ZBORNÍK PRÍSPEVKOV

„Univerzitné vedecké parky a Výskumné centrá ako akcelerátory technologického transferu a výskumnej spolupráce s praxou v SR“

4. KONFERENCIA PROJEKTU

„Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií“

23. – 24. 5. 2018
Spoločenský pavilón
KOŠICE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie, pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II.fáza kód ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

NÁZOV Zborník príspevkov z konferencie „Univerzitné vedecké parky a Výskumné centrá ako akcelerátory technologického transferu a výskumnej spolupráce s praxou v SR".

VYDAVATEĽ Technická univerzita v Košiciach
TLAČ elfa, s.r.o., Park Komenského 7, 040 01 Košice
ROK 2018
VYDANIE prvé
NÁKLAD 250 ks
ROZSAH 176 strán

ISBN 978-80-8086-268-8

OBSAH

KONFERENCIA UVP TECHNICOM

OBSAH

Úvod 8

PRÍSPEVKY KONFERENCIE

1 | Monitorovanie osôb pomocou UWB senzorov
(Aktivita 3.1. PP1) 13

2 | Systém na automatický prepis audiozáznamov z pracovných stretnutí
(Aktivita 3.1. PP2) 19

3 | Aplikačný výskum v oblasti virtuálno-realitných technológií na riešenie 3D/stereoskopických zobrazovacích techník a ich implementáciu s použitím pokročilých prvkov rozhrania človeka – výpočtový systém
(Aktivita 3.1. PP3) 23

4 | Analytické nástroje pre podporu rôznych typov procesov
(Aktivita 3.1. PP4) 28

5 | Implementácia nových riešení a služieb pri doručovaní multimediálneho obsahu a dát v IP sieťach
(Aktivita 3.1. PP5) 34

6 | Umelá inteligencia v inteligentných systémoch
(Aktivita 3.1. PP6) 40

7 | Centrum nedeštruktívnej diagnostiky technologických procesov so štandardným softvérovým vybavením pre riadenie a komunikáciu
(Aktivita 3.1. PP7) 45

8 | Sínusovo Štrbinová Anténa pre Senzorové Siete
(Aktivita 3.2. PP1) 54

9 | Projekčno-inžinierske pracovisko pre navrhovanie elektro-mechanických pohonných systémov a ich aplikácií
(Aktivita 3.2. PP2) 59

10 | Povrchový odpor a povrchový merný odpor
(Aktivita 3.2. PP3) 67

11 | Možnosti využitia experimentálnych metód pri posudzovaní a zvyšovaní životnosti a bezpečnej prevádzky strojov a zariadení
(Aktivita 3.3. PP1) 71

12 | Rekonfigurovateľnosť robotických efektorov na báze 1,2 a 3 osích modulov
(Aktivita 3.3. PP2) 76
13 | Inovácie – základ úspešnosti a prosperity každej firmy
(Aktivita 3.3. PP3) 79
14 | Hexadecimálny princíp pri vývoji palivových máp a jeho aplikácia pri minimalizácií emisií
(Aktivita 3.3. PP4) 85
15 | Mechanické vlastnosti ťahaných prvkov lanových sústav
(Aktivita 3.4. PP1a) 91
16 | Behavior of composite structures in the event of a long-term and dynamic load
(Aktivita 3.4. PP1b) 96
17 | Adaptívne prvky transparentnej fasády a ich vplyv na kvalitu vnútorného prostredia
(Aktivita 3.4. PP2) 101
18 | Aplikovaný výskum a vývoj inteligentných technologických zariadení budov a ich transformácia na budovy s takmer nulovou bilanciou spotreby energie
(Aktivita 3.4. PP3) 107
19 | Implementácia technológií virtuálnej reality a 3D laserového skenovania do procesov obstarávania stavieb – prípadové štúdie
(Aktivita 3.4. PP4) 111
20 | Vývoj inovatívnych konštrukčnych sústav na báze panelov z masívneho dreva
(Aktivita 3.4. PP5) 119
21 | Integrácia aplikačných IoT infraštruktúr a údajov monitorovania zdravotného stavu chronicky chorých pacientov v domácnosti
(Aktivita 3.4. PP6) 123
22 | Finančné a ekonomické rozhodovacie metódy pri investičných aktivitách v stavebnom priemysle
(Aktivita 3.4. PP7) 127
23 | Nové technológie pre efektívne spracovanie uhlíkonosných surovín
(Aktivita 3.5. PP1) 131

24 | Testovanie mechanických a fyzikálnych vlastností gumových kompozitov
(Aktivita 3.5. PP2) 135
25 | Príspevok riešenia projektu UVP TECHNICOM ku komplexnému využitiu slovenského magnezitu
(Aktivita 3.5. PP3) 139
26 | Materiálová recyklácia úletov z elektrických oblúkových pecí
(Aktivita 3.5. PP4) 144
27 | Výskum v oblasti inovatívnych interakcií človek-počítač
(Aktivita 3.6. PP3) 148
28 | Vývoj informačných systémov pre podporu riadenia vzdelávania, vedy a výskumu
(Aktivita 3.6. PP4) 152
29 | Získavanie, spracovanie a analýza dát
(Aktivita 3.6. PP5) 157
30 | Výskum a vývoj metód geoprocessingu v geopriestorových technológiách a službách
(Aktivita 3.6. PP6) 160
31 | Charakter technogénneho povrchu priemyselnej skládky metalurgického kalu z výroby niklu a kobaltu v Seredi
(Aktivita 3.7. PP1) 164
32 | Možnosti revitalizácie kontaminovaných pôd v oblasti stredného Spiša
(Aktivita 3.7. PP2) 168
33 | Príprava funkcionalizovaných ekologických uhlíkových materiálov
(Aktivita 3.7. PP4) 171

ÚVOD

Vážené čitateľky a vážení čitatelia,

Dostáva sa k vám „**Zborník odborných príspevkov** zo 4. Konferencie projektu ***„Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií"*** (jún , 2013 – jún, 2018), ktorá svojím poslaním, uvedenom v podtexte konferencii, mala snahu prezentovať ***„Univerzitné vedecké parky a Výskumné centrá ako akcelerátory technologického transferu a výskumnej spolupráce s praxou v SR."*** Konferencia sa uskutočnila v Košiciach 23. Mája 2018.

Z pohľadu termínov riešenia uvedeného projektu to bola záverečná konferencia projektu, ktorá bola logicky v súlade so svojím podtextom, zameraná aj na prezentovanie výsledkov jeho riešenia, ktoré predstavujú garanciu udržateľnosti ním vytvorených inštitúcií. Z pohľadu predmetného projektu, bol dokumentovaný najmä potenciál očakávaného rozvoja vytvorených inštitúcii a ich služieb v súlade s odpovedajúcimi cieľmi OP VaI v oblasti rozvoja výskumu a jeho dopadov na inovačný a sociálne prospešný rozvoj produkcie a služieb priemyslu.

Inštitucionálnym výstupom riešenia projektu bolo založené združenie ***„Asociácia TECHNICOM",*** ktoré je sieťovou inštitúciou troch univerzít konzorcia projektu, ktoré majú projektom vytvorené odpovedajúce Univerzitné vedecké parky (UVP). Technická Univerzita v Košiciach (TUKE), ako koordinátor projektu, prostredníctvom svojho UVP TECHNICOM, je lídrom „Asociácie" a garantuje jej poslanie spolu s partnermi, ktorými sú: Univerzita P.J. Šafárika, v Košiciach (zastúpená svojou Prírodovedeckou fakultou) a Prešovská univerzita v Prešove (zastúpená svojou Fakultou humanitných a prírodných vied).

Hostiteľom a garantom konferencie bol **Univerzitný vedecký park TECHNICOM** na TUKE, ktorý bol oficiálne otvorený 3. októbra 2017, čím sa mu vytvoril priestor na aktívne overovanie (v EU uznávaným prístupom „Living Lab" experimentov) navrhnutej organizačnej a riadiacej štruktúry a najmä súboru jeho „kmeňových" služieb, v reálnych trhových podmienkach, ešte počas trvania projektu. V programe konferencie sa to odzrkadlilo zorganizovaním otvorenej **„Burzy inovatívnych projektov"**, na ktorej sa prezentovali najmä riešitelia všetkých, uvedeným projektom podporených, pilotných projektov aplikovaného výskumu s potenciálom uplatnenia ich inovatívnych výstupov a produktov v praxi a ich pripravovanej spin-off transformácie do vytvorenia podnikateľského subjektu. Počas „Burzy" sa prezentovali všetky pilotné projekty riešiteľov

z univerzít projektového konzorcia a vybrané dlhodobé projektové zámery spoločných VaV a inovačných pracovísk vytvorených na UVP TECHNICOM po jeho otvorení. Rozmer prezentácie pilotných projektov bol významne podporený komplementárnou „brokerage" akciou, ktorá poskytla aktívny priestor na priamy kontakt riešiteľov s potenciálnym odberateľmi ich poznatkov a produktov.

Vlastný program konferencie bol vhodne obsahovo obohatený: v programe odzneli kvalitné prezentácie strategických a koncepčných vystúpení kompetentných predstaviteľov štátnych inštitúcií a odpovedajúce prezentácie predstaviteľov komplementárnych projektov UVP a VC. Kvalitným prínosom bolo vystúpenie, švédskych partnerov TUKE z „Mijardavi Science Park – LEAD Incubator". Kolegovia zo Švédska význame prispeli k rozšíreniu strategického konceptu systému akcelerácie podnikania (pôvodne vyvinutom v prvej fáze riešenia predmetného projektu), a najmä, aktivovali prístup k úspešnej implementácii jeho programu inkubácie podnikania **www.startupcentrum.sk** a **www.inkubatortuke.sk**

Vážené čitateľky a vážení čitatelia,
v závere si vás dovoľujeme upozorniť na niekoľko, kľúčových informácií. Zborník, ktorý máte k dispozícii je svojím obsahom zameraný najmä na odbornú dokumentáciu vyššie uvedených pilotných projektov, a týmto spôsobom vhodne doplňuje ich prezentácie na „Burze inovatívnych projektov". Vlastné prezentácie pilotných projektov z „Burzy" sú dostupné prostredníctvom portálu UVP TECHNICOM. Na uvedom portálý sú dostupné aj prezentácie predstaviteľov MŠVVaŠ SR a Výskumnej agentúry a všetkých účastníkov, ktorí aktívne v súlade s programom vystúpili na konferencii.

Organizačný výbor konferencie

PRÍSPEVKY

KONFERENCIA UVP TECHNICOM

Monitorovanie osôb pomocou UWB senzorov

D. Kocur*, M. Drutarovský*, P. Galajda*, M. Švecová*, M. Marchevský*, J. Šaliga*, T. Porteleky*, P. Dolinský*, I. Andráš*, P. Šuľaj*, R. Haluška*

* Technická univerzita v Košiciach/Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Košice, Slovensko

{Dusan.Kocur, Milos. Drutarovsky, Pavol. Galajda, Maria.Svecova, Stanislav.Marchevsky, Jan.Saliga, Pavol.Dolinský, Imrich.Andras, Peter.Sulaj, Renat.Haluska}@tuke.sk, Tamas.Porteleky@student.tuke.sk

Abstrakt – **Príspevok je venovaný stručnému makroskopickému opisu metód spracovania UWB senzorových signálov orientovaných na monitorovanie osôb. Pod pojmom monitorovanie osôb rozumieme v našom príspevku lokalizáciu a sledovanie osôb, ako aj odhad vybraných parametrov životných funkcií človeka, akým je jeho frekvencia dýchania a tepová frekvencia srdca. Monitorovanie osôb použitím UWB senzorov (radarov) môže mať celý rad praktických aplikácií. Ako príklady tu možno uviesť lokalizáciu a sledovanie osôb (t.j. určovanie ich súradníc), ako aj bezkontaktné meranie frekvencie dýchania a tepovej frekvencie srdca človeka. Analýza súčasného stavu rozpracovania aplikačných scenárov monitorovania osôb naznačuje pomerne veľký záujem odbornej verejnosti ako aj konečných používateľov o túto problematiku. Preto verime, že tento príspevok môže priniesť v koncentrovanej forme rad zaujímavých informácií a poznatkov pre odborníkov pracujúcich v oblasti návrhu a vývoja systémov bezkontaktného monitorovania osôb.**

Kľúčové slová **– detekcia, lokalizácia, sledovanie, osoba, spracovanie signálov, UWB sensor, biometrický radar**

I. Úvod

Medzi moderné a efektívne spôsoby detekcie a lokalizácie osôb situovaných za prekážkou patrí použitie radarov (senzorov), ktoré emitujú elektromagnetické vlny s veľmi veľkou šírkou frekvenčného pásma (*UWB radary, z angl. ultra-wideband*) v pásme DC-5GHz [1]. Veľmi veľká šírka frekvenčného pásma signálu emitovaného radarom poskytuje veľkú presnosť merania vzdialenosti medzi cieľom a anténovou sústavou radaru (rádovo centimetre). Na druhej strane, elektromagnetické vlny vo frekvenčnom pásme DC-5GHz majú schopnosť prenikať cez štandardné stavebné materiály ako je napr. betón, tehla, drevo atď., s akceptovateľným útlmom. Preto UWB radary prevádzkované vo frekvenčnom pásme DC-5GHz umožňujú detegovať a lokalizovať ciele nielen na priamu viditeľnosť, ale aj ciele nachádzajúce sa za nemetalickou prekážkou (napr. za stenou). Poznamenávame, že tieto radarové systémy spravidla vysielajú elektromagnetické vlny o výkone rádovo 1-10mW, pričom patria do kategórie radarov krátkeho dosahu (maximálny dosah je spravidla v intervale 10-50m). Uvedené parametre UWB senzorov umožňujú preto realizáciu ich kľúčových obvodov vo forme čipov. V dôsledku toho UWB senzory s vyššie uvedenými vlastnosťami môžu mať malé rozmery, môžu byť ľahké a preto aj pružne nasadzovateľné v reálnom teréne.

UWB senzory krátkeho dosahu môžu byť s výhodou použité na detekciu, lokalizáciu a sledovanie osôb napr. v prípade činnosti záchranárskych a bezpečnostných tímov pri riešení mimoriadnych úloh (napr. lokalizácia osôb po kolapse budov, podpora bezpečnostných síl pri realizácii operatívnych zásahov, atď.) [2]-[4]. Iné spektrum aplikácii UWB senzorov predstavuje ich použitie na lokalizáciu osôb a prípadne na bezkontaktné monitorovanie životných funkcií osôb takých ako je ich frekvencia dýchania a tepová frekvencia v nemocničných centrách [5] alebo v rámci programov asistovaného žitia (*AAL z angl. ambient assisted leaving program*) [6], [7]. V tomto prípade ide o lokalizáciu osôb a o bezkontatné merania spravidla na priamu viditeľnosť. Pre tieto účely sa predpokladá aplikácia UWB senzorov najmä v pásme 3.1-9.0 GHz, čo vyplýva zo v súčasnosti platných noriem.

UWB radary aplikované na bezkontaktné monitorovanie frekvencie dýchania a tepovej frekvencie človeka sú známe ako biometrické radary [8]. Biometrické radary možno použiť napr. v nemocniciach na monitorovanie pacientov s vysokým stupňom popálenín, na monitorovanie novorodencov (napr. detekcia syndrómu náhleho úmrtia novorodencov), monitorovanie osôb v somnologických laboratóriách (napr. [9], [10]), na monitorovanie vybraných činností vodičov automobilov (napr. mikro-spánok, telefonovanie mobilným telefónom, indikácia akútneho zdravotného problému), bezkontaktné meranie frekvencie dýchania a tepovej frekvencie astronautov na palube kozmických staníc [11], atď.

Naznačený potenciál aplikácií UWB senzorov krátkeho dosahu bol impulzom k vzniku pomerne rozsiahleho výzkumu a vývoja v oblasti UWB senzorových systémov určených na monitorovanie osôb. Analýza problematiky monitorovania osôb UWB senzormi ukazuje, že jednou z kľúčových úloh, ktorú je potrebné v tejto oblasti riešiť, sú metódy spracovania primárnych radarových signálov umožňujúce detekovať a lokalizovať osoby, a následne v prípade potreby bezkontaktne monitorovať ich životné funkcie (odhad frekvencie dýchania, odhad tepovej frekvencie srdca). Analýza súčasného stavu rozpracovania tejto problematiky vo svete ukazuje, že aj v súčasnosti možno túto problematiku považovať za nedostatočne rozpracovanú, pričom rôzne aplikačné scenáre UWB senzorov prinášajú stále nové a dosiaľ neriešené problémy a nezodpovedané otázky.

S cieľom vytvoriť systémový prístup na riešenie tejto problematiky, opíšeme v tomto príspevku koncepciu spracovania signálov získaných UWB senzormi zameranú na monitorovanie osôb. Táto koncepcia je založená na dekompozícii pohybových aktivít monitorovaných osôb na konečnú množinu možných základných foriem pohybu, pričom pre osoby vykonávajúce rôzne formy pohybu bude na ich monitorovanie navrhnutá špecifická procedúra spracovania radarových signálov. Tento prístup je následne doplnený o algoritmy odhadu frekvencie dýchania a tepovej frekvencie srdca monitorovanej osoby.

Poznamenávame, že podrobný opis jednotlivých procedúr a v nich obsiahnutých metód spracovania signálov je nad rámec rozsahu tohto príspevku. Preto je cieľom tohto príspevku poukázať najmä na základné princípy tvorby komplexných algoritmov spracovania UWB radarových signálov umožňujúcich pružne navrhovať algoritmy spracovania signálov pre vyššie naznačené aplikačné scenáre.

Vychádzajúc z naznačeného cieľa nášho príspevku, bude mať tento príspevok nasledujúcu štruktúru. V nasledujúcej kapitole poukážeme na základné princípy detekcie osôb v závislosti od charakteru ich pohybu. Potom, v III.-V. kapitole opíšeme základné procedúry spracovania UWB radarových signálov určené na lokalizáciu pohybujúcich sa osôb (PO) a statických osôb (SO), ako aj osôb pohybujúcich sa so zmenou charakteru svojho pohybu (PO-SO). V kapitolách VI-VIII sa budeme venovať problematike spracovania signálov so zameraním sa na odhad frekvencie dýchania a tepovej frekvencie srdca monitorovanej osoby. V závere (kapitola IX) naznačíme niektoré ďalšie možné smery výskumu a vývoja v oblasti spracovania signálov zameraného na monitorovanie osôb s dôrazom na špecifikovanie niektorých zatiaľ nedostatočne neriešených problémov.

II. Základné princípy detekcie osôb UWB senzormi

Naznačený potenciál aplikácií UWB senzorov krátkeho dosahu bol impulzom k vzniku pomerne rozsiahleho výzkumu a vývoja v oblasti UWB radarových lokalizačných a biometrických systémov. Analýza problematiky lokalizácie osôb UWB senzormi ukazuje, že jednou z kľúčových úloh, ktorú je potrebné v tejto oblasti riešiť, sú metódy spracovania primárnych radarových signálov umožňujúcich detekovať a lokalizovať osoby, a následne v prípade potreby bezkontaktne monitorovať ich životné funkcie.

Primárnym signálom meraným UWB senzormi v prípade detekcie a lokalizácie osôb je spravidla impulzová odpoveď prostredia, cez ktoré sa šíri elektromatromagnetická vlna emitovaná radarom od vysielacej k prijímacej anténe radaru. Množina za sebou nasledujúcich impulzových impulzových odpovedí nameraných radarom je známa ako radargram [1], [12], [13]. Postupným spracovaním jednotlivých impulzových odpovedí alebo radargramu ako celku, možno lokalizovať osoby nachádzajúce sa v monitorovanom priestore. Vzhľadom na úroveň výkonu signálov vysielaných radarom (spravidla 1-10mW) je však odstup echosignálu cieľov (osôb) od šumu a závoja (ENCR, *z angl. echo-to-noise and clutter ratio*) v prípade primárneho radarového signálu veľmi malý a preto neumožnuje okamžitú detekciu cieľov jednoduchým spracovaním primárneho radarového signálu. Táto skutočnosť viedla k tomu, že na detekciu a lokalizáciu osôb bolo navrhnuté použiť komplexné procedúry spracovania primárnych radarových signálov. Takáto procedúra je tvorená množinou jednotlivých fáz spracovania signálov, pričom každá fáza je realizovaná vhodnou metódou spracovania signálov [13]- [18].

Podrobnejšia analýza charakteru echosignálu cieľov, ktorými sú ľudia, ukázala, že v tomto prípade je nevyhnutné zobrať do úvahy charakter pohybu detekovanej osoby [16]-[18]. Vychádzajúc z tohto zistenia boli navrhnuté dva základne prístupy k lokalizácii osôb. Prvý z nich je zameraný na lokalizáciu PO, t. j. osôb, ktoré sa pohybujú v monitorovanej oblasti tak, že menia svoje súradnice vo zvolenej súradnej sústave. Ako príklad PO možno uviesť napr. osobu, pohybujúcu sa formou štandardnej chôdze alebo bežiacu osobu. V tomto prípade sú osoby lokalizované na základe detekcie nestacionárnych zložiek impulzovej odpovede snímanej radarom, ktoré možno identifikovať porovnávaním za sebou nasledujúcich impulzových odpovedí. Tento koncept viedol k návrhu procedúry spracovania UWB radarových signálov určenej na detekciu, lokalizáciu a sledovanie PO (P-PO) [12].

Druhý prístup lokalizácie osôb je venovaný lokalizácii SO. V tomto prípade ide o živé osoby, ktoré sa nachádzajú v monitorovanej oblasti, avšak ich poloha a ani ich súradnice sa v čase sa nemenia (ide napr. o osoby v bezvedomí, alebo o spiace osoby). SO je možné lokalizovať na základe detekcie ich životných (vitálnych) funkcií, medzi ktoré patrí dýchanie a činnosť srdca. Dýchanie človeka je sprevádzané jeho respiračnými pohybmi, ktoré sa prejavujú navonok najmä pohybom hrudníka, prípadne pohybom aj iných častí tela. Spracovanie signálov nameraných radarom umožňuje potom detegovať zmieňované respiračné pohyby, pričom na základe ich detekcie je možné príslušnú osobu následne aj lokalizovať. Využitie tejto myšlienky viedlo k návrhu procedúry spracovania UWB radarových signálov určenej na detekciu a lokalizáciu SO (P-SO) [13].

V publikovaných prácach venovaných algoritmom spracovania primárnych radarových signálov zameraných na detekciu a lokalizáciu osôb sa ich autori zameriavajú spravidla len na detekciu a lokalizáciu buď PO alebo SO. V reálnych scenároch je však potrebné obyčajne lokalizovať PO-SO, t.j. osobu, ktorá má v určitom časovom intervale charakter PO, pričom v inom časovom intervale ju možno považovať za SO. Ako príklad tu možno uviesť scenár, kedy osoba vstúpi do prázdnej miestnosti a sadne si na stoličku (ide o PO), na stoličke zotrváva v pokoji (ide o SO) a následne z miestnosti odchádza opäť ako PO. Charakteristickou vlastnosťou P-PO je to, že umožňuje detekovať PO avšak nie je schopná detekovať SO. Na druhej strane P-SO umožňuje detekovať SO, avšak nie je schopná detekovať PO. Vzhľadom na to možno na detekciu PO-SO použiť procedúru spracovania UWB radarových signálov určenú na detekciu, lokalizáciu a sledovanie PO-SO (P-PO-SO) spočívajúcu v paralelnom spracovaní primárnych radarových signálov pomocou P-PO a P-SO doplnenú o fúziu dát reprezentujúcich súradnice cieľov detekovaných a lokalizovaných odhadnutých P-PO a P-SO [16]- [18].

Vychádzajúc z vyššie uvedených základných princípov detekcie PO a SO možno vytvoriť nasledujúcu základnú koncepciu spracovania signálov získaných UWB senzormi zameranú na monitorovanie osôb. Táto koncepcia je založená na dekompozícii pohybových aktivít monitorovaných osôb na konečnú množinu možných základných (elementárnych) foriem pohybu, pričom na detekciu osoby pohybujúcu sa niektorou základnou (elementárnou) formou pohybu bude použitá

TABUĽKA I

KLASIFIKÁCIA OSÔB PODĽA ELEMENTÁRNYCH FORIEM ICH POHYBU

	Typ osoby	Opis elementárneho pohybu osoby	Príklad pohybu osoby
1.	Pohybujúca sa osoba I (PO-I)	Osoba sa pohybuje v monitorovanom priestore tak, že sa jej súradnice menia.	Kráčajúca, utekajúca, plaziaca sa osoba.
2.	Pohybujúca sa osoba II (PO-II)	Nie nehybná osoba, avšak jej súradnice sa nemenia. Osoba je stále na rovnakej pozícii, avšak vykonáva pohyby niektorými časťami svojho tela (napr. pohyby rukami, nohami, hlavou, atď.).	Osoba mávajúca rukami.
3.	Statická osoba (SO)	„Nehybná" osoba. Jedinou možnou viditeľnou formu pohybu osoby sú jej respiračné pohyby. Súradnice osoby sa nemenia.	Spiaca osoba. Osoba v bezvedomí.
4.	Osoba pohybujúca sa so zmenou charakteru pohybu I (PO-SO-I)	Osoba, ktorú možno raz považovať za pohybujúcu sa a následovne za osobu statickú. Osobu možno považovať spojite za statickú počas časového intervalu $\Delta T_{SO} \leq 30$ s.	Osoba kráčajúca so zastaveniami kratšími ako 30s.
5.	Osoba pohybujúca sa so zmenou charakteru pohybu II (PO-SO-II)	Osoba, ktorú možno raz považovať za pohybujúcu sa a následovne za osobu statickú. Osobu možno považovať spojite za statickú počas časového intervalu $\Delta T_{SO} > 30$ s.	Osoba kráčajúca so zastaveniami dlhšími ako 30s.
6.	Monitorovaný priestor bez osoby (NP)	—	—

špecifická procedúra spracovania radarových signálov. Tento prístup je následne doplnený o algoritmy odhadu frekvencie dýchania a tepovej frekvencie srdca monitorovanej osoby. Poznamenávame, že tieto algoritmy je však možné aplikovať v zásade len v prípade SO.

Základná klasifikácia typov osôb podľa charakteru ich elementárnych foriem pohybu je uvedená v Tabuľke I [18]. V tejto tabuľke sú jednotlivé typy osôb jednoznačne definované, pričom sú v nej uvedené aj príklady ich typických pohybov. Táto množina osôb je doplnená o stav, kedy sa v monitorovanom priestore nenachádza žiadna osoba. V ďalších častiach tohto príspevku načrtneme základné metódy, ktoré umožňujú detekovať a lokalizovať jednotlivé typy osob uvedené v Tabuľke I, pričom budeme predpokladať, že UWB radar aplikovaný na monitorovanie osôb pracuje s jednou vysielacou a dvomi prijímacími anténami.

III. LOKALIZÁCIA POHYBUJÚCICH SA OSÔB

Analýza charakteru echosignálu cieľa, ktorým je pohybujúca sa osoba, ukazuje, že tento signál je výrazne nestacionárnou zložkou primárneho radarového signálu. Základný princíp detekcie PO potom spočíva v detekcii časových zmien za sebou nameraných impulzových odpovedí (primárnych radarových signálov) spôsobených nestacionaritou echosignálu cieľa. Ako sme naznačili v kapitole II, na detekciu, lokalizáciu a sledovanie PO-I a PO-II možno použiť P-PO opísanú napr. v [12]. Táto procedúra pozostáva z piatich fáz spracovania primárnych radarových signálov, pričom každá z týchto fáz je implementovaná vhodne zvolenými metódami spracovania signálov. Medzi tieto fázy patrí odčítanie pozadia, detekcia cieľov, odhad času príchodu signálu (TOA, *z angl. time-of-arrival*) a asociácia (spájanie) TOA, lokalizácia a sledovanie cieľov. Na implemetáciu týchto fáz, možno s výhodou použiť také metódy spracovania signálov ako je exponenciálne spriemerňovanie (fáza odčítania pozadia), CFAR detekcia (*z angl. constant false alarm rate*), metóda spájania stôp cieľov (odhad a spájanie TOA), metóda priameho výpočtu (lokalizácia cieľov) a systém sledovania mnohopočetných cieľov (*MTT, z angl. multiple target tracking*). Poznamenávame, že podrobnejší opis P-PO presahuje rámec tohto príspevku. Z tohto dôvodu ho tu neuvádzame. Čitateľ ho môže nájsť na napr. v [12].

IV. LOKALIZÁCIA STATICKÝCH OSÔB

Základný princíp detekcie SO spočíva spravidla v detekcii respiračných pohybov osôb, t.j. pohybov častí tela človeka spôsobených procesom jeho dýchania [13]. Dýchanie človeka možno približne považovať za periodický proces, ktorého základná harmonická zložka má frekvenciu $f_b \in F_B = <0,2Hz; 0,7Hz>$. Výchylky hrudníka človeka spôsobené dýchaním nadobúdajú medzivrcholové hodnoty z intervalu 0,4 cm - 1,2 cm [19] [20]. Z hľadiska lokalizácie osôb možno tieto výchylky považovať spravidla za zanedbateľné. Potom možno SO detekovať na základe detekcie periodických zložiek radargramu s odčítaným pozadím zodpovedajúcich konštantnej vzdialenosti cieľa od anténového systému radaru, ktorých základná harmonická zložka sa nachádza vo frekvenčnom pásme F_B.

Vychádzajúc z uvedeného základného princípu detekcie SO, možno SO lokalizovať použitím P-SO navrhnutej v [13]. P-SO opísaná v tejto práci pozostáva z 5 fáz spracovania primárnych radarových signálov, medzi ktoré patrí odčítanie pozadia, zvýraznenie echosignálu cieľa, detegovanie cieľa, odhad a asociácia TOA a lokalizácia cieľa. Na implementáciu uvedených fáz P-SO sú použité také metódy spracovania signálov, ako je exponenciálne spriemerňovanie (fáza odčítania pozadia), metóda spájania stôp cieľov (odhad a spájanie TOA) a metóda priameho výpočtu (lokalizácia cieľov). Na detekciu cieľov sa tu ukazuje výhodné použiť dvojstupňový detektor pozostávajúci z CFAR detektora s poriadkovými štatistikami a jednoduchého detektora (komparátora) s konštantnou referenčnou úrovňou, ktorého rozhodovacie štatistiky sú reprezentované celkovým výkonom analyzovaného signálu vo frekvenčnom pásme F_B. Na odhad tohto výkonu možno použiť metódu Welchovho periodogramu [21].

Limitujúcim faktorom detekovateľnosti SO je celková doba jej monitorovania. Experimentálne získané skúsenosti, ktoré sú aj teoreticky zdôvodnené poznatkami z oblasti harmonickej a spektrálnej analýzy signálov, ukazujú, že na detekciu SO je potrebné meranie s minimálnou dobou trvania 30s, počas ktorej je možné monitorovanú osobu považovať za SO. V prípade, že doba merania je menšia ako 30s, tak monitorovaná osoba nemusí byť detekovateľná. Podobne, ako v prípade P-PO, podrobný opis P-SO presahuje rámec tohto príspevku a preto ho tu neuvádzame. Čitateľ ho môže nájsť napr. v [13].

V. Lokalizácia osôb pohybujúcich sa so zmenou charakteru svojho pohybu

V prípade monitorovania oblasti záujmu nie je *a priori* známe, či sa v tomto priestore nachádza PO alebo SO. Preto je potrebné na spracovanie signálov použiť súčasne P-PO a P-SO doplnené o fúziu dát získaných týmito metódmi spracovania signálov. Jednotlivé procedúry potom umožňujú detekovať a lokalizovať PO alebo SO. Súradnice odhadnuté týmito procedúrami definujúce polohu detekovaných osôb sú následne použité v zobrazovacej jednotke radaru na indikáciu polohy cieľa v monitorovanom priestore.

Špecifická situácia nastáva však vtedy, ak osoba zmení charakter svojho pohybu, t.j. mení svoju rolu z SO na PO alebo opačne. Na detekciu PO postačuje teoreticky doba nevyhnutná na nameranie 2 impulzových odpovedí. Vzhľadom na aplikáciu fázy odčítania pozadia a CFAR detektora je však potrebné realizovať meranie približne 10-20 impulzových odpovedí, čomu zodpovedá čas približne 2s. Tento čas možno z hľadiska lokalizácie PO považovať spravidla za zanedbateľný. Z uvedeného plynie, že lokalizácia osoby, ktorá mení svoju rolu z SO na PO môže byť z hľadiska aplikácie takmer okamžitá.

Komplikovanejšia situácia vzniká v prípade lokalizácie osoby, ktorá mení svoju rolu z PO na SO [18]. Pre tento scenár možno podľa Tabuľky I uvažovať dva varianty. Uvažujme najprv lokalizáciu PO-SO-I. V tomto prípade sa PO dostáva do roly SO na dobu kratšiu ako 30s, a teda ako vyplýva z kapitoly IV, pravdepodobnosť jej detekcie ako SO je nízka. Na riešenie tohto problému bolo v práci [18] navrhnuté použiť detekciu zastavenia sa osoby. Ako detektor zastavenia sa osoby bol v [18] navrhnutý estimátor variancie impulzovej odpovede s odčítaným pozadím v kombinácii s komparátorom pracujúcim s adaptáciou svojej referenčnej úrovne. Odpoveď detektora indikujúceho zastavenie sa osoby je akceptovaná počas doby cca 30s. Ako odhad súradníc cieľa je v tomto prípade uvažovaný posledne získaný odhad súradníc osoby, keď bola v role PO. Po uplynutí tohto času môže byť osoba detekovaná ako SO. V tomto prípade však už ide o detekciu PO-SO-II. Ak sa tak však nestane, považuje sa tento stav za situáciu, kedy monitorovaná PO opustila monitorovaný priestor. Zhrnutie vyššie opísaných algoritmov predstavuje P-PO-SO, ktorá je podrobne opísaná v prácach [16]- [18].

V prípade, že v monitorovanom priestore nebol detekovaný žiadny cieľ procedúrami P-PO, P-SO a P-PO-SO, a súčasne detektor zastavenie sa osoby neindikuje zastavenie sa PO, možno konštatovať, že v monitorovanom priestore sa nenachádzajú žiadne ciele, čo je v Tabuľke I formálne definované typom osoby NP.

VI. Bezkontaktné monitorovanie vybraných životných funkcií človeka

V oblasti monitorovania osôb je v súčasnosti okrem ich lokalizácie venovaná veľká pozornosť aj bezkontaktnému meraniu ich frekvencie dýchania a srdcovej frekvencie (tep, frekvencia činnosti srdca). UWB senzorové systémy poskytujúce túto formu monitorovania človeka sa často označujú ako biometrické radary (senzory) alebo ako bio-radary [8]. Porovnanie požiadaviek kladených na aplikácie biometrických radarov a na radary aplikované na lokalizáciu osôb ukazuje, že na riešenie úloh, ktoré majú byť splnenené týmito radarmi, možno v zásade použiť rovnaké senzory. Poznamenávame však, že špecifické aplikácie UWB sensorov budú viesť vždy k špecifickým technickým riešenia (rôzne antény, dosahy, výkony, frekvenčné pásma, atď.).

Ešte väčšiu afinitu medzi vyššie uvedenými skupinami UWB radarov možno identifikovať v oblasti spracovania signálov. Táto príbuznosť vyplýva z toho, že v prípade bezkontaktného merania parametrov životných funkcií človeka UWB senzorom, musí byť najprv stanovená bistatická vzdialenosť monitorovanej osoby od anténového systému radaru [13]- [15]. Poznamenávame, že určenie tejto vzdialenosť zodpovedá odhadu TOA monitorovanej osoby. Až na základe určenia tejto vzdialenosti je možné prikročiť k odhadu frekvencie respiračných pohybov a tepovej frekvencie človeka.

Súčasný stav poznania v oblasti biometrických radarov ukazuje, že biometrické radary sú aplikované na monitorovanie SO. Zatiaľ nám nie sú známe žiadne publikované práce a výsledky, ktoré by ukázali možnosť použitia UWB senzorov na odhad parametrov životných funkcií PO. Teoreticky je podľa nášho názoru takáto úloha riešiteľná, avšak zahŕňa v sebe celý rad dosiaľ neriešených problémov. Preto sa v tomto príspevku sústredíme len na odhad frekvencie dýchania a tepovej frekvencie SO.

Dôležitým momentom v oblasti monitorovania uvažovaných životných funkcií človeka UWB senzorom je porovnanie presnosti merania vzdialenosti UWB radarom (napr. 0.5cm-3cm) a fyzickými rozmermi človeka (napr. 180cm x 60cm x 80cm). Z uvedeného plynie, že radar môže v prípade monitorovania človeka detegovať nielen jeden ale aj niekoľko odrazov elektromagnetických vĺn od ľudského tela. Preto hovoríme, že osoby sú v tomto prípade zložitými (distribuovanými) cieľmi.

Tento moment možno využiť pri monitorovaní životných funkcií SO tak, že najprv je realizovaný odhad bistatickej vzdialenosti cieľa (R_0). Na riešenie tejto úlohy možno použiť prvú až štvrtú fázu P-SO, t.j. také fázy ako je odčítanie pozadia, zvýraznenie echosignálu cieľa, a detegovanie cieľa, pričom poslednou fázou je odhad a asociácia TOA. Vzhľadom na relatívne vysokú presnosť merania vzdialenosti UWB radarom, možno následne vytvoriť interval bistatických vzdialeností $\Delta R = < R_0 - s/2, R_0 + s/2 >$, v ktorých sa môže nachádzať monitorovaná osoba. Je známe, že časťou tela človeka, ktorej respiračné pohyby sú najvýraznejšie pozorovateľné, je hrudník. Preto konštanta s použitá vo vyššie uvedenom vzťahu predstavuje spravidla jeden z rozmerov hrudníka človeka. Vychádzajúc z takto stanoveného intervalu ΔR je možné zostaviť podmnožinu radargramu, do ktorej budú patriť všetky zložky radargramu, ktoré zodpovedajú bistatickým vzdialenostiam z intervalu ΔR. Túto podmnožinu radargramu budeme v ďalšom označovať ako K. V prípade odhadu frekvencie dýchania a srdcovej frekvencie človeka, budú potom spracovávané len primárne radarové signály z tejto množiny signálov.

VII. Meranie frekvencie dýchania človeka

Odhad frekvencie dýchania človeka realizovaný na báze spracovania signálov meraných UWB senzorom možno

realizovať použitím takých fáz spracovania signálov ako je zvýšenie odstupu echosignálu cieľa obsahujúceho zložky spôsobené dýchaním od šumu a závoja ($ENCR_B$), odhad výkonového spektra signálov z množiny signálov K získaných ako výsledok zvýšenia $ENCR_B$, výber signálov s relatívne vysokou úrovňou $ENCR_B$ a nakoniec samotný odhad frekvencie dýchania [14], [15].

Na riešenie fázy zvýšenia $ENCR_B$ je možné použiť metódu exponenciálneho spriemerňovania (potlačenie závoja) v kombinácii s metódou filtrácie impulzových odpovedí (napr. aplikácia pásmového priepustu naladeného na frekvenčné pásmo 0.4 GHz-1.4 GHz), ako aj s metódou filtrácie signálov z množiny K pre prípad konštantných bistatických vzdialeností (napr. filtrom typu dolný priepust s hraničnou frekvenciou priepustného pásma 0.7 Hz). Množinu takto získaných signálov označme ako K_{B1}.

Ako sme uviedli v predchádzajúcej kapitole, dýchanie človeka možno považovať približne za periodický proces, ktorého základná harmonická zložka má frekvenciu $f_b \in F_B =< 0.2Hz; 0.7Hz >$. Preto ďalšia fáza spracovania signálov spočíva vo výpočte výkonového spektra signálov z množiny K_{B1}. Na riešenie tejto úlohy možno s výhodou použiť metódu Welchovho periodogramu [21].

Pri odhade frekvencie dýchania možno predpokladať, že frekvencia dýchania je dominantnou zložkou výkonového spektra signálov z množiny K_{B1} vo frekvenčnom pásme F_B. S cieľom získať čo najlepší odhad tejto frekvencie, je potrebné zvoliť z množiny signálov K_{B1} také jej zložky, ktoré majú relatívne vysokú hodnotu $ENCR_B$. Na riešenie tejto úlohy možno použiť metódu založenú na vyhodnotení pomeru výkonu dominantnej zložky spektra a priemerného výkonu ostatných zložiek spektra signálov z množiny signálov K_{B1} (kritérium PAPR (*z angl. peak to average power ratio*) [14]. Výsledkom aplikácie tejto metódy je podmnožina K_{B2} signálov z množiny K_{B1}, ktorej zložky majú relatívne vysokú hodnotu $ENCR_B$ a preto poskytnú najlepší možný odhad frekvencie dýchania monitorovanej osoby z dostupnej množiny signálov.

Poslednou fázou v procese estimácie frekvencie dýchania je výpočet výkonového spektra signálov z množiny K_{B2} použitím Welchovho periodgramu. Ako odhad frekvencie dýchania osoby je potom použitá dominantná frekvencia takto získaného výkonového spektra lokalizovaná vo frekvenčnom pásme F_B.

VIII. Meranie tepovej frekvencie človeka

Odhad tepovej frekvencie človeka spracovaním signálov meraných UWB senzorom možno realizovať modifikáciou metódy odhadu frekvencie dýchania človeka opísanej v predchádzajúcej kapitole. Táto modifikácia musí reflektovať to, že frekvencia činnosti srdca človeka nadobúda hodnoty z intervalu $f_h \in F_H =< 0.8Hz; 3Hz >$, pričom odstup echosignálu cieľa obsahujúceho zložky spôsobené činnosťou srdca od šumu a závoja ($ENCR_H$) je výrazne nižší, ako v prípade odhadu frekvencie dýchania človeka (t.j. ako $ENCR_B$).

Navyše, matematická analýza modelu primárnych radarových signálov verifikovaná aj experimentálnymi výsledkami ukazuje, že zložkami primárnych radarových signálov sú periodické signály spôsobené respiračnými pohybmi a činnosťou srdca, ktoré však nie sú harmonickými signálmi [20]. V dôsledku toho sa vo frekvenčnej oblasti objavuje nielen ich základná harmonická zložka, ale aj ich vyššie harmonické zložky. Tento poznatok je zvlášť dôležitý v prípade odhadu tepovej frekvencie srdca. Z porovnania frekvenčných intervalov F_B a F_H vidíme, že vyššie harmonické zložky frekvencie dýchania sa nachádzajú aj vo frekvenčnom pásme F_H. Analýza tohto problému v [22] ukázala, že tieto harmonické zložky môžu mať aj vyšší výkon ako frekvenčná zložka spôsobená dýchaním osoby, a teda dominantnou zložkou spektra množiny signálov K vo frekvenčnom pásme F_H nemusí byť frekvencia činnosti srdca.

Vychádzajúc z uvedeného možno pri odhade frekvencie činnosti srdca človeka na báze spracovania signálov nameraných UWB radarom použiť postup navrhnutý v [15].

Na báze algoritmu opísaného v predchádzajúcej kapitole bude vytvorená množina signálov K. S cieľom zvýšiť $ENCR_H$ signálov obsiahnutých v tejto množine, je možné použiť metódu exponenciálneho spriemerňovania (potlačenie závoja), v kombinácii s metódou filtrácie impulzových odpovedí (napr. aplikácia pásmového priepustu naladeného na frekvenčné pásmo 0.4 Gz-1.4 Gz), ako aj s metódou filtrácie signálov z množiny K pre prípad konštantných bistatických vzdialeností (napr. filtrom naladeným na frekvenčné pásmo F_H). S cieľom potlačiť vyššie harmonické zložky frekvencie dýchania, možno na spracovanie takto získaného signálu použiť adaptívny SDLC číslicový filter (z angl. *single delay line canceller*) [20], [22]. Poznamenávame, že pre efektívnu realizáciu SDCL filtrácie je potrebné poznať frekvenciu dýchania človeka. Poslednou operáciou aplikovanou v tejto fáze je filtrácia použitím Savitzkého a Golayových vyhladzovacích filtrov [23]. Výsledkom tejto fázy spracovania primárnych radarových signálov (fáza zlepšenia $ENCR_H$) bude množina signálov K_{H1}.

Na výsledky tejto fázy spracovania signálov nadväzuje fáza odhadu výkonového spektra signálov množiny signálov K_{H1}, výber signálov s relatívne vysokou úrovňou $ENCR_H$ a nakoniec samotný odhad frekvenie činnosti srdca. Implementácia týchto fáz je podobná ako v prípade odhadu frekvencie dýchania, pričom je však potrebné frekvenčné pásmo F_B nahradiť frekvenčným pásmom F_H.

IX. Záver

V tomto príspevku sme prezentovali stručný makroskopický prehľad metód spracovania UWB radarových signálov orientovaných na monitorovanie osôb. Pod pojem monitorovanie osôb sme zahrnuli nielen lokalizáciu a sledovanie osôb, ale aj odhad vybraných parametrov životných funkcií človeka, akým je jeho frekvencia dýchania a tepová frekvencia srdca. Jej zrejmé, že podrobný opis uvádzaných procedúr, metód a algoritmov je nad rámec tohto príspevku. Čitateľ ho však môže nájsť

v prameňoch uvedených v zozname použitej literatúry. V mnohých z týchto prameňov sú spravidla uvádzané nielen opisy jednotlivých metód, ale aj experimentálne výsledky ilustrujúce ich vlastnosti.

I napriek veľkému pokroku v oblasti UWB technológií a s nimi spojených metód spracovania signálov však existuje celý rad nedostatočne riešených problémov v oblasti hardvérového riešenia UWB senzorov (najmä anténová sústava a vysokofrekvenčná časť radaru), ako aj v oblasti metód spracovania signálov, ktoré vedú k nedostatočnej robustnosti prevádzky UWB lokalizačných systémov a biometrických UWB radarov. Ako príklad tu možno uviesť zatiaľ neuspokojivé riešenie problematiky vzájomného tienenia sa cieľov, riešenie vzniku falošných cieľov, odhady trajektórie PO charakteristických často veľkou variantiou chyby odhadu trajektórie, nedostatočné pokrytie monitorovaného priestoru v dôsledku vlastností antén radaru, sledovanie mnohopočetných cieľov, atď. Okrem toho, môže byť praktické nasadenie UWB senzorov limitované aj existujúcimi normami definujúcimi najmä frekvenčné pásma a výkonové úrovne prevádzky radarov. Implementácia týchto noriem vedie často k nízkym úrovniam ENCR, čo následne znižuje robustnosť a spoľahlivosť diskutovaných aplikácií UWB senzorov. Nezadbateľným problémom je v súčasnosti aj relatívne vysoká cena UWB senzorov a ich antenových sústav, čo je podľa nášho názoru hlavnou brzdou ich masívneho nasadenia v spoločenskej praxi.

Na druhej strane, analýza súčasného stavu problematiky aplikácií UWB senzorov v celom ich spektre, vrátane ich aplikácií orientovaných na monitorovanie ľudí ukazuje, že tejto problematike je v súčasnosti venované skutočné veľké úsilie, čo možno dokumentovať napr. počtami publikácií venovaných tejto problematike, ako aj aktivitami podnikateľských subjektov orientovanými na vývoj UWB senzorov a ich aplikácií. Tento stav možno vnímať tak, že poznatky z oblasti UWB senzorových technológií získané na úrovni základného výskumu a ich následné použitie v oblasti aplikovaného výskumu, začínajú v tomto období vytvárať podmienky pre perspektívne masové nasadenia UWB senzorov. Preto túto oblasť považujeme stále za veľmi aktuálnu, zaujímavú a perspektívnu.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

LITERATÚRA

[1] J. Sachs, *Handbook of ultra-wideband short-range sensing: theory, sensors, applications*. John Wiley & Sons, 2013.

[2] P. Withington, H. Fluhler, and S. Nag, "Enhancing homeland security with advanced UWB sensors," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 4, no. 3, pp. 51–58, Sept 2003.

[3] C. Huffman and L. Ericson, *Through-the-Wall Sensors for Law Enforcement: Market Survey*. ManTech Advanced Systems International, Inc., Oct 2012.

[4] ReTWis. "Look behind the walls," *http://www.lokalizacni-systemy.cz/en/retwis-en/*

[5] L. Anishchenko, M. Alekhin, S. Ivashov, and M. Ryzhii, "Bioradiolocation: Methods and applications," in *Biomedical Informatics and Technology*, T. D. Pham, K. Ichikawa, M. Oyama-Higa, D. Coomans, and X. Jiang, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg,2014, pp. 10–28.

[6] J. Sachs, M. Helbig, R. Herrmann, M. Kmec, K. Schilling, and E. Zaikov, "Remote vital sign detection for rescue, security, and medical care by ultra-wideband pseudo-noise radar," *Ad Hoc Networks*, vol. 13, pp. 42 – 53, 2014.

[7] G. Diraco, A. Leone, and P. Siciliano, "A Radar-Based Smart Sensor for Unobtrusive Elderly Monitoring in Ambient Assisted Living Applications," *Biosensors*, vol. 7, no. 4, 2017.

[8] Y. Zhang, F. Chen, H. Xue, Z. Li, Q. An, J. Wang, and Y. Zhang, "Detection and identification of multiple stationary human targets via bio-radar based on the cross-correlation method," *Sensors*, vol. 16, no. 11, 2016.

[9] A. S. Bugaev, V. V. Chapursky, S. I. Ivashov, V. V. Razevig, A. P. Sheyko, and I. A. Vasilyev, "Through wall sensing of human breathing and heart beating by monochromatic radar," in *Proceedings of the Tenth International Conference on Grounds Penetrating Radar, 2004*. GPR 2004, vol. 1, June 2004, pp. 291–294.

[10] A. Lazaro, D. Girbau, and R. Villarino, "Techniques for Clutter Suppression in the Presence of Body Movements during the Detection of Respiratory Activity through UWB Radars," *Sensors*, vol. 14, no. 2, pp. 2595–2618, 2014.

[11] M. Baldi, G. Cerri, F. Chiaraluce, L. Eusebi, and P. Russo, "Non-Invasive UWB Sensing of Astronauts' Breathing Activity," *Sensors*, vol. 15, no. 1, pp. 565–591, 2015.

[12] D. Kocur, J. Rovňáková, and M. Švecová, "Through Wall Tracking of Moving Targets by M-Sequence UWB Radar," in *Towards Intelligent Engineering and Information Technology*, I. J. Rudas, J. Fodor, and J. Kacprzyk, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 349–364.

[13] D. Novák, M. Švecová, and D. Kocur, "Multiple Person Localization Based on Their Vital Sign Detection Using UWB Sensor," in Microwave Systems and Applications, S. Goudos, Ed. InTech, 2017.

[14] D. Kocur, D. Novák, and J. Demčák, "A joint localization and breathing rate estimation of static persons using UWB radar," in *2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, Oct. 2017, pp. 1728–1733.

[15] D. Kocur, M. Švecová, and J. Demčák, "Estimation of Breathing Frequency and Heart Rate by Biometric UWB Radar," in *2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, Oct. 2018, pp. 1–7, (submitted for publication).

[16] D. Kocur and D. Novák, "UWB sensor based localization of person with the changing nature of his/her movement," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Sensors Engineering and Electronics Instrumental Advances (SEIA'2016)*, Barcelona, Castelldefels, Spain,Sept 2016, pp. 120–122.

[17] D. Kocur, D. Novák, and M. Švecová, "UWB Radar Signal Processing for Localization of Persons with the Changing Nature of Their Movement," *Sensors & Transducers Journal*, vol. 207, no. 12, pp. 50–57, Dec 2016.

[18] D. Kocur, M. Švecová, and D. Novák, "UWB Radar Based Localization of a Person Changing the Nature of Their Motion State," in *2018 International Conference on Radar*, Aug. 2018, pp. 1–6, (accepted for publication).

[19] A. Lazaro, D. Girbau, and R. Villarino, "Techniques for Clutter Suppression in the Presence of Body Movements during the Detection of Respiratory Activity through UWB Radars," *Sensors*, vol. 14, no. 2, pp. 2595–2618, 2014.

[20] A. Lazaro, D. Girbau, and R. Villarino, "Analysis of vital signs monitoring using an IR - UWB radar," in *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 100, 2010, pp. 265–284.

[21] J. Proakis and D. Manolakis, *Digital Signal Processing*, ser. Prentice Hall international editions. Pearson Prentice Hall, 2007.

[22] B. Mahafza, *Radar Signal Analysis and Processing Using MATLAB*. CRC Press, 2016.

[23] S. Orfanidis, *Optimum Signal Processing*. Sophocles Orfanidis, 2007.

Systém na automatický prepis audiozáznamov z pracovných stretnutí

Jozef Juhár , Martin Lojka, Peter Viszlay, Ján Staš, Daniel Hládek
Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií FEI,
Technická univerzita v Košiciach, ul. Boženy Němcovej 32, 042 00 Košice
{jozef.juhar, martin.lojka, peter.viszlay, jan.stas, daniel.hladek}@tuke.sk

Abstract **– Vyvinuli sme funkčný prototyp automatického titulkovacieho systému na prepis, archiváciu a indexovanie slovenských audiovizuálnych nahrávok, ako sú prednášky, rozhovory, diskusie alebo televízne správy. Aby sme pokročili vo výskume a vývoji systému, bolo potrebné siahať po stále modernejších technológiach spracovania reči, z ktorých najvýznamnejšie sú techniky hlbokého učenia a neurónových sietí. Tento článok popisuje postupné zmeny, vykonané v našom pracovnom prototype, zamerané na náhradu jadra, zmenu architektúry a nové webové používateľské rozhranie. Aby sme dosiahli lepšiu reakciu na rozhranie a rýchlejšie spracovanie audiovizuálnych záznamov, využili sme najmodernejšiu sadu rečových nástrojov KALDI a distribuovanú architektúru. Použitím akustických modelov založených na hlbokých neurónových sieťach sme dokázali znížiť priemernú mieru chybovosti systému z pôvodných 24% na 16%.**

Kľúčové slová **– Automatické rozpoznávanie reči, neurónová sieť, hlboké učenie, modulárna architektúra**

I. Úvod

Tak ako reč je prirodzený spôsob komunikácie medzi ľuďmi, vždy bolo výzvou používať reč aj v interakcii človeka so strojom. V dnešnej dobe sme obklopení rečovými technológiami, ktoré sa používajú na vykonávanie mnohých úloh, ako je napr. diktovanie textových dokumentov, dialógové systémy na vyhľadávanie informácií alebo ovládanie hlasom. Pomocou jednoduchého hlasového príkazu vieme ovládať napr. inteligentné telefóny, inteligentné televízory a pod.

Rečové technológie si našli cestu aj k sofistikovanejším aplikáciám. Žijeme v čase, keď základom úspechu sú informácie a rýchly prístup k nim. Informácie sú uchovávané v rôznych formách a jednou z nich sú aj audio resp. audio-vizuálne nahrávky, obsahujúce napr. záznamy rokovaní parlamentov a zastupiteľstiev, diskusií, rozhovorov, prednášok, televíznych a rozhlasových relácií a pod. Efektívne a rýchle vyhľadávanie a prezentovanie informácie, ktorú audio záznamy obsahujú nie je triviálna úloha. Základom riešenia tejto úlohy je schopnosť rýchlo a čo najpresnejšie prepísať informáciu z akustickej do textovej formy. So zvyšujúcou sa presnosťou súčasných rečových technológií môžeme nahradiť alebo zefektívniť manuálny prepis [1] televíznych relácií (rozhlasové správy (BN) [2], diskusií, rozhovorov alebo prednášok [3], vytvoriť písomný záznam o stretnutiach, indexovať veľké množstvo rôznych archivovaných audiovizuálnych záznamov.

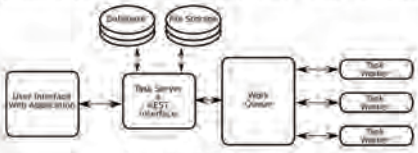
Jednou zo zaujímavých aplikácií rečových technológií je automatická výroba titulkov pre sluchovo postihnutých, čím sa táto technológia stáva atraktívnou napr. pre televízne vysielanie. Výsledky projekt FP7 SAVAS poskytujú takéto riešenie pre hlavné jazyky EÚ, ako je angličtina, francúzština, nemčina, taliančina, španielčina alebo portugalčina. Keďže jadrom takýchto systémov sú akustické a jazykové modely, ktoré možno získať len strojovým učením pomocou rozsiahlych anotovaných akustických a lingvistických dát, výsledky nie sú aplikovateľné na slovenčinu.

Predchádzajúca verzia funkčného vzoru systému na automatický prepis reči z pracovných porád (tzv. meeting speech transcription system) a súčasne na automatické vytváranie titulkov bola opísaná v [4] a [5]. Systém umožňoval spracovanie viackanálového audiovizuálneho záznamu s automatickou segmentáciou založenou na analýze hlavných komponentov (PCA), rozpoznávanie pohlavia hovoriacich, rozpoznávanie totožnosti hovoriacich a ich diarizáciu, paralelné rozpoznávanie reči pre každý kanál so špecializovanými akustickými modelmi, ktoré sa adaptujú na vstupné charakteristiky záznamu. Na zvýšenie presnosti rozpoznávania sa využívalo viacero kombinácií výstupných hypotéz z viacerých rozpoznávačov, pracujúcich na samostatných serveroch. Nedostatkom tejto verzie systému bolo, že pridávaním nových komponentov a modulov sa systém stával komplexnejším, súčasne ale vykazoval malé alebo žiadne zlepšenie efektívnosti. Navrhli sme preto novú verziu systému s distribuovanou architektúrou, inovovaným jadrom rozpoznávania reči a novým používateľským rozhraním.

V nasledujúcich častiach opíšeme architektúru a hlavné komponenty novej verzie systému, prostriedky použité na učenie akustických a jazykových modelov a predstavíme nové používateľské rozhranie. Práca sa končí diskusiou o ďalších výzvach výskumu a vývoja systému.

II. Architektúra systému

Naším cieľom bolo navrhnúť novú, modulárnu architektúru, ktorá bude podporovať rýchle nasadenie modulov, distribúciu modulov na viacerých počítačových serveroch a jasné oddelenie ich záujmov. Architektúra spĺňajúca požiadavky je zobrazená na Obr. 1. Hlavné tri časti sú používateľské rozhranie, úlohový server a moduly, vykonávajúce jednotlivé úlohy (tzv. task workers).



Obr. 1 Architektúra systému

A. Úlohový server

Hlavnou funkciou servera je poskytnúť interakciu medzi používateľom a spracovaním úloh pomocou súkromnej databázy úložiska súborov. Inými slovami, systém umožňuje užívateľovi vytvoriť novú úlohu, nahrať audiovizuálne súbory a dopytovať sa na stav a výsledky spracovania úlohy (v prípade jej úspešného ukončenia). Server obsahuje systém (boxing system) na organizovanie úloh do skupín, pričom umožňuje zdieľanie týchto boxov medzi oprávnenými používateľmi. Administrátor má k dispozícii systém na manažovanie. Server nepozná žiadne podrobnosti o úlohe, len poskytuje dáta vykonávacím modulom na spracovanie a zhromažďuje výsledky, ktoré sú následne poskytované používateľovi.

Smerom k vykonávacím modulom server používa komunikačný protokol AMQP a zasobník úloh. Takýmto spôsobom je možné vytvárať nové vykonávacie moduly bez nutnosti zmeny alebo reštartovania servera úloh. Úlohy sa potom automaticky rozdelia medzi vykonávacie moduly na základe ich možností. Táto vlastnosť nám umožňuje jasne rozdeliť záujmy medzi časti spracovania úloh a všeobecnejšiu logistickú časť servera.

V smere k používateľovi je v serveri implementované rozhranie REST, čo umožňuje ľubovoľnej používateľskej aplikácii používať funkcie servera. Týmto spôsobom sa k systému môže vytvoriť webová, mobilná a desktopová aplikácia, alebo systém môže byť integrovaný do väčšieho.

B. Vykonávacie moduly

Vykonávacie moduly bežia nezávisle na jednom alebo viacerých počítačových serveroch a čakajú na nové úlohy. Jadro každého vykonávacieho modulu je pomerne jednoduché, pretože jeho jedinou funkciou je spustiť externý skript, ktorý úlohu vykoná a monitorovať proces jej vykonávania. Výhodou je, že na vykonanie úlohy môže byť napísaný skript resp. kód v ľubovoľnom jazyku. Nasadenie nových modulov je rovnako jednoduché, ako ich spúšťanie z príkazového riadku. Používanie pracovnej fronty má takisto výhodu v tom, že každý vykonávací modul môže nezávisle kontrolovať množstvo práce, ktorá mu bola pridelená. Prideľovanie úloh pre vykonávací modul môže byť založené na tom, aké výpočtové schopnosti hostiteľský server má a či na tom istom počítači už bežia iné vykonávacie moduly. Paralelizácia je tak automaticky realizovaná na úrovni vykonávacích modulov metódou čakania vo fronte.

Typy úloh, ktoré sú prideľované vykonávacím modulom, budú opísané v nasledujúcich kapitolách príspevku.

C. Používateľské rozhranie

Pomocou nového REST rozhrania bola vytvorená ukážová webová aplikácia, ktorá je nezávislá od servera ako aj vykonávacích modulov a môže tak byť nezávisle udržiavaná. Plne využíva funkcie REST, poskytované serverom, vrátane administrátorského náhľadu, správy používateľov, odosielania úloh, spracovania hlásení stavu a zdieľania úloh medzi registrovanými používateľmi. Na Obr. 2 a Obr. 3 sú znázornené dve snímky obrazovky aplikácie. Na prvom z nich je náhľad na diskusiu za okrúhlym stolom, pričom pod videom sa zobrazuje zoznam účastníkov diskusie a čas ich aktivity v diskusii.

Obr. 2. Snímka obrazovky z televíznej diskusie s titulkami a časovými slotmi účastníkov diskusie

Na druhom z obrázkov je príklad zoznamu úloh a stavu ich spracovania.

Obr. 3. Snímka obrazovky používateľskej aplikácie na manažovanie monitorovanie úloh spracovania

III. Modul segmentácie reči

Pod segmentáciou reči rozumieme delenie kontinuálneho rečového prúdu do kratších úsekov [2]. Čím dlhší je rečový úsek, tým väčší je počet možných hypotéz, ktoré je potrebné preskúmať a prepočítať. Je preto efektívnejšie rozdeliť zvukový záznam na úseky, ktoré obsahujú dostatok relevantných informácií pre akustický/jazykový model a sú zároveň dostatočne krátke, aby rozpoznávač udržal počet hypotéz v spravovateľných limitoch. Túto úlohu plnia moduly detekcie hlasovej activity (voice activity detection, VAD) a diarizácie hovoriacich.

Pred fázou segmentácie musí byť spracovávaný zvuk prevzorkovaný na vzorkovaciu frekvenciu zhodnú s akustickým modelom. V prípade viackanálového záznamu sa každý kanál extrahuje do samostatného súboru, čo umožňuje ich spracovanie v rovnakom čase.

A. Modul detekcie hlasovej aktivity

Modul VAD generuje časové značky, ktoré označujú začiatok a koniec tichých pasáží v spracovávanom súbore s rečovým záznamom. Detekcia ticha je vykonávaná naším unikátnym algoritmom, založeným na metóde analýzy hlavných komponentov (Principal Component Analysis, PCA), ktorého podrobný opis možno nájsť v [6]. Modul je implementovaný v C ++.

B. Modul diarizácie

Pod diarizáciou hovoriacich rozumieme automatické značenie rečových úsekov, ktoré predstavujú jednotlivých hovoriacich, nachádzajúcich sa v spracovávanom zázname. Táto úloha sa vykonáva bez akýchkoľvek predchádzajúcich informácií o hovoriacich. Nie je k dispozícii ani ich počet, ani ich identita ani vzorky ich hlasov. Informácia z modulu diarizácie hovoriacich jednak pomáha vo vlastnom procese rozpoznávania reči, ale súčasne skvalitňuje obsah výsledku transkripcie, čím uľahčuje následné indexovanie a budúce prehľadávanie zvukového archívu [8].

Diarizačný modul je založený na metóde LIUM [8]. V prvom krou je realizovaná segmentácia rečového prúdu na základe Bayesovho informačného kritéria. V ďalšom kroku sa spresňujú hranice segmetov zhlukovaním hovoriacich pomocou algoritmov, založených na Viterbiho kritériu a GMM. V tomto procese tiež zisťuje kvalita záznamu (detekciou šírky spektra) a pohlavie hovoriaceho.

Viackanálové spracovanie sa dosiahne spracovaním jednotlivých hovoriacich oddelene a v prípade, že ten istý rečník sa nachádza vo viac ako jednom kanáli, modul podporuje aj zhlukovanie rečníkov z viacerých kanálov.

IV. Modul automatického rozpoznávania reči

Na realizáciu modulu automatického rozponávania reči sme použili sadu nástrojov KALDI, ktorá umožňuje zároveň aj tvorbu akustických modelov [9]. Výsledná rozpoznávacia sieť je reprezentovaná pomocou vážených konečno-stavových transducerov (Weighted Finite State Transducers, WFST). Oproti predchádzajúcemu funkčnému vzoru rozpoznávanie nie je viacnásobné a nie je teda ani použitá technika kombinácie hypotéz.

A. Akustický model a jeho adaptácia

Modul automatického rozpoznávania reči používa trifónové kontextovo-závislé akustický model (AM), založený na hlbokých neurónových sieťach (Deep Neural Network, DNN). Sada nástrojov KALDI podporuje viacero typov DNN [9]. Jednou nich je neurónová sieť s časovým oneskorením (Time Delay Neural Network, TDNN), podporujúca zároveň adaptovanie AM, založené na i-vektoroch a MFCC (Mel-Frequency Cepstral Coefficients) s vysokým rozlíšením.

Akustický model TDNN bol získaný v procese sekvenčného strojového učenia, založenom na aplikovaní kritéria MPE (Minimum Phone Error) na úrovni stavu modelu [10]. Ako vstupné príznaky boli použité 40-rozmerné vektory MFCC bez CMN (Cepstral Mean Normaliztion) spolu so 100-rozmerným i-vektorom, reprezentujim rečníkov a charakteristiky prostredia, v ktorom je zvuk snímaný.

Na tvorbu akustického modelu boli použité rodovo vyvážené akustické korpusy, ktoré obsahujú:

- 100 hodín anotovaných nahrávok čítanej reči z oblasti jurisdikcie;
- 150 hodín čítaných foneticky bohatých viet, novinových článkov a hláskovaných slov, nahrávaných v konferenčných miestnostiach;
- 250 hodín anotovaných rečových nahrávok televízneho spravodajstva;
- 90 hodín 90% mužských a 10% ženských anotovaných rečových nahrávok, realizovaných v hlavnej sále slovenského parlamentu;
- 80 hodín anotovaných rečových nahrávok z televíznych relácií "Súdna sieň" [11] [12].

Všetky rečové nahrávky boli upravené na jednotný formát 16kHz/16bit PCM mono. Akustický model obsahuje aj model ticha, krátkej pauzy a ďalšie šumové udalosti.

Na vytvorenie akustického modelu sme mali k dispozícii viac než 600 hodín rečových nahrávok. Je logické predpokladať, že čím viac dát je k dispozícii na trénovanie, tým lepší je akustický model a tým je vyššia aj presnosť rozpoznávania reči. Aby sme dostupné akustické dáta využili čo najlepšie, použili sme ich na vytvorenie jedného všeobecného akustického modelu – na rozdiel od predchádzajúceho funkčného vzoru, v ktorom sme použili samostatné mužské a ženské akustické modely.

B. Jazykový model

Trigramový jazykový model bol vytvorený pomocou súboru nástrojov SRILM [13]. Veľkosť slovnej zásoby bola obmedzená na približne 500 tisíc unikátnych slov. Model bol vyhladený Witten-Bellovým algoritmom.

Na tvorbu modelu bol použitý webový korpus písaných textov v slovenčine. Korpus obsahoval približne 1,89 miliárd tokenov v približne 110,75 miliónov vetách. Kvôli lepšej reprezentácii vo vektorovom priestore bol text rozdelený do 5,93 miliónov odsekov s priemerne 315 slovami na odsek a následne použitý na tvorbu jazykového modelu, zohľadňujúceho tému a štýl prejavu hovoriaceho [14], [15].

Pri tomto prístupe sa z rozpoznaných rečových segmentov v prvej fáze dekódovania vyberá podmnožina textových dokumentov, sémanticky podobná výstupným hypotézam. Potom sa z príslušných dokumentov vytvorí malý tematický jazykový model, ktorý sa interpoluje s hlavným modelom, čím sa adaptuje na aktuálnu tému a štýl rozprávania rečníka. Ten je aplikovaný počas druhej fázy dekódovania.

V. Modul na tvorbu titulkov

Hlavnou úlohou tohto modulu je rozdeliť rozpoznaný text (t.j. text, ktorý je výsledkom transkripcie reči na text) do titulkov tak, aby spĺňali dve hlavné požiadavky. Po prvé, množstvo titulkov na obrazovke je obmedzené a po druhé, titulky musia byť zobrazené tak dlho, ako je to možné. Ďalej, titulky sa musia objaviť/zaniknúť pri zmene hovoriaceho. Tu sa dá s výhodou použiť informácia z diarizačného modulu.

Na automatické vytváranie titulkov sme vytvorili algoritmus, ktorý iteračne rozdeľuje text podľa najväčšej možnej pauzy medzi segmentami. Osobitná pozornosť bola venovaná konzistencii informácie o číslach, ktoré by sa mali objaviť na obrazovke (napr. “jeden milión” je konvertovaný na “1 milión” a pod.).

VI. Experimentálne výsledky

Na vyhodnotenie každého kroku spracovania audiovizuálneho záznamu sme vykonali sadu jednoduchých experimentov, ktorých výsledky boli priebežne zohľadňované pri tvorbe systému. Dosiahnuté výsledky ukázali, že sme celkovú presnosť systému výrazne zvýšili.

Tabuľka I. Experimentálne výsledky aktuálnej verzie systému

	Predchádzajúca verzia systému	VAD	Diarizácia	Manuálna segmentácia
WER (%)	24.30	18.51	16.32	13.48

Vykonali sme aj test, pri ktorom sme process automatickej segmentácie nahradili manuálnym, ktorý ukázal, že zhlukovanie rečníkov je viac než rozhodujúce pre presnosť systému, čo naznačuje, že modul diarizácie je potrebné ďalej zlepšovať.

VII. Záver

V príspevku sme opísali funkčný vzor systému, ktorý je použiteľný na prepis akéhokoľvek audiovizuálneho obsahu vo všeobecnosti. Systém je predovšetkým vhodný na automatický prepis audiozáznamov z pracovných stretnutí a na automatickú transkripciu resp. tvorbu titulkov rozhlasového resp. televízneho spravodajstva. Nová architektúra je flexibilnejšia. Systém je škálovateľný pridaním nových výpočtových serverov a podporou jednoduchého nasadenia nových modulov spracovania. Experimentálne výsledky nám ukazujú, že sme na správnej ceste, ale existujú stále slabšie miesta, ktoré potrebujeme zlepšiť. Jedným z nich je diarizačný modul, ktorý v porovnaní s manuálnou segmentáciou spôsobuje rozdiely v chybovosti až 3%.

Poďakovanie

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií – II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

[1] A. Alvarez, C. Mendes, M. Raffaelli, T. Luís, S. Paulo, N. Piccinini, H. Arzelus, J. Neto, C. Aliprandi, and A. del Pozo, 2015. Automating live and batch subtitling of multimedia contents for several European languages. Multimedia Tools and Applications :1-31.

[2] J.-L. Gauvain, L. Lamel, and G. Adda. 2002. The LIMSI broadcast news transcription system. Speech Communication, 37:89-108

[3] Y. Akita, M. Watanabe, and T. Kawahara, 2012. Automatic transcription of lecture speech using language model based on speaking-style transformation of proceeding texts. In Proc. of INTERSPEECH 2012. Portland, Oregon, USA.

[4] J. Staš, P. Viszlay, M. Lojka, T. Koctúr, D. Hládek, E. Kiktová, M. Pleva, and J. Juhár, 2015. Automatic subtitling system for transcription archiving and indexing of Slovak audiovisual recordings. In Proc. of the Language and Technology Conference, LTC 2015, Poznań, Poland 186-191.

[5] P. Viszlay, J. Staš, T. Koctúr, M. Lojka, J. Juhár, 2016. An Extension of the Slovak Broadcast News Corpus based on Semi-Automatic Annotation. In Proc. the 10th Edition of the Language Resources and Evaluation Conference, LREC 2016, Portorož, Slovenia.

[6] J. Vavrek, P. Viszlay, E. Kiktová, M. Lojka, J. Juhár, and A. Čižmár, 2014. Query-by-example retrieval via fast sequential dynamic time warping algorithm. In Proc. of the 37th International Conference on Telecommunications and Signal Processing, TSP 2014, Berlin, Germany.

[7] I. T. Jolliffe, 1986, Principal component analysis. New York: Springer-Verlag, 2nd edition.

[8] M. Rouvier, G. Dupuy, P. Gay, E. Khoury, T. Merlin, and S. Meignier, 2013. An open-source state-of-the-art toolbox for broadcast news diarization. In Proc. of INTERSPEECH 2013. Lyon, France.

[9] D. Povey, A. Ghoshal, G. Boulianne, L. Burget, O. Glembek, N. Goel, and J. Silovsky, 2011. The Kaldi speech recognition toolkit. In IEEE 2011 Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding. IEEE Signal Processing Society.

[10] V. Peddinti, D. Povey, and S. Khudanpur 2015. A time delay neural network architecture for efficient modeling of long temporal contexts. In 16th Annual Conference of the International Speech Communication Association.

[11] M. Rusko, J. Juhár, M. Trnka, J. Staš, S. Darjaa, D. Hládek, R. Sabo, M. Pleva, M. Ritomský, and S. Ondáš, 2013. Recent advances in the Slovak dictation system for judicial domain. In Proc. of the 6th Language and Technology Conference, LTC 2013. Poznań, Poland.

[12] M. Pleva, and J. Juhár, 2014. TUKE-BNews-SK: Slovak broadcast news corpus construction and evaluation. In Proc. of LREC 2014. Reykjavik, Iceland.

[13] A. Stolcke, 2002. SRILM - An extensible language modeling toolkit. In Proc. of ICSLP 2002. Denver, USA.

[14] Q. Le, and T. Mikolov, 2014. Distributed representation of sentences and documents. In Proc. of International Conference on Machine Learning, ICML 2014. Beijing, China.

[15] J. Staš, D. Hládek, and J. Juhár, 2017. Semantic indexing and document retrieval for personalized language modeling. In Proc. of the 59th International Symposium Elmar 2017. Zadar, Croatia.

Aplikačný výskum v oblasti virtuálno-realitných technológií na riešenie 3D/stereoskopických zobrazovacích techník a ich implementáciu s použitím pokročilých prvkov rozhrania človeka – výpočtový systém

B. Sobota*, Š. Korečko*, M. Hudák*, P. Pastornický*, M. Sivý*, L. Jacho* a Cs. Szabó*

* Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach, Slovenská republika

branislav.sobota@tuke.sk, stefan.korecko@tuke.sk, marian.hudak.2@tuke.sk, peter.pastornicky@tuke.sk, martin.sivy@tuke.sk, ladislav.jacho@tuke.sk and csaba.szabo@tuke.sk

Abstrakt **– Systémy virtuálnej reality predstavujú otvorené možnosti v budúcnosti v zmysle komunikácie človek-výpočtový systém. Článok sa zaoberá opisom virtuálnej jaskyne laboratória LIRKIS, na Technickej Univerzite v Košiciach. Virtuálna jaskyňa používa kláster pre vykresľovanie obrazu a riadenia komunikácie medzi používateľom a systémom. Sú opisané časti systému, ich použiteľnosť a rozšíriteľnosť v rôznych aplikačných smeroch.**

Kľúčové slová **– virtuálna realita, virtuálna jaskyňa, vizualizácia**

I. Úvod

Výpočtová technika v dnešnej dobe významne posunula možnosti používateľských rozhraní na doteraz nevídanú úroveň hlavne pre masové použitie na jednej strane, ale zároveň na druhej strane, najmä s príchodom mobilných zariadení, sa tiež personalizovala. Jednou z naprogresívnejších technológií v tomto smere je virtuálna realita [1]. Použitie virtuálno-realitných technológií sa tak dostáva čoraz viac do popredia vďaka svojej interaktívnosti, realistickejšiemu zobrazovaniu údajov, schopnosti vytvoriť ilúziu fyzickej prítomnosti a hlavne lepšiemu zážitku. Preto aj ciele pilotného projektu sú v súlade s aktuálnymi trendmi v oblasti virtuálno-realitných technológií a vôbec technológií v kontexte HCI (Human-Computer Interaction). Tento smer nadobúda čoraz väčšiu dôležitosť nielen z výskumného pohľadu, ale najmä z pohľadu komerčného využitia na rôznych úrovniach hospodárskej ale i pedagogickej a aj sociálnej praxe. Riešiteľský tím aj na základe predchádzajúcich skúseností sa snažil pokryť kompletný virtualizačný reťazec vrátane formálnych popisných metód, modelovania a simulácie, využitie skriptovacieho jazyka, 3D/stereoskopických vizualizačných technológií a 3D skenovania a tlače. V istom zmysle slova, virtualizačný reťazec je teraz chápaný ako cyklus, ktorý štartuje a končí v reálnom svete tak, ako reprezentuje Obr. 2.

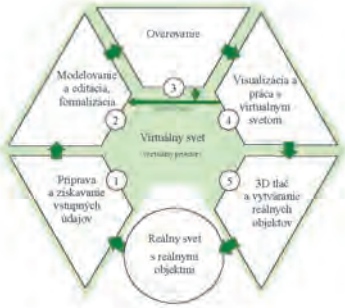
Ako už bolo spomenuté, systémy virtuálnej reality predstavujú rôzne spôsoby uplatnenia v rôznych smeroch vedy a výskumu, edukácie či zábavy. Ich spôsob použitia a nasadenia reprezentuje rôzne typy od rôznych zariadení používaných v bežnom domácom prostredí (prilby, smartfóny) po konštrukčne zložitejšie a výkonovo náročné zariadenia (projekcie, virtuálne jaskyne). Virtuálna jaskyňa CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) je výsledkom riešenia projektu a dlhodobo používaným systémom, ktorý obsahuje rôzne typy projekcie, viazanej prostrednictvom obrazoviek, alebo projektorov premietajúcich spätný obraz. Systém virtuálnej jaskyne (LIRKIS CAVE (Obr. 1.)) [2] na Technickej Univerzite v Košiciach, v Laboratóriu Interaktívnych Rozhraní Komunikačných a Informačných Systémov (LIRKIS) je použiteľný v rôznych činnostiach v priemyselnej, projekčnej, prezentačnej či edukačnej, tréningovej alebo aj hernej oblasti. Výhodou LIRKIS CAVE je predovšetkým možnosť dynamického spracovania a vizualizácie scén, ktoré predstavujú rôzne aplikácie v uvedených oblastiach.

Obr. 1. Celkový pohľad na virtuálnu jaskyňu LIRKIS

II. Virtualizačný reťazec

Virtualizačný reťazec predstavuje celkový proces spracovania vstupov, ich modelovania, vizualizácie a virtualizácie v rámci komplexného systému virtuálnej reality. Zjednodušenú schému virtualizačného reťazca je možné vidieť na Obr. 2.. Z hľadiska obsahu tohto článku je dôraz kladený najmä na krok 4. Samozrejme, každý z týchto krokov obsahuje ešte množstvo ďalších podkrokov, z ktorých niektoré boli v rámci projektu detailnejšie riešené. Mnohé podsekvencie tohto reťazca sú už v súčasnosti štandardné používané aj v praxi a majú svoje ustálené konvecie a normy.

Vizualizačný subsystém VR systému poskytuje hlavnú časť informácie pre pozorovateľa vo virtuálnom prostredí. Tento subsystém vypočítava obraz pre pozorovateľa vo virtuálnom svete. Pre pozorovateľa je veľmi zaujímavá fotorealistická vizualizácia, ale v súčasnosti a existujúcim hardvérom to nie je možné urobiť v reálnom čase. Fotorealistická vizualizácia je taktiež veľmi dôležitá pre umelé svety, špeciálne pre následné rozpoznávanie s metódami umelej inteligencie. Pre vizualizáciu v rámci VR systému sa najčastejšie používa vizulizačné jadro (aj Obr. 5.). Toto je často založené na sériovom využívaní informácie a v súčasnosti sú použité najmä služby GPU. Hlavnou predstavou pre implementáciu grafického systému je minimalizovať čas použitý v každom stupni pre systém reálneho času.



Obr. 2. Virtualizačný reťazec

III. ARCHITEKTÚRA SYSTÉMU

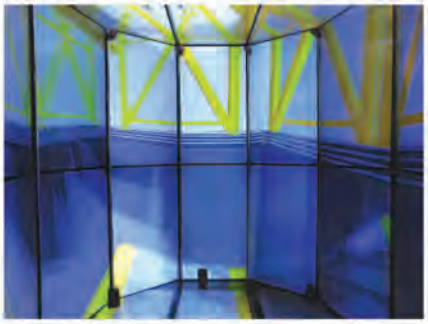
Systémy virtuálnych jaskýň obsahujú architektonicky rôzne prvky pre spájanie používateľa s virtuálnym prostredím [3]. LIRKIS CAVE pozostáva z niekoľkých základných častí aby sa dosiahol vysoký výpočtový výkon a zároveň plná softvérovo-vizualizačná podpora.

Základné časti predstavujú nasledujúce riešenia :

- Mechanické konštrukčné riešenie objektu virtuálnej jaskyne,
- Systémové hardvérové riešenie virtuálnej jaskyne a
- Programové riešenie s fokusáciou na vizualizačné schopnosti virtuálnej jaskyne.

A. Mechanické konštrukčné riešenie virtuálnej jaskyne

Každý systém virtuálnej jaskyne je špecifický konštrukčným tvarom, veľkosťou, maximálnou nosnosťou. Tvar závisí rovnako od spôsobu umiestnenia zobrazovacích zariadení. Existuje niekoľko druhov konštrukčných konfigurácií používaných celosvetovo (kocka, kváder, polguľa, polkruh). LIRKIS CAVE je konfigurovaný v tvare 6-stranného hexagónu, vyplňajúceho celú panorámu z pohľadu používateľa (Obr. 3.).

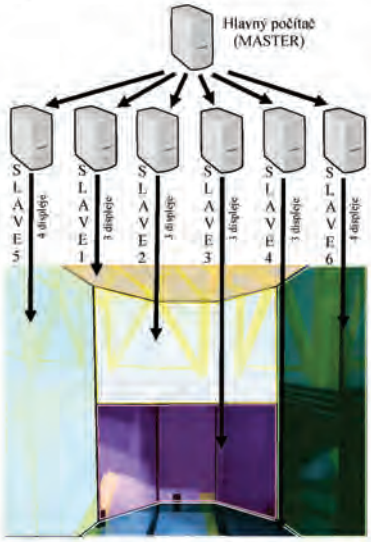


Obr. 3. Zoradenie displejov LIRKIS CAVE.

Podlaha je obložená tvrdeným sklom, ktoré umožňuje vykonávanie pohybu používateľa priamo v celom virtuálnom prostredí, ktoré ho obkolesuje zo všetkých strán. Takýto tvar je výskytom ojedinelý v Strednej Európe. Váha celej konštrukcie predstavuje hmotnosť 2,5 tony, pričom je systém fyzicky rozkladateľný a presúvateľný.

B. Systémové hardvérové riešenie virtuálnej jaskyne

Každý CAVE systém obsahuje rôzne prvky výpočtového hardvéru používaného pre zabezpečenie dostatočného výkonu a poskytovanej funkcionality. Časté výkonovo najvhodnejšie riešenia virtuálnych jaskýň predstavujú používanie klastrovej štruktúry [4]. LIRKIS CAVE obsahuje zobrazovaciu časť vytvorenú z 20 obrazoviek s rozlíšením FullHD. Prepočty systému a jeho riadenie sú závislé na počítačovom klástri, ktorý je zodpovedný za riadenie scény, interakcie používateľa a systému, vykresľovanie virtuálneho prostredia na obrazovky. Samotný kláster obsahuje 7 počítačov (uzlov), z toho jeden (Master) sprostredkúva synchronizáciu informácií a času pre ostatných šesť výpočtových uzlov (Slave) podieľajúcich sa na vykresľovaní scény (Obr. 4.). Výpočtový výkon je ovplyvnený NVIDIA QUADRO grafickými kartami pre dosahovanie vysokej kvality výstupného obrazu a efektov na scéne. Okrem hardvérových komponentov pre zabezpečenie stability vykresľovania scény je LIRKIS CAVE obohatený o sledovanie polohy pomocou technológie OptiTrack (http://www.optitrack.com/). Sledovaním polohy hlavy používateľa je možné vytvárať stereoskopický obraz generovaný v smere jeho pohľadu. Pre sledovanie polohy je používaných 8 OptiTrack kamier a modul (Marker) s obsahom 6 orientovaných bodov.

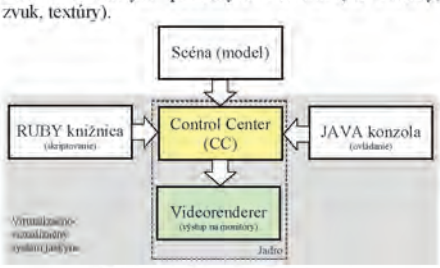


Obr. 4. Schéma vykresľovania obrazu v LIRKIS CAVE

C. Programové riešenie základných vizualizačných schopností virtuálnej jaskyne

Z pohľadu vizualizačnej stránky a vykresľovania scény je v LIRKIS CAVE implementované vizualizačné jadro

OpenSG (http://www.opensg.org/) s podporou programovacieho jazyka C/C++. Vizualizačné jadro je riadené aplikáciou ControlCenter(CC) spustenej na hlavnom (Master) počítači so zasielaním globálnych údajov 3D scény ostatným podriadeným (Slave) počítačom. Renderovanie je závislé na počítačoch Slave, spúšťaním inštancií okien podľa počtu pridelených obrazoviek každému z nich. Ostatné správanie systému v závislosti od používateľa je voliteľné aplikáciou (Java Console), ktorá sprostredkúva príkazy pre CC a ovláda jeho správanie (Obr. 5.). Scény sú obsiahnuté v balíčkoch s obsahom implementovanej funkcionality v jazyku RUBY a ostatnými potrebnými súbormi (3D modely, zvuk, textúry).



Obr. 5. Softvérové moduly systému.

IV. INTERAKCIA A VYUŽITIE VIRTUÁLNEJ JASKYNE

Systém virtuálnej jaskyne LIRKIS CAVE disponuje rôznymi možnosťami pre aplikáciu trojrozmerných scén. Výhodou takéhoto systému je operovanie s rôznymi typmi scén a podporou rôznych aktivít. Virtuálna scéna môže obsahovať rôzne prvky potrebné pre riešenie tréningovej aktivity nakoľko využíva objekty trojrozmernej scény, s možnosťou aplikovania 3D modelov podľa požiadaviek a typu aktivity (Obr. 6.). V skutočnosti je takéto používanie oproti fyzickému realizovaniu podobného prostredia časovo a finančne nenáročné, čo umožňuje nie len tvorbu virtuálnych scén, ale rovnako jej úpravu a dolaďovanie pre určené špecifikácie. Človek nachádzajúci sa v priestore LIRKIS CAVE vie interagovať s 3D scénou rôznymi spôsobmi. Okrem štandardných vstupov je dostupná platforma pre možnosti rozšírenia systému o smartfónové aplikácie s vplyvom na ovládanie virtuálnej scény [5]. Rovnako je možné používanie gyroskopov, snímačov tenzie svalov (MYO) alebo aplikácii EEG zariadenia pre sledovanie mozgovej aktivity človeka. V toku dát medzi rozhraniami a jadrom systému boli implementované tri časti, ktoré vstupujú do procesu komunikácie medzi rozhraniami a jadrom systému. Sú to tieto tri časti:

- Vstupy: sem patria vstupné a vstupno-výstupné (vstupná časť, najmä Optitrack) rozhrania spolu s vstupnými dátami,
- Výstupy: sem patria výstupné a vstupno-výstupné (výstupná časť, najmä displeje) rozhrania spolu s výstupnými dátami,
- Jadro systému.

Obr. 6. Používateľ vo virtuálnom prostredí LIRKIS CAVE s interakciou s virtuálnymi objektmi.

V prostredí virtuálnej jaskyne je možné vytvoriť interaktívne prostredie aj pre jedného používateľa (Obr. 6.) ale takisto kolaboratívne prostredie pre viacerých používateľov súčasne (Obr. 7.). Zatiaľ nevýhodou prostredia pre viacerých používateľov v prípade použitia stereoskopického efektu, je schopnosť jaskyne renderovať obraz v reálnom čase, len s ohľadom na hlavného používateľa.

Obr. 7. Viaceri používatelia v LIRKIS CAVE so zdieľaním virtuálneho prostredia

Z hľadiska využitia prostredia virtuálnej jaskyne sa črtá niekoľko možných aplikačných oblastí. V krátkosti si zosumarizujme základné aspekty využitia tejto technológie:

- Možnosť pozrieť si výslednú technológiu ešte pred samotnou realizáciou, teda možnosť „prechádzať sa" uprostred novej technológie v prípadných existujúcich priestoroch.
- Ľahké odhalenie chýb pri projekcii - chybného umiestnenia prípadne chýbajúceho konštrukčného prvku vrátane kolaboratívnej inšpekcie (napr. projektant, zástupca investora, technik BOZP, požiarnik, ekológ a pod.)
- Pre investora ľahké posúdenie a úprava pôvodného návrhu o optimálnom usporiadaní technológie ešte pred začiatkom samotnej realizácie. K projektu sa môžu pri takomto type vizualizácie vyjadrovať aj netechnici resp. môžu byť potlačené jazykové bariéry

priamom manipuláciou nad virtuálnymi objektmi pri komunikácii.

- Pohľady na projekt, ktoré v reáli nie sú možné
- V kombinácii s GPS a prípadnými mobilnými zariadeniami orientácia vo výrobnom podniku alebo ako prvok rozhrania informačného systému podniku, kde môžu byť zobrazované doplnkové informácie o objektoch (napr. evidenčné číslo, dostupnosť na sklade či zodpovednú osobu).
- Možnosť pripraviť si a natrénovať postup dopravy a montáže s ohľadom na rozmer zariadenia a dostupného priestoru
- Tréning obsluhy technológie bez potreby pobytu priamo v prevádzke. Významnou realizačnou oblasťou je aj vytvorenie virtuálneho prostredia pre tréning zamestnancov pre riadenie prevádzok, ktoré sú práve projektované. Vo virtuálnom prostredí je možné jednak zamestnanca trénovať pre budúce činnosti a jednak odhaľovať rôzne chyby systému, bezpečnostné „diery" či odskúšať aj reakcie na rôzne netypické udalosti, ktoré sa môžu vyskytnúť pri prevádzke budúceho systému.
- Rozšírené možnosti riadenie procesu montáže a kontrola kvality, test presnosti a meranie
- Tréning požiarnej ochrany, zváračský simulátor, tréning na vysokozdvižnom voziku, tréning bezpečnostých jednotiek
- Možnosť prípravy efektných prezentácií a podkladov pre budúcu reklamnú resp. investičnú kampaň.
- Netradičné edukačné prostredie vrátane napr. podpory prostredí pre prácu s hendikepovanými osobami a aj študentami štandardného vyučovacieho procesu.
- Veľmi imersívne reklamné a popularizačné kampane.

Všetky tieto aspekty môžu priniesť úspory, výška ktorých je ale závislá od mnohých činiteľov. Okrem už spomínaných riešení a systémov je dostupných v súčasnosti mnoho ďalších, či už na komerčnej alebo nekomerčnej báze.

Aj keď je v takomto rozsahu táto technológia relatívne nová, existuje veľa ďalších možností, kde sa dá využiť (armáda, medicína, komunikácia, architektúra, výuka, návrhárstvo, hry a mnoho ďalších). Využiť v armáde je možné okrem tréningu aj pri simulačných cvičeniach alebo pri údržbe a oprave vojenských zariadení. Túto technológiu je možno využiť v medicíne na zobrazovanie údajov o pacientovi (získaných neinvazívnymi metódami) priamo na jeho telo, čo uľahčuje tréning chirurgov alebo napr. rôzne experimentálne rehabilitačné postupy napr. u kognitívne postihnutých pacientov. Ďalšou aplikačnou oblasťou sú komunikačné technológie, kde je možné vykonávať „telefonický" rozhovor pri prechadzke s avatarom volajúceho v prostredí jaskyne (tzv. teleprezencia). Na toto nadväzuje možnosť vzdialenej kooperácie.

V súčasnosti je bežné, že na komplexných projektoch pre zákazníka už nepracuje iba jeden človek, ale viacerí a často krát sa stáva, že na projekte sa podieľajú dokonca celé tímy dizajnérov. Projekt je rozdelený na viac častí, ktoré sú rozdelené medzi tímy. Niekedy sa môže stať, že klient chce vidieť už hotový prototyp, alebo v akom štádiu je daný projekt. Ak návrh ešte nie je hotový, alebo sú hotové iba jeho časti, mohol by nastať problém. Tu virtuálna realita v podobe virtuálnej jaskyne prichádza s riešením tohto problému. Ak by konferenčná miestnosť tvorilo vlastne prepojenie viacerých virtuálnych jaskýň, je možné prototyp alebo jeho časti imersívne zdieľať. Klienti by tak mohli preskúmať prototyp rovnako ako aj všetky jeho aspekty podrobnejšie. Pomocou interakcie s virtuálnymi objektami by mohli pozmeniť, odstrániť alebo vložiť niektoré jeho časti. To by umožnilo pôsobivú interakciu v reálnom čase. Zmeny a úpravy by sa neskôr odzrkadlili v návrhu. Nadväzujúcou aplikačnou oblasťou je architektúra a stavebný priemysel. Klient môže vidieť svoj navrhnutý dom napr. priamo zasadený do reálneho sveta a prechádzať sa v jeho reálnom okolí. A to všetkom predtým, ako sa na reálnej stavbe urobí vôbec prvý krok.

V. Záver

Výhodou aplikácie virtuálnych prostredí vo forme opisovanej virtuálnej jaskyne je vytvorenie virtuálnej scény bez potreby zámeny fyzického priestoru, čo zlepšuju fexibilitu v akomkoľvek prostredí [7]. LIRKIS CAVE je systém podporujúci rovnako vizualizačné ako aj tréningové, edukačné, rehabilitačné či reklamné aktivity. Výhodou systému je možnosť nasadenia viacerých osôb do virtuálnej scény naraz, čo zlepšuje asistenciu v rôznych prípadoch pracovnej, konštrukčnej, medicínskej, hernej či sociálnej spolupráce ľudí. Takto je možné vykonávanie rôznych aktivít bez výrazných obmedzení kolaborácie dvoch alebo viacerých ľudí v reálnom čase [8]. Rozširovanie 3D scén za účelom zlepšenia príslušnej činnosti prispieva k hľadaniu rôznych riešení a dopĺňaniu podpory systému o nové zariadenia a rozširuje špecifikáciu jeho použitia [9]. LIRKIS CAVE je otvorený pre riešenie problémov rôzneho typu a tak predstavuje unikátne zariadenie minimálne v regione Slovenskej republiky.

Poďakovanie

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Referencie

[1] Sobota, B.; Hrozek, F.: Virtuálna realita a jej technológie, vol. 1, Košice : TU, 2013, ISBN 978-80-553-1500-3

[2] Hudák, M., Korečko, Š., Sobota, B. : "On Architecture and Performance of LIRKIS CAVE System", in 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, Debrecen, 2017, pp. 295-300.

[3] Tzanavari, A., Christou, C., Herakleous, K. and Poullis, C. : Studying Children's Navigation in Virtual Reality. In International Conference on Learning and Collaboration Technologies, 2016, pp. 187-197.

[4] Bogdanov, A.V., Ivashchenko, A.I., Milova, E.A. and Smirnov, K.V. "Construction of visualization system for scientific experiments." (2016).

[5] George, P. : "Evaluation of Smartphone-based interaction techniques in a CAVE in the context of immersive digital project review." IS&T/SPIE Electronic Imaging, The Engineering Reality of Virtual Reality 2014. Vol. 9012. SPIE, 2014.

[6] Sobota, B., Hrozek, F., Korečko, Š., Szabó, Cs.: Virtual reality technologies as an interface of cognitive communication and

information systems / , 2011. In: CogInfoCom 2011 : 2nd International Conference on Cognitive Infocommunications : 7-9 July, 2011, Budapest, Hungary., Budapest : University of Technology and Economics, 2011 P. 1-5., ISBN 978-963-8111-78-4.

[7] Wittmann, F., Held, J.P., Lambercy, O., Starkey, M.L., Curt, A., Höver, R., Gassert, R., Luft, A.R. and Gonzenbach, R.R. : Self-directed arm therapy at home after stroke with a sensor-based virtual reality training system. Journal of neuroengineering and rehabilitation, 13(1), 2016, p.75.

[8] B. Sobota, Š. Korečko, P. Pastornický and L. Jacho: Education Process and Virtual Reality Technologies. In: ITRO - in A journal for information technology, education development and teaching methods of technical and natural sciences., vol. 1, no. 1, 2016, p. 286-291.

[9] Howard, M.C. : A meta-analysis and systematic literature review of virtual reality rehabilitation programs. Computers in Human Behavior, 70, 2017, pp.317-327.

Analytické nástroje pre podporu rôznych typov procesov

J. Paralič, P. Butka, M. Sarnovský, F. Babič , P. Bednár, V. Gašpar, L. Nyulászi, M. Muchová, M. Mikula, M. Smatana, M. Vadovský, Z. Pella

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, 04001 Letná 9, Košice, Slovensko

{jan.paralic, peter.butka, martin.sarnovsky, frantisek.babic, peter.bednar, vladimir.gaspar, ladislav.nyulaszi, miroslava.muchova, martin.mikula, miroslav.smatana, michal.vadovsky, zuzana.pella}@tuke.sk

***Abstrakt* – V dnešnej dobe sa efektívne spracovanie a analýza rôznych dátových vzoriek stáva dôležitým prostriedkom na získanie konkurenčnej výhody na trhu. Našou motiváciou pri návrhu a implementácii rôznych analytických nástrojov v rámci našej softvérovej a hardvérovej platformy ako celku je poskytnúť ľahko použiteľné metódy a algoritmy na efektívne ukladanie, spracovanie a analýzu rôznych dátových vzoriek opisujúcich rôzne typy procesov. Cieľom je nielen podpora skúsených používateľov, ale aj podpora používateľov s menšími skúsenosťami s IT a dátovou analýzou. Aj preto v rámci nášho pilotného projektu vznikajú rôzne analytické nástroje s podporou algoritmov strojového učenia, spracovania veľkých dát, pričom dôraz sa kladie aj na rozhrania pre používateľov a riešenie špecifických úloh v rôznych procesných doménach. V tomto príspevku na začiatku zhrnieme rôzne oblasti a problémy, ktorým sme sa venovali, následne stručne popíšeme niektoré vybrané príklady analytických nástrojov vytvorených v rámci našej výskumnej skupiny.**

***Kľúčové slová* – analýza dát, veľké dáta, analytické nástroje, dolovanie dát, strojové učenie, IT podpora**

I. Úvod

Pilotný projekt PP4 aktivity A3.1 univerzitného parku Technicom sa zameriava na aplikovaný výskum a softvérový vývoj analytických nástrojov podpory rôznych typov procesov. Dostupná hardvérová infraštruktúra vytvorená v rámci projektu tvorí dôležitú súčasť navrhnutých aplikácií, pričom jej vznik vychádza zo skúseností získaných v medzinárodných a národných projektoch realizovaných našou výskumnou skupinou.

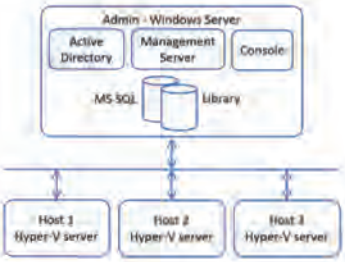
V rámci predchádzajúcej konferencie zameranej na prezentáciu pilotných projektov univerzitného parku Technicom už boli prezentované niektoré z výsledkov projektu [1], zamerané na tvorbu platformy spracovania veľkých kolekcií textových dokumentov, analýzu transakčných dát, analýzu webových diskusií, alebo podporu analýzy medicínskych dát o pacientoch. V rámci týchto oblastí sme pokračovali ďalej v skúmaní nových možností, ako aj v tvorbe nástrojov a služieb IT podpory v daných oblastiach [2]. Okrem toho sme v rámci dostupných hardvérových zdrojov, ako aj v spolupráci v rámci ďalších existujúcich projektov, realizovali výskum aj v ďalších zaujímavých doménových oblastiach. V rámci tohto príspevku predstavíme niektoré z novo navrhnutých aplikácií a služieb. Predtým však stručne zhrnieme aktuálne portfólio vyvinutých nástrojov a realizovaného výskumu v nasledujúcom prehľade, ktorý predstavuje prehľad prípadových štúdií skúmaných v rámci PP4:

- Platforma pre efektívne ukladanie, manažment a analýzu veľkých množín textových dokumentov [3], s použitím výpočtovej platformy privátneho cloudu. To zahŕňa služby pre predspracovanie, klasifikáciu, zhlukovanie dokumentov, detekciu tém, analýzu sentimentu, atď. Tieto môžu byť flexibilne vyberané a kombinované podľa potrieb používateľa a jeho cieľov.
- Nástroj pre analýzu transakčných dát z elektronických obchodov, vrátane poskytovania odporúčaní používateľovi na základe analýzy predchádzajúcich nákupov s podobnými charakteristikami [4].
- Nástroj pre analýzu textových dát z webových diskusií pre identifikáciu spokojnosti zákazníkov s daným produktom alebo identifikáciu hlavných tém diskutovaných o danom produkte, vrátane analýzy sentimentu.
- Nástroje pre analýzu anonymizovaných medicínskych dát reprezentujúcich biomedicínske údaje a charakteristiky pacientov vo forme pravidiel [5][6], ktoré je možné ľahko pochopiť, interpretovať a aplikovať. To zahŕňa tak všeobecné nástroje pre podporu využitia strojového učenia na používateľom špecifikovaných dátových množinách o pacientoch, ako aj špecificky vytvárané nástroje pre konkrétnu podporu v oblasti diagnostiky kardiovaskulárnych chorôb, skúmania metabolického syndrómu, či rôznych neurologických ochorení (Parkinsonova choroba, spánkové problémy, atď.).
- Nástroje pre analýzu dát zo sociálnych sietí (Twitter), čo zahŕňa návrh a implementáciu platforiem na báze technológií spracovania veľkých dát, s cieľom analyzovať frekvenciu príspevkov v čase, podľa lokalizácie, jazyka, obsahu a tém. Podstatou je pritom použitie metód strojového učenia a dátovej analytiky, ako aj návrh vizualizačných metód.
- Nástroje pre analýzu rôznych doménovo-špecifických úloh pre technickú a ekonomickú

prax, testovanie možností nasadenia takýchto postupov v konkrétnych oblastiach, napríklad analýza vozidlového parku pre efektívnejšie využitie vozidiel v logistickej firme, analýza zločinnosti pre efektívnejšie fungovanie služobných jednotiek, či analýza logov incidentov v rámci manažmentu IT prostredia.

- Metódy a nástroje pre analýzu sentimentu slovenských dokumentov s použitím slovníkových aj štatistických metód.
- Metódy a nástroje pre podporu vybraných procesov fyzikálneho a technického vedeckého výskumu, a to v oblastiach ako sú riadenie a diagnostika leteckých motorov, či analýza dát z oblasti astrofyziky a geofyziky.
- Rôzne nástroje pre využitie nositeľných a smart zariadení v aplikačnej podpore, ako aj v analýze dát ktoré takéto zariadenia generujú o používateľovi.

Analytické nástroje boli podľa potreby realizované v rámci infraštruktúry, ktorá bola vytvorená zložením tak hardvéru získaného v rámci pilotného projektu PP4, avšak významnú časť vytvoreného cloud prostredia tvoria aj ďalšie hardvérové zdroje z rôznych časových období a grantových zdrojov. Aktuálne dostupná architektúra predstavuje zostavu 10 serverov, celkovo 156 CPU, 724 GB RAM, 6 TB kapacity lokálnych diskov v rámci serverov, ako aj 30 TB v rámci diskového úložiska (NAS). Architektúra je aktuálne spravovaná a poskytovaná s použitím virtualizácie na báze Hyper-V technológie. Štruktúru virtualizácie je možné vidieť na Obr.1. Nad touto základnou virtualizovanou architektúrou bola vytvorená platforma pre spracovanie veľkých dát s použitím technológií ako Apache Hadoop, Apache Spark, Impala, HBase, H2O, Mahout, MLib, či iné podľa potreby jednotlivých subprojektov (analytických nástrojov alebo prípadových štúdií).



Obr.1. Diagram (schéma) virtualizácie v rámci vytvorenej infraštruktúry.

V nasledujúcej kapitole si predstavíme niektoré z nich v rámci vybraných prípadových štúdií (analytických nástrojov) v jednotlivých podkapitolách.

II. Popis vybraných analytických nástrojov

A. *Analýza dát zo sociálnej siete Twitter*

V rámci tejto časti si predstavíme dva analytické nástroje vytvorené nad dátami zo sociálnej siete Twitter, ktoré boli realizované v rámci našej infraštruktúry.

Prvý analytický nástroj je postavený na použití RHadoop balíka. Riešenie prepája prostredie jazyka R a vizualizačnej vrstvy postavenej na web serveri RShiny s technológiou Apache Hadoop. V tomto prípade bolo našou snahou realizovať napojenie dát, ich spracovanie a vizualizácie od najnižšej úrovne Hadoop prostredia až po použitie základných prostriedkov vizualizácie v rámci web aplikácie v R (na báze Rshiny rozhrania). Tento prístup by sme mohli vnímať ako zdola-nahor, t.j. budovanie analytického nástroja skladaním základných technológií dostupných v rámci daného prostredia.

RHadoop je kolekcia piatich R balíkov určených pre podporu spracovania veľkých dát a riešenie analytických úloh v prostredí R. RHadoop je kompatibilný s rôznymi distribúciami Hadoop rámcov ako Cloudera, Hortonworks, či distribúciou Apache Hadoop. Z piatich balíkov RHadoop sme pri tomto analytickom nástroji primárne využili nasledujúce tri, ktoré si môžeme stručne charakterizovať:

- rhdfs – poskytuje základnú konektivitu na distribuovaný Hadoop súborový systém (HDFS), s použitím rhdfs môže vývojár pracovať s dátami na báze HDFS, pričom môže manipulovať so súbormi, meniť ich obsah, prístupové práva, modifikovať adresárovú štruktúru a poskytovať informácie o súboroch a adresároch;
- rmr2 – poskytuje súbor funkcií pre zápis R funkcií ako MapReduce úloh spustiteľných v Hadoop prostredí;
- plyrmr – balík implementujúci funkcie pre prácu s dátovými rámcami syntaktícky rovnakým spôsobom ako s klasickými dátami, pričom samotné operácie sú optimalizované na použitie veľkých dát uložených v Hadoop klastri;

Architektúra navrhnutého riešenia je na Obr.2, kde vidíme že Hadoop klaster bol použitý na ukladanie dát pre spracovanie analytických funkcií napísaných v R. Predspracovanie a analytické metódy boli implementované s použitím RHadoop funkcií, ktoré umožnili realizovať spracovanie použitím MapReduce paradigmy. Následne bol použitý Rshiny rámec pre implementáciu používateľského rozhrania a vizualizácií.

Obr.2. Architektúra analytického nástroja na báze RHadoop.

Ako vstupné dáta pri implementácii aj testovaní nástroja boli použité Twitter správy vyextrahované

z oblasti New Yorku a New Jersey o veľkosti cca 700 tisíc záznamov s 30 atribútmi. Tieto mohli obsahovať údaje o samotnom obsahu, ale aj metadáta ako napríklad čas vytvorenia tweetu, či miesto vytvorenia (zemepisné súradnice).

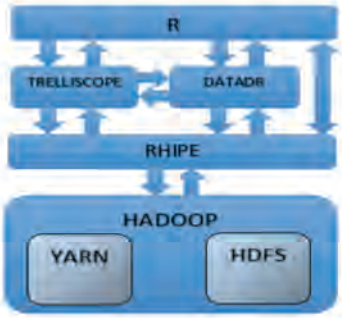
Následne sme s použitím RHadoop balíkov a ďalších balíkov pre vizualizačné potreby (ggmap, ggplot, wordcloud) realizovali vybrané analytické funkcie, spolu s príslušným rozhraním pomocou Rshiny rámca:

- Analýza frekvencie tweetov a ich lokácii v danom čase / období;
- Wordcloud tweetov;
- Sledovanie pohybu ľudí podľa lokalizácie a časovej následnosti tweetov;
- Štatistické analýzy tweetov v priebehu dňa a vzhľadom k miestam výskytu.

Príklad vizualizácie frekvencie tweetov v rámci New Yorku môžeme vidieť na Obr.3.

Obr. 3. Vizualizácia frekvencie tweetov podľa ich lokalizácie.

Druhý analytický nástroj bol postavený na rozsiahlejšom balíku pre spracovanie veľkých dát v R s názvom Tessera. Tento poskytuje vlastné rozhranie pre vizualizáciu výsledkov analýzy (Trelliscope), má takisto vlastné rozhrania na Apache Hadoop a ďalšie potrebné technológie. V tomto prípade bolo našou snahou primárne overiť možnosť adaptácie rozsiahlejšieho nástroja. V zásade sme sa tak snažili otestovať možnosti tvorby analytického nástroja prístupom, ktorý môže byť charakterizovaný ako zhora-nadol, t.j. budovanie analytické nástroja v rámci rozsiahlejšieho softvérového produktu jeho špecifickou adaptáciou.



Obr. 4. Architektúra analytického nástroja na báze rámca Tessera.

Podobne ako v prípade RHadoop si môžeme predstaviť architektúru navrhnutého analytického nástroja na báze rámca Tessera, ktorú vidíme aj na Obr.4. Vytvorené R funkcie sa aplikujú na rozdelené dáta pomocou datadr. Pri tejto aplikácii R funkcií datadr vyšle požiadavku na spracovanie balíku Rhipe. Rhipe prevezme používateľom definované nastavenia Hadoopu pre danú úlohu a upraví podľa nich nastavenia. Následne pošle požiadavku na MapReduce operáciu Hadoopu. Yarn alokuje zdroje podľa nastavení, ktoré dostal od balíka Rhipe. Vezme dáta, ktoré sú uložené v HDFS a započne Map operácie. Počas mapovania ukladá medzivýpočty do HDFS a potom pri finálnom mapovaní vezme všetky medzivýpočty a spojí ich do jedného celku. Následne sa realizuje redukčná fáza spájajúca výsledok MapReduce postupu. Výsledok sa ukladá do HDFS. Hadoop následne odošle potvrdenie o spracovaní a výsledok do Rhipe.

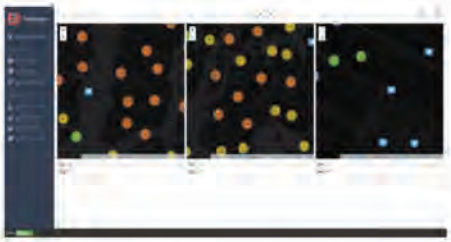
Z hľadiska vstupov boli použité rovnaké dáta ako v prípade analytického nástroja postaveného na báze RHadoop. Pri finálnej vizualizácii boli použité možnosti zobrazenia za pomoci balíka Trelliscope, ktorý sa zameriava na zrozumiteľné a efektívne zobrazovanie veľkého množstva grafov. Výsledkom bolo opäť niekoľko analytických funkcií:

- Vizualizácia početnosti tweetov v New Yorku pomocou knižnice Rbokeh.
- Vizualizácia početnosti tweetov podľa lokality v New Yorku pomocou knižnice Leaflet.
- Vizualizácia popularity najpoužívanejších Twitter účtov.
- Vizualizácia najpopulárnejších hashtag slov.

Príklad výstupov môžeme vidieť na nasledujúcich obrázkoch Obr.5 a Obr.6. V oboch prípadoch si môžeme všimnúť systém zobrazovania väčšieho množstva grafov s použitím Trelliscope rozhrania, ktoré umožňuje následne v jednotlivých podgrafoch uplatniť rôznorodé typy zobrazení s pomocou ľubovoľných dostupných javascript knižníc. V prvom prípade tak môžeme vidieť vizualizácie zmien popularity príspevkov jednotlivých Twitter účtov (používateľov) v čase.

Obr. 5. Vizualizácia popularity príspevkov používateľov v čase.

V druhom prípade (Obr.6.) zase môžeme vidieť geograficky lokalizovanú vizualizáciu početností tweetov v rámci oblastí New Yorku v rôznych dňoch realizovaných interaktívnou knižnicou Leaflet.



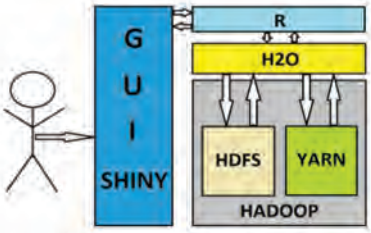
Obr. 6. Vizualizácia frekvencie tweetov vzhľadom k ich lokalizácii a rôznym dňom v týždni.

B. Analýza dát o kriminalite – predikcia typu zločinu

Ďalšou významnou oblasťou je aplikácia metód strojového učenia v spracovaní veľkých dátových množín. Ako príklad si uvádzame ďalšiu riešenú úlohu a výsledný nástroj zameraný na predikciu typu zločinu vychádzajúcej z analýzy dát o kriminalite v San Franciscu. Dáta boli spracovávané a analyzované použitím súčasných technológií pre analýzu veľkých dát, pričom bolo použité prepojenie jazyka R, rámca Hadoop a knižnice H2O poskytujúcej algoritmy strojového učenia.

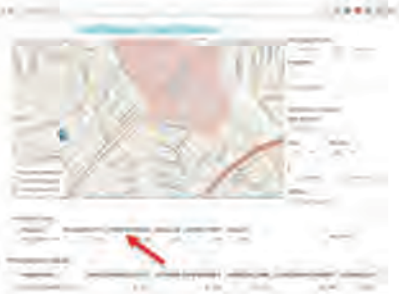
Vstupné dáta, dostupné v rámci portálu Kaggle (http://www.kaggle.com), predstavovali údaje o zločinoch z územia San Francisca. Cieľom analytického nástroja je čo najpresnejšie odhadnúť typ zločinu ktorý by sa mal udiať. Prediktor bol postavený na trénovacej množine viac ako 800 000 zločinov, následne testovaný na podobne veľkej testovacej množine.

Architektúra navrhnutého riešenia v klastrovom prostredí je zobrazená na Obr.7. Používateľ pristupuje na webové rozhranie RShiny, ktoré poskytuje používateľské rozhranie pre interakciu s používateľom. Rozhranie komunikuje s H2O na Hadoop klastri, odkiaľ číta modely. Po zadaní príkazu v R prostredí na vytvorenie nového modelu, sa požiadavka odošle na H2O klaster, ktorý na Hadoope prostredníctvom modulu Yarn vykoná modelovanie dát. Dáta predtým musia byť načítané na H2O klastri, či už z HDFS alebo z lokálneho súboru.



Obr. 7. Architektúra analytického nástroja pre predikciu typu zločinu s využitím rámca pre strojové učenie H2O.

Na vybraných dátach boli vytvorené klasifikačné modely implementované v H2O, v klastrovom prostredí. Vyhotovené modely boli vyhodnocované a porovnávané medzi sebou. Testované boli rôzne prístupy ako metóda naivného Bayesovského klasifikátora, hlboké učenie, GBM (Gradient Boosting Machine), náhodné stromy. Najlepší model typu GBM bol následne použitý v aplikácii na klasifikáciu a vizualizáciu cieľového atribútu. Príklad vizualizácie klasifikácie neznámeho typu incidentu je možné vidieť na Obr.8.



Obr. 8. Vizualizácia klasifikácie neznámeho typu incidentu.

Analytický nástroj okrem predikcie neznámej kategórie ponúka aj vizualizáciu trénovacej množiny, napríklad detailný náhľad na konkrétny prípad zločinu z dátovej množiny na mape (viď. Obr.9.).

Obr. 9. Detailný pohľad v rámci vizualizácie trénovacej množiny zločinnosti v San Franciscu.

C. Analýza medicínskych dát – podpora diagnostiky

Medicínska diagnostika predstavuje komplexný proces, v rámci ktorého je potrebné zvážiť množstvo vstupných parametrov a vzťahov medzi nimi. Evidencia pacienta alebo tzv. lekárska karta obsahuje často množstvo informácií, ktoré boli použité na určenie správnej liečby konkrétnych chorôb, ale v niektorých prípadoch bolo potrebné zvážiť aj potenciálne ukryté závislosti medzi identifikovanými príznakmi a možnými ochoreniami. Cieľom objavovania znalostí v medicínskych dátach je hľadať práve vzory a znalosti, ktoré by pomohli k včasnej diagnostike rôznych chorôb v súčinnosti s lekármi. Výsledný systém na podporu diagnostiky nemá ambíciu nahradiť lekára. Naopak, jeho hlavnou úlohou je poskytnúť mu informácie, na základe ktorých sa bude môcť správne rozhodnúť.

V rámci našej výskumnej skupiny je alebo bolo realizovaných viacero podporných nástrojov pre medicínsku diagnostiky v oblasti kardiovaskulárnych chorôb, metabolického syndrómu, či neurologických ochorení. Okrem špeciálne navrhnutých rozhraní a modelov bol súčasťou riešených úloh aj návrh zovšeobecneného rozhrania pre aplikáciu metód strojového učenia na vybranú databázu medicínskych dát o pacientoch. Vznikol tak všeobecne použiteľný nástroj pre spracovanie existujúcich množín, ako aj prácu so vstupnými dátami, zadávanie nových údajov, ale najmä realizáciu experimentov s algoritmami strojového učenia pre určenie dôležitých elementov v diagnostike skúmanej množiny pacientov s danou chorobou.

Pri vytváraní systému boli identifikované požiadavky, ako aj navrhnuté a implementované metódy v R a príslušné grafické používateľské rozhranie pomocou rámca Rshiny. Používateľ si môže načítať vlastnú množinu, alebo si vyberie (pre potreby prvotného zoznámenia sa so systémom) jednu z už pripravených dátových množín (*demo datasets*). Cieľový atribút pre predikciu by mal byť binárny, nakoľko sa zameriavame na to, či pacient má alebo nemá danú chorobu. Ukážka úvodnej obrazovky rozhrania je na Obr.10.

Obr. 10. Ukážka úvodnej obrazovky systému pre podporu medicínskej diagnostiky.

Po zvolení všetkých základných nastavení si používateľ môže prezerať základné štatistické ukazovatele o jednotlivých atribútoch, prípadne si zobraziť všetky dáta v tabuľke. Zobraziť sa dajú aj jednotlivé vzťahy medzi atribútmi pomocou korelačného diagramu. Dôležitou časťou aplikácie je záložka zameraná na modelovanie (*Model*), kde je možné si zvoliť metódy strojového učenia. Aktuálne sú k dispozícii J48 (verzia C4.5), LMT, CART a k-najbližších susedov. Príklad rozhrania výberu metódy a nastavení pre jednu z nich je na Obr.11.

Obr. 11. Príklad výberu a nastavenia algoritmu strojového učenia v nástroji pre podporu medicínskej diagnostiky.

Zoznam dostupných metód v aplikácii je možné relatívne jednoducho v budúcnosti doplniť. Výhodou rozhodovacích stromov je možnosť zobraziť vytvorený strom a tak jednoduchšie pochopiť celý proces klasifikácie. Použitie týchto metód si vyžaduje rozdelenie dát na trénovaciu a testovaciu množinu, v aplikácii je možné tento pomer nastaviť v troch rôznych variantoch: 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40. Príklad vytvoreného modelu rozhodovacieho stromu môžeme vidieť na Obr.12.

Obr. 12. Príklad zobrazeného výpisu rozhodovacieho stromu.

Na základe vytvorených modelov je následne možné diagnostikovať novo pridaný prípad (viď. rozhranie na Obr.13). Používateľ tak zistí, aká je pravdepodobnosť pozitívnej resp. negatívnej diagnózy. Tento novo-pridaný prípad potom bude možné uložiť k aktuálne používaným dátam a po opätovnom načítaní dát bude súčasťou vytvoreného modelu pre ďalšiu diagnostiku, čo zvyšuje pravdepodobnosť úspechu diagnostiky.

Obr. 13. Ukážka možnosti zadávania údajov o novom pacientovi.

III. ZÁVER

V tejto práci sme stručne zhrnuli rôzne prípadové štúdie skúmané v rámci nášho pilotného projektu, predstavujúce riešené analytické úlohy, ako aj navrhnuté a implementované analytické nástroje pre IT podporu rôznych typov procesov. Okrem procesného pohľadu je jedným z dôležitých zámerov aj využitie metód z oblasti analýzy veľkých dát, preto sme sa zameriavali aj na využitie softvérovej a hardvérovej podpory spracovania veľkých dát.

Niektoré z príkladov analytických nástrojov sme následne predstavili trochu podrobnejšie, konkrétne dva prípady navrhnutých nástrojov pre analýzu príspevkov zo sociálnej siete Twitter, nástroj pre predikciu zločinnosti, ako aj jednoduchý nástroj poskytujúci analýzu vzoriek dát

o pacientoch použitím metód klasifikácie z oblasti strojového učenia pre podporu medicínskej diagnostiky.

Poďakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj, pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM, fáza II. ITMS: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Tento projekt je financovaný Európskou úniou.

Referencie

[1] Paralič, J. et al., "IT tools and services for analyses of different types of processes", In: UVP Technikom. - Košice : Elfa, pp. 27-31, 2015.

[2] Paralič, J. et al., "IT services for analyses of various data samples", In: WIKT 2015, Košice, pp. 82-86, 2015.

[3] Sarnovský, M., Butka, P., Bednár, P., Babič, F., Paralič, J., "Analytical platform based on Jbowl library providing text-mining services in distributed environment", In: Lecture Notes in Computer Science: Information and Communication Technology. Vol. 9357 (2015), Proceedings of Int. Conf. on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems - CONFENIS, within 23rd IFIP World Computing Congress, Oct. 4th – 7th, 2015, Daejeon, Korea, pp. 310-319, 2015.

[4] Bańas, D., Havrilová, C., Paralič, J., "Combination of User Profile Information and Collaborative Filtering in Recommendations", In: Proceedings of IEEE 19th International Conference on Intelligent Engineering Systems – INES 2015, Sept. 3-5, 2015, Bratislava, Slovakia, pp. 359-363, 2015.

[5] Babič, F., et al., "On Patient's Characteristics Extraction for Metabolic Syndrome Diagnosis: Predictive modelling based on Machine Learning", In: Lecture Notes in Computer Science, Springer International Publishing, Vol.8649, pp. 118-132, 2014.

[6] Babič, F., Olejár, J., Pella, Z., Paralič, J., "Predictive and descriptive analysis for heart disease diagnosis", In: Annals of Computer Science and Information Systems: Federated Conference on Computer Science and Information Systems 2017. - Varšava: Polskie Towarzystwo Informatyczne, Vol. 11, pp. 155-163, 2017.

Implementácia nových riešení a služieb pri doručovaní multimediálneho obsahu a dát v IP sieťach

F. Jakab, P. Feciľak, M. Michalko, O. Kainz, A. Deák, a R. Vápeník
Katedra počítačov a informatiky/FEI, Košice, Slovensko
frantisek.jakab@cnl.sk, peter.fecilak@cnl.sk, miroslav.michalko@cnl.sk, ondrej.kainz@cnl.sk, ales.deak@cnl.sk, roman.vapenik@cnl.sk

Abstrakt **– Príspevok je venovaný stručnému opisu výsledkov riešenia čiastkových výskumných úloh, ktoré boli riešené v rámci Aktivity 3.1, pilotný projekt 5 (PP5). Riešené úlohy boli tematicky zamerané na oblasť spracovania multimediálnych informácií a doručovania multimedialného obsahu prostredníctvom pokročilých streamingových technológií, na oblasť poskytovania nových služieb doručovania obsahu, na nové služby na báze Internetu vecí, s dôrazom na spracovaniu a prenosu údajov v smart-gridových infraštruktúrach energetických sietí v kontexte vyhodnocovania neštandardných a anomálnych situácií. Realizované činnosti boli v súlade so súčasnými poznatkami v daných oblastiach a parciálne verifikované na lokálnej laboratornej infraštruktúre Laboratória počítačových sietí na Katedre počítačov a informatiky, Technickej univerzity v Košiciach.**

Kľučové slova **– streaming, OpenCV, IoT, SmartMetering**

I. Úvod

Moderné technológie zjednodušujú a zrýchľujú prenos dát čím umožnili nárast nových služieb, ako napríklad streaming videa vo vysokom rozlíšení, či prepojenie veľkého množstva senzorov a ich analytiku v kontexte Internetu vecí.

A. Streamingová infraštruktúra

Streaming je často definovaný ako nepretržitý tok dát, ktorý umožňuje príjemcovi získať obsah ako video, zvuk takmer okamžite a bez prerušenia. Navyše s nárastom prenosových rýchlosti zároveň rastie prenos vysoko kvalitných obrazových prenosov, ich analýza v reálnom čase a nasadzovanie na čoraz výkonnejšie koncové (i mobilné) zariadenia. Princíp živého vysielania je založený na kódovaní zdrojového obrazu, napríklad z kamery a jeho následnej redistribúcie prostredníctvom Internetu s využitím streamingových serverov. Príkladom sú napr. riešenia ako Adobe Flash Server, Red5, Wowza Streaming Engine, a pod. Využívaná je cela rada protokolov zabezpečujúcich signalizáciu pre zriadenia spojenia, komprimáciu a enkapsuláciu dát, či následný prenos v IP sieťach s istou definovanou spoľahlivosťou, či prioritizáciou dát [1].

Samostatnou kapitolou pri streamingoch je istý stupeň zabezpečenia obsahu, ktorý je často chápaný vo viacerých rovinách. Jednou z nich je identifikácia a následná autentifikácia žiadateľa o prístup k obsahu, následne ochrana samotného video obsahu, či šifrovanie údajov počas samotného prenosu. Aplikácia týchto rôznych stupňov zabezpečenia bola predmetom výskumu a vývoja v rámci aktivity PP5.

B. Identifikácia objektov v obraze

S nárastom dostupného výpočtového výkonu je možné živé vysielané video v sieti nielen distribuovať, ale i spracovávať – napr. identifikovať objekty, ktoré sú súčasťou prenášanej sekvencie. Mimoriadnej obľube sa tešia riešenia na báze OpenCV, keďže ide o voľne šíriteľnú knižnica používanú k vytváraniu aplikácií počítačového videnia a strojového učenia. Knižnica obsahuje rozhrania pre C++, Python, Java a MATLAB a je kompatibilná s operačnými systémami Windows, Mac OS, iOS, Linux a Android. Knižnica sa využíva pre detekciu, identifikáciu a rozpoznávanie objektov v obraze, sledovanie trajektórií objektov, analýzu videa alebo obrazu a ich transformácie, vytváranie 3D modelov, rozpoznávanie scény a vytváranie rozšírenej reality a stále viac v aplikáciách spracovávajúcich video v reálnom čase.

C. Neintruzívne monitorovanie záťaže v SmartMeteringovom systéme

Publikácia [6] uvádza metódu na rozdelenie elektrického profilu tým, že preskúmala len odtlačok profilu spotrebiča v agregovaných údajoch celej domácnosti. Výhoda metódy spočíva v tom, že údaje sú zbierané z celého objektu a nie je nutný zásah do vnútornej inštalácie danej budovy. Cieľom je rozdeliť agregovaný profil objektu na menšie zložky, ktoré môžu byť priradené spotrebičom. Zdroj [7] uvádza matematickú formuláciu problému:

$$P(t) = p1(t) + p2(t) + ::: + pn(t);$$

kde

- P(t) je agregovaný výkonový profil na vstupnom bode meracieho zariadenia v čase t,
- pi je výkonový profil jednotlivých spotrebičov,
- n je celkový počet aktívnych spotrebičov v čase t.

Grafické znázornenie matematického zápisu je možné vidieť" na Obrázku 1, kde je napríklad v čase 20 minút agregovaný výkonový profil tvorený súčtom výkonového profilu ohrievača a mixéra. Identifikácia spotrebiča je veľmi závislá od jeho odtlačku, ktorý je charakteristický pre danú kategóriu spotrebiča. Zdroj [7] uvádza kategorizáciu spotrebičov na základe prevádzkových stavov:

- Typ I – spotrebiče iba s dvomi stavmi prevádzky (zapnutý – vypnutý), napríklad žiarovka.

- Typ II – viac stavové spotrebiče s konečným počtom stavov, ktoré sa označujú tiež ako Finite State Machines (FSM), napr. práčka.
- Typ III – spotrebiče z premenlivým výkonovým profilom bez opakujúcich sa vzorov, tiež sa nazývajú ako Continuously Variable Devices (CVD), napr. vŕtačka alebo stmievač svetiel.
- Typ IV – spotrebiče, ktoré sú permanentne zapnuté a spotrebúvajú energiu o konštantnej veľkosti, preto sa tiež označujú Permenant Consumer Devices, napr. network router.

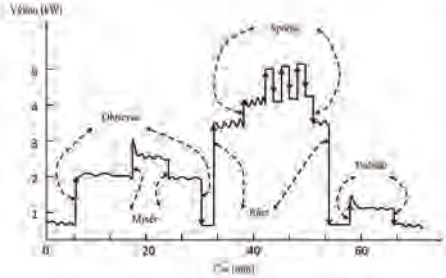


Figure 1. Výkonový profil z jedného meraného bodu

II. ARCHITEKTÚRA STREMINGOVEJ PLATFORMY

Dôležitým parametrom pre nasadzovanie služieb v oblasti doručovania streamingovej vo vysokej kvalite s vysokou mierou škálovateľnosti bola voľba vhodného hardvérového a softvérového riešenia. Ako základ pre implementáciu služieb bolo využitie cloudovej infraštruktúry projektu TECHNICOM umiestnenej na Ústave výpočtovej techniky TUKE.

Softvérové riešenie je založené na Wowza streaming serveri, ktoré je implementovaný vo forme viacerých inštancii, medzi ktorými je implementované vyvažovanie záťaže. Táto funkčnosť umožňuje paralelne obslúžiť veľké množstvo koncových bodov pri zachovaní vysokej kvality (rozlíšenia) prenášaného obsahu. Pri video analytike obsahu sa však zvyčajne video zmenšuje na menšie rozlíšenia, nakoľko cieľom je spracovávať ich s minimálnym oneskorením v reálnom čase [1].

Video architektúra podporu streaming vo viacerých protokoloch, vrátane viacerých mobilných platforiem. Výhodou je tak možnosť vytvárania špecifických playlistov na základe koncového zariadenia, čím je možné docieliť aj optimalizovaný prenos so zachovaním špecifik platformy. Experientálna činnosť bola taktiež zameraná na podporu SSL vrstvy pri prenose na koncové zariadenia. S nárastom citlivosti spoločností na prenosy, kde sa očakáva vyšší stupeň zabezpečenia, je SSL štandardizovaným a logickým krokom i pri živých prenosoch. Daňou za to, je vyššia hardvérová záťaž na servery a koncové zariadenia. Bolo však potrebné doimplementovať túto podporu na koncové prehrávače na báze HTML5, čo je raritné podporované i v súčasnosti. Minimálna podpora je najmä medzi bezplatnými prehrávačmi na trhu.

III. ARCHITEKTÚRA PRE NEINTRUZÍVNE MONITOROVANIE ZÁŤAŽE

V tejto kapitole je uvedený algoritmus pre detekciu dvojstavových spotrebičov, ktorý bol cieľom návrhu/modifikácie pri vývoji produktu, ktorý bol následne pilotne testovaný na infraštruktúre projektu TECHNICOM.

Algoritmus vykonávaný nad konečným setom údajov zahŕňa:

1) Meranie – sa vykonáva z jedného bodu vstupujúceho do objektu v intervale 1 sekundy. Pre algoritmus je potrebné v rámci jednej fázy merať elektrické napätie, činný a jalový výkon.

2) Normalizácia – zvyšuje presnosť algoritmu eliminóciou výkyvov napätí v elektrickej sieti a tým aj výkonov spotrebičov. Každú nameranú vzorku činného a jalového výkonu je potrebné normalizovať rovnicou:

$$P_{norm}(t) = P(t)\left(\frac{U_{nom}}{U(t)}\right)^2,$$

kde

- Pnorm(t) je výsledný výkon po normalizácii v čase t,
- P(t) je výkon pre normalizáciu v čase t,
- Unom je nominálne napätie voči, ktorému sa bude výkon normalizovať napr. 240V,
- U(t) je namerané napätie v čase t.

3) Detekcia hrán – algoritmus rozdelí namerané údaje do časových úsekov, v ktorých je výkon stabilný a v ktorých sa mení. Rozdelenie zobrazuje Obrázok 2. Stabilný stav je definovaný toleranciou kolísania výkonu a času zotrvania v tomto stave. Odporučaný minimálny čas je 2 sekundy a tolerancia 15W/VAr. Pre každý časový úsek, v ktorom nastala zmena výkonu,sa vypočíta hodnota celkovej zmeny výkonu.

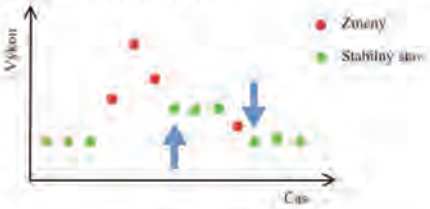


Figure 2. Detekcia hrán

4) Analýza klastrov – Detegované zmeny sú zoskupené do klastrov. Zoskupenie sa deje na základe zmien, ktoré sú približne rovnaké vo veľkosti výkonu. Cieľom tohto kroku je určiť stav zapnutia a vypnutia jednoduchých dvojstavových spotrebičov.

5) ON/OFF párovanie – Zaznamenané zmeny z klastrov zapnutia a vypnutia spotrebiča sú zoskupené do párov podľa ich časových známok. Každý zapnutý/vypnutý pár prislúcha jednému cyklu použitia

spotrebiča. Zmeny, ktoré nemôžu byť zoskupené do ON/OFF páru, sú ignorované.

6) Separovanie simultánnych zmien – Niekedy sa dve spotrebiče zapnú alebo vypnú naraz, alebo jedno sa zapne a druhé vypne. V týchto prípadoch je rozlíšenie náročnejšie a vyžaduje si použitie zložitejších metód na disagregáciu.

7) Identifikácia – Každý ON/OFF pár reprezentuje dvojstavový spotrebič. Algoritmus musí preskúmať vlastnosti klastra a priradiť meno spotrebiča. Na to je potrebné zostaviť databázu známych spotrebičov a ich vlastnosti. Algoritmus porovná klaster so spotrebičom v databáze a vyberie ten s najviac podobnými vlastnosťami.

IV. Realizované experimentálne riešenia

A. *Nasadzovanie streamingových riešení v praxi*

Jednou z praktických implementácií streamingovej technológie v kombinácii s video analytikou bola oblasť e-governmentu. V rámci pilotného overovania boli v meste Poprad nasadené technológie streamingu pre prenos a spracovanie živých prenosov z mestského parlamentu. Bola vytvorená aplikácia pre správcu prenosov na strane mesta, automatizované rozpoznávanie rečníkov v obraze (mestských poslancov) s prepojením na titulkovanie a doručovanie obsahu na webové stránky a do mobilnej aplikácie vytvorenej za týmto účelom [2].

Figure 3. Streamingové riešenie pre oblasť e-governmentu

Pre živé vysielanie bol zvolený protokol RTMP, ako streamingová platforma bol zvolaný Wowza Media Server, komunikácia medzi jednotlivými parciálnymi aplikáciami je riešená cez REST WebSocket [3].

Figure 4. iOS aplikácia využívajúca streamingovú platformu vyvinutú v rámci aktivity PP5 [3]

Aplikáciou tohto riešenia boli zároveň verifikované možnosti knižnice OpenCV v oblasti automatizovanej detekcie tvári ľudí vo video prenose. Boli taktiež vytvorené mnohé rozšírenia streamingovej platformy, napríklad v oblasti titulkovania obrazu v reálnom čase.

B. *Spracovanie kardiografických údajov*

Ďalším z riešení na ktoré boli aplikované poznatky z oblasti spracovania obrazu je identifikácia rôznych stavov zachyteným na EKG. Pozornosť bola venovaná získavaniu EKG obrázkov, vyrezávaniu vĺn i kriviek ako aj odstráneniu mriežky a následnému transformovaniu na špecifickú veľkosť. Po predpríprave obrázkov bol natrénovaný kaskádny klasifikátor OpenCV. Tento klasifikátor bol zvolený kvôli nižším výpočtovým nárokom pri trénovaní v porovnaní s neurónovými sieťami, ľahkej použiteľnosti a dobrej podpore využitia natrénovaného modelu [4].

Pre overenie možnosti klasifikácie EKG kriviek pomocou kaskádneho klasifikátora bolo rozhodnuté, že bude vybraná jedna krivka, ktorá sa bude vyhľadávať v zázname. S ohľadom na dostupnosť dostatočného množstva dát na trénovanie bol vybraný starý infarkt prednej steny, ktorý má taktiež špecifický vzor. Tento infarkt je najlepšie detekovateľný vo zvodoch V2-V4. Z toho dôvodu boli na trénovanie využité zvody V2 a V3, v ktorých sa v dostupných dátach najčastejšie vyskytoval. Po úspešnej detekcii starého infarktu prednej steny bol zvolený vzor, ktorý je ťažšie detekovateľný a to je akútny STEMI prednej steny a to z dôvodu väčšej podobnosti so zdravou vlnou. Tento raz boli vzory vyhľadávané vo zvodoch V3 a V4. Trénovanie vyhľadávania akútneho STEMI bolo vykonané jeden-krát pre LBP a jeden pre HAAR metódu.

Pozornosť bola zameraná na vyhľadávanie, klasifikáciu a následné zvýraznenie podozrivých EKG vĺn. Pri návrhu systému bolo uvažované nad dvoma cestami implementácie a vyhodnocovania. Prvou bola cesta vektorizácie obrázka s následným využitím dostupných nástrojov na spracovanie a analýzu EKG snímok. Keďže navrhnutý algoritmus vektorizácie snímky nedosahoval dostatočnú veľkosť a dostupné nástroje na analýzu EKG nerobili presne to čo bolo požadované, bolo rozhodnuté pre cestu hľadania vzorov bez úprav EKG vĺn a to pomocou kaskádneho klasifikátora.

Figure 5. Klasifikácia EKG s využitím algoritmu HAAR [4]

Pre overenie možnosti hľadania podozrivých vĺn v EKG snímke kaskádnym klasifikátorom, bola pozornosť primárne zameraná na vyhľadávanie špecifickej krivky, konkrétne krivky starého infarktu prednej steny. Na dosiahnutie tohto cieľa boli získané obrázky klasifikovaných EKG záznamov z Physionet databázy. Tieto obrázky boli pripravené na trénovanie kaskádneho klasifikátora úpravami pomocou metód OpenCV. Následne bolo trénovanie opakované viac-krát. Na testovanie boli použité nové obrázky z databázy Physionet, ktoré neboli použité pri trénovacom procese.

Pri hodnotení bola dosiahnutá najvyššia presnosť 95% s použitím metódy na získavanie priznakov LBP. Použitím metód HAAR bola dosiahnutá maximálna presnosť 86%. Na záver bolo rozhodnuté klasifikovať ďalší typ vlny a to vlna akútneho infarktu prednej steny. Trénovanie bolo vykonané 1-krát pre LBP a HAAR pričom pri LBP bola dosiahnutá presnosť 72% a pri HAAR 69%. Všetky natrénované klasifikátory nenašli žiaden výskyt podozrivej vlny v EKG zdravého pacienta. Zistenia z testovania:

- najlepšie výsledky boli dosiahnuté algoritmom LBP,
- pri nižšom počte centrovaných vzorov pozitívnych kriviek boli dosahované lepšie výsledky ako pri použití kriviek so vzormi, ktoré nemali dôraz na centrovanie,
- pri zredukovaní duplicitných resp. totožných kriviek a odstránení kriviek, ktoré boli nejednoznačné sa výsledky dosahované algoritmami zlepšili,
- použitím zmenšenin vzorov, ktoré zachovávali pomer strán originálnych vzorov sa výsledky dosahované algoritmami zlepšili,
- použitá metóda Template matching nie je vhodná na hľadanie podozrivých vĺn z dôvodu nachádzania podozrivých vĺn aj v EKG u zdravého pacienta. Z týchto poznatkov bol dedukovaný záver, že pre správne trénovanie a následnú detekciu nie je potrebné mať veľké množstvo trénovacích dát, ale je potrebné mať dáta v dobrej kvalite.

C. Využitie detekcie objektov v obraze v kontexte Smart Campus

Ďalším príkladom nasadenia riešení na báze OpenCV v spolupráci so streamingovou platformou PP5 je detekcia áut v rámci areálu Technickej univerzity v Košiciach.

Špecifikácia tzv. Smart campus TUKE [5] zahŕňa nasledujúce riešenia:

- implementácia hardvérových riešení pre zber údajov, ako napr. identifikácia poznávacích značiek áut v areály a ich umiestnenie, vyhľadávanie voľných parkovacích miest, lokácia prednáškových miestností a navigácia k nim s využitím smartfónov, a pod.
- zber a analytika dát s využitím poznatkov z oblasti „big data", aj vo väzbe na existujúce procesy výučby a výskumu.
- vytvorenie praktických aplikačných riešení s prvkami umelej inteligencie ako napr. inteligentný sprievodca, detekcia neštandardných javov v areály, a pod.
- prvky inteligentného riadenia spotreby energie, ako napr. riadenie osvetlenia, efektívne využívanie laboratórnych zariadení a počítačov, akumulácia energie, a pod.

Figure 6. Aplikácia pre detekciu ŠPZ pri príchode a odchode z areálu TUKE [5]

Pri testovaní detekcie z rôznych uhlov pohľadu kamery boli zistené nedostatky v oblasti čítania ŠPZ pri skosenej alebo rotovanej ŠPZ. Použitím afinných transformácií je sklon ŠPZ síce upravený, avšak hrany okrajových znakov boli v niektorých prípadoch znehodnotené.

Pre zvýšenie výkonu detekcie sú jednotlivé snímky zmenšené na tretinovú veľkosť. Detegovanie snímok v rozlíšení 1920x1080 podstatne zvyšuje trvanie detekcie. Vďaka využitým filtrom pre skvalitnenie obrazu však táto redukcia neovplyvňuje výsledky. Výhodou programu je rýchla detekcia v prípade jednotlivých snímok. Pri správnom využití sledovacích algoritmov je možné obmedziť detekciu na minimálny počet snímok, čím sa výkon celého programu ešte zvýši. Ďalšou výhodou takto navrhnutej detekcie ŠPZ je jej nezávislosť od krajiny ŠPZ,

Program je schopný detegovať a čítať aj ŠPZ iných krajín alebo staršie slovenské ŠPZ bez označenia EÚ [5].

V procese predspracovania je využívané adaptívne prahovanie pre skvalitnenie kontrastu a jasu obrazu. Extrakcia príznakov je aplikovaná pomocou Sobelovho operátora pre zvýraznenie vertikálnych hrán a následne je vytvorená vertikálna a horizontálna projekcia obrazu reprezentovaná histogramom. Pre zistenie sklonu ŠPZ je použitá Houghova transformácia. Zistené skosenie alebo rotácia ŠPZ môžu byť normalizované aplikovaním afinných transformácií.

Samotná klasifikácia objektu ŠPZ bola uskutočnená na základe analýzy jasu, kontrastu, odtieňa, nasýtenia a výšky segmentovaných znakov ŠPZ.

Pre skvalitnenie čitateľnosti jednotlivých znakov je aplikované adaptívne prahovanie pre zvýraznenie kontrastu a mediánový filter pre odstránenie šumu. Následne sú jednotlivé znaky rozpoznané pomocou funkcii poskytovaných knižnicou Tesseract.

Ďalším implementovaným riešením bola identifikácia voľných parkovacích miest a ich následná notifikácia s navigáciou prostredníctvom mobilnej aplikácie. Toto riešenie je aktuálne v procese pilotného testovania.

D. *Pilotný vývoj a implementácia disagregačných metód v meracej platforme*

Pilotné testovanie vyvinutej meracej platformy prebiehalo v budove UVP Technicom. Testy boli vykonávané štyrmi spotrebičmi: Žiarovka (ID 9), Fén (ID 11), Ohrievač (ID 12), Kanvica (ID 18). Obrázok znázorňuje reálne odtlačky spotrebičov z testovacej domácnosti, ktoré sa používajú pri identifikácii spotrebičov. Test bol vykonávaný tak, že štyri spotrebiče, vopred určené na testovanie, boli zapínané vždy v inom poradí v reťazci za sebou. Testovala sa disagregácia a úspešnosť identifikácie spotrebičov. Priebeh overenia funkčnosti algoritmu prebiehal nasledovne:

1) príprava spotrebičov a spustenie NIALM algoritmu s činnosťou v reálnom čase,
2) zapnutie jedného zo 4 spotrebičov,
3) overenie či bol, alebo nebol rozpoznaný spotrebič a či bol identifikovaný správny spotrebič – výsledok je zaznamenaný do tabuľky,
4) opakovanie bodu 2 a 3, kým nebudú spustené všetky spotrebiče,
5) opakovanie bodov 2 - 4 celkovo 5-krát,
6) vyhodnotenie úspešnosti algoritmu.

	Vzdialenosť od odtlačku			
Postupnosť zapínania spotrebičov	žiarovka	fén	ohrievač	kanvica
žiarovka ->fén ->ohrievač ->kanvica	0,11	2,37	4,35	34,92
žiarovka ->fén ->ohrievač ->kanvica	11,00	7,28	4,05	30,75
žiarovka ->fén ->ohrievač ->kanvica	0,99	11,27	1,57	34,94
žiarovka ->kanvica->fén ->ohrievač	5,07	13,27	21,90	53,78
fén ->žiarovka ->ohrievač ->kanvica	7,41	9,04	12,19	39,68

Tabuľka 1 - Výsledky testu identifikácie spotrebičov

V tabuľke je možné vidieť vznikajúce vzdialenostné rozdiely pri rovnakom spotrebiči zapnutom v inom rade za sebou. Počas testu sa iba v dvoch prípadoch nepodarilo identifikovať správny spotrebič neidentifikovaný vôbec nebol ani jeden.

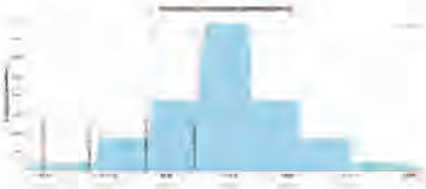


Figure 7. Zobrazuje na grafe postupnosť zapínania spotrebičov v poradí: žiarovka, fén, ohrievač, kanvica. Na obrázku je vidno priebeh disagregácie s vyznačenými stavmi zapnutia spotrebiča.

V. ZÁVER

Cieľom tohto príspevku bolo prezentovať rôznorodosť využitia poznatkov riešených úloh výskumu a vývoja, ktoré boli súčasťou Aktivity 3.1 projektu projektu. Implementácia výsledkov výskumu a vývoja v oblasti doručovania multimediálnych informácií v IP sieťach umožňuje nielen prenášanie kvalitnejšieho video prostredníctvom streamingov, ale aj vytváranie nových senzorových infraštruktúr v koncepte Internetu vecí. Implementované experimentálne riešenia umožnili pilotné overenie dosiahnutých výsledkov a dokonca viaceré riešenia boli úspešne využité aj pri riešeniach v reálnej praxi (napr. riešenie Národnej teleprezentačnej infraštruktúry pre vedu, výskum a inovácie).

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 31301ID232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

ODKAZY

[1] M. Michalko, D. Štefan, M. Halaszová, „Utilization of IP streaming in identification of the speaker". In: *ICETA 2017*. - Danvers : IEEE, 2017 S. 293-298. - ISBN 978-1-5386-3294-9

[2] B. Zachar, „Spracovanie obrazových informácií z elektrokardiografie". *Technická univerzita v Košiciach.* Diplomová práca, máj 2018.

[3] M. Šivý, „Automatizovaný systém pre riadenie viacerých kamier s ohľadom na aktívneho rečníka". *Technická univerzita v Košiciach.* Diplomová práca, máj 2017.

[4] J. Pavlov, „Riešenie pre pokročilú komunikáciu samospráv s občanmi". *Technická univerzita v Košiciach.* Diplomová práca, máj 2017.

[5] D. Lippaiová, „Rozpoznávanie prvkov v obraze v rámci Smart Campus TUKE". *Technická univerzita v Košiciach.* Diplomová práca, máj 2018.

[6] O. Kainz, M. Michalko, F. Jakab, „On the extraction of anthropometric parameters by visual and non-visual means". In: *EAI Endorsed Transactions on Pervasive Health and Technology.* Vol. 3, no. 12 (2017), p. 1-6, - ISSN 2411-7145

[7] ZOHA, A., GLUHAK, A., IMRAN, M. A., RAJASEGARAR, S. Non-Intrusive Load Monitoring Approaches for Disaggregated Energy Sensing: A Survey. In Sensors. ISSN 1424-8220, December 2012, vol. 12, p. 16838-16866.

[8] HART, G. W. Prototype Nonintrusive Appliance Load Monitor. online]. September 1985. Dostupné na internete: <http://www.georgehart.com/research/Hart1985.pdf>.

Umelá inteligencia v inteligentných systémoch

P. Sinčák*, M. Bundzel*, G.Magyar*, P.Sabol*
* Technická univerzita v Košiciach, Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Košice, Slovensko
{peter.sincak, marek.bundzel, gergely.magyar, patrik.sabol}@tuke.sk

Abstrakt **– Popisujeme tu výber výsledkov v hlavných smeroch výskumu podporovaného projektom UVP Technicom. Tieto zahŕňajú cloudovú umelú inteligenciu, inteligetnú klasifikáciu, adaptívnu interakciu človek-stroj, kolektívnu inteligenciu a iné. Cieľom projektu je štúdium využitia umelej inteligencie a nových metód umelej inteligencie pre interakciu s ľuďmi s cieľom vytvoriť autonómne systémy. Hlavné oblasti aplikácie sú strieborná ekonomika a zdravotníctvo. Výsledky sú testované v reálnom prostredí ako sú domy seniorov a nemocnice.**

Kľúčové slová **– interakcia človek-stroj, učenie posilnením, fuzzy klasifikácia, rozpoznávanie emócii, kolektívna inteligencia,**

I. Úvod

V tomto článku popisujeme výber výsledkov, ktoré boli dosiahnuté v rámci výskumu podporovaného projektom UVP Technikom na Katedre kybernetiky a umelej inteligencie, Technickej univerzity v Košiciach. Zaoberáme sa rôznymi metódami umelej inteligencie a ich použiti v vzťahu ku interakcii s človekom. Navrhované metódy sú testované v reálnom prostredí. Popisujeme tu tri prípadové štúdie, konkrétne aplikáciu sociálnych robotov v kognitívnej terapii seniorov, transparentný klasifikačný algoritmus a použitie metód umelej inteligencie v kolektívnej inteligencii.

II. Aplikácia sociálnych robotov v kognitívnej terapii seniorov

Vzhľadom na to, že starostlivosť o seniorov je výborná doména pre testovanie sociálne asistívnych robotov, všadepritomnej podpory života a internetu vecí, v posledných rokoch veľa výskumných štúdií sa zaoberalo problémom zlepšenia kvality života seniorov pomocou informačných a komunikačných technológií.

Napriek sľubným výsledkom výskumov v tejto oblasti, používanie sociálnych robotov v takomto prostredí a vo všeobecnosti v sociálnej interakcii človeka s robotom stále má svoje slabiny. Väčšina týchto experimentov využíva techniku "Wizard of Oz", čo znamená že roboty nekonajú autonómne, ale riadi ich expert. Napriek tomu, že táto metóda je populárna a postačujúca, potreba autonómnych robotov sa zvyšuje. Táto skutočnosť súvisí s výskumom v oblasti dlhodobej interakcie človeka s robotom. V takýchto scenároch je ťažké sa spoľahnúť iba na experta, ktorý riadi robota, nakoľko samotné riadenie môže byť kognitívne vyčerpávajúce a spúšťanie tých istých akcií robota nudné. Aby sme zabránili týmto negatívnym účinkom a umožnili dlhodobú interakciu musíme premýšľať o robotoch, ktorí sa učia od svojich operátorov. Týmto spôsobom sa môžeme presunúť z techniky "Wizard of Oz" ku autonómnym robotom.

Obrázok 1 Pohľad firmy iRobot na úrovne autonómie robotov

V našom výskume sme sa sústredili na učenie od teleoperátora v scenári, kde robot pôsobil ako tréner kognitívnej terapie v zariadení pre seniorov. Samotné učenie bolo založené na metóde učenia odmenou a trestom. V experimentoch sme testovali náš algoritmus, či je schopný zvýšiť úroveň autonómie robota a tým pádom znížiť kognitívnu záťaž teleoperátora.

V našom prípade subjekty hrali dve hry s robotom NAO: Uhádni ovocie a Uhádni zviera. V hrách si robot vybral písmeno a vyzval seniora, aby povedal ovocie/zviera, ktorého pomenovanie začína tým istým písmenom, napr. A – ananás/aligátor. Keď jeho odpoveď bola správna, robot sa tešil, v opačnom prípade opísal jedno možné riešenie. Hra trvala dovtedy, kým subjekt neodpovedal správne na všetky otázky.

Počas experimentov, seniori absolvovali 4 stretnutia:

1. stretnutie (skupinové) – malo informatívny charakter, kde účastníci boli oboznámení s cieľmi experimentov, štruktúrou sedení a tým, čo majú očakávať od robota. Stretnutie bolo organizované a vedené opatrovateľmi zariadenia.
2. stretnutie (individuálne) – subjekty hrali kognitívnu hru Uhádni ovocie, ktorej pravidlá boli popísané vyššie. Jedna hra trvala približne 10 minút, ale jej dĺžka sa líšila podľa kognitívnych schopností seniorov.
3. stretnutie (individuálne) – subjekty hrali kognitívnu hru Uhádni zviera, pričom pravidlá boli totožné s pravidlami hry Uhádni ovocie. Jedna hra trvala približne 8 minút, pretože subjekty jednoduchšie uhádli zviera ako ovocie.

4. stretnutie (skupinové) – malo informačný charakter, kde účastníci vyplnili dotazník a podelili sa o svoje skúsenosti zo sedení s asistenciou svojich opatrovateľov. Druhé a tretie stretnutie mali nasledujúcu štruktúru: Robot sa predstavil a vysvetlil pravidlá hry, následne sa opýtal či je subjekt pripravený. Robot zadal prvú otázku, napr. „Povedz mi ovocie začínajúce písmenom A, ako Andrej". Odpoveď subjekta bola správna, napr. ananás. Robot sa tešil a položil ďalšiu otázku. Senior nevedel odpoveď, preto požiadal o pomoc. Robot poskytol krátky popis možnej správnej odpovede, napr. v prípade písmena P v hre Uhádni zviera – „Najlepší priateľ človeka". Po nápovedi subjekt dokázal uhádnuť zviera

Vyššie uvedené prvky interakcie sa opakovali až do konca hry, ktorý bol v našom prípade definovaný správnymi odpoveďami na všetky písmená, ktoré boli obsiahnuté v hrách. Na konci robot vyhodnotil hru a rozlúčil sa. Pre účely testovania nášho algoritmu, sme definovali štyri možné stavy subjektu (správna odpoveď, nesprávna odpoveď, nevie odpoveď, iné) a 6 rôznych akcií robota (ľahká otázka, stredne ťažká otázka, ťažká otázka, nápoveda, aplauz, smútok).

Obrázok 2 Kognitívna hra so subjektom

Experimenty boli vykonané v zariadení pre seniorov, v ktorom subjekty žijú a pravidelne hrajú kognitívne hry s opatrovateľmi. Počas našej návštevy v zariadení seniori si zahrali s robotom dve hry. Prvého sedenia sa zúčastnilo 12 osôb (3M/9Ž, priemerný vek 78,5 rokov) a druhého 10 osôb.

Nižšie uvedené výsledky vyjadrujú efektivitu učiaceho algoritmu a porovnávajú percento autonómne vykonaných akcií (tieto akcie boli iba schválené expertom) počas prvého a druhého sedenia. Výsledky uvedené na obrázku X sumarizujú závery z dvoch interakcií s 10 účastníkmi, ktorí boli schopní si zahrať obe hry (2M/8Ž, priemerný vek 78,5 rokov).

Obrázok 3 Zvýšenie úrovne autonómie robota

Z grafu je zrejmé, že okrem subjektu 6, náš algoritmus dokázal zvýšiť úroveň autonómie robota tým, že sa naučil vybrať vhodné akcie od experta. Najvýraznejší nárast sa nastal v prípade subjektu 3 (23,64%) a najmenší v prípade subjektu 8 (5,71%). Priemerný nárast akcií schválených expertom vo všetkých prípadoch bol 10,61%.

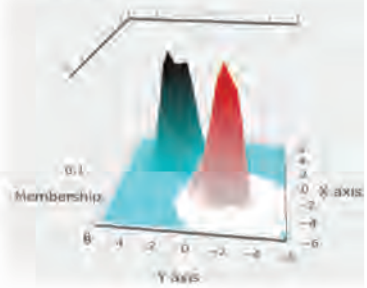
III. Transparentný klasifikačný algoritmus

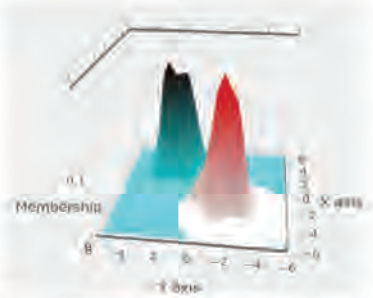
V rámci strojového učenia je mnoho klasifikačných algoritmov, ktoré dokážu klasifikovať dáta s vysokou presnosťou. Avšak väčšina, z dôvodu ich nedostatočnej transparentnosti, nie sú schopné vysvetliť ich rozhodnutia a samotné dáta vo forme blízkej človeku. Tento nedostatok transparentnosti môže zabrániť ich použitiu v rôznych kritických prípadoch. Takéto netransparentné algoritmy sa označujú aj ako "black-box" algoritmy.

Najrozšírenejšou technikou na pochopenie zložitých dát je ich vizualizácia. Takéto dáta sú často vysoko rozmerné a preto je potrebné použiť algoritmus na redukciu dimenzií, aby bolo možné tieto dáta zobraziť v dvoj alebo trojrozmernom priestore. Hoci vizualizácia je veľmi intuitívna, stále je potrebné vynaložiť úsilie na získanie informácií vo forme blízkej človeku, napríklad vo forme sémantiky. Najmä pri dátach určených pre klasifikáciu je cieľom vysvetliť samotnú štruktúru dát a ich tried.

Preto, pre takýto typ dát je prínosné mať transparentný klasifikačný algoritmus, ktorý je schopný klasifikovať dané dáta a zároveň poskytnúť aj ich vysvetlenie vo forme blízkej človeku, vo forme sémantiky. Takýto kvalifikátor by bol schopný racionalizovať svoje rozhodnutia a teda by mohol byť aplikovaný v situáciách, kde konečné rozhodnutie závisí od človeka. V týchto prípadoch by výrazne uľahčoval proces rozhodovania a zároveň by prispieval pri zdokonaľovaní znalosti užívateľa o danom probléme.

V rámci tohto projektu sa vyvinul transparentný klasifikačný algoritmus Cummulative Fuzzy Class Membership Criterion (CFCMC), ktorý je založený na teórii fuzzy logiky. Jeho princíp je založený na zhlukovaní dát v príznakovom priestore. Následne, nad každým trénovacím príkladom je vytvorená fuzzy funkcia príslušnosti. Následne sa tieto funkcie príslušností v rámci zhlukov tej istej triedy sčítajú, resp. kumulujú do takzvanej Cummulative Memberhip Criterion funkcie, ktorá vytvára rozhodovací povrch nad príznakovým priestorom. Príklad je zaradený do tej triedy, ku ktorej má najvyššiu hodnotu príslušnosti.





Obrázok 4 Rozhodovací povrch vytvorený algoritmom CFCMC

Presnosť klasifikácie algoritmu CFCMC sme testovali na dvanástich benchmark dátasetoch a porovnávali s výsledkami s troma "black-box" algoritmami, a to konkrétne s viacvrstvovým perceptrónom MLP (Multi-Layered Perceptron), Support Vector Machine (SVM) a s k-Nearest Neighbor (k-NN) a s jedným transparentným algoritmom, Membership Function (MF) ARTMAP neurónovou sieťou. Výsledky experimentov ukázali, že algoritmus CFCMC vo všetkých prípadoch prekonal MF ARTMAP. V porovnaní s "black-box" algoritmami sa ukázalo, že algoritmus CFCMC nie je bezprostredne najlepší, ale takisto ani výrazne za nimi nezaostáva. Dokonca, v niektorých prípadoch, niektoré algoritmy aj prekonal.

Výhoda algoritmu CFCMC však spočíva v jeho transparentnosti, ktorú sme využili pre nový prístup extrakcie informácií o klasifikovaných dátach vo forme sémantiky. Pre tento účel sa vyvinula nová metrika pre meranie podobnosti dvoch zhlukov v mnohorozmerných dátach. Táto metrika je založená na výpočte obsahu prekrytia dvoch kruhov opisujúcich dané dva porovnávané zhluky v príznakovom priestore. Tieto podobnosti zhlukov sa spriemerujú a následne sa vypočíta stupeň podobnosti dvoch tried.

Obrázok 5 Princíp fungovania algoritmu CFCMC.

Dané extrahované sémantické informácie sú vo forme vysvetľovacieho mechanizmu, ktorý ponúka znalosti o obťažnosti klasifikácie daných dát. Tieto znalosti vysvetľuje pomocou podobnosti medzi triedami a príslušnými zhlukmi dát.

Takýto transparentný algoritmus CFCMC spolu s extrakciou sémantických informácií môže nájsť uplatnenie napríklad v medicíne, kde dané sémantické informácie môžu byť použité ako dodatočná úroveň validácie dosiahnutého záveru pri predikcii chorôb.

IV. Použitie umelej inteligencie v kolektívnej inteligencii

Táto štúdia sa zaoberá problémami spájania názorov skupiny ľudí tak, aby kvalita rozhodnutia skupiny prevyšovala kvalitu rozhodnutia najskúsenejších osôb v rámci skupiny. Metódy, ktoré sme študovali, patria do oblasti výskumu takzvanej kolektívnej inteligencie. Implementovali sme metódu založenú na adaptívnom boostingu agregujúcu názory skupiny ľudí a webovú aplikáciu, ktorá tieto názory zbiera pre účely experimentov. Modelovým problémom bolo zistiť, či je alebo nie je nádor prítomný v rade röntgenových snímok ľudských pľúc. Porovnávali sme našu navrhovanú metódu s bežnými metódami agregácie ako je napr. väčšinové hlasovanie. Dospeli sme k záveru, že naša navrhovaná metóda môže byť úspešne použitá na zhrnutie názorov skupiny ľudí na zvýšenie ich kolektívnej inteligencie nad úroveň najúspešnejšieho jednotlivca v rámci skupiny. Pozorovali sme, že najvyšší nárast kolektívnej inteligencie možno dosiahnuť pre skupiny ľudí s približne rovnakou úspešnosťou, čo potvrdzuje výsledky iných štúdií.

Ľudia robia veľa individuálnych rozhodnutí, ale často rozhodnutia, ktoré riadia ľudské činnosti sa robia ako konsenzus vyplývajúci zo synergií, súperenia a kolektívneho úsilia kolektívu. Ľudia a v skutočnosti aj zvieratá používajú kolektívne rozhodovanie na vedomých alebo podvedomých úrovniach. Formy sa líšia, od jednoduchého (napr. väčšinového hlasovacieho princípu) až po komplexné scenáre viditeľné napríklad v politike. Sledovaním mravčej kolónie sa dostávame ku zjavnej skutočnosti, že kolekcia kognitívne jednoduchých jedincov formuje prostredníctvom komunikácie a interakcie entitu, ktorej inteligenciou prevyšuje inteligenciu svojich zložiek. Sledovanie skupiny ľudí na druhej strane nemusí nevyhnutne viesť k rovnakým záverom. Niekedy ľudia v skupine vyprodukujú veľmi zlý úsudok a niekedy platí, že „viac hláv viac vie".

Naším cieľom bolo vybudovať experimentálny nástroj, ktorý by nám umožnil zhromažďovať údaje a zhodnotiť rôzne metódy pre zhrnutie názorov skupín ľudí. S ohľadom na technické vzdelanie účastníkov, ktorí boli študentmi Fakulty elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach sme si vybrali problém s netechnickým modelom o ktorom sme predpokladali, že s ním väčšina účastníkov bude mať veľmi málo skúseností. Modelový problém bola detekcia pľúcnych tumorov v röntgenových snímkach. Účastníci musel uviesť, či v obraze je alebo nie je tumor. Naším predpokladom bolo, že účastníci budú spočiatku trochu lepší ako náhodný klasifikátor a po krátkom vzdelaní sa zlepší ich presnosť. Budeme tak schopní zhodnotiť vplyv zloženie skupiny na kolektívne rozhodnutia v skupinách jednotlivcov s rôznymi mierami úspešnosti. Použité röntgenové snímky boli prevzaté zo štandardnej databázy digitálnych RTG obrázkov s pľúcnymi tumormi a bez nich.

Meta-algoritmus strojového učenia AdaBoost trénuje slabé hypotézy na rôznych podsúboroch dostupných

príkladov. Modifikovali sme algoritmus AdaBoost takým spôsobom, aby slabé hypotézy boli nahradené názormi ľudí a pri ich agregácii sme využívali váhovanie založené na spoľahlivosti jednotlivcov vypočítanej s využitím podsúboru dostupných obrázkov.

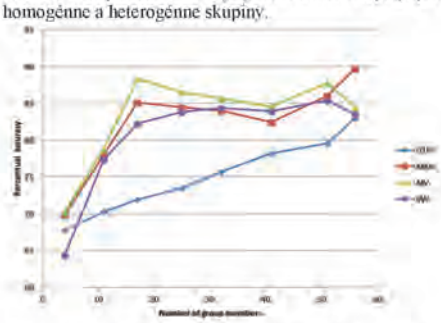
Obrázok 6 Záber obrázovky z webovej aplikácie pre zber názorov.

Na porovnanie navrhovanej metódy MAB sme použili dve ďalšie metódy. Jednou bolo jednoduché väčšinové hlasovanie (MV, majority voting), ktoré považuje názor každého člen skupiny za rovnako podstatný. Druhou porovnávacou metódou bolo vážené hlasovanie (WV, weighted voting), ktoré zohľadňuje spoľahlivosť jednotlivých členov.

Do počiatočných experimentov sme zhromaždili 45 dobrovoľných účastníkov. Účastníkmi boli študenti Technickej univerzity v Košiciach, 37 mužov a 8 žien vo veku od 19 do 24 rokov. Účastníci nemali žiadne predchádzajúce skúsenosti hodnotením RTG obrázkov.

Najskôr účastníci hodnotili snímky bez vzdelávania, potom im boli prezentované snímky s označenou polohou tumoru (vzdelávania) a následne znovu hodnotili snímky bez označenia lokality tumoru. Všetci účastníci odpovedali na rovnaký súbor obrázkov ale prezentované v inom, náhodnom poradí. Účastníci boli potom vzdelaní detekcia pľúcnych uzlín.

Navrhovaný agregátor MAB bol takmer pri rôznych skupinách tak dobrý ako najlepší člen skupiny. Zistenia uverejnené Microsoft Research naznačujú, že v súčasnosti použité metódy agregácie nepresahujú najlepšieho jednotlivca heterogénnej skupiny. Ďalej sme skúmali kolektívnu inteligenciu skupín účastníkov s podobnou výkonnosťou. Pre tento experiment sme vytvorili niekoľko skupín účastníkov, ktoré spadajú do daného rozsahu. Náhodne vybraná podmnožina odpovedí každého účastníka bola použitá na nastavenie parametrov modelov MAB a WV. Nami navrhovaná metóda MAB konzistentne prekonávala najlepšieho člena skupiny pre homogénne a heterogénne skupiny.



Obrázok 7 Závislosť kolektívnej inteligencie od veľkosti skupiny pri rôznych agregačných metódach.

V. ZHRNUTIE

V tomto článku sme uviedli stručný výťah z vybraných výsledkov výskumu podporeného projektom UVP Technicom. Výsledky boli publikované vo viacerých publikáciách, z ktorých niektoré vyberáme a uvádzame v zozname literatúry.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

LITERATÚRA

[1] Emotion modelling for social robotics applications: a review / Filippo Cavallo ... [et al.] - 2018.In: Journal of Bionic Engineering. Vol. 15, no. 2 (2018), p. 185-203. - ISSN 1672-6529 Spôsob prístupu: https://link.springer.com/article/10.1007%2F s42235-018-0015-y. [CAVALLO, Filippo - SEMERARO, Francesco - FIORINI, Laura - MAGYAR, Gergely - SINČÁK, Peter - DARIO, Paolo]

[2] Interference of waves based usage of an optimization algorithm for finding rules which can copy the learned behavior from learning classifier systems and neural networks / Tomáš Cádrik, Marián Mach, Peter Sinčák - 2016.In: International Journal of Innovative Computing, Information and Control. Vol. 12, no. 3 (2016), p. 1005-1019. - ISSN 1349-4198. [CÁDRIK, Tomáš - MACH, Marián - SINČÁK, Peter]

[3] Cloud-based robots and intelligent space teleoperation tools / Tomáš Cádrik ... [et al.] - 2017. In: Advances in Intelligent Systems and Computing volume 447 : RiTA 2015. - Switzerland : Springer, 2017 P. 599-610. - ISBN 978-331931291-0 - ISSN 2194-5357. [CÁDRIK, Tomáš - TAKÁČ, Peter - ONDO, Jaroslav - SINČÁK, Peter - MACH, Marián - JAKAB, František - CAVALLO, Filippo - BONACCORSI, Manuele]

[4] Cumulative fuzzy class membership criterion decision-based classifier / Patrik Sabol ... [et al.] - 2017. In: SMC 2017. - Danvers : IEEE, 2017 P. 334-339. - ISBN 978-1-5386-1644-4. [SABOL, Patrik - SINČÁK, Peter - BUŠA, Ján - HARTONO, Pitoyo]

[5] CoWoOZ — A cloud-based teleoperation platform for social robotics / Gergely Magyar ... [et al.] - 2017. In: SAMI 2017. - Danvers : IEEE, 2017 S. 00049-00054. - ISBN 978-1-5090-5654-5. [MAGYAR, Gergely - SINČÁK, Peter - MAGYAR, Ján - YOSHIDA, Kaori - MANZI, Alessandro - CAVALLO, Filippo]

[6] Artificial intelligence aggregating oppinions of a group of people / Marek Bundzel ... [et al.] - 2016. In: Computing and Informatics. Roč. 35, č. 6 (2016), s. 1491-1514. - ISSN 1335-9150 [BUNDZEL, Marek - LACKO, Jozef - ZOLOTOVÁ, Iveta - ZELENKA, Ján - KASANICKÝ, Tomáš]

Centrum nedeštruktívnej diagnostiky technologických procesov so štandardným softvérovým vybavením pre riadenie a komunikáciu

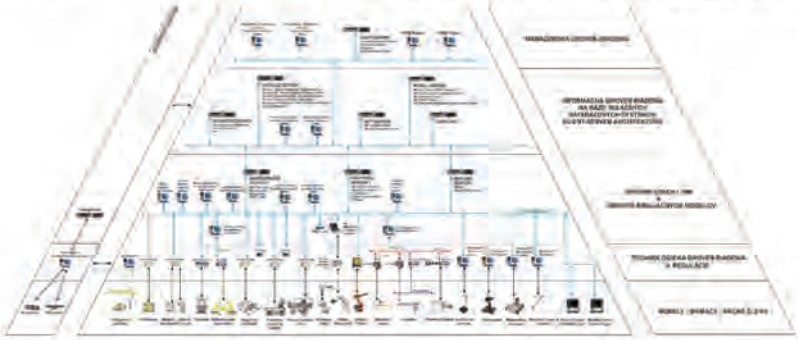
J. Jadlovský*, A. Jadlovská, S. Jadlovská, J. Čabala, M. Oravec, D. Vošček, L. Koska, J. Socháň
Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky,
Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Košice, Slovenská republika
*jan.jadlovsky@tuke.sk

***Abstract*—Jednou z výskumných aktivít Centra moderných metód riadenia a priemyselnej informatiky (CMMRaPI – kyb.fei.tuke.sk) je aj Centrum nedeštruktívnej diagnostiky technologických procesov so štandardným softvérovým vybavením pre riadenie a komunikáciu, implementované ako podaktivita 3.1/PP7 projektu TECHNICOM realizovaného Technickou univerzitou v Košiciach. Zameraním projektu je zlepšenie podmienok pre transfer výsledkov výskumu do praxe. Zameranie Centra spočíva v návrhu metodiky pre nedeštruktívnu a nekontaktnú diagnostiku technologických procesov, pričom sa hlavný dôraz kladie najmä na systémy rozpoznávania obrazu, kde obrazy sú snímané pomocou bezkontaktného skenovania prostrednictvom čierno-bielych, farebných a termoviznych kamier. Tieto zariadenia sú integrované do riadiacich systémov technologických procesov a sú prepojené s mechanickými časťami technologických zariadení alebo výrobných liniek (servomotory, mobilné roboty, manipulátory). Riešenie úloh podaktivity 3.1 projektu TECCNICOM zahŕňa širokú škálu technických, programových a sieťových prostriedkov umožňujúcich vývoj, experimentálne overenie a nasadenie navrhnutých riešení v oblasti monitorovania, diagnostiky a riadenia technologických procesov.**

1. ÚVOD

V predkladanom článku sú popísané distribuované systémy riadenia technologických procesov v celom rozsahu riadenia s dôrazom na zabezpečenie kvality a spoľahlivosti celého systému riadenia ako aj jeho jednotlivých distribuovaných častí, Obr. 1. Celý systém riadenia je budovaný tak, že popri snímačoch a akčných členoch zabezpečujúcich požadované riadenie technologického procesu, systém riadenia v rámci svojej štruktúry umožňuje implementovať súbor snímačov, ktoré v rámci procesu riadenia môžu, no nemusia mať priamy vplyv na akčný zásah, ale umožňujú získať doplňujúce informácie o procese. Jedná sa obyčajne o snímače nedeštruktívneho charakteru (kamery, resp. kamerové systémy, pyrometre, laserové snímače, ultrazvukové a indukčné snímače, snímače postavené na báze merania vírivých prúdov a pod.). Informácie z uvedených snímačov sú integrované s informáciami zo snímačov a akčných členov, ktoré sú využívané pri riadení v rámci uzavretých riadiacich a regulačných slučiek pre zabezpečenie požadovaných charakteristík technologického procesu a porovnávané s požiadavkami na technologický proces, resp. jeho kvalitu na úrovni referenčného modelu, ktorý bol pre účely zabezpečenia parametrov riadenia a požiadaviek na kvalitu vytvorený.

V nasledujúcich častiach príspevku bude popísaný prístup pri realizácii distribuovaných systémov riadenia technologických procesov (DSR TP) z hľadiska metodiky ich návrhu, algoritmov riadenia a overenia navrhnutej metodiky na úrovni modelov a simulácie. Zameriame sa aj na popis realizácie navrhnutých riešení s využitím technických, programových/simulačných a sieťových prostriedkov s dôrazom na aplikáciu prostriedkov



Obr 1. Distribuovaný systém riadenia (DSR) - pyramídálny model implementovaný na KKUI FEI TU

sledovania a riadenia kvality [1]. Vzhľadom na široký záber problematiky DSR, analýza a jeho popis je členená do nasledujúcich funkčných celkov:

A. mechatronické systémy so zameraním na *mobilnú robotiku*,

B. zložité mechatronické systémy so zameraním na návrh a realizáciu algoritmov riadenia na báze plne *aktuovaných a podaktuovaných systémov*,

C. mechatronické systémy so zameraním na *výrobné linky* s využitím priemyselných robotov a manipulátorov.

V rámci vymenovaných celkov budú aplikované systémy nedeštruktívnej diagnostiky ako napr. kamerové systémy, laserové prostriedky, a pod. ako ich integrálna súčasť.

II. NÁVRH A DIAGNOSTIKA DISTRIBUOVANÉHO RIADENIA MECHATRONICKÝCH SYSTÉMOV

A. Riešenie úloh diagnostiky mobilných robotov – pracovisko mobilnej robotiky

Riešenie úloh diagnostiky mobilných robotov spočíva v návrhu metodiky, ktorá v sebe zahŕňa modelovanie, riadenie, simuláciu a realizáciu mobilných robotov v typových aplikáciách. Riešenie úlohy si vyžaduje vytvorenie dvoch modelových aplikácií a to:

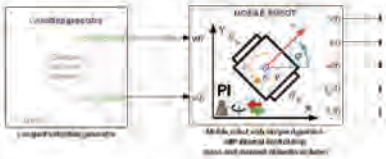
1. postupy pre odvodenie matematických modelov pre jednotlivé typy mobilných robotov a robotických systémov s navrhnutým riadiacim systémom a ich simulácia vo vhodnom programovom prostredí [24],
2. realizácia laboratórnych modelov kolesových a pásových mobilných robotov s riadiacimi systémami, senzorickým systémom a akčnými členmi.

Diagnostika mobilných robotov využíva spájanie výsledkov získavaných off-line a on-line simuláciou matematických modelov a údajov z reálnych snímačov z uvedených modelových aplikácií [25].

A1. Matematické modelovanie, riadenie a simulačné overenie modelov mobilných robotov

Mobilný robot je vo všeobecnosti možné reprezentovať ako matematický model zložený z kinematického a dynamického modelu, ktoré sú získané na základe matematicko-fyzikálnych rovníc a vzťahov. Kinematický model vyjadruje pohybové vlastnosti mobilného robota vzhľadom na konštrukciu podvozka. Dynamický model mobilného robota v sebe zohľadňuje vplyvy hmotnosti, trenia alebo dynamiky motorov na pohybové vlastnosti robota. [2]. Matematický model mobilného robota je možné implementovať v simulačnom prostredí Matlab/Simulink, pričom je s využitím tohto modelu možné ďalej overiť funkcionalitu a stabilitu riadiacich štruktúr pre zvolené ciele riadenia [19].

V navrhnutej modelovej aplikácii *A1* je vytvorená konfigurovateľná knižnica simulačných modelov mobilných robotov s diferenciálnym kolesovým podvozkom v programovom prostredí *Simulink*, pričom ukážka jedného z podsystémov/blokov je znázornená na Obr. 2. Súčasťou simulačnej knižnice sú aj vizualizačné prostriedky založené na báze funkcií knižnice *OpenGL* slúžiace pre diagnostiku chovania sa modelov pre zvolené vstupy. Matematické a simulačné modely spolu s riadiacimi algoritmami z vytvorenej simulačnej knižnice je možné aplikovať v návrhu a programovaní reálnych modelov mobilných robotov. [24]



Obr 2. Simulačný model mobilného robota s diferenciálne riadeným podvozkom [24]

A2 Laboratórne modely mobilných robotov

Vývoj laboratórnych modelov mobilných robotov pozostáva z návrhu mechanickej a elektronickej časti. Mechanická časť môže byť navrhnutá a namodelovaná pomocou softvérov CAD a SolidWorks. Návrh elektroniky je možné realizovať v programe Eagle a simulácie vykonať s využitím softvéru Proteus.

Ako riadiaci člen z hľadiska minimalizácie rozmerov, hmotnosti a spotreby sa najčastejšie využívajú jednočipové mikropočítače, v našom prípade sa prevažne jedná o Microchip, Atmel a STMicroelectronic a Raspberry Pi. Pre zabezpečenie redundancie snímaných veličín stavov mobilných robotov môžu byť využité snímače relatívnej a absolútnej polohy ako gyroskopy, kompasy, akcelerometre, ultrazvukové a infračervené snímače, vhodné kamerové systémy alebo inkrementálne snímače natočenia jednosmerných motorov s prevodovkami. Pre vzdialené ovládanie a zber údajov sú využívané štandardné bezdrôtové komunikačné rozhrania ako Bluetooth (krátke vzdialenosti) a WiFi, Obr. 3.

Od zvoleného typu riadiaceho člena sa odvíja programové vývojové prostredie (MPLAB, Atmel Studio, Keil µVision). Aplikácie pre riadenie v rámci robota sú prevažne vytvárané v programovacom jazyku C/C++ a HMI aplikácie pre riadenie robotov môžu byť naprogramované v jazykoch C# a JAVA. V druhej modelovej aplikácii *A2* boli navrhnuté a skonštruované dvojkolesové mobilné roboty kategórie MiroSot pre pracovisko mobilnej robotiky a pásový mobilný robot TrackBot, Obr.4. Vytvorené pracovisko mobilnej robotiky umožňuje riešiť rôznorodé úlohy diagnostiky ako napríklad detekciu chýb snímačov alebo akčných členov

Obr 3. Laboratórne pracovisko pre riadenie a diagnostiku mobilných robotov – konceptuálna schéma

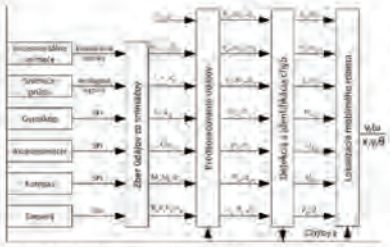
respektive odhalenie neštandardných stavov systému. Tieto chyby a stavy je možné odhaliť na základe spájania údajov z redundantných snímačov umiestnených na mobilnom robote, prípadne s využitím kamerových systémov pracoviska [3], [21].

Obr 4. Mobilné roboty kategórie *MiroSot* [21].
(http://kyb.fei.tuke.sk/laboratory/modely/msp.php)

Metodika riešenia úloh *nedeštruktívnej diagnostiky* mobilných robotov vychádza z predpokladu, že uvažované mobilné roboty obsahujú redundantné snímače a k dispozícii sú referenčné/nominálne simulačné modely mobilných robotov (estimátory, virtuálne snímače) s cieľom zabezpečiť necitlivosť voči výskytu rôznych externých poruchových veličín, Obr.5.

S využitím známych akčných zásahov a na základe referenčných/nominálnych matematických modelov je možné odhadnúť bezporuchové chovanie sa mobilných robotov, ktoré slúži ako vzor pre odhaľovanie vopred neznámych poruchových javov pôsobiacich na systémy mobilného robota, [15]. Dáta zo snímačov mobilných robotov sú logované aj do databázy pre neskoršiu off-line diagnostiku a vyhodnocovanie kvality riadenia voči nominálnym modelom. Súčasne je možné vizualizovať ako 3D animáciu aj vzájomné porovnanie referenčného matematického modelu voči správaniu sa reálneho modelu [11], [25].

Prezentovanú navrhnutú metodiku diagnostiky je možné použiť napríklad v servisnej robotike, mobilných robotických systémoch s požiadavkou na zvýšenú spoľahlivosť prípadne s obmedzenou možnosťou servisu.



Obr 5. Bloková schémaviacúrovňového diagnostického systému mobilných robotov [15]

B. Riešenie úloh diagnostiky mechatronických systémov na báze plne aktuovaných a podaktuovaných systémov – modelové pracovisko

Oblasť riešenia úloh diagnostiky, ktoré sú zamerané na plne aktuované a podaktuované mechatronické systémy, je založená na návrhu metodiky modelovania, riadenia a simulácie mechatronických systémov s overením na typových modelových aplikáciách [4], [27].

To znamená, že riešenie úloh diagnostiky aktuovaných/podaktuovaných mechatronických systémov si vyžadovalo vytvorenie niekoľko nasledovných modelových aplikácií a to:

1. aplikácia obsahujúca postupy pre odvodenie matematických modelov pre jednotlivé typy mechatronických systémov na báze metód analytickej a experimentálnej identifikácie s navrhnutými vhodným algoritmami riadenia a ich simulácia v programovom prostredí Matlab/Simulink/aplikačné toolboxy, [6], [23],
2. aplikácia obsahuje realizáciu a testovanie navrhnutých algoritmov riadenia a diagnostiky na laboratórnych modeloch mechatronických systémov so senzorickým systémom, akčnými členmi (PLC automaty, jednočípové mikropočítače, technologické PC) a kamerovými systémami a ich následnú implementáciu do modelu DSR, [6], [13].

Diagnostika mechatronických systémov je založená na porovnávaní výsledkov získaných zo simulácie dynamiky matematických modelov mechatronických systémov s dynamikou získanou na základe dát zo snímačov v modelových aplikáciách. Pre riešenie úloh diagnostiky sú vzhľadom na charakter mechatronického systému využívané metódy online/offline experimentálnej identifikácie a rýchlej Fourierovej transformácie.

Modelové pracovisko vyvinuté pre riešenie úloh nedeštruktívnej diagnostiky mechatronických systémov je zostavené z laboratórnych modelov tvoriacich modelové aplikácie (klasické inverzné kyvadlo s lineárnym synchrónnym motorom [5], [6], [13], gulička na ploche [7], [22], hydraulický systém [8], [27], [29],), ktoré umožňujú implementovať navrhnutú metodiku modelovania, riadenia a diagnostiky vo vhodnom programovom prostredí, [22], [23].

Modelová aplikácia - Multifunkčné pracovisko nedeštruktívnej diagnostiky s lineárnym synchrónnym motorom

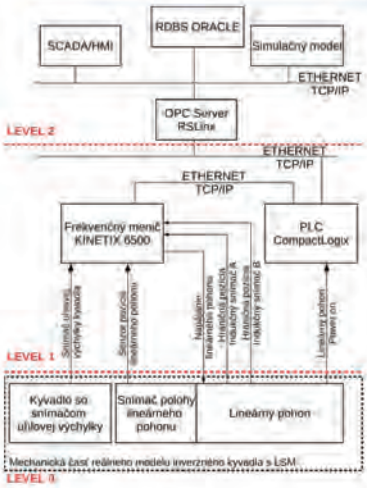
Modelová aplikácia pozostávajúca z laboratórneho modelu jednoduchého klasického inverzného kyvadla so vstavaným lineárnym synchrónnym motorom (LSM) predstavuje inteligentný polohovací mechanický systém, ktorý umožňuje riešiť problémy presného umiestnenia v nestabilných mechanických zariadeniach, ako je napr. problém nákladu žeriavu, tj. manipuláciu s nákladom visiacom na lane s definovanými toleranciami hojdania [4], [5], [6].

V modelovej aplikácii na Obr.6 je implementovaná metodika navrhnutá v [6], ktorá pozostáva z matematického modelovania podaktuovaných

mechatronických systémov a následnej simulácii v prostredí MATLAB / Simulink, rovnako ako aj z návrhu a implementácii algoritmov riadenia v hybridnej štruktúre pomocou priemyselného PC alebo PLC s následnou implementáciou do DSR, [13].

Aplikácia umožňuje vizualizáciu riadeného mechatronického systému v spojení so SCADA a ďalšími vyššími úrovňami infraštruktúry DSR (Obr. 1).

Obr 6. Multifunkčné pracovisko nedeštruktívnej diagnostiky s LSM (http://kvh.fei.tuke.sk/laboratori/modely/multiKyv.php)



Obr 7. Implementácia laboratórneho modelu inverzného kyvadla s LSM do DSR [6]

Technické riešenie modelovej aplikácie bolo navrhnuté tak, aby odrážalo pyramidálnu infraštruktúru DSR. Jednotlivé subsystémy modelovej aplikácie sú analyzované s ohľadom na ich vzťah s definovanými úrovňami modelu DSR (Obr.7).

Úroveň modelov, senzorov a akčných členov je reprezentovaná mechanickou konštrukciou reálneho modelu inverzného kyvadla s LSM. Pozícia motora je snímaná inkrementálnym snímačom polohy s presnosťou 1000 impulzov/mm. Vozík je považovaný za súčasť pevnej časti motora (statora). Kvôli bezpečnosti sú koncové pozície statora snímané dvojicou indukčných snímačov.

Uhlová výchylka tyče kyvadla pripojenej k vozíku, je snímaná programovateľným uhlovým meničom KINAX - 2W2 s presnosťou 220 impulzov / stupeň (snímač IRC).

Na Technologickej úrovni riadenia je realizované riadenie polohy motora prostredníctvom servomotora KINETIX 6500 s frekvenčným meničom, ktorý je pripojený ku PLC automatu CompactLogix cez Ethernet. Vzhľadom k tomu, že stabilizácia systémov inverzných kyvadiel vyžaduje rýchle odozvy algoritmu riadenia, sú motor a snímače polohy kyvadla pripojené k programovateľným vstupom KINETIX 6500. Implementácia algoritmov riadenia v rámci PLC automatov je vykonávanána pomocou programového prostredia RSLogix 5000.

Úroveň simulačných modelov a SCADA/HMI obsahuje simulačný model inverzného kyvadla s rýchlostným riadením, ktorý je implementovaný v prostredí MATLAB /Simulink. Parametre simulačného modelu sú určené buď meraním dostupných mechanických častí inverzného kyvadla (napríklad dĺžka tyče, hmotnosť závažia), alebo pomocou experimentálnej identifikácie. Využitím vhodných prístupov k návrhu algoritmov riadenia je vypočítaná postupnosť akčných zásahov a následne je táto postupnosť odosielaná do PLC automatu, ktorý zabezpečuje riadenie laboratórneho modelu v reálnom čase.

Prepojenie medzi *Úrovňou simulačných modelov* a *SCADA/HMI*, ktorá obsahuje simulačný model reálneho systému inverzného kyvadla (Matlab/Simulink) s *Technologickou úrovňou riadenia a regulácie* je realizované pomocou DDE/OPC protokolov s využitím nástroja RSLinx.

Navrhnutá metodika riadenia a diagnostiky závisí na znalosti parametrov modelu systému, získaných meraním alebo experimentálnou identifikáciou. Návrh a realizácia riadiacich algoritmov môže byť preto vykonávaná v reálnom čase, s vysokou presnosťou a pri dodržaní infraštruktúry DSR [13].

Ďalšou súčasťou *Multifunkčného pracoviska nedeštruktívnej diagnostiky* je kamerový systém so sadou vymeniteľných kamier, ktoré zahŕňajú termovízne kamery, riadkovú CCD kameru, plošnú čiernobielu/farebnú CCD kameru a 3D kamery. Kamerový systém poskytuje dodatočné užitočné informácie o modeli systému, ako sú zmeny v teplote motora s ohľadom na veľkosť závažia a zmeny polohy komponentov modelu.

Rozšírenie pracoviska nedeštruktívnej diagnostiky o kamerové systémy umožňuje tiež monitorovanie povrchových chýb výrobku umiestneného na pohyblivom vozíku (pomocou rýchleho skenera založeného na plošnej kamere), a monitorovanie a klasifikáciu 3D objektov (prostredníctvom kombinácie riadkového lasera plošnej kamery, alebo pomocou 3D kamery), [11]. Predstavené modelové pracovisko nedeštruktívnej diagnostiky môže byť použité na riešenie širokého spektra úloh modelovania, riadenia a diagnostiky technologických procesov

Uvedená modelová aplikácia podaktuovaného systému jednoduchého inverzného kyvadla s LSM je z pohľadu kyber-fyzikálneho systému zaujímavá svojou hybridnou dynamikou. Samotný podaktuovaný systém inverzného kyvadla s LSM obsahuje spojitú dynamiku, avšak nie je možné ho riadiť pomocou jediného zákona riadenia na celom stavovom priestore, t.j. je potrebný návrh supervízneho hybridného riadenia, ktoré je zložené z výšvihového a stabilizačného algoritmu riadenia, ktorého výsledky sú zosumarizované v [6] a [13].
Ďalšie využitie modelovej aplikácie spočíva v modifikácii modelu kyvadla s LSM na model dvoj/línkových kyvadiel Acrobot a Pendubot čo predstavuje základ pre modelovanie jednoduchej kružidlovej chôdze a jej rozšírení, napríklad na model kružidlovej chôdze s kolenami [18].

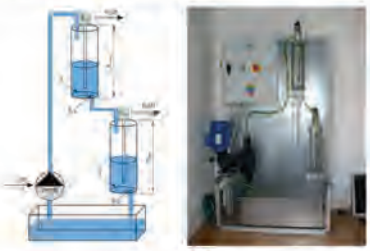
Laboratórny model Výťah
Modelová aplikácia výťah je tiež začlenená do DSR na KKUI FEI TU, [26]
(http://kyb.fei.tuke.sk/laboratoria/modely/vytah.php)
Úroveň modelov, senzorov a aktuátorov predstavuje mechanická časť pozostávajúca z kabíny, motora na ovládanie kabíny a jednotlivých snímačov.
Technologická úroveň riadenia a regulácie je reprezentovaná SLC automatom, ktorý riadi celý model výťahu. V modelovej aplikácii sa nachádza HSC modul, na ktorý je napojený IRC snímač snímajúci rýchlosť motora pre pohyb kabíny s presnosťou 400 impulzov na otáčku.
Úroveň simulačných modelov a SCADA/HMI v modelovej aplikácii predstavuje rozhranie SCADA/HMI a simulačný model modelovej aplikácie výťahu. Vyššie úrovne DSR predstavujú informačné systémy na úrovni RDBS ORACLE a multi-dimenzionálne databázy pre uvedenú aplikáciu. [16].
Modelová aplikácia výťah je ako kyber-fyzikálny systém zaujímavá z pohľadu modelovania a syntézy algoritmov riadenia hybridných systémov, nakoľko obsahuje časti so spojitou dynamikou (regulácia rýchlosti kabíny), ako aj časti s diskrétnou dynamikou (výťah stojí, je v pohybe, je blokovaný). Konštrukcia modelovej aplikácie umožňuje realizáciu a testovanie algoritmov riadenia a diagnostiky DC motora v simulačných nástrojoch Matlab/Simulink a následné overenie s využitím SLC automatu. Algoritmy diagnostiky slúžia na monitorovanie stavu ložísk DC motora v mieste jeho uchytenia. Aplikácia súčasne umožňuje vizualizovať riadený mechatronický systém s väzbou na úroveň SCADA a vyššie úrovne informačného systému DSR, [16], [26].

Modelová aplikácia – inteligentná polohovacia plocha
Modelová aplikácia, ktorá obsahuje laboratórny model Guľôčka na ploche reprezentuje vo všeobecnosti inteligentný polohovací mechatronický systém na úrovni polohovateľnej plošiny s určením správania sa objektu nachádzajúceho sa na plošine.
Aplikácia umožňuje riešenie úloh matematického modelovania mechatronického systému, jeho simulácie v prostredí Matlab/Simulink a realizácie navrhnutých algoritmov riadenia pomocou Mikrokontrolera s diagnostikou v spojení s priemyselným PC. Modelová aplikácia súčasne umožňuje vizualizovať riadený mechatronický systém s väzbou na úroveň SCADA a vyššie úrovne informačných systémov DSR, (Obr.8).

Obr 8. Laboratórne pracovisko inteligentnej polohovacej plochy – koncepčná schema
(http://kyb.fei.tuke.sk/laboratoria/modely/gnk.php)

Komunikácia medzi laboratórnym modelom a PC je zabezpečená prostredníctvom jednočipového mikropočítača. Špecifické konštrukčné riešenie tejto modelovej aplikácie umožňuje realizáciu a testovanie navrhnutých algoritmov riadenia v rôznych programovacích jazykoch (C/C++/C#) a simulačných nástrojoch (Matlab/Simulink). Navrhnutý systém riadenia a diagnostiky modelovej aplikácie [22] je založený na znalosti parametrov riadeného systému, ktoré sú získané pomocou experimentálnej identifikácie a umožňujú porovnanie s matematickým referenčným/nominálnym modelom s využitím výstupu kamerového systému [7].

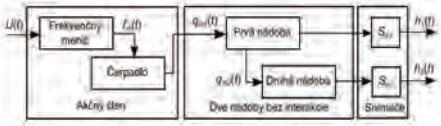
Modelová aplikácia - Hydraulický systém
Modelová aplikácia HS obsahujúca laboratórny model hydraulického systému vo všeobecnosti reprezentuje reálny systém, ktorý pozostáva zo sústavy dvoch valcových nádrží, ktoré sú zapojené v kaskáde za sebou (Obr.9, http://kyb.fei.tuke.sk/laboratoria/modely/hyd.php)



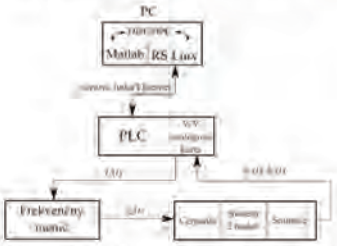
Obr 9 Laboratórne pracovisko pre riadenie a diagnostiku hydraulického systému

Kvapalina je pumpovaná do týchto nádrží z rezervoáru pomocou membránového čerpadla. Výška hladiny v oboch nádržiach je snímaná pomocou kapacitných snímačov

Dinel, (Obr.10). Algoritmy riadenia môžu byť implementované priamo v PLC automate alebo nepriamo prostredníctvom pripojeného technologického PC, ktoré je súčasťou modelového pracoviska, pričom komunikácia je zabezpečená OPC/DDE rozhraním (Obr. 11).
Referenčný/nominálny matematický model tohto systému je možné získať pomocou metód analytickej alebo experimentálnej identifikácie s cieľom jeho využitia v návrhu algoritmov riadenia alebo diagnostiky laboratórneho modelu [8], [27], [29].



Obr 10 Štrukturálna schéma hydraulického systému



Obr 11. Komunikačná bloková schéma pre laboratórny model hydraulického systému

Cieľom tejto modelovej aplikácie hydraulického systému je overenie metód a návrh algoritmov diagnostiky vzhľadom na špecifický charakter tohto systému, nakoľko z pohľadu diagnostiky je dôležité ošetrenie kritických hodnôt sledovaných veličín hydraulického systému, ktoré by mohli viesť k havarijnému stavu počas prevádzky, [23].
Model hydraulického systému je možné prepísať do hybridného po častiach afinného tvaru PWA, čím sa docieli lineárna aproximácia nelineárneho dynamického systému v celom stavovom priestore, teda nielen v okolí pracovného bodu. Nakoľko PWA systémy sú vhodné na lineárnu syntézu algoritmov riadenia, tým ďaleko prevyšujú nelineárnu reprezentáciu dynamických systémov, pre ktoré neexistuje jednoduchý návrh algoritmov riadenia [17]. Opísaný prístup v modelovaní hydraulického systému ako hybridného systému typu PWA poukazuje na ďalšiu možnosť využitia laboratórneho modelu v modelovej aplikácii pri riešení výskumných úloh zameraných na hybridné systémy.

C. Flexibilné výrobné systémy, automatizované a robotizované výrobné linky

Modelová aplikácia zahŕňajúca laboratórne modely výrobných liniek, konkrétne Pružný výrobný systém (PVS) a Flexibilný montážny podnik (FMP) s robotickým ramenom Mitsubishi MELFA RV-2SDB (RR) [9], umožňuje realizovať úlohy nedeštruktívnej diagnostiky na základe referenčných matematických modelov získaných pomocou metód pre popis systémov s diskrétnymi udalosťami a to Petriho sieti [1] a grafov prechodov [10], s cieľom modelovať výrobný proces.
V návrhu distribuovaného systému riadenia výrobných liniek PVS a FMP je možné implementovať všetkých 5 úrovní pyramidálneho modelu DSR na Obr. 1.

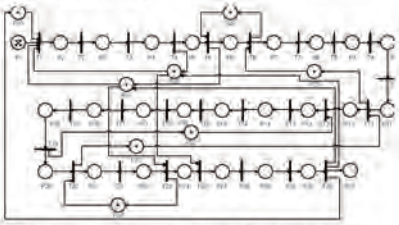
Distribuované systémy riadenia laboratórnych modelov výrobných systémov

Výrobné linky PVS a FMP sú riadené pomocou PLC automatov Compact Logix, pričom snímače (optické, feromagnetické, laserové) a akčné členy (krokové motory, jednosmerné motory, pneumatické pohony) v jednotlivých manipulátoroch na postoch sú prepájané viacerými druhmi komunikačných sieti a protokolov (Ethernet, Ethernet/IP, ASi, ProfiBus, DeviceNet, FireWire, RS-232), [1], [9].
Riadenie modelov na úrovni SCADA/HMI je možné priamo prostredníctvom dotykového panelu Panel View Plus s vizualizáciou na báze FT View alebo na technologickom PC so systémom InTouch. Dáta získané z technologickej úrovne riadenia cez OPC server sú ukladané do relačných Oracle databáz pre zabezpečenie funkcionalít *riadenia výroby* (Enterprise Resource Planning- ERP/ *rozvrhovanie zdrojov* (Manufacturing Resource Planning - MRP), nad ktorými sú vytvorené multidimenzionálne databázy pre manažérsku úroveň riadenia pomocou OnLine Analytical Processing technológie v nástrojoch Oracle Discoverer, Analytic Workspace Manager, Oracle Bussiness Intelligence. Tieto nástroje využívajú údaje z výroby uložené v relačnej databáze, transformujú ich do multidimenzionálnej podoby a poskytujú možnosť rôznych uhlov pohľadu na tieto dáta. Tieto pohľady umožňujú realizovať veľké množstvo analýz, z ktorých je možné vyčítať množstvo informácií o výrobe (množstvo nepodarkov, čas výroby, prestoje na linke, efektívnosť produkcie) potrebných pre následnú optimalizáciu výrobného procesu, [28].
Zároveň obidva laboratórne modely výrobných liniek tvoriace modelové pracovisko pre nedeštruktívnu diagnostiku obsahujú post využívajúci kamerové systémy (farebné, čiernobiele) pre úlohy rozpoznávania obrazov a tvarov pričom na základe referenčného matematického modelu s dostatočnou presnosťou a parametrov snímačov je možné určiť kvalitu riadenia daného výrobného procesu. Vo všeobecnosti platí, že čím je referenčný model presnejší, tým je možné diagnostikovať viac možných chýb v prebiehajúcom výrobnom procese [14].

Modelovanie výrobných liniek pomocou Petriho sieti

Metodológia pre popis systémov s diskrétnymi udalosťami s využitím Petriho sieti, ktoré sú definované ako bipartitný orientovaný graf obsahujúci dva typy uzlov (miesta a prechody) môže byť použitá pre modelovanie výrobných liniek. Vytvorenie modelu pomocou Petriho sieti pozostáva z modelovania hlavných a vedľajších činností, zásobníkov a cyklenia výroby, pričom príklad pre

laboratórny model PVS s využitím programového prostredia CPNtools je znázornený na Obr. 12, [28].
Po zadefinovaní počiatočných stavov je tento matematický model možné vyjadriť aj v maticovej forme, ktorá je vhodná pre implementáciu do simulačného prostredia Matlab pre časovú optimalizáciu prechodov medzi stavmi výrobného procesu [20].



Obr 12. Flexibilný montážny podnik (FPS) – Petriho sieť [28].

Modelovanie výrobných liniek pomocou Stateflow diagramov

Alternatívou k referenčnému modelu popísaného metódou Petriho sieti je zostavenie modelu výrobnej linky s využitím stavových diagramov a jeho následná implementácia do simulačného prostredia Matlab/Simulink s využitím aplikačného toolboxu Stateflow [12]. Ako príklad je uvedený simulačný model FMP znázornený na Obr. 13. V prípade FMP prvé dva bloky zabezpečujú inicializáciu a tretí modeluje výrobný proces na výrobnej linke [14].

Obr 13. Pružný výrobný systém - Stateflow model (http://kyb.fei.tuke.sk/laboratoria/modely/pvs.php)

Nedeštruktívna diagnostika výrobných liniek

Referenčný matematický model popisuje stavy a prechody výrobnej linky, čím popisuje požadované správanie sa zariadenia počas výrobného procesu. V rámci diagnostiky je možné pomocou referenčného matematického modelu identifikovať úzke, resp. kritické miesta výrobného procesu alebo určiť optimálne časy jednotlivých podprocesov. Program v PLC automate snima prechody medzi stavmi výrobného procesu v čase a ak sa dáta zosnímané pomocou vstavaných snímačov líšia voči referenčným hodnotám, je možné včas zachytiť vznikajúcu poruchu prípadne upraviť akčný zásah pre jej potlačenie. Zavedením dodatočných kamerových systémov je možné rozšíriť možnosti už existujúcej diagnostiky a odhaliť aj chyby vo výrobnom procese spôsobené opotrebením akčných členov, náhodných dejov a podobne. Ako príklad je možné uviesť použitie termokamery pre odhalenie nežiadúceho trenia alebo prehrievania motorov akčných členov, ktoré nie je možné zachytiť vstavanými senzormi a ani voľným okom. (Obr.14).

Obr 14 Flexibilný montážny podnik laboratórny model – kamerový post (http://kyb.fei.tuke.sk/laboratoria/modely/fmp.php)

III. ZÁVER

Predkladaný článok zahŕňa popis výskumných aktivít Centra moderných metód riadenia a priemyselnej informatiky (CMMRaPI – kyb.fei.tuke.sk) počas riešenia podaktivity 3.1/PP7 projektu TECHNICOM. Obsahuje taktiež popis prostriedkov, prístupov a technológií zameraných na sledovanie, riadenie a diagnostiku s možnosťou sledovania kvalitatívnych parametrov výrobkov v technologickom procese ich výroby. Ide o komplexný systém merani a diagnostiky statických a dynamických parametrov jednotlivých častí technologických procesov nedeštruktívnymi metódami s cieľom riadenia kvality výrobnej produkcie. Tieto systémy, okrem iného, využívajú laserovú technológiu, kamerové systémy pracujúce na širokom frekvenčnom spektre (termovízne kamery, čiernobiele kamery, farebné kamery) v rôznych vyhotoveniach (rýchle riadkové kamery, plošné 2D kamery, 3D kamery) s programovo nastaviteľným osvetlením z hľadiska intenzity osvetlenia, uhla nasvietenia a spektra osvetlenia (od červeného spektra, cez zelené až po modré svetlo).

Súbor uvedených senzorov je riešený v kombinácii s mechatronickými systémami (roboty, manipulátory, dopravníky a pod.), ktoré určujú vzájomnú polohu senzorov a podmienky merania tak, aby sa zachytili požadované statické a dynamické parametre výrobku, alebo výrobného procesu.

Uvedené senzory a mechatronické časti obyčajne zahŕňajú vlastné počítačové riadiace systémy čo umožňuje ich integráciu do informačných a riadiacich systémov výrobných prevádzok zahŕňajúcich PLC riadenie, modely výroby, SCADA systémy, relačné databázové systémy a pod.

Pre vytvorenie systému sledovania kvality v laboratórnych podmienkach sme zvolili taký prístup, pri

ktorom pre súbor vytypovaných modelových aplikácií (Multifunkčné pracovisko nedeštruktívnej diagnostiky, hydraulický systém, inteligentná polohovacia plocha, výrobné linky, pracovisko mobilnej robotiky a pod.) boli vytvorené matematické modely, ktoré boli odsimulované a fyzicky zrealizované s použitím reálnych snímačov a akčných členov a riadiacich systémov tak, aby sa vyskúšala funkcionalita daného modelu z hľadiska statických a dynamických vlastností ako aj väzieb na iné informačné a riadiace systémy na úrovni štandardných technických a programových rozhraní. Jedná sa teda o súbor hardvérových a softvérových aplikačných stavebnicových modulov na úrovni modelových aplikácií s otvorenými komunikačnými väzbami na rôzne úrovne riadiaceho systému (úroveň PLC, úroveň relačných databáz a pod.) so vzorovými aplikáciami na vybraných modeloch. Výhodou ponúkaných riešení je to, že sa jedná o systém postavený na báze komerčne dostupných komponentov s otvorenou architektúrou a metodikou, ktorá umožňuje užívateľsky prijateľným spôsobom integrovať prvky sledovania kvality do existujúceho informačného a riadiaceho systému.

Môžeme konštatovať, že výstupom projektu je *funkčné experimentálno-vývojové pracovisko* tvorené súborom laboratórií *„Centra nedeštruktívnej diagnostiky technologických procesov so štandardným vybavením pre riadenie a komunikáciu"*, vhodné na riešenie úloh modelovania, riadenia a diagnostiky aktuovaných /podaktuovaných systémov, systémov mobilnej robotiky a výrobných systémov nedeštruktívnymi technikami. (http://kyb.fei.tuke.sk/laboratoria/miest/miest.php).

Pracovisko má modulárny charakter a zahŕňa technické, programové a sieťové prostriedky pre overenie navrhnutej metodiky riadenia a diagnostiky pri riešení špecifických problémov. Transformácia výstupov riešenia projektu do praxe bude spočívať v aplikácii vytvorenej metodiky riešenia širokého spektra úloh integrovanej priemyselnej výroby v súlade s konceptom Industry 4.0 spolu s technickou podporou.

Poďakovanie

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

References

[1] J. Jadlovský, M. Čopík a P. Papcun, *Distribuované systémy riadenia*, elfa Košice, 2013, 215 s., ISBN 978-80-8086-227-5

[2] J. Čerkala and A. Jadlovská, "Dynamics with Friction in Mobile Robot Simulink Model," in *Technical Computing Bratislava 2014 Proceedings* - Saarbrücken : Lap Lambert Academic Publishing, 2015, pp. 65-81. - ISBN 978-3-659-40792-5

[3] J. Jadlovský and M. Kopčík, "Basic Motion Control of Differential-Wheeled Mobile Robot ALFRED," in *Advances in Intelligent Systems and Computing: Emergent Trends in Robotics and Intelligent Systems* - Switzerland: Springer, Vol. 316, 2015, pp. 73-80. ISSN 2194-5357

[4] A.Jadlovská and S. Jadlovská, *Moderné metódy modelovania a riadenia nelineárnych systémov*, elfa Košice, 2013, 257 p., ISBN 978-80-8086-228-2

[5] S. Jadlovská, J. Sarnovský, J. Vojtek and D. Vošček, "Advanced Generalized Modelling of Classical Inverted Pendulum Systems," in *Advances in Intelligent Systems and Computing: Emergent Trends in Robotics and Intelligent Systems* - Switzerland: Springer, 2014 Vol. 316, 2015, pp 255-264. - ISSN 2194-5357

[6] S. Jadlovská, "*Modelovanie a optimálne riadenie nelineárnych podaktuovaných dynamických systémov*", Dizertačná práca, (školiteľ: prof. Ing. J. Sarnovský, Csc.), FEI TU Košice, 2015, s. 230

[7] M. Oravec and A. Jadlovská, "Model Predictive Control of Ball and Plate Laboratory Model," in SAMI 2015. - Danvers: IEEE, 2015 pp. 165-170. - ISBN 978-1-4799-8220-2

[8] J. Čerkala and A. Jadlovská, "Methodology for Experimental Identification of the Laboratory Hydraulic System," in *Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*, Vol. 12, No. 3, 2014, pp. 33-40. - ISSN 1584-2665

[9] P. Papcun and J. Jadlovský, "Mathematical Model of Robot Melfa RV-2SDB," in *Advances in Intelligent Systems and Computing: Emergent Trends in Robotics and Intelligent Systems* - Switzerland: Springer, Vol. 316, 2015, pp. 145-154. ISSN 2194-5357

[10] J. Čabala and J. Jadlovský, "Solving Vector Optimization Problems Using Optimization Toolbox," in *Technical Computing Bratislava 2014 Proceedings* - Saarbrücken: Lap Lambert Academic Publishing, 2015 pp. 45-64. - ISBN 978-3-659-40792-5

[11] J. Jadlovský, M. Varga and M. Kopčík, "Image Processing for Localization of Mobile Robots," in *Electrical Engineering and Informatics 6: Proceedings of the FEE and Informatics of the TU of Košice*, FEI TU, 2015, pp. 574-577, ISBN 978-80-553-2178-3

Bola to (4 v SAMI) – od (12 – nove publikacie)

[12] J. Čabala and J. Jadlovský, "Application of Stateflow Diagrams in Production Line Modeling," In: SAMI 2016. - Danvers : IEEE, 2016 S. 125-130. - ISBN 978-1-4673-8739-2

[13] A. Jadlovská, S. Jadlovská, D. Vošček, "Cyber-physical system implementation into the distributed control system". In: ScienceDirect : IFAC-PapersOnLine. - Amsterdam : Elsevier, 2016 Vol. 49, No. 25 (2016), p. 031-036. - ISSN 2405-8963

[14] J. Jadlovský et al., "Modelovanie, diagnostika a optimalizácia výrobných liniek". In: Strojárstvo. Roč. 21, č. 11 (2017), s. 104-106. - ISSN 1335-2938

[15] A. Jadlovská et al., "Návrh metodiky pre modelovanie, riadenie, simuláciu a nedeštruktívnu diagnostiku mobilných robotov". In: Strojárstvo / Strojírenství. (2017), s. 1-10. - ISSN 1335-2938

[16] D. Vošček, A. Jadlovská, D. Grigľák, "Modelling and Analysis of the Lift System as a Hybrid System". In: Acta Electrotechnica et Informatica. Vol. 17, No. 4 (2017), pp. 28-34. - ISSN 1335-8243

[17] D. Vošček, A. Jadlovská, "Modelling and control of a cyber-physical system represented by hydraulic coupled tanks". In: SAMI 2017. - Danvers : IEEE, 2017 pp. 439-444. - ISBN 978-1-5090-5654-5

[18] S. Jadlovská, L. Koska, M. Kentoš, "MATLAB-based Tools for Modelling and Control of Underactuated Mechanical Systems". In: Transactions on Electrical Engineering. Vol. 6, No. 3 (2017), p. 56-61. - ISSN 1805-3386

[19] J. Čerkala, A. Jadlovská, "Application of Neural Models as Controllers in Mobile Robot Velocity Control Loop". In: Journal of Electrical Engineering. Vol. 68, No. 1 (2017), pp. 39-46. - ISSN 1335-3632

[20] J. Čabala and J. Jadlovský, "Solving Optimal Assembly Line Configuration Task by Multi-objective Decision Making Methods," In: Acta Electrotechnica et Informatica. Vol. 17, No. 2 (2017), pp. 53-60. - ISSN 1335-8243

[21] M. Kopčík and J. Jadlovský, "Embedded Control System for Mobile Robots with Differential Drive". In: Acta Electrotechnica et Informatica. Vol. 17, No. 3 (2017), pp. 42-47. - ISSN 1335-8243

[22] M. Oravec and A. Jadlovská, "Intelligent positioning plate predictive control and concept of diagnosis system design". In: Journal of Manufacturing and Industrial Engineering (MIE). Vol. 15, No. 1-2 (2017), pp. 1-9. - ISSN 1339-2972

[23] M. Oravec and A. Jadlovská, "Sensors fault diagnosis algorithm design of a hydraulic system" In: Acta Electrotechnica et Informatica. Vol. 17, No. 2 (2017), pp. 30-37. - ISSN 1335-8243

[24] J. Čerkala, "*Modelovanie a riadenie mobilných robotov s využitím neurónových modelov*", Dizertačná práca (školiteľ: doc. Ing. A. Jadlovská, PhD.), FEI TU Košice, 2017, s. 299

[25] M. Kopčík, "*Vytvorenie metodiky pre diagnostiku senzorických systémov v rámci distribuovaného systému riadenia so zameraním na mobilná robotiku*", Dizertačná práca, (školiteľ: doc. Ing. J. Jadlovský, CSc.), FEI TU, 2018, s. 127

[26] N. Ferenčík, Návrh a realizácia laboratórneho modelu – výťah, Diplomová práca (vedúci DP: doc. Ing.J. Jadlovský CSc.), FEI, TU, 2016

[27] Š. Jajčišin, Š. a A. Jadlovská, "*Návrh algoritmov prediktívneho riadenia s využitím nelineárnych modelov fyzikálnych systémov*", 1. vyd - Košice : elfa – 2013, 139 s., ISBN 978-80-8086-229-9

[28] M. Čopík, "*Metodika návrhu a realizácie výrobných liniek s ohľadom na optimalizáciu času výroby*", Dizertačná práca, (školiteľ: doc. Ing. J. Jadlovský, CSc.), FEI TU, 2014

[29] Š. Jajčišin a A. Jadlovská, "Riadenie laboratórneho modelu hydraulického systemu", In: Electroscope – online časopis pro elektrotechniku, ročník 2011, číslo III. ISSN 1802-4564,

Sínusovo Štrbinová Anténa pre Senzorové Siete

M. Repko*, J. Gamec*, J. Schneider* and A. Pietriková**
*Technická univerzita v Košiciach/Katedra Electroniky a Multimediálnych Telekomunikácii, Košice, Slovansko
**Technická univerzita v Košiciach/Katedra technológii v elektronike, Košice, Slovensko
{miroslav.repko, jan.gamec, jan.schneider, alena.pietrikova}@tuke.sk

Abstrakt **– Tento článok je zameraný na návrh sinusovo štrbinovej antény určenej pre UWB (Ultra WideBand) senzorovú sieť. Článok opisuje ako návrh a optimalizáciu antény tak aj jej simulačné a merané výsledky. Vlastnosti vyrobenej antény boli overené pomocou obvodového vektorového analyzátora a impulzového radaru. Anténa bola vyrobená na substráte Rogers RO3206.**

Kľúčové slová **– Anténa, Rogers, Sinusová, Štrbinová, UWB**

I. Úvod

V súčasnosti sa širokopásmové radarové systémy ukazujú ako vhodný nástroj v mnohých aplikáciách. UWB radary sú totiž schopné neinvazívnej detekcie pohybu, pričom ich širokopásmovosť im zaručuje dostatočnú presnosť aj pre aplikácie bezkontaktnej senzoriky činnosti srdca, alebo dýchania [1]. UWB radary je taktiež možné použiť na mnohé iné aplikácie v medicíne, stavebníctve, impedančnej spektroskopii [2], GPR aplikáciách [3], cez-stenových meraciach bezpečnostných aplikáciách [4] a v mnohom inom. Jednou z kľúčových požiadaviek v senzorike je vplyv antén na meranie [5].

V tomto článku je hlavný dôraz kladený na UWB anténu určenú pre cez-stenové bezpečnostné aplikácie. Medzi požiadavky kladené na takúto anténu patrí napr. jej minimálne zvonenie, či šírka pásma väčšia ako 500MHz, alebo v relatívnej forme 0,2-násobne väčšia než je centrálna frekvencia. [6]. Medzi ďalšie požiadavky patrí lineárna polarizácia, šírka hlavného laloka vyžarovacieho diagramu viac ako 90°, nízkoprofilová štruktúra, jednoduchá realizácia spojená s výrobnými nákladmi a malé rozmery pri zachovaní f_{min} = 1 GHz.

Ako meno tejto antény napovedá, jej tvar pozostáva zo sinusových kriviek. Prvotná krivka tejto antény bola navrhnutá v 80-tých rokoch R.H. Duhamelom [7]. Jej hlavnou výhodou je logaritmicko-periodická štruktúra s možnosťou vytvárania zložitých obrazov. Práve obrazce tejto antény jej dovoľujú dosiahnuť veľkú šírku frekvenčného pásma pri zachovaní kompaktných rozmerov a planárnej štruktúry.

Tento tvar antény je známy už niekoľko desaťročí, avšak v neplanárnej forme [8][9]. Hlavným cieľom výskumu bola modifikácia UWB sinusovej antény radarových systémoch s lineárnou polarizáciou, dobrou šírkou frekvenčného pásma a realizácia samotnej antény a jej budenia v planárnej forme s nízkymi nákladmi na jej výrobu.

Anténa bola realizovaná v štrbinovej podobe. To znamená, že anténa ja vyleptaná do uzemnenej časti substrátu a signál je privedený pomocou planárneho budenia. Hlavným rozdielom medzi anténou v štrbinovej podobne a v klasickej „neštrbinovej" podobe nie je vo vyžarovacom diagrame samotnom, ale v tom, že vektory E a H si vzájomne prehodia svoju pozíciu.

II. Elektrický návrh

Sinusový tvar predstavený Duhamelom poskytuje logaritmicko - periodickú štruktúru obrazca antény, ktorý je frekvenčne nezávislý. Vďaka tejto vlastnosti je práve sínusový tvar hodný na realizáciu antény určenej pre UWB radarové systémy.

Z jednoduchého pohľadu sa anténa skladá z N ramien zložených z P buniek s veľkosťou, ktorá je postupne škálovaná. Veľkosť p-tej bunky sa zväčšuje (škáluje) od prvej, vnútornej bunky (najmenšej) k vonkajšej väčšej bunky. R_p a R_{p+1} sú vnútorný a vonkajší polomer p-tej bunky. Tvar sinusovej krivky použitej na tvorbu tvaru antény môže byť opísaná pomocou rovnice:

$$\Phi_p(r) = (-1)^p \cdot \alpha_p \cdot \sin\left(\pi \frac{ln\left(\frac{r}{R_p}\right)}{ln(\tau_p)}\right), \qquad (1)$$
$$R_p \leq r \leq R_{p+1},$$

kde α_p a τ_p sú kľúčové parametre návrhu. α_p je kladné číslo, ktoré definuje uhol buniek a τ_p definuje takzvaný rast buniek. Sínusová krivka spĺňa podmienku logaritmickej periodickosti, v inom prípade by bola krivka kvázi logaritmicko-periodická. τ_p je definované ako pomer polomerov:

$$\tau_p = R_{p+1}/R_p. \qquad (2)$$

Rameno anténny je následne z krivky vytvorené posunutím danej krivky o definovaný uhol δ. Pre aplikáciu lokalizácie pohybujúcich sa predmetov za prekážkami je vhodné, aby mala anténa lineárnu polarizáciu. Z toho dôvodu sa výsledná anténa skladá iba z dvoch ramien. Druhé rameno antény je vytvorené otočením prvého ramena o uhol π *rad*.

Analytická rovnica krivky (1) bola transformovaná z polárnej do pravouhlej formy z dôvodu jej použitia v simulačnom prostredí CST MWS. Rovnice výslednej krivky je teda možné zapísať vo forme :

$$X_p(t) = t.\cos\left(\Phi_p(t)\right), \tag{3}$$

$$Y_p(t) = t.\sin\left(\Phi_p(t)\right), \tag{4}$$

pričom t sa pohybuje v rozsahu $<r_1.\tau^{p-1}, r_1.\tau^{p}>$. Uhol α predstavuje uhol šírky buniek. r_1 je najmenší polomer antény. τ je konštanta, ktorá definuje pomer aktuálneho a nasledujúceho polomeru bunky. Na nasledujúcom obrázku je možné vidieť základnú krivku s vyznačenou jednou bunkou.

Obrázok 1. Bunka antény

Sínusová krivka vznikne spojením jednotlivých buniek. Pridaním ďalšej krivky a ich vzájomným otočením o uhol $\pm\delta$ vznikne takmer hotové rameno antény. Obe sínusové krivky sú následne spojené časťou kružnice s minimálnym/maximálnym polomerom. Týmito časťami kružnice uzavrieme oblasť, čím vznikne rameno antény. Druhé rameno antény vznikne jednoduchou rotáciou prvého ramena o π *rad*. Nakoniec do obdĺžnikovej plochy je vyleptaný tvar ramien. Tým vznikne výsledná verzia sínusovo štrbinovej antény, ktorej výsledok je možné vidieť na nasledujúcom obrázku.

Obrázok 2. Sínusovo štrbinová anténa

III. Zvlnenie antény

Hlavnou myšlienkou modifikácie antény zvlnením jej buniek je zlepšenie frekvenčných charakteristík antény. Pomocou tejto modifikácie nie je nutné zväčšiť rozmery antény. Zvlnenie buniek antény zapríčiní zväčšenie elektrickej dĺžky pretekajúcich povrchových prúdov. Na nasledujúcom obrázku je možné vidieť porovnanie zvlnenej a nezvlnenej bunky antény.

Obrázok 3. Základná a zvlnená bunka

Aplikáciou zvlnenia buniek antény je nutné rovnice (3) a (4) upraviť do podoby:

$$X(t) = t + A_1 \frac{t}{r_1 \tau^{p-1}} \cos\left(vyp \cdot \frac{\pi/2}{\alpha \pm \delta} \cdot \Phi_p(t) \pm \delta\right) \cdot \cos\left(pv \cdot \frac{\pi/2}{\alpha} \cdot \Phi_p(t) \pm \delta\right) \cdot \cos\left(\Phi_p(t) \pm \delta\right) \tag{5}$$

$$Y(t) = t + A_1 \frac{t}{r_1 \tau^{p-1}} \cos\left(vyp \cdot \frac{\pi/2}{\alpha \pm \delta} \cdot \Phi_p(t) \pm \delta\right) \cdot \cos\left(pv \cdot \frac{\pi/2}{\alpha} \cdot \Phi_p(t) \pm \delta\right) \cdot \sin\left(\Phi_p(t) \pm \delta\right) \tag{6}$$

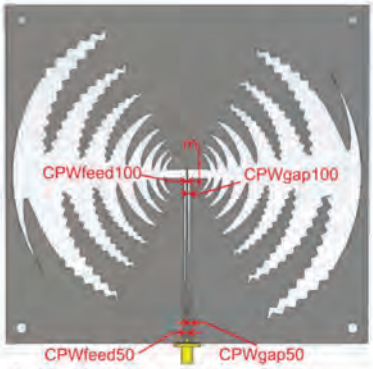
pričom A_1 predstavuje amplitúdu pridaných kriviek, pv je počet vlniek v bunke a vyp parameter zapríčiní menšiu amplitúdu vlniek pri okraji bunky. V procese ladenia antény bolo vytvorených niekoľko modifikácií antény, pričom rozdiel bol v tlmení a aj samotnej prezencii vlniek na bunkách antény.

IV. Napájanie antény a výsledky

Anténa bola vo výsledku zrealizovaná v dvoch formách napájania. V prípade koplanárneho vedenia je signálový vodič oddelený od zeme dvoma medzerami. Takéto vedenie je vytvorené v tvare trojuholníka. Trojuholníkové vedenie sa správa ako impedančný transformátor, ktorý transformuje nízku impedanciu, blízko konektora, na vysoku impedanciu, kde je vedenie zakončené skratom. V mieste nízkej impedancie je trojuholník najširší a v mieste vysokej impedancie najužší. Šírka trojuholníkového transformátora je limitovaná výrobnými podmienkami. V druhej forme napájania bolo vedenie uzemnené na druhej strane substrátu na zemniacu plochu pomocou prekovení.

Zmena amplitúdy zvlnenia veľmi výrazne vplývala na zmenu S_{11} parametra. V niektorých bunkách mal počet vlniek výrazne vplyv na výsledok S_{11} a naopak v niektorých bunkách výsledok takmer vôbec neovplyvnil.

Pripojením koplanárneho vedenia na zvlnenú sínusovo štrbinovú anténu je vytvorená úplne nová, zatiaľ nepublikovaná štruktúra. Na nasledujúcom obrázku je možné vidieť konečnú verziu antény, zahŕňajúcu napájanie pomocou koplanárneho vedenia.



Obrázok 4. Model sínusovo štrbinovej antény

Daná štruktúra bola optimalizovaná v dvoch variantoch:

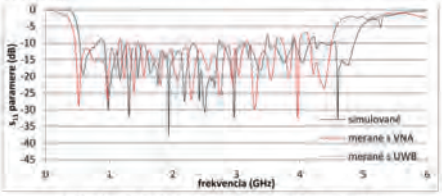
- S útlmom zvlnenia *vyp = 1*,
- Bez útlmu zvlnenia buniek *vyp = 0*.

Nakoniec bola fyzicky vyhotovená iba jedna verzia antény a to verzia bez útlmu zvlnenia, kvôli lepším výsledkom v procese simulácie. Zo simulačného procesu bolo zistené, že anténa ma najlepšie výsledky vo frekvenčnom pásme ak sa $\delta \approx 70^\circ$ a $\alpha \approx 26^\circ$. Výsledné parametre vyrobenej antény s koplanárnym budením je možné vidieť v Tab 1.

Šírka	170 mm	Dĺžka	160 mm
α	26,4°	δ	6,.6°
τ	1,151	r_1	10 mm
m	4,8 mm	pv	22,1
A_1	1,2 mm	vyp	0
CPWfeed50	2 mm	CPWfeed100	0,6 mm
CPWgap50	0,4 mm	CPWgap100	1,1 mm

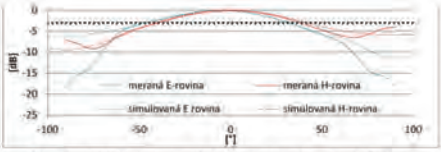
Tab. 1 Výsledné parametre vyrobenej antény

Výsledná sínusovo štrbinová anténa s koplanárnym budením bola vyrobená substraktívnou metódou. Realizovaná anténa bola meraná pomocou VNA v bezodrazovej komore a pomocou UWB impulzového radaru [10]. Porovnanie nameraných a odsimulovaných výsledkov S_{11} parametra je možné vidieť na nasledujúcom obrázku.

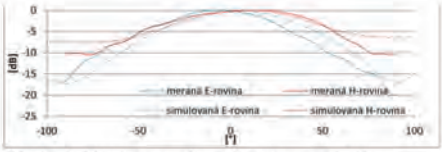


Obrázok 5 S11 parametre vyrobenej antény

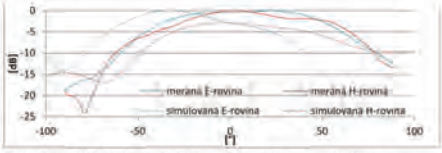
Vyžarovacie diagramy antény v pásme 1 – 5 GHz boli odsimulované, zmerané a porovnané ako je to vidieť na nasledujúcich obrázkoch.



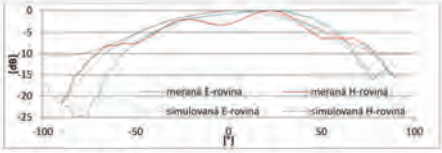
Obrázok 6 Vyžarovací diagram antény pre 1GHz



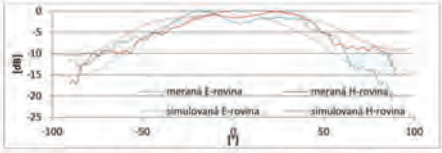
Obrázok 7 Vyžarovací diagram antény pre 2GHz



Obrázok 8 Vyžarovací diagram antény pre 3GHz



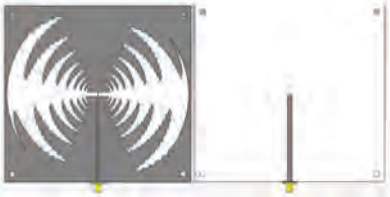
Obrázok 9 Vyžarovací diagram antény pre 4GHz



Obrázok 10 Vyžarovací diagram antény pre 5GHz

Zo simulovaných výsledkov S_{11} je zreteľné, že frekvenčné pásmo pod -10 dB sa nachádza v rozsahu 0,53 – 4,86 GHz. Potom je možné povedať, že šírka frekvenčného pásma je 4,33 GHz alebo 9,1:1. Výsledky z merania sú prekvapivo lepšie ako simulované výsledky. Frekvenčné pásmo je v tomto prípade v rozsahu 0,459 - 4,5 GHz. Z toho vyplýva, že šírka frekvenčného pásma je 4,041 GHz alebo 9,8 : 1. Vyžarovací diagram ukazuje, že šírka hlavného laloka je v priemere okolo 70° a zisk antény sa pohybuje v rozsahu 2,5 – 6 dBi.

Budenie antény bolo navyše modifikované uzemneným koplanárnym vedením. Uzemnená plocha na druhej strane antény slúži na vylepšenie vyžarovacieho diagramu. Šírka tejto plochy je o trocha väčšia ako vonkajšie rozmery koplanárneho vedenia. Obe strany antény je možné vidieť na nasledujúcom obrázku.



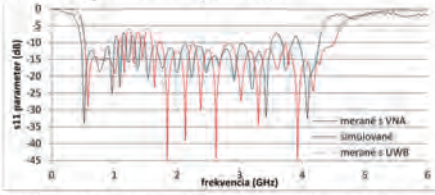
Obrázok 11 Tvar uzemnenej coplanárnej sinusovo štrbinovej antény

Výsledné parametre antény je možné vidieť v nasledujúcej tabuľke.

Šírka	170 mm	Dlžka	160 mm
α	26,5°	δ	76,6°
τ	1,152	r_1	10 mm
m	4,7 mm	pv	20
A_1	0,85 mm	vyp	0
CPWfeed50	1,3 mm	CPWfeed100	0,4 mm
CPWgap50	0,55 mm	CPWgap100	1 mm
wkp	4 mm	lkp	77,65 mm
vzpy	3 mm	vzpx	3,5 mm
rp	0,2 mm		

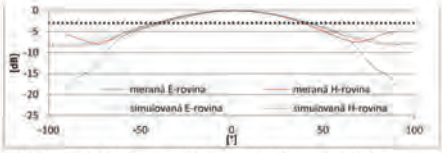
Tab. 2 Výsledné parametre vyrobenej sínusovo štrbinovej antény s uzemnenným koplanárnym budením

Takýto model antény si vyžaduje dodefinovanie nových parametrov ako sú *wkp*, čo predstavuje šírku uzemnenej plochy a *lkp*, ktorý predstavuje dlžku tejto plochy. *vzpy* je vzdialenosť medzi prekoveniami v smere osi *y*, *vzpx* je zas vzdialenosť medzi prekoveniami v smere osi *x* a *rp* predstavuje polomer prekovení. Na nasledujúcom obrázku je možné vidieť porovnanie simulovaných a zmeraných výsledkov S_{11} parametra takejto antény.

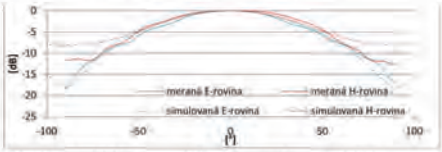


Obrázok 12 Simulované a odmerané výsledky merania S_{11} sínusovo štrbinovej antény s uzemneným budením

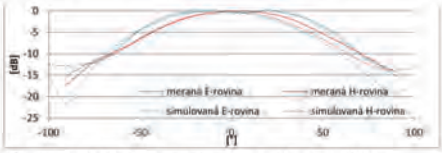
Namerané vyžarovacie diagramy antény v rozsahu 1 - 5 GHz s krokom 1 GHz sú zobrazené nižšie.



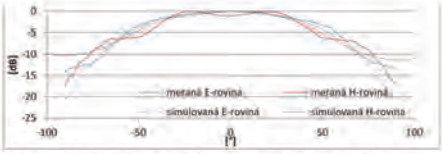
Obrázok 13 Vyžarovací diagram antény pre 1GHz



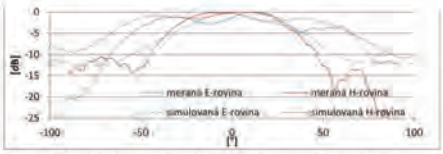
Obrázok 14 Vyžarovací diagram antény pre 2GHz



Obrázok 15 Vyžarovací diagram antény pre 3GHz



Obrázok 16 Vyžarovací diagram antény pre 4GHz



Obrázok 17 Vyžarovací diagram antény pre 5GHz

Vyrobený model antény s uzemneným koplanárnym budením bol porovnaný so simulačnými výsledkami. S_{11} ukázal, že anténa pracuje vo frekvenčnom pásme 0,53 - 4,5 GHz. To znamená, že šírka frekvenčného pásma je 3,97 GHz alebo 8,49 : 1. Avšak meraný výsledok S_{11} parametra určil anténu pre pásmo 0,459 – 4,29 GHz, z čoho vyplýva šírka pásma 3,831 GHz alebo 9,3 : 1. Zisk antény sa pohyboval v rozsahu 2,9 – 5,7 dBi a z vyžarovacieho diagramu antény bola určená šírka hlavného laloka na 70°.

V. ZÁVER

Tento článok sa zameriava na návrh UWB sínusovo štrbinovej antény určenej pre radarové aplikácie. Mnoho variant tejto antény bolo simulovaných, avšak dve verzie dosiahli dostatočné výsledky aby boli aj vyrobené. Vyrobené verzie antén sa líšia v spôsobe napájania. Antény

boli vyrobené vo formách s uzemneným aj neuzemneným koplanárnym vedením. Prekvapivým výsledkom je to, že merané výsledku sú lepšie ako simulované. Ako výsledné charakteristiky ukázali, tieto antény sú vhodné pre ich využitie v UWB radarových aplikáciách.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

LITERATÚRA

[1] E. M. Staderiny "UWB radars in medicine", *Aerospace and Electronic Systems Magazine*, č. 17, s. 13 – 18, 2002.

[2] M. Ziga, P. Galajda, S. Slovak, and M. Kmec, "Determination of the quality of irying oil based on UWb impedance spectrometer", *16th Internation Radar Symposium*, s. 955 – 960, 2015.

[3] D. H. N. Marpaung and L. Yilong, "A comparative study of migration algorithms for UWB GPR images in SISO-SAR and MIMO array configuration", *15th Internation radar symposium*, s. 1 – 4, 2014.

[4] D. Novak, R. Zetik and D. Kocur, "Defective localization of target in UWB radar applications", *14th International Conference RADIOELEKTRONIKA*, s. 15 – 16, 2014.

[5] J. Schneider and J. Gamec, "Overview of UWB Low-profile planar antennas", *Acta Electrotechnica et Informatica*, vyd. 14, č. 2, s. 5 – 59, 2014.

[6] D. Kocur, P. Kazimir, J. Fortes, D. Novak, M. Drutarovsky, P. Galajda and R. Zetik, "Short-range UWB radar: Suveillance robot equipment of the future", *Systems, Man and Cybernetics*, s. 3767 - 3772, 2014.

[7] R. H. DuHamel, "Dual polarized sinous antennas," U.S. Patent 4 658 264, April 987.

[8] I. M. Alotaibi, J. Hong and S. K. Almorqi, "Cavity-backed dual dual linear polarization sinuous antenna with integrated microstrip balun feed", *2015 IEEE 15th Mediterranean Microwave Symposium*, s. 1 – 4, 2015.

[9] Ch. Xu, F. Iina, W. Xianfeng and "Design of ultra-wideband sinuous antenna applid for respiratory monitor", *Asia-Pacific Interantional Symposium on Elecromagneticompatibility*, s. 256 - 258, 2016.

[10] J. Schneider, J. Gamec, J. Gamcová and M. Repko, "Alternative Antenna Measuring Methods with Use of Impulse UWB Radar," *Radioelektronika 2016*, s. 296 – 299, 2016.

Projekčno-inžinierske pracovisko pre navrhovanie elektromechanických pohonných systémov a ich aplikácií

F. Ďurovský et.al.
Katedra elektotechniky a mechatroniky, FEI TU Košice, Slovensko
frantisek.durovsky@tuke.sk

Abstrakt **– Cieľom Aktivity 3.2 bolo zriadenie a trvale udržateľná činnosť centra poskytujúceho vysokým školám, SAV, priemyselným partnerom, štátnej správe, verejnej správe a tretiemu sektoru technologické a vedomostné zázemie pre potenciálne spin-off projekty v oblasti elektrotechniky a elektroniky. Pilotný projekt 2 bol zameraný na oblasť elektromechanických pohonných systémov, predovšetkým v oblasti elektrických servopohonov, robotických aplikácií a elektromobility.**

Kľúčové slová **– servopohon, Hardware in the Loop, elektromobilita, FEM, výkonový menič, DSP, AGV**

I. ÚVOD

Katedra elektrických pohonov a mechatroniky FEI TU v Košiciach (ďalej len KEM) bola v minulosti zapojená do riešenia viacerých projektov, v rámci ktorých sa budovala jej infraštruktúra [1], [2], [3], [4] a [5]. Vybavenie pracoviska bolo cieľavedome orientované na nasledujúce oblasti vedy a výskumu:

- výkonová elektronika,
- návrh elektrických strojov pomocou nástrojov FEM,
- riadenie elektrických pohonov,
- riadenie priemyselných systémov,
- autonomobilová mechatronika a elektromobilita.

Na uvedené oblasti je dlhodobo zameraný aj výskum na KEM, vďaka čomu pracovisko disponuje odborníkmi v uvedenej oblasti. KEM spolupracuje s podnikmi v regióne, či už v rámci riešenia spoločných výskumno-vývojových projektov, alebo sa podieľa na riešení konkrétnych úloh v rámci hospodárskej činnosti. Na základe týchto skúseností vznikla potreba zriadiť pracovisko, ktoré by poskytovalo predovšetkým priemyselným partnerom v regióne pomoc pri riešení ich technických projektov.

Projekt Technicom priniesol možnosť rozšíriť vybavenie pracoviska o ďalšie technológie tak, aby bolo možné poskytovať vysokým školám, SAV, priemyselným partnerom, štátnej správe, verejnej správe a tretiemu sektoru technologické a vedomostné zázemie pre potenciálne spin-off projekty v oblasti elektrotechniky a elektroniky. V rámci Aktivity 3.2 a Pilotného projektu 2 tak vzniklo *Projekčno-inžinierske pracovisko pre navrhovanie elektromechanických pohonných systémov a ich aplikácií* (ďalej len PIP).

PIP v súčasnosti umožňuje pre uvedených partnerov realizáciu výskumno-vývojových aktivít v nasledujúcich oblastiach:

Pre oblasť elektromechanických systémov:

- Analýzu a simuláciu elektromechanických systémov a ich pohonných komponentov.
- Využitie prostriedkov Hardware in the Loop (HIL) pri optimalizácii riadiacich štruktúr servopohonov a elektrických pohonov uzlov výrobných liniek.
- Simuláciu premenlivého zaťaženia a momentu zotrvačnosti pomocou emulátora záťažových momentov.

Pre oblasť elektrotechniky:

- Analýzu, simuláciu a návrh výkonových polovodičových meničov.
- Vývoj riadiacich obvodov pre výkonové meniče s využitím špeciálnych analógových obvodov, mikrokontrolérov a DSP.
- Testovanie výkonových meničov pomocou HIL technológie.
- Návrh a optimalizáciu elektrických strojov a elektromechanických uzlov s využitím metódy FEM.
- Návrh a realizáciu špeciálnych testerov pre elektrotechnické zariadenia.

Pre oblasť elektromobility:

- Návrh a optimalizáciu výkonových meničov pre pohon vozidiel a manažment toku energie v elektromobile.
- Real-time simuláciu dynamiky vozidla, riadenie viacmotorového pohonu elektromobilu.
- Návrh kompaktného pohonu pre mobilné aplikácie.
- Využitie zdrojov elektromobilov v rámci inteligentných sietí (smart grids) v spolupráci s centrom VUKONZE.

KEM v súčasnosti disponuje týmto základným vybavením pre jednotlivé oblasti výskumu a vývoja:

Pre oblasť elektromechanických systémov:

- *Real-time simulátor RT-Lab* (od fy Opal-RT), vrátane viacprocesorového systému s FPGA vstupno-výstupnými obvodmi. Je kompatibilný s prostredím Matlab/Simulink a je vhodný pre riadenie dynamických mechatronických sústav, pohonov a meničov. Je základom pre Hardware in the Loop (HIL) riadenie a simulácie, a je pripojiteľný ku komerčným meničom prostredníctvom rozhrania CAN.
- *Emulátor záťažového momentu* pre dynamické zaťažovanie pohonov. Emulátor je postavený na báze real-time simulátora, umožňuje priame riadenie zaťažovania z prostredia Matlab/Simulink a je pripojiteľný k jednosmerným aj striedavým pohonom napájaným z výkonových meničov.
- *Compact-RIO* – malý mobilný riadiaci systém vybavený vstupno/výstupnými rozhraniami, vhodný

pre vývoj a monitorovanie mobilných aplikácií (od fy National Instruments).

- *Analyzátor a simulátor zbernice CAN, LIN, FlexRay, IT* a pod. (CANoe od fy Vector).
- *Programové prostredie Matlab/Simulink* s toolboxami. Pre základný balík je k dispozícii aj komerčná licencia.

Pre oblasť elektrotechniky:

- *Programy na báze FEM* pre návrh a optimalizáciu konštrukcie elektromotorov a simuláciu elektromechanických systémov ProEngineer, Ansys, Simplorer, MotorCad.
- *Stand na meranie presných aktuátorov.*
- *Osciloskopy Tektronix* TDS 5034B a MSO 4034 s príslušenstvom.
- *Štvorkanálový analyzátor výkonu* LMG 500-4.
- *Spektrálny analyzátor.*
- *Elektronická jednosmerná záťaž* – 2x.
- *Termovízna kamera.*
- *Programy balíka Mentor Graphics:*
  Mentor Pyxis/ IC Flow – na návrh integrovaných obvodov (ASIC).
  PCB and System Design - na návrh, implementáciu a analýzu dosiek s plošnými spojmi.
  Mechanical Analysis – na kompletný teplotný návrh elektronického zariadenia a jeho chladenia od úrovne integrovaného obvodu po úroveň chladenia celého zariadenia.

Pre oblasť elektromobility:

- *Skúšobná stolica na meranie výkonu na kolesách* vozidiel MAHA.
- *Dynamometer na zaťažovanie motorov* do výkonu 60 kW.
- *CarSim vrátane Real time verzie* – program na simuláciu dynamiky vozidiel (od fy Mechanical Simulation).

Vybavenie pracoviska umožnilo uchádzať sa o spoločné vývojové projekty s partnermi z praxe. Jednalo sa o projekty v rámci Operačného programu: 313000 - Operačný program Výskum a inovácie:

EXCELLENCE MOTION CENTER - Priemyselné výskumno-vývojové centrum rozvoja pokročilých komponentov pre prenos výkonu s využitím nových materiálov a digitalizácie procesov ich výroby. Žiadateľ projektu: Spinea, s.r.o. Prešov. Partneri: Kybernetika, s.r.o. Košice, Technická univerzita v Košiciach, Ústav materiálového výskumu SAV, Košice [6].

EXCELLENCE MECHATRONIC CENTER - Priemyselné výskumno-vývojové centrum rozvoja SMART aktuátorov s využitím IoT mechatronických komponentov v generickom prostredí pokročilej SMART montáže. Žiadateľ projektu: Spinea Technologies, s.r.o. Prešov. Partner: TU v Košiciach [7].

Priemyselné výskumno-vývojové centrum pre elektrické pohony vozidiel. Žiadateľ: ROŠERO - P. s.r.o., Sp.Nová Ves. Partner: TU v Košiciach [8].

V uvedených prípadoch projekty neboli zo strany agentúry finančne podporené. Ďalšie projekty boli tematicky orientované na potreby priemyselného partnera. Jednalo sa o projekty financované Agentúrou na podporu výskumu a vývoja (APVV):

Modulárny výkonový menič pre kompaktné aktuátory s presnou prevodovkou. Projekt APVV-15-0750. (2016 – 2020). Projekt sa realizuje.

Optimalizácia zdrojov a spotreby elektrickej energie v elektrickom MIDIbuse. APVV-17-0552. (2018-2022). Projekt je v štádiu posudzovania.

V nasledujúcej časti budú uvedené príklady projektov riešených s využitím infraštruktúry a personálneho potenciálu PIP.

II. PATHFINDER

A. Úvod

Pathfinder je prototyp automaticky vedeného vozidla (Automated Guided Vehicle – AGV) pre logistiku v nemocniciach. Okrem iného je zaujímavý tým, že kombinuje komerčné komponenty pre priemyselnú automatizáciu s najnovšími technológiami na autonómnu navigáciu. Hoci boli tvorcovia Pathfinder-a inšpirovaní podobnými jestvujúcimi komerčnými vozidlami AGV, cieľom projektu bolo vyvinúť vozidlo, ktoré bude optimalizované na prácu v nemocnici. Hlavný dôraz bol preto kladený na robustnú mechanickú konštrukciu, dostatok miesta na prevážaný materiál, schopnosť vyhýbať sa kolíziam a jednoduché ovládanie. Pathfinder je autonómne jazdiaca platforma, na ktorú je možné voľne alebo pevne prichytiť prevážaný kontajner alebo paletu s nákladom. V nasledujúcej časti je uvedený stručný popis vozidla, podrobnejšie informácie sú uvedené v [9].

B. Mechanická konštrukcia

Rozmery vozidla boli ovplyvnené dvomi podmienkami: vozidlo sa musí zmestiť do nemocničného výťahu ale na druhej strane musí poskytnúť dostatok miesta pre všetky komponenty pohonu a riadenia vozíka (zdvihacie zariadenie, pohon, meniče, batériové packy a riadiaci počítač). Bez prepravovaného kontajnera je vozidlo dlhé 1250 mm, široké 600 mm a vysoké 270 mm. Váži 75 kg a jeho nosnosť je 60 kg.

Pohon zabezpečujú dve nezávisle riadené kolesá poháňané servomotormi cez planétovú prevodovku. Maximálna rýchlosť je 0,65 m/s. Zdvihací mechanizmus je poháňaný krokovým motorom a umožňuje zdvih hornej dosky platformy.

Obr. 1. Celkový pohľad na mechanickú konštrukciu Pathfinder-a. Platforma s dvomi nezávisle poháňanými a jedným oporným kolesom. Zdvihací mechanizmus v strede vozidla umožní naloženie a transport samonosných regálov. Kompaktná a zároveň robustná konštrukcia bola jednou z hlavných podmienok prevádzky v nemocnici.

C. *Hardvérové komponenty*

Pathfinder využíva najnovšie komponenty B&R pre priemyselnú automatizáciu. Jadrom systému je priemyselné PC APC910 vybavené procesorom i3 3120ME. APC je vybavené operačným systémom Ubuntu 14.04 LTS a poskytuje dostatočný výpočtový výkon pre navigáciu a riadenie pohonov. Cez PLC X20CP sú k APC pripojené vstupno-výstupné zariadenia ako ovládacie tlačidlá, núdzový stop a LED podsvietenie vozidla. Servopohony sú napájané z meničov ACOPOSmicro. Rozmiestnenie komponentov platformy je na obr.1, ich bloková schéma je na obr.2. Komunikáciu medzi hlavnými komponentmi vozidla zabezpečuje zbernica Ethernet Powerlink.

Elektrickú energiu pre Pathfinder dodávajú dva olovené trakčné akumulátory 12 V/55 Ah zapojené do série. Poskytujú energiu na cca 10 km dojazd, čo stačí na prevádzku počas jednej osemhodinovej pracovnej smeny. Úplné nabitie akumulátorov cez rýchlonabíjačku trvá 2 hodiny.

Pathfinder je vybavený niekoľkými ďalšími snímačmi. Priamo na motoroch sú enkódery, ktoré poskytujú informáciu o polohe a rýchlosti jednotlivých kolies. Informácia je spracovaná priamo v meničoch servopohonov a využíva sa pri odometrii vozidla. Dva lidary SICK LMS100 (predný a zadný) poskytujú údaje pre lokalizáciu a navigáciu. Sú pripojené cez TCP/IP a snímkujú okolie 25-krát za sekundu. Dve širokouhlé kamery na prednej strane platformy sa používajú jednak na monitorovanie pohybu, ako aj na rozpoznávanie synchronizačných značiek. Vozidlo je vybavené modulom 4G/LTE so zabezpečeným vzdialeným prístupom a servisným 4.3" dotykovým panelom T30 pre potreby základného nastavenia a diagnostiky. Komunikácia s nemocničnou počítačovou sieťou je prostrednictvom dvojpásmového Gigabit Wifi routra na frekvenciách 2.4GHz a 5GHz a TCP/IP protokolu.

Pokiaľ platforma preváža pevný kontajner na zdravotnícky materiál, komunikácia s obsluhou je realizovaná prostredníctvom 7" dotykového panelu na dverách kontajnera. Spracovanie údajov a ich prenos zabezpečuje modul na báze Raspberry Pi.

Obr.2. Bloková schéma zapojenia hardvérových komponentov Pathfinder-a. Prepojenie hlavných komponentov cez zbernicu Powerlink, ktorá zabezpečuje robustné a spoľahlivé spojenie medzi riadiacim počítačom APC910, meničmi pre pohony ACOPOS a PLC typu X20CP1486 PLC s cyklom 4ms.

D. *Lokalizácia a mapovanie*

Navigácia Pathfinder-a využíva technológiu SLAM [10], ktorá počas jazdy vytvára a priebežne upravuje mapu okolia vozidla, pričom sleduje trasu vozidla v mape. Hlavným zdrojom informácií sú v tomto prípade oba lidary. Tie vykonávajú riadkový sken okolia s rozlíšením 0.25°, maximálnym dosahom 18 metrov a záberom 270°. Frekvencia snímkovania je 25 Hz.

Kvôli bezpečnej a bezkoliznej prevádzke je nutné mať k dispozícii úplný 360°scan okolia vozidla. Údaje z lidarov sú preto matematicky spracované tak, že údaje zo zadného lidaru sú transformované do súradnicového systému predného lidaru a pomocou pluginu "*LaserScanAngularBounds*" z"*laser_filters*" package [11] sú z nich odstránené body mimo preddefinovaných uhlových hraníc.

Úplný sken okolia je potrebný aj pre lokalizáciu. Lokalizácia Pathfinder-a využíva dva zdroje dát. Prvým je Canonical Scan Matcher [12], ktorý je veľmi rýchlou verziou ICP algoritmu [13]. Druhým zdrojom je odometria odvodená zo snímačov na pohonoch kolies. Údaje z oboch zdrojov sú zlúčené a filtrované pokročilým stochastickým filtrom. Aj keď sa výsledné dáta blížia skutočnej polohe vozidla, kvôli ofsetu a integračnej chybe neposkytujú dostatočnú presnosť pri jazde na dlhšie vzdialenosti. Tento nedostatok bol odstránený pomocou algoritmu Adaptive Monte-Carlo Localization (AMCL) [14], ktorý využíva filter častic na sledovanie polohy robota v rámci známej mapy.

Samotná mapa bola vytvorená pomocou softvérového balíka známeho ako "*gmapping*" [15]. *Gmapping* je vysoko účinný Rao-Blackwellized filter častic, ktorý sa používa na vytvorenie mapovej siete z bodov nasnímaných laserom. Keďže *gmapping* na rozdiel od "*hector_mapping*" [16] nesleduje svoju vlastnú polohu v priestore, je nutné doplniť túto metódu o už spomínanú externú lokalizáciu.

V rámci úvodnej fázy integrácie Pathfindera v mieste nasadenia bolo nutné vytvoriť 2D mapu prostredia. Pathfinder bol niekoľkokrát ručne navádzaný v priestore, pričom boli v činnosti obe funkcionality: externá lokalizácia a gmapping. Vďaka tomu sa rýchlejšie podarilo rozlíšiť polohu pevných objektov (steny, dvere a pod.) od dynamicky sa meniacich. Na obr.3 je príklad Pathfinder-om zmapovaného priestoru v mieste nasadenia robota.

E. *Plánovanie trajektórie*

Na plánovanie trajektórie pohybu robota sa používa niekoľko metód. Výber konkrétnej z nich závisí od veľkosti robota a prostredia, v ktorom sa bude pohybovať. Pre verejné priestory, kde je veľa pohybujúcich sa prekážok, je výhodné použiť adaptívny plánovač trajektórie. V prípade Pathfinder-a bol použitý "*Pure Pursuit Path Tracking Algorithm*" [17], [18].

Obr.4 – Pathfinder počas úvodného testovania v Nemocnici Košice-Šaca. Robot sa používal na transport zdravotníckeho materiálu medzi skladom na prízemí budovy a oddeleniami v hlavnej budove.

F. *Spojenie ROS a zbernice POWERLINK*

V posledných rokoch sa Robot Operating System (ROS) stal neoficiálnym štandardom v oblasti servisnej robotiky. ROS ako otvorený systém sa stal silným middleware nástrojom vďaka širokému portfóliu knižníc a funkcií [19], [20]. Preto bol ROS použitý aj pri vývoji Pathfinder-a.

Problémom bola integrácia B&R hardvéru do prostredia ROS. ROS poskytuje drivery pre viacero priemyselných zberníc ako sú EtherCAT, CAN, PROFINET Modbus a ďalšie. Podpora pre Powerlink však nebola k dispozícii. Preto bol v rámci projektu vytvorený základný interface ROS – Powelink, ktorý je dostupný aj pre ostatných užívateľov ROS v repozitári Github [21].

Na komunikáciu po zbernici Powerlink medzi ROS a hardvérom B&R sa používa protokol CANopen podľa špecifikácie CiA401. Z hľadiska prenosu dát je najdôležitejší prenos príkazov medzi navigačným softvérom a pohonmi a spätná väzba o skutočnej polohe z meničov. Z hľadiska konfigurácie siete predstavuje X20CP PLC riadiaci node, zatiaľ čo ACOPOS a APC sú riadené nody. Cyklus komunikácie je nastavený na 8 ms, ale bol skúšaný aj pre periódu 400 µs.

Pathfinder bol nasadený v Nemocnici Košice-Šaca, kde v súčasnosti prebieha skúšobná prevádzka.

III. HIL SIMULÁTOR

Súčasťou prístrojového vybavenia KEM je HIL real-time simulátor RT-Lab (od fy Opal-RT), vrátane viacprocesorového systému s FPGA vstupno-výstupnými obvodmi. Je kompatibilný s prostredím Matlab/Simulink a je vhodný na riadenie dynamických mechatronických sústav, pohonov a meničov. Je základom pre Hardware in the Loop (HIL) riadenie a simulácie, a je pripojiteľný ku komerčným meničom prostredníctvom rozhrania CAN. Toto zariadenie sa využíva na rýchle overenie nových riadiacich algoritmov. S jeho pomocou bolo riešených niekoľko zaujímavých úloh, jednou z nich je prediktívne riadenie rýchlosti DC motora [22].

A. *Úvod*

Aj keď jednosmerné motory s permanentnými magnetmi (PMDC) už nie sú najčastejšie používaným motormi v aplikáciách so servopohonmi, stále majú svoje miesto hlavne v malých pohonoch v robotike, ručnom náradí, medicínskych aplikáciách a v automobiloch. Ich výhodou je lineárna mechanická charakteristika, veľký moment aj pri malých rýchlostiach a jednoduché riadenie. PMDC bez železného jadra rotora nevykazujú tzv.cogging moment, majú menšie vibrácie a hladší chod pri malých rýchlostiach. Preto sú stále predmetom skúmania.

V príspevku [22] bol navrhnutý a experimentálne overený nový spôsob riadenia pre PMDC napájaný z DC-DC mešiča - Finite Control Set Model Predictive Control (FCS-MPC).

Obr.3 Mapa vytvorená Pathfinder-om pomocou dvoch lidarov SICK LMS100, odometriou odvodenou z kolies robota a spočítanou v PLC X20CP1486, Laser Scan Matcher, Angular Bounds, filter a gmapping package.

B. *Matematický model motora*

Pre PMDC motor bol najprv odvodený spojitý stavový model. Pre obvod kotvy motora platí rovnica:

$$v_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + v_{emf}, \tag{1}$$

kde R_a je odpor kotvy, L_a je indukčnosť kotvy, i_a a v_a sú prúd a napätie kotvy a v_{emf} je indukované napätie. Moment generovaný motorom je:

$$T_e = k_T i_a, \tag{2}$$

kde T_e je moment motora a k_T je momentová konštanta. Z rovnice (2) je zrejmé, že nelinearita magnetizačnej charakteristiky je v modeli motora zanedbaná a nahradená priamkou. Mechanická časť motora je popísaná dynamickou rovnicou:

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1}{J_m}(T_e - T_l - B\omega_m), \tag{3}$$

kde J_m je moment zotrvačnosti motora, B je viskózne trenie, ω_m je uhlová rýchlosť motora a T_l je záťažový moment, ktorý predstavuje nemerateľnú poruchu. Budeme predpokladať, že záťažový moment je pomaly sa meniaci, resp. konštantný a vzorkovacia perióda je dostatočne krátka. Potom možno konštatovať, že záťažový moment je nezávislý od stavových premenných motora a môže byť zahrnutý do modelu motora ako ďalšia stavová veličina. Stavový popis PMDC potom bude mať tvar:

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} &= \mathbf{A}_c\mathbf{x}(t) + \mathbf{b}_c u(t) \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{C}_c\mathbf{x}(t), \end{aligned} \tag{4}$$

kde

$$\mathbf{x} = [i_a \;\; \omega_m \;\; T_l]^T, \tag{5}$$

$$\mathbf{y} = [i_a \;\; \omega_m]^T, \tag{6}$$

$$u = v_a, \tag{7}$$

$$\mathbf{A}_c = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{k_E}{L_a} & 0 \\ \frac{k_T}{J_m} & -\frac{B}{J_m} & -\frac{1}{J_m} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \tag{8}$$

$$\mathbf{b}_c = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_c = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Prediktívne riadenie vyžaduje diskrétny model sústavy. Na jeho vytvorenie bol použitý skrátený rozvoj do Taylorovho radu, ktorý je presnejší než Eulerova dopredná alebo spätná aproximácia, nakoľko nezavádza do systému pridavné oneskorenia. Okrem toho umožňuje zaviesť priamu väzbu (feed-through) od vstupnej (riadiacej) veličiny na všetky stavové veličiny, čo je pre prediktívne riadenie nevyhnutné. Diskrétny model bol odvodený zo skráteného Taylorovho rozvoja pre periódu vzorkovania T_s, ktorá je rovnaká pre všetky stavové veličiny x_j:

$$x_j(k+1) = x_j(k) + \sum_{l=1}^{N_j} \frac{T_S^l}{l!} \frac{d^l x_j}{dt^l}\bigg|_k. \tag{9}$$

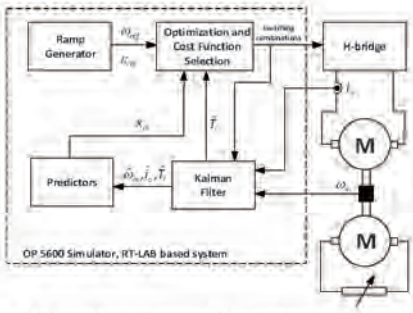
Rozvoj sa robil do takého stupňa, kým sa vstupný signál neobjaví explicitne v rovnici. Pre rovnicu prúdu (1) bude $N_j = 1$, pre rovnicu uhlovej rýchlosti (3) bude $N_j = 2$. Výsledná stavová rovnica systému potom bude:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(k+1) &= \mathbf{A_d}\mathbf{x}(k) + \mathbf{b_d}u(k) \\ \mathbf{y}(k) &= \mathbf{C_d}\mathbf{x}(k). \end{aligned} \tag{10}$$

Význam jednotlivých členov rovnice je vysvetlený v [22]. Na identifikáciu pomaly sa meniaceho záťažového momentu a eliminácia šumu pri snímaní uhlovej rýchlosti bol navrhnutý pozorovateľ na báze Kalmanovho filtra v tvare prediktor-korektor.

C. Návrh riadenia motora

Bloková schéma FCS-MPC riadenia rýchlosti je na obr.5. Navrhnutý algoritmus využíva predikciu budúceho stavu motora v *(k+1)* kroku pre každú možnú hodnotu napätia. To znamená, že pre každý cyklus sa počítajú tri predikcie. Samotné predikcie vychádzajú z diskrétneho modelu motora:



Obr.5 – Bloková schéma pohonu PMDC s riadením podľa FCS-MPC.

$$x_{pi}(k+1) = \begin{bmatrix} k_1 & -k_2 \\ -k_4 & k_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_a(k) \\ \hat{\omega}_m(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_5 & 0 \\ k_7 & k_8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_i(k) \\ \hat{T}_L(k) \end{bmatrix}, \tag{11}$$

kde $\hat{i}_a$ a $\hat{\omega}_m$ sú prúd a uhlová rýchlosť motora získané z Kalmanovho filtra a $\hat{T}_L$ je pozorovaný záťažový moment, ktorý zavedieme ako druhý vstup do systému, x_{pi} je vektor predikovaných stavov pre *i*-te možné napätie a

$$u_i(k) \in \{+V_{DC}, 0, -V_{DC}\} \tag{12}$$

je možná hodnota napätia. Predikované hodnoty sú porovnané pomocou váhovej funkcie. Tá hodnota napätia, pre ktorú je hodnota váhovej funkcie minimálna, je privedená na menič.

Navrhovaný prediktívny regulátor musí splniť nasledujúce podmienky:

- presné sledovanie žiadanej hodnoty pre skokovú zmenu ako aj nárast po rampe,
- obmedzenie maximálnej hodnoty prúdu,
- hladký priebeh momentu motora,
- rýchle vyregulovanie poruchy.

Váhová funkcia predstavuje regulátor, ktorý musí naraz splniť hore uvedené požiadavky. Váhová funkcia bola definovaná nasledovne:

$$J = \underbrace{\lambda_1(\omega_{ref} - \omega_{mp})^2}_{a)} + \underbrace{\lambda_2(i_F + i_L - i_{qp})^2}_{b)} + \underbrace{f_{lim}(i_{qp})}_{c)}, \tag{13}$$

kde ω_{mp} a i_{qp} sú predikované hodnoty uhlovej rýchlosti a prúdu motora. Váhová funkcia obsahuje tri časti:

a) táto časť zvýhodňuje napäťové vektory, ktoré presnejšie sledujú žiadanú hodnotu rýchlosti; sú násobené váhovým koeficientom λ_1,

b) táto časť zabezpečuje riadenie prúdu a jej váhový koeficient je λ_2. V zátvorke sa sčítavajú príspevky hore uvedených prúdov i_F a porovnávajú sa so žiadanou hodnotou prúdu i_L,

c) táto časť váhovej funkcie predstavuje obmedzenie prúdu, pričom výraz f_{lim} je nelineárny a definovaný ako:

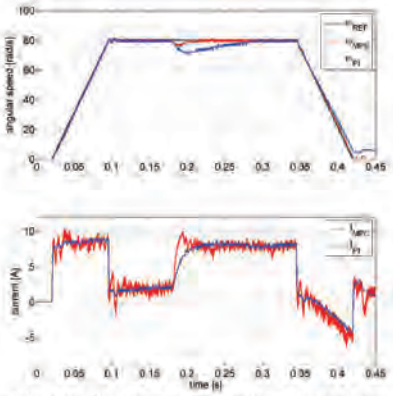
$$f_{lim}(i_{qp}) = \begin{cases} \infty & if \ |i_{qp}| > i_{MAX} \\ 0 & if \ |i_{qp}| < i_{MAX} \end{cases}. \tag{14}$$

Prúdový obmedzovač vo váhovej funkcii pracuje na jednoduchom princípe: ak predikovaná hodnota prúdu bude nad hranicou i_{MAX}, váhová funkcia vráti veľmi vysokú hodnotu (10^{12}), čo primúti regulátor vybrať inú hodnotu napätia.

D. Experimentálne výsledky

Navrhnuté riadenie bolo experimentálne overené na laboratórnom stande (obr.5). PMDC bol zaťažovaný dynamom na spoločnom hriadeli. Medzi motorom a dynamom bol snímač momentu. Na motore bol snímač otáčok LARM s 1024 imp/ot. Hradlové impulzy pre H-mostík boli generované real-time HIL simulátorom *OP5600* (*Opal RT*), ktorý zabezpečoval kompletný výpočet regulátora so vzorkovacou frekvenciou 50 µs.

Boli porovnávané dva regulátory: klasický PI regulátor s predkorekciou a FCS-MPC. Oba regulátory boli naladené na rovnaký prekmit a dobu ustálenia. Testovala



Obr.7. Experimentálne výsledky pre nárast žiadanej hodnoty rýchlosti po rampe

sa reakcia na skok riadenia (obr.6) a rampový nárast želanej rýchlosti (obr.7). V oboch prípadoch sa ukázala rýchlejšia reakcia FCS-MPC na poruchu, na druhej strane prediktívne riadenie vykazovalo väčšie kmitanie prúdu (a momentu), čo je pri tomto type riadenia bežný jav.

Potlačenie oscilácií prúdu pri FCS-MPC je možné dosiahnuť zvýšením λ_2 vo váhovej funkcii, no spôsobi to zhoršenie otáčkovej odozvy regulátora.

Správanie sa Kalmanovho filtra (KF) na pozorovanie záťažového momentu možno sledovať na obr.8. Meraná veličina (modrá čiara) bola získaná zo snímača momentu. Pozorovaná veličina (červená čiara) počas akcelerácie (t=0,025 – 0,1s) nesleduje meranú veličinu, pretože snímač momentu meria aj dynamický moment, čo KF nesleduje, pretože bol navrhnutý na sledovanie statickej záťaže.

Tabuľka 1: Parametre PMDC motora

Parameter	Hodnota	Jednotka
P	250	W
v_{DC}	12	V
i_{nN}	6	A
i_{MAX}	10	A
R_a	0.6	Ω
L_a	0.0019	H
k_T	0.0738	Nm/A
J_m	0.000436	kgm^2

E. Zhodnotenie metódy

Servopohony s PMDC sa používajú v aplikáciách s vysokými nárokmi na dynamiku. Tu je priestor pre reguláciu na báze FCS-MPC, ktorá vykazuje rýchle vyregulovanie poruchy, a teda presné sledovanie želanej rýchlosti. Zároveň vykazuje menší počet spínaní výkonových tranzistorov ako pri bežnom PI regulátora, čo sa prejaví na nižších spínacích stratách. Nevýhodou metódy je vyššia výpočtová náročnosť a väčšie zvlnenie momentu.

IV. ANALÝZY S VYUŽITÍM FEM

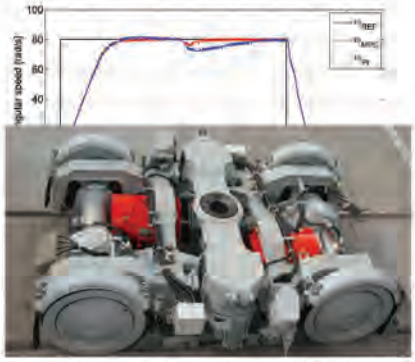
Softvérové nástroje využívajúce metódu konečných prvkov (Finite Element Method – FEM) sa používajú v rôznych inžinierskych oboroch. V elektrotechnike sa používajú na detailnú simuláciu magnetických obvodov, šírenie a prenos tepla v meničoch a motoroch a pod. Na ich základe sa analyzujú magnetické obvody v motoroch a robia návrhy a optimalizácie nových konštrukcií elektrických strojov. S využitím FEM sa riešilo na KEM niekoľko úloh. Jednou z nich bolo párovanie motorov pre podvozky električiek [23].

Podvozky električiek typu T3 (obr.9) sú vybavené sériovými jednosmernými motormi TE022J. Servisný interval pre motor je 4,8 roka alebo 200 000 km. Pri servisnej oprave sa vymieňajú niektoré magnetické časti motora. Vzhľadom na skutočnosť, že uvedený typ motora sa vyrába niekoľko desaťročí, prešiel viacerými modifikáciami a úpravami. To spôsobilo, že elektrické a magnetické vlastnosti častí motora sa mierne líšia. Po repasii a výmene niektorých dielov má motor odlišné vlastnosti a odlišnú charakteristiku. Keďže v každom podvozku sú inštalované dva motory, je nutné ich spárovať tak, aby sa počas prevádzky navzájom nepreťahovali (jeden motor poháňa a druhý brzdí).

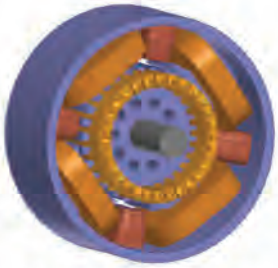
Po renovácii sa motory skúšajú na dynamometri, kde sa merajú ich charakteristiky. Vyberajú sa štyri motory s podobnými vlastnosťami, aby sa oba podvozky električky správali rovnako.

Pomocou FEM sa robila analýza vplyvu parametrov motora, ktoré sa pri renovácii najčastejšie menia: veľkosť odporu vinutí, magnetizačná charakteristika a veľkosť vzduchovej medzery.

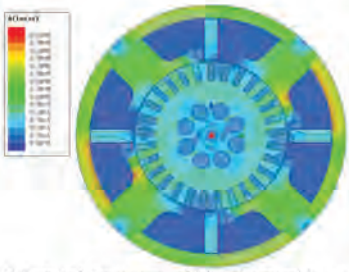
Na obr.10.a) je 3D model električkového motora TE022J. Pomocou tohto modelu sa skúmalo rozloženie hustoty magnetického toku v motore a analyzoval sa vplyv zmeny spomínaných parametrov. Zmeny charakteristiky motora sú na obr.11. Vplyv zmeny odporov vinutí ($R_A + R_f$) bol testovaný pre dvojnásobné zvýšenie ich hodnoty a viedlo k zníženiu momentu T a otáčok n pri vysokých zaťaženiach. Vplyv zmeny charakteristiky B-H bol uvážený pri znížení hodnoty na 0,85B(H)$_{Scale}$. Zníženie vzduchovej medzery na 0,65h_a bolo ukázané pri malej záťaži.



Obr.9. Podvozok električky T3 s dvomi motormi TE022J (červené).



a) 3D model električkového motora TE022J



b) Rozloženie hustoty magnetického toku pre prúd $i_F = i_A = 266$ A

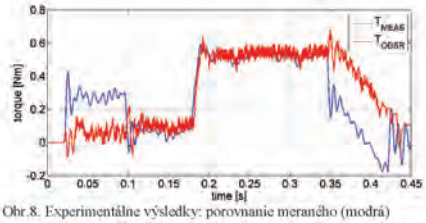
Obr.10 FEM model električkového motora a magnetické toky v ňom

Obr.12 ukazuje vplyv veľkosti vzduchovej medzery h_a na konštrukčnú konštantu stroja k_Φ . Charakteristiku je možné upravovať vložením podložiek s hrúbkou h_u pod pólové nástavce stroja.

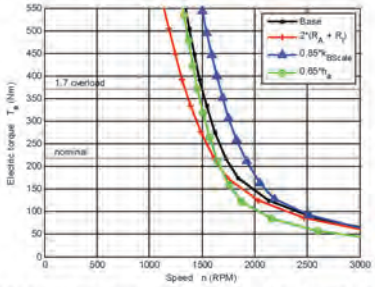
Charakteristiky motorov boli požité pri ich párovaní na dynamometri. Viac informácií je uvedených v [23].

Poďakovanie

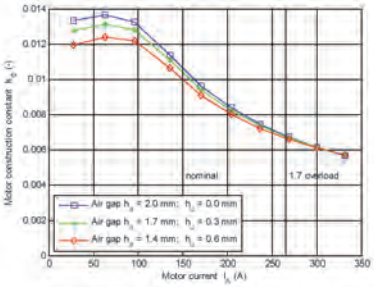
Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Obr.8. Experimentálne výsledky: porovnanie meraného (modrá) a pozorovaného (červená) momentu motora. Pozorovaný moment predstavuje len záťažový moment a neobsahuje dynamickú zložku.



Obr.11 Vplyv zmeny parametrov motora na $T_e(n)$ charakteristiku motora



Obr.12 Vplyv zmeny veľkosti vzduchovej medzery na konštantu stroja k_Φ.

References

[1] *Dobudovanie unikátneho pracoviska – Laboratórium automobilovej elektroniky*. Rozvojový projekt IT Ministerstva školstva SR, 2006.

[2] *Zavedenie novej technológie na výrobu prúdových chráničov s nadprúdovou ochranou*. Projekt APVV -99-P04705. Riešiteľ: SEZ Krompachy a.s., spoluriešiteľ FEI-TU Košice. (2005-2007).

[3] *Virtuálne laboratórium riadenia mechatronických systémov*. Projekt KEGA č. 03/5240/07.

[4] *Výskum modulov pre inteligentné robotické systémy*. Projekt OPVaV: ITMS 26220220141. Hlavný riešiteľ: ZTS VVÚ Košice, Spinea Prešov, TU Košice, Procont Prešov. (2011 – 2015).

[5] *Centrum excelentnosti integrovaného výskumu a využitia progresívnych materiálov a technológií v oblasti automobilovej elektroniky*. ITMS kód projektu: 26220120055, Riešiteľ: TU Košice (9/2010 0 10/2013).

[6] *EXCELLENCE MOTION CENTER - Priemyselné výskumno-vývojové centrum rozvoja pokročilých komponentov pre prenos výkonu s využitím nových materiálov a digitalizácie procesov ich výroby*, Operačný program: 313000 - Operačný program Výskum a inovácie. Kód výzvy: OPVaI-VA/DP/2016/1.2.1-02. Kód žiadosti o NFP: NFP313010B892. Žiadateľ: SPINEA, s.r.o. Prešov, Partneri: Kybernetika, s.r.o., Košice, Technická univerzita v Košiciach, Ústav materiálového výskumu SAV, Košice.

[7] *EXCELLENCE MECHATRONIC CENTER - Priemyselné výskumno-vývojové centrum rozvoja SMART aktuátorov s využitím IoT mechatronických komponentov v generickom prostredí pokročilej SMART montáže*. Operačný program: 313000 - Operačný program Výskum a inovácie. Kód výzvy: OPVaI-VA/DP/2016/1.2.1-02. Kód žiadosti o NFP: NFP313010B954.

Žiadateľ: SPINEA Technologies s.r.o., Prešov. Partner: Technická univerzita v Košiciach.

[8] *Priemyselné výskumno-vývojové centrum pre elektrické pohony vozidiel*. Operačný program: 313000 - Operačný program Výskum a inovácie. Kód výzvy: OPVaI-VA/DP/2016/1.2.1-02. Kód žiadosti o NFP: NFP313010C025. Žiadateľ: Rošero-P,s.r.o., Sp.Nová Ves, partner: TU Košice.

[9] J. Bačík, F. Ďurovský, M. Biroš, K. Kyslan, D. Perduková and S. Padmanaban, *Pathfinder – Development of Automated Guided Vehicle for Hospital Logistics*, In: IEEE Access, vol. 5, pp. 26892-26900, 2017. ISSN: 2169-3536.

[10] G. Grisetti, R. Kummerle, C. Stachniss and W. Burgard, *A Tutorial on Graph-Based SLAM*",IEEE Intell. Transp. Syst. Mag, vol. 2, no. 4, pp. 31-43, 2010.

[11] *Robot Operating System* (ROS). Laser_filter package documentation, (Aug. 15, 2017). [Online]. Available: http://wiki.ros.org/laser_filters

[12] A. Censi, *An ICP variant using a point-to-line metric*", 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Pasadena, CA, USA,pp. 19-25, 2008.

[13] A. Segal, D. Haehnel,and S. Thrun, *Generalized-ICP*", Proceedings of Robotics: Science and Systems, Seattle, USA,June, 2009.

[14] G. Grisetti, C. Stachniss and W. Burgard, *Improved Techniques for Grid Mapping With Rao-Blackwellized Particle Filters*", IEEE Trans. Robot., vol. 23, no. 1, pp. 34-46, Feb. 2007.

[15] *Robot Operating System (ROS). Hector_mapping package documentation*, (Aug. 15, 2017). [Online]. Available: http://wiki.ros.org/hector_mapping

[16] Kohlbrecher, S., Meyer, J., Graber, T., Petersen, K., Klingauf, U., Von Stryk, O., *Hector open source modules for autonomous mapping and navigation with rescue robots*". Lect. Notes Comput. Sc. pp. 624-631. 2014.

[17] K. Berntorp, *Path planning and integrated collision avoidance for autonomous vehicles*", 2017 American Control Conference (ACC), Seattle, WA, USA, pp. 4023-4028, 2017.

[18] Coulter, R. Craig, *Implementation of the pure pursuit path tracking algorithm*", No. CMU-RI-TR-92-01. Carnegie Mellon University, Pitsburgh, Pennsylvania, January 1992. (Aug. 15, 2017). [Online]. Available: http://www.ri.cmu.edu/pub_files/pub3/coulter_r_craig_1992_1/coulter_r_craig_1992_1.pdf

[19] Quigley, Morgan, et al., *ROS: an open-source Robot Operating System*". ICRA workshop on open source software, Kobe, Japan, 2009.

[20] Cousins, S., *Exponential growth of ROS*", IEEE Robot. Autom. Mag., vol. 18, no. 1, pp. 19-20, 2011.

[21] *ROS-Powerlink Wiki tutorial by SmartRoboticSystems*, (Aug. 15, 2017). [Online]. Available: https://github.com/SmartRoboticSystems/ros_powerlink/wiki

[22] V. Šlapák, K. Kyslan, M. Lacko, V. Fedák, F. Ďurovský, *Finite Control Set Model Predictive Speed Control of a DC Motor*. In: Mathematical Problems in Engineering. ID 9571972, pp. 1-10, 2016. ISSN: 1024-123X. Vydavateľ: Hindawi-Limited.

[23] Ž.Ferková, A. Richter, *3D em modelling of DC traction motors for pairing of motors in tram undercarriages*,. 2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion : 18. - 20. June 2014, Ischia- Italy. - Danvers : IEEE Computer Society, 2014 P. 371-374. - ISBN 978-1-4799-4750-8

Povrchový odpor a povrchový merný odpor

R. Cimbala et al.
* Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach
Katedra elektroeneretiky, Košice, Slovakia
Roman.cimbala@tuke.sk

Abstrakt – Tento príspevok sa zaoberá problematikou sledovania povrchového odporu izolačných materiálov. Je analyzovaný vývoj skúšobných metód pre povrchy s nízkou aj vysokou vodivosťou. V článku je popísaný experiment pre získanie zvolených kvalitatívnych parametrov popisujúcich stav povrchu izolačného systému na báze celulózy. Sú vyhodnotené časové závislosti nabíjacích prúdov vzhľadom na aplikované napätie aj hrúbku skúmaného materiálu.

***Kľúčové slová* – povrchový odpor, povrchový merný odpor, elektrizácia, nabíjanie**

I. Úvod

Na začiatku je potrebné si uvedomiť, že je rozdiel medzi fyzikálnymi vlastnosťami a ich interpretáciou - povrchovým odporom a povrchovým merný odporom. Napriek tomu, že sa na tieto parametre sústredili viaceré diskusie, sú stále pravdepodobne najdôležitejšie v odvetví ESD (electrical surface discharges). Pracovníci v oblasti ESD potrebujú jasne pochopiť, aké sú rozdiely pri vykonávaní výberov materiálov a v ich nasadzovaní pracovnom prostredí vzhľadom na ich povrchový odpor.

Meranie povrchovej odolnosti sa uplatňuje nielen v elektrotechnike. Vonkajšie izolátory sú prvky, ktoré ovplyvňujú hodnotenie spoľahlivosti elektrickej sústavy [1], ale povrchová rezistivita slúži na kvantifikáciu vlastností nových progresívnych materiálov (GC-COOH) pomocou ultrazvukom asistovanej metódy [2] alebo na hodnotenie kriedy od Gorm terénu a zeleniny a z oblasti Solsortu vo veku a vodných tokoch [3].

Veľa diskusií sa uskutočnilo počas 13. medzinárodnej konferencie v apríli 2017 vo Frankfurte nad Mohanom. Väčšina z nich bola publikovaná v Journal of Electrostatics č. 88 (2017) [4]. V dôsledku fyzikálnej povahy vodivosti je kľúčovou myšlienkou paralelná kombinácia povrchového a objemového odporu a ich pomeru.

A. Teoretické základy

Povrchový odpor v Ωm sa používa na určenie kvality izolačných materiálov, na ktoré sú kladené požiadavky na vysokú odolnosť. Povrchový odpor v ohmoch sa zvyčajne určuje meraním na obalových materiálov, pri ktorých sú potrebné nižšie odporové charakteristiky.

B. ASTM D-257 Povrchový odpor

Veľa rokov sa na klasifikáciu obalových materiálov kontrolovaných na ESD používajú merania povrchovej rezistivity. Všeobecne používanými metódami sú štandardné testovacie metódy ASTM D-257 pre jednosmerný odpor alebo vodivosť izolačných materiálov [5]–[12]. ASTM D-257 meria odporové alebo vodivé vlastnosti izolačných materiálov skôr ako rozptylové charakteristiky materiálov na kontrolu ESD. Bez ohľadu na jeho názov sa ASTM D-257 používa v celom vojenskom a komerčnom svete na klasifikáciu vlastností obalových materiálov v jednosmernom poli, kde je potrebná vyššia vodivosť umožňujúca odvedenie povrchového náboja (disipatívnych materiálov).

C. Odstránenie nesprávneho používania ASTM D-257

Koncom osemdesiatych rokov výbor ASTM D-9 oznámil Výboru pre elektronické obaly elektronických výrobkov (PEPS) od Electronics Industries Association (EIA), že používanie ASTM D-257 na vyhodnocovanie obalových materiálov bolo technicky nesprávne. Výbor D-9 uviedol, že jeho použitie na vyhodnotenie disipatívnych materiálov viedlo k chybám a požadoval, aby normy EIA Standard 541 Packaging Material Standards pre položky určené na ESD obmedzili ASTM D-257 ako skúšobnú metódu pre materiály určené pre elektrostatické aplikácie - ESD.

Odporúčanie výboru na zmenu vychádzalo zo skutočnosti, že ASTM D-257 obsahuje niekoľko postupov na meranie a vyhodnocovanie izolačných materiálov s vysokým povrchovým odporom a poskytuje najhorší scenár na posúdenie najnižšieho odporového odporu izolačného materiálu, ktorý udáva najnižšie izolačné vlastnosti materiálu. Skúšobná metóda špecifikuje vysoké testovacie napätie, strednú až vysokú relatívnu vlhkosť [13] vysoký tlak testovacieho prístroja na zníženie kontaktného odporu, pričom merania sa týkajú izolácií s veľkým rozsahom odporu.

Pri hodnotení materiálov so statickým rozptylom – disipatívnych materiálov potrebujete poznať najvyšší odpor, ktorý môže zabrániť pohybu statického náboja smerom k nižšiemu potenciálu [14]. Inými slovami, metóda ASTM D-257 na hodnotenie izolačných vlastností poskytuje najhoršiu možnú informáciu o kvalite materiálu pre aplikáciu v ESD odvetví, ako aj nekonzistentné meranie disipatívnych produktov.

Na potvrdenie stanoviska výboru pracovná skupina ESD pre EES PEPS č. 1 vykonala skúšku "round-robin" medzi piatimi laboratóriami s použitím piatich identických súborov vzoriek. Každé laboratórium testovalo súbory vzoriek za kontrolovaných podmienok použitím svojej interpretácie ASTM D-257. Analýza údajov z testov z laboratórií ukázala, že použitím ASTM D-257 na vyhodnotenie staticky kontrolovaných materiálov došlo k rozdielu medzi laboratóriami štatisticky 4. rádu.

II. Vyhodnotenie problému

Prvým cieľom bolo určiť, čo sa meralo a prečo bol takýto rozdiel nájdený. Pracovná skupina dospela k

záveru, že izolátory sú vysoko odolné homogénne materiály určené na zabránenie toku elektrónov cez ich povrch; statické disipatívne materiály boli materiály s nižším odporom, určené na umožnenie toku elektrónov cez a pod ich povrchom.

Disipatívne materiály nie sú homogénne, pretože môžu pozostávať z akejkoľvek kombinácie vodičov, organických chemikálií alebo kovov. Tieto prísady podporujú tok elektrónov, zatiaľ čo izolátory sú vyrobené z čisto nevodivých materiálov. Metóda ASTM hodnotí charakteristiky povrchového odporu jednotných izolátorov a nie je vhodná na vyhodnocovanie zložitých nehomogénnych disipatívnych materiálov obsahujúcich vodivé prvky. Je to chyba v aplikácii zvolenej metodiky merania a vyhodnocovania.

A. Účinky vlhkosti

ASTM D-257 odporúča skúšobné materiály v relatívnej vlhkosti 50% alebo vyššej. Vlhkosť poskytuje na povrchu materiálu vodivú vrstvu, ktorá znižuje ochranné vlastnosti izolátora tým, že zvyšuje tok elektrónov a odolnosť statických materiálov. Naopak, nízka Rh zvyšuje odolnosť izolátora a znižuje funkciu disipatívneho materiálu.

B. Elektródový systém

ASTM D-257 sa zaoberá viacerými konfiguráciami elektródového systému pre meranie povrchového odporu. Úlohou elektródového systému je určiť definovaný odpor povrchovej časti materiálu; to znamená, odpor v ohmoch / m2. Z fyzikálneho princípu vyplýva, že je možné používať akékoľvek usporiadanie elektródového systému, pokiaľ je definovaná jeho konfigurácia a rozmery. EIA Task Force # 1 definuje použitie sústredných krúžkov na meranie staticky disipatívnych materiálov, ale pri posudzovaní disipatívnych materiálov vznikli ďalšie rozdielne konštrukcie a materiálové zloženia.

C. Tlak pripevnenia

Vysoký tlak (2 až 10 MPa) sa aplikuje na skúšobné telesá s sústredným krúžkom alebo obdĺžnikom na zníženie odporu kontaktov medzi skúšanými elektródami a skúšaným izolátorom a na posúdenie jeho najviac vodivých vlastností. Elektronické zariadenia chránené materiálmi určenými na ESD sú relatívne ľahké a často majú dodatočný kontaktný odpor v dôsledku ich konfigurácie. V dôsledku toho vysoký tlak elektródy narúša funkčnú odolnosť disipatívnych materiálov, čo následne môže znížiť ich funkčné vlastnosti.

D. Skúšobné napätie a prúd

Pred výpočtom povrchového odporu sa na materiál aplikuje dlhší čas skúšobné napätie 500 V alebo vyššie. Tieto vyššie skúšobné napätia sú potrebné na presné meranie izolátorov a na meranie nižšieho odporu je vhodnejšie nízke skúšobné napätie. Je potrebné si uvedomiť, že pri tom dochádza k procesu nabíjania materiálu (elektrizácia - elektrizovanie, nabíjanie telies elektrickým prúdom), pri ktorom nastáva zachytávanie voľných nosičov náboja skúšaným materiálom. Tento jav je časovo závislý.

Vysoké skúšobné napätia aplikované na materiály ESD s pomerne nízkym odporom vytvárajú významný tok prúdu, ktorý mení charakteristiky materiálu a poskytuje nižšiu indikáciu odporu. Ak sa na disipatívny materiál používa 500 V, ako je uvedené v norme ASTM D-257, tok prúdu je niekoľko rádov vyšší ako tok cez izolátor.

Vysoký tok prúdu spôsobuje rozklad materiálu alebo uhlíkové stopy medzi vodivými prvkami a laminovacími vrstvami. Výsledkom sú nepravidelné merania, poškodený materiál a falošná indikácia kvality materiálu.

E. Doba nabíjania

Použitie skúšobného napätia zariadenia na určitý čas pred zaznamenaním merania sa označuje ako čas nabíjania. Pri meraniach izolátorov vytvárajú dlhé časy nabíjania nižšiu indikáciu odporu. Pri meraní disipatívnych materiálov môžu dlhé časy nabíjania ovplyvniť vlastnosti povrchu a zmeniť hodnotu povrchového odporu.

Doba nabíjania nie je jasne definovaná normou ASTM D-257 a odborníci používajú na meranie materiálov rôzne časy. Výsledkom sú nekonzistentné hodnoty merania.

F. Modifikovaný prístup

Po preskúmaní údajov z testu ASTM D-257 a následnej analýzy meraní pracovná skupina č. 1 vytvorila upravený postup na meranie rezistivity statických disipatívnych materiálov. Definovaný postup bol vyvinutý a testovaný na teste zúčastnenými laboratóriami.

Konečná verzia procedúry znížila celkovú odchýlku na odchýlku 1. rádu medzi laboratórnymi laboratóriami alebo istotou menšou ako polovicu rozsahu. To bolo považované vyhovujúce a nový postup bol v konečnom dôsledku uvoľnený asociáciou ESD ako meranie povrchovej odolnosti staticko-disipatívnych plošných materiálov, EOS / ESD S11.11-1993.

III. POVRCHOVÝ ODPOR PODĽA S11.11

S11.11 definuje postup merania povrchového odporu planárneho (plochého) statického disipatívneho materiálu. Kritické prvky meracieho systému sú:

A. Návrh elektródového systému a súvisiaceho zariadenia

Návrh konštrukčnej zostavy elektród je založený na koncentrickom usporiadaní [14].

Súprava elektród S11.11 je definovaná svojou veľkosťou, povrchom materiálu elektródy a celkovou hmotnosťou. Akékoľvek laboratórne meranie povrchovej vodivosti disipatívneho materiálu musí používať rovnakú konfiguráciu.

Kruhové testy ukázali, že povrchový odpor staticky disipatívneho materiálu sa značne menil, ak sa skúšobná vzorka merala na vodivom skúšobnom lôžku. Táto premenná bola eliminovaná špecifikovaním izolátora ako nosnej plochy vzorky.

Prístrojové zariadenie používané na meranie povrchového odporu môže pozostávať buď z napájacieho zdroja a ampérmetra alebo z integrovaného zariadenia, ktoré kombinuje tieto funkcie prístroja. Prístrojové vybavenie sa musí merať od $1{,}0 \times 10^3$ do $1{,}0 \times 101^3$ Ω a

má skúšobné napätie 10 a 100 V (± 5%). Pretože všetky systémy sú odlišné, S11.11 používa dva postupy na overenie a charakterizáciu schopností každého systému.

B. Overenie systému v oblasti nízkeho odporu

Kritické merania nízkeho povrchového odporu boli eliminované S11.11. Prvou úlohou bolo zabezpečiť, aby zostava elektród dosiahla stály kontakt s testovaným materiálom pri nízkom napätí (10 V). Druhým cieľom bolo potvrdiť, že celý systém vykonal presné meranie nízkeho odporu (1,0 x 10^6 Ω) pri 10 V. Ak bola konfigurácia elektród rozdielna alebo testovacie napätie bolo abnormálne nízke, výsledkom bola nepresné meranie.

Pre dosiahnutie presného zarovnania zostavy elektródového systému sa používa presný kalibračný krúžok (zariadenie na meranie materiálu s nízkym povrchovým odporom). Ak je zostava elektród presná a je elektródový systém galvanicky spojený bez ovplyvňujúcich prechodových odporov resp. bez nedokonalého styku s povrchom materiálu a nameraný odpor systému bude v rozsahu 5,0 x 10^5 Ω, ± 1% pri 10 V, potom ak je elektródový systém presne umiestnený, otáčanie elektródového systému o 90 ° opäť zistí odpor 5,0 x 10^5 Ω, ± 1%.

C. Overenie systému v oblasti s vysokým odporom

Závislosť medzi vysokým odporom (1,0 x 10^{12} Ω) a definovaným časom nabíjania bola potvrdená. Každý systém však môže byť odlišný a môže vykázať rozdiely v napájaní, meraní prúdu, kábloch a v pripojeniach elektród. Na posúdenie týchto premenných sa používa zariadenie na overenie systému s vysokou rezistivitou, ktoré overuje presnosť merania systému na presne kalibrovaných vysokých odporoch .

Kalibračná vzorka má dva krúžky slúžiace ako elektródy, ktoré sa plne dotýkajú povrchu materiálu. Rezistor 1,0 x 10^{12} Ω (± 5%) sa inštaluje medzi vnútorné a vonkajšie krúžky. Táto konfigurácia umožňuje určiť dobu nabíjania systému podľa nasledujúceho postupu:

- zostava elektród je umiestnená na verifikačnom zariadení s horným rozsahom a pripojená k prístroju,
- aplikuje napätie 100 V na elektródový systém overovacieho odporu,
- skutočný odpor je definovaný ako horné stabilné meranie odporu systému, ktoré by malo byť 1,0 x 10^{12} Ω(± 5%),
- akonáhle je definované horná stabilná nameraná hodnota odporu, používa sa na určenie doby nabíjania,
- 5 časových meraní sa vykonáva v rozsahu 10% merania stabilného odporu,
- 5 nameraných časov nabíjania sa spriemeruje a pridá sa k nim 5 s.

Výsledkom je čas nabíjania pre daný systém. Vypočítaná doba nabíjania umožňuje systému vykonať meranie maximálneho odporu bez nadmerného vystavenia vzorky vysokému napätiu. Doba nabíjania sa používa pre všetky merania odporu väčšie ako 1,0 x 10^6 Ω a zabezpečuje konzistentnosť merania.

D. Veľkosť vzorky a predkondicionovanie

S11.11 špecifikuje, že pre merania povrchového odporu musia mať vzorky minimálnu veľkosť 7,6 x 127 mm. Vzorky by mali byť o niečo väčšie ako elektródový systém a pri porovnaní rôznych materiálov by mali byť všetky vzorky rovnakej veľkosti.

Pred testovaním sa vzorky kondicionujú počas 48 hodín až 72 hodín pri definovanej teplote a nízkej Rh, tj. 23 ° C (± 3 ° C) a 12% Rh (± 3% Rh). Meranie vzoriek s rovnakou veľkosťou pri definovanej teplote a Rh ďalej maximalizuje opakovateľnosť a zvyšuje konzistentnosť merania.

E. Základný postup merania S11.11

Je potrebné merať aspoň šesť vzoriek toho istého materiálu, aby sa dosiahla minimálna úroveň štatistickej spoľahlivosti. Po umiestnení skúšobnej vzorky na izolovanom skúšobnom lôžku a usporiadaní elektród v jej strede sa na zostavu elektród aplikuje napätie 10 V.

Ak je meraný odpor materiálu po 5 s menší ako 1,0 x 10^6 Ω, zaznamená sa. Ak je meraný odpor rovný alebo väčší ako 1,0 x 10^6 Ω, testovacie napätie sa vypne a následne sa použije na opätovné meranie napájacie napätie 100 V. Uvedený odpor, po dokončení merania trvajúceho na základe vypočítanej doby nabíjania systému, sa považuje za povrchový odpor vzorky v ohmoch podľa S11.11.

Odmeria sa všetkých šesť vzoriek a zaznamenajú sa údaje [16]:

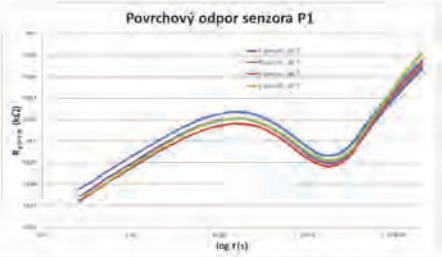
- minimálny povrchový odpor všetkých vzoriek,
- maximálny povrchový odpor všetkých vzoriek,
- priemerný povrchový odpor všetkých vzoriek,
- čas kondicionovania,
- relatívna vlhkosť,
- teplota,
- skúšobné napätie,
- čas nabíjania horného odporového rozsahu.

EXPERIMENT

V rámci projektu bol na meranie povrchového odporu vyvinutý merací izolátor s novou senzorovou vrstvou aplikovanou na povrchu izolátora. Vzhľadom na to, že je v štádiu prípravy podanie patentovej prihlášky, nie sú uvedené bližšie špecifikácie senzorovej vrstvy.

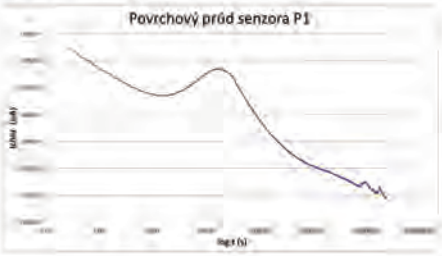
Bola skúmaná stabilita meraného prúdu. Merací izolátor bol umiestnený v teplovzdušnej sušičke Teplota pre jednotlivé merania bola od 20 °C do 50 °C s krokom 10 °C.

Boli merané nabíjacie prúdy pri napätí 100 V. Prúdy boli merané elektrometrom s citlivosťou 10^{-16}A. Na Obr. 2 sú priebehy povrchových odporov senzora pri definovaných teplotách.



Obr. 1 Povrchový odpor senzora pri rôznych teplotách

Ako je z grafov možné vidieť, povrchový odpor senzora sa s časom mení len minimálne. Po 2 000 sekundách je zmena na úrovni 0,14 %, čo považujeme za veľmi dobrý výsledok.



Obr.2 Povrchový prúd senzora počas dlhodobého merania

Pre určenie dlhodobej stability bol zistený povrchový prúd senzora počas aplikácie skúšobného napätia po dobu 250 000 sek. Ako je možné vidieť za grafu na Obr.2, dlhodobá stabilita senzora je vysoká. Počas doby merania do 3 dní je zmena povrchového prúdu 0,31 %.

Považujeme preto nami navrhnutý senzor za teplotne a časovo stabilný a vhodný pre dlhodobé nasadenie v reálnych podmienkach.

ZÁVER

Na základe dôkladného rozboru technik, ktorý nutne musel predchádzať experimentálnemu meraniu bol navrhnutý a následne prvotnému meraniu pri rôznych teplotách overený senzor na meranie povrchovej vodivosti. Bola dokázaná jeho veľmi dobrá stabilita v čase.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

LITERATÚRA

[1] Martinek, Z., Klor, T, Holy, J.: Reliabity of the electrical power system, International Scientific Conference on Electric Power Engineering, ISBN:978-1-4799-3807-0

[2] Yongshen Li, Jihui Li, Yuchai Li, Yali Li, Yunan Song, Shuai Niu, Ning Li Ultrasonic-assisted preparation of graphene oxide carboxylic acid polyvinyl alcohol polymer film and studies of thermal stability and surface resistivity, , Ultrasonics Sonochemistry, Volume 40, Part A, January 2018, Pages 798-807

[3] K.Katika, M.M.Alama, A Alexeev, K.H.Chakravarty, P.L.Fosbol, A.Revil, E. Stenby, I. Xiarchos, A.Yousefi, I.L.Fabricius,Elasticity and electrical resistivity of chalk and greensand during water flooding with selective ions, Journal of Petroleum Science and Engineering Volume 161, February 2018, Pages 204-218

[4] Smallwood, J.: A practical comparison of surface resistance test electrodes Journal of Electrostatics Volume 88, August 2017, Pages 127-133

[5] Surface Resistance Measurement of Static Dissipative Planar Materials Group Author(s): ESD Association ANSI/ESD STM 11. 11-2006

[6] Surface Resistance Measurement of Static Dissipative Planar Materials Group Author(s): ESD Association ANSI/ESD STM 11. 11-2015 Published: 2015

[7] Two-Point Resistance Measurement Group Author(s): ESD Association ANSI/ESD STM 11. 13-2015 Published: 2015

[8] Explosive Atmospheres-Part 0: Equipment-General Requirements Group Author(s): International Electrotechnical Commission IEC 60079-0:2011 Published: 2011

[9] Explosive Atmospheres Part 32-2. Electrostatic Hazards Tests Group Author(s): International Electrotechnical Commission IEC 60079-32-2

[10] Electrostatics Part 2-3: Methods of Test for Determining the Resistance and Resistivity of Solid Planar Materials Used to Avoid Electrostatic Charge Accumulation Group Author(s): International Electrotechnical Commission IEC 61340-2-3:2000 Published: 2000

[11] Electrostatics Part 2-3: Methods of Test for Determining the Resistance and Resistivity of Solid Planar Materials Used to Avoid Electrostatic Charge Accumulation Group Author(s): International Electrotechnical Commission IEC 61340-2-3;2016 Published: 2016

[12] Electrostatics Part 5-3: Protection of Electronic Devices from Electrostatic Phenomena-Properties and Requirements Classifications for Packaging Intended for Electrostatic Discharge Sensitive Devices Group Author(s): International Electrotechnical Commission IEC 61340-5-3:2015 Published: 2015

[13] J. Kim, M. Chaudhury, and M. Owen, "Hydrophobicity loss and recovery of silicone HV insulation", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 6, pp. 695–702, 1999.

[14] William A. Maryniak, Toshio Uehara, Maciej A. Noras: Surface Resistivity and Surface Resistance Measurements Using a Concentric Ring Probe Technique Trek Number 1005

[15] ESD S4.1-2006 - ESD Association Standard for the Protection of Electrostatic Discharge Susceptible Items – Worksurfaces – Resistance Measurements

[16] Document Number: MD023A3, Rev 3, 11/2007, Lista International

Možnosti využitia experimentálnych metód pri posudzovaní a zvyšovaní životnosti a bezpečnej prevádzky strojov a zariadení

J. Bocko*, F. Trebuňa*, M. Pástor* and P. Šarga*

* Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra aplikovanej mechaniky a strojného inžinierstva, Letná 9, 04200, Košice, Slovensko

** Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra mechatroniky, Letná 9, 04200, Košice, Slovensko

e-mail jozef.bocko@tuke.sk, frantisek.trebuna@tuke.sk, miroslav.pastor@tuke.sk, patrik.sarga@tuke.sk

Abstract – **Poruchy strojov a zariadení sú najčastejšie zapríčinené prekročením medzných stavov definovaných hraničnými hodnotami napätí a deformácií v miestach ich kritických namáhaní. Príspevok je zameraný na vývoj a aplikáciu metodík pre analýzu príčin porúch nosných prvkov mechanických sústav kvantifikáciou polí deformácií a napätí pri využití moderných experimentálnych a numerických metód mechaniky. Navrhnuté postupy boli využité pri hodnotení spoľahlivosti a zostatkovej životnosti strojov a zariadení.**

Keywords – **experimentálne metódy, životnosť, bezpečná prevádzka, zvyškové napätia**

1. ÚVOD

Aj napriek tomu, že v posledných desaťročiach sa pre riešenie mechanických a mechatronických sústav veľmi výrazne rozšírilo uplatnenie numerických metód výpočtové riešenia sa dopĺňajú a spresňujú na základe experimentálne získaných výsledkov a modelovej techniky. Experimentálne metódy mechaniky na jednej strane umožňujú presnejšie definovanie parametrov vstupujúcich do výpočtov (napr. časové priebehy zaťažujúcich síl, vplyv okrajových podmienok), na druhej strane aplikácie moderných experimentálnych metód elektronická speckle interferometria [1], digitálna obrazová korelácia [2-5], metóda Photostress [6,7] a pod. dovoľujú analýzu posuvov, deformácií a napätí na povrchu súčiastok v reálnych podmienkach zaťaženia a uloženia. Existujú však aj oblasti mechaniky (napr. oblasť určovania zvyškových napätí), kde experimentálne postupy sú dominantné a nevyhnutné pre posúdenie reálnych napäťovo-deformačných stavov v nosných prvkoch strojov a zariadení [8].

Zvyškové napätia vznikajú takmer pri každom výrobnom procese, ale hlavne pri odlievaní, zváraní a tvarovaní. Navzdory ich širokému výskytu, fakt, že zvyškové napätia pôsobia aj bez vonkajšieho zaťaženia, spôsobuje, že sú ľahko prehliadnuteľné, alebo nie sú brané do úvahy. Ich zanedbanie môže byť veľkým rizikom pri návrhu výrobku, pretože zvyškové napätia môžu mať veľký vplyv na podmienky porušenia materiálu, rozmerovú stabilitu a celkovú životnosť výrobku. Zvyškové napätia môžu vzniknúť aj počas prevádzky, napr. náhodným preťažením, lokálnym poškodením materiálu alebo jeho časti (únavou, koróznym praskaním, starnutím, zváraním, opravou a pod.). Zvyškové napätia samotné alebo aj v kombinácii s inými faktormi môžu v niektorých prípadoch spôsobiť závažné zlyhania objektov, ktoré môžu mať za následok straty na majetku, poškodenie zdravia, či straty na ľudských životoch. Na druhej strane, zvyškové napätia môžu mať aj pozitívny účinok na životnosť výrobku a preto sa cielene vnášajú do materiálu, napríklad guličkovaním [9].

2. ZÁKLADNÁ CHARAKTERISTIKA ZVYŠKOVÝCH NAPÄTÍ

Zvyškové napätia existujú v materiáloch nezávisle od prítomnosti vonkajšieho zaťaženia. Často sú vyvolané výrobnými procesmi a ovplyvňuje ich napríklad aj samotná prevádzka strojov a zariadení. Tieto napätia sú elastickou odpoveďou na inkompatibilné lokálne napätia v materiáli, napríklad na nerovnomernú plastickú deformáciu. Preto sa musí okolitý materiál elasticky deformovať, aby zabezpečil rozmerovú stálosť a tým vytvára zvyškové napätia. Hlavné príčiny vzniku zvyškových napätí [9]:

1. Nerovnomerná plastická deformácia. Vzniká pri výrobnom procese, ktorý mení tvar materiálu, napr. ohýbanie, kovanie, valcovanie a taktiež pri prevádzke komponentu, keď dochádza k jeho deformácii.
2. Povrchová úprava. Vzniká pri výrobnom procese, napr. pri obrábaní, brúsení, pokovovaní, karbidovaní a v prevádzke koróziou alebo oxidáciou.
3. Štruktúrne zmeny materiálu spôsobené vplyvom veľkých teplotných zmien. Vznikajú vo výrobnom procese, napr. pri zváraní, odlievaní a v prevádzke ich ovplyvňuje napr. vysoká teplota, prípadne veľké teplotné zmeny.

Podľa veľkosti objemov, v ktorých napätie nemení svoju veľkosť ani smer (je homogénne), resp. podľa dosahu, ktorý majú napätia, môžu byť zvyškové napätia rozdelené nasledovne:

- Zvyškové napätia I. druhu (makroskopické) sú približne homogénne v makroskopickej oblasti materiálu.
- Zvyškové napätia II. druhu (mikroskopické) sú približne homogénne v oblastiach porovnateľných s veľkosťou jednotlivých kryštálov.
- Zvyškové napätia III. druhu (submikroskopické) sú nehomogénne i v oblastiach porovnateľných s medziatómovými vzdialenosťami [9].

Zvyškové napätia I. druhu je možné vyhodnocovať všetkými bežnými metódami. Niektoré z nich sú použiteľné aj pre meranie zvyškových napätí II. druhu a niektoré aj pre meranie zvyškových napätí III. druhu.

Na obr. 1 sú schematicky zobrazené príklady, ako môžu vznikať zvyškové napätia v materiáli. Vľavo hore je zobrazený vznik zvyškových napätí guličkovaním, pri ktorom je povrch materiálu vertikálne stláčaný dopadajúcimi malými tvrdými guličkami. Vrchné vrstvy ostreľovaného materiálu sa plasticky deformujú a snažia sa predĺžiť v horizontálnom smere, ale spodné vrstvy materiálu im v tom bránia. To sa prejaví vznikom tlakových zvyškových napätí na povrchu materiálu, pričom vo vnútri materiálu sú ťahové zvyškové napätia – tak, ako je to zobrazené na obr. 1 [10]. Pri procese zvárania spôsobuje tuhnutie a diferenciálne zmršťovanie zvaru vznik ťahových, ale aj tlakových zvyškových napätí v materiáli. Zváraný materiál je v roztavenom stave bez napätí, tie vznikajú až pri jeho tuhnutí. Samotný zvar, ako aj teplotne ovplyvnená zóna v blízkosti zvaru, sa ochladzuje z oveľa vyššej teploty než okolitý materiál a preto sa viac stiahne. Z toho dôvodu v samotnom zvare a v teplotne ovplyvnenej oblasti vznikajú ťahové zvyškové napätia a v okolitom materiáli sú tlakové zvyškové napätia (obr. 1) [11].

Obr. 1 Príklady vzniku zvyškových napätí [11]

Zvyškové napätia majú samovyvažovací charakter, čo znamená, že ich prítomnosť nie je na prvý pohľad zrejmá. Ich prítomnosť je nebezpečná hlavne v tom, že sa superponujú s vonkajším zaťažením. Preto je potrebné ich určovaniu venovať dostatočnú pozornosť a zohľadniť ich vplyv na celkovú životnosť skúmanej konštrukcie. V niektorých prípadoch majú pozitívny účinok (tlakové napätia), avšak vo väčšine prípadov majú negatívny účinok (ťahové napätia), pretože môžu významne zvýšiť celkové napätie v materiáli a tým vyvolať predčasné poškodenie výrobku. Príkladom takéhoto negatívneho účinku sú trhliny na ingotoch vyrábané liatím (obr. 2), kde zvyškové napätia sú výsledkom nerovnomerného

Obr. 2 Trhliny na hliníkových ingotoch, spôsobené vysokými hodnotami zvyškových napätí [12]

ochladzovania materiálu po liati [12].

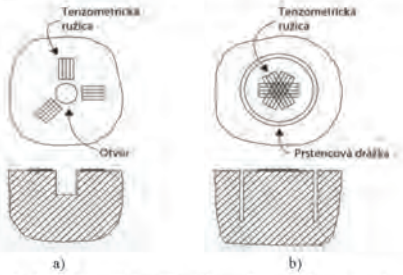
3. METÓDY MERANIA ZVYŠKOVÝCH NAPÄTÍ

„Uzamknutý" charakter zvyškových napätí predstavuje veľkú výzvu na ich presné stanovenie, pretože neexistujú metódy, ktoré by boli schopné priamo merať hodnoty zvyškových napätí. Existujúce metódy merania zvyškových napätí rozdeľujeme do troch základných skupín: deštrukčné, polodeštrukčné a nedeštrukčné. Deštrukčné a polodeštrukčné metódy sa označujú aj ako „relaxačné" metódy.

Druhú a široko používanú skupinu meracích metód označujeme ako polodeštrukčné metódy (obr. 3). Ich princíp spočíva v malej miere zásahu do skúmanej vzorky, pričom nedochádza k obmedzeniu jej ďalšej funkčnosti a po malej úprave, napríklad po obnove náteru, sa vzorka môže v plnej miere naďalej používať. Táto skupina metód dosahuje vo väčšine prípadov dostatočnú presnosť a zároveň minimálne poškodzuje skúmanú vzorku. Preto sú polodeštrukčné metódy na stanovenie zvyškových napätí najčastejšie používané [13]. Metóda odvŕtavania je pravdepodobne najčastejšie používanou metódou na určovanie zvyškových napätí. Je relatívne jednoduchá, rýchla, dosahuje dostatočnú presnosť a je štandardizovaná normou ASTM E837 [14]. Realizuje sa vyvŕtaním malého otvoru (zvyčajne s priemerom cca 2 mm) do hĺbky rovnajúcej sa priemeru otvoru (obr. 3a). Poškodenie skúmanej vzorky je relatívne malé, častokrát tolerované a opraviteľné, čo znamená, že skúmaný objekt sa bude môcť aj naďalej používať. Vŕtaním otvoru dochádza k uvoľňovaniu vnútorných napätí, čo sa prejaví deformáciou materiálu, ktorá sa štandardne meria pomocou tenzometrickej ružice naaplikovanej na povrch

skúmanej vzorky v mieste, v ktorom chceme analyzovať zvyškové napätia. Otvor sa odvrtáva v strede tenzometrickej ružice. Výsledné hodnoty zvyškových napätí sa vypočítajú pomocou kalibračných koeficientov, ktoré sa stanovia experimentálne alebo pomocou metódy konečných prvkov.

V súčasnosti sa skúmajú možnosti zdokonalenia metódy odvrtávania tým, že by sa meranie tenzometrickými ružicami nahradilo meraním optickými meracími metódami [15,16]. Výhodou optických metód je okrem iného celopoľová napäťová a deformačná analýza v okolí odvŕtaného otvoru.



Obr. 3 Polodeštrukčné metódy a) konvenčná metóda odvrtávania, b) metóda Ring-Core

Metóda Ring-Core je odvodená od metódy odvrtávania. Hlavný rozdiel je v spôsobe uvoľňovania vnútorného napätia. Pri metóde odvrtávania vŕtame otvor (priechodzí alebo slepý) do stredu tenzometrickej ružice a pri metóde Ring-Core vytvárame prstencovú drážku okolo tenzometrickej ružice (obr. 3b). Hlavným cieľom metódy Ring-Core je eliminovať nedostatky metódy odvrtávania. Dosahujeme ňou väčšie uvoľnenie vnútorných napätí, avšak na druhej strane poškodenie skúmanej vzorky je výraznejšie [17,18,19]. Vyhodnocovací postup určovania zvyškových napätí pri metóde Ring-Core je podobný ako pri metóde odvrtávania, t.j. presnosť vyhodnocovania je taktiež závislý od kvality kalibračných koeficientov, ktoré sa určujú pomocou simulačných alebo experimentálnych metód.

Metóda Ring-Core na rozdiel od metódy odvrtávania nie je normalizovaná a taktiež vyhodnocovacie postupy je potrebné vylaďovať. Na validáciu vhodnosti vyhodnocovacích postupov je potrebné realizovať verifikačné experimenty, ktoré je možné realizovať len na zaťažovacom zariadení umožňujúcom vyvolať simulované napätia v skúmanej vzorke. V predchádzajúcom období autori nemali k dispozícii vhodné zaťažovacie zariadenie, t.j. počas experimentálnych meraní nebolo možné presne kontrolovať zaťažovanie vzorky, resp. bolo možné použiť tenké vzorky (obr. 4) [20]. Uvedená skutočnosť predstavovala problém hlavne pri metóde Ring-Core, ktorá je použiteľná len pre hrubé vzorky (od 20 mm) na ktorých bolo problematické vyvolať dostatočné veľké napätie v skúmanej oblasti. Preto sa pristúpilo k testovaniu vzoriek na trhacom stroji TIRA-test 2300, ktoré umožnilo vyvolať dostatočne veľké zaťaženie potrebné hrubé vzorky. Nevýhodou bolo umiestnenie vzorky v zvislej polohe, čo prinieslo ďalšie komplikácie s realizáciou samotného experimentálneho určenia simulovaných napätí. Ďalšou nevýhodou zariadenia TIRA-test 2300 je, že umožňuje len jednoosové zaťaženie (obr. 5) [21].

Obr. 4 Odvrtávanie pomocou zariadenia RS 200

Obr. 5 Kvantifikácia simulovaných napätí metódou Ring-Core na vzorke zaťaženej zariadením TIRA-test 2300

Pretože neexistujú komerčne dostupné zaťažovacie zariadenia, ktoré by boli vhodné pre overovanie navrhnutých metodík a postupov, riešitelia navrhli nové hydraulické zaťažovacie zariadenie, ktoré spĺňa požadované parametre (obr. 6).

Medzi základné požiadavky patria:

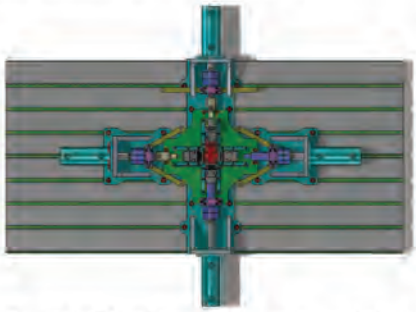
- schopnosť vyvolať jednoosovú aj dvojosovú napätosť,
- vytvoriť dostatočne veľké zaťaženie (100 kN) aj pri hrubých vzorkách (50 mm),
- horizontálna poloha skúmanej vzorky,
- dostatočný pracovný priestor, aby bolo možné realizovať merania meracím systémom VISHAY RS 200, SINT MTS 3000 (metóda odvrtávania) a systémom SINT MTS 3000 Ring-Core (metóda Ring-Core).

4. ZÁVER

Ako už bolo v predchádzajúcom uvedené, v oblasti určovania zvyškových napätí v súčiastkach dominujú experimentálne postupy. Najrozšírenejšie sú metóda odvrtávania, resp. metóda oddeľovania krúžkov, ktoré zaznamenávajú v súčasnosti najväčší rozvoj, ktorý je na jednej strane spôsobený skvalitnením techník odvrtávania resp. oddeľovania krúžkov, vývojom nových zariadení, na druhej strane spresňovaním meraných a vyhodnocovaných údajov z uvoľnených pomerných deformácií. Značná pozornosť je pritom venovaná rozvoju metodík pre určovanie zvyškových napätí v okolí zvarov. Pracovisko autorov sa kvantifikácii zvyškových napätí metódou odvrtávania venuje už niekoľko desaťročí. Svoje dlhoročné skúsenosti získané nielen v laboratórnych podmienkach ale aj pri riešení konkrétnych úloh pre prax uplatnili pri návrhu nových metodík a postupov určovania kalibračných koeficientov ako aj pri spracovaní a vyhodnocovaní nameraných údajov vlastným softvérom MEZVYNA vyvinutým na riešiteľskom pracovisku, ktoré disponuje špičkovými zariadeniami SINT MTS-3000, RS200 a SINT MTS-3000 Ring-Core.

Vzhľadom na špičkové hardvérové a softvérové vybavenie pracoviska v rôznych oblastiach experimentálnych metód mechaniky (tenzometria, PhotoStress, DIC, ESPI) je tu možnosť verifikácie výsledkov rôznymi metódami a vytvorenia nových postupov a metodík aplikovateľných pri riešení konkrétnych úloh praxe.

Pre spracovanie metodík pre určovanie hladín zvyškových napätí rovnomerne aj nerovnomerne rozložených po hrúbke nosných prvkov konštrukcii s cieľom spresniť a zdokonaliť doteraz existujúce postupy autori navrhli a zrealizovali hydraulické zaťažovacie zariadenie potrebné pre overovanie postupov kvantifikácie zvyškových napätí na hrubých vzorkách. Na obr. 6 je počítačový model navrhnutého hydraulického zaťažovacieho zariadenia. Na obr. 7 je pohľad na hydraulické zaťažovacie zariadenie s riadiacou jednotkou, ktoré je súčasťou Prototypového a inovačného centra Strojníckej fakulty TU v Košiciach.



Obr. 6 Hydraulické zaťažovacie zariadenie pre testovanie hrubých vzoriek

Obr. 7 Hydraulické zaťažovacie zariadenie s riadiacou jednotkou

Vďaka uvedenému zariadeniu sa riešiteľom projektu otvára široký priestor v nasledovných oblastiach:

- rozšírenie možností využitia metódy odvrtávania na materiály, ktoré nie sú definované v súčasnej norme a neexistujú pre ne kalibračné koeficienty,
- zdokonalenie vyhodnocovacích postupov pre metódu Ring-Core,
- vytvorenie vyhodnocovacích postupov pre metódy určovania zvyškových napätí, ktoré kombinujú metódu odvrtávania a metódu Ring-Core s optickými metódami (PhotoStress, DIC).

Autori príspevku v spolupráci s ďalšími vedeckými pracovníkmi ich pracoviska dosiahli výsledky, ktoré vytvárajú bohatú znalostnú bázu ktorá bude v plnej miere tvoriť základ pri návrhu nových metodík pre kontinuálne vyhodnocovanie metódy určovania spoľahlivosti kľúčových nosných prvkov strojov a zariadení ako aj vytváranie metodík a programov pre kvantifikáciu zvyškových napätí, využitie rôznych snímačov pre kontinuálnu kvantifikáciu vibrácií a pod. Navrhli a vyvinuli experimentálne postupy zamerané na deformačnú a napäťovú analýzu nosných prvkov mechanických sústav s cieľom ich aplikácie pri hodnotení spoľahlivosti a zostatkovej životnosti strojov a zariadení. Analyzovali širokú škálu problémov ovplyvňujúcich životnosť a spoľahlivosť strojov a zariadení (statické a dynamické zaťaženie, vplyv koncentrátorov napätí, zvyškové napätia a pod.) tak, aby bolo zohľadnených čo najviac vplyvov vyskytujúcich sa pri prevádzke. Prednosťou pracoviska autorov je, že vďaka špičkovým meracím zariadeniam v rôznych oblastiach experimentálnej mechaniky (SINT MTS-3000, RS 200, FL/Z-2, Q300, Q450, Quantum, Gen5i, P3, Pulse) a softvérovému vybaveniu (Ansys, Abaqus, NX, SolidWorks, Matlab, Adams, nCode) pri validácii dosiahnutých výsledkov ako aj pri navrhovaní nových metodík a postupov využíva synergický efekt experimentálnych a numerických metód.

ACKNOWLEDGMENTS

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií – II fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

References

[1] M. Hagara, R. Huňady and F. Trebuňa: The Possibilities in Use of ESPI Method by Investigation of Strain Fields of Specimen with Stress Concentrator. In: American Journal of Mechanical Engineering. Vol. 4, no. 7 (2016), p. 429-434. ISSN 2328-4110

[2] M. Hagara, R. Huňady and F. Trebuňa: Stress Analysis Performed in the Near Surrounding of Small Hole by a Digital Image Correlation Method. In: Acta Mechanica Slovaca. Roč. 18, č. 3-4 (2014), s. 74-81. ISSN 1335-2393

[3] M. Pástor, M. Hagara and J. Kostka: Stress analysis performed by photoelasticity and digital image correlation. In: Applied Mechanics and Materials. Vol. 816 (2015), p. 474-481. ISSN 1660-9336

[4] R. Huňady, M. Hagara: A new procedure of modal parameter estimation for high-speed digital image correlation. In: Mechanical Systems and Signal Processing. Vol. 93 (2017), p. 66-79. ISSN 0888-3270

[5] M. Hagara and M. Pástor: Full-field Stress Analysis of a Crane Hook Model Performed by Finite Element Analysis and Digital Image Correlation Method. In: American Journal of Mechanical Engineering. Vol. 5, no. 6 (2017), p. 293-297. ISSN 2328-4102.

[6] P. Frankovský, F. Trebuňa, O. Ostertag, P. Šarga, I. Delyová and J. Kostka: Utilisation Possibilities of PhotoStress Method in Determination of Residual Stresses. In: Applied Mechanics and Materials. Vol. 732 (2015), p. 3-8. ISSN 1660-9336

[7] P. Frankovský, F. Trebuňa, O. Ostertag, F. Šimčák, I. Delyová and J. Kostka: Experimental determination of stress fields near notches by reflection photoelasticity. In: EAN 2016. Plzeň, 2016 P. 1-10. ISBN 978-80-261-0624-1

[8] Ľ. Gabáni, F. Trebuňa, F. Šimčák, J. Bocko and M. Pástor: Using Experimental Methods of Mechanics for Failure Prediction of Casting Pedestal. In: Acta Mechanica Slovaca. Roč. 19, č. 2 (2015), s. 42-50. ISSN 1335-2393

[9] G. Totten, M. Howes, and T. Inoue: Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel . ASM International, Materials Park, 2002.

[10] G. Schajer: Practical Residual Stress Measurement Methods, John Wiley & sons, 2013.

[11] M. Kobayashi, T. Matsuia and Y. Murakamib: Mechanism of Creation of Compressive Residual Stress by Shotpeening, International Journal of Fatigue 20 (5) : 351–357, 1998.

[12] P. J. Withers: Residual stress and its Role in Failure, Reports on Progress in Physics 70 (12) : 2211–2264, 2007.

[13] P. J. Withers and H. K. Bhadeshia: "Residual Stress, Part 1: Measurement Techniques." Materials Science and Technology 17 (4) : 355-365, 2001.

[14] ASTM International Designation E837-13a: Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the Hole-Drilling Strain-Gauge Method, United States, 2013, p. 16.

[15] A. Baldi: A New Analytical Approach for Hole Drilling Residual Stress Analysis by Full Field Method. Journal of materials processing technology. 2005. 127 (2) : 165.

[16] G. S. Schajer and M. Steinzing: Full-field calculation of hole-drilling residual stresses from ESPI data. Exp. Mech. 2005; 45 (6) : 526-532.

[17] S. Kiel:"Experimental Determination of Residual Stresses with the Ring-Core Method and an On-Line Measuring System." Experimental Techniques 16 (5) : 17–24 (1992).

[18] F. Menda, F. Trebuňa and P. Šarga: Residual stress measurement by using system MTS 3000 Ring-Core. In: MMK 2013 ročník 4 : 9.-13. prosince 2013, Hradec Králové. Magnanimitas, 2013 P. 3636-3645. ISBN 978-80-87952-00-9.

[19] P. Šarga and F. Menda: Analysis of measuring chain for evaluating residual stresses by ring-core method. In: American Journal of Mechanical Engineering. Vol. 1, no. 7 (2013), p. 313-317. ISSN 2328-4102.

[20] F. Menda, F. Trebuňa and P. Šarga: New Method of Residual Stress Evaluation and its Advantages in Comparison with More Common Hole-drilling Method, In: Acta Mechanica Slovaca. Roč. 17, č. 4 (2013), s. 64-70. ISSN 1335-2393

[21] P. Šarga, F. Menda and F. Trebuňa: Verification of the Geometric Parameters of the Ring-Core Method. In: Applied Mechanics and Materials, 2016, Vol. 827 (2016), p. 109-112.

Rekonfigurovateľnosť robotických efektorov na báze 1,2 a 3 osích modulov

M. Hajduk*, J. Semjon and M. Vagaš

*Strojnicka fakulta/Katedra robotiky, Košice, Slovakia
Mikulas.Hajduk@tuke.sk, jim.semjon@tuke.sk, marek.vagas@tuke.sk

Abstract **– the article deals with design of reconfigurable robotic effectors based on 1, 2 and 3 axis intelligent modules for industrial robotics with focuses on increasing to their intelligence through internal and external sensors. Modules use DC actuators that are equipped with an accurate reducer, which ensure a high positioning accuracy of the resulting end-effector movement. Actuators allow realization of compensation with aim to ensure correct positioning and performing of required technological activities.**

Keywords **– reconfigurable, effector, modularity, modules, robotics**

I. Úvod

Základnou ideou pilotného projektu PP2 je navrhnúť 1,2 a 3 osé inteligentné polohovacie moduly pre koncové efektory robotických systémov s cieľom korekcie nepresnosti pri programovanom pohybe priemyselného robota. Konštrukčné riešenie týchto modulov je založené na využití inteligentných aktuátorov, ktoré pozostávajú z motora, presnej prevodovky a vhodnej senzorickej techniky [1]. Modulom je umožnené sa pohybovať v dvoch resp. až troch posuvných i rotačných osiach. Riadenie pohybu je implementované na základe získaných informácií zo snímačov, ktoré sú umiestnené priamo v pohonovej jednotke modulu, ako aj z vonkajšieho pracovného prostredia snímača, v závislosti špecifických požiadaviek nasadzovanej aplikácie.

II. Základné parametre a vlastnosti modulov

Medzi základné parametre, ktoré musia navrhované moduly spĺňať patrí:

- Nosnosť max. 20Kg,
- Hmotnosť max. 40Kg,
- Presnosť polohovania min. 0,01mm,
- Krútiaci moment min. 18Nm,
- Max. rýchlosť kompenzácie 1mm/s,
- Použitie elektrických pohonov.

Uvedené parametre vychádzajú z koncepcie vývoja mikro - pohybových pohonov typu MT a MR na báze aplikácie TS/DS z produkcie firmy SPINEA. Navrhované riešenie je založené na využití presných reduktorov TS rady 30 až 70 a ich aplikácie v odpovedajúcich DS [2]. Vývoj je riešený na základe typo - rozmerovej rady s jednotným normalizovaným mechanickým interfejsom (upínacia príruba). Popis rekonfigurovateľného robotického efektora je na obr. 1.

Figure 1. Popis inteligentného polohovacieho modulu

Kde:

- R - riadenie (primárna energia; výstupy riadiaceho systému),
- OB - ovládací blok (zariadenie na úpravu energetickej úrovne riadiacich signálov na hodnotu odpovedajúcu parametrom motora; pri jednoduchších moduloch môže plniť aj funkciu riadiaceho systému; polohová štruktúra riadenia),
- P1 – prípájacia príruba (príruba umožňujúca pripojenie stavebnicového modulu DSM k základni stroja, zariadenia, pracovného stola, koncovej prírube robota),
- DSM – stavebnicový modul (veľkostné rady 50, 70 a 110),
- P2 – prepájacia príruba (príruba umožňujúca prepojenie jednotlivých modulov DSM medzi sebou),
- P3 – výstupná príruba (príruba nachádzajúca sa na poslednom module DSM, slúži k pripojeniu nástroja, otočného stola, ...),
- VR – výstupný člen (mechanicky prvok / interfejs určený na napojenie DSM do vyššieho funkčného celku,
- I. – jednostupňový modul DSM,
- II. – dvojstupňový modul DSM,
- III. – trojstupňový modul DSM.

Inteligentné polohovacie moduly pre koncové efektory pozostávajú z DSM aktuátorov, ktoré je možné rôzne konfigurovať do zostavy podľa požiadaviek zákazníkov. DSM aktuátory použité v zápästí robota vychádzajú z presných prevodoviek využívajúcich cykloidný prevodový systém. Súčasťou aktuátorov je okrem prevodovky aj odľahčené hliníkové teleso, vinutie, brzda a snímač otáčok. Tieto aktuátory sú na trhu dostupné pod označením DSM (Drive Spin Module) od firmy Spinea Technologies s.r.o., obr. 2.

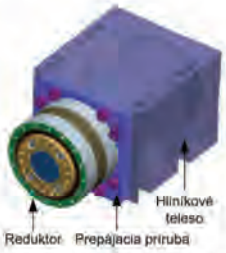


Figure 2. DSM aktuátory pre stavbu inteligentného polohovacieho modulu

Realizácia inteligentného polohovacieho modulu, vhodného pre prírubu priemyselného robota je založená na požiadavkách kompenzácie pohybu v osi kolmej na pohyb čeľustí uchopenia [3]. Ak chceme zvýšiť dostupnosť priemyselného robota v komplikovanom a obmedzenom pracovnom priestore je vhodné mať k dispozícii rôzne typy chápadiel a technologických hlavíc. Práve rôzne druhy efektorov prispôsobené podľa požiadaviek technológie umožňujú rozsiahle použitie. Tradičné riešenie efektora formou rôznych riešení prstových chápadiel má viaceré nedostatky a preto sa objavujú rôzne netradičné riešenia.

III. APLIKAČNÉ MOŽNOSTI MODULOV

Aplikačné možnosti nasadenia DSM aktuátorov do inteligentného polohovacieho modulu robotického efektora im umožňujú zvyšovať inteligenciu a využiteľnosť robotického zariadenia ako celku s cieľom korektného výmenného systému, ktorý umožňuje jedinému robotu vykonať viacero manipulačných či technologických operácií [4]. Pri týchto typoch operácií sú kladené rôzne podmienky na parametre priemyselného robota. Pri zváraní je nevyhnutné, aby priemyselný robot umožňoval vykonávať kmitavý pohyb, disponoval priemernou presnosťou, pričom jeho nosnosť nemusí byť veľká (zvárací horák má nízku hmotnosť). Napríklad, pri brúsení je dôležitým parametrom nosnosť priemyselného robota, ktorá záleží od použitej brúsky (pásová či kotúčová - ich hmotnosť je rádovo v desiatkach kilogramov), presnosť musí byť väčšia, pričom môže byť využitý aj kmitavý pohyb, ale ten nie je nevyhnutnou podmienkou aplikačného riešenia.

Najefektívnejším spôsobom riešenia týchto typov aplikácií, je nasadenie priemyselného robota s menšou celkovou presnosťou (prípadne, používaného priemyselného robota, ktorého parametre presnosti nedosahujú takú presnosť, aká bola predpísaná pri jeho počiatočnom uvedení do prevádzky), ktorého cenová relácia je menšia [5]. Kompenzácia nižšej presnosti priemyselného robota môže byť realizovaná nasadením inteligentného polohovacieho modulu robotického efektora, ktorého pohyb v osiach X, Y (prípadne Z) by umožňoval túto nevýhodu potlačiť [6]. Takýto spôsob riešenia presného pohybu priemyselného robota v pracovnom priestore a hlavne dosiahnutie presných konečných súradníc je možné aplikovať v rôznych oblastiach priemyslu, pri riešení rôznych technologických operácií (frézovanie, vŕtanie, rezanie závitov, leštenie a pod.), obr. 3.

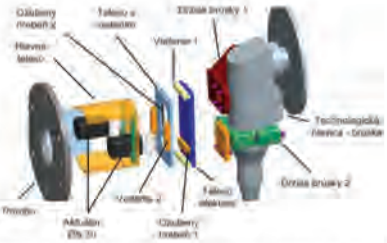


Figure 3. Aplikačné riešenie technologickej operácie (brúsenie)

Aktuátory použité pri stavbe inteligentného polohovacieho modulu robotického efektora vychádzajú z typovej rady motorov DSM, ktorých veľkostná rada obsahuje celkovo štyri typy. Ich veľkosť je definovaná priemerom výstupnej príruby, čoho výsledkom sú typy s označením 50, 70, 110 a 140. Pre overovanie parametrov inteligentného polohovacieho modulu robotického efektora bola k dispozícii zvislá frézovačka z výškou pracovného priestoru necelých 300mm [7]. Z tohto dôvodu bol zostavený 2-osí inteligentný polohovací modul, zložený z aktuátorov veľkostnej rady DSM 50 a DSM 70.

Použitie väčších aktuátorov nebolo možné. Zložením uvedených aktuátorov, upínacej dosky, upínacej a prepájacej dosky do funkčného celku bol realizovaný 2 osí inteligentný polohovací modul s nasledujúcimi výslednými parametrami, Tab.1.

TABLE I.
Parametre 2-osého inteligentného polohovacieho modulu

Názov parametra	Jednotka	Hodnota
Max. krútiací moment	Nm	36
Menovitý krútiací moment	Nm	18
Radiálna zložka sily	kN	1.44
Axiálna zložka sily	kN	1.9
Predpokladaná výsledná presnosť	mm	0.5

Upínanie súčiastok na 2-osý inteligentný polohovací modul je riešený pomocou štandardných úpiniek. Upínacia doska je vybavená T - drážkami, ktorých počet je 6 a sú vhodné pre T – matice o rozmere max. 14 mm a priemere skrutky max. 8 mm [8]. Pre stanovenie a overenie parametrov modulu je potrebné ho umiestniť na pracovný stôl obrábacieho stroja, kde je možné ho vystaviť pôsobeniu rezných síl. Umiestenie na frézovačku FC 16CNC/PC od firmy TOS Jasová (Slovtos) je zobrazené na obr. 4.

Figure 4. Aplikačné riešenie technologickej operácie (frézovanie)

IV. ZAPOJENIE A SENZORIKA MODULOV

Schéma zapojenia inteligentného polohovacieho modulu robotického efektora priemyselného robota vychádza zo zapojenia DC motora (aktuátora) s prevodovkou k servo - zosilňovaču, ako aj z pripojenia externých snímačov, ktoré umožňujú zvýšiť jeho inteligenciu, presnosť polohovania a korekcie pohybu [9]. Medzi snímaciu techniku, ktorá dokáže zvýšiť inteligenciu modulu efektora zaraďujeme: snímač momentu (sily), snímač teploty, snímač zrýchlenia, mikrofón, čítač smeru otáčania, snímač prúdu a napätia. Popisovanú schéma zapojenia možno vidieť na obr. 5.

Figure 5. Popis zapojenia inteligentného polohovacieho modulu

Obr. 6 popisuje umiestnenie senzorickej techniky v polohovacom module koncového efektora [10]. Zobrazuje rozmiestnenie jednotlivých snímačov, pričom tieto sa umiestňujú buď priamo na aktuátor, alebo do servo zosilňovača.

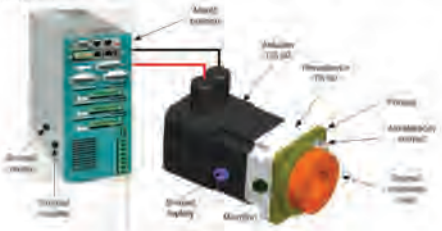


Figure 6. Umiestnenie senzorov inteligentného polohovacieho modulu

Pri rôznych aplikačných riešeniach je nevyhnuté využitie snímacej techniky umožňujúcej sledovanie hodnôt krútiaceho momentu. V prípade prekročenia medzných hodnôt dochádza k prerušeniu prác, resp. riadiaci systém umožní kompenzáciu prekročenia povolenej hodnoty M_k. Pri riešeniach, kedy koncový efektor potrebuje realizovať napríklad lisovacie, alebo montážne operácie, kde sa vyžadujú nulové tolerancie, je vhodné do - vybaviť koncový efektor snímačom sily, ktorý umožňuje snímať pôsobenie axiálnej sily [11]. Po prekročení medznej hodnoty, umožňuje zastaviť pohyb efektora, alebo posiela informácie riadiacemu systému, ktorý kompenzuje pohyb napr. posunutím v osiach X a Y (mikro - pohyby). V prípade aplikačných riešení, kde dochádza k pôsobeniu síl minimálne v dvoch smeroch, ako napr. brúsenie, snímacia technika môže sledovať pohyb nielen v axiálnom ale aj radiálnom smere. V prípade použitia odpruženej technologickej hlavice – brúsky je možné napr. jemnou korekciou dosiahnuť požadovanú akosť brúseného povrchu.

V. ZÁVER

Nasadením vhodnej snímacej techniky je možné dosiahnuť zvýšenie inteligencie, vlastností a charakteristík rekonfigurovateľných koncových efektorov priemyselných robotov na báze 1,2 a 3 osích modulov. Využitie týchto modulov na efektore umožňuje použiť menej presné typy priemyselných robotov, prípadne roboty s menším počtom kinematických dvojíc.

Uvedené riešenie rekonfigurovateľných koncových efektorov prostredníctvom 1,2 resp. 3 osích modulov je vhodné pre aplikáciu tak manipulačných činností s objektom, ako aj technologických operácií. Tieto aplikačné možnosti boli testované a experimentálne overované jednak na skúšobnom meracom stojane ako aj na koncovom efektore samotného priemyselného robota, kde bolo možné simulovať reálne podmienky, v akých sa bude navrhované zápästie prevádzkovať.

POĎAKOVANIE

This paper is the result of the Project implementation: University Science Park TECHNICOM for Innovation Applications Supported by Knowledge Technology, Phase II, ITMS: 313011D232, supported by the Research & Development Operational Program funded by the ERDF. We support research activities in Slovakia/this project is being financed by the European Union.

LITERATÚRA

[1] Hajduk M., Semjon J., Jánoš R., M. Vagaš.: Robotika - Robotická technika. 1. vyd., Košice: TU, 2015. 188 s. ISBN 978-80-553-2500-2.

[2] J. Semjon, R. Jánoš, M. Vagaš: Presné polohovacie reduktory a aktuátory v pohonoch robotov. 1. vyd. Košice: UK, TU, 2015. 172 s. ISBN 978-80-553-2501-9.

[3] J. Smrček, A. Palko, P. Tuleja. Biomechanical gripper - new intelligent mechanism effector for robots. In: OPTIROB, Prédeal, Romania, 2006, Bucuresti: BREN. P. 229-234. ISBN 973-648-572-2

[4] http://www.engineering.sk/strojarstvo-extra/1756-pracovne-hlavice-priemyselnych-robotov

[5] Semjon J., Hajduk M., Sukop. M., Baláž. V., Pilat, Z., Sulik. M., Putala., J.: Testing of parameters of proposed robotic wrist based on the precision modules. In: International journal of advanced robotic systems. Vol. 13 (2016), p. 1-7. ISSN 1729-8814

[6] M. Vagaš., J. Varga: Design of modular gripper for industrial robot. In: Applied Mechanics and Materials, ICMERA 2013, Bucharest, Romania: Vol. 436 (2013), p. 351-357. ISSN 1660-9336

[7] Semjon J., Vagas M., Balaz V. Static analysis of rotary positioning modules for technological head of the robot. In: Advances in Robot Design and Intelligent Control. Vol. 371. Springer. ISBN 978-3-319-21290-6

[8] Semjon J. Verification of performance rotary modules of used in positioner. In: Transfer inovácií, č. 33 (2016), s. 92-95. ISSN 1337-7094

[9] J. Semjon, J. Varga, P. Tuleja. Comparing the parameters of positioning actuators used for robots. In: DAAAM International, Viena, 2014 P. 615-624. ISSN 1726-9687

[10] Baláž. V., Semjon J., Vagaš M.: Senzorové vybavenie robotizovaných pracovísk pre zvýšenie bezpečnosti prevádzky. In: Robotics and Intelligent Manufacturing Systems, Košice. TU, 2013, s. 39-46. ISBN 978-80-553-1473-0

[11] Semjon J., Vagaš M., Baláž. V.: The proposal of modules for intelligent end-effectors. In: Technical sciences and technologies. Vol. 4, no. 6 (2016), p. 174-177. ISSN 2411-5363

Inovácie – základ úspešnosti a prosperity každej firmy

E. Spišák, J. Slota, I. Gajdoš
Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Ústav technologického a materiálového inžinierstva, Košice, Slovenská republika

Abstrakt **– V príspevku sú uvedené hlavné výsledky aktivity pilotného projektu 3 riešeného v rámci projektu Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií. Hlavným výstupom aktivity je zriadenie „Prototypového a inovačného centra". Jeden z cieľov aktivity PP3 bol zameraný na vývoj, prototypovú výrobu, testovanie, optimalizáciu a využitie náradia, nástrojov, foriem a prípravkov. V ďalšej časti boli prezentované možnosti využitia progresívnych CAE nástrojov v procese návrhu, vývoja a prototypovej výroby plastových výliskov. V prípadovej štúdii z praxe bola prezentovaná možnosť aplikácie CAE simulácie na riešení overenia konštrukcie konkrétneho výlisku.**

Kľúčové slová **– plastové výlisky, návrh výlisku, návrh formy, CAE simulácia, optimalizácia procesu**

I. ÚVOD

Sústavne sa meniace požiadavky na výrobu a akceleráciu inovácií nemôžu výrobné podniky typu MSP zvládnuť vlastnými silami. Pomoc týmto firmám pri inovácii výrobkov, optimalizácii výrobných procesov a rýchlej rekonfigurovateľnosti výroby je preto úlohou technologických centier disponujúcich relevantnými znalosťami a výskumno-vývojovými kapacitami. Riešenie pracovného balíka je zamerané na výrobné bunky a pracoviská pre tvárnenie plechov, spracovanie plastov, obrábanie, delenie a spájanie kovových a nekovových materiálov, rapid prototyping, aplikácie energoúčových technológií, vodného prúdu a abrazívneho vodného prúdu a inovácie výrobkov a výrobných procesov. Výskum a vývoj v týchto oblastiach nachádza široké praktické uplatnenie s výraznou vedeckou a technickou podporou zo strany strategických politík EÚ, ako sú kľúčové technológie, inovatívna spoločnosť, účinné využívanie zdrojov a surovín, ale aj ochrana životného prostredia a zdravia.

Cieľom pilotného projektu PP3 bolo zriadenie a trvalo udržateľná činnosť projekčno-vývojového pracoviska pre podporu inovácií výrobkov a technológií, optimalizácie výrobných procesov a rýchlej rekonfigurovateľnosti výroby. Výstupom danej aktivity je zriadenie „Centra výskumu, vývoja a realizácie inovačných výskumno-vývojových služieb pre flexibilné technológie a rekonfigurovateľné výroby", „Poradenského a konzultačného centra" zameraného na štihle prístupy/agilitu výrobných procesov" a „Vývojovo-produkčného centra pre tvorbu a dodávky prototypov výrobkov, nástrojov, foriem, prípravkov a laboratórnych zariadení". Všetky tieto centrá sú integrované na jednom mieste v „Prototypovom a inovačnom centre" (Obr. 1), ktoré integruje produkt dizajn, reverzné inžinierstvo, prípravu a výrobu prototypov a výskum a vývoj v oblasti výrobných technológií a optimalizácie výrobných a montážnych procesov.

Hlavnými oblasťami, na ktoré sa aktivita zameriava, sú:

- Vývoj, prototypová výroba a testovanie strojárskych výrobkov,
- Inovácie strojárskych výrobkov a technológií,
- Optimalizácia výrobných a montážnych procesov,
- Vývoj, prototypová výroba, testovanie, optimalizácia a využitie náradia, nástrojov, foriem a prípravkov.
- Poradenstvo pri optimalizácii výrobných procesov a rekonfigurácii výrobných prevádzok, so zameraním najmä na inovačnú úroveň, konkurencieschopnosť, materiálovú efektívnosť a environmentálnu šetrnosť priemyselných aplikácií technológie.

Očakávané dopady výstupov riešenia aktivity PP3 priniesli zvýšenie vedeckého potenciálu pracoviska pre spoluprácu s praxou a transfer nových vedeckých poznatkov využiteľných v praxi. V riešení je Start-up novej spoločnosti na báze zapojenia pracoviska, univerzity a partnerov z výrobnej praxe. Zriadenie „Prototypového a inovačného centra" vytvára predpoklady pre úspešný transfer výsledkov PP3 do praxe. Aktuálne je viacero riešení zrealizovaných pre priemyselnú prax a niekoľko úloh je v riešení.

Obrázok 1. Prototypové a inovačné centrum – produkčná hala

Prototypovacie a inovačné centrum (PaIC) ďalej rozvíja mimoriadne vlastnosti, ktoré sú už zakotvené v koncepcii svojho založenia. Centrum je vybavené najmodernejšou technikou, ktorá je z hľadiska štruktúry vhodná aj na výrobu vysoko presných nástrojov. Stroje sú inštalované v nových priestoroch centra, čo umožňuje dosiahnuť vysokú úroveň presnosti a prispieť k pozitívnemu vplyvu na celkovú kvalitu výroby. Z hľadiska personálu je stredisko postavené na základe optimálnych znalostí a vedomostí, vekovej štruktúry jeho personálu, ako aj znalosti akademického a podnikateľského prostredia s využitím vynikajúcich výskumných kapacít univerzity ako celku.

Poslaním centra je podporovať a aktívne sa podieľať na nasledujúcich aktivitách:

- implementácia výsledkov výskumu fakulty zamestnancov a študentov,
- výskum, vývoj a inovácie pre priemysel,
- poradenská a výrobná podpora aktivít start-upov a malých a stredných podnikov v oblasti vývoja a výroby prototypov,
- poskytovanie príležitostí pre mladých výskumných pracovníkov, aby sa priamo podieľali na výskume nových produktov a technológií,
- koordinácia komplexných projektov zameraných na podporu spolupráce medzi podnikmi a univerzitami vrátane medzinárodnej účasti.

Obrázok 2. CNC sústružnicko-frézovacie centrum

Obrázok 3. Laserové CNC zariadenie

Technologické a inžinierske vybavenie Prototypového a inovačného centra:

- CNC sústružnicko-frézovacie centrum DMG MORI ecoTurn 510 (Obr. 2),
- 3-osová CNC frézka DMG MORI / 635 V ecoline,
- 5-osová CNC frézka DMG MORI / ecoMill 50,
- laserové CNC zariadenie TruLaser Cell 3000 (Obr. 3),
- CNC drôtová DM rezačka AccuteX AU-500i,
- CNC hydraulický ohraňovací lis PPEC-6 35/15,
- gilotinové nožnice CS 06/31,
- rovinná brúska HFS 4080 C,
- stĺpová vŕtačka SSB 50F Super,
- pásová píla ABS 320 B,
- digitálny mikroskop VHX – 5000,
- zváracie pracovisko MASTERTIG 2300,
- a iné.

Obrázok 4. 5-osová CNC frézka

II. INTEGRÁCIA CAE ANALÝZY DO PROCESU NÁVRHU VÝLISKU, NÁVRHU FORMY A STANOVENIA TECHNOLOGICKÝCH PARAMETROV VSTREKOVANIA

V súčasnej dobe rýchly rast v rôznych priemyselných odvetviach prináša zvýšené nároky na rýchle inovácie výrobkov. Za účelom redukovania času uvedenia výroku na trh a zníženia nákladov je aplikácia moderných techník a postupov nevyhnutná [1].

Výrobky a konštrukčné prvky z termoplastov sa čoraz intenzívnejšie presadzujú vo všetkých oblastiach a často nahrádzajú kovové konštrukčné materiály. Najmä výrobky vyrábané vstrekovaním termoplastov sú charakteristické výhodnou cenou, ktorá vyplýva z vysokej opakovateľnosti výroby vysoko presných výliskov v krátkych cykloch bez nutnosti ďalšej povrchovej úpravy spravidla pri integrovaní viacerých funkčností do jedného výlisku. Akokoľvek je samotná produkcia výliskov pri stabilnom a robustnom procese zdanlivo jednoduchá, proces samotného návrhu výlisku, formy a stanovenie technologických podmienok predstavuje fázu v ktorá skrýva mnohé úskalia a priestor pre vznik potencionálnych chýb, ktoré je neskôr ťažké alebo nemožné odstrániť [2].

Návrh výliskov z plastov ako aj návrh vstrekovacích foriem je relatívne zložitý proces. Pri tomto návrhu je potrebné zohľadniť náklady, časovú náročnosť, tvar výlisku, estetické a ergonomické požiadavky. Vývoj výlisku zahŕňa návrh konceptu v CAD prostredí, konštrukčný návrh, simuláciu procesu, výrobu prototypu a testovanie. Práve zavádzanie CAE simulačných nástrojov vo všetkých fázach procesu návrhu a výroby výlisku z plastu, poskytuje konštruktérom a technológom silný nástroj pre predchádzanie vzniku chýb a následných časovo a nákladovo náročných elimináciách týchto chýb. V tomto príspevku sa zameriavame na opísanie postupu využitia širokého spektra nástrojov CAE simulácie vstrekovania plastov pri vývoji výlisku, konštrukcii formy a stanovení technologických parametrov vstrekovania.

Pre ušetrenie času pri vývoji nového výlisku je vhodné aplikovať tzv. paralelný vývoj pri ktorom sa jednotlivé fázy návrhu výlisku a návrhu a výroby formy časovo prekrývajú (Obr. 5).

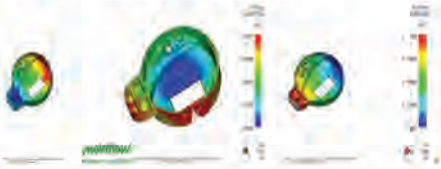
Obrázok 5. Paralelný prístup pri konštrukcii výlisku a formy

Na začiatku vývoja plastového výlisku je požiadavka od zákazníka, plánovacieho oddelenia a pod. , v ktorej sú definované požadované vlastnosti výlisku. Na základe týchto parametrov konštruktér navrhne vhodný materiál a navrhne geometriu výlisku tak aby výlisok spĺňal požadované kritéria. Vo fáze, keď navrhnutý model obsahuje všetky podstatné prvky geometrie budúceho výlisku, tak aby boli splnené požadované vlastnosti môžeme hovoriť o tzv. *funkčnom modeli*. Na základe faktu, že funkčný model už obsahuje všetky podstatné informácie (tvar, veľkosť) budúceho výlisku, je možné tento CAD model využiť pri CAE simulácii na overenie základných otázok spojených so vstrekovaním a zároveň tento CAD model poslúži pri návrhu formy. Takto sa s konštrukciou a výrobou (objednávkou) niektorých častí formy môže začať bez toho aby bol známy konečný tvar výlisku. Postupne sa do funkčného modelu pridávajú detaily (zaoblenia, drážky, úkosy) a po zadefinovaní konečného tvaru výlisku, je možný návrh a výroba tvarových častí formy.

II.1 CAE simulácia pri návrhu výlisku

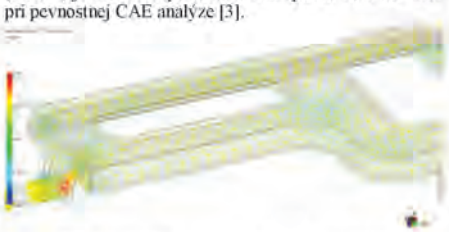
Bez rozsiahlych skúseností a vedomostí, konštruktér výlisku len ťažko posúdi vhodnosť výberu materiálu, výberu miesta vtoku a samotného tvaru výlisku tak aby spĺňal požiadavky, bol vyrobiteľný a aby samotný proces bol dostatočne robustný. Preto už v okamihu keď je dostupný funkčný model je možné využiť CAE simuláciu. Výpočet výsledkov takejto analýzy presahuje rozsah tohto článku, preto uvedieme len niektoré najzásadnejšie. Už len návrh tvaru výlisku tak aby bol zaformovateľný do formy a predbežné stanovenie miesta vtoku na výlisku predstavuje nepreberné množstvo kombinácií. Konštruktér výlisku si však pomocou CAE simulácie vie overiť ich vplyv (obr. 6) a dostať tak odpovede na zasadané otázky:

- je možné zaplniť dutinu formy z daného miesta?
- bude priebeh plnenia dutiny vyvážený bez miest so stagnáciou toku?
- vzniknú na výlisku studené spoje? a ak áno na akých miestach a či výrazne oslabia výlisok
- aký vstrekovací tlak a uzatváraciu silu budem potrebovať na vyplnenie dutiny
- bude sa výlisok zmršťovať rovnomerne alebo bude dochádzať k neakceptovateľnej deformácii?
- dĺžka času odformovania?
- zatuhne výlisok rovnomerne alebo sú na ňom miesta, ktoré tento čas zbytočne predlžujú?



Obrázok 6. Vplyv miesta vtoku na priebeh plnenia dutiny

Analýzy je možné vykonať pre ľubovoľný materiál a konštruktér si tak môže overiť vplyv materiálu na priebeh procesu vstrekovania a vlastností výlisku. Pri čoraz väčšej popularite kompozitných materiálov na báze termoplastov plnených vláknami CAE simulácie dokážu poskytnúť aj informáciu o konečnej orientácii vlákien v objeme výlisku. Pritom nie je nutné zdôrazňovať, že orientácia a nerovnomerné rozmiestnenie vlákien vo výlisku vedú o.i. k jeho nerovnomerným mechanickým vlastnostiam. Výsledky CAE analýzy o orientácii vlákien (Obr. 7) je možné exportovať a namapovať na MKP sieť pri pevnostnej CAE analýze [3].



Obrázok 7. Vektory orientácie vlákien plniva vo výlisku

Je treba uviesť, že táto fáza vývoja výlisku je najkritickejšia. Ak konštruktér spraví chybu v tejto fáze, napravanie jej následkov je v ďalších krokoch často problematické ak nie nemožné a ma za následok často nákladnú a zdĺhavú úpravu formy. CAE nástroje preto umožňujú vyhnúť sa takýmto chybám.

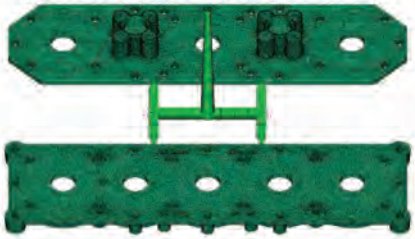
II.2 CAE simulácia konštruovaní vstrekovacej formy

V okamihu dostupnosti funkčného modelu je možné začať s návrhom konštrukcie vstrekovacej formy. Na základe veľkosti výlisku, predpokladanej násobnosti formy a údajoch o vstrekovacom lise je možné zvoliť veľkosť rámu formy. Zároveň z výsledkov CAE analýzy získaných pri konštrukcii výlisku je možné overiť vhodnosť vstrekovacieho lisu z hľadiska uzatváracej sily a vstrekovacích tlakov.

Konštruktér formy využíva CAE analýzu najmä pri návrhu vtokového a chladiaceho systému, pritom je samozrejme sledovaných aj ich vplyv na ostatné výsledky. Pri známom tvare výlisku a umiestnení vtoku, konštruktér formy navrhuje rozmiestnenie dutín vo forme a zodpovedajúci vtokový systém (obr.8). Pomocou DOE analýzy môže tento vtokový systém optimalizovať tak:

- aby umožňoval efektívne plnenie dutín formy a fázu dotlaku
- aby v prípade združených foriem zabezpečil rovnomerné zaplnenie jednotlivých dutín

- aby jeho tuhnutie nepredlžovalo vstrekovací cyklus
- správne načasovanie otvárania kaskádových vtokov temperovaného vtokového systému

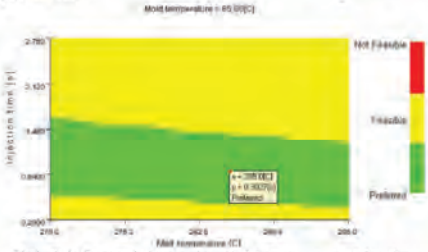


Obrázok 8. MKP sieť s vtokovým systémom pripravená na analýzu

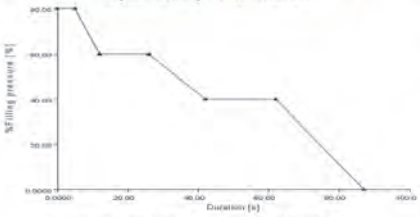
Po návrhu vtokového systému nasleduje návrh systému temperačného, ktorý musí zabezpečiť efektívny a rovnomerný tepelný manažment formy. Tak aby tavenina v dutine formy zatuhla rovnomerne a čo najrýchlejšie. Konštruktér pri tom volí veľkosť a rozmiestnenie vtokových kanálov. Takýto návrh si potom overí pomocou CAE analýzy, bez nutnosti vyrábať viacero verzií formy.

II.3 CAE simulácia pri stanovení procesných podmienok

Taktiež pri určovaní procesných podmienok vstrekovacieho procesu je veľmi účelné využiť možnosti CAE analýzy. Z nástrojov typicky vhodných pre technológa je vhodné uviesť analýzu procesného okna (obr. 9), ktorá poskytne predstavu o robustnosti celého procesu a zároveň pomôže určiť optimálne procesné podmienky.



Obrázok 9. Procesné okno pre kombináciu parametrov: teplota formy, teplota taveniny a vstrekovací čas.



Obrázok 10. Optimalizovaný priebeh dotlaku.

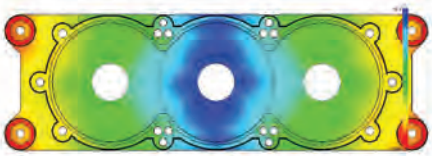
Vďaka možnosti hĺkovej analýzu priebehu celého procesu vstrekovania môže technológ optimalizovať priebeh dotlaku (Obr. 10) tak, aby bolo objemové zmrštenie vo výlisku rovnomerné a dĺžka cyklu nebola zbytočne predlžovaná.

III. PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA ANALÝZY PLASTOVÉHO VÝLISKU

V rámci prípadovej štúdie bola vykonaná analýza na overenie umiestnenia a počtu vtokov do dutiny výlisku B1982 – veko prevodu. Pre simuláciu bol použitým materiál Kepamid 1330GF. Pre zadaný výlisok boli navrhnuté varianty riešenia umiestnenia vtokov a ich vplyv na deformáciu výlisku.

III.1 Analýza umiestnia vtoku (Gate Location)

Výsledok analýzy poskytuje informáciu o najvhodnejšom umiestnení vtoku v dutine formy tak, aby bola rovnomerne zaplnená (Obr. 11). Modré miesta na farebnej mape predstavujú miesta najvhodnejšie pre umiestnenie vtoku. Na základe týchto výsledkov bola ďalej vykonaná analýza pre tri varianty rozmiestnia vtokov v dutine výlisku (Obr. 12).



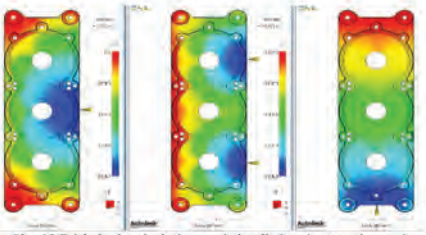
Obr.11 Výsledok analýzy umiestenia vtoku v dutine výlisku B1893

Obr. 12 Navrhované varianty umiestnenia vtoku do dutiny formy Variant A (vľavo), Variant B a Variant C (vpravo)

III.2 Analýza vstrekovania výlisku B1893 pre Variant A a Variant B a Variant C

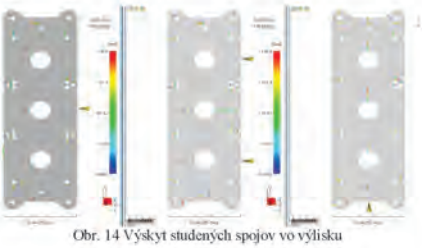
Pre všetky varianty umiestnenia vtokov sú výsledky analýz umiestnené vedľa seba (variant A, B, C vždy zľava doprava).

a) Priebeh a čas plnenia:



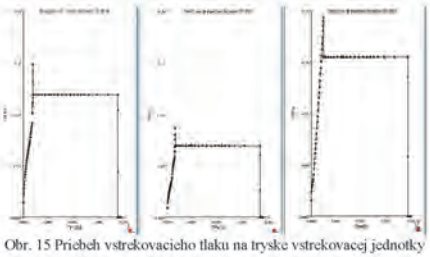
Obr. 13 Priebeh plnenia dutiny pre jednotlivé varianty umiestnenia vtokov

b) Studené spoje



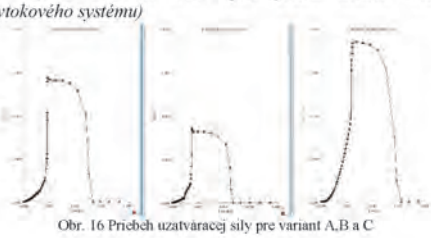
Obr. 14 Výskyt studených spojov vo výlisku

c) Vstrekovací tlak



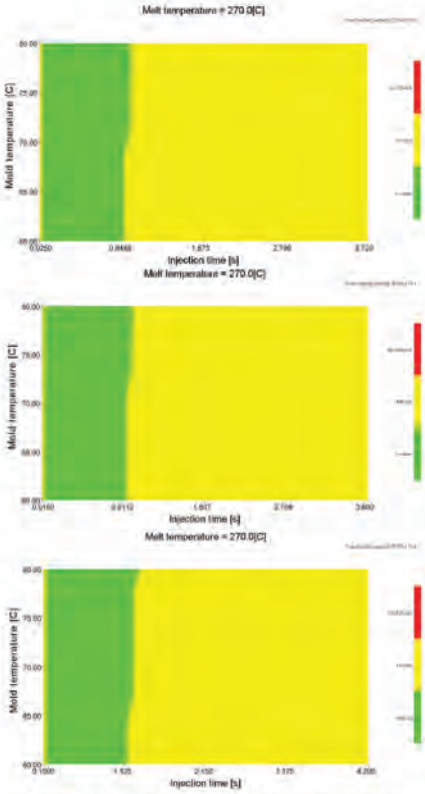
Obr. 15 Priebeh vstrekovacieho tlaku na tryske vstrekovacej jednotky

d) Uzatváracia sila (pre jednu dutinu bez vtokového systému)



Obr. 16 Priebeh uzatváracej sily pre variant A,B a C

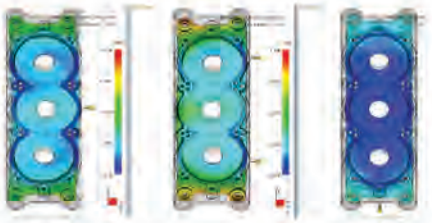
e) Procesné okno



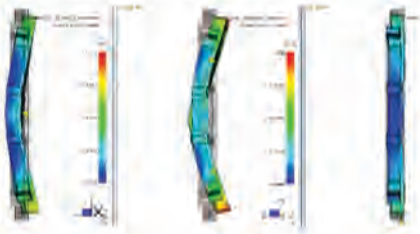
Obr. 17 Procesné okno pre všetky varianty umiestnenia vtokov

Ako je zrejmé z vybraných výsledkov analýzy vstrekovania, pre všetky tri varianty rozmiestnenia vtokov je možné vykonať vstrekovanie výlisku. Dutina je v oboch prípadoch úplne zaplnená. Varianty vykazujú v procesnom okne obdobne veľkú „zelenú" oblasť vhodnej kombinácie vstrekovacích parametrov (teplota formy, teplota taveniny a čas vstrekovania). Pri variante C je táto oblasť o cca 18% (využiteľná oblasť vstrekovacieho času) väčšia. Plnenie dutiny cez dva vtoky pri variante B umožňuje znížiť vstrekovací tlak na cca 7,5 MPa oproti 12,98 MPa pri variante A, resp. 16,95 MPa pri variante C. Tým pádom je aj rozdiel v potrebnej uzatváracej sile 7,5t pre variant A vs. 4t pre variant B, vs. 9 t pri variante C.

III.3 Analýza deformácie výlisku B1892



Obr. 18 - Výsledok analýzy deformácie výlisku pre varianty A, B a C, zväčšený 10x (jednotná mierka) pohľad zhora



Obr. 19 - Výsledok analýzy pre deformáciu výlisku pre varianty A, B a C ,zväčšený 10x (jednotná mierka) pohľad zboku

III.4 Zhodnotenie analýzy

V prípadovej štúdii boli analyzované tri varianty umiestnenia vtoku na výlisku B1892. Z hľadiska plnenia dutiny formy sú vhodné všetky varianty, záleží najmä na použitom vstrekovacom stroji a jeho parametroch. Z hľadiska deformácie výlisku a posunu otvorov vo výlisku vychádza najlepšie variant C, kde posun otvorov je o 0.17-0,23 mm menší oproti variantu A. Pri variante C je možné pozorovať najrovnomernejšiu deformáciu a zmrštenie geometrie výlisku a následne aj možnosť jednoduchej kompenzácie zmrštenia rozmerov výlisku úpravou rozmerov dutiny formy. Pri variante C je vzhľadom na materiál plnený sklenenými vláknami a ich orientáciou v pozdĺžnom smere výlisku aj deformácia v tomto smere najmenšia v porovnaní s variantmi A a B. Taktiež rovnomerná orientácia vlákien v celom objeme výlisku zapričiňuje jeho rovnomerné zmršťovanie bez deformácie geometrie. Nevýhodou variantu C sú jeho zvýšené nároky na vstrekovací stroj (uzatváracia sila a vstrekovací tlak), ktoré je potrebné brať do úvahy pri návrhu vstrekovacej formy. Uvedené hodnoty posunu bodov, vstrekovacieho tlaku, času a uzatváracej sily majú najmä porovnávací charakter pre posúdenie troch variantov rozmiestnenia vtokov.

IV. ZÁVER

V tomto príspevku sú predstavené hlavné výsledky riešenia aktivity PP3 - Centrum výskumu, vývoja a realizácie inovačných výskumno-vývojových služieb pre flexibilné technológie a rekonfigurovateľné výroby projektu Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií. Jednou z hlavných oblastí na ktoré sa aktivita PP3 zameriava je aj vývoj, prototypová výroba, testovanie, optimalizácia a využitie náradia, nástrojov, foriem a prípravkov. V príspevku boli prezentované možnosti využitia progresívnych CAE nástrojov v procese návrhu, vývoja a prototypovej výroby plastových výliskov. V prípadovej štúdii je prezentovaná konkrétna analýza plastového výlisku, ktorej výsledky slúžia pre overenie konštrukcie výlisku a návrh vstrekovacej formy. Aplikovanie týchto nástrojov je z hľadiska konkurencieschopnosti v dnešnej dobe kľúčové. Vďaka dlhoročným skúsenostiam v práci so softvérovým balíkom Autodesk Simulation Moldflow Insight bol takýto prístup na Ústave technologického a materiálového inžinierstva úspešne aplikovaný v rámci viacerých projektov.

PODAKOVANIE

Tento príspevok je výsledkom realizácie projektu: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií, fáza II. ITMS: 313011D232, podporovaný operačným programom výskumu a vývoja financovaným z EFRR. Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku / Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

LITERATÚRA

[1] J. Slota, I. Gajdoš: The application of rapid prototyping, CAE and CAM methods in product development processes, Scientific Bulletins of Rzeszów University of Technology. No. 253 (2008), p. 251-256. - ISSN 0209-2689.

[2] W. Fracz, G. Janowski: Analysis of fiber orientation in the wood-polymer composites (WPC) on selected examples In: Advances in Science and Technology Research Journal Vol. 11, no. 3 (2017), p. 122-129 ISSN: 2299-8624

[3] I. Gajdoš [et al.]: Interpretation of warpage simulation results in ASMI. Applied Computer Science. Vol. 11, no. 2 (2015), p. 5-16. - ISSN 2353-6977.

Hexadecimálny princíp pri vývoji palivových máp a jeho aplikácia pri minimalizácií emisií

J. Sinay *, M. Puškár **

* Technická univerzita v Košiciach/ Katedra bezpečnosti a kvality produkcie, Košice, Slovakia

** Technická univerzita v Košiciach/ Katedra konštrukčného, automobilového a doprav. inžinierstva, Košice, Slovakia

juraj.sinay@tuke.sk, michal.puskar@tuke.sk

Abstrakt

Elektronické systémy riadiacich jednotiek výkonných motorov sa líšia štruktúrou riadiacich algoritmov a priradenými modifikačnými softvérmi. Úprava týchto systémov je realizovaná pomocou editácie dátových polí s cieľom dosiahnutia maximálnych výstupných parametrov. Riadiaci softvér pracuje s číselnými kombináciami v hexadecimálnom tvare. Boli navrhnuté nové palivové mapy, ktoré boli testované na vysokovýkonnom motore. Počas všetkých prebiehajúcich meraní sa súčasne sledovali prevádzkové parametre pomocou dátového prepojenia. Výsledky meraní na komplexnej stanici valcového dynamometra dokazujú významný prínos v oblasti výkonovej charakteristiky motora pomocou vyvinutej hexadecimálnej matice ale aj radikálny pokles emisií, ktoré vznikajú pri jeho činnosti.

Kľúčové slová – riadiaca jednotka, palivová mapa, štvortaktný zážihový spaľovací motor,

I. ÚVOD

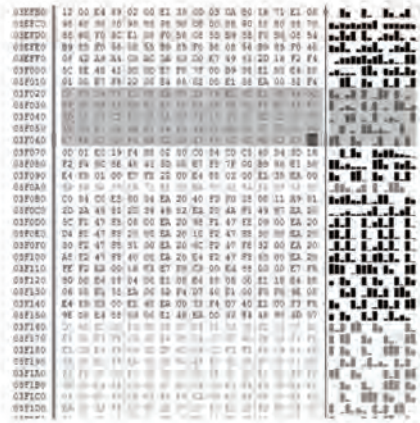
Súčasné prevedenia riadiacich jednotiek výkonných jednostopových vozidiel sa líšia nielen štruktúrou riadiacich algoritmov, ale aj priradenými modifikačnými softvérmi. Úprava funkcie motormanažmentu sa pri vysokovýkonných zážihových motoroch deje prevažne editáciou dátových polí. Len v málom množstve špecifických prípadoch dochádza k výmene niektorého elektronického komponentu plošného spoja riadiacej jednotky. Častejšie dochádza k výmenám za neoriginálne riadiace jednotky, ktoré sú produkované špeciálnymi firmami zaoberajúcimi sa výlučne motoršportom.

Väčšina produkovaných systémov motormanažmentu pretekárskych motocyklov je navrhovaná s vysokými požiadavkami na rýchlosť a rozsah spracovania údajov. Tieto motocykle nie sú vybavené špecializovanými systémami zabezpečujúcimi komfortné a bezpečnostné podmienky, a preto je ich činnosť zameraná predovšetkým na dosiahnutie maximálnych výkonových parametrov.

Činné algoritmy riadiacich jednotiek sa vyznačujú značnou komplikovanosťou a vzájomnou nadväznosťou.

II. ŠTRUKTÚRA DÁTOVÝCH POLÍ

Riadenie motormanažmentu je špecifikované strojovým kódom, ktorý určuje konkrétne úkony riadiaceho programu. Mikroprocesor riadiacej jednotky využíva ku svojej činnosti kombináciu elementárnych binárnych číslic 0 a 1. Pre riadenie jednotlivých činností riadiaci softvér pracuje s číselnými kombináciami v hexadecimálnom tvare. Pomocou údajov v tomto tvare sú určované jednotlivé dátové polia v príslušnej pamäti riadiacej jednotky. Pri úpravách riadiaceho programu je dôležité poznať nadväznosť decimálnej sústavy (dec.) a hexadecimálnej sústavy (hex.). Riadiaci program ECU využíva formát hex, skladajúci sa zo 16 znakov. Využívajú sa písmena veľkej abecedy A až F a číslice 0 až 9 (Obr.1). [1]

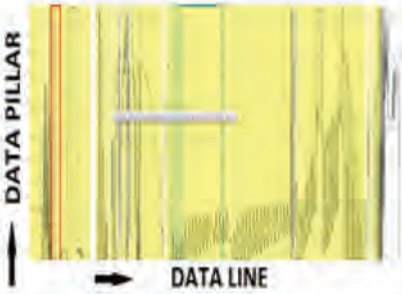


Obr. 1 Dátová štruktúra v hex formáte

Pri úpravách základných dátových polí vstrekovania paliva, predstihu zážihu alebo vstupných údajov teplôt je dôležitá transformácia editačným softvérom z hexadecimálneho formátu na decimálne dáta.

Konkrétna adresa dátovej informácie je určená v matici údajov príslušným riadkom a stĺpcom (Obr.2). Tieto adresy sú udávané v hexadecimálnej sústave.

Veľmi dôležitým prvkom pri úpravách riadiaceho programu je dodržanie kontrolného súčtu (checksum). Tento kontrolný súčet slúži predovšetkým na kontrolu integrity uložených dát uložených v pamäti EPROM / EEPROM. Algoritmus checksumu slúži pre správnosť používaných dát.[2]



Obr. 2 Dvojdimenzionálne zobrazenie dátových polí

III. EXPERIMENTÁLNY MODEL A MERACIE ZARIADENIA

Návrh dátových polí prebiehal na pretekárskom motocykli. Použitou pohonnou jednotkou bol štvortaktný zážihový motor so zdvihovým objemom 449 cm3. Špecifikačné parametre použitého motora sú uvedené v Tab.1

Riadiaci softvér motocykla spolu s kalibračným setom okrem načítania dátových polí umožňuje aj ich editáciu v prípustnom rozsahu pomocou modifikačného softvéru. Pre prístup k riadiacim informáciám je nutné vytvorenie adekvátneho spojenia medzi riadiacou jednotkou a modifikačným prvkom. Za modifikačný prvok sa v tomto prípade považuje počítač vybavený príslušným softvérom.

TAB.1
TECHNICKÉ PARAMETRE TESTOVANÉHO MOTORA

Kategória motora	Jednovalcový štvortaktný motor, štyri ventily DOHC, chladený kvapalinou
Obsah	449.0 cm³
Vŕtanie a zdvih	96.0 x 62.1 mm
Kompresný pomer	12.5 : 1
Druh riadiacej jednotky	Plne elektronická riadiaca jednotka
Palivový systém	EFI (elektronické vstrekovanie)
Vstrekovač paliva	Vstrekovač s 10 otvormi
Zapaľovací systém	DC-CDI

Zisťovanie parametrov výkonu a krútiaceho momentu je smerodajným prvkom pri úpravách motormanažmentu.

Spätné overenie vplyvu úpravy dátových polí je dôležité pri posudzovaní správnosti modifikácie motormanažmentu. Každá podstatnejšia úprava činnosti riadiacej jednotky vyvoláva adekvátne zmeny, a preto najlepším spôsobom ako zachytiť prejavené zmeny je meranie charakteristiky spaľovacieho motora na výkonovom dynamometri. Pre overenie správnosti úprav dátových polí vstrekovania a predstihu zážihu bol použitý valcový dynamometer DYNOJET 250i. Ide o jeden z najmodernejších dynamometrov používaných pri zisťovaní výkonových parametrov motocyklov.

Komplexná meracia stanica je vybavená doplnkovým veľkokapacitným ventilačným zariadením a odsávaním výfukových plynov. Tieto doplnkové zariadenia zabezpečujú optimálne podmienky merania a dostatočné chladenie zaťaženého motora. Okrem merania výkonu a krútiaceho momentu zariadenia dynamometra sledujú zloženie zmesi (λ), teplotu chladiacej kvapaliny, otáčky motora, rýchlosť a zaťaženie motora. Dynamometer pre prepočet výkonových parametrov pracuje s normami DIN, EEC, JIS, SAE J 1349 a STD. Naše meranie bolo uskutočnené podľa nemeckej štátnej normy DIN 70020, ktorá pojednáva o meraní s kompletným príslušenstvom motora a dovoľuje odchýlku výkonových parametrov ± 1% a odchýlku otáčok motora ± 0,5 %.

Dynamometer dokáže merať výkony dosahujúce 750 konských síl a maximálna rýchlosť brzdiaceho valca dosahuje 320 km/hod. Zmena zaťaženia testovaného motora sa dosahuje reguláciou veľkosti budiaceho prúdu, ktorý ovláda veľkosť magnetického poľa medzi rotorom a statorom. [3]

Obr. 3 Pripojenie testovaného motocykla k dynamometru DYNOJET 250i

IV. NÁVRH INDIVIDUÁLNEJ PALIVOVEJ MAPY

Realizácia dávky paliva je pri elektronickom riadení motora (EMS) jedna z najdôležitejších prevádzkových charakteristík.

Zaťaženie motora je najčastejšie vyjadrené polohou škrtiacej klapky, ktorej pozícia je snímaná TPS senzorom. Rozsah zaťaženia je vyjadrený v percentách od 0 do 100, alebo pomocou hodnoty uhla natočenia škrtiacej klapky v stupňoch [deg]. Ďalšiu formu zaťaženia motora vyjadruje podtlak vytváraný v sacom trakte, ktorý snima MAP senzor a jeho hodnota je udávaná v [kPa].

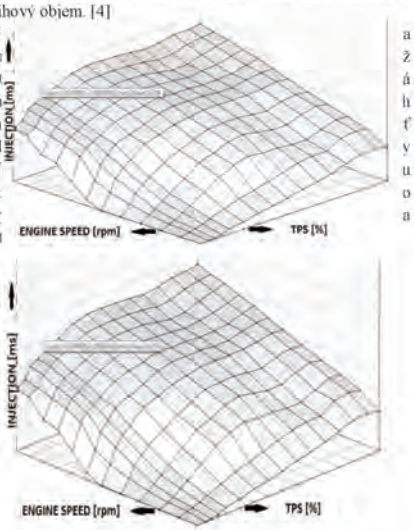
V riešenom prípade riadiaca jednotka experimentálneho motora pracuje na základe štandardnej dátovej palivovej mapy, ktorá vychádza z aktuálneho zaťaženia motora v podobe snímania polohy škrtiacej klapky prostredníctvom TPS senzora. Dĺžka vstreku elementárne závisí od údajov TPS senzora a snímača otáčok motora

Správne odladenie a stanovenie optimálnej palivovej mapy si vyžaduje znalosť širokého spektra poznatkov z oblasti motormanažmentu a konštrukcie samotného motora. Pri zostavovaní palivovej mapy sa kalkulovalo s použitím bezolovnatého benzínu s oktánovým číslom 100, a rozsahom teploty okolia 20 až 23 °C.

Návrh optimálnej palivovej mapy, ktorá bude adekvátne implementovaná do riadenia motormanažmentu si vyžaduje poznať priaznivé zloženie zmesi a hodnotu volumetrickej účinnosti (VE) vo všetkým prevádzkových režimoch. Volumetrická účinnosť porovnávajúca skutočný a teoretický objem nasatého vzduchu pri sacom zdvihu má zásadný vplyv na určovanie dĺžky vstreku.

Pri dosahovaní maximálneho krútiaceho momentu a plne otvorenej škrtiacej klapke (WOT) je hodnota volumetrickej účinnosti najvyššia, a preto je nutné v tomto pásme adekvátne prispôsobiť dobu otvorenia vstrekovacieho ventilu.

Objemová (volumetrická) účinnosť vyjadruje pomer množstva vzduchu alebo zmesi, ktorá prejde plniacim traktom a množstva, ktoré je možné teoreticky nasať čo predstavuje zdvihový objem. [4]

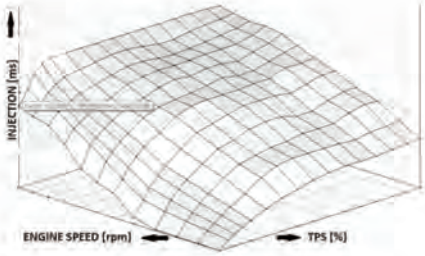


Obr. 4 Prvá verzia vytvorenej dátovej mapy vstrekovania paliva

Vstrekovací systém motocykla je dodávaný s priemerom škrtiacej klapky 43 mm a pracuje s 10 otvorovým solenoidným vstrekovačom.

Zostavenie optimálnej palivovej mapy si vyžaduje znalosť hodnoty prietoku vstrekovacej trysky a tlaku palivovej sústavy. Použitý vstrekovač paliva disponuje predimenzovaným prietokom 0,291 l/min a tlak palivovej sústavy je 297 kPa ± 3,5 %. Korekcia tlaku palivovej sústavy je riadená individuálnym dátovým poľom s korekčným súčiniteľom. [6]

Dĺžka pulznej periódy závisí od nárastu otáčok motora a prispôsobuje sa jej dĺžka vstreku. Čas k otvoreniu vstrekovacieho ventilu závisí aj od hodnoty napájacieho napätia. Systémové napätie motocykla sa v závislosti od zaťaženia pohybuje od 11,8 ÷ 14,2 V. Pri ustálenom napätí trvá čas k otvoreniu vstrekovacieho ventilu od 0,8 ÷ 1,1 ms.



Obr. 5 Druhá verzia vytvorenej dátovej mapy vstrekovania paliva

Odoslanie prvej verzie editovanej palivovej mapy do motocyklovej riadiacej jednotky sa uskutočnilo pomocou pripojeného komunikačného rozhrania. Po naštartovaní motora a dosiahnutí prevádzkovej teploty (min. 75 ÷ 80 °C) sa pomocou prídavného výstupu bohatosti zmesi dynamometra stanovili hodnoty optimálneho λ pomeru. Hodnoty lambda boli zaznamenávané od voľnobežných otáčok až po zásah obmedzovača.

Pri meraní sa posudzovala ideálnosť zloženia zmesi v jednotlivých záťažových pásmach. Prvotný variant palivovej mapy bol navrhnutý do obohateného pásma a po vyhodnotení zloženia zmesi pri meraní došlo ku korekcii konkrétnej časti dátového poľa. K výraznejšej odchýlke došlo v otáčkovom pásme 6 300 až 8 100 ot/min. V tomto spektre sa nachádza oblasť maximálnej volumetrickej účinnosti (VO) a je dôležité zabezpečiť odpovedajúcu dávku paliva. Z dôvodu zistenia obohatenej zmesi s hodnotou λ= 0,81 až 0,84 pri 6 250 až 7400 ot/min došlo k skráteniu doby vstreku v strednom otáčkovom pásme. Pri vytváraní druhej verzie palivovej mapy (Obr.5) došlo k poklesu dávky paliva o 5 až 8 percentuálnych bodov a tým sa upravila hodnota zloženia zmesi v strednom otáčkovom pásme na hodnotu λ=0,90 až 0,93.

Po aplikácií modifikovaných verzií dátových polí bola vykonaná séria detailných kontrolných meraní na výkonovom valcovom dynamometri.

V. OVERENIE DOSIAHNUTÝCH VÝSLEDKOV

Zisťovanie parametrov výkonu a krútiaceho momentu ale aj hodnôt lambdy je smerodajným krokom pri úpravách motormanažmentu. Spätné overenie vplyvu úpravy dátových polí je dôležité pri posudzovaní správnosti modifikácie motormanažmentu.

TAB.2
ATMOSFETICKÉ PODMIENKY MERANIA

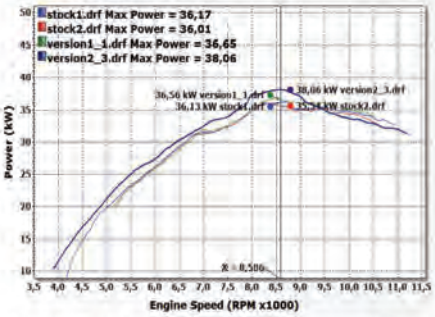
	Atmosferické podmienky		
	Teplota [°C]	**Tlak [Pa]**	**Vlhkosť [%]**
Rozsah hodnôt počas merania	20.2 – 20.9	$96.89 \cdot 10^3$	52-55

Každá podstatnejšia úprava činnosti riadiacej jednotky vyvoláva adekvátne zmeny, a preto najlepším spôsobom ako zaznamenať prejavené zmeny je meranie charakteristiky spaľovacieho motora prostredníctvom príslušného zariadenia.

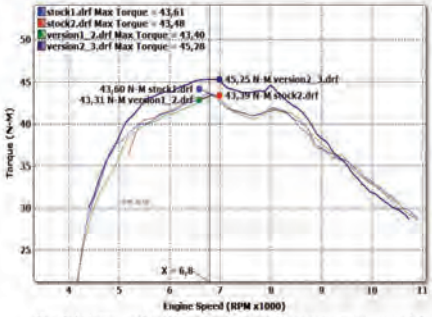
Pre objektívnosť výkonových meraní je dôležité dodržanie čo najkonštantnejších atmosférických podmienok, ktoré sú uvedené v Tab.2.

Pre uskutočnenie komplexného merania všetkých veličín je potrebné pripojiť snímací knôt teploty chladiacej kvapaliny na teleso chladiča, snímač otáčok motora a snímaciu trubicu zloženia výfukových plynov.

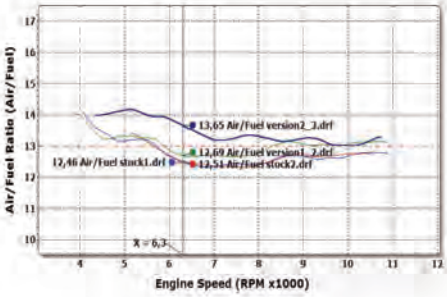
Pred začatím merania je potrebné spustiť odsávanie výfukových plynov, ventilačné chladiace zariadenie a riadiaci softvér dynamometra. Pri každom uskutočnení merania je nutné zohriatie motora na pracovnú teplotu 85 °C. Meranie sa uskutočňuje na šiestom najdlhšom prevodovom stupni, na ktorom sa dá zistiť aj maximálna rýchlosť použitého sekundárneho prevodu.



Obr. 6 Výstupná charakteristika výkonu testovaných verzií palivových máp



Obr. 7 Výstupná charakteristika krútiaceho momentu testovaných verzií palivových máp



Obr. 8 Výstupná charakteristika zloženia zmesi (AFR) testovaných verzií palivových máp

Podrobné testovanie pohonnej jednotky si vyžadovalo vykonanať štyri sekvencie meraní a to: sériové meranie 1, sériové meranie 2, meranie prvej verzie modifikovanej palivovej mapy a meranie druhej verzie modifikovanej palivovej mapy.

Prvá séria meraní sa uskutočnila na sériovom fabrickom nastavení dátových polí. Pre objektívnosť analýzy merania sa zaoberáme dvoma konkrétnymi meraniami sériového nastavenia (Stock1 and Stock2). Pri týchto meraniach sa zisťoval výkon motora (Obr.6), krútiaci moment (Obr.7) a zloženie zmesi v závislosti na otáčkach motora (Obr.8).

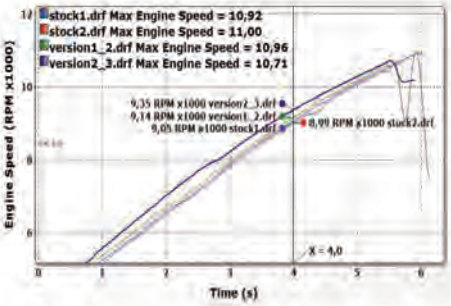
Individuálnymi dátovými poľami vstrekovania paliva sa dosiahol nárast maximálneho výkonu o 2,05 kW_e ako aj nárast hodnôt maximálneho krútiaceho momentu o 1,8 N.m. Tieto hodnoty nárastu skúmaných parametrov boli zaznamenané pri druhej verzii modifikovanej palivovej mapy.

K priaznivému nárastu výkonu došlo v otáčkovom spektre 7,000 rpm až 9,000 rpm (Obr.6). Na obrázku číslo 7 je viditeľné, že nárast krútiaceho momentu je k dispozícii v rozsiahlom pásme využiteľných otáčok motora , a to od 5,000rpm do 9000rpm.

Zaznamenané navýšenie výkonu a krútiaceho momentu má pozitívny vplyv na využitie pohonnej jednotky v reálnych podmienkach pretekárskeho okruhu. Zároveň pri meraniach druhej verzie došlo k zidealizovaniu zloženia zmesi (AFR), zrýchleniu akcelerácie brzdného valca výkonového dynamometra a pružnejšej reakcii na otvorenie škrtiacej klapky.

Posledné dve analyzované charakteristiky pojednávajú o pružnosti motora a akceleračnej schopnosti. Na obrázku číslo 9 vidíme záznam hodnôt dosiahnutých otáčok motora za časovú

jednotku predstavujúcu štyri sekundy. Pri najvýhodnejšej druhej verzii palivovej mapy dosiahla pohonná jednotka za štyri sekundy prebiehajúceho merania hodnotu 9 350 rpm, pričom sériové verzie dosiahli hodnotu 9 000 rpm. Obmedzovač otáčok motora zasiahol pri hodnote 10 710 rpm počas doby merania trvajúcej 5.8 sekundy.



Obr. 9 Časová charakteristika rozbehu brzdového valca vzhľadom na otáčky motora

TAB.3
VÝSLEDKY MERANÍ

	Max. výkon/ Otáčky motora [kW/rpm]	Max. moment/Otáčky motora [N·m/rpm]	AFR pri 6300 rpm [-]	Otáčky pri 4 s. merania [rpm]	Rýchlosť pri 3 s. merania [km.hr^{-1}/rpm]
1. Stock 1	36.17 / 8500	43.61 / 6780	12.46	9050	105.94
2. Stock 2	36.01 / 8450	43.48 / 6800	12.51	8990	107.05
3. Version 1	36.65 / 8490	43.40 / 6870	12.69	9140	108.28
4. Version 2	38.06 / 8580	45.28 / 6790	13.65	9350	112.70

Testovaný motocykel s aplikovanou druhou verziou palivovej mapy dosiahol rýchlosť 112.70 [km.hr^{-1}], pričom so sériovým nastavením mala dosiahnutá rýchlosť hodnotu 107 [km.hr^{-1}].

Všetky vyhodnocované a kľúčové parametre skúmaných verzií palivových máp sú zaznamenané v tabuľke č.3. Experimentálna pohonná jednotka po aplikácii modifikovanej dátovej mapy disponovala v reálnej prevádzke kultivovanejším chodom, lepšou pružnosťou a zlepšenou akceleráciou.

VI. ZÁVER

Po dôkladnej analýze vykonaných meraní je možné zhodnotiť, že navrhnutá finálna dátová mapa vstrekovania paliva má kladný vplyv na nárast výstupných parametrov pohonnej jednotky. Priebeh vykonaných meraní na komplexnej stanici valcového dynamometra dokazuje, že po aplikovaní modifikovanej palivovej mapy pohonná jednotka disponovala nárastom výkonu a krútiaceho momentu.

Charakteristika priebehu krútiaceho momentu poukazuje na plynulý nárast hodnôt krútiaceho momentu v širokom otáčkovom pásme. Tento faktor má dôležitý vplyv pri využití pohonnej jednotky v reálnych podmienkach. Zároveň sa kontrolnými meraniami potvrdila zvýšená schopnosť pohonnej jednotky reagovať na premenlivé zaťaženie, ako aj pružnejšia reakcia na otvorenie škrtiacej klapky.

Posledné dve skúmané charakteristiky pojednávajú o zvýšení akceleračnej schopnosti pohonnej jednotky, kde bolo dosiahnuté zvýšene zrýchlenie motocykla za určený časový úsek.

Úpravami dátových polí vstrekovania paliva sa zároveň dosiahlo ustálenie hodnôt zloženia zmesi (AFR).

Zaznamenané navýšenie výstupných parametrov skúmanej jednotky pohonnej jednotky pretekárskeho motocykla má

pozitívny vplyv na využitie aplikácie v reálnych podmienkach pretekárskeho okruhu.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

REFERENCIE

[1] Motejl, V.: Vstřikovací zažižení zážehových motoru. České Bredějovice,. ISBN 80-7232-001-7

[2] Cramer, M.: Performance fuel injection systems. HP Trade 2010. ISBN 978-1557885579

[3] Ohata, A., Ishida, Y.: Dynamic Inlet Pressure and Volumetric Efficiency of Four Cycle Four Cylinder Engine," SAE Technical Paper 820407, 1982.

[4] Livengood, J., Rogowski, A., Taylor, C.: The volumetric efficiency of four-stroke engines. SAE Technical Paper 520259, 1952

[5] Honda GX25. Hondastroje.cz [online]. 2012 [cit.2016-12-08].Dostupné z: http://www.hondastroje.cz/katalogproduktu/motory/mini-ctyrtaktni/produkt/honda-gx25.html

[6] Walker, D.: Engine management. Yeovil: Haynes Publishing 2001. ISBN 978-1859608357

Mechanické vlastnosti ťahaných prvkov lanových sústav

S. Kmeť*, V. Urban* a P. Cauner*

* Stavebná fakulta TU v Košiciach/Ústav inžinierskeho staviteľstva, Košice, SR

stanislav.kmet@tuke.sk, viktor.urban@tuke.sk, peter.cauner@tuke.sk

Abstrakt **– Článok sa venuje problematike mechanických vlastností ťahaných prvkov, ktoré sú súčasťou prototypu tensegrity bunky a prototypu lanovej kupoly. Analyzuje možnosť spresnenia parametrov v numerických modeloch, zohľadnením skutočného konštrukčného prevedenia ťahaných prvkov a spôsobu ich napájania na uzly konštrukcie. Na základe experimentálnej analýzy je ukázaný vplyv geometrie a konštrukčného riešenia ťahaných prvkov na ich deformačné charakteristiky. Výsledkom sú odporúčania pre zadávanie parametrov pre ťahané prvky v numerických modeloch lanových sústav.**

Kľúčové slová **– tensegrity, lanová kupola**

I. Úvod

V bežných numerických modeloch lanových sústav je teoretická vzdialenosť medzi dvoma uzlami prepojená prvkom so zadanými charakteristikami. V prípade ťahaného prvku sú týmito charakteristikami prierezová plocha A a modul pružnosti E. Zatiaľ čo hodnota prierezovej plochy je zrejmá na základe konštrukčných charakteristík lán, hodnota modulu pružnosti sa spravidla uvažuje teoretickou hodnotou. Tento konzervatívny prístup pri riešení modelov lanových sústav môže mať okrem možného rozdielu v hodnote teoretického a skutočného modulu pružnosti ešte ďalší vplyv na výsledky analýzy. Ten vychádza z problematiky konštrukčného riešenia ťahaných prvkov sústavy s ohľadom na ich dĺžku a je popísaný v ďalších častiach článku.

Súčasťou riešenej problematiky je popis prototypu tensegrity bunky a prototypu lanovej kupoly, ktoré sa nachádzajú v Laboratóriu excelentného výskumu Technickej univerzity v Košiciach. Ťahané prvky týchto prototypov boli podrobené experimentálnej analýze jednako za účelom stabilizácie modulu pružnosti lán, ako aj za účelom analýzy ich pretvorení pri vyšších úrovniach napätosti, ktorým budú vystavené pri skúškach samotných prototypov.

II. Popis prototypov

Laboratórium excelentného výskumu Technickej univerzity v Košiciach disponuje niekoľkými prototypmi konštrukcií s aktuátormi, založenými na báze tensegrity systémov. V rámci riešenej problematiky sa zameriame na prototyp tensegrity bunky a prototyp lanovej kupoly.

Pre potreby analýzy tensegrity sústav bol v spolupráci s firmou INOVA Praha s.r.o. navrhnutý a zrealizovaný nosný rám s prototypom tensegrity bunky s označením n8s4c12. V tomto prototype sú všetky tlačené prvky súčasne aj akčnými prvkami, čím je zabezpečené veľké množstvo možností pri regulácii napätosti jednotlivých nosných prvkov. Takisto je možné rovnomerným posunom všetkých štyroch akčných prvkov prelaďovať bunku do vyšších, či nižších úrovní samonapätosti, pri súčasnom zachovaní symetrie v rovnovážnom stave. Rozmery prototypu tensegrity bunky sú reprezentatívne voči rozmerom, ktoré by mala ako súčasť reálnej konštrukcie – dosky, nosníka. Pôdorysný rozmer dolnej štvorcovej podstavy je 2 x 2 m, pôdorysný rozmer hornej štvorcovej podstavy 1,414 x 1,414 m a výška bunky je 1,5 m.

Obr. 1: Regulovateľná tensegrity bunka n8s4c12

Lanová kupola Levyho typu je zostrojená nad kruhovým pôdorysom o priemere 3,0 m. Skúšobné zariadenie so zaťažovacím valcom je kotvené do samonosného rámu (obr. 4). Kupola je zostrojená z 5 tlačených prvkov (prierezu ϕ 30/5 mm, S 235), 42 jednopramenných lán konštrukcie 1x19 (ϕ 4 mm) a 1 akčného prvku (hydraulický pohon), ktorý redistribuuje sily v lanách svojím roztiahovaním resp. skracovaním, pri udržaní konštrukcie v spoľahlivých kritériách medzných stavov. Redistribúcia síl je potrebná, ak je konštrukcia vystavená kritickým nepriaznivým vplyvom zaťaženia.

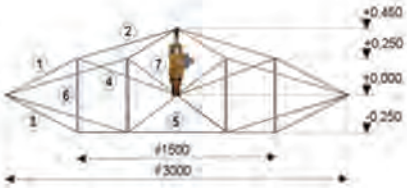
Obr. 2: Regulovateľná lanová kupola

III. Charakteristiky ťahaných prvkov v prototypoch

Ťahané prvky v popísanom prototype tensegrity bunky a lanovej kupoly je možné z hľadiska ich geometrie a polohy v konštrukcii rozdeliť do niekoľkých skupín.

V tensegrity bunke sú v prvej skupine laná hornej podstavy č. 1 – 4. Druhú skupinu tvoria diagonálne laná č. 5 – 8 a v tretej skupine sú laná spodnej podstavy č. 9 – 12.

V prototype lanovej kupoly sú jednotlivé skupiny lán označené číslami 1 – 5 (obr. 3).



Obr. 3: Skupiny prvkov lanovej kupoly

Pre potreby analýzy ťahaných prvkov boli ďalej zhromaždené materiálové, výrobné a konštrukčné charakteristiky lán, použitých v prototypoch. Na základe týchto údajov je možné stanoviť ďalšie parametre pre laná podľa STN EN 1993-1-11.

Z hľadiska zatriedenia podľa normy patria analyzované špirálové pramenné laná s drôtmi len s kruhovým prierezom do skupiny ťahaných prvkov B. Minimálna trhacia sila je vyjadrená v tvare

$$F_{min} = \frac{d^2 \cdot R_r \cdot K}{1000} \tag{1.1}$$

kde d je priemer lana, R_r je nominálna pevnosť drôtov a K je faktor trhacej sily, závislý od konštrukcie lana.

Charakteristická hodnota trhacej sily pre skupinu B ťahaných prvkov je vyjadrená v tvare

$$F_{uk} = F_{min} \cdot k_e \tag{1.2}$$

kde súčiniteľ k_e zohľadňuje typ použitej koncovky.

Z uvedených vzťahov a známej plochy kovovej časti prierezu A_m môžeme hodnotu medznej pevnosti v ťahu napísať v tvare:

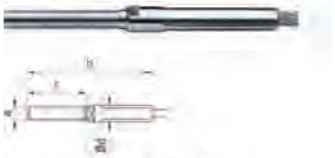
$$\sigma_{uk} = \frac{F_{uk}}{A_m} \tag{1.3}$$

Informácie o lanách, spolu s hodnotami vypočítaných veličín sú zosumarizované v tab. 1.

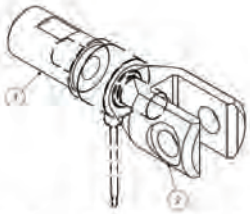
Tab. 1. Charakteristiky analyzovaných lán

Charakteristika	Tensegrity bunka	Lanová kupola
Materiál	Austenitická kyselinovzdorná chrómnikelmolybdénová oceľ so zvýšenou odolnosťou voči korózii	
Konštrukcia	1x19, resp. 1+6+12	
Vinutie	z (pravé)	
Faktor medznej sily K	0,525	
Teoretický modul pružnosti	130 GPa	
Nominálna pevnosť	1570 MPa	
Priemer lana	6 mm	4 mm
Plocha kovovej časti prierezu	21,49 mm^2	9,55 mm^2
F_{min}	29,7 kN	13,2 kN
F_{uk}	26,7 kN	11,88 kN
σ_{uk}	1243 MPa	

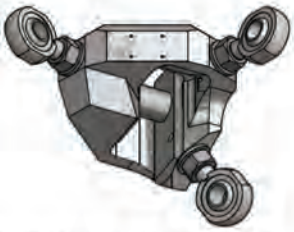
Oceľové laná oboch prototypov sú zakončené nalisovanou koncovkou (obr. 4), cez ktorú sa napájajú na spojovaciu vidlicu (obr. 5), súčasťou ktorej je na jednom konci lana aj adaptér silomeru. Vidlica sa ďalej cez spojovací čap napája na spojovací uzol (obr. 6) v ktorého strede je teoretický priesečník stretávajúcich sa prvkov. Celý tento systém – lano, koncovky, vidlica - tvorí ťahané prvky prototypov lanových sústav.



Obr. 4: Koncovka lán



Obr. 5: Adaptér silomeru (1) napojený na spojovaciu vidlicu (2)



Obrázok 6: Horný spojovací uzol prototypu tensegrity bunky

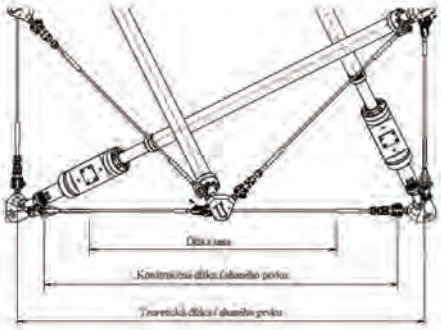
IV. Konštrukčné riešenie a geometria ťahaných prvkov v prototypoch

Pre vytvorenie predstavy o deformáciách ťahaných prvkov v analyzovaných prototypoch je potrebné zobrať do úvahy ich samotné konštrukčné riešenie. Mechanické vlastnosti jednotlivých komponentov ťahaných prvkov môžu mať významný vplyv na celkovú odozvu konštrukcie. Z tohto dôvodu je v súvislosti s analýzou lanových sústav vhodné používať pojem „ťahané prvky" namiesto zjednodušujúceho pojmu „laná". Tým sa zvýrazní skutočnosť, že teoretická dĺžka ťahaného prvku v prútových modeloch sa môže výrazne líšiť od skutočnej dĺžky samotného lana zabudovaného v prototypoch. Pre potreby kvalitatívneho zhodnotenia možnej chyby, ktorá sa

takýmto spôsobom do numerických modelov vnáša, je potrebné zadefinovať nasledovné pojmy:

1. Teoretická dĺžka ťahaného prvku – vzdialenosť medzi dvoma uzlami lanovej sústavy, ktorá zahŕňa lano, obe koncovky, spojovacie vidlice s adaptérom silomeru a vzdialenosť medzi stredom spojovacieho uzla a osou spojovacieho čapu
2. Konštrukčná dĺžka ťahaného prvku – vzdialenosť medzi osami spojovacích čapov, spájajúcich vidlicu so spojovacím uzlom
3. Dĺžka lana – dĺžka, na ktorej pozostáva ťahaný prvok sústavy výhradne z drôtov, tvoriacich prameň lana

Zadefinované pojmy sú graficky znázornené na obr. 7.



Obr. 7: Definícia dĺžok ťahaných prvkov

Pre názornosť ďalej uvedieme konkrétne rozmery jednotlivých skupín ťahaných prvkov v prototype tensegrity bunky. V tab. 2 sú pre tieto ťahané prvky vypísané hodnoty teoretickej dĺžky ťahaného prvku TD, konštrukčnej dĺžky ťahaného prvku KD a dĺžky lana DL. V posledných dvoch stĺpcoch je vyjadrený podiel dĺžky lana vzhľadom ku teoretickej a konštrukčnej dĺžke celého ťahaného prvku.

Tab. 2: Geometria ťahaných prvkov prototypu tensegrity bunky

Skupina lán	TD [m]	KD [m]	DL [m]	DL/TD [%]	DL/KD [%]
1	1,414	1,152	0,798	53,82	68,25
2	1,795	1,536	1,182	65,79	76,9
3	2	1,738	1,384	69,18	79,61

Ako je zrejmé z hodnôt pomerov v tab. 2, v niektorých ťahaných prvkoch prototypu tensegrity bunky tvorí samotné lano len necelých 54 % teoretickej dĺžky ťahaného prvku. Zvyšný podiel pripadá na komponenty s výrazne vyššou ťahovou tuhosťou, než má samotné lano.

V. DEFINÍCIA MODIFIKOVANÉHO MODULU PRUŽNOSTI

Ťahovú tuhosť jednotlivých komponentov ťahaného prvku je možné vyjadriť v tvare

$$k_i = E_i \, . \, A_i \tag{1.4}$$

kde E_i je modul pružnosti i-tého komponentu a A_i je prierezová plocha i-tého komponentu.

Vzhľadom na skutočnosť, že teoretická hodnota modulu pružnosti lana 130 GPa predstavuje len 62 % z modulu pružnosti oceľových komponentov, a súčasne plocha kovovovej časti prierezu lana je výrazne menšia, než prierezová plocha zvyšných komponentov, môžeme príspevok predĺženia zvyšných komponentov k celkovému predĺženiu ťahaného prvku považovať pri bežných zaťaženiach za zanedbateľný.

Predpoklad zanedbateľného príspevku zvyšných komponentov k celkovému predĺženiu ťahaného prvku rozvinieme v nasledovnej modelovej situácii.

Uvažujme, že ťahaný prvok vyjmeme z konštrukcie prototypu a bude podrobený analýze samostatne. Po vyňatí z konštrukcie je teda k dispozícii ťahaný prvok s konštrukčnou dĺžkou KD = 1,152 m, z čoho skutočná dĺžka lana DL = 0,798 m. Ďalej zavedieme konzervatívny predpoklad, že celý analyzovaný ťahaný prvok s dĺžkou KD má konštantný modul pružnosti nerezového lana E = 130 GPa a plochu kovovej časti prierezu A_m = 21,49 m². V analyzovanom ťahanom prvku ďalej predpokladáme namáhanie ťahovou silou N = 10 kN. Potom je možné zmenu dĺžky ťahaného prvku vyjadriť nasledovne

$$\Delta KD_1 = \frac{N \, . \, KD}{A_m \, . \, E} = \frac{10 \, . \, 1{,}152}{21{,}49 \, . \, 10^{-6} \, . \, 130 \, . \, 10^6} = 4{,}12 \; mm$$

Uvedený výsledok predpokladá rovnomernú deformáciu ťahaného prvku po celej dĺžke KD. Ak by sme však v uvažovanej situácii zohľadnili, že úsek s modulom pružnosti E = 130 GPa má v skutočnosti menšiu dĺžku (DL = 0,798 m), a súčasne zaviedli predpoklad, že zvyšný úsek nemá na deformáciu celého ťahaného prvku žiadny vplyv, dostali by sme

$$\Delta KD_2 = \frac{N \, . \, DL}{A_m \, . \, E} = \frac{10 \, . \, 0{,}798}{21{,}49 \, . \, 10^{-6} \, . \, 130 \, . \, 10^6} = 2{,}86 \; mm$$

Ak je uvažovaný predpoklad o zanedbateľnom príspevku zvyšných komponentov k celkovému predĺženiu ťahaného prvku správny, zámenou dĺžky KD za dĺžku DL sme dosiahli presnejší výsledok. Keďže však v numerických analýzach takáto zámena vo výpočtoch nie je možná a modifikácia prierezovej plochy A_m by mohla spôsobiť nezrovnalosti v zohľadnení účinkov vlastnej tiaže, prichádza do úvahy modifikácia modulu pružnosti E tak, aby sa pri zachovanej dĺžke ťahaného prvku KD v numerickom modeli dosiahla hodnota predĺženia ΔKD_2. Takto modifikovaný modul pružnosti by súčasne presnejšie vystihoval reálne pôsobenie systému komponentov tvoriacich ťahaný prvok.

Modifikovaný modul pružnosti definujeme na základe nasledovnej rovnosti

$$\frac{N \, . \, KD}{A_m \, . \, E_{mod}} = \frac{N \, . \, DL}{A_m \, . \, E} \tag{1.5}$$

kde E_{mod} je modifikovaný modul pružnosti, použitím ktorého sa dosiahne presnejšia hodnota predĺženia ťahaného prvku pri zachovaní uvažovanej konštrukčnej dĺžky. Po úpravách dostaneme rovnicu

$$\frac{E}{E_{mod}} = \frac{DL}{KD} \tag{1.6}$$

Ďalej ak zavedieme súčiniteľ konštrukčného prevedenia ťahaného prvku v tvare

$$k = \frac{DL}{KD} \tag{1.7}$$

potom môžeme vyjadriť modifikovaný modul pružnosti v tvare

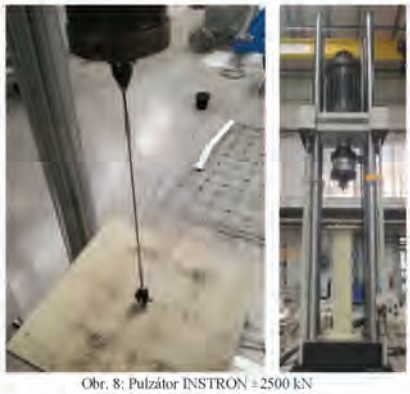
$$E_{mod} = \frac{E}{k} \tag{1.8}$$

Vzhľadom na to, že hodnoty súčiniteľa konštrukčného prevedenia sú vždy menšie ako 1, hodnoty modifikovaného modulu pružnosti ťahaných prvkov budú vyššie, než hodnoty teoretického alebo reálneho modulu pružnosti lana.

V nasledujúcich kapitolách sú spracované výsledky experimentálnej analýzy, na základe ktorej je zrejmé, do akej miery používanie modifikovaného modulu pružnosti spresní výsledky numerických analýz.

VI. Popis experimentu

Analyzované laná prototypov tensegrity bunky a lanovej kupoly boli vložené do pulzátora INSTRON ±2500 kN, kde



Obr. 8: Pulzátor INSTRON ±2500 kN

boli následne cyklicky zaťažované a odľahčované.

Proces cyklického zaťažovania a odľahčovania pozostával z 3 krokov. V prvom kroku sa hľadala východisková pozícia pre štart zaťažovania, ktorá predstavovala nízke ťahové sily v lane, rovnajúce sa cca 2% charakteristickej hodnoty medznej pevnosti v ťahu σ_{uk}. V druhom kroku počas 10s dosiahla sila v lane hodnotu 45% charakteristickej hodnoty medznej pevnosti v ťahu σ_{uk} (pri jednopramennom lane ϕ 4mm) resp. 70% charakteristickej hodnoty medznej pevnosti v ťahu σ_{uk} (pri jednopramennom lane ϕ 6mm – kvôli dosiahnutiu ťahovej sily v lane, ktorú nadobudne lano počas prevádzky tensegrity bunky n8s4c12). Následne v treťom kroku bolo lano odľahčované počas 10s kým sila v lane nenadobudla východiskovú hodnotu platnú pre prvý krok. Celý proces zaťažovania trval cca 30 minút, pri dosiahnutí 45 cyklov.

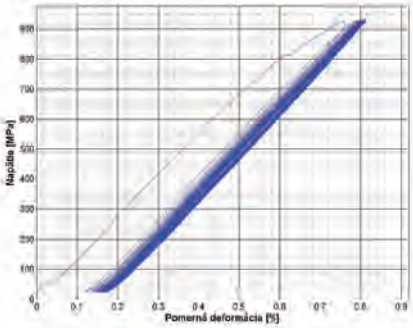
VII. Namerané hodnoty

V článku sú pre názornosť spracované namerané hodnoty z analýzy ťahaných prvkov prototypu tensegrity bunky. Tie sú zosumarizované v tab. 3. Uvedené ťahané prvky boli namáhané cyklicky v intervale 0,5 kN – 20 kN.

Tab. 3: Namerané hodnoty; δ_{max} – maximálne predĺženie, δ_{pl} – trvalé predĺženie na konci skúšky

Č. prvku	δ_{max}	δ_{pl}
	[mm]	[mm]
1	8,3	2
2	8,7	2,2
3	8,5	2,1
4	9	2,5
5	11,5	2,5
6	11,7	2,7
7	11,1	2,2
8	11,4	2,3
9	13,4	2,7
10	13,4	2,8
11	12,8	2,5
12	13,2	2,7

Na obr. 7 je znázornená závislosť napätia a pomernej deformácie ťahaného prvku č. 5.



Obr. 9: Závislosť napätia a pomernej deformácie, 45 cyklov

Na základe nameraných veličín boli vypočítané hodnoty modulov pružnosti pre jednotlivé ťahané prvky. Tie boli vyjadrené na základe pomeru rozdielov maximálnej a minimálnej pomernej deformácie a maximálneho a minimálneho napätia v zaťažovacej fáze posledného zaťažovacieho cyklu.

VIII. Výsledky

Moduly pružnosti E_{KD}, ktoré zodpovedajú skutočnému modulu pružnosti ťahaného prvku, zahŕňajúceho laná, koncovky, a spojovacie vidlice boli vypočítané z pomernej deformácie stanovenej na základe konštrukčnej dĺžky ťahaného prvku rovnej hodnote KD.

Moduly pružnosti E_{DL}, ktoré zodpovedajú skutočnému modulu pružnosti použitých lán, boli vypočítané z pomernej deformácie stanovenej na základe skutočnej dĺžky lana rovnej hodnote DL.

Hodnoty súčiniteľa konštrukčného prevedenia prvku boli vyčíslené zvlášť pre každú skupinu lán podľa vzťahu 1.7.

Hodnoty modifikovaného modulu pružnosti, ktorý zohľadňuje zvýšenú ťahovú tuhosť ťahaného prvku v porovnaní s ťahovou tuhosťou samotného lana, boli vypočítané podľa vzťahu 1.8.

Výsledky sú zosumarizované v tab. 4.

Tab. 4: Hodnoty modulov pružnosti, vypočítané na základe nameraných hodnôt pretvorení lán a hodnoty súčiniteľov konštrukčného prevedenia

Č. skupiny prvkov	k [-]	E_{DL} [GPa]	E_{mod} [GPa]	E_{KD} [GPa]
1	0,69	113	163	162
2	0,77	119	154	154
3	0,80	119	149	150

Badateľný pokles modulu pružnosti E_{KD} smerom od najkratšieho prvku po najdlhší potvrdzuje predpoklad o vplyve pomeru dĺžky lana a dĺžky zvyšných komponentov na tuhosť celého ťahaného prvku.

Výrazné rozdiely medzi hodnotami modulov pružnosti E_{DL} a E_{KD} potvrdzujú predpoklad o nutnosti zaviesť v numerických modeloch namiesto skutočného modulu pružnosti lana E_{DL}, modifikovaný modul pružnosti E_{mod}.

Skutočnosť, že platí rovnosť

$$E_{mod} = \frac{E_{DL}}{k} = E_{KD} \qquad (1.9)$$

potvrdzuje predpoklad, že zavedením modifikovaného modulu pružnosti, ktorým sa nahradí reálna, prípadne teoretická hodnota modulu pružnosti oceľového lana, sa spresní tuhosť ťahaného prvku vo výpočtových modeloch.

IX. ZÁVER

V článku bola predstavená problematika vystihnutia reálneho pôsobenia ťahaných prvkov v lanových sústavách. Boli popísané účinky, ktoré sa prejavujú hlavne pri krátkych lanách, a ktoré môžu mať výrazný vplyv na ťahovú tuhosť prvkov. Bol odvodený modifikovaný modul pružnosti, ktorý zohľadňuje, že určitú časť ťahaných prvkov lanových sústav tvoria komponenty s výrazne vyššou ťahovou tuhosťou, než je ťahová tuhosť samotných lán. Zosumarizované odporúčania pomôžu spresniť výsledky numerických modelov bez zvyšovania nárokov na čas výpočtu, parametre siete či zložitosť modelu.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

REFERENCES

[1] R. Motro, "Tensegrity: Structural systems of future" London: Kogan Page Science, 238p., 2003, ISBN 1-903996-37-6.

[2] S. Kmeť, *Novodobé lanové a membránové konštrukcie*, dostupné na internete: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/konstrukcie-a-prvky/ocelove-konstrukcie/novodobe-lanove-a-membranove-konstrukcie >

[3] KENNETSNELSON [online]. Dostupné na internete: <http://www.kennethsnelson.net>

[4] STATIC PANORANAMIO [online]. Dostupné na internete: <http://static.panoramio.com/photos/large/62016957.jpg>

[5] COLUMBIA [online]. Dostupné na internete: <http://www.columbia.edu/cu/gsapp/BT/DOMES/GEORGIA/geo-21.jpg>

[6] STN EN 1993-1-11: 2011: Eurokód 3. Navrhovanie oceľových konštrukcií. Časť 1-11: Navrhovanie konštrukcií s ťahanými prvkami.

[7] S. Kmeť, M. Mojdis: "Adaptive cable Dome," In: Journal of Structural Engineering, vol. 141, Issue 9 (2015), Article Number: 04014225.

Behavior of composite structures in the event of a long-term and dynamic load

V. Kvočák*, V. Kožlejová* and D. Dubecký*
* Faculty of Civil Engineering, Technical University of Kosice, Kosice, Slovakia
vincent.kvocak@tuke.sk, viktoria.kozlejova@tuke.sk, daniel.dubecky@tuke.sk

Abstract **– Structures carry various types of load during their exploitation. The effects of a long-term load component are significant mainly for the structures in which concrete fulfils its static function. Besides some instant effects; however, there are rheological properties of concrete that manifest themselves under applied forces. Creep, for instance, is time-dependent, and its effects can considerably influence deformation in composite steel and concrete structures. In order to verify some theoretical assumptions in practice, several specimens of composite steel and concrete deck bridges were made, containing encased filler beams. These specimens were subjected to constant long-term loading, and deflections and deformations that occurred in them were monitored and recorded.**

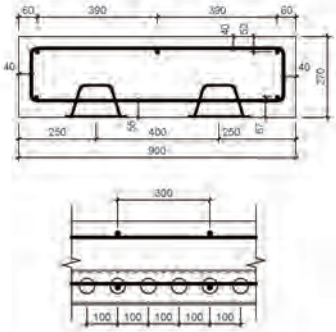
Keywords **– composite structures, load-term loads**

VI. Introduction

Long-term load tests were launched on five different types of beam specimen marked as N1 to N5. The specimens had been designed based on the concept of deck bridges with concrete-encased filler beams. The design and verification of these structures is governed by STN EN 1994-2: Eurocode 4 – Design of composite steel and concrete structures. Part 2: Composite steel and concrete bridges. Nevertheless, issues concerning creep in beams with both composite flanges are not included in the relevant standard. More precise calculations can be found and adopted from STN EN 1992-1-1: Eurocode 4 – Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings, and such composite structures may be regarded as reinforced concrete structures.

VII. Types of Loaded Beams

In the experiment, N1 beams were made of encased hollow steel sections. The hollow section was created by welding a 6 mm thick U-shaped steel plate, creating the upper flange and web of the section, to another 6 mm thick steel plate, creating the lower flange of the section with protruding ends. Holes 50 mm in diameter were flame-cut in the web at an axial distance of 100 mm. Reinforcement bars 12 mm in diameter were threaded through every third hole. Similarly, holes were flame-cut in the upper flange, having a uniform diameter of 50 mm and spacing of 100 mm. The holes were arranged in an alternate manner, i.e. they occurred either in the web or flanges across the section of the composite beam. Both the cross-section and longitudinal section of N1 beam are illustrated in Figure 1.



N2 beams, as shown in Figure 2, were made from concrete-encased steel T-sections. These T-sections were made by cutting a rolled steel IPE 220 section straight into halves. Transverse reinforcement bars 12 mm in diameter were threaded through holes at an axial distance of 100 mm, whereas the holes, having a diameter of 20 mm, were flame-cut in the web, 55 mm above the bottom edge of the section.

The third variant of specimens marked as N3 beams was made in the same manner as N2 beams, from concrete-encased rolled steel IPE 220 sections. The section was cut into halves in a comb-like manner, thus creating two T-sections with comb-like edges, as can be

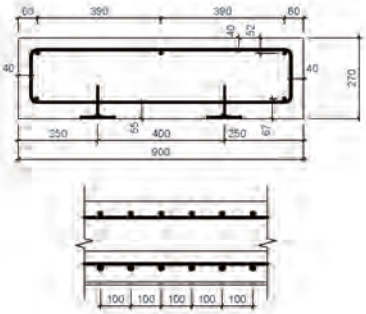


Figure 2. Diagram showing N2 Beam

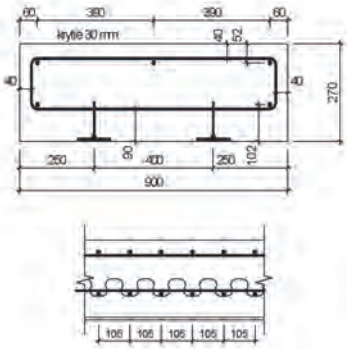


Figure 3. Diagram showing N3Beam

seen from Figure 3. Transverse reinforcement bars were placed in every tooth at an axial distance of 105 mm, 90 mm above the bottom edge of the section. The corresponding cross-section and longitudinal section are shown in Figure 3 [5].

N4 beams were also made from rolled steel IPE 220 sections by cutting it in such a manner that a perforated stripe along its edge was created. Holes 32 mm in diameter were flame-cut, arranged alternately in two rows at an axial distance of 45 mm. Transverse reinforcement bars were threaded through every third hole as shown in Figure 4 [5].

The fifth type of beam specimen was marked as N5 as given in Figure 5. As in the previous specimens, N5 beams were made by cutting rolled steel IPE 220 sections into two T-sections. Once again, transverse reinforcement bars 12 mm in diameter were threaded through the holes at a distance of 300 mm, 40 mm above the bottom edge of the section. Composite action was ensured by looped bars made of reinforcing steel with the dimensions 50 x 100 mm. These bars were welded horizontally to the steel section web, 60 mm above the bottom edge of the section.

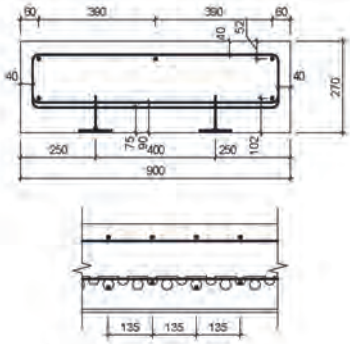


Figure 4. Diagram showing N4Beam

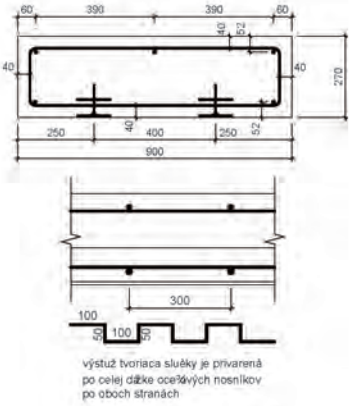


Figure 5. Diagram showing N5Beam

VIII. Loading Beams for Long Therm Load

The beam specimens were placed in pairs into the loading frames. They were then loaded by compression introduced through air pillows connected to a compressor, generating constant compression force. The magnitude of the loading for each specimen type had been determined in advance so as to take into account the resistance and stiffness of the individual beam specimens. These were as follows:

N1 beams – compressed at 35kPa
N2 beams – compressed at 20kPa
N3 beams – compressed at 20kPa
N4 beams – compressed at 18kPa
N5 beams – compressed at 25kPa

Upon a period of two hundred days of constant loading, the specimens were additionally loaded by 5 kPa, with the exception of N3 beams, being additionally loaded by 3 kPa only.The process of loading is shown in Figure 6.

Figure 6. Loading beams

IX. MEASUREMENT RESULTS

Deflections and deformations in extreme concrete and steel fibres were measured during the load application and the entire loading experiment (Figure 7).

The below graphs show correlations between deflections and loading durations during the experiment (Figure 8).

The evaluation of deformations caused by creep was based on par. 3.1.4 Creep and shrinkage of STN EN 1992-1-1 and Appendix B therein [1, 2, 3, and 5]. All values of material properties and initial deformations in the calculations were based on real measurements.

In the paper presented, the calculations given for N4 beams are as follows:

- t_0 The age of concrete at the time of loading = 103 days
- t_1 The age of concrete at the time of additional loading = 303 days
- t_2 The age of concrete at the time of specimen evaluation = = 510 days
- $\Delta\varepsilon_{c,0}$ Deformation of the concrete caused by loading = = 274.3μm/m
- $\Delta\varepsilon_{c,1}$ Deformation of the concrete caused by additional loading = 70.1μm/m
- $\varepsilon_{c,2,exp}$ Deformation at the time of specimen evaluation = 452.5μm/m
- $f_{c,k}$ Characteristic compressive cylinder strength of concrete = 33.84GPa
- h/b Nominal dimensions of the composite section/element h = 270mm, b = 900mm
- h_0 Substitute depth h_0 = 2.h.b/(2.h+b) = 337.5mm
- Average humidity = 65%
- $\varphi(t_0,t_2)$ Calculated creep coefficient, defining creep between times t_0 and t_2 = 1.01
- $\varepsilon_c(t_0,t_2)$ Calculated deformation of the concrete caused by creep $\varepsilon_c(t_0,t_2) = \varphi(t_0,t_2).\ \Delta\varepsilon_{c,0} = 276.8\mu m/m$

Figure 7. Measurement of deflections and deformations

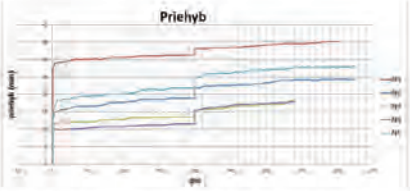


Figure 8. Diagrams showing correlations between deflections and loading durations

- $\varphi(t_1,t_2)$ Calculated creep coefficient, defining creep between times t_1 and t_2 = 0.84
- $\varepsilon_c(t_1,t_2)$ Calculated deformation of the concrete caused by creep $\varepsilon_c(t_1,t_2) = \varphi(t_1,t_2).\ \Delta\varepsilon_{c,1} = 49.6\mu m/m$
- $\varepsilon_{c,2,calc}$ Calculated total deformation at the time of specimen evaluation $\varepsilon_{c,2,calc} = \Delta\varepsilon_{c,0} + \varepsilon_c(t_0,t_2) + \Delta\varepsilon_{c,1} + \varepsilon_c(t_1,t_2) = 670.8\mu m/m$

As shown above, the deformation measured in N4 beams during the experiment was 452.5μm/m. When adding the deformations caused by loading to the expected deformations caused by creep (the compressive and creep deformations of the concrete), the resulting value was assumed to reach 670.8μm/m. Nevertheless, the difference accounted for 48 per cent. Similar differences occurred in the other beam types (N1, N2, N3, and N5), although the measurement results are not presented in this paper.

V. LOADING BEAMS FOR LONG THERM LOAD

Experimental beams were concreted in the Laboratories of the Institute of Structural Engineering at the Civil Engineering Faculty of the Technical University in Košice. Steel beams and reinforcement bars were supplied by specialised companies in the dimensions and shapes required (Figure 9). Concrete was delivered from a central mixing plant. During each phase of the

Figure 9. Preparation of reinforcement bars

experiment three beam specimens and concrete specimens to test the tensile strength of the concrete were manufactured. After the hardening of the concrete in the beams, the formwork was removed and the manufacturing cycle continued until all test specimens were produced [8].

VI. Method of Loading

Fatigue tests on the experimental beams took place on breaking equipment, the same equipment which was used for short-term tests with quasi-static loads. The specimens were symmetrically loaded by means of hydraulic presses so that pure bending occurred in the section between the presses. The axial distance between the two hydraulic cylinders was 1800 mm and the distance from the supports 2000 mm. All test arrangements are given in Figure 10.

Fatigue tests were carried out on ten beams. One set of beams was subjected to variable loads ranging from -10 kN to -90 kN per one cylinder corresponding to approximately 66% of their theoretical load-carrying capacity and a stress range $\Delta\sigma_1 = 350 MPa$. Another set of beams was loaded within the range of stress from -10 kN to -50 kN corresponding to approximately 33% of their load-carrying capacity and a stress range $\Delta\sigma_2 = 175 MPa$. Some other beams were subjected to long-term loads corresponding to 16% of their loading capacity and a stress range $\Delta\sigma_3 = 87.5 MPa$. They have

Figure 10. Test arrangements and the mode of failure

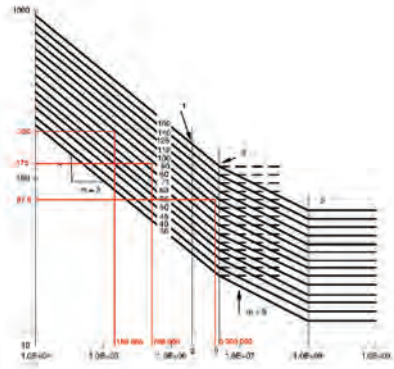


Figure 11. Fatigue strength of a composite beam loaded at 66%, 33% and 16% of its theoretical load carrying capacity

been loaded by variable loads, the stress range per one hydraulic cylinder oscillating between -10 kN and -30 kN.

Dynamic loading was actuated by means of INOVA – a hydrodynamic pulsator – transmitting loads through its actuating cylinders on a composite beam. The failure of the beams was owing to a fatigue crack in the encased steel section approximately at the point of loading. The results from fatigue tests on the composite beam are shown in Figure 11.

The following diagram shows the position of control position sensors during the dynamic loading test. Positions of the individual actuating cylinders were scanned, as well as the position of mid-span deflection of the beam. The frequency of data recording was 10Hz. The diagram also depicts the unloading moment at the end of the test.

VII. Conclusion

This paper provides the results of long-term measurements on beams loaded constantly for a period of 463 or 407 days. During this period, deformations in the individual beams were monitored and ambient temperatures and values of relative humidity recorded regularly. The deformations measured in real beams greatly differed from those assumed and calculated according to the standards currently in force. Since the evaluations of the experiment in question are still in progress, further steps will be taken to explore behavioural differences between concrete-encased filler-beam sections and reinforced steel sections, particularly as far as creep is concerned. Another analysis will focus on the examination of external aspects, having impacts on rheological properties, and on the consideration of such aspects in the calculation models currently used in practice.

The experimental measurements will be compared with the results obtained by means of the computational models using the software program ABAQUS in the future. Based

on this comparison, it will be possible to make some generalizations in the methods of calculation for a variety of beam spans.

Acknowledgments

This paper is the result of the Project implementation: University Science Park TECHNICOM for Innovation Applications Supported by Knowledge Technology, Phase II. ITMS: 313011D232, supported by the Research & Development Operational Programme funded by the ERDF. We support research activities in Slovakia/This project is being cofinanced by the European Union.

References

[1] STN EN 1994 – 1 – 1: Eurocode 4 – Design of composite steel and concrete structures. Part 1 – 1: General rules and rules for buildings.

[2] STN EN 1994 – 2: Eurocode 4 – Design of composite steel and concrete structures. Part 2: Composite steel and concrete bridges.

[3] STN EN 1992 – 1 – 1: Eurocode 4 – Design of concrete structures. Part 1 – 1: General rules and rules for buildings.

[4] STN EN 1993 – 1 – 1: Eurocode 4 – Design of steel structures. Part 1 – 1: General rules and rules for buildings.

[5] Rovňák, M. – Ďuricová, A. – Kundrát, K. – Naď, Ľ.: Spriahnuté oceľovo – betónové mosty, Košice, Elfa s. r. o., 2006, ISBN 80-8073-485-2.

[6] Navrátil, J.: Předpjaté betonové konstrukce, Akademické nakladatelství CERM, sro, 2004, ISBN 80-214-2649-7.

[7] Bocko, P.: Posudzovanie životnosti nosných konštrukcií dopravných strojov a zariadení s využitím numerických a experimentálnych metód, Košice 2006

[8] Píštek, A. a kol.: Pevnost a životnost konstrukcí, Vydání 1, VUT Brno, 1988

[9] Bryan, H.: Fatigue in Composite Structures, Cambridge, 2003, ISBN 185573 608 - X

[10] Ružička, M., Hanke, M., Rost, M.: Dynamická pevnost a životnost. Ediční středisko ČVUT, Prague 1987

[11] Web page: http://www.fpt.tnuni.sk/kfim/predmety/rocnik1/nauka_o_materiali/pdf/ elektronova_mikroskopia_lomy.pdf

Adaptívne prvky transparentnej fasády a ich vplyv na kvalitu vnútorného prostredia

D. Katunský*, M. Lopušniak**, M. Bagoňa*, E. Dolníková**, M. Zozulák**, V. Karľa*** a S. Bizoňová***,
* TU v Košiciach, Stavebná fakulta /Katedra architektúry a konštrukcií budov, Košice, Slovensko
** TU v Košiciach, Stavebná fakulta /Katedra fyziky budov, Košice, Slovensko
***TU v Košiciach, Stavebná fakulta /Ústav pozemného staviteľstva, interný doktorand, Košice, Slovensko
e-mail dusan.katunsky@tuke.sk, martin.lopusniak@tuke.sk, miloslav.bagona@tuke.sk, erika.dolnikova@tuke.sk, marek.zozulak@tuke.sk, viktor.karla@tuke.sk, silvia.bizonova@tuke.sk

Abstrakt **– Požiadavky EU v programe 20/20/20 kladú dôraz na využívanie obnoviteľných zdrojov pri realizácii a prevádzke budov. Odôvodnený architektonický návrh dvojitej transparentnej fasády budovy Technikom vystavený výpočtovej analýze umožňuje plnohodnotný prenos poznatkov do praxe. Príspevok ukazuje na návrh, realizáciu a exploatáciu navrhovanej budovy Technikom s dôrazom na prevádzku fasády, ktorá je riešená ako dvojitá transparentná v južnej časti budovy a má zabudované adaptívne prvky, ktoré vplývajú na podmienky vnútorného prostredia budovy.**

Keywords **– inteligentná budova, klíma fasáda, dvojitá transparentná fasáda, adaptívne prvky,**

I. ÚVOD

Tvarovo - priestorové riešenie charakterizuje racionálny výraz vonkajšej architektúry, za ktorou sa ukrýva priestorová bohatosť, flexibilita vnútorných priestorov. Vnútorné átrium poskytuje priestor komunikácie, zároveň umožňuje vytvárať potrebnú izoláciu pracovných priestorov, kancelárií a laboratórií. Fasáda tvorená dvomi plášťami umožňuje okrem energetickej úspornosti, hlukovej izolácie aj časovú premenlivosť architektúry objektu, zmenou polohy tieniacich žalúzií.

II. BUDOVA JEJ NÁVRH A REALIZÁCIA

Vyššiu hmotu kancelárskych a laboratórnych priestorov situovanú k ulici Boženy Nemcovej dopĺňa nižšia architektonická hmota služieb orientovaná do areálu TUKE. Nižšia hmota s priestormi vzdelávania a služieb naznačuje osobitosť funkcií v navrhovanom komplexe, ale aj geometricko-priestorovú väzbu na nižšiu zástavbu centra areálu TUKE. Budova je popísaná v konfrontácii – návrh a realizácia.

Obrázok 1 Budova Technikom a UNI knižnica

Obrázok 2 Budova Technikom pohľad z hora

Vertikálne prepojenie jednotlivých horizontálnych častí budovy zabezpečuje hlavné schodisko. Ako únikové komunikácie slúžia dve vonkajšie kryté schodiská na severovýchodnej a juhovýchodnej strane objektu.

A/

B/

Obrázok 3 Budova ako bola navrhnutá – alternatívne možnosti pri tvorbe návrhu konceptu vonkajšieho architektonického tvaru budovy v čase projektovania

Obrázok 4 Konkrétna realizácia budovy, ľavá farebná časť – adaptívne prvky fasády, schodisko nie je vysunuté

Obrázok 5 Pohľad do medzi priestoru dvojitej transparentnej fasády s adaptívnymi prvkami

Obrázok 6 Pohľady do prechodového priestoru fasád s rôznym konštrukčným riešením vonkajšieho fasádneho plášťa (sklo) a vnútorného plášťa (murovaná časť, sklo)

Obrázok 7 Pohľad na dvojitú fasádu z interiéru – za tradičnou obvodovou murovanou stenou s oknami sa nachádza tienená zasklená fasáda.

Zloženie vonkajšej murovanej steny z kusových stavív zateplenej TI vrstvou bolo uvažované pre výpočty v alternatívnych riešeniach (vnútorný plášť)

Tabuľka 1 Zloženie vonkajšej murovanej steny

číslo	názov vrstvy	d [m]	λ [W/mK]	C [J/kgK]	ρ [kg/m3]	μ [-]
1	omietka vápenocem.	0.0200	0.9900	790.0	2000.0	19.0
2	murivo CP	0.3000	0.8600	900.0	1800.0	9.0
3	malta lepiaca	0.0050	1.1600	840.0	2000.0	19.0
4	Nobasil VT	0.1300	0.0490	840.0	200.0	1.6
5	malta lepiaca	0.0050	1.1600	840.0	2000.0	19.0
6	silikátová omietka	0.0030	0.8000	850.0	1800.0	12.0

Tabuľka 2 Alternatívne zloženie vnútorného plášťa fasády

Č	názov vrstvy	d [m]	λ [W/mK]	C [J/kgK]	ρ [kg/m^3]	μ [-]
1	omietka vápenocem.	0.0200	0.990	790.0	2000	19.0
2	Porotherm 30 P	0.3000	0.230	960.0	800	8.0
3	malta lepiaca	0.0050	1.160	840.0	2000	19.0
4	Nobasil VT	0.1500	0.049	840.0	200	1.6
5	malta lepiaca	0.0050	1.160	840.0	2000	19.0
6	silikátová omietka	0.0030	0.800	850.0	1800	12.0

Obrázok 8 Pohľad na vstupnú časť do budovy

Obrázok 9 Pohľad z prízemia na zasklenú časť po výške

Obrázok 10 Pohľad z prízemia na pavlače zo spodku, ich prepojenia vo výškových úrovniach a horný svetlík

Obrázok 11 Vnútorný pohľad z hora na pavlače, zasklenú fasádu a horný svetlík

III. ENERGETICKÝ KONCEPT BUDOVY

Energetický koncept budovy bol navrhovaný komplexne s dosiahnutím charakteru nízkoenergetickej solárnej budovy a s automatizovanými systémami riadenia prevádzky. Vychádza zo základnej koncepcie, ktorá predstavuje minimálne riešenie vzhľadom na charakter nízkoenergetickej budovy, ktorá by mohla byť postupne doplňovaná flexibilne o ďalšie moduly s dosiahnutím konečného cieľa – vytvorenia inteligentnej budovy. Táto by mala slúžiť k vytvoreniu optimálnej kvality vnútorného prostredia, podporujúcej tvorivosť a produktivitu práce zamestnancov, ako aj na výskumnú činnosť viacerých pracovísk technickej univerzity pre sledovanie parametrov vnútorného prostredia a prevádzkových systémov budovy v prevádzkovom režime.

1) Základný modul riešenia budovy

V základnom module pre úspešnú funkciu budovy podľa architektonického návrhu boli zrealizované nasledovné konštrukčné časti:

- vnútorná dvorana (átrium) po celej výške objektu,
- dvojitá transparentná „klíma" fasáda na časti južného a po celej dĺžke západného priečelia, ktorá čiastočne eliminuje nepriaznivé vplyvy vonkajšieho prostredia, vďaka ktorej sú v zimnom období o cca 30% nižšie tepelné straty popisovanou konštrukciou v porovnaní s klasickou transparentnou fasádou.
- zemný register – podzemný kanál, slúžiaci na prívod chladného, resp. predhriateho vzduchu do interiéru, ktorý znižuje tepelné straty objektu vetraním v súčinnosti so vzduchotechnickým zariadením objektu. Register využíva takmer stále teplotné parametre vrstvy pôdu v hĺbkach väčších ako 1,5 m na predhrievanie (v zime) a ochladzovanie (v lete) privádzaného vzduchu.

A/

B/

Obrázok 12 Konfrontácia pohľadu vo vnútri budovy skutočná realizácia je taká ako ju predpokladal projekt (časť vizualizácie)

2) Konštrukčno-technické riešenie základného modulu

Dvorana (átrium) je navrhovaná ako vnútorná, po celej výške objektu. Jej ohraničenie tvoria podlaha s otvormi z prívodného kanálu, zemného registra. Bočné steny sú riešené v plných častiach ako ľahké sendvičové konštrukcie, v otvorových častiach z dverných a okenných konštrukcií na báze hliníka. V dverných, resp. podlahových častiach použité vetracie klapky na prívod čerstvého vzduchu.

Obrázok 13 Vizualizácia a skutočnosť

V úrovni ukončenia je riešená plochá strecha v kombinácii so strešným svetlíkom s pevnými, otváranými časťami a termo-chromatickým dynamickým sklenným systémom, resp. tieniacim zariadením.

3) Východiskové funkčné podklady

Prívod čerstvého vzduchu je zabezpečený z podzemného kanálu (zemný register), ktorý má nasávacie otvory v tienenej časti exteriéru budovy a výstupné otvory v podlahe pri oboch stenách dvorany. Odtiaľ sa vzduch dopravuje vzduchotechnickými rozvodmi do jednotlivých podlaží a systémom klapiek (štrbín) v úrovni podláh do vnútorných priestorov kancelárií a laboratórií. Dvojplášťová fasáda na juhozápadnej strane slúži na podporu gravitačného spôsobu vetrania. Jej aerodynamický odpor je možné regulovať prívodnými a odvodnými vetracími štrbinami ako aj pochôdznymi roštmi v jednotlivých úrovniach podlažia, ktoré taktiež slúžia na údržbu.

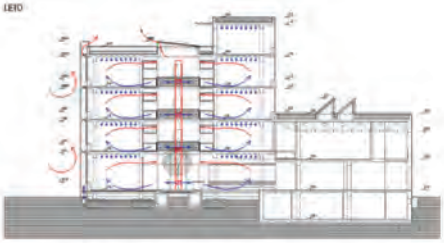
4) Prevádzkové režimy objektu

Prevádzkový režim výškovej časti objektu je založený predovšetkým na prirodzenom spôsobe vetrania, pasívneho chladenia a pasívneho vykurovania objektu. Ostatné energetické zdroje by mali plniť doplnkovú funkciu.

Vetrací koncept

a/ V letnom klimatickom období (obr.14) sa pri vysokých teplotách počas slnečných dní (napr. nad 28°C) vzduch ochladený v podzemnom kanáli dopraví do átria v jednotlivých výškach rozvodmi a jednotlivé miestnosti sú prevetrávané cez otvory v interiérových stenách.

Centrálny odvod vzduchu je zabezpečený cez odvetrávanie klapkami svetlíka v átriu, resp. odvádzacími otvormi do medzi priestoru. Dvojplášťová fasáda je v mezdipriestore tienená. Počas noci bude dochádzať pri otvorenom systéme vetrania k intenzívnemu pasívnemu ochladzovaniu budovy.

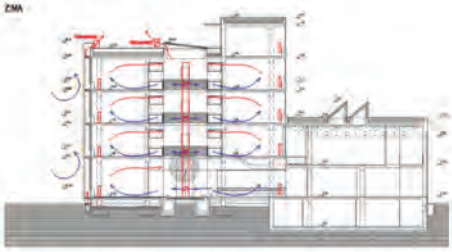


Obrázok 14 Vnútorná klíma v letnom období

b/ V zimnom klimatickom období (obr.15)

Pri veľmi nízkych teplotách zimného obdobia (obr.14), ktoré by priamym vetraním cez vonkajšie okná resp. dvojplášť spôsobili diskomfort, je stratégia vetrania obdobná ako v lete s tým rozdielom, že vzduch privádzaný do átria sa akumulačným teplom cez podzemný kanál zohreje.

Zvyšné tepelné straty sa vykryjú z konvekčných vykurovacích telies (radiátory).



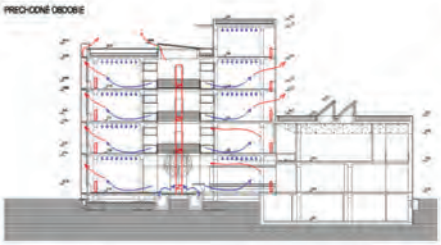
Obrázok 15 Vnútorná klíma v zimnom období

c/ V prechodnom období (obr.16)

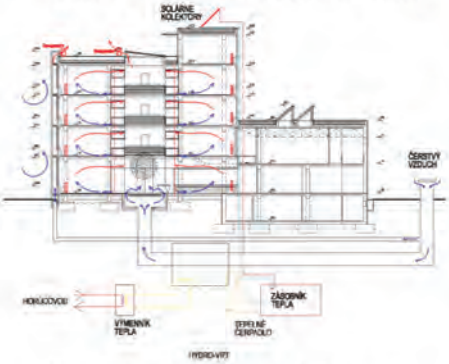
V prechodnom klimatickom období (jar, jeseň) môže byť mechanický spôsob dopravy vzduchu do átria vypnutý. Počas teplejších slnečných dní môže byť využitý princíp pasívneho vykurovania.

5) Použitie alternatívnych energetických zdrojov

Systém využitia alternatívnych zdrojov pre vykurovanie objektu a prípravu teplej úžitkovej vody je koncipovaný ako modulárny, s možnosťou jeho postupného rozširovania v ďalšej etape prevádzky objektu – to znamená ako nízkoenergetického konceptu.



Obrázok 16 Vnútorná klíma v prechodnom období



Obrázok 17 Možnosti rozšírenia alternatívnych energetických zdrojov

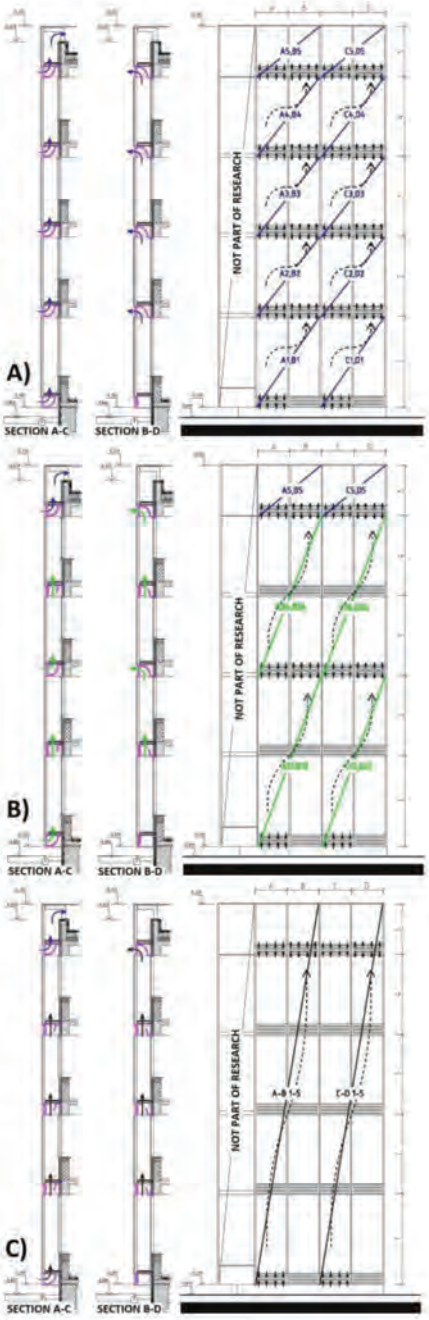
Vzhľadom na nízkoenergetický charakter budovy je možné koncept doplniť o alternatívne energetické zdroje, ktoré môžu byť podľa finančných možností zrealizované ako modulové prvky doplňané s minimálnymi zásahmi do ukončených častí budovy (obrázok 17).

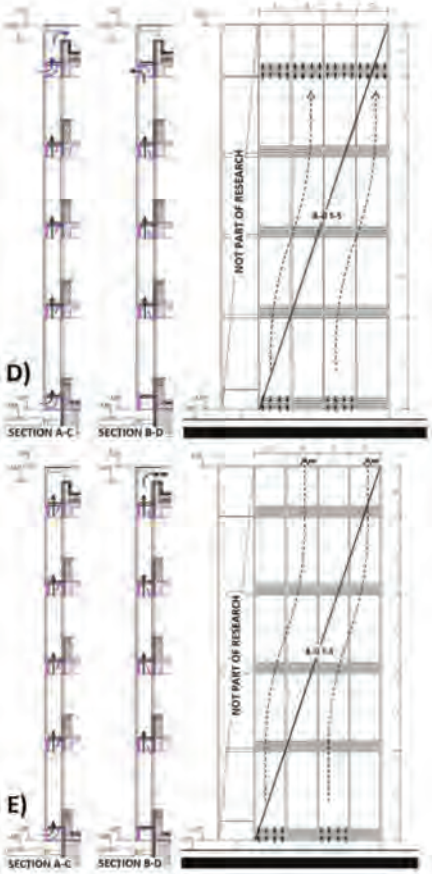
IV. DVOJITÁ TRANSPARENTNÁ FASÁDA

Dvoj plášťová „klíma" fasáda je šachtového typu, priebežná po celej výške štyroch podlaží. Vzduchová dutina slúži na zvýšenie efektu gravitačného vetrania pre odvod vzduchu a s tieniacim systémom, ktorý bude používaný v letnom a prechodnom období podľa intenzity slnečného žiarenia. Bude prevetrávaná pre odvod nadbytočného tepla v letnom období resp. zohriaty vzduch v dvoj plášti v zimnom či prechodnom období bude možné v budúcnosti využiť pre rekuperáciu.

Presklenie átria je zabezpečené z vonkajšej strany bezpečnostným sklom. Odvetrávanie horizontálne tieniace žalúzie vo vzduchovej dutine budú musieť byť mechanicky, resp. centrálne uzatvárateľné pre prípad využívania rekuperácie. Z vnútornej strany bude použitý v presklených častiach dvojnásobný sklený systém so selektívnymi vlastnosťami v tepelnom a svetelnom spektre slnečného žiarenia.

Režim fasády je vidieť z nasledujúceho Obrázka 20 [6]. Ide o mode A až E.





Obrázok 20 Prevádzkové režimy dvojitej fasády budovy

Mode A/ prúdenie vzduchu vo výške jedného poľa v šírke dvoch polí

Mode B/ prúdenie vzduchu vo výške dvoch polí, v šírke dvoch polí

Mode C/ výška vzduchu všetkých štyroch polí so šírkou dvoch polí

Mode D/ výška vzduchu všetkých štyroch polí vo všetkých šírkach fasády

Mode E/ vzduch prúdi vo výške všetkých štyroch polí, v šírke dvoch polí alebo na celú šírku fasády a prechádza do klimatizačnej jednotky

V. ZÁVERY

Pri výbere optimálneho prevádzkového režimu dvojitej fasády sa musí tím odborníkov opierať o teoreticky opodstatnenú voľbu podporovanú výpočtami a simuláciami jednotlivých variantov prevádzkových režimov. Vytvorením experimentálnej časti fasády s dvojitým plášťom je možnosť sledovať a vyhodnocovať vplyv rôznych režimov prevádzky, aby sa znížilo energetické zaťaženie budovy v lete a zvýšil sa energetický zisk v zime. Zároveň, aby sa to prejavilo v zlepšení vnútorných klimatických podmienok v lete, zime ale aj v prechodnom klimatickom období v závislosti na podmienkach vonkajšej klímy a prevádzkovom režime vetrania a vykurovania.

Dvojitá fasáda s integrovanými, automatizovanými systémami riadenia plní aj úlohu technológie životného prostredia, ktorá je jedným z prvkov inteligentných budov. Takáto fasáda využíva jednu z najviac obnoviteľných zdrojov energie, ktorou je slnečná energia. Dvojitá fasáda pomáha pri získavaní energie zo slnečného žiarenia pre energetickú účinnosť v zimnom období. Počas letného obdobia znižuje tepelné zaťaženie pri transformácii slnečného žiarenia na tepelné žiarenie v dutine fasády [1].

V súčasnosti sa výskum fasády zameriava na problematiku tienenia fasády s dvojitým plášťom, pričom najdôležitejším parametrom je poloha štítových tieniacich prvkov v porovnaní s ich uhlom otáčania [2, 3], ďalej sa zameriava na otázky rozdielov medzi meraniami a simuláciou predpovede tepla a prúdenia vzduchu [4] a vyhodnotenie denného svetla pre zamračené ale aj jasné oblohy [5]. Dáta získané meraním dvojitej fasády budovy slúžia na overenie presnosti simulačných nástrojov, ako aj na výber optimálnych prevádzkových režimov fasády.

Zo získaných údajov a po následnom spracovaní bude možné nájsť optimálny prevádzkový režim dvojitej fasády ako aj jeho zmeny počas celého roka (prevádzkový režim: zima, leto) a počas letného dňa (prevádzkový režim: noc , deň). Súčasne sa vyhodnotí vplyv tieniacich prvkov (horizontálnych žalúzií) na zvýšenie tepla a vizuálny komfort vnútorných priestorov.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok je výsledkom realizácie projektu: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie podporované znalostnou technológiou, fáza II, ITMS2014 +: 313011D232, podporovaná Európskym fondom regionálneho rozvoja.

REFERENCES

[1] M. Bielek, B. Bielek, et al Dvojité transparentné fasády budov, 1.2. ed., Bratislava: Coreal, 2002, pp. 206, ISBN 80-968846-0-3.

[2] T.E.Jiru, Y.Taob, F.Haghighat, Airflow and heat transfer in double skin facades, Energy and Buildings, 43(10), pp. 2760-2766, 2011

[3] Lim H.S., Kim J.T., Kim G. Impact of Different Placements of Shading Device on Building Thermal Performance, In: Sustainability in Energy and Buildings. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 22. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013

[4] D. Kim and C. Park, Difficulties and limitations in performance simulation of a double skin façade with Energy Plus, Energy and Buildings, vol. 43, no. 12, pp. 3635-3645, 2011

[5] M.A. Shameri, M.A. Alghoul, O. Elayeb, M.F.M. Zain, M.S. Alrubaih, H. Amir and K. Sopian, Daylighting characteristics of existing double-skin façade office buildings, Energy and Buildings, vol. 59, pp. 279-286. 2013

[6] D. Katunský, M. Lopušniak, M. Labovský Applied research and development of intelligent buildings on green architecture bases, Košice, Slovakia, Conference Potential services of USP Technicom for efficient development of entrepreneurship and research collaboration with industry, Košice 2016

[7] Š. Zahatňanský, I. Rozdobudko, Architektonický koncept riešenia budovy Technikom, SvF TUKE Košice, 2005 - 2008

[8] P. Ďurica, D. Cákoci, Energetický koncept budovy Technikom, SvF TUKE Košice 2007

Aplikovaný výskum a vývoj inteligentných technologických zariadení budov a ich transformácia na budovy s takmer nulovou bilanciou spotreby energie

F.Vranay, D.Košičanová, M.Kušnir, P.Kapalo, M.Kováč
Stavebná fakulta TU v Košiciach, Vysokoškolská č.4, 044001 Košice, Slovensko
e-mail: František.vranay@tuke.sk, danica.kosicanova@tuke.sk, marek.kusnir@tuke.sk, peter.kapalo@tuke.sk, martin.kovac@tuke.sk.

Abstrakt **– Súčasná situácia s energiami a dopad ľudskej činnosti na globálnu klímu nás núti na riešenia, ktoré nám zabezpečia udržateľný rozvoj. Riešením je prienik viacerých činností a opatrení ktoré je nutné posudzovať z globálneho hľadiska. Posudzovanie je nutné z hľadiska environmentálneho, energetického a ekonomického. Často protichodné požiadavky činia z toho náročnú úlohu na výskum a vývoj. Zameranie výskumu je pre samotné konštrukcie a systému výstavby budov, technologických zariadení na výrobu akumuláciu, distribúciu energií, ale aj manažment energií. Vážnosť a zmysel týmto riešeniam dáva aplikácia výstupov výskumu do praxe, vo forme technických návodov na projektovanie a riadenie prevádzky budov s cieľom dosiahnuť budovy s takmer nulovou bilanciou spotreby energie.**

Kľúčové slová **– inteligentný dom, obnoviteľné zdroje, smart systémy,**

I. ÚVOD

Úlohou aplikovaného výskumu a vývoja vzhľadom na šírku riešených problémov je hľadať riešenia v oblastiach:

A Energie
B Obnoviteľné zdroje
C Smart systémy

Riešením sú často nákladné opatrenia na hranici ekonomickej návratnosti, alebo až za ňou. Preto je pri návrhu a vyhodnotení nutné si určiť kritériá posudzovania. Kritéria na posudzovanie by mali byť podľa váhy a významu v oblastiach :

- Kvalita zabezpečenej klímy
- Environmentálne dopady
- Ekonomika
- Náročnosť prevádzky a riadenia

II. OBLASTI VÝYSKUMU

A. Energie

Pre budovy bez ohľadu na účel ich využitia majú energie rozhodujúci vplyv na výšku prevádzkových nákladov počas ich prevádzkovej životnosti. Budova sa v našich klimatických pásmach nemôže zaobísť bez elektrickej energie.

ELEKTRICKÁ ENERGIA - sa využiva pri všetkých činnostiach. Pri zabezpečení vnútornej klímy, alebo pri prevádzke objektu vyplývajúcej z jej účelu. Elektrická energia je z pohľadu možnosti jej využitia najušľachtilejšia. Vie substituovať aj iné druhy energií. Pre budúcnosť jej dostatok a časová dostupnosť bude znamenať rozhodujúci faktor pre kvalitu zabezpečenia prevádzky objektu.

TEPELNÁ ENERGIA – tvorí najväčší podiel energií na prevádzku budov. Podľa druhu objektov je to 50 až 70%. Zabezpečuje z hľadiska množstva hlavne vykurovanie a ohrev teplej vody. Potenciál úspor je možný hlavne v tejto oblasti. Cestou k úsporám je navrhovať objekty s kvalitnými tepelnoizolačnými konštrukciami s riadením vetraním s využitím rekuperácie.

Pri pôsobení konštrukcií na celkovú spotrebu energií je zvýrazňovaný efekt odporu konštrukcie. Snaha o čo najvyšší odpor konštrukcie. Zanedbáva sa vlastnosť konštrukcií a to fázový posun ktorý spôsobuje prechod tepelných vĺn cez steny. Keďže objekty majú dnes vysoký podiel zasklených konštrukcií, tie spôsobujú teplotné kolísanie vo vnútorných priestoroch vplyvom prehrievania solárnymi ziskami a neschopnosťou okna akumulovať teplo. Vonkajšia tepelná vĺna sa oknom prenáša do objektu okamžite. Pri vhodnom návrhu konštrukcií s fázovým posunom sme schopný vplyv okien na rozkolísanie vnútorných teplôt výrazne eliminovať. Pri 12 hodinovom fázovom posune teplôt cez obvodové steny resp. strechy sa dostane na vnútorný povrch najnižšia teplota. To v čase maximálnych ziskov od slnka a vonkajšej teploty vzduchu stabilizuje miestnosť. Pri vhodnom návrhu objektu až do takej miery, že nemusí byť nutná v určitých častiach roka (hlavne prechodných) potreba vykurovania, alebo chladenia. Zároveň to znižuje nároky na veľkosť zdroja. Hlavným prínosom ale je v kombinácii s obnoviteľnými zdrojmi tepla, možnosť kontinuálneho vykurovania/chladenia na trvale nízky výkon čo zvyšuje účinnosť obnoviteľných zdrojov. (napr. tepelných čerpadiel a solárnych systémov).

ENERGIA NA CHLADENIE – výrazným znížením tepelných strát objektov kvalitnými konštrukciami sa dostávame do stavu kde vnútorné tepelné zisky tvoria výrazný podiel na energetickej bilancii objektov. Vplyvom týchto skutočností sa požiadavka chladenia stáva čoraz významnejšia. Výroba chladu je energeticky náročnejšia ako výroba tepla. Výroba chladu zariadeniami na báze tepelných čerpadiel pracuje s faktorom cca 2,5. Čo znamená pri vložení 1 kWh elektrickej energie sme schopný vyrobiť 2,5 kWh chladu. Preto riešením je použitie buď systémov ktoré odpadné teplo pri výrobe chladu sú schopné využiť napríklad na ohrev teplej vody ktorá je na prevádzku objektov spravidla nevyhnutná. Záleží to od typu užívaného objektu.

Vhodnou alternatívou sa javí využitie pasívneho chladenia, kde sa využije buď chlad/teplo z podzemnej vody (ak má objekt možnosť využívať studne), alebo systém zemných vrtov na využitie zemského tepla/chladu. V týchto prípadoch je faktor výroby chladu na úrovni 5 až 7. Z 1 kWh vloženej na pohon elektrických zariadení (čerpadiel na dopravu energie zo zeme, alebo vody) sme schopný vyrobiť 5 až 7 kWh chladu. Systém je na báze obnoviteľného zdroja a výrazne sa podieľa na znižovaní emisií a znižovania závislosti na energii z centrálneho systému.

B. Obnoviteľné zdroje

Cestou k znižovaniu energetickej závislosti a úspory prevádzkových nákladov sú obnoviteľné zdroje. Podľa druhu a ich využitia v procese popisovaného aplikovaného výskumu sú nainštalované a skúmané nasledujúce systémy:

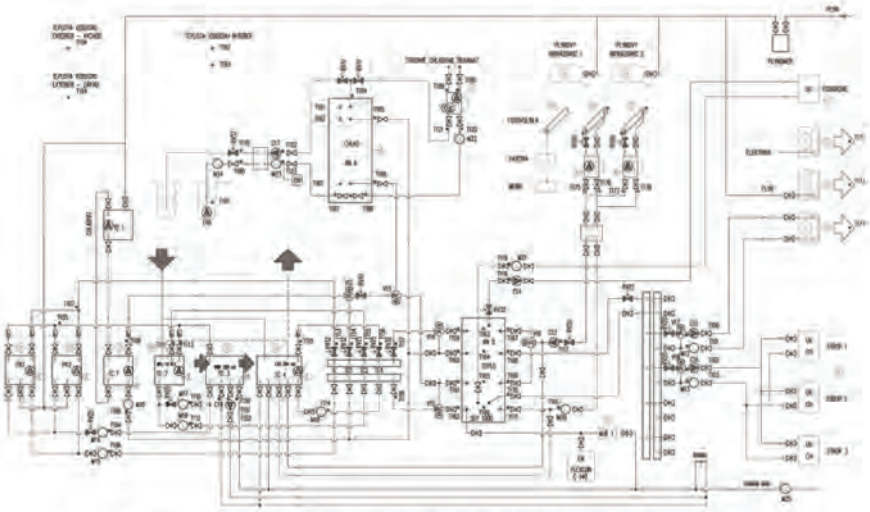
- Slnečné kolektory
  - Fotovoltické
  - Teplovodné vákuové
  - Teplovodné selektívne
- Tepelné čerpadlá
  - Tepelné čerpadlá voda/voda
  - Tepelné čerpadlá vzduch/voda
  - Tepelné čerpadlá vzduch/voda na báze plynu ako pohonnej energie
- Podzemná voda ako zdroj energie
  - Energia pre tepelné čerpadlá
  - Energia na pasívne chladenie
  - Voda už využitá v energetickom procese na využitie v procese prevádzky objektu ako úžitková voda.
  - Recyklácia použitej vody a jej čistenie
  - Využitia malých vodných turbín na výrobe elektrickej energie

Všetky tieto zariadenia sú súčasťou laboratórií ktoré vznikli za pomoci projektu TECHNIKOM a plne slúžia na výskum jednotlivých systémov. Schematický obrázok použitých technológií v laboratóriách je na obrázku č.1. Sekundárnou úlohou inštalovaných systémov je využívanie v procese výučby pri výchove odborníkov, ktorí budú zabezpečovať budúci rozvoj načrtnutých problémov pri transformácii budov na budovy s takmer nulovou spotrebou energií.

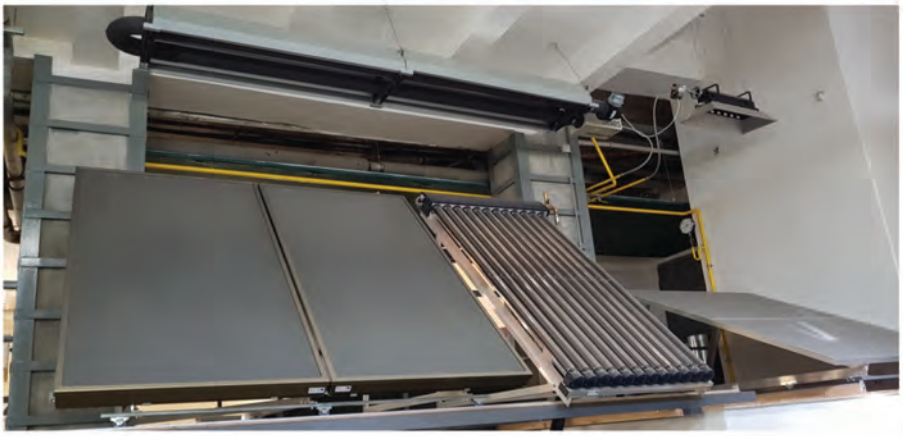
C. Smart systémy

Cestou k znižovaniu energetickej náročnosti prevádzky budov je komplex spomenutých problémov správne aplikovať pri projektovom návrhu. Pre správne fungovanie systémov je bezpodmienečne nutné riešiť manažment energií a zariadení na výrobu akumulácie a spotrebu energií. Týmto problémom sa zaoberajú smart systémy. V rámci laboratórií sú vytvárané regulačné modely a simulačné programy za účelom riadenia systémov a vhodných nástrojov na návrh budov s takmer nulovou spotrebou energií.

Jedným zo spôsobov je štatistické vyhodnocovanie prevádzok jednotlivých systémov a hľadanie optimálnych prevádzkových parametrov. Zo skúseností sa tvoria regulačné modely a návody na projektovanie a prevádzku týchto systémov.

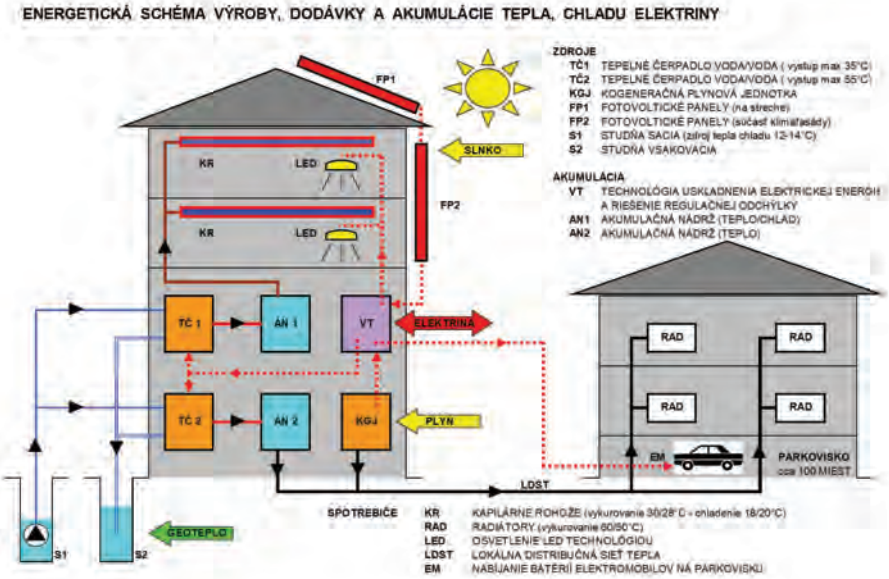


Obr.č.1 schema zariadení existujúcich v laboratóriu na aplikovaný výskum



Obr.č.2 Pohľad na systém slnečných kolektorov
s umelým slnkom (plynové infražiariče) kolektory:
teplovodné, vákuové a fotovoltické

Obr.č.3 Pohľad na systém tepelných čerpadiel :
tepelné čerpadlo plynové a 3 x tepelné čerpadlo
vzduch/voda s rôznym prevedením.



Obr.č.4 Pohľad na navrhovaný systém budovy s energetickými systémami s výrobou a dodávkou energie na vlastnú prevádzku a

III. ZÁVER

Záber riešenej problematiky je veľmi komplikovaný a vyžaduje si zastúpenie aj iných profesií ktoré sa majú podieľať na úspešnom výskume. Do systému riadenia a prevádzky inteligentných domov vstupujú IT technológie so svojím prínosom. Táto oblasť výskumu a aplikácie do praxe sa stáva multidisciplinárnou a vyžaduje komunikáciu a vzájomné rozvíjanie poznania, za účelom vytvorenia úspešného spoločného diela. Úlohou projektu bolo vytvorenie takého prostredia na výskumnú a praktickú bázu. Na obrázku č.4. je návrh koncepcie objektu, kde sú aplikované systémy za účelom dodržania spomenutých zásad uvedených v príspevku.

Vykurovanie objektu je nízkoteplotné pomocou tepelného čerpadla. Zdrojom tepla pre tepelné čerpadlá sú studne s podzemnou vodou využívanou aj ako úžitkovou v procese prevádzky objektu. Chladenie objektu je pasívne stropné s využitím spodnej vody. Na výrobu elektrickej energie sú použité fotovoltické panely pre priamu spotrebu, prebytočná elektrická energia je využitá na nabíjanie elektromobilov, ktoré slúžia svojimi batériami ako akumulácia. V čase nedostatku elektrickej energie slúži kogeneračná jednotka na báze spaľovania plynu na jej výrobu. V objekte je navrhnutý systém LED osvetlenia na minimalizáciu potreby elektrickej energie.

Objekt z pohľadu energie nie je úplne sebestačný. Potrebuje plyn na pohon kogeneračnej jednotky pri výrobe elektrickej energie. Je však schopný vyrobiť viac energie ako spotrebuje a tak v bilančnom režime ho môžeme nazvať ako budovu s takmer nulovou bilanciou spotreby energie.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Implementácia technológií virtuálnej reality a 3D laserového skenovania do procesov obstarávania stavieb – prípadové štúdie

M. Kozlovská, P. Mesároš, M. Tkáč a P. Kaleja
[*] Technická univerzita v Košiciach, Stavebná fakulta,
Ústav technológie a manažmentu v stavebníctve, Košice, Slovenská republika
maria.kozlovska@tuke.sk, peter.mesaros@tuke.sk,
matus.tkac@tuke.sk, pavol.kaleja@tuke.sk.

Abstrakt

Vývoj nových technológií je v súčasnej dobe závratný. K tomuto vývoju vo výraznej miere prispelo využívanie výpočtovej techniky takmer vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti. Jedným z fenoménov technologického pokroku súčasného obdobia je virtuálna realita a 3D laserové skenovanie. Tieto systémy našli a stále nachádzajú nové uplatnenie v medicíne, vojenskom priemysle, automobilovom priemysle, ale tiež v stavebníctve a architektúre. Cieľom tohto príspevku je poukázať implementáciu nástrojov virtuálnej reality a 3D laserového skenovania do procesu obstarávania stavieb.

Kľúčové slová **– virtuálna realita, obstarávanie stavieb, laserové skenovanie, mračno bodov, digitalizácia**

I. ÚVOD

V súčasnosti sa v stavebnom inžinierstve čoraz častejšie stretávame s konceptom trojrozmerného (3D) digitálneho priestoru čo malo v posledných rokoch za následok rapídny vývoj technológií v oblasti virtuálnej reality (VR) a 3D laserového skenovania. Virtuálno-reálny systém predstavuje interaktívny počítačový systém, vytvárajúci ilúziu v danom čase neexistujúceho, len syntetizovaného priestoru, alebo ešte presnejšie môžeme hovoriť o tzv. dokonalej simulácii v prostredí tesného spojenia človek-výpočtový systém. Zákazník si často nevie vopred predstaviť vzhľad nehnuteľnosti a v procese jej realizácie dochádza ku finančne náročným korekciám. V horšom prípade nie je možné tieto korekcie vzhľadom na fázu realizácie projektu už realizovať. Práve toto robí stavebníctvo oblasťou, kde nástroje virtuálnej reality nájdu obrovské uplatnenie [1]. Laserové skenovanie, tiež nazývané meranie s vysokým rozlíšením, je metóda vysokopresného mapovania reality pomocou laserového lúča. S touto technológiou je možné veľmi efektívne zameriavať veľmi zložité, neprístupné a ťažko prístupné objekty a oblasti, kde tradičné metódy merania často krát zlyhávajú. Výstupom takéhoto typu merania je v jednoduchosti povedané, reálna digitálna kópia stavby, inak známa pod slovným spojením „mračno bodov". Mračno bodov predstavuje 3D model existujúceho objektu, ktorý je zložený z miliónov bodov [2].

II. VÝVOJ NÁSTROJOV VIRTUÁLNEJ REALITY PODPORUJÚCICH OBSTARÁVANIE STAVIEB

Prezentované nástroje virtuálnej reality (Obr. 1) boli vyvíjané celé obdobie trvania projektu (2012-2017) a verifikované v praxi pri procese obstarávania developerských projektov na Slovensku aj v zahraničí.

Obrázok 1. Vyvinuté nástroje virtuálnej reality v jednotlivých fázach obstarávania projektu

A. Vývoj nástrojov podporujúcich obstarávanie stavieb v predprojekčnej a projekčnej fáze

V štádiu návrhu stavby môžeme hovoriť o podpore moderných IKT technológií už v procese formovania myšlienky projektu. Investor môže využiť nástroje spracovania virtuálnej reality a v simulačnom prostredí navrhovať základné hmoty objektu.

Virtuálne zariaďovanie interiéru bytu Šafranová záhrada Košice - Safran Interior Designer

Virtuálne zariaďovanie interiéru bytu je nástroj, ktorý bol vyvíjaný v roku 2013 a verifikovaný na developerskom projekte Šafranová záhrada, kde boli byty zariaďované pomocou viac ako sto typov zariadenia značky IKEA (Obr. 2). Nástroj 4 disponuje tiež možnosťou v reálnom čase upravovať farebné a materiálové riešenie podláh a stien. Návrh môže následne investor korigovať vo VR pomocou zobrazovacieho zariadenia Oculus Rift a skenovacieho zariadenia KINECT. Aplikácia umožňuje tiež generovanie položkovitého rozpočtu.

Obrázok 2. Nástroj pre dizajnovanie interiéru vo virtuálnej realite

Nástroj prešiel úpravami (2015-2017) kedy sa vylepšila grafika aplikácie a doplnila sa funkcionalita ovládania aplikácie cez gestá, bez potreby vstupnej periférie. K tomuto cieľu nám poslúžilo zariadenie Leap Motion. Ide o malé periférne zariadenie, ktoré gestá rúk mení prostredníctvom skenovania na počítačové príkazy a ktoré je upevnené na okuliaroch Oculus Rift (Obr. 3).

Obrázok 3. Virtuálne spracovanie pomocou gest pomocou zariadenia Oculus Rift DK2 a Leap Motion

Virtuálne spracovanie objemovej štúdie stavieb, vrátane zariadenia interiéru - Cube !T

Druhý nástroj virtuálnej reality, pracovne nazvaný Cube !T, bol vyvíjaný v roku 2014 a umožňuje v prostredí virtuálnej reality namodelovať projektovanú stavbu z priestorových modulov v rámci priestorového členenia stavby a tiež jej dispozičného riešenia (Obr. 4). Následne umožňuje zariadiť interiér projektovanej stavby pomocou viac ako sto typov zariadenia značky IKEA (tieto prvky môže ľubovoľne po interiéri rozmiestňovať). Aplikácia umožňuje taktiež generovanie položkovitého rozpočtu v rámci konštrukcie stavby a zariadenia interiéru.

Obrázok 4. Ukážka v exteriérovom režime

B. *Vývoj nástrojov podporujúcich obstarávanie stavieb v projekčno-realizačnej fáze – Paseo VR Tour*

Pre košického developera Paseo Development sme v roku 2015 testovali kľúčové marketingové nástroje založené na VR, pre projekt bytového domu s 55 bytmi Paseo Grunty. Táto aplikácia umožňuje klientovi ešte pred realizáciou stavby:

- voľne sa prechádzať po celom objekte bytového domu,
- vchádzať do každej miestnosti a podzemnej garáže bytového domu,
- virtuálne zariaďovať každý byt nábytkom z databázy, dostávať informácie o každom byte po vstupe doň,
- vnímať orientáciu vzhľadom na svetové strany vďaka real-time severke, voľne sa prechádzať po okolí objektu,
- sledovať výhľad z každej okennej konštrukcie a terás bytového domu,
- spolu s architektom developera spoločne prechádzať objektom a diskutovať na predajnom mieste alebo online.

Obrázok 5. A-Grafické používateľské rozhranie VRDEDO, B-Menu teleportu vo virtuálnom prostredí stavby, C-Voľná prechádzka po exteriéri a interiéri stavby, D-Ovládanie a zobrazovanie aplikácie kategórie VRDEDO

V roku 2016 bola vyvinutá druhá verzia tohto nástroja, ktorá okrem už spomínaných funkcionalít bola doplnená o detailnejšiu a kvalitnejšiu celkovú grafiku spracovania. Doplnené boli dynamické prvky ako autá v pohybe, pohybujúci sa ľudia a zvieratá a dynamická simulácia slnka. Dynamická simulácia slnka umožnila prezentovať pohyb slnka v rôznych fázach roka a dňa, či už v rámci exteriéru, ale aj v rámci interiéru. Klient tak má možnosť vnímať presvetlenie interiéru v každej miestnosti stavby v každom ročnom období (po mesiacoch) a v rôznej fáze dňa (po hodinách). Užitočným doplnkom je aj voľná manipulácia s kamerou okolo objektu a v interiéroch z vtáčej perspektívy (Obr. 6,7).

Obrázok 6. Druhá verzia nástroja Paseo VR Tour s úpravami grafiky a funkcionalít

Obrázok 7. Simulácia slnečných podmienok v interiéry nástroja Paseo VR Tour v2

III. IMLPEMENTÁCIA 3D LASEROVÉHO SKENOVANIA V STAVEBNÍCTVE

V oblasti existujúcich stavieb sa skôr či neskôr každá stavba dostane do fázy, kedy je potrebné vykonať buď jej rekonštrukciu alebo modernizáciu. V prípade historických stavieb a ich rekonštrukcií, často nastáva situácia, že projektová dokumentácia je buď nepresná, neaktuálna alebo dokonca vôbec neexistuje. V závislosti od účelu danej rekonštrukcie, existujúca projektová dokumentácia by mala zodpovedať skutkovému stavu danej stavby, ale vzhľadom na skutočnosť to tak vo väčšine prípadov nie je. [3] V situáciách keď objekty sú nepravidelné, majú zložitú štruktúru a tvarovú členitosť, je použitie konvenčných metód merania napr. pomocou dĺžkomerov časovo náročné a častokrát menej presné. [4] V takýchto prípadoch laserové skenovanie veľmi efektívne nahrádza tento druh merania. Vzhľadom na výhody, ktoré táto technológia so sebou prináša, sa jej použitie veľmi rozšírilo v závislosti od zvyšujúceho sa záujmu zo strany odbornej verejnosti. Medzi hlavné benefity tejto technológie môžeme zaradiť:

- Vysoká presnosť merania (± 1-3 mm),
- Rýchlosť merania oproti klasickým metódam napr. pomocou dĺžkomerov sa skracuje o cca 90%,
- Veľký dosah merania (cez 300 m),
- Ide o bezkontaktný spôsob merania,
- Možnosť merania za plnej prevádzky, resp. s minimálnymi obmedzeniami,
- Meranie ťažko dostupných miest,
- Možnosť merania v tme,
- Vysoká hustota nameraných dát,
- Úplné odstránenie opakovaného merania,
- Možnosť prepájanie exteriéru a interiéru za účelom detekcie hrúbok stien a stropov, atď.

Proces laserového skenovania môžeme rozdeliť do dvoch základných krokov:

- Terénny zber dát
- Spracovanie nameraných dát

Pri terénnom zbere dát laserový lúč zo skenera zachytáva povrch objektu z viacerých pozícií. Počet týchto pozícií je individuálny a závisí hlavne od zložitosti, veľkosti a náročnosti meraného objektu. V priestore sa okrem samotného skenera rozmiestňujú aj referenčné body (napr. v tvaré gulí alebo terčov). Tieto body slúžia na vzájomné prepájanie jednotlivých skenov, aby tak mohol vzniknúť jeden ucelený matematický model. Samotná práca skenera je už potom automatický proces, ktorý sa skladá zo samotného merania a tvorby panoramatických fotografií, ak tento parameter bol vopred zadefinovaný.

Spracovanie nameraných dát sa rozdeľuje do fázy predbežného a následného spracovania. Výstupom predbežného spracovania je povrchový nespojitý bodový 3D model, inak známy aj pod slovným spojením mračno bodov, ktorý odzrkadľuje realitu v digitálnom prostredí. V ďalšej fáze je mračno bodov spracovávané do finálnych výstupov, čo najčastejšie predstavuje novú dokumentáciu skutočného vyhotovenia stavby či už v podobe 2D výkresov alebo 3D modelov.

A. Zameranie skutkového stavu historickej radnice v Košiciach

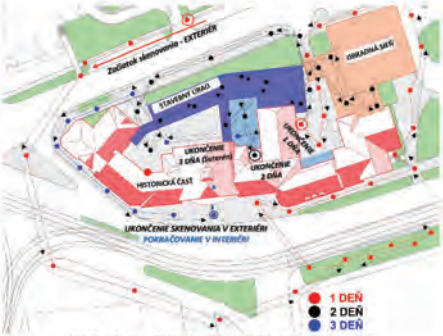
Mestská časť Košice – Staré Mesto, ako jediná z 22 mestských častí, sa nachádza v historickej časti mesta Košice, kde sa nachádzajú najvýznamnejšie historické pamiatky Košíc, medzi ktoré dnes môžeme zaradiť aj historickú radnicu, ktorá bola odovzdaná do užívania v r. 1914.

Obrázok 8. Historická radnica Starého mesta v Košiciach

Po následných dostavbách je v súčasnosti možné túto stavbu rozdeliť do troch častí: 1 časť – historická časť (ktorá slúži ako miestny úrad), 2 časť – stavebný úrad a 3 časť – obradná sieň. Na obr. 9 je možné vidieť grafické vyznačenie jednotlivých častí so zameraním na historickú časť, ktorá bola primárne určená na zameranie technológiou laserového skenovania.

Obrázok 9. Oblasť laserového skenovania – 1 časť / historická časť

Historická radnica sa vyznačuje okrem veľkosti, zložitým priestorovým riešením a tvarovou členitosťou. Pred samotným skenovaním takéhoto typu stavieb je nevyhnutné vypracovať plán skenovania, ktorý musí obsahovať rozsah, podrobnosť a náročnosť merania, pretože skenovanie prebiehalo za plnej prevádzky a v hustej premávke. Keďže ide o stavbu, ktorej zameranie prebiehalo určitý čas, bolo nevyhnutné vopred pre každý deň skenovania stanoviť miesta, na ktorých bude meranie ukončené z dôvodu ponechania referenčných gulí, kvôli ich napojeniu na ďalší deň a v neposlednom rade bolo potrebné určiť smer postupu prác. Na zameranie bol použitý laserový skener Faro Focus 3D X130 a 18 referenčných gulí. Na obr. 10 je možné vidieť reálnu schému smeru postupu prác, konkrétne priebeh skenovania exteriérovej časti stavby. Celý exteriér bol zameraný v rámci troch dní a jediné obmedzenie, ktoré v čase merania vzniklo bola hustá premávka a hustá frekvencia ľudí, ktorí bránili častokrát výhľadu skenera na referenčné gule.



Obrázok 10. Skenovanie exteriérovej časti stavby

Obrázok 11. Skenovanie exteriérovej časti stavby - fotodokumentácia

Po zameraní exteriéru sa pokračovalo v zameriavaní interiéru. Prepojenie skenov medzi exteriérom a interiérom sa realizuje z dôvodu detekcie hrúbok stien, stropov, kvôli automatickej tvorbe pôdorysov, rezov a celkovo kvôli lepšej priestorovej orientácii v procese spracovania nameraných dát do podoby 3D modelu skutkového stavu. Tabuľka 1 poukazuje na celkový prehľad rozsahu skenovania v jednotlivých dňoch a takisto na fakt, že historická časť stavby nebola zameraná kompletne, ale len jej vybrané časti.

Z toho vyplýva záver, že za 10 dní skenovania bolo zameraných zhruba 55 – 60 % historickej časti stavby, bolo vytvorených 600 skenov a celková doba skenovania bola 60 hodín.

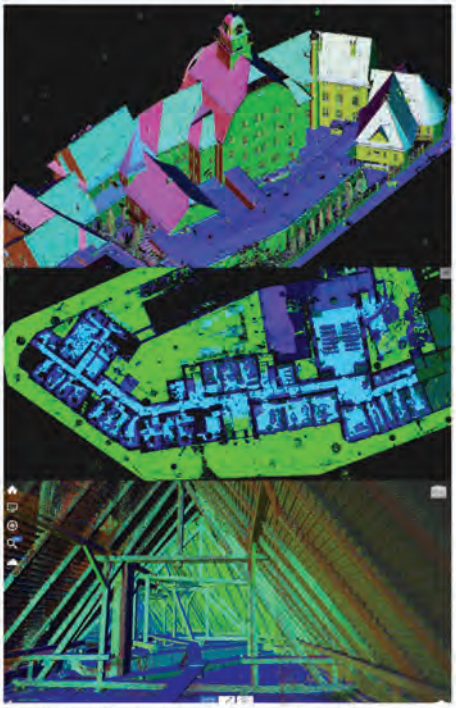
Tabuľka 1. Rozsah skenovania v jednotlivých dňoch

DEŇ	ÚČEL SKENOVANIA	POZNÁMKA
1	Exteriér	
2	Exteriér	
3	Exteriér + Suterén	Suterén *(všetky miestnosti)*
4	Suterén	*(všetky miestnosti)*
5	Suterén + Prízemie	*(všetky miestnosti)*
6	Prízemie	*(všetky miestnosti)*
7	Prízemie	*(všetky miestnosti)*
8	Prízemie + 1NP	Prízemie *(všetky miestnosti)* + 1NP *(chodby a schodiská)*
9	1NP + 2NP + 3NP	1NP *(chodby a schodiská)* + 2NP *(chodby a schodiská)* + 3NP *(strešná konštrukcia – časť A (chodba)*
10	3NP	+ *(strešná konštrukcia – časť B, C*
CELKOVÝ ČAS SKENOVANIA: 60 HOD POČET STANOVÍSK SKENERA: 600		

Fáza spracovania nameraných dát sa rozdeľuje do dvoch základných procesov a to, procesu predbežného (*z angl. pre-processing*) a následného (*z angl. post-processing*) spracovania. Proces predbežného spracovania v sebe zahŕňa tieto čiastkové procesy:

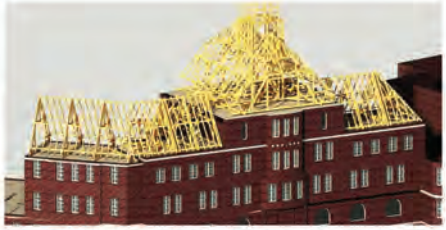
- registrácia – základný proces, ktorého hlavnou funkciou je spojiť na základe referenčných gulí všetky skeny v jeden ucelený matematický model,
- odstránenie prebytočných bodov – tým sú myslené zamerané okolité budovy, cesty, stromy, autá, ľudia v pohybe, a pod.,
- aplikácia realistickej textúry – v tomto prípade tento parameter nebol zadefinovaný,
- export – export spracovaného mračna bodov

Celkový čas spracovania nameraných dát do podoby mračna bodov bol 50 hodín.



Obrázok 12. Výstup laserového skenovania – mračno bodov

Proces následného spracovania nameraných dát predstavuje tvorbu skutkového stavu na základe mračna bodov či už v podobe štandardných 2D výkresov alebo vo forme 3D modelov. V tejto prípadovej štúdii je v súčasnosti projekt skutkového stavu historickej radnice spracovávaný študentmi Stavebnej fakulty Technickej univerzity v Košiciach. Študenti rôznych profesií vzájomne spolupracujú na tomto projekte, kde v rámci tímového projektu riešia svoje diplomové práce. Na obr. 13 je možné vidieť súčasný stav rozpracovanosti tohto modelu v softvérovom prostredí Autedesk Revit, pretože cieľom tohto projektu je vytvoriť informačný model skutkového stavu, ktorý v závere bude obsahovať nie len geometrickú a priestorovú analýzu stavby, ale takisto v sebe bude obsahovať informácie týkajúce sa statických porúch jednotlivých prvkov a konštrukcií, výsledky z odobratých vzoriek, súčasný a nový stav v oblasti TZB, atď. Mračno bodov v tomto prípade po následnom importovaní slúžilo primárne ako vysokopresný podklad, na základe ktorého bolo prvoradé vytvoriť a zabezpečiť, aby bol informačný model po stránke geometrickej totožný so skutkovým stavom.



Obrázok 13. Rozpracovanosť informačného modelu v softvéri Autodesk Revit

B. Zameranie skutkového stavu Baziliky Minor Zoslania Sv. Ducha v Michalovciach

Chrám Zoslania Sv. Ducha v Michalovciach bol vybudovaný v neobyzantskom slohu v rokoch 1934-1935 a je kláštorným chrámom, ktorý patrí do komplexu kláštora gréckokatolíckych redemptoristov.

Obrázok 14. Bazilika Minor Zoslania Sv. Ducha v Michalovciach

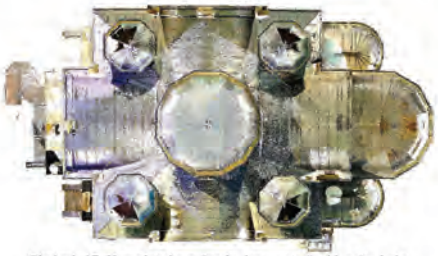
Hlavným dôvodom laserového skenovania tejto stavby bolo sadanie stavby vplyvom nedostatočného podložia v časti pod hlavnou svätyňou. V tejto časti vznikli trhliny po celej výške nosnej obvodovej steny. Bolo potrebné urobiť statické posúdenie, čo však nebolo možné, keďže od chrámu v tom čase neexistovala projektová dokumentácia. Pre účel statického posúdenia bolo prvoradé vytvoriť projektovú dokumentáciu najmä od svätyne chrámu, ale vzhľadom na povedomie investora o technológii laserového skenovania padlo rozhodnutie, že chrám bude zameraný ako celok, kvôli vytvoreniu

kompletnej projektovej dokumentácie skutkového stavu. Na zameranie bol opäť použitý laserový skener Faro Focus X130 a 18 referenčných gulí. Aj v tomto prípade bolo potrebné vypracovať plán skenovania, v ktorom sa približne určil počet státí laserového skenera, smer postupu prác a náročnosť skenovania.

Obrázok 15. Príklad jednotlivých stanovísk skenera počas merania

Strešná konštrukcia tejto stavby je unikátna a atypická svojím riešením. Z hľadiska bezpečnosti nepredstavovala ideálne podmienky pre skenovanie, ale po posúdení sa napokon rozhodlo, že vzhľadom na dôležitosť priestorových informácií, ktoré strecha obsahuje, bude potrebné napriek zvýšenému riziku zamerať tieto informácie zo samotnej strechy. Na obr. 16 je možné vidieť strešnú konštrukciu, ktorá bola zameraná len z terénu a takisto koľko informácií by chýbalo pri spracovávaní projektu, keby sa fyzicky nešla zamerať.

Obrázok 16. Chýbajúce priestorové informácie zo strešnej konštrukcie v mračne bodov



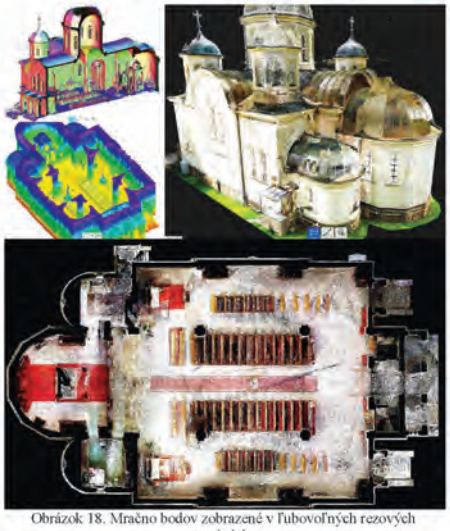
Obrázok 17. Kompletné mračno bodov zo strešnej konštrukcie

Obr. 17 na druhej strane poukazuje na dôležitosť rozhodnutia ísť fyzicky zamerať strešnú konštrukciu. Rozhodnutie zamerať fyzicky strešnú konštrukciu nebolo len kvôli jej povrchovým informáciám, ale takisto kvôli detekcii hrúbok všetkých klenieb, čo bolo veľmi dôležité pri tvorbe projektovej dokumentácie, konkrétne pri tvorbe rezov.

Celkový čas laserového skenovania bol v tomto prípade 3 dni (1 deň – interiér, 2 deň – exteriér, 3 deň – strešná konštrukcia. Spracovanie nameraných dát trvalo 1 deň.

Na obr. 18 je možné vidieť:

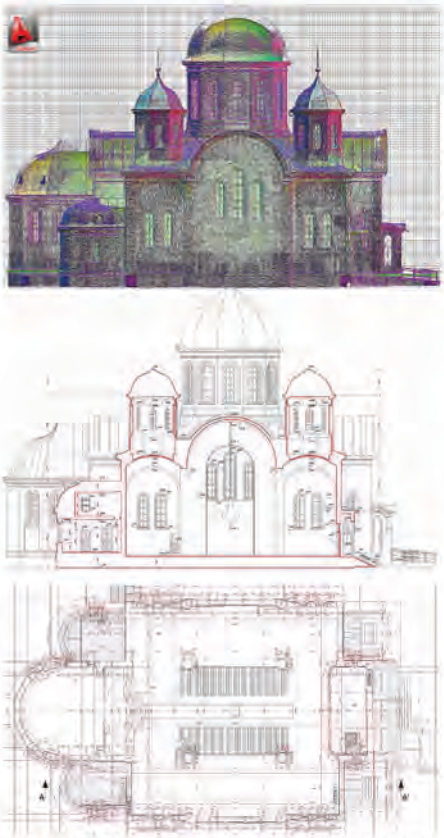
- reálnu textúru povrchu,
- možnosť ľubovoľnej tvorby horizontálnych a vertikálnych rezových rovín s následnou automatickou detekciou hrúbok stien, stropov a klenieb (táto funkcia laserového skenovania predstavuje veľmi silný nástroj pre architektov a projektantov).



Obrázok 18. Mračno bodov zobrazené v ľubovoľných rezových rovinách

Mračno bodov bez ďalšieho využitia je len tzv. surový produkt, ktorý slúži napr. na tvorbu virtuálnych prehliadok, na prezentačné videá, na archívne účely, na prezeranie napr. v 3D Pdf, a pod. Cieľom tohto skenovania bolo však vytvoriť novú projektovú dokumentáciu skutkového stavu. V tomto prípade bola požiadavka vytvoriť na základe mračna bodov štandardné 2D výkresy v podobe pôdorysov, rezov a pohľadov. Čo sa týka softvérového vybavenia pre spracovávanie mračien bodov, na trhu existujú aj voľne dostupné softvéry ako napr. CloudCompare, ktorý umožňuje prehliadanie mračien bodov, ich zobrazovanie, prípadne

aj jednoduché merania a tvorbu rezov. Na objekte sú vykonávané merania „tzv. virtuálnym pásmom" a z takto získaných mier a údajov je následne v CAD programe konštruovaný vektorový výkres. Táto metóda je dosť pomalá, výkres je jednoduchý, ale na väčšinu účelov to postačuje a vyžaduje si to len nepatrné náklady na softvérové vybavenie. Na rozdiel od týchto voľne dostupných softvérov, CAD systémy (napr. AutoCad), umožňujú jednoduché manipulácie s mračnami bodov, ktoré postačujú na vytvorenie akéhokoľvek pôdorysu, rezu či pohľadu. Výhodou tejto cesty je aj fakt, že sa vektorový výkres konštruuje priamo počas digitalizácie v prostredí CAD programu a je zobrazovaný spolu s mračnom. Vzniká tak oveľa lepšia kontrola nad tvorbou výkresu a nad jeho presnosťou a kompletnosťou. Mračno bodov napr. v prostredí AutoCad-u (Obr. 19) si treba v jednoduchosti predstaviť ako vysokopresný podklad, na základe ktorého je vytváraná dokumentácia skutkového stavu.



Obrázok 19. Dokumentácia skutkového stavu vytvorená na základe mračna bodov v prostredí Autodesk Autocad

Vytvárať vektorový výkres, kde ako podklad slúži mračno bodov nie je jednoduchý proces, pretože všetky konštrukcie v mračne sa istým spôsobom cez seba prekrývajú a preto je veľmi dôležité správne určenie pôdorysných a rezových rovín. Takisto je nevyhnutná neustála priestorová kontrola samotného mračna v 3D priestore (napr. v softvéri Autodestk Recap), pretože 2D pohľad častokrát neposkytuje tie informácie, aké je možné vidieť pomocou 3D zobrazenia. Napriek všetkému mračno bodov pri tvorbe projektovej dokumentácie obsahovalo všetky potrebné priestorové informácie.

Záver

Rýchly vývoj informačných a komunikačných technológií umožňuje rovnako rýchle napredovanie rôznych moderných foriem marketingu. Príkladom je aplikácia nástrojov virtuálnej reality v rámci developerských projektov, či už sa jedná o výstavbu bytových domov, obytných zón alebo obchodných a administratívnych priestorov. Spustenie predaja (resp. jednania o nájme) týchto nehnuteľností môže vďaka týmto technológiám začať ešte pred ich samotnou realizáciou. Celý úspech prezentovania a predaja nehnuteľností spočíva v efektívnom marketingu. Klient sa často dostáva do kontaktu s developerským projektom primárne cez jeho vizualizácie. Preto sa táto oblasť neustále a rýchlo vyvíja tak, aby uspokojila zákazníka, ktorý má záujem získať touto formou čo najviac informácií o pripravovanom projekte. Na druhej strane oblasť 3D laserového skenovania sa primárne využíva v situáciách, keď projektová dokumentácia od existujúceho objektu je neaktuálna, nepresná alebo dokonca vôbec neexistuje. Táto technológia patrí vo svete medzi inovatívne metódy priestorového zameriavania. Medzi jej najväčšie výhody patrí presnosť merania, ktorá sa pohybuje v rozmedzí niekoľkých milimetrov, rýchlosť merania, ktorá sa môže prejaviť na úspore času voči tradičným metódam merania až o 90%, vysoká hustota merania, možnosť merania v plnej prevádzke, atď. Na základe dát z laserového skenovania je možné veľmi efektívne vytvárať novú projektovú dokumentáciu, buď vo forme štandardných 2D výkresov alebo 3D modelov. Naše výskumné aktivity vo vzťahu k vyvíjaným nástrojom a metodikám významne prispeli k transferu najnovších digitálnych a informačných technológií do inžinierskych riešení stavebných projektov.

Poďakovanie

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

[1] Sobota, B., Hrozek, F. 2013 Virtuálna realita a jej technológie / - 1. vyd. - Košice : TU – pp. 158

[2] Hayes C., Richie E. When to use laser scanning in building construction, A guide for general contractors, 2015

[3] Coşarcă C., Jocea A., Savu A. Analysis of error sources in terrestrial laser scanning, Rome, Italy, 6-10 May 2012,2011

[4] Nguyen T. T., Quang M. N., Xiu G. L., Yao Y. Z. 3D object model reconstruction based on laser scanning point cloud data, Vietnam, 16 – 20 October

VÝVOJ INOVATÍVNYCH KONŠTRUKČNYCH SÚSTAV NA BÁZE PANELOV Z MASÍVNEHO DREVA

doc. Ing. Ján Kanócz, CSc.[1] – Ing. arch. Miroslava Mertová[2] – Ing. Viktória Bajzecerová[3] – Ing. arch. Michal Mihaľák[4] – Ing. arch. Viktor Karľa[5]

1 Úvod

Moderné veľkoplošné masívne drevené prvky, ktoré získavajú čoraz väčšie uplatnenie v oblasti drevených nosných sústav, vniesli do procesu navrhovania viaceré nové možnosti kreovania nosných konštrukcií. Prvky ako CLT a VLT dominante sa využívajú na tvorbu panelových sústav zložených zo stenových podporných a stropných doskových prvkov, ktorú nazývame stenovou sústavou. Takto vytvorená konštrukcia sa vyznačuje s vysokou priestorovou tuhosťou a potrebnou stabilitou. Odolnosť a tuhosť stropných prvkov takýchto sústav má určité limitné rozpätia v závislosti na veľkosti zaťaženia. Tieto vlastnosti je možné výrazne zvýšiť spriahnutím dreveného masívneho stropu s betónovou vrstvou. V tomto smere bol uskutočnený rozsiahly komplexný teoretický a experimentálny výskum na Katedre architektúry FU TUKE v spolupráci s USI, SvF, TUKE [1] [2] [3] [4]. Výsledky výskumu ukázali že spriahnutie masívnych drevených panelov s betónovou vrstvou umožňuje vytváranie efektívnych stropných sústav a zvyšovanie efektivity stenového nosného systému.

2 Hybridná nosná sústava na báze plošných prvkov

V oblasti betónových skeletových nosných sústav sú veľmi obľúbené tzv. skelety s bezprievlakovými stropmi. Použitím tejto analógie bola vyvinutá drevená sústava pozostávajúca zo zvislých masívnych plošných prvkov – kvázi stĺpov obdĺžnikového prierezu a drevo-betónovej stropnej dosky. Tým vznikla hybridná, stenová - skeletová nosná sústava s bezprievlakovou stropnou doskou. Takto vytvorená konštrukcia poskytuje z typologického a dispozičného hľadiska ďalšie možnosti jej využitia. Vhodnou kombináciou orientácie zvislých prvkov je možné dosiahnuť potrebnú celkovú priestorovú tuhosť a stabilitu sústavy.

Koncept steno-skeletovej sústavy sa postupne vyvíjal z variantného skladania vertikálnych a horizontálnych plošných prvkov. Experimentom vznikla racionálna priestorová štruktúra jedného typového segmentu. Tento elementárny konštrukčný prvok je tvorený troma plošnými prvkami s rovnakými rozmermi, pričom jeden je kladený vertikálne a dva prvky horizontálne. Steno-skeletová sústava je systém elementárnych priestorových jednotiek pozostávajúcich z troch prvkov. Výhodou systému je konštrukčná jednoduchosť, nízky počet použitých stavebných prvkov, variabilita priestoru pri zachovaní podstaty samotného modulu. Segmenty je možné skladať rôznymi smermi. Výhodný je predovšetkým ortogonálny systém, pričom že je možné zapojiť aj diagonálny smer.

---

[1] *doc. Ing. Ján Kanócz, CSc., Katedra architektúry, FU, Technická univerzita v Košiciach, jan.kanocz@tuke.sk.*
[2] *Ing. arch. Miroslava Mertová, Katedra architektúry, FU, Technická univerzita v Košiciach, miroslava.mertova@tuke.sk*
[3] *Ing. Viktória Bajzecerová, PhD., Stavebná fakulta, Technická Univerzita v Košiciach, viktoria.bajzecerova@tuke.sk*
[4] *Ing. arch. Michal Mihaľák, FU, Technická univerzita v Košiciach, michal.mihalak@tuke.sk*
[5] *Ing.arch. Viktor Karľa, Stavebná fakulta, Technická Univerzita v Košiciach, viktor.karla@tuke.sk*

Navrhovaný systém steno-skeletovej sústavy pozostáva zo základného princípu kladenia panelov v dvoch smeroch: horizontálne a vertikálne. Medzi panelmi je vytvorený tuhý spoj, a tým je zabezpečená tuhosť celej steno-skeletovej sústavy. Variabilita kladenia panelov v oboch smeroch je veľká, bude obmedzovaná prevažne iba výrobnými rozmermi prvkov a ich samotnej únosnosti.

a) b)

Obr.1 Steno-skeletová sústava: a) s kolmým, b) s natočenými o 45°, vertikálnymi segmentmi

Sústava poskytuje viac-menej voľnú vnútornú dispozíciu využiteľnú pre rôzne dispozičné usporiadanie. Taktiež vzniká podstatne širšie spektrum možných riešení opláštenia fasády, keďže nosný prvok ustúpi do vnútra dispozície. Riešeniam fasádneho systému tohto steno-sketetu sa tak otvárajú možnosti, zvislý panel už nemusí byť obvodovou konštrukciou, ale ponúkajú sa ďalšie možnosti riešenia fasády ako predsadená fasáda, zavesený obvodový plášť, atd.. Variabilné môže byť aj stvárnenie fasády domu ľubovoľným fasádnym systémom. Výhodou tejto konštrukcie je rýchlosť výstavby a jednoduchosť montáže. Celý objekt je takpovediac jednoduchá a rýchla stavebnica.

3 Dispozičné a typologické modely

Vyvíjaný systém steno-skeletovej sústavy by mohol byť aplikovaný pri riešení obytných budov, administratívnych budov, vzdelávacích zariadení. Vhodne využitie tohto konštrukčného systému sa javí najme pri malých pavilónoch napríklad výstavného charakteru. Výstavné a galerijne priestory ako také by dokázali využiť priestorový potenciál steno-skeletu, nakoľko segmenty stenových nosných prvkov ponúkajú ideálnu expozičnú plochu, s možnosťou rozširovania a dopĺňania systému v rôznych smeroch.

Tento konštrukčný systém možné byt vzhľadom na jeho modulárnosť využitý na stavby s temporárnym charakterom, ako napríklad dočasné objekty kultúrneho charakteru v mestských alebo sídliskových štruktúrach. Rozteč nosných prvkov je možné do istej miery variovať. Vďaka elementárnosti základného prvku steno-skeletu ma tento nosný systém založený na trojici clt nosníkov o rovnakých rozmeroch spojených do jedného priestorového segmentu

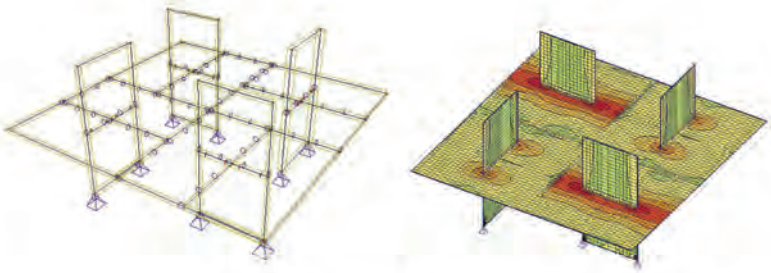
značný potenciál vývojaschopnosti. Kombinovaním základného priestorového segmentu, jeho množením, vrstvením, natáčaním je možné dospieť k rôznym dispozičným variáciám.

Obr.2 Príklad steno-skeletovej sústavy

Najvyšší potenciál ma jednoznačne modulová organizácia prvkov 3x3m, pripadne násobok 6x6m, ale taktiež systém s natočeným vertikálnym stenovým prvkom o 45°. Natáčaním vertikálneho segmentu voči horizontálnym prvkom a následným ukladaním elementárnych segmentov ku sebe tak vzniká nosný systém s modulom 4.424m, čo je o čosi priaznivejší modul pri rozmere panelov 1.5x3m.

4 Statická a konštrukčná analýza sústavy

Statická a konštrukčná analýza v závislosti na typologických a rozmerových možnostiach vyvíjanej steno-skeletovej sústavy na báze drevených CLT panelov je v súčasnosti predmetom prebiehajúcej výskumnej úlohy na FU TUKE. Súčasťou analýzy sú aj možnosti vytvárania prefabrikovaných dielcov z určitého počtu CLT panelov, ktoré by zvyšovali efektivitu montáže sústavy.



Obr.3 Výpočtový model stabilného segmentu sústavy

Predbežný výpočtový model bol vytvorený z doskových a stenových prvkov, pripojenia jednotlivých dielcov sú namodelované ako kĺbové. Priestorové stuženie zabezpečuje vystriedaná orientácia stenových prvkov. Materiál bol modelovaný ako ortotropný s parametrami lepeného dreva s charakteristickou pevnosťou 24MPa - GL24 [5] [6].

Poďakovanie

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

[1] Kanócz, J. - Bajzecerová, V. - Mojdis, M.: Experimental and Numerical Analysis of Timber-Lightweight Concrete Composite with Adhesive Connection. Advanced Materials Research, Vol. 969, 2014, 155-160

[2] Kanócz, J., Bajzecerová V., Šteller, Š., 2013: Timber-concrete composite elements with various composite connections. Part 1: Screwed connection. Wood research 58(4).

[3] Kanócz, J., Bajzecerová V., Šteller, Š., 2014: Timber-concrete composite elements with various composite connections. Part 2: Grooved connection. Wood research 59(3).

[4] Kanócz, J. - Bajzecerová, V. - Mojdis, M.: Experimental and Numerical Analysis of Timber-Lightweight Concrete Composite with Adhesive Connection. Advanced Materials Research, Vol. 969, 2014, 155-160.

[5] Blass H., Fellmoser P.: Design of solid wood panels with cross layers. 8th World Conference on Timber Engineering, Lahti, Pp 1001-1006, 2004.

[6] Harris, R., Ringhofer, A., Schickhofer, G.: Focus Solid Timber Solutions - European Conference on Cross Laminated Timber (CLT), Graz University of Technology, 2013.

Integrácia aplikačných IoT infraštruktúr a údajov monitorovania zdravotného stavu chronicky chorých pacientov v domácnosti

Ing. Marek Skokan, PhD

Ing. Ján Hreňo, PhD.

Ing. Gabriel Lukáč

prof. Ing. Tomáš Sabol, CSc.

Technická univerzita, Ekonomická fakulta
Němcovej 32, 040 01 Košice

***Abstract* – Integrácia údajov z IoT infraštruktúr a možnosti/spôsoby vzájomnej interoperability týchto infraštruktúr sú kľúčové atribúty pre rozvoj IoT ekosystémov v blízkej budúcnosti. Riešenia adresujúce túto problematiku sú predmetom tohto príspevku.**

***Keywords* – IoT infraštruktúra, integrácia, sémantická interoperabilita, eHealth**

I. ÚVOD

Jedným z dominantných súčasných trendov v oblasti informačných a komunikačných technológií je problematika Internetu vecí (Internet of Things - IoT) najmä v súvislosti s úlohami monitorovania a riadenia. IoT systémy sa aplikujú v rôznych oblastiach (doprava, inteligentné budovy/mestá, energetika, zdravotníctvo a pod.) so zameraním na rôzne ciele (napr. optimalizáciu vykurovania a klimatizácie v administrativnych budovách, monitorovanie kľúčových zdravotných parametrov ľudí odkázaných na domácu starostlivosť a mnohé iné). V týchto aplikačných oblastiach sú vytvárané IoT infraštruktúry, pričom IoT infraštruktúru môžeme voľne definovať ako množinu vzájomne prepojených IoT prvkov, ktoré plnia konkrétny účel (napr. všetky IoT elementy na monitorovanie obsadenosti parkoviska tvoria jednu IoT infraštruktúru). Hoci takéto IoT infraštruktúry postupne pribúdajú, väčšina z nich funguje ako „izolované ostrovy". A pritom práve vzájomná, zabezpečená komunikácia medzi jednotlivými IoT infraštruktúrami (ich interoperabilita) môže výrazne zvýšiť úroveň ich funkčnosti, s pozitívnym vplyvom na celý IoT ekosystém.

Veľkou technologickou výzvou je aj integrácia údajových tokov z monitorovania zdravotného stavu chronicky chorého pacienta a ich integrácia s dostupnými údajmi z iných systémov ako aj následná vizualizácia týchto údajov lekárovi-špecialistovi. Úžitok tejto dátovej integrácie by mal spočívať v efektívnejšej liečbe a mal by zabezpečovať lepší zdravotný stav pacienta.

II. PROJEKT VICINITY

V H2020 projekte VICINITY, ktorý využíva technológie sémantickej interoperability pre integráciu IoT infraštruktúr, sa snažíme uplatňovať znalosti a skúsenosti získané v projekte Technicom.

Hľadanie odpovedí na otázku ako prepojiť jednotlivé IoT infraštruktúry tvorilo základ pri príprave a realizácii H2020 projektu VICINITY. Jeho cieľom je vyvinúť prezentovanú integračnú platformu a otestovať ju v podmienkach vybraných pilotných aplikácií prostredníctvom modelových scenárov použitia. Konzorcium projektu pozostáva z 15 partnerov z deviatich 9 krajín EU - Dánsko, Nemecko, Grécko, Nórsko, Portugalsko, Slovinsko, Španielsko, Veľká Británia a SR. Podrobnejšie informácie možno nájsť na web stránke projektu http://vicinity2020.eu/vicinity/.

Za hlavné bariéry súčasného IoT ekosystému pri prepájaní IoT infraštruktúr sú podľa [1] a [2] považované nasledovné skutočnosti:

- Chýbajúci protokol pre IoT interoperabilitu (komunikácia v rámci infraštruktúry prebieha použitím protokolu, ktorého špecifikácia nie je verejne známa).
- Vzájomná výmena citlivých údajov medzi IoT infraštruktúrami prináša so sebou vážny problém spojený s ochranou súkromia.
- Otázky intelektuálneho vlastníctva v súvislosti s komunikačnými protokolmi.

Cieľom projektu VICINITY je vyvinúť riešenie, ktoré má potenciál eliminovať uvedené bariéry a umožniť efektívnejšie využitie IoT infraštruktúr (existujúcich aj nových). Podstatou vytvoreného riešenia je integračná platforma, analógia sociálnej siete, v ktorej sú zapojení vlastníci rôznych IoT infraštruktúr. Týmto vlastníkom bude jednoduchým spôsobom umožnené definovať prístupové práva k svojim infraštruktúram, resp. k ich častiam (obdobne ako sa napr. na sociálnej sieti Facebook definujú prístupové práva pre rôzne kategórie priateľov). Medzi vytvorenou integračnou platformou a IoT infraštruktúrou je zadefinovaný SW modul, tzv. *adaptér*. Ten umožňuje obojstranný preklad volaní a odpovedí na

tieto volania medzi integračnou platformou a jednotlivými IoT infraštruktúrami. Takto je možné používať monitorovacie a riadiace funkcie na vlastníkom sprístupnených zariadeniach v IoT infraštruktúre v jednotnom jazyku pri zachovaní uzavretosti a intelektuálneho vlastníctva za uzavretým komunikačným protokolom v rámci zapojenej infraštruktúry. Na to, aby infraštruktúra mohla komunikovať s integračnou platformou (a teda bola integrovateľná), je potrebné vytvoriť takýto adaptér. Proces jeho tvorby je do veľkej miery automatizovaný (podstatnou časťou tohto procesu je automatizácia objavovania už známych typov zariadení, ku ktorým existuje softvérový komponent pre monitorovanie stavových veličín a ich zmenu t. j. obsluhu zariadenia) a je možné ho realizovať rádovo v dňoch, ba aj v hodinách (to záleží hlavne od komplexnosti infraštruktúry, množstva použitých protokolov a od zbehlosti programátora). Navrhnutá integračná platforma má potenciál vyriešiť problém interoperability vo svete IoT. To môže prispieť napríklad aj k premene miest na "smart" mestá budúcnosti.

Vyvinutá integračná platforma je testovaná v tých lokalitách, kde sú laboratóriá partnerov projektového konzorcia zameraných na vytvorenie a prevádzku pilotných aplikácií. Vybrané modelové príklady a domény, na ktorých prebieha testovanie:

1. Inteligentná elektrická prenosová sústava – Smart Grid. Ide o prepojenie budov v rámci (fyzického) susedstva, ktoré umožní vyjednávanie ich predpovedanej energetickej flexibility. Jedná sa o aplikáciu typu „Manažment na strane dopytu" [4] (Demand Side Management - DSM).
2. Inteligentné budovy – Smart Building. A to tak inteligentná domácnosť v podobe inteligentných spotrebičov – Smart Home, ako aj inteligentná administratívna budova - Smart Office.
3. Doprava – Smart Parking. Ide o implementáciu inteligentnej, čistejšej a bezpečnejšej dopravy prostredníctvom integrácie IoT infraštruktúr (a dát nimi generovaných) z oblasti inteligentného parkovania a inteligentných budov.

A. Základná architektúra VICINITY platformy

Architektúra platformy je postavená na koncepte prepojenia rôznych (ako technologicky tak aj doménovo) IoT infraštruktúr prostredníctvom služby zabezpečujúcej interoperabilitu. To umožní interakciu IoT objektov/zariadení (ktoré sú modelované ako softvérové objekty) s IoT objektmi z iného ekosystému. Služby poskytujúce interoperabilitu vytvoria základ pre služby s vyššou pridanou hodnotou, keďže informácie pochádzajúce z rôznych domén budú môcť byť spracované na jednom mieste a jednotným spôsobom (Obr. 1).

Obr. 1 Integračný koncept - IoT objekty z technologicky aj doménovo odlišných infraštruktúr navzájom interagujú využitím služieb poskytujúcich interoperabilitu (podľa [3])

Na Obr. 1 je prostredníctvom služieb pre interoperabilitu prepojená IoT infraštruktúra pre inteligentné budovy (vľavo) s IoT infraštruktúrou pre energetiku (vpravo). Tieto infraštruktúry sú pripojené a integrované do integračnej platformy prostredníctvom adaptéra cez tzv. *bránu*. Nastavenie parametrov *Manažéra virtuálneho susedstva* určí, ku ktorým IoT objektom môže (má oprávnenie) vzdialene pristupovať príslušný adaptér (napríklad k batérii v energetickej infraštruktúre) a tieto IoT objekty simulovať ako súčasť integrovanej IoT infraštruktúry. Takéto IoT objekty môžu byť sprístupnené pre služby s pridanou hodnotou, keďže je možné s nimi komunikovať jednotným jazykom definovaným v sémantických modeloch/ontológiách.

III. Projekt PICASO

V našich aktivitách v H2020 projekte PICASO, ktorý využíva domáce monitorovanie parametrov zdravotného stavu pacientov s chronickými ochoreniami s využitím IoT zariadení, takisto používame znalosti a skúsenosti získané pri manažovaní a integrovaní IoT zariadení v projekte Technicom.

Vedecko-výskumný projekt PICASO (plný názov: *A Personalised Integrated Care Approach for Service Organisations and Care Models for Patients with Multi-Morbidity and Chronic Conditions*) je financovaný Európskou komisiou v rámci V/V programu EU Horizont 2020. Projekt reaguje na aktuálnu potrebu koordinácie a efektívneho manažmentu liečebných postupov poskytovaných viacerými poskytovateľmi zdravotnej starostlivosti v prípade pacientov s viacerými diagnózami (prípad viacnásobnej morbidity). Pacienti zapojení v projekte využívajú výhody domáceho monitorovania zdravotného stavu. Kľúčová je podpora výmeny údajov medzi lekármi špecialistami, ktorí sú dlhodobo zapojení do zdravotnej starostlivosti o týchto pacientov a ich integrácia a kombinácia s údajmi z domáceho monitorovania. Vďaka tomu by malo byť možné odbúrať nepotrebné návštevy u lekára a redukovať vyšetrenia a zároveň zlepšiť komfort týchto pacientov. Pre účely integrácie a kombinácie údajov sme vyvinuli softvérové riešenie pre integrovanie údajov z IoT zariadení monitorujúcich stav pacienta s ich záznamami od lekárov špecialistov a vizualizačné nástroje pre takto integrované údaje.

Vyvinutá IKT platforma bude testovaná v reálnych podmienkach používateľmi v dvoch nemocniciach, ktoré sú členmi projektového konzorcia, viac ako 100 pacientmi (nemocnicou Tor Vergata v Ríme – pacienti s Parkinsonovou chorobou, a univerzitnou nemocnicou v Düsseldorfe – pacienti s reumatickou artritídou. Obidve

skupiny pacientov majú diagnostikované aj istú formu kardiovaskulárnej choroby.

A. Základné vlastnosti PICASO platformy

PICASO platforma umožní ľubovoľnej nemocnici sprístupniť údaje o pacientoch v zabezpečenej forme, v súlade s legislatívnymi požiadavkami a zohľadňujúc súkromie pacientov aj lekárov. Následne je možné k týmto údajom za zadefinovaných podmienok pristupovať. Údaje z viacerých zdrojov je možné navzájom skombinovať do jednotného náhľadu. Platforma poskytuje náhľad na údaje o pacientovi a základné notifikácie pri zmene údajov. Zhodnotenie údajov a stanovovanie pripadných ďalších diagnóz pacienta je naďalej na lekárovi, platforma je teda „asistentom" lekára, nesnaží sa ho nahradiť.

Môžeme uvažovať niekoľko scenárov využitia vyvíjanej PICASO platformy:

- Lekár pri návšteve pacienta môže získať rýchly náhľad na históriu pacienta, vrátane: zoznamu jeho chorôb a dátumov, kedy boli liečené, histórie pacientom užívaných liekov a dôvodu prerušenia ich užívania, zoznamu pacientových lekárov, dátumov návštev u nich a súvisiacej dokumentácie (anamnézy, diagnózy, výsledky testov, ...), prehľadu histórie výsledkov testov a merani súvisiacich so zdravotným stavom pacienta (laboratórne testy, krvný tlak, hmotnosť, ...).
- Lekár môže jednoducho zistiť kontraindikácie liekov (aj postupov) predpísaných pri liečbe viacerých chorôb rôznymi špecialistami (systém sám automaticky upozorní na konflikty).
- Na základe údajov z domáceho monitorovania zdravotného stavu, poskytne PICASO platforma pacientovi, lekárovi alebo asistujúcim osobám podporu monitorovania dodržiavania liečebného plánu pre pacienta.

Pre ilustráciu je na Obr. 2 znázornený návrh používateľského rozhrania pre lekára (v aktuálnom štádiu vývoja platformy ide zatiaľ len o návrh rozhrania), kde si lekár môže prezrieť údaje z domáceho monitorovania krvného tlaku, zoznam lekárov pacienta, históriu liekov a históriu návštev u lekára.

Obrázok 2 Návrh používateľského rozhrania PICASO platformy pre lekára.

IV. ZÁVER

Vyvinuté technické riešenia redukuje bariéry pre integráciu IoT infraštruktúr do väčších celkov a umožňujú integráciu údajov z IoT monitorovania zdravotného stavu pacienta s inými údajmi. Takáto integrácia IoT infraštruktúr umožní tvorbu nových aplikácií nad technologicky, doménovo aj vlastnícky rozličnými IoT infraštruktúrami a to bez narušenia súkromia používateľov a bezpečnosti týchto infraštruktúr. Takéto technické riešenie prináša nové možnosti pre vývoj služieb s pridanou hodnotou. Kombinácia údajov o zdravotnom stave z domáceho monitorovania spolu s dostupnými údajmi z iných systémov umožní lekárovi špecialistovi manažovať viaceré chronické ochorenia pacienta efektívnejšie a nevystavovať pacienta nepotrebným liečebným krokom (napr. duplicitné vyšetrenia a pod.).

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Projektu VICINITY, ktorý je ko-financovaný Európskou komisiou v rámci výskumného programu H2020, kontrakt č. 688467.

Projektu PICASO, kofinancovaný Európskou komisiou v rámci výskumného programu H2020, kontrakt č.689209.

References

[1] O. Vermesan, P. Friess (eds.): Internet of Things: From Research and Innovation to MarketDeployment. Aalborg, RiverPublishers, 2014 (River Publisher Seriesin Communication), ISBN 978-87-93102-94-1.

[2] S. Leminen, M. Westerlund, M. Rajahonka, R. Siuruainen: Towards IOT Ecosystems and Business Models, In: Internet of Things, SmartSpaces, and NextGenerationNetworking. Springer, 2012 (LNCS Vol. 7469), ISBN 978-3-642-32685-1, 15-26.

[3] D1.6 Architectural design, VICINITY project report, 2017, 112 p, https://vicinity2020.eu/vicinity/public-deliverables.

[4] M. Skokan, P. Kostelník, T. Šabol, M. Mach: Inteligentné riadenie spotreby elektrickej energie v administrativnych budovách, ATP Journal. 1/2016, ročník XXIII. ISSN 1335-2237. 36-37. Dostupné online: www.atpjournal.sk

Finančné a ekonomické rozhodovacie metódy pri investičných aktivitách v stavebnom priemysle.

P. Džupka *, M. Gróf. * and M. Skokan *
* Technická Univerzita v Košiciach, Ekonomická fakulta, Košice, Slovensko
Peter.Dzupka@tuke.sk
Marek.Grof@tuke.sk
Marek.Skokan@tuke.sk

***Abstract* — Cieľom pilotného projektu bolo vytvoriť metodológiu pre finančné a ekonomické rozhodovanie v oblasti stavebníctva, so zameraním na využívanie nových materiálov a obnoviteľných zdrojov energii. Prvou novo vyvinutou metódou, je výber scenára pre optimalizovanie rôznych ekonomických charakteristík budovy. Tento prístup umožňuje používateľovi vybrať vhodnú kombináciu konštrukčných materiálov a energetických zdrojov pre plánovanú výstavbu a to s ohľadom na jeho ekonomické preferencie. MAtóda je založená na simulovani zmeny v stochastickej čistej súčasnej hodnoty dostupných scenárov (kombinácii definovaných stavených riešeni – konštrukčných materiálov a energetických zdrojov). Umožňuje teda na základe ekonomických preferencii investora vybrať ekonomicky optimálne riešenie. Druhou vytvorenou metódou je identifikácia socio-ekonomickej hodnoty pri investiciách do znižovania environmentálnej záťaže budov. Táto metóda je založená na koncepte kontingentného oceňovania a umožňuje odhadnúť socio-ekonomický prínos takýchto riešeni pre obyvateľov lokality. Pre aplikáciu tento metódy bolo vytvorené softvérové riešenie na podporu jej správnej implementácie v praxi.**

Kľúčové slová: Stavebný priemysel, Finančné a ekonomické rozhodovanie, Optimalizácia, Kontingentné oceňovanie.

I. ÚVOD

Finančné a ekonomické rozhodovacie metódy sú v stavebnom priemysle v súčasnosti málo využívané. Cieľom nášho výskumu, bolo preto upraviť dostupné ekonomické a finančné metódy pre hodnotenie investičných projektov v stavebnom priemysle.

Zamerali sme sa predovšetkým na investície do obnoviteľných zdrojov energii (OZE) a posúdenie využitia nových stavených materiálov. Z metodologického hľadiska sme sa zamerali na ekonomické rozhodovacie nástroje založené na strednej odchýlke, geometrických priemeroch, metóde ideálneho bodu a pravidlách stochastickej dominancie.

Druhá metóda vyvinutá v rámci pilotného projektu, bola zameraná na odhad socioekonomických prínosov OZE pre spoločnosť. Investície do OZE znižujú negatívne dopady prevádzky budov na životné prostredie. To môže byť, podľa ekonomickej teórie považované za čistý verejný statok. Existuje niekoľko metód, ktoré umožňujú kvantifikovať dopad čistých verejných statkov na spoločnosť a to v závislosti od charakteristiky tohto statku.

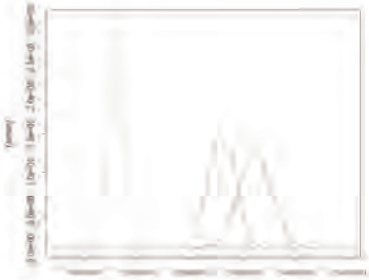
Zamerali sme sa na využitie kontingentného hodnotenia založeného na odhade individuálnej ochoty platiť (ang. willingness to pay (WPT) s cieľom odhadnúť socioekonomické dopady investícii do OZE pre spoločnosť. Táto metóda je veľmi citlivá na správnu implementáciu (zber dát a odhad hodnoty WTP). Odhad hodnoty WTP je netriviálnou matematickou úlohou a zároveň praktická aplikácia tejto metódy v sebe skrýva mnoho problémov, ktoré je potrebné vyriešiť v súlade s ekonomickou teóriou. Preto sme sa rozhodli vytvoriť softvérové riešenie, ktoré uľahčuje využitie kontingentného hodnotenie a umožňuje jeho širšie praktické využitie. Toto softvérové riešenie je založené na webovej platforme a krok po kroku podporuje užívateľa pri správnej implementácii metodológie kontingentného hodnotenia a odhade jeho hodnoty.

Štruktúra článku je nasledovná. Práv časť článku prezentuje rozhodovacie metódy, ktoré umožňujú investorovi vybrať ekonomicky optimálne riešenie na základe jeho súčasných preferencií. Druhá časť článku sa zaoberá odhadom socioekonomickej hodnoty investícií do OZE.

I. FINANČNÉ ROZHODOVACIE A OPTIMALIZAČNÉ NÁSTROJE V STAVEBNOM PRIEMYSLE.

Toto riešenie podporuje investora pri výbere kombinácie rôznych typov stavebných materiálov a energetických zdrojov pri projektovani novej budovy. Na základe preferencii investora, existujúcich obmedzení, dostupných materiálov a technológií, môže optimalizačný nástroj určiť optimálnu kombináciu stavebných materiálov a energetických zdrojov pre konkrétneho investora.

Z ekonomického hľadiska je optimalizačný nástroj založený na minimalizovani investičných a prevádzkových nákladov plánovanej budovy, pričom berie do úvahy preferencia a obmedzenia investora a projektu. Výsledok je založený na simulácii (predikcii) vývoja makroekonomických dát (inflácia, ceny energii, úrokové sadzby a pod.) a kombinácii všetkých možnosti (investorom preferovaných) dostupných stavebných materiálov a zdrojov energii.



Obrázok 1. Príklad rozdelenia simulovanej čistej súčasnej hodnoty vybraných investičných scenárov.
Zdroj: vlastné výpočty – software R.

Toto softvérové riešenie využíva algoritmy umelej inteligencie. Riešenie je vytvorené ako aplikácia klient-server. Používateľské prostredie je založené na technológii „Twiter-Bootstrap". Pre optimalizáciu je použitý nástroj Gurobi, ktorý tvorí súčasný technologický štandard, pri riešení veľkoobjemových problémov lineárneho a integrovaného programovania. Dáta používané pri modelovaní sú ukladané v databáze Postgresql.

II. MODEL SOCIOEKONOMICKÉHO HODNOTENIA INVESTIČNÝCH AKTIVÍT.

Pre socioekonomické hodnotenie investícií do OZE bolo využité kontingentné hodnotenie. Koncepcia kontingentného hodnotenia je široko využívaná v oblasti environmentálnej ekonomiky ako nástroj pre ekonomické hodnotenie zmien v životnom prostredí. Metóda je založená na odhade, koľko by boli ľudia ochotný zaplatiť za určitý tovar, alebo službu ktorá im zvýši ich osobný úžitok, alebo naopak koľko by požadovali ako kompenzáciu za nerealizáciu určitého projektu.

Z metodologického hľadiska veľmi dôležité, aby respondenti hodnotili konkrétny hypotetický scenár, ktorý detailne popisuje investičný scenár a zároveň umožňuje, je potrené zabezpečiť, aby respondent jasne pochopil, akú zmenu úžitku mu prinesie.

V praxi existujú dva typy hypotetických scenárov(Royo, 2011):

- Zvýšenie množstva, alebo kvality verejného statku merané prostredníctvom:
  - Maximálnej ochoty platiť za zvýšenie tohto statku
  - Minimálnej ochoty akceptovať kompenzáciu za nerealizáciu zvýšenia tohto statku.
- Zníženie kvality, alebo kvantity verejného statku meranej prostredníctvom:
  - Maximálnej ochoty platiť za nerealizáciou zvýšenia statku
  - Minimálnej ochoty akceptovať kompenzáciu za zníženie tohto statku.

A. *Kontingentné hodnotenie - metodológia*

Teoretický koncept WTP a WTA vychádza z hodnotenia úžitku prostredníctvom Hicksových kompenzačných dopytových kriviek.

Proces hodnotenia statkov zo životného prostredia, ktoré sú založené na kontingentom hodnotení je relatívne komplexný a vyžaduje si od realizátora znalosti z rôznych oblastí (mikroekonómie, primárneho výskumu, štatistických metód a pod.). Pre správnu implementáciu hodnotenia je potrebné realizovať minimálne nasledovné kroky:

1. Výber systému hodnotenia WTA alebo WTP.

Existuje mnoho analýz a empirických štúdií, ktoré dávajú návod, ktorý z konceptov je vhodné preferovať. V publikácii (Alheim, a iní, 1998) je porovnávaných viacero štúdií, pričom u väčšiny je preferovaný koncept WTP. Nositelia Nobelovej ceny v článku (Arrov, a iní, 1993) rozsiahlym spôsobom analyzujú výhody a nevýhody oboch konceptov, pričom v závere odporúčajú pre väčšinu aplikácií preferovať koncept WTP. Z tohto dôvodu aj naše softwarové riešenie využíva (preferuje) metódu WTP pre metódou WTA.

2. Vytvorenie hypotetického trhu.

Formulácia hypotetického scenára, ktorý je predstavený respondentom významným spôsobom ovplyvňuje výsledky výskumu, preto je tomuto kroku potrebné venovať patričnú pozornosť. Ideálne je realizovať pre samotným výskumom testovací s cieľom overiť pochopenie hypotetického scenára.

3. Výber výskumnej vzorky.

Pre správny výber vzorky je dôležité, aby obsahovala, ako potenciálnych užívateľov verejného statku, tak aj ľudí, ktorí tento statok nebudú – nechcú využívať. Problematikou hodnoty verejného statku pre užívateľov, ako nepoužívateľov sa zaoberajú napr. (Weikard, 2012), (O'Doherty, 1993).

Ďalším dôležitým prvkom je výber správnej metódy pre tvorbu vzorky. Pri kontingentnom hodnotení sú preferované metódy jednoduchého náhodného výberu a stratifikovaný výber.

4. Tvorba dotazníka pre zber dát.

Dotazník pre zber dát by mal obsahovať predovšetkým:

- Detailný popis hypotetického scenára.

- Socioekonomický profil respondentov.
- Otázky pre odhad ochoty platiť.

B. *Popis softverového riešenia*

Nami navrhnuté softvérové riešenie slúži na podporu korektnej implementácie procesu relácie kontingentného hodnotenia a samotný odhad socioekonomickej hodnoty. Pozostáva z nasledovných funkcií:

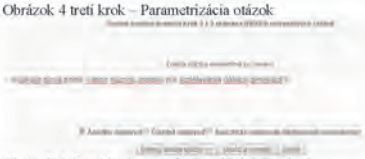
1. Podpora tvorby hypotetického scenára.
2. Parametrizácia otázok dotazníka.
3. Tvorba nového scenára a špecifických otázok.
4. Vytvorenie otázok a ich zverejnenie.
5. Monitorovanie zberu dát.
6. Automatická úprava zozbieraných dát pre ich ďalšie štatisticko-matematické spracovanie.
7. Grafická prezentácia výsledkov.

Vytvorenie hypotetického scenára je možné vidieť na nasledujúcich obrázkoch.

Obrázok 2 Prvý krok –vytvorenie hypotetického scenára

Obrázok 3 druhý krok – vytvorenie textového popisu

Obrázok 4 tretí krok – Parametrizácia otázok



Obrázok 5 štvrtý krok - tvorba špecifických otázok

Obrázok 6 ukazuje príklad automaticky vygenerovaného dotazníka.

Obrázok 6 – časť automaticky vygenerovaného dotazníka

III. ZÁVER

Metodológie prezentované v článku, nie sú zatiaľ štandardom pre finančné a ekonomické hodnotenie a rozhodovanie v stavebnom priemysle predovšetkým v strednej a východnej Európe. Prvá z vyvinutých metodológií, môže byť prakticky využiteľná pre investorov pri hľadaní optimálnej konštrukcie budov a využívania OZE a to z investičného ako aj z prevádzkového hľadiska.

Druhá aplikácia je využiteľná predovšetkým pre organizácie štátnej a verejnej správy, pri výbere investičných preferencií z pohľadu ich socioekonomického prínosu pre obyvateľov.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

ZOZNAM LITERATÚRY

[1] Alheim, Michael a Buchholz, Wolfgang. 1998. WTP or WTA - Is that the question?: reflections on the Difference Between "Willingness To Pay" and "Willingness To Accept". Cottbus : BTU, Eigenverl, 1998.

[2] Arrov, Kenneth a Solow, Robert. 1993. Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation. s.l. : National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 1993.

[3] Hanemann, W. M. 1991. Willingness to pay and willingness to accept: How much can they differ? The American Economic Review. 3, 1991, Vol. 81.

[4] Noonan, Doug. 2002. Contingent Valuation Studies in the Arts and Culture: An Annotated Bibliography. s.l. : The Cultural Policy Center at the University of Chicago, 2002. Working paper.

[5] O´Doherty, Richard. 1993. The Contingent Valuation Method. s.l. : Department of Economics University of West England, 1993. Working Paper.

[6] Randall, A and Stoll, J. R. 1980. Consumer's surplus in commodity space. The American Economic Review. 1980, Vol. 70, 3.

[7] Royo, Sanchez Begona. 2011. An approach towards holistic assessment of socio-economic impacts. Valencia : Universitet Politechnica de Valencia, 2011. Doctoral Thesis.

[8] Sieber, Martina. 2009. Stínové ceny v české ekonomice. Praha : Vysoká škola ekonomická v Praze, 2009. Dizertačná práca.

[9] Weikard, Hans Peter. 2012. Why non-use values should not be used. s.l. : Department of Social Sciences, Wageningen University, 2012. Working paper.

Nové technológie pre efektívne spracovanie uhlíkonosných surovín

J. Spišák*, J.Gloček*, J.Lišuch*, B.Vaňko*,
*Development and realization workplace of raw materials extracting and treatment,
Faculty of Mining, ecology, process control and geotechnology,
Technical University of Kosice, Slovakia
jan.spisak@tuke.sk, jan.glocek@gmail.com, julius.lisuch@gmail.com, branislav.vanko@tuke.sk

Abstrakt
Príspevok popisuje zásadnú koncepčnú zmenu procesu karbonizácie uhlíkonosných materiálov. Tá bude realizovaná v koncepčne novom, už poloprevádzkovo overenom tepelnom agregáte postavenom na princípe využitia tenkej dynamickej vrstvy zmitého materiálu a zónovom ovládaní pecnej atmosféry. Táto technológia by mala umožniť ekonomicky, energeticky a ekologicky efektívnu výrobu spektra výrobkov na báze karbonizovaného antracitu, uhlia prípadne dreva a energeticky efektívne (bezstratovo) využiť plynné splodiny a prachové odpadové podiely vznikajúce v tomto procese.

Keywords
Carbon, raw materials, combustion, carbonization, synthetic gas,

I. INTRODUCTION

Materiálové využitie uhlia, antracitu, prípadne dreva ako nosiča aktívneho, resp. chemicky čistého uhlíka je širokospektrálne. V rôznych výrobkových podobách nachádza uplatnenie v rôznych odvetviach hospodárstva.

Súčasný stav výroby produktov na báze uhlíka je poznamenaný predovšetkým vysokou mernou spotrebou paliva, vysokým podielom nespálených organických látok v spalinách a celkovou vysokou environmentálnou záťažou. Snahy o zníženie mernej spotreby sú limitované technickými a konštrukčnými možnosťami používaných zariadení. Využitie energetického potenciálu produkovaných plynných splodín - spalín je málo účinné, resp. sa vôbec nerealizuje. Výnimkou je využívanie koksárenského plynu ako paliva na energetické účely.

Rapídne zlepšenie efektívnosti práce súčasných tepelných agregátov používaných pri výrobe produktov na báze uhlíka nemožno očakávať. Využívané technológie sú koncepčne zastarané, ich inovačný potenciál je doteraz realizovanými racionalizačnými opatreniami už vyčerpaný.

Zásadné technické a prevádzkové zlepšenia môžu priniesť len koncepčné nové riešenia založené na najnovších vedecko-technických poznatkoch. Aplikáciou doterajších výsledkov výskumu v podobe súboru technických, technologických, logistických, prevádzkových a materiálových poznatkov do novej technológie materiálového a energetického spracovania uhlíkonosných materiálov možno očakávať v porovnaní zo súčasným stavom *zníženie mernej spotreby energií a výrazné zníženie ekologickej záťaže.*

II. INOVAČNÝ POTENCIÁL

V súčasnosti sa proces karbonizácie uskutočňuje prevažne v rotačných peciach, ktorých hlavou nevýhodou sú vysoké tepelné straty a environmentálna náročnosť. Prvoradým predpokladom pre uskutočnenie inovácií v oblasti karbonizácie uhlíkonosných surovín je existencia inovačného potenciálu. Z toho dôvodu bola na základe aktuálnych teoretických poznatkov a prevádzkových skúseností navrhnutá nová technológia špecifikovaná ako „technologicky optimálny proces karbonizácie a technologicky optimálny tepelný agregát - pec". Tým bol definovaný inovačný potenciál vyjadrujúci reálne možnosti zlepšenia súčasného - referenčného stavu. V porovnaní s teoretickou-termodynamicky optimálnou pecou má technologicky optimálna pec horšie parametre nakoľko zohľadňuje reálne podmienky prevádzky.
Ďalší krok v tvorbe inovácií spočíva v hľadaní inovačných alternatív a kritérií ich komplexného hodnotenia, ktoré je založené na tvorivom prístupe a ktorého efektívne uskutočňovanie vyžaduje kritické množstvo znalostí systémových a analytických. Veľmi efektívnym nástrojom v tomto procese je fyzikálne a matematické modelovanie procesov.

III. NOVÁ TECHNOLÓGIA KARBONIZÁCIE

Nová technológia karbonizácia uhlíkonosných surovín slúži pre energetické (spaľovanie) a materiálové (karbonizácia) spracovanie dreva, uhlia alebo antracitu. Vyvinutý tepelný agregát pracuje na princípe využitia vertikálnej dynamickej tenkej vrstvy.

Zariadenie využíva všetky tri známe systémy vzájomného prúdenia vsádzky a plynných médií a to: súprudné, protiprúdne a krížové prúdenie cez vrstvu materiálu. Vhodnou kombináciou týchto troch systémov, zónovým vertikálnym usporiadaním agregátu, zabezpečením pohybu vsádzky gravitáciou v tenkej vrstve, využitie vlastných originálnych technických riešení (difúzne horáky, systém kontinuálneho podania vsádzky a odoberania produktu, ovládanie reológie vsádzky v agregáte, recyklácia spalín), pokročilé monitorovanie a riadenie prebiehajúcich chemicko-technologických procesov umožňuje vytvoriť tepelný agregát, ktorý zabezpečí pre proces karbonizácie optimálne podmienky (Figure. 1).

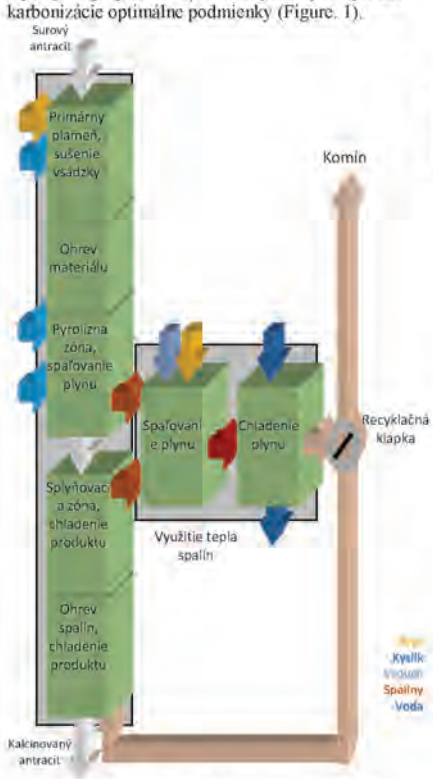


Figure. 1 Koncepcia celej technológie karbonizácie antracitu

Pilotnou aplikáciou tejto novej technológie bol proces karbonizácie antracitu pre proces výroby uhlíkových elektródových hmôt, nauhličovadiel a aktívnych filtračných látok. Úvodný materiálový výskum bol zameraný na poznanie chemických, fyzikálnych a mechanických vlastností vstupných materiálov (súčasných aj potenciálnych), poloproduktov ako aj finálnych produktov. Poznanie týchto parametrov umožnilo správne definovať požiadavky na technologický proces a vytvoriť tzv. páliace krivky – optimalizované trajektórie procesu karbonizácie. Diverzifikovaním portfólia produktov sa rozširuje aj portfólio vstupných surovín. Je to pozitívne z hľadiska efektívnosti nákupu spracovateľského podniku, no nevýhodné je to z hľadiska riadenia tepelného procesu. Každý druh antracitu, resp. uhlia, dreva má inú karbonizačnú krivku, iné parametre výnosu a výťažnosti, ako aj sledované kvalitatívne parametre (pórovitosť, merný elektrický odpor a pod.). Typické vlastnosti vstupnej suroviny do procesu karbonizácie sú uvedené v tabuľke č.1.

TABLE I.
CHEMICKÉ ZLOŽENIE VSÁDZKY - ANTRACITU

Voda [%]	Popoloviny [%] (minerálna hmota)	Horľaviny (organická hmota) [%]			
		C	H	O	N
6	6	84,9	0,9	1,4	0,7
	Zloženie horľavina	96,5	1,05	1,61	0,84
	Zloženie (rozsah)	96-97	0,8-1,3	0,82-2,4	0,8-0,88

IV. PODSTATA PROCESU KARBONIZÁCIE

Nový proces karbonizácie antracitu a súčasnej výroby syngas-u (syntetický plyn) je rozdelený na 5 čiastkových chemickofyzikálnych medziprocesov, ktoré sú navzájom prepojené:

spaľovanie zemného plynu kyslíkom,

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$$

pôsobenie spalín zo spaľovania zemného plynu s antracitom v hornej časti šachtovej pece:

$$C(s) + CO_2(g) = 2CO(g)$$

pri teplote 1000°C dochádza k reakcii vodnej pary zo vstupnej vlhkosti s horúcim koksom, pričom vzniká vodný plyn podľa reakcie:

$$C(s) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + H_2(g)$$

prívod kyslíka do hornej časti pece a dospálenie procesného plynu:

$$2\ CO(g) + O_2(g) = 2\ CO_2(g)$$

$$2\ H_2(g) + O_2(g) = 2\ H_2O(g)$$

pôsobenie spalín dospáleného procesného plynu s antracitom (protiprúdne) v dolnej časti pece, resp použitie vody alebo plynu CO_2 podľa reakcií

$$CO_2(g) + C\ (s) = 2\ CO(g)$$

$$2H_2O(l) + 2\ C(s) = 2\ CO(g) + 2\ H_2(g)$$

Pre potreby poznania vzájomných súvislostí týchto elementárnych procesov bol vytvorený komplexný matematický model procesu karbonizácia antracitu. V nasledujúcej tabuľke sú ako príklad uvedené vygenerované výsledky simulácie spracovania vsádzky s parametrami uvedenými v tab. 1.

TABLE II.
ZLOŽENIE GENEROVANÝCH PLYNOV (MODEL)

Zloženie	Plyn (Syngas) [%]	Spaliny po spaľovaní vzduchu [%]	Spaliny po spaľovaní kyslíka [%]	Spaliny po spaľovaní kyslíka a kondenzovaní [%]
N_2	1,659	71,4	1,0	2,0
O_2	0	13,4	3,0	6,2
CO_2	0,665	8,2	43,8	91,8
H_2O_g	27,936	7,0	52,2	0
CO	52,731	0	0	0
H_2	15,903	0	0	0
CH_4	0,999	0	0	0
C_2H_6	0,077	0	0	0
C_3H_8	0,024	0	0	0
C_4H_{10}	0,008	0	0	0

Hlavné technologické prínosy tohto nového riešenia oproti klasickým riešeniam sú:
- súprudný ohrev materiálu na teplotu karbonizácie zabraňujúci dechtovaniu spalín,
- regulácia teploty kontrolovaným spaľovaním generovaného pyrolízneho plynu priamo v agregáte,
- krížový odťah horľavých splodín priamo z procesu karbonizácie umožňuje získať vysokohorľavé a energeticky výdatné palivá pre proces ich energetického externého využitia,
- samostatná spaľovacia komora pre presné dosiahnutie požadovanej teploty spalín pre tepelný výmenník,
- recyklácia časti spalín s využitím ich odpadného tepla a generovanie horľavého plynu CO z CO_2 a H_2 z H_2O v chladiči,
- využitie užitočného tepla produktu priamym chladením produktu v redukčnej atmosfére pomocou spalín umožňuje dosiahnuť aj významné zvýšenie kvality produktu.

V. VYUŽITIE ENERGETICKÉHO POTENCIÁLU GENEROVANÝCH SPALÍN

Súčasný režim procesu karbonizácie antracitu produkuje spaliny s teplotou cca 650°C a s relatívne vysokým podielom nespálených organických látok, no nedostatočným pre ich priame spaľovanie a energetické využitie.
Tento problém nové riešenie procesu úplne eliminuje. Jeho prvá časť zahrňuje ovládanie množstva, zloženia a tým aj celkovej výhrevnosti z procesu karbonizácie vystupujúcich plynov a ich dospaľovanie v novom kaskádovo usporiadanom spaľovacom systéme s osadenými difúznymi horákmi. Druhá časť zahrňuje využitie vygenerovaného tepla v spalinách buď na kombinovanú výrobu elektrickej energie a technologickej pary alebo na priame technologické využite. Tu prichádzajú do úvahy aplikácie zamerané buď na materiálové zhodnotenie generovaných plynov (produkcia technických plynov H_2 a CO_2) alebo na energetické využitie potenciálu spalín v technológiách vysokoteplotného spracovania surovín.

VI. TECHNICKÉ RIEŠENIE

Realizácia procesu karbonizácie v integrovanom tepelnom agregáte (ITA) umožňuje na rozdiel od klasických tepelných agregátov (rotačné, šachtové pece) širokú variabilitu podmienok a režimov. ITA je zónovo usporiadaný a umožňuje v jednotlivých zónach izolovane a podľa potreby meniť:
- geometrické parametre zón,
- teplotné podmienky a gradienty,
- tlakové podmienky (podtlakové, pretlakové),
- atmosféru (redukčná, oxidačná, inertná),
- prietokové podmienky (rýchlosť prúdenia),
- granulometriu a chemizmus vsádzky.

Vyššie uvedené možnosti umožňujú prispôsobiť parametre agregátu potrebám technologického procesu, ktoré sú špecifikované simuláciou na matematickom modeli. Je to klasický príklad procesného prístupu v procese navrhovania.
Variabilita procesu karbonizácie v ITA je základným predpokladom realizácie adresnej technológie tepelnej úpravy uhlíkonosných materiálov, výstupom z ktorej je produkt vyrobený podľa konkrétnych zákazníckych požiadaviek a za priaznivých technicko-ekonomických podmienok.

Pre proces karbonizácie boli navrhnuté a vytvorené nasledujúce moduly ITA agregátu:
- modul vstupný, so zásobníkom vsádzky, hydraulickým uzáverom a dávkovačom vsádzky,
- modul spaľovací, osadený difúznymi horákmi pre generovania tepla na rozbeh karbonizcie,
- modul predohrievací so súprudným prúdením,
- modul karbonizačný,
- modul spaľovací,
- modul chladiaci, s protiprúdnym prúdením chladiaceho média,
- modul výstupný so štvorčinným vyberačom,
- modul dospaľovací, s viastupňovým kaskádovým usporiadaním,
- modul energetický so spotrebičom tepla spalín,
- modul generovania a ovládania podtlaku, s vhodným ventilátorom,
- modul ekologický, osadený systémom na meranie a elimináciu pevných a plynných exhalátov,
- modul recirkulačný pre chladenie produktu spalinami,
- modul monitorovací a riadiaci.

Vhodné použitie týchto technických riešení pri konštrukcii tepelného agregátu umožní zabezpečiť pre proces karbonizácie optimálne prevádzkové podmienky. Tie boli polopreváďzkovo overované na integrovanom tepelnom agregáte, ktorý je na nasledujúcej fotografii.

Figure 2. Prototyp novej technológie karbonizácie antracitu

VII. POKROČILÝ MONITOROVACÍ A RIADIACI SYSTÉM

Pri karbonizácii surového antracitu, resp. uhlia je najkomplikovanejšia problematika generovaných splodín z procesu karbonizácie. V dôsledku tejto zložitosti riadenie procesov v súčasných tepelných agregátoch používaných na tento účel, napr. v rotačnej peci nie je dosiaľ úspešne vyriešené. Procesy v rotačnej peci sú vzájomne silne prepojené, majú dopravné spozdenie a rozptyl. Okrem toho hlavná riadená veličina - teplota v spaľovacej zóne je meraná s veľkým rozptylom, nakoľko je ovplyvňovaná plameňom, materiálom a vymurovkou. Terajšie pece sú riadené operátorom na základe pozorovania procesu karbonizácie, v dôsledku čoho kvalita produktu značne kolíše a nemožno ju trvalo udržiavať na požadovanej hodnote. Spotreba energie je vysoká v porovnaní s technologickými možnosťami. Súčasné riadenie je zamerané na udržiavanie niektorých kľúčových technologických veličín na konštantnej hodnote. V dôsledku zmien vstupných podmienok sa aj tieto hodnoty menia. Proces je charakterizovaný veľkými časovými konštantami a dopravným oneskorením. V súčasnej dobe sú riadiace zásahy ovplyvňované človekom na základe priebehu procesu.

Navrhovaný riadiací systém je založený na interakcii operátora so systémom priameho riadenia, v ktorom operátor priamo zasahuje do procesu resp. do systému priameho riadenia prostredníctvom zadávania hodnôt žiadaných veličín. Primárnou úlohou riadiaceho systému je zabezpečiť požadovanú kvalitu produktu pri fluktuácii vstupných parametrov a operačných podmienok. Kvalita produktu závisí od karbonizačnej teploty a atmosféry v peci. Ďalšie faktory, ktoré ovplyvňujú kvalitu produktu sú rozmery zŕn a doba karbonizovania. Riadenie kvality produktu sa uskutočňuje nepriamo. Nepriame riadenie spočíva v dodržovaní karbonizačnej teploty pri zmene vstupných a operačných podmienok a v určovaní teploty potrebnej pre dané vstupné a operačné podmienky.

Riadiaci systém pozostáva z úrovne riadenia procesu a z úrovne dohliadacieho riadenia. Na úrovni riadenia procesu sú zabezpečované požadované hodnoty riadených veličín procesu. Na úrovni dohliadacieho riadenia je zabezpečovaná kvalita produktu určovaním žiadanej hodnoty teploty (karbonizačnej krivky) a optimalizácia procesu karbonizovania.

VIII. ZÁVER

Nová technológia komplexného spracovania uhlíkonosných materiálov do podoby nauhličovadiel, aktívnych uhlíkových filtračných, resp. koksovaných materiálov predstavuje významný inovačný skok v tejto oblasti. Je nutné poznamenať, že rozsahu inovácie odpovedá aj riziko pri jej pilotnej prevádzkovej implementácii. Napriek tomu už na báze výsledkov výskumu sa navrhuje **nová integrovaná technológia výroby nauhličovadiel z hnedého uhlia** a využitie z tohto procesu generovaných pyrolýznych plynov ako hodnotného paliva pre proces výpalu dolomitu. Využitie pyrolýznych plynov ako paliva má zásadný environmentálny dopad.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Testovanie mechanických a fyzikálnych vlastností gumových kompozitov

D. Marasová* a Ľ. Ambriško*

* Ústav logistiky, Fakulta BERG TUKE, Košice, Slovensko

daniela.marasova@tuke.sk, lubomir.ambrisko@tuke.sk

Abstract **– The paper deals with the testing of rubber composites. It is aimed at determining the basic mechanical properties of belts in the tension. In addition to mechanical properties, physical properties are the object of research and that determine the suitability of the belts in practice. The electrical resistance of the belts, which is an important criterion for the operation of the belt conveyor, has been determined. The maximum electrical resistance is prescribed and the test verifies that the belt is sufficiently conductive to prevent static electric charge accumulation that may occur during its operation. Flame resistance tests have also been carried out, they are essential for the use of belts in installations, where is a risk of fire, especially in the coal mines. The work is focused on the methodology of given experimental tests, from the sample preparation to the evaluation of individual tests.**

Keywords **– conveyor belt, testing, tension, flammability, electrical conductivity**

I. Úvod

Stanovenie mechanických a fyzikálnych vlastností, ktoré poskytujú komplexné informácie o správaní sa materiálov v zložitých podmienkach namáhania, sú podstatné pre hodnotenie vlastností a v neposlednom rade aj kvality. Dopravný pás (ďalej DP) je kompozitom pozostávajúcim z odlišných materiálov. Vlastnosti jednotlivých jeho zložiek podstatným spôsobom ovplyvňujú finálne vlastnosti samotného pásu a podmieňujú jeho vhodnosť pre určenú funkciu a použitie v praxi. Dopravný pás je základným konštrukčným prvkom pásového dopravníka, ktorý plní významnú úlohu pri ťažbe, preprave a spracovaní kusového materiálu [1].

Pod vplyvom vonkajšieho zaťaženia mení tuhé teleso svoj tvar a rozmery, čo znamená, že sa deformuje. Vzťah medzi veľkosťou pôsobiacej sily, resp. napätím a deformáciou vyjadrujú mechanické vlastnosti. Tieto vlastnosti vyjadrujú zmenu tvaru, rozmerov telesa pod vplyvom vonkajšieho zaťaženia. K mechanickým vlastnostiam patria aj vlastnosti stanovené pri skúške jednoosovým ťahom. Mechanické vlastnosti dopravných pásov sa zisťujú skúškami a požadované vlastnosti sú vymedzené normami, technickými a technologickými predpismi. Nároky na dopravné pásy sú závislé od spôsobu ich použitia, preto sa celý dopravný pás, ale aj jeho jednotlivé komponenty musia podrobiť skúškam. Dopravný pás pozostáva z viacerých druhov materiálov, napr. gumové zmesi, z ktorých sú tvorené krycie vrstvy a adhezívne vrstvy dopravného pásu patria do skupiny materiálov, ktoré majú podstatne zložitejšie správanie sa pri mechanickom namáhaní. Na skúšanie základných vlastností dopravných pásov s textilnou kostrou a krycími vrstvami z gumy sú určené skúšobné metódy [2]:

- rozmerové – šírka DP, šírka ochranného okraja, celková hrúbka DP, celková hrúbka krycích vrstiev, dĺžka nespojeného pásu, dĺžka spojeného pásu,
- funkčné – priečna tuhosť, pozdĺžna tuhosť, ohybnosť za nízkych teplôt, pevnosť mechanického spoja,
- fyzikálne – ťahové vlastnosti, súdržnosť medzi vložkami, súdržnosť medzi vložkami a krycími vrstvami,
- požiarno-technické vlastnosti – odolnosť proti pôsobeniu plameňa, odolnosť proti vznieteniu sa a horeniu nad plošným plynovým horákom, odolnosť proti vznieteniu sa v dôsledku trenia,
- špeciálne vlastnosti – odolnosť proti pôsobeniu tepla, nízkych teplôt, oleja a pod.

Cieľom príspevku je stanovenie mechanických (konkrétne ťahových) a fyzikálnych vlastností gumových kompozitov.

II. Experimentálna časť

Experimentálny výskum bol realizovaný na gumových kompozitoch, konkrétne na gumotextilných dopravných pásoch typu Transbelt, ktoré sú určené pre štrkopiesky, vápenky, cementárne, tepelné elektrárne, banský priemysel, ťažbu surovín a ich úpravu, skládky, doky, spracovateľský a poľnohospodársky priemysel [3]. Testovanie pásov bolo vykonané v Testovacom a verifikačnom pracovisku gumárenských výrobkov na ÚL TUKE. Vzorky pre dané skúšky boli vyseknuté z testovaného typu pásu na hydraulickom lise Átom SE 25 (Obr. 1) pomocou vyrezávacieho noža.

Obr. 1 Hydraulický lis Átom SE 25

Obr. 2 Skúšobné teleso typu A s označer

A. Skúška ťahom

Pre ťahové skúšky boli pripravené skúšobné telesá typu A (Obr. 2), ktoré boli testované na trhacom stroji Zwick Roell Z030 (Obr. 3). Detailný popis realizácie skúšok je uvedený v práci [4]. Podstatou skúšky je namáhanie skúšobného telesa ťahom pri konštantnej rýchlosti až do jeho pretrhnutia a meranie zaťažujúcej sily a deformácie resp. predĺženia meranej dĺžky pracovnej časti skúšobného telesa. Na skúšku boli pripravené 3 skúšobné telesá vyseknuté v pozdĺžnom smere dopravného pásu P630/3 4+2. Stanovenie pevnosti v ťahu sa realizuje tak, že v momente pretrhnutia telesa sa odčíta max. sila F_r, ktorá sa následne vydelí pôvodnou šírkou skúšobného telesa b_t. Pevnosť pásu f_s je daná vzťahom [5]:

$$f_s = \frac{F_r}{b_t}; \ [\mathrm{N.mm^{-1}}] \qquad (1)$$

kde F_r – sila zaťaženia skúšobného telesa v okamihu pretrhnutia [N],

b_t – šírka pracovnej časti telesa [mm].

Ťažnosť je predĺženie telesa v okamihu jeho porušenia, pre účely skúšky sa vyjadruje podľa vzťahu [5]:

$$\varepsilon = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \cdot 100; \ [\%] \qquad (2)$$

kde ε – ťažnosť [%],

L_1 – počiatočná nameraná dĺžka [mm],

L_2 – dĺžka nameraná pri porušení telesa [mm].

Obr. 3 Trhací stroj Zwick Roell Z030

B. Charakteristika zápalnosti pásov

Pri tejto skúške sa zisťovala odolnosť gumotextílneho dopravného pásu P2000/4 8+4 proti pôsobeniu priameho plameňa s krycími vrstvami na 3 skúšobných telesách obdĺžnikového tvaru o rozmeroch (300±5 x 25±1) mm. Skúška sa vykonáva tak, že skúšobné teleso sa upne vo zvislej polohe v smere pozdĺžnej osi do držiaku zariadenia Wazau. Horák zariadenia je naklonený pod uhlom 45° a ústie horáka je vzdialené 50 mm od spodnej hrany skúšobného telesa (Obr. 4).

Obr. 4 Stanovenie charakteristiky zápalnosti v laboratórnom meradle

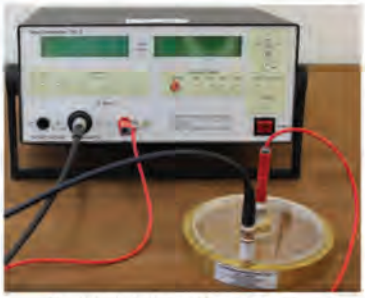
Plameň propánového Bunsenovho horáka s teplotou (1000±20)°C sa nechá pôsobiť na skúšobné teleso 45 s, potom sa rýchlo oddiali tak, aby neovplyvňoval horenie skúšobného telesa. Od tohto okamihu sa meria doba dodatočného horenia a dodatočného žeravenia počas 60 s. Výsledkom skúšky je súčet časov následného horenia série skúšok, ktorý nesmie byť dlhší ako 45 s, pričom žiadne skúšobné teleso nesmie horieť dlhšie ako 15 s [6]. Známky akéhokoľvek spaľovania sa sledujú ďalších 60 s pri zapnutí prúdenia vzduchu v zariadení Wazau (Obr. 5).

Obr. 5 Zariadenie Wazau

C. Elektrická vodivosť pásov

U tejto skúšky sa meria povrchový elektrický odpor skúšobného telesa, cez ktoré sa pomocou elektród vedie elektrický prúd určeného napätia (10 V). Na skúšku bolo pripravené skúšobné teleso štvorcového prierezu s rozmermi (300 x 300) mm z celej hrúbky pásu P2000/4

8+4. Skúška bola realizovaná na zariadení Tera-Ohmmeter TO 3 (Obr. 6). Pred meraním sa na povrch telesa nanesie kontaktné činidlo na báze polyetylénglykolu M600 [7]. Po uplynutí 60 s sa zaznamená elektrický odpor telesa.



Obr. 6 Zariadenie Tera-Ohmmeter TO 3

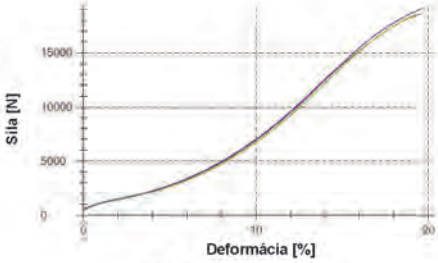
III. VÝSLEDKY

A. *Mechanické vlastnosti*

Mechanické vlastnosti skúmaného dopravného pásu sú uvedené v Tab. 1. Bola stanovená max. sila F_r, pevnosť v ťahu v celej hrúbke dopravného pásu f_s a predĺženie pri pretrhnutí (ťažnosť) ε. Jednotlivé hodnoty sú uvedené pre všetky 3 roztrhnuté telesá (1. – 3.) v Tab. 1. Získané ťahové diagramy dokumentujúce priebeh zaťažovania skúšobných telies jednoosovým ťahom sú zobrazené na Obr. 7. Všetky skúšobné telesá boli roztrhnuté v pracovnej časti medzi kontrastnými značkami, takže získané výsledky sú platné. Ťahové vlastnosti dopravného pásu závisia od materiálu kostry a veľký vplyv na tieto vlastnosti má typ textilných vlákien v pozdĺžnom smere (osnove) a v priečnom smere (útku) textilnej kostry z dôvodu, že všetky namáhania v ťahu dopravného pásu prenáša kostra.

TAB. 1
MECHANICKÉ VLASTNOSTI DOPRAVNÝCH PÁSOV

Teleso	L_1 [mm]	F_r [N]	f_s [N.mm^{-1}]	ε [%]
1.	100	18 623	740	19,6
2.	100	18 560	737	19,3
3.	100	19 126	754	19,7
Aritmetický priemer	100	18 770	744	19,5



Obr. 7 Ťahové diagramy

Pevnosť v ťahu skúmaného pásu vyhovuje požadovanému limitu, dosahuje o 18 % vyššiu hodnotu ako nominálna pevnosť. Ťažnosť predstavuje 20 %, čo odpovedá typu danej kostry, ktorá po osnove aj v útku je tvorená polyamidovými vláknami.

B. *Fyzikálne vlastnosti*

Skúmaný typ dopravného pásu nevyhovuje požiadavkám kladeným na ťažkozápalné pásy. Súčet časov následného horenia, po odstavení horáka, všetkých telies je 180 s, čo je dlhší čas ako 45 s, pričom každé skúšobné teleso horelo celých 60 s, avšak tento čas mal byť max. 15 s. U všetkých troch telies počas ofukovania došlo počas 60 s k dodatočnému horeniu, ktoré prebiehalo ešte ďalšie cca 3 min. po zastavení prúdenia vzduchu. Vzorky pásov na konci skúšok vykazujú značný rozsah poškodenia (Obr. 8).

Obr. 8 Telesá na konci skúšky zápalnosti

Skúmaný typ dopravného pásu vyhovuje požiadavkám normy [7], ktorá stanovuje max. hraničnú hodnotu elektrického odporu: $3x10^8$ Ω t. j. 300 MΩ. U testovanej vzorky bola nameraná hodnota $49,94x10^3$ Ω, čo znamená, že pás je dostatočne vodivý, aby sa predišlo

nahromadeniu statického elektrického náboja počas jeho prevádzky.

IV. ZÁVER

Materiály tvoriace gumový kompozit, konkrétne dopravný pás, zabezpečujú požadované mechanické, fyzikálne a funkčné vlastnosti samotného pásu, ktorý je určený na prepravu daného typu materiálu. Pre jednotlivé prevádzky sú dôležité mechanické vlastnosti dopravného pásu, hlavne jeho ťahové vlastnosti. Počet a typ textilných vložiek kostry, typ a hrúbka gumových krycích vrstiev sú navrhované pre konkrétne podmienky. U dopravných pásov s textilnou kostrou je bežná aj kombinácia viacerých textílii, ktoré zabezpečujú požadované vlastnosti. Táto práca rieši problematiku ťahových vlastností gumotextilných pásov, ako aj stanovenie ich zápalnosti a elektrickej vodivosti.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj, pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií, II. fáza, kód ITMS: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

LITERATÚRA

[1] W. Molnar, M. Varga, P. Braun, K. Adam and E. Badisch, "Correlation of rubber based conveyor belt properties and abrasive wear rates under 2- and 3-body conditions," *Wear*, vol. 320, pp. 1–6, 2014.

[2] D. Marasová, V. Taraba, M. Grujič, G. Fedorko, P. Bindzár and N. Mikušová, *Pásová doprava*, Košice: FBERG TU, 2006.

[3] MATADOR, Conveyor belts, Katalóg výrobkov, pp. 1–12.

[4] Ľ. Ambriško, D. Marasová and P. Grendel, "Determination the effect of factors affecting the tensile strength of fabric conveyor belts," *Eksploatacja i Niezawodnosc - Mainteneance and Reliability*, vol. 18, pp. 110–116, 2016.

[5] STN EN ISO 283, Textilné dopravné pásy, Pevnosť v ťahu v celej hrúbke dopravného pása, predĺženie pri pretrhnutí (ťažnosť) a predĺženie pri referenčnom zaťažení, Skúšobná metóda, 2015.

[6] STN EN ISO 340, Dopravné pásy, Charakteristiky zápalnosti v laboratórnom meradle, Požiadavky a skúšobná metóda, 2013.

[7] STN EN ISO 284, Dopravné pásy, Elektrická vodivosť, Špecifikácia a skúšobná metóda, 2012.

Príspevok riešenia projektu UVP TECHNICOM ku komplexnému využitiu slovenského magnezitu

P. Raschman*, Ľ. Popovič*, G. Sučik*, A. Fedoročková*

* *Technická univerzita v Košiciach, Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie, Ústav metalurgie, Letná 9, 042 00 Košice, SR, E-mail: pavel.raschman@tuke.sk, lubos.popovic@tuke.sk, gabriel.sucik@tuke.sk, alena.fedorockova@tuke.sk.*

Abstract **– Práca je zameraná na návrhy inovácií, ktorých cieľom je prispieť ku komplexnému a efektívnemu využitiu slovenského magnezitu. (1) Bol zostavený bilančný model hlavných technologických uzlov navrhnutej novej technológie - flexibilnej malotonážnej výroby čistých horečnatých solí z magnezitu. Čisté zlúčeniny horčíka sú výrobky s vysokou pridanou hodnotou nielen pre potreby priemyslu SR v súlade s prioritami RIS3, ale aj EÚ a sveta. Získané výsledky budú slúžiť ako podklady pre projektovú prípravu modelovej linky. (2) Ďalšie získané výsledky preukázali vhodnosť použitia slovenského magnezitu vo forme vhodne pripravenej kaustickej kalcinovanej magnézie (CCM) na odstraňovanie arzénu z kontaminovaných (podzemných) vôd. Vyvinutý spôsob čistenia kontaminovaných vôd od arzénu a ťažkých kovov metódou priepustných reaktívnych bariér s použitím CCM ako reaktívneho materiálu je už aj patentovo chránený. (3) Bola tiež laboratórne overená receptúra dusacej hmoty pre oceliarsky priemysel, ktorá vykázala hodnoty katalógových parametrov porovnateľné so svetovou špičkou. Boli vyrobené aj skúšobné šarže dusacej hmoty pre prevádzkové testy, ktorých cieľom je potvrdenie očakávaných úžitkových parametrov.**

Keywords **– magnezit, komplexné využitie, inovácie, kaustická magnézia, horečnaté soli, dusacia hmota**

I. VÝCHODISKÁ

A. Postavenie magnezitového priemyslu na Slovensku

Magnezitový priemysel hrá v národnom hospodárstve Slovenska tradične významnú úlohu. Slovensko dlhodobo patrí medzi popredné krajiny sveta z hľadiska celkových zásob magnezitu (4.-5. miesto na svete s podielom na svetovej ťažbe magnezitu medzi 3,5 a 5,5 %) aj jeho spracovania (vyše 1 Mt/r). Magnezit sa na území Slovenska ťaží a priemyselne spracúva vyše 120 rokov a jeho zásoby pri súčasnej spotrebe postačujú na ďalších 100 rokov.

B. Súčasný stav v ťažbe a spracovaní magnezitu vo svete

Z technologického hľadiska sa rozlišujú dva typy magnezitu:

- kryštalický magnezit
- kryptokryštalický (celistvý, amorfný) magnezit.

Krajiny, kde sa nachádzajú najväčšie ložiská kryštalického magnezitu sú: Brazília, Čína, Kanada, Rakúsko, Rusko, Severná Kórea, Slovensko a Španielsko [1]. Kryštalický magnezit je zvyčajne znečistený sprievodnými minerálmi obsahujúcimi hlavne vápnik, kremík a železo. Z hľadiska výroby a aplikácie žiaruvzdorných materiálov sa rozlišuje „nízko“, „stredne“ a „vysoko“ železitý („low-iron“, „less rich in iron“ a „iron-rich“) kryštalický magnezit. Najvýznamnejšie ložiská kryptokryštalického magnezitu sa nachádzajú v týchto krajinách: Austrália (ložisko Kunwarara, Queensland), Grécko, India, Turecko a Srbsko [1]. Kryptokryštalický magnezit je zvyčajne čistejší, ale náklady na jeho ťažbu a úpravu bývajú vyššie.

Súčasná svetová produkcia surového magnezitu je asi 30 Mt/r [1]. Z tohto celkového množstva sa skoro 60 % ešte v roku 2016 vyrábalo v Číne, ďalšími významnými producentmi (s vyše 1 Mt/r) sú Rusko, Turecko, Brazília a Slovensko. Nižšie, ale napriek tomu významné množstvá magnezitu sa ťažia v Rakúsku, Austrálii, Španielsku, Severnej Kórei, Grécku a Indii [1].

Výrobky z magnezitu môžeme rozdeliť na štyri hlavné skupiny – sú to:

- pálený magnezit - prírodná *magnézia*,
- bázické žiaruvzdorné stavivá a hmoty,
- čisté zlúčeniny horčíka, ktoré sa vyrábajú chemickými metódami,
- kovový horčík a ľahké horčíkové zliatiny.

Výroba prírodnej magnézie

Vyše 99 % magnezitu sa tepelne spracúva na magnéziu, ktorá je preto najvýznamnejším výrobkom vyrábaným z magnezitu. Vyrábajú sa tri základné typy magnézie [1] – sú to:

- kaustická kalcinovaná magnézia (CCM) - využíva sa v tých aplikáciách, ktoré si vyžadujú vysokú reaktivitu;
- spekaná magnézia (DBM) - využíva sa prakticky výlučne pre výrobu žiaruvzdorných materiálov, kvalitná DBM sa vyznačuje obsahom MgO > 97 %;
- tavená magnézia (FM).

Vyše 60 % vyrobenej magnézie sa spotrebuje na výrobu žiaruvzdorných materiálov, tradične najmä pre oceliarstvo a cementársky priemysel [1]. Za posledné tri desaťročia sa použitie výrobkov z magnezitu rozšírilo aj do poľnohospodárstva, živočíšnej výroby a ochrany životného prostredia. Stále nové aplikácie nachádzajú

čisté zlúčeniny horčíka (oxid, hydroxid a soli), progresívnymi konštrukčnými materiálmi sú ľahké zliatiny horčíka.

Pokiaľ ide o budúci dopyt po prírodnej magnézii, očakáva sa, že najperspektívnejším výrobkom na trhu s prírodnou magnéziou bude aj naďalej CCM. Menej kvalitná CCM sa používa ako troskotvorná prísada. Kvalitné druhy CCM sa využívajú najmä v poľnohospodárstve a živočíšnej výrobe, stavebníctve, pri úprave vody a pri ochrane životného prostredia.

Výroba bázických žiaruvzdorných stavív a hmôt

Hoci vo svete postupne rastie výroba bázických žiaruvzdorných hmôt pre zhotovovanie žiaruvzdorných výmuroviek, na Slovensku sa vyrábajú prakticky len bázické opravárenské hmoty. Dominantným odberateľom ostáva naďalej hutníctvo železa a ocele.

Výroba čistých zlúčenín horčíka

Výroba čistých horečnatých zlúčenín, vzhľadom na malotonážnosť technológie, je oveľa viac distribuovaná ako výroba magnézie. Vyrábajú sa najmä v Európe, Severnej Amerike a Ázii (Čína, Japonsko, Južná Kórea). Väčšina produkcie sa spotrebúva vo vyspelých regiónoch, kde bola vyrobená, ale časť *vysoko čistých produktov* sa vyváža do zvyšku sveta. V súčasnosti sa v Európe pripravujú a realizujú viaceré nové projekty.

Výroba kovového horčíka

Výroba horčíka zo slovenských magnezitov štandardnými postupmi je vo všeobecnosti pre domáce podnikateľské subjekty nevhodná z dôvodov komparatívnych nevýhod (najmä v oblasti nákladov na energie a cenu práce) oproti Číne, ktorá trhu s horčíkom v súčasnosti dominuje, čoho dôsledkom je nízka, ale najmä nestabilná cena horčíka na svetových trhoch.

C. Súčasná pozícia slovenského magnezitového priemyslu vo svete

Slovensko je 4. najväčším svetovým producentom a vývozcom magnezitových výrobkov (vyváža sa vyše 90 % produkcie, t. j. okolo 300 kt/r).

Slovenské magnezity sú vysoko železité, pretože ich úžitkovou zložkou je tuhý roztok magnezitu a sideritu $Mg_{(1-x)}Fe_xCO_3$. Vysoký obsah železa v našich magnezitoch limituje možnosti fyzikálnej úpravy a vyžaduje si využitie chemických metód, najmä v prípade výroby vysoko čistých produktov. Táto náročnosť spracovania sa premieta aj do portfólia súčasných produktov vyrábaných z magnezitu v SR – TABUĽKA I.

Z prehľadu v TABUĽKE I. vyplýva, že pozícii SR na svetových trhoch zodpovedajú len množstvá vyrábanej DBM (≈ 4%-ný podiel), kým v ostatných komoditách výrazne zaostávame. Príčinou je skutočnosť, že postaveniu slovenského magnezitového priemyslu vo svete nezodpovedá jeho súčasný technický rozvoj a to limituje jeho konkurenčnú schopnosť voči svetovým lídrom. Ambíciou riešenia v rámci projektu UVP TECHNICOM bolo navrhnúť a overiť tri technologické a výrobkové inovácie, ktoré by prispeli ku komplexnému spracovaniu slovenského magnezitu v súlade s navrhovanou inovačnou stratégiou [3].

TABUĽKA I.
VÝROBKY VYRÁBANÉ Z MAGNEZITU VO SVETE A V SR - POROVNANIE

Výrobok z magnezitu vyrábaný vo svete	Výrobok sa v SR z magnezitu vyrába/nevyrába	Podiel SR na svetovej výrobe (%)	Komentár
Kaustická kalcinovaná magnézia (CCM)	**vyrába** (INTOCAST Slovakia, SMZ Jelšava)	≈ 1	Výrobné kapacity v SR sú obmedzené.
Spekaná magnézia (DBM)	**vyrába** (SMZ Jelšava SLOVMAG Lubeník INTOCAST Slovakia)	≈ 4	Kvalitná DBM s obsahom MgO > 97 % sa v SR nevyrába - vzhľadom na fyzikálno-chemické vlastnosti slovenských magnezitov je možné vyrobiť ju len chemickou cestou.
Tavená magnézia (FM)	**nevyrába**	0	
Hydroxid horečnatý	**vyrába** (DUSLO Šaľa)	menej ako 0,1	Výroba v SR: z magnezitu dusičnanovou metódou, výrobná kapacita je obmedzená.
Čisté horečnaté soli	**nevyrába**	0	

II. INOVAČNÝ KONCEPT VÝROBKU NA BÁZE SLOVENSKÝCH MAGNEZITOV: VÝROBA VÝROBKOV S VYŠŠOU PRIDANOU HODNOTOU

A. Výroba prírodnej magnézie

V súčasnosti najvýznamnejšou technologickou aj výrobkovou inováciou v oblasti spracovania slovenských magnezitov by bola výstavba kapacity pre výrobu kaustickej kalcinovanej magnézie (CCM). Pre úspešnú prípravu a realizáciu tohto zámeru sú k dispozícii vhodné suroviny, sú známe potenciálne výrobky a technológie. Otvorená zostáva otázka marketingu a vývoja vhodných metód na testovanie vhodnosti rôznych typov CCM pre použitie najmä v poľnohospodárstve a živočíšnej výrobe, stavebníctve, pri úprave vody a pri ochrane životného prostredia.

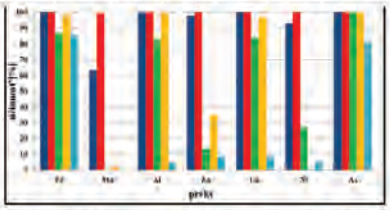
Riešenie projektu bolo zamerané na návrh a overenie spôsobu odstraňovania arzénu z kontaminovaných podzemných vôd. Pre laboratórne skúšky bola pripravená

CCM kalcináciou magnezitu z Jelšavy – jej chemické zloženie je v TABUĽKE II.

Výsledky vykonaných laboratórnych testov s modelovými roztokmi ukázali, že vhodne zvolenými podmienkami kalcinácie (teplota a doba kalcinácie) je možné získať CCM so špecifickým povrchom až 112 m^2

TABUĽKA II.
CHEMICKÉ ZLOŽENIE CCM POUŽITEJ PRE ODSTRAŇOVANIE ARZÉNU

Element	Mg	Fe	Ca	Si	Al	L.O.I.
Weight %	25.1	3.0	2.3	0.14	0.10	50.2



OBRÁZOK 1. Odstraňovanie arzénu z kontaminovanej podzemnej vody použitím rôzneho pomeru CCM

g^{-1}, použitím ktorej je možné z roztoku prakticky úplne odstrániť arzén – túto skutočnosť ilustruje OBRÁZOK 1. Výsledky laboratórnych testov boli overené s použitím reálnej vody, ktorej zloženie je v TABUĽKE III.

Výsledky získané v rámci riešenia projektu UVP TECHNICOM rozšírili možnosť aplikácie spôsobu čistenia kontaminovaných vôd metódou priepustných reaktívnych bariér s použitím CCM ako reaktívneho materiálu, ktorá bola vyvinutá v rámci projektu *APVV-0351-12: Overenie využitia technológie priepustných reaktívnych bariér pre remediáciu kyslých podzemných vôd kontaminovaných ťažkými kovmi*, aj na vody kontaminované arzénom. Vyvinutý spôsob čistenia kontaminovaných vôd od arzénu a ťažkých kovov je už aj patentovo chránený.

B. Výroba bázických žiaruvzdorných stavív a hmôt

Rozvoj výroby bázických žiaruvzdorných stavív novej generácie zo slovenského magneziu je podmienený dostupnosťou vysoko kvalitnej domácej prírodnej magnézie (min. 97 % MgO) (chemická čistota, hutnosť) – pre výrobu takého produktu u nás zatiaľ neexistuje technológia a jej vývoj bude predmetom budúceho výskumu a vývoja.

Dôležitou oblasťou je diverzifikácia **sortimentu** žiaruvzdorných hmôt na báze magnézie zo slovenského magnezitu pre zákazniky orientovaný servis najmä pre hutníctvo. V rámci riešenia projektu UVP TECHNICOM bol navrhnutý a laboratórne overený spôsob výroby bázickej žiaruvzdornej dusacej hmoty pre oceliarsky priemysel. Bol študovaný vplyv chemického a granulometrického zloženia hmoty na jej správanie pri vysokých teplotách, ako aj na kritériá hutnosti a trvalé objemové zmeny po výpale. Výsledky ukázali, že vlastnosti hmôt v rozhodujúcej miere závisia od fázového zloženia jednotlivých použitých tried magnézie, od ich spekania pri vysokých teplotách a od celkového granulometrického zloženia hmoty. Správanie sa jemnozrnných a hrubozrnných frakcií hmoty pri výpale na teploty do 1500°C ilustruje OBRÁZOK 2.

Pripravené vzorky produktu vykázali hodnoty katalógových parametrov porovnateľné so svetovou špičkou. Boli vyrobené aj skúšobné šarže dusacej hmoty pre prevádzkové testy, ktorých cieľom je potvrdenie očakávaných úžitkových parametrov.

C. Výroba čistých zlúčenín horčíka

Základným východiskom pre navrhovanie inovácií v spracovaní slovenského magnezitu zostáva fakt, že úžitkovou zložkou slovenských magnezitov je tuhý roztok magnezitu a sideritu. Táto skutočnosť limituje možnosti používanej fyzikálnej úpravy vyťaženej magnezitovej suroviny a kvalitu výrobkov. Perspektívu ponúkajú chemické metódy, lebo umožňujú:

- zvýšiť kvalitu vyrábaných magnezitových žiaruvzdorných materiálov,
- vyrábať nové, veľmi čisté produkty s vysokou pridanou hodnotou – nielen oxid a hydroxid horečnatý, ale aj horečnaté soli.

TABUĽKA III.
CHEMICKÉ ZLOŽENIE PODZEMNEJ VODY (HPV-16) KONATMINOVANEJ ARZÉNOM

pH	Fe	Mn	Al	Zn	Cu	Ni	As	Ca	Mg
	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$
2,0	1369	11,7	170	15,9	28,8	0,34	6,7	497	197

Výskum v tejto oblasti bol u nás pôvodne zameraný len na veľkovýrobu veľmi čistej (bezželezitej) spekanej magnézie. V dôsledku zmien, ku ktorým došlo na globálnych trhoch (najmä zásluhou Číny!), ako aj pokroku v oblasti techniky a ochrany životného prostredia, sa ťažisko záujmu presunulo od nákladnej veľkovýroby bezželezitej spekanej magnézie (sprevádzanej tvorbou veľkého množstva tuhých a kvapalných odpadov!) k flexibilnej malotonážnej (bezodpadovej) chemickej výrobe čistých zlúčenín horčíka, prakticky bez tvorby odpadov. Ďalší rozvoj v tejto oblasti vymedzujú tieto hlavné faktory:

Výrobky

Z analýzy svetových trendov v spracovaní magnezitu a využití produktov vyplýva, že výroba čistých zlúčenín horčíka je oveľa viac distribuovaná ako výroba magnézie [1]. Čistý uhličitan a hydroxid sa vyrábajú najmä v Európe, Severnej Amerike a Ázii. Väčšina produkcie sa spotrebúva vo vyspelých regiónoch, kde bola vyrobená, ale časť sa vyváža do zvyšku sveta [1,2]. Komerčne zaujímavé sú hlavne tieto zlúčeniny horčíka [1]:

- Uhličitan horečnatý (syntetický, čistý)
- Chlorid horečnatý
- Hydroxid horečnatý
- Síran horečnatý
- Octan horečnato-vápenatý (CMA)
- Octan horečnatý
- Alkyly horečnaté
- Bromid horečnatý
- Jodid horečnatý
- Dusičnan horečnatý
- Siričitan horečnatý
- Difosforečnan dihorečnatý (pyrofosforečnan horečnatý)
- Glukonan horečnatý
- Mliečnan horečnatý
- Steáran horečnatý

Technológie

Na rozdiel od chemickej výroby bezželezitej spekanej magnézie, v prípade chemickej výroby čistých zlúčenín horčíka je reálne očakávať výrobné náklady, ktoré budú porovnateľné s nákladmi iných svetových výrobcov.

Pri vývoji perspektívnej technológie je účelné vychádzať zo štyroch metód, ktoré boli vyvinuté v Československu – ich stručné charakteristiky sú v TABUĽKE IV.

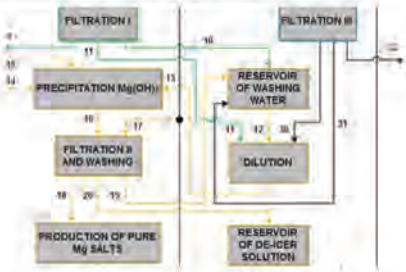
Chemické spracovanie magnezitu zahŕňa tri hlavné technologické uzly – sú to:

- lúhovanie vsádzky, t.j. príprava výluhu – roztoku horečnatej soli,
- rafinácia roztoku (výluhu),
- separácia horečnatej substancie a jej finálne spracovanie na produkt požadovaných vlastností.

O týchto troch hlavných procesoch existuje množstvo pôvodných výsledkov domáceho výskumu a vývoja [3]. Tri z metód, ktoré sú uvedené v TABUĽKE IV, boli dotiahnuté až do fázy výroby, čím sa preukázala reálna možnosť dosiahnuť očakávané technické parametre (najmä výkon a čistotu finálneho produktu).

TABUĽKA IV.
CHEMICKÉ METÓDY NA VÝROBU ČISTÉHO MGO Z MAGNEZITU

	Metóda	Lúhovacie činidlo	Poznámka
1.	Dusičnanová (základná)	HNO_3	realizovaná (Slovensko, Duslo Šaľa)
2.	Chloridová s regeneráciou HCl	HCl	realizovaná (Slovensko, SMZ – Hačava); zrušená
3.	Chloridová bez regenerácie HCl	HCl	realizovaná (Juhoslávia)
4.	Chlorid-karbonátová	NH_4Cl	pripravená projektová dokumentácia



TABUĽKA V.
CHEMICKÉ ZLOŽENIE VSTUPNEJ MAGNEZITOVEJ SUROVINY ("PIESKY" JELŠAVA) V HM. %

MgO	CaO	FeO	SiO_2	Al_2O_3	I.O.I.	Others	Sum
40.5	4.3	3.8	1.7	0.3	49.2	0.2	100.0

Jednou z najdôležitejších aktuálnych úloh základného výskumu, aplikovaného výskumu a vývoja je navrhnúť a overiť nový, komplexný a efektívny technologický postup. Hlavnou otvorenou otázkou je minimalizácia výrobných nákladov (najmä cien surovín a spotrieb energií).

V rámci riešenia projektu UVP TECHNICOM bol navrhnutý postup prípravy čistých horečnatých solí z magnezitu. Technologická schéma navrhnutej a laboratórne overenej technológie je na OBRÁZKU 3.

Bol zostavený bilančný model hlavných technologických uzlov navrhnutej novej technológie - flexibilnej malotonážnej výroby čistých horečnatých solí z magnezitu. Čisté zlúčeniny horčíka sú výrobky s vysokou pridanou hodnotou nielen pre potreby priemyslu SR v súlade s prioritami RIS3, ale aj EÚ a sveta. Získané výsledky budú slúžiť ako podklady pre projektovú prípravu modelovej linky.

Suroviny

V rámci slovenského magnezitového priemyslu existujú aj veľké množstvá doteraz nespracovanej vyťaženej suroviny a/alebo odpadov, ktoré sa môžu použiť ako vstupy pre chemické spracovanie. Chemické zloženie magnezitu použitého pre vykonané laboratórne testy a zostavenie materiálovej bilancie procesu je v TABUĽKE V.

Energetická náročnosť

Energetická náročnosť závisí najmä od zložitosti technologického postupu, a tá – od použitej suroviny a stupňa jej využitia. Ide teda o problematiku, ktorá je kľúčová z hľadiska SR vysoko špecifická!

Environmentálne aspekty

V doteraz navrhovaných a realizovaných technológiách sa všetky sprievodné zložky („nečistoty" v použitej surovine) odstraňovali z procesu vo forme kvapalných a tuhých odpadov. Najnovšie výsledky preukázali, že z hľadiska komplexnosti využitia magnezitu je reálne znížiť nároky na rafináciu výluhu zvýšenou selektivitou lúhovania [4,5], pripraviť z nerozpustného zvyšku po lúhovaní čistý amorfný SiO_2 [6-8] alebo selektívnym zrážaním získať z výluhu sprievodné zložky vo forme hydroxidov alebo uhličitanov [9].

Za hlavný cieľ výskumu považujeme získať údaje potrebné pre predprojektovú a projektovú prípravu novej technológie pre *efektívnejšie a komplexné zhodnotenie slovenského magnezitu* – výroby výrobkov z magnezitu s vysokou pridanou hodnotou nielen pre potreby priemyslu SR v súlade s prioritami RIS3 (problematika patrí medzi definované priority pre oblasť špecializácie ***Materiálový výskum a nanotechnológie***, podtému *IV. Získavanie surovín a ich spracovanie*), ale aj EÚ a sveta.

Poďakovanie

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

[1] Magnesium Compounds and Chemicals: Global Industry Markets and Outlook, Roksill Information Services Ltd., London, 2013 (12. vydanie).

[2] Shand M.: The chemistry and technology of magnesia. United States of America: Copyright, 2006, 266s. ISBN 10: 0-471-65603-8

[3] „Štúdia realizovateľnosti technologického spracovania slovenského magnezitu, využiteľných odpadov z jeho ťažby a úpravy, ako aj kovových odpadov na báze horčíka, v súlade s inovačnými trendmi vo svete, EÚ a SR". Technická univerzita v Košiciach v spolupráci so Slovenskými magnezitovými závodmi, a.s. Jelšava, Ústavom anorganickej chémie Slovenskej akadémie vied a Ústavom materiálov a mechaniky strojov Slovenskej akadémie vied, Košice 2014.

[4] Špáková M., Raschman P., Fedoročková A.: Effect of temperature on the selectivity of leaching of high-calcium dead-burned magnesite using hydrochloric acid. In: Acta Metallurgica Slovaca, Vol. 11, no. 1 (2011), p. 32-37.

[5] Raschman P., Špáková M., Fedoročková A.: Effect of hydrochloric acid concentration on the selectivity of leaching of high-calcium dead-burned magnesite. In: Acta Montanistica Slovaca, Vol. 15, no. 3 (2010), p. 232-237.

[6] Fedoročková A. , Plešingerová B., Sučik G., Raschman P., Doráková A.: Characteristics of amorphous silica prepared from serpentinite using various acidiflying agents. In: International Journal of Mineral Processing, Vol. 130, (2014), p. 42-47.

[7] Fedoročková A., Raschman P., Sučik G., Popovič Ľ., Briančin J.: Processing of serpentinite tailings to pure amorphous silica. In: Ceramics – Silikáty Vol. 50, no. 4 (2015) p. 275-282.

[8] Fedoročková A., Raschman P., Sučik G., Ivánová D., Kavuličová J.: Utilization of chrysotile-type tailings for synthesis of high-grade silica by controlled precipitation. In: Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review Vol. 37 (2016) p. 1-8.

[9] http://www.prochemie.cz/chem/tech-list-hydroxid-zelezity-kemira-cfh.pdf

Materiálová recyklácia úletov z elektrických oblúkových pecí

T. Havlík*, A. Miškufová, T. Vindt, Z. Takáčová

* Technická univerzita v Košiciach /Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie, Ústav recyklačných technológií, Košice, Slovenská republika

tomas.havlik@tuke.sk

Abstrakt **– V príspevku sú prezentované výsledky hydrometalurgického spracovania úletov z elektrických oblúkových pecí (EOP) v poloprevádzkovom meradle na pilotnej prevádzke zariadenia vybudovaného v rámci Laboratória spracovania priemyselných odpadov. Poloprevádzkové experimenty nadväzujú na laboratórne výsledky štúdia možnosti spracovania oceliarenských úletov. Hydrometalurgický proces pozostáva z lúhovania EOP úletov v zásaditom a následne kyslom prostredí. Hlavným cieľom je získať v jednom procese predajné produkty na báze Zn oxid zinočnatý (ZnO) a síran zinočnatý ($ZnSO_4.nH_2O$).**

Kľúčové slová **– recyklácia, EOP úlet, hydrometalurgia, druhotné suroviny, zinok**

I. ÚVOD

Podľa štatistík World Steel Association dosiahla svetová produkcia surovej ocele v minulom roku vyše 1.6 mld. ton, pričom na Slovensku sa vyprodukovalo 4.8 mil. ton ocele [1]. Z uvedeného množstva sa približne 7 % ocele vyrobilo v elektrickej oblúkovej peci, pričom v súčasnosti jediným producentom ocele vyrábanej v EOP v rámci SR sú Železiarne Podbrezová a.s. Výroba ocele je spojená aj so vznikom tuhých odpadov a to oceliarenskej trosky a oceliarenských úletov. Odhaduje sa, že pri výrobe jednej tony ocele vznikne 10 – 20 kg úletov [2]. Samotné zloženie oceliarenských úletov závisí hlavne od vsádzky a procesov prebiehajúcich v EOP. V dôsledku toho predstavujú EOP úlety z chemického, ako aj z mineralogického hľadiska značne heterogénny materiál. Z dôvodu oxidačnej atmosféry sú EOP úlety tvorené prevažne oxidmi Fe a ťažkých neželezných kovov ako Zn, Pb, Cr, Cd a iné [3]. Práve z tohto dôvodu sa úlety z EOP podľa vyhlášky MŽP SR č. 365/2015 Z.z. (Katalógu odpadov), zaraďujú medzi nebezpečné odpady [4].

Medzi hlavné dôvody spracovania EOP úletov patria:

- materiálový potenciál z poľľadu obsahu Zn (obsah Zn v rozmedzí 8-35 %),
- možný zisk bohatého železonosného koncentrátu (napr. vhodne upravené vysokopecné pelety s obsahom Fe nad 55 %),
- zníženie množstva produkcie nebezpečného odpadu a/alebo jeho premena na ostatný odpad (zníženie poplatku za skládkovanie),
- šetrenie primárnych surovín získaných kovov resp. ich zlúčenín.

Na základe spolupráce medzi Ústavom recyklačných technológií a Výskumno-vývojovým centrom ŽP s.r.o. ohľadom možnosti recyklácie EOP úletu, bolo v roku 2013 založené Laboratórium spracovania priemyselných odpadov LSPO, ktoré sa nachádza v priestoroch ÚRT, TUKE. Súčasťou LSPO je aj poloprevádzkové zariadenia na hydrometalurgické spracovanie odpadov, ktorého systematická výstavba bola realizovaná na základe výsledkov laboratórneho výskumu danej problematiky. Technologická schéma hydrometalurgického spracovania EOP úletov pomocou modelu poloprevádzkového zariadenia je zobrazená na Obr. 1. Spracovanie EOP úletov sa realizuje pomocou zásaditého a kyslého lúhovania, pričom sa v závislosti od typu lúhovacieho média získavajú predajné produkty na báze Zn a to ZnO a $ZnSO_4.nH_2O$.

Obr. 1 Technologická schéma spracovania EOP úletov [5]

II. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

V súčasnosti model poloprevádzkového zariadenia pozostáva z dvoch liniek. Prvá linka disponuje skleneným reaktorom o objeme 35 l a druhá linka je vybavená reaktorom o objeme 100 l. Zostava oboch liniek je nasledovná:

- obehový termostat (ohrev sklenených reaktorov),
- sklenený reaktor s miešaním (objem 35 alebo 100 l),
- automatická aparatúra na meranie a reguláciu pH,
- zásobník pracovných roztokov o objeme 100 l,
- filtračné zariadenia s čerpadlom [5].

Súčasťou poloprevádzkovej linky sú aj ďalšie zariadenia, potrebné k technologickým procesom ako čerpadlá, sušiarne, elektrické pece, kryštalizátor.

A. Materiál

Oceliarensky úlet pre experimenty sa podrobil analýze prvkového a fázového zloženia. Výsledky sú zobrazené v nasledujúcej Tab. 1 a 2.

Tab. 1 Prvková analýza EOP úletu

prvok	Zn	Fe	Pb	Ca	Cu	Cd	Cr	Cl⁻
%	28.01	26.34	0.73	5.25	0.09	0.02	0.31	1.77

Tab. 2 Fázová analýza EOP úletu

Ref. kód	Názov zlúčeniny	Chemický vzorec
01-089-1012	ZincIron Oxide	Zn Fe2 O4
01-089-7102	Zinc Oxide	Zn O
01-075-1609	Iron Oxide	Fe3 O4
01-088-0867	MagnesiumAluminumIron Oxide	(Mg Al0.74 Fe1.26) O4
00-046-0291	CalciumIron Oxide	Ca0.15 Fe2.85 O4
01-075-0306	Sodium Chloride	Na Cl
01-089-8936	Silicon Oxide	Si O2
00-026-1077	Carbon	C
96-900-6723	Lime	Ca4.00 O4.00

Z uvedených výsledkov vyplýva že predmetný úlet obsahuje 28 % Zn a vyše 26 % Fe. Z fázovej analýzy vyplynula prítomnosť zinku v podobe zinkitu ZnO a franklinitu $ZnFe_2O_4$.

B. Proces neutrálneho lúhovania

Proces neutrálneho lúhovania sa realizoval za účelom odstránenia chloridov a zníženia obsahu Ca vo vzorke. Výsledky chemických analýz výluhu a lúženca po neutrálnom lúhovaní sú uvedené v Tab. 3 a Tab. 4.

Tab. 3 Chemická analýza výluhu po neutrálnom lúhovaní

prvok	Ca	Pb	Cr	Cl
µg/ml	918.7	100.7	4.98	1420

Tab. 4 Chemická analýza tuhého zvyšku po neutrálnom lúhovaní

prvok	Zn	Fe	Ca	Pb	Cr	Mn
%	28.06	27.17	3.66	0.70	0.16	1.48

Ako vyplýva z uvedených výsledkov, pri neutrálnom lúhovaní došlo k odstráneniu chloridov zo vzorky a k zníženiu obsahu Ca. Relatívne nízka koncentrácia Ca vo výluhu je dôvodom jeho vyzrážania z roztoku (viditeľná zrazenina).

C. Proces zásaditého lúhovania

Tuhý zvyšok z neutrálneho lúhovania postupoval do procesu zásaditého lúhovania pomocou roztoku uhličitanu amónneho $(NH_4)_2CO_3$.

Tab. 5 a 6 uvádzajú výsledky chemických analýz výluhu a tuhého zvyšku po zásaditom lúhovaní.

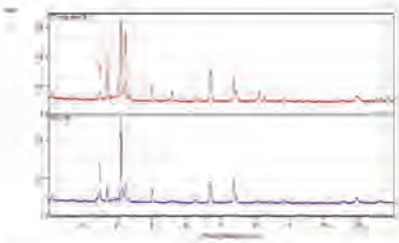
Tab. 5 Chemická analýza výluhu po zásaditom lúhovaní

prvok	Zn	Fe	Pb	Cu	Cr	Mn
µg/ml	15 697	16.97	25.64	15.62	2.28	0.39

Tab. 6 Chemická analýza tuhého zvyšku po zásaditom lúhovaní

prvok	Zn	Fe	Ca	Pb	Cr	Mn
%	16.1	29.77	6.24	1.07	0.19	2.36

Proces lúhovania úletu v roztoku $(NH_4)_2CO_3$ sa realizoval za účelom selektívneho vylúhovania Zn (predovšetkým z fázy ZnO) do roztoku. Pri zásaditom lúhovaní sa dosiahla výťažnosť Zn 56.47 % pri minimálnom prechode Fe do roztoku. Ako vyplýva z uvedených výsledkov, do roztoku sa vylúhovalo určité množstvo Pb a Cu. V tuhom zvyšku po lúhovaní zostalo nakoncentrované Fe a tiež zvyšok Zn vo fáze $ZnFe_2O_4$, ktorá sa v prostredí $(NH_4)_2CO_3$ nelúhuje.



Obr. 2 Porovnanie difraktogramov EOP úletu a tuhého zvyšku po zásaditom lúhovaní

Výsledky fázovej analýzy, difraktogramy zobrazené na Obr. 2, znázorňujú rozdiely po zásaditom lúhovaní, kedy Zn prítomný vo fáze ZnO prešiel do roztoku.

Výluh zo zásaditého lúhovania sa podrobil procesu cementácie práškovým Zn za účelom vyčistenia roztoku od nečistôt, ktoré sú elektropozitívnejšie ako Zn, najmä Pb, Cu, Cd a prípadne Fe.

Výsledky chemickej analýzy roztoku po cementácii sú uvedené v Tab. 7.

Tab. 7 Chemická analýza zásaditého výluhu po cementácii

prvok	Zn	Fe	Pb	Cu	Cr	Mn
µg/ml	15 994	15.6	0.57	0	1.82	0.57

Z výsledkov vyplýva, že procesom cementácie sa z roztoku podarilo odstrániť 100 % Cu a 97.2 % Pb. Rovnako došlo k zníženiu obsahu Fe. Vyčistený roztok sa podrobil procesu kryštalizácie a následne kalcinácii (900 °C) za účelom odstránenia chemicky viazanej vody a získania koncového produktu vo forme ZnO. Analýza vykryštalizovaného materiálu poukázala na prítomnosť Zn prevažne vo forme hydrozinkitu.

Z výsledkov experimentu možno konštatovať že na pilotnom poloprevádzkovom zariadení sa v zásaditej vetve materiálového toku procesu podarilo získať koncový produkt oxid zinočnatý ZnO.

D. Proces kyslého lúhovania

Tuhý zvyšok zo zásaditého lúhovania sa podrobil kyslému lúhovaniu v roztoku H_2SO_4 za účelom prevodu zvyšného Zn (zastúpeného vo fáze $ZnFe_2O_4$) do roztoku.

Ako vyplýva z výsledkov chemickej analýzy výluhu, Tab. 8, v procese kyslého lúhovania došlo k deštrukcii fázy $ZnFe_2O_4$ a k vylúhovaniu Zn do roztoku. Do výluhu prešlo aj isté množstvo Fe a iných prvkov, preto bolo potrebné kyslý výluh vyčistiť.

Tab. 8 Chemická analýza výluhu z kyslého lúhovania

prvok	Zn	Fe	Pb	Cu	Cr
µg/ml	14 560	4927	3.96	36.17	56.4

Železo sa z kyslého výluhu precipitovalo tzv. goethitovým procesom, ktorý možno z ekonomického a technologického hľadiska považovať za najvýhodnejší. Neutralizačné činidlo (NaOH) sa do skleneného reaktora pridávalo pomocou automatickej jednotky regulácie pH, čím sa zabezpečili potrebné podmienky k vyzrážaniu Fe z roztoku. Proces precipitácie popisuje rovnica (1).

$$Fe_2(SO_4)_3 + 6NaOH = 2FeO^*OH + 3Na_2SO_4 + 2H_2O \qquad (1)$$

Výsledky chemickej analýzy roztoku po precipitácii goethitovým procesom sú uvedené v Tab. 9.

Tab. 9 Chemická analýza kyslého výluhu po precipitácii

prvok	Zn	Fe	Pb	Cu	Cr
µg/ml	14 460	59.72	0.92	19.57	1.37

Po precipitácií železa sa z kyslého výluhu vycementovali nečistoty, ktoré prešli do roztoku pri procese lúhovania v H_2SO_4. Jedná sa hlavne o olovo a meď, ktoré sú elektropozitívnejšie ako Zn, preto sa cementácia realizovala pridávaním práškového Zn.

Výsledky experimentov, (uvedené v Tab. 10), preukázali možnosť odstránenia 100 % Cu a vyše 90 % Pb z roztoku pochádzajúceho z lúhovania EOP úletov v prostredí H_2SO_4.

Tab. 10 Chemická analýza kyslého roztoku po cementácii

prvok	Zn	Fe	Pb	Cu	Cr
µg/ml	15 125	42.52	0.52	0	1.15

V prípade že po kroku precipitácie Fe zostalo v roztoku ešte stále nadlimitné množstvo Fe, dochádza v procese cementácie k jeho dodatočnému zníženiu.

Takto vyčistený roztok sa podrobil procesu kryštalizácie. Kryštalizácia síranu zinočnatého sa realizovala v kryštalizátore, ktorý je súčasťou poloprevádzkovej linky. V zariadení sa z roztoku odparovala voda až do bodu kryštalizácie síranu zinočnatého. Vykryštalizovaný produkt sa následne oddelil od zvyšného roztoku a sušil pri teplote 80 °C po dobu 24 hod. Uvedeným procesom spracovania EOP úletov sa v kyslej vetve získal produkt vo forme síranu zinočnatého.

Na Obr. 3 a 4 sú znázornené finálne produkty materiálovej recyklácie EOP úletov na pilotnom poloprevádzkovom zariadení.

Obr. 3 Oxid zinočnatý

Obr. 4 Síran zinočnatý

Nasledujúce Obr. 5 až 8 zobrazujú kľúčové uzly poloprevádzkovej linky na hydrometalurgické spracovanie oceliarenských úletov.

Obr. 5 Automatická regulácia pH

Obr. 6 Lúhovací reaktor

Obr. 7 Kryštalizátor

Obr. 8 Kalolis (filtrácia)

Materiálovou recykláciou EOP úletov na pilotnom poloprevádzkovom zariadení sa získali predajné produkty na báze Zn v podobe ZnO a $ZnSO_4.nH_2O$.

III. ZÁVER

Vzhľadom na relatívne nízke množstvo vyprodukovaného EOP úletu v podmienkach Slovenskej republiky možno hydrometalurgický spôsob spracovania považovať za najperspektívnejší. Vyhláška MŽP SR č. 365/2015 Z.z. (Katalóg odpadov) zaraďuje EOP úlety do kategórie nebezpečného odpadu. Ich spracovaním by sa okrem ekonomického profitu v podobe získania cenných komerčných zložiek, dosiahla aj úspora nákladov v podobe poplatkov za skládkovanie tohto nebezpečného odpadu.

Doposiaľ realizovaný laboratórny výskum hydrometalurgického spracovania v rámci LSPO preukázal potenciál uvedeného spracovania EOP úletov. Na základe toho sa zrealizovala výstavba pilotného poloprevádzkového zariadenia na hydrometalurgické spracovanie EOP úletov. Spracovaním úletov na tomto zariadení pomocou zásaditého a kyslého lúhovania s príslušnými operáciami čistenia roztokov sa získali produkty na báze Zn v podobe ZnO a $ZnSO_4.nH_2O$. Možnosť výroby týchto dvoch produktov v rámci jednej technológie spracovania v dvoch vetvách predstavuje originálne riešenie materiálovej recyklácie EOP úletov.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií – II. fáza Kód ITMS: 313011D232 spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

LITERATÚRA

[1] Statistics archive [online]. Dostupné na internete: www.worldsteel.org/statistics-archive.html [cit. 16.04.2018]

[2] G. Maruškinová, T. Havlík, F. Kukurugya, I. Kobialková: Výroba ZnO hydrometalurgickým spracovaním oceliarenských úletov, In: Zborník príspevkov Odbornej konferencie ŽP VVČ 2015, 21.-23. september 2015 Tále, s. 152-157, ISBN: 978-80-972091-4-8

[3] Kukurugya F., Vindt T., Havlík T.: Behavior of zinc, iron and calcium from electric arc furnace (EAF) dust in hydrometallurgical processing in sulfuric acid solutions: Thermodynamic and kinetic aspects. In Hydrometallurgy 154 (2015), pp 20-32.

[4] Vyhláška MŽP SR č. 365/2015 Z.z., ktorou sa ustanovuje Katalóg odpadov

[5] T. Vindt, P. Turek, G. Maruškinová, T. Havlík: Model polóprevádzkového zariadenia na hydrometalurgické spracovanie úletov z EOP. In: Zborník príspevkov z odborného seminára Materiálová recyklácia priemyselných odpadov, 22.-23. 09. 2016, Tále, s. 115-127, ISBN: 978-80-553-2597-2.

Výskum v oblasti inovatívnych interakcií človek-počítač

N. Kopčo*, J. Uličný**, B. Tomoriová*, E. Vlahou*, R. Šebeňa*, P. Jakabčin** a L. Mikeš*
* Ústav informatiky, Prírodovedecká fakulta, Univerzita P. J. Šafárika v Košiciach
** Ústav fyzikálnych vied, Prírodovedecká fakulta, Univerzita P. J. Šafárika v Košiciach
norbert.kopco@upjs.sk, jozef.ulicny@upjs.sk, beata.tomoriova@upjs.sk, eleni.vlahou@upjs.sk, rene.sebena@upjs.sk, patrik.jakabcin@student.upjs.sk, ladislav.mikes@upjs.sk

Abstrakt **– V príspevku uvádzame stručný prehľad výskumných úloh riešených v rámci projektu TECHNICOM. Úlohy sa primárne týkajú dvoch oblastí, 1) biomedicínske zobrazovanie a 2) ľudské sluchové vnímanie. V oblasti biomedicínskeho zobrazovania sme sa sústredili na vývoj nových zobrazovacích techník zameraných na aplikácie v chirurgii gastrointestinálneho traktu a interaktívne vizualizácie biomedicínskych a biomolekulárnych objektov. Na Univerzite P.J. Šafárika sme založili spin-off spoločnosť, s cieľom transformovať výsledky tohto výskumu do aplikovanej podoby. V oblasti ľudského sluchového vnímania sa náš výskum sústredil na témy súvisiace s vnímaním reči, s priestorovým sluchom a jeho adaptáciou a s pozornostným riadením. Porozumenie mechanizmom sluchového vnímania má potenciálne využitie v oblasti sluchovej protetiky alebo virtuálnej reality.**

Keywords **– biomedical imaging, spatial hearing, phonetic learning, attentional control**

I. Úvod

V tomto príspevku stručne predstavíme niektoré z úloh riešených v rámci projektu TECHNIKOM, ako aj dosiahnuté výstupy v oblasti transferu technológií alebo podpory zahraničnej spolupráce.

II. Riešené výskumné úlohy

A. Biomedicínske zobrazovanie

1) Kontrastovacia zmes pre aplikácie v chirurgii gastrointestinálneho traktu [1]

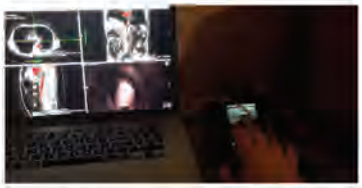
Neoplázie gastrointestinálneho traktu sú nádorovo transformované tkanivá, ktoré môžu bez liečby prepuknúť v malígne tumory. Terapia spočíva zvyčajne v chirurgickom odstránení detekovaných neoplázií. Niektoré polypy môžu byť odstránené počas endoskopického vyšetrenia za použitia tzv. polypektomie, t.j. aplikáciou polypektomickej slučky. Tieto techniky nazvané endoskopická mukozálna resekcia (EMR) a endoskopická resekcia (ER) typu „lift&cut" vyžadujú použitie submukozálnej injekcie pred samotnou biopsiou. Táto injekcia spôsobí separáciu neoplázie od *muscularis propia* a umožní tak aplikáciu polypektomickej slučky a ovládanie procesu rezu.

Vyvinuli sme kontrastovaciu zmes na diagnostiku a chirurgickú liečbu neoplázie gastrointestinálneho traktu, ktorá umožňuje vizuálne lepšie odlíšiť polyp od zdravého tkaniva zvýraznením hranice medzi zdravým tkanivom a neoplastickým tkanivom, ako aj zväčšením objemu neoplastického tkaniva, a taktiež predĺži časové okno počas ktorého je možné aplikovať polypektómiu na 10-25 minút. Tým pomáha zvýšiť presnosť a kvalitu polypektómie. Na transfer tejto technológie do praxe bol založený start-up SAFTRA-IMAGINE.

Tomuto výskumu Centrum vedecko-technických informácií SR udelilo Cenu za transfer technológií 2017 v kategórii Inovácia.

2) Interaktívne vizualizácie biomedicínskych a biomolekulárnych objektov[2]

V tejto časti sme za zameriavali na 3D vizualizácie volumetrických reprezentácií rôznych biomedicínskych a biomolekulárnych objektov, ako napr. segmentovaných anatomických štruktúr z laserových skenov, z CT, MRI, alebo fMRI dát. Objekty boli konvertované na používateľom požadované reprezentácie a integrované s intuitívnejšími spôsobmi ovládania (napr. haptický, Obr. 1). Integrácia volumetrických dát s interaktívnymi vlastnosťami má potenciál zlepšiť diagnostické procesy alebo trénovanie medicínskeho personálu.



Obr. 1. Virtuálna bronchoskopia s použitím 3DConnexion joysticku a Osirix, MacBook Pro. (Marek Franko)

3) Ďalšie témy

Okrem vyššie-uvedených úloh sme sa venovali analýze a spracovaniu procesu rozhodovania v terapeutickom procese, analýze špecifík akvizície RTG zobrazovania ultravysokého rozlíšenia a aplikácii novej generácie CT a CDI techník.

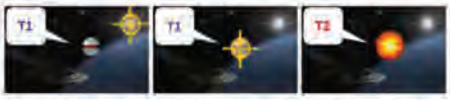
B. Ľudské sluchové vnímanie

1) Vnímanie reči [3,4]

Skúmali sme vnímanie foném z nenatívneho jazyka. Špecificky, zamerali sme sa na to, ako je získanie nových fonetických kategórií ovplyvnené počúvaním nenatívnych foném v meniacich sa akustických prostrediach. Hlavnými otázkami boli: bude vystavenie rôznym akustickým prostrediam napomáhať alebo zhoršovať učenie sa nových foném? Bude prípadný vplyv akustických prostredí

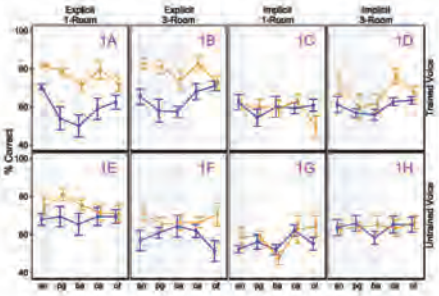
závisieť od formy tréningu (explicitný alebo implicitný)? Dôjde k zovšeobecneniu učenia na nové hlasy, miestnosti, rečové jednotky?

Účastníci experimentu boli trénovaní na kategorizáciu dentálnych/retroflexných slabík v hindštine v rôznych simulovaných akustických prostrediach. Tréning bol realizovaný buď explicitnou formou (od účastníka sa požadovalo kategorizovať fonémy a dostal okamžitú spätnú väzbu) alebo implicitnou formou (pasívne počúvanie rôznych fonetických kategórií pri hraní videohry, pričom akcia účastníka v hre ovplyvňovala, aká kategória foném bude prezentovaná, Obr. 2).



Obr. 2. Schéma paradigmy využívanej pre implicitný tréning. V každom trilali sa na obrazovke objavil objekt, pričom zazneli dva identické zvuky z kategórie T1. Ak sa účastníkovi podarilo objekt zostreliť, vyprodukoval dva identické zvuky z kategórie T2. Hra sa prispôsobovala zlepšovaniu sa hráča zrýchlením pohybu objektu. Zdroj: [3]

Obr. 3 ukazuje základné výsledky. Pri explicitnom tréningu sa nenašiel významný rozdiel medzi skupinami trénovanými v jednom akustickom prostredí versus vo viacerých prostrediach (1A vs 1B). Výkon sa výrazne zlepšil pre trénovaný hlas a trénované prostredia (sivé oblasti, 1A-B). Bola pozorovaná výrazná generalizácia na netrénované prostredia (biele oblasti, 1A-B) a slabšia generalizácia na netrénovaný hlas (1E-F). Implicitný tréning bol efektívny iba pre účastníkov trénovaných na viacerých akustických prostrediach (1C vs 1D) a nebola pozorovaná generalizácia učenia na netrénovaný hlas.



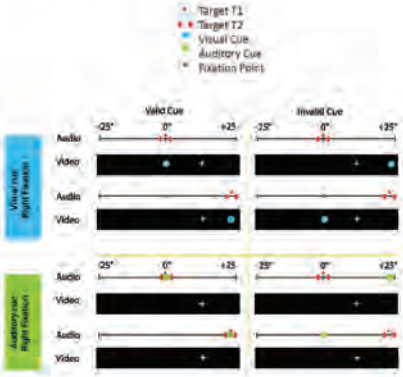
Obr. 3. Priemerný pre-test a post-test výkon pre rôzne trénované skupiny (1 miestnosť / 3 miestnosti, explicitný / implicitný tréning; viď rôzne stĺpce) a trénovaný / netrénovaný hlas (riadky). Zdroj: [3]

Výsledky naznačujú, že vystavenie sa rôznym akustickým prostrediam napomáha spontánnemu fonetickému učeniu. Detailnejší popis výsledkov tejto štúdie je v referenciách [3,4].

Tento výskum môže byť potenciálne užitočný pri návrhu aplikácií slúžiacich na trénovanie cudzieho jazyka.

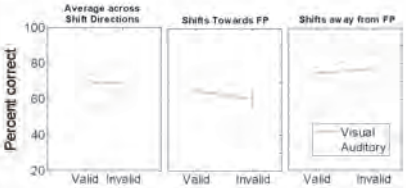
2) Pozornostné riadenie [5]

Predošlé štúdie skúmajúce vplyv pozornosti na priestorový sluch ukázali, že pozornostná nápoveda zlepšuje reakčné časy [6] ale neboli nájdené zlepšenia v presnosti lokalizácie [7]. Ďalšia štúdia [8] ukázala zlepšenie sluchovej rozlišiteľnosti v priestorových parametroch zvuku v prípade vizuálnej nápovedy (pohľad bol nasmerovaný k stimulu), nie však sluchovej.



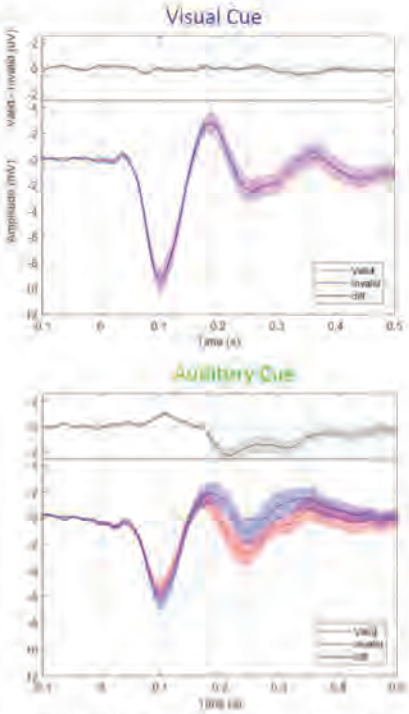
Obr. 4 Priestorové rozmiestnenie stimulov v rôznych experimentálnych podmienkach. Zdroj: [5]

V tejto štúdii sme skúmali vplyv pozornosti na priestorovú rozlišiteľnosť zvukov vo virtuálnom prostredí. Snímali sme taktiež EEG signály s cieľom nájsť neurálne koreláty. Účastníci experimentu posudzovali relatívnu pozíciu dvoch sekvencií zvukov, ktorých prezentácii predchádzala vizuálna alebo sluchová nápoveda, pričom ich pohľad bol fixovaný na neutrálnu pozíciu. Jednotlivé experimentálne podmienky sú zobrazené na Obr. 4.



Obr. 5 Percento správnych odpovedí pre platnú (správne napovedajúcu stranu odkiaľ zaznejú sluchové stimuly) a neplatnú (nesprávnu) nápovedu, separátne pre rôzne modality nápovede (vizuálna – modrá čiara, sluchová – zelená čiara) a pre rôzne smery vzhľadom k fixačnému bodu (stĺpce). Zdroj: [5]

Výsledky (Obr. 5) ukázali, že 1) výkon bol celkovo lepší v prípade vizuálnej nápovedy, 2) sluchová nápoveda prezentovaná z nekongruentnej pozície mala zhoršujúci vplyv na výkon a 3) tieto efekty boli závislé na tom, či smer zmeny sluchového stimulu bol smerom k alebo od zrakového fixačného bodu. Tieto výsledky mali neurálne koreláty v neskorších ERP komponentoch (Obr. 6).



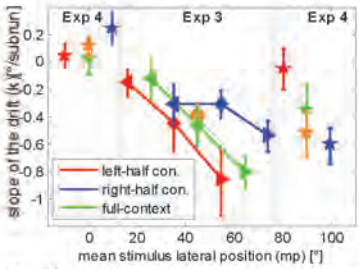
Obr. 6 ERP výsledky pre platné (červená), neplatné (modrá) nápovedy a ich rozdiel (sivá), pre vizuálnu (vrchný panel) a sluchovú (spodný panel) nápovedu Zdroj: [5]

Výsledky celkovo naznačujú komplexné interakcie medzi mechanizmami súvisiacimi s pozornosťou, ovládaním smeru pohľadu a priestorovým spracovaním sluchovej informácie. Detailnejší popis výsledkov je v referencii [5].

Výsledky tohto výskumu by mohli nájsť potenciálne využitie v oblasti sluchovej protetiky, napr. pre kognitívne ovládanie sluchových protetických zariadení.

3) Adaptácia v priestorovom sluchovom vnímaní [9,10,11]

Ďalším zo skúmaných problémov je adaptácia v priestorovom sluchovom vnímaní. Skúmali sme, ako je lokalizácia cieľového zvuku ovplyvnená predchádzajúcimi zvukmi. Sústredili sme sa primárne na tzv. „kontextuálnu plasticitu", ktorá sa prejavuje ako posuny v lokalizácii zvukov v prípade, že cieľovému zvuku v niektorých (kontextuálnych) meraniach predchádza rušivý zvuk z fixnej pozície v priestore. Tieto posuny sa objavujú aj v meraniach, kde cieľovému zvuku nepredchádzal žiaden rušivý zvuk, a ktoré sú premiešané s meraniami s rušivým zvukom. Analyzovali sme výsledky niekoľkých lokalizačných experimentov s cieľom charakterizovať kontextuálnu plasticitu z rôznych aspektov (ako závisí od časových vlastností kontextu, metódy odpovedania, priestorových aspektov kontextu a pod.). V súvislosti s CP sme v lokalizačných odpovediach identifikovali adaptačné javy prejavujúce sa na rôznych časových škálach.



Obr. 7 Priemerné sklony driftu (smernice lineárneho fitu odpovedí) ako funkcia pozície stredu distribúcie vzhľadom k mediálnej rovine. Jednotlivé dative body zodpovedajú rôznym experimentálnym podmienkam (blokom meraní s rôznymi distribúciami stimulov). Dátové body zodpovedajúce podmienkam, ktoré sa líšili len poziciou pasívne počúvaných kontextuálnych stimulov sú pospájané čiarami pre lepšie porovnanie. Zdroj: [11]

Obr. 7 ukazuje jeden z týchto adaptačných javov, prejavujúci sa ako postupné posuny (drift) v lokalizačných odpovediach smerom dopredu, v priebehu jedného bloku merania. Tento drift závisel od priestorovej distribúcie stimulov v rámci bloku merania, ktorá bola výrazne ovplyvnená práve rušivým zvukom, ktorý znel najčastejšie, a ktorý účastník iba pasívne počúval a nemal naň odpovedať. Obrázok ukazuje sklon driftu odpovedí (negatívne hodnoty predstavujú postupné posuny smerom dopredu) pre bloky s rôznymi distribúciami stimulov (rôzne dátové body), ako funkciu laterality stredu distribúcie v danom bloku. Veľkosť driftu vo všeobecnosti rástla s rastúcou vzdialenosťou stredu distribúcie stimulov od mediálnej roviny, t.j. od pozície „priamo vpredu" (zjednodušene, odpovede sa postupne posúvali dopredu v priebehu bloku výraznejšie, ak väčšina kontextuálnych zvukov prichádzala zo strany). Detailnejší popis výsledkov týkajúcich sa kontextuálnej plasticity a súvisiacich adaptačných mechanizmov je v referenciách [9,10,11].

Výsledky tohto výskumu prispievajú k pochopeniu adaptačných javov v priestorovom sluchu. Môžu byť potenciálne užitočné pri návrhu sluchových displejov, keďže adaptačné javy spôsobujúce posuny vo vnímaní môžu spôsobiť ich rozladenie.

III. Spolupráca a transfer technológií

V rámci pilotného projektu sme sa tiež venovali posilneniu/vybudovaniu spolupráce so súkromným sektorom ako aj s viacerými zahraničnými univerzitami.

V oblasti výskumu ľudského vnímania sme spolupracovali s nasledujúcimi inštitúciami: *Massachusetts General Hospital / Harvard Medical School*, s ktorými sme spolupracovali na analýze fMRI dát (súčasťou je aj dohoda o zdieľaní dát umožňujúca získavanie a analýzu dát poskytnutých americkou stranou), *Boston University*, kde sa spolupráca týkala EEG výskumu a tiež výskumu audiovizuálneho vnímania v

komplexných prostrediach, *University of California, Riverside*, kde spolupráca spočívala primárne vo výskume fonetického učenia.

Čo sa týka oblasti biomedicínskeho zobrazovania, rozvinuli sme spoluprácu s oddelením Computed Tomography v spoločnosti *Siemens Corporate Technology DC EU – HealthCare*, ktorá bola zameraná na vizualizáciu biomedicínskych objektov a rekonštrukciu biomedicínskych dát z nových generácií experimentov hlavne v oblasti počítačovej tomografie (CT) anatomických aj mikroobjektov, rekonštrukciu dát získavaných zo SPECT modality a redukciu radiačnej záťaže vzorky (pacient resp. mezoskopické biomedicínske vzorky) inteligentnými metódami spracovania menšieho počtu projekcií a limitovaného fotónového rozpočtu. Naše aktivity smerovali tiež k vytvoreniu spoločného pracoviska s firmou *DCore*, v rámci ktorého sa budeme zameriavať na inovatívne využitie stereoskopickej informácie a tzv. „augmented reality" v biomedicínskom zobrazovaní. Jedným z výsledkov naších aktivít pri vývoji lepších nástrojov pre biomedicínske zobrazovanie znižujúcich kognitívnu záťaž (v danom prípade chirurga) je podanie PPV na vývoj kontrastovacích látok pri operáciách gastrointestinálneho traktu. Bola vytvorená spoločnosť *SAFTRA Imagine* so spoluvlastníctvom UPJŠ zameraná na komercionalizáciu tohto PPV.

Poďakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj, pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií, kód ITMS:26220220182, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

Referencie

[1] P. Jakabčin, J. Uličný, "Kontrastovacia látka so zvýšenou afinitou a selektivitou pre diagnostiku a chirurgickú liečbu novotvarov trácieciehо traktu a jej použitie" poster z konferencie *Transfer technológií na Slovensku a v zahraničí*, Bratislava 10-11.10. 2017.

[2] Patrik Vagovic, Tokushi Sato, Rita Graceffa, Pablo Villanueva-Perez, Ladislav Mikes, Christian David, Margie Olbinado, Alexander Rack, Andrej Hovan, Jozef Ulicny, Marcin Sikorsky, Henry Chapman, Alke Meents, Joachim Schulz, Thomas Tschentscher, Adrian Mancuso; "Tracking of stochastic processes with full field hard X-ray MHz rate single pulse imaging", Invited talk at Symposium "Fast/Ultrafast Characterization of Irreversible Transformations in Materials with X-rays and Electrons", Materials Science & Technology 2018, 10/14/2018 - 10/18/2018, Columbus, OH, USA, http://www.matscitech.org

[3] Vlahou, E., Seitz, A., & Kopco, N. (2015). Nonnative phonetic category training in varying acoustic environments. 169th Meeting of the Acoustical Society of America. Pittsburgh, Pennsylvania, US, 21–25 May

[4] Vlahou, E., Seitz, A. & Kopčo, N. (2014). ARO Abstract #806.

[5] Kopčo, N., Šebeňa, R., Hrebenarova, B., Ahveninen, J., Best, V., & Shinn-Cunningham, B. (2018). "Visual vs. auditory attentional cueing and auditory spatial discrimination" (poster presented at the Cognitive Neuroscience Society 2018 Annual Meeting, March 24-27, 2018 in Boston, MA, USA).

[6] Sach, AJ, Hill, NI, and Bailey PJ. (2000) Auditory spatial attention using interaural time differences. JEP:HPP. 26(2):717-729

[7] Spence, CJ and Driver J (1994) Covert spatial orienting in audition: Exogenous and endogenous mechanisms. JEP:HPP. 20(3): 555-574

[8] Maddox RK, Pospisil DA, Stecker GC, et al. (2014) Directing eye gaze enhances auditory spatial cue discrimination. Current Biology : 24: 748-52

[9] Hládek, L., Tomoriová, B., and Kopčo, N. (2017). Temporal characteristics of contextual effects in sound localization. Journal of the Acoustical Society of America, 142, 3288–3296. (journal link, doi: 10.1121/1.5012746).

[10] Kopčo N, Marcinek Ľ, Tomoriova B, Hládek Ľ (2015). Contextual plasticity, top-down, and non-auditory factors in sound localization with a distractor, Journal of the Acoustical Society of America 137, EL281, (pdf, DOI: 10.1121/1.4914999)

[11] Tomoriová, B., Andrejková, G., & Kopčo, N. (2017). Effect of stimulus distribution on the buildup of contextual plasticity in sound localization. Poster prezentovaný na konferencii Kognícia a umelý život (Cognition and Artificial Life), 31.5. – 2.6.2017, Trenčianske Teplice.

Vývoj informačných systémov pre podporu riadenia vzdelávania, vedy a výskumu

RNDr. Radovan Engel, PhD., Mgr. Martin Neméček
Centrum Informatiky a Informačných technológií (CIIT)/TIP-UPJŠ, Košice, Slovenská republika,
radovan.engel@upjs.sk

Abstrakt **– Článok popisuje inovácie akademického informačného systému AiS2 slúžiaceho pre podporu riadenia vzdelávania, vedy a výskumu na 18 slovenských verejných a súkromných vysokých školách. Rozšírenia sú reakciou na aktuálne trendy v oblasti technológií ale aj prebiehajúcich procesov na vysokých školách a ovplyvňujú všetky skupiny používateľov systému. Ich implementáciou sa výrazne zvýšila konkurencieschopnosť systému AiS2 na trhu.**

Kľúčové slová **– akademický informačný systém, mobilné zariadenia, procesné riadenie, štatistické prehľady, elektronická registratúra**

I. ÚVOD

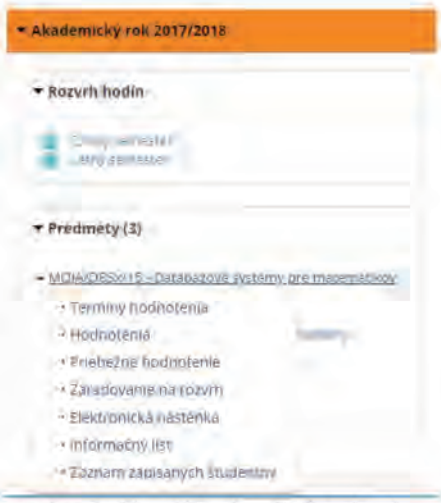
Akademický informačný systém AiS2 so svojou tradíciou siahajúcou dve dekády do minulosti a so svojim zázemím, ktoré tvorí 18 slovenských vysokých škôl s približne 100 tisíc používateľmi, ponúka komplexné riešenia pre akademickú sféru. Cieľom projektu je zúročenie mnohoročných skúseností so správou vysokoškolskej pedagogickej a vedeckej činnosti, predovšetkým znalostí procesov na vysokých školách rôzneho zamerania, a praxe z doterajšieho vývoja informačného systému pri vývoji inovovaného produktu AiS2. Konkrétne došlo k rozvoju v oblasti podpory mobilných zariadení, pokroku na poli ovládania systému, podpore manažmentu vysokých škôl a tiež rozvoju procesného riadenia. Podrobnejšie sú spomenuté oblasti popísané v nasledujúcich kapitolách.

II. PODPORA MOBILNÝCH ZARIADENÍ

Veľký nárast vo využívaní mobilných zariadení predstavuje trend, ktorý výrazným spôsobom mení požiadavky používateľov na prácu s webovým službami. Platí to obzvlášť pre mladých ľudí, ktorí sú z hľadiska používateľov systému AiS2 reprezentovaní skupinou študentov/absolventov a s narastajúcim trendom zasahujú aj do skupiny učiteľov a vedcov. Zámerom projektu preto bolo implementovať moderné metódy a technológie s cieľom postupne transformovať časti systému AiS2, ktoré sú kľúčové pre spomínané skupiny používateľov, do podoby ľahko dostupnej na mobilných zariadeniach. Konkrétne sa jedná o responzívne webové aplikácie dostupné bez ohľadu na technológiu, ale aj natívne mobilné aplikácie pre najrozšírenejšie platformy.

A. Učiteľské zobrazenie AiS2

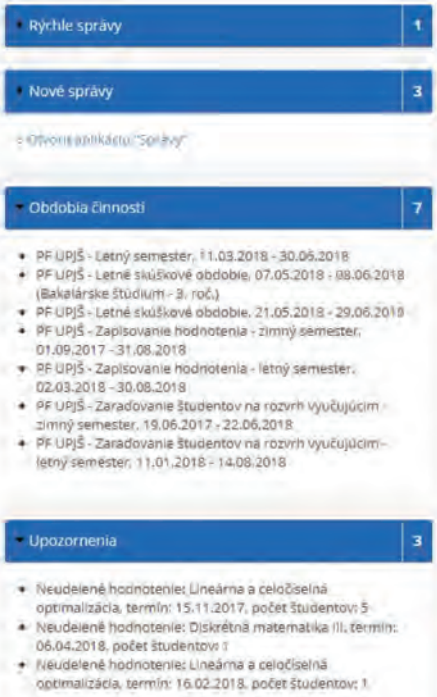
Najvýznamnejšiu zmenu v tejto oblasti predstavuje učiteľské zobrazenie portálu AiS2 sprístupňujúce všetky



obr. 1. Panel akademického roka na učiteľskom zobrazení

dôležité informácie a funkcie pre vyučujúceho na jednom mieste bez nutnosti otvárania viacerých aplikácií. Učiteľské zobrazenie bolo vyvíjané v nadväznosti na študentské zobrazenie predovšetkým po technologickej stránke a tiež z hľadiska základnej štruktúry. Boli však zohľadnené špecifiká práce vysokoškolského pedagóga v akademickom informačnom systéme AiS2. Ide predovšetkým o previazanie s priebehom akademického roka a jednotlivými činnosťami, ktoré používateľ systému potrebuje spravovať z hľadiska svojej pozície vysokoškolského pedagóga. Panel s aktuálnym akademickým rokom je preto dominantným panelom učiteľského zobrazenia. Jeho obsahom je aktuálny rozvrh používateľa v oboch semestroch, zoznam vyučovaných predmetov a aktuálne vedené záverečné práce. Výberom jednotlivých predmetov alebo prác sa zobrazuje menu najpoužívanejších činností umožňujúce bezprostrednú prácu so zvoleným predmetom, prácou (obr. 1).

Systém ďalej na paneli Obdobia činností informuje používateľa o aktuálne prebiehajúcich a tiež blížiacich sa dátumových akciách súvisiacich s harmonogramom akademického roka (semestre, skúškové obdobia, obdobia prihlasovania na rozvrh vyučujúcim, obdobia vypisovania termínov hodnotenia, ...). V neposlednom rade tiež systém



obr. 2. Ďalšie panely učiteľského zobrazenia

prostredníctvom panelu s upozorneniami pripomína vyučujúcemu niektoré nastávajúce udalosti (termíny hodnotenia, ...) a očakávané činnosti (zapísanie hodnotenia, ...). Súčasťou učiteľského zobrazenia sú samozrejme aj štandardné panely so správami systému a rýchlymi správami systému (obr. 2) a tiež menu s najpoužívanejšími aplikáciami.

Keďže niektorí vyučujúci majú okrem svojich pedagogických povinností aj úlohy súvisiace so správou systému, napríklad v súvislosti s rozvrhom, správou študijných plánov alebo z iného dôvodu, obsahuje učiteľské zobrazenie aj rýchly prístup k všetkým aplikáciám používateľa vyplývajúcim z jeho oprávnení. Takýto používateľ sa tak nemusí prepínať späť do pôvodnej verzie portálu AiS2, do takzvaného univerzálneho zobrazenia.

B. Študentské zobrazenie AiS2, ePrihlas (elektronická prihláška)

Inováciou prešlo aj spomenuté študentské zobrazenie a portál ePrihlas, obe vytvorené v rovnakej technológii, aká je použitá na učiteľskom zobrazení. Jedná sa teda o responzívne, platformovo nezávislé webové aplikácie.

Špecificky v študentskom zobrazení boli zohľadnené požiadavky z praxe v súvislosti s rozšírením menu najpoužívanejších študentských aplikácií. Zároveň bol doplnený nový panel s dotazníkmi, ktoré sú aktuálne prístupné pre daného študenta s možnosťou ich priameho vyplňania.

Portál ePrihlas, ktorý slúži na zadávanie elektronických prihlášok na štúdium na vysokej škole, bol obohatený o možnosť podávania prihlášok tzv. neurčeného stupňa zahrňujúceho napr. rozširujúce a doplňujúce štúdium, rigorózne a iné konania. Zároveň bolo zapracované rozšírenie procesu administrácie prijímacieho konania o možnosť zaradenia jedného študijného programu na viacero rôznych termínov aj mimo viackolového prijímacieho konania a ďalšie úpravy v tzv. aktovke uchádzača. Bol tiež doplnený proces výberu voliteľných predmetov na portáli v prípade viackolového prijímacieho konania.

C. Mobilná aplikácia pre študentov

Okrem spomínaných responzívnych a platformovo nezávislých webových aplikácií boli zrealizované aj rozšírenia mobilnej aplikácie, ktorá vznikla pôvodne ako jednoúčelová aplikácia slúžiaca na prihlasovanie sa študentov na termíny hodnotenia. Predovšetkým na základe podnetov zo strany používateľov dochádza k jej kontinuálnemu rozvoju. Špecificky bol v rámci riešenia projektu Technicom pridaný nový prehľad hodnotení obsahujúci možnosť zobrazenia detailov hodnotenia a notifikácií o zmene hodnotenia. Ďalej bolo doplnené zobrazenie rozvrhu (obr. 3) aj s možnosťou detailného prehľadu a tiež so zoznamom osôb prihlásených na danú rozvrhovú akciu.

obr. 3. Detail hodnotenia v mobilnej aplikácii

Aplikácia je aktuálne dostupná pre najrozšírenejší operačný systém pre mobilné zariadenia - Android (https://play.google.com/store/apps/details?id=ais.mais.android.client.terminy&hl=sk) a má podľa informácií na Google Play 10 000+ inštalácií. Backend aplikácie je platformovo nezávislý a pripravený byť implementovaný aj pre ďalšie operačné systémy, najpravdepodobnejšiu kandidátom je iOS.

III. ÚPRAVY ROZHRANIA A OVLÁDANIA SYSTÉMU

Okrem majoritných používateľov akademického informačného systému AiS2, ktorými sú študenti a pedagógovia, so systémom intenzívne pracujú aj ďalšie skupiny používateľov. Jedná sa predovšetkým o správcov v jednotlivých subsystémoch, referentky, ale aj zástupcov manažmentu vysokej školy. Každá z týchto skupín má svoje špecifické požiadavky na grafické rozhranie, ovládanie a funkcionalitu. Prispôsobovanie rozhrania a ovládania systému spomínaným skupinám používateľov tzv. „šitie na mieru" bolo ďalšou prioritou projektu.

A. Úprava rozhrania systému pre tvorcov rozvrhu

Spomedzi viacerých uskutočnených úprav spomenieme rozšírenie aplikácie pre tvorbu rozvrhu o nový panel Miestnosti, ktorý pre zvolený časový interval preveruje možnosti použitia miestnosti z hľadiska zaradenia rozvrhového okienka, čím zefektívňuje prácu tvorcov rozvrhu.

B. Podpora centrálnych správcov systému

Podotkneme aj prispôsobenie funkčnosti a dizajnu dialógov určených na odosielanie výziev prihláseným používateľom (napríklad o plánovanej odstávke systému) a sú užitočným nástrojom v rukách centrálneho správcu systému.

C. Rozšírenia reportovacieho nástroja

Internou súčasťou akademického informačného systému AiS2 je aj takzvaný reportovací nástroj, ktorý umožňuje spúšťanie vopred nadefinovaných prehľadov z rôznych častí systému. V rámci riešenia projektu bol konkrétne doplnený report pre vyhľadávanie potencionálnych duplicít osôb určený pre centrálneho správcu a správcov na jednotlivých fakultách. Ďalej pribudli reporty pre spracovanie poplatkov a štatistických prehľadov z poplatkov (poplatky, predpisy platieb, platby, neuhradené poplatky, ...) slúžiace referentkám. Napokon to boli aj reporty pre správu systému z pohľadu rolí používateľov, konkrétne identifikujúce roly nad rámec správy používateľa, roly osoby mimo štruktúry fakulty/univerzity atď.

D. Podpora manažmentu pri riadení – štatistické prehľady

Zástupcovia manažmentu vysokej školy predstavujú samostatnú kategóriu používateľov systému. Jedná sa o relatívne malú skupinu používateľov avšak s veľkou zodpovednosťou a rozhodovacími právomocami. Rôzne formy prehľadov so štatistickými informáciami sú pre nich významným zdrojom informácií a predstavujú výraznú podporou pri riadení vysokej školy v snahe o skvalitňovanie štúdia a zvyšovanie konkurencieschopnosti absolventov.

Z tohto hľadiska prešla zmenami aplikácia so štatistickými prehľadmi, ktorá obsahuje komplexné prehľadové informácie o štúdiu na vysokej škole z rôznych hľadísk a na rozličných úrovniach. Doplnené boli nové štatistické prehľady a zároveň došlo k zjednoteniu filtračných podmienkach na jednotlivých záložkách aplikácie. Najvýznamnejšou zmenou však bolo zabezpečenie podpory celouniverzitných prehľadov, keďže doteraz boli primárne na fakultnej úrovni.

Navyše bola rozšírená aj podpora spomínaného reportovacieho nástroja pre výročné správy vysokých škôl.

IV. ROZVOJ PROCESNÉHO RIADENIA

Významným aspektom inovácie produktu AiS2 bolo začleňovanie prvkov procesného riadenia s ohľadom na rôznorodosť činností na správu štúdia na jednotlivých vysokých školách. Jednalo sa predovšetkým o procesy súvisiace s certifikovanými interdisciplinárnymi blokmi, mobilitami, štátnymi skúškami a elektronickou registratúrou.

A. Certifikované interdisciplinárne programy

Akceptovaním princípov bolonského procesu sa Slovenská republika zaviazala transformovať svoj vzdelávací proces tak, aby vyšla v ústrety trendom zabezpečujúcim dlhodobú konkurencieschopnosť a neustály rozvoj našej vedomostnej spoločnosti. Aj „klasické" univerzity a vysoké školy majú v tomto procese dôležité postavenie, pretože môžu vytvárať podmienky pre získanie univerzálneho vzdelania najmä na prvom stupni s následným zvyšovaním špecializácie na druhom a najmä na treťom stupni. Jednou z efektívnych možností, ako zabezpečiť rozvoj vedomostnej spoločnosti je interdisciplinarita vedy a vzdelávania.

Vysoká škola môže študentom ponúknuť absolvovanie jedného alebo aj viacerých certifikovaných programov, ktoré sú zostavené z predmetov zabezpečovaných na jednotlivých fakultách. Predmety certifikovaného programu si študent zapisuje v rámci svojich štúdií študijných programov a kredity sú štandardne započítavané do daného štúdia a akademického roka. Absolvovať certifikovaný program môže študent počas svojich riadnych štúdií avšak nemusí ho absolvovať v priebehu jedného štúdia. Absolvovaným sa stáva, keď splní predpísanú skladbu predmetov a získava certifikát vydaný univerzitou prípadne aj medzinárodný certifikát.

Po spustení certifikovaných interdisciplinárnych programov na Univerzite Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach sa už po roku používania ukázala nevyhnutná potreba administrovať takéto štúdium. Bola preto implementovaná samostatná aplikácia umožňujúca prístup k študentom, ktorý prejavili záujem o certifikovaný interdisciplinárny program, s možnosťou vidieť a administrovať predmety z ich zápisných listov, vyhodnotiť absolvovanie certifikovaného programu a prípadne aj vytlačiť certifikát vydaný univerzitou. Aplikácia je viazaná na špecifickú rolu administrátora štúdia certifikovaných programov.

B. Študentské mobility

Študijné mobility sa postupne stávajú čoraz viac využívanou možnosťou vzdelávania a odbornej prípravy študentov. Študent počas štúdia môže absolvovať

niekoľko študijných pobytov na inej vysokej škole alebo vo firme na stáži. Podobne univerzita môže prijať v rámci mobility študentov z iných vysokých škôl a univerzít. Údaje o zrealizovanej mobilite majú veľký význam pre študenta ale aj pre obe vysoké školy – vysielajúcu aj prijímaciu. Jedná sa pritom o štatistické prehľady s informáciami o počtoch vyslaných a prijatých študentov, o miestach mobilít a podobne. V systéme existovala jednoduchá možnosť evidencie mobilít už dávnejšie. Práve skutočnosti spomínané vyššie však viedli k potrebe dôslednejšieho zapracovania prebiehajúcich procesov súvisiacich so študentskými mobilitami do AiS2. Jednalo sa predovšetkým o podchytenie odchádzajúcich mobilít. Ďalšou významnou zmenou bolo vytvorenie číselníkov miest stáží a univerzít mobilít pre jednoduchšie evidovanie mobilít. Prienik mobilít do systému bol pritom zapracovaný až do úrovne predmetov, kde je umožnené priradenie predmetu k mobilite. Údaje zaevidované o mobilite možno následne použiť aj pre potreby dodatku diplomu a sú zasielané aj do centrálneho registra študentov.

C. *Štátne skúšky*

Procesnou zmenou prešla aj administrácia štátnych skúšok, konkrétne bolo umožnené delegovanie správy štátnych skúšok z fakultnej úrovne na nižšie organizačné zložky ako sú katedry a ústavy.

D. *Elektronická registratúra*

Narastajúci počet procesov na vysokej škole realizovaných v elektronickej podobe zahrňujúcich okrem iného aj agendu, ktorá je pokrytá v akademickom informačnom systéme AiS2, smeruje k potrebe viesť aj elektronickú verziu registratúry. Svoju úlohu tu samozrejme zohráva aj legislatívny rámec súvisiaci predovšetkým s eGovernmentom a prepojením na Ústredný portál verejnej správy. Komerčné riešenia v oblasti elektronickej registratúry zvyčajne nie sú orientované na pokrytie procesov bežných na akademickej pôde, predstavujú netriviálnu finančnú záťaž a vyžadujú dodatočnú implementáciu prepojenia na akademický informačný systém. Všetky tieto skutočnosti viedli k rozhodnutiu prísť s riešením elektronickej registratúry postavenej špecificky pre potreby akademického prostredia, samozrejme so zreteľom na platnú legislatívu.

Výsledkom úsilia v tomto smere je RDSS – Registratúrny modul AiS2 vyvinutý v úzkej spolupráci s komerčnou firmou VSL software. RDSS bol od samého začiatku vyvíjaný so zreteľom na procesy špecifické pre akademickú sféru (obr. 4). Práca s ním je jednoduchá a intuitívna. Umožňuje evidenciu do viacerých denníkov súčasne. Organizačná štruktúra viažuca sa k denníku pritom môže mať ľubovoľný počet hierarchických úrovní. Ku každému záznamu je v RDSS možné pridať elektronickú prílohu a obsah hneď pri evidencii záznamu. Samozrejmosťou je fulltextové vyhľadávanie v spisoch, záznamoch a ich obsahu, vrátane príloh s efektívnym systémom filtrovania. Medzi hlavné prednosti RDSS patrí rozhranie umožňujúce prepojenie s ľubovoľným akademickým informačným systémom. Prepojenie so systémom AiS2 je už aj implementované a umožňuje vzájomnú výmenu dokumentov akademického systému a RDSS vrátane synchronizácie registračných značiek, čím eliminuje potrebu duplicitnej evidencie. Prax ukazuje, že

obr. 4. Úvodná stránka RDSS

sa jedná o užitočnú vlastnosť systému, keďže na UPJŠ od spustenia produktívnej prevádzky RDSS vznikla až tretina z celkového počtu záznamov automatickým prenosom z AiS2. Ďalším pozitívom RDSS je prepojenie s Ústredným portálom verejnej správy (ÚPVS) prostredníctvom integračného zámeru vypracovaného pre konzorcium vysokých škôl využívajúcich AiS2. Vysoké školy sa budú môcť pripojiť na základe dodatku k tomuto integračnému zámeru bez nutnosti absolvovať celý proces integrácie.

Systém AiS2 je v rutinnej prevádzke a popísané inovácie boli štandardnou cestou verzií systému distribuované do praxe na jednotlivé vysoké školy AiS2 konzorcia. Rozšírenia systému pokračujú aj naďalej predovšetkým na základe podnetov z praxe. Aktuálne sa napríklad finalizujú práce na rozširovaní podpory mobilných zariadení, konkrétne v súvislosti s dotazníkmi pre študentov, vyučujúcich a zamestnancov na vysokej škole vo forme novej platformovo nezávislej responzívnej webovej aplikácie.

V. ZÁVER

Zapracovaním spomínaných prvkov a funkcionality do akademického informačného systému AiS2 sa výrazne zvýšila jeho konkurencieschopnosť v porovnaní s existujúcimi komerčnými produktmi podobného charakteru a aj z hľadiska trhu v rámci V4 respektive zahraničia všeobecne.

Vývojový tím AiS2 sa zároveň stal súčasťou novovytvoreného univerzitného Technologického a inovačného parku (TIP - UPJŠ). Má potenciál stať sa základom start-up resp. spin-off aktivity, pretože sa už dlhodobo financuje nezávisle od dotačných projektov, čo demonštruje udržateľnosť takéhoto zámeru a je zaujímavý aj pre komerčné spoločnosti, ktoré majú snahu nadviazať užšiu spoluprácu a integrovať svoje produkty s AiS2.

POĎAKOVANIE

Tento článok je výsledkom realizácie projektu: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií, fáza II. ITMS: 313011D232, podporovaný operačným programom výskumu a vývoja financovaným z EFRR. Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku / Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

Získavanie, spracovanie a analýza dát

Ľ. Antoni, K. Čechlárová, P. Gurský, S. Krajči, O. Krídlo, T. Madaras, G. Semanišin, R. Soták, A. Szabari, J. Šašak, J. Šupinský, Cs. Török, M.Vereščák, I. Žežula

Ústav informatiky, Prírodovedecká fakulta, Univerzita P.J.Šafárika v Košiciach, Košice, Slovensko

{lubomir.antoni, katarina.cechlarova, peter.gursky, stanislav.krajci, ondrej.kridlo, tomas.madaras, gabriel.semanisin, roman.sotak, alexander.szabari, csaba.torok, milan.verescak, ivan.zezula}@upjs.sk,

{jan.sasak, jozef.supinsky}@student.upjs.sk

Abstrakt – Pilotný projekt sa zameriava na reprezentáciu a analýzu dát a to spojením troch širších oblastí výskumu a vývoja. Základný výskum v oblasti diskrétnej matematiky za zameriava na štúdium diskrétnych modelov a efektívnych algoritmov, ktoré môžu byť použité na analýzu komplexnýxh sietí. Druhou oblasťou nášho záujmu je dátová analýza a štatistika v ktorej realizujeme základný a aplikovaný výskum. Treťou oblasťou je výskum a vývoj inteligentných metód na získavanie, spracovanie a prezentáciou dát.

Kľúčové slová **– diskrétne modely, získavanie dát, reprezentácia dát, dolovanie znalostí, štatistika**

I. DISKRÉTNE MODELY A EFEKTÍVNE ALGORITMY

Niekoľko krajín úspešne používa centralizované spájacie schémy na priraďovanie študentov na študentské miesta, alebo čerstvých absolventov na ich prvé pozície v praxi. V článku [1] sme skúmali výpočtové aspekty možných podobných schém na priradenie študentov učiteľského štúdia na stredné a základné školy na praxe. Náš model je motivovaný situáciou charakteristickou pre slovenský a český vzdelávací systém, kde sa každý študent učiteľstva špecializuje na dva výučbové predmety. Ukazujeme, že ak sa dva predmety dajú vykonávať nezávisle v dvoch rôznych školách, potom uskutočniteľné priradenie môže byť získané použitím techník sieťových tokov. Ak však chceme zabezpečiť, aby obidva predmety boli realizované na tej istej škole dochádza k neriešiteľným problémom aj keď použijeme niekoľko striktných obmedzení na počet predmetov, čiastočných kapacít škôl, celkový počet škôl, a zoznam povolených učiteľov. Nakoniec ukazujeme model celočíselného programovania na riešenie prípadu neoddeliteľných predmetov problému prideľovania učiteľov a výsledok jeho aplikovania nad reálnymi dátami. Výsledný program je aktívne používaný na Filozofickej fakulte UPJŠ.

Práca [6] je venovaná problému Optimálneho rozvrhovania záťaže (Load balancing problem). Práca bola motivovaná efektívnym vytvorením spojenia v bezdrôtovej komunikačnej sieti. Výsledky sú však oveľa všeobecnejšie charakteru a nachádzajú uplatnenie v rôznych oblastiach. Hlavný prínos článku je vo využití princípu "Divide et impera" a vytvoreniu všeobecného prístupu, ktorý umožňuje kombinovať známe algoritmy s navrhnutým prístupom a získavať tak nové výsledky.

Práca [7] sa venuje problému zovšeobecneného farbenia grafov, ktorý je možné aplikovať na mnohé problémy, ktoré sa dajú modelovať pomocou grafovej topológie. Hlavné výsledky práce spočívajú v získaní horných a dolných odhadov pre skúmené parametre v triede k-degenerovaných grafov.

V práci [13] sme sa pozerali na jav rôznorodých usporiadaní vrcholov podľa variácie rozkladu centr8lneho parametra d v komplexných sieťach. Uvádzame horné ohraničenie pre maximálne číslo utriedení a uvažujeme o och kvalitu porovnaním so súvisiacimi číslami v špecifických skupinách sietí, vybratých sietiach reálneho sveta a sietiach získaných čiastočnými konštrukciami ako sú Watts-Strogatzov model a Barabási-Albertov rastový model.

V práci [14] analyzujeme umiestnenie vrcholov a hrán vzhľadom na maximálnu centralitu v grafe. Predstavujeme konštrukciu grafov, kde vzdialenosť (betweenness separation) množiny vrcholov a množiny hrán s maximálnou vzdialenosťou môže byť ľubovoľne veľká, spolu s postačujúcimi podmienkami pre grafy s touto vzdialenosťou rovnou nule.

II. DÁTOVÁ ANALÝZA A ŠTATISTIKA

V oblasti dátovej analýzy sme študovali generalizáciu formálnej konceptovej analýzy z pohľadu intuicionistických L-fuzzy množín [2]. Hlavným príspevkom je adjunktovaný pár v množine LILF intuicionistických L-fuzzy hodnôt asociovaných s kompletným reziduálnym zväzom L, ktorý umožňuje definíciu páru derivačných operátorov ktoré formujú antitonovú Galoisovu konekciu.

Stabilitu objektovo-atribútových zhlukov vzhľadom na randomizáciu vstupných údajov sme skúmali v práci [3]. Vytvorili sme formálny rámec pre výskum formálnej konceptovej analýzy vyššieho rádu, ktorú sme aplikovali pri modelovaní vysoko heterogénnych preferencií účastníkov konferencie. Tiež sme sa zaoberali metódou na redukciu počtu výsledných konceptov pomocou tzv. zdôrazňovačov pravdy - hedgeov [3]. Vlastnosti Galoisových konexií a možnosť ich použitia v kontexte študentov a ich študijných výsledkov v rôznych predmetoch sme navrhli v práci [4]. V práci [10] opisujeme vlastnosti kompozícií izotónových bondov medzi L-fuzzy kontextmi na rôznych úplných reziduálnych zväzoch a ukazujeme, že L-fuzzy kontexty ako objekty a izotónové bondy ako morfizmy vytvárajú kategóriu.

V práci [9] sme navrhli nový prístup na ohodnocovanie formálnych konceptov využívajúci faktorizáciu matíc, presnejšie namapovaním objektov a atribútov na spoločný latentný priestor.

Zaoberali sme sa viacrozmerným modelom merania s hierarchickou štruktúrou. Takéto modely sú užitočné napr. v prípade opakovaných meraní viacerých veličín v čase

alebo priestore a majú mnoho aplikácií v technike, biológii, geografii i medicine. Keďže v takýchto prípadoch s rastúcou dimenziou rýchlo rastie počet odhadovaných parametrov, je užitočné skúmať prípady so špeciálnymi variančnými štruktúrami, v ktorých je počet neznámych parametrov výrazne nižší. V prípade blokovo rovnomernej variančnej štruktúry sme navrhli tri rôzne testové štatistiky pre všetky základné testy polohy: jednovýberový test, párový test a dvojvýberový test. Pre všetky tri testy sme odvodili rozdelenia príslušných štatistík a porovnali ich vlastnosti pomocou simulačných metód [5].

V rámci projektu sme založili Laboratórium inteligentnej dátovej analýzy (LIDA), ktorého cieľom je získavanie komerčných partnerov na realizáciu aplikovaného výskumu a poskytovanie konzultačných služieb v oblasti dátovej analýzy a znalostných systémov s využitím získanej výpočtovej kapacity. Toto laboratórium v súčasnosti realizuje aktívnu spoluprácu s firmou VSL Software v oblasti analýzy, štatistického spracovania a predikčných modelov nad poistným kmeňom zdravotnej poisťovne.

III. ZÍSKAVANIE, SPRACOVANIE A PREZENTÁCIA DÁT

V oblasti získavania, spracovania a prezentácie dát sme v rámci tohto pilotného projektu vytvárali aj pilotné aplikácie, ktoré tvoria aj praktické výstupy tohto pilotného projektu. Okrem samotnej tvorby týchto aplikácií sme v tejto oblasti realizovali aj výskum týkajúci sa metód používaných v týchto aplikáciách.

V prácach [8,12,15] sme sa venovali výskumu odporúčania v oblasti výučby programovania. Vytvorili sme webovo založený inteligentný vyučovací systém IPT (intelligent tutoring system). Kľúčovým komponentom je modul pre edukačné dolovanie dát zameriavajúce sa na modelovanie znalostí študenta, odhaľovanie študentovho správania a predikovanie jeho napredovania z histórie zaslaných zdrojových kódov a učiteľovej spätnej väzby.

Ďalšou z pilotných aplikácií je projekt Everest (Event recommender system). V tomto projekte sme navrhli a implementovali mobilnú klientsku aplikáciu pre odporúčací systém v doméne turizmu a navrhli sme rôzne postupy pre odporúčanie zaujímavých turistických lokalít pre používateľov [19]. Venovali sme sa vývoju používateľského rozhrania pre webový prehliadač, no zamerali sme sa hlavne na aplikáciu pre mobilné telefóny s operačným systémom Android. Ďalej sme navrhli a vytvorili metódy na serverovej strane aplikácie a spôsoby komunikácie medzi serverom a klientom. Na strane servera boli vytvorené crawlovacie nástroje pre získavanie podujatí z facebookových stránok s následnou extrakciou štruktúrovanej informácie o podujatiach. Bola implementovaná aplikácia pre integráciu regresných a pattern-mining algoritmov.

Poslednou pilotnou aplikáciou je projekt Kapsa (katalóg produktov s anotáciou) [11]. V tomto projekte sme vytvorili a prepojili viaceré nástroje a moduly. Prvým nástrojom je nástroj Exago, ktorý je zásuvným modulom do prehliadača. V priebehu projektu sme vytvorili dve verzie tohto nástroja – pre prehliadač Firefox a po strate jeho funkčnosti zablokovaním používaného API zo strany Firefoxu aj pre prehliadač Chrome. Exago slúži na anotovanie webovej stránky internetového obchodu, ktorej výsledkom je wrapper – súbor vo formáte JSON obsahujúci sadu pravidiel na extrakciu všetkých relevantných dát z e-shopu [16] a na riadenie crawlovania [18]. Ďalším nástrojom je webový portál na poloautomatickú anotáciu domén a atribútov vytvorený v technológii Wicket s využitím fulltextového vyhľadávania nad Apache Lucene. Samotný proces získavania, extrakcie a unifikácie produktov je plne automatizovaný. Modul na unifikáciu produktov, teda na zistenie, či dva produkty z rôznych portálov sú rovnaké, využíva okrem iného aj voľnotextovú informáciu popisujúcu produkt. V práci [17] sme navrhli metódu na extrakciu atribútov a ich hodnôt z takýchto popisov produktov. Získané produkty sú prezentované cez webový portál používateľom. Vyhľadávanie v tomto portáli je možné na základe komplexných používateľských preferencií založených na kombinácii fuzzy ohodnotenia hodnôt atribútov.

POĎAKOVANIE

Tento článok je výsledkom implementácie projektu: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií – II. fáza, Kód ITMS2014+: 313011D232.

REFERENCIE

[1] K. Cechlárová, T. Fleiner, D.F. Manlove, I. McBride, E. Potpinková: Modelling practical placement of trainee teachers to schools. **Central European Journal of Operations Research. ISSN 1435-246X. Volume 23. Number 3.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014, pp. 547- 562

[2] O. Krídlo, M. Ojeda-Aciego: An adjoint pair for intuitionistic L-fuzzy value. Submitted to Springer.

[3] E. Antoni, S. Krajči, O. Krídlo: Representation of fuzzy subsets by Galois connections. Fuzzy Sets and Systems 326: 52-68 (2017)

[4] E. Antoni, S. Krajči, O. Krídlo: On stability of fuzzy formal concepts over randomized one-sided formal context. Fuzzy Sets and Systems 333: 36-53 (2018)

[5] I. Žežula, D.Klein, A. Roy: Problems of inference in a special multivariate linear model. MatTriad 2017, September 25 – 29, 2017, Będlewo, Poland

[6] F. Galčík, J. Katrenič, G. Semanišin: On Computing an Optimal Semi-matching. Algorithmica. - ISSN 0178-4617. - Vol. 78, no. 3 (2017), s. 896-913.

[7] I. Broere, G. Semanišin: Some bounds on the generalised total chromatic number of degenerate graphs. Information Processing Letters. - ISSN 0020-0190. - Vol. 122 (2017), s. 30-33.

[8] Š. Pero: How to detect programming skills of students? E-IED 2014 : 4th Immersive Education Initiative : 24. - 26. november 2014, Vienna. - Vienna : University of Applied Sciences, 2014. - ISSN 2325-5048. - S. 40-46.

[9] L. Piskova, T. Horváth, S. Krajči: Ranking Formal Concepts by Utilizing Matrix Factorization. Studia Universitatis Babes-Bolyai : Informatica. - ISSN 1224-869X. - Vol. 59, spec.no. 2 (2014), s. 62-79.

[10] J. Konecny, O. Krídlo: Category of isotone bonds between L-fuzzy contexts over different structures of truth degrees. CLA 2015 : The Twelfth International Conference on Concept Lattices and Their Applications : 13. - 16. október 2015, Clermont-Ferrand. - Clermont-Ferrand : Blaise Pascal University, 2015. - ISBN 9782954494807. - S. 205-216.

[11] P. Gurský, V. Chabal', R. Novotný, M. Vaško, M.Vereščák: Extracting Product Data from E-Shops. ITAT 2014: Information Technologies – Applications and Theory, Part I : 25. - 29. september 2014, Demänovská Dolina – Jasná. - Praha : Institute of Computer Science AS CR, 2014. - ISBN 9788087136188. - S. 40-45.

[12] T. Nguyen, Š. Pero: Odporúčanie s dozorom v inteligentnom systéme na výučbu programovania. ITAT 2014: Information Technologies – Applications and Theory, Part II : 25. - 29.

september 2014, Demänovská Dolina – Jasná. - Praha : Institute of Computer Science AS CR, 2014. - ISBN 9788087136195. - S. 120-124.

[13] J. Coroničová Hurajová, T. Madaras: On decay centrality thresholds in complex networks. ITAT 2014: Information Technologies – Applications and Theory, Part II : 25. - 29. september 2014, Demänovská Dolina – Jasná. - Praha : Institute of Computer Science AS CR, 2014. - ISBN 9788087136195. - S. 120-124.

[14] J. Coroničová Hurajová, T. Madaras: Do important network actors form important ties? 17th Conference on Applied Mathematics APLIMAT 2018, Bratislava: SPEKTRUM STU, *2018*. ISBN: 978-80-227-4765-3

[15] E. Lišivková, Š. Pero: Predikcia úspešnosti študentov pomocou multi-relačnej faktorizácie. ITAT 2014: Information Technologies – Applications and Theory, Part II : 25. - 29. september 2014, Demänovská Dolina – Jasná. - Praha : Institute of Computer Science AS CR, 2014. - ISBN 9788087136195. - S. 8-12.

[16] P. Gurský, M. Vereščák: Extrakcia štruktúrovaných objektov z webových portálov na pár klikov. WIKT & DaZ 2016 : 11th Workshop on Intelligent and Knowledge Oriented Technologies; 35th Conference on Data and Knowledge : proceedings : 3. - 4. november 2016, Smolenice. - Bratislava : Nakladatel'stvo STU, 2016. - ISBN 9788022746199. - S. 225-228.

[17] M. Linková, P. Gurský: Attributes Extraction from Product Descriptions on e-Shops. ITAT 2017 : Information Technologies – Applications and Theory : proceedings of the 17th conference : 22.-26.9.2017, Martinské hole, Slovensko. - Focused Web Crawling of Relevant Pages on e-Shops, 2017. - ISBN 9781974274741. - ISSN 1613-0073. - S. 23-26.

[18] R. Pavel, P. Gurský: Focused Web Crawling of Relevant Pages on e-Shops. ITAT 2017 : Information Technologies – Applications and Theory : proceedings of the 17th conference : 22.-26.9.2017, Martinské hole, Slovensko. - Focused Web Crawling of Relevant Pages on e-Shops, 2017. - ISBN 9781974274741. - ISSN 1613-0073. - S. 35-39.

[19] M. Vaško, T. Jakab, T. Horváth: Recommendation in location-based and event-based social networks. 10th Workshop on Intelligent and Knowledge oriented Technologies, Košice, Slovakia, 2015, ISBN 978-80-553-2271-1

Výskum a vývoj metód geoprocessingu v geopriestorových technológiách a službách

Jaroslav Hofierka*, Michal Gallay*, Ján Kaňuk*, Vladimír Sedlák*
* Ústav geografie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, Košice, Slovensko
jaroslav.hofierka@upjs.sk, michal.gallay@upjs.sk, jan.kanuk@upjs.sk, vladimir.sedlak@upjs.sk

Abstract **– In this pilot project (PP-6) we focused on the development and implementation of new high-performance methods for geoprocessing massive terrestrial and airborne laser scanning data and new method for geospatial data interaction. The performance of geospatial data acquisition technologies were tested within 2 study areas comprising the surroundings of the Domica Cave and central part of Košice. We developed new parallelized open-source GRASS GIS modules using OpenMP library capable of processing massive geospatial data. Developed methods and derived data were documented by several research papers and unique map catalogue available for further research and study activities. Based on the developed know-how we established a common research site site together with the PHOTOMAP, s.r.o., Košice as well as we established the SAFTRA 3D mapping, s.r.o. start-up company.**

Keywords **– GIS, UAV, laser scanning, LiDAR, tangible landscape**

I. Úvod

Projektovým zámerom pilotného projektu PP-6 Výskum a vývoj metód geoprocessingu v geopriestorových technológiách a službách bolo skvalitniť výskumnú infraštruktúru v oblasti geopriestorových technológií s cieľom zvýšiť výskumný potenciál UPJŠ v tejto oblasti a zároveň vytvoriť vhodné podmienky pre realizáciu rôznych foriem aplikovaného výskumu prostredníctvom transferu poznatkov a technológií do praxe. Tento hlavný zámer obsahoval nasledovné čiastkové ciele:

(1) výskum a vývoj nových vysokovýkonných metód geoprocessingu dát získaných najnovšími metódami zberu na báze laserového skenovania a GNSS služieb s cieľom zvýšiť presnosť a rýchlosť ich spracovania;

(2) adaptácia súčasných metodických postupov a softvérových riešení pre GIS s cieľom využitia metód paralelizácie a distribuovaného počítania;

(3) tvorba a implementácia inteligentných rozhraní umožňujúcich využívanie sofistikovaných metód geoprocessingu aj v bežnej praxi.

Realizácia cieľov predpokladala, že medzi hlavné výstupy aktivity budú patriť:

(1) vytvorenie spoločného pracoviska s podnikateľským subjektom zameraného na projekty v oblasti geoprocessingu a podporujúce najmä aplikovaný výskum, výskum a vývoj a transfer technológií, ktorých výstupy majú charakter vysokého stupňa inovácie.

(2) katalóg unikátnych máp pre potreby GIS produktov.

Realizáciou týchto úloh bol poverený tím štyroch pracovníkov Ústavu geografie, Oddelenie geoinformatiky, Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach.

II. Prístrojové vybavenie získané z projektu UVP TECHNICOM

V rámci pilotného projektu PP6 bola získaná táto nosná výskumná infraštuktúra:

(1) bezpilotný letecký systém Aeroscout Scout B1-100 s kontrolným systémom, laserovým skenerom Riegl VUX-1 a hyperspektrálnou kamerou AisaKESTREL of firmy SPECIM (Obr. 1);

(1) pozemný laserový skener Riegl VZ-1000 s integrovaným fotoaparátom Nikon D700 (Obr. 2);

(3) softvér ArcGIS for Server Enterprise Advanced Teaching&Research LabKit;

(4) softvér ArcGIS for Desktop Advanced Teaching Lab Pak, výrobca ESRIsoftvér ArcGIS for Server Enterprise.

Obrázok 1. Bezpilotný letecký systém Scout B1-100

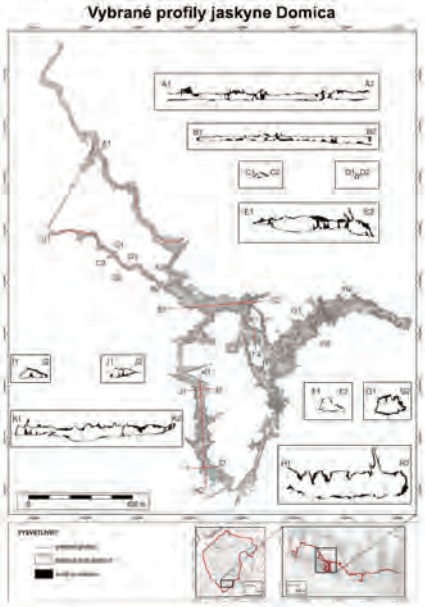
Obrázok 2. Pozemný laserový skener Riegl VZ-1000.

III. TESTOVACIE ÚZEMIA A VÝSLEDKY

V rámci projektu boli vybrané dve testovacie územia: (1) oblasť Silickej planiny v Slovenskom krase a (2) centrálna časť mesta Košice. Na obidvoch územiach bola úspešne testovaná zakúpená výskumná infraštruktúra.

A. Silická planina

Na tomto území bolo realizované pozemné laserové skenovanie jaskyne Domica a letecké laserové skenovanie georeliéfu a vegetačnej pokrývky. Pozemným laserovým skenovaním sa skúmala morfológia jaskyne Domica. Výsledkom bolo 3D mračno 12 miliárd bodov (Obr. 3), ktoré bolo následným spracovaním pretvorené na 3D model jaskyne (Obr. 4).

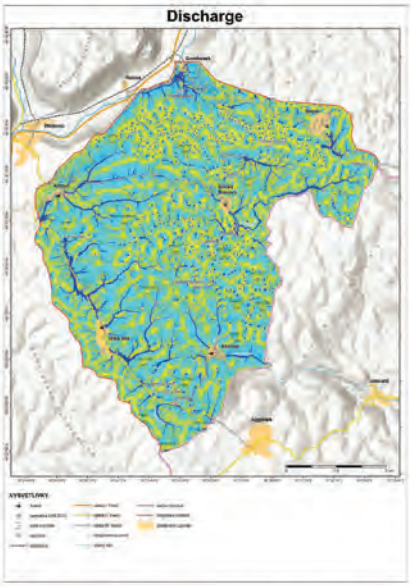


Obrázok 3. 3D mračno bodov jaskyne Domica a vybrané priečne profily

Následne bol vytvorený 3D model jaskyne, ktorý umožnil podrobnejšie analyzovať morfológiu jaskyne a širšie geopriestorové vzťahy a jej genézu. Výsledky tohto výskumu boli publikované v renomovaných časopisoch [1, 2] a prezentované na viacerých medzinárodných konferenciách v zahraničí.

Obrázok 4. 3D model jaskyne Domica

Výsledkom skenovania povrchu Silickej planiny bolo mračno 2 miliárd bodov, z ktorého boli následným spracovaním vytvorené rastrové digitálne modely reliéfu s rozlíšením 5 metrov a digitálny model povrchu vegetácie. Tieto veľmi podrobné modely boli použité pre hydrologickú analýzu a mapovanie krasových závrtov (Obr. 5) [3]. Pri realizácii týchto výpočtov sme vykonali paralelizáciu vybraných open-source modulov GIS-u GRASS pomocou knižnice OpenMP [4], čo bol aj jeden z cieľov tohto projektu. Dosiahli sme výrazné zvýšenie rýchlosti výpočtu práve z masívnych dát z laserového skenovania. Vytvorené paralelizované moduly boli zahrnuté do najnovšej verzie (7.4) GIS-u GRASS. Výsledky z tohto testovacieho územia zároveň slúžilo na vytvorenie katalógu unikátnych máp vo forme GIS vrstiev, ktoré je možné použiť pri ďalšom výskume krasových území alebo z didaktického hľadiska. Podrobnejší popis tohto katalógu a máp bude uvedený v pripravovanej monografii [5].



Obrázok 5. Povrchový odtok vody simulovaný modelom r.sim.water na digitálnom modeli reliéfu

B. Centrálna časť mesta Košice

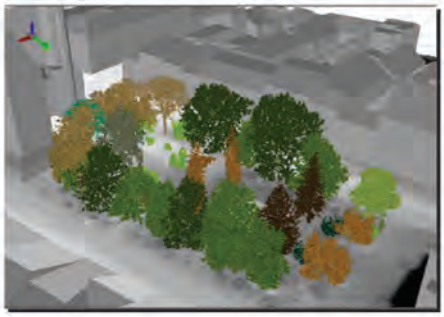
V centrálnej časti mesta Košice sme testovali použitie technológie pozemného laserového skenera pre veľmi podrobné mapovanie stromovej vegetácie počas jedného vegetačného obdobia. Výskum sme realizovali na 4 vybraných lokalitách v centrálnej časti mesta Košice (Obr. 6, 7).

Obrázok 6. 4 výskumné lokality v centrálnej časti mesta Košice

Výsledkom tohto výskumu bola séria mračien bodov reprezentujúcich stromovú vegetáciu v rôznych fenologických fázach, s rôznou hustotou zápoja koruny stromov a teda aj s rôznou priepustnosťou pre slnečné žiarenie. Množstvo slnečného žiarenia dopadajúce na rôzne plochy urbanizovaného územia má priamy vplyv na teplotu povrchov a aj mikroklimatické podmienky [6].

Obrázok 7. Mapovanie stromovej vegetácie pomocou skenera Riegl VZ-1000

Skenované mračná bodov boli následne spracované v softvéri a boli vytvorené 3D modely stromov. Jednotlivé stromy boli mapované aj z hľadiska druhového zloženia (Obr. 8).

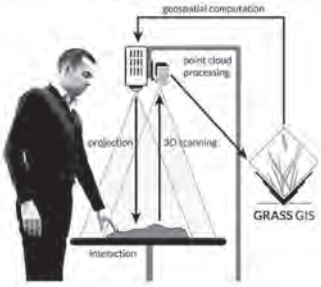


Obrázok 8. 3D modely stromovej vegetácie vytvorené z mračna bodov

C. Krajina na dotyk

Jedný z cieľov pilotného projketu bolo vytvorenie a implementácia inteligentných rozhraní umožňujúcich využívanie sofistikovaných metód geoprocessingu aj v bežnej praxi. Keďže GIS-y a geopriestorové analýzy sú značné náročnou technológiou vyžadujúcou množstvo poznatkov a ovládanie zložitého softvéru, pre tento cieľ sme zvolili technológiu Tangible Landscape - krajina na

dotyk [7]. Využíva sa pri tom cenovo dostupná technológia Microsoft Kinect a GRASS GIS (Obr. 9). Podstatou technológie je fyzická interakcia s modelom krajiny, pričom vlastnosti krajiny, modelované procesy sa v reálnom čase premietajú na povrch modelu (Obr. 10). Výhodou je intuitívnosť a dostupnosť technológie aj pre najmladšiu generáciu školopovinných detí, čo sme úspešne otestovali na Noci výskummníkov v roku 2017 v Košiciach.



Obrázok 9. Technologické princípy krajiny na dotyk

Obrázok 10. Interakcia s modelom krajiny na dotyk

D. Vytvorenie spoločného pracoviska a založenie start-upu

Realizácia tohto projektu predpokladala vybudovanie spoločného výskumného pracoviska so súkromnou spoločnosťou pôsobiacou v danom sektore. V roku 2015 bola uzavretá zmluva o vytvorení takéhoto pracoviska so spoločnosťou PHOTOMAP, s.r.o., Košice na báze získaného know-how s cieľom realizácie medzinárodných a domácich projektov s účasťou partnerskej firmy (Európska vesmírna agentúra, INTERREG, APVV). Nad rámec cieľov projektu a na základe unikátneho know-how získaného počas riešenia projektu bol v roku 2017 založený start-up SAFTRA 3D mapping, s.r.o. s cieľom realizácie komerčných projektov najmä v oblasti poľnohospodárstva.

IV. ZÁVERY

Pilotný projekt PP-6 Výskum a vývoj metód geoprocessingu v geopriestorových technológiách a službách priniesol už počas riešenia projektu rad veľmi zaujímavých výsledkov vo forme kvalitných publikácií, vyvolaných domácich a zahraničných projektov a ďalších popularizačných aktivít. Okrem založenia spoločného pracoviska so spoločnosťou Photomap, s.r.o. Košice priniesol aj založenie start-up firmy SAFTRA 3d mapping, s.r.o. Košice, ktorý by mal uľahčiť transfer získaných poznatkov do praxe. Projekt vyvolal viaceré významné medzinárodné a domáce projekty a publikácie (ESA, APVV, INTERREG) a umožnil zapojenie sa do medzinárodných výskumných sietí (GeoForAll, Tangible Landscape). Výsledky boli prezentované na viacerých medzinárodných konferenciách a popularizačných podujatiach určených pre širokú verejnosť (Noc výskumníkov).

POĎAKOVANIE

Tento príspevok je výsledkom implementácie projektu: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií, fáza II, ITMS: 313011D232, podporeného Operačným programom výskum a inovácie ERDF. Tento projekt bol spolufinancovaný Európskou Úniou.

LITERATÚRA

[1] Gallay, M., Kaňuk, J., Hochmuth, Z., Meneely, J., Hofierka, J., Sedlák, V., "Large-scale and high-resolution 3-D cave mapping by terrestrial laser scanning: a case study of the Domica Cave, Slovakia," *International Journal of Speleology*, vol. 44(3), pp. 277-291, 2015.

[2] Gallay, M., Hochmuth, Z., Kaňuk, J., Hofierka, J., "Geomorphometric analysis of cave ceiling channels mapped with 3D terrestrial laser scanning," *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 20, pp. 1827-1849, 2016.

[3] Hofierka, J., Gallay, M., Šašak, J., Bandura, P., "Identification of karst sinkholes in a forested karst landscape using airborne laser scanning data and water flow analysis," *Geomorphology*, vol. 308, pp. 265-277, 2018.

[4] Hofierka, J., Lacko, M., Zubal, S., "Parallelization of interpolation, solar radiation and water flow simulation modules in GRASS GIS using OpenMP," *Computers & Geosciences*, vol. 107, pp. 20-27, 2017.

[5] Gallay, M., Kaňuk, J., Hochmuth, Z., Šašak, J., Šupinský, J., *Mapovanie juźnej časti Silickej planiny laserovým skenovaním*. Unpublished manuscript, 2018.

[6] Hofierka, J., Gallay, M., Kaňuk, J., Šupinský, J., Šašak, J. "High-resolution urban greenery mapping for micro-climate modelling based on 3D city models," *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Archives)*, XLII-4/W7, pp. 7-12, 2017

[7] Petrasova, A., Harmon, B., Petras, V., Mitasova, H., *Tangible Modeling with Open Source GIS*. Springer, Cham, Switzerland, 2015.

Charakter technogénneho povrchu priemyselnej skládky metalurgického kalu z výroby niklu a kobaltu v Seredi

Eva Michaeli*, Marián Reifers** Vladimír Solár* and Monika Ivanová*

* Prešovská univerzita v Prešove /Katedra geografie a aplikovanej geoinformatiky, Prešov, Slovenská republika

** Prešovská univerzita v Prešove/Katedra fyziky, matematiky a techniky, Prešov, Slovenská republika

eva.michaeli@unipo.sk, marian.reifers@unipo.sk, vladimir.solar@unipo.sk, monika.ivanova@unipo.sk

Abstract **– Hlavným cieľom prípadovej štúdie je charakterizovať vlastnosti pôd Technosols na skládke metalurgického kalu, priemyselného odpadu z výroby niklu a kobaltu pri bývalej Niklovej hute v Seredi. Chemická analýza vzoriek metalurgického kalu potvrdila neprítomnosť niektorých bioelementov (fosfor, draslík), vyšší obsah solí spolu s veľmi silnou alkalickou reakciou, vysoký obsah škodlivých ťažkých kovov (chróm, nikel a kobalt), nízka retenčná kapacita, nízky obsah organického uhlíka a zanedbateľná mikrobiálna aktivita atď. Skládka metalurgického kalu vznikla počas 30-ročnej prevádzky Niklovej huty (1963-1993). Je to neprirodzený umelý prvok v kultúrnej krajine Podunajskej nížiny s vysokým negatívnym vplyvom na životné prostredie (54 rokov). V rokoch 1982/83 uskutočnil výskumný tím pozostávajúci z niekoľkých vedeckých ústavov Slovenskej akadémie vied v Bratislave základný biologický a ekologický výskum skládky a pripravil materiály na sanáciu tohto technického povrchu. Vedenie bývalej Niklovej huty však zmenilo svoj postoj a navrhované odstránenie sekundárnej prašnosti ozelenením skládky zamietlo. Namiesto toho navrhlo pravidelné kropenie technogénneho povrchu skládky vodou, ktoré bolo neefektívne. Štát, ako vlastník predal skládku v roku 1994 po ukončení výroby niklu súkromnej spoločnosti. Spoločnosť už 24 rokov kal ťaží, poškodzuje životné prostredie a nedodržiava zmluvné podmienky, ktoré stanovil Fond národného majetku v dohode o predaji.**

Kľúčové slová **- metalurgický kal, skládka, technogénny povrch, Spolic Technosols (Alcalic Hyperartefactic)**

I. Introduction

Skládka lúženca - čierneho niklového kalu sa nachádza v severnej časti Podunajskej nížiny, presnejšie leží tu na jej geomorfologickom podcelku na Podunajskej rovine Dolnovážskej nivy v nadmorskej výške 125 m, západne od bývalého závodu Niklovej huty. Má špecifický charakter a odlišuje sa veľmi výrazne, už na prvý pohľad, od okolitej nížinnej krajiny. Vznikla v Seredi pri bývalej niklovej hute ukladaním odpadu z hutníckej výroby niklu a kobaltu Caronovým spôsobom (mokrý výrobný proces) spracovanej albánskej lateritickej železo-niklovej rudy, ktorá obsahovala v jednej tone 1% niklu a 0,05% kobaltu. Tento fakt spôsobil, že za 30 ročnej existencie závodu (1963 – 1993) vznikla halda s rozlohou 37 ha, vysoká okolo 35 m a dosiahla objem 9 mil.t. Jej dĺžka je okolo 1000 m a šírka je rôzna najväčšie je na juhu približne 600 m. Ročný prísun odpadu na haldu bol 300 000 t. Odpad z výroby bol tekutý a na začiatku výroby ho vypúšťali do mŕtvych ramien Váhu alebo priamo do Váhu. Neskôr vybudovali na nive Váhu bagrovaním nivných sedimentov až po dnovú štrkovú akumuláciu akési odkalisko, ktoré nebolo od podzemných vôd Váhu oddelené geomembránou a kal prichádzajúci z výroby s teplotou 95°C s vysokým obsahom kyselín, luhov a amoniaku sa rýchlo zbavoval svojej tekutej zložky priesakom do dnovej štrkovej akumulácie v nivných sedimentoch. Na začiatku výroby odtekal kal do mŕtvych ramien Váhu, alebo priamo do rieky .Počas 30 ročnej existencie závodu neboli vykonané nijaké opatrenia na ochranu životného prostredia nestalo sa tak ani po ukončení výroby. V podstate skládka bola neekologické odkalisko, ktorým boli podzemné vody Váhu a jeho prítokov permanentne znečisťované a sú aj dnes. Zrážky ktoré prenikajú haldou aj dnes vyplavujú zo skládky chemické zlúženiny. Za 30 rokov spotrebovala Niklová huta 168 720 t chemikálií, najviac amoniaku (84 000 t, rudu luhovali v amoniakálnom roztoku, sulfidu sodného 36 000 t a 30 400 t kyseliny sírovej atď.).

Niklová huta prešla likvidáciou v roku 1993 a mohutnú skládku predal štát súkromnej spoločnosti, aby sa zbavil zodpovednosti za zdevastované životné prostredie. Nový majiteľ skládky sa zmluvne zaviazal vykonať sanáciu skládky do 5 rokov (2006) a do 15 rokov mala byť úplne zlikvidovaná (2009), ale doteraz sa tak nestalo a zmluva chýba, pričom skládku vlastní už štvrtá spoločnosť (majiteľ je zrejme ten istý, mení sa iba názov spoločnosti). V podstate hlavný zdroj znečisťovania životného prostredia Niklová huta bola zlikvidovaná, ale znečistenie pretrváva doteraz. Majiteľ skládky už 24 rokov ťaží čierny niklový kal a exportuje ho do hutníckych podnikov v zahraničí na spracovanie za účelom získania kovov (železo, chróm, nikel) a ťažbou znehodnocuje najmä ovzdušie.

II. Materiál a metódy

V počiatočnom štádiu výskumu sme vykonali rekognoskáciu skládky metalurgického kalu, odpadu z výroby niklu a kobaltu. Spracovali sme zachované oficiálne archívne dokumenty rôznej povahy Niklová huta Sereď š. p., dokumenty výskumných ústavov a územných administratívnych inštitúcií, rešerše vedeckých štúdií, ktoré sa podrobne zaoberajú fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami metalurgického kalu. Výklad problému si vyžadoval konfrontáciu týchto informácií s reálnou situáciou. Druhá fáza výskumu bola orientovaná na terénny výskum vykonávaný v lokalite (roky 2014, 2015, 2017). V jeseni 2015 sme v štruktúrnych stanovištiach na skládke vykopali sondy odobrali desať vzoriek niklového kalu, ktoré sme poslali na rozbor do Akreditovaných geoanalytických laboratórií

Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra v Spišskej Novej Vsi a potom na meranie magnetických vlastností do Laboratória fyzikálnych vlastností DYNACOOL na Prešovskej univerzite. Technológie GIS a príslušný softvér boli použité na digitalizáciu priestorových údajov týkajúcich sa príslušných prvkov krajinnej štruktúry a prípadne na interpretáciu informácií získaných terénnou prácou v tretej fáze výskumu.

III. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Skládka metalurgického kalu je cudzorodým prvkom v krajine Podunajskej nížiny. Jej prítomnosť ovplyvňuje a mení charakter krajiny už 54 rokov. Skládka je zdrojom kontaminácie podzemných vôd, pôdnej pokrývky a vzduchu. Približne 20 000 t polymetalického prachu sa dostáva každoročne defláciu do ovzdušia. V roku 1983 vedecké inštitúcie Slovenskej akadémie vied uskutočnili rozsiahly výskum skládky, ale z rôznych príčin sa výsledky nikdy nepoužili na proces rekultivácie, aby sa zlepšil alarmujúci stav životného prostredia. Prvou príčinou bola požiadavka vedenia Niklovej huty, aby nedošlo k znehodnoteniu metalurgického kalu miešaním z inými látkami, pretože je to druhotná surovina, ktorá obsahuje najmä železo a chróm. Rekultivácia skládky ozelenením pri ktorom bolo potrebné primiešať do metalurgického kalu saturačný cukrovarnícky kal neprichádzala teda do úvahy. Vedenie vtedajšieho NS navrhlo odstrániť sekundárnu prašnosť postrekom skládky vodou (neefektívna a neekologická metóda). Ďalšou príčinou je nedostatok prostriedkov na komplexnú rekultiváciu skládky so súčasnou ochranou druhotných surovín. Tretou a najdôležitejšou príčinou bola skutočnosť, že v roku 1994 sa skládka stala súkromným majetkom a štát sa zbavil zodpovednosti za negatívne environmentálne účinky ohrozujúce verejné zdravie. Ťažbou metalurgického kalu vzniká vysoká sekundárna prašnosť, ktorá znehodnocuje kvalitu ovzdušia, podieľa sa na kontaminácii pôdy a povrchových vôd a ohrozuje zdravie viac ako 20 000 obyvateľov Serede a okolitých obcí. Odhaduje sa, že plocha poľnohospodárskej pôdy zasiahnutá emisiami polymetalického prachu je približne 1 500 ha a koncentrácia niklu v pôde v porovnaní s inými oblasťami je 7-8-krát vyššia. Časť pôdy v zázemí skládky bola vylúčená z poľnohospodárskeho pôdneho fondu.

Vlastnosti metalurgického kalu. Kal vznikol antropogénnou metamorfózou (mletím, prepieraním, luhovaním) albánskej lateritickej železo-niklovej rudy mokrým priemyselným procesom. tzv. Modifikovaným Caronovým procesom s použitím žieravín (tabuľka 1). Vlastnosti metalurgického kalu sa výrazne líšia od prírodných substrátov. Kal obsahuje 50-80% železa, 3,5% chrómu a vysoký obsah neproduktívnych zložiek (Tab. 1). Z aspektu výrobného procesu je metalurgický kal antropogénna toxická sedimentárna technická hornina s vysokým obsahom ťažkých kovov a nepriaznivými fyzikálno-chemickými vlastnosťami

TABUĽKA I.
Výroba kovov, množstvo odpadu, zloženie odpadu, spotreba chemikálií

Ročná produkcia kovov v [t], % z odpadu	Ročná produkcia odpadu v [t], za 30 rokov	Chemické zloženie odpadu v %	Ročná spotreba chemikálií v [t]
3000[t] Ni, 60[t] Co, 1,02 % z odpadu	300 000[t] odpad, 9 000 000 ml. [t] odpad	50 – 80% Fe, 2,5 – 3,5% Cr_2O_3, 6 -8% SiO_2, 6 -8% Al_2O_3, 2,5 - 3,5% CaO, 0,17% Ni, 0,6 – 0,18% P_2O_5	2 800[t] NH_4OH, 1 200[t] NaS, 610[t] HCl, 1013[t] H_2SO_4

Zdroj: Kalebáč, Souček& Had 1987

Fyzikálne vlastnosti metalurgického kalu. Pokiaľ ide o zrnitú reprezentáciu jednotlivých frakcií, ide o jemný textúrny materiál s neprirodzenou čiernou farbou. Obsahuje (Tab. 2) 17,5% častíc menších ako 10 µm, ktoré podliehajú deflácií (prach je polymetalický a karcinogénny, obsahuje ťažké kovy, predovšetkým Fe a Cr). Podiel frakcii veľkosti 200 µm a viac je 12,5% (jemný piesok) a zvyšok tvoria frakcie častíc prachového piesku > 10 µm (70%). Kal je porézny materiál s celkovo 68 obj. %. Objemová hustota je 1,42 g.cm-3. Kapacita retenčnej vody sa zvyšuje s hĺbkou a dosahuje 44,5 obj. % v hĺbke viac ako 45 cm. Kal intenzívne absorbuje infračervené žiarenie.

Merali sme aj magnetické vlastnosti vzoriek Spolic Technosols Alkalic/ Hyperartefactic zo vzoriek odobratých zo skládky metalurgického kalu v pri bývalom metalurgickom závode na výrobu niklu a kobaltu v Seredi. Zmerali sme závislosť magnetického momentu ako funkciu teplôt (240 - 340 K) a aplikovaných magnetických polí až do 9 T. Pri teplote miestnosti sme pozorovali tendenciu k nasýteniu magnetického momentu. Závislosť od teploty ukázala možné feromagnetické správanie. Závislosti magnetického poľa magnetických momentov pre rôzne teploty pre jednotlivé vzorky je rôzne. Niektoré z nich ukazujú objemové magnetické usporiadanie prezentované tendenciou k momentu nasýtenia, keď sa použije 9T. Toto správanie je potvrdením dominujúcej prítomnosti magnetických nečistôt Fe2O3 s teplotou prechodu 950 K. Pozorované závislosti by sme mohli spojiť s magnetickými nečistotami prítomnými v metalurgickom kale.

TABUĽKA II.
Sitová analýza metalurgického kalu zo Serede

Frakcie [µm]	> 200	200-90	90 -70	70 - 60	60 - 50	50 - 30	30 – 20	20 - 10	10 - 5
Množstvo v%	1,60	10,90	13,90	4,70	10,35	11,75	10,55	7,60	17,65

Zdroj: Materiály Ferromin s. r. o., Sobocká, Poltárska 2004

Chemické vlastnosti metalurgického kalu. Albánska lateritická železo-niklová ruda bola chemicky spracovaná amoniakálnym lúhovacím procesom. Kal je toxický hutný odpad uložený na rafinačnej skládke (Tab. 3). Obsah bioelementov v kale (fosfor 0,56 mg.kg-1, draslík 37 mg.kg-1) je veľmi nízky, obsah ťažkých kovov dostupných pre rastliny je vysoký. Obsah celkového organického C je extrémne nízky (TOC 0,05%) a jeho množstvo klesá s hĺbkou. Chemická forma C je odlišná v porovnaní s prírodnou zeminou v pôde. Analýza vzoriek (tabuľka 3) ukazuje, že obsah organickej hmoty v metalurgickom kale je veľmi nízky, obsah dusíka sa pohybuje medzi 0,05% a 0,67% (vo všetkých vzorkách).

Pokiaľ ide o toxicitu, kal v porovnaní s nekontaminovanou zeminou obsahuje asi 100-násobne viac niklu dostupného pre rastliny a 40 až 60-krát viac chrómu a železa. Účinky týchto koncentrácií sú pre rastliny toxické (Banášová in Paulech a kol., 1983). Záverom je, metalurgický kal je technogénna toxická hornina s nevhodnými vlastnosťami pre existenciu vegetácie: nízka vodná kapacita, alkalická reakcia (pH 7,9-8,9), kolísavý obsah dusíka, toxické hladiny ťažkých kovov (300 mg.kg-1 Cr 24),podlieha vodnej, veternej a antropogénnej erózii. Antropogénna erózia bola sprievodným fenoménom pravidelnej adaptácie skládky mechanizmami počas depozície (1963-1993) a teraz počas ťažby (25 rokov).

Charakter pôdnej pokrývky na skládke. Podľa Pracovnej skupiny IUSS WRB (2015) predstavujú technosoly – Technosols novú referenčnú skupinu pôd s charakteristikami, ktoré určuje materiál technogénneho pôvodu. Všetky technické horniny sa označujú vo svetovom morfogenetickom klasifikačnom systéme pôd ako artefakty (diagnostické materiálové artefakty) a na týchto horninách sú Technosols. Technosoly sa vyskytujú obyčajne na menších plochách, ale jednoducho patria do komplexnej štruktúry pôdnej pokrývky, v rámci ktorej sú spojené s inými skupinami pôd daného pôdno-klimatického pásma.

TABUĽKA III.
Priemer indikátorov siedmych vzoriek zo skládky

Indikátor	Jednotka	P/A	P/B	P/C	P/D	P/E	P/F	P/H	Metóda
pH (H_2O)		**8.17**	**8.56**	**8.25**	**8.5**	**8.6**	**8.16**	**8.24**	E
TOC	%	**0.47**	**2.30**	**3.3**	**0.05**	**3.52**	**4.30**	**0.12**	HTO
C	%	**1.54**	**7.08**	**6.1**	**0.74**	**8.58**	**9.26**	**0.90**	EA
N	%	**0.12**	**0.33**	**0.45**	**0.05**	**0.67**	**0.53**	**0.06**	EA
Fe_2O_3	%	75.20	43.0	55	28	36.95	40.0	74.5	RFS
Al_2O_3	%	3.25	3.00	2.65	3.27	2.23	2.52	3.10	RFS
Ni	mg/kg	**2 860**	**1697**	**2209**	**2 920**	**1625**	**1037**	**3151**	RFS
Cr	mg/kg	**22 475**	**1306**	**15 820**	**24 300**	**10 100**	**11 306**	**24 880**	RFS
Cu	mg/kg	43	43.3	66.3	40.0	84	54.3	71.0	RFS
Zn	Mg/kg	263	187	219	300.0	266	189.3	330.0	RFS
Prakcut ± 0.01	%	9.6	25.2	18.2	11.3	25.0	39.0	11.9	AS

Zdroj: Certifikované Geoanalytické laboratória ŠGÚDŠ, Spišská Nová Ves

Niektori autori používajú pre označenie technosolov termín technogénne povrchové formácie alebo technogénne povrchy (Shishov, Tonkonogov, Lebedeva & Gerasimova, 2001). Tento termín je možno presnejší pre celkový charakter technosolov, pretože z hľadiska vývoja tieto pôdy nepodliehajú procesu prirodzenej pedogenézy a nevytvárajú pôdny profil, ktorý by odrážal pedogenetické procesy typické pre danú zónu klimatického pásma ich výskytu. Vývoj profilu Technosols v niektorých lokalitách je ovplyvnený zásahmi človeka, napr. počas rekultivácie týchto povchov, resp. počas ťažby a iných zásahov. Počet lokalít Technosols v kultúrnej krajine sa neustále zvyšuje spolu s ich vplyvom na životné prostredie. Často sú zdrojmi kontaminácie. Materiál, ktorý obsahujú, môže byť toxický a ohrozuje životné prostredie, kvalitu života a zdravie obyvateľstva. Tieto lokality vyžadujú zvýšenú pozornosť.

Prípadová štúdia o súčasnom stave technogénneho povrchu na skládke odpadu z výroby niklu a kobaltu vznikla na základe fyzickogeografického výskumu lokality v rokoch 2010-2017. Metalurgický kal (čierne niklové bahno – lúženec) je vysoko alkalická technická hornina (Tab. 3). Ide o 100% priemyselný hutný odpad, teda artefakt. Jeho vlastnosti sú odlišné od charakteristických vlastností prírodných hornín. Jeho aktívny vek, t. j. obdobie, počas ktorého vznikol, je 30 rokov a jeho absolútny vek je 55 rokov. V priebehu depozície, ale aj po jej ukončení, bol metalurgický kal v našej klimatickej oblasti vystavený určitým zmenám. Na jednej strane došlo k zmenám pôsobením prírodných podmienok a faktorov, ako sú modifikácie chemického zloženia pri klimatických vplyvoch, zmena objemu materiálu vplyvom geomorfologických procesov a na druhej strane pôsobením človeka (napr. ťažba).

Podľa svetového morfogenetického klasifikačného systému pôd (WRB 2015) sú Technosols na skládke metalurgického kalu z výroby niklu a kobaltu klasifikované ako dva varianty Spolic Technosols Alcalic/ Hyperartefactic). Oba varianty sú alkalické alebo vysoko alkalické. Prvý variant pozostáva z dvoch vrstiev technogénneho substrátu. Jedným z nich je metalurgický kal a druhým saturačný kal z cukrovaru. Tento variant zo skupiny technosolov Spolic Technosols Alcalic/Hyperartefactic sa nachádza juhovýchodnej časti skládky (8 ha), ktorý bol experimentálne rekultivovaný v rokoch 1984/85 (Obr. 1). Druhý variant Spolic Technosols Alkalic/Hyperartefactic, pozostáva jednej vrstvy technogénneho substrátu, z metalurgického kalu (čierny niklový kal) a tieto pôdy zaberajú zvyšnú plochu skládky, teda nerekultivovanú časť (Obr.2).

OBRÁZOK I. Dve vrstvy technogénneho substrátu

OBRÁZOK II. Jedna vrstva technogénneho substrátu

Táto časť skládky je vo vegetačnom období je takmer prázdna, s výnimkou ojedinelých živoriacich jedincov rodu Populus. Plochy bez vegetácie pokrývajúce viac ako 55% celkovej rozlohy skládky sú zdrojom polymetalického prachu. Sú to lokality ťažby. Ich tvar sa každodenne mení a už dlhodobo ich nekropia vodou, proti prašnosti, lebo toto opatrenie obmedzuje a komplikuje ťažbu a nakladanie kalu do vlečky.

POĎAKOVANIE

„Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie, pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, kód projektu: 313011D232 , spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja."

LITERATÚRA

[1] V. Banásová, J. Hajdúk, *Der Gehalt an Fe, Cr, Ni, Ca, Al, Mg, Ti und S in Pflanzen und Boden der Abfallhalden von der Nickelhutte*. Biológia (Bratislava), roč. 31, č. 4., 1977, s. 279-288.

[2] V. Banásová, J. Hajdúk, *Vegetácia na skládke lúženca pri niklovej huti v Seredi*. Zborník IV. Zjazdu SBS Nitra: Slovenská botanická spoločnosť pri SAV, VŠP, ÚEBE, Agrokomplex., 1984, s. 329-335.

[3] O. Kalebáč, V. Souček, A. Had, *Výroba chrómového surového železa z lúžencového aglomerátu*. Hutnicke listy, 10, 1987, s. 705 – 711.

[4] J. Kordík, A. Šuranová, M. Jankulár, K. Klárisová, Z. Ženišová, Ľ. Jurkovský, *Hodnotenie vplyvu environmentálnych záťaží na podzemné vody a sediment v oblasti Serede*. Pozemná voda, 22 (2), 2016, s.112 – 132.

[5] M.O. Lebowitz, M. K. O' Rourke, S. Rogan, J. Rese, P. Wande Water, A. Blackwell, D. J. Moschandreas, S. Gordon, G. Robertson, *Inhalation Toxicology*, 12 (Suppl. 1), 2000, s. 139 - 144 Coden INHTES; ISN: 0895 – 8378.

[6] E. Mazúr, M. Lukniš, *Geomorfologické členenie územia SSR*. In Atlas SSR. Bratislava, SAV, SÚGK.

[7] E. Michaeli, M. Boltižiar, M. Ivanová, *Geoecological structure of the dump of technological waste (Fe – concentrate) et Sereď*, In: Acta Facultatis Studiorum Humanitatis et Naturae Universitatis Prešoviensis. Prírodné vedy Folia Geogrphica roč. XLIX, č.14. Special issue for the 2nd EUGEO Congress, Bratislava, s. 180 – 197.

[8] C. Paulech, C. et al., *Základný biologicko - ekologický prieskum v oblasti haldy lúženca v Niklovej huti v Seredi*. Záverečná správa ústavnej úlohy č. Ú -2, 208 s.

[9] L. L. Shishov, V. D. Tonkonogov, I. I. Lebedeva, & M. I. Gerasimova, eds. 2001. *Russian soil classification system. Moscow*. V.V. Dokuchaev Soil Science Institute.

[10] J. Sobocká, K. Poltárska, Description of technogenic spoil bank and its influence on agricultural soils (A case of nickel metallurgy refuse at Sereď). Procedings n. 26 - Vedecké práce, VÚPOP Bratislava, s. 103 – 112.

[11] R. Šály, *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálne referenčná taxonómia*. Bratislava, s. 63 – 68.

[12] J. Vilček, *Potential and quality parameters of agricultural soils of Slovakia*. Geographical journal, 63: 2. 133-154.

[13] IUSS Working Group WRB. 2015. *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources* Reports No. 106. FAO, Rome.

Možnosti revitalizácie kontaminovaných pôd v oblasti stredného Spiša

D. Fazekašová, J. Fazekaš, O. Hronec a P. Adamišin
Katedra environmentálneho manažmentu, Fakulta manažmentu Prešovskej univerzity v Prešove,
Konštantínova 16, 080 01 Prešov, Slovenská republika
danica.fazekasova@unipo.sk, juraj.fazekas@smail.unipo.sk, ondrej.hronec@unipo.sk, peter.adamisin@unipo.sk

Abstrakt **– Prispevok prezentuje výsledky analýz koncentrácií medi a ortuti v pôde, lokalizovanej v emisnom poli banských skládok, háld a nádrží ako pozostatkov aktivít ťažobného priemyslu v regióne stredného Spiša na Slovensku. Koncentrácia medi a ortuti v pôdach bola v rozpätí 35-1271 mg kg-1 a 0,4-32,7 mg kg-1, čo prekračovalo horné limity koncentrácie potenciálne toxických prvkov pre poľnohospodárske pôdy Slovenska (zákon č. 220/2004 Z. z.) , Výsledok tejto štúdie preukázal, že pôdy v regióne stredného Spiša boli vystavené výraznému znečisteniu medi a ortuťou. Následne sme v laboratórnych podmienkach testovali vplyv prírodnej látky HUMAC Enviro na redukciu medi a ortuti v kontaminovaných pôdach. Na základe aplikovaných štatistických metód (Wilcoxonov párový test) bol preukázaný štatisticky významný vplyv prírodnej látky HUMAC Enviro na zníženie obsahu medi vo vodnom roztoku. V prípade ortuti štatisticky významný vplyv preukázaný nebol. Aplikácia prírodnej látky HUMAC Enviro na báze huminových kyselín sa zdá byť dôležitá pri riešení súčasných environmentálnych problémov súvisiacich s kontamináciou životného prostredia**

Kľúčové slová **- pôdny ekosystém, meď, ortuť, HUMAC Enviro**

I. Úvod

Ťažba a spracovanie surovín pre produkciu medi, elektrotechnický priemysel a výroba zliatin patria k najvýznamnejším zdrojom medi v životnom prostredí. Prirodzený obsah v pôdach sa pohybuje od 20 do 30 $mg.kg^{-1}$. Doporučený limit pre uskutočnenie dekontaminácie je 1500 $mg.kg^{-1}$ pre pôdy a 500 $mg.l^{-1}$ pre podzemné vody. V kontaminovaných pôdach sa vyskytuje vo forme Cu^{2+} iónov, často v komplexoch s organickými ligandami [1]. Meď je viazaná nepristupne, hlavne v dôsledku tvorby komplexov s huminovými kyselinami, ktoré sú charakteristické veľmi pomalou rýchlosťou rozpustnosti a prenikajú na také miesta v štruktúre huminových kyselín odkiaľ sa veľmi ťažko uvoľňujú [2]. Medzi najvýznamnejšie zdroje výskytu ortuti v životnom prostredí patria spracovanie rúd, elektrochemické výroby, elektrotechnický priemysel, spaľovanie uhlia a výroba ochranných prípravkov pre poľnohospodárstvo. Všetky zlúčeniny ortuti sú pre človeka mimoriadne toxické. Prirodzený obsah ortuti v pôdach sa pohybuje v jednotkách až desiatkach mikrogramov na kilogram. Doporučený limit pre uskutočnenie dekontaminácie je 20 $mg.kg^{-1}$ pre pôdy a 5 $mg.l^{-1}$ pre podzemné vody. Ortuť má silnú tendenciu vytvárať komplexy s organickými zložkami pôdy, vytvára stabilné komplexy s rôznymi organickými ligandami ako cysteín, aminokyseliny a hydroxy-karboxylové kyseliny [1]. V študovanej oblasti stredného Spiša sa meď a ortuť dlho ťažila a spracúvala, a preto tieto ťažké kovy dosahujú celoplošne najvyššie hodnoty.

V príspevku sú uvedené výsledky laboratórneho testovania prírodnej látky HUMAC Enviro na redukciu medi a ortuti v kontaminovaných pôdach.

II. Materiál a metódy

Skúmané územie stredného Spiša sa nachádza v Spišskom regióne, ktorý predstavuje územie 2. environmentálnej kvality, t.j. región s mierne narušeným prostredím. Skúmané územie stredného Spiša sa čiastočne nachádza v Rudňanskom okrsku so značne narušeným prostredím [3].

Monitorovaných bolo 9 kontaminovaných oblastí (Obrázok 1). Vzorky pôdy na určenie obsahu ťažkých kovov sa odoberali na trvalých výskumných miestach,

Obrázok 2. HUMAC Enviro 100% prírodná substancia (vľavo - prášková forma, v pravo – granulová forma)

ktoré sa používajú ako trvalé trávne porasty a nachádzajú sa v imisnom poli háld a odkalísk z horizontu A v hĺbke 0,05 až 0,15 m. Obsah Cu a Hg v pôde a vo vodnom výluhu bol určený röntgenovou fluorescenčnou spektrometriou (RFS) a atómovou emisnou spektrometriou s indukčne viazanou plazmou (AES - ICP) v akreditovanej laboratóriu podľa metodiky Fiala [4]. Ako sorbent sme použili 100% prírodnú látku HUMAC Enviro vyrobenú z čistého zdroja zoxidovaného hnedého uhlia v 2% koncentrácii (Obrázok 2). Účinná látka je kyselina huminová, ktorá má vysokú absorpčnú schopnosť viazať sa na rôzne toxické látky. Obsah huminovej kyseliny v sušine použitého prípravku bol 62%. Na štatistické spracovanie údajov bol použitý softvér Statistica 13.

III. VÝSLEDKY A DISKUSIA

V oblasti stredného Spiša sa meď a ortuť dlho ťažila a spracúvala, a preto tieto ťažké kovy dosahujú celoplošne najvyššie hodnoty. Najväčšie znečistenie medi bolo zaznamenané na trvalých trávnych porastoch v katastrálnom území Krompachy (1271 mg.kg^{-1}) v dôsledku prítomnosti Kovohuty Krompachy, ktorá bola na začiatku 19. storočia dôležitým centrom farebnej metalurgie v Maďarsku. Limitné hodnoty medi boli prekročené v siedmich skúmaných lokalitách (Tabuľka I.).

TABUĽKA I.
OBSAH MEDI A ORTUTI A PÔDNA REAKCIA SKÚMANÝCH OBLASTÍ STREDNÉHO ŠPIŠA (SLOVENSKO)

Lokalita	Meď [mg.kg^{-1}]	Ortuť [mg.kg^{-1}]	pH/KCl
KR 1	718	4.57	7.7
KR 3	436	3.39	5.1
KR 4	1271	6.74	4.8
SL 1	89	0.45	5.3
SL 4	166	0.43	7.3
RD 1	47	8.46	5.7
RD 4	35	0.35	6.0
PR 3	104	18.9	4.8
PR 4	257	32.7	5.5
Limitná hodnota*	60	0.5	

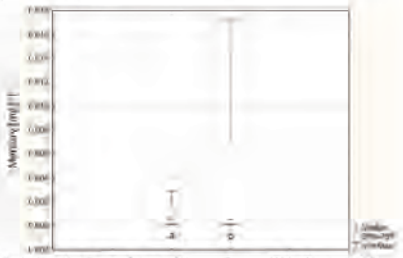
*Zákon 220/2004

Prítomnosť ortuti v pôdach zaťaženej oblasti je výsledkom dlhodobej ťažby a spracovávania ortuťových rúd v Rudňanoch. Namerané hodnoty ortuti presahovali limitné hodnoty na šiestich lokalitách. Najzávažnejšie znečistenie bolo zistené na území obce Poráč, v blízkosti ktorej sú situované početné haldy banského odpadu pochádzajúce z produkcie ortuti v Rudňanoch. Namerané hodnoty ortuti boli prekročené až 66 krát (Tabuľka I.). Uvedené zistenia boli publikované aj v prácach Bobra a kol. [5] a Angelovičovej a Fazekašovej [6]. Maximálna mobilita medi nastáva pri pH nižšom ako 4,5 a vyššom ako 7,0, mobilita ortuti nie je závislá od pH [7].

Z výsledkov experimentálnych meraní vyplynulo, že vo vodnom výluhu, ktorý bol urobený zo vzoriek obsahujúcich nadlimitné obsahy Cu, sa nachádza nadlimitný obsah Cu vo všetkých vzorkách (0,03 – 0,87 mg.l^{-1}, limit 0,02 Nariadenie vlády č. 269/2010 o povrchových vodách) čo predstavuje 13 násobné prekročenie limitných hodnôt. Následne aplikáciou 2% látky HUMAC Enviro do vodného výluhu sme zistili po 5 dňoch 0,03 – 0,32 mg.l^{-1} Cu. Priemerná hodnota bola 0,16 mg.l^{-1} Cu a jej prekročenie bolo 8 násobné. Porovnaním s kontrolnými vzorkami sme zistili 35% zníženie obsahu Cu (Obrázok 3).

Obrázok 3. Obsah medi (mg.l^{-1}) vo vodnom výluhu kontrolných vzoriek (a) a s prídavkom 2% HUMAC Enviro po 5 dňoch (b)

Vo vodných výluhoch boli zistené aj nadlimitné obsahy ortuti. Priemerná hodnota Hg vo vodnom výluhu bola 0,0014 mg.l^{-1}, čo predstavuje 14 násobné prekročenie limitných hodnôt (limit 0,0001 mg.l^{-1} Nariadenie vlády č. 269/2010 o povrchových vodách). Aplikáciou 2% látky HUMAC Enviro do vodného výluhu sme zistili po 5 dňoch zníženie limitných hodnôt ortuti len v dvoch testovaných vzorkách.



Obrázok 4. Obsah ortuti (mg.l^{-1}) vo vodnom výluhu kontrolných vzoriek (a) a s prídavkom 2% HUMAC Enviro po 5 dňoch (b)

Metódou štatistickej analýzy (Wilcoxon Matched Pairs Test) sme zistili, štatistický významný vplyv prírodnej látky HUMAC Enviro na zníženie obsahu medi vo vodnom výluhu, čím sa potvrdil náš predpoklad, že zvyšujúci sa obsah organickej hmoty v pôde výrazne zvyšuje sorpciu kovov, predovšetkým kovov s vysokou afinitou k organickej hmote. V prípade ortuti naše výsledky neboli štatistický významné (Tabuľka II.). V súlade s našimi zisteniami mnohé štúdie ukazujú, že prírodné látky na báze humínových kyselín sa považujú za vysoko účinné sorbenty rôznych kontaminantov [8, 9, 10, 11].

TABUĽKA II.
VÝSLEDKY ŠTATISTICKÉHO TESTOVANIA (WILCOXON MATCHED PAIRS TEST)

Parameter	Valid N	T	Z	p-value p<0.05 p<0.01
Meď vo vodnom výluhu (mg. l⁻¹) Meď vo vodnom výluhu s 2% HUMAC Enviro po 5 dňoch (mg.l⁻¹)	9	0	2.66557	**0.007686**
Ortuť vo vodnom výluhu (mg. l⁻¹) Ortuť vo vodnom výluhu s 2% HUMAC Enviro po 5 dňoch (mg.l⁻¹)	6	4	1.362773	0.172956

N - celkový počet párov, T - štatistický test, Z – skóre

IV. ZÁVER

Výsledky tejto štúdie ukázali, že pôdy v regióne stredného Spiša sú znečistené meďou a ortuťou. Z výsledkov experimentálnych meraní vyplynulo, že aplikácia 2% prírodnej látky HUMAC Enviro do vodného výluhu, pripraveného zo vzoriek kontaminovaných pôd z stredného Spiša, znížila obsah medi. Štatistickým testovaním (Wilcoxon Matched Pairs) sa potvrdil štatisticky významný vplyv prírodnej látky HUMAC Enviro na zníženie obsahu medi vo vodnom výluhu, v prípade ortuti sa štatistická významnosť nepotvrdila. Ako odpoveď na toto zistenie, rovnako ako v mnohých svetových výskumoch zameraných na skúmanie vplyvu humínových kyselín v zložkách životného prostredia, použitie prírodnej látky Humac Enviro sa zdá byť významné pri riešení súčasných environmentálnych problémov spojených s kontamináciou životného prostredia.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

POUŽITÁ LITERATÚRA

[1] M. Pipíška, a L. Remenárová, *Environmental biotechnology – Biosorption of toxic substances*, Trnava, University of Ss. Cyril and Methodius, Faculty of Natural Sciences, 2014, 182 s.

[2] J. Makovníková, G. Barančíková, P. Dlapa, a K. Dercová Inorganic and organic contaminants in the soil environment. *Chem. Listy*, vol.100, pp. 424-432, 2006.

[3] J. Klinda., T. Mičík, M. Némethová, a M. Slámková, *Environmentálna regionalizácia Slovenskej republiky*, Bratislava, MŽP SR. 134 s. 2016.

[4] K. Fiala, G. Barančíková, V. Brečková, V. Burik, B. Houšková, A. Chomaničová, J. Kobza, T. Litavec, L. Makovníková, B. Pechová, a D. Varadiova, *Partial monitoring system – soil, binding methods*, Bratislava, Research Institute of Soil Science and Conservation, 1999.

[5] M. Bobro, P. Slančo, J. Hancuľák, J. Brehuv, a E. Fedorová. The current state of the occurrence of mercury in Rudnany. Conference proceeding *About ecology in selected agglomerations of Jelšava - Lubeník and Central Spiš*, 2003.

[6] L. Angelovičová, a D. Fazekašová, Contamination of the soil and water environment by heavy metals in the former mining area of Rudňany (Slovakia), *Soil and Water Research*, vol. 9, pp 18-24, 2014.

[7] G. Barančíková, Proposal of appropriate categorization of soil SR in terms of sensitivity to pollution heavy metal, *Rastlinná výroba*, vol. 44, pp. 117-122, 1998.

[8] IH. Cattani, BM. Beone, AA. Del Re, R. Boccelliand, a MJ. Trevisan, The role of natural purified humic acids in modifying mercury accessibility in water and soil, *J Environ Qual.*, vol. 38, pp. 493-501, 2009.

[9] BI. Olu-Owolabil, DB. Popoola, a EI. Unuabonah, Removal of Cu^{2+} and Cd^{2+} from aqueous solution by bentonite clay modified with binary of goethite and humic acid, *Water Air Soil pollut.*, vol. 211, pp. 459-474. 2010.

[10] X. Xu, X. Cao, L. Zhao, H. Wang, H. Yuand, a B. Gao, Removal of Cu, Zn and Cd from aqueous solutions by the dairy manure-derived biochar, *Environ Sci Pollut Res.*, vol. 20, pp. 358-368. 2013.

[11] DP. Sounthararajah, P. Loganathan, J. Kandasamy, a S. Vigneswaran, Effects of Humic Acid and Suspended Solids on the Removal of Heavy Metals from Water by Adsorption onto Granular Activated Carbon, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 12, pp.10475-10489, 2015.

Príprava funkcionalizovaných ekologických uhlíkových materiálov

(Výsledky výskumu pilotného projektu PP-4, aktivita 3.7. - Aspekty ochrany životného prostredia pri spracovaní uhlia – monitoring a revitalizácia vo vzťahu k izolácii a využitiu izolovaných organických látok)

R. Mariychuk

Katedra ekológie, Fakulta humanitných a prírodných vied, Prešovská univerzita v Prešove, Prešov, Slovensko

e-mail: ruslan.mariychuk@unipo.sk

***Abstrakt* – Fyzikálno-chemické vlastnosti uhlíkových materiálov (povrchová plocha, veľkosť pórov, chemizmus povrchu a elektrická vodivosť) môžu byť ovplyvnené výberom metódy prípravy, prekurzorových materiálov a rôznych úprav. Vzhľadom na možnosť regulovať ich vlastnosti našli uhlíkové materiály využitie v širokom rozsahu aplikácií, napr. ako adsorbenty na úpravu odpadových vôd a čistenie plynov, materiály na skladovanie energie a ako katalyzátory. Nové uhlíkové nanomateriály majú veľký potenciál v elektronike ako katalyzátory a adsorbenty. Predpokladom širšieho uplatnenia uhlíkových materiálov je však vyvinutie nákladovo-efektívnych metód ich prípravy a funkcionalizácie. Použitie odpadových materiálov z poľnohospodárskej a potravinárskej výroby ako východiskovej suroviny je perspektívnou stratégiou pre prípravu pokročilých uhlíkových materiálov. Príspevok predstavuje prehľad najnovších výsledkov (literárnych a vlastných) z oblasti funkcionalizácie uhlíkových materiálov pripravených environmentálne priaznivým spôsobom, tzv. zelenou syntézou.**

***Kľúčové slová* – Aktívne uhlie, zelená syntéza, adsorpcia**

I. Úvod

Aktívne uhlie je významným zástupcom skupiny viacúčelových materiálov. Využíva sa v mnohých oblastiach, napr. elektrochémii, elektronike, katalýze, alebo v adsorpčných procesoch v plynnej a vodnej fáze. Jeho popularita spočíva najmä v tom, že má rozmanité funkčné skupiny, ktoré sa dajú navyše meniť, rozsiahly aktívny povrch, a tiež v relatívne nízkych nákladoch na prípravu a modifikáciu. Väčšina týchto aplikácií sa zakladá na flexibilnej koordinačnej chémii atómov uhlíka a ich schopnosti viazať iné heteroatómy, buď na povrchu, alebo zabudované do vnútornej štruktúry.

Uhoľný priemysel produkuje každoročne milióny ton aktívneho uhlia, pričom spotrebúva veľký objem prekurzorov ako minerálne uhlie a drevo. Preto je nízkonákladová produkcia aktívneho uhlia predmetom rozsiahleho štúdia.

Rýchly rast ľudskej populácie zvyšuje dopyt po produktoch, ktoré pokrývajú jej životné potreby. Poľnohospodárstvo a s ním spojený spracovateľský priemysel produkujú veľké množstvo rastlinného odpadu, ako sú napr. zvyšky z lisovania cukrovej trstiny, kukuričné klasy, slama, ryžové alebo pšeničné plevy. Vo väčšine prípadov tieto druhy odpadu nemajú ekonomickú hodnotu a navyše spôsobujú problémy s ich likvidáciou. Využívanie agro-odpadu ako suroviny pre výrobu uhlíkových materiálov by náklady na likvidáciu znížilo a zároveň poskytlo potenciálne lacnú alternatívu ku komerčne dostupným typom aktívneho uhlia [1].

II. Ekologické uhlíkové materiály

Nedávny pokrok v dizajne uhlíkových materiálov priniesol nečakané príležitosti pre ich multidisciplinárne využitie. Vďaka pozoruhodným možnostiam ovplyvniť počas syntézy ich fyzikálno-chemické a štrukturálne vlastnosti (veľkosť a tvar častíc, rovnomernosť pórov, pružnosť a i.) sú moderné uhlíkové materiály sľubné z hľadiska uplatnenia v mnohých oblastiach vedy a techniky [2-5].

Povrchová chémia uhlíkových materiálov poskytuje užitočné a takmer neobmedzené nástroje na navrhovanie materiálov zodpovedajúcich novým environmentálnym výzvam. Už aj menšie zabudovanie heteroatómov ovplyvňuje fyzikálno-chemické vlastnosti uhlíkových materiálov (vlastné usporiadanie, chemickú stabilitu, reaktivitu) [4], teda využiteľnosť daného materiálu v špecifickej aplikácii môže byť modulovaná voľbou vhodného prekurzora a reguláciou chemického zloženia a štruktúry.

V súčasnosti však už nestačí iba upravovať vlastnosti uhlíkových materiálov pre optimálnu adsorpciu či katalýzu (stabilita, kapacita, selektivita atď.). Nevyhnutným sa stáva tiež vyváženie ekonomických a environmentálnych faktorov. Cieľom je vyvinúť tzv. zelenú produkciu, ktorá by redukovala dopady na životné prostredie spojené s prípravou, spracovaním a implementáciou uhlíkových materiálov bez obmedzenia ich aplikovateľnosti.

V súvislosti s tým využitie obnoviteľných zdrojov a odpadov ako prekurzorov predstavuje perspektívnu stratégiu trvalo udržateľnej produkcie uhlíkových materiálov. V posledných rokoch boli zaznamenané nové prístupy k syntéze týchto materiálov, ktoré v porovnaní s klasickými metódami poskytujú výhody nižších nákladov [6-8].

Spomínané prekurzory pre prípravu ekologických uhlíkových materiálov sú z hľadiska zloženia bohaté a rozmanité (napr. riasy, taníny, polysacharidy, ligno-celulózové odpady). Chemizmus ich povrchov je často oveľa zložitejší než pri tradičných uhlíkových materiáloch. Táto zložitosť je zdrojom jedinečných vlastností a predstavuje jeden z kľúčových aspektov ich využitia v mnohých oblastiach adsorpcie, katalýzy atď. [9].

III. Funkcionalizácia povrchu uhlíkových materiálov

Uhlíkové materiály sú zložené z sp^2-hybridizovaných atómov uhlíka usporiadaných v 2D štruktúre a zoskupených do vrstiev z pospájaných aromatických

kruhov (grafénové listy). Grafénové vrstvy sú viazané slabými Van der Waalsovými silami, buď v usporiadanej štruktúre (grafitové alebo grafitizované uhlíky), alebo v neusporiadanej štruktúre (aktivované uhlíky) [10]. Prítomné sú dva rôzne typy atómov uhlíka: na hrane a v rovine grafénovej vrstvy. Reaktivita uhlíkových povrchov je daná pomerom medzi atómami rovín a hrán, pretože hrany majú vyššiu reaktivitu, a je spojená s chemickou sorpciou heteroatómov, ktorá vedie k vytvoreniu stabilných funkčných skupín na povrchu [11]. Rozloženie a koncentrácia povrchovej aktivity uhlíka silne závisí od východiskového materiálu, tepelného spracovania, chemickej modifikácie a lokálneho prostredia povrchových skupín.

A. Funkčné skupiny obsahujúce kyslík

Tieto funkčné skupiny sú najbežnejšie povrchové skupiny prítomné na všetkých typoch uhlíkových povrchov. Vyplýva to zo silnej afinity uhlíka reagovať s kyslíkom, keď je vystavený pôsobeniu vzduchu (chemická sorpcia kyslíka prebieha dokonca aj pri nízkej teplote) [12]. Kyslík však môže byť inkorporovaný aj z prekurzorového materiálu.

Podľa koncepcie kyslosti povrchových skupín sa funkčné skupiny obsahujúce kyslík rozlišujú všeobecne na kyslé (t. j. karboxylové skupiny, anhydridy, hydroxylové, laktónové a laktylové skupiny) a bázické (t. j. chroménové, pyrónové a chinónové štruktúry) (Obr. 1). Množstvo kyslíka v uhlíkových materiáloch je malé (1 až 6 % hmotnosti) a prítomné väčšinou vo forme termicky nestabilných povrchových oxidov bázickej povahy. Kyslé funkčné skupiny sú nestabilné a rozkladajú sa už počas syntézy. Obsah kyslíka v uhlíkových materiáloch však možno ľahko zvýšiť až na 20 % dodatočnou modifikáciou (oxidáciou v kvapalnej alebo plynnej fáze) [13]. Pri ekologických uhlíkových materiáloch je v porovnaní s konvenčnými zastúpenie kyslíka vyššie, pretože ich prekurzory zvyčajne obsahujú väčšie množstvo kyslíka.

Obrázok 1. Príklad možného usporiadania funkčných skupín obsahujúcich kyslík na povrchu uhlíkového materiálu.

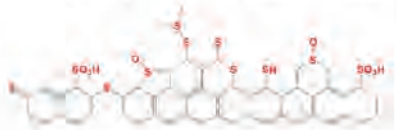
Príprava ekologických uhlíkových materiálov s využitím trvalo udržateľných zdrojov a nízkoteplotných syntetických postupov priniesla zaujímavé produkty s výnimočnými kyslíkovo-uhlíkovými komplexmi [14]. Materiály získané hydrotermálnou karbonizáciou z polysacharidov a lignocelulózových prekurzorov tiež preukázali jedinečné štrukturálne a chemické zloženie [15].

Jadro je hydrofóbne a má vysoký obsah kyslíka v dôsledku navzájom previazaných furánových a éterových alebo keto-alifatických reťazcov. Na druhej strane, obal je hydrofilný, s veľkou hustotou povrchových kyslíkových skupín kyslej povahy (t. j. hydroxylových, karbonylových alebo karboxylových). Vďaka tomuto neobvyklému chemickému usporiadaniu sú uvedené materiály vhodné pre využitie v katalýze, na transport liečiv, imobilizáciu enzýmov alebo selektívnu a reaktívnu adsorpciu [16].

Viaceré uhlíkové materiály pripravené odlišnými oxidačnými metódami sme popísali v práce [17]. Použili sme oxidáciu peroxidom vodíka, ktorý reagoval s uhlíkovým materiálom pri zvýšenom tlaku a pri teplotách nad bodom varu kvapalného H_2O_2. Za týchto podmienok pary H_2O_2 menili textúru pôvodne mikroporézneho aktívneho uhlia. Zlepšenie mezoporozity sa dosiahlo aplikáciou 30 až 40 % (hm.) pár H_2O_2 pri teplote 593 až 633 K a tlaku 100 až 160 barov. Plocha vonkajšieho povrhu dosiahla maximálnu hodnotu 350 $m^2.g^{-1}$ s výrazne zmenenou povrchovou funkčnosťou. Novým poznatkom je, že vysokoteplotná deštrukcia centier tvorených dvoma susednými skupinami inicuje tvorbu a následné preskupovanie molekúl CO (Bellovu reakciu), ktoré prechádzajú na povrch uhlíkového materiálu. Oxidácia parami H_2O_2 za uvedených podmienok je inovatívnou metódou regulácie textúry a funkcii povrchovej vrstvy pevných častíc uhlíka.

B. Funkčné skupiny obsahujúce síru

Síra je prirodzene prítomná v uhlíkových materiáloch v podobe sírovo-organických zlúčenín, elementárnej síry a anorganických látok, v množstve 0 až 5 % hmotnosti (Obr. 2). Inkorporácia skupín obsahujúcich síru do povrchov sa uskutočňuje reakciou uhlíkovej matrice s elementárnou sírou, H_2S, CS_2 alebo SO_2 pri rôznych teplotách. Koncentrácia síry sa môže dodatočnou modifikáciou zvýšiť až na 10 % (hm.). Sulfónované uhlíkové materiály obsahujú sulfidy a disulfidy, tiofenoly a tiochinóny, ako aj sulfoxidové a sulfónové skupiny.



Obrázok 2. Príklad možného usporiadania funkčných skupín obsahujúcich síru na povrchu uhlíkového materiálu.

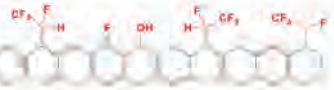
Komplexy uhlíka so sírou boli skúmané z hľadiska možných aplikácií, ako sú adsorpcia vodnej pary drevným uhlím [18], selektívne odstraňovanie ťažkých kovov (napr. kadmium, ortuť, olovo) z kvapalnej alebo plynnej fázy [19] či odstraňovanie sírovo-organických kontaminantov [20]. Aktivita komplexov uhlík-síra má vplyv na selektivitu adsorpčného procesu vzhľadom na schopnosť cieľových skupín (t. j. kovu alebo sírovo-organickej zlúčeniny) vytvoriť silné väzby s komplexmi uhlík-síra [21].

Vďaka prítomnosti skupín sulfónových kyselín v uhlíkových materiáloch sa tieto materiály stávajú sírovo-organickými kyselinami pevného skupenstva [22]. Ako také prejavujú vysokú účinnosť pri reakciách katalyzovaných kyselinami. Oproti silným kvapalným kyselinám majú kyseliny na báze uhlíka výhodu zjednodušeného postupu separácie a čistenia a navyše môžu byť opakovane použité [4]. Ak sú pripravené sulfonáciou jemných uhlíkových práškov získaných čiastočnou karbonizáciou škrobu, cukru alebo sacharidov, obsahujú zvyčajne až 1,5–2 $mmol.g^{-1}$ kyslých skupín SO_3H [23]. Jemné uhlíkové prášky majú však nízku teplotnú stabilitu povrchovej vrstvy a nepriaznivé mechanické vlastnosti. Aktívne uhlie získané z prírodných

obnoviteľných zdrojov alebo ekonomicky nenákladných prekurzorov [24] majú z hľadiska prípravy sulfónovaných uhlíkových materiálov viaceré výhody. Nové poznatky o modifikácii povrchu aktívneho uhlia oligo- a/alebo polymerizovanými styrénovými formami, ktoré podstatne zvyšujú povrchovú koncentráciu aromatického vodíka, sme publikovali v práce [22]. Takto upravené látky je možné ľahko substituovať skupinami SO_3H a výsledkom sú materiály pevného skupenstva na báze uhlíka so značnou povrchovou kyslosťou.

C. *Funkčné skupiny obsahujúce fluór*

Pri príprave halogénovaných uhlíkových materiálov sa aplikujú pary alebo vodné roztoky halogénov na uhlík, čo vedie k tvorbe komplexov uhlík–halogén (Obr. 3). Množstvo fixovaného halogénu závisí od samotného uhlíka a od teploty reakcie; reaktivita a stabilita komplexu uhlík–halogén klesá v poradí Cl > Br > I [25]. Halogénové skupiny naviazané na uhlík môžu vstupovať do ďalších reakcií, preto sú predmetom veľkého záujmu z hľadiska modifikácie uhlíkových štruktúr (napr. nanorúrok) ako aj iných aplikácií.



Obrázok 3. Príklad možného usporiadania funkčných skupín obsahujúcich fluór na povrchu uhlíkového materiálu.

Niektoré chlórované a jódované uhlíkové materiály boli napríklad skúmané z hľadiska ich možného využitia v nízkonákladových technológiách zameraných na zníženie globálnych emisií ortuti [26]. Fluorizácia je účinnou metódou na úpravu povrchovej polarity (hydrofóbnosti) uhlíka. Štúdií týkajúcich sa rôznych povrchovým úprav na zlepšenie vlastností uhlíkových materiálov je mnoho [27]. Modifikačné postupy zahŕňajú anodizáciu [28], úpravu plazmou [29], či oxidáciu v roztokoch [30] a v plynnej fáze [31].

Aktuálne prebieha široký výskum venovaný príprave uhlíkových materiálov obsahujúcich fluór, pretože majú viaceré unikátne vlastnosti, ako vysoká hydrofóbnosť, tepelná stabilita, zaujímavé elektrochemické vlastnosti, zvýšená mobilita nosičov nábojov atď. [32]. Je niekoľko spôsobov, ako získať uhlíkové materiály obsahujúce fluór, ktoré nevyžadujú použitie pár alkalických kovov, voľného fluóru, plazmy, žiarenia, fluoridov xenónu, fluoridov iných halogénov alebo prechodných kovov vo vyšších oxidačných stavoch.

Efektívna úprava uhlíkových materiálov roztokom perfluóralkylperoxidu v perfluórchlórouhlíkovom rozpúšťadle je popísaná v práce [33]. Zahrievanie zmesi vedie k rozkladu peroxidu a vytvoreniu voľných perfluóralkylových radikálov, ktoré reagujú s povrchom uhlíkových materiálov a viažu sa naň. Inou metódou je reakcia uhlíkového materiálu s fluóro-organickou látkou počas zahrievania na 200 °C [34]. Vzniknuté voľné radikály reagujú s povrchom materiálu a vytvárajú kovalentné väzby C-F pevne viazané na povrch uhlíkovej matrice. Takto získané uhlíkové materiály s obsahom fluóru majú komerčné označenie Fluocar®. Metódu fluorizácie dvojvrstvových uhlíkových nanorúrok pomocou fluóru v prítomnosti fluórouhlíka uvádza práca [35] a klasický spôsob fluorizácie uhlíkových materiálov v tavenine KHF_2 počas elektrolýzy s uhlíkovou anódou v práce [36].

Dvojkrokový postup prípravy uhlíkových materiálov s obsahom fluóru popísali v práce [11]. V prvom kroku sa pôsobením pár CCl_4 na počiatočné uhlíkové materiály pri teplote 400 - 450 °C získajú chlórované materiály. Tie obsahujú 3 až 5 mmol.g^{-1} chlóru, z ktorého väčšia časť (75 %) je prítomná vo forme trichlórmetylovej skupiny a menšia časť (25 %) je priamo viazaná na uhlíkovú matricu. Za normálnych podmienok (vo vodných roztokoch) je prvá forma chlóru chemicky pasívna. Ale v aprotonickom rozpúšťadle, v prítomnosti makrocyklickej zlúčeniny, môže byť účinkom fluoridov alkalických kovov ľahko nahradená fluórom [38]. Proces popísaný autormi práce [34] sa môže aplikovať za účelom využitia fluórovaných uhľovodíkov, ako sú Freon R-12 (difluórodichlórmetán) a R-114B2 (1,2-dibrómtetrafluóretán).

D. *Dopovanie kovmi*

Je známe, že pevné naviazanie kovu s katalytickou aktivitou (t. j. Pt, Co, Ni, Cu) na uhlíkových nosičoch zlepšuje stabilitu, účinnosť a disperziu katalyzátora [14]. Príprava uhlíkových materiálov dopovaných kovmi sa zvyčajne vykonáva v roztokoch alebo metódami iónovej výmeny, po ktorých nasleduje kalcinácia a redukcia. Komerčne dostupné aktívne uhlie má, vo väčšine prípadov, dostatočné textúrne parametre a vhodnú poréznu štruktúru na adsorpciu iónov ťažkých kovov. Koncentrácia povrchových funkčných skupín sa však zdá byť nedostatočná pre účinnú adsorpciu. Úloha kyslíkových skupín a bázických väzobných miest pri disperzii kovov na uhlíkových nosičoch je široko dokumentovaná v literatúre [39]. Bázické skupiny sú účinnejšie než kyslé, navyše kvôli nízkej tepelnej stabilite kyslých skupín (karboxylových) sa môže vyskytnúť spekanie kovových častíc, ak sa za účelom redukcie aplikujú vysoké teploty [39]. Pre zvýšenie koncentrácie povrchových funkčných skupín sme aplikovali oxidačnú modifikáciu ako najefektívnejšiu a najjednoduchšiu metódu [40]. Vysoké koncentrácie skupín obsahujúcich kyslík sme získali úpravou aktívneho uhlia pomocou H_2O_2 a HNO_3. Produkty po oxidácii kyselinou dusičnou mali najväčšiu schopnosť adsorbovať ióny Cu^{2+}.

IV. ZÁVER

Aplikácia organických odpadov pochádzajúcich z poľnohospodárstva v úlohe prekurzorov pri výrobe aktívneho uhlia je ako „zelená" alternatíva zaujímavá pre výskum aj prax. Takéto využívanie odpadovej biomasy je výhodné nielen vďaka ľahkej dostupnosti a nízkym nákladom, ale zároveň umožňuje spracovať, a tým pádom likvidovať, veľké množstvá odpadu produkovaného v rámci celého sveta, ktoré spôsobujú vážne environmentálne problémy. Navyše, známe sú rozmanité metódy povrchovej modifikácie uhlíkových materiálov funkčnými skupinami obsahujúcimi kyslík, síru, halogény, fosfor či dusík. V rámci týchto postupov nachádzajú uplatnenie dokonca aj rizikové toxické odpady. Napríklad fluórované uhľovodíky (freóny) je možné využiť na prípravu fluórovaných uhlíkových materiálov s unikátnymi funkčnými vlastnosťami.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

LITERATÚRA

[1] Delgado, C.N., Mendez, J.R.R. "Preparation of carbon materials from lignocellulosic biomass" *Green Carbon Materials - Advances and Applications*, 2014, pp. 35-63.

[2] L.J. Konwar, J. Boro, D. Deka, "Review on latest developments in biodiesel production using carbon-based catalysts", *Renew. Sustain. Energy Rev*. 2014, pp. 546-564.

[3] A.M. Dehkhoda, A.H. West, N. Ellis, "Biochar based solid acid catalyst for biodiesel production", *Appl. Catal. A Gen.* 2010, 382, pp. 197-204.

[4] A. Zieba, A. Drelinkiewicz, P. Chmielarz, L. Matachowski, J. Stejskal, "Transesterification of triacetin with metanol on various solid acid catalysts. A role of catalyst properties", *Appl. Catal. A Gen.* 2010, 387, pp. 13-25.

[5] M. Toda, A. Takagaki, M. Okamura, J.N. Kondo, S. Hayashi, K. Domen, M. Hara, "Biodiesel made with sugar catalyst", *Nature* 2005, 438, p. 178.

[6] A. Aldana-Perez, L. Lartundo-Rojas, R. Gomez, M.E. Nino-Gomez, "Sulfonic groups anchored on mesoporous carbon Starbons-300 and its use for the esterification of oleic acid", *Fuel* 2012, 100, pp. 128-138.

[7] M. Gonçalves, M. Mantovani, W.A. Carvalho, R. Rodrigues, D. Mandelli, J.S. Albero, "Biodiesel wastes: an abundant and promising source for the preparation of acidic catalysts for utilization in etherification reaction", *Chem. Eng. J.* 2014, 256, pp. 468-474.

[8] L. Geng, G. Yu, Y. Wang, Y. Zhu, "Ph-SO_3H-modified mesoporous carbon as an efficient catalyst for the esterification of oleic acid", *Appl. Catal. A Gen.* 2012, 427-428, pp. 137-144.

[9] J.A. Sanchez, D.L. Hernandez, J.A. Moreno, F. Mondragon, J.J. Fernandez, "Alternative carbon based acid catalyst for selective esterification of glycerol to acetylglycerols", *Appl. Catal. A Gen. 2011*, 405, pp. 55-60.

[10] J.R. Kastner, J. Miller, D.P. Geller, J. Locklin, L.H. Keith, T. Johnson, "Catalytic esterification of fatty acids using solid acid catalysts generated from biochar and activated carbon", *Catal. Today*, 2012, 190, pp. 122-132.

[11] K.R. Benak, L. Dominguez, J. Economy, C.L. Mangun, "Sulfonation of pyropolymeric fibers derived from phenol-formaldehyde resins", *Carbon*, 2002, 40, pp. 2323-2332.

[12] Radovic, L. R., and Bockrath, B. "On the chemical nature of graphene edges: origin of stability and potential for magnetism in carbon materials". *J. Am. Chem. Soc.*, 2005, 127, pp. 5917-5927.

[13] Ania, C. O., Parra, J. B., and Pis, J.J. "Influence of oxygen containing functional groups on active carbon adsorption of selected organic compounds", *Fuel Process Technol.*, 2002, 79, pp. 265-271.

[14] Inagaki, M., Park, K. C., and Endo, M. "Carbonization under pressure". *New Carbon Mater.*, 2010, 25, pp. 409-420.

[15] Sevilla, M., and Fuertes, A. B. "Chemical and structural properties of carbonaceous products obtained by hydrothermal carbonization of saccharides". *Chem. Eur. J.*, 2009, 15, pp. 4195-4203.

[16] Ania, C.O. Surface chemistry of green carbons (2014) *Green Carbon Materials - Advances and Applications*, pp. 1-33.

[17] Diyuk, V.E., Mariychuk, R.T., Lisnyak, V.V. "Barothermal preparation and characterization of micro-mesoporous activated carbons: Textural studies, thermal destruction and evolved gas analysis with TG-TPD-IR technique" *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2016, 124 (2), pp. 1119-1130.

[18] Puri, B. R. Chemistry and Physics of Carbon, 6. ed. Walker, P. L., "Surface complexes on carbons" (Marcel Dekker, New York) (1970).pp. 191-282.

[19] Macias-Garcia, A., Valenzuela-Calahorro, C., Espinosa-Mansilla, A., Bernalte-Garcia, A., and Gomez-Serrano, V. "Adsorption of Pb^{2+} in aqueous solution by SO_2 treated activated carbon". *Carbon*, 2004, 42, pp. 1755-1764.

[20] Seredych, M., Wu, C. T., Brender, P., Ania, C. O., Vix-Guterl, C., and Bandosz, T. J. "Role of phosphorus in carbon matrix in desulfurization of diesel fuel using adsorption process". *Fuel*, 2012, 92, pp. 318-326.

[21] Seredych, M., Khine, M., and Bandosz, T. J. "Enhancement in dibenzothiophene reactive adsorption from liquid fuel via incorporation of sulfur heteroatoms into the nanoporous carbon matrix". *Chem. Sus. Chem.*, 2010, 17, pp. 137-149.

[22] Diyuk, V.E., Mariychuk, R.T., Lisnyak, V.V. "Functionalization of activated carbon surface with sulfonated styrene as a facile route for solid acids preparation", *Materials Chemistry and Physics*, 2016, 184, pp. 138-145.

[23] M. Gonçalves, M. Mantovani, W.A. Carvalho, R. Rodrigues, D. Mandelli, J.S. Albero, "Biodiesel wastes: an abundant and promising source for the preparation of acidic catalysts for utilization in etherification reaction", *Chem. Eng. J.* 2014, 256, pp. 468-474.

[24] L. Geng, G. Yu, Y. Wang, Y. Zhu, "Ph-SO_3H-modified mesoporous carbon as an efficient catalyst for the esterification of oleic acid", *Appl. Catal. A Gen.* 2012, 427-428, pp. 137-144.

[25] Bandosz, T. J. ed. (2006). *Activated Carbon Surfaces for Environmental Remediation.* Elsevier, USA.

[26] Yang, C. M., and Kaneko, K. "Adsorption properties of iodinedoped activated carbon fiber". *J. Colloid Interf. Sci.*, 2002, 246, pp. 34-39.

[27] Kap Seung Yang, Dong Joon Lee, Seung Kon Ryu, Yozo Korai, Yong Joong Kim, Isao Mochida. "Isotropic carbon and graphite fibers from chemically modified coal-tar pitch" *Korean J. Chem. Eng.* 1999, 16, pp. 518-524.

[28] A. Fukunaga, S. Ueda, M. Nagumo, "Air-oxidation and anodization of pitch-based carbon fibers", *Carbon*, 1999, 37, pp. 1081-1085.

[29] M.A. Montes-Moran, A. Martiez-Alonso, J.M.D. Tascon, R.J. Young, "Effects of plasma oxidation on the surface and interfacial properties of ultra-high modulus carbon fibres", *Compos. Pt. A-Appl. Sci. Manuf.*, 2001, 32, pp. 361-371.

[30] Z. Wu, C.U. Pittman, S.D. Gardner, "Nitric acid oxidation of CFs and the effects of subsequent treatment in refluxing aqueous NaOH", *Carbon*, 1995, 33, pp. 597-605.

[31] W.H. Lee, J.G. Lee, P.J. Peucroft, "XPS study of carbon fiber surfaces treated by thermal oxidation in a gas mixture of $O_2/(O_2+N_2)$", *Appl. Surf. Sci.*, 2001, 171, pp. 136-142.

[32] *Fluorinated Carbons: Fundamentals and Applications: Progress in Fluorine Science Series* / O.V. Boltalina, T. Nakajima // Academic Press, 2016, 442p.

[33] W. Navarrini, M. Sansotera, P. Metrangolo, P. Cavallotti, G. Resnati, "Modification of carbonaceous materials". Patents US8648217B2, EP2176162A1, WO2009019243A1.

[34] A. Zaderko, V. Prusov, V. Diyuk, "Method for carbon materials surface modification by the fluorocarbons and derivatives". Patents WO2016072959; UA110301C2; US20170260052A1.

[35] Yu.V. Fedoseeva, M.D.E. Flahaut, O.Yu. Vilkov, A. Chuvilin, I.P. Asanov, A.V. Okotrub, L.G. Bulusheva "Effect of Hydrogen Fluoride Addition and Synthesis Temperature on the Structure of Double-Walled Carbon Nanotubes Fluorinated by Molecular Fluorine". *Physica Status Solidi (B)*, 2017, 255, 1, article# 1700261.

[36] A.J. Arvia, J.B. de Cusminsky "Kinetics of the electrochemical formation of fluorine at carbon electrodes". *Trans. Faraday Soc.*, 1962, 58, p.1019-1032.

[37] Diyuk, O. Zaderko, L. Grischenko. "Method for producing fluorine-containing carbonaceous material", Patent UA110585.

[38] V.E. Diyuk, A.N. Zaderko, L.M. Gryshchenko, A.V. Yatsymyrskiy, V.V. Lisnyak, "Efficient carbon-based acid catalysts for the propan-2-ol dehydration", *Catal. Commun.* 2012, 27, pp. 33-37.

[39] Fraga, M. A., Jordao, E., Mendes, M. J., Freitas, M. M. A., Faria, J. L., and Figueiredo, J. L. "Properties of carbon-supported platinum catalysts: role of carbon surface sites". *J. Catal.*, 2002, 209, pp. 355-364.

[40] Grishchenko, L.M., Diyuk, V.E., Konoplitska, O.P., Lisnyak, V.V., Mariychuk, R.T. "Modelling of copper ions adsorption onto oxidative-modified activated carbons" *Adsorption Science and Technology*, 2017, 35 (9-10), pp. 884-900.