





Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774
Ljubljana, oktober 2012, letnik 61, str. 225-248

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Leskoškova 9e, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za knjigo RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani** in **Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**
prof. dr. Matjaž Mikoš
Jakob Presečnik
MSG IZS: **Gorazd Humar**
mag. Črtomir Remec
doc. dr. Branko Zadnik
FGG Ljubljana: **doc. dr. Marijan Žura**
FG Maribor: **Milan Kuhta**
ZAG: **prof. dr. Miha Tomažević**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Sodelavec pri MSG IZS:

Jan Kristijan Juteršek

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

3000 izvodov

Podatki o objavah v reviji so navedeni v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA (The Int. Construction Database) ter na

<http://www.zveza-dgits.si>

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 22,95 EUR; za študente in upokojene 9,18 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 169,79 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
SI56 0201 7001 5398 955

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Članki (razen angleških povzetkov) in prispevki morajo biti napisani v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledki med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev z nazivi in naslovi ter besedilo.
6. Članki morajo obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); znanstveni naziv, imena in priimke avtorjev, strokovni naziv, navadni in elektronski naslov; oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; ključne besede v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; ključne besede (key words) v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ... naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike (risbe in fotografije s primerno ločljivostjo) in preglednice morajo biti razporejene in omenjene po vrstnem redu v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: (priimek prvega avtorja, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela razvrščena po abecednem redu priimkov prvih avtorjev in opisana z naslednjimi podatki: priimek, začetnica imena prvega avtorja, priimki in začetnice imen drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
14. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD glavnemu in odgovornemu uredniku na e-naslov: janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V sporočilu mora avtor napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren.

Uredništvo

Vsebina • Contents

Jubilej

stran **226**

prof. dr. Janez Duhovnik, univ. dipl. inž. grad.
AKADEMIK PROF. DR. MIHA TOMAŽEVIČ – 70 LET

Članki • Papers

stran **227**

Miran ABRAM, univ. dipl. org., inž. grad.
**UPORABA METOD KVALITATIVNE ANALIZE ZA OPREDELITEV
NAČINOV ODPOVEDI ELEMENTOV ŽELEZNIŠKE PROGE,
NJIHOVIH VZROKOV IN KRITIČNOSTI**

USING METHODS OF QUALITATIVE ANALYSIS TO IDENTIFY FAILURE
MODES OF RAILWAY LINE ELEMENTS, THEIR CAUSES, EFFECTS
AND CRITICALITY



stran **241**

mag. Dejan HRIBAR, univ. dipl. inž. grad.
doc. dr. Marjan Tušar, univ. dipl. inž. kem.
**VPLIV DELEŽA BITUMNA V SESTAVI BITUMENSKEGA BETONA
NA REZULTATE PRESKUSOV PRI NIZKIH TEMPERATURAH**

INFLUENCE OF BITUMEN CONTENT IN THE ASPHALT CONCRETE
MIXTURES ON THE RESULTS OF TESTS AT LOW TEMPERATURES



Odmev

stran **247**

Franc Maleiner, univ. dipl. inž. kom.
**PRIPOMBE K ČLANKU PROF. DR. MITJA RISMALA: PROBLEMI
UPRAVLJANJA VODA V SLOVENIJI IN GOSPODARJENJA Z NJIMI
(GRADBENI VESTNIK, AVGUST 2012)**

Novi diplomanti

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Koledar prireditev

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Slika na naslovnici: Gradnja novih skakalnic v Planici, foto Janez Duhovnik

AKADEMIK PROF. DR. MIHA TOMAŽEVIČ – 70 LET



Akademik prof. dr. Miha Tomaževič, univ. dipl. inž. grad., je pred kratkim praznoval sedemdesetletnico. Gradbenikom v Sloveniji in svetu je znan kot izjemni strokovnjak za potresnovarno gradnjo zidanih stavb. Miha Tomaževič se je

rodil 19. septembra 1942 v Ljubljani. Po končani gimnaziji v Ljubljani se je leta 1961 vpisal na Fakulteto za gradbeništvo in arhitekturo Univerze v Ljubljani, kjer je diplomiral na konstrukcijskem odseku gradbenega oddelka leta 1966. Podiplomski študij je opravil pri Inštitutu za potresno inženirstvo in inženirsko seizmologijo Univerze Kiril i Metodij v Skopju, kjer je magistriral leta 1977. V obdobju med letoma 1981 in 1982 je bil na podiplomskem izpopolnjevanju v Disaster Prevention Research Institute, Univerza v Kjotu, Japonska. Doktor tehniških znanosti je postal na Univerzi v Ljubljani leta 1985 z disertacijo Eksperimentalne in analitične raziskave dinamičnega obnašanja zidanih zgradb pri potresni obtežbi.

Od leta 1967 dalje je zaposlen v Zavodu za gradbeništvo (prej Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij) v Ljubljani, katerega direktor je bil med letoma 1996 in 2005. Pod njegovim vodstvom je novonastali javni raziskovalni zavod utrdil položaj doma in si pridobil mednarodni ugled. Kasneje je bil svetovalec direktorja. Od leta 1977 do polovične upokojitve leta 2009 je bil vodja odseka za potresno inženirstvo.

Miha Tomaževič je leta 1986 postal izredni profesor, leta 1991 pa redni profesor za potresno inženirstvo in zidane konstrukcije na FGG Univerze v Ljubljani. Leta 1988 je bil gostujoči profesor na Univerzi v Trentu, Italija, leta 1991 pa na Universidad de Chile, Santiago, Čile. Po letu 1999 je redno gostoval na univerzi v Padovi, Italija, in predaval na podiplomski šoli za konservatorstvo Fakultete za arhitekturo politehniko v Milanu. Gostoval je na Tehniški univerzi v Dresdnu, Nemčija, na Indian Institute of Technology v Roorkeemu in na Univerzi v Brescii, Italija. Imel je več kot 60 predavanj in seminarjev na različnih univerzah in raziskovalnih inštitutih v ZDA, Italiji, Nemčiji, Grčiji, na Japonskem, Kitajskem, v Čilu in Mehiki. Je član uredniških odborov revij European Earthquake Engineering in Bulletin of Earthquake Engineering.

Za izrednega člana Slovenske akademije znanosti in umetnosti (SAZU) je bil izvoljen 7. junija 2001, 21. maja 2009 pa za rednega člana. Tako je postal osmi slovenski akademik s področja tehniških ved. Slovensko gradbeništvo je dobilo drugega predstavnika med aktivnimi rednimi člani SAZU

oziroma tretjega v celotni zgodovini SAZU. Je tudi redni član Inženirske akademije Slovenije.

Miha Tomaževič je med najvidnejšimi slovenskimi strokovnjaki na področju gradbeništva. Odlikujejo ga izjemni raziskovalni dosežki in njihova uspešna vpeljava v prakso. Ožje področje njegovega znanstvenega dela je obnašanje zidanih in armiranobetonskih gradbenih konstrukcij pri potresni obtežbi. Njegove raziskave so v pretežni meri eksperimentalne, saj je zaradi lastnosti materialov konstrukcij, katerih obnašanje raziskuje, mogoče ovrednotiti številne projektne parametre le tako, da se med potresom ugotovljeno obnašanje konstrukcij ponazorijo v laboratoriju. Miha Tomaževič je raziskovalne metode prilagodil razmeram in zmožnostim laboratorija v ZAG-u in pokazal, da je mogoče tudi z razmeroma skromno opremo doseči zanesljive rezultate. S tem je k eksperimentalno-raziskovalnemu delu spodbudil številne raziskovalce v manj razvitih delih sveta. Dosežene rezultate zelo uspešno uporablja pri razvoju metod analize in projektiranja. Že pred več kot tridesetimi leti je predlagal, naj se potresna odpornost zidanih konstrukcij oceni na podlagi krivulje odpornosti kritične etaže. Za račun krivulje je uporabil metodo, ki se danes imenuje metoda potisne analize in tako postal eden prvih na svetu, ki so potresno odpornost konstrukcij ovrednotili na ta način. V zadnjem času so njegove raziskave povezane z evrokodi. Predlagal je kriterije za uporabo sodobnih votlakov z izboljšanimi toplotnoizolativnimi lastnostmi na potresnih območjih. Raziskoval je odvisnosti med sposobnostjo deformiranja zidanih konstrukcij in poškodbami, nastalimi pri posameznih mejnih stanjih, in na podlagi kriterija sprejemljivega obsega poškodb predlagal omejitve pri projektiranju. Miha Tomaževič je precejšen del raziskav posvetil tudi tehničnim ukrepom za zmanjšanje potresne ranljivosti obstoječih zidanih stavb, tudi stavb arhitekturne kulturne dediščine. Raziskoval je mehanizem delovanja stropnih konstrukcij in zidnih vezi pa tudi učinke številnih ukrepov za utrjevanje zidovja, kot so oblaganje in injektiranje. Na podlagi rezultatov raziskav je predlagal metodo za dimenzioniranje vezi in dal pobudo za projektiranje sestavin injekcijske mešanice v skladu s konservatorskimi zahtevami. Tudi na tem področju uživa Tomaževič velik mednarodni ugled. V zadnjih letih je z več vabljenimi predavanji na mednarodnih kongresih in delavnicah seznanil javnost z rezultati raziskav in s svojimi pogledi na projektiranje. Bil je tudi član znanstvenih odborov najuglednejših mednarodnih kongresov na tem področju. Pridobljene izkušnje je uporabil pri odpravljanju posledic potresov. Ne samo doma, kjer je koordiniral delo ekip za ocenjevanje uporabnosti po potresih poškodovanih objektov ter strokovno usmerjal izvedbo popravila in

utrjevanja, pripravil podlago za strategijo varstva pred potresi in 1998 tudi napisal priročnik za ocenjevanje uporabnosti, pač pa tudi v tujini. V Italiji je bil med letoma 1977 in 1981 član interdisciplinarne deželnovladne komisije za odpravo posledic furlanskega potresa (za svoje delo je 2001 dobil posebno priznanje), kot ekspert je deloval tudi za UNDP-UNIDO, mehiško vlado in Svetovno banko. Pri nas je bil med začetniki ugotavljanja potresne ranljivosti stavb kot podlage za ukrepe preprečevanja posledic potresov in upravljanja.

Njegova bibliografija obsega skoraj 700 zapisov, od tega blizu 400 objav, med njimi je več kot 120 znanstvenih in strokovnih člankov, objavljenih v tujih in domačih revijah, ter šest knjig. Knjiga Earthquake Resistant Design of Masonry Buildings, ki je izšla pri založbi Imperial College Press/World Scientific leta 1999, je bila leta 2005 prevedena v grščino, vse od izida pa je med najbolj opaženimi in najbolje prodajanimi knjigami na področju potresnega inženirstva. Posodobljena, dopolnjena in bolj obsežna knjiga Potresno odporne zidane stavbe je leta 2009 izšla tudi v slovenščini.

Na področju raziskav zidanih konstrukcij pri potresni obtežbi se je uvrstil v svetovni vrh, o čemer pričata med drugim vabilu za pripravo preglednih poročil (state-of-the-art) na 10. evropski konferenci o potresnem inženirstvu leta 1994 na Dunaju in na 11. svetovni konferenci o potresnem inženirstvu leta 1996 v Acapulcu. O tem pričajo tudi številna vabila za predavanja na konferencah in univerzah, nagrada Outstanding Paper Award za članek, objavljen v zborniku 6. severnoameriške konference za zidane konstrukcije leta 1993, in nagrada Scalzi Research Award za izreden prispevek na področju raziskovanja zidanih konstrukcij, ki mu jo je leta 2005 podelil The Masonry Society.

Miha Tomaževič je bil dolga leta član uredniškega odbora, zdaj pa je že več let član izdajateljskega sveta Gradbenega vestnika. Zaslužen je za neprekinjeno finančno podporo nekdanjega ZRMK in sedanjega ZAG Gradbenemu vestniku. Posebno mesto pa ima Miha Tomaževič med avtorji člankov v Gradbenem vestniku. Med vsemi avtorji, ki so objavljali v Gradbenem vestniku od njegove ustanovitve pred dobrimi šestdesetimi leti, je po številu člankov tretji, in sicer s sedemintridesetimi članki, med živimi avtorji pa prvi. Vedno se je zavedal, da je pisanje člankov v slovenščini izjemno pomembno za prenos znanja med domače strokovnjake in za razvoj slovenskega strokovnega izrazja.

Uredništvo Gradbenega vestnika se Mihui Tomaževiču v imenu vseh slovenskih gradbenikov zahvaljuje za vse opravljeno delo in mu ob življenjskem jubileju želi še veliko dejavnih let!

Janez Duhovnik

UPORABA METOD KVALITATIVNE ANALIZE ZA OPREDELITEV NAČINOV ODPOVEDI ELEMENTOV ŽELEZNIŠKE PROGE, NJIHOVIH VZROKOV IN KRITIČNOSTI

USING METHODS OF QUALITATIVE ANALYSIS TO IDENTIFY FAILURE MODES OF RAILWAY LINE ELEMENTS, THEIR CAUSES, EFFECTS AND CRITICALITY

Miran ABRAM, univ. dipl. org., inž. grad.
Slovenske železnice – Infrastruktura, d. o. o.
miran.abram@siol.net

Znanstveni članek
UDK 625.04:625.14

Povzetek | Železniški prometni sistem (ŽPS) je kompleksen, sestavljen iz mobilnih sredstev, sistema vleke, zgornjega in spodnjega stroja železniške proge, signalnovarnostnih in telekomunikacijskih naprav ter informacijskega sistema za upravljanje prometa, ki so s stališča zanesljivosti vezani zaporedno. Njegova primarna funkcija je izvajanje varnega in urejenega železniškega prometa na določeni železniški progi znotraj železniškega omrežja na podlagi veljavnega voznega reda. Glavni vzroki za nerazpoložljivost ŽPS so odpovedi sistema kot celote ali odpovedi njegovih sestavnih delov. Železniška proga predstavlja transportno pot, na kateri ŽPS opravlja svojo osnovno funkcijo. Odpovedi železniške proge povzročijo odpovedi njenih funkcionalnih enot, sklopov in komponent, zato je treba v procesu opravljanja kvalitativnih analiz prepoznati načine odpovedi posameznih sestavnih elementov, njihove vzroke, učinke in kritičnosti v določenih stanjih in v določenih obdobjih. Pri študiju načinov odpovedi, njihovih vzrokov, učinkov in kritičnosti elementov železniške proge smo uporabili induktivni metodi Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) in Failure modes Effects and Criticality Analysis (FMECA); za potrebe ločevanja načinov odpovedi od njihovih vzrokov pa deduktivno metodo Cause Tree Method (CTM) oziroma Failure Tree Analyse (FTA). Z izvajanjem opisane metodologije se približamo metodi vzdrževanja elementov železniške proge na osnovi zanesljivosti (Reliability Centred Maintenance (RCM)). Opisano metodologijo za izvajanje kvalitativnih analiz smo uporabili za študij načinov odpovedi, njihovih vzrokov, učinkov in kritičnosti železniške tirnice v določenih stanjih. Rezultati opravljenih kvalitativnih analiz tirnice sistema 49E1, vgrajene v neprekinjeno zavarjeni tir in stikovani tir, v določenem obdobju, na določeni železniški progi znotraj železniškega omrežja na območju Republike Slovenije, kažejo, da opisana metodologija podaja realne rezultate.

Ključne besede: železniški prometni sistem, železniška proga, železniška tirnica, načini odpovedi elementov železniške proge, učinki in kritičnosti načinov odpovedi.

Summary | The railway transport system (RTS) is a complex system consisting of mobile resources, a traction system, the railway infrastructure, signalling and safety devices, the telecommunication equipment and the information system for traffic management, which are from the standpoint of the reliability connected successively. Their primary

function is the implementation of secure and regulated rail traffic on the railway line within the rail network on the basis of the valid timetable. The main reasons for the non-availability of RTS are the failures of the system as a whole and the failures of its individual parts. The railway line represents a transport route, on which the RTS performs its basic function. The failures of the railway lines are caused by the failures of their functional units, sets and components, so it is very important that in the process of the implementation of the qualitative analysis we recognize the failure modes of the individual constituent elements, their causes, effects and criticality in a particular state and time intervals. In the study of failure modes, their causes, effects and criticality of elements of the railway line, we used the inductive method, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) and Failure modes Effects and Criticality Analysis (FMECA); for the purposes of the separation between failure modes and their causes, we used the deductive method Cause Tree Method (CTM) or the Failure Tree Analyse (FTA). The methodology described is close to the method of maintaining the railway line items based on reliability (Reliability Centered Maintenance (RCM)). The described methodology for qualitative analysis was used to study of failure modes, their causes, effects and criticality of the railway track in certain states. The results of the qualitative analyses of the railway track type 49E1, built into the continuously welded and contacted railway track, in a given time period, in a railway line within the railway network in the territory of the Republic of Slovenia, showed that the described methodology gave real results.

Keywords: railway traffic system, railway line, railway track, failure modes of elements of railway line, effects and criticality of failure modes.

1 • UVOD

Posledica odpovedi železniške proge je odpoved železniškega prometnega sistema (ŽPS) na obravnavani progi oziroma prenehanje njegove sposobnosti, da zadovoljivo opravlja svojo funkcijo, tj. varen in urejen prevoz potnikov in tovora iz enega kraja v drugega, na podlagi veljavnega voznega reda.

ŽPS opredelimo kot sestav petih delov:

- mobilnih sredstev,
- sistema vleke,
- signalnovarnostnih in telekomunikacijskih naprav,
- zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge,
- informacijskega sistema za upravljanje prometa.

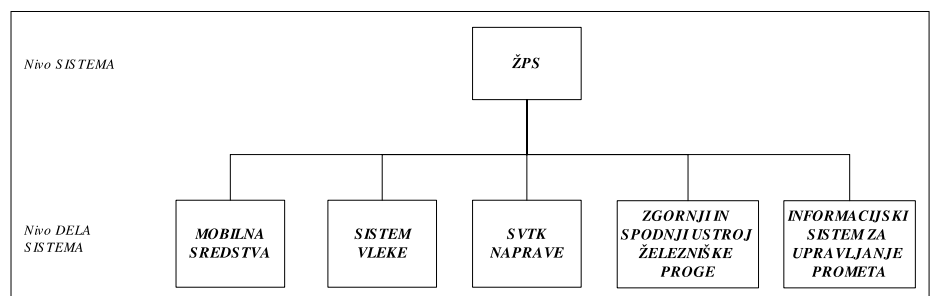
Hierarhična struktura ŽPS do nivoja dela sistema je prikazana na sliki 1.

Nerazpoložljivost ŽPS pomeni nezmožnost sistema za opravljanje njegove osnovne funkcije. Glavni vzroki za nerazpoložljivost ŽPS so odpovedi njegovih delov (mobilnih sredstev, sistema vleke, zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge, signalnovarnostnih in telekomunikacijskih naprav, informacijskega sistema za upravljanje prometa). Na podlagi navedenega opredelimo logično strukturo ŽPS do nivoja delov sistema tako, da so

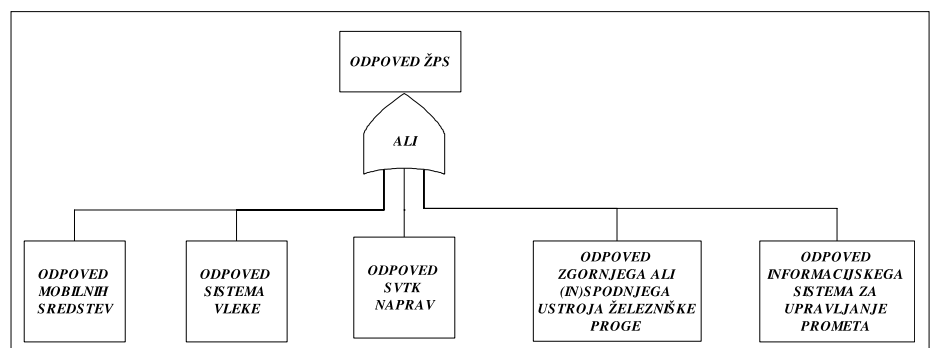
posamezni deli ŽPS, s stališča zanesljivosti, vezani zaporedno, kar pomeni, da odpoved posameznega dela ŽPS povzroči odpoved

sistema in s tem nezmožnost za opravljanje osnovne funkcije. Logična struktura ŽPS do nivoja delov sistema je prikazana na sliki 2.

Pri opredelitvi odpovedi železniške proge oziroma njenih sestavnih elementov, entitet, lahko odpovedi klasificiramo na (Villemeur, 1992): postopne in nenadne, delne



Slika 1 • Hierarhična struktura ŽPS do nivoja dela sistema



Slika 2 • Logična struktura ŽPS do nivoja delov sistema

in popolne, katastrofalne in degradacijske, odpovedi v zgodnjem obdobju življenjskega cikla sestavnega elementa dela sistema, slučajne odpovedi v obdobju normalnega delovanja sestavnega elementa dela sistema, odpovedi v obdobju staranja sestavnega elementa dela sistema, primarne, sekundarne in zahtevane.

Entiteta je vsaka komponenta, sklop, funkcionalna enota, podsistem, del podsistema, del sistema, sistem, ki je predmet obravnave.

V nadaljevanju podajamo definicije tako klasificiranih odpovedi:

Postopna odpoved entitete je odpoved, ki nastane zaradi postopnega spreminjanja danih karakteristik entitete (v nadaljevanju sistema, elementa sistema) v časovnem intervalu.

Nenadna odpoved entitete je odpoved, ki ni rezultat progresivne izgube karakteristik entitete in ne more biti predvidena s predhodnimi preiskavami ali monitoringom.

Delna odpoved entitete je odpoved, ki nastane zaradi odstopanja karakteristik entitete od posebej opredeljenega nivoja teh karakteristik, vendar tako, da ne povzroči popolne nesposobnosti entitete za opravljanje zahtevane funkcije.

Popolna odpoved entitete je odpoved, ki nastane zaradi odstopanja karakteristik entitete preko opredeljenega nivoja in ima za posledico popolno nesposobnost entitete za opravljanje zahtevane funkcije.

Katastrofalna odpoved entitete je odpoved, ki je nenadna in popolna.

Degradacijska odpoved entitete je odpoved, ki je postopna in delna.

Zgodnje odpovedi entitete so odpovedi v začetnem obdobju življenjskega cikla entitete, katerih pogostost hitro pada.

Slučajne odpovedi entitete so odpovedi v normalnem obdobju življenjskega cikla entitete s približno konstantno pogostostjo in so običajno katastrofalne.

Odpovedi v obdobju izrabe entitete so odpovedi v obdobju izrabe s hitro naraščajočo pogostostjo oziroma verjetnostjo nastanka.

Primarna odpoved entitete je neodvisna odpoved, ki ni povzročena posredno ali neposredno z odpovedjo ali napako druge entitete.

Sekundarna odpoved entitete je odvisna odpoved, povzročena posredno ali neposredno z odpovedjo druge entitete.

Zahtevana odpoved entitete je odpoved, katere neposredni ali posredni vzrok je odpoved druge entitete, ki je bila načrtovana oziroma projektirana za ta namen.

2 • TEORETIČNE OSNOVE

Študij načinov odpovedi sistema obsega opredelitev tistih elementov sistema, ki lahko povzročijo odpoved sistema, opredelitev možnih načinov odpovedi, vzrokov načinov odpovedi in opredelitev učinkov posameznega načina odpovedi na razpoložljivost celotnega sistema ((Hudoklin, 1993), (Hudoklin, 1994), (Hudoklin, 1995), (Hudoklin, 1996), (Pham, 1998)).

Način odpovedi opredelimo kot obliko, v kateri se pokaže odpoved.

Vzrok načina odpovedi opredelimo kot okoliščine, ki so na ta način povzročile odpoved.

Učinek načina odpovedi pa opredelimo kot skupek vseh možnih posledic posameznega načina odpovedi.

Študij načinov odpovedi omogoča odkrivanje tistih mest oziroma elementov v sistemu, ki so s stališča razpoložljivosti kritična, in planiranje korektivnih ukrepov za izboljšanje razpoložljivosti kritičnih elementov (Villemeur, 1992).

Za opredelitev odpovedi železniške proge uporabimo metodo analize načinov, vzrokov in učinkov odpovedi (FMEA) ((Braglia, 2000), (Pillay, 2003), (Stamatis, 1995)) tako, da pri analizi načinov odpovedi in njihovih vzrokov uporabimo tudi metodo drevesa odpovedi (FTA) (Villemeur, 1992).

Drevo odpovedi je poseben primer logičnega diagrama kombinacije dogodkov, ki vodijo v glavni dogodek, ki je na vrhu drevesa

odpovedi in običajno predstavlja neželeni dogodek za obravnavani sistem (odpoved sistema) ((Sinnamon, 1997), (Rosenberg, 1996), (Murchland, 1975)). Drevo odpovedi sestoji iz zaporednih nivojev dogodkov, povezanih na tak način, da vsak dogodek na določenem nivoju sledi iz določenih dogodkov na nižjem nivoju skozi različne logične operatorje oziroma logična vrata. Dogodki na posameznih nivojih predstavljajo odpovedi elementov sistema na določenem nivoju hierarhične strukture sistema. Navedeni deduktivni proces ((Hudoklin, 2004), (Villemeur, 1992)), tj. razstavljanje glavnega dogodka na dogodke, ki glavni dogodek povzročijo, se nadaljuje, dokler niso opredeljeni osnovni dogodki, ki so medsebojno neodvisni in katerih verjetnost dogodka je znana.

FMEA je induktivna metoda, ki predstavlja prvi korak v procesu priprave in izvajanja programa vzdrževanja sistema na podlagi njegove zanesljivosti (Reliability Centered Maintenance) (Moubrey, 1997) in se uporablja za sistematičen študij vzrokov in učinkov načinov odpovedi elementov sistema na sistem oziroma za:

- oceno učinkov posameznega načina odpovedi elementa sistema na različne funkcije sistema;
- ugotovitev tistih načinov odpovedi, ki pomembno vplivajo na zanesljivost, razpoložljivost, vzdrževalnost in varnost sistema.

Glavne faze pri izvajanju metode FMEA so:

- opredelitev sistema, njegovih funkcij in elementov,
- identifikacija načinov odpovedi elementov in njihovih vzrokov,
- študij učinkov različnih načinov odpovedi,
- zaključki in priporočila.

V okviru prve faze metode FMEA (Opredelitev sistema, njegovih funkcij in elementov) je treba natančno opredeliti sistem in njegove funkcije, izdelati ustrezno hierarhično strukturo sistema glede na kompleksnost sistema ter definirati funkcije sistema in njegovih delov na vseh hierarhičnih nivojih. V tej fazi izvajanja FMEA je treba izdelati ustrezne funkcionalne in logične diagrame sistema in njegovih elementov, ki kažejo medsebojne povezave in odvisnosti elementov sistema. Opredeliti je treba pogoje eksploatacije sistema in njegovih elementov, kar predstavlja osnovo za opredelitev različnih stanj sistema in njegovih elementov. Izvajanje FMEA je smiselno le za določena stanja sistema/elementov sistema. Poznavanje funkcij sistema oziroma njegovih delov omogoča opredelitev njegovih odpovedi. V FMEA so vključeni le tisti elementi, katerih odpovedi sodelujejo pri nastanku določene odpovedi sistema oziroma njegovega elementa.

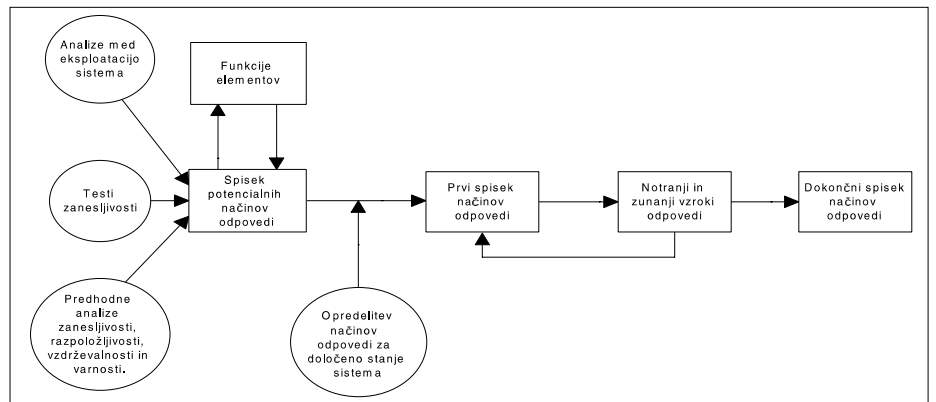
V okviru druge faze metode FMEA (Identifikacija načinov odpovedi in njihovih vzrokov) je treba za vsak element sistema, ki je bil v prvi fazi opredeljen kot pomemben v določenem stanju, ugotoviti možne načine odpovedi. Postopek identifikacije načinov odpovedi je prikazan na sliki 3.

Na podlagi podatkov iz eksploatacije sistema, testov zanesljivosti ali predhodnih analiz za napovedovanje razpoložljivosti, zanesljivosti, vzdrževnosti in varnosti sistemov in drugih virov je treba izdelati spisek potencialnih načinov odpovedi elementov sistema v določenem stanju, kar predstavlja osnovo za nadaljnjo analizo. Hkrati je treba ugotoviti tudi vzroke posameznih potencialnih načinov odpovedi, ki bodo potrebni za ocenjevanje verjetnosti nastanka odpovedi, odkrivanje sekundarnih odpovedi in planiranje korektivnih ukrepov. Pri iskanju vzrokov posameznega načina odpovedi je treba najprej ugotoviti vse možne vrste vzrokov, nato pa identificirati prave vzroke obravnavanega načina odpovedi s primerjavo spiska potencialnih načinov odpovedi in spiska vzrokov načinov odpovedi. Pri ločevanju načinov odpovedi od njihovih vzrokov si lahko pomagamo z deduktivno metodo drevesa odpovedi (Villemeur, 1992), (Sinnamon, 1997)). Drevo odpovedi za analizo načinov odpovedi in vzrokov načinov odpovedi je prikazano na sliki 4.

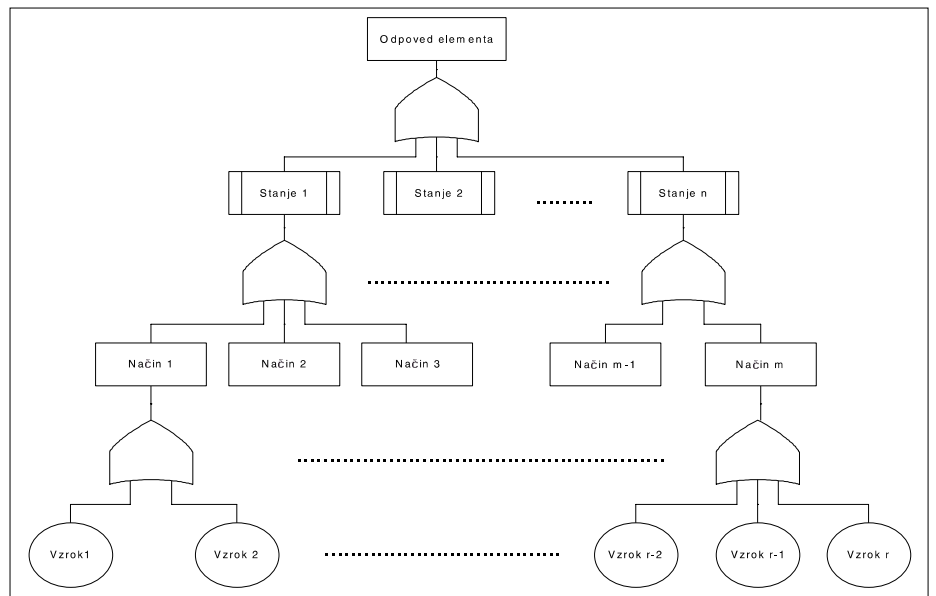
Na posameznem nivoju hierarhične strukture lahko določen način odpovedi ne povzroči nobenih učinkov na delu sistema, lahko pa povzroči omejeno delovanje dela sistema in prekinjeno delovanje dela sistema. Postopek ocenjevanja učinkov načinov odpovedi in njihovih vzrokov se začne na tistem nivoju, na katerem je opazovani element, in se nadaljuje na višjih nivojih do ocenitve učinka na nivoju celotnega sistema.

Na podlagi zgoraj navedenega lahko sklepamo, da je treba načine odpovedi in njihove vzroke opredeliti na podlagi iterativnih analiz, ki vključujejo tudi študij učinkov načinov odpovedi. Za bolj učinkovito določanje načinov odpovedi in njihovih vzrokov lahko uporabimo tudi metodo zbirnih odpovedi (Gathered Fault Combination Method (GFCM)) (Villemeur, 1992), kjer so načini odpovedi v bistvu globalne zbirne odpovedi elementov, notranji in zunanji vzroki načinov odpovedi pa predstavljajo notranje in zunanje zbirne odpovedi elementov, ki so analizirane kot deli celote. Pri izvajanju zgoraj opisanega postopka je treba upoštevati tudi učinke obravnavanega sistema na povezane sisteme in nasprotno. Navedeni proces uporabe metode GFCM je prikazan na sliki 5.

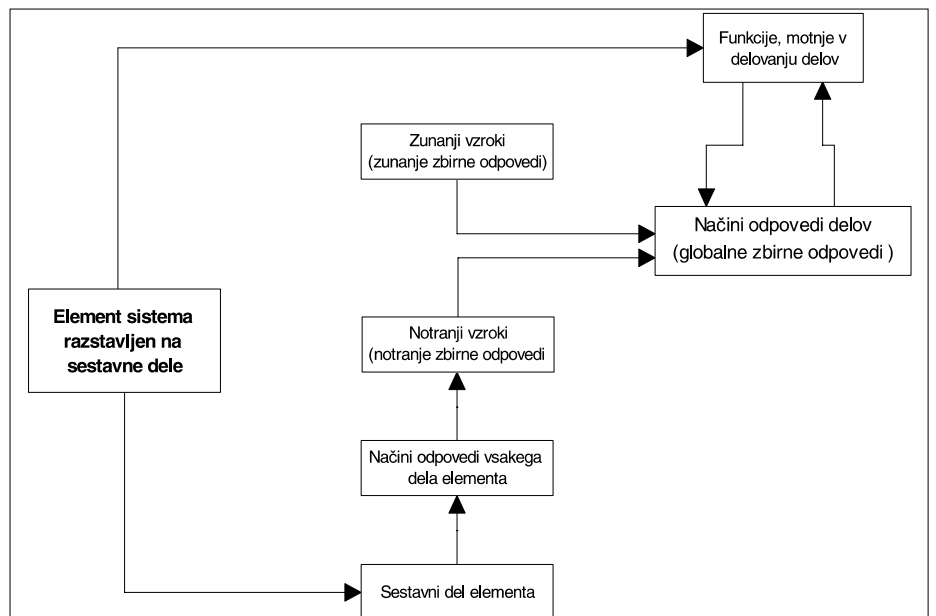
V okviru tretje faze metode FMEA (Študij učinkov načinov odpovedi) je treba ovrednotiti (določiti pomembnost, verjetnost nastanka in kritičnost) vsakega izmed načinov odpovedi elementa sistema glede na njegove učinke na vseh nivojih hierarhične strukture sistema ((Dutuit, 2001), (Caror, 2000)), in sicer:



Slika 3 • Postopek identifikacije načinov odpovedi in njihovih vzrokov



Slika 4 • Drevo odpovedi za analizo načinov odpovedi in njihovih vzrokov



Slika 5 • Proces uporabe metode GFCM za identifikacijo načinov odpovedi sestavnih delov elementov sistema

lokalno na nivoju opazovanega dela sistema in na višjih nivojih do nivoja celotnega sistema.

Četrta faza metode FMEA (Zaključki in priporočila) omogoča formuliranje naslednjih priporočil za izvedbo korektivnih aktivnosti za povečanje učinkovitosti sistema:

- zagotovitev, da so bili pri načrtovanju in razvoju sistema upoštevani vsi načini odpovedi elementov in njihovi učinki na delovanje sistema;
- identifikacijo načinov odpovedi glede na obseg njihovega učinka na funkcije sistema;
- identifikacijo sekundarnih odpovedi;
- planiranje vzporedno vezanih enot;
- načrtovanje postopkov odkrivanja odpovedi;
- planiranje vzdrževalnih posegov, ki ustrezajo posameznemu načinu odpovedi.

Med opravljanjem opisanih korektivnih aktivnosti je treba upoštevati naslednje prioritete:

- odpraviti je treba vzroke za odpovedi elementov;
- zmanjšati pogostost ali verjetnost, da pride do odpovedi;
- zmanjšati resnost vpliva odpovedi;
- povečati verjetnost, da bo potencialna odpoved elementov pravočasno odkrita.

Zmanjšanje pogostosti odpovedi predstavlja preventivni ukrep, medtem ko je povečanje

obsega kontrole za odkrivanje odpovedi potreben pogoj za omejevanje že obstoječih odpovedi in ga kot takega opredelimo kot začasno rešitev za pridobitev časa za izvedbo pravega korektivnega ukrepa, ki bo omogočil dokončno rešitev.

Pri izvajanju klasičnih tehnik FMEA se pokažejo določene omejitve te metode pri reševanju problemov, kot so:

- natančno določanje verjetnosti, da se bodo določeni dogodki zgodili, je zelo oteženo oziroma skoraj nemogoče, ker je večina vhodnih informacij izražena v jezikovni obliki, veliko elementov sistemov časovno degradira in so v različnih stanjih, zato je ocenjevanje teh stanj prav tako pogosto subjektivno in opisano le kvalitativno;
- medsebojne odvisnosti med različnimi načini odpovedi in učinki na sistem na različnih nivojih hierarhične strukture sistemov se ne upoštevajo;
- ocena Risk Priority Number (RPN) vzrokov načinov odpovedi ne izpolnjuje zahtevanih meril, ni algebraičnih pravil za dodeljevanje števil posameznim indeksom (F, D, S), ki omogočajo izračun RPN ($RPN = F \times D \times S$), zato produkt navedenih indeksov ne upošteva deleža pomembnosti posameznega indeksa.

Opisane pomanjkljivosti klasične metode FMEA lahko pri študiju učinkov načinov odpovedi in vzrokov načinov odpovedi v fazi razvoja novih izdelkov odpravimo z uporabo metodologije, ki temelji na teoriji mehke logike oziroma teoriji mehkih množic. Razlogi za uporabo mehke logike pri izvajanju FMEA v fazi razvoja novih izdelkov so predvsem naslednji:

- vse informacije, povezane z izvajanjem FMEA, so pridobljene in shranjene v naravnem jeziku, zato je uporaba mehke logike za ravnanje s takimi informacijami popolnoma verodostojna, ker osnove mehke logike predstavljajo osnove za komuniciranje in ker je mehka logika lahko zgrajena na izkušnjah ekspertov;
- uporaba mehke logike omogoča uporabo nenatančnih podatkov, zato omogoča obravnavo različnih stanj elementov sistemov in sistemov ter drugih v FMEA vključenih mehkih informacij;
- omogoča izvedbo splošne predpostavke popolne neodvisnosti dokazov in idej, katerih kombinacije se uporabljajo pri izvajanju FMEA;
- uporaba mehke logike pri izvajanju FMEA prav tako omogoča naravno izražanje in kombiniranje kvalitativnih ocen ekspertov o medsebojnih povezavah načinov odpovedi in njihovih vzrokov.

3 • IDENTIFIKACIJA NAČINOV ODPOVEDI, VZROKOV NAČINOV ODPOVEDI, UČINKOV NAČINOV ODPOVEDI ELEMENTOV ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

Na podlagi teoretičnih osnov, podanih v točki 2, je treba za identifikacijo načinov odpovedi, vzrokov načinov odpovedi in učinkov načinov odpovedi elementov dela sistema zgornji in spodnji ustroj železniške proge izvesti štiri faze metode FMEA.

V okviru prve faze – Opredelitev dela sistema, njegovih funkcij in elementov – opredelimo zgornji in spodnji ustroj železniške proge in njune funkcije, izdelamo hierarhično strukturo zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge, izdelamo šifrantne elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge ter definiramo funkcije elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge na vseh hierarhičnih nivojih. V tej fazi izdelamo tudi funkcionalne in logične diagrame zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge in njihovih elementov ter medsebojne odvisnosti in vezavo elementov s stališča zanesljivosti, kar upoštevamo v šifrantih elementov zgornjega in

spodnjega ustroja železniške proge. V šifrantih opredelimo tudi vrsto elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge in način njihovega delovanja, kar bo osnova za opredelitev različnih stanj elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge.

Na podlagi postopka identifikacije načinov odpovedi in njihovih vzrokov, prikazanega na sliki 3, v okviru druge faze, na podlagi podatkov iz eksploatacije železniških prog, izvedenih predhodnih analiz za napovedovanje razpoložljivosti, zanesljivosti, vzdrževanosti in varnosti železniških prog, izdelamo spisek potencialnih načinov odpovedi elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniških prog, pri čemer upoštevamo predhodno opredeljene funkcije elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge in stanja elementov, za katere je smiselno izvajati metodo FMEA. Hkrati s pripravo spiska potencialnih načinov odpovedi opredelimo tudi vzroke potencial-

nih načinov odpovedi. Pri iskanju vzrokov za posamezni način odpovedi najprej ugotovimo možne vrste vzrokov na podlagi spiska, nato pa določimo konkretne vzroke obravnavanega načina odpovedi.

Zaradi lažjega ločevanja med načinom in vzrokom odpovedi elementa dela sistema možne načine odpovedi razdelimo na odpovedi v zgradbi elementa, mehanske odpovedi in električne odpovedi, vzroke načinov odpovedi pa na vzroke znotraj elementa dela sistema in vzroke zunaj elementa zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge. Pri ločevanju načina odpovedi od vzroka odpovedi uporabljamo tudi deduktivno metodo drevesa odpovedi, v kateri upoštevamo tudi različna stanja elementov, v katerih so elementi med eksploatacijo obravnavane proge. Drevo odpovedi za analizo načinov odpovedi in njihovih vzrokov je prikazano na sliki 4.

Končno identifikacijo načinov odpovedi elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge v določenem stanju opravimo na podlagi temeljite analize ter primerjave spiska potencialnih načinov odpovedi in spiska vzrokov načinov odpovedi posameznega elementa zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge.

Rezultat izvedene druge faze FMEA so izdelani šifranti načinov odpovedi, vzrokov načinov odpovedi elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge, ki so navedeni v nadaljevanju.

ŠIFRANT POTENCIALNIH NAČINOV ODPOVEDI ELEMENTOV ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

Šifra načina odpovedi	POTENCIALNI NAČIN ODPOVEDI
-----------------------	----------------------------

100 ODPOVEDI V ZGRADBI ELEMENTA ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

- 101 Zlom
- 102 Zlom vara
- 103 Zlom sestavnega dela
- 104 Počenost
- 105 Razrahljanost ločljive zveze (klasičnega spoja)
- 106 Obrabljenost preko predpisanih toleranc
- 107 Neenakomerna obrabljenost
- 108 Trajna deformiranost
- 109 Zgorelost
- 110 Zdrobljenost
- 111 Pretrganost, raztrganost
- 112 Razrahljanost nerazstavljive zveze
- 113 Sploščenost
- 114 Staljenost
- 115 Izrabljenost
- 116 Razjednost
- 117 Pregretost
- 118 Dotrajanost
- 119 Hrapavost
- 120 Osmojenost
- 121 Zažganost
- 122 Razsušenost
- 123 Spremembe nastavitvene vrednosti
- 124 Zbitost
- 125 Zaskočenost
- 126 Netesnost
- 127 Razpokanost
- 128 Odpadlost dela elementa
- 129 Posedenost
- 130 Valovitost
- 131 Deformiranost osnovne oblike elementa
- 132 Odpoved elementa zaradi napake v strukturi materiala
- 133 Zgnetenost
- 134 Predrtje
- 135 Razbrazdanost
- 136 Zlepljenost
- 137 Korodiranje površin
- 138 Zablatenost (gramozne grede)

- 139 Razmagnetnenost (magnet za kovinske dele)
- 140 Prekoračenost predpisanih toleranc (profil železniških prog)
- 141 Zdrs (naravnih tal)
- 142 Porušitev elementa
- 143 Zasičenost (temeljnih tal z vodo)
- 144 Usad (naravna tla)
- 145 Nепrevoznost
- 146 Zasutost
- 147 Vlažnost
- 148 Nepravilna vgradnja elementa
- 149 Zagozdenost
- 150 Odvitost (matica, vijak)
- 151 Neprepustnost
- 152 Nepretočnost
- 153 Zaobljenost (zrna tolčenca)
- 154 Nepravilna granuliranost (gramozne grede)
- 155 Razrahljanost (tal)
- 156 Osušenost (drevesni ščitni nasadi)
- 199 Ostalo

200 MEHANSKE ODPOVEDI ELEMENTA ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

- 201 Vdor vode
- 202 Vdor olja hidravličnega sistema
- 203 Iztekanje olja iz hidravličnega sistema
- 204 Zamašenost
- 205 Erozijsko delovanje vode
- 206 Zalijte (z vodo)
- 207 Neprehodnost
- 208 Iztekanje injekcijske mase
- 209 Odpoved pri zagonu (kretniški pogonski motor)
- 210 Odpoved pri izklapljanju (kretniškega pogonskega motorja)
- 211 Poledenelost
- 212 Odkrušenost (ostrice, srca)
- 213 Zasneženost (proge)
- 214 Zasutost (proge, tirnega traku)
- 215 Onesnaženost stičnih površin
- 216 Prekoračenost dopustnega tlaka v hidravličnem sistemu
- 217 Prerezanost (kretnice, sklopke pogonskega motorja)
- 218 Zamaščenost (drsnih stikov)
- 219 Geometrijska napaka (smer, višina)
- 220 Izpodjedenost (brežine)
- 221 Preprečeni konstruktivni pomiki
- 299 Drugo

300 ELEKTRIČNE ODPOVEDI ELEMENTA ZGORNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

- 301 Prekinitev vrvi (zvezne, ozemljilne)
- 302 Prekinitev tokokroga
- 302 Kratek stik (preboj)
- 303 Prekoračitev dopustne upornosti

- 304 Sprememba električnih lastnosti materialov
- 305 Pretrganje električnega vodnika
- 306 Iskrenje (kretniški pogonski motor)
- 307 Prebitje izolatorja
- 308 Pregorelost (transformatorja)
- 309 Odpoved kondenzatorja (kret. pog. motor)
- 310 Pregorelost navitja (navitje elektr. mot. pogona)
- 311 Prebitje izolacije električnega vodnika
- 399 Drugo

ŠIFRANT VZROKOV POTENCIALNIH NAČINOV ODPOVEDI ELEMENTOV ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

Šifra vzroka načina odpovedi	VZROK NAČINA ODPOVEDI
------------------------------	-----------------------

100 VZROKI ZNOTRAJ ELEMENTA ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

- 101 Nepravilna konstrukcija elementa
- 102 Nepravilna izdelava elementa
- 103 Nepravilna montaža elementa
- 104 Nepravilna nastavitve elementa
- 105 Nepravilna vezava elementa
- 106 Nepravilna obremenitev elementa
- 107 Uporaba napačnega elementa
- 108 Nepravilno vzdrževanje elementa
- 109 Namerna poškodba elementa – železniško osebje
- 110 Namerna poškodba elementa – tretja oseba
- 111 Utrujenost (staranje) materialov elementa
- 112 Korozija
- 113 Prekoračene dopustne notranje napetosti v elementu
- 114 Napake v strukturi materiala elementa
- 115 Trajne deformacije elementa ločljive zveze
- 116 Neustrezna površinska zaščita elementa
- Odpoved drugega elementa**
- 150 Previsoka temperatura okolice
- 151 Nepravilen tlak
- 152 Slabo tesnjenje
- 153 Vibracije zaradi odpovedi ali nepravilnega delovanja drugega elementa
- 154 Mehanski udari zaradi nepravilnega delovanja drugega elementa
- 155 Porušitev temeljnih tal
- 156 Neustrezna sestava elementa
- Nepravilna uporaba elementa**
- 170 Neplanska eksploatacija elementa
- 171 Nepravilno posluževanje elementa

172	Nepravilen poseg v element	201	Visoke temperature okolice elementa	216	Namerna destruktivna dejavnost tretje osebe
173	Nepravilna geometrija tira	202	Nizka temperatura okolice elementa	217	Nenamerna dejavnost (napaka) železniškega osebja
174	Nepravilna vgradnja elementa	203	Visoka vlažnost okolice elementa	218	Nenamerna dejavnost (napaka) tretje osebe
175	Neustrezen moment privijanja elementa (vijak)	204	Intenzivne padavine	219	Nalet železniškega vozila na element
176	Sprememba nastavitvenih vrednosti elementa	205	Prekoračene koncentracije prašnih delcev	220	Nalet (padec) skale na element
177	Neustrezna požarna odpornost elementa	206	Atmosferska izpraznitev	221	Prekoračena dopustna obremenitev elementa
178	Popuščanje veznih sredstev	207	Poplava	222	Prekoračeni dopustni dinamični vplivi na element
179	Prekoračen rok trajanja elementa	208	Potres	223	Neustrezno odvodnjavanje
180	Neustrezna protikorozijska zaščita elementa	209	Zemeljski plaz	224	Biološki in kemični vplivi na element
181	Neustrezne dimenzije elementa	210	Snežni plaz	225	Prekoračena dopustna električna napetost v elementu
199	Drugo	211	Požar	226	Prekoračen dopustni električni tok v elementu
200	VZROKI ZUNAJ ELEMENTA ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE	212	Izredni dogodek (iztirjenje železniških vozil)	299	Drugo
		213	Nihanje napajalne napetosti		
		214	Prekinjeno dovajanje električnega toka v elementa		
		215	Namerna destruktivna dejavnost železniškega osebja		

4 • ŠTUDIJ UČINKOV RAZLIČNIH NAČINOV ODPOVEDI ELEMENTOV ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE IN NJIHOVIH VZROKOV

V okviru tretje faze izvedbe FMEA opravimo študij učinkov posameznih načinov odpovedi (določimo pomembnost posameznega načina odpovedi, verjetnost nastanka in njegovo kritičnost) in njihovih vzrokov ter tako vsakega izmed načinov odpovedi elementov zgornjega

in spodnjega ustroja železniške proge ovrednotimo glede na njegove učinke, pri čemer upoštevamo, da je učinek načina odpovedi skupek vseh možnih posledic posameznega načina odpovedi ter da učinek posameznega načina odpovedi elementa zgornjega in

spodnjega ustroja železniške proge določa pomembnost in kritičnost tega načina odpovedi oziroma elementa za nerazpoložljivost železniške proge.

Določanje učinkov načinov odpovedi začnemo na fistem nivoju hierarhične strukture, na katerem je opazovani element, in nadaljujemo do najvišjega nivoja (nivoja celotnega dela sistema – zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge).

5 • PRIMER UPORABE OPISANE METODOLOGIJE ZA IZVEDBO FMEA ZA TIRNICO SISTEMA 49E1, VGRAJENO V ŽELEZNIŠKI TIR ODPRTE PROGE

Pri študiju načinov odpovedi, vzrokov načinov odpovedi in njihovih učinkov upoštevamo naslednja stanja tirnice v tirničnem traku železniškega tira odprte proge:

1. Tirnica, zavarjena v neprekinjeno zavarjeni tir (Nzt) – železniška vozila ne vozijo preko tirnice.
2. Tirnica, zavarjena v Nzt – med vožnjo železniških vozil preko tirnice.
3. Tirnica, vgrajena v stikovani tir – železniška vozila ne vozijo preko tirnice.
4. Tirnica, vgrajena v stikovani tir – med vožnjo železniških vozil preko tirnice.

FMEA izvedemo za vsako stanje posebej v obliki posebne tabele, ki jo povzamemo po literaturi ((Hudoklin, 1994), (Hudoklin, 1995)) tako, da prepoznamo vse funkcije in potencialne načine odpovedi tirnice ter potencialne vzroke prepoznanih načinov odpovedi. Zaradi omejitev pri pripravi članka opravimo analizo

potencialnih vzrokov načina odpovedi, analizo pomembnosti prepoznane načina odpovedi in analizo kritičnosti načina odpovedi le za prepoznani način odpovedi – »zlom tirnice«, pri čemer za izračun kritičnosti zloma tirnice uporabimo tudi metodo FMEAC. Izračun kritičnosti zloma tirnice opravimo le za stanje, ko je tirnica zavarjena v Nzt – med vožnjo železniških vozil preko tirnice –, in stanje, ko je tirnica vgrajena v stikovani tir – med vožnjo železniških vozil preko tirnice, ker sta to stanji, v katerih nastane največ zlomov tirnic. V analizi upoštevamo katastrofalne in degradacijske odpovedi tirnice sistema 49E1, vgrajene v železniški tir odprte proge izbrane železniške proge na območju slovenskih železnic, v določenem stanju, v obdobju enega leta. Za obravnavani način odpovedi (zlom tirnice) poleg pomembnosti učinka načina odpovedi določimo še verjetnost njegovega nastanka.

Zaradi vodenja podatkov o odpovedih v datoteki podatkov o odpovedih v bazi podatkov o razpoložljivosti zgornjega ustroja železniških prog učinek oziroma pomembnost zloma tirnice na podlagi opredeljene hierarhične strukture zgornjega ustroja železniške proge (del sistema → podsistem dela sistema → del podsistema → funkcionalna enota → sklop → komponenta) ovrednotimo s šestmestnim zaporedjem števil 0,1 in 2, kjer:

- številka 0 pomeni, da način odpovedi ne učinkuje na komponento, sklop, funkcionalno enoto, del podsistema, podsistem dela sistema ali na del sistema kot celoto;
- številka 1 pomeni, da način odpovedi povzroči omejeno delovanje komponente, sklopa, funkcionalne enote, dela podsistema, podsistema dela sistema ali dela sistema kot celote;
- številka 2 pomeni, da način odpovedi povzroči prekinjeno delovanje komponente, sklopa, funkcionalne enote, dela podsistema, podsistema dela sistema ali dela sistema kot celote.

Pri tem upoštevamo, da je lahko učinek načina odpovedi na določenem hierarhičnem nivoju največ iste stopnje, kot je učinek načina odpovedi na nižjem nivoju.

Šifra učinka načina odpovedi v tem primeru pomeni, da učinek načina odpovedi povzroči prekinjeno delovanje komponente, omejeno delovanje sklopa, omejeno delovanje funkcionalne enote, omejeno delovanje dela podsistema, omejeno delovanje podsistema, na zgornjem ustroju železniške proge, kot celoti, pa ta način odpovedi ne povzroči učinkov.

Kritičnost načina odpovedi (zloma tirnice) je določena s kombinacijo njegove pomembnosti in verjetnosti za nastanek. Verjetnost za nastanek zloma tirnice, na podlagi podatkov iz eksploatacije tirnice, klasificiramo kot: zelo majhno, majhno, srednje in veliko. Kritičnost zloma tirnice določimo s kombinacijo njegove pomembnosti in verjetnosti za nastanek in jo tudi numerično ovrednotimo, pri čemer določimo ocene za naslednje parametre:

λ – pogostost odpovedi tirnice;

α – delež pogostosti zloma tirnice v celotni pogostosti odpovedi tirnice;

β – verjetnost učinka zloma tirnice;

t – koledarski čas ali čas vožnje železniškega vozila preko tirnice.

Pogostost odpovedi tirnice λ določimo na podlagi podatkov iz eksploatacije tirnice v izbranem obdobju opazovanja, pri čemer predpostavimo, da je tirnica v obdobju normalnega delovanja, zato lahko pogostost odpovedi tirnice v posameznem stanju računamo po enačbi $\lambda = \frac{r}{T_{kum}}$; kjer je:

r – število katastrofalnih in degradacijskih odpovedi tirnice v stikovanem tiru oziroma v neprekinjeno zavarjenem tiru izbrane železniške proge v opazovanem obdobju, ki so imele za posledico odpoved železniške proge;

t_{kum} – kumulativni čas delovanja vseh primerkov tirnice v opazovanem obdobju.

Pri izračunu kumulativnega časa delovanja tirnice v opazovanem obdobju upoštevamo povprečni čas vožnje vlakov na obravnavani progi v 24 urah, izračunamo pa ga na podlagi dejanskega grafikona vožnje vlakov na obravnavani progi v obdobju opazovanja.

Delež pogostosti zloma tirnice v celotni pogostosti odpovedi tirnice α pomeni verjetnost, da bo tirnica odpovedala na ta način. Ocenimo ga na podlagi podatkov iz eksploatacije tirnic in z analizo njenih funkcij v železniškem tiru odprte proge.

Verjetnost učinka zloma tirnice β je pogojna verjetnost, da se učinek realizira pri pogoju, da je tirnica odpovedala, ko se je zlomila. Verjetnost učinka zloma tirnice ocenimo z vrednostmi med 0 in 1 na podlagi podatkov iz eksploatacije tirnic sistema 49E1 in na podlagi lastne presoje.

Koledarski čas ali čas vožnje železniškega vozila preko tirnice t izhaja iz definicije železniškega tira odprte proge.

Na podlagi zgoraj opisanih elementov λ , α , β , t izračunamo kritičnost zloma tirnice v posameznem stanju po enačbi:

$$C_n = \lambda \cdot \alpha \cdot \beta \cdot t, \quad (1)$$

kjer n pomeni šifro načinov odpovedi tirnice iz šifrantu. V obravnavanem primeru je $n = 101, 102, 104, 127, 129, 199$.

Rezultati izvedenih FMEA in FMECA za tirnico sistema 49E1, vgrajeno v železniški tir odprte proge na izbrani železniški progi železniškega omrežja v Sloveniji, so prikazani v preglednicah 1 do 4.

Primer šifriranja učinka načina odpovedi:

Komponenta	Sklop	Funkcionalna enota	Del podsistema	Podsistem	Del sistema
2	1	1	1	1	0

Preglednica 1

ANALIZA NAČINOV ODPOVEDI, NJIHOVIH VZROKOV, UČINKOV IN KRITIČNOSTI

Stanje 1: Tirnica, zavarjena v NZT – železniška vozila ne vozijo preko tirnice

Naziv dela sistema: Železniška proga, št. 70, Jesenice–Sežana

Element: Tirnica sistema 49E1 železniškega tira odprte proge

Datum: 20. 8. 2010

Analiziral: Miran Abram

Stran 1/2

Identifikacijski podatki o komponenti				Funkcije in stanja komponente		Potencialni načini odpovedi komponente					
Šifra komp.	Naziv komp.	Vrsta komp.	Način delov.	Funkcije	Stanja	Odpoved v zgradbi komp.	Šif. n. odp.	Meh. odp.	Šif. n. odp.	Električna odpoved	Šif. n. odp.
0103030001	Tirnica v tirn. traku želez. tira odprte proge	Mehanska	Stalno	1. Prevzem obrem. zaradi temp. sprememb, def. tira in geom. tira. 2. Sestavni element tirne rešetke	1 - Zavarjena v NZT – želez. vozila ne vozijo preko tirnice	Zlom Zlom zvara Počenost Razpokanost Odpadlost dela Druge napake v strukturi mat. tir. po klasifikaciji UIC – kodex 712 E	101 102 104 127 129 199				

Stanje 1

Stran 2/2

Šifra načina odpov.	Uporabljena metoda			Potencialni vzroki načinov odpovedi				Pomembnost načina odpovedi na nivoju					
	An. del.	Testi zan.	Predh. an.	Znotraj sistema	Šif. vzr.	Zunaj sistema	Šif. vzr.	Komp.	Sklopa	Funkc. enote	Dela pod-sist.	Pod-sist.	Dela sist.
101 Zlom tirnice	x		x	Nepravilnosti v strukt. mat. Utrujenost mat. Prekoračene dop. nap. zaradi vgradnje v NZT Prekoračena obraba tirnice	111 108 110 118	Nepravilno sproščanje napetosti po vgradnji v NZT Prenizke temperature okolice Odpoved žel. pragov Vibracije zaradi popuščanja veznega in pritrilnega pribora Vert. in hor. deformacije tira Nepredpisano urejena gramozna greda	112 113 114 115 116 117	2	-	2	2	1(2)	1(2)

Preglednica 2

ANALIZA NAČINOV ODPOVEDI, NJIHOVIH VZROKOV, UČINKOV IN KRITIČNOSTI
Stanje 2: Tirnica, zavarjena v NZT – železniška vozila vozijo preko tirnice

Naziv dela sistema: Železniška proga, št. 70, Jesenice–Sežana

Element: Tirnica sistema 49E1 železniškega tira odprte proge

Datum: 20. 8. 2010

Analiziral: Miran Abram

Stran 1/4

Identifikacijski podatki o komponenti				Funkcije in stanja komponente		Potencialni načini odpovedi komponente					
Šifra komp.	Naziv komp.	Vrsta komp.	Način del.	Funkcije	Stanja	Odpoved v zgradbi komp.	Šif. n. odp.	Mehanska odpoved	Šif. n. odp.	El. odp.	Šif. n. odp.
0103030001	Tirnica v tirn. traku žel. tira odprte proge	Mehan.	Med vožnjo	1. Prevzem stat. in din. obrem. železniških vozil. 2. Prisilno vodenje železniških vozil v določeni smeri. 3. Prevzem obrem. zaradi temp. sprememb, def. tira in geometrije tira. 4. Sestavni element tirne rešetke.	2 - Zavarjena v NZT – med vožnjo želez. vozil preko tirnice	Zlom Zlom zvara Počenost Razpokanost Valovitost Odpadlost dela Druge napake v strukturi mat. tir. po klasifikaciji UIC – kodex 712 E	101 102 104 127 130 129 199	Čez merna obraba Neena-kom. obraba Zbitost	106 107 125		

Stanje 2

Stran 2/4

Šifra načina odpov.	Uporabljena metoda			Potencialni vzroki načinov odpovedi				Pomembnost načina odpovedi na nivoju					
	An. del.	Testi zan.	Predh. an.	Znotraj sistema	Šif. vzr.	Izven sistema	Šif. vzr.	Komp.	Sklopa	Funk. enote	Dela pod-sist.	Pod-sist.	Dela sist.
101 Zlom tirnice	x		x	Nepravilnosti v strukt. mat. Utrujenost materiala Prekoračene dop. nap. zaradi vgradnje v NZT Prekoračene dop. nap. zaradi prometne obremenitve Prekoračene dop. nap. zaradi prometne obremenitve in vgradnje v NZT Prekoračena obraba tirnice	111 108 110 119 120 118	Nepravilno sproščanje nap. po vgr. v NZT Prenizke temperatura okolice Odpoved železniških pragov Vibracije zaradi popuščanja veznega in pritrdilnega pribora Vertikalne in horizontalne deformacije tira Nepredpisano urejena gramozna greda želez. tira	112 113 114 115 116 117	2	-	2	2	1(2)	1(2)

Stanje 2

Stran 3/4

Šifra načina odpov.	Uporabljena metoda			Potencialni vzroki načinov odpovedi			Kritičnost načina odpovedi na nivoju							
	An. del.	Testi zan.	Predh. an.	Znotraj sistema	Šif. vzr.	Izven sist.	Šif. vzr.	Komp.	Sklopa	Funk. enote	Dela pod-sist.	Pod-sist.	Dela sistema	
101 Zlom tirnice	x		x	Nepravilnosti v strukt. materiala Utrujenost materiala Prekoračene dop. napet. zaradi vgradnje v NZT Prekoračene dop. napet. zaradi prometne obremenitve Prekoračene dop. napet. zaradi prometne obremenitve in vgradnje v NZT Prekoračena obraba tirnice	111 108 110 119 120 118	Nepravilno sproščanje nap. po vgradnji v NZT Prenizke temp. okolice Odpoved žel. pragov Vibracije zaradi popuščanja veznega in pritrd. pribora Vert. in hor. deformacije tira Nepredpisano urejena gramozna greda	112 113 114 115 116 117	$C_{101}^{NZT}=0.0065$						

Stanje 2

Stran 4/4

Šifra vzr. nač. odpov.	Predvideni ukrepi za odpravo vzrokov odpovedi						Izvedeni ukrepi za odpravo vzrokov odpovedi					
	Preventivni			Korektivni			Preventivni			Korektivni		
	Ukrep	Odgov. oseba	Rok	Ukrep	Odgov. oseba	Rok	Ukrep	Odgov. oseba	Dat.	Ukrep	Odgov. oseba	Dat.
108
110
111
112
113
114
115
116	Poostren nadzor nad stanjem tira, zamenjava dotr. elem. tira, sproščanje nap. v tirnici, strojna reg. tira.	VNP TRZU	1 mesec	Poostren nadzor nad stanjem tira, zmanjšanje vozno redne hitrosti vlakov.	TRZU	Takoj	.....	.....	.....	.....	.....	.....
117
118
119
120

Preglednica 3

ANALIZA NAČINOV ODPOVEDI, NJIHOVIH VZROKOV, UČINKOV IN KRITIČNOSTI
Stanje 3: Tirnica, vgrajena v stikovani tir – železniška vozila ne vozijo preko tirnice

Stran 1/2

Naziv dela sistema: Železniška proga, št. 70, Jesenice–Sežana

Element: Tirnica sistema 49E1 železniškega tira odprte proge

Datum: 20. 8. 2010

Analiziral: Miran Abram

Identifikacijski podatki o komponenti				Funkcije in stanja komponente		Potencialni načini odpovedi komponente					
Šifra	Naziv	Vrsta	Način del.	Funkcije	Stanja	Odpoved v zgradbi komp.	Šif. n. odp.	Meh. odp.	Šif. n. odp.	El. odp.	Šif. n. odp.
0103030001	Tirnica v tirničnem traku žel. tira odprte proge	Meh.	Stalno	1. Prevzem obrem. zaradi temp. spr., def. tira in geometrije tira. 2. Sestavni element tirne rešetke.	3 – Vgrajena v stikovani tir – želez. vozila ne vozijo preko tirnice	Zlom Zlom zvara Počenost Razpokanost Odpadlost dela Druge napake v strukturi mat. tir. po klasifikaciji UIC – kodeks 712 E	101 102 104 127 129 199				

Stanje 3

Stran 2/2

Šifra načina odpov.	Uporabljena metoda			Potencialni vzroki načinov odpovedi				Pomembnost načina odpovedi na nivoju					
	An. del.	Testi zan.	Predh. an.	Znotraj sistema	Šif. vzr.	Zunaj sistema	Šif. vzr.	Komp.	Sklopa	Funkc. enote	Dela pod-sist.	Pod-sist.	Dela sist.
101 Zlom tirnice	x		x	Nepravilnosti v strukt. mat. Utrujenost mat. Prekoračene dop. napet. zaradi nepravilne dilatacije Prekoračena obraba tirnice	111 108 110 118	Nepravilna dilatacija pri vgradnji v tir Prenizka temperatura okolice Odpoved žel. pragov Vibracije zaradi popuščanja veznega in pritrilnega pribora Vert.e in hor. def. tira Nepredpisano urejena gramozna greda	112 113 114 115 116 117	2	-	2	2	1(2)	1(2)

Preglednica 4

ANALIZA NAČINOV ODPOVEDI, NJIHOVIH VZROKOV, UČINKOV IN KRITIČNOSTI
Stanje 4: Tirnica, vgrajena v stikovani tir – železniška vozila vozijo preko tirnice

Stran 1/4

Naziv dela sistema: Železniška proga, št. 70, Jesenice–Sežana

Element: Tirnica sistema 49E1 železniškega tira odprte proge

Datum: 20. 8. 2010

Analiziral: Miran Abram

Identifikacijski podatki o komponenti				Funkcije in stanja komponente		Potencialni načini odpovedi komponente					
Šifra	Naziv	Vrsta	Način del.	Funkcije	Stanja	Odpoved v zgradbi komp.	Šif. n. odp.	Meh. odp.	Šif. n. odp.	El. odp.	Šif. n. odp.
0103030001	Tirnica v tirn. traku žel. tira odprte proge	Meh.	Med vožnjo	1. Prevzem stat. in din. obrem. žel. vozil. 2. Prisilno vodenje žel. vozil v določeni smeri. 3. Prevzem obrem. zaradi temp. sprem., def. tira in geometrije tira. 4. Sestavni element tirne rešetke.	4 – Vgrajena v stikovani tir – med vožnjo žel. vozil preko tirnice	Zlom Zlom zvara Počenost Razpokanost Valovitost Odpadlost dela Druge napake v strukturi mat. tir. po klasifikaciji UIC – kodeks 712 E	101 102 104 127 130 129 199	Čezmerna obraba Neenakom. obraba Zbitost	106 107 125		

Stanje 4

Stran 2/4

Šifra načina odpov.	Uporabljena metoda			Potencialni vzroki načinov odpovedi				Pomembnost načina odpovedi na nivoju					
	An. del.	Testi zan.	Predh. an.	Znotraj sistema	Šif. vzr.	Izven sistema	Šif. vzr.	Komp.	Sklopa	Funkc. enote	Dela pod-sist.	Pod-sist.	Dela sist.
101 Zlom tirnice	x		x	Nepравilnosti v strukt. materiala Utrujenost materiala Prekoračene dop. nap. zaradi vgradnje v stikovani tir Prekoračene dop. napet. zaradi prometne obrem. Prekoračene dop. napet. zaradi prometne obrem. in vgradnje v stik. tir Prekoračena obraba tirnice	111 108 110 119 120 118	Nepravilna dilatacija pri vgradnji v stikovani tir Prenizka temperatura okolice Odpoved žel. pragov Vibracije zaradi popuščanja veznega in pritrilnega pribora Vert. in hor. deformacije tira Nepredpisano urejena gramozna greda	112 113 114 115 116 117	2	-	2	2	1(2)	1(2)

Stanje 4

Stran 3/4

Šifra načina odpov.	Uporabljena metoda			Potencialni vzroki načinov odpovedi			Kritičnost načina odpovedi na nivoju						
	An. del.	Testi zan.	Predh. an.	Znotraj sistema	Šif. vzr.	Zunaj sistema	Šif. vzr.	Komp.	Sklopa	Funkc. enote	Dela pod-sist.	Pod-sist.	Dela sist.
	x		x	Nepравilnosti v strukt. mat. Utrujenost mat. Prekoračene dop. nap. zaradi vgradnje v stikovani tir Prekoračene dop. nap. zaradi prometne obrem. Prekoračene dop. nap. zaradi prometne obrem. in vgradnje v stik. tir Prekoračena obraba tirnice	111 108 110 119 120 118	Nepravilna dilatacija pri vgradnji v stikovani tir Prenizka temperatura okolice Odpoved železniških pragov Vibracije zaradi popuščanja veznega in pritrilnega pribora Vert. in hor. def. tira Nepredpisano urejena gramozna greda	112 113 114 115 116	$C_{101}^{STIK} = 0,0032$					

Stanje 4

Stran 4/4

Šif. vz. nač. odp.	Predvideni ukrepi za odpravo vzrokov odpovedi						Izvedeni ukrepi za odpravo vzrokov odpovedi					
	Preventivni			Korektivni			Preventivni			Korektivni		
	Ukrep	Odg. os.	Rok	Ukrep	Odg. os.	Rok	Ukrep	Odg. os.	Dat.	Ukrep	Odg. os.	Dat.
108
110
111
112
113
114
115
116
117	Dopolnitev gramozne grede z novim tolčencem, izvedba strojne regulacije tira.	VNP TRZU	2 mes.	Dopolnitev gramozne grede z obstoječim tolčencem, ročna regulacija tira.	VNP TRZU	Takoj	...	...	...	...	...	...
118
119
120

6 • IZRAČUN KRITIČNOSTI ZLOMA TIRNICE 49E1 V STANJU 2 IN 4

Vhodni podatki:

Enotirna železniška proga št. 70 Jesenice-Sežana

Dolžina proge: 129,8 km

Število medpostajnih odsekov: 13

Konstrukcija železniškega tira odprte proge:

65 % dolžine proge – NZT, 35 % dolžine proge stikovan tir; "k" pritrditev tirnic na lesene pragove; železniški tir odprte proge na medpostajnem odseku sestavljata dve tirnici sistema 49E1.

Obdobje opazovanja: 1. 6. 2009–1. 6. 2010

Podatki o odpovedih tirnic: V opazovanem obdobju je bilo na odsekih odprte proge, kjer so tirnice zavarjene v NZT, evidentiranih 33 zlomov tirnic in 21 drugih odpovedi tirnic (zlom zvara, počena tirnica, razpokana tirnica, odpadli del tirnice, napake v strukturi). Na odsekih, kjer je tir stikovan, je bilo v istem obdobju evidentiranih 26 zlomov tirnic in 17 drugih odpovedi tirnic (počena tirnica, razpokana tirnica, odpadel del tirnice, napake v strukturi).

Podatki o vožnji vlakov v opazovanem obdobju:

Na podlagi analize dejanskih grafikonov vožnje vlakov v opazovanem obdobju je bilo ugotovljeno, da so vlaki opravili na vseh medpostajnih odsekih 101,08 ure vožnje (ur vv) v 24 urah, kar pomeni povprečno 7,7 ure vožnje vlakov na medpostajnem odseku na dan.

V železniški tir odprte proge, ki je zavarjen v NZT, so vgrajene tirnice dolžine 90 m; v

stikovan tir pa tirnice dolžine 44 m. Iz zgoraj navedenega je razvidno, da je na obravnavani progi vgrajenih v neprekinjeno zavarjene železniške tire odprte proge 1863 tirnic dolžine 90 m; v stikovane železniške tire odprte proge pa 2052 tirnic dolžine 44 m.

Kumulativni čas delovanja vseh primerkov tirnic v opazovanem obdobju:

Kumulativni čas delovanja vseh tirnic dolžine 90 m:

$$T_{kum}^{NZT} = 1863 \cdot \frac{7,7}{dan} \text{ ur vv} \cdot 365 \text{ dni} \cdot 3 =$$

$$= 15707884,5 \text{ ur vv}$$

Kumulativni čas delovanja vseh tirnic dolžine 44 m:

$$T_{kum}^{STIK} = 2052 \cdot \frac{7,7}{dan} \text{ ur vv} \cdot 365 \cdot 3 = 17301438 \text{ ur vv}$$

Pogostosti odpovedi tirnice v opazovanem obdobju:

$$\lambda_{NZT} = \frac{r_{NZT}}{T_{kum}^{NZT}} = \frac{54}{15707884,5 \text{ ur vv}} = 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}$$

$$\lambda_{NZT}^{zlom} = \frac{r_{NZT}^{zlom}}{T_{kum}^{NZT}} = \frac{33}{15707884,5 \text{ ur vv}} = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}$$

$$\lambda_{STIK} = \frac{r_{STIK}}{T_{kum}^{STIK}} = \frac{43}{17301438 \text{ ur vv}} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}$$

$$\lambda_{STIK}^{zlom} = \frac{r_{STIK}^{zlom}}{T_{kum}^{STIK}} = \frac{26}{17301438 \text{ ur vv}} = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}$$

Delež pogostosti zloma tirnice v celotni pogostosti odpovedi tirnice α :

$$\alpha_{NZT} = \frac{\lambda_{NZT}^{zlom}}{\lambda_{NZT}} = \frac{2,1 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}}{3,4 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}} = 0,76$$

$$\alpha_{STIK} = \frac{\lambda_{STIK}^{zlom}}{\lambda_{STIK}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}}{2,5 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}} = 0,60$$

Verjetnost učinka zloma tirnice β :

$$\beta_{NZT} = 0,30$$

$$\beta_{STIK} = 0,25$$

Čas delovanja tirnice t v urah vožnje vlakov v opazovanem obdobju: $7,7 \cdot 365 \cdot 3$ ur vv = 8432 ur vv (povprečni čas vožnje vlakov na medpostajnem odseku v opazovanem obdobju).

Kritičnost zloma tirnice:

$$C_{101}^{NZT} = \lambda_{NZT} \cdot \alpha_{NZT} \cdot \beta_{NZT} \cdot t =$$

$$3,4 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1} \cdot 0,76 \cdot 0,30 \cdot 8432 \text{ ur vv} = 0,00653$$

$$C_{101}^{STIK} = \lambda_{STIK} \cdot \alpha_{STIK} \cdot \beta_{STIK} \cdot t =$$

$$2,5 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1} \cdot 0,60 \cdot 0,25 \cdot 8432 \text{ ur vv} = \underline{\underline{0,003162}}$$

Na podlagi izračunane kritičnosti zloma tirnice v stanju, ko je tirnica zavarjena v NZT med vožnjo železniških vozil preko tirnice C_{101}^{NZT} , in izračunane kritičnosti zloma tirnice v stanju, ko je tirnica vgrajena v stikovani tir med vožnjo železniških vozil preko tirnice C_{101}^{STIK} , sklepamo, da je kritičnost zloma tirnice zavarjene v NZT večja od kritičnosti tirnice, vgrajene v stikovani tir, kar je glede na vrsto konstrukcije neprekinjeno zavarjenega tira in stikovane tira popolnoma logično. Ta ugotovitev potrjuje primernost opisane metodologije za opredelitev načinov odpovedi, vzrokov načinov odpovedi, učinkov načinov odpovedi in kritičnosti načinov odpovedi elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge.

7 • SKLEP

Rezultati opravljenih analiz FMEA in FMECA za vse prepoznane načine odpovedi elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge omogočajo prepoznavanje pomembnosti in kritičnosti posameznih načinov odpovedi elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge, analizo vzrokov tako prepoznanih načinov odpovedi,

primerjavo pomembnosti in kritičnosti enakih elementov zgornjega in spodnjega ustroja na različnih železniških progah, opredelitev elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge, ki neposredno vplivajo na razpoložljivost železniške proge, opredelitev preventivnih in korektivnih ukrepov za odpravo vzrokov za odpovedi kritičnih elemen-

tov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge. Za take elemente je treba vzpostaviti ustrezen monitoring nad njihovim delovanjem med eksploatacijo železniške proge in ustrezen monitoring nad izvajanjem preventivnih in korektivnih ukrepov, opredeljenih na podlagi rezultatov kvalitativnih analiz. V okviru preventivnih ukrepov je treba opredeliti tudi ustrezno strategijo preventivnega vzdrževanja kritičnih elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge.

8 • LITERATURA

- Braglia, M., MAFMA, multi-attribute failure mode analysis, *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 17, št. 9, str. 1017–1033, 2000.
- Caror, V., Sanz, J., Criticality and sensitivity of the components of a system, *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 68, št. 2, str. 147–152, 2000.
- Dutuit, Y., Rauzy, A., Efficient algorithms to assess component and gate importance in fault tree analysis, *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 72, št. 2, str. 213–222, 2001.
- Hudoklin, A., Frece, M., Hanžel, S., Rozman, V., Stadler, A., Šmitek, B., Zgonc, B., Razpoložljivost železniškega prometnega sistema, Poročilo o raziskovalni nalogi RP 1-93, Univerza v Mariboru, FOV Kranj, 1993.
- Hudoklin, A., Frece, M., Hanžel, S., Rozman, V., Stadler, A., Šmitek, B., Zgonc, B., Razpoložljivost železniškega prometnega sistema, Poročilo o raziskovalni nalogi RP 2-94, Univerza v Mariboru, FOV Kranj, 1994.
- Hudoklin, A., Frece, M., Hanžel, S., Rozman, V., Stadler, A., Šmitek, B., Zgonc, B., Razpoložljivost železniškega prometnega sistema, Poročilo o raziskovalni nalogi RP 3-95, Univerza v Mariboru, FOV Kranj, 1995.
- Hudoklin, A., Frece, M., Hanžel, S., Rozman, V., Stadler, A., Šmitek, B., Zgonc, B., Razpoložljivost železniškega prometnega sistema, Zaključno poročilo o rezultatih opravljenega znanstvenoraziskovalnega dela na področju aplikativnega raziskovanja, Poročilo MZT št. L2-521-0586, Univerza v Mariboru, FOV Kranj, 1996.
- Hudoklin, A., Rozman, V., Zanesljivost in razpoložljivost sistemov človek stroj, Založba Moderna organizacija, Kranj, 2004.
- Moubray, J., *Reliability-Centered Maintenance*, McGraw-Hill, New York, 1997.
- Murchland, J., Fundamental concepts and relations for reliability analysis of multistate systems, reliability and fault tree analysis, *Theoretical and applied probability aspects of system reliability*, SIAM, str. 581–618, 1975.
- Pillay, A., Wang, J., Modified failure and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 79, št. 1, 2003.
- Pham, H., Reliability analysis for dynamic configurations of systems with tree failure modes. *Reliability Engineering & System Safety*, vol.63, št. 1, str. 13–23, 1998.
- Rosenberg, L., Algorithm for finding minimal cut sets in fault tree, *Reliability Engineering & System Safety*, vol.53, št. 1, str. 67–71, 1996.
- Sinnamon, R. M., Andrews, J. D., Improved efficiency in qualitative fault tree analysis, *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 13, št. 5, str. 293–298, 1997.
- Stamatis, D. H., *Failure Mode and Effect Analysis, FMEA from theory to Execution*, ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin, 1995.
- Villemeur, A., *Reliability, availability, and safety assessment, Volume 1, Methods and Techniques*, John Wiley & Sons, Chichester, 1992.

VPLIV DELEŽA BITUMNA V SESTAVI BITUMENSKEGA BETONA NA REZULTATE PRESKUSOV PRI NIZKIH TEMPERATURAH

INFLUENCE OF BITUMEN CONTENT IN THE ASPHALT CONCRETE MIXTURES ON THE RESULTS OF TESTS AT LOW TEMPERATURES

mag. Dejan HRIBAR, univ. dipl. inž. grad.

Gradbeni inštitut ZRMK, d. o. o., Dimičeva 12, 1000 Ljubljana,
Center za prometnice in infrastrukturo, dejan.hribar@gi-zrmk.si

doc. dr. Marjan TUŠAR, univ. dipl. inž. kem.

Kemijski inštitut Ljubljana, Hajdrihova 19, 1000 Ljubljana,
marjan.tusar@ki.si

Znanstveni članek

UDK 624.011.9:691.32

Povzetek | Zaradi geografske lege Slovenije se pri nas srečujemo z zelo nizkimi temperaturami. Po podatkih ARSO je v pretežnem delu Slovenije izmerjena absolutno najnižja temperatura zraka s povratno dobo 50 let (obdobje 1951 do 2005) pod $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, razen na Primorskem in Vipavskem, kjer je višja. Po podatkih DRSC je bila pozimi 2011/2012 izmerjena najnižja temperatura vozišča pod $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$. To pomeni, da je na tem območju zaradi nizkih temperatur večja verjetnost za nastanek razpok na asfaltnih voziščih. Poleg nizkih temperatur je v zadnjem obdobju v Sloveniji tudi porast prometnih obremenitev, ki posledično pospešujejo nastanek razpok pri nizkih temperaturah. V prispevku so predstavljeni rezultati preskusov na vzorcih bitumenskega betona AC 11 surf B50/70 A2/Z2 pri nizkih temperaturah v odvisnosti od deleža bitumna v bitumenizirani zmesi. Opravljena sta bila ohlajevalni preskus ob preprečeni deformaciji (ang. Tensile Stress Restrained Speciment Test – TSRST) in enoosni natezni preskus pri nizkih temperaturah (ang. Uniaxial Tensile Strength Test – UTST). Analiza rezultatov je pokazala slabo korelacijo med deležem bitumna in rezultati pri preskusu TSRST. Rezultati enoosnega nateznega preskusa UTST v odvisnosti od deleža bitumna kažejo, da je korelacija odvisna od temperature, pri kateri je bil preskus opravljen. Še najboljše je vidna dobra korelacija z največjo rezervo natezne trdnosti $\Delta\beta_{t,max}$ in temperaturo pri največji rezervi natezne trdnosti $T(\Delta\beta_{t,max})$. Pri deležu bitumna pod 4,8 m.-% opazimo, da se največja rezerva natezne trdnosti $\Delta\beta_{t,max}$ in temperatura pri največji rezervi natezne trdnosti $T(\Delta\beta_{t,max})$ zelo malo spreminjata. Nad 4,8 m.-% pa se obe lastnosti drastično izboljšujeta. Od tod sklepamo, da je 4,8 m.-% minimalni potrebni delež bitumna za to našo konkretno sestavo AC 11 surf B50/70 A2/Z2. Z raziskavo smo ugotovili, da delež bitumna pomembno vpliva na lastnosti bitumenizirane zmesi pri nizkih temperaturah.

Ključne besede: bitumenski beton, bitumen, nizke temperature, razpoke

Summary | Due to geographical position of Slovenia we are dealing with very low temperatures. According to the ARSO data, practically the whole of Slovenia has the absolute minimum air temperature with a return period of 50 years (the period from 1951 do 2005) below $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, except at the seaside and in Vipava region where it is higher.

According to the DRSC data the lowest measured temperature in the pavement last winter was below $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$. This means that the occurrence of cracks in the asphalt pavements in this region is more likely to happen. In addition to low temperatures the traffic in Slovenia has significantly increased in recent years, which has caused the occurrence of thermal cracks. This paper presents the result of the tests on specimens of asphalt concrete AC 11 surf B 50/70 A2/Z2 at the low temperature as a function of bitumen content. We have carried out the cooling test (Tensile Stress Restrained Specimen Test – TSRST) and uniaxial tensile test (Uniaxial Tensile Strength Test – UTST). The analysis of the results has shown a poor correlation between the bitumen content and TSRST test results. The results of the uniaxial tensile test UTST in the dependence of bitumen content indicate that the correlation depends on the test temperature. What is especially evident is a good correlation between the maximum reserves of tensile strength $\Delta\beta_{t,max}$ and temperature at the maximum reserve tensile strength $T(\Delta\beta_{t,max})$. At the bitumen content 4.8 m.-% it was observed that the maximum reserves of tensile strength $\Delta\beta_{t,max}$ and the temperature at the maximum reserve tensile strength $T(\Delta\beta_{t,max})$ has only slightly changed. Over 4.8 m.-% both of properties have drastically improved. Therefore, the 4.8 m.-% is a minimum bitumen content for our specific bituminous mixture AC 11 surf B 50/70 A2/Z2. This study shows that the bitumen content has very important influence on the properties of the bituminous mixture at the low temperatures.

Keywords: asphalt concrete, bitumen, low temperature, cracks

1 • UVOD

Na slovenskih asfaltnih voziščih je opaziti poškodbe v obliki razpok. Žmavc (Žmavc, 2010) opisuje, da razpoke razvrščamo na osnovi značilne oblike in mesta v krovni plasti. Delimo jih na linijske in mrežaste. Vzroki za nastanek razpok na asfaltnih vozniških površinah so škodljive spremembe mehanskih, fizikalnih in kemijskih lastnosti vgrajenih materialov. V naravi se večina gradbenih materialov pri segrevanju razteguje in pri ohlajanju krči, tudi bitumenizirana zmes. Z nižanjem temperature je stanje vedno bolj podobno kot pri elastičnih materialih, v bitumenizirani zmesi pa natezna napetost narašča. Ko natezna napetost preseže natezno trdnost materiala, nastane porušitev (Arand, 2002) v obliki razpok. Te napetosti se od zgornjega roba asfaltna plasti proti spodnjemu nelinearno manjšajo (Žmavc, 2010), zato se razpoka širi od zgoraj navzdol (Read, 2003). Poleg nizkih temperatur je v zadnjem obdobju v Sloveniji tudi občuten porast prometnih obremenitev, kar pospešuje nastanek razpok pri nizkih temperaturah. Henigman (Henigman, 2010) opisuje, da se je na slovenskih avtocestah v zadnjih desetih letih na posameznih avtocestnih krakih povečala rast prometne obremenitve od planiranih 3 do 4 % letno za 4- do 5-krat oziroma med 16 in 17 % letno.

V prvem delu prispevka so na kratko prikazane meritve nizkih temperatur na slovenskih asfaltnih voziščih. V drugem sklopu prispevka so predstavljeni rezultati in analiza preskusov na vzorcih bitumenskega betona AC 11 surf B50/70 A2/Z2 pri nizkih temperaturah v odvisnosti od deleža bitumna v bitumenizirani zmesi. Opravljena sta bila ohlajevalni preskus ob preprečeni deformaciji (ang. Tensile Stress Restrained Specimen Test – TSRST) in enoosni natezni preskus pri nizkih temperaturah (ang. Uniaxial Tensile Strength Test – UTST), oba preskusa v skladu s standardom kSIST FprEN 12697-46:2009.

Pri ohlajevalnem preskusu TSRST je togo vpeti preskušanelec dimenzij 4 x 16 cm ohlajan pri nespremenjeni dolžini. Ohlajanje poteka s hitrostjo $dT = (-10 \pm 0,5)\text{ K/h}$. Rezultat preskusa je kriogenska natezna napetost v odvisnosti od temperature $\sigma_{cry}(T)$ (MPa), napetost pri porušitvi $\sigma_{cry,f}(T)$ (MPa) in temperatura pri porušitvi T_f ($^{\circ}\text{C}$). Pri enoosnem nateznem preskusu preskušanelec enakomerno raztegujemo pri konstantni temperaturi. Preskušanje poteka pri temperaturah $T_i = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Raztezanje poteka s hitrostjo $d\varepsilon = (0,625 \pm 0,025)\text{ \%}/\text{min}$. Rezultat sta natezna trdnost β_t (MPa) in raztezek pri porušitvi ε_f (%). Preskus TSRST simulira obremenitev asfaltna zmesi pri nizki temperaturi, kjer nastanejo termično inducirane natezne napetosti, ki jih omenjeni standard imenuje



Slika 1a • Prečna razpoka (Babno Polje, februar 2012)



Slika 1b • Vz dolžna razpoka v območju kolesnih sledi (Babno Polje, februar 2012)

kriogenske natezne napetosti (ang. cryogenic tensile stress), te se na asfaltnem vozišču odražajo predvsem kot prečne razpoke na razdalji 3 do 5 m (slika 1a). Preskus UTST simulira odpornost asfaltnih zmesi na enosno natezno obremenitev zaradi obtežb, ki jih povzroči prometna obremenitev v osi kolesnice in v območju kolesnih sledi, zaradi česar

na vozišču nastanejo vzdolžne razpoke na razdalji 30 do 90 cm od osi kolesnice (slika 1b) (Spiegl, 2008). Takšne nizkotemperaturne razpoke so opazne tudi v Avstriji v podnebnih območjih z minimalno temperaturo zraka do $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ in maksimalno stopnjo ohlajanja od $7,5\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ (Wistuba, 2002). Razliko med natezno trdnostjo materiala $\beta_i(T)$ in kriogensko

natezno napetostjo $\sigma_{cry}(T)$ imenujemo rezerva natezne trdnosti $\Delta\beta_i(T)$ (Read, 2003). Od tod lahko odčitamo največjo rezervo natezne trdnosti $\Delta\beta_i(T)$ in temperaturo pri največji rezervi natezne trdnosti $T_{\Delta\beta_i}$. Enačba za rezervo natezne trdnosti je

$$\Delta\beta_i(T) = \beta_i(T) - \sigma_{cry}(T) \quad (1)$$

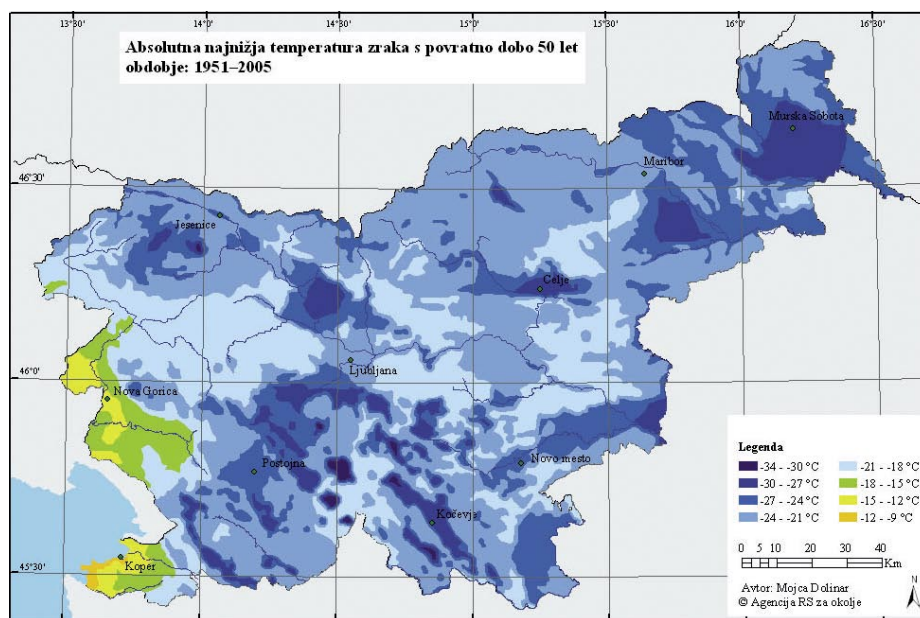
2 • MERITVE NIZKIH TEMPERATUR NA SLOVENSkih VOZIŠČIH

V Sloveniji se srečujemo z zelo nizkimi temperaturami zraka. Po podatkih ARSO je praktično na celotnem območju Slovenije absolutna izmerjena najnižja temperatura zraka s povratno dobo 50 let (obdobje 1951 do 2005) pod $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (slika 2). Izjema je del Primorske in Vipavske doline, kjer so temperature nekoliko višje. Najnižje temperature in največja verjetnost, da nastanejo razpoke prav zaradi nizkih temperatur, so na Gorenjskem v območju Triglavskega narodnega parka, Kamnika in Velike planine, na notranjskem in dolenskem v območju Vrhnike, Cerknice, Babnega Polja, Ribnice, Kočevja in Brežic, na Štajerskem v območju Celja, Rogle in Ptuja ter v Prekmurju v območju Murske Sobote pa vse do hrvaško-madžarske meje.

Od leta 2008 dalje je v Sloveniji vzpostavljen Cestno-vremenski informacijski sistem CVIS, ki ga uporabljajo pri Direkciji RS za ceste (DRSC) ter Družbi za avtoceste v RS (DARS), omogoča pa enoten pregled nad stanjem cestišča na lokacijah cestno-vremenskih postaj (CVP). CVP imajo vgrajene merilnike za temperaturo zraka in vozišča (2 do 5 cm v obrani plasti), vlažnost zraka, jakost padavin, vidljivost, sončno sevanje in veter. Podatki se preko komunikacijske opreme zapisujejo v skupno bazo podatkov (Šajin Slak, 2010). Od DRSC smo pridobili podatke o doslej izmerjeni najnižji temperaturi vozišča v Sloveniji. S slike 3 (rdeča linija) je razvidno, da je bila izmerjena najnižja temperatura 20. decembra 2009 na mostu ceste Gorica–Predel in je znašala $-16,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ter na lokaciji Kranj–Delavski most $-16,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ istega dne. Tudi v začetku februarja letos so na teh dveh lokacijah temperature vozišča padle pod $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na sliki 3a vidimo, da je v sedmih urah upad temperature z $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ob 13. uri) na $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ob 20. uri), torej je bila stopnja padanja temperature za $1,8\text{ }^{\circ}\text{C/h}$. Po podatkih DARS so bile v zimskem obdobju leta 2011 in 2012 najnižje izmerjene vrednosti

temperature v vozišču z avtocestnimi CVP-ji v krajih Divača $-13,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, Ivanje selo $-14,7\text{ }^{\circ}\text{C}$,

Podmežakla II $-14,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, Kresnica $-10,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ in Dobovo $-16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Slika 2 • Absolutno najnižje temperature zraka s povratno dobo 50 let za obdobje 1951–2005 (ARSO, 2012)



Slika 3a • Podatki CVIS na mostu ceste Gorica – Predel na lokaciji CVP, 20. december 2009



Slika 3b • Podatki CVIS na cesti Kranj – Delavski most na lokaciji CVP, 20. december 2009

3 • PRESKUSI PRI NIZKIH TEMPERATURAH

3.1 Material

Preskuse smo opravljali v laboratoriju v ZAG na predhodno pripravljenih vzorcih bitumenizirane zmesi AC 11 surf B 50/70 A2/Z2 (SIST 1038-1:2008). Uporabljena je bila kamena moka – polnilo (Stahovica), zmes kamnitih zrn 0/2, 2/4, 4/8 in 8/11 mm (Ljubeščica) ter bitumen B50/70 (MOL). V laboratoriju smo pripravili pet sestav bitumeniziranih zmesi v odvisnosti od deleža bitumna (4,0, 5,0, 5,4, 5,8 in 6,0 m.-%). V preglednici 1 so prikazane lastnosti vhodnega in ekstrahiranega cestogradbenega bitumna B50/70, ki je bil uporabljen v bitumenizirani zmesi (Poročilo ZAG, št. P 790/10-760-1 in P 790/10-760-6). Slika 4 predstavlja presejne krivulje za vsak vzorec v odvisnosti od deleža bitumna. S slike 4 je razvidno, da se presejne krivulje med seboj prekrivajo, kar dokazuje, da se sestava zmesi kamnitih zrn ni spreminjala in tudi delež polnila (zrna pod 0,125 mm) se praktično ni spreminjal.

Pri spreminjanju deleža bitumna se ob nespremenjeni presejni krivulji spreminja vsebnost votlin. V preglednici 2 so prikazani rezultati nekaterih osnovnih preskusov bitumeniziranih zmesi (Poročilo ZAG, št. P 790/10-760-6 in P 790/10-760-9). Iz rezultatov je razvidno, da je lahko variiral delež polnila. Največje odstopanje je bilo ugotovljeno pri deležu bitumna 5,6 m.-%.

3.2 Rezultati in analiza

Iz rezultatov ohlajevalnega preskusa TSRST zmesi AC 11 surf B 50/70 A2/Z2 (Poročilo ZAG, št. P 790/10-760-3, P 790/10-760-4, P 790/10-760-5, P 790/10-760-7 in P 790/10-760-8) vidimo, da je pri natezni napetosti $\sigma_{cry,t}$ (v nadaljevanju σ_t) in temperaturi pri porušitvi T_f v odvisnosti od deleža bitumna korelacija slaba: $R^2 = 0,35$ in $R^2 = 0,55$ (sliki 5a in 5b). Z nazadnje omenjenih dveh slik lahko ocenimo le trend, da z večanjem deleža bitumna narašča natezna trdnost σ_t in se zmanjšuje temperatura pri porušitvi T_f . Arand (Arand, 2002) omenja, da pri bitumenskem betonu 0/11 delež polnila, bitumna in drobljenega peska v primerjavi z viskoznostjo bitumna zelo malo vpliva na temperaturo pri porušitvi T_f .

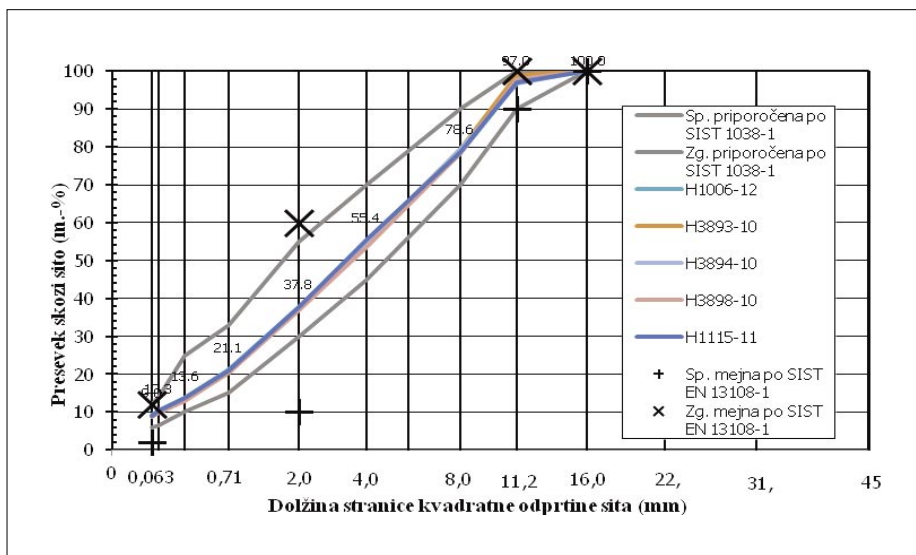
Iz rezultatov enoosnega nateznega preskusa UTST (Poročilo ZAG, št. P 790/10-760-3, P 790/10-760-4, P 790/10-760-5, P 790/10-760-7 in P 790/10-760-8) je razvidno, da

Št.	Lastnosti	Enota	Zahteve po metodah SIST EN	Vhodni bitumen	Ekstrahirani bitumen
1	Penetracija pri 25 °C	mm/10	SIST EN 1426:2007	56	39
2	Zmehčišče po PK	°C	SIST EN 1427:2007	52	56,6
3	Indeks penetracije	–	SIST EN 12591, tč. B4:2004	-0,4	-0,25
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	SIST EN 12593:2007	-15	-13
5	Prostorninska masa – analiza izvedena v vodi	kg/m ³	SIST EN ISO 3838	1,0142	n. d.

Preglednica 1 • Lastnosti vhodnega in ekstrahiranega cestogradbenega bitumna B50/70

Oznaka vzorca	Delež bitumna (m.-%)	Presek skozi sito 0,063 (m.-%)	Prostorninska masa Marshallovega preskušanca (kg/m ³)	Vsebnosti votlin v Marshallovem preskušancu (V.-%)	Vsebnost votlin v zmesi kamnitih zrn, zapoljenih z bitumnom (VFB (%))
H1006-12	3,9	9,3	2404	8,0	62,8
H3893	4,9	9,1	2441	5,0	79,4
H3874	5,3	9,0	2461	3,8	86,1
H3898	5,6	8,6	2467	2,6	92,5
H1115-11	6,0	9,0	2484	1,8	97,9

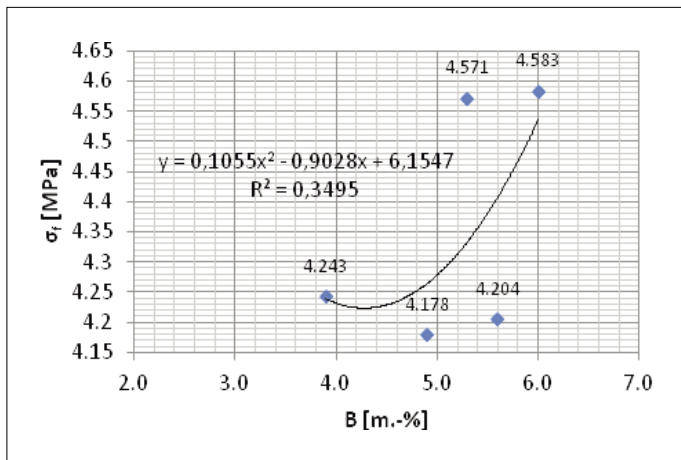
Preglednica 2 • Rezultati nekaterih osnovnih preiskav bitumeniziranih zmesi



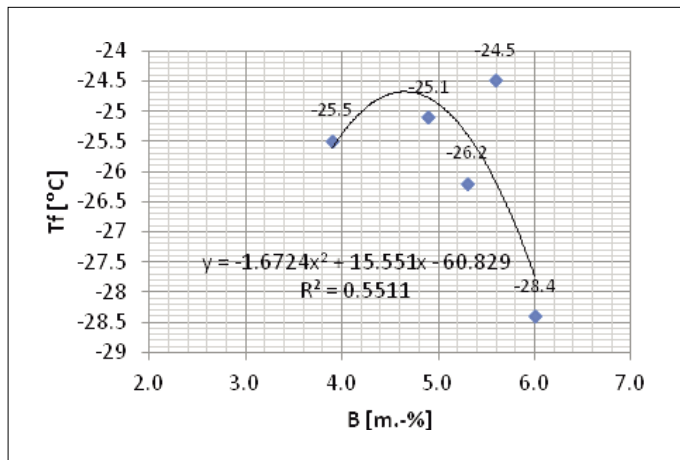
Slika 4 • Presejne krivulje zmesi kamnitih zrn

je korelacija med rezultati UTST in deležem bitumna odvisna od temperature, pri kateri je bil preskus opravljen (sliki 6a in 6b). Slika 6a kaže, da obstaja dobra korelacija med β_t/B pri

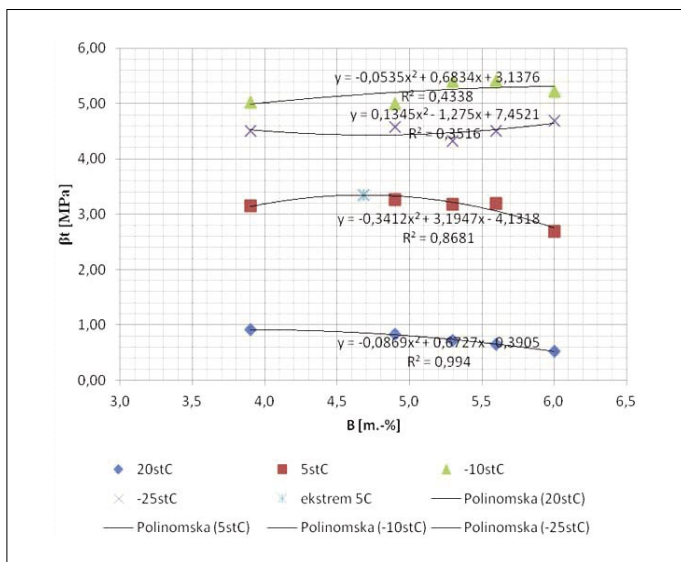
temperaturi 20 °C ($R^2 = 0,994$) in pri temperaturi 5 °C ($R^2 = 0,8681$). Pri temperaturi -10 °C in -25 °C pa je slaba (slika 6b). Pri temperaturi 20 °C se z večanjem deleža bitumna



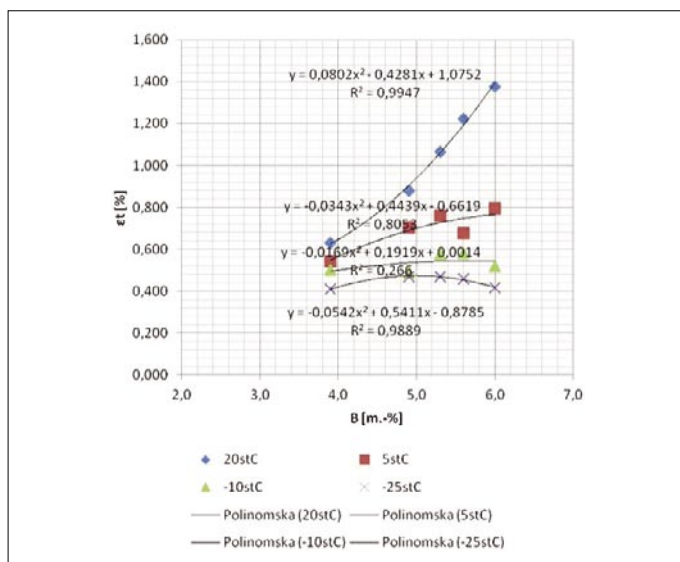
Slika 5a • Največja natezna napetost σ_f v odvisnosti od deleža bitumna B pri AC 11 surf B 50/70 A2/Z2



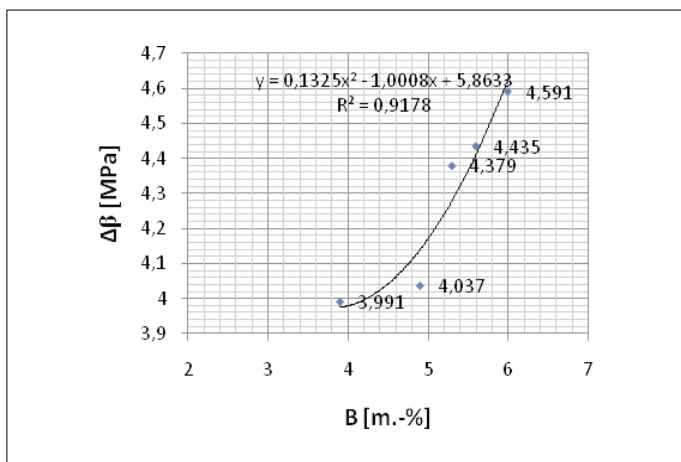
Slika 5b • Temperatura pri porušitvi T_f v odvisnosti od deleža bitumna B pri AC 11 surf B 50/70 A2/Z2



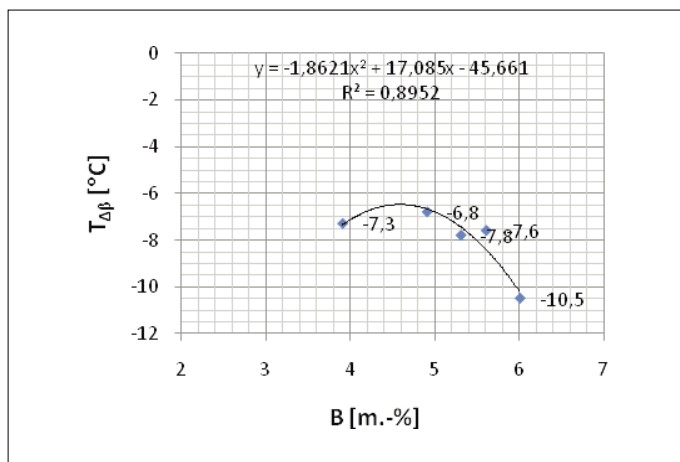
Slika 6a • Natezna trdnost β v odvisnosti od deleža bitumna B pri AC 11 surf B 50/70 A2/Z2



Slika 6b • Raztezek ϵ v odvisnosti od deleža bitumna B pri AC 11 surf B 50/70 A2/Z2



Slika 7a • Največja rezerva natezne trdnosti $\Delta\beta$ v odvisnosti od deleža bitumna B v sestavi AC 11 surf B50/70 A2/Z2



Slika 7b • Temperatura pri največji rezervi natezne trdnosti $T_{\Delta\beta}$ v odvisnosti od deleža bitumna B v sestavi AC 11 surf B50/70 A2/Z2

rahllo znižuje natezna trdnost β_t (slika 6a) in drastično povečuje raztezek pri porušitvi ϵ_r , kar je posledica viskoelastičnega obnašanja zmesi pri tej temperaturi. Pri temperaturi 5 °C natezna trdnost pri deležu bitumna nad 4,7 m.% pada hitreje, vendar manj kot pri temperaturi 20 °C. Raztezek ϵ_t pri temperaturi 5 °C kaže še vedno na viskoelastično obnašanje zmesi, vendar manjše, kot je to opaziti pri temperaturi 20 °C. Pri temperaturi -10 in -25 °C se natezna trdnost in raztezek pri porušitvi v odvisnosti od deleža bitumna zelo malo spreminjata, zato

lahko sklepamo, da je to posledica povsem elastičnega obnašanja zmesi. Rezultati največje rezerve natezne trdnosti $\Delta\beta_{t,max}$ (v nadaljevanju $\Delta\beta$) in temperature pri največji rezervi natezne trdnosti $T_{\Delta\beta,t,max}$ (v nadaljevanju $T_{\Delta\beta}$) v odvisnosti od deleža bitumna kažejo dobro korelacijo in nelinearno odvisnost (sliki 7a in 7b). V primerjavi z zgoraj navedenimi korelacijami izhaja, da vpliv deleža bitumna pri nizkih temperaturah najboljše opisuje največja rezerva natezne trdnosti in temperatura pri njej.

Slika 7a prikazuje, da se s povečevanjem deleža bitumna, s 4,8 na 6,0 m.%, največja rezerva natezne trdnosti $\Delta\beta$ bistveno poveča in temperatura pri največji rezervi natezne trdnosti $T_{\Delta\beta}$ zniža z -6,7 °C na -10,5 °C (slika 7b). Pri deležih bitumna 4,0 in 4,8 m.% opazimo, da se obe vrednosti zelo malo spreminjata. Od tod sklepamo, da ima delež bitumna v tej raziskavi pomembno vlogo, kajti s povečevanjem deleža bitumna nad 4,8 m.% bistveno izboljšamo lastnosti bitumenskega betona pri nizkih temperaturah.

4 • SKLEP

Na večjem območju Slovenije so pozimi nizke temperature, kar predstavlja večjo verjetnost za nastanek razpok na asfaltnih voziščih. Po podatkih DRSC in DARS je bila letošnja zimo izmerjena najnižja temperatura vozišča pod -16 °C. Poleg nizkih temperatur je v zadnjem obdobju v Sloveniji tudi občuten porast prometnih obremenitev, ki pospešujejo nastanek termičnih razpok.

V prispevku so predstavljeni rezultati in analiza preskusov bitumenskega betona AC 11 surf B50/70 A2/Z2 pri nizkih temperaturah v odvisnosti od deleža bitumna. Analiza rezultatov je pokazala slabo korelacijo med deležem bitumna in rezultati preskusa TSRST. Rezultati enoosnega nateznega preskusa UTST v odvisnosti od deleža bitumna kažejo, da je kore-

lacija odvisna od temperature, pri kateri je bil preskus opravljen. Zelo dobra korelacija je pri temperaturah 20 °C in 5 °C, pri temperaturah -10 °C in -25 °C pa je slaba. Dobro korelacijo v odvisnosti od deleža bitumna pa kažejo rezultati pri največji rezervi natezne trdnosti $\Delta\beta$ in pri njeni temperaturi $T_{\Delta\beta}$.

Pri deležih bitumna 4,0 in 4,8 m.% opazimo, da se največja rezerva natezne trdnosti $\Delta\beta$ in temperatura pri največji rezervi natezne trdnosti $T_{\Delta\beta}$ zelo malo spreminjata. S povečevanjem deleža bitumna s 4,8 na 6,0 m.% se največja rezerva natezne trdnosti $\Delta\beta$ bistveno poveča in temperatura pri največji rezervi natezne trdnosti $T_{\Delta\beta}$ zniža, kar ugodno vpliva na odpornost proti nastanku razpok. Od tod sklepamo, da je za sestavo AC 11 surf B50/70

A2/Z2 v tem primeru minimalni potrebni delež bitumna 4,8 m.%. Ti rezultati tudi kažejo na nelinearno odvisnost med največjo rezervno natezne trdnosti $\Delta\beta$ ter temperaturo $T_{\Delta\beta}$ in deležem bitumna.

Iz rezultatov UTST smo pri temperaturi 20 °C opazili viskoelastično obnašanje bitumenizirane zmesi. Pri temperaturi 5 °C pa se izgublja viskozni del. Pri temperaturi -10 in -25 °C se natezna trdnost in raztezek v odvisnosti od deleža bitumna zelo malo spreminjata, iz česar lahko sklepamo, da je to posledica povsem elastičnega obnašanja zmesi.

Na podlagi raziskav ugotavljamo, da pri naši konkretni sestavi delež bitumna pomembno vpliva na obnašanje bitumenizirane zmesi pri nizkih temperaturah. S povečevanjem deleža bitumna nad 4,8 m.% bistveno izboljšamo lastnosti bitumenskega betona in njegovo odpornost proti nastanku razpok pri nizkih temperaturah.

5 • LITERATURA

- Arand, W., On the crack resistance and the fatigue behaviour of asphalts for pavements, 7. kolokvij o bitumnih, Združenje asfalterjev Slovenije, Gozd Martuljek, str. 3–15, 2002.
- ARSO, 2012: povzeto po: <http://www.arso.gov.si/vreme/podnebnje/karte/karta4020.html>
- Henigman, S., Voziščne konstrukcije na avtocestah in v predorih – asfalt ali beton? 14. od skupščine do skupščine, strokovni prispevki, Združenje asfalterjev Slovenije, Ljubljana, str. 24–27, 2010.
- KSIST FprEN 12697-46:2011 (Bitumenske zmesi – preskusne metode za vroče asfaltno zmesi, 46. del, Odpornost asfaltno plasti proti razpokam pri nizkih temperaturah z enoosnimi nateznimi preskusi).
- Poročilo ZAG, št. P 790/10-760-1, P 790/10-760-3, P 790/10-760-4, P 790/10-760-5, P 790/10-760-6, P 790/10-760-7, P 790/10-760-8, P 790/10-760-9.
- Read, J. et al., The Shell Bitumen Handbook, 5th edition, Tomas Telford Publishing, London, str. 196–199, 2003.
- SIST 1038-1:2008 Bituminizirane zmesi, specifikacije materialov, 1. del, Bitumenski beton, zahteve, pravila za uporabo SIST EN 13108-1.
- Spiegel, M., Tieftemperaturverhalten von bituminösen Baustoffen, Labortechnische Ansprache und numerische Simulation des Gebrauchsverhaltens, Dissertation, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Technische Universität Wien, Heft 19, Wien, str. 13–17, 2008.
- Šajn Slak, A., Čarman, S., Kršmanc, R., Ivačič, M., Černivec, R., Herga, L., Vidiki razvoja cestno-vremenskega informacijskega sistema, 10. SLOVENSKI KONGRES O CESTAH IN PROMETU, Portorož, 20.–22. oktober 2010, str. 497, 2010.
- Wüstuba, M., Klimaeinflüsse auf Asphaltstraßen, Maßgebende Temperatur für die analytische Oberbaubemessung in Österreich, Dissertation, Mitteilungen des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung, Ausgabe 15, Technische Universität Wien, Wien, 2002.
- Žmavc, J., Vzdrževanje cest, UL FGG in DRC, Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, Ljubljana, str. 54–57, 2010.

PRIPOMBE K ČLANKU PROF. DR. MITJA RISMALA: PROBLEMI UPRAVLJANJA VODA V SLOVENIJI IN GOSPODARJENJA Z NJIMI (GRADBENI VESTNIK, AVGUST 2012)

Voda je vir življenja, saj brez nje ni življenja. Žal se tega med vse bolj pogostimi ekstremnimi sušnimi obdobji začenjamo (zelo postopoma) zavedati tudi pri nas. Posamezni vznemirjajoči in zato »nadležni« pravočasni pozivi in opozorila (redke še nespolitizirane in neskorumpirane) slovenske stroke k ustreznemu strokovnemu gospodarjenju z vodami je (in žal še bo) slovenska politika striktno preslišala, saj se je Slovenija še do pred nekaj leti uvrščala med redke srečne države s preobiljem pitne in porabne vode.

Hudo in hitro spreminjajoče se globalne podnebne razmere že pričenjajo spravljati v obup (ne samo) slovenske kmete (in s pričakovanimi hitrorastočimi cenami predvsem upokojujence). Ti prvi posamezni znaki splošne zaskrbljenosti prodirajo letos celo skozi debelo predpisno in zakonodajno obzidje in tako ogrožajo spokojnost slovenske uradniške birokracije. Vendar pa bo ta »nadležni problemček« ostal za našo aktualno politiko še dolgo nezanimiv, saj se ta trenutno ukvarja z veliko pomembnejšimi »državotvornimi« problemi (blatenja strankarske konkurence, grabljenja in skrivanja prisvojenega kapitala, ožemanja sociale, prisvajanja in razprodaje državne srebrnine ter kapitalu poslušno reševanje bank).

Spominjam se svoje mladostne hoje po slovenskih gorah. Pred načrtovanim odhodom smo se predhodno redno informirali o aktualnih meteoroloških dogajanjih v Biskajskem zalivu, saj je praviloma od tam po južni strani Alp privihralo slabo vreme. Z leti se je ta ciklonska trasa (in s tem velike količine predvsem poleti potrebnih padavin) postopoma pomaknila severneje na srednjo ter severno stran Alp, kar vedno pogosteje povzroča sušna obdobja predvsem v zahodni, južni in srednji Sloveniji ter nekoliko manj na vzhodu (v porečju Drave in Mure). Kakor je razvidno iz članka g. prof. dr. Rismala, pa se je prav na teh najbolj moče potrebnih, pretežno kraških in vročih območjih doslej predvidelo in zgradilo le skopo število zajezitev in akumulacij.

Žal avtor članka, g. prof. dr. Rismal, tudi ni omenil, da se je večina navedenih (nezadost-

no vzdrževanih) obstoječih akumulacij zgradila še pod preteklim »totalitarnim« režimom. Novi režim (diktature »demokratskih« strank) namreč na tem področju nima kaj dosti pokazati, saj smo tudi tukaj vse manj sposobni za vsaj zadovoljivo črpanje razpoložljivih evropskih namenskih finančnih sredstev.

Vse višji odstotki utrjenih prometnih, stanovanjskih in industrijskih površin, vse večja zbitost kmetijsko obdelanih humusnih površin (zaradi težke strojne obdelave in enostranske uporabe umetnih gnojil), zmanjševanje ponikovalne in zadrževalne sposobnosti gozdnih površin (zaradi pomanjkljivega negovanja gozdov), načrtno izsuševanje močvirij ter vse hitrejši pretoki zaradi reguliranja, utrjevanja in izravnavanja strug vodotokov kakor tudi aktualnih sprememb trajanja in intenzivnosti nalivov itd. povzročajo hitre, sunkovite površinske padavinske odtoke s pogostimi kratkotrajnimi poplavami. Zatorej se morajo hude odtočne konice nalivov v vse večji meri položiti, zadržati in izgladiti z ustrežno razufudritvijo utrjenih površin, ponikanjem in bogatenjem podtalnice, nameščanjem kotanj, lagunskih zajezitev, polderjev, zadrževalnikov, akumulacij itd. Poleg tega naj bi se ti zadrževalniki in akumulacije uporabljali tudi kot naravni biotopi, za namen biološkega čiščenja organsko onesnaženih voda, za bogatenje podtalnice (in s tem za pridobivanje pitne vode), za namakanje kmetijskih površin, za gašenje gozdnih požarov itd.

V članku Loputa HST-ASK – s plovcem za ustvarjanje dodatne zadrževalne prostornine (Gradbeni vestnik, julij 2011) sem opisal leta 1994 izvedeno zvišanje zajezitvene prostornine Velenjskega jezera za okoli 10 odstotkov (3 km³) prvotne celotne prostornine zgolj z namestitvijo take (relativno cenene) lopute na odtoku jezera.

Ta loputa praviloma ne zahteva zvišanja najvišje (obstoječe) vodne gladine, temveč omogoči zvečanje zadrževalne prostornine zgolj z natančnim reguliranjem in zmanjšanjem maksimalne prelivne višine na ≤ 5 cm. Običajno izredno dolgi, občutljivi in dragi

večdesetmetrski prelivni robovi se torej lahko nadomestijo z zelo kratkim gradbenim objektom, opremljenim s tako loputo. Dejanska vrednost take investicije se lahko občutno zmanjša ali izravna z na ta način privarčevanimi gradbenimi stroški oziroma kratkoročno povrne na podlagi izrabe večjih letnih količin zadržane vode.

V dopisih ministrstvu za okolje, ministrstvu za kmetijstvo, Kmetijsko-gospodarski zbornici RS, Občini Renče - Vogrsko, Kmetijstvu Vipava, d. d., itd. že precej časa zamen predlagam prezentacijo in ogled delovanja velenjske lopute, in sicer za namen uporabe take lopute tudi za zvišanje zajezitvene prostornine zajetja Vogršček v trenutno izsušeni Vipavski dolini. Na mojo strokovno informacijo (pogojeno s člankom v dnevnem časopisu) sem prejel zgolj neuradni odgovor (v tem članku navedenega) slovenskega poslanca, da se zaradi možnega očitka lobiranja osebno ne želi in ne more izpostavljati. Sledil sem njegovim napotkom in posredoval te strokovne informacije tudi na navedene naslove, od koder pa prav tako nisem prejel nobenega strokovnega odgovora.

Lopute HST-ASK niso idealne zgolj za izpuste večjih akumulacij, temveč se lahko nameščajo tudi za lokalne (kaskadne) zajezitve potokov in manjših rek (na primer Rižane), saj se taka loputa odpira in samodejno uravnava odtok s plovcem pri skoraj konstantni gladini zajezitve. Poleg tako povzročene zvečanega bogatenja podtalnice lahko (v nasprotju s čvrstimi jezi) maksimalnimi pretoki skozi odprto loputo odstranijo tudi med sušnimi obdobji zadržane usedline in prod.

Popolnoma se strinjam z g. prof. dr. Rismalom, da je glavni problem upravljanja voda v Sloveniji in gospodarjenja z njimi katastrofalno pomanjkanje strokovnega znanja in izkušenj. To je hitrorastoča cena, ki jo v vedno večji meri (nepotrebno) plačujemo zaradi vse večjega političnega omalovaževanja ter zavestnega, načrtnega, janičarskega uničevanja slovenskega strokovnega znanja, izkušenj in šolstva.

Po uspešnem uničenju nekdanj sloveče slovenske projektive (v preteklih dveh desetletjih) smo ravnokar zelo uspešno uničili tudi nekdanj svetovno znano slovensko gradbeništvo in s tem ključni temelj slovenskega gospodarstva. Tako rekoč čez noč smo izničili znanje in izkušnje, ki so ga pretekli rodovi in generacije zelo uspešno nabirali, negovali in privzgjajali mnoga desetletja. Drevo (znanja) so po političnem diktatu naši strokovni janičarji požagali le v nekaj minutah. Novo zasajeno drevo pa bo potrebovalo vsaj nekaj desetletij, da bo ponovno vzpostavilo nekdanjo senco, kaj šele ponovno prinašalo pridelek.

Sledeč izreku, da tudi male živali ustvarijo precejšno količino gnoja, bo (kakor so to jasno pokazale pretekle suše) treba predvsem na Primorskem začeti spodbujanje ter subvencioniranje decentralnega zadrževanja in pravnega gospodarjenja s padavinskimi vodami.

Mimogrede: z decentralnim zadrževanjem ali ponikanjem strešnih odtokov je mogoče preprečiti tudi drage sanacije preobremenjenih obstoječih kanalizacijskih omrežij.

Poleg tega pa gluhim slovenskim ušesom zaman predlagam, da naj se (predvsem večinoma nezadostno delujoče) tehnične komunalne čistilne naprave opremijo z naknadnimi izravnalnimi lagunami (Schönungsteiche) in podeželske naselbine opremijo s ceneniimi komunalnimi lagunskimi čistilnimi napravami (Abwasserteichanlagen), kakor jih na podlagi mnogoštevilnih, večdesetletnih izkušenj izrecno priporoča neodvisno nemško strokovno združenje DWA e.V. (nekdanj ATV e.V.).

S tem bi namreč na zelo preprost, poceni ter v ZDA in Nemčiji več kot tisočkrat preizkušen način rešili ali izboljšali nekaj perečih ekoloških problemov:

- * zadržali in shranili bi večje količine padavinskih voda,
- * znatno bi zvišali možnost ponovne uporabe porabne vode med sušnimi obdobji,
- * izboljšali bi bogatenje in s tem stanje podtalnice,
- * izboljšali bi preskrbo s pitno vodo,
- * omogočili bi odtok ekološkega minimuma presihajočih vodotokov,

- * izboljšali bi možnosti zadostnega namakanja kmetijskih površin,
 - * izboljšali bi možnosti protipožarne zaščite gozdov,
 - * omogočili bi izvajanje (zelo pomanjkljivo in nestrokovno izdelanega) slovenskega operativnega programa odvajanja in čiščenja komunalnih odpadnih voda (Povzeto po: http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/okolje/varstvo_okolja/operativni_programi/operativni_program_komunalne_vode.pdf),
 - * omogočili bi znatno cenejše in boljše čiščenje komunalnih odpadnih voda,
 - * zmanjšali bi količino in s tem problematiko ekološke odstranitve biološkega blata itd.
- Žal pa namesto tega aktualno doživljamo orgazem strokovnega neznanja, neodgovornosti in politične nesposobnosti, prežete z neobvladljivo korupcijo na ruševinah pravne anarhije. Psi lajajo, karavana gre dalje!

Franc Maleiner, univ. dipl. inž. kom.
Sojerjeva 43, 1000 Ljubljana
E-pošta: franc.maleiner@t-2.net

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Primož Vraničar, Aktivno izničevanje prometnega hrupa, mentor doc. dr. Tomaž Maher

Damjan Prnaver, Povečanje preglednosti in zaznavnosti križišč, mentor viš. pred. dr. Peter Lipar, somentor, viš. pred. mag. Jure Kostanjšek

Leon Šterk, Optimizacija izkoriščenosti terena s pomočjo izračuna odstotka osončenosti, mentor doc. dr. Živa Kristl, somentor asist. dr. Mitja Košir

1. STOPNJA, STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM OPERATIVNO GRADBENIŠTVO

Blaž Hren, Razvoj CEM metode za oceno reoloških lastnosti svežega betona, mentor izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor Andraž Hočever

Mitja Kopin, Vrednotenje nepremičnin v postopku razlastitve, mentor izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač, somentor Jure Kern

Žiga Maček, Statična analiza hotela z nosilno jekleno konstrukcijo, mentor prof. dr. Jože Korelc, somentorja asist. dr. Peter Skuber in asist. dr. Primož Može

Boris Grubar, Tržno vrednotenje stanovanjske hiše na neaktivnem trgu nepremičnin, mentor izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač, somentor Jure Kern

Aljaž Zajamšek, Nadgradnja zapisnika o ogledu prometne nesreče, mentor viš. pred. mag. Jure Kostanjšek

Simon Novak, Povečanje zaznavnosti in preglednosti križišč, mentor viš. pred. dr. Peter Lipar

Nejc Andrejka, Vpliv mineralnih dodatkov na reološke lastnosti svežega betona, mentor izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor Andraž Hočever

Miha Zadel, Metode in tehnike linearnega planiranja, mentor viš. pred. dr. Aleksander Srdić

Luka Possnig, Projektiranje nosilne konstrukcije poslovnega objekta v Kranju, mentor doc. dr. Sebastjan Bratina

Primož Zelenec, Projektiranje podpornega in opornega zidu za potrebe skladiščenja lesa, mentor izr. prof. dr. Janko Logar, somentor izr. prof. dr. Jože Lopatič

Blaž Štupar, Vpliv višine notranjega valja reometra na izmerjene reološke lastnosti malta, mentor izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

Gregor Žvab, Analiza porabe energije za ogrevanje v večstanovanjski stavbi, mentor doc. dr. Živa Kristl, somentor asist. dr. Mitja Košir

Matic Čoh, Projektiranje AB stropne konstrukcije poslovnega objekta, mentor izr. prof. dr. Jože Lopatič

Kristjan Rojc, Geotehnično projektiranje armiranobetonskega podpornega in opornega zidu, mentor izr. prof. dr. Janko Logar, somentor izr. prof. dr. Jože Lopatič

Jure Klopčič, Projektiranje in dimenzioniranje nosilnih elementov večstanovanjske stavbe, mentor doc. dr. Sebastjan Bratina

Uroš Erdani, Primerjava reoloških lastnosti svežih malta in betonov z enako razvito površino agregatnih zrn, mentor izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor Andraž Hočever

1. STOPNJA, UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Nina Zupan, Izračun osončenosti stavbnega ovoja realnih urbanih vzorcev, mentor doc. dr. Živa Kristl, somentor asist. dr. Mitja Košir

Barbara Turk, Projekt temeljenja dveh stolpov v sklopu Nordijskega centra Planica 1a. faza, mentor izr. prof. dr. Janko Logar

Anže Egart, Požarne krivulje in temperaturni profili ab prečnih prerezov, mentor doc. dr. Sebastjan Bratina, somentor doc. dr. Tomaž Hozjan

Mateja Klun, Mehanska analiza pregrade Moste na Savi, mentor doc. dr. Simon Schnabl, somentor doc. dr. Andrej Kryzhanowski

Nejc Mohorič, Pretočne hitrosti vode v hudournikih, mentor prof. dr. Matjaž Mikoš, somentor asist. dr. Simon Rusjan

Nejc Legat, Vpliv notranjih rezervuarjev vode na tlačno trdnost betona visoke trdnosti, mentor doc. dr. Drago Saje

Špela Znidaršič, Vpliv vsebnosti jeklenih vlaken in prehodno namočenega lahkega agregata na krčenje betona visoke trdnosti, mentor doc. dr. Drago Saje

Janez Melink, Projektiranje medetažne konstrukcije armiranobetonske stavbe, mentor doc. dr. Sebastjan Bratina

Jure Česnik, Parametrične dinamične konstrukcijske komponente za prefabricirane AB elemente, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek

Jure Šuler, Dimenzioniranje armiranobetonskih prerezov iz betona visokih trdnosti na upogib, mentor izr. prof. dr. Franc Saje

Andrej Brodež, Analiza tehnologije in časovnega poteka gradnje: primer nadvoza nad železniško progo, mentor izr. prof. dr. Jana Šelih

Aljaž Sitar, Nosilni sistemi sodobnih lesenih konstrukcij, mentor izr. prof. dr. Jože Lopatič

Gregor Grbec, Uporaba sodobnih lesnih proizvodov pri lesenih konstrukcijah, mentor izr. prof. dr. Jože Lopatič

Anka Jenko, Ocena potresne odpornosti enodružinske hiše, mentor izr. prof. dr. Matjaž Dolšek, somentor Jure Snoj

Gabrijela Jankovič, Vrednotenje poenostavljenih postopkov za oceno nihajnega časa stavb, mentor izr. prof. dr. Matjaž Dolšek

Luka Pajek, Parametrična študija osvetljenosti in porabe energije za ogrevanje, mentor prof. dr. Aleš Krainer, somentor asist. dr. Mitja Košir

Jan Hlastec, Projektiranje jeklenih valjastih rezervuarjev, mentor prof. dr. Darko Beg, somentor asist. dr. Franc Šinur

Urška Dolinar, Virtualna gradnja: Primera simulacij 4D, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek

Jan Pergar, Projekt križišča po izboru – primer štirikrakega križišča, mentor izr. prof. dr. Marjan Žura, somentor viš. pred. dr. Peter Lipar

Neža Germovnik, Idejna rešitev ureditve križišča Kidričeva / Koroška na cesti R2-412 na odseku O359, mentor doc. dr. Tomaž Maher, somentor viš. pred. dr. Peter Lipar

1. STOPNJA, UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Urša Bergant, Mehanska analiza težnostne pregrade, mentor doc. dr. Simon Schnabl, somentor doc. dr. Andrej Kryžanowski

Barbara Corn, Odločanje o prodaji zemljišča na različnih razvojnih stopnjah, mentor izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač, somentor asist. Matija Polajnar

Helena Šoško, Modeliranje širjenja nafte v morskem okolju po metodi trajektorij, mentor doc. dr. Dušan Žagar

Domen Dolšak, Statistična analiza padavin – izdelava Huffovih krivulj, mentor doc. dr. Mojca Šraj, somentor prof. dr. Mitja Brilly

Klemen Kestnar, Določanje največjih pretokov na nemerjenih porečjih, mentor doc. dr. Mojca Šraj, somentor prof. dr. Mitja Brilly

Rožle Lavrač, Meritve infiltracije in vodoodbojnosti na različnih tipih tal, mentor doc. dr. Mojca Šraj, somentor prof. dr. Mitja Brilly

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Miha Hrastnik, Vpliv metode načrtovanja nosilnosti na količino armature armiranobetonske stavbe, mentor izr. prof. dr. Matjaž Dolšek

Mitja Plos, Razvrščanje konstrukcijskega lesa v različne kombinacije trdnostnih razredov, mentor prof. dr. Goran Turk, somentor dr. Tomaž Pazlar

Boris Azinovič, Uporaba metode načrtovanja nosilnosti za jeklene konstrukcije daljnovidnih stebrov, mentor izr. prof. dr. Matjaž Dolšek

Jure Žižmond, Razčlenitev potresne varnosti pri projektiranju armiranobetonske stavbe, mentor izr. prof. dr. Matjaž Dolšek

Anja Klanjšek, Idejna zasnova preureditve in ekonomska analiza križišča cest R1-221 in R1-223 v Trbovljah, mentor doc. dr. Tomaž Maher, somentor viš. pred. mag. Jure Kostanjšek

Matej Kos, Predlog prostorske ureditve območja v KS Stara vas Velenje, mentor doc. dr. Alma Zavodnik Lamovšek

Smiljan Tomljanovič, Analiza meritev glavnih geometrijskih parametrov na železniških progah, mentor prof. dr. Bogdan Zgonc, somentor asist. Darja Šemrov

Gašper Tisovec, Dimenzioniranje armiranobetonskih lupinastih elementov, mentor izr. prof. dr. Jože Lopatič

Janja Pakič, Analiza in predlog ureditve nivojskih križanj ceste in železnice na odseku proge Ljubljana – Grosuplje, mentor prof. dr. Bogdan Zgonc, somentor asist. Darja Šemrov

Nejc Bezak, Verjetnostna analiza visokovodnih konic z metodo vrednosti nad izbranim pragom in z metodo letnih maksimumov, mentor doc. dr. Mojca Šraj, somentor prof. dr. Mitja Brilly

Nina Pavič, Smotrnost uvedbe davka na planski dobiček na primeru mestne občine Ljubljana, mentor izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač

Tina Pavič, Stabilnostna analiza jeklene strehe športne dvorane v Stožicah, mentor prof. dr. Darko Beg

Jaka Kavčič, Predlog prometne politike občine Tržič, mentor doc. dr. Tomaž Maher, somentor viš. pred. dr. Peter Lipar

Suzana Štiherl, Projektiranje armiranobetonskega poslovno stanovanjskega objekta v Ljubljani, mentor izr. prof. dr. Jože Lopatič

Jaka Truden, Projektiranje krivinskih kretnic na območju postaje, mentor prof. dr. Bogdan Zgonc, somentor asist. Darja Šemrov

Uroš Kokot, Numerična toplotna analiza dveh detailov fasadnega elementa Qbiss Air, mentor prof. dr. Boštjan Brank, somentor dr. Matjaž Žnidaršič

Gregor Kert, Graditev in vzdrževanje drenažnega asfalta, mentor prof. dr. Janez Žmavc, somentor mag. Dejan Hribar

Urška Oset, Laboratorijsko testiranje prelivanja valov čez valobrane v pristaniščih, mentor prof. dr. Matjaž Četina, somentor prof. dr. Lorenzo Cappietti

Luka Kurnjek, Ciklo – program za analizo rezultatov histereznega odziva zidov, mentor izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov, somentor asist. Meta Kržan

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVA IN KOMUNALNEGA INŽENIRSTVA

Rok Ogrizek Woermann, Problematika in pregled naravno prisotnih radionuklidov ter njihova pojavnost v komunalnih dejavnostih, mentor izr. prof. dr. Viktor Grilc, somentor Stanko Manajlovič

Tadej Kovačič, Analiza vpliva lastnosti porečja na indeks baznega odtoka, mentor doc. dr. Mojca Šraj, somentor prof. dr. Mitja Brilly

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Miha Arčon, Računska analiza jeklene večnadstropne poslovne stavbe v Celju, mentor doc. dr. Tomaž Žula, somentor red. prof. dr. Stojan Kravanja

Dejan Kerčmar, Tehnologija rekonstrukcije viadukta Lešnica, mentor izr. prof. dr. Andrej Štrukelj, somentor viš. pred. Viktor Markej

Grega Ljubej, Primerjava programskih orodij Scia, Sofistik in Tower za dimenzioniranje armiranobetonskih elementov, mentor doc. dr. Milan Kuhta, somentor pred. Aljoša Klobučar

Mitja Mulec, Tehnologija rekonstrukcije stropne plošče v gospodarskem objektu, mentor izr. prof. dr. Andrej Štrukelj, somentor doc. dr. Borut Macuh

Rok Prigl, Toplotne izolacije temeljne plošče nizko energijske hiše, mentor izr. prof. dr. Bojan Žlender, somentor doc. dr. Borut Macuh

Srečko Prša, Vrste zvarov in tehnologija varjenja, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Tomaž Žula

Rok Solina, Uporaba reciklirane gume za proizvodnjo mrazoobojnih betonov, mentor viš. pred. dr. Samo Lubej, somentor viš. pred. dr. Andrej Ivanič

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Rok Krajnc, Priprava armature v železokrivnici, mentor izr. prof. dr. Andrej Štrukelj

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA – Bolonjski študijski program 1. stopnje

Študij so zaključili z diplomskim izpitom:

Miha Bartok
Mitja Beber
Damjan Bogovič
David Golob
Armin Lambizer

Nejc Marič
Marko Pesko
Mateja Rak
Eva Reberc
Jernej Remic

Tamara Skok
Maja Tašner
Gregor Trlep
Tadej Valenko
Nejc Vračko

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

INTERDISCIPLINARNI UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA – SMER GRADBENIŠTVA

Filip Karba, Možnost ojačitve polimernih materialov s kontinuiranimi ogljikovimi vlakni, mentorja izr. prof. dr. Andrej Štrukelj – FG in doc. dr. Karin Širec – EPF, somentor viš. pred. dr. Andrej Ivanič

INTERDISCIPLINARNI MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA – SMER GRADBENIŠTVA

Rok Cajzek, Projekt prestavitve betonarne na novo lokacijo in strategije podjetja, mentor izr. prof. dr. Andrej Štrukelj

INTERDISCIPLINARNI UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA – SMER GRADBENIŠTVA – Bolonjski študijski program 1. stopnje

Študij so zaključili z diplomskim izpitom:

Vesna Čep
Mića Gavrič
Matjaž Godec
Emo Ilesič

Katja Kotnik
Mateja Kovačič
Sara Kukovec
David Majcen

Anja Pavličič
Nina Pelc
Tomaž Sekolovnik
Rebeka Živkovič

Rubriko ureja • **Jan Kristijan Juteršek**, univ. dipl. inž. grad.

KOLEDAR PRIREDITEV

7.-9.11.2012

International Symposium on Earthquake – induced Landslides
Kiryu, Japonska
<http://geotech.ce.gunma-u.ac.jp/~isel/index.html>

19.-20.11.2012

Fifth Australian small bridges conference
Surfers Paradise, Queensland, Avstralija
www.smallbridgesconference.com

3.-4.12.2012

3rd Ibero-American congress on self-compacting concrete
Madrid, Španija
www.autocompacto.net

22.-23.12.2012

ICESE 2012
International Conference on Earthquake and Structural Engineering
Bangkok, Tajska
www.waset.org/conferences/2012/bangkok/icese

5.-7.2.2013

57th BetonTage
Neu-Ulm, Nemčija
www.betontage.com

15.-21.4.2013

BAUMA 2013
30th International Trade Fair for Construction Machinery, Building Material Machines, Mining Machines, Construction Vehicles and Construction Equipment
München, Nemčija
www.bauma.de

22.-24.4.2013

FIB Symposium
Engineering a concrete future: technology, modelling & construction
Tel Aviv, Izrael
<http://www.fib2013tel-aviv.co.il/index.ehtml>

6.-8.5.2013

International IABSE Spring Conference
Assessment, Upgrading and Refurbishment of Infrastructures
Rotterdam, Nizozemska
www.iabse2013rotterdam.nl

17.-19.5.2013

IC-SDCI
International Conference on Sustainable Development of Critical Infrastructure (Co-sponsored by IABSE)
Shanghai, Kitajska
<http://iem.sjtu.edu.cn/IC-SDCI/en/>

27.-29.5.2013

1st International Conference on Concrete Sustainability
Tokyo, Japonska
www.jci-iccs13.jp

12.-14.6.2013

COMPDYN 2013
4th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering
Otok Kos, Grčija
<http://compdyn2013.org/>

26.-28.6.2013

FRPRCS11
11th International Symposium on Fibre Reinforced Polymers for Reinforced Concrete Structures
Guimares, Portugalska
www.frprcs11.uminho.pt/Default.aspx?tabindex=1&tabid=1&lang=en-US&pageid=29

24.-26.7.2013

ICSA 2013
2nd International Conference on Structures and Architecture
Guimares, Portugalska
www.icsa2013.arquitectura.uminho.pt

24.-27.9.2013

26th IABSE Symposium
Long Span Bridge and Roof Structures – Development, Design and Implementation
Kolkata, Indija
www.bridgeweb.com/MemberPages/Article.aspx?typeid=5&id=2443

25.-27.9.2013

IWCS 2013
Third International Workshop on Concrete Spalling due to fire exposure
Pariz, Francija
<http://mfpa-leipzig.de/index.php?id=64>

2.-6.6.2014

3rd World Landslide Forum "Landslide risk mitigation: Constructing a safe geo-environment"
Peking, Kitajska
www.wlf3.org

Rubriko ureja • **Jan Kristijan Juteršek**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: mmsg@izs.si