

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

UDK-UDC 05 : 625; tiskana izdaja ISSN 0017-2774;

spletna izdaja ISSN 2536-4332.

Ljubljana, maj 2017, letnik 66, str. 109-136

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška cesta 3, 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 raziskovalno dejavnost RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, Fakultete za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo Univerze v Mariboru in Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**, predsednik
Dušan Jukić
prof. dr. Matjaž Mikoš
IZS MSG: **Gorazd Humar**
mag. Mojca Ravnikar Turk
dr. Branko Zadnik
UL FGG: **izr. prof. dr. Sebastjan Bratina**
UM FG: **doc. dr. Milan Kuhta**
ZAG: **doc. dr. Matija Gams**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Romana Hudin

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

950 tiskanih izvodov
3000 naročnikov elektronske verzije

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 23,16 EUR; za študente in upokojenca 9,27 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 171,36 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
SI56020170015398955

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. Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavlja 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 ali kratica ustanove, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja ali ustanove 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 ali kraticah ustanov in opisana z naslednjimi podatki: priimek ali kratica ustanove, začetnica imena prvega avtorja ali naziv ustanove, 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

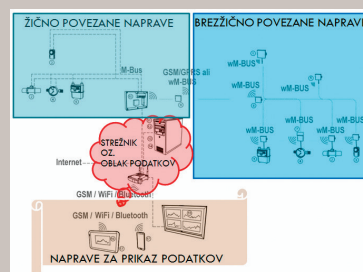
Članki • Papers

stran **109**

mag. Primož Praper, univ. dipl. gosp. inž.
izr. prof. dr. Igor Pšunder, univ. dipl. inž. grad.
red. prof. dr. Danijel Rebolj, univ. dipl. inž. grad.

INTEGRIRANI MONITORING KOT ORODJE ZA UČINKOVITO IN EKONOMIČNO ENERGETSKO UPRAVLJANJE JAVNIH STAVB

INTEGRATED MONITORING AS A TOOL FOR EFFICIENT AND ECONOMICAL ENERGY MANAGEMENT IN PUBLIC BUILDINGS

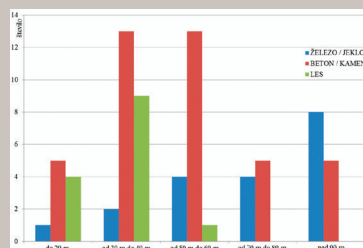


stran **121**

doc. dr. Lara Slivnik, univ. dipl. inž. arh.

TRIČLENKASTI LOČNI MOSTOVI: MATERIAL, RAZPON IN POLOŽAJ VOZIŠČA

THREE-HINGED ARCH BRIDGES: MATERIAL, SPAN, AND BRIDGE TYPE



Terminološki kotiček

stran **130**

doc. dr. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad.
Ana Brunčič, mag. inž. grad., univ. dipl. nov.

KORISTNOST KORISTNE OBEŽBE



Poročilo s strokovnega in znanstvenega srečanja

stran **134**

dr. Andrej Širca, univ. dipl. inž. grad.
dr. Lidija Globevnik, univ. dipl. inž. grad.

DRUGI SLOVENSKI KONGRES O VODAH

Obvestila ZDGITS

stran **138**

ZADNJI PRIPRAVLJALNI SEMINAR IN IZPITNI ROK ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2017

Novi diplomanti

Eva Okorn

Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Obnovljen železniški most čez Dravo na Ptuj, foto: Janez Duhovnik

INTEGRIRANI MONITORING KOT ORODJE ZA UČINKOVITO IN EKONOMIČNO ENERGETSKO UPRAVLJANJE JAVNIH STAVB

INTEGRATED MONITORING AS A TOOL FOR EFFICIENT AND ECONOMICAL ENERGY MANAGEMENT IN PUBLIC BUILDINGS

mag. Primož Praper, univ. dipl. gosp. inž.

primoz.praper@eutrip.si

EUTRIP, d. o. o., Kidričeva ulica 24, 3000 Celje

izr. prof. dr. Igor Pšunder, univ. dipl. inž. grad.

igor.psender@um.si

red. prof. dr. Danijel Rebolj, univ. dipl. inž. grad.

danijel.rebolj@um.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo,
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 699.86:727

Povzetek | V javnih stavbah (šolah, vrtcih) obstaja velik potencial za prihranke energije z učinkovitim energetskim upravljanjem. Članek obravnava, kako je mogoče z energetskim monitoringom in obdelavo masovnih podatkov poiskati konkretne potenciale za te prihranke. Na osnovi podatkov, pridobljenih s pomočjo digitalnega obratovalnega monitoringa stavb, je bila analizirana večletna baza podatkov z okoli 2 mio. podatkov o urni porabi toplotne in električne energije ter o notranji in zunanji temperaturi. Ugotovljeno je bilo, da javne stavbe porabijo veliko več energije takrat, ko so nezasedene, in da se pogosto ogrevajo, ko so nezasedene in notranja temperatura že presega 20 °C. Na osnovi raziskave je bil identificiran potencial za prihranek energije, ki ga predstavlja predvsem zmanjšanje delovanja ogrevalnega sistema, ko je stavba nezasedena. Predlagan in predstavljen je izboljššan model energetskega upravljanja stavb z integracijo merilnikov porabe, senzorjev temperature in programabilnih krmilnikov v enoten sistem, s pomočjo katerega se na osnovi podatkovnega rudarjenja, poslovne analitike masovnih podatkov (angl. big data) in strojnega učenja delovanje sistema ogrevanja stalno izboljšuje.

Ključne besede: energetsko upravljanje stavb, prihranki energije, javne stavbe, energetski monitoring, masovni podatki, podatkovno rudarjenje

Summary | Public buildings (schools, kindergartens, etc.) offer many opportunities for saving energy through effective energy management. The aim of the study is to discover concrete saving potentials through energy monitoring and processing of big data. Data from the digital operational monitoring of buildings were used to analyse a database containing data spanning several years, approximately two million records on hourly heat and electricity consumption as well as indoor and outdoor temperature. The findings show that public buildings consume far more energy when unoccupied and that they are often heated – although being empty – with internal temperature already exceeding 20°C. The research identified energy-saving potentials by optimising the heating of empty buildings. An improved model for the energy management of

buildings has been proposed and presented. It is based on the integration of smart consumption sensors, temperature gauges and programmable controllers into a system, aimed at optimising the performance of heating systems through data mining, business analysis of big-data and machine learning.

Key words: buildings energy management system, energy savings, public buildings, energy monitoring, big data, data mining

1 • UVOD

Poraba energije v stavbah predstavlja pomemben delež porabljene energije. Podatki o porabi energije v stavbah se v svetu razlikujejo glede na državo, klimatsko cono in metodo izračuna ter znašajo od 15 % do 40 %. Po podatkih International Energy Agency se je v letu 2013 v državah OECD 33 % celotne končne energije porabilo v stavbah, 31 % v industriji, 33 % v transportu, 3 % se je porabilo v kmetijstvu, gozdarstvu ribištvu in drugih dejavnostih (IEA, 2015).

Uvajanje namenskih rešitev energetskega upravljanja stavb, pri katerem ima monitoring skladno s standardom na tem področju pomembno vlogo, kaže veliko možnosti za izboljšave in prihranke energije ob ohranjanju oz. izboljšanju temperaturnega ugodja. Pomembno izhodišče je, da morajo biti v času zasedenosti stavbe zagotovljene ustrezne temperature, v času nezasedenosti pa naj bo poraba energije čim manjša oz. le tolikšna, da bo v času

zasedenosti ustrezna temperatura dosežena pravočasno.

Članek predstavlja rešitev z avtomatizacijo delovanja sistema energetskega upravljanja s pomočjo sodobnih tehnologij monitoriranja, podatkovnega rudarjenja in strojnega učenja s ciljem čim učinkovitejše porabe energije. Predlog rešitve je v avtomatizaciji nastavitvev krmilnikov za ogrevanje, ki se učijo na osnovi množice preteklih razpoložljivih podatkov o delovanju. S tovrstnim energetskim upravljanjem stavb ni dosežen le cilj nižjih stroškov, temveč je v času zasedenosti stavbe mogoče izboljšati tudi temperaturno ugodje.

2 • ENERGETSKO UPRAVLJANJE STAVB IN ENERGETSKI MONITORING

2.1 Energetsko upravljanje

Eden izmed osnovnih namenov stavb je, da nam te zagotavljajo udobno notranjo klimo. V naravi ljudi je, da bi to dosegli čim bolj ekonomično. Ker je stavba celosten in dinamičen sistem, je težko vzpostaviti optimum za vse cilje, na katere vpliva dinamično vedenje. Zmanjšanje porabe energije ne more in sme biti edini cilj energetske prenove stavb, zato je smiselno k optimiranju porabe energije v stavbah pristopati celovito (Hensen, 1991). Energetski monitoring kot orodje energetskega upravljanja torej ne sme zajemati samo podatkov o porabi energije, temveč tudi o bivalnem ugodju.

Energetsko upravljanje je kot samostojna disciplina pridobilo pomen po prvi naftni krizi leta 1973, v širšo veljavo pa je vstopilo po drugi naftni krizi leta 1979. S stalnim povečanjem porabe energije in s tem stroškov za energijo pridobiva pomen energetska učinkovitost (Zach, 2015a).

Zanimivo je, da je bil v Sloveniji Pravilnik o tehničnih ukrepih in pogojih za toplotno zaščito stavb sprejet že leta 1970 (Uradni list SFRJ, št. 35-428/1970), medtem ko so bili predpisi oz. standardi v nekdanji državi Jugoslaviji sprejeti predvsem po letu 1980:

- JUS U.J5.510:1980. Toplotna tehnika v gradbeništvu – Metode proračuna koeficienta prehoda toplote skozi gradbene konstrukcije.
- JUS U.J5.520:1980. Toplotna tehnika v gradbeništvu – Metode proračuna difuzije vodne pare skozi gradbene konstrukcije.
- JUS U.J5.530:1980. Toplotna tehnika v gradbeništvu – Metode proračuna karakteristike toplotne stabilnosti zunanjih gradbenih konstrukcij stavb za poletno obdobje.
- JUS U.J5.600:1980. Toplotna tehnika v gradbeništvu – Tehnični pogoji za projektiranje in gradnjo stavb.
- JUS D.E8.193:1982. Stavbno pohoštvo – Zunanja okna in balkonska vrata – Zahteve o propusnosti zraka in vode.
- JUS U.J5.600:1987. Toplotna tehnika v gradbeništvu – Tehnične zahteve za projektiranje in gradnjo stavb.

Optimizacija porabe energije v času delovanja stavb pa lahko pomembno zmanjša negativen vpliv na globalno okolje (Sharmin, 2014). Razlogi so tudi v zmanjšanju energetske odvisnosti in zagotavljanju obnovljivih virov energije (OVE). Eden izmed nosilnih

stebrov sonaravnega trajnostnega razvoja je tudi zmanjševanje snovno-energetskih tokov (Umanotera, 2010). Energetsko upravljanje stavb in uvajanje energetskega monitoringa sta lahko implementirana v različnih organizacijskih oblikah. Pri vseh poslovnih modelih zagotavljanja energetske učinkovitosti sta ključna postavitev ciljev in vpeljevanje mehanizmov za spremljanje doseganja rezultatov, kar zagotavlja energetski digitalni obratovalni monitoring stavb. Zelo pomemben vidik pa je, da si naročnik (javni partner ali zasebnik) takšen sistem želi in sodeluje pri njegovem načrtovanju in izvedbi (Praper, 2014).

2.3 Prihranki energije, ki jih omogoča energetsko upravljanje

Ozadje zanimanja za raziskave na področju energetskega upravljanja in prihrankov je bila že naftna kriza leta 1970, in sicer zaradi zaskrbljenosti zaradi možnega izčrpanja fosilnih goriv (Abrahamse et al., 2005). Že med letoma 1977 in 1980 je bilo več raziskav, ki so jih opravili Seligan in Darly (Seligan, 1977), Becker (Becker, 1978), Wenett, Neale, Yokley in Kauder (Wenett, 1980), ki so navedeni v eni od obravnavanih tujih raziskav (McCelland, 1980) in v katerih avtorji ugotavljajo možnosti prihrankov med 10 % in 20 % električne energije, uporabljene za ogrevanje. Prihranki so bili v teh študijah načeloma večji v času ekstremnih razmer, kar nakazuje prvenstveno

prihranek pri gretju in hlajenju. Študije v 70. letih prejšnjega stoletja so ugotovljale, da se z 8-urnim znižanjem nočne temperature prihrani 1 % energije za vsako stopinjo znižanja (Peffer, 2011). Raziskava, ki sta jo opravila McClland in Cook (McClland, 1980), je zajemala 101 stanovanje, od tega je imelo 25 stanovanj vgrajene števece porabe električne energije, ki so s pomočjo diod urno prikazovali porabo v centih na kWh. Ugotovljena je bila jasna korelacija v višini 12 % manjše porabe energije v tistih domovih, ki so imeli vgrajen monitoring, ne da bi se pri tem organizirano izvajali še drugi ukrepi energetskega upravljanja oz. ozaveščanja. Avtorja že takrat navajata, da je cena tovrstnega števca za monitoring 125 ameriških dolarjev (USD) in da je doba vračanja 1,9 leta, ter dodajata, da je to na nacionalni ravni primerljivo z zmanjšanjem uvoza nafte v ZDA v višini 5 %.

Pregled literature med letoma 1977 in 2004 (Abrahamse, 2005) je zajemal 38 študij s področja vpliva vedenja uporabnikov pri zmanjševanju porabe energije v gospodinjstvih s pomočjo mehanizmov ozaveščanja, z informiranjem, določanjem ciljev in s povratnimi informacijami. Študije kažejo, da je prihranek znašal do 21,9 %. Celovit pregled energetskih prihrankov, povezanih s sistemi za energetske upravljanje (angl. energy management systems – EMS), sta v letu 2015 opravila Lee in Cheng. Na temo uporabe EMS sta analizirala 276 znanstvenih člankov, ki vključujejo 305 primerov med letoma 1976 in 2014. Statistični podatki na osnovi pregleda raziskav, ki sta jih prikazala v članku, kažejo rast prihrankov energije z naslova EMS z 11,39 % na 16,22 % v zadnjih 38 letih (Lee, 2016).

Namen avtomatiziranega sistema monitoringa je zajem podatkov, njihova pretvorba v informacije in posredovanje teh informacij z namenom večje učinkovitosti projekta (Rebolj, 2008). Različne študije ((Perez-Lombard, 2008), (Harmer, 2015), (Babaei, 2015)) v nasprotju s poudarjanjem avtomatizacije same vključujejo energetske monitoring kot ključno orodje za energetske upravljanje (monitoring kot prvi ključni pogoj). Avtor Zach in sodelavci (Zach, 2015b) navajajo predvsem naslednja področja koristi: minimizacijo porabe energije, boljše informiranost uporabnikov, podporo preventivnemu vzdrževanju, stalne izboljšave učinkovitosti z analizami na osnovi dinamično posodobljenih podatkovnih baz o porabi energije in učinkovitosti delovanja, dolgoročno zbiranje empiričnih podatkov, kar omogoča izboljšave tako pri načrtovanju, gradnji kot vzdrževanju

obstoječih in novih stavb. Dodati je treba, da orodja za monitoring ne prispevajo samo k zmanjšanju porabe in stroškov, temveč tudi k zmanjšanju trenutnih obremenitev in koničnih moči (Marinakis, 2013). Ko govorimo o uspešni realizaciji stroškov, kvalitete in časovnega načrta, je treba upravljati vse faze projektov, pri čemer je IT orodje za optimizacijo (Praper, 2004).

Stavbe so načrtovane in grajene z vedno bolj zapleteno tehnologijo, v življenjskem ciklusu pa nastanejo v njih oz. o njih velike količine podatkov (Corry, 2015). Te podatke je smiselno uporabiti za izboljšanje delovanja sistemov v stavbah. Trenutna orodja za simulacije delovanja stavb samo po vnaprej določenih algoritmičnih lahko posnemajo nekatere tipične aktivnosti uporabnikov na tog, preddefiniran način. Uporabniško vedenje in ugodje pa sta stohastična, kompleksna in multidisciplinarna (D'Oca, 2015). Pregled literature ((Menezes, 2012), (Ryan, 2012), (Yan, 2015), (D'Oca, 2015)) potrjuje, da so vedenje in navade uporabnikov v stavbah vrzel, ki jo skušajo raziskovalci v smislu napovedane in dejanske porabe energije v stavbah premostiti.

V Sloveniji so področje uporabe naprednih rešitev za upravljanje energetskih sistemov v stavbah proučevali predvsem na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani. Primerjava konvencionalnega in alternativnega načina ogrevanja in hlajenja v javnih stavbah je pokazala, da je mogoče z alternativnimi načini ogrevanja s sevalnimi paneli in z uporabo več lokalnih prezračevalnih sistemov, krmiljenih s centralnim sistemom za upravljanje stavb (angl. Building management system), prihraniti tudi do 60 % energije (Košir, 2010). Cilj narediti stavbe bolj energetske učinkovite je lahko dosežen z učinkovito porabo naravnih energetskih virov, kot sta sončna toplota in svetloba. Primer uporabe je sistem upravljanja senčil z mehko logiko (fuzzy control), ki omogoča postavitev senčil glede na želene notranje nastavitve in zunanje razmere (Kristl, 2008). Povezovanje matematičnih izhodišč in računalniške tehnologije v smislu mehke logike za izboljševanje časa vklopa ogrevanja (angl. fuzzy logic) izhaja z začetkov umetne inteligence (Turing, 1948). Teoretična izhodišča za logiko treh vrednosti, ki je matematična osnova za fuzzy logic, je že leta 1920 podal poljski matematik (Lukasiewicz, 1920). Zadeh je podal teoretično osnovo za fuzzy logic (Zadeh, 1965). Uporaba mehke logike v tehniki ogrevanja, hlajenja in prezračevanja izhaja iz Japonske (Terano, 1989). Mitsubishi je leta 1990 prvi predstavil regulacijo na osnovi me-

hke logike. Leta 1992 je fuzzyTECH predstavil licencirano rešitev, ki je imela širok razpon: od uporabe dveh vhodnih parametrov in enega izhodnega s sedmimi pravili do uporabe osmih vhodnih enot in štirih izhodnih enot ter 500 pravil (Altrock, 1996). Rešitve regulacije s pomočjo mehke logike so odtelej vgrajene v vrsto regulatorjev in krmilnikov. Zamenjava klasičnih termostatskih s termostati, ki so imeli mehko logiko, pomeni prihranek energije v višini 3,5 % (Singh, 2005). Poenostavljeno povedano, si regulatorji z uporabo mehke logike sami preračunajo izračunan potreben čas vklopa, tako da se ob programiranem času že skoraj doseže zelena temperatura in tako optimira čas vklopa (Seltron, 2012). Izboljšanje notranjega okolja je mogoče doseči tudi s simulacijami mehke logike vodenja temperature in osvetljenosti prostorov ter prenosom optimalnih nastavitvev v realni sistem (Tomažič, 2013). Analiza regulacijskih sistemov bivalnega ugodja stavb je pokazala možnost zmanjšanja porabe energije za ogrevanje in hlajenje stavb v obsegu 30 % ter zmanjšanja porabe električne energije za osvetljevanje do 50 % v primeru uvedbe avtomatske regulacije notranjega okolja (Košir, 2011). O energetskem upravljanju v Sloveniji je bilo sicer izdanih nekaj promocijskih gradiv in informativnih listov. Gradbeni inštitut ZRMK v zbirki informativnih listov za učinkovito porabo energije (URE) navaja, da je v primerjavi z nereguliranimi ogrevalnimi sistemi z regulacijo mogoče prihraniti povprečno 10 % energije z regulacijo temperature prostora v odvisnosti od zunanje temperature z vplivom na mešalni ventil, 13 % z vplivom na temperaturo v kotlu (če se uporablja nizkotemperaturni), od 10 % do 15 % z vgradnjo termostatskih ventilov in 10 % s prekinitvijo ogrevanja oz. z nočnim znižanjem temperature vode (GI ZRMK, 2003). Ena izmed obravnavanih študij (Grote, 2014) kaže, da je prihranek za končne odjemalce pri inteligentnih sistemih merjenja okoli 3 % energije. Elektro Celje v letnem poročilu za leto 2014 poroča, da je bilo na območju, ki ga pokrivajo, nameščenih že 105.755 inteligentnih števcov, kar predstavlja 62,4 % vseh odjemalcev. Leta 2014 so se izgube električne energije v primerjavi z letom 2013 znižale za 5,7 %, kar v večini pripisujejo vgradnji inteligentnih števcov (Elektro Celje, 2015).

Poročilo v okviru projekta Re-Co (Petelin Visočnik, 2014) na pilotnih stavbah analizira možnosti za zmanjšanje porabe energije z izvajanjem neinvesticijskih ukrepov URE in ukrepov URE s kratko dobo vračanja. V pilotnih stavbah Re-Co so bila ugotovljena znižanja

porabe energije za 9,1 %, v enem od primerov pa tudi za več kot 20 %. Sučić (Sučić,

2015) navaja, da testni rezultati kažejo potencial prihrankov energije do 15 %, doseženih

z vizualizacijo in ozaveščenostjo o porabi električne energije.

3 • METODOLOŠKI PRISTOP

3.1 Zasnova sistema energetskega monitoringa

V konceptualni fazi zasnove monitoringa porabe energije in temperaturnega ugodja je bil zasnovan minimalni obseg ključnih parametrov, ki jih je treba smiselno spremljati (Bohanec, 2014). Pomembno je upoštevanje več vidikov, in sicer poleg tehnično-tehnološkega tudi stroškovni vidik. Senzorji, še bolj pa merilniki porabe toplotne energije so upravičen strošek le, če pridobljene podatke spremljamo in uporabljamo. Seveda pa je za pomemben vidik treba upoštevati tudi modularnost in skalabilnost sistema. Sistem je zasnovan tako, da sta mogoča enostavno dodajanje merilnih mest in delitev na podsisteme.

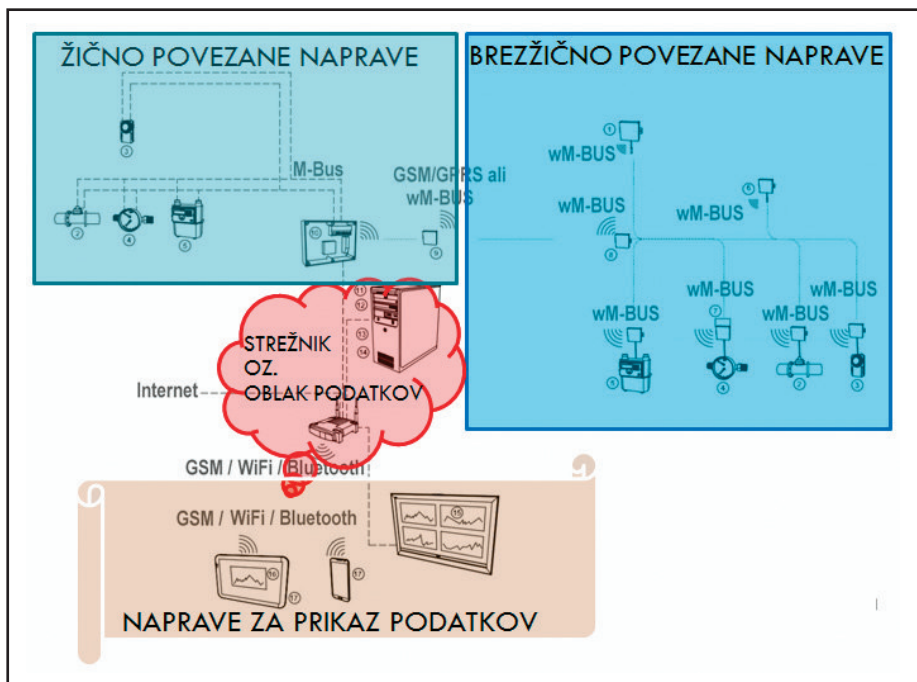
Zasnova sistema energetskega monitoringa v raziskavi je trinivojska: fizični nivo, terenski zajem s prenosom podatkov in upravljavski nivo (obdelava in prikaz podatkov).

Pametni števeci so ključne komponente za sistem pametnih omrežij, ki zapisujejo porabo energije v urnih ali krajših intervalih ter pošiljajo informacije nadzornemu centru za monitoring in obračun (Chou, 2016).

Ključna merilna mesta monitoringa so: energija za hlajenje in ogrevanje, energija za pripravo tople sanitarne vode, poraba električne energije in zajem vsaj treh notranjih in ene zunanje temperature. Sistem prikazuje slika 1.

3.2 Masovni podatki: zbiranje in analiza

Uporaba tehnologij, temelječih na masovnih podatkih, in podatkovno rudarjenje spreminjata način proizvodnje energije in vzorce porabe energije (Zhou, 2016). Temeljni algoritmi za analize in podatkovno rudarjenje oblikujejo osnovo na razvijajočem se področju znanosti podatkov, ki vključuje avtomatske metode za analizo vzorcev in modelov za vse vrste podatkov z aplikacijami, ki segajo od znanstvenih odkritij do poslovne inteligence in analitike. Podatkovno rudarjenje je proces odkrivanja zanimivih vzorcev in znanja iz velike količine podatkov (Han, 2012). Podatkovno rudarjenje obsega ključne algoritme, ki omogočajo pridobitev temeljnih vpogledov in znanja iz velikih količin podatkov. Gre za interdisciplinarno področje, ki združuje koncepte področij, kot so podatkovne baze, statistika, strojno učenje in

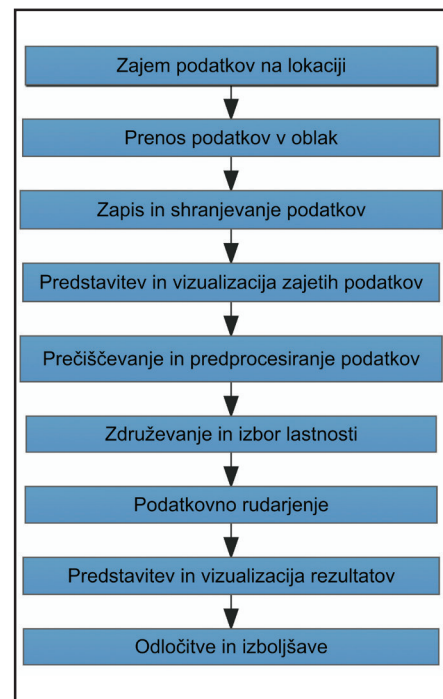


Slika 1 • Shema komponent digitalnega obratovalnega monitoringa.

prepoznavanje vzorcev. To razkrivanje znanja in podatkov običajno pomeni ponavljajoče se in interaktivne procese (Zaki, 2014). Za zagotavljanje zelenega pomena morajo imeti podatki naslednje lastnosti: morajo biti razumljivi, veljavni, aktualni in uporabni (Cios, 2007). Prav tem ciljem smo sledili pri zasnovi podatkovnega rudarjenja iz podatkov, zbranih iz energetskega monitoringa. Čeprav so vsi podatki zbrani v eni relacijski bazi, je bilo treba za podatkovno rudarjenje podatke predhodno zbrati in pripraviti za obdelavo.

Proces priprave podatkov za podatkovno rudarjenje prikazuje shema na sliki 2.

Nadaljnji korak je bil prečiščevanje in predprocesiranje podatkov. Najprej so bili podatki izvoženi in združeni (angl. data integration) iz različnih lokalnih MySQL-baz posameznih stavb v enotno bazo, pri čemer je bil zapisom dodan atribut z nazivom in namembnostjo stavbe. Odpravljena je bila redundantnost podatkov, pri čemer je bilo preverjeno, ali za noben enolično določen časovni okvir (leto/mesec/dan/ura) za posamezno stavbo ni več različnih zapisov. Nadalje so bile v



Slika 2 • Shema predpriprave podatkov za podatkovno rudarjenje.

tem koraku preverjene anomalije pri zajetih podatkih. Ugotovljeno je bilo, da določene vrednosti porabe energije ali temperature bistveno (tudi nekajkrat, do 1000-krat) odstopajo od povprečnih vrednosti. Analizirani so bili tudi vzroki za odstopanja, pri čemer je bilo ugotovljeno, da so vzroki anomalij predvsem napake na senzorjih in napake na povezavi oz. prenosu podatkov, kjer se pri izgubi povezave in pri ponovni vzpostavitvi povezave zajamejo kumulativne vrednosti. Uporabljeni so bili algoritmi, ki so izločili nepravilne podatke. Pri porabi energije so bili izločeni podatki, ki so več kot za 2-krat presegali nazivno moč priključne moči vira za dovedeno energijo, pri temperaturah so bile izločene vrednosti, ki so več kot za 2-krat presegale povprečne vrednosti. Izločeni so bili tudi zapisi, kjer so manjkali določeni podatki. Skupno je bilo izločenih manj kot 3 % vseh podatkov.

Nadalje so bile vrednosti temperature zaokrožene na eno decimalno. Razlog za zaokrožitev temperaturnih vrednosti je predvsem v merilni toleranci natančnosti termometrov, ki sicer prikazujejo rezultate na dve decimalni, vendar je njihova natančnost znotraj tolerance 0,1 °C. V nadaljnjem koraku je bilo izvedeno povprečenje temperatur. Na posamezni lokaciji (v stavbi) so se zajele npr. tri notranje temperature. Za nadaljnjo obravnavo se je izračunala povprečna vrednost ($Povprečje = (T_1 + T_2 \dots T_n) / n$). Zapisom so bili dodani novi atributi, ki so bili kombinacija dveh oz. treh zapisov. Dodan je bil kontrolni

atribut, ki podaja vrednost 1, če so bili izpolnjeni trije pogoji: da gre za kurilno sezono, da je vrednost temperature večja od določene vrednosti (20 °C, 21 °C, 22 °C, 23 °C) in da je bila vrednost dovedene energije v tisti uri večja od 0.

Postopek podatkovnega rudarjenja je bil opravljen z vrtilnimi preglednicami (pivot preglednicami) programa Excel. Prednost Excelovih vrtilnih preglednic je predvsem v hitrosti in dostopnosti analiz, po drugi strani pa so specializirana orodja, kot je WEKA, precej bolj zapletena, a omogočajo skalabilnost, skupno rabo, sočasne posodobitve, ciklične regeneracije in podobno (Puckering, 2014). Prednost Excelovih vrtilnih preglednic je v intuitivnosti in veliki fleksibilnosti analitičnega procesiranja uporabniških podatkov (Dierenfeld, 2012).

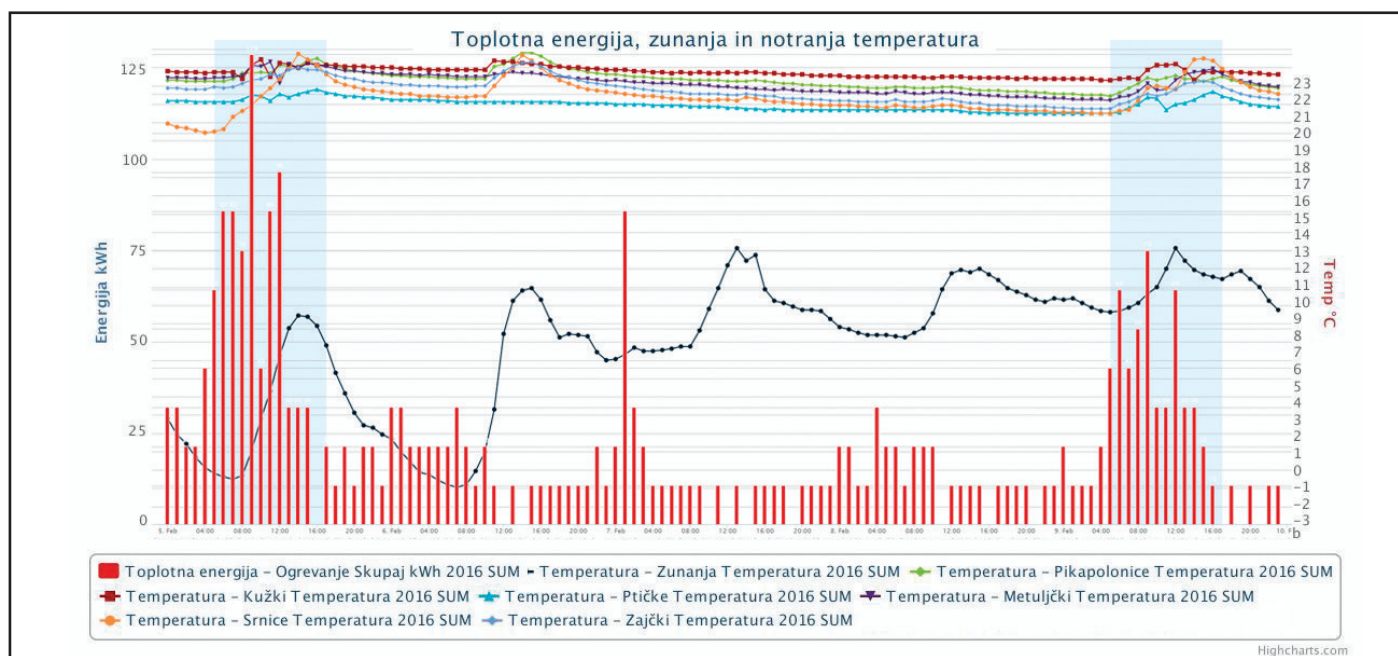
V empiričnem delu članka predstavljamo raziskavo, v katero smo vključili 10 stavb (6 vrtcev, 2 osnovni in 2 srednji šoli) iz različnih delov Slovenije. V podatkovno rudarjenje je bila za vsako stavbo vključena podatkovna zbirka s šestimi merjenimi atributi. Skupaj z osnovnimi podatki o vrstah stavb, zasedenosti stavbe in izračunanimi podatki (izračun povprečne notranje temperature, nezasedenost glede na določeno temperaturo, rabo v času glede na zasedenost) zajema naša podatkovna baza okoli 2 milijona atributov. Z energetskega monitoringom smo zajeli urne podatke o dovedeni električni in toplotni energiji v stavbi, notranjih temperaturah in zunanji

temperaturah ter jih zapisali v relacijsko bazo. Podatki, zajeti iz energetskega monitoringa, imajo naslednjo strukturo:

Čas zapisa: čas zapisa je en atribut, sestavljen v obliki leto-mesec-dan_ura:minuta:sekunda. Izpis iz baze podatkov je za polno uro, kar pomeni, da sta minuta in sekunda 00. Atributa, ki se nanašata na minuto in sekundo, smo zato v fazi prečiščevanja in predprocesiranja podatkov odstranili, saj nista relevantna.

Sezona: leto je razdeljeno na ogrevalno sezono in sezono, ko ni ogrevanja. Ogrevalna sezona zajema obdobje med 15. oktobrom in 15. aprilom. Zunaj tega časa se stavbe praviloma ne ogrevajo oz. je tega ogrevanja na letni ravni zanemarljivo malo. Začetek kurilne oz. ogrevalne sezone se sicer praviloma določi tako, da poiščemo, kdaj je bila zunanja temperatura zraka ob 21. uri prvič v drugi polovici obravnavanega leta tri dni zapored nižja ali enaka 12 °C. Naslednji dan se šteje za začetek kurilne sezone. Kurilna sezona se konča takrat, ko je zunanja temperatura ob 21. uri v treh zaporednih dneh višja od 12 °C, in po tem datumu v prvi polovici obravnavanega leta ni več treh zaporednih dni, ko bi se temperatura ponovno znižala na 12 °C ali manj. Tretji dan je zadnji dan kurilne sezone. Trajanje kurilne sezone je število dni med začetkom in koncem kurilne sezone (Ovsenik-Jeglič in Mekinda-Majaron, 2002).

Zasedenost stavbe: ima lahko vrednosti 0 ali 1, pri čemer 0 pomeni, da takrat stavba ni zasedena, 1 pa pomeni, da je stavba zased-



Slika 3 • Poraba toplotne energije, temperature in zasedenost stavbe.
Vir: Spletna aplikacija www.energija-rr.si, www.enmonitoring.si.

Namembnost stavbe	Naziv stavbe	Datum in ura	Zasedenost	Kurilna sezona	Zunanja temperatura (°C)	Notranja temperatura 1 (°C)	Notranja temperatura 2 (°C)	Notranja temperatura 3 (°C)	Dovedena toplotna energija (kWh)	Dovedena električna energija (kWh)	Povprečna notra. temperatura	Pogoji: Povpr. notranja temperatura nad 21 °C in nezasedena stavba
VR	LEN	2016-02-05 00	0	1	2,81	21,81	21,31	20,19	30.000	2.320	21,10	1
VR	LEN	2016-02-05 01	0	1	1,94	21,75	21,31	20,19	30.000	2.040	21,08	1
VR	LEN	2016-02-05 02	0	1	1,44	21,75	21,25	20,19	20.000	2.040	21,06	1
VR	LEN	2016-02-05 03	0	1	0,69	21,75	21,25	20,13	20.000	2.120	21,04	1
VR	LEN	2016-02-05 04	0	1	0,13	21,69	21,25	20,13	40.000	2.200	21,02	1
VR	LEN	2016-02-05 05	0	1	-0,19	21,75	21,25	20,13	60.000	12.720	21,04	1
VR	LEN	2016-02-05 06	0	1	-0,38	21,75	21,25	20,13	80.000	29.800	21,04	1
VR	LEN	2016-02-05 07	0	1	-0,5	21,75	21,38	20,13	80.000	31.440	21,09	1
VR	LEN	2016-02-05 08	0	1	-0,31	21,38	21,69	20,25	70.000	40.560	21,11	1
VR	LEN	2016-02-05 09	0	1	1,06	22,13	21,69	20,50	120.000	54.880	21,44	1
VR	LEN	2016-02-05 10	0	1	2,81	22,44	21,75	20,44	40.000	47.560	21,54	1
VR	LEN	2016-02-05 11	0	1	4,31	21,50	21,69	20,19	80.000	25.440	21,13	1
VR	LEN	2016-02-05 12	0	1	6,25	22,25	22,13	20,56	90.000	23.640	21,65	1
VR	LEN	2016-02-05 13	0	1	7,75	22,19	22,06	20,38	30.000	23.640	21,54	1
...
VR	LEN	2016-02-09 10	1	1	10	22,13	21,31	20,31	30.000	42.600	21,25	0
VR	LEN	2016-02-09 11	1	1	11	22,13	21,44	19,69	30.000	21.560	21,09	0
VR	LEN	2016-02-09 12	1	1	12,13	22,19	21,56	20,00	60.000	23.000	21,25	0
VR	LEN	2016-02-09 13	1	1	11,44	21,88	21,38	20,06	30.000	20.080	21,11	0
VR	LEN	2016-02-09 14	1	1	10,94	21,31	21,38	20,25	30.000	6.640	20,98	0
VR	LEN	2016-02-09 15	1	1	10,69	21,75	21,25	20,50	20.000	6.520	21,17	0
VR	LEN	2016-02-09 16	0	1	10,56	21,75	21,38	20,69	10.000	10.640	21,27	1
VR	LEN	2016-02-09 17	0	1	10,44	21,81	21,50	20,44	0	7.840	21,25	1
VR	LEN	2016-02-09 18	0	1	10,69	21,75	21,31	20,31	10.000	4.720	21,12	1
VR	LEN	2016-02-09 19	0	1	10,88	21,75	21,19	20,13	0	3.000	21,02	1
VR	LEN	2016-02-09 20	0	1	10,44	21,69	21,06	20,00	10.000	4.760	20,92	0
VR	LEN	2016-02-09 21	0	1	10	21,69	21,00	19,94	0	2.280	20,88	0
VR	LEN	2016-02-09 22	0	1	9,25	21,63	20,94	19,88	10.000	2.040	20,82	0
VR	LEN	2016-02-09 23	0	1	8,75	21,63	20,88	19,88	10.000	2.280	20,80	0

Preglednica 1 • Zapis merjenih podatkov porabe energije in temperatur v vrtcu, imenovanem LEN

ena, kar pomeni, da so v njej uporabniki. Zasedenost pomeni uporabo stavbe za osnovno dejavnost, za katero je stavba namenjena. Pri nastavitvi urnika zasedenosti smo upoštevali, da so vrtni zasedeni med 5.00 in 17.00, šole pa med 6.00 in 15.00.

Temperature: vrednosti zunanje temperature so podane v °C; vrednosti notranje temperature so zajete na vsaj dveh ali treh različnih mestih reprezentativnih prostorov v stavbi; iz teh vrednosti je izračunana povprečna vrednost notranje temperature v stavbi.

Poraba energije: toplotna energija in električna energija; vrednosti so podane v kWh.

Konkretn primer za stavbo, imenovano LEN, vsebuje naslednje podatke:

Stavba je bila zgrajena leta 1977.

Celovita prenova zunanjega ovoja je bila opravljena leta 2013; energetski monitoring

je bil vzpostavljen leta 2014.

Ogrevana površina stavbe je 1.355,9 m², stavba pa se ogreva na toplovod. Regulacija ogrevanja je vodena preko zunanje temperature. Regulacija ima dva režima: komfortni režim, ki naj bi deloval, ko je stavba zasedena, in znižani režim, ki naj bi deloval, ko je stavba nezasedena.

Preglednica 1 prikazuje merjene urne podatke o porabi energije in temperaturah v vrtcu LEN v času med 5. 2. 2016 (od 0.00) in 10. 2. 2016 (do 0.00).

Slika 3 prikazuje porabo, temperature in zasedenost stavbe z uporabniki. Prikazano je obdobje od 5. 2. 2016 do 9. 2. 2016, kjer sta bila 5. 2. in 9. 2. delovna dneva, 6. 2. in 7. 2. sobota in nedelja, 8. 2. pa je bil praznik, ko stavba ni bila zasedena. Rdeči stolpci kažejo porabo toplotne energije v kWh na uro, njihova

skala je na levi strani. Temno rdeča, zelena in vijoličasta barva na vrhu grafa prikazujejo podatke iz senzorjev notranje temperature, črna barva pa prikazuje podatke zunanje temperature. Njihova skala je na desni strani. Območje, obarvano s sivo barvo, kaže čas, ko je bila stavba zasedena oz. v uporabi. Že na prvi pogled je razvidno, da poraba energije (seštevek rdečih stolpcev grafa) v območju, poudarjenim s sivo barvo, predstavlja manjši del porabe. Skupaj je bilo v navedenem obdobju v času zasedenosti stavbe porabljene 47,4 % energije. V času nezasedenosti stavbe je bilo porabljenih 52,6 % toplotne energije. Ko na grafu dodamo grafični prikaz zasedenosti, se tudi vizualno pokaže, da je manjši delež energije porabljen za ogrevanje v času, ko je stavba zasedena, in večji delež v času nezasedenosti stavbe.

4 • REZULTATI

4.1 Zbirna analiza raziskave

V zbirni analizi so prikazani rezultati porabe energije v času kurilne sezone glede na dva ključna podatka: zasedenost stavbe in notranjo temperaturo. Pri tem smo se spraševali, koliko toplotne energije je bilo porabljene za ogrevanje stavbe, ko je bila nezasedena in ni bilo potrebe po zagotavljanju bivalne temperature.

Osnovna predpostavka je bila, da v času, ko so prostori nezasedeni, ni potrebe, da bi v stavbo dovajali več toplotne energije, kot je je potrebno za zagotavljanje minimalne temperature. V prostorih, namenjenih izobraževanju, podobno kot pri poslovnih prostorih, temperatura v času nezasedenosti naj ne bi padla pod 12 °C (ARC, 2017). Priporočljiva temperatura v prostorih, kjer so skladiščena živila (npr. kuhinje, shrambe), naj ne bi bila nižja od 15 °C (NIJZ, 2015).

Na osnovi izmerjenih urnih podatkov od dovedeni energiji v stavbo je bila opravljena raziskava, koliko toplotne energije je v stavbah porabljene, ko je bila stavba nezasedena. Seštevek porabe energije na osnovi urnih podatkov sešteva toploto ob pogojih, zapisanih v enačbi 1.

$$\sum_{t=0}^n Q \begin{cases} T > 20 \text{ °C} \\ \text{Kurilna sezona} = 1 \\ \text{Zasedenost stavbe} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

kjer so:

$t=0\dots n$ – seštevek urnih vrednosti dovedene toplote.

T – notranja temperatura v stavbi je 20 °C ali več.

Kurilna sezona = 1 – opredeljuje pogoj, da je v času obravnave bila kurilna sezona.

Zasedenost stavb = 0 – opredeljuje pogoj, da stavba ni bila zasedena.

Za zbirno analizo so bile uporabljene Excelove vrtilne preglednice. Preglednica 2 prikazuje delež porabe v času zasedenosti in nezasedenosti desetih javnih stavb različnih namemb-

nosti. Ugotovili smo, da se v povprečju 65 % toplotne energije v stavbah porabi v času, ko so stavbe prazne in ko torej ni treba zagotavljati bivalnih pogojev. Ob tem je treba upoštevati tudi dejstvo, da so predvsem v šolah in vrtcih v času zasedenosti prostorov veliki notranji dobitki toplote, saj je v enem prostoru v povprečju okoli 20 oseb, medtem ko v času nezasedenosti teh notranjih dobitkov ni. Glede na to je sicer smiselno, da je poraba energije večja v času nezasedenosti. Potencial prihrankov se kaže predvsem takrat, ko je prostor nezaseden in je dosežena temperatura v prostoru višja od 20 °C. Ko je v prostorih že dosežena temperatura 20 °C in so stavbe nezasedene, je bilo v obravnavanih stavbah porabljene kar 53,49 % toplotne energije.

Vsota od Dovedena toplotna energija		Zasedenost		Skupna vsota
Namembnost stavbe	Naziv stavbe (šira)	0	1	
OS	PRE	67,79 %	32,21 %	100,00 %
	VOD	69,36 %	30,64 %	100,00 %
SS	RGI	75,36 %	24,64 %	100,00 %
	RUS	59,04 %	40,96 %	100,00 %
VR	GMA	85,26 %	14,74 %	100,00 %
	JMO	55,13 %	44,87 %	100,00 %
	KAS	49,21 %	50,79 %	100,00 %
	KEK	40,15 %	59,85 %	100,00 %
	LEN	48,05 %	51,95 %	100,00 %
	OST	33,63 %	66,37 %	100,00 %
Skupna vsota		65,85 %	34,15 %	100,00 %

Preglednica 2 • Delež porabe toplotne energije v času zasedenosti in nezasedenosti stavbe v različnih stavbah

Porabo v času nezasedenosti smo podrobneje analizirali glede na izmerjeno notranjo temperaturo. Kumulativne deleže porabljene energije v času nezasedenosti stavbe prikazuje slika 4.

4.2 Predlog krmiljenja ogrevanja s podatkovnim rudarjenjem in strojnimi učenjem

Tako predprogramirani kot prostoprogramirani krmilniki za delovanje potrebujejo algoritme, ki določajo, kdaj naj se ogrevalni sistem vključi in kdaj izključi.

Rezultati predstavljene raziskave kažejo, da obstoječi sistemi regulacije niso učinkoviti, saj so prostori pogosto ogrevani, ko to ni potrebno. Rezultati kažejo, kako velika je poraba energije v času, ko so stavbe prazne in se kljub že doseženim ciljnim temperaturam dodatno ogrevajo. Cilj nadaljnjih korakov je torej zagotoviti krmiljenje (upravljanje dovajanja energije v stavbe) tako, da stavba v času, ko ni v uporabi, ni dodatno ogrevana oz. se bo ogrevanje začelo tako, da bo ustrezna temperatura dosežena, ko se začne njena uporaba oz. zasedenost.

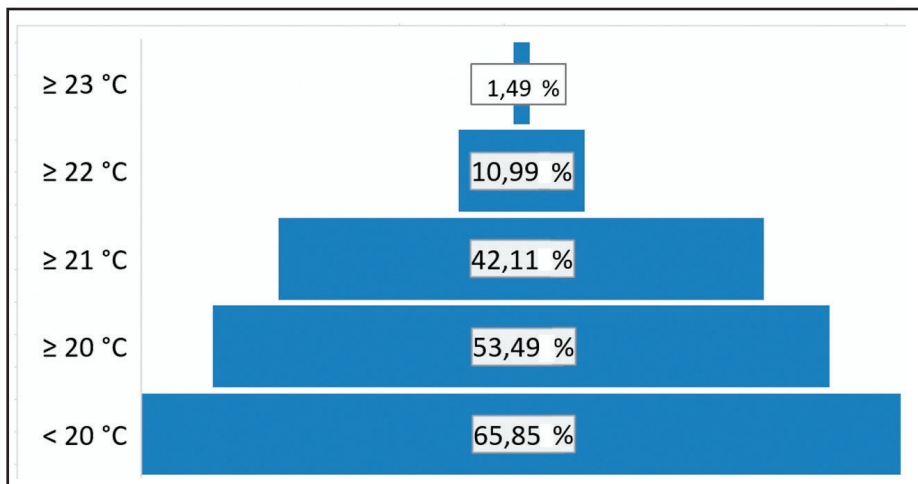
Kot smo že navedli, obstoječi načini regulacije (kot je npr. vodenje ogrevanje na osnovi krivulje po zunanji temperaturi) delujejo na preddefiniran način, ki ne upošteva vseh potrebnih parametrov za energetsko učinkovito delovanje. Predlog izboljšave, opisan v nadaljevanju, predvideva ekonomsko učinkovite nadgradnje regulacije ogrevanja s povezovanjem obstoječih krmilnikov preko interneta v centralno bazo podatkov, ki s pomočjo preteklih masovnih podatkov in strojnega učenja izključuje ogrevanje, ko je stavba prazna, in pravočasno vključi ogrevanje, da je stavba ustrezno temperirana v času začetka uporabe. Izhodišči, ki zagotavljata ustrezno bivalno ugodje in nizko porabo energije, sta:

- zagotavljanje ustreznih, ne previsokih in ne prenizkih notranjih temperatur v času zasedenosti stavbe,
- čim manjša poraba energije v času, ko je stavba nezasedena, upošteva je minimalno dopustno temperaturo.

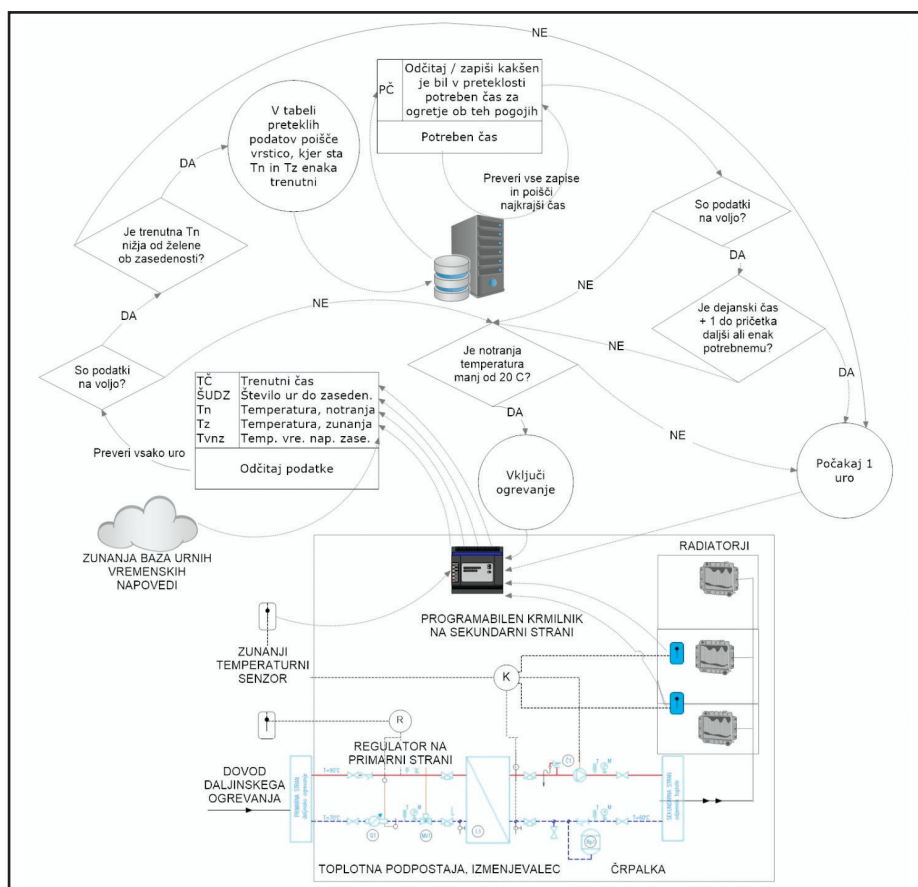
Strojno učenje na osnovi podatkov iz urnika zasedenosti, zahtevane notranje temperature v času zasedenosti in preteklih podatkov o potrebni energiji za ogretje stavbe omogoča izračun časa, ki je potreben, da se nezasedena stavba ogreje do ustrezne temperature ob začetku zasedenosti.

Za zagotavljanje ustrezne temperature v času zasedenosti je treba spremljati vsaj naslednje parametre:

- notranjo temperaturo,
- zunanjo temperaturo,



Slika 4 • Delež porabe energije glede na že doseženo notranjo temperaturo v času nezasedenosti stavbe.



Slika 5 • Predlagana nova shema upravljanja ogrevanja na osnovi podatkovnega rudarjenja.

- predviden urnik zasedenosti prostora,
- porabo toplotne in električne energije ter vremensko napoved.

Slika 5 prikazuje dopolnjen sistem upravljanja ogrevanja s pomočjo programabilnega krmilnika, ki se povezuje v centralno relacijsko bazo

v oblaku in ogrevanje krmili na osnovi znanja, pridobljenega iz preteklih podatkov, in vremenske napovedi. Krmilnik posreduje v podatkovno bazo podatke o trenutnem času, trenutnih zunanjih in notranjih temperaturah. Podani algoritmi na osnovi podatkov centralne relacijske

baze izračunajo število ur, ko bo stavba spet zasedena. Če so podatki na voljo in je trenutna notranja temperatura v času nezasedenosti nižja od želene v času zasedenosti, se začne postopek podatkovnega rudarjenja, kjer se v

bazi preteklih podatkov odčita potreben čas, da se je stavba ob enakih zunanjih razmerah ob polnem dovodu toplote ogrela. Če je teh zapisov iz preteklosti več, potem se izbere najkrajši dotedanji čas. Nato se preveri, ali

je glede na trenutni čas že potreben vklop delovanja sistema ali lahko krmilnik z vklopom počaka še eno uro. Tu je za rezervo dodana ena ura, vsaj dokler sistem ne bo nastavljen tako, da rezerva vklopa ne bo več potrebna.

5 • ZAKLJUČEK IN DISKUSIJA

Večina obstoječih stavb je pretežno krmiljenih na osnovi krivulje glede na zunanjo temperaturo. Ta način delovanja krmiljenja praviloma v stavbo dovaja toplotno energijo glede na zunanjo temperaturo, ne upošteva pa zasedenosti stavbe in že dosežene notranje temperature. Pomanjkanje znanja za spremembe nastavitve delovanja krmilnikov in premajhna zavzetost upravljavcev stavb, da bi nastavitve spreminjali glede na spremenjene okoliščine, se praviloma izražata v čezmernem ogrevanju v času nezasedenosti stavb. Raziskava kaže, da se velik delež (okoli 65 % pri opazovanih stavbah) toplotne energije dovaja v stavbe, ko so nezasedene. Še posebno pri dobro izoliranih stavbah (novih ali prenovljenih) ni potrebe, da se stavbe ogrevajo, ko so prazne, saj se zaradi zelo dobro izoliranega zunanjega ovoja ohlajajo počasi, v poletnem času pa se zaradi dobre izolativnosti tudi ogrejejo počasi. Zato predlagani koncept predvideva, da se v stavbo sploh ne dovaja toplota, ko je stavba prazna, ogrevanje pa se vključi ravno pravi čas, da je dosežena ustrezna temperatura, ko se stavba začne uporabljati. Cilja sta torej zagotavljanje ustreznega temperaturnega ugodja, ko je stavba v uporabi, in znižanje stroškov nepotrebnega ogrevanja.

Povezava med dejavniki, ki vplivajo na notranjo temperaturo, je nelinearna in dinamična (dinamično je spreminjaje podnebnih razmer, kot so zunanje temperature, osončenost, veter, količina izmenjave zraka in prezračevanje ..., dinamični pa so tudi spreminjanje zasedenosti stavbe in navade uporabnikov) in jo je zato težko izraziti z matematičnim modelom. Po drugi strani pa iz preteklih podatkov o delovanju stavbe s pomočjo podatkovnega rudarjenja

lahko razberemo vzorce, ki jih uporabimo kot izhodišče za prihodnje upravljanje ogrevanja. Več ko je na voljo preteklih podatkov, bolj natančno je predvidevanje. Za strojno učenje po metodi surove moči (brute-force) je torej pomembno, da imamo na voljo čim več kombinacij podatkov, zajetih ob različnih pogojih. Z namenom, da pridobimo podatke, zato v začetni fazi učenja spodbujamo delovanje ogrevanja v različnih ekstremnih situacijah. Z vsako dodatno kombinacijo podatkov stavba deluje učinkoviteje, saj je napoved delovanja stavbe ob več preteklih podatkih natančnejša tudi za prihodnje situacije.

Opisani sistem upravljanja ogrevanja se torej nagiba k temu, da je v času nezasedenosti stavbe čim dlje izključen in zato ne porablja energije po nepotrebnem. S tem je temperatura v stavbi zunaj časa zasedenosti nižja, kot je bila doslej, nižja notranja temperatura pa pomeni nižjo porabo energije. Ključno ob tem je, da temperature v času zasedenosti ne nižamo in da je bivalno ugodje enako ali boljše.

Ker je predlagano, da se stavba ogreje v najkrajšem možnem času, se z vsakim ciklusom ogrevanja in glede na zunanjo temperaturo in vremensko napoved pridobijo nove kombinacije, iz katerih je mogoče odčitati najkrajši potreben čas za ogretje stavbe. Gre za niz podatkov, kot so: notranja temperatura, zunanja temperatura, potrebna energija in čas, ki je bil nazadnje potreben, da se je stavba ogrela. V določeni fazi, ko je dovolj preteklih podatkov, je smiselno upoštevati tudi vremensko napoved, in sicer z razlogom, da ne dogrevamo, kadar so napovedane visoke temperature, in da dodatno ogrevamo, kadar je napovedano hladno vreme.

Na začetku delovanja na osnovi podatkovnega rudarjenja in strojnega učenja se predlaga obrnjena logika: če ni podatka, potem naj sistem ogreva s polno močjo, da ne bi bilo prehladno v času, ko je stavba zasedena. Pri tem se v bazo zapišejo podatki o najkrajšem potrebnem času za ogretje stavbe glede na izhodiščno notranjo in zunanjo temperaturo. Naslednjič, ko so podatki na voljo, se stavba v času nezasedenosti ne ogreva, dokler ni izpolnjen pogoj minimalno potrebnega časa za ogretje. To zmanjšuje porabo energije. Pomemben vidik predlaganega koncepta je večanje baze podatkov s podatki najkrajših časov, potrebnih za ogretje. Z vsakim ciklusom ogrevanja v najkrajšem času pa se za naslednjič pridobi podatek, kdaj je potreben vklop. Potrebne bi bile še raziskave, ali je pri vseh virih ogrevanja dovajanje z maksimalno močjo najbolj učinkovito, pri čemer bi bilo treba upoštevati tudi stroške priključne moči na daljinskem ogrevanju, izkoristek kotlov pri plinu, ELKO in biomasi ter koeficiente učinkovitosti (COP) pri toplotnih črpalkah.

Ugotovili smo že, da javne stavbe pretežno delež toplotne energije (53,49 %) porabijo, ko so nezasedene in so že ogrete na več kot 20 °C. Poleg raziskave smo podali predlog, kako je mogoče v takšnem primeru zmanjšati ogrevanje, da bi pri tem ob začetku ogrevanja temperatura bila ustrezna. Ključno je torej nastaviti delovanje krmilnika tako, da bodo poleg obstoječega pogoja regulacije krivulje na osnovi zunanje temperature upoštevani še dodatni parametri, kot so: notranja temperatura, zasedenost oz. uporaba stavbe in potreben čas, da se bo stavba s trenutne temperature ogrela na želeno (glede na zunanje razmere). Povezava krmilnika v spletno bazo masovnih podatkov in strojnega učenja ogrevanja je rešitev, ki bi lahko v javnih stavbah prihranila 15 % in več energije za ogrevanje.

6 • LITERATURA

- Abrahamse, W., Steg, L., Vlek, C., Rothengatter, T., A review of intervention studies aimed at household energy conservation, *Journal of Environmental Psychology*, 25, 2005.
- Altrock, C. V., A Fuzzy-Logic Thermostat, *Circuit Cellar INK, The Computer Applications Journal*, 1996.

- ARC, American Red Cross, Fact Sheet: Preventing and Thawing Frozen Pipes, http://www.tolland.org/sites/tollandct/files/uploads/freezing-pipes_0.pdf, pridobljeno 11. 1. 2017.
- Babaei, T., Abdi, H., Lim, C. P., Nahavandi, S., A study and a directory of energy consumption data sets of buildings, *Energy and Buildings*, 94, 91–99, 2015.
- Bohanec, J., Laznik, T., Praper, P., Zahteva za podelitev patenta, Digitalni obratovalni monitoring, 2014.
- Chou, J.-S., Ngo, N.-T., Smart grid data analytics framework for increasing energy savings in residential buildings, *Automation in Construction*, 2016.
- Cios, K. J., Pedrycz, W., Swiniarski, R. W., Kurgan, L. A., Data mining, A Knowledge Discovery Approach, 2007.
- Corry, E., Pauwels, P., Hu, M., Keane, M., O'Donnell, J., A performance assessment ontology for the environmental and energy management of buildings. *Automation in Construction*, 57, 2015.
- D'Oca, S., Corgnati, S., Hong, T., Data Mining of Occupant Behavior in Office Buildings, *Energy Procedia*, 2015.
- Dierenfeld, H., Merceron, A., Learning Analytics with Excel Pivot Tables. 1st Moodle ResearchConference, Heraklion, Crete-Greece, 2012.
- Elektro Celje, Letno poročilo družbe Elektro Celje in Skupine Elektro Celje 2014, 2015.
- GI ZRMK, Gradbeni inštitut ZRMK, Regulacija centralnega ogrevanja, objavljeno v: Malovrh, M., Oberžan, D., Pogačnik, J., Šijanec ZAVRL, M., Katja, R., (uredniki), Zbirka informativnih listov ZA UČINKOVITO RABO ENERGIJE. Ljubljana: Republika Slovenija, Ministrstvo za gospodarske dejavnosti, Agencija RS za učinkovito rabo energije, 2003.
- Grote, D., Petrov, K., Lagler, B., Jus, M., Žertek, A., Dodig, V., Podbregar, G., Majdič, G., Analiza stroškov in koristi uvedbe naprednega merjenja v Sloveniji, DNV KEMA Energy & Sustainability in KORONA, 2014.
- Han, J., Kamber, M., Pei, J., Data mining: concepts and techniques, Morgan Kaufmann Publishers, 2012.
- Harmer, L. C., Henze, G. P., Using calibrated energy models for building commissioning and load prediction, *Energy and Buildings*, 92, 204–215, 2015.
- Hensen, J. L. M., On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system, Technische Universiteit Eindhoven, 1991.
- IEA, International Energy Agency, Recent trends in OECD, Energy balances of OECD Countries, 2015.
- Košir, M., Krainer, A., Dovjak, M., Perdan, R., Kristl, Ž., Alternative to the conventional heating and cooling systems in public buildings, *Strojniški vestnik, letnik 56*, 575–583, 2010.
- Košir, M., Analiza regulacijskih sistemov bivalnega okolja v stavbah, *Gradbeni vestnik, letnik 60*, 2011.
- Kristl, Ž., Košir, M., Trobec Lah, M., Krainer, A., Fuzzy control system for thermal and visual comfort in building, *Renewable energy*, 33, 694–702, 2008.
- Lee, D., Cheng, C.-C., Energy savings by energy management systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 760–777, 2016.
- Lukasiewicz, J. 1920. On three-valued logic, v Borkowski, L., (ed.), Selected works by Jan Łukasiewicz, North-Holland, Amsterdam, 1970.
- Marinakos, V., Karakosta, C., Doukas, H., Androulaki, S., Psarras, J., A building automation and control tool for remote and real time monitoring of energy consumption, *Sustainable Cities and Society*, 6, 11–15, 2013.
- Mccelland, L., Cook, S. W., Energy conservation effects of continuous in-home feedback in all-electric home, *J. Environmental Systems*, 9(2), 1980.
- Menezes, A. C., Cripps, A., Bouchlaghem, D., Buswell, R., Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap, *Applied Energy*, 2012.
- NIJZ, Nacionalni inštitut za javno zdravje, Higienska stališča za higieno živil za zaposlene, namenjena delavcem v živilski dejavnosti, http://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/datoteke/higienska_staliscsa_za_higieno_zivil_namenjena_delavcem_v_zivilski_dejavnosti_2._stopnja_2014_verzija_2.pdf, pridobljeno 11. 1. 2017.
- Ovsenik-Jeglič, T., Mekinda-Majaron, T., Klimatografija Slovenije, Stopinjski dnevi in trajanje kurilne sezone, pridobljeno 22. 3. 2016, 2002.
- Peffer, T., Pritoni, M., Meier, A., Aragon, C., Perry, D., How people use thermostats in homes: A review, *Building and Environment*, 46, 2529-2541, 2011.
- Perez-Lombard, L., Ortiz, J., Pouč, C., A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings*, 40, 394–398, 2008.
- Petelin Visočnik, B., Pečkaj, M., Sučić, B., Z optimizacijo delovanja energetskega sistema do dodatnih prihrankov, Dnevi energetikov (16; 2014; Portorož), Portorož, Časnik Finance, 2014.
- Praper, P., Organizational point of view for the use of information technology in construction projects. In: Dikbas, A., Scherer, R., (ed.). eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction (ECPM 2004), Istanbul, Turkey. A.A. Balkema publishers, 2004.
- Praper, P., Energetsko upravljanje in uvajanje informacijskega sistema za energetsko upravljanje – pomemben dejavnik pri doseganju zastavljenih ciljev energetske sanacije, v: Visočnik, B. P., Merše, S., (urednika). Energetska učinkovitost – ključna razvojna prednost in usmeritev: zbornik/16. Dnevi energetikov 2014, Portorož. Ljubljana: Časnik Finance, 2014.
- Puckering, G., Can Excel pivot tables be considered as a data mining tool?, <https://www.quora.com/Can-Excel-Pivot-Tables-be-considered-as-a-data-mining-tool>, pridobljeno 16. 3. 2017, 2014.

- Rebolj, D., Babič, N. Č., Magdič, A., Podbreznik, P., Pšunder, M., Automated construction activity monitoring system, *Advanced Engineering Informatics*, 22, 493–503, 2008.
- Ryan, E. M., Sanquist, T. F., Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions, *Energy and Buildings*, 47, 375–382, 2012.
- SELTRON, Sobni termostat ST2, navodila za uporabo, 2012.
- Sharmin, T., Gül, M., Li, X., Ganev, V., Nikolaidis, I., Al-Hussein, M., Monitoring building energy consumption, thermal performance, and indoor air quality in a cold climate region, *Sustainable Cities and Society*, 13, 57–68, 2014.
- Singh, J., Singh, N., Sharma, J. K., Fuzzy modeling and control of HVAC systems - A review, 2005.
- Sučič, B., Anđelković, A. S., Tomšič, Ž., The concept of an integrated performance monitoring system for promotion of energy awareness in buildings, *Energy and Buildings*, 98, 82–91, 2015.
- Terano, T., Asai, K., Siugeno, M., *Applied Fuzzy Systems*, 1994.
- Tomažič S., Logar, V., Škrjanc, I., Košir, M., Simulator avtomatiziranega notranjega okolja, *Elektrotehniški vestnik*, 80, 195–201, 2013.
- Turing, A., *Intelligent Machinery*, Report for National Physical Laboratory, 1948.
- Umanotera, Plan B za Slovenijo 2.0, Trajnostni razvoj – edina globalna strategija preživetja in ključna primerjalna prednost Slovenije, Zbornik, 2010.
- Yan, D., O'Brien, W., Hong, T., Feng, X., Burak Gunay, H., Tahmasebi, F., Mahdavi, A., Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges, *Energy and Buildings*, 107, 264–278, 2015.
- Zach, R., Hofstätter, H., Tauber, C., Mahdavi, A., A distributed and scalable approach to building monitoring, *ITcon, Journal of Information Technology in Construction*, 20, 2015a.
- Zach, R., Paul, A., Zach, R., Mahdavi, A., Plug and play building monitoring: The potential of low cost components, *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*, CRC Press, 2015b.
- Zadeh, L. A., *Fuzzy Sets, Information and Control*, 8, 1965.
- Zaki, M. J., Meira, W. J., *Data mining and analysis*, New York, Cambridge University Press, 2014.
- Zhou, K., Fu, C., Yang, S., Big data driven smart energy management: From big data to big insights, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 215–225, 2016.

TRIČLENKASTI LOČNI MOSTOVI: MATERIAL, RAZPON IN POLOŽAJ VOZIŠČA

THREE-HINGED ARCH BRIDGES: MATERIAL, SPAN, AND BRIDGE TYPE

doc. dr. Lara Slivnik, univ. dipl. inž. arh.

lara.slivnik@fa.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo,

Zoisova 12, 1000 Ljubljana

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 624.07:624.32(497.4)

Povzetek | Tričlenkaste ločne mostove gradijo že od leta 1865. V letu 2017 praznuje 150-letnico postavitve najstarejši še ohranjeni tričlenkasti ločni most, to je Hrdeckega most v Ljubljani. V članku so analizirani ločni mostovi s tričlenkastim konstrukcijskim sistemom. Zgodovinska analiza zajema 76 tričlenkastih ločnih mostov, od tega jih je 59 opisanih v bazi Structurae.net. Vsi obravnavani mostovi so prikazani v preglednici. Tričlenkasti mostovi so razporejeni glede na leto izgradnje (od leta 1865 do danes), glede na material (kovina, beton, les), razpon (od 17 metrov do 130 metrov) in na položaj voziščne konstrukcije glede na položaj loka (vozišče nad ločno konstrukcijo, delno spuščeno vozišče, spuščeno vozišče). Soodvisnost med časom gradnje in materialom, razponom ali položajem voziščne ploskve je opisana in grafično prikazana na časovnicah. V drugem delu prispevka so tričlenkasti mostovi analitično in grafično medsebojno primerjani glede na zadnje tri parametre. Najbolj pogost tričlenkasti ločni most je armiranobetonski, z razponom 60 metrov in z voziščno površino, ki je nad ločno konstrukcijo in je z njo povezana s stebri.

Ključne besede: členek, most, tričlenkasta konstrukcija, tričlenkasti lok, tročlenski lok, konstrukcijski sistem

Summary | Three-hinged arch bridges have been built since 1865. The oldest still in use three-hinged arched bridge is Hrdecky Bridge in Ljubljana and in 2017 we celebrate its 150th anniversary. The paper presents analyses of the arch bridges with three-hinged structural system. The analyses are based on an extensive historical overview including 76 of the most representative three-hinged arch bridges; 56 of them can be found on Structurae.net web page. All of them are shown in the table. The three-hinged arch bridges are classified according to the year of construction (from 1865 to present), material (metal, concrete, timber), span (from 17 meters to 130 meters), and the position of the deck relative to the position of the arch (upper deck, half-through and through). The interdependences between the year of construction and material, span or position of the deck relative to the position of the arch are described and shown in timesheets. In the second part of the paper the three-hinged arch bridges are compared analytically and with timesheets in relation to the last three parameters. The dominant type of the three-hinged arch bridge is open spandrel deck reinforced concrete arch bridge, with a span of 60 meters.

Key words: hinge, pin, three-hinged arch structure, structural system, three-pined arch

1 • UVOD

Razumevanje lastnosti novih gradbenih materialov lahko privede inženirje do povsem novih zasnov konstrukcijskih sistemov. V devetnajstem stoletju so za nov material v gradbeništvu uvedli železo. V konstrukciji so začeli vgrajevati členke in posledično

so nastali novi konstrukcijski sistemi: med drugim tudi dvočlenkasta in tričlenkasta konstrukcija. Sledila je gradnja dvočlenkastih in tričlenkastih ločnih mostov, narejenih z različnimi vrstami členkov, iz različnih materialov, različnih razponov in različnih položajev

voziščne površine glede na položaj nosilne ločne konstrukcije.

V pričujočem članku je bilo analiziranih 76 tričlenkastih ločnih mostov. Osnovni namen je potrditev teze, da je Hradeckega most v Ljubljani eden izmed najstarejših mostov s tričlenkasto ločno konstrukcijo na svetu. Oktobra 2017 bo minilo 150 let, odkar so ga prvič postavili na mestu današnjega Čevljarskega mostu, pozneje so ga še dvakrat predstavili.

2 • TRIČLENKASTA KONSTRUKCIJA

Tričlenkasta konstrukcija ima lahko obliko tričlenkastega loka ali tričlenkastega okvirja. Obe obliki konstrukcije sta zelo enostavni za razumevanje delovanja sil in hkrati tudi preprosti za računanje. Običajno je tričlenkasti ločni konstrukcijski sistem simetrična konstrukcija, sestavljena iz dveh lokov in treh členkov: dva členka sta tik ob obeh krajnih oporah konstrukcije, tretji členek je v najvišji točki konstrukcije. Vsi trije členki omogočajo konstrukciji pomike in zasuke, ki nastanejo ob

temperaturnih spremembah, posedkov zaradi slabe nosilnosti tal ali erozijskega izpodjedanja, zaradi slabo izdelanih temeljev, krajnih opornikov ali vmesnih podpornikov in ob potresih (Slivnik, 2013). Vsak izmed obeh krajnih členkov ob obeh oporah je običajno nameščen ob stiku pete loka z oporo (oziroma s temeljem). Tretji členek je običajno postavljen v najvišjo točko konstrukcije, ki jo imenujemo teme loka oziroma teme konstrukcije. V terminološkem kotičku Gradbenega vest-

nika sta Kuhta in Brunčič (Kuhta, 2015) obravnavala problematiko rabe pridevnikov členski in členkasti. Ob tem sta poudarila, da v gradbeništvu besedi člen in členek nista sopomenki, gre namreč za dva različna pojma. Pridevnika dvočlenski in tročlenski sta zato v pomenu, v kakršnem se uporabljata, napačna. Namesto uveljavljene, a po logiki očitno napačne rabe pridevnika dvočlenski in tročlenski (včasih tudi tričlenski) predlagata rabo pridevnika dvočlenkasti ali tričlenkasti. Prav zato je tudi v pričujočem članku – namesto pridevnika tročlenski ali tričlenski – uporabljen pridevnik tričlenkasti: tričlenkasta konstrukcija in tričlenkasti most.

3 • TRIČLENKASTI LOČNI MOSTOVI

Internetna stran Structurae.net je podatkovna baza, v kateri so zbrane najpomembnejše konstrukcije z vsega sveta. Predstavljene so z osnovnimi podatki, nekatere tudi s fotografijami. Trenutno je v njej opisanih tudi 79 tričlenkastih mostov (Structurae.net, 2017). Poleg splošnih podatkov, med katere spadajo ime mostu, lokacija, leto dograditve in trenutna uporaba, so večinoma naštetih še: tip

mostu, tehnični podatki (dimenzije, materiali in cena), konstruktor, gradbeno podjetje, ki je konstrukcijo izdelalo, in literatura, iz katere so črpani podatki.

Zaradi pomanjkljivih podatkov, ki so bili potrebni za pričujočo primerjalno analizo, so bili nekateri tričlenkasti ločni mostovi iz baze Structurae.net izpuščeni. Hkrati so dodani nekateri predvsem starejši

tričlenkasti ločni mostovi. Ti so zbrani in delno opisani že v člankih ((Slivnik, 2013), (Slivnik, 2016)). V analizi seveda niso zajeti vsi tričlenkasti ločni mostovi, ki so bili kdaj zgrajeni, a sledimo lahko nekaterim smernicam razvoja.

V članku je torej zbranih več kot 70 tričlenkastih ločnih mostov. Analizirani so glede na material, iz katerega je most zgrajen, dolžino razpona mostu in položaj vozišča glede na glavno nosilno ločno konstrukcijo. Hkrati sledimo tudi zgodovinskemu razvoju tričlenkastih ločnih mostov.

4 • ANALIZA TRIČLENKASTIH LOČNIH MOSTOV

Že prof. dr. Milenko Pržulj v knjigi Mostovi (Pržulj, 2015) ugotavlja, da je delitev mostov težavno in nevhvaležno opravilo, vendar se razdelitve loti z namenom, da doseže preglednost pri proučevanju mostov. Mostove deli glede na namen, vrsto ovire, ki jo most premošča, statični sistem nosilne konstrukcije, položaj vozišča glede na glavne nosilce prekladne konstrukcije, položaj osi mostu glede na osi opor, obliko osi prometnice na mostu, možnost premikanja prekladne konstrukcije glede na opore, uporabno dobo

mostu, material, iz katerega so mostovi zgrajeni, postopke gradnje prekladne konstrukcije in dolžino mostu.

Ob upoštevanju podatkov, ki so zbrani v bazi Structurae.net, in ob njihovi združitvi z delitvijo prof. Pržulja lahko statični sistem nosilne konstrukcije ločnih mostov s tričlenkastim lokom smiselno analiziramo po naslednjih treh parametrih: material, razpon in položaj vozišča s podtipom.

V preglednici 1 so prikazani vsi analizirani tričlenkasti ločni mostovi (znak * pomeni,

da most ni opisan v bazi Structurae.net). V prvem stolpcu je ime mostu v originalnem jeziku (le imeni japonskega in ruskega mostu sta bili prečrkovani v slovenski jezik). Sledi leto dograditve mostu (za pomišljajem je leto porušitve mostu, za podpičjem je leto prestatitve mostu na drugo lokacijo). V tretjem stolpcu so opisani gradbeni materiali: železo (kovano železo, lito železo) oziroma jeklo, različne vrste betona (nearmirani beton, Melanov patent betona, armirani beton, kamen ali prednapeti beton) oziroma kamna ter les (lamelirani lepljeni les). Četrty stolpec predstavlja razpon tričlenkastega loka med oporama, razdalja je merjena v metrih (znak

× pomeni, da je most sestavljen iz več enakih zaporednih lokov, znak + pomeni, da so razponi zaporednih lokov različni. V zadnjem stolpcu je definiran položaj vozišča glede na

položaj ločne konstrukcije (nadločna konstrukcija (N), delno spuščena konstrukcija (DS) ali spuščena konstrukcija (S)), za podtip je pri nadločni konstrukciji navedena vrsta

povezave (paličje, zaprta povezava, steber, obok, škatla (H-box), diagonalni stebri, prečna stena oblike X, vzdolžna stena, brez povezave).

IME MOSTU V ORIGINALNEM JEZIKU	DOGRADITEV	MATERIAL	RAZPON (m)	POLOŽAJ VOZIŠČA in PODTIP
Unterspre-Brücke (D)*	1865–1887	kovano železo	5 × 17	N: paličje
Hradeckega most (Mrtvaški most) (SLO)	1867; 1932; 2011	lito železo	30,4	N: paličje
(Tegetthoffbrücke) Kleine Ungarbrücke (A)*	1872; 1898	železo	(34,5) 26	N: paličje
Munderkingen Donaubrücke (D)	1893–1945	nearmirani beton	50	N: zaprta povezava
Panther Hollow Bridge (USA)	1896	jeklo	109,8	N: paličje
Schwimmschulbrücke (A)*	1898–1959	beton: patent Melan	42,2	N: zaprta povezava
Stauffacherbrücke (CH)*	1899	nearmirani beton	39,6	N: zaprta povezava
Franzensbrücke (A)	1899–1945	jeklo	53	N: paličje
Pont Alexandre-III (F)	1900	jeklo	107,5	N: steber
Pont Camille-de-Hogues (F)*	1900	armirani beton	40 + 50 + 40	N: steber
Zmajski most (SLO)	1901	beton: patent Melan	33,34	N: obok
Zuoz Brücke (CH)	1901	armirani beton	38	N: škatla (H-box)
Luitpoldbrücke (D)	1901	kamen	63	N: zaprta povezava
Max-Joseph-Brücke (D)	1902	kamen	63	N: zaprta povezava
Confederate Avenue Bridge (USA)	1903–1997	jeklo	82,35	N: paličje
Pont de Fragnée (B)	1904	jeklo	53 + 57 + 53	N: steber
Viaduc d'Austerlitz (F)*	1904	jeklo	120 med členkoma	DS
Isarbrücke Grünwald (D)	1904–ca.1998	armirani beton	2 × 70	N: steber
Neckarbrücke (D)	1905–1945	armirani beton	5 × 40	N: obok
Wallstrassenbrücke (D)	1905–1945	nearmirani beton	57	N: steber
Rheinbrücke, Tavanasa (CH)	1906–1927	armirani beton	51	N: škatla (H-box)
Illerbrücken Kempten (3 bridges) (D)	1906	nearmirani beton	64,5	N: zaprta povezava
Marienbrücke (A)*	1909–1945	jeklo	53,6	N: steber
Pont d'Amélie-les-Bains (F)	1909	armirani beton	46	N: steber
Neckareisenbahnbrücke, Tübingen (D)	1910	armirani beton	2 × 45	N: zaprta povezava
Sitterviadukt (CH)	1910	kamen	25	N: zaprta povezava
Pont du Veurdre (F)	1910–1944	armirani beton	64 + 72 + 64	N: diagonalni stebri
Malmskillnadsbron (S)	1911	armirani beton	24	N: zaprta povezava
Pont de la Roche-Bernard (F)	1911–1944	jeklo	112 med členkoma	DS
Pont Neuf de Montauban (F)	1912	armirani beton	53 + 56	N: steber
Pont de Monéteau (F)	1913	jeklo	62 med členkoma	DS
Viaduto Santa Ifigênia (Brazilija)	1913	jeklo	3 × 75	N: steber
Viaduc de Caroual (F)	1914	armirani beton	45	N: steber; lok kot paličje
Kanalbrücke, Minden (D)	1914	armirani beton	6 × 36,5	N: zaprta povezava
Fairfax Bridge (USA)	1921	jeklo	73,2	N: steber
Pont Guillermaux (CH)	1921	armirani beton	27,6	N: obok
Horotiu Bridge (NZ)	1921	armirani beton	38,4	DS
40th Street Bridge, Pittsburgh (USA)	1924	jeklo	3 × 109,7	N: obok
Pont de Kerlosquer (F)	1924	armirani beton	26	N: steber
Pont de Persan-Beaumont (F)	1924–1940	armirani beton	50	S
Pont de la D50 sur l'Artuby (F)	1927	armirani beton	107	N: steber
Wearmouth Bridge (UK)	1929	jeklo	114	DS
Petriforbrücke (D)	1929–2003	armirani beton	29	N: zaprta povezava
Salginatobelbrücke (CH)	1930	armirani beton	90	N: steber
Pont de Renory (B)*	1930	armirani beton	?	N: obok
Felseggbrücke (CH)	1932	armirani beton	72	N: steber
Rossgabenbrücke (CH)	1932	armirani beton	82	N: steber

IME MOSTU V ORIGINALNEM JEZIKU	DOGRADITEV	MATERIAL	RAZPON (m)	POLOŽAJ VOZIŠČA in PODTIP
Universitätsbrücke (A)	1932	armirani beton	45	N: zaprta povezava
Adolf-Hitler-Brücke (D)	1934–1944	armirani beton	107	N: zaprta povezava
Ling Bridge (Kitajska)	1936	jeklo	97,6	S
Pont de Vessy (CH)	1937	armirani beton	56	N: prečna stena oblike X
Simmebrücke Garstätt (CH)	1939	armirani beton	32	N: vzdolžna stena
Rosenbergbrücke (D)	1939–1945	armirani beton	60	?
Gruberjeva brv (Streliška brv) (SLO)*	1939	armirani beton	35	N: zaprta povezava
Brücke im Zuge, Churerstrasse (CH)	1940	armirani beton	?	N: brez povezave
Ponte Lussia, Vagli (I)	1953	armirani beton	70	N: steber
Modrow Road Bridge (USA)	1958	jeklo	61	N: steber
Averserrheinbrücke Letziwald (CH)	1959	armirani beton	66,5	N: steber
Puente Sal-si-puedes (Ekvador)	1960	jeklo	130	N: steber
Pont de la Grande Côte (F)	1960	prednapeti beton	101	N: zaprta povezava
Pennine Way Footbridge (GB)	1965	prednapeti beton	67,1	N: brez povezave
Keystone Wye Interchange (USA)	1968	lamelirani lepljeni les	47,2	N: steber
Ernst-Müller-Brücke (D)	1987–2008	lamelirani lepljeni les	44,5	S
Eagle River Timber Bridge (USA)*	1990	lamelirani lepljeni les	23; 24	N: steber
most Hiraoka(J)	1993	lamelirani lepljeni les	45	N: steber
Wennerbrücke (A)*	1993	lamelirani lepljeni les	45	N: steber
Klockarbergsleden Bro (S)	1994	lamelirani lepljeni les	35	N: steber
Margretelund Bro (S)*	1994	lamelirani lepljeni les	35	N: steber
Ponte Bonatti (I)*	2001	lamelirani lepljeni les	67	S
Robert 'Bob'C.Beach Bridge (USA)*	2003	lamelirani lepljeni les	43	S
Wildbrücke Wilmshagen (D)	2004	lamelirani lepljeni les	27,6	N: zaprta povezava
Wildbrücke Wiesenhagen (D)	2012	lamelirani lepljeni les	32	N: zaprta povezava
Riški železniški most (RU)	?	armirani beton	120	N: brez povezave
Herkimer Military Road (USA)	?	lamelirani lepljeni les	27	N: steber
Puente peatonal Cangas de Onís (E)	?	lamelirani lepljeni les	28	S
Puente peatonal A Pontenova (E)	?	lamelirani lepljeni les	40	S

Preglednica 1 • Analizirani tričlenkasti ločni mostovi

Analiziranih je bilo 76 tričlenkastih ločnih mostov. Od tega jih je bilo 8 (11 %) dokončanih pred letom 1900, 47 (62 %) med letoma 1900 in 1950, 17 (22 %) po letu 1950, za 4 (5 %) mostove ni podatka o letu izgradnje. Iz železa oziroma jekla je narejenih 19 (25 %) analiziranih mostov, 43 (57 %) jih je iz betona oziroma kamna, 14 (18 %) iz lameliranega lepljenega lesa. Analizirani mostovi imajo dolžino razpona od 17 metrov do 130 metrov, za dva (3 %) izmed njih ni podatka o razponu. Voziščno ploskev nad ločno konstrukcijo ima 63 (83 %) analiziranih mostov, 5 (7 %) jih ima delno spuščeno vozišče, 7 (9 %) spuščeno vozišče, za en (1 %) most ni podatka.

4.1 Materiali, iz katerih so zgrajeni tričlenkasti mostovi

Za nosilno konstrukcijo tričlenkastih ločnih mostov se v grobi razdelitvi uporabljajo tri glavne vrste gradbenih materialov: železo oziroma pozneje jeklo, različne vrste betona oziroma kamen in les.

Prvi znani tričlenkasti most je bil narejen iz kovanega železa. Po iznajdbi izboljšanih postopkov so začeli izdelovati tričlenkaste mostove iz železovih zlitin: litega železa in različnih vrst jekel. Okoli leta 1900 so začeli uporabljati nove masivne materiale: nearmirani beton, obdelani kamen in različne vrste armiranega betona. V sredini dvajsetega stoletja so izdelovali tričlenkaste ločne mostove tudi iz prednapetega armiranega betona. Največ tričlenkastih ločnih mostov v zadnjih tridesetih letih je bilo narejenih iz lepljenega lameliranega lesa.

Na sliki 1 sta prikazana čas izgradnje tričlenkastih ločnih mostov in uporaba različnih gradiv. Na vodoravni osi je prikazano leto dograditve mostu, na navpični osi so materiali.

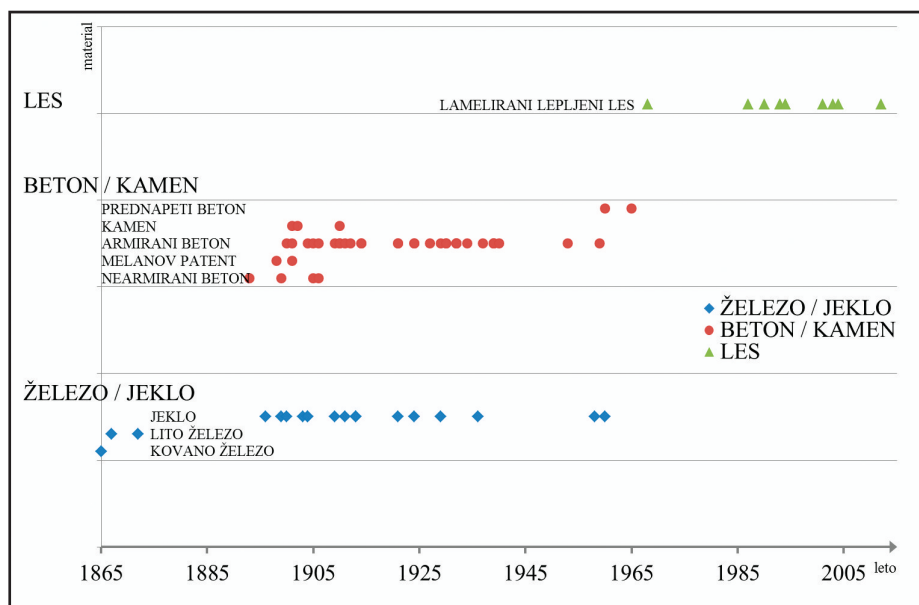
Iz analize časovnice uporabe različnih gradbenih materialov je lepo razviden trend uporabe vseh treh glavnih gradiv. Iz virov (Köpcke, 1861) vemo, da je tričlenkasto konstrukcijo prvi teoretično opisal nemški inženir Claus

Köpcke (1831–1911) leta 1861. V praksi je tričlenkasto ločno konstrukcijo prvi uporabil še en nemški inženir, Johann Wilhelm Schwedler (1823–1894), ki je leta 1865 načrtoval železniški most iz kovanega železa čez reko Spree (Unterspree-Brücke) v Berlinu. Najstarejši še ohranjeni tričlenkasti ločni most je Hradeckega most v Ljubljani, ki je v uporabi od leta 1867, narejen iz litega železa in postavljen na tretji lokaciji. Pred prelomom v dvajseto stoletje se je tehnika vlivanja železovih zlitin močno izboljšala. Prvim tričlenkastim ločnim mostovom, ki so bili narejeni iz kovanega ali litega železa, so sledili bolj nosilni mostovi, narejeni iz različnih jeklenih zlitin. V Združenih državah Amerike so leta 1896 zgradili Panther Hollow Bridge, na Dunaju Franzensbrücke (1899) ter v Parizu Pont Alexandre-III (1900) in Viaduc d'Austerlitz (1904). Po letu 1950 so zgradili vsaj še Modrow Road Bridge v Združenih državah Amerike (1958) in Puente Sal-si-puedes v Ekvadorju (1960). Skupno je v časovnici materialov (slika 1) prikazanih 19

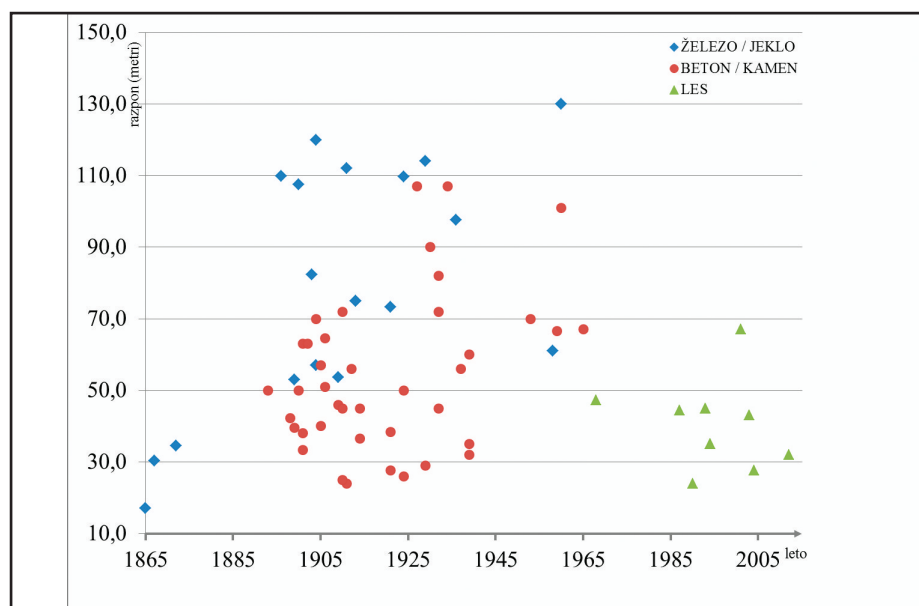
(27 %) mostov iz železa oziroma jekla.

Osnovno idejo za vpeljavo členkov v zidane konstrukcije je prvi teoretično opisal Francoz Jules Dupuit (1804–1866). Delo so izdali šele posthumno (Dupuit, 1870). Na največji odmev uporabe v praksi je njegova ideja naletela v Nemčiji, kjer so uporabili členke najprej pri grednih in visečih mostovih. Pionir je bil že omenjeni Claus Köpcke. Tudi prve ločne tričlenkaste masivne mostove so zgradili v Nemčiji. Za gradnjo mostu čez Donavo (Donaubrücke) v nemškem Munderkingenu so leta 1893 uporabili beton, ki je bil brez armature. Ob prelomu stoletja so skoraj hkrati trije mladi inženirji, Avstrijec Josef Melan (1854–1941) (Schwimmschulbrücke, 1898), Francoz François Hennebique (1842–1921) (Pont Camille-de-Hogues, 1900) in Švicar Robert Maillart (1872–1940) (Zuoz Brücke, 1901), zgradili tričlenkaste ločne mostove z različnimi sistemi armiranja. V Nemčiji, točneje v Münchnu, so še pred prvo svetovno vojno zgradili vsaj dva tričlenkasta ločna mostova iz kamna, to sta Luitpoldbrücke (1901) in Max-Joseph-Brücke (1902). Prvič so prednapeti armirani beton za tričlenkaste ločne mostove uporabili v francoski Provansi (Pont de la Grande Côte) leta 1960. Na sliki 1 je prikazanih 42 (58 %) mostov iz različnih vrst betona oziroma kamna, največ je bilo zgrajenih v prvi polovici dvajsetega stoletja.

Prvi tričlenkasti ločni most iz lameliranega lepljenega lesa, Keystone Wye Interchange, so postavili v Združenih državah Amerike leta 1968. Proti koncu dvajsetega stoletja so zgradili največ tričlenkastih ločnih mostov prav iz lameliranega lepljenega lesa. Most za pešce Ernst-Müller-Brücke (1987) v zeleni okolici Hückeswagena v Nemčiji se je zaradi slabega vzdrževanja lesa podrli leta 2008. Nam najbližji tričlenkasti ločni most iz lameliranega lepljenega lesa je Wennerbrücke (1993) v mestu St. Georgen ob Muri na avstrijskem Štajerskem. V Nemčiji so za prehod divjadi čez avtoceste zgradili vsaj dva tričlenkasta ločna mostova iz lameliranega lepljenega lesa: Wildbrücke Wilmshagen (2004) in Wildbrücke Wiesenhausen (2012). V časovnici materialov je prikazanih 11 (15 %) mostov iz lameliranega lepljenega lesa. Skupno je v časovnici uporabe materialov (slika 1) prikazanih 72 tričlenkastih ločnih mostov. Najstarejši so tričlenkasti ločni mostovi iz različnih zlitin železa oziroma jekla. Betonske mostove s tričlenkasto ločno konstrukcijo so gradili predvsem v prvi polovici dvajsetega stoletja. Danes se največ takšnih mostov gradi iz lameliranega lepljenega lesa.



Slika 1 • Časovnica uporabe materialov.



Slika 2 • Časovnica razponov.

4.2 Razponi tričlenkastih mostov

Dolžine razponov tričlenkastega loka so dokaj raznolike in segajo od 17 metrov do 130 metrov. Najstarejša tričlenkasta ločna konstrukcija (Unterspre-Brücke) je imela hkrati tudi najkrajši razpon: le 17 metrov. Najdaljši izmed analiziranih mostov je Puente Sal-sipuedes v Ekvadorju, kjer je celotna dolžina mostu 186 metrov, tričlenkasti lok pa je krajši in meri okoli 130 metrov. Sledi mu Viaduc d'Austerlitz v Parizu s 120 metri razpona med krajnjima členkoma. Tričlenkasta ločna konstrukcija se torej uporablja za manjše

in srednje velike mostove, najbolj običajna dolžina je od 30 do 70 metrov.

Na sliki 2 so prikazani razponi tričlenkastih ločnih mostov, označena so tudi različna gradiva (železo/jeklo, beton/kamen in les). Na vodoravni osi je prikazano leto dograditve mostu, na navpični osi je razpon (v metrih). Časovnica razponov je morda manj očitna, a tudi tu lahko zasledimo nekatere zakonitosti. Razpon prvega tričlenkastega ločnega mostu (Unterspre-Brücke, 1865) je s 17 metri je najkrajši med vsemi. Most Kleine Ungarbrücke (1872) na Dunaju so postavili leta 1898 na

novo lokacijo in ga skrajšali s 34,5 metra na 26 metrov. Z izboljšavo materiala so postajali tudi razponi vse daljši. Jekleni mostovi so že okoli leta 1900 dosegali razpon okoli 110 metrov: Panther Hollow Bridge (1896) s 109,8 metra, Pont Alexandre-III (1900) s 107,5 metra in Pont de la Roche-Bernard (1911) s 112 metri. Najdaljša jeklena tričlenkasta ločna mostova sta Viaduc d'Austerlitz (1904) v Parizu s 120 metri razpona med krajnjima členkoma (in 140 metri razpona med podporama) ter Puente Sal-si-puedes (1960) z razponom med krajnjima členkoma 130 metrov in celotno dolžino mostu 187 metrov. V časovnici razponov je prikazanih 19 (27 %) mostov iz železa oziroma jekla, povprečni razpon mostov je 81,7 metra.

Analizirani betonski tričlenkasti ločni mostovi merijo v dolžino od 24 metrov (Malmskillnadsbron, 1911) do 107 metrov (Pont de la D50 sur l'Artuby, 1927, in Adolf-Hitler-Brücke, 1934). Najstarejši izmed analiziranih nearmiranih betonskih mostov (Munderkingen Donaubrücke, 1893) je imel razpon 50 metrov. Münchenska kamnita mostova Luitpoldbrücke (1901) in Max-Joseph-Brücke (1902) imata oba razpon po 63 metrov. Švicarski inženir Robert Maillart je tričlenkaste armiranobetonske konstrukcije v času med obema svetovnjima vojnoma privedel do popolnosti. Njegov most čez reko Salgine v Švici (Salginatobelbrücke, 1930) z razponom 90 metrov zaradi svoje vitkosti in estetske arhitekturne vpetosti v prostor danes velja za vrhunec gradnje tričlenkastih ločnih mostov. Most iz prednapetega betona Pont de la Grande Côte (1960) ima razpon 101 meter. Najdaljši most iz armiranega betona je Riški železniški most z razponom 120 metrov, a v časovnici razponov ni prikazan, saj ni znano leto njegove dograditve. Skupno je na sliki 2 prikazanih 40 (57 %) mostov iz betona oziroma kamna, povprečni razpon teh mostov je 55,8 metra.

Dolžina analiziranih razponov tričlenkastih ločnih mostov iz lameliranega lepljenega lesa je od 22 metrov (Eagle River Timber Bridge, 1990) do 67 metrov (Ponte Bonatti, 2001). Najstarejši tričlenkasti ločni most iz lameliranega lepljenega lesa (Keystone Wye Interchange Bridge, 1968) ima razpon 47,2 metra. Skupno je v časovnici razponov prikazanih 11 (16 %) mostov iz lameliranega lepljenega lesa, njihov povprečni razpon je 40,5 metra. V časovnici razponov (slika 2) je skupno prikazanih 70 tričlenkastih ločnih mostov, povprečni razpon mostov v vseh treh materialih je 60,4 metra. Med analiziranimi razponi ni daljšega od 130 metrov. Analiza vseh treh

materialov pokaže, da so jekleno konstrukcijo uporabili za najdaljše razpone, leseno pa le za krajše razpone. Tričlenkasta ločna konstrukcija se torej uporablja samo za manjše in srednje razpone, od 17 do 130 metrov.

4.3 Položaj voziščne konstrukcije glede na tričlenkasto ločno konstrukcijo (s podtipi)

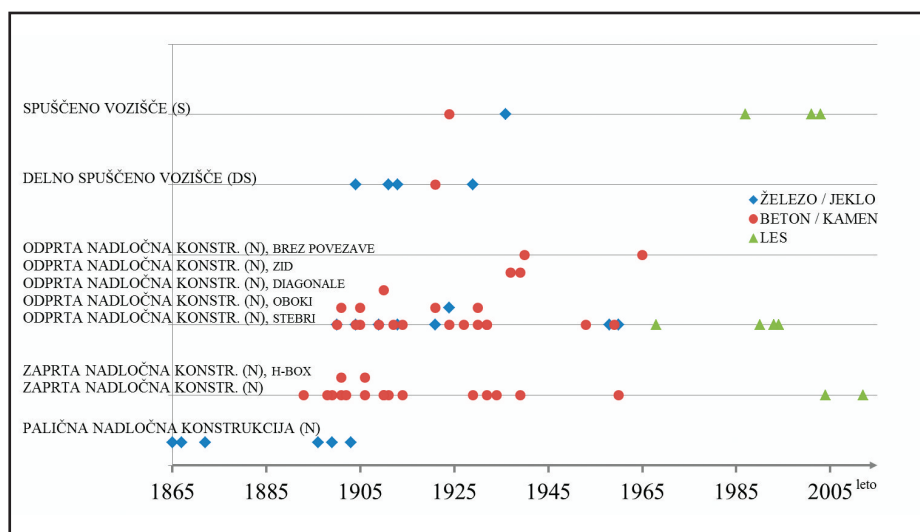
Pri tričlenkastih ločnih mostovih je najbolj običajna voziščna konstrukcija, ki poteka tik nad ločno konstrukcijo in se z njo tangентno stika samo v vrhnjem členu, ki je v temenu loka. Voziščna konstrukcija nad lokom (nadločna konstrukcija) je lahko z lokom povezana različno. Vmesni prostor med lokom in voziščem je lahko povezan s paličjem, s stebri, z oboki ali z diagonalami, lahko je popolnoma odprt, tako sta lok in vozišče brez povezave, lahko pa je prostor popolnoma zaprt, torej napolnjen z materialom. Poznamo še dve drugi različici položaja voziščne ploskve. Pri obeh je voziščna ploskev spuščena tik ob oba spodnja členka. Pri prvi različici sta spodnja členka odmaknjena od opor in sta običajno na prvi četrtini loka; temelji morajo biti zato zelo masivni in trdni. Gre za tričlenkasti lok z delno spuščeni voziščem. Pri drugi različici oba spodnja členka ostaneta tik ob oporah, tod poteka tudi voziščna ploskev. Takšen podtip imenujemo tričlenkasti lok s spuščeni voziščem. Na sliki 3 so prikazani čas izgradnje tričlenkastih ločnih mostov in različni položaji voziščne ploskve glede na ločno konstrukcijo. Na vodoravni osi je prikazano leto dograditve mostu, na navpični osi so različni položaji ločne konstrukcije glede na voziščno ploskev. Nadločna konstrukcija je razdeljena na več tipov. Palična nadločna konstrukcija je

med njimi najstarejša. Zaprta nadločna konstrukcija ima dva podtipa: zaprta konstrukcija, ki je napolnjena z materialom, in škatlasta konstrukcija. Odprta nadločna konstrukcija se deli na pet podtipov: povezava s stebri, oboki, diagonalami, zidom ali pa oba dela med seboj nista povezana.

Iz časovnice položaja voziščne ploskve glede na ločno konstrukcijo lahko vidimo, da so najprej gradili ločne konstrukcije z voziščno ploskvijo nad lokom samim, torej tako, da se vozišče tangентno dotika loka. Prve tričlenkaste ločne konstrukcije so bile narejene kot paličja iz železa (Unterspre-Brücke, 1865, Hradskega most, 1867, in Kleine Ungarbrücke, 1872), a se ne uporabljajo že več kot 100 let. V časovnici položaja voziščne ploskve glede na ločno konstrukcijo je prikazanih 6 (8 %) mostov s palično nadločno konstrukcijo.

Prva zaprta oziroma polna nadločna konstrukcija je hkrati tudi prva konstrukcija, ki ni bila narejena iz kovine. Inženir Karl von Leibbrand je načrtoval betonski most čez reko Donavo (Donaubrücke, 1893) v Munderkingenu brez armature. Mostova čez reko Inn v Zuožu (1901) in čez Ren v Tavanasi (1906) je inženir Robert Maillart načrtoval kot zaprto nadločno konstrukcijo z votlo škatlo (H-box). Zaprte nadločne konstrukcije gradijo še danes, med analiziranimi primeri sta tudi leseni ločni konstrukciji za prehod živali čez avtocesto v Nemčiji (Wilmshagen, 2004, in Wiesenhausen, 2012). Analiziranih je 19 (27 %) mostov z zaprto nadločno konstrukcijo.

Največ se gradijo odprte nadločne konstrukcije, pri tem sta lok in voziščna ploskev med seboj lahko povezana na več načinov. Najbolj pogosta povezava med ločno konstrukcijo in



Slika 3 • Časovnica položaja voziščne ploskve glede na ločno konstrukcijo.

voziščno ploskvijo so stebri. Prva dva izmed analiziranih mostov s takšno konstrukcijo sta armiranobetonski most Camille-de-Hogues (1900) v Châtelleraultu, ki ga je načrtoval François Hennebique, in jekleni most Alexandre-III (1900) v Parizu. Inženir Josef Melan je pri Zmajskem mostu (1901) v Ljubljani povezal betonsko ločno konstrukcijo in voziščno ploskev z oboki, inženir Eugène Freyssinet je pri mostu pri Veudre (1910) uporabil diagonalne stebre. Inženir Robert Maillart je načrtoval kar nekaj inovacij v tričlenkastih ločnih mostovih: most v Vessju (1937) ima prečne stene v obliki črke X, most v Garstattu (1939) ima vzdolžne stene, železniški most čez Churerstrasse (1940) pri Altendorfu je brez povezave. V časovnici položaja voziščne ploskve glede na ločno konstrukcijo je analiziranih 36 (51 %) mostov z odprto nadločno konstrukcijo.

Delno spuščeno vozišče pomeni, da vozišče seka lok v dveh členih, ki pa v tem primeru nista ob mostnih oporah. Najzgodnejši je pariški Viaduc d'Austerlitz iz leta 1904, sledita mu dva jeklena tričlenkasta mostova v Franciji (Pont de la Roche-Bernard, 1911, in Pont de Monéteau, 1913), nato betonski z Nove Zelandije (Horotiu Bridge, 1921) in angleški Wearmouth Bridge (1929), ki je narejen iz jekla. Analiziranih je pet (7 %) primerov delno spuščene vozišča.

Tudi popolnoma spuščeno vozišče seka lok v dveh točkah, ti sta v členih tik ob oporah. Najstarejša izmed analiziranih primerov sta armiranobetonski most Pont de Persan-Beaumont (1924) in most Ling (1936) v Ningbu na Kitajskem. Konstrukcije s popolnoma spuščeno voziščem gradijo še danes. Novejša primera sta narejena iz

lameliranega lepljenega lesa: Ponte Bonatti (2001) in Robert 'Bob' C. Beach Bridge (2003). Analiziranih je pet (7 %) primerov, dva primera iz preglednice 1 sta v časovnici izpuščena zaradi pomanjkanja podatka o letu gradnje.

Na časovnici položaja voziščne ploskve glede na ločno konstrukcijo (slika 3) je prikazanih 71 tričlenkastih ločnih mostov, od tega jih ima 61 nadločno konstrukcijo, 5 delno spuščeno vozišče in 5 spuščeno vozišče. Med analiziranimi mostovi ni takšnega s palično nadločno konstrukcijo, ki bi bil zgrajen po letu 1903, in ne primera z delno spuščeno voziščem, zgrajenim po letu 1929. Danes še vedno gradijo tričlenkaste ločne mostove z zaprto nadločno konstrukcijo, odprto nadločno konstrukcijo s stebri in s popolnoma spuščeno voziščem.

5 • REZULTATI ANALIZE TRIČLENKASTIH LOČNIH MOSTOV

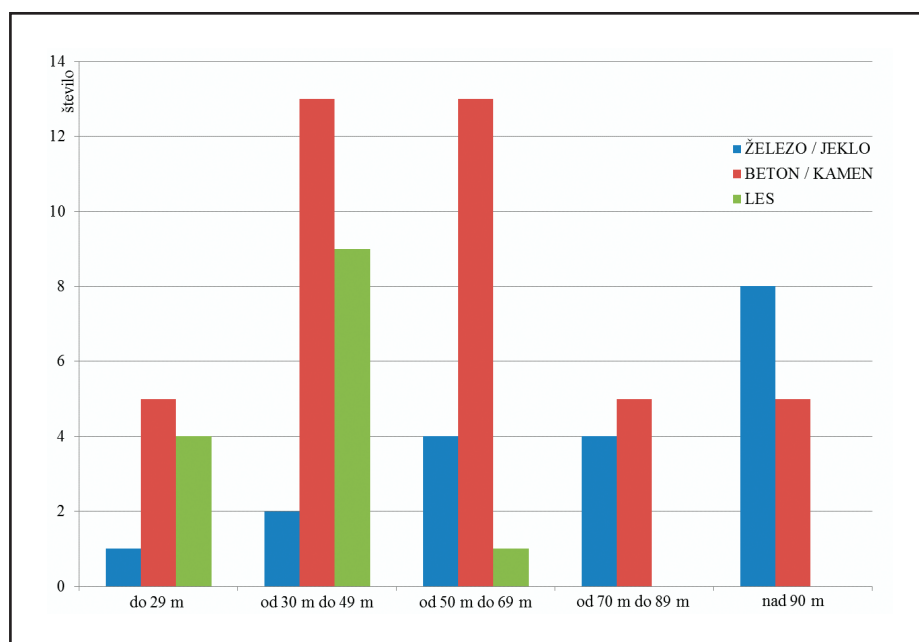
Rezultati analize tričlenkastih ločnih mostov so razporejeni v tri skupine in prikazani s slikami. Na sliki 4 so primerjane pogostosti mostov v odvisnosti od razpona in materiala, na sliki 5 so primerjane pogostosti mostov v odvisnosti od položaja voziščne površine in razpona, na sliki 6 pa so primerjane pogostosti mostov v odvisnosti od materiala in položaja voziščne površine.

5.1 Pogostost mostov v odvisnosti od razpona in materiala

Na sliki 4 je prikazanih 74 tričlenkastih ločnih mostov, analiziranih glede na razpon in material. Razpon je razdeljen na pet kategorij: do 29 metrov, od 30 do 49 metrov, od 50 do 69 metrov, od 70 do 89 metrov in nad 90 metrov. Materiali so razdeljeni v tri kategorije: železo oziroma jeklo, beton oziroma kamen in les. Opazimo lahko, da so razponi železnih oz. jeklenih in betonskih oz. kamnitih mostov vseh dolžin: od najkrajših pa do 130 metrov. Razponi tričlenkastih ločnih mostov iz lepljenega lameliranega lesa so krajši, saj mostu z razponom nad 70 metri ni med analiziranimi primeri. Številčno je največ mostov z razponom od 30 do 49 metrov, skupaj 24. Sledi 18 mostov z razponom med 50 in 69 metri. Izstopa tudi število betonskih oziroma kamnitih mostov z razponom od 30 do 69 metrov, v obeh kategorijah je skupaj 25 tričlenkastih ločnih mostov iz betona oziroma kamna. Primerjava pogostosti mostov v odvisnosti od razpona in materiala je bila narejena na

74 tričlenkastih ločnih mostovih, od tega je 19 (26 %) železnih oziroma jeklenih, 41 (55 %) betonskih oziroma kamnitih in 14 (19 %) lesenih. Mostovi iz železa oziroma jekla so vseh dimenzij, od najkrajšega s 17 metri do najdaljšega s 130 metri. Betonski oziroma kamniti mostovi so dimenzij od 24 metrov do 120 metrov. Mostovi iz lepljenega lameliranega lesa imajo razpon od 23 metrov do 64 metrov.

Krajših od 30 metrov je 10 (14 %) tričlenkastih ločnih mostov. Največ mostov, 24 (32 %), ima razpon od 30 do 49 metrov; od tega je dvanajst mostov betonskih in devet iz lepljenega lesa. Razpon med 50 in 69 metri ima 18 (24 %) mostov, med njimi je številčno največ mostov iz betona in kamna, kar trinajst. Devet (12 %) mostov ima razpon od 70 do 89 metrov, od tega so štiri iz jekla, pet je betonskih, lesenega ni nobenega. Daljših od 90 metrov je 13 (18 %) mostov, od tega je osem jeklenih in šest betonskih, lesenega ni. V tej kategoriji je zajetih tudi pet tričlenkastih ločnih mostov z razponom, ki je daljši od 110



Slika 4 • Število mostov glede na razpon in material.

metrov: štirje mostovi so jekleni, le eden je betonski.

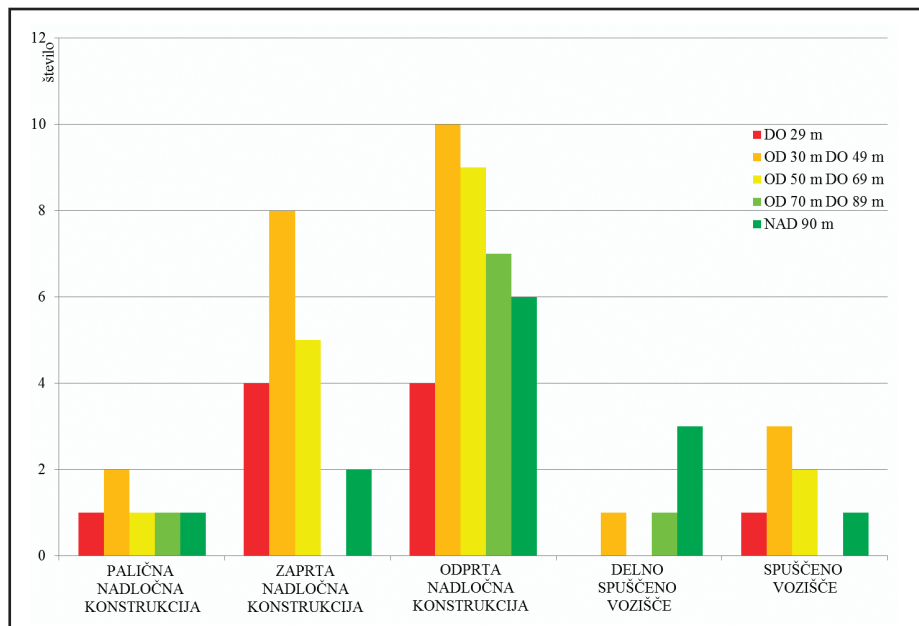
5.2 Pogostost mostov v odvisnosti od položaja voziščne površine in razpona

Slika 5 prikazuje 73 tričlenkastih ločnih mostov, analiziranih glede položaj voziščne površine in na razpon. Prikazanih je pet kategorij položaja voziščne površine glede na ločno mostno konstrukcijo: nadločna konstrukcija (ki je razdeljena na palično nadločno konstrukcijo, na zaprto nadločno konstrukcijo in na odprto nadločno konstrukcijo), delno spuščeno vozišče in spuščeno vozišče. Tudi razpon je razdeljen na pet skupin: do 29 metrov, sledijo tri kategorije po 20 metrov in nad 90 metrov.

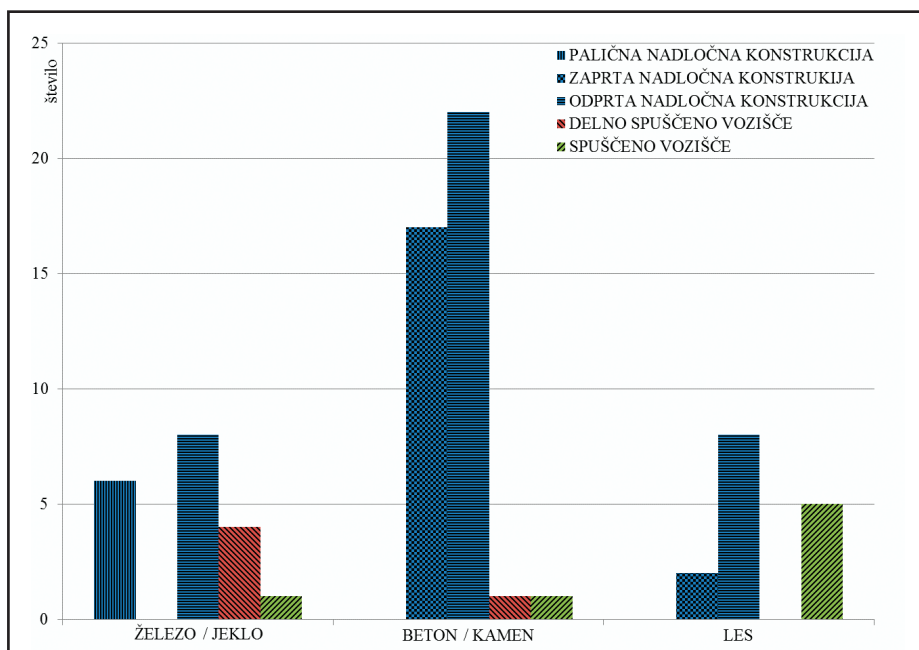
S slike ugotovimo, da v vseh razponih številčno prevladujejo mostovi z voziščno površino z odprto nadločno konstrukcijo, skupaj jih je 36. 19 je mostov z zaprto nadločno konstrukcijo, a med njimi ni nobenega, ki bi imel razpon med 70 in 89 metri. Le šest je mostov s palično nadločno konstrukcijo, a analizirani primeri zastopajo vse razpone. Pomembno je poudariti, da je med analiziranimi primeri le pet mostov z delno spuščanim voziščem, a od tega so kar trije v območju največjega razpona, torej več kot 90 metrov. Med obravnavanimi primeri je sedem spuščanih vozišč, med njimi ni nobenega z razponom med 70 in 89 metri. Za natančnejšo analizo bi bilo treba pridobiti večje število tričlenkastih mostov z delno spuščanim in spuščanim voziščem.

Primerjava pogostosti mostov v odvisnosti položaja voziščne površine od razpona je bila narejena na 73 tričlenkastih ločnih mostovih. Krajših od 30 metrov je 10 (14 %) tričlenkastih ločnih mostov. Največ mostov, 24 (33 %), ima razpon od 30 do 49 metrov; od tega je 20 mostov z nadločno konstrukcijo (skupaj so štete palična, zaprta in odprta nadločna konstrukcija). Razpon med 50 in 69 metri ima 17 (23 %) mostov, med njimi je 15 mostov z nadločno konstrukcijo, mostu z delno spuščanim voziščem v tej kategoriji ni. Devet (12 %) mostov ima razpon od 70 do 89 metrov, od tega jih je osem z nadločno konstrukcijo, mostu s spuščanim voziščem ni med njimi. Daljših od 90 metrov je 13 (18 %) mostov, od tega je devet mostov z voziščem nad ločno konstrukcijo, trije mostovi z delno spuščanim voziščem in en most s popolnoma spuščanim voziščem.

Skupno je mostov, ki imajo nadločno konstrukcijo, kar 61 (83 %), od tega ima 6 (8 %) mostov palično nadločno konstrukcijo, 19 (26 %) mostov zaprto nadločno konstrukcijo in 36



Slika 5 • Število mostov glede na razpon in material.



Slika 6 • Število mostov glede na material in položaj voziščne površine.

(49 %) odprto nadločno konstrukcijo. Mostov z delno spuščanim voziščem je 5 (7 %), mostov s popolnoma spuščanim voziščem pa 7 (10 %).

5.3 Pogostost mostov v odvisnosti od materiala in položaja voziščne površine

Na sliki 6 je predstavljenih 75 tričlenkastih ločnih mostov, analiziranih glede na material in položaj voziščne površine. Prikazani so trije materiali, železo oziroma jeklo, beton oziroma kamen in les, ter več možnosti

položaja voziščne površine. Tudi tu je položaj voziščne površine razdeljen na tri skupine: nadločna konstrukcija s tremi podskupinami, delno spuščeno vozišče in spuščeno vozišče. Zaznamo lahko, da je odprta nadločna konstrukcija prevladujoča v vseh treh materialih, skupaj je več kot polovica takšnih mostov. Palično nadločno konstrukcijo so izdelovali izključno iz železa oziroma jekla. Samo odprto nadločno konstrukcijo so naredili v vseh treh materialih. Med analiziranimi primeri ni delno spuščene vozišča, narejenega v lesu.

Številčno je največ tričlenkastih ločnih mostov iz betona oziroma kamna, skupaj 41.

Primerjava števila mostov glede na material in položaj voziščne površine je bila narejena na 75 tričlenkastih ločnih mostovih, od tega jih ima 63 (84 %) vozišče nad ločno konstrukcijo, 5 (7 %) delno spuščeno vozišče in 7 (9 %)

popolnoma spuščeno vozišče. Če pogledamo še natančneje, vidimo, da ima 6 (8 %) mostov palično nadločno konstrukcijo, 19 (25 %) zaprto nadločno konstrukcijo in 38 (51 %) odprto nadločno konstrukcijo.

Mostove s palično nadločno konstrukcijo so gradili le iz železa oziroma jekla, zaprto

nadločno konstrukcijo pa le iz betona oziroma kamna in lesa. Le dva primera, ko je voziščna površina nad odprto ločno konstrukcijo, in če je vozišče spuščeno, so zgradili v vseh treh materialih. Med analiziranimi primeri ni delno spuščena vozišča, ki bi ga naredili v lesu.

6 • ZAKLJUČEK

Tričlenkasta ločna konstrukcija pravimo konstrukciji, ki je sestavljena iz dveh lokov in treh členkov. Dva členska sta običajno ob obeh podporah konstrukcije, tretji članek je v temenu konstrukcije in povezuje oba loka. Vsi trije členki skrbijo za gibkost konstrukcije, ki je pomembna zaradi manjše občutljivosti za morebitne pomike. Pomiki nastanejo ob temperaturnih nihanjih konstrukcije (raztezki in skrčki konstrukcije), zaradi slabe nosilnosti tal ali erozijskega izpodjedanja, zaradi slabo izdelanih temeljev, krajnih opornikov ali vmesnih podpornikov in ob potresih.

Razvoj tričlenkaste konstrukcije se je začel s teoretičnimi izhodišči, ki jih je postavil nemški inženir Claus Köpcke leta 1861 in nadaljeval s prvimi zgrajenimi tričlenkastimi ločnimi mostovi leta 1865, narejenimi kot paličje iz kovanega železa po načrtih Johanna Wilhelma Schwedlerja v Berlinu (Unterspre-Brücke). Le dve leti pozneje v Ljubljani postavijo litoželezni most Hrdeckega z razponom 30 metrov. Izmed vseh analiziranih tričlenkastih ločnih mostov je torej najstarejši še ohranjeni tričlenkasti most prav Hrdeckega most v Ljubljani. Oktobra 2017 bo minilo 150 let, odkar so ga prvič postavili na mestu današnjega Čevljarskega mostu, leta 1932 so ga prestavili prvič, na sedanji lokaciji je od leta 2011.

Sledila je gradnja tričlenkastih ločnih mostov, narejenih kot paličje iz litiga železa ali

različnih jeklenih zlitin. Od prvega, najkrajšega razpona 17 metrov (Unterspre-Brücke) so inženirji še pred prelomom v 20. stoletje presegli mejo 100 metrov razpona z mostom Panther Hollow Bridge (109,8 metra).

Okoli leta 1900 so v mostogradnji začeli uporabljati tudi nove masivne materiale: leta 1893 so zgradili prvi tričlenkasti ločni most iz nearmiranega betona (Donaubücke) in hkrati preizkušali tri različne patentne sisteme armiranja betona. Po patentu armiranja s sistemom Melan je bil zgrajen Schwimmschulbrücke (1898), po patentu Hennebique Pont Camille-de-Hogues (1900) in po patentu Maillet Zuoz Brücke (1901). Vsi so imeli razpone med 35 in 50 metri in nadločno konstrukcijo zaprtega ali odprtega tipa.

V Parizu so leta 1904 zgradili prvi tričlenkasti ločni most z delno spuščeno voziščem, jekleni Viaduc d'Austerlitz, ki je s celotno dolžino razpona med krajnima členkoma 120 metrov (in 140 metrov med podporama) postavil takratni rekord v razponu tričlenkastih ločnih mostov. Do danes ga je presegel le leta 1960 zgrajeni jekleni most Puente Sal-sipedes s 130 metri razpona loka.

Med analiziranimi tričlenkastimi ločnimi mostovi je bilo do druge svetovne vojne zgrajenih več kot 50 mostov, a med vojno so jih porušili kar deset, tudi najstarejšega izmed analiziranih mostov s popolnoma

spuščeno voziščem, Pont de Persan-Beaumont (porušen l. 1940). Gradnja tričlenkastih ločnih mostov se je po drugi svetovni vojni močno zmanjšala. Most Pont de la Grande Côte (1960) z razponom 101 meter je prvi primer gradnje iz prednapetega armiranega betona. Naslednji mejnik je Keystone Wye Interchange (1968), prvi tričlenkasti ločni most iz lameliranega lepljenega lesa. Najdaljši izmed mostov iz lameliranega lepljenega lesa je tričlenkasti most s spuščeno voziščem, Ponte Bonatti (2001), ki z 72 metri razpona leži v krajinskem parku pri mestu Barberino del Mugello v Toskani. Analiza kaže na močno prevlado tričlenkastih ločnih mostov iz lameliranega lepljenega lesa v zadnjih tridesetih letih, njihov povprečni razpon je 38 metrov. Vsi mostovi iz lameliranega lepljenega lesa so prefabricirani in prepeljani na lokacijo gradnje, zato so omejeni v svojem razponu. Njihova velika prednost je, da je vsak ločni razpon sestavljen iz dveh delov, ki jih s členkom sestavijo šele na gradbišču samem. Ti mostovi imajo tri različne podtipove povezave voziščne ploskve s tričlenkasto ločno konstrukcijo. Prvi podtip je povezava nadločne konstrukcije in voziščne ploskve s stebri, drugi podtip je zaprta povezava konstrukcije z voziščem, tretji podtip je popolnoma spuščeno vozišče.

Analiza 76 tričlenkastih ločnih mostov glede na tri kriterije pokaže, da je najbolj pogost tričlenkasti ločni armiranobetonski most z odprto nadločno voziščno konstrukcijo in z razponom 60,4 metra.

7 • LITERATURA

Dupuit, J., *Traité de l'équilibre des voutes et de la constructions des ponts en maçonnerie*, Paris, Dunod, 1870.

Köpcke, C., Über die Konstruktion einer steifen Hängebrücke, *Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins Hannover* 7, 231–261, 1861.

Kuhta, M., Brunčič, A., Člen(ski) in členk(ast)i, *Gradbeni vestnik*, 64, 10, 239–241, 2015.

Pržulj, M., *Mostovi: zasnova, projektiranje, konstruiranje, zanesljivost, gradnja, gospodarjenje, obnova*. Beletrina, Ljubljana, 2015.

Slivnik, L., Three-hinged structures in a historical perspective. V: Cruz, P.J.S. (ur.), *Structures and architecture: concepts, applications and challenges*, London, CRC Press, Taylor & Francis Group, A Balkema book, 1088–1095, 2013.

Slivnik, L., History and classification of three-hinged arch bridges. V: Biliszczuk, J. (ur.), *ARCH 2016: arch bridges in culture*, 8th International Conference on Arch Bridges, Wrocław, Poland, October 5-7 2016, Wrocław, DWE, 187–198, 2016.

Structurae.net, <https://structurae.net/structures/bridges-and-viaducts/three-hinged-arch-bridges/list>, pridobljeno 15. 1. 2017.

KORISTNOST KORISTNE OBTEŽBE

doc. dr. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad.

miso.kuhta@um.si

Univerza v Mariboru, FGPA, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

Ana Brunčič, mag. inž. grad., univ. dipl. nov.

ana.bruncic1@um.si, koning@siol.net

Univerza v Mariboru, FGPA, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

Koning, d. o. o, Mestni trg 7, 3210 Slovenske Konjice

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK UDK 519.876.5:691.328.1

Povzetek | V Terminološkem kotičku je obravnavan pojav (srbo)hrvatizmov v gradbeniškem strokovnem jeziku. Pridevnik *termina koristna obtežba* je enakozvočnica, beseda, ki v slovenščini in hrvaščini zveni enako, vendar njuna pomena v obeh jezikih ni sta enaka. Ker je koristen v hrvaščini uporabljen prav v tistem pomenu, ki ga v slovenščini nima, je uporaba tega pridevnika v slovenščini nesmiselna. Nužen je strokovni premislek in določitev ustrežnejšega izraza.

Ključne besede: gradbeništvo, terminologija, koristna obtežba, hrvatizem

1 • UVOD

Če kje, potem je spomin na »dobre stare čase« bratstva in enotnosti zelo živ pri Slovencih. Če se nam ne skomina po nlegalnem uvažanju kave, kavbojk, pralnega praška in banan ali parnih in neparnih registrskih številkah, pa se zelo goreče

oklepamo hrvatizmov in srbizmov v našem jeziku. Letni vrt in letne gume namesto poletnega vrta in poletnih gum, otvoritev namesto odprtja, kasneje namesto pozneje, bivši namesto nekdanji, smatrati namesto meniti ... To je le del ostankov nekdanje

srbohrvaščine v slovenščini, za katere imamo slovenske izraze, pa jih le mukoma uporabljamo, ker menda ne delujejo dovolj domače. Nekaj takih ostankov še vedno vztrajno ohranjamo tudi v gradbeniškem izrazju. Stroka je bila nekdanj vendarle opisana predvsem v nekdanji srbohrvaščini, s prevajanjem pa se nihče ni ukvarjal, ker se to nikomur ni zdelo pomembno. Očitno.

2 • RAZPRAVA

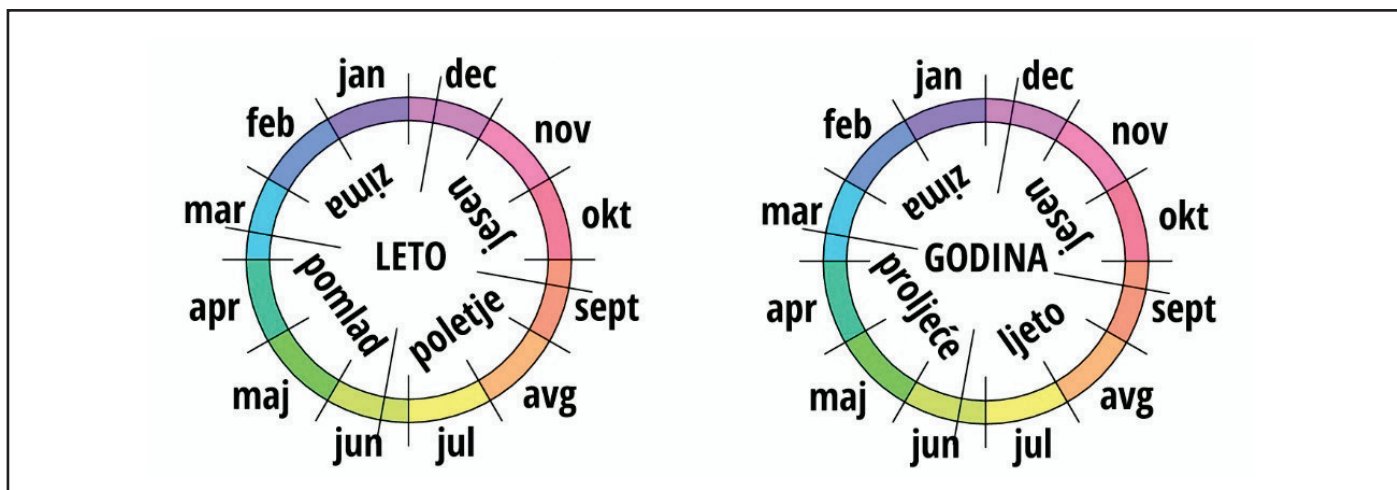
Tokrat se bomo lotili termina *koristna obtežba* oz. pridevnika te besedne zveze, ki bi ga bilo nekoč morda dobro prenesti v slovenščino. *Koristna obtežba* je – podobno kot letne gume, letni vrt, letno kopališče in letne olimpijske igre – v slovenščini precej nesmiselna besedna zveza. Zakaj? Ker sta oba pridevnika prevzeta iz nekdanje srbohrvaščine, kjer imata, čeprav zvenita zelo podobno, malone enako, drugačen pomen kot v slovenščini, in »Slovinci take besede radi nekritično sprejememo kot slovenske tudi v neslovenskem pomenu, za katerega imamo sicer že ustrezno ustaljeno besedo« (Kalin Golob, 2003). *Ljeta* v nekdanji srbohrvaščini pomeni obdobje oz. letni čas med 21. junijem in 23. septembrom. V slovenščini torej *poletje*. Pridevnik *ljetan* pa je potemtakem v slovenščini *poleten*. Izraz *leta*, ki ga v besedni zvezi letne gume uporabljamo kot slovensko različico hrvaškega *ljeta*, v slovenščini pomeni čas dvanajstih mesecev,

ki se začne 1. januarja in traja do 31. decembra. Z nepremišljenim prenosom hrvaškega pridevnika *ljetan* v slovenskega *leten* smo gume, vrt, kopališče in olimpijske igre, vse povezane s poletjem, spremenili v take, ki trajajo celo leto (slika 1). S tako uporabo »/z/-aradi slabega jezikovnega občutka zamajemo ustaljeno rabo in s tem negativno vplivamo na slovenski semantični sistem, povzročamo nejasnosti in nesporedume« (Kalin Golob, 2003). Prav tako kot *leten* je tudi **koristen** oz. *koristiti* zaradi enakozvočnosti zamajal pomenski sistem slovenščine. »V hrvaščini namreč pomeni

tudi tisto, za kar ima slovenščina ustaljen in jasen pomen v besedah *uporabiti* in *izrabiti*.« (Kalin Golob, 2003) Slovensko je *koristen* pridevnik, ki pomeni tak, 1. *ki daje, prinaša ugodne, pozitivne posledice* in 2. *od katerega ima kdo določeno vrednoto* (SSKJ, 2016), v hrvaščini pa je tema dvema pomenoma dodan tudi 3. *uporaben* (Hrvatski jezični portal) in prav ta pomen je tisti, ki ga ima pridevnik v besedni zvezi *korisno opterečenje*. Pridevnik *koristen* v besedni zvezi *koristna obtežba*, ki smo jo prenesli iz hrvaščine, torej nima pomena, ki ga ima ta pridevnik v hrvaščini, in ga zato v slovenščini ne moremo uporabiti za pomen, ki ga ima v hrvaščini (preglednica 2). Izraz *koristna obtežba* bi lahko – brez tehtnega

SLOVENŠČINA	(SRBO)HRVAŠČINA
letne gume	ljetne gume
Gume, ki so v uporabi celo leto (12 mesecev).	Gume, ki so v uporabi poletji (3 mesece).

Preglednica 1 • Letne gume in ljetne gume



Slika 1 • Leto v slovenščini in ljeto v (srbo)hrvaščini.

premisleka – napačno v slovenščino uvozili tudi z brezglavim »prevajanjem« nemščine. V nemščini namreč uporabljajo *Nutzlast*, kjer je eden od pomenov samostalnika *Nutz* tudi *korist*. Vendar *Nutzlast* v nemščini ne izhaja iz *koristi* (*Nütz*), pač pa iz *uporabe* (*Nutzung*), kjer je pomen nedvoumen (preglednica 3, slika 2).

Pregled sodobnega izrazja za tovrstno obtežbo po bistvenih evropskih jezikih (slika 2) daje jasen uvid, da je slovenščina jezik, kjer izraz ni premišljen, zaradi enakozvočnosti preprosto prevzet iz hrvaščine (ali preveden iz nemščine) in malone v nasprotju s stroko: *koristna obtežba* je namreč obtežba, ki daje ugodne posledice – po evrokodovsko gre torej za *ugodno delujočo obtežbo* –, in ne obtežba, ki je odvisna od uporabe objekta.

Sodobni strokovni jezik se seveda razvija in v tujih jezikih sta opazna trezen razmislek in očiten napredek pri izrazju za obtežbe. V preglednici 4 je prikaz izrazja za koristno obtežbo, zbranega v Mednarodnem rječniku arhitekture, građevinarstva i urbanizma (Čampara, 1984). Tako zbrano besedišče je sicer pomoč pri raziskovanju izrazja, vendar je marsikateri tujejezični izraz preprost dobesedni prevod domačega, ki z dejanskim pojmom nima nič skupnega: oba angleška izraza, navedena v tej publikaciji, sta v strokovni angleščini neznanki, saj je v uporabi od nekdanj izraz *live load*. Tehničar (Višnjić, 1984), izdan istega leta kot Mednarodni rječnik, za tovrstno obtežbo navaja izraz *pokretno (korisno) vertikalno opterećenje*.

V sodobni hrvaščini je izrazje deloma predelano: po evrokodovsko so *actions* v hrvaščini *djelovanja*, *live load* pa *uporabno opterećenje* in se deli na *uporabna*

SLOVENŠČINA	HRVAŠČINA
koristna obtežba	korisno opterećenje
Obtežba, ki prinaša korist.	Obtežba, ki izhaja iz uporabe objekta.

Preglednica 2 • Koristna obtežba in koristno opterećenje

Kategorie	Nutzung
A	A1 Spitzböden
	A2 Wohn- und Aufenthaltsräume
	A3
B	B1 Büroflächen, Arbeitsflächen
	B2
T	T1 Treppen und Treppenpodeste
	T2
Z	Balkone

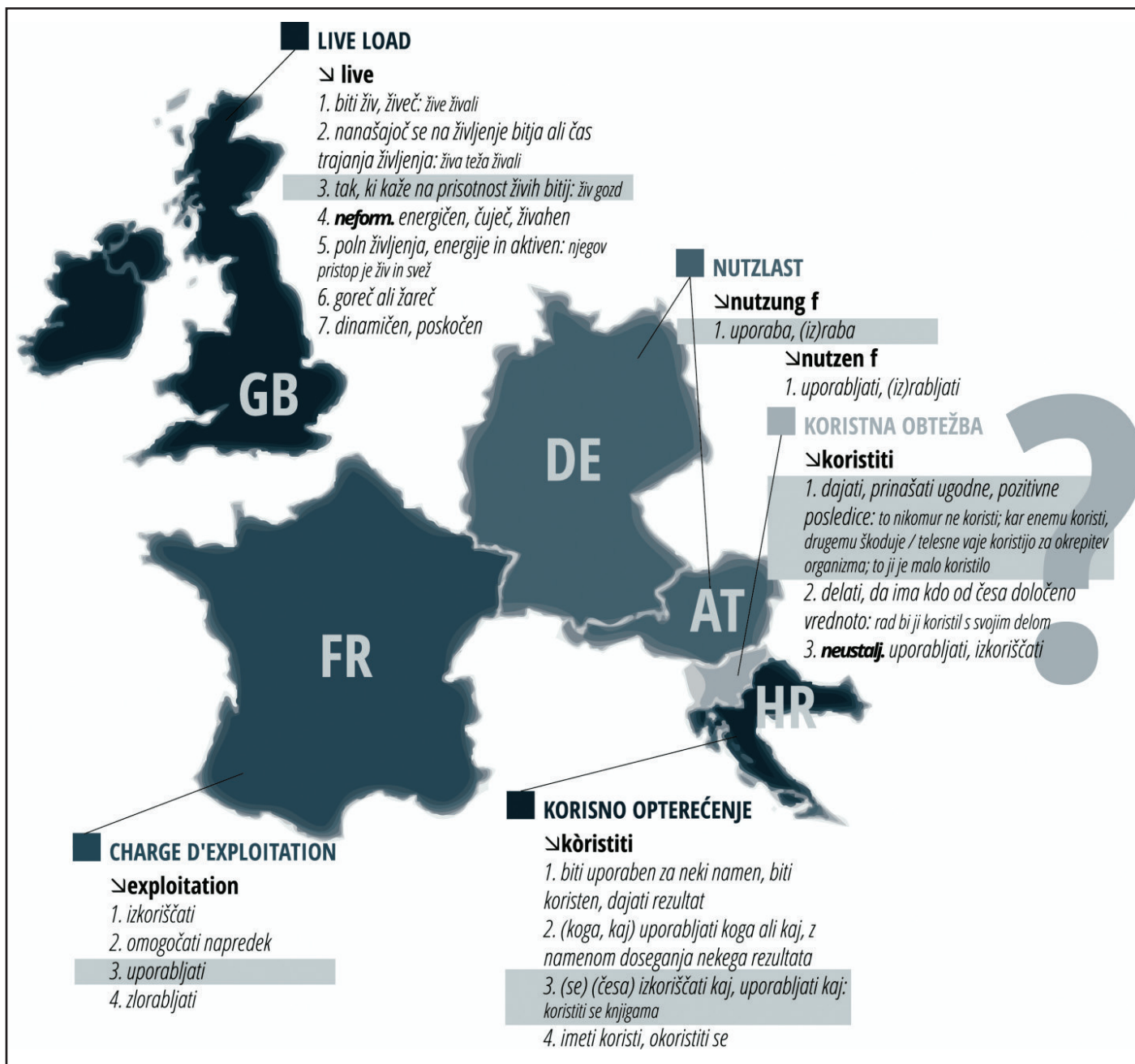
Preglednica 3 • Nutzlasten po DIN 1055-3 (DIN, 2006)

ANGLEŠČINA	NEMŠČINA	FRANCOŠČINA	HRVAŠČINA
Work load	Nutzlast (f)	Charge de service	Korisno opterećenje
Useful load	Betriebslast (f)	Charge de utile	Radno opterećenje
(Live load)	Gebrauchtslast (f)	Surcharge d'exploitation	

Preglednica 4 • Koristna obtežba v Mednarodnem rječniku arhitekture, građevinarstva i urbanizma (Čampara, 1984)

Evrokod 1 (2005)				
ANGLEŠČINA	NEMŠČINA	FRANCOŠČINA	HRVAŠČINA	SLOVENŠČINA
Imposed load for buildings (Live load)	Nutzlast im Hochbau	Charge d'exploitation bâtiments	Uporabno opterećenje zgrada	Korisna obtežba stavb

Preglednica 4 • Koristna obtežba v Mednarodnem rječniku arhitekture, građevinarstva i urbanizma (Čampara, 1984)



Slika 2 • Koristna obtežba v tujih jezicah

opterečenja zgrada in uporabna opterečenja mostova, t. i. prometna opterečenja. Definicija izraza uporabno opterečenje zgrade je povsem skladna z definicijo izraza koristno opterečenje: »Obtežba uporabe v zgradbah je tista, ki izhaja iz same uporabe in je pretežno modelirana kot enakomerno

razporejena obtežba. Karakteristične vrednosti te vrste obtežbe so odvisne od namembnosti objekta oziroma prostora.«¹ (Radić, 2006)
 Iz preglednic 4 in 5 je očitno, da so tuji (evropski) jeziki izraz večinoma ohranili ali ga malenkostno priredili (preglednica 5): stroko-

vna angleščina tako še vedno uporablja izraz *live load*, v standardu pa so ga posplošili na *imposed load*; vsekakor pa izraz v vseh jezikih – razen v slovenščini – že ves čas pomeni obtežbo, ki je odvisna od uporabe (eksploatacije) konstrukcije oz. njene namembnosti.

1 Uporabno opterečenje u zgradama je ono koje proizlazi iz samog korištenja i uglavnom je modelirano jednoliko raspoređenim opterećenjem. Karakteristične vrijednosti ove vrste opterečenja dane su u ovisnosti o namjeni zgrade, odnosno prostorije.

3 • SKLEP

Iskanja ustrežnejšega izraza za koristno obtežbo bi se bilo dobro lotiti čim prej. Ozi-
raje se na hrvaščino, spet obstaja skušnjava

prevzeti njihov izraz uporabna obtežba. Ta
seveda v slovenščini ni ustrezen, ker uporabna
obtežba pomeni obtežbo, ki je uporabna, ne

pa odvisna od uporabe. Slovenski ustreznik
je torej obtežba uporabe, obtežba namemb-
nosti ali namembnostna obtežba. Če bo kdaj
v slovenščini dejansko zaživela – ker je tako
poimenovanje logično in slovensko – pa je
odvisno od stroke. Popravek v evrokodih bi
lahko bil prvi korak v to smer.

4 • LITERATURA

Čampara, E., Međunarodni rječnik arhitekture, građevinarstva i urbanizma, Grafički zavod Hrvatske, 1984.

DIN 1055-3: 2006 Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 3 Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten

Hrvatski jezični portal, dostopno prek <http://hjp.znanje.hr/>, 1. 2. 2017.

Evrokod 1, SIST EN 1991-1, 2005.

Eurokod 1, HRN ENV 1991-1, 2005.

Euronorm 1, DIN EN 1991-1-1, 2010.

Kalin Golob, M., Jezikovne reže 2, GV Revije, Ljubljana, 2003.

Radić, J., Osnove proračuna i djelovanja na konstrukcije, dostopno prek <http://www.grad.hr/gukov/pdf/djelovanja.pdf>, 1. 2. 2017.

SAZU, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Slovar slovenskega knjižnega jezika, spletna oblika, dostopno prek <http://www.fran.si/130/sskj-slovar-slovenskega-knjiznega-jezika>, 1. 2. 2017.

SEAC, dostopno prek <http://www.seac-gf.fr/seac-infos-bati-infos-charges-d-exploitation.pdf30.p163.php>, 1. 2. 2017.

Višnjic, M., ur., Tehničar, Građevinski priručnik, Građevinska knjiga, Beograd, 1984.

Wikipedia, dostopno prek https://en.wikipedia.org/wiki/Structural_load, 1. 2. 2017 in [https://de.wikipedia.org/wiki/Nutzlast_\(Bauwesen\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Nutzlast_(Bauwesen)), 1. 2. 2017.

DRUGI SLOVENSKI KONGRES O VODAH

Na pobudo Društva vodarjev Slovenije in po skoraj enoletnih pripravah, pri katerih je sodelovalo štirinajst nevladnih strokovnih združenj, vključno z Inženirsko zbornico Slovenije, ter Direkcija za vode RS smo 19. in 20. aprila v Podčetršku izvedli 2. slovenski kongres o vodah. Kongres je bil zasnovan in je tudi potekal z vodilno mislijo »Voda povezuje«; združil je namreč številne stroke s področja voda, ki jim v vsakdanjem življenju primumanjuje medsebojne komunikacije in razumevanja različnosti. Eden od motivov za kongres je bil označitev 70-letnice delovanja dveh najstarejših vodnogospodarskih podjetij v Sloveniji, VGP Drava Ptuj in Hidrotehnik. Zbralo se je več kot 200 udeležencev, ki so v osrednjem delu dogodka prisluhnili devetim vabljenim predavanjem ter 78 prijavljenim prispevkom. Vsa predavanja so bila snemana v organizaciji Inženirske zbornice Slovenije in so na voljo tudi na spletni strani Kongresa. Prispevki so bili razvrščeni v 4 tematske sklope:

- Varnost objektov na vodah in varnost ljudi pred nevarnim delovanjem voda
- Upravljanje voda in dejavnosti v vodnem prostoru
- Raba voda in vodni ekosistemi
- Vode in participacija javnosti pri odločanju

Na te sklope so se nanašala tudi vabljena predavanja:

- Od pitne vode do škodljivega delovanja vodá (Matjaž Mikoš)
- Upravne in strokovne naloge na področju upravljanja voda – stanje in perspektive (Tomaž Prohinar)
- Slovenske velike pregrade: stanje, perspektive in ovire (Andrej Širca)
- Podzemne vode – med naravoslovjem, tehniko, družbenim in političnim (Mihael Brenčič)
- Vodni viri, vodna infrastruktura in razumevanje celovitega upravljanja voda (Lidija Globevnik)
- Večnamenski projekt na spodnji Savi kot element trajnostnega razvoja (Andrej Vizjak)
- Vodni ekosistemi v sodobnih družbenih diskurzih (Mihael J. Toman)
- Vloga prostorskega načrtovanja pri zagotavljanju odpornosti proti poplavam (Maja Simoneti)

- Vodni svetovi: novejši pristopi k družbenemu raziskovanju voda in vodnega okolja (Pavel Gantar)

Poleg ožjega strokovnega dela kongresa so bili organizirani spremljevalni dogodki za širšo javnost: okrogla miza z naslovom »Urejanje vodotokov in varstvo voda – stalnost, stabilnost, predvidljivost«, razstava in podelitev priznanj ob 20-letnici izvajanja likovno-literarnega in raziskovalnega osnovnošolskega programa »Vodni defektiv«, fotografska razstava šol UNESCO ASP ter demonstracija več modelov toka površinskih in podzemnih voda.

Kljub vsej različnosti strok in udeležencev je bilo mnenje večine, da je kongres organiziran v pravem trenutku in da je treba tudi po kongresu aktivnosti nadaljevati v skladu z vodilom »Voda povezuje«. V pripravi je končni dokument kongresa, ki bo objavljen na kongresni spletni strani: <http://www.kongresvode2017.si/>.

Posnetek kongresa, vključno z enourno dis-

kusijo ob okrogli mizi, je objavljen na spletni strani Inženirske zbornice Slovenije (e-izobrazevanja, Strokovni dogodki), na naslovu: <http://www.izs.si/e-izobrazevanja/strokovni-dogodki/drugi-slovenski-kongres-o-vodah-2017/>

Posnetki vabljenih predavanj obsegajo približno 20 minut, predstavitev rednih prispevkov pa so bile omejene na 4 minute, v katerih so avtorji predstavili bistvene rezultate prispevka in zaključke ali predloge za nadaljnjo diskusijo. Na spletni strani IZS so prispevki pregledno urejeni po zaporedju predstavitve na kongresu, zato zainteresiranim bralcem svetujemo sočasen pregled programa kongresa (http://www.kongresvode2017.si/drugi_slovenski_kongres_o_vodah_2017_program.pdf) in snemanih prispevkov.

Organizatorji kongresa se zahvaljujemo vsem podpornikom, ki so omogočili strokovno kakovosten in sočasno družaben dvodnevni dogodek. Ob tem upamo, da bo 2. slovenski kongres o vodah marsikomu pomenil oporno točko, motiv in vir referenc za iskanje novih poti na področjih, ki se neposredno ukvarjajo z vodo ali se je zgoj dotikajo.



Del razpravljavcev ob okrogli mizi »Urejanje vodotokov in varstvo voda – stalnost, stabilnost, predvidljivost«. Od leve proti desni: Klemen Zajc (Hidrotehnik), Tomaž Prohinar (Direkcija RS za vode), Leon Behin (MOP – Direktorat za vode in investicije), dr. Lidija Globevnik (Društvo vodarjev Slovenije). Sodelovali so še Darij Krajčič (Zavod RS za varstvo narave), Srečko Šestan (Uprava RS za zaščito in reševanje), Borut Roškar (Drava – vodnogospodarsko podjetje Ptuj) in voditelj Igor E. Bergant.



Slavnostni govornik plenarnega zasedanja ob 70-letnici slovenskega vodarstva je bil Franci Avšič. vodnogospodarsko podjetje Ptuj) in voditelj Igor E. Bergant.



V okviru tematskega sklopa 4: Vode in participacija javnosti pri odločanju je bila pripravljena razstava ob 20-letnici izvajanja programa Vodni detektiv ter prikazanih več modelov objektov, tako statičnih (na sliki) kot interaktivnih (naslednja slika).



Posebnost kongresa, katerega eden od ciljev je bilo izboljšanje sodelovanja javnosti pri zadevah v zvezi z vodo, je bilo sodelovanje več osnovnih in srednjih šol. Osnovnošolci so z navdušenjem prikazovali npr. delovanje vodne erozije (na sliki), dijaki Gimnazije Ptuj pa so opravili anketo o okoljski ozaveščenosti udeležencev kongresa in v zaključku drugega dne kongresa tudi predstavili njene rezultate.



Razpravljanje v okviru sklopa 2:

Upravljanje voda in dejavnosti v vodnem prostoru.

dr. Andrej Širca (SLOCOLD)
dr. Lidija Globevnik (DVS)

ZADNJI PRIPRAVLJALNI SEMINAR IN IZPITNI ROK ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2017

SEM INAR	IZPIT	
	Osnovni in dopolnilni	Revidiranje
09. - 11. 10.	28. in 29. 11.	25.10.

A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:

Seminarje organizira **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana;**

Telefon: (01) 52-40-200; Fax: (01) 52-40-199;

e-naslov: gradb.zveza@siol.net; gradbeni.vestnik@siol.net.

Uradne ure:

ponedeljek, torek, sredo, četrtek od 09.00 do 14.00 ure;

v petek ni uradnih ur za stranke!

Seminar vključuje **izpitne programe** za:

1. odgovorno projektiranje (osnovni in dopolnilni strokovni izpit)
2. odgovorno vodenje del (osnovni in dopolnilni strokovni izpit)
3. odgovorno vodenje posameznih del
4. Investicijski procesi in vodenje projektov (za kandidate, ki opravljajo dopolnilni strokovni izpit; predavanje se odvija v okviru rednih seminarjev)
5. Kandidati lahko poslušajo tudi zgolj posamezna predavanja v okviru rednih seminarjev

(Vsi posamezni programi so dostopni na spletni strani IZS - MSG:

<http://www.izs.si>, v rubriki »Strokovni izpiti«)

Cena za udeležbo na seminarju in literaturo po izpitnih programih pod 1., 2. in 3. točko znaša 623,22 EUR, pod 4. točko pa 89,10 EUR. Cena za obisk posameznega predavanja (točka 5) je 89,10 EUR. Vse cene vključujejo DDV.

Kotizacijo za seminar je potrebno nakazati ob prijavi

na poslovni račun ZDGITS: **SI56 0201 7001 5398 955.**

Prijavo je treba posredovati organizatorju (ZDGITS) najkasneje **7 dni pred pričetkom** seminarja! Prijavni obrazec je objavljen na spletni strani ZDGITS (<http://www.zveza-dgits.si>).

Izvedba seminarja je odvisna od števila prijav (najmanj 20).

B. STROKOVNI IZPITI

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS), Jarška 10-B, 1000 Ljubljana**. Informacije o strokovnih izpitih in izpitnih programih je mogoče dobiti na spletni strani IZS (www.izs.si), po telefonu (01) 547-33-19 (uradne ure: ponedeljek, sredo, četrtek, petek od 10.00 do 12.00 ure; v torek od 14.00 do 16.00 ure) ali osebno na sedežu IZS (uradne ure: ponedeljek, sredo, četrtek, petek od 08.00 do 12.00 ure; v torek od 12.00 do 16.00 ure).

KOLEDAR PRIREDITEV

12.-14.6.2017

EATA 2017 – 7th International European Asphalt Technology Association Conference

Zürich, Švica
<http://eata2017.empa.ch/>

21.-23.6.2017

ICNF2017 - 3rd International Conference on Natural Fibers

Braga, Portugalska
www.icnf2017.fibrenamics.com/

5.-9.7.2017

10th World Congress on water resources and environment "Panta Rhei"

Atene, Grčija
<http://ewra2017.ewra.net//>

15.-19.7.2017

GeoMEast 2017 International Conference "Sustainable Civil Infrastructures: Innovative Infrastructure Geotechnology"

Sharm El-Sheik, Egipt
www.geomeast2017.org/

5.-8.9.2017

ISPE-2017 – XI International Symposium on Permafrost Engineering

Magadan, Rusija
<http://mpi.ysn.ru/en/permafrost-engineering-symposiums>

13.-15.9.2017

SMAR 2017 – 4th International Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures

Zürich, Švica
www.smar2017.org/

13.-15.9.2017

Eurosteel Copenhagen 2017 – European Conference on Steel and Composite Structures

Kobenhavn, Danska
www.eurosteel2017.dk/

21.-22.9.2017

CIRRE – 2nd Conference of Interdisciplinary Research on Real Estate

Cartagena, Španija
www.cirre.eu/

2.-4.10.2017

3rd International Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete (UHPRC)

Montpellier, Francija
www.afgc.asso.fr/UHPRC2017

11.-13.10.2017

3rd ReSyLAB – 3. Regional Symposium on Landslides in Adriatic-Balkan Region

Ljubljana, Slovenija
www.geo-zs.si/ReSyLAB2017/

11.-13.10.2017

4th ICEES - International Conference on Earthquake Engineering and Seismology

Eskişehir, Turčija
www.tdmd.org.tr/TR/Genel/KonferansAnaSayfaEN.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EFFB0FF6CAD6E83E4E

20.-22.11.2017

ICCEN 2017 – 6th International Conference on Civil Engineering

Brisbane, Avstralija
www.iccen.org/

8.-10.3.2018

ICACE 2018 – International Conference on Architecture and Civil Engineering 2018

Hong Kong, Kitajska
<http://icace.coreconferences.com/>

Rubriko ureja • **Eva Okorn**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: gradb.zveza@siol.net

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

I. STOPNA - VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Dejan Bojanec, Vpliv deleža finih zrn na strižno trdnost peska, mentorica izr. prof. dr. Ana Petkovšek; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=91874>

I. STOPNJA - UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Jure Stamač, Obnova toplotnega stavbnega ovoja večstanovanjske stavbe z vrednotenjem ekonomske upravičenosti, mentor doc. dr. Roman Kunič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=91873>

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Matic Kotnik, Uporaba BIM pri projektiranju prenove in vzdržljivosti, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=91872>

Nina Kepic, Analiza trga nezazidanih stavbnih zemljišč v Republiki Sloveniji v obdobju od januarja 2007 do decembra 2014, mentorica izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač, somentor asist. mag. Matija Polajnar; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=91871>

Sabina Saje, Parametrični model zaletišča in doskočišča smučarske skakalnice, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=91876>

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM OKOLJSKEGA GRADBENIŠTVA

Matej Radinja, Modeliranje in ocena vplivov razpršenih ukrepov zadrževanja in ponikanja meteorne vode na odtok iz urbanega povodja, mentor doc. dr. Primož Banovec, somentorja doc. dr. Nataša Atanasova in izr. prof. dr. Joaquim Comas Matas; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=91814>

Barbara Novak, Vpliv mikrostrukture padavin in indeksa listne površine na prestrežanje padavin, mentorica izr. prof. dr. Mojca Šraj, somentorica asist. Katarina Zabret; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=91812>

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM STAVBARSTVA

Maja Marič, Vpliv dodatkov na razporeditev vode in trdnostne karakteristike 3D tiskanih preizkušancev z uporabo metode selektivne aktivacije vezanja cementa, mentorica prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor dr. Dirk Lowke; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=91877>

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO

I. STOPNJA - VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Bojan Glazer, Identifikacija poškodb s predlogom sanacije: primer regionalne ceste R2-434/1352 Radlje - Radeljski prelaz, mentor izr. prof. dr. Marko Renčelj, somentorica viš. pred. mag. Vlasta Rodošek; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=65411>

Martin Mlakar, Operativno planiranje in tehnološki procesi gradnje logističnega centra Dacar v Kranju, mentor dr. Uroš Klanšek, somentor asist. Zoran Pučko; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=65363&lang=slv>

Borut Štelcar, Sanacija poslovno - stanovanjskega objekta, mentor red. prof. dr. Andrej Štrukelj, somentor asist. Zoran Pučko; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=65517&lang=slv>

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Anja Črep, Hidrološko - hidravlična študija odseka vodotoka Lučnica v naselju Luče s programom HEC - RAS 2D, mentorica doc. dr. Janja Kramer Stajniko; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=65501&lang=slv>

Urh Pavič, Planiranje gradnje s pomočjo 4D informacijskega modela gradbenega objekta v programski opremi Vico Office R5, mentor dr. Uroš Klanšek, somentor asist. Zoran Pučko; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=65480>

Barbara Škovic, Izravnava GNSS in tahimetričnih meritev, mentor izr. prof. dr. Boštjan Kovačič, somentor doc. dr. Rok Kamnik; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=65481&lang=slv>

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

INTERDISCIPLINARNI MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVO – Bolonjski študijski program 2. stopnje

Mića Gavrić, Test interoperabilnosti na primeru izbranih aplikacij odprtega informacijskega modeliranja objektov, mentorja red. prof. dr. Danijel Rebolj in red. prof. dr. Duško Uršič; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=65311>

Rubriko ureja • Eva Okorn, gradb.zveza@siol.net