

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

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774  
Ljubljana, november 2008, letnik 57, str. 293-320

Izdajatelj:

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

Izdajateljski svet:

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

Glavni in odgovorni urednik:

**prof. dr. Janez Duhovnik**

Sodelavec pri MSG IZS:

**Jan Kristjan Juteršek**

Lektor:

**Jan Grabnar**

Lektorica angleških povzetkov:

**Darja Okorn**

Tajnica:

**Anka Holobar**

Oblikovalska zasnova:

**Mateja Goršič**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

**Kočeviski tisk**

Naklada:

**3000 izvodov**

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

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

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

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:

SI56 0201 7001 5398 955

## Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

- Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
- Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
- Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.
- Besedilo mora biti izpisano z znaki velikosti 12 pik z dvojnimi presledkom med vrsticami.
- Prispevki morajo imeti naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo prispevka.
- Besedilo člankov mora obvezno imeti: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); oznako ali je članek strokoven ali znanstven; nazive, imena in priimke avtorjev ter njihove naslove; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ..., naslov SKLEPI 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 dodatki označeni še z A, B, C, itn.
- Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni.
- Slike, preglednice in fotografije morajo biti omenjene v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Vse slike in fotografije v elektronski obliki (slike v običajnih vektorskih grafičnih formatih, fotografije v formatih .tif ali .jpg visoke ločljivosti) morajo biti v posebnih datotekah, običajne fotografije pa priložene.
- Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
- Kot decimalno ločilo je treba uporabiti vejico.
- Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki: (priimek prvega avtorja, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c, itn.
- V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime prvega avtorja (lahko okrajšano), priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
- 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.
- Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: FGG, Jamova 2, 1000 LJUBLJANA oz. janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V spremnem dopisu mora avtor članka napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren. Prispevke je treba poslati v enem izvodu na papirju in v elektronski obliki v formatu MS WORD in v 8. točki določenih grafičnih formatih.

Uredništvo

# Vsebina • Contents

## Nagrajeni gradbeniki

stran **294**

**IZR. PROF. DR. FRANC SAJE, ČASTNI ČLAN SLOVENSKEGA DRUŠTVA  
GRADBENIH KONSTRUKTORJEV**

## Članki • Papers

stran **295**

prof. dr. Matej Fischinger, univ. dipl. inž. grad.

dr. Miha Kramar, univ. dipl. inž. grad.

izr. prof. dr. Tatjana Isakovič, univ. dipl. inž. grad.

### **OCENA POTRESNE VARNOSTI ARMIRANOBETONSKIH MONTAŽNIH HAL Z MOČNIMI STIKI (2) – NUMERIČNO MODELIRANJE IN OCENA POTRESNEGA TVEGANJA**

SEISMIC SAFETY EVALUATION OF PRECAST INDUSTRIAL BUILDINGS WITH STRONG  
CONNECTIONS (2) – NUMERICAL MODELLING AND SEISMIC RISK ASSESSMENT

stran **303**

Nataša Šinkovec, univ. dipl. inž. grad.

izr. prof. dr. Goran Turk, univ. dipl. inž. grad.

doc. dr. Dejan Zupan, univ. dipl. inž. mat.

### **UPORABA UMETNIH NEVRONSKIH MREŽ PRI RAZVRŠČANJU LESENIH ELEMENTOV PO TRDNOSTI**

THE USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN STRENGTH TIMBER GRADING

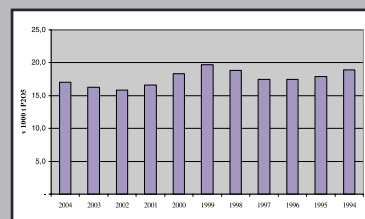
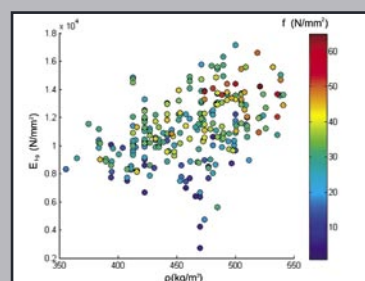
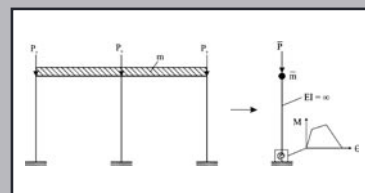
stran **310**

Darijo Ilić, univ. dipl. inž. zoot.

izr. prof. dr. Jože Panjan, univ. dipl. inž. grad.

### **OCENA VPLIVA FOSFORJA IZ KMETIJSTVA NA EVTROFIKACIJO POVRŠINSKIH VODA V KRAJNSKEM PARKU GORIČKO**

ESTIMATION OF IMPACT OF AGRICULTURAL PHOSPHORUS ON EUTROPHICATION OF  
SURFACE WATER IN GORIČKO NATURE PARK



## Novice iz društev ZDGITS

stran **317**

doc. dr. Jože Lopatič, univ. dipl. inž. grad.

### **30. ZBOROVANJE GRADBENIH KONSTRUKTORJEV SLOVENIJE**

## Seminarji in strokovni izpiti

stran **318**

Razpored v letu 2009

## Novi diplomanti

stran **319**

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

## Koledar prireditev

stran **320**

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

Slika na naslovnici: Most čez Mangartski potok, foto Primož Kobal

## izr. prof. dr. Franc SAJE, univ. dipl. inž. grad. častni član Slovenskega društva gradbenih konstruktorjev



Na jubilejnem, 30. zborovanju gradbenih konstruktorjev Slovenije je bil izr. prof. dr. Francu Sajetu podeljen naziv častni član Slovenskega društva gradbenih konstruktorjev

dr. Franc Saje je s strokovnim delovanjem na vseh področjih svojega udejstvovanja pomembno prispeval k razvoju gradbenega konstruiranja v Sloveniji in izven nje.

Osnovno poslanstvo dr. Franca Sajeta v gradbeništvu poteka na izobraževalnem in raziskovalnem področju. Kot visokošolski učitelj ter predstojnik Katedre za masivne in lesene konstrukcije Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani je vzgajal številne generacije gradbenih inženirjev ter bil mentor več diplomantom, magistrom in doktorjem znanosti. Je avtor strokovnih knjig in učbenikov ter znanstvenih in strokovnih člankov, objavljenih doma in v tujini. Njegovo razvojno-raziskovalno delo se nanaša predvsem na področje mehanskih in reoloških lastnosti betona ter nelinearne analize odziva betonskih konstrukcij, aktivno pa je sodeloval tudi pri uvažanju novih predpisov v inženirsko prakso.

Dr. Franc Saje je imel zelo pomembno vlogo pri ustanavljanju Slovenskega društva gradbenih konstruktorjev ter pri njegovem vodenju in upravljanju skozi celotno obdobje, vse do danes. Ob ustanovitvi je prevzel funkcijo sekretarja društva, nato pa je bil večkrat tudi podpredsednik in predsednik društva. Bil je urednik ali sourednik prav vseh zbornikov od začetka pa do danes, to je skupaj kar 29 zbornikov vsakoletnega zborovanja gradbenih konstruktorjev. Brez požrtvovalnega in neumornega dela dr. Sajeta Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev ne bi imelo tako velikega, skoraj zgodovinskega strokovnega opusa.



# OCENA POTRESNE VARNOSTI ARMIRANOBETONSKIH MONTAŽNIH HAL Z MOČNIMI STIKI (2) – NUMERIČNO MODELIRANJE IN DOLOČITEV POTRESNEGA TVEGANJA

## SEISMIC SAFETY EVALUATION OF PRECAST INDUSTRIAL BUILDINGS WITH STRONG CONNECTIONS (2) – NUMERICAL MODELLING AND SEISMIC RISK ASSESSMENT

prof. dr. Matej Fischinger, univ. dipl. inž. grad.

dr. Miha Kramar, univ. dipl. inž. grad.

izr. prof. dr. Tatjana Isaković, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

IKPIR, Jamova 2, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK: 519.61/.64:624.012.45:624.042.7

**Povzetek** | S tem prispevkom nadaljujemo serijo člankov, ki obravnavajo potresno ogroženost armiranobetonskih montažnih hal z močnimi stiki. Obnašanje takih konstrukcij med potresno obtežbo je odvisno predvsem od obnašanja stebrov, katerih glavna značilnost je velika vitkost.

Za numerični model stebra smo uporabili poseben histerezni model, ki upošteva padanje nosilnosti znotraj posameznega cikla in pri ponovitvah ciklov z enakimi pomiki. Modeliranje padanja nosilnosti lahko pomembno vpliva na oceno potresne varnosti. Potresno varnost smo ocenili z verjetnostno analizo, v kateri smo upoštevali nepredvidljivost potresne obtežbe in druge vire nezanesljivosti. Predlagali smo, da se uporabi metoda, pri kateri kapaciteto konstrukcije izrazimo z intenziteto potresne obtežbe. Z izbrano metodo smo ocenili potresno tveganje za eksperimentalno preizkušeno konstrukcijo in za vse možne variante enoetažnih montažnih hal obravnavanega tipa, ki se lahko pojavijo v praksi.

**Summary** | This contribution is a continuation of a group of papers related to the seismic risk for precast industrial buildings with strong connections. Seismic response of such structures depends mainly on the response of the columns, which are characteristically very slim. A special hysteretic model was employed for the column that is capable of simulating the strength deterioration within a single cycle and the deterioration due to the repetition of cycles with the same amplitude. The modelling of the strength deterioration phenomena can be essential for the seismic risk assessment. Seismic risk was evaluated by means of probabilistic analysis taking into account the randomness in seismic excitations and other sources of uncertainty. A solution strategy, which is based on the intensity measure, has been suggested. A verified probabilistic method was used to assess the seismic risk of the tested structure and of the whole range of the analyzed precast structures, as built in practice.

## 1 • UVOD

V sklopu treh povezanih člankov obravnavamo potresno varnost armiranobetonskih montažnih hal z močnimi stiki. V prvem članku (Fischinger, 2008a) smo objavili eksperimentalne rezultate psevdodinamičnih

in cikličnih testov za preizkušane št. 2 (slika 3 v (Fischinger, 2008a)). Odziv vitkih stebrov je bil specifičen, z opaznim padanjem nosilnosti. Če torej želimo verodostojno oceniti tveganje, da se konstrukcija poruši

(kar je končni cilj te raziskave), potrebujemo eksperimentalno preverjen numerični model, ki je sposoben modelirati padanje nosilnosti. Poleg tega mora biti model kar se da enostaven, saj študije potresnega tveganja temeljijo na velikem številu nelinearnih analiz, s katerimi simuliramo razpršenost potresnih zahtev in karakteristik numeričnega modela.

## 2 • MODELIRANJE MONTAŽNIH INDUSTRIJSKIH HAL Z MOČNIMI STIKI

Numerični model montažne industrijske hale smo umerili na podlagi eksperimentalnih rezultatov. Pri tem smo predpostavili, da so stiki v obravnavanem konstrukcijskem sistemu – enako kot v preizkušanih konstrukcijah – dovolj močni, da je zagotovljena togost strešne konstrukcije v vodoravni ravnini. Numerični model takšne enoetažne montažne hale lahko sestavimo iz stebrov, povezanih s togo diafragmo (slika 1). Kot je prikazano na sliki, se posamezni stebri konstrukcije nekoliko razlikujejo v velikosti navpične sile, ki deluje na vrhu stebrov, posledično pa tudi v nosilnosti in deformabilnosti. Ker pa je nivo osnih sil v stebrih montažnih industrijskih hal običajno majhen (pri preizkušanih konstrukcijah  $v_d = 1,2-2,1\%$ ), je razlika v kapaciteti stebrov minimalna, zato lahko konstrukcijo brez večje napake nadomestimo z ekvivalentnim stebrom, s povprečnim nivojem osne sile in povprečno navpično silo (slika 1). Za model ekvivalentnega stebra smo uporabili element s koncentrirano plastičnostjo ob vpetju in predpostavili neskončno upogibno togost stebra nad plastičnim členkom (slika 1). Zasuk v plastičnem členku je tako enak  $\Delta/L$ , kjer je  $\Delta$  premik na vrhu kon-

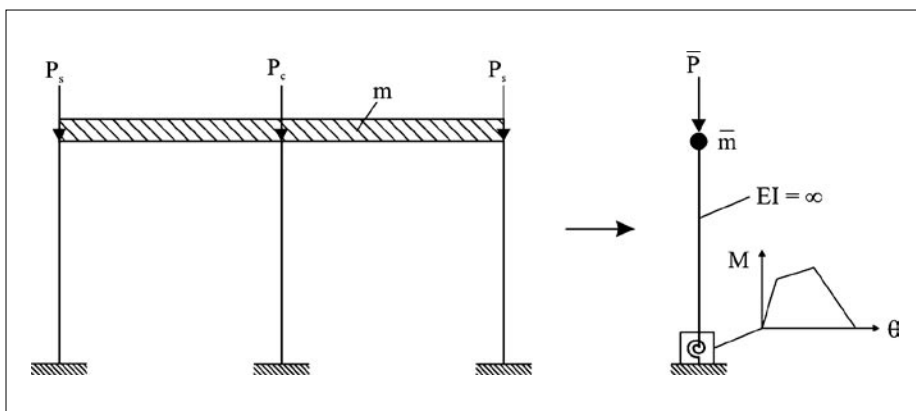
strukcije in  $L$  višina stebra (v nadaljevanju uporabljamo oznako  $\theta = \Delta/L$ ). Modeliranje montažne industrijske hale z močnimi stiki se tako prevede na problem določitve histereznega odziva moment ( $M$ ) – zasuk ( $\theta$ ) v plastičnem členku povprečnega stebra.

Eksperimenti so pokazali, da imajo stebri v enoetažnih montažnih halah (vitki stebri) tudi po doseženi maksimalni nosilnosti še veliko deformacijske kapacitete. Ta dodatna kapaciteta lahko pomembno vpliva na potresno varnost konstrukcije. Če želimo torej verodostojno oceniti tveganje, da se konstrukcija poruši, potrebujemo numerični model za stebre, s katerim lahko opišemo njihovo obnašanje vse do porušitve. Obstaja več postopkov, s katerimi lahko določimo karakteristične točke v histerezni ovojnici. Najpogosteje se v ta namen uporablja standardna polanalitična metoda, ki temelji na analitičnem izračunu odnosa moment-ukrivljenost v prerezu in idealiziranem poteku ukrivljenosti vzdolž elementa. S to metodo lahko dovolj natančno določimo zasuk na meji tečenja in pa tudi zasuk pri maksimalni nosilnosti, če upoštevamo eksperimentalne ugotovitve, da so dolžine plastičnih členkov

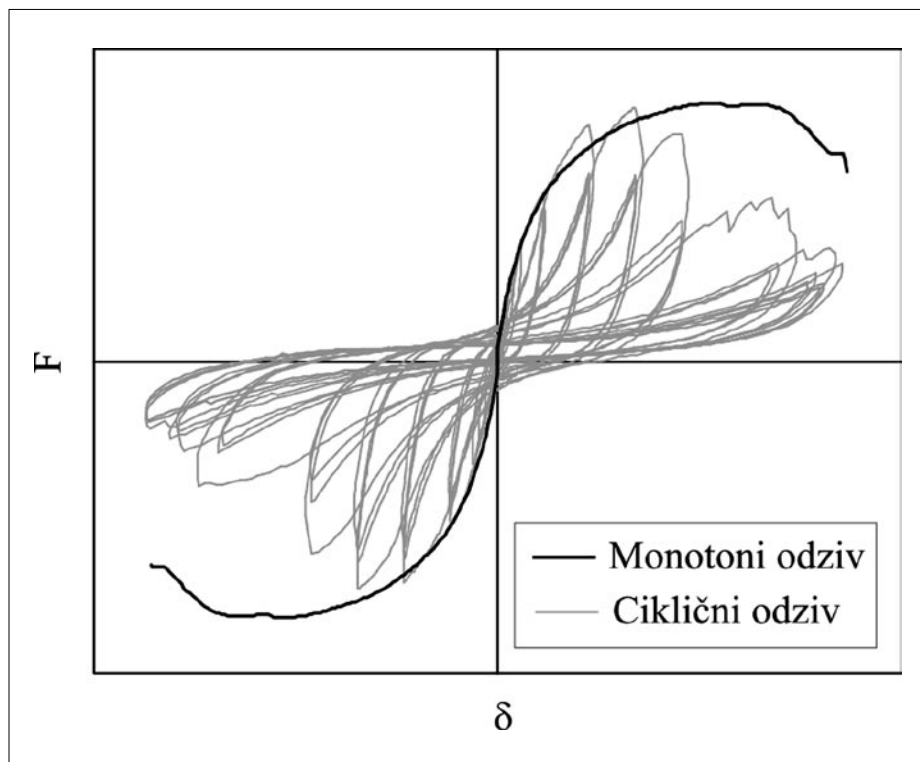
približno enake  $h/2$ , kjer je  $h$  dimenzija stebra v smeri obremenjevanja (Fischinger, 2008a). Vendar pa s standardno metodo običajno ne moremo napovedati odziva v kritičnem območju blizu porušitve, saj takrat osnovne predpostavke o ravnem prerezu (Bernoulli) in popolnem stiku med armaturo in betonom (brez zdrsa) niso izpolnjene. Namesto standardne metode lahko histerezni odziv v kritičnem območju določimo z empiričnimi enačbami, ki so dobljene na podlagi rezultatov večjega števila eksperimentalnih preizkusov. V okviru te raziskave smo preizkusili več empiričnih metod in se nazadnje odločili za empirični model, ki ga predlaga Haselton (Haselton, 2006). S tem modelom smo dobili najboljše ujemanje eksperimentalnih in numeričnih rezultatov, poleg tega pa smo lahko modelirali tudi pojav »mehčanja« zaradi ponavljajočih se ciklov, ki smo ga opazili med eksperimenti.

### 2.1 Gredni element, kalibriran za modeliranje globalnih porušitev stebrov

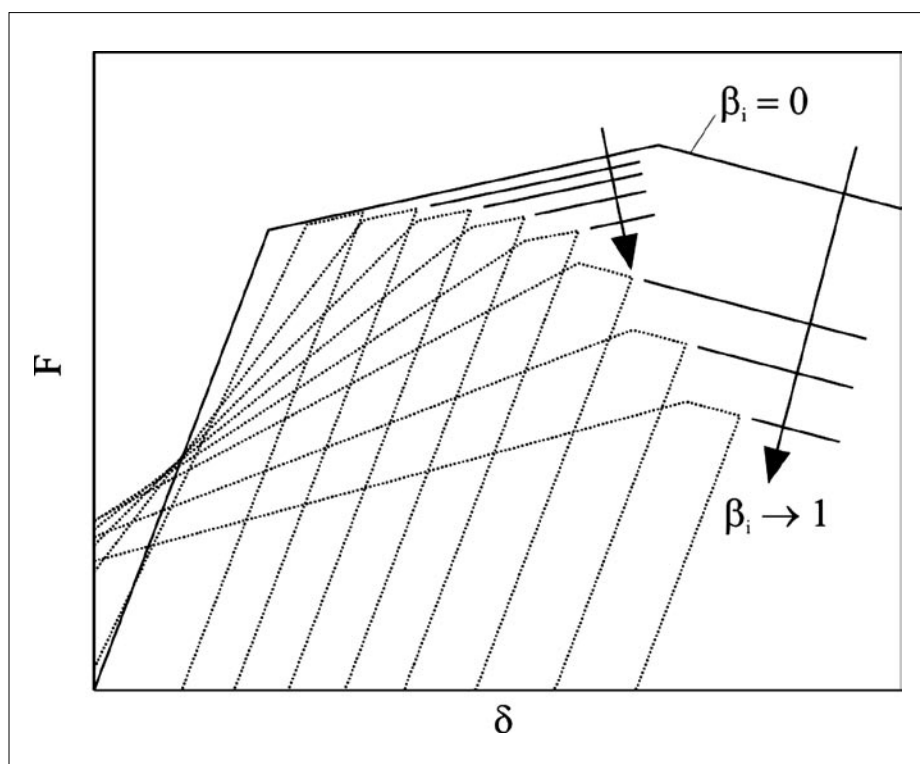
Haseltonov empirični model je osnovan na histereznem modelu, ki ga je razvil Ibarra (Ibarra, 2005). Glavna značilnost Ibarrovega histereznega modela je zmožnost dokaj natančnega modeliranja tako monotonega kot cikličnega odziva z enakimi vhodnimi podatki. Znano je namreč, da je odziv konstrukcije/elementa v splošnem odvisen od poteka obremenjevanja. Na sliki 2 vidimo odziv konstrukcije pri monotoni obtežbi in odziv identične konstrukcije pri statični ciklični obtežbi ( $F$  predstavlja posplošeno silo in  $\delta$  posplošen pomik). Pri monotonom odzivu nosilnost narašča vse do maksimalne nosilnosti, nakar sledi padanje nosilnosti oziroma »mehčanje«. Kot vidimo, pa ciklični odziv ne sledi monotoni ovojnici. Nosilnost v tem primeru pada tudi pri ponovitvah odklonov z enakimi pomiki, kljub temu da maksimalna nosilnost še ni dosežena. Temu pojavu pravimo deterioracija nosilnosti zaradi ponavljajočih se ciklov oziroma ciklična deterioracija nosilnosti.



Slika 1 • Poenostavljeni numerični model enoetažne hale



Slika 2 • Monotoni in ciklični odziv konstrukcije



Slika 3 • Ciklična deterioracija nosilnosti

Običajno ciklično deterioracijo nosilnosti upoštevamo tako, da monotoni in ciklični odziv modeliramo ločeno (uporabimo ločeni

ovojnici za monotoni in ciklični odziv). Nasprotno pa je Ibarra predlagal rešitev, kjer elementu predpišemo osnovno (mono-

tono) ovojnico odziva (predpisana ovojnica je trilinearna, kot je razvidno iz slike 3), ta pa se med obremenjevanjem spreminja (zmanjšuje) glede na disipirano histerezno energijo. Obseg degradacije uravnava energijsko pravilo, ki sta ga razvila Ranhama in Krawinkler (Ranhama, 1993). Pravilo predvideva, da ima vsak element pred obremenitvijo določeno zalogo histerezne energije. Ta zaloga se nato med obremenjevanjem zmanjšuje, kar vpliva na zmanjšanje nosilnosti. Ciklično deterioracijo v odklonu (odklon je polovica cikla)  $i$  opišemo s faktorjem  $\beta_i$ , ki ga izračunamo z enačbo:

$$\beta_i = \frac{E_i}{E_t - \sum_{j=1}^i E_j}, \quad (1)$$

kjer je  $E_i$  histerezna energija, disipirana v odklonu  $i$ ,  $\sum E_j$  histerezna energija, disipirana v vseh dosedanjih odklonih (v pozitivni in negativni smeri), in  $E_t$  celotna energijska zaloga elementa.

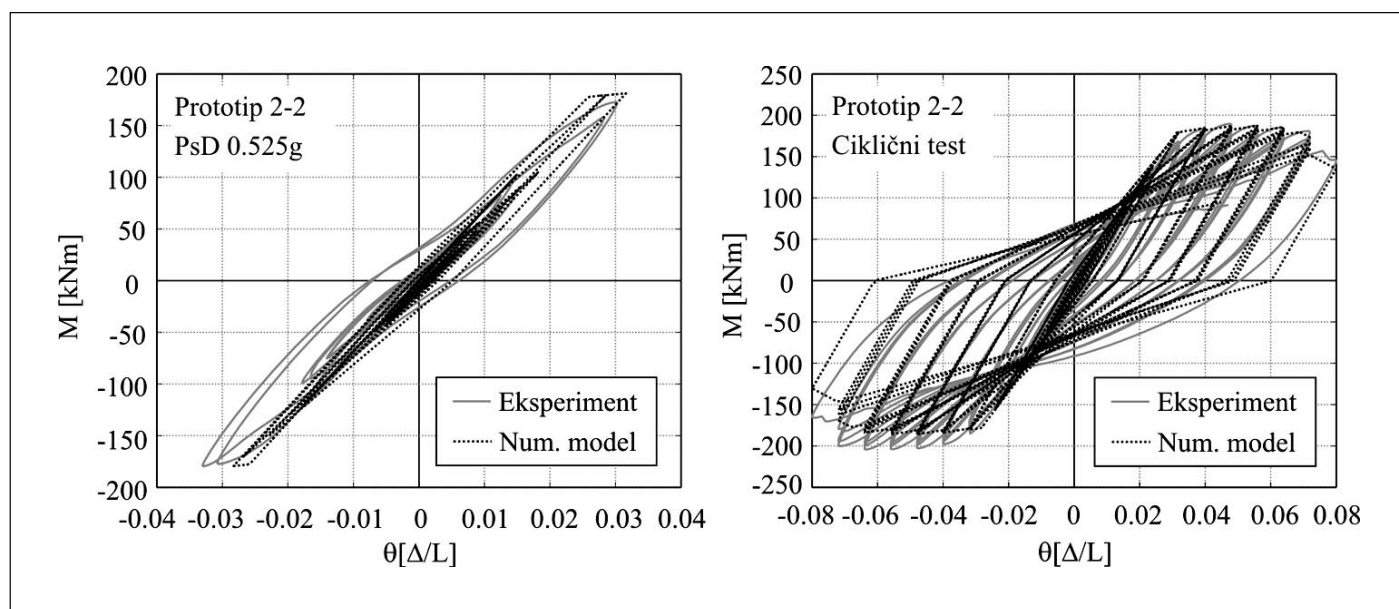
Predstavljajmo si, da nek element (npr. steber) obremenjujemo z enakomerno naraščajočo ciklično obtežbo. V vsakem odklonu  $i$  se zaloga energije v elementu zmanjša za količino  $E_i$ , kar pomeni, da se koeficient  $\beta_i$  nekoliko poveča. Sorazmerno s povečanjem koeficienta  $\beta_i$  se zmanjša ovojnica, ki jo na svoji poti cilja histerezna krivulja (slika 3). V začetku obremenjevanja je vrednost koeficienta  $\beta_i$  enaka 0 (histerezna krivulja cilja nespremenjeno monotono ovojnico), z vsakim novim odklonom pa se zaloga energije manjša, vse dokler koeficient  $\beta_i$  ne doseže vrednosti 1. V tem trenutku je izčrpana vsa zaloga energije, in element se poruši. Na opisani način se zmanjšuje nosilnost tako na območju utrjevanja kakor tudi na območju mehčanja predpisane ovojnice (slika 3).

Ibarrov histerezni model je za osnovo uporabil Haselton (Haselton, 2006) in z njim umeril rezultate 255 preizkusov armirano-betonskih stebrov iz PEER-ove podatkovne baze. Za vsak test je vhodne parametre histereznega modela izbral tako, da se rezultati numerične analize kar se da dobro ujemajo z eksperimentalnimi rezultati. Vhodne parametre in lastnosti stebrov je nato povezal s parametrično regresijsko analizo. Končni rezultat so enačbe, s katerimi izračunamo vhodne podatke za Ibarrov histerezni model (osnovna ovojnica odziva, zaloga histerezne energije) v odvisnosti od lastnosti stebra (indeks strižnega razpona, nivo osne sile, delež vzdolžne in prečne armature, trdnost jekla in betona ...).

Predlagane enačbe v splošnem dobro napovejo odziv vseh treh preizkušancev, izjema je zasuk na meji tečenja. Izmerjeni zasuk na meji tečenja je namreč v vseh stebrih precej večji od empirične ocene, ki jo predlaga Haselton. Napoved je napačna zato, ker empirične ocene temeljijo na preizkusih stebrov z majhnimi indeksi strižnega razpona. Pri teh stebrih je zasuk na meji tečenja praktično neodvisen od višine stebra, kar pa ne velja za vitke stebre, kjer prevladujejo upogibne deformacije, in se zato zasuk na

meji tečenja znatno povečuje z višino stebra. Na podlagi eksperimentalnih rezultatov vseh treh preizkušancev smo zato Haseltonove empirične enačbe, ki se nanašajo na zasuk na meji tečenja, priredili za vitke stebre. Prilagojen postopek modeliranja je podrobno opisan v doktorski nalogi Mihe Kramarja (Kramar, 2008). Na sliki 4 so prikazani numerični in eksperimentalni rezultati prototipa 2-2 pri psevdodinamičnem preizkusu s pospeškom 0,525 g in statičnem cikličnem preiz-

ksusu. Prikazan je histerezni odziv  $M-\theta$  v plastičnem členku; v eksperimentalnih rezultatih in numerični analizi smo upoštevali vpliv P-delta. Na sliki 4 vidimo, da numerični model zelo dobro napove globalni odziv konstrukcije in tudi padanje nosilnosti v ponavljajočih se ciklih (ciklični test). Podobno dobro ujemanje smo ugotovili tudi pri ostalih preizkušancih, s čimer smo upravičili uporabo numeričnega modela za parametrično analizo montažnih industrijskih hal (poglavje 4).



Slika 4 • Primerjava numeričnih in eksperimentalnih rezultatov za prototip 2-2

### 3 • METODA ZA OCENO POTRESNEGA TVEGANJA

Z dobrim numeričnim modelom lahko dokaj natančno ocenimo kapaciteto konstrukcije pri vnaprej predpisani obtežbi. Vemo pa, da je potresna obtežba slučajna in nepredvidljiva, poleg tega so slučajne tudi ostale spremenljivke, ki se nanašajo na kvaliteto materialov in lastnosti računskega modela. Če torej želimo verodostojno oceniti potresno tveganje za konstrukcije, moramo uporabiti metode verjetnostne analize. V ta namen smo v raziskavi uporabili trenutno zelo razširjeno metodologijo PEER, ki temelji na izreku o popolni verjetnosti dogodka (Cornell in Krawinkler, 2000). Končni rezultat metodologije je verjetnost prekoračitve mejnega stanja konstrukcije v določenem časovnem obdobju. Glede na cilj raziskave

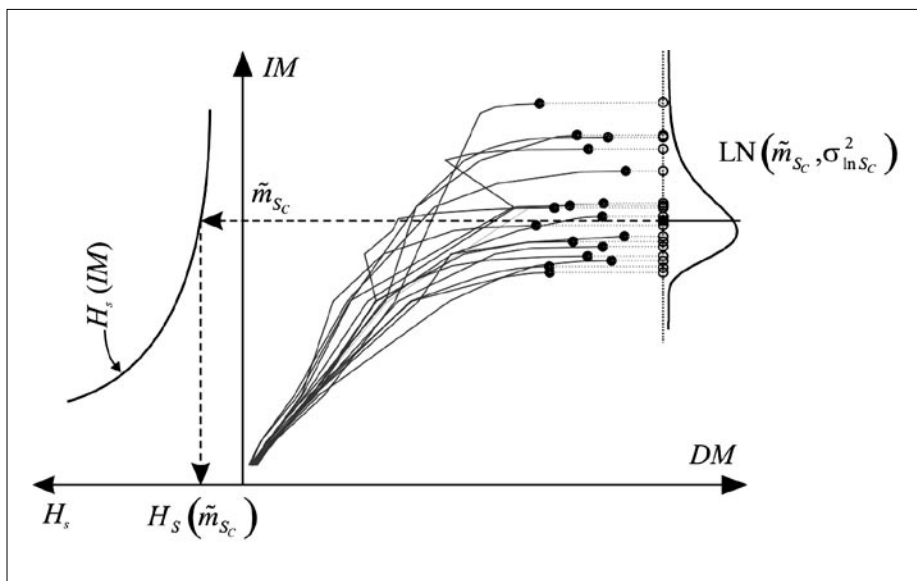
lahko mejno stanje konstrukcije poljubno definiramo. Običajno dinamični odziv konstrukcije računamo z modeli, ki ne zaznajo padanja nosilnosti. V takem primeru mejno stanje napovemo tako, da predpišemo maksimalno vrednost odziva, s katerim merimo poškodovanost konstrukcije. Mera za poškodovanost (angl. Damage Measure/ $DM$ ) je lahko v splošnem poljubna: maksimalni pomik, rotacija, ukrivljenost, deformacija v betonu, jeklu itd. To metodo imenujemo »metoda na osnovi pomikov«. Če pa odziv konstrukcije računamo z modelom, ki vključuje padanje nosilnosti (numerični model enoetažne montažne hale), pa kapaciteto konstrukcije raje izrazimo z mero za intenziteto potresne obtežbe (angl. Intensity

Measure/ $IM$ ; npr. maksimalni pospešek tal, elastični spektralni pospešek pri osnovnem nihajnem času itd.). V tem primeru verjetnost prekoračitve mejnega stanja izračunamo z »metodo na osnovi intenzitete«, ki je opisana v nadaljevanju.

#### 3.1 Metoda na osnovi intenzitete – teoretične osnove

Metoda na osnovi intenzitete je shematično prikazana na sliki 5. Metoda temelji na inkrementalni dinamični analizi (IDA). IDA je serija dinamičnih analiz, s katerimi izračunamo odziv konstrukcije pri različnih nivojih intenzitete potresne obtežbe. Rezultat je krivulja IDA, ki prikazuje odnos med intenziteto ( $IM$ ) in odzivom ( $DM$ ) konstrukcije. Krivulja IDA v splošnem ni monotono naraščajoča, saj lahko pri večji intenziteti potresne obtežbe izračunamo tudi manjšo vrednost odziva konstrukcije. Če za račun IDA uporabljamo





Slika 5 • Shematski prikaz metode na osnovi intenzitete

numerični model, ki ne zazna padanja nosilnosti in ne upošteva geometrijske nelinearnosti (P-delta učinki), je krivulja IDA navzgor neomejena. Nasprotno pa v primeru, ko numerični model upošteva enega izmed obeh pojavov, v krivulji IDA nastopi intenziteta, pri kateri se odziv konstrukcije izrazito poveča na zelo majhnem prirastku intenzitete. Ta pojav predstavlja porušitev konstrukcije in je označen s črno piko na sliki 5.

Posamezna krivulja IDA predstavlja odziv konstrukcije pri izbranem akcelerogramu, bistvo verjetnostne analize pa je v tem, da upoštevamo različne možnosti potresne

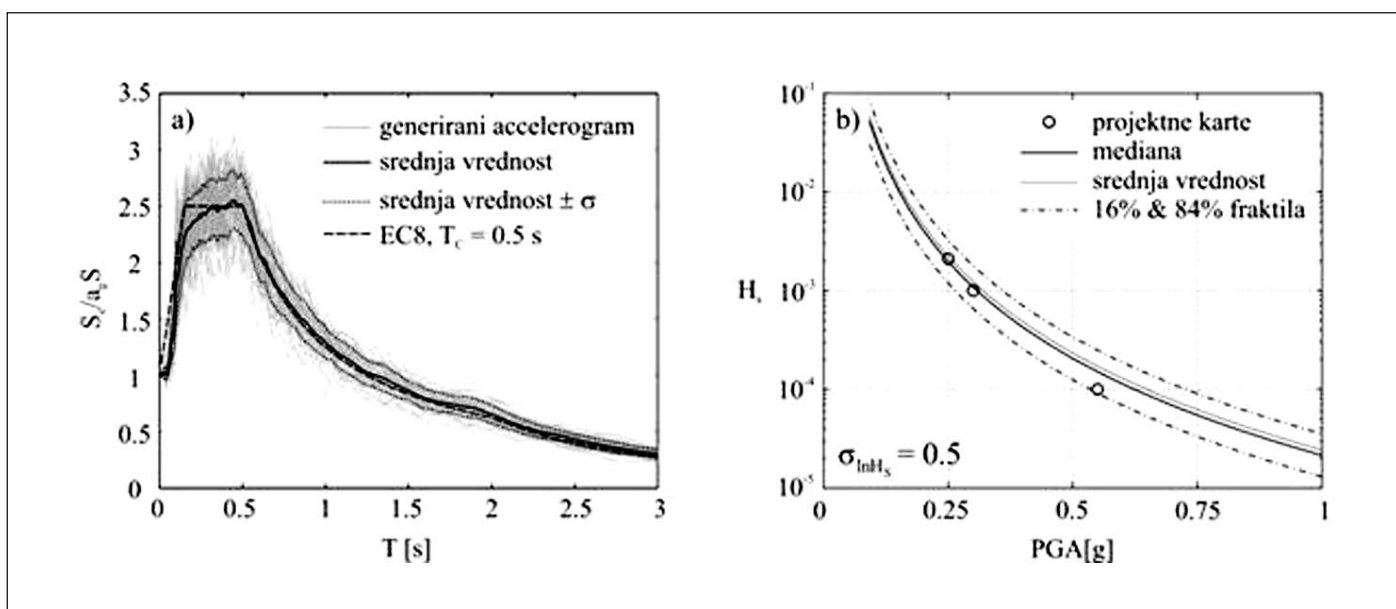
obtežbe in tudi variacijo numeričnega modela v okviru natančnosti modeliranja konstrukcije. Če torej naredimo IDA za različne posnetke akcelerogramov in za različne izpeljanke numeričnega modela, potem za rezultat dobimo večje število krivulj IDA in prav toliko intenzitet, pri katerih se konstrukcija poruši ( $S_c$ ). Slučajnost mejnih intenzitet  $S_c$  zaradi obeh virov nezanesljivosti je ponazorjena z verjetnostno funkcijo na sliki 5. Neodvisno od analize konstrukcije je treba izdelati analizo potresne nevarnosti območja, kjer se konstrukcija nahaja. Slednjo običajno naredijo seizmologi, in sicer ob upoštevanju

tektonskih prelomnic in zgodovine potresov na obravnavanem območju. Rezultat analize potresne nevarnosti je funkcija potresne nevarnosti  $H_s$ , ki pove, kolikšna je verjetnost pojava potresa, s pospeškom, ki je večji ali enak izbrani vrednosti v nekem časovnem obdobju (običajno eno leto).

Verjetnost prekoračitve mejnega stanja konstrukcije izračunamo tako, da funkcijo potresne nevarnosti pomnožimo z verjetnostno funkcijo ter produkt integriramo po vseh vrednostih intenzitete. Če predpostavimo, da je porazdelitev  $S_c$  logaritemsko normalna,  $H_s$  pa zapišemo v eksponentni obliki, lahko izraz za verjetnost prekoračitve mejnega stanja konstrukcije analitično izpeljemo (Jalayer, 2003). Dodatno lahko v izpeljavi upoštevamo tudi nezanesljivost funkcije potresne nevarnosti (Jalayer, 2003).

### 3.2 Aplikacija metode na industrijske montažne hale

Metodo na osnovi intenzitete smo uporabili za določitev potresnega tveganja preizkušene montažne konstrukcije in kasneje za vse realno možne enoetažne montažne industrijske hale z močnimi stiki. Za mero intenzitete smo izbrali maksimalni pospešek temeljnih tal (PGA), ki omogoča dobro predstavno o kapaciteti konstrukcije. Variacijo v potresni obtežbi smo simulirali s 50 umetno generiranimi akcelerogrami, ki smo jih generirali tako, da se povprečni elastični spekter odziva vseh akcelerogramov približno ujema z elastičnim spektrom, ki ga za tla B predpisuje EC8 (slika 6a; op.: enak spekter smo



Slika 6 • Normirani elastični spekter umetno generiranih akcelerogramov (a) in funkcija potresne nevarnosti (b)

upoštevali tudi pri dimenzioniranju konstrukcij). Zaradi pomanjkanja natančnejših študij potresne nevarnosti na območju Ljubljane smo funkcijo potresne nevarnosti izdelali na podlagi kart potresne nevarnosti Slovenije. Funkcijo eksponentne oblike smo speljali skozi tri točke projektnega pospeška s povratnimi dobami 475 let (0,25 g), 1000 let (0,3 g) in 10.000 let (0,55 g) za območje Ljubljane (slika 6b).

Poleg slučajnosti, ki izhaja iz zapisov akcelrogramov, smo v analizi upoštevali tudi nezanesljivost numeričnega modeliranja. Rezervno varianco smo izračunali s približno metodo 1. reda, tako da smo vhodne podatke

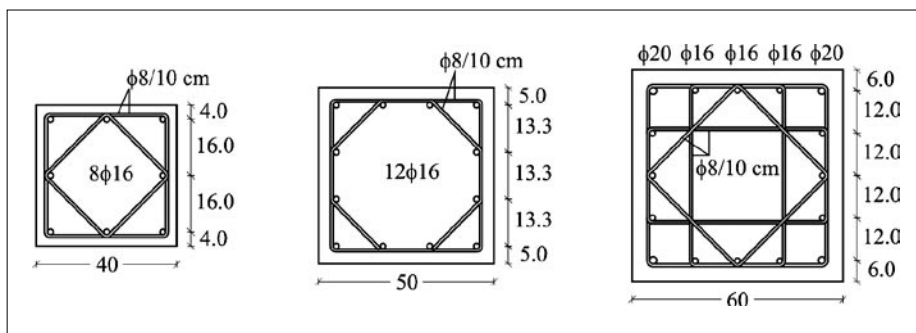
za numerični model (ovojnica histereznega odziva, normalizirana histerezna energija) upoštevali kot slučajne spremenljivke, z raztrosom, ki izhaja iz PEER-ove podatkovne baze (Haselton, 2006). Prednost približne metode 1. reda v primerjavi z metodo Monte Carlo je razmeroma majhno število simulacij, ki so potrebne za oceno variance. To nam je omogočilo, da smo varianco izračunali ne le za preizkušeno konstrukcijo, temveč tudi za vse konstrukcije, ki smo jih obravnavali v parametrični študiji (poglavje 4). Podrobnejši opis metode za oceno variance in rezultati so zbrani v doktorski nalogi Mihe Kramarja (Kramar, 2008).

Verjetnost porušitve, ki smo jo na podlagi opisane procedure izračunali za eksperimentalno preizkušeno konstrukcijo, znaša 0,13 % v 50 letih, kar je razmeroma majhna vrednost. Razlog za precej majhno verjetnost porušitve je majhna masa preizkušancev (9,65 t pri prototipu 2), ki je manjša od običajnih vrednosti v podobnih konstrukcijah, in velika dodatna nosilnost, ki izhaja iz minimalne vzdolžne armature (Fischinger, 2008a). V nadaljevanju smo zato študijo potresnega tveganja razširili na vse realno možne enoetažne montažne industrijske hale s celim nizom možnih mas in pripadajočo armaturo po EC8.

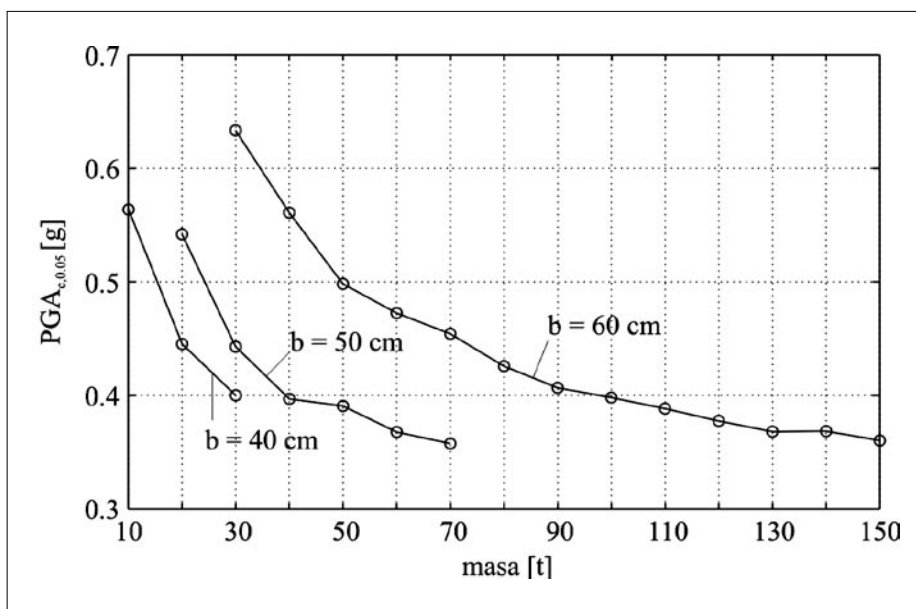
#### 4 • PARAMETRIČNA ŠTUDIJA POTRESNEGA TVEGANJA INDUSTRIJSKIH MONTAŽNIH HAL

Za modeliranje konstrukcij smo uporabili postopek, ki je opisan v poglavju 2. V skladu s tem postopkom smo konstrukcijo modelirali kot ekvivalentni stebler s povprečno maso, ki pripada enemu stebri. Obravnavali smo stebre s pripadajočo maso 10–150 t, s čimer smo zajeli celotni razpon mas v industrijskih montažnih halah, oziroma še nekoliko večji interval (ekvivalentne mase, večje od 100 t niso običajne). Lahko si predstavljamo, da najmanjša masa (10 t) izhaja iz navpične obtežbe 2,5 kN/m<sup>2</sup>, ki deluje na ekvivalentni površini 40 m<sup>2</sup>, največja masa (150 t) pa iz obtežbe 6,5 kN/m<sup>2</sup>, ki deluje na površini 230 m<sup>2</sup>. Obravnavali smo tri simetrično armirane kvadratne prereze s stranicami 40, 50 in 60 cm (slika 7). Razmerje med statično višino in višino prereza je v vseh primerih enako 0,9, višina stebrov pa je enaka kot pri preizkušancih, tj. 5 m. Stebre smo dimenzionirali za potresno obtežno kombinacijo po EC8. Izbrali smo projektni pospešek  $a_{gr} = 0,25$  g in tla kategorije B (trdna zemljina). Potresne sile smo reducirali s faktorjem obnašanja  $q = 4,5$ , ki se originalno nanaša na monolitne okvire z veliko stopnjo duktilnosti (DCH), po najnovejši verziji standarda EC8 (CEN, 2004) pa se pod določenimi pogoji (stebri, povezani v obeh smereh, projektna normirana osna sila v stebrih  $v_d < 0,3$ ) lahko uporabi tudi za enoetažne montažne konstrukcije (EN 1998: 5.1.2).

Izkaže se, da stebri z majhnimi dimenzijami prereza in veliko ekvivalentno maso v skladu z EC8 niso izvedljivi, saj je pri teh stebrih prekoračena zahteva po omejitvi P-delta



Slika 7 • Prečni prerezi stebrov z armaturo po EC8



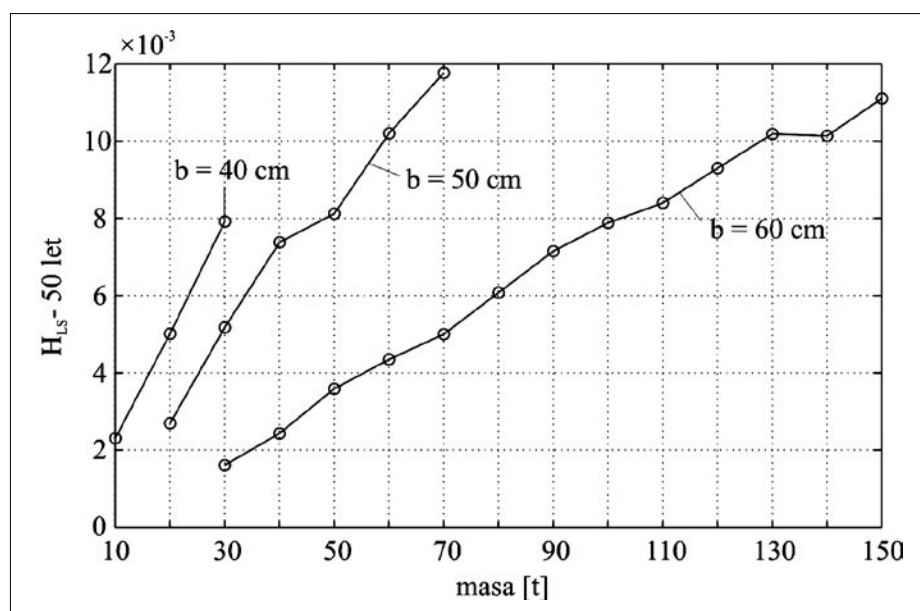
Slika 8 • Mejne intenzitete (5 % fraktila)

učinkov oziroma pomikov (obe zahtevi sta prekoračeni istočasno). Tako lahko stebler s stranico 40 cm obremenimo z maksimalno maso 30 t, stebler dimenzije 50 cm z maso 70 t in stebler dimenzije 60 cm z maso 150 t. Pri stebrih znotraj teh intervalov so ročice notranjih sil glede na obremenitev relativno velike, zato je računsko potrebna vzdolžna armatura v prerezhih majhna. Posledično za prevzem računskega upogibnega momenta v vseh primerih zadošča že minimalni delež skupne vzdolžne armature, ki ga za stebre predpisuje EC8 ( $\rho_{l,min} = 0,01$ ; op.: *minimalni delež vzdolžne armature je bil merodajen tudi pri preizkušanih konstrukcijah*). Zahtevani delež armature smo zagotovili s palicami, ki so prikazane na sliki 7.

Nadalje je zaradi majhne normirane osne sile v stebrih majhen tudi delež računske prečne armature v kritičnih območjih ob vpetju. V tem primeru armaturo določajo konstrukcijska pravila za veliko stopnjo duktilnosti (DCH). Ta pravila so precej rigorozna. Predvsem kritična je zahteva, ki določa maksimalno razdaljo med podprtima vzdolžnima palicami (pri stebrih DCH ta razdalja znaša 15 cm). Zaradi te zahteve je treba v kritičnih območjih stebrov izbrati relativno veliko število stremen. Vsem konstrukcijskim pravilom smo zadostili s stremeni 8/10 cm, razporejenimi v skladu s sliko 7.

Po postopku, ki je opisan v poglavju 3.2, smo izračunali potresno tveganje za vse konstrukcije (stebre), projektirane po EC8.

Rezultati – 5 % fraktila mejnih intenzitet ( $PGA_{c,0,05}$ ) in verjetnost porušitve v 50 letih na območju Ljubljane ( $H_{LS,50}$ ) – so prikazani na slikah 8 in 9. Zaradi izbrane minimalne vzdolžne in prečne armature, ki je precej večja od računsko potrebne armature, imajo obravnavane konstrukcije (stebri) veliko rezervno nosilnost. Zato so verjetnosti porušitev – enako kot v primeru preizkušene konstrukcije – relativno majhne. Verjetnost porušitve se povečuje z večanjem mase zato, ker so bili v vseh konstrukcijah stebri enakega prereza armirani z enako (minimalno) armaturo. Zato je bila rezervna nosilnost pri konstrukcijah z večjo maso manjša. Rezultate v diagramih lahko primerjamo s ciljnim vrednostmi zanesljivosti, ki jih predlaga združenje JCSS (Joint Committee on Structural Safety), ki se ukvarja z varnostjo konstrukcij. JCSS loči primere glede na pomembnost objektov in glede na »relativno ceno varnosti«. Pri obtežbah, ki jih ne moremo natančno določiti (nezgodna, potresna obtežba), je namreč cena, ki jo moramo plačati za varnost, veliko višja kot pri običajni obtežbi, kjer so odstopanja majhna (lastna teža). Pri običajni obtežbi si zato lahko »privoščimo« več varnosti kot pri nezgodni oziroma potresni obtežbi. JCSS za srednje pomembne stavbe pri potresni obtežbi priporoča ciljni indeks zanesljivosti 3,3/leto (JCSS, 2001), kar je ekvivalentno verjetnosti 2,5 % v 50 letih. Glede na to, da so verjetnosti porušitev pri vseh obravnavanih primerih veliko manjše od mejne vrednosti, lahko sklepamo, da so konstrukcije (stebri), ki smo jih projektirali po EC8 in pri tem upoštevali vsa minimalna in konstrukcijska pravila za stopnjo duktilnosti DCH, dovolj varne.



Slika 9 • Verjetnost porušitve v 50 letih

## 5 • SKLEP

Izkušnje iz eksperimentalnih raziskav (Fischinger, 2008a) smo uporabili pri izdelavi numeričnega modela za montažne armiranobetonske industrijske hale. Prva ugotovitev, ki smo jo upoštevali, je predpostavka o togosti strešne konstrukcije v svoji ravnini. S tem se numerični model hale reducira na sistem povezanih konzol, v večini primerov (če so stebri v konstrukciji enaki) pa lahko model brez večje napake še dodatno poenostavimo, tako da sistem konzol nadomestimo z ekvivalentnim konzolnim stebrom. Tega

smo modelirali z linijskim elementom, s koncentrirano plastičnostjo ob vpetju, histerezni odziv v plastičnem členu pa smo določili z Ibarrovim histereznim modelom in vhodnimi podatki, ki jih predlaga Haselton.

S predlaganim postopkom (Ibarra in Haselton), ki smo ga nekoliko prilagodili za vitke stebre, smo uspeli zelo dobro opisati odziv preizkušanih konstrukcij vse do porušitve. Zelo dobro je opisan globalni odziv in tudi padanje nosilnosti v posameznih ciklih. Umerjeni numerični model smo zato upo-

rabili v nadaljnjih študijah potresnega tveganja montažnih industrijskih hal. Te študije so bile tudi glavni motiv za uporabo relativno zahtevnega numeričnega modela. Pri običajnih postopkih projektiranja tako zahtevnega modela ne potrebujemo, saj so v projektnih stanjih pomiki omejeni z vrednostmi, ki so precej manjše od vrednosti, kjer se pojavi značilno zmanjševanje nosilnosti. V teh primerih lahko za določitev histerezne ovojnice uporabimo standardno metodo na osnovi idealiziranega odnosa moment-ukrivljenost in empirično določenih dolžin plastičnih členkov, pri čemer pa moramo upoštevati omejitev za ekvivalentno dolžino plastičnega členu, ki smo jo predlagali na

podlagi eksperimentov:  $l_p < 0.5h$  ( $h$  je dimenzija prereza v smeri obremenjevanja). Poleg tega lahko pri običajnih postopkih projektiranja namesto Ibarriovih histereznih pravil uporabimo enostavnejša histerezna pravila (npr. Takedova histerezna pravila).

V nadaljevanju smo predstavili metodologijo PEER za oceno potresnega tveganja, ki upošteva slučajnosti v potresni obtežbi in nezanesljivost numeričnega modeliranja. Pri tem smo upoštevali specifične lastnosti montažnih industrijskih hal in predlagali, da se za oceno potresnega tveganja uporabi posebna izpeljava metode, v kateri kapaciteto konstrukcije izrazimo z intenziteto

potresne obtežbe, in ne s pomikom, kot je to narejeno v osnovni različici metode. V zvezi s to metodo smo predlagali tudi vse pomembne parametre in metodo aplicirali na preizkušeno konstrukcijo. Ugotovili smo, da verjetnost porušitve preizkušene konstrukcije znaša 0,1 % v 50 letih, kar je relativno majhna vrednost. V nadaljevanju smo po enakem postopku izračunali verjetnost porušitve za vse realne montažne industrijske hale z različnimi masami in pripadajočo armaturo. Konstrukcije smo projektirali po standardu EC8 in pri tem upoštevali faktor obnašanja  $q = 4,5$ , ki se originalno nanaša na monolitne okvire z veliko stopnjo duktilnosti (DCH),

po najnovejši verziji standarda EC8 pa se pod določenimi pogoji lahko uporabi tudi za enoetažne montažne konstrukcije. Ugotovili smo, da je v vseh primerih merodajen minimalni delež vzdolžne armature in konstrukcijska pravila za prečno armaturo v kritičnih območjih stebrov (DCH). Rezultati so pokazali, da imajo tako projektirane konstrukcije veliko rezervno nosilnost (enako je veljalo za preizkušance) in so zato dovolj varne. Verjetnost porušitve konstrukcij znaša 0,2–1,2 % v 50 letih in v nobenem primeru ne preseže mejne vrednosti 2,5 % v 50 letih. Podrobnejša analiza učinkovitosti standarda bo narejena v 3. članku (Fischinger, 2008b).

## 6 • LITERATURA

- Cornell, C. A., Krawinkler, H., Progress and Challenges in Seismic Performance Assessment. PEER Center News, 4, 1: 1-3, 2000.
- CEN, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, EN 1998-1, European Committee for Standardization, 2004.
- Fischinger, M., Kramar, M., Isaković, T., Ocena potresne varnosti armiranobetonskih montažnih hal z močnimi stiki (1), Zasnova študije in eksperimentalni rezultati, Gradbeni vestnik, oktober, 2008a.
- Fischinger, M., Kramar, M., Isaković, T., Ocena potresne varnosti armiranobetonskih montažnih hal z močnimi stiki (3), Kritična ocena postopkov projektiranja v EC8 in sklepne ugotovitve, Gradbeni vestnik, december, 2008b.
- Haselton, C. B., Assessing seismic collapse safety of modern reinforced concrete moment frame buildings, Ph.D. Thesis, Stanford University, 2006.
- Ibarra, L. F., Medina, R. A., Krawinkler, H., Hysteretic models that incorporate strength and stiffness deterioration. Earthquake Engineering & Structural Dynamics 34, 12: 1489–1511, 2005.
- Jalayer, F., Direct Probabilistic Seismic Analysis: Implementing Non-linear Dynamic Assessments, Ph.D. Thesis, Stanford University, 2003.
- JCSS, Probabilistic model code, Part 1: Basis of design, 12th draft. Joint Committee on Structural Safety, <http://www.jcss.ethz.ch/JCSSPublications/PMC/PMC.html>, 2001.
- Kramar, M., Potresna ranljivost montažnih armiranobetonskih hal, Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, FGG, 176 strani, 2008.
- Rahnama, M., Krawinkler, H., Effects of soft soil and hysteresis model on seismic demands, John A. Blume Earthquake Engineering Center Report, 108, Department of CEE, Stanford University, Stanford, 1993.



# UPORABA UMETNIH NEVRONSKIH MREŽ PRI RAZVRŠČANJU LESENIH ELEMENTOV PO TRDNOSTI

## THE USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN STRENGTH TIMBER GRADING

**Nataša Šinkovec, univ. dipl. inž. grad.**

IGMAT, d. d.

**izr. prof. dr. Goran Turk, univ. dipl. inž. grad**

**doc. dr. Dejan Zupan, univ. dipl. inž. mat.**

FGG, Jamova 2, Ljubljana

**Znanstveni članek**

UDK: 004:624.01.1:624.07

**Povzetek** | Konstrukcijski material je eden izmed ključnih dejavnikov, ki vplivajo na načrtovanje konstrukcij. Ta mora imeti zadovoljivo trdnost, ki zagotavlja ustrezno nosilnost konstrukcije. Za določitev lastnosti lesenih elementov se uporabljajo destruktivne in nedestruktivne metode. V tem prispevku smo za oceno trdnosti lesenih elementov uporabili umetne nevronske mreže. Uporabili smo bazo podatkov 293 lesenih preizkušancev, za katere smo poznali gostoto, in sedem elastičnih modulov, ki so bili dobljeni na podlagi nedestruktivnih metod preizkušanja, ter trdnost, dobljeno na osnovi destruktivne metode. Obravnavali smo več primerov, ki so se med seboj ločili v izbiri vhodnih podatkov. Za gradnjo in učenje nevronske mreže uporabimo fortranski program NTR2003 in program, ki smo ga zasnovali na osnovi knjižnice nevronske mreže v programskem paketu Matlab. Med sabo primerjamo uspešnost različnih mrež na osnovi več statističnih kazalcev. Ukvarjamo se tudi z analizo vpliva raztrosa podatkov in predstavimo postopek združevanja učnih parov.

**Summary** | Structural material is of key importance when designing various engineering structures. It should have satisfactory strength that enables a proper load carrying capacity. To determine the characteristics of wooden elements, destructive and nondestructive methods are used. Artificial neural networks have been used in this paper to estimate the strength of structural timber. 293 wooden specimens were taken into consideration. For all specimens, the density and seven elastic modules were measured by indestructive testing methods, while the strength was based on the destructive method. Different examples, in which different input data were used, were taken into closer consideration. For generating and study of neural networks two programs were used: (i) a fortran code NTR2003 and (ii) code based on Neural Network Library in Matlab. The efficiency of various neural networks was compared through several statistical quantities. The effect of data dissipation was also considered and a method for data integration was presented.

## 1 • UVOD

Les je naraven material, zato njegovih materialnih lastnosti ne moremo projektirati, tako kot to lahko v primeru jekla in v precejšnji meri tudi betona. Materialne lastnosti lesa moramo izmeriti ali kako drugače oceniti za vsak element, ki ga vgradimo v konstrukcijo. Nekatere lastnosti lesa, kot so elastični modul, gostota, zunanji izgled, lahko ocenimo oziroma izmerimo z neporušnimi metodami. Trdnost lesa, ki je pri projektiranju konstrukcij izrednega pomena, lahko zanesljivo določimo le tako, da element porušimo.

Pri projektiranju ne uporabljamo dejanskih trdnosti lesenih elementov, ki jih tako ali tako ne poznamo, temveč določene reprezentativne vrednosti, ki pripadajo določenemu trdnostnemu razredu. Pomembno opravilo pri grajenju z lesom je torej razvrščanje konstrukcijskih lesenih elementov v trdnostne razrede. Trdnostni razredi za iglavce so označeni s črko C in reprezentativno trdnostjo, podano v MPa, za listavce pa s črko D in reprezentativno trdnostjo v MPa. V skladu s standardom EN338 morajo leseni elementi določenega trdnostnega razreda ustrezati naslednjim pogojem:

- 5-odstotni kvantil trdnosti elementov, ki smo jih razvrstili v določen razred, mora presežati mejno vrednost.
- Povprečna vrednost elastičnega modula elementov, ki smo jih razvrstili v določen razred, mora presežati mejno vrednost.
- 5-odstotni kvantil gostote elementov, ki smo jih razvrstili v določen razred, mora presežati mejno vrednost.

Mejne vrednosti za različne vrednosti so podane v preglednici 1.

V tem opisu smo podali dve pomembni značilnosti razvrščanja lesa v trdnostne razrede:

1. Trdnostni razred ni odvisen le od trdnosti posameznih elementov, temveč tudi od elastičnega modula in gostote.
2. Pogoji glede trdnosti, elastičnega modula in gostote se ne nanašajo na posamezni element, temveč na celoten vzorec elementov, ki so razvrščeni v določen razred. Tako se lahko zgodi, da posamezni element ne izpolnjuje pogojev, razvrstitev v posamezne razrede pa je pravilna. Do 5 odstotkov elementov v posameznem razredu ima lahko nižjo vrednost trdnosti in gostote, pri elastičnem modulu pa je ta pogoj še bolj sproščen, saj je omejeno povprečje vzorca.

Posebej druga značilnost razvrščanja je morda nenavadna, saj smo običajno navajeni, da določen element enolično uvrstimo v določen razred. Zaradi velikega raztrosa in nizke korelacije tega v primeru razvrščanja lesa preprosto ne moremo narediti.

Poznamo dve osnovni različici razvrščanja lesa v trdnostne razrede: vizualno in strojno razvrščanje.

Pri vizualnem razvrščanju kriteriji za razvrščanje temeljijo na lastnostih, ki jih lahko opazimo na površini lesenega elementa: grče, zavrtost vlaken, prisotnost stržena, širina branike, razpoke zaradi krčenja, razpoke za-

radi strele, lisičavost, ukrivljenost, obarvanost, prisotnost trohnobe, kompresijski les, obžrtost zaradi žuželk ... V Sloveniji nimamo veljavnega standarda za vizualno razvrščanje lesa, prav tako ni enotnega standarda, ki bi veljal za celotno Evropo. Osnovni razlog za tako stanje je, da je les v različnih delih Evrope precej drugačen, različni so tudi pristopi za njegovo vizualno razvrščanje. Nam najbližji standard za vizualno razvrščanje je DIN 4074, ki pa ga ne smemo uporabljati, ker ni eksperimentalne potrditve, da so razmere v Sloveniji enake tistim v Nemčiji in Avstriji.

Druga možnost je strojno razvrščanje lesa. Osnovni standard, ki opisuje strojno razvrščanje, je EN 14081. V drugem delu tega standarda je opisan postopek za določitev nastavitve naprave za strojno razvrščanje lesa. Strojno razvrščanje opravimo z napravo, ki meri eno ali več neporušnih lastnosti lesenega elementa. Na osnovi teh rezultatov ter povezave med njimi in trdnostjo, ki smo jo določili s predhodnimi eksperimenti, ocenimo trdnost in posamezni element razvrstimo v določen razred.

Predhodni eksperimenti morajo po standardu EN 14081 obsegati vsaj 900 elementov, ki jih najprej preizkušamo z neporušnimi metodami, nazadnje pa določimo še njihovo upogibno trdnost. Zaradi zahtevane varnosti pri projektiranju konstrukcij morajo biti nastavitve naprave pripravljene tako, da je delež elementov, ki jih razvrstimo v previsok razred, omejen. Podrobnosti o postopku določanja nastavitve naprave so podane v Rešič, 2004. Za področje Slovenije trenutno obstajajo nastavitve le za eno napravo (Timber Grader MTG), ki so jo v okviru projekta za razvrščanje konstrukcijskega lesa po trdnosti naredili sodelavci z Nizozemskega. Za nastavitve na drugih napravah in potrditev nastavitve na omenjeni napravi bodo potrebne dodatne, predvsem eksperimentalne raziskave.

Pomemben del pri postopku določanja nastavitve naprave je določanje empirične zveze med rezultati neporušnih metod in trdnostjo. Pogosto uporabljene funkcije v empiričnih zvezah so linearne in eksponentne. Eden od alternativnih modelov napovedovanja glavnih lastnosti lesenih preizkušancev so tudi umetne nevronske mreže, ki jih obravnavamo v tem prispevku.

V prispevku tako pokažemo, primerjamo in analiziramo sposobnost napovedovanja trdnosti lesa z različnimi nevronskimi mrežami. Za osnovo vzamemo bazo podatkov za 293 preizkušancev.

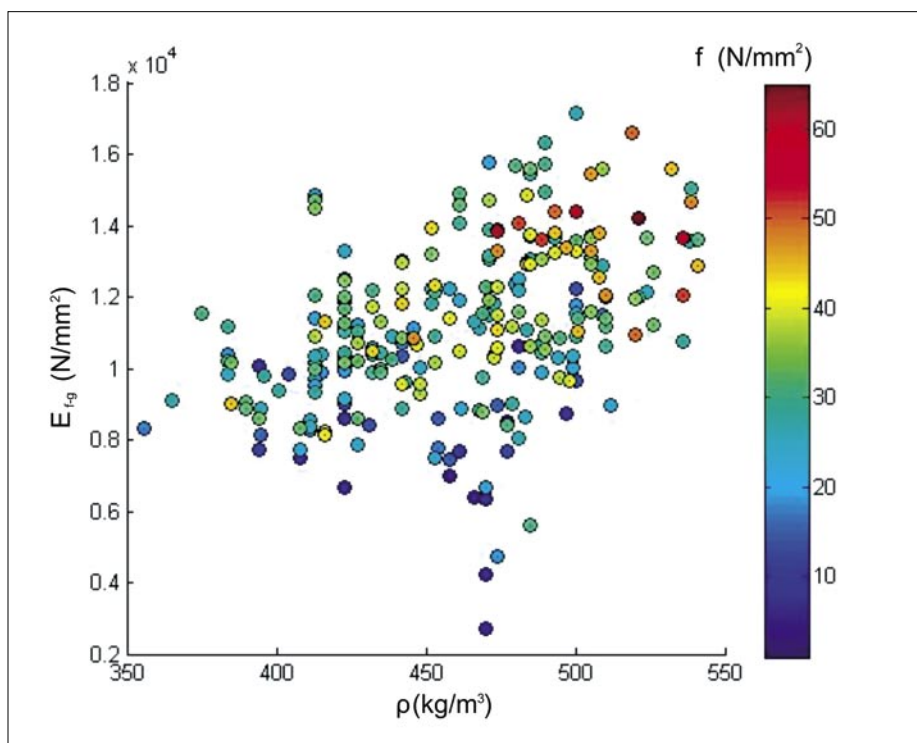
Topol in iglavci												
Razredi	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
$E_{0,mean}$	7	8	9	9.5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
$P_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460

Listavci						
Razredi	D30	D35	D40	D50	D60	D70
$f_{m,k}$	30	35	40	50	60	70
$E_{0,mean}$	10	10	11	14	17	20
$P_k$	530	560	590	650	700	900

Preglednica 1 • Mejne vrednosti za upogibno trdnost, modul elastičnosti in gostoto za trdnostne razrede iglavcev in listavcev

## 2 • OBRAVNAVANI PODATKI

Obravnani podatki so rezultati porušnih in neporušnih preiskav na 293 lesenih preizkušancih kvadraste oblike. Podrobnosti o poteku eksperimentov so podane v (Plos, 2006). Podatki, pridobljeni s preizkusi, so: gostota  $\rho$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), elastični moduli:  $E_{\theta/l}$  ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),  $E_{\theta/g}$  ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),  $E_{f/l}$  ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),  $E_{f/g}$  ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),  $E_{Tno}$  ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),  $E_{Zag}$  ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),  $E_{Sylv}$  ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) in upogibna trdnost  $f$  ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ). Elastični moduli  $E_{\theta/l}$ ,  $E_{\theta/g}$ ,  $E_{f/l}$  in  $E_{f/g}$  so dobljeni s statičnim obremenilnim preizkusom. Indeks  $e$  označuje elastične module, izmerjene na preizkušancih, ki so bili med preiskavo postavljeni pokončno, indeks  $f$  pa se nanaša na med preizkusom ležeče preizkušance. Indeks  $l$  in  $g$  označujeta dva načina, s katerima merimo elastični modul: lokalno, na osnovi upogibka na delu preizkušanca med koncentriranimi obtežbama s konstantnim momentom, in globalno, na osnovi največjega upogibka celotnega preizkušanca. Elastični moduli z indeksi  $Tno$ ,  $Zag$  in  $Sylv$  so dinamični moduli elastičnosti. Indeks  $Tno$  označuje elastični modul, določen v sodelovanju z inštitutom TNO na Nizozemskem, indeks  $Zag$  se nanaša na elastični modul, dobljen na Zavodu za gradbeništvo, indeks  $Sylv$  pa pomeni dinamični modul, določen s pomočjo merilne naprave Sylvastest. Značilnost izmerjenih lastnosti gradbenega lesa je velik raztros. Na sliki 1 prikazujemo upogibne trdnosti preizkušancev



Slika 1 • Prikaz raztrosa za  $f$  v odvisnosti od  $E_{fg}$  in  $\rho$

v odvisnosti od gostote in statičnega elastičnega modula  $E_{fg}$ . Razberemo lahko, da imajo vzorci s podrobnimi vrednostmi para ( $f$ ,  $E_{fg}$ ) velika odstopanja v trdnostih. Podobno

velja tudi za ostale podatke. Za gradbeni les je značilen velik raztros, ki pomembno vpliva tudi na napovedovanje trdnosti iz neporušnih podatkov.

## 3 • UMETNA NEVRONSKA MREŽA

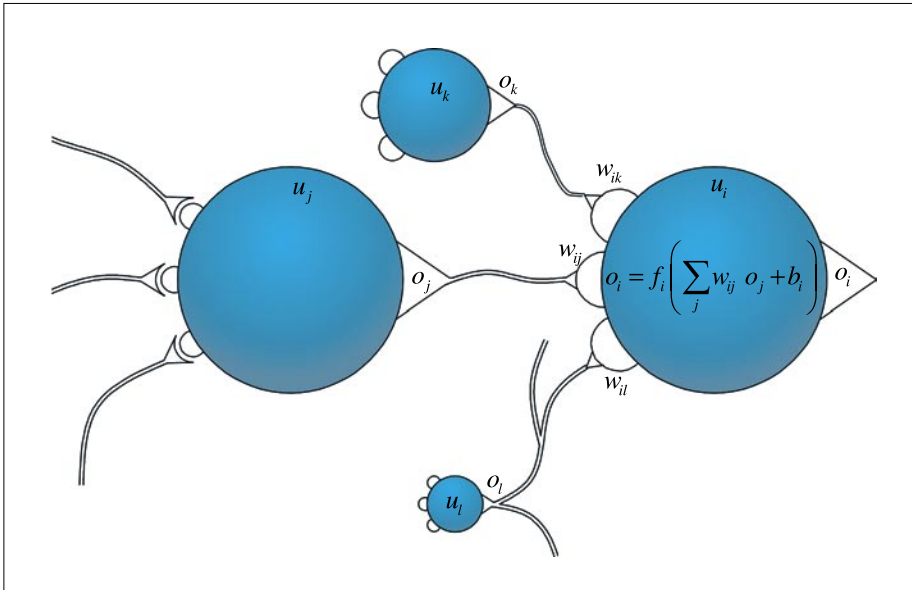
Umetne mreže so sicer manjše in manj komplicirane od bioloških, a delujejo na podoben način kot biološke mreže. Gradniki umetnih nevronske mreže so umetni nevroni oziroma krajše nevroni, ki so med seboj povezani z vezmi, imenovanimi uteži (glej sliko 2). Preko povezav sprejme nevron signal od drugih nevronov, signal ojača ali oslabi in ga pošlje naprej drugim nevronom. Posebnost pri umetnih nevronske mreže je, da jih ne programiramo, ampak jih učimo. Nevronska mreža ima »spomin«, kjer hrani vse informacije, pridobljene med učenjem. Učenje zahteva učne in testne podatke, kjer so vhodni in pripadajoči izhodni podatki poimenovani vhodno-izhodni pari. Učni so fisti, na katerih se mreža uči, spreminja povezave oziroma

vrednosti uteži med nevroni. Testni vhodno-izhodni pari se uporabijo za ugotavljanje, kako dobro zna nevronska mreža posplošiti naučene zveze. Pri učenju lahko pride tudi do prenaučeniosti nevronske mreže, kar pomeni, da je mreža sicer sposobna zelo natančno reproducirati vhodno-izhodne učne pare, ni pa sposobna dovolj dobro napovedati vrednosti za nove podatke. To pomeni, da za vhodno-izhodne pare, ki pri učenju niso bili vključeni, mreža ne bo sposobna generalizacije, torej ne bo zmožna izračunati izhodne vrednosti, ki bi bile podobne dejanskim.

Umetne nevronske mreže so bile uporabljene v zelo različnih inženirskih aplikacijah. Podrobnejše preglede teh del lahko najdemo v ((Topping, 1997), (Turk, 1996), (Ambrožič,

2001)). V zadnjem času smo nevronske mreže uspešno aplicirali tudi za modeliranje obnašanja jekla pri visokih temperaturah (Hozjan, 2008).

Shema delovanja umetne nevronske mreže je predstavljena na sliki 2. S črko  $u$  so označeni posamezni nevroni, s črko  $o$  pa pripadajoči izhodni signali. Na primer:  $i$ -ti nevron  $u_i$  je povezan z nekaj nevroni, od katerih prejme njihove izhodne signale  $o_j$ . Izhodne signale pomnožimo z utežmi  $w_{ij}$ , utežene signale seštejemo in vsoti dodamo vrednost praga signala  $b_i$ . Tako dobimo vrednost signala  $v$   $i$ -tem nevronu. To vrednost preslikamo z izhodno (ali aktivacijsko) funkcijo  $f_i$ , da dobimo  $o_i$  – izhodni signal  $i$ -tega nevrona. Povezave med nevroni in izhodne funkcije predpišemo vnaprej. Pomembna značilnost nevronske mreže je določitev uteži  $w_{ij}$ , ki jih določimo v postopku »učenja« nevronske mreže na osnovi podatkov. Metod učenja je več, najpogostejša pa je



Slika 2 • Shema delovanja umetne nevronske mreže

*posplošeno pravilo delta.* Postopek je naslednji: uteži najprej poljubno izberemo, nato pa jih iterativno spreminjamo, dokler razlika med pravimi in z nevronske mreže izračunanimi podatki ni dovolj majhna v smislu norme kvadratov razlik.

Za oceno trdnosti lesa smo uporabili fortranski program NTR2003 (Turk, 2003) in knjižnico nevronske mreže v komercialnem programu Matlab (Zupan, 2007). Opozorimo, da uporabljeni algoritmi niso povsem primerljivi, saj se podprogrami v obeh programih razlikujejo v več podrobnostih.

### 3.1 Opis parametrov, ki vplivajo na učenje

Na uspešnost učenja nevronske mreže vplivajo mnogi parametri.

#### Največja dovoljena napaka

Velikost dovoljene napake pomeni razliko med dejanskimi in z nevronske mreže izračunanimi izhodnimi vrednostmi podatkov oziroma rezultatov.

#### Velikost učnega koraka

Pri izbiri velikosti učnega koraka v splošnem velja, da manjša velikost učnega koraka zahteva večje število iteracij in obratno. Vendar

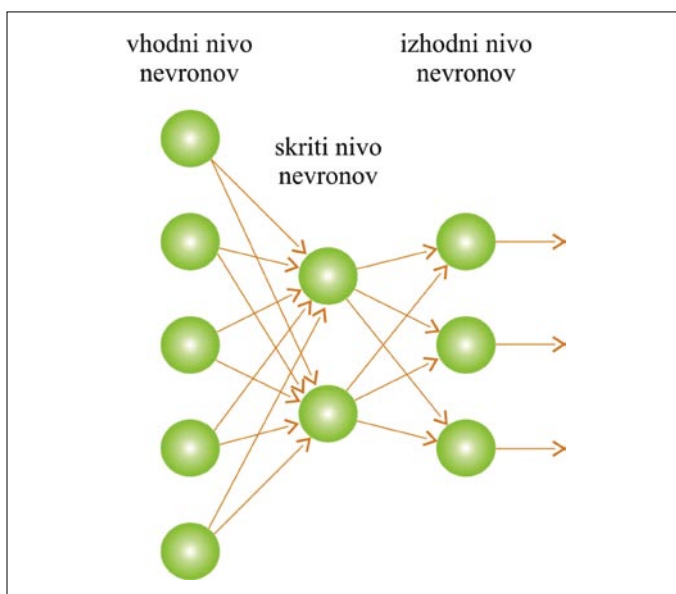
obstaja možnost, da se pri velikem učnem koraku umetna nevronska mreža ne nauči dobro, ker ne najde minimuma napake.

#### Maksimalno število iteracij

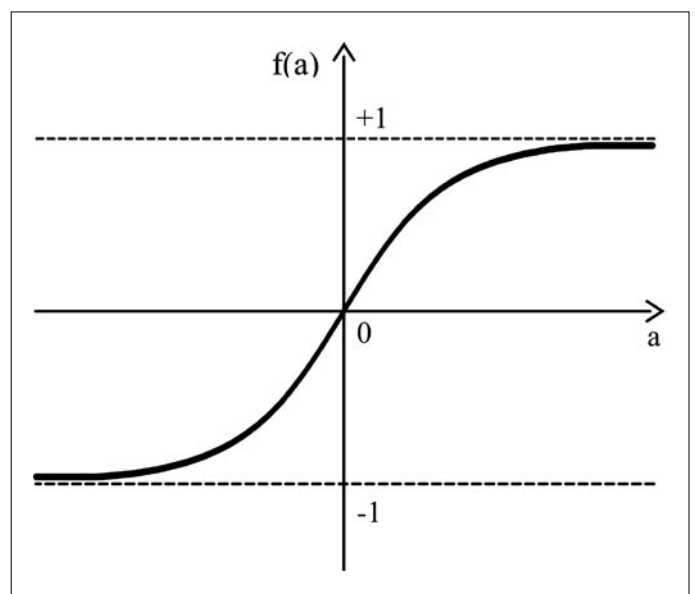
Na osnovi vhodnih podatkov izračuna umetna nevronska mreža vrednost izhodnega podatka v več iteracijah. Vrednost izhodnega podatka je odvisna od vrednosti uteži, določeni pri predhodni iteraciji. Nato mreža primerja izračunane izhodne vrednosti z zelenimi in na podlagi teh razlik po posplošenem pravilu delta spremeni vrednosti uteži (Reščič, 2004). Z maksimalnim številom iteracij omejimo število ciklov učenja.

#### Geometrija mreže

Geometrija umetne nevronske mreže se nanaša na število vhodnih in izhodnih nevronov ter na število skritih nivojev in število nevronov na posameznem skritem nivoju. Če je mreža premajhna, ne bo sposobna predstaviti želene funkcije, če je prevelika, lahko pride do prekomernega prilaganja (angl. *overfitting*). Ponavadi optimalne geometrije mreže ne poznamo, zato je za posamezen problem treba narediti mnogo parametričnih študij, s katerimi najdemo ustrezne dimenzije mreže. Obstajajo alternativne metode, ki temeljijo na učenju večje mreže, kot je potrebno, nato pa se s pomočjo obrezovanja (angl. *pruning*) odstranijo odvečni deli mreže. Lahko se uporabijo tudi premajhne mreže in se jim nato dodajo povezave, ki omogočijo boljšo generalizacijo. Možna je tudi kombinacija obeh metod.



Slika 3 • Shema večnivojske usmerjene nevronske mreže



Slika 4 • Tangentna sigmoidna funkcija



### Izhodne funkcije

Z njimi preslikamo vrednost izhodnega signala. Za naše primere smo uporabili eksponentno sigmoidno izhodno funkcijo pri programu NTR2003 in različne funkcije pri knjižnici mrež v Matlabu (eksponentno sigmoidno, tangentno sigmoidno (slika 4) in linearno izhodno funkcijo).

### 3.2 Priprava podatkov na učenje

Učenju umetne nevronske mreže je namenjenih 250 naključno izbranih preizkušancev, testiranju pa preostalih 43 preizkušancev, za katere poznamo 9 lastnosti ( $\rho$ ,  $E_{e,v}$ ,  $E_{e,g}$ ,  $E_{f,v}$ ,  $E_{f,g}$ ,  $E_{Tno}$ ,  $E_{Zog}$ ,  $E_{Sylv}$  in upogibna trdnost lesa  $f$ ). Dejansko pri nobeni vrsti preiskav ne merimo vseh omenjenih parametrov istočasno. Zato smo obravnavali različne primere zvez med vhodnimi in izhodnimi podatki, ki se med seboj razlikujejo glede na to, kateri podatki so bili uporabljeni kot vhodni podatki in kateri kot izhodni:

- V primeru 1 kot vhodni podatki nastopajo:  $\rho$ ,  $E_{e,v}$ ,  $E_{e,g}$ ,  $E_{f,v}$ ,  $E_{f,g}$ ,  $E_{Tno}$ ,  $E_{Zog}$ ,  $E_{Sylv}$  kot izhodni podatek pa upogibna trdnost lesa  $f$ .
- V primeru 2 nastopajo kot vhodni podatki:  $\rho$ ,  $E_{f,g}$ ,  $E_{Tno}$ , kot izhodni podatek pa upogibna trdnost lesa  $f$ .
- V primeru 5 nastopajo kot vhodni podatki:  $\rho$ ,  $E_{f,g}$ ,  $E_{Tno}$ , kot izhodni podatek pa upogibna trdnost lesa  $f$  in  $E_{e,v}$ .

Analizo za druge kombinacije vhodnih in izhodnih podatkov lahko najdete v diplomu (Šinkovec, 2008).

### 3.3 Statistični kazalci uspešnosti nevronske mreže

Kako uspešna je bila umetna nevronska mreža pri učenju, ugotovimo, ko ji posredujemo nize testnih parov. Mreža na osnovi vrednosti uteži, izračunanih v zadnji iteraciji učenja, izračuna izhodne vrednosti za testne podatke in jih primerja z dejanskimi vrednostmi. Razlike med dejanskimi in izračunanimi rezultati smo prikazali s pomočjo povprečnega absolutnega odstopanja razlik, standardnega odklona in koeficienta korelacije.

### 3.4 Program NTR2003

Program NTR2003 je namenjen učenju in testiranju večnivojskih usmerjenih umetnih nevronske mreže. Proces učenja poteka na osnovi algoritma z vzvratnim širjenjem napake, ki temelji na posplošenem pravilu delta. Zaradi lažjega obvladovanja velikosti posameznih spremenljivk in večje stabilnosti računa vse vrednosti količin preslikamo na interval (0,1,

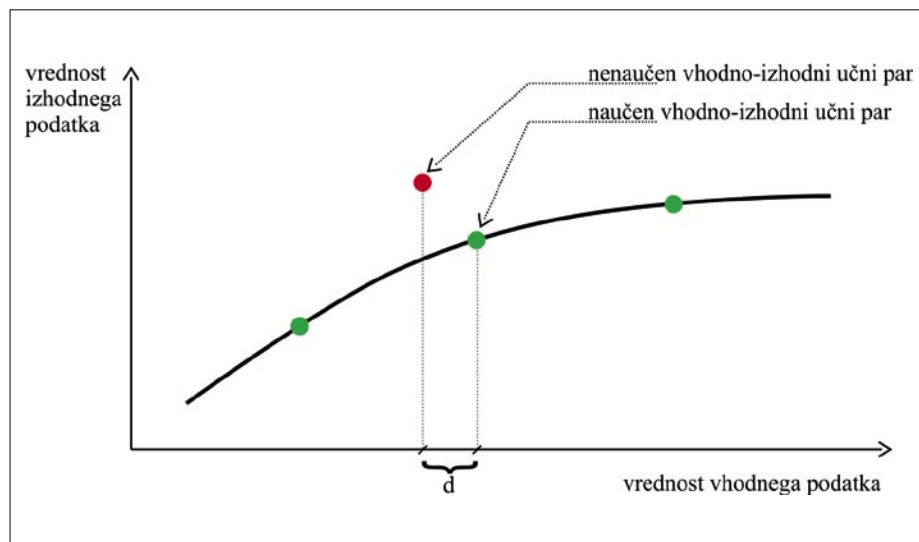
0,9). Postopek učenja mreže v NTR2003 je iterativen in poteka na osnovi spreminjanja uteži med nevroni. To pomeni, da večkrat zapored procesira podane nize vhodno-izhodnih podatkov in si skuša »zapomniti« čim več le-teh. Na podlagi »spomina« bo nato umetna nevronska mreža zmožna izračunati za neznan vhodni podatek, ki je podoben učnim, ustrezno izhodno vrednost. Na učenje umetne nevronske mreže vpliva vrsta parametrov, kot so maksimalno število iteracij, velikost učnega koraka, geometrija mreže, multiplikacijski faktor, maksimalna velikost napake in tudi sami podatki, na katerih se mreža uči. Poudarek je ravno na zadnjem parametru, torej na podatkih. Ko je program NTR2003 izračunal vse izbrane tipe mrež, smo za nadaljnjo obravnavo izbrali tisto, ki je imela najmanjše število nenaučeni učnih parov. Nato smo pri izbrani mreži izločili nenaučene pare. Za vsak nenaučeni učni par smo izračunali norme vhodnih podatkov glede na ostale nenaučene učne pare podatkov in glede na naučene učne pare podatkov (slika 5). S tistim učnim parom (nenaučeni ali naučeni), s katerim je nenaučeni par tvoril najmanjšo normo vhodnih podatkov, smo ga združili. Združitev je potekala v smislu izračuna povprečnih vrednosti vhodnih in izhodnih podatkov. Nato so ti novi združeni podatki predstavljali nov učni par, ki je nadomestil tista dva, ki sta tvorila minimalno normo. Ponovno smo testirali mrežo in ugotavljali, kako je združevanje podatkov vplivalo na uspešnost učenja mreže. Testirali smo mreže z enim, dvema ali tremi skritimi nivoji, upoštevali smo 10.000, 50.000 in 100.000 maksimalnih iteracij, največja dovoljena napaka normiranih podatkov je 0,1.

### 3.4.1 Rezultati

Opozorili smo že, da je za podatke značilen velik raztros. V odvisnosti od vhodnih podatkov so se umetne nevronske mreže naučile različno število učnih parov. Najbolj izstopa prvi primer, kjer se je več različnih mrež naučilo vse učne nize podatkov že pred združevanjem parov. Statistični kazalci, ki kažejo uspešnost učenja, so pokazali, da učenje ni bilo preveč uspešno, saj je prišlo do problema prenaučeniosti. To pomeni, da se je mreža preveč natančno naučila učne podatke, zato ni bila sposobna dobro generalizirati znanja na testne podatke. Ta problem se pojavlja pri vseh petih primerih, vendar je pri prvem najizrazitejši. Iz poznejšega testiranja se je izkazalo, da bi bilo prenaučeniost smiselno rešiti z upoštevanjem manjšega števila maksimalnih iteracij.

### 3.5 Knjižnica umetnih nevronske mreže v programu Matlab

Za učenje in testiranje umetnih nevronske mreže smo preizkusili tudi knjižnico nevronske mreže v programskem paketu Matlab. Zaradi primerjave s programom NTR2003 je izbrani proces učenja mreže v programu Matlab adaptiven in temelji na posplošenem pravilu delta, kombiniranim z momentno metodo pri računu popravkov uteži. Zaradi slabšega obnašanja večnivojskih usmerjenih umetnih nevronske mreže smo za račun v programu Matlab uporabili umetne nevronske mreže, kjer je vsak nivo povezan z vsemi naslednjimi (slika 6). Velikost dovoljene napake je enaka kot pri uporabi programa NTR2003, maksimalno število iteracij je pri vseh mrežah

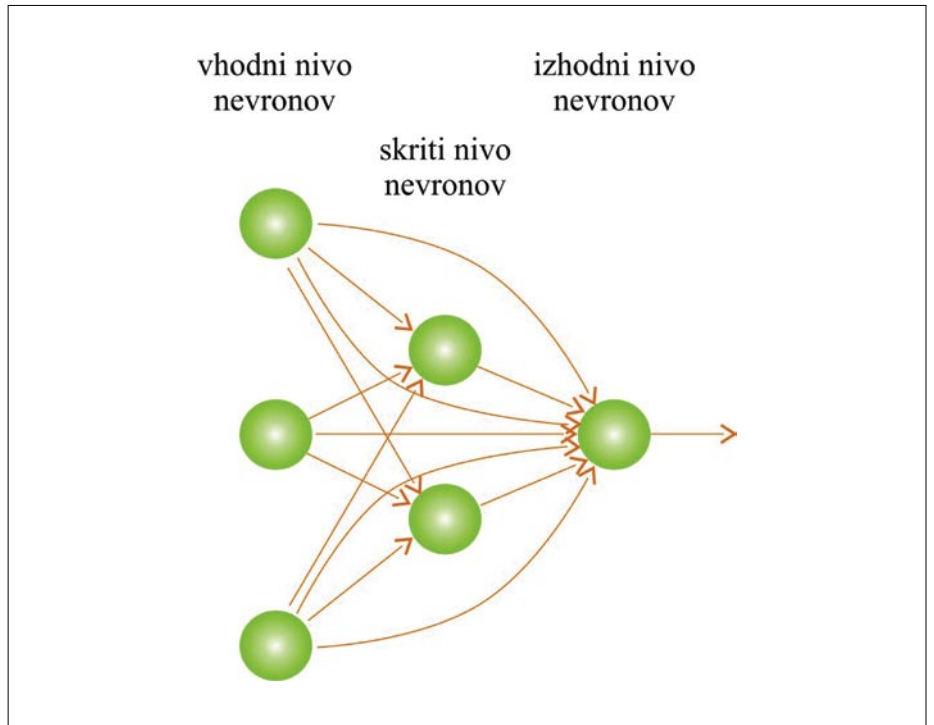


Slika 5 • Vhodni podatek nenaučeni učni par, ki je podoben naučenemu

100. Za tako maksimalno število iteracij smo se odločili na podlagi večkratnega izračuna istega tipa mreže. Ker program na začetku naključno izbere uteži mreže, se rezultati učenja ustalijo šele po zadostnem maksimalnem številu iteracij. Mreže, dobljene po 100 korakih adaptivnega učenja, pa so se le minimalno razlikovale, ne glede na različne začetne vrednosti uteži. Najprej smo program uporabili na osnovnih podatkih in nato še na združenih.

### 3.5.1 Rezultati

V splošnem geometrija mreže pri računu v Matlabu nima izstopajočega vpliva. Pri izhodnih funkcijah na skritih nivojih se je izkazalo, da ima na število nenaučenih učnih parov najmanjši vpliv logaritemska izhodna funkcija in ravno tako sta pri vseh treh statističnih kazalcih dali boljše rezultate tangentska sigmoidna in linearna izhodna funkcija. Koeficient korelacije je v nekaterih primerih pri logaritemski sigmoidni funkciji celo negativen, kar pomeni, da se mreža ni pravilno naučila učnih parov. V primerjavi s programom NTR2003 so se umetne nevronske mreže v programu Matlab naučile manj učnih parov, vendar so bile pri kontroli njihovega »znanja« na testnih podatkih uspešnejše. Mreže v Matlabu so sposobne svoje »znanje« bolje posplošiti kot mreže v programu NTR2003, kjer je prihajalo do prenaučeniosti. Po združevanju



Slika 6 • Shema umetne nevronske mreže, pri kateri je vsak nivo nevronov povezan z vsemi naslednjimi

učnih parov se je nekoliko zmanjšal delež nenaučenih učnih parov. Na statistične kazalce, ki pokažejo uspešnost učenja, pa združevanje nima posebnega vpliva. Torej so mreže, računane s programom Matlab, ne-

odvisne od podatkov, ki so združeni v smislu minimalne medsebojne norme. To seveda ne pomeni, da drugačne metode združevanja ne bi omogočile boljšega učenja, vendar je to področje nadaljnjih raziskav.

## 4 • SKLEP

Rezultati iz programa NTR2003 so pokazali, da se te mreže naučijo veliko učnih parov, vendar so pri posploševanju znanja na testne pare slabe. Združevanje podatkov v smislu minimalne norme učnih parov najbolj vpliva na delež nenaučenih učnih parov, saj se ta po združitvi parov zmanjša. Tudi uspešnost učenja se za malenkost izboljša, vendar ne pri vseh primerih. Torej ima združevanje podatkov v smislu minimalnih norm le manjši vpliv na uspešnost učenja mrež. Zaradi ugotovitve o prenaučeniosti mrež smo program NTR2003 preizkusili še z manjšim številom iteracij (5000, 1000 in 100). Rezultati so pokazali, da bi se taka mreža obnašala boljše, saj ni prišlo do prenaučeniosti. Naučila se je manj učnih parov, vendar je bila pri posplošitvi znanja na testne pare boljša.

Iz rezultatov, dobljenih s programom Matlab, se je izkazalo, da imajo na učenje mrež velik vpliv izhodne funkcije na skritih nivojih. Združevanje podatkov v splošnem zmanjša delež nenaučenih učnih parov, uspešnost učenja je od združevanja učnih parov neodvisna.

Zaključimo lahko, da je bistveni problem pri lesu velik raztros podatkov. Združevanje zmanjša razpršenost in s tem število nenaučenih parov, vendar seveda uspešnost mreže na testnih podatkih ne more biti bistveno boljše, saj so tudi testni izpostavljeni velikemu raztrosu. Paziti moramo tudi na problem prenaučeniosti, kjer sicer naučimo mrežo učnih zvez do zahtevane natančnosti, testni podatki pa so le slabo opisani z utežmi take mreže. Opozoriti je treba, da je možno

v programu Matlab uporabiti tudi drugačne tipe mrež, ki imajo vgrajene določene »varovalke« za preprečevanje prenaučeniosti. Ena takih »varovalk« je predčasna ustavitev učenja mreže (angl. *early stopping*), kjer program določen del učnih podatkov uporabi za učenje, preostale pa za kontrolo. Ko prične napaka kontrolnih učnih podatkov naraščati, se učenje mreže ustavi in s tem se prepreči prenaučeniost mreže. Potrebno je poudariti, da na uspešnost učenja vpliva še veliko dejavnikov. Uspešnost učenja je merjena na naključno določenih testnih podatkih, ki so ravno tako kot učni, izpostavljeni velikemu raztrosu. Za še boljše rezultate bi bilo smiselno za učenje preizkusiti večje število vhodno-izhodnih parov in preizkusiti druge metode združevanja.

**5 • LITERATURA**

- Ambrožič, T., Aplikacija umetnih nevronske mreže v napovedovanju ugrezanja zaradi podzemnega rudarjenja, Doktorska disertacija, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 109 f, 2001.
- Hozjan, T., Turk, G., Srpčič, S., Fire analysis of steel frames with the use of artificial neural networks, *Journal of constructional steel research*, 63, 10: 1396–1403, 2008.
- Plos, M., Nedestruktivne metode za razvrščanje gradbenega lesa po trdnosti, Diplomski naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 59 f, 2006.
- Reščič, D., Strojno razvrščanje lesa z uporabo nevronske mreže, Diplomski naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 63 f, 2004.
- Rumelhart, D. E., McClelland, J. L., The PDP Research Group, *Parallel Distributed Processing, Volume 1: Foundations*. Cambridge, The MIT Press: 501 f, 1986.
- Topping, B. H. V., Bahreininejad, A., *Neural computing for structural mechanics*, Edinburg, Saxe-Coburg publications: 176 f, 1997.
- Turk, G., Logar, J., Uporaba umetne inteligence v gradbeni konstruktivi, *Gradbeni vestnik* 35, 5-6-7, 147–153, 1996.
- Turk, G., Program NTR2003, Ljubljana, 2003.
- Zupan, D., Programski jezik Matlab, Kratak tečaj, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG, 2007.
- Saerle, <ftp://ftp.sas.com/pub/neural/faq.html#questions>, 19. 2. 2008.

**Standardi**

- DIN 4074-1: 2003, Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit, Teil 1: Nadelschnittholz.
- DIN 4074-2: 1958, Bauholz für Holzbauteile, Gütebedingungen für Baurundholz (Nadelholz).
- DIN 4074-3: 2003, Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit, Teil 3: Sortiermaschinen für Schnittholz, Anforderungen und Prüfung.
- DIN 4074-4: 2003, Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit, Teil 4: Nachweis der Eignung zur maschinellen Schnittholzsartierung.
- DIN 4074-5: 2003, Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit, Teil 5: Laubschnittholz/Achtung: Gift in Verbindung mit DIN 6779-1 und DIN 6779-2.
- EN 338: Structural timber – Strength Classes, april 2003.
- SIST EN 14081-1: 2006, Lesene konstrukcije, Razvrščanje konstrukcijskega lesa s pravokotnim prečnim prerezom po trdnosti, 1. del, Splošne zahteve.
- EN 14081-2: 2005, Timber structures, Strength graded structural timber with rectangular cross section, Part 2, Machine grading, Additional requirements for initial type testing.
- SIST EN 14081-3: 2006, Lesene Konstrukcije, Razvrščanje konstrukcijskega lesa s fazonskimi kosi po trdnosti, 3. del, Strojno razvrščanje; dodatne zahteve za notranjo kontrolo proizvodnje.
- SIST EN 14081-4: 2005 + A2: 2008, Lesene konstrukcije, Razvrščanje konstrukcijskega lesa pravokotnega prečnega prereza po trdnosti, 4. del, Strojno razvrščanje – Nastavitev strojev za razvrščanje pri strojno kontroliranih sistemih.

# OCENA VPLIVA FOSFORJA IZ KMETIJSTVA NA EVTROFIKACIJO POVRŠINSKIH VODA V KRAJINSKEM PARKU GORIČKO

## ESTIMATION OF IMPACT OF AGRICULTURAL PHOSPHORUS ON EUTROPHICATION OF SURFACE WATER IN GORIČKO NATURE PARK

**Darjio Ilić, univ. dipl. inž. zoot.**

Javno komunalno podjetje Šalovci, d. o. o.,  
Šalovci 162, 9204 Šalovci

**izr. prof. dr. Jože Panjan, univ. dipl. inž. grad.**

UL FGG IZH, Jamova 2, 1000 Ljubljana

**Znanstveni članek**

UDK: 504.4.054:556.5:631.8

**Povzetek** | Članek predstavlja oceno vpliva kmetijske dejavnosti na obremenjevanje hidrosfere s fosforjem v Krajinskem parku (KP) Goričko. Področje je izrazito kmetijsko, saj v strukturi rabe zemljišč predstavljajo kmetijska zemljišča v uporabi skoraj 60 %, gozd pa 27 %. Uporabili smo metodo, ki temelji na bilančnem pristopu. Za izračun skupne obremenitve hidrosfere v KP Goričko s fosforjem so bili uporabljeni statistični podatki in podatki iz literature. Pri izračunih so bili upoštevani viri fosforja iz komunalnih odpadnih voda iz gospodinjstev, kmetijskih površin v uporabi, živinoreje, gozda in nekmetijskih površin. Vsak vir fosforja je bil ocenjen ločeno. Ocenjeno je bilo, da je skupna obremenitev hidrosfere v KP Goričko 116,4 t fosforja na leto. Največji delež pri obremenitvi hidrosfere v KP Goričko s fosforjem predstavlja živinoreja (46 %) in kmetijske površine v uporabi (43 %).

**Summary** | The paper presents the estimation of the impact of agricultural practice on the load of hydrosphere by phosphorus in Nature Park (NP) Goričko. The area of NP is distinctly agricultural where agricultural land in use presents more than 60 % of use in the structure of land and forests present only 27 %. A method based on a balance access was used. Statistical data and literature were used for the calculation of the total load of phosphorus in NP Goričko. The sources of phosphorus in communal waste water, agricultural land in use, animal husbandry, forest, and non-agricultural land were taken into account in calculations. Each source was estimated separately. The total load of phosphorus in NP Goričko was estimated to 116,4 t per year. The biggest portion of the phosphorus load in NP Goričko (46 %) is due to animal husbandry (46 %) and about 43 % to agricultural land in use.



## 1 • UVOD

Dejavniki, zaradi katerih se spreminjajo kemijski, biološki, fizikalni in tudi hidromorfološki elementi vode, se štejejo za dejavnike, ki obremenjujejo vodo, s čimer vplivajo na njeno stanje. Obremenjevanje hidrosfere s fosforjem tako kot z ostalimi hranili razdelimo na točkovne in razpršene vire. Točkovni vir enega ali več onesnaževal lahko geografsko določimo in ponazorimo kot točko na karti, od koder se onesnaževanje širi v okolico, vpliv se z oddaljevanjem zmanjšuje. Točkovni viri so industrijske odpadne vode, komunalne odpadne vode, direktni izpusti iz živinorejskih obratov itd. Poselitev, kmetijstvo in cestne površine so vir

difuznega ali razpršenega onesnaževanja, ki jih ne moremo geografsko določiti na karti kot točko, ampak izvirajo iz določenega območja. Difuzno onesnaženje je najprodornejša oblika onesnaženja, ki ga je težko nadzirati in kontrolirati. Kot glavni problem je intenzivno kmetijstvo, ki s povečanim gnojenjem in intenzivno živinorejo povečuje vnose hranilnih snovi v hidrosfero. Preden postane difuzno obremenjevanje voda globalen ali problem širše regije, je to predvsem lokalni problem, ki vpliva na manjše reke in potoke.

Fosfor je prisoten v naravnih in odpadnih vodah skoraj izključno v obliki fosfatov. Fosfate

razdelimo na ortofosfate, polifosfate in na organsko vezane fosfate. Organski fosfor je prisoten v razkrojenem materialu in v telesih vodnih organizmov. Te oblike fosfatov izvirajo iz različnih virov. Fosfor prihaja v vodno okolje preko naravnih procesov izpiranja preperin (Panjan, 1999), majhne količine polifosfatov so dodane vodi v fazi priprave pitne vode. Večje količine so dodatne sredstvom za pranje perila. Ortofosfati se dodajajo v kmetijstvu kot gnojilo, ki se spirajo predvsem v površinske vode. Organski fosfat se primarno formira v bioloških procesih, kjer nastaja iz ortofosfatov. Fosfor je esencialen za rast organizmov in je lahko limitni element v primarni proizvodnji. Fosfate najdemo tudi v sedimentih in biološkem blatu, kjer so v anorganski obliki ali vključeni v organske sestavine.

## 2 • OBLIKE FOSFORJA IN FOSFORJEV CIKEL

Fosfor je poleg dušika drugi najpomembnejši esencialni element v primarni produkciji (Green, 2007) in je najpomembnejše hranilo, ki povzroča evτροφikacijo sladke vode (Lemunyon, 1998), ki povzroča rast alg, znižuje raztopljeni kisik v vodi in zmanjšuje prosojnost vode. Določitev oblik fosforja v okolju

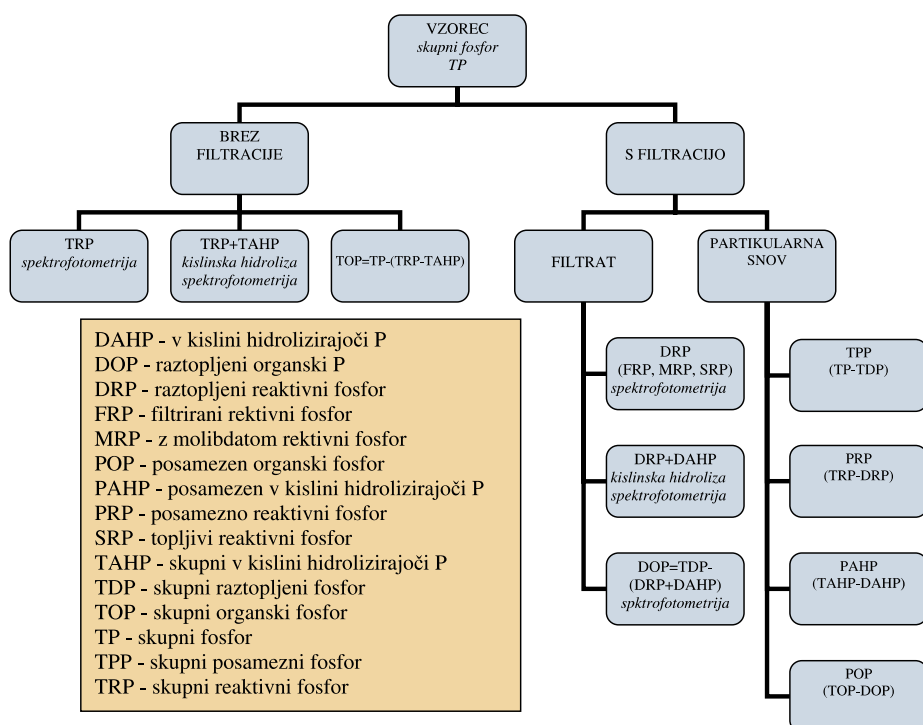
omogoča oceno zdravstvenega stanja okolja (Worsfold, 2005). Evτροφikacija je naravno staranje jezer in tekočih voda, ki jih lahko močno pospeši človek s svojim delovanjem (USDA, 1999). Določanje oblik fosforja v naravnih sistemih omogoča določanje zdravstvenega stanja ekosistemov, raziskavo

vanje biokemijskih procesov in primerjavo z zakonodajo. V vodnih področjih lahko prebitki fosforja tako iz točkovnih kakor tudi iz razpršenih virov povzročajo povečano primarno produkcijo in evτροφikacijo z možnostjo sezonskega toksičnega cvetenja alg, ki ima lahko velik negativen vpliv na globalno kvaliteto voda (Worsfold, 2005)). Vodne oblike fosforja in različna poimenovanja fosforja prikazujemo shematično na sliki 1.

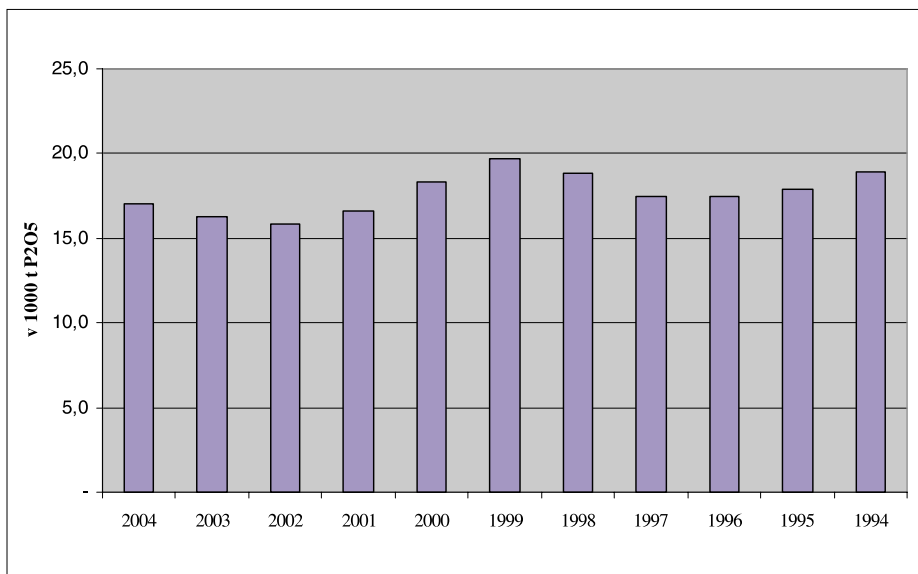
V splošnem razdelimo analize fosforja v dve stopnji: (a) pretvorba oblik fosforja v ortofosfat in (b) kolorimetrična določitev ortofosfata. Ločevanje fosforja v različne oblike določimo analitično.

Svetovna poraba fosforja v letu 2001 je bila 39,5 milijona ton P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Luirente, 2003). Glavni porabnik fosforja je agroindustrija; skupna poraba je ocenjena na kar 85 %. Poraba fosforja v Sloveniji je prikazana na sliki 2.

Za razumevanje, kako lahko P uhaja iz agroekosistema, je nujno potrebno poznavanje fosforjevega cikla (slika 3). Vir fosforja v tleh predstavljajo ostanki talnih mineralov gnojil (organskih in mineralnih). V prsti je najdenih več kot 200 oblik mineralov, ki vsebujejo fosfor, najpogostejša sta apatit (kalcijev fosfat) in železov in aluminijev fosfat. Surovina za komercialna gnojila P je apatit, ki ga obdelajo z žveplovo ali fosforno kislino in tako dosežejo boljšo topnost P. Vir organskih gnojil/odpadkov so živalski gnoj, ostanki rastlin ter komunalni in industrijski odpadki. V tleh potekajo številni procesi s fosforjem, ki omogočajo dostopnost fosforja rastlinam in možnost prehoda v površinske vode. V talni raztopini je fosfor prisoten kot monovalentni



Slika 1 • Vodne oblike fosforja (Worsfold, 2005)

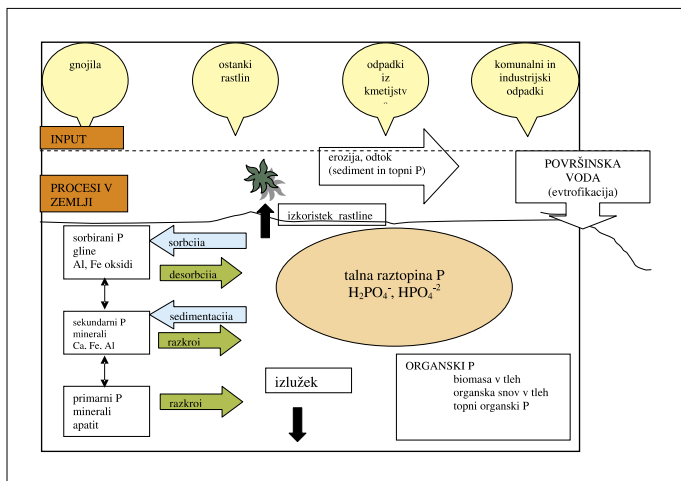


Slika 2 • Poraba fosforja v Sloveniji v letih 1994–2004

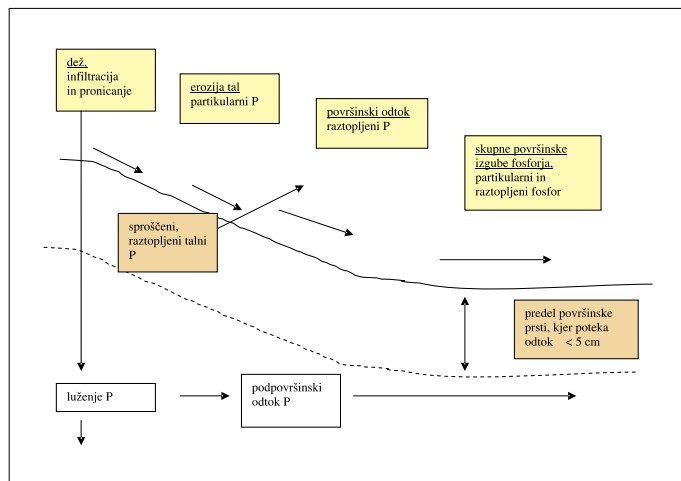
(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) anion kakor tudi divalentni (HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) anion. Fosfor prehaja v talno raztopino kot:

1. razkroj primarnih mineralov,
2. razkroj sekundarnih mineralov,
3. desorbcija iz glin, oksidov in mineralov,
4. posledica mineralizacije organskih materialov v anorganske.

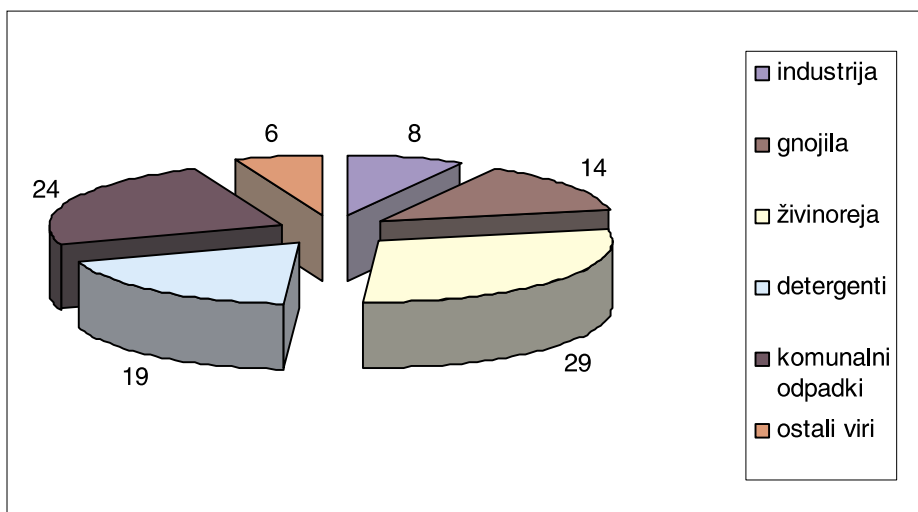
Potrebno je poudariti, da so vsi ti procesi reverzibilni. V večini prsti je koncentracija fosforja v talni raztopini med 0,01 do 0,2 mg/l. To je koncentracija, ki jo potrebuje za svojo rast večina poljščin. Odtok (površinski, podpovršinski) in erozija so procesi, v katerih se fosfor izgublja iz kmetijskih površin v hidrosfero. Desorpcijski in razkrojni fosfor iz tanke zone površinske prsti (slika 4) in raztopljeni fosfor iz vegetativnega materiala je takoj dostopen vodni bioti. Erozija tal transportira partikularni fosfor v obliki prsti in vegetativnega materiala. Samo



Slika 3 • Fosforjev cikel



Slika 4 • Transportni procesi gibanja prsti P v vodo



Slika 5 • Glavni viri fosforja, ki obremenjuje površinske vode v Združenem kraljestvu

ta del partikularnega fosforja v ravnotežju z raztopljenim fosforjem je dostopen vodni bioti. Ta bio razpoložljivi fosfor vključuje raztopljeni fosfor in dele partikularnega fosforja. Ko pride bio razpoložljivi fosfor iz kmetijskih površin v vodno telo, prispeva k eutrofikaciji. V tleh, kjer je akumuliranega več fosforja, je gibanje fosforja tudi v smeri navzdol.

Kot je prikazano na sliki 5 je kmetijstvo velik krivec razpršenega onesnaževanja površinskih voda s fosforjem. Fosfor se spira s površine zemlje direktno v tekoče vode in skozi prepustna tla v podtalnico. Večina fosforja se spira s kmetijskih površin v površinske tekoče vode, spiranje v podtalnico je malenkostno. Izgube fosforja s kmetijskih površin znašajo od 0,97 do 1,85 kg/ha/leto. Rast rastlin v vodnih sistemih je odvisno od številnih faktorjev, kot so

hranilne snovi, svetloba, temperatura, vodni režim, motnost, poraba zooplanktona in prisotnost strupenih substanc. Ti faktorji so po vrsti

povzročeni z lastnostmi porečij ter vodnih teles in so odraz človekovega delovanja. V stoječih vodah je fosfor ključni omejitveni element, ki ob-

vladuje primarno produktivnost. Na sliki 5 je prikazan prispevek glavnih virov fosforja, ki vstopa v površinske vode v Združenem kraljestvu.

### 3 • MATERIAL IN METODE

Oceno vpliva fosforja iz kmetijskih površin na hidrosfero v Krajinskem parku (KP) Goričko smo opravili na podlagi podatkov iz literature in statističnih podatkov. Uporabili smo metodo, ki temelji na bilančnem pristopu. Ocenili smo skupni fosfor, ki se izloči v hidrosfero v KP Goričko. Upoštevali smo odvajanje komunalne odpadne vode: izpuste iz čistilnih naprav, pretočnih greznic in direktne izpuste v površinske vode. Industrijske odpadne vode nismo upoštevali, ker v KP Goričko industrije praktično ni. Upoštevali smo izgube iz kmetijskih površin v uporabi, iz gozdov in iz ostalih površin. Za vsak vir smo ocenili letni doprinos k obremenitvi hidrosfere s fosforjem v KP Goričko.

#### 3.1 Odvajanje komunalne odpadne vode iz gospodinjstev

Na raziskovanem področju (576,55 km<sup>2</sup>) živi skupaj 28.352 prebivalcev. Komunalna infra-

struktura s področja zdravstvene hidrotehnike večinoma še ni izgrajena. Za območje celotnega Pomurja trenutno poteka postopek priprave državnega prostorskega načrta za ureditev celovite oskrbe prebivalstva s pitno vodo in varovanja pomurskih vodnih virov. Po operativnem programu odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode je področja, ki spadajo v poselitveno območje, kjer je poselitev manjša od 20 PE/ha, potrebno opremiti s komunalno infrastrukturo za odvajanje in čiščenje komunalne odpadne vode do leta 2015 oziroma 2017. Zaradi tega je na čistilne naprave priključenih le 20 % prebivalstva. Ostali večinoma odvajajo komunalno odpadno vodo skozi pretočne greznice (60 %), nekateri (10 %) pa v gnojnične jame, ki se nato distribuira na kmetijske površine. Ostali (10 %) pa spuščajo komunalno odpadno vodo direktno v površinske vode. Za izračun

obremenitve smo (Dojlido in Best, 1993) uporabili količino fosforja, ki ga proizvede 1 PE na dan (3 g). Ocenjujemo, da se iz čistilnih naprav izloča minimalna količina fosforja v skladu z Uredbo o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih voda iz komunalnih čistilnih naprav (UL RS, št. 45/2007). Po Gilliomu in Claytonu (Gilliom in Clayton, 1983) smo upoštevali, da se 95 % fosforja odstrani iz komunalne odpadne vode, ki prihaja v okolje iz pretočnih greznic. Po internih podatkih Henkla (Wind, 2007) je poraba detergentov v Sloveniji 10 kg na prebivalca na leto. Po Pillayu (2000) vsebujejo detergenti v povprečju 6,5 % fosforja. Površino gozda po občinah v KP Goričko smo ocenili na podlagi pokrovnosti tal v Sloveniji 1993–2001 (SURS, 2005). Po oceni predstavlja gozd nekaj več kot 27 % rabe površin. Kot nekmetijske površine smo upoštevali površine, ki jih nismo opredelili kot kmetijske površine ali kot gozd. Nekmetijske površine tako predstavljajo 14,63 % celotne površine KP Goričko oziroma 8435 ha. Glede na opravljeno analizo ugotavljamo, da je raba zemljišč v KP Goričko izrazita za kmetijske namene, zato ocenjujemo, da je vpliv kmetijstva tako na hidrosfero kakor tudi na širše okolje zelo veliko.

#### 3.2 Kmetijstvo

Kot smo že predhodno prikazali, povezujemo difuzno onesnaženje s fosforjem predvsem s kmetijstvom. Na preučevanem področju kmetijske površine v uporabi predstavljajo skoraj 60 % vse površine v Krajinskem parku Goričko, 27 % predstavlja gozd, ostalo so kmetijske površine v zaraščanju, neobdelane kmetijske površine in ostale površine. Ker gre za zavarovano področje, ocenjujemo, da kmetije večinoma kmetujejo v skladu s Pravilnikom za izvajanje dobre kmetijske prakse (UL RS, št. 130/2004). Kmetije redijo v Krajinskem parku 22.442 GVŽ. Ocenili smo, da največji delež v reji predstavljata govedoreja in prašičereja. Za izračun količine izločenega fosforja smo upoštevali vednost 20,02 kg P/GVŽ. Dovoljena obtežba kmetijske zemlje v uporabi z živino je predpisana v Uredbi o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla (UL RS, št. 84/2005), ki predpisuje največjo dovoljeno obtežbo 2 do 2,8 GVŽ/ha (odvisno od vrste živali). Za prejemnike kmetij-

Občina	Površina (km <sup>2</sup> )	Št. prebivalcev (P)	Kmetijske površine v uporabi		Gozd		Število GVŽ (-)
			(ha)	(%)	(ha)	(%)	
Cankova	30,58	2.038,00	2.020,51	66,07	764,50	25,00	1.717,75
Dobrovnik	31,00	1.390,00	715,29	23,07	775,00	25,00	251,31
Gornji Petrovci	66,84	2.288,00	3.941,80	58,97	3.007,80	45,00	5.104,03
Grad	37,39	2.363,00	2.606,44	69,71	1.308,65	35,00	1.288,00
Hodoš	18,00	338,00	812,45	45,14	810,00	45,00	378,22
Kobilje	19,70	632,00	549,71	27,90	886,50	45,00	187,06
Kuzma	22,85	1.637,00	1.341,52	58,71	1.028,25	45,00	511,89
Moravske Toplice	144,46	6.207,00	7.930,43	54,90	2.166,90	15,00	4.099,00
Puconci	107,58	6.308,00	7.350,77	68,33	1.613,70	15,00	5.593,51
Rogaševci	40,00	3.381,00	2.725,96	68,15	1.200,00	30,00	1.981,00
Šalovci	58,15	1.770,00	3.630,94	62,44	2.035,25	35,00	1.330,66
SKUPAJ	576,55	28.352,00	33.625,82	58,32	15.596,55	27,05	22.442,43

Viri: SURS, 2007

Tabela 1 • Osnovni podatki o Krajinskem parku Goričko

skih okoljskih plačil (KOP) pa so normativi za obtežbo določeni v Uredbi o plačilih za kmetijsko-okoljske ukrepe iz Programa razvoja podeželja za Republiko Slovenijo 2004–2006 in 2007–2010, ki dovoljuje obtežbo maksimalno 1,9 GVŽ/ha kmetijskih zemljišč v uporabi.

### 3.3 Ostali viri

Odlaganje fosforja iz zraka se ne smatra kot signifikanten vir fosforja (Harned, 1995), zato ta vir fosforja za ta prispevek nismo upoštevali. Izgube fosforja iz naravnih virov

	Govedoreja		Prašiči pitanci	Perutninarstvo	
	Krave	Pitano govedo		Kokoši nesnice	Brojlerji
dušik, N	150,00	124,00	164,00	263,00	423,00
fosfor, P	26,40	40,04	54,56	102,80	95,04
kalij, K	97,94	87,98	109,56	112,08	131,14

Tabela 2 • Letna količina hranil (v kg) v izločkih na 1000 kg žive teže živali (Nekrep, 2004)

(iz gozda) smo ocenili na 0,1 kg fosforja na hektar v enem letu, izgube fosforja iz kmetijskih površin pa smo ocenili na 0,075 kg P/ha/leto.

## 4 • REZULTATI IN DISKUSIJA

### 4.1 Odvajanje komunalnih odpadnih voda iz gospodinjstev

Ugotavljamo, da je skupni prispevek fosforja k obremenjevanju hidrosfere z izločanjem prebivalstva v Krajinskem parku Goričko 4532 t na leto in še dodatnih 2.469 t na leto z odvajanjem komunalne odpadne vode zaradi uporabe detergentov. Prispevek prebivalstva k obremenitvi hidrosfere s fosforjem je tako v KP Goričko ocenjen na skupaj na nekaj več kot 7000 t fosforja na leto. Največji delež (75 %) k temu prispevajo prebivalci, ki izpuščajo odpadno vodo iz gospodinjstev direktno v vode. Ti prebivalci predstavljajo le 10 % populacije. Največja skupina prebivalcev (60 %), ki odvajajo odpadno vodo skozi pretočne greznice, prispeva k obremenitvi hidrosfere s fosforjem le 7 %. Rezultati so predstavljeni v tabelah 3 in 4 ter na sliki 6.

Komunalna odpadna voda	ČN	Greznice	Gnojnične jame	Direktni izpusti	SKUPAJ
število prebivalcev	5.671	17.011	2.835	2.835	28.352
P/prebivalca/leto (kg)	1,10	1,10	1,10	1,10	–
skupaj izločeni P (kg)	6.209,75	18.712,10	3.118,50	3.118,50	31.158,85
izločeni P (kg)	620,97	308,75	171,52	3.430,35	4.531,59

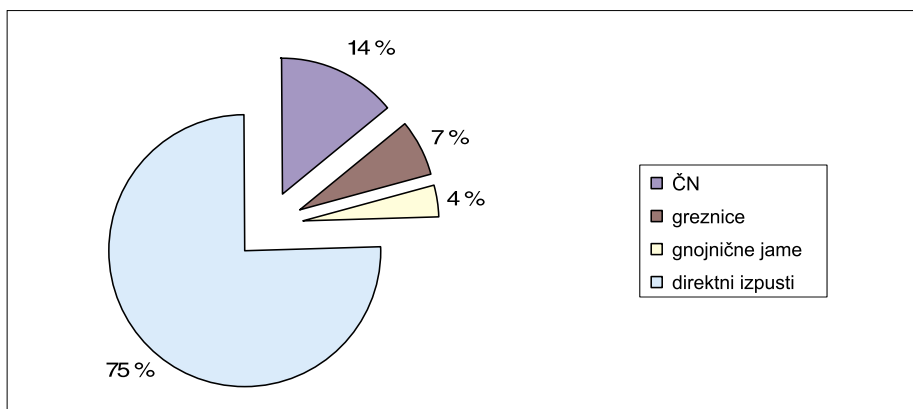
Tabela 3 • Prispevek fosforja poselitve

Komunalna odpadna voda	ČN	Greznice	Gnojnične jame	Direktni izpusti	Skupaj
število prebivalcev	5.671	17.011	2.835	2.835	28.352
detergenti (kg)	56.710,00	170.110,00	28.350,00	28.350,00	283.520,00
skupni P (kg)	3.686,15	11.057,15	1.842,75	1.842,75	18.428,80
izločeni P (kg)	368,62	165,86	92,14	1.842,75	2.469,36

Tabela 4 • Prispevek fosforja z detergenti

### 4.2 Kmetijstvo

Kmetijske površine v uporabi prispevajo k obremenitvi hidrosfer s fosforjem v Krajinskem parku Goričko 50,4 t na leto, dodatnih 53,4 t na leto prispeva živinoreja. Kmetijske površine v uporabi prispevajo tako k skupni obremenitvi hidrosfer s fosforjem v KP Goričko (43 %) in še nekaj več (46 %) prispeva živinoreja. Ocenjujemo, da so ti rezultati v skladu z dejstvom, da je kmetijstvo v KP Goričko najpomembnejša gospodarska panoga.



Slika 6 • Skupni prispevek fosforja iz gospodinjstev k obremenitvi hidrosfere v KP Goričko

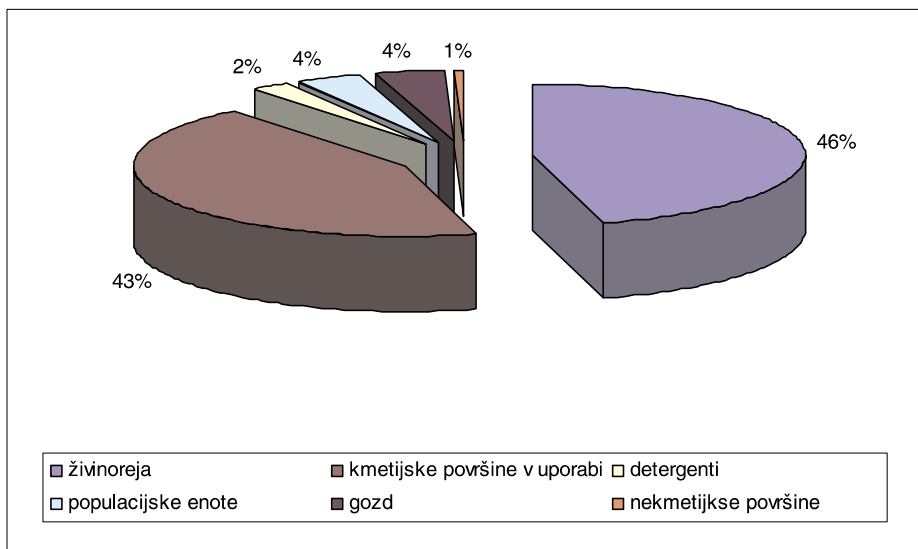


Živinoreja	KOP	Ostali	Skupaj
–	0,7	0,3	1,0
Število GVŽ	15.709	6.733	22.442
izločeni P/GVŽ/leto (kg)	20,02	20,02	20,02
izgube na GVŽ/leto (kg)	2,00	8,00	–
skupaj izgube (kg)	31,42	53.864,00	53.895,42

Tabela 5 • Izgube fosforja v hidrosfero iz živinorejskih obratov

	Gozd	Nekmetijske površine	Skupaj
površina (ha)	50.440,23	8.432,63	58.872,86
izgube kg/(leto/ha)	0,10	0,08	
skupaj izgube (kg)	5.044,02	632,45	5.676,4

Tabela 6 • Izgube fosforja v hidrosfero iz nekmetijskih površin



Slika 7 • Prispevek ocenjevanih virov fosforja k evtrofikaciji hidrosfere v KP Goričko

#### 4.3 Ostali viri

V tabeli 6 so predstavljeni rezultati izgube fosforja iz nekmetijskih površin in gozda. Izgube fosforja iz gozda smo ocenili na nekaj več kot 5 t, kar predstavlja 4 % skupne obremenitve hidrosfere s fosforjem. Izgube fosforja iz nekmetijskih površin pa predstavljajo manj kot 1 t na leto oziroma 1 % skupne obremenitve.

#### 4.4 Vsi viri skupaj

V tabeli 7 so prikazani vsi viri fosforja, ki smo jih ocenjevali. Po oceni je skupna obremenitev hidrosfere s fosforjem v KP Goričko 116,

4 t na leto. V strukturi obremenitve največji delež predstavljata živinoreja in kmetijske površine v uporabi. Rezultate smo primerjali z raziskavo (Drolc in Zagorc, 2002), kjer so raziskovali področje spodnjega toka reke Krke s površino 650 km<sup>2</sup>. Velikost področja je primerljiva s področjem, ki je predmet raziskave v tem prispevku. Skupna obremenitev spodnjega toka reke Krke s fosforjem je nekoliko manjša in znaša 81,8 t na leto. Ocenjujemo, da do razlike prihaja zaradi manjšega deleža kmetijskih površin v uporabi v strukturi rabe zemljišč, saj kmetijske površine v uporabi predstavljajo v porečju spodnjega toka reke

Krke le slabih 34 %, gozd pa predstavlja nekaj več kot 46 %.

Vir	P (t/leto)
živinoreja	53,4
kmetijske površine v uporabi	50,4
detergenti	2,5
populacijske enote	4,5
gozd	5
nekmetijske površine	0,6
SKUPAJ	116,4

Tabela 7 • Ocenjeni viri fosforja

Na podlagi ocene stanja v KP Goričko smo dobili rezultate o obremenjenosti hidrosfere s fosforjem. Da je v KP Goričko hidrosfera močno obremenjena s fosforjem nam pričajo tudi rezultati analiz Ledavskega jezera, ki leži v Krajinskem parku Goričko v naselju Krašči. Po podatkih MOP-a spada umetni zadrževalnik Ledavsko jezero v hipertrofično kategorijo po kriterijih OECD. Letno povprečje za leto 2005 je bilo za celotni fosfor 268 µgP/l, v letu 2006 pa je bila ta koncentracija 102 µgP/l.

## 5 • SKLEPI

Z analizo, ki smo jo uporabili za oceno skupne količine fosforja, ki prihaja letno v hidrosfero v KP Goričko, smo pokazali velik vpliv kmetijstva na hidrosfero v raziskovanem področju. Rezultati so pričakovani, saj je kmetijstvo najpomembnejša gospodarska panoga v zaščitenem področju Krajinskega parka Goričko in kmetijska

zemljišča v uporabi predstavljajo največji delež v strukturi rabe zemljišč. Vnos fosforja v hidrosfero ocenjujemo kot velik. Dokaz za to je močno evtrofizirani umetni zadrževalnik Ledavsko jezero. Rezultati analize nam bodo služili kot osnova za nadaljnje raziskovanje vpliva fosforja iz kmetijstva na hidrosfero v KP Goričko. V nadaljevanju raziskovanja

bomo z orodji GIS natančneje določili rabo zemljišč in natančneje določili izgube fosforja. S kemijskimi analizami bomo na 11 točkah določali skupni fosfor in ortofosfat. Poskušali bomo dokazati, da s tehnologijami GIS lahko dovolj natančno določimo koncentracijo fosforja v vodnih telesih v odvisnosti od različnih dejavnikov.

## 6 • ZAHVALA

Avtorja se zahvaljujeta Socialnemu skladu Evropske unije, ki je delno financiral opravljene raziskave.



*Naložba v vašo prihodnost*  
OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA  
Evropski socialni sklad

## 7 • LITERATURA

- Dojlido, J., Best, G., Chemistry of water and water pollution, Ellis Horwood Chichester, 1993.
- Gilliom, R. J., Clayton, R. P., Lake phosphorus loading from septic systems by seasonally perched groundwater, J. Water Pollut Control Fed 55, 1297–1305, 1983.
- Green, C. J., Johnson, P., Allen, v. G., Crossland, S. L., Treatment for Phosphorus Removal from Water Derived from Cattle Feedyards, Report 77., 2007, <http://www.tcfca.org/Research/>, 17. nov. 2007.
- Harned, D. A., Effects of agricultural land management practices on water quality in northeastern Guilford County, North Carolina, 1985–90, U.S. Geological Survey Water – Supply Paper 2435, 64, 1995.
- Lemmunyon, J., Daniel, T. C., Phosphorus Management for Water Quality Protection: A National Effort, V: Sims, J.T. (ur.), 1998, Soil Testing for Phosphorus, Environmental Uses and Implications, Southern Cooperative Series, Bulletin, No. 389, A Publication of SERA-IEG 17, 1–5, 1998.
- Luirente, D. H., Phosphate Rock, CHE Marketing Research Report, In Chemical Economics Handbook, SRI International, 2003.
- Nekrep, V., Varstvo okolja v živinoreji, 2004, [www.bfro.uni-lj.si](http://www.bfro.uni-lj.si), 9. nov. 2005.
- Panjan, J., Osnove zaščite voda, Ljubljana, FGG, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko, 1994.
- Pillay, M., Detergent phosphorus in South Africa: Impact on eutrophication with specific reference to the Mgeni catchment, Water Quality Department, Scientific Services, 2000.
- Wind, T., The Role of Detergents in the Phosphate-Balance of European Surface Water, Official Publication of the European Water Association, 2007.
- Worsfold, P. J., et al., Sampling, sample treatment and quality assurance issues for the determination of phosphorus species in natural waters and soils, Talanta, 66, 2, 273–293, 2005.
- USDA, Agricultural Phosphorus and Eutrophication, ARS-149, 1999.
- SURS, 2005, Pokrovnost tal v Sloveniji 1993–2001, Rezultati raziskovanj, št. 815/2005.
- SURS, 2007, Rezultati raziskovanj, št. 828/2007.
- UL RS, Pravilnik za izvajanje dobre kmetijske prakse, Uradni list RS, št. 130/2004.
- UL RS, Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla, Uradni list RS, št. 84/2005.
- UL RS, Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav, Uradni list RS, št. 45/2007.

# 30. ZBOROVANJE GRADBENIH KONSTRUKTORJEV SLOVENIJE

doc. dr. Jože Lopatič, univ. dipl. inž. grad.

Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev je 9. in 10. oktobra 2008 organiziralo jubilejno 30. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije. Dosedanja zborovanja so bila z izjemo prvega, ki je bilo na takratni Fakulteti za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani, in 25. v Rogaški Slatini tradicionalno na Bledu, ki nas je tudi letos – tako kot mnogokrat prej – pričakal s prekrasnim vremenom v čudovitih jesenskih barvah. Srečanja, ki je četrtrič zapored potekalo v veliki konferenčni dvorani hotela Golf, z idealnimi pogoji za uspešno delo, se je udeležilo preko 200 domačih in tujih strokovnjakov s področja gradbeništva, ki so skupaj pripravili 30 prispevkov. Vsi prispevki so bili v celoti objavljeni v tiskani publikaciji zborovanja, v kratkem pa bodo dosegljivi tudi na spletnih straneh društva. Dobre obete za uspešen razvoj naše stroke tudi v prihodnje nam daje velika udeležba mlajših strokovnjakov, ki so na zborovanju lahko izmenjali izkušnje in znanje s starejšimi kolegi.

Udeležence zborovanja so ob otvoritvi nagovorili podžupan občine Bled mag. Slavko Ažman, v imenu Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani dr. Franc Saje in predsednik Inženirske zbornice Slovenije mag. Črtomir Remec. Ob otvoritvi zborovanja je bil dr. Francu Sajeju za njegov prispevek pri razvoju gradbenega konstruktorstva in izjemne zasluge pri delovanju in vodenju društva podeljen naziv Častni član Slovenskega društva gradbenih konstruktorjev.

Z vabljenimi predavanji so se nam tudi letos pridružili trije eminentni tuji strokovnjaki, in sicer dr. Michel Virlogeux, konzultant in projektant iz Pariza, častni predsednik mednarodnega združenja za beton – *fib*, dobitnik mnogih mednarodnih nagrad, avtor svetovno znanih gradenj, kot sta most *Pont de Normandie* in rekordni viadukt *Millau*, je predstavil sodobno projektiranje in gradnjo izbranih mostov, dr. Jiri Strasky, profesor s tehnične univerze v Brnu, ki predava tudi na

mnogih drugih univerzah po vsem svetu in je projektant številnih nagrajenih mostov ter drugih objektov, je prikazal možnosti razvoja mostnih konstrukcij iz betonov visoke trdnosti, dr. Bratislav Stipanić, profesor z gradbene fakultete v Beogradu, avtor knjige *Čelični mostovi*, projektant številnih odmevnih jeklenih in sovprežnih mostov, pa je predstavil projekt mostu preko Visle na Poljskem z glavnim razponom 375 m.

Tako kot že nekaj zadnjih let je vsebina referatov pokrivala velik del širokega področja dela gradbenih konstruktorjev. Prejetih 30 pisnih prispevkov smo v zborniku razporedili v naslednje tematske sklope:

- Vabljena predavanja
- Mostovi
- Konstrukcije
- Potresno inženirstvo ter
- Gradbeni materiali in eksperimentalne preiskave

Po intenzivnem strokovnem delu prvega dne zborovanja smo imeli tudi redno skupščino društva, ki jo organiziramo vsako drugo leto, v nadaljevanju večera pa smo se na družabnem srečanju v restavraciji hotela Golf okrepčali in odžejali, ob dobri glasbi pa smo kramljali še pozno v noč.

Ponosno lahko zapišemo, da smo že začeli priprave na naslednje zborovanje, ob katerem bo naše društvo praznovalo častitljivo 30. obletnico delovanja. Tako kot že mnogo zadnjih let pričakujemo zanimive predstavitve novih domačih projektov in rezultatov raziskav, povabili pa bomo tudi nekaj vrhunskih tujih strokovnjakov, ki nam bodo predstavili svoje dosežke in konstruktorske izkušnje. Aktualne informacije o delovanju društva in poteku prihodnjega zborovanja lahko dobite na naši spletni strani [www.sdgc.si](http://www.sdgc.si). Vidimo se torej oktobra 2009 na 31. zborovanju gradbenih konstruktorjev Slovenije!



**PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2009**

SEM INAR		IZPIT	
Datum		Osnovni in dopolnilni	Revidiranje
Februar	16.–18. (3 dni)		
Marec		24.	17.
April	20.–22. (3 dni)		
Maj		26.	
Oktober	5.–7. (3 dni)		20.
November		10.	

**A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:**

Pripravljalne seminarje organizira **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Leskoškova 9E, 1000 Ljubljana;**

Telefon: (01) 52-40-200; Fax: (01) 52-40-199; e-naslov: [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net).

Seminar vključuje **izpitne programe** za:

1. odgovorno projektiranje (osnovni in dopolnilni strok. izpit)
2. odgovorno vodenje del (osnovni in dopolnilni strok. izpit)
3. odgovorno vodenje posameznih del
4. Investicijski procesi in vodenje projektov (za dopolnilni strokovni izpit).  
Predavanje se odvija 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 (za predavanje in literaturo) po izpitnih programih 1.,2. in 3. točke znaša 613,00 EUR z DDV, pod 4. točko pa 87,63 EUR z DDV.

**Kotizacijo za seminar je treba nakazati ob prijavi** na poslovni račun ZDGITS: **SI56 0201 7001 5398 955**, kopijo dokazila o plačilu pa priložiti k prijavi!

Udeleženca prijavi k seminarju plačnik (podjetje, družba, ustanova, sam udeleženec...). Prijavo je potrebno poslati organizatorju (ZDGITS) najkasneje **15 dni pred pričetkom** seminarja (z obvezno prilogo dokazila o plačani kotizaciji)!

Prijavni obrazec je mogoče dobiti pri ZDGITS.

Seminar ni obvezen, zato je izvedba seminarja odvisna od števila prijav (najmanj 20).

**B. STROKOVNI IZPITI**

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS), Jarška 10-B, 1000 Ljubljana**. Informacije je mogoče dobiti na spletni strani IZS <http://www.izs.si> (kjer so vse informacije o strokovnih izpiti in izpitni programi) in po telefonu (01) 547-33-15 ob uradnih urah (ponedeljek, sreda, četrtek, petek: od 08.00 do 12.00 ure; v torek od 12.00 do 16.00 ure)



## UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Matej Kocjan**, Določevanje optimalne zasnove konstrukcijskih elementov, mentor izr. prof. dr. Jože Korelc

**Jure Hafner**, Sanacija zemeljskega plazu Popelar, mentor prof. dr. Matjaž Mikoš, somentor viš. pred. mag. Rok Fazarinc

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Srečko Lipovšek**, Vzpostavitev katastra in podatkovne strukture za hidravlično modeliranje vodovodnih sistemov, mentor prof. dr. Boris Kompare, somentor asist. Matej Uršič in Slavko Gerčer univ. dipl. inž. grad.

**Matic Ožbolt**, Celostna zasnova objektov kot integrirano projektno delo, mentor izr. prof. dr. Tatjana Isaković, somentor viš. pred. dr. Tomo Cerovšek

### MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Mojmir Uranjek**, Problematika injektiranja zidov objektov kulturne dediščine, mentor doc. dr. Vlatko Bosiljkov

**Jure Pirc**, Evalvacija prometnega modela sistema za nadzor in vodenje prometa, mentor izr. prof. dr. Tomaž Kastelic

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Nataša Poljanec**, Tehnologija gradnje pokritega vkopa Močna, mentor doc. dr. Andrej Štrukelj, somentor Nataša Šuman univ. dipl. gosp. inž.

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Mihael Bračko**, Aluminijaste fasade, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Simon Šilih

**Ernest Pavlin**, Jekleni viseči cestni most dolžine 100 m, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Simon Šilih

**Sašo Turnšek**, Lastnosti in značilnosti krožnih križišč s spiralnim potekom krožnega vozišča, mentor izr. prof. dr. Tomaž Tollazzi, somentor viš. pred. mag. Marko Renčelj

### DOKTORSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Nataša Šuman**, Priprava in gradnja objektov v gradbenih podjetjih s poudarkom na konceptu reinženiringa, mentor red. prof. dr. Danijel Rebolj, somentor red. prof. dr. Duško Uršič

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA

**Marko Jagodič**, Rekonstrukcija, novogradnja in stroškovna analiza jeklenega objekta Supermesto Mercator Ptuj, mentorja red. prof. dr. Stojan Kravanja in izr. prof. dr. Mejra Festić, somentor doc. dr. Uroš Klanšek

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

Vsem diplomantom čestitamo!

Skladno z dogovorom med ZDGITS in FGG-UL vsi diplomanti gradbenega oddelka Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani prejemaajo Gradbeni vestnik (12 števil) eno leto brezplačno. Vse, ki bodo želeli po prejemu 12. številke postati redni naročniki, prosimo, naj to čimprej sporočijo uredništvu na naslov: GRADBENI VESTNIK, Leskoškova 9E, 1000 Ljubljana; telefon: (01) 52 40 200; faks: (01) 52 40 199; e-mail: [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net).

ZDGITS in Uredništvo Gradbenega vestnika

# KOLEDAR PRIREDITEV

**15.-16.1.2009**

**Spritzbeton – Tagung 2009**

Alpbach, Tirolska, Avstrija  
www.ovbb.at

**21.-22.1.2009**

**7. Österreichische Geotechniktagung mit Fachausstellung**

Dunaj, Avstrija  
www.ovbb.at

**10.-12.2.2009**

**53. Betontage**

Ulm, Nemčija  
www.ovbb.at

**4.-6.3.2009**

**ISWE4**

**Cooperative Actions for Disaster Risk Reduction – (CADRR)**

Tokio, Japonska  
www.wind.arch.t-kougei.ac.jp/ISWE4/index.html

**21.-23.4.2009**

**Traffex 2009**

Birmingham, Anglija  
www.traffex.com

**3.-5.5.2009**

**8th Annual PTI Conference and Exhibition**

Portland, Oregon, ZDA  
www.post-tensioning.org/annual\_conference.php

**20.-22.5.2009**

**5th International Conference on Construction in the 21st Century**

CITC-V, Carigrad, Turčija  
www.fiu.edu/~citic

**22.-24.6.2009**

**Concrete: 21st Century Superhero**

London, Anglija  
www.fiblondon09.com

**13.-15.7.2009**

**FRPRCS-9**

**9th International Symposium on Fibre Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures**

Sidney, Avstralija  
www.iceaustralia.com/frprcs9

**26.-29.7.2009**

**2nd international conference on Fatigue and Fracture in the Infrastructure**

**Bridges and Structures of the 21st Century**  
Philadelphia, Pennsylvania, ZDA  
http://ffconf.atlss.lehigh.edu/index.html

**6.-11.9.2009**

**IABSE Annual Meetings and IABSE Symposium**

**Sustainable Infrastructure - Environment Friendly, Safe and Resource Efficient**

Bangkok, Tajska  
www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents

**23.-25.9.2009**

**14th European Parking Association Congress**

Dunaj, Avstrija  
www.europeanparking.eu

**5.-9.10.2009**

**17th International Conference for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering**

Alexandria, Egipt  
www.2009icsmge-egypt.org

**14.-16.10.2009**

**EVACES'09**

**Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures**

Wroclaw, Poljska  
www.evaces09.pwr.wroc.pl/index.html

**3.-5.5.2010**

**IABSE Conference International Structural Codes**

Dubrovnik, Hrvaška  
www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents

**29.5.-2.6.2010**

**The Third International fib Congress and Exhibition "Think Globally, Build Locally"**

Washington D.C., ZDA  
www.fib2010washington.com

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



- Gradbeni inženiring
- Svetovalne storitve s področja razvoja, vzdrževanja cest in prometne varnost
- Varstvo cest
- Elaborati prometnih ureditev
- Izredni prevozi
- Priprave na pridobitev poklica vzdrževalec cest in cestni preglednik
- Preverjanje in potrjevanje NPK vzdrževalec cest in cestni preglednik
- Druga izobraževanja s področja cestnega gospodarstva
- Prodaja soli za zimsko vzdrževanje cest
- Izdelava investicijske in ostale planske dokumentacije ter svetovanje s tega področja
- Svetovalne storitve s področja vrednotenja in spremljanja investicij
- Svetovalne storitve s področja priprave vlog za pridobitev evropskih sredstev

*Slovenska cestna podjetja d.o.o., Ljubljana*

*Leskoškova cesta 9e , 1000 Ljubljana*

*Tel:01/547-40-26*

*Fax:01/547-40-44*

*e-mail:info@scp.si*

*www.scp.si*





# CM Celje

**CESTE MOSTOVI CELJE d.d.**  
Družba za nizke in visoke gradnje

**CM CELJE, d. d.**  
Ceste mostovi Celje, družba za nizke in visoke gradnje  
Lava 42, 3000 Celje

Tel.: **03 42 66 100**, Fax: **03 42 66 306**  
<http://www.cm-celje.si>



#### **I. Področje nizke gradnje:**

- ceste,
- komunalni vodi,
- športno rekreacijski objekti,
- zunanje ureditve.

#### **II. Področje mostovi, viadukti, visoke gradnje:**

- mostovi,
- viadukti,
- objekti visokih gradenj,
- gradnja stanovanj za trg.

#### **III. Proizvodnja izdelkov in gradbenih materialov:**

- asfaltnih zmesi,
- litih asfaltov,
- betonskih mešanic in cementnih stabilizacij,
- kamnitih drobirjev in drugih mineralnih agregatov,
- polimerno modificiranih bitumnov,
- apnenčevega mikro polnila, apnenčeve moke,
- vzdrževanja cest, prehodnih konstrukcij – dilatacij na premostitvenih objekti.

#### **IV. Sistem ravnanja z inertnimi (nenevarnimi) gradbenimi odpadki:**

- zbiranje,
- sortiranje,
- predelava,
- reciklaža,
- odstranjevanje,
- prevažanje.

#### **V. Storitve:**

- prevozne storitve,
- strojne storitve,
- laboratorijske preiskave asfaltnih zmesi, betonskih mešanic in zemljin,
- prodaja nepremičnin,
- dobava, polaganje in vzdrževanje športnih igrišč z umetno travo.