

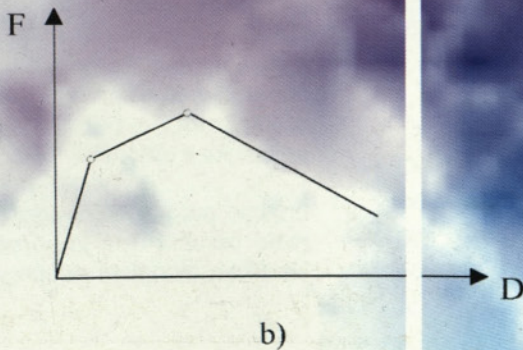
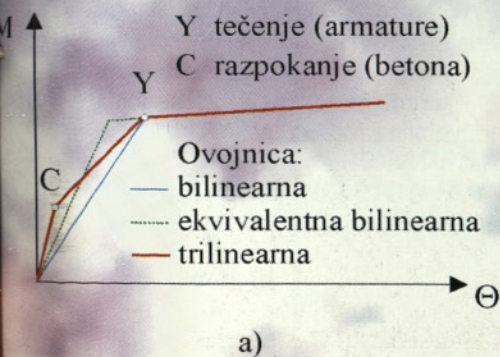
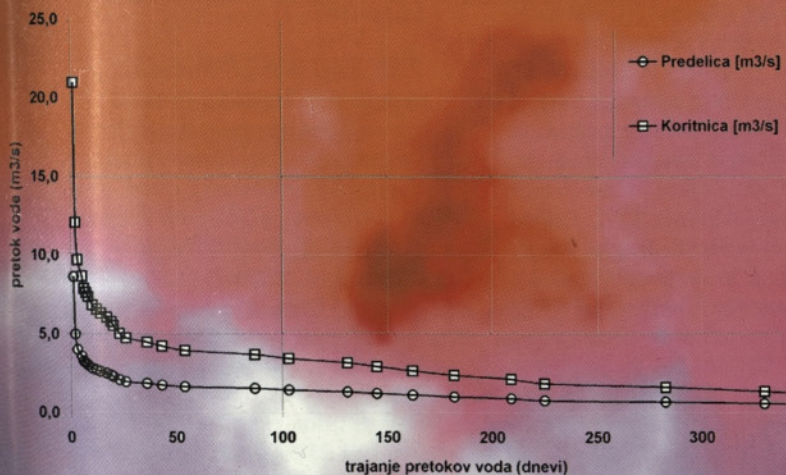
GRADBENI VESTNIK

GLASILO ZVEZE
DRUŠTEV
GRADBENIH INŽENIRJEV
IN TEHNIKOV SLOVENIJE
IN MATIČNE SEKCIJE
GRADBENIH INŽENIRJEV
PRI INŽENIRSKI ZBORNICI
SLOVENIJE

Poštnina plačana pri
pošti 1102 LJUBLJANA

NOVEMBER 2002

Krivulja trajanja pretokov - suho hidrološko leto 1981



Glavni in odgovorni urednik:
Prof.dr. Janez **DUHOVNIK**

Lektorica:
Alenka **RAIČ - BLAŽIČ**

Tehnični urednik:
Danijel **TUDJINA**

Uredniški odbor:
Mag. Gojmir **ČERNE**
Gorazd **HUMAR**
Doc.dr. Ivan **JECELJ**
Andrej **KOMEL**
Janja **PEROVIC-MAROLT**
Marjan **PIPENBAHER**
Mag. Črtomir **REMEC**
Prof.dr. Franci **STEINMAN**
Prof.dr. Miha **TOMAŽEVIČ**
Doc.dr. Branko **ZADNIK**

Tisk:
TISKARNA LJUBLJANA d.d.

Naklada: 2860 izvodov

Revijo izdajata ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE, Ljubljana, Karlovška 3, telefon/faks: 01 422-46-22 in MATIČNA SEKCIJA GRADBENIH INŽENIRJEV pri INŽENIRSKI ZBORNICI SLOVENIJE ob finančni pomoči Ministrstva RS za šolstvo, znanost in šport, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani ter Zavoda za gradbeništvo Slovenije.

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

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

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 5000 SIT; za študente in upokoјence 2000 SIT; za gospodarske naročnike (podjetja, družbe, ustanove, obrtnike) 40.687,50 SIT za 1 izvod revije; za naročnike v tujini 100 USD. V ceni je vštēt DDV.

Poslovni račun se nahaja pri NLB, d.d. Ljubljana, številka:

0 2 0 1 7 - 0 0 1 5 3 9 8 9 5 5

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.
4. Besedilo mora biti izpisano z dvojnim presledkom med vrsticami.
5. Prispevki morajo imeti naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo prispevka.
6. Besedilo člankov mora obvezno imeti: naslov članka (velike črke); imena in priimke avtorjev; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY, naslov članka v angleščini (velike črke) in povzetek v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ..., naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so dodatki označeni še z A, B, C, itn.
7. Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni.
8. Slike, preglednice in fotografije morajo biti vključene v besedilo prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Slike in fotografije, ki niso v elektronski obliki, morajo biti priložene prispevku v originalu.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. 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.
11. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime avtorja, priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
12. 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.
13. Pod črto na prvi strani, pri prispevkih, krajših od ene strani pa na koncu prispevka, morajo biti navedeni obsežnejši podatki o avtorjih: znanstveni naziv, ime in priimek, strokovni naziv, podjetje ali zavod, navadni in elektronski naslov.
14. 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.

Uredniški odbor

VSEBINA - CONTENTS

Članki, študije, razprave
Articles, studies, proceedings

Stran 302

P. Fajfar

POENOSTAVLJENA NELINEARNA ANALIZA KONSTRUKCIJ PRI POTRESNI OBTEŽBI

SIMPLIFIED NON-LINEAR SEISMIC ANALYSIS OF STRUCTURES

Stran 316

M. Mikoš, L. Štravs, G. Petkovšek, M. Brilly

PRODNA BILANCA POVODJA REKE KORITNICE - 1. LETNA PRODNOSNOST

SEDIMENT BUDGET OF THE KORITNICA RIVER BASIN - 1. YEARLY SEDIMENT TRANSPORT RATES

Stran 322

G. Petkovšek, M. Mikoš

DOLOČITEV DEJAVNIKA EROZIVNOSTI PADAVIN IN ODTOKA R NA PODLAGI DNEVNIH PADAVIN NA POVODJU DRAGONJE

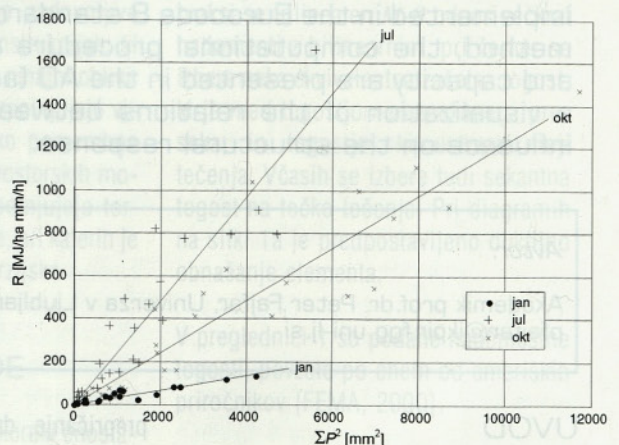
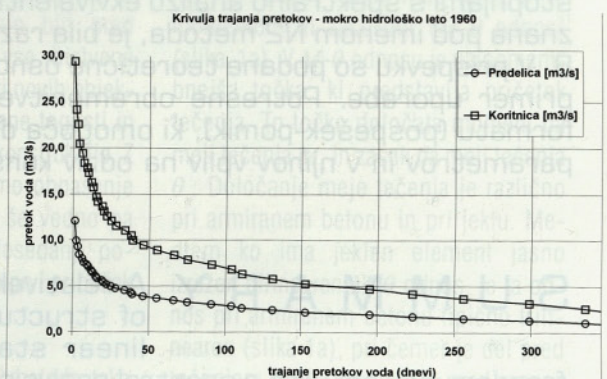
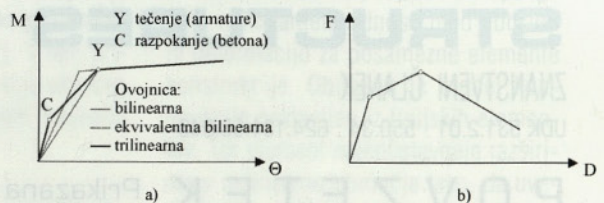
DETERMINATION OF RAINFALL AND RUNOFF EROSIIVITY R - FACTOR BASED ON DAILY PRECIPITATION DATA FOR THE DRAGONJA CATCHMENT

Poročila z društvenih srečanj

Stran 331

B. Zadnik

35. SESTANEK EVROPSKEGA SVETA GRADBENIH INŽENIRJEV (EUROPEAN COUNCIL OF CIVIL ENGINEERS - ECCE)



P. FAJFAR: Poenostavljena nelinearna analiza konstrukcij pri potresni obtežbi

POENOSTAVLJENA NELINEARNA ANALIZA KONSTRUKCIJ PRI POTRESNI OBTEŽBI

SIMPLIFIED NON-LINEAR SEISMIC ANALYSIS OF STRUCTURES

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 531.2.01 : 550.34 : 624.131.55.048

PETER FAJFAR

P O V Z E T E K Prikazana je razmeroma enostavna nelinearna metoda za analizo konstrukcij pri potresni obtežbi. Metoda združuje nelinearno statično analizo sistema z več prostostnimi stopnjami s spektralno analizo ekvivalentnega sistema z eno prostostno stopnjo. Metoda, znana pod imenom N2 metoda, je bila razvita v IKPIR-u in je vključena v standard Eurocode 8. V prispevku so podane teoretične osnove metode, podan je postopek računa in prikazan primer uporabe. Potresne obremenitve in kapaciteta konstrukcije so prikazane v AD formatu (pospešek-pomik), ki omogoča dober vpogled v medsebojne povezave odločujočih parametrov in v njihov vpliv na odziv konstrukcije.

S U M M A R Y A relatively simple non-linear method for seismic analysis of structures is presented. The method combines a non-linear static (pushover) analysis of a multi-degree-of-freedom system with a spectral analysis of an equivalent single-degree-of-freedom model. The method, known as the N2 method, has been developed at IKPIR and has been implemented in the Eurocode 8 standard. In the paper the theoretical background of the method, the computational procedure and a test example are given. Seismic demand and capacity are presented in the AD (acceleration – displacement) format which allows a visualization of the relations between the most important parameters and their influence on the structural response.

Avtor:

Akademik prof.dr. Peter Fajfar, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, IKPIR,
pfajfar@ikpir.fgg.uni-lj.si

UVOD

Kot posledica izredno velike materialne škode v zadnjih potresih, predvsem v Los Angelesu leta 1994 in v Kobeju na Japonškem leta 1994, se je po svetu uveljavilo

prepričanje, da je treba dopolniti obstoječo metodologijo projektiranja gradbenih objektov na potresnih območjih. Osnovni cilj je še vedno preprečitev porušitve in s tem varovanje človeških življenj. Poleg tega pa je potrebno tudi

omejiti materialno škodo v predvidenih mejah. Razvijati se je pričelo tako imenovano Projektiranje kontroliranega obnašanja (angl. »Performance-based design«), ki predstavlja razširitev, posplošitev, formalizacijo in kvantifikacijo me-

tode mejnih stanj. Cilj tega načina je projektiranje konstrukcij, ki se bodo kontrolirano in predvidljivo obnašale pri potresih različne pogostosti. Investitorju je potrebno jasno povedati, kakšne poškodbe elementov konstrukcije, nekonstrukcijskih elementov in opreme lahko pričakuje z določeno verjetnostjo v življenjski dobi objekta in kaj te poškodbe pomenijo v finančnem smislu (stroški popravila, izguba zaradi prekinitve obratovanja).

Kolikor toliko zanesljive ocene predvidenih poškodb ni mogoče dobiti brez uporabe nelinearne analize. Ker je nelinearna dinamična analiza, ki je v principu najbolj primerna za račun odziva konstrukcij pri močnih potresih, zaenkrat za prakso še preveč zahtevna, so se kot eden od korakov na poti k želenemu cilju v novih dokumentih (predpisih, standardih, navodilih) za gradnjo na potresnih območjih začele uveljavljati poenostavljene nelinearne metode, ki temeljijo na nelinearni statični analizi modela konstrukcije z več prostostnimi stopnjami (MDOF sistem) pri monotono naraščajoči horizontalni obtežbi (angl. pushover), medtem ko se potresna obremenitev določi iz projektne spektra. Za ta namen je potrebno določiti ekvivalenten sistem z eno prostostno stopnjo (SDOF sistem). Take metode so že našle pot v moderna priporočila, standarde in predpise v ZDA [ATC, 1996, FEMA, 2000] in na Japonskem [Otani et al, 2000].

Čeprav so bili postopki, ki temeljijo na nelinearnih statičnih metodah, znani že dalj časa, so prodrli v prakso šele z uveljavitvijo AD (pospešek – pomik) formata, kjer se na navpični osi rišejo pospeški, na vodoravni osi pa pomiki. AD format, ki ga je uvedel Freeman [1998], omogoča na isti sliki primerjavo potresnih obremenitev in kapacitet potresa v grafični obliki in zato pomembno prispeva k boljšemu razumevanju problema in vpliva različnih parametrov na odziv konstrukcij.

Ena od takih metod je N2 metoda (N pride od nelinearen, 2 pa od dva matema-

tična modela – MDOF in SDOF), razvita v sredini osemdesetih let v IKPIRu. Metoda je bila prvič predlagana leta 1987 [Fajfar in Fischinger, 1987]. Leta 1996 je bila objavljena »zrela« verzija metode [Fajfar in Gašperšič, 1996], leto kasneje pa je bila prikazana še uporaba za mostove [Fajfar et al, 1997]. Kasneje je bila metoda formulirana v AD formatu [Fajfar, 2000]. Nedavno je bila uporabnost metode razširjena na nesimetrične konstrukcije [Fajfar, 2002]. Metoda je vključena v predlog evropskega standarda Eurocode 8 [CEN, 2002]. V tem prispevku je opisan postopek, ki je vključen v Eurocode 8 (v nadaljnjem besedilu EC8).

N2 metoda je uporabna tako za projektiranje novih konstrukcij kot tudi za oceno obnašanja obstoječih konstrukcij. Ker je metoda nelinearna, morajo biti pred začetkom računa znane vse bistvene značilnosti konstrukcije. Pri novih objektih morajo biti tako določene togosti in nosilnosti vseh elementov konstrukcije. Z N2 metodo nato preverjamo obnašanje projektirane konstrukcije, še vedno pa ostanejo v uporabi vsi dosedanja postopki, s katerimi določamo prvi približek konstrukcije.

Poudariti je treba, da ima N2 metoda, tako kot vse približne metode, omejeno polje uporabnosti. Metoda daje zadovoljive rezultate predvsem pri konstrukcijah, ki nihajo pretežno v eni sami nihajni obliki. Tega pogoja običajno ne izpolnjujejo visoke stavbe, kjer so lahko pomembne višje nihajne oblike. Pri prostorskih modelih stavb pogoja ne izpolnjujejo torzijsko podajne konstrukcije, pri katerih je osnovna nihajna oblika torzijska.

OPIS N2 METODE

V tem razdelku so opisani koraki enostavne različice N2 metode, tako kot je predvideno v predlogu EC8. Postopke, predvidene v posameznih korakih, je enostavno mogoče zamenjati z drugimi uveljavljenimi postopki. Povzetek meto-

de je podan v Dodatku. Zaradi enostavnosti se bomo omejili na konstrukcije, ki jih obravnavamo ravninsko. Možnost razširitev na prostorske modele je opisana v razdelku Uporaba za nesimetrične konstrukcije.

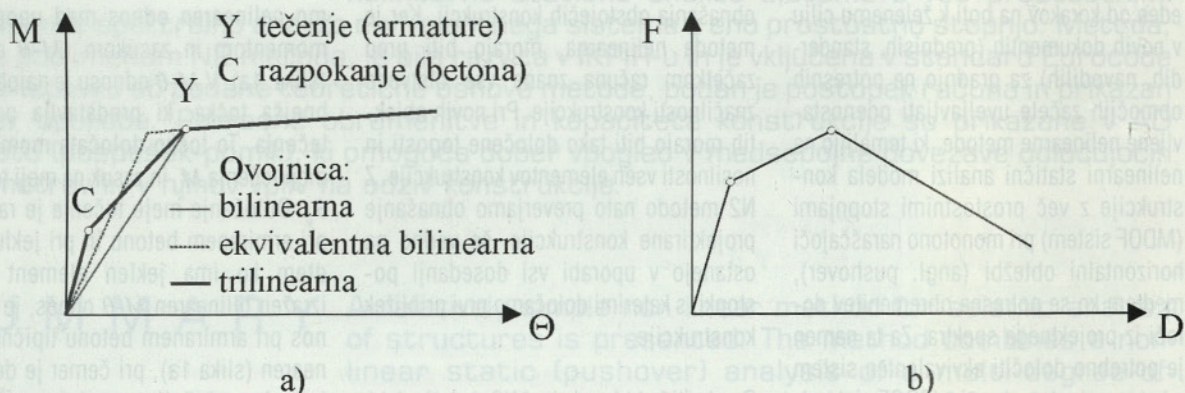
Konstrukcije modeliramo z ravninskim modelom, ki ima več prostostnih stopenj (MDOF model). Matematični model, ki ga uporabljamo pri običajni linearni elastični analizi, dopolnimo s podatki o nelinearnem odnosu med obtežbo in deformacijo za posamezne elemente konstrukcije. Običajno je model konstrukcije sestavljen iz linijskih elementov. Tak element najenostavneje razširimo v nelinearno območje tako, da uvedemo dva plastična členka na obeh koncih elementa in za vsak členek določimo nelinearen odnos med upogibnim momentom in zasukom ($M-\theta$ odnos) (slika 1a). V $M-\theta$ odnosu je najpomembnejša točka, ki predstavlja pričetek tečenja. To točko določata moment na meji tečenja M_y in zasuk na meji tečenja θ_y . Določanje meje tečenja je različno pri armiranem betonu in pri jeklu. Medtem ko ima jeklen element jasno izražen bilinearen $M-\theta$ odnos, je ta odnos pri armiranem betonu tipično trilinearen (slika 1a), pri čemer je del pred tečenjem razdeljen na del pred razpokanjem betona in na del po njem. V praksi se trilinearen $M-\theta$ odnos večkrat nadomesti z bilinearnim, pri čemer se izbere neka ekvivalentna začetna togost, ki je med togostjo nerazpokanega preseka, in togostjo, ki ustreza meji tečenja. Včasih se izbere tudi sekantna togost na točko tečenja. Pri diagramih na sliki 1a je predpostavljeno duktilno obnašanje elementa.

V preglednici 1 so podane nadomestne togosti, povzete po enem od ameriških priročnikov [FEMA, 2000].

V preglednici pomeni E_c elastični modul betona, I_g vztrajnostni moment nerazpokanega betonskega preseka, A_w strižni prerez, A_g prerez in f_c' cilindrična tlačna trdnost betona.

| Element | Upogibna togost | Strižna togost |
|--|-----------------|----------------|
| Greda | $0.5 E_c I_g$ | $0.4 E_c A_w$ |
| Greda - prednapeta | $E_c I_g$ | $0.4 E_c A_w$ |
| Steber s tlačno osno silo zaradi projektne vertikalne obtežbe $> 0.5 A_g f_c'$ | $0.7 E_c I_g$ | $0.4 E_c A_w$ |
| Steber s tlačno osno silo zaradi projektne vertikalne obtežbe $< 0.3 A_g f_c'$ ali z natezno osno silo | $0.5 E_c I_g$ | $0.4 E_c A_w$ |
| Stena - nerazpokana | $0.8 E_c I_g$ | $0.4 E_c A_w$ |
| Stena - razpokana | $0.5 E_c I_g$ | $0.4 E_c A_w$ |

Preglednica 1: Nadomestne togosti za armiranobetske elemente



Slika 1: Ovojnica odnosa med obtežbo in deformacijo. a) Trilinearni in bilinearni odnosi med momentom in rotaciji za armiranobetske elemente, b) odnos med silo in pomikom (skrčkom) nadomestne diagonale, ki simulira opečno polnilo.

V predlogu EC8 je zaenkrat dovoljeno, da se za togost razpokanega preseka vzame kar polovična vrednost togosti nerazpokanega preseka.

V primeru neduktilnega obnašanja elementov pride kmalu potem, ko je dosežena maksimalna nosilnost, do porušitve, ki se v odnosu med obtežbo in deformacijo odraža s precej hitrim padcem nosilnosti. Tipičen primer takega elementa so zidana polnila v okvirnih konstrukcijah, ki jih lahko modeliramo z nadomestnimi diagonalami, ki so nosilne samo v tlaku, za palice pa predpostavimo odnos med silo in pomikom (skrčkom) po sliki 1b.

NELINEARNA STATIČNA («PUSHOVER») ANALIZA

Nelinearno statično («pushover») analizo naredimo tako, da MDOF model konstrukcije obremenimo z vodoravno statično obtežbo, ki jo postopoma povečujemo in zasledujemo deformacije konstrukcije. Vodoravna statična obtežba simulira vztrajnostne sile, ki se pojavijo med potresom. Pri določeni velikosti statične obtežbe pride do tečenja prvega elementa konstrukcije in s tem do zmanjšanja togosti tega elementa ter celotne konstrukcije. Pri nadaljnjem povečevanju obtežbe se postopoma pojavi tečenje tudi v drugih elementih. Togost konstrukcije

se postopno zmanjšuje, dokler ne pride do plastičnega mehanizma. Po nastanku plastičnega mehanizma je mogoče povečevanje obtežbe samo še na račun morebitnega utrjevanja materiala. Če vsebuje model konstrukcije elemente, pri katerih se s povečevanjem deformacije nosilnost zmanjšuje, potem je analiza konstrukcije treba narediti tako, da se postopoma povečujejo pomiki (in ne vodoravna obtežba). Samo na ta način je mogoče določiti deformacijo, pri kateri pride do porušitve konstrukcije, to je deformacijo, pri kateri se nosilnost močno zmanjša (teoretično na nič, v praksi se upošteva neka dogovorjena vrednost, npr. 85% maksimalne nosilnosti).

Z nelinearno statično analizo pri postopoma naraščajoči obtežbi izračunamo odnos med obtežbo in pomikom za celotno konstrukcijo. Običajno zasledujemo odnos med celotno prečno silo, ki je enaka vsoti vseh vodoravnih sil v posameznih etažah, in pomikom na vrhu konstrukcije.

Rezultati analize so odvisni od razporeditve vodoravnih sil po višini konstrukcije. Pri elastični analizi obstaja ena sama razporeditev, ki povzroča enake pomike, kot bi jih dobili pri dinamični analizi, če bi upoštevali eno samo nihajno obliko. To je razporeditev, ki jo dobimo po enačbi

$$\mathbf{P} = \mathbf{M} \cdot \Phi, \quad (1)$$

kjer je \mathbf{P} vektor vodoravne obtežbe, \mathbf{M} je diagonalna masna matrika, Φ pa nihajna oblika. Enačbo (1) lahko napišemo tudi v obliki

$$P_i = m_i \cdot \Phi_i, \quad (2)$$

kjer se indeks i nanaša na etažo. Razporeditev sil je torej enaka nihajni obliki, uteženi z masami v posameznih etažah m_i . Pri nelinearni analizi običajno ne govorimo o nihajnih oblikah, saj se te spreminjajo s stopnjo plastifikacije konstrukcije, ta pa se spreminja s časom. Izbira ene same nihajne oblike Φ v nelinearnem področju predstavlja tako poenostavitev problema, rezultati pa so seveda približni. Izbira približne nihajne oblike in s tem razporeditve obtežbe po višini je v principu prepuščena projektantu. Na srečo različne smiselne razporeditve ne vplivajo bistveno na rezultate. Razni predpisi in navodila omejujejo svobodo izbire s tem, da predpisujejo razporeditve. Največkrat sta predpisani dve razporeditvi, ki večinoma ustrezata dvema precej skrajnima primeroma. Predlog EC8 npr. predpisuje konstantno nihajno obliko ($\Phi = 1$) in osnovno nihajno obliko elastične konstrukcije (ki jo večkrat lahko aproksimiramo z obrnjenim trikotnikom). Vodoravno obtežbo v postopku analize povečujemo, vendar ostane njena razpo-

reditev po višini nespremenjena. Rezultate analize narišemo v obliki odnosa med celotno prečno silo v spodnji etaži konstrukcije V , ki je enaka vsoti vseh vodoravnih sil v posameznih etažah, in pomikom na vrhu konstrukcije D_t .

PRETVORBA NA EKVALENTEN SISTEM Z ENO PROSTOSTNO STOPNJO

V analizi bomo uporabili spektre odziva, ki so po definiciji uporabni za sisteme z eno prostostno stopnjo. Zato moramo sistem z več prostostnimi stopnjami prevesti na ekvivalentni sistem z eno prostostno stopnjo. Postopek, ki je znan iz dinamike konstrukcije za linearne sisteme (glej npr. [Fajfar, 1984]), razširimo na nelinearne sisteme in po krajši izpeljavi (glej [Fajfar, 2000]) dobimo enačbi za pretvorbo sil in pomikov

$$F^* = \frac{V}{\Gamma}, \quad D^* = \frac{D_t}{\Gamma} \quad (3), (4)$$

kjer sta F^* in D^* sila in pomik ekvivalentnega sistema z eno prostostno stopnjo, Γ je faktor za pretvorbo, ki je odvisen od predpostavljenega približka za nihajno obliko Φ in od razporeditve mas

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i^2}, \quad (5)$$

$$m^* = \sum m_i \Phi_i, \quad (6)$$

Z m^* je označena masa ekvivalentnega sistema z eno prostostno stopnjo. Iz enačb (3) in (4) sledi, da velja enaka pretvorba za sile in pomike. To pomeni, da ostane oblika odnosa med obtežbo in deformacijo ohranjena, ohranijo se togosti in nihajni čas. Za ekvivalentni SDOF sistem velja torej isti diagram obtežba - deformacija kot za MDOF sistem, le merilo je spremenjeno. V enačbah je upoštevano, da je deformacijska oblika Φ normirana tako, da znaša pomik na vrhu $\Phi_n = 1$. V posebnem primeru, ko predpostavimo konstantno obliko po višini ($\Phi = 1$), dobimo iz enačb (5) in (6) Γ

$= 1$ in $m^* = \sum m_i$. V ostalih primerih je Γ praviloma večji od 1.

IDEALIZACIJA ODNOSA MED SILO IN POMIKOM

Za nadaljnji račun je treba odnos med silo F^* in pomikom D^* idealizirati. Pretvorimo ga v bilinearno obliko, kjer elastičnemu območju sledi plastično tečenje brez utrditve. Rezultati analize bodo odvisni predvsem od izbire ekvivalentne elastične togosti. Podobno kot pri izbiri razporeditve vodoravne obtežbe po višini tudi pri izbiri začetne ekvivalentne elastične togosti ni enolične rešitve, pač pa je potrebna inženirska ocena, ki pa v uradnih dokumentih ni dopustna. Zato so v raznih predpisih in navodilih podana pravila za idealizacijo. V predlogu EC8 je npr. predvideno, da sta ploščini pod originalnim in idealiziranim odnosom med obtežbo in pomikom enaki. Pri tem se za pomik, ki predstavlja zgornjo mejo diagrama, vzame pomik, pri katerem se tvori plastični mehanizem. Nosilnost v tej točki je privzeta kot nosilnost idealiziranega sistema. Tak način idealizacije je primeren tedaj, ko so neelastične deformacije precej velike. V primerih, ko so neelastične deformacije razmeroma majhne, dobimo največkrat bolj ustrezne rezultate, če kot zgornjo mejo za pomik vzamemo manjšo vrednost. Ena od možnosti je iteracijski postopek, kjer pri določitvi idealizacije bilinearnega odnosa upoštevamo pomik sistema, izračunan v prejšnjem koraku. EC8 dopušča tak postopek.

Nihajni čas idealiziranega sistema v elastičnem območju izračunamo z enačbo

$$T^* = 2 \pi \sqrt{\frac{m^* D_y^*}{F_y^*}}, \quad (7)$$

kjer sta F_y^* in D_y^* nosilnost in pomik na meji tečenja.

DIAGRAM KAPACITETE

Idealiziran odnos med silo in pomikom

bomo primerjali z zahtevami potresa, ki bodo definirane v AD formatu (pospešek-pomik). Za ta namen je treba silo F^* deliti z maso ekvivalentnega sistema z eno prostostno stopnjo m^*

$$S_a = \frac{F^*}{m^*}, \quad (8)$$

Dobljeni diagram imenujemo diagram kapacitete (angl. »capacity diagram«).

POTRESNA OBTEŽBA

Potresna obtežba je običajno podana v obliki elastičnega spektra pospeškov S_{ae} , kjer so pospeški sistema z eno prostostno stopnjo (SDOF model) podani v odvisnosti od nihajnega časa konstrukcije T . Spekter pospeškov po EC8 za »srednja« tla je prikazan na sliki 2a. Upoštevan je spekter po uradni verzije predstandarda [CEN 1994]. (Opomba: Pri določanju nihajnega časa armiranobetonskih konstrukcij je v novi različici EC8 predvideno, da se upoštevajo togosti razpokanih presekov.)

Spekter pomikov S_d je povezan s spektrom pospeškov z enačbo

$$S_{de} = \frac{T^2}{4 \pi^2} S_{ae}, \quad (9)$$

Spekter pomikov, ki ustreza spektru pospeškov po EC8, je prikazan na sliki 2a.

Spekter pospeškov in spekter pomikov lahko prikazemo skupaj na istem diagramu, če uporabimo tako imenovani AD (pospešek – pomik) format (slika 2b). V tem formatu predstavljajo radialne linije iz izhodišča koordinatnega sistema vrednosti nihajnih časov ($T = \text{konst.}$).

POTRESNE OBREMENITVE NEELASTIČNIH SISTEMOV

Pri projektiranju običajnih konstrukcij na potresnih območjih dopuščamo poškodbe, preprečiti pa želimo porušitev konstrukcije. S poškodbami, ki so povezane z neelastičnimi deformacijami, se pri duktilnih konstrukcijah sipa energija. Ta ugodni vpliv zajamemo v računu približno tako, da zmanjšamo zahtevano nosilnost konstrukcije (potresne sile) z redukcijskim faktorjem R (v EC8 imenovan faktor obnašanja q). Velikost tega faktorja je odvisna od sposobnosti konstrukcije, da se deformira v neelastičnem območju (duktilnost) in od dodatne nosilnosti (»overstrength«), to je nosilnosti nad

računsko potrebno nosilnostjo. Z redukcijskim faktorjem zmanjšamo vrednosti pospeškov v spektru. Pri tem smemo upoštevati le redukcijski faktor zaradi duktilnosti R_μ . Za neelastičen sistem z bilinearnim odnosom med obtežbo in pomikom lahko določimo spekter pospeškov S_a in spekter pomikov S_d z naslednjimi enačbami:

$$S_a = \frac{S_{ae}}{R_\mu}, \quad (10)$$

$$S_d = \frac{\mu}{R_\mu}, \quad S_{de} = \frac{\mu}{R_\mu} \frac{T^2}{4 \pi^2},$$

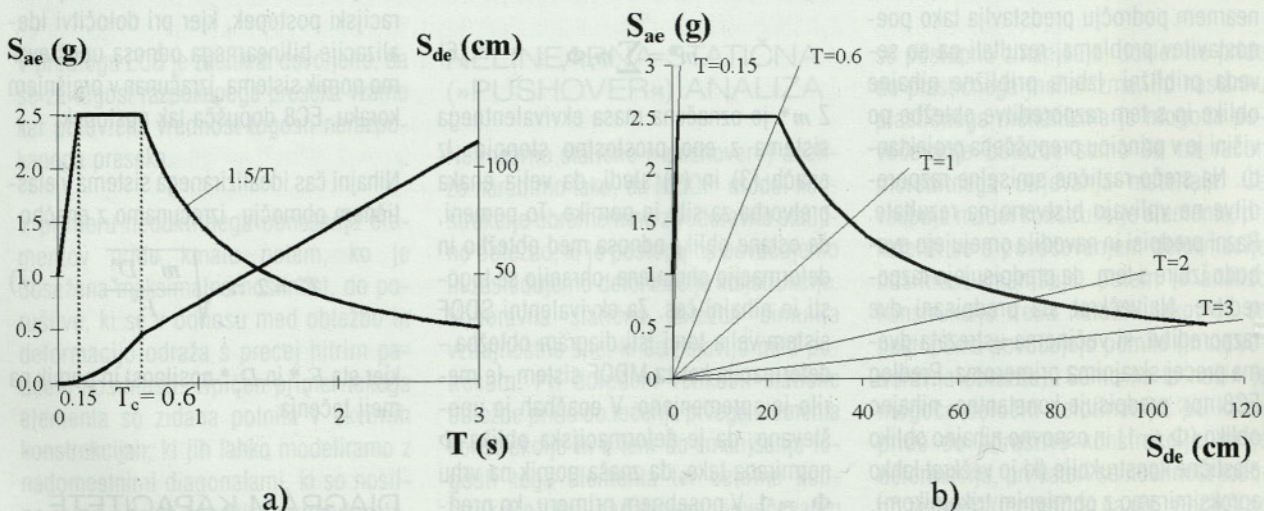
$$S_{ae} = \mu \frac{T^2}{4 \pi^2} S_a, \quad (11)$$

V literaturi so podani številni predlogi za redukcijski faktor R_μ v odvisnosti od nihajnega časa T in duktilnosti μ . V N2 metodi uporabljamo enostaven bilinearen spekter

$$R_\mu = (\mu - 1) \frac{T}{T_c} + 1 \quad \dots \quad T < T_c, \quad (13)$$

$$R_\mu = \mu \quad \dots \quad T \geq T_c, \quad (14)$$

kjer je T_c karakterističen nihajni čas gibanja tal, ki je običajno definiran kot nihajni čas na meji med konstantnim



Slika 2: Elastični spekter odziva za pospeške S_{ae} in pomike S_{de} za vrsto tal B in 5% dušenja po ECB, normiran na 1.0 g. a) Klasičen format, b) AD format.

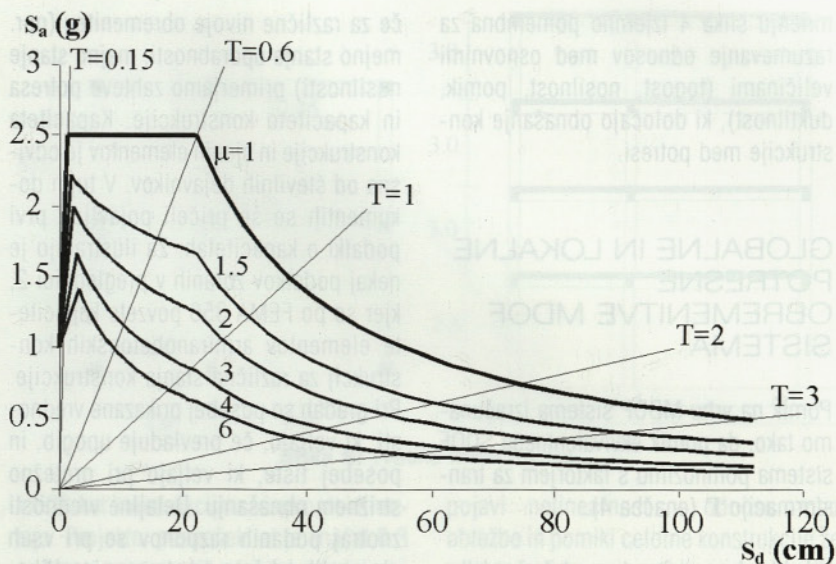
spektralnim pospeškom in konstantno spektralno hitrostjo v zgaljenem elastičnem spektru (nihajni čas T_c v EC8, slika 2) iz enačb (11) in (13) sledi, da je pri $T > T_c$, to je v področju srednjih in dolgih nihajnih časov, pomik neelastičnega sistema enak pomiku elastičnega sistema z enakim nihajnim časom. V tem primeru govorimo o pravilu enakosti pomikov, ki je bilo velikokrat empirično potrjeno. S pomočjo enačb (10 do 13) lahko dobimo iz elastičnega spektra neelastične spektre za konstantne duktilnosti (slika 3).

POTRESNA OBREMENITEV EKVALENTNEGA SDOF SISTEMA

Potresno obremenitev ekvivalentnega SDOF sistema lahko določimo grafično, kot je prikazano na sliki 4 (za področje srednjih in dolgih nihajnih časov, za področje kratkih nihajnih časov glej sliko v Dodatku). Na isto sliko smo narisali spektre obremenitev in krivuljo kapacitete. Presečišče radialne linije, ki predstavlja elastični nihajni čas T^* idealiziranega bilinearnega sistema, z elastičnim spektrom S_{ae} določa zahteve potresa, izražene s pospeškom (in nosilnostjo), ki bi ga morala konstrukcija prenesti, če naj bi ostala med potresom v elastičnem območju, in s pomikom, ki bi ga morala prenesti taka konstrukcija. Pospešek na meji tečenja S_{ay} predstavlja tako zahteve kot kapaciteto neelastične konstrukcije. Redukcijski faktor R_μ je definiran kot razmerje med pospeški elastičnega in neelastičnega sistema

$$R_\mu = \frac{S_{ae}(T^*)}{S_{ay}}, \quad (14)$$

Če je elastični nihajni čas T^* večji od T_c ali enak T_c , velja pravilo o enakosti pomikov, po katerem je pomik neelastične konstrukcije S_d enak pomiku pripadajoče elastične konstrukcije S_{de} . Iz podobnosti trikotnikov na sliki 4 sledi, da je zahtevana duktilnost μ , definirana kot razmerje med zahtevanim pomikom in pomikom na



Slika 3: Spektri za konstantne duktilnosti v AD formatu, normirani na 1.0 g. Elastični spekter ustreza spektru na sliki 2.

meji elastičnosti ($\mu = S_d / D_y^*$), enaka redukcijskemu faktorju R_μ

$$S_d = S_{de}(T^*) \dots T^* \geq T_c, \quad (15)$$

$$\mu = R_\mu, \quad (16)$$

Če je elastični nihajni čas manjši od T_c , lahko zahtevano duktilnost izračunamo s preureditvijo enačbe (12)

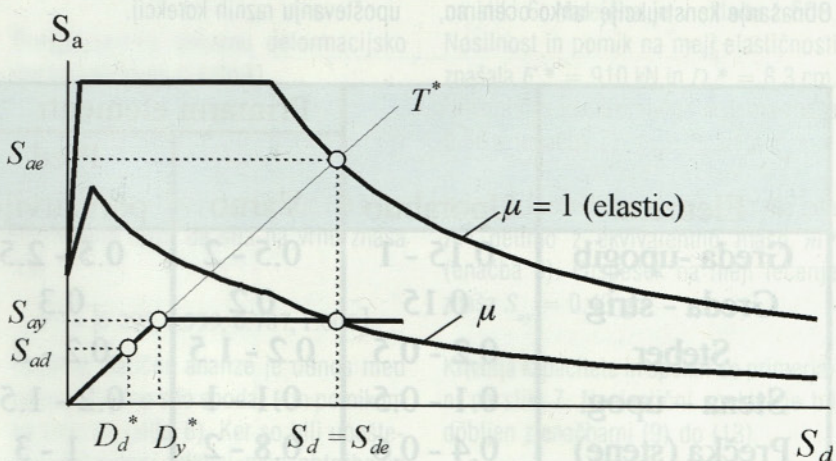
$$\mu = (R_\mu - 1) \frac{T_c}{T^*} + 1 \dots T^* < T_c, \quad (17)$$

Pomike konstrukcije izračunamo iz enačb (11) in (17)

$$S_d = \mu D_y^* = \frac{S_{de}}{R_\mu} \left(1 + (R_\mu - 1) \frac{T_c}{T^*} \right), \quad (18)$$

V obeh primerih ($T^* < T_c$ in $T^* \geq T_c$) so zahteve neelastične konstrukcije, izražene s pospeškom in pomikom, določene s presečiščem diagrama kapacitete z neelastičnim spektrom za duktilnost μ . V presečišču je faktor duktilnosti, določen iz krivulje kapacitete, enak faktorju duktilnosti, ki ustreza uporabljenemu spektru.

Pomembno je omeniti, da se celoten postopek lahko izvrši numerično, brez uporabe diagrama. Vendar je po našem



Slika 4: Elastični in neelastični spekter in diagram kapacitete.

mnenju slika 4 izjemno pomembna za razumevanje odnosov med osnovnimi veličinami (togost, nosilnost, pomik, duktilnost), ki določajo obnašanje konstrukcije med potresi.

GLOBALNE IN LOKALNE POTRESNE OBREMENTIVE MDOF SISTEMA

Pomik na vrhu MDOF sistema izračunamo tako, da pomik ekvivalentnega SDOF sistema pomnožimo s faktorjem za transformacijo Γ (enačba 4).

Lokalne obremenitve (npr. etažne pomike, rotacijo vozlišč, napetosti v krhkih elementih) dobimo iz rezultatov statične (\rightarrow pushover \leftarrow) analize, ki ustrezajo izračunanemu pomiku na vrhu. Predpostavimo, da je razporeditev obremenitev po elementih konstrukcije pri statični analizi približno enaka razporeditvi, ki bi jo dobili pri natančnejši dinamični analizi. Za duktilne elemente, ki se plastificirajo, se obremenitev izraža z deformacijami, medtem ko so za krhke elemente pomembne napetosti, saj morajo taki elementi praviloma ostati v elastičnem območju. Za opremo so največkrat pomembni pospeški.

OCENA OBNAŠANJA

Obnašanje konstrukcije lahko ocenimo,

če za različne nivoje obremenitev (npr. mejno stanje uporabnosti, mejno stanje nosilnosti) primerjamo zahteve potresa in kapaciteto konstrukcije. Kapaciteta konstrukcije in njenih elementov je odvisna od številnih dejavnikov. V tujih dokumentih so se pričeli pojavljati prvi podatki o kapacitetah. Za ilustracijo je nekaj podatkov zbranih v preglednici 2, kjer so po FEMA 356 povzete kapacitete elementov armiranobetonskih konstrukcij za različna stanja konstrukcije. Pri gredah so posebej prikazane vrednosti, ki veljajo, če prevladuje upogib, in posebej tiste, ki veljajo pri pretežno striznem obnašanju. Detajlne vrednosti znotraj podanih razponov so pri vseh elementih odvisne od stremen in velikosti striznih napetosti. Pri gredah so vrednosti odvisne še od razmerja med tlačno in natezno armaturo, pri stebrih in stenah pa od velikosti tlačnih obremenitev.

OMEJITVE

N2 metoda ima, tako kot vse približne metode, vrsto omejitev, ki omejujejo njeno uporabnost. Osnovna omejitev njeno uporabnost. Osnovna omejitev izhaja iz dejstva, da je uporabljen ekvivalenten SDOF sistem. Pretvorba na tak sistem je mogoča samo ob predpostavki, da konstrukcija niha pretežno v eni sami nihajni obliki. Pri konstrukcijah, kjer na odziv pomembno vpliva več nihajnih oblik, je uporaba metode možna samo ob upoštevanju raznih korekcij.

V metodi je uporabljen enostaven odnos med neelastičnimi in elastičnimi pomiki, ki je primeren za običajne konstrukcije, medtem ko lahko v določenih primerih vodi do večjih napak.

Bolj natančno diskusijo omejitev je mogoče najti v [Fajfar, 2000].

Metoda, opisana v tem članku, je omejena na dvojno simetrične konstrukcije, ki jih je mogoče obravnavati z ravninskimi modeli. Razširitev uporabnosti metode na nesimetrične konstrukcije, ki zahtevajo prostorski model, je opisana v naslednjem poglavju.

UPORABA ZA NESIMETRIČNE KONSTRUKCIJE

Pri nesimetričnih konstrukcijah izvršimo neodvisno statično (pushover) analizo za vsako od dveh vodoravnih smeri posebej. Obtežba, ki ima komponente samo v eni smeri, deluje v centru mas. Za vsako smer je postopek enak kot pri analizah v ravnini. Faktor Γ za transformacijo MDOF sistema na ekvivalenten SDOF sistem je enak kot pri analizah v ravnini (enačba 5). Pri statični (pushover) analizi zasledujemo odnos med celotno prečno silo in pomikom na vrhu v težišču, oboje v smeri obtežbe. Nazadnje kombiniramo rezultate, dobljene pri analizi v obeh smereh. Trenutno je predlagana SRSS kombinacija (kvadratni koren vsote kva-

| Element | Uporabno | Primarni elementi | | Sekundarni elementi | |
|----------------|-----------|-------------------|------------------|---------------------|------------------|
| | | Varno | Pred porušitvijo | Varno | Pred porušitvijo |
| Greda - upogib | 0.15 - 1 | 0.5 - 2 | 0.5 - 2.5 | 0.5 - 2 | 1 - 5 |
| Greda - strig | 0.15 | 0.2 | 0.3 | 0.5 - 1 | 1 - 2 |
| Steber | 0.2 - 0.5 | 0.2 - 1.5 | 0.2 - 2 | 0.5 - 2 | 0.8 - 3 |
| Stena - upog. | 0.1 - 0.5 | 0.1 - 1 | 0.2 - 1.5 | 0.2 - 1.5 | 0.4 - 2 |
| Prečka (stene) | 0.4 - 0.6 | 0.8 - 2 | 1 - 3 | 1 - 3 | 2.5 - 5 |

Preglednica 2: Kapaciteta AB konstrukcijskih elementov - Plastične rotacije (100 rad)

dratov vrednosti, dobljenih pri obtežbi v vsaki smeri posebej), to je enaka kombinacija, kot se uporablja pri elastični analizi. Možno je, da se bo na podlagi raziskav, ki so v teku, način kombiniranja rezultatov v prihodnosti nekoliko spremenil.

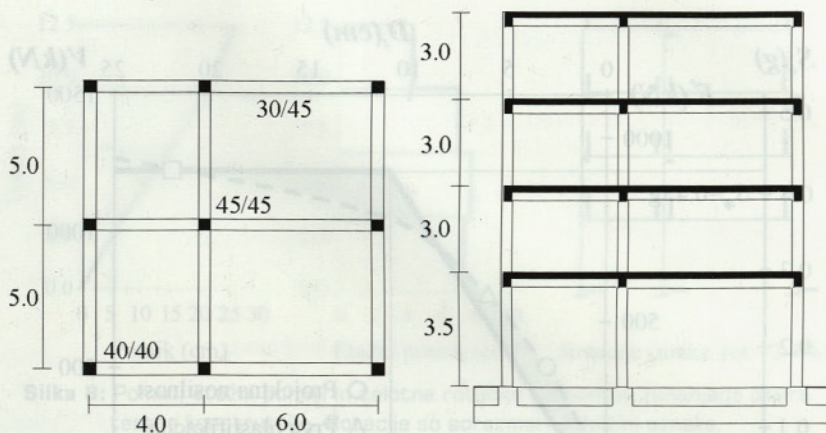
RAČUNALNIŠKI PROGRAMI

Obstoječi računalniški programi trenutno še ne omogočajo avtomatiziranega računa po opisani metodi. Delno izjemo predstavlja program OPENSEES [McKenna in Fenves, 2001], ki je dostopen na računalniku Univerze v Berkeleyu in ki je namenjen za raziskovalno delo. Obstaja pa vrsta programov, ki omogočajo nelinearno statično (pushover) analizo. V IKPIRu uporabljamo predvsem DRAIN-2DX [Prakash in Powell, 1993], ki je omejen na analize v ravnini, in različne verzije programa CANNY [Li, 2000], ki je uporaben tako za ravninske kot tudi za prostorske modele. Oba programa sta primerna predvsem za raziskovalno delo. Pred leti je bil v IKPIRu razvit program NEAVEK [Kilar in Fajfar, 1997], ki predstavlja nelinearni EAVEK. Program ni bil izdelan do tiste stopnje, ki bi omogočala široko uporabo programa. V zadnjem času smo pričeli uporabljati komercialna programa [SAP 2000, 2002] in [ETABS, 2002], ki sta namenjena za prakso. Predvidevamo, da bosta v prihodnosti oba programa dopolnjena tako, da bosta omogočala avtomatičen račun v skladu z EC8.

PRIMER

Opisano metodo bomo uporabili za analizo štirietažne armiranobetonske stavbe (slika 5). Konstrukcija je bila v merilu 1:1 psevdo-dinamično preizkušena v evropskem laboratoriju ELSA v Ispri v Italiji. Testni rezultati so bili uporabljeni za verifikacijo matematičnega modela.

Konstrukcija je bila projektirana v skladu



Slika 5: Testna konstrukcija

z EC8 kot konstrukcija z visoko duktilnostjo. Projektni pospešek tal je znašal 0.3 g. Mase posameznih etaž od spodaj navzgor znašajo 87, 86, 86 in 83 ton. Podrobnejši podatki o konstrukciji so dostopni v literaturi, npr. v [Fajfar in Drobnič, 1998]. Projektna celotna potresna sila (vsota potresnih sil po posameznih etažah) je znašala 15 odstotkov celotne teže.

Test in analize so narejeni pri obtežbi v eni sami smeri. Zanima nas obnašanje stavbe pri potresu, ki je enak dvojnemu projektnemu potresu (maksimalni pospešek tal $a_g = 0.6$ g). Upoštevana je oblika spektra po EC8, vrsta tal B (slika 2).

Za nelinearno statično (pushover) analizo smo uporabili program DRAIN-2DX. Model konstrukcije je sestavljen iz linijskih elementov s koncentrirano plastičnostjo na konceh.

Predpostavimo linearno deformacijsko obliko (obrnjeni trikotnik).

$$\Phi^T = [0.28, 0.52, 0.76, 1.00], \quad (1)$$

Vektor obtežbe dobimo z enačbo (1) in ga normiramo tako, da sila na vrhu znaša 1.0.

$$\mathbf{P}^T = [0.293, 0.539, 0.787, 1.000]$$

Rezultat statične analize je odnos med celotno prečno silo spodaj V in pomikom na vrhu D , (slika 6). Ker so bili upoštevani trilinearni odnosi med obtežbo in deformacijo posameznih elementov, se

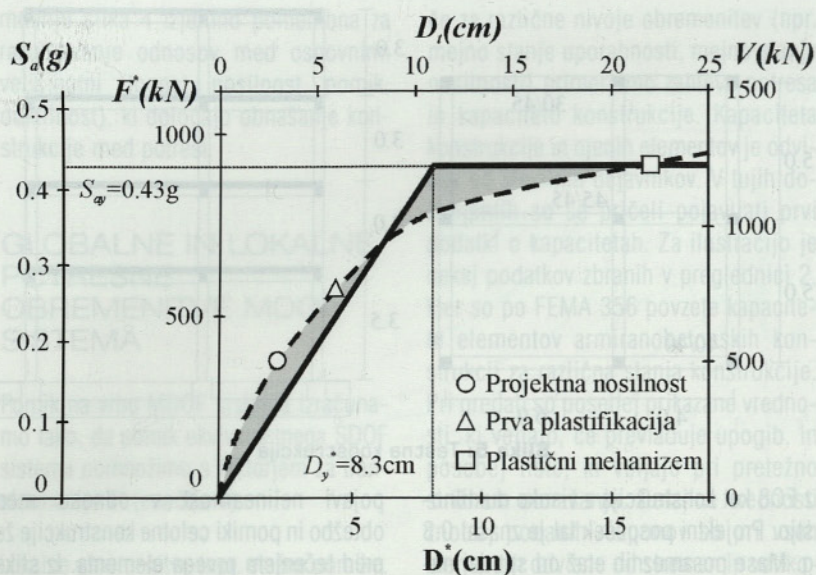
pojavi nelinearnost v odnosu med obtežbo in pomiki celotne konstrukcije že pred tečenjem prvega elementa. Iz slike je razviden velik faktor dodatne nosilnosti konstrukcije, to je razmerje med maksimalno in projektno nosilnostjo, ki znaša skoraj 2.5. Tak faktor je tipičen za sodobne okvirne armiranobetonske konstrukcije. MDOF sistem transformiramo v ekvivalenten SDOF sistem s pomočjo enačb (3 in 4). Ekvivalentna masa znaša $m^* = 217$ ton (enačba 6) in faktor za transformacijo je $\Gamma = 1.34$ (enačba 5). Na sliki 6 ista krivulja predstavlja tako razmerje med V in D , ki velja za MDOF sistem, in razmerje med silo F^* in pomikom D^* , ki velja za ekvivalenten SDOF sistem, le merilo na oseh je različno. Faktor med obema meriloma je enak Γ .

Bilinearna idealizacija odnosa med obtežbo in deformacijo je tudi prikazana na sliki 6. Narejena je v skladu z EC8. Nosilnost in pomik na meji elastičnosti znašata $F_y^* = 910$ kN in $D_y^* = 8.3$ cm. Nihajni čas idealiziranega sistema znaša 0.88 s (enačba 7).

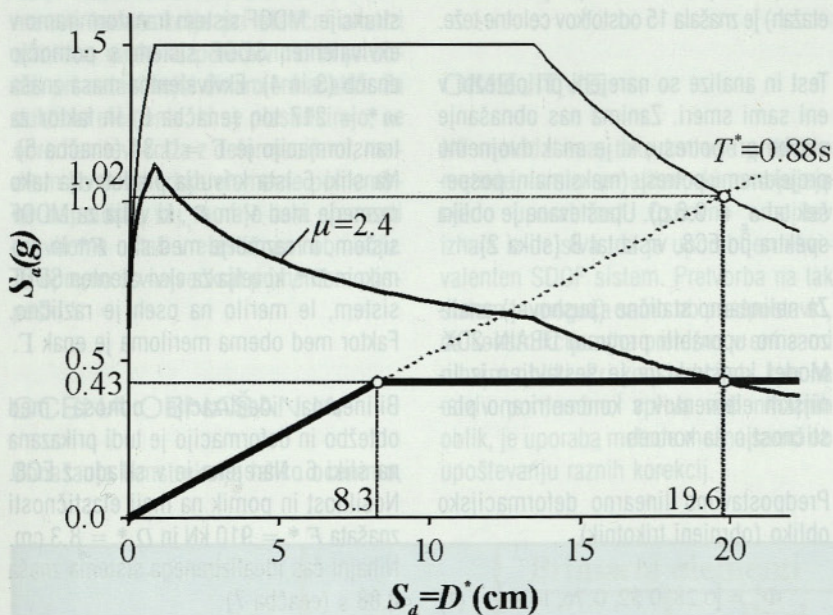
Krivuljo kapacitete dobimo tako, da silo F^* delimo z ekvivalentno maso m^* (enačba 8). Pospešek na meji tečenja znaša $S_{ay} = 0.43$ g.

Krivulja kapacitete in spektri so primerjani na sliki 7. Neelastični spekter je bil dobljen z enačbami (9) do (13).

V primeru neomejenega elastičnega ob-



Slika 6: Odnosi med obtežbo in pomikom za testno konstrukcijo. Odnosi so prikazani v različnih merilih. Pomik na vrhu D_i in celotna prečna sila V se nanašata na MDOF model, sila F^* in pomik D^* pa na SDOF model. Pospešek S_{ϕ} se nanaša na diagram kapacitete.



Slika 7: Spektar obremenitev (za dvojno projektno obtežbo $a_g = 0.6$ g) in diagram kapacitete za testno konstrukcijo.

našanja konstrukcije predstavlja potresne zahteve točka, v kateri se sekata elastični spekter, in linija, ki predstavlja elastični nihajni čas ekvivalentnega sistema SDOF ($T^* = 0.88$ s). Pospešek, ki ga mora prenesti neomejeno elastična konstrukcija, znaša $S_{ae} = 1.03$ g, pomik pa

$S_{de} = 19.6$ cm. Iste vrednosti dobimo računsko, če upoštevamo formulo za spekter pospeškov po EC8, ki se v področju srednjih nihajnih časov ($T^* \geq T_c = 0.6$ s) glasi $S_{ae} = 2.5 a_g (T_c/T^*)$, in zvezo med pomikom in pospeškom (enačba 9). Redukcijski faktor R_{μ} znaša

2.4 (enačba 14). Ker je konstrukcija v področju srednjih nihajnih časov, velja pravilo o enakosti pomikov in dobimo $\mu = R_{\mu} = 2.4$ in $S_d = S_{de} = 19.6$ cm. Zahteve potresa lahko predstavimo tudi grafično. Za konstrukcijo z omejeno nosilnostjo, ki se med potresom deformira v neelastično področje, zahteve potresa določa presečišče med diagramom kapacitete in elastičnim spektrom za $\mu = 2.4$. Grafični prikaz na sliki 7 je namenjen le boljšemu razumevanju, saj je zahteve mogoče izračunati, ne da bi konstruirali neelastične spektre.

V naslednjem koraku izračunamo pomik na vrhu MDOF sistema z enačbo (4) in dobimo $D_i = 1.34 \times 19.6 = 26.3$ cm. Z nelinearno statično (pushover) analizo MDOF modela do pomika D_i dobimo poljubne lokalne količine. Na sliki 8 so prikazani pomiki po višini objekta, etažni pomiki in rotacije na koncih elementov (stebrov in prečk). V vseh primerih so prikazane ovojnice rezultatov, dobljenih pri obteževanju v pozitivni in negativni smeri.

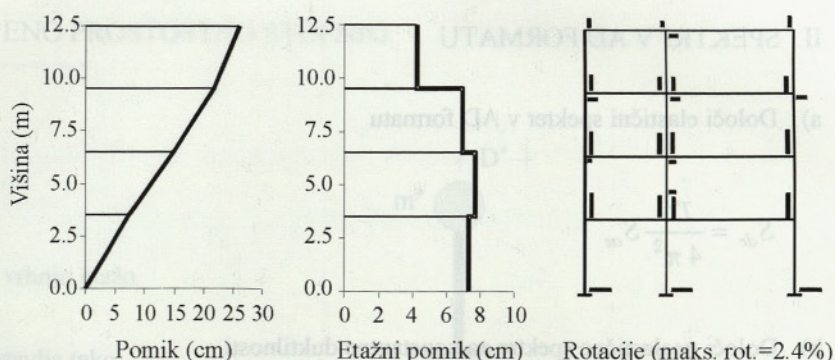
S podobno analizo določimo obremenitve v primeru potresov manjše jakosti. Za projektno jakost ($a_g = 0.3$ g) dobimo $D_i = 13.1$ cm, za $a_g = 0.15$ pa $D_i = 6.6$ cm.

Obnašanje konstrukcije lahko ocenimo, če primerjamo zahteve potresa s kapaciteto konstrukcije. Rezultati kažejo, da se pri potresu z dvojnimi projektnimi pospeškoma ($a_g = 0.6$ g) pojavi plastični mehanizem, ki je tak, kot ga želimo. Plastični členki se pojavijo pretežno v prečkih in v stebrih spodaj. Omejene plastične deformacije se pojavijo tudi v gornjih stebrih, med drugim v vseh stebrih na vrhu tretje etaže. Plastični mehanizem tako ni povsem globalen, pač pa preko spodnjih treh etaž, čemur se v praksi skoraj ni mogoče izogniti. Pomik na vrhu znaša 2.1% celotne višine, maksimalni etažni pomik približno 2.8% etažne višine, maksimalni celotni rotaciji v prečkih in stebrih 0.024 in 0.019 rad, maksimalni plastični rotaciji v prečkih in stebrih pa

0.019 in 0.013 rad. To so vrednosti, ki pomenijo precej velike poškodbe konstrukcije in nekonstrukcijskih elementov, vendar do porušitve zelo verjetno tudi pri tako veliki potresni obremenitvi ne bi prišlo, če so vsi detajli projektirani in izvedeni v skladu z EC8.

SKLEP

Nova generacija standardov in predpisov za gradnjo na potresnih območjih vsebuje kot dodatke k dosedanjim postopkom, ki temeljijo na elastični analizi, poenostavljene nelinearne metode. Ena med njimi je N2 metoda, razvita v IKPIRu, ki je vključena v evropski in slovenski standard EC8. Metoda, ki je uporabna za kontrolo obnašanja novo projektiranih in obstoječih objektov, omogoča pridobitev številnih podatkov, ki so pomembni za oceno obnašanja konstrukcij (dejanska nosilnost konstrukcije, plastični mehанизem, celotne in plastične deformacije na globalnem in lokalnem nivoju, napetosti v krhkih elementih, pospeški morebitne opreme). Natančnost rezultatov je praviloma tem boljša, čim bolj prevladuje vpliv ene same nihajne oblike. Ta pogoj običajno ni izpolnjen pri visokih stavbah



Slika 8: Pomiki, etažni pomiki in celotne rotacije elementov zunanjega okvira testne konstrukcije. Rotacije so sorazmerne dolžini oznake.

Maksimalna rotacija znaša 0.024 rad (2.4%).

Rotacije so narisane samo pri elementih, ki se plastificirajo.

in pri torzijsko podajnih stavbah. Za praktično uporabo so potrebni računalniški programi. Nove verzije nekaterih komercialnih programov že vsebujejo možnosti nelinearnih statičnih (pushover) analiz. Metoda je uporabna tudi za mostove, ki nihajo pretežno v eni nihajni obliki.

ZAHVALA

Pri razvoju N2 metode je, predvsem v začetni fazi, sodeloval M.Fischinger. Kasneje so v različnih časovnih obdobjih

neposredno ali posredno sodelovali tudi številni dodiplomski in podiplomski študenti in podoktorski raziskovalci v IKPI-Ru FGG, med njimi (v kronološkem redu) T.Vidic, I.Peruš, V.Kilar, P.Gašperšič, D.Drobnič, T.Isaković, D.Marušič, M.Dolšek in PKante. V zadnjem času so pri raziskavah sodelovali tudi gostujoči raziskovalci (v abecednem redu) G.Magliulo, A. Stratan in D.Zamfirescu. Raziskave so večinoma financirali MŠZŠ in njegovi predhodniki, gostujoče raziskovalce pa je financirala EC.

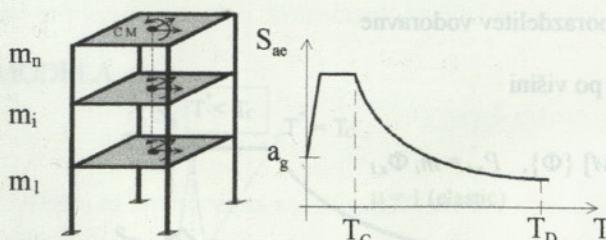
DODATEK: POVZETEK N2 METODE

I. PODATKI

a) Model konstrukcije

(3 prostostne stopnje v vsaki etaži,

diagonalna [M])



b) Elastični spekter pospeškov S_{ac}

II. SPEKTRI V AD FORMATU

a) Določi elastični spekter v AD formatu

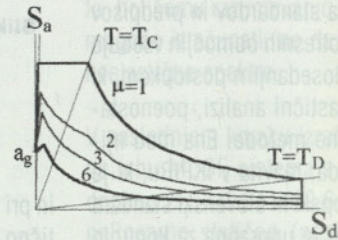
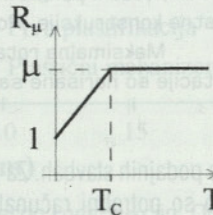
$$S_{de} = \frac{T^2}{4 \pi^2} S_{ae}$$

b) Določi neelastične spektre za konstantne duktilnosti

$$S_a = \frac{S_{ae}}{R_\mu}, \quad S_d = \frac{\mu}{R_\mu} S_{de}$$

$$R_\mu = (\mu - 1) \frac{T}{T_C} + 1 \quad T < T_C$$

$$R_\mu = \mu \quad T \geq T_C$$

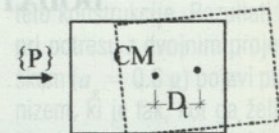
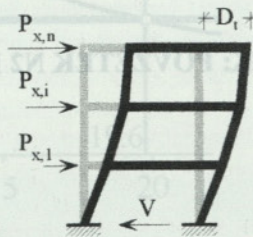


Korake III do VII je treba narediti za obe vodoravni smeri (x in y). Enačbe so prikazane samo za x-smer.

III. NELINEARNA STATIČNA (PUSHOVER) ANALIZA

a) Predpostavi deformacijsko obliko, ki ima komponente samo v eni smeri

$$\{\Phi\}^T = \{\Phi_x, 0, 0\}^T$$



b) Določi porazdelitev vodoravne obtežbe po višini

$$\{P\} = [M] \{\Phi\}, \quad P_{x,i} = m_i \Phi_{x,i}$$

Vrstni red se lahko zamenja (Najprej predpostavi \$\{P\}\$ in potem določi \$\{\Phi\}\$).

c) Določi odnos med celotno prečno silo \$V\$ in pomikom na vrhu \$D_1\$ pri delovanju obtežbe \$\{P\}\$ v CM

IV. EK VIVALENTEN MODEL Z ENO PROSTOSTNO STOPNJO

- a) Določi maso
- m^*

$$m^* = \sum m_i \Phi_{x,i}$$

Upoštevaj: $\Phi_{x,n} = 1.0$, n označuje vrhno etažo

- b) Pretvori MDOF količine (Q predstavlja tako sile kot tudi pomike) v SDOF količine (Q^*).

$$Q^* = \frac{Q}{\Gamma}, \quad \Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_{x,i}^2}$$

- c) Določi idealiziran bilinearen odnos med silo in pomikom

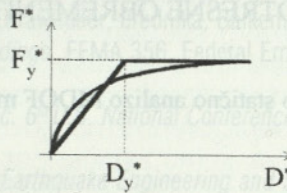
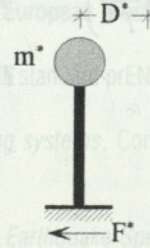
- d) Določi nosilnost
- F_y^*
- , pomik na meji tečenja
- D_y^*
- ,

in nihajni čas T^*

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* D_y^*}{F_y^*}}$$

- e) Določi diagram kapacitete (pospešek proti pomiku)

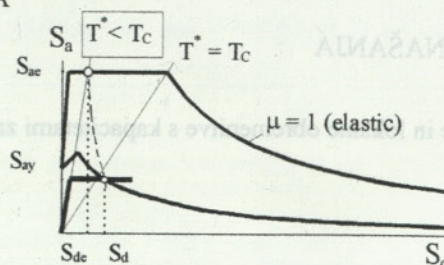
$$S_a = \frac{F^*}{m^*}$$



V. POTRESNE OBREMENTITVE SDOF MODELA

- a) Določi redukcijski faktor
- R_μ

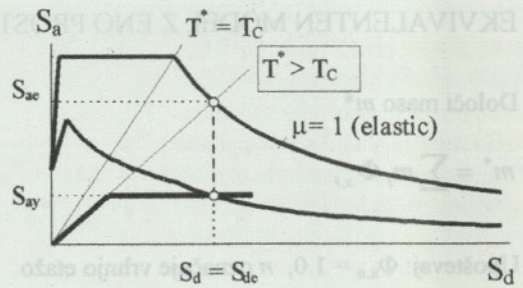
$$R_\mu = \frac{S_{ae}}{S_{ay}}$$



b) Določi maksimalni pomik $S_d = D^*$

$$S_d = \frac{S_{de}}{R_\mu} \left(1 + (R_\mu - 1) \frac{T_C}{T^*} \right) \quad T^* < T_C$$

$$S_d = S_{de} \quad T^* \geq T_C$$



VI. GLOBALNE POTRESNE OBREMENTITVE MDOF MODELA

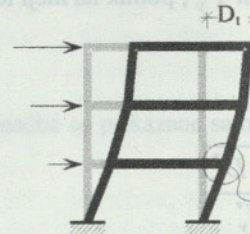
a) Pretvori pomik SDOF modela v pomik na vrhu MDOF modela

$$D_t = \Gamma S_d$$

VII. LOKALNE POTRESNE OBREMENTITVE

a) Izvedi nelinearno statično analizo MDOF modela (kot v koraku III) do pomika D_t

b) Določi lokalne obremenitve (npr. etažne pomike, rotacije Θ , sile v krhkih elementih, pospeške za opremo), ki ustrezajo D_t



VIII. VPLIV OBTEŽBE V DVEH SMEREH

Kombiniraj globalne in lokalne obremenitve, dobljene s statičnima analizama za x- in y-smer

IX. OCENA OBNAŠANJA

Primerjaj globalne in lokalne obremenitve s kapacitetami za relevantno stanje konstrukcije.

LITERATURA

- ATC, *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*, Vol.1, ATC 40, Applied Technology Council, Redwood City, 1996.
- CEN, *Eurocode 8 – Design provisions for earthquake resistance of structures*, European prestandards ENV 1998, European Committee for Standardization, Brussels, 1994
- CEN, *Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance*, Part 1, European standard prEN 1998-1, Draft No.5, European Committee for Standardization, Brussels, May 2002.
- ETABS, *Linear and nonlinear static and dynamic analysis and design of building systems*, Computers and Structures, Inc., Berkeley, 2002.
- Fajfar, P., *Dinamika gradbenih konstrukcij*, Univerza v Ljubljani, FAGG, 1984.
- Fajfar, P., A nonlinear analysis method for performance-based seismic design, *Earthquake Spectra*, Vol.16, No.3, 573-592, 2000.
- Fajfar, P., Structural analysis in earthquake engineering, A breakthrough of simplified non-linear methods, *Proc. 12th European Conference on Earthquake Engineering*, Keynote paper, CD-ROM, London, 2002.
- Fajfar, P., Drobnič, D., Nonlinear seismic analysis of the ELSA buildings, *Proc. 11th European Conference on Earthquake Engineering*, Paris, CD-ROM, Balkema, Rotterdam, 1998.
- Fajfar, P., Fischinger, M., Non-linear seismic analysis of RC buildings: Implications of a case study, *European Earthquake Engineering*, Vol.1, 31-43, 1987.
- Fajfar, P., Gašperšič, P., The N2 method for the seismic damage analysis of RC buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.25, 23-67, 1996.
- Fajfar, P., Gašperšič, P., Drobnič, D., A simplified nonlinear method for seismic damage analysis of structures, v *Seismic design methodologies for the next generation of codes*, PFajfar in H.Krawinkler, urednika, Balkema, Rotterdam, 1997.
- FEMA, *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*, FEMA 356, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2000.
- Freeman, S. A., Development and use of capacity spectrum method, *Proc. 6th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Seattle, CD-ROM, EERI, Oakland, 1998.
- Kilar V., Fajfar, P., Simple push-over analysis of asymmetric buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.26, 233-249, 1997.
- Li, K.N., *3-dimensional nonlinear static/dynamic structural analysis computer program CANNY99*, CANNY Consultants Pte Ltd, Singapore, 2000.
- McKenna, F., Fenves, G.L., *The OpenSees Command Language Manual - Version 1.2*, PEER, University of California, Berkeley, 2001.
- Otani, S., New seismic design provisions in Japan. *Proc. of Slovenia-Japan Workshops on Performance-Based Seismic Design Methodologies*, Ljubljana, oktober 2000 in oktober 2001, PFajfar in S.Otani, urednika, University of Ljubljana and University of Tokyo, 2002.
- Prakash, V., Powell, G.H., DRAIN-2DX, DRAIN-3DX, and DRAIN-BUILDINGS: Base program design documentation, *Report No. UCB/SEMM-93/16*, University of California, Berkeley, 1993.
- SAP 2000, *Three dimensional static and dynamic finite element analysis and design of structures*, Computers and Structures, Inc., Berkeley, 2002.

PRODNA BILANCA POVODJA REKE KORITNICE - 1. LETNA PRODONOSNOST

SEDIMENT BUDGET OF THE KORITNICA RIVER BASIN - 1. YEARLY SEDIMENT TRANSPORT RATES

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 551.3 : 627.157

MATJAŽ MIKOŠ, LUKA ŠTRAUS, GREGOR PETKOVŠEK, MITJA BRILLY

P O V Z E T E K Po katastrofalnem plazu Stože in drobirskem toku dne 17. novembra 2000, ki je prizadel alpsko vasico Log pod Mangartom, smo opravili analizo zrnivosti odkladnin, ki jih je v dolini Koritnice odložil drobirski tok. Aritmetično srednje zrno odvzetih prostorninskih vzorcev je bilo različno, med 11 mm in 26 mm, najpogosteje blizu 25 mm. Te analize smo dopolnili z odvzemom linijskih vzorcev, ki so potrdili navedene vrednosti. Nato smo s pomočjo povprečne letne krivulje trajanja pretokov voda za odsek reke Koritnice mimo Loga pod Mangartom, vrednotene iz vodomerne postaje Kal-Koritnica, ocenili povprečno profilno letno premestitveno zmogljivost reke Koritnice. Zaradi relativno drobne zrnavostne sestave lahko pričakujemo zasičenost vodnih tokov ob višjih pretokih voda in tako računsko letna premestitvena zmogljivost predstavlja dobro oceno za letno prodonosnost - dejansko količino premeščenih plavin v 1 letu. Rezultati so podani v odvisnosti od spremenljivega aritmetičnega srednjega zrna plavin v premeščanju in širine v prihodnosti urejene prodonosne struge reke Koritnice.

S U M M A R Y After the devastating landslide Stože and the following debris flow event on November 17, 2000, which hit the alpine village of Log pod Mangartom, we analysed the granulometric composition of debris flow deposits in the Koritnica River valley. The arithmetic mean diameter of the volumetric samples varied between 11 mm and 26 mm, with the median value of 25 mm. Grain sampling was completed by Wolman sampling, which confirmed the obtained values from the volumetric sampling. Then we used the discharge curves from the gauging station in Kal-Koritnica in order to obtain the discharge frequency curves for the Koritnica River in Log pod Mangartom. We used these curves to compute profile sediment transport capacity as a function of mean sediment size and future riverbed width of the Koritnica River. Due to the relatively fine granular composition we may expect sediment saturation during high flows. Thus, computed profile sediment transport capacity is expected to be a good estimation for annual sediment transport rates.

Avtorji:

izr. prof. dr. Matjaž Mikoš, u. d. i. g., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana
Luka Štraus, univ. dipl. inž. grad. Ministrstvo za okolje in prostor, Urad za prostorsko planiranje, Dunajska 21, Ljubljana
dr. Gregor Petkovšek, u. d. i. g., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana
prof. dr. Mitja Brilly, u. d. i. g., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

1 UVOD

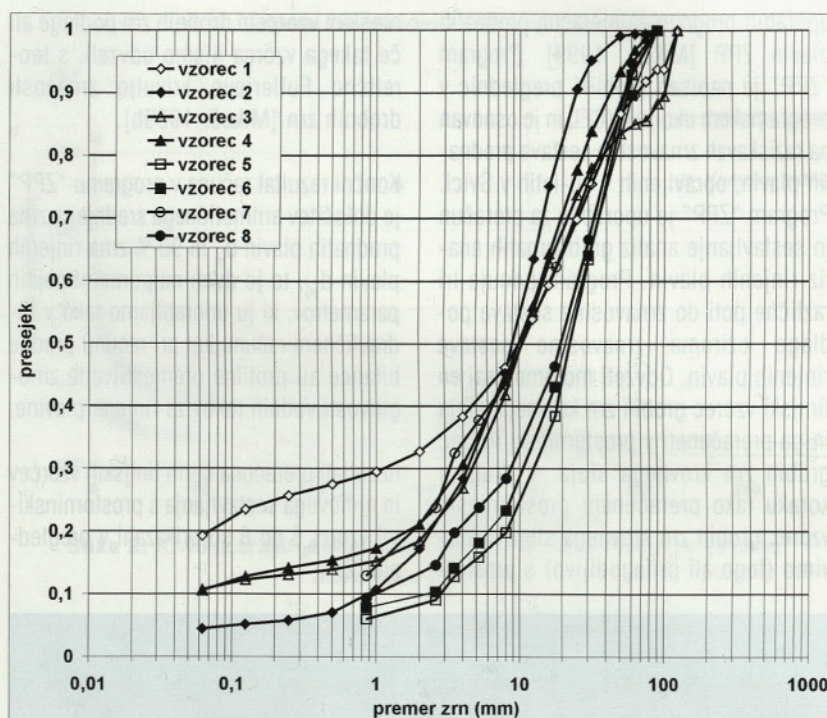
Prodna bilanca obravnavanega povodja reke Koritnice je količinski prikaz povprečnega sproščanja in odplavljanja erozijskega drobirja iz virov plavin ter opis dinamike premeščanja sedimentov skozi rečno mrežo v povodju. V prvem delu prispevka se bomo posvetili zrnovostni analizi sedimentov (odkladnin drobirskega toka) in računu profilne letne premeščitvene zmogljivosti v odvisnosti od zrnivosti sedimentov in širine dna prodonosne struge reke Koritnice.

2 ZRNAVOSTNA ANALIZA ODKLADNIN DROBIRSKEGA TOKA

Za vrednotenje prodne bilance je poglavitnega pomena poznavanje zrnovostne sestave sedimentov, ki jih premeščajo vodni tokovi vzdolž povodja. Da bi ovrednotili prodno bilanco povodja reke Koritnice, je bilo tako nujno obdelati zrnovostno sestavo plavin v reki Koritnici. Po plazju Stože novembra 2000 so se v dnu doline reke Koritnice odložile mase drobirskega toka, ki so na debelo prekrile stare hudourniške in rečne plavine te reke. Zato bo v naslednjem obdobju reka Koritnica predvsem spirala in premeščala plavine, ki jih bo ustvarila iz odloženih mas drobirskega toka, preden se bo z globinsko erozijo ponovno zajedla v starejši rečne in hudourniške nanose.

2.1 ANALIZA PROSTORNINSKIH VZORCEV

Zrnovost odloženih mas drobirskega toka je bila analizirana na osnovi 8 prostorninskih vzorcev, ki smo jih odvzeli ob dveh različnih časih: 4 vzorce (označene od 1 do 4) kmalu po naravni nesreči v novembru 2000 in 4 vzorce (označene od 5 do 8) v juniju 2001. Mesta odvzema vseh 8 vzorcev so podana v preglednici 1. Odvzeti vzorci so bili prepeljani v Ljubljano,



Slika 1: Zrnovostna sestava drobirskega toka na območju Loga pod Mangartom – vzorci od 1 do 4 so bili odvzeti 21. in 22. novembra 2000, vzorci od 5 do 8 so bili odvzeti 26. junija 2001.

zračno sušeni in presejani na vibracijskih sitih s stresalnikom GILSON. Njihovo zrnovostno sestavo prikazuje slika 1, rezultati zrnovostne analize pa so podani v preglednici 1.

Lahko ugotovimo, da se odvzeti vzorci med seboj ne razlikujejo preveč. Predvsem je zanimiva ocena, da se zrnovostna sestava vzorcev, odvzetih takoj po naravni nesreči, ne razlikuje bistveno od vzorcev, odvzetih več kot 6 mesecev po nesreči. V obeh primerih gre za precej drobnozrnato maso, ki jo je prinesel drobirski tok 17. novembra 2000 ter se med odlaganjem ni mogla kakorkoli segregirati oziroma odlagati v slojih različne zrnivosti. Zato bi lahko ta drobirski tok imenovali tudi gruščnati tok [Ribičič, 2001]. Tako lahko pričakujemo, da je zrnovost odloženih mas relativno konstantna tako v vzdolžni smeri kakor tudi po globini odloženih mas. Prav ta ugotovljena drobnozrnata sestava večine odloženih mas je omogočila hitro spiranje in poglobljanje strug Predelice in Koritnice ob ustreznem

izboru relativno ozke širine dna struge za oba vodotoka.

2.2 ANALIZA LINIJSKIH VZORCEV

Ob analizi zrnivosti odvzetih prostorninskih vzorcev je seveda nujno razložiti, da tako odvzeti vzorci podcenijo delež grobih zrn [Mikoš, 1989b], to je tistih največjih zrn v masi drobirskega toka, ki se je odložila. Dejanska zrnovost odloženih mas drobirskega toka je večja od tukaj ovrednotenih srednjih aritmetičnih zrn, prikazanih v mm, vendar je treba povedati, da se največja zrna odloženih mas lahko premestijo le ob ekstremnih pretokih in na prodno bilanco vplivajo manj kakor na npr. oceno hrapavosti dna in brežin strug vodotoka.

Tako so bili 26. junija 2001 na istih mestih kot prostorninski vzorci 5 do 8 (preglednica 1) odvzeti še pripadajoči linijski vzorci. Za analizo zrnivosti smo nato

uporabili program za preračun prodnatih plavin ZPP [Mikoš, 1999]. Program "ZPP" je napisan v obliki preglednic v programskem okolju EXCEL in je osnovan na raziskavah znanostne sestave prodnatih plavin, opravljenih v 80-letih v Švici. Program "ZPP" je uporaben za preračun in sestavljanje analiz grobozrnatih analiz rinjenih plavin. Program ponuja tri različne poti do znanostne sestave podlage oziroma zrnastostne sestave rinjenih plavin. Odvzeti moramo vsaj en linijski vzorec grobih zrn krovnega sloja in ga preračunati v prostorninski vzorec grobih zrn krovnega sloja. V drugem koraku tako preračunani prostorninski vzorec grobih zrn krovnega sloja sestavimo (togo ali prilagodljivo) s prostor-

ninskim vzorcem drobnih zrn podlage ali če takega vzorca nismo odvzeli, s teoretično Fullerjevo krivuljo zrnastosti drobnih zrn [Mikoš, 1989b].

Končni rezultat računa v programu "ZPP" je določitev aritmetičnega srednjega zrna prodnatih plavin d_m in 90 % zrna rinjenih plavin d_{90} , to je dveh najpomembnejših parametrov, ki ju uporabljamo tako v hidravličnem računu kot pri računu prodne bilance ali profilne premestitvene zmogljivosti vodnih tokov za rinjene plavine.

Rezultati preračuna štirih linijskih vzorcev in njihovega sestavljanja s prostorninskimi vzorci 5 do 8 so prikazani v preglednici 2.

| odvzemno mesto | prostorninski vzorec | togo sestavljanje | Fullerjeva zrnastostna krivulja | prilagodljivo sestavljanje |
|----------------|----------------------|-------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 5 | 26,3 | 53,6 | 50,7 | 49,1 |
| 6 | 26,4 | 41,4 | 42,4 | 35,1 |
| 7 | 18,8 | 43,7 | 50,4 | 50,1 |
| 8 | 23,4 | 48,8 | 50,4 | 42,6 |

Preglednica 2: Srednje aritmetično zrno v mm odvzetih in preračunanih vzorcev drobirskega toka na območju Loga pod Mangartom, odvzetih 26. junija 2001.

Rezultati preračuna in sestavljanja linijskih in prostorninskih vzorcev kažejo na dejansko bolj grobo sestavo drobirskih odkladnin, kakor se kaže le na osnovi prostorninskih vzorcev. To dejstvo moramo upoštevati pri vrednotenju premestitvene zmogljivosti.

3. RAČUNI PROFILNE LETNE PREMESTITVENE ZMOGLJIVOSTI REKE KORITNICE

Pri računu letne premestitvene zmogljivosti reke Koritnice smo uporabili program "MPM" [Mikoš & Petkovšek 1999]. Program "MPM" je uporaben za vrednotenje profilne premestitvene zmogljivosti vodnih tokov za rinjene plavine v izbranem prerezu urejenih vodotokov, ki jih lahko vsaj približno opišemo z enojnim ali dvojnimi trapeznimi prečnim prerezom. Kot vhodne hidrološke podatke je možno podati povprečne ali ekstremne letne krivulje trajanja pretokov voda kakor tudi podatke o poplavnem valu (dejanske ali sintetične hidrograme odtoka) trajanja do nekaj dni. V tem prispevku je s pomočjo omenjenega programa vrednotena premestitvena zmogljivost reke Koritnice z uporabo letnih krivulj trajanja pretokov

| parameter | odvzem 21. in 22. november 2000 – mesto odvzema | | | | odvzem 26. junij 2001 – mesto odvzema | | | |
|---------------|---|-------------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| | vzorec 1 | vzorec 2 | vzorec 3 | vzorec 4 | vzorec 5 | vzorec 6 | vzorec 7 | vzorec 8 |
| zrnastosti | Predelica – Gorenji Log | Koritnica pod Predelico | Koritnica nad Rojo | Koritnica nad Kotlino | Predelica – Gorenji Log | Predelica – Gorenji Log | Koritnica – nad Rejo | Koritnica – nad Rojo |
| d_{16} [mm] | 0,06 | 1,82 | 1,23 | 0,67 | 5,3 | 4,0 | 1,4 | 2,8 |
| d_{50} [mm] | 10,21 | 9,16 | 10,76 | 10,23 | 23,5 | 21,9 | 11,5 | 20,1 |
| d_{84} [mm] | 45,58 | 21,17 | 54,06 | 31,65 | 50,9 | 53,4 | 44,2 | 48,5 |
| d_{90} [mm] | 65,21 | 24,65 | 101,14 | 43,31 | 57,0 | 60,4 | 54,6 | 54,9 |
| varianca [-] | 28,10 | 3,41 | 6,62 | 6,90 | 3,1 | 3,6 | 5,7 | 4,1 |
| d_m [mm] | 22,08 | 11,45 | 25,46 | 15,93 | 26,3 | 26,4 | 18,8 | 23,4 |

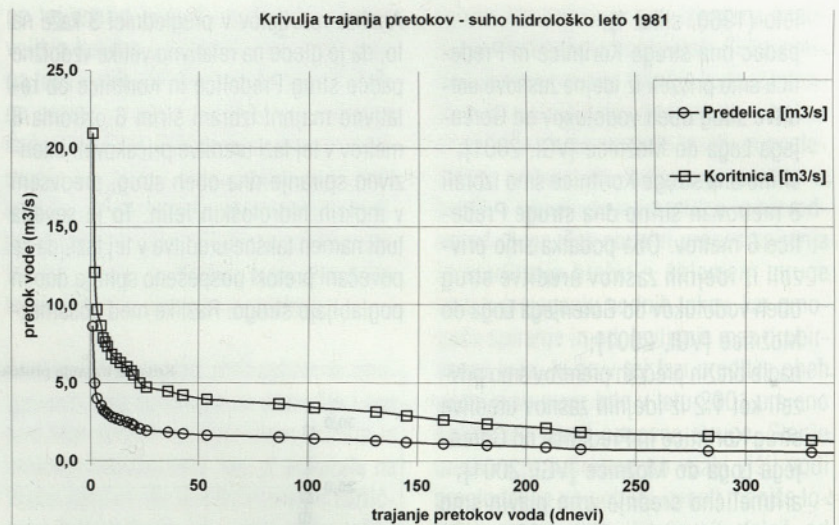
Preglednica 1: Parametri zrnastosti in mesta odvzema prostorninskih vzorcev drobirskega toka na območju Loga pod Mangartom.

voda. V drugem delu prispevka [Mikoš et al., 2002] je vrednotena premestitvena zmogljivost reke Koritnice za primere izbranih poplavnih valov.

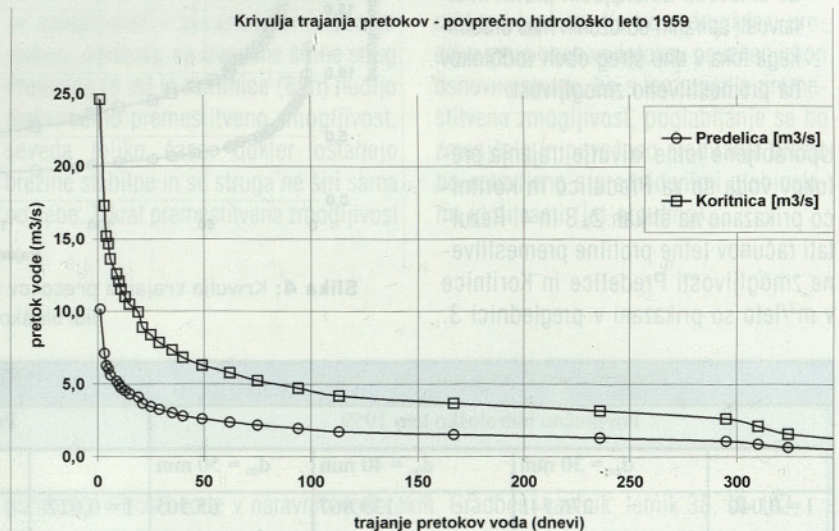
Hidravlični del programa "MPM" rešuje primer enodimenzijskega stalnega enakomernega toka ob uporabi logaritmičnega obrazca za razporeditev pretočnih hitrosti vode [Mikoš, 1989a] ali obrazca Gončarova (aproksimacija pretočnega prereza s pravokotnikom), glede na izbiro uporabnika. Pri tem je možno podati enojni ali dvojni trapezni pretočni prerez vodotoka izbrane širine in izbranega padca dna struge ter izbranega istega nagiba obeh brežin vodotoka. V obeh primerih računa premestitvene zmogljivosti reke Koritnice smo v računu upoštevali enojni trapezni prečni prerez, kakor so ti prerezi podani v idejni zasnovi ureditve strug Koritnice in Predelice od Gorenjega Loga do Možnice [VGI, 2001].

Sedimentološki del programa rešuje enačbo Meyer-Peter/Müllerja za specifično premestitveno zmogljivost vodnih tokov za rinjene plavine in pri tem na željo uporabnika upošteva, ali pride do tvorbe posteljice dna ali ne. Rezultat izračuna je podroben prikaz vrednotenja profilne premestitvene zmogljivosti vodnih tokov za rinjene plavine. Profilna premestitvena zmogljivost je podana za letne krivulje trajanja pretokov voda kot letna količina rinjenih plavin v m^3 na leto, v primeru poplavnih valov pa kot rinjena količina rinjenih plavin v m^3 v času trajanja poplavnega vala. V obeh primerih računa premestitvene zmogljivosti reke Koritnice smo pri računih uporabili možnost računa s tvorbo posteljice dna struge, saj se danes vodni tokovi Koritnice in Predelice na novo zarezujejo v odložene mase drobirskega toka in pri tem prihaja do tvorbe posteljice dna.

Bistvena omejitev pri uporabi vrednotenja profilne premestitvene zmogljivosti je predpostavka o ravnovesnem pretočnem prerezu vodotoka. Če ta predpostavka velja (dotok plavin po zrnivosti in količini enak premestitveni zmogljivosti), je do-



Slika 2: Krivulja trajanja pretokov voda Predelice in Koritnice za suho hidrološko leto 1981.



Slika 3: Krivulja trajanja pretokov voda Predelice in Koritnice za povprečno hidrološko leto 1959.

bljena vrednost premestitvene zmogljivosti dobra ocena prodonosnosti (dejanskega pretoka rinjenih plavin) v izbranem pretočnem prerezu vodotoka. S programom "MPM" ni možno računati morfoloških sprememb celih odsekov vodotokov. Ta problematika je za reko Koritnico obravnavana posebej v drugem delu tega prispevka [Mikoš et al., 2002].

Račune letne premestitvene zmogljivosti reke Koritnice in Predelice smo izvedli s pomočjo naslednjih vhodnih podatkov oziroma za naslednje pogoje:

- uporabili smo letne krivulje trajanja pre-

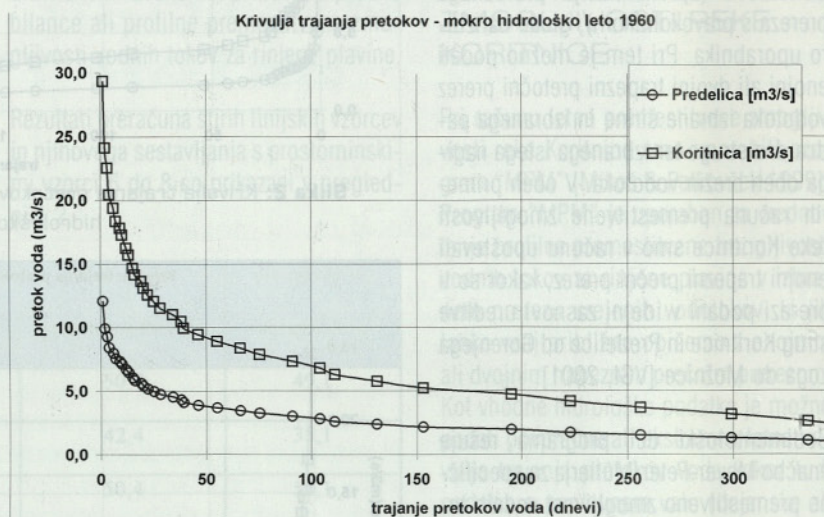
tokov voda, kakor smo jih preračunali iz rezultatov hidrološke analize podatkov za vodomerno postajo Kal-Koritnica (limnigraf) ob uporabi utežnih koeficientov, podanih v hidrološkem modelu povodja Koritnice [Mikoš, 2002b]: za Predelico pred sotočjem s Koritnico (0,2160), za Koritnico pred sotočjem s Predelico (0,3084) in za Koritnico pred sotočjem z Rojo (0,5244); račune smo izvedli za tri različne letne krivulje trajanja pretokov voda in sicer za suho hidrološko leto (1981, slika 2), povprečno hidrološko leto (1959, slika 3) in mokro hidrološko

- leto (1960, slika 4);
- padec dna struge Koritnice in Predelice smo privzeli iz idejne zasnove ureditve strug obeh vodotokov od Gorenjega Loga do Možnice [VGI, 2001];
- širino dna struge Koritnice smo izbrali 8 metrov in širino dna struge Predelice 6 metrov. Oba podatka smo privzeli iz idejnih zasnov ureditve strug obeh vodotokov od Gorenjega Loga do Možnice [VGI, 2001];
- nagib brežin prečnih prevezov smo privzeli kot 1:2 iz idejnih zasnov ureditve strug Koritnice in Predelice od Gorenjega Loga do Možnice [VGI, 2001];
- aritmetično srednje zrno plavin smo spreminjali v območju od 30 mm do 50 mm, da bi prikazali vpliv spremembe zrnivosti dotekajočih plavin in zrnivosti spiranih odloženih mas drobirskega toka v dnu strug obeh vodotokov na premestitveno zmogljivost.

Uporabljene letne krivulje trajanja pretokov voda so za Predelico in Koritnico prikazane na slikah 2, 3 in 4. Rezultati računov letne profilne premestitvene zmogljivosti Predelice in Koritnice v m³/leto so prikazani v preglednici 3.

Analiza rezultatov v preglednici 3 kaže na to, da je glede na relativno velike vzdolžne padce strug Predelice in Koritnice ob relativno majhni izbrani širini 6 oziroma 8 metrov v tej fazi ureditve pričakovati intenzivno spiranje dna obeh strug, predvsem v mokrih hidroloških letih. To je seveda tudi namen takšne ureditve v tej fazi, da že povečani pretoki pospešeno spirajo dno in poglobljajo strugo. Razlike med posamez-

nimi hidrološkimi leti so izrazite, tako so te razlike za aritmetično zrno plavin 3 cm nekajkratne, za aritmetično zrno plavin 5 cm pa tudi več kot desetkratne. Navedeni rezultati imajo le primerjalno vrednost, pomembno je medsebojno primerjati tudi rezultate analize premestitvene zmogljivosti za izbrane poplavne valove. Kljub temu izračuni kažejo, da so širine v dnu strug obeh vodotokov izbrane tako (6 do 8 me-



Slika 4: Krivulja trajanja pretokov voda Predelice in Koritnice za mokro hidrološko leto 1960.

| Predelica pred sotočjem s Koritnico | | | | Koritnica pred sotočjem z Rojo | | | |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Povprečno hidrološko leto 1959 | | | | Povprečno hidrološko leto 1959 | | | |
| | d _m = 30 mm | d _m = 40 mm | d _m = 50 mm | | d _m = 30 mm | d _m = 40 mm | d _m = 50 mm |
| I = 0,040 | 276.541 | 139.867 | 65.505 | I = 0,027 | 454.752 | 231.427 | 111.247 |
| I = 0,0428 | 345.793 | 178.382 | 87.599 | I = 0,029 | 566.795 | 298.481 | 149.050 |
| Suho hidrološko leto 1981 | | | | Suho hidrološko leto 1981 | | | |
| | d _m = 30 mm | d _m = 40 mm | d _m = 50 mm | | d _m = 30 mm | d _m = 40 mm | d _m = 50 mm |
| I = 0,040 | 84.843 | 29.309 | 10.326 | I = 0,027 | 149.131 | 51.594 | 18.779 |
| I = 0,0428 | 114.255 | 39.969 | 15.109 | I = 0,029 | 198.305 | 72.357 | 27.354 |
| Mokro hidrološko leto 1960 | | | | Mokro hidrološko leto 1960 | | | |
| | d _m = 30 mm | d _m = 40 mm | d _m = 50 mm | | d _m = 30 mm | d _m = 40 mm | d _m = 50 mm |
| I = 0,040 | 597.167 | 355.426 | 186.201 | I = 0,027 | 946.560 | 576.951 | 310.037 |
| I = 0,0428 | 713.402 | 442.143 | 242.403 | I = 0,029 | 1.130.332 | 718.635 | 403.182 |

Preglednica 3: Rezultati primerjalnega računa letne profilne premestitvene zmogljivosti. Rezultati so prikazani za Predelico pred sotočjem s Koritnico in za Koritnico pod sotočjem s Predelico do sotočja z Rojo, podani v m³/leto, za tri različne zrnivosti plavin d_m ter po dva različna vzdolžna padca za vsak vodotok, kjer ima Predelica 6 metrov široko strugo in Koritnica 8 metrov široko strugo, obe sta trapeznega prečnega prereza in naklona brežin 1:2 – podatki za prečni prevez in vzdolžni padec obeh strug so privzeti po idejnih zasnovah ureditve obeh strug na odseku od Gorenjega Loga do Možnice [VGI, 2001].

trov), da omogočajo intenzivno poglabljanje. Povišani pretoki pa bodo seveda ne samo globinsko erodirali dno, temveč tudi delno spodjedali nezavarovane brežine in širili dno struge. Spremenjene razmere po visoki vodi konec oktobra 2002 so potrdile tak geomorfološki razvoj, ko se je struga reke Koritnice razširila in začela tudi meandrirati.

4. SKLEPI

Ločeno od tukaj opisane analize je bilo opravljeno tudi vrednotenje sproščanja in odplavljanja zemljin v hudourniških območjih reke Koritnice zaradi površinske erozije s pomočjo prilagojene enačbe Gavrilovića, ki je določilo medsebojna relativna razmerja posameznih podpovodij povodja Koritnice [Mikoš et al., 2002a]. Analiza je kot dotok plavin v reko Sočo v povprečnem letu dala prostornino blizu 39.000 m³. Dotok plavin po Koritnici in po Predelici v območje njunega sotočja (območje Gorenjega Loga) je

po tej analizi blizu razmerja 7:1. Zaradi velikih količin odloženih mas drobirskega toka v strugi Predelice in Mangartskega potoka je možno pričakovati bistveno večje količine dotekajočih plavin v območje Gorenjega Loga, kakor na to kaže analiza površinskega sproščanja in odplavljanja zemljin. Visoke vode Mangartskega potoka in Predelice so konec oktobra 2002 to mnenje le potrdile.

Analiza letne profilne premestitvene zmogljivosti reke Koritnice na območju Loga pod Mangartom v povprečnem, suhem in mokrem hidrološkem letu je pokazala na znano dejstvo, da so razmerja med različnimi hidrološkimi leti lahko zelo velika predvsem pri bolj grobi sestavi plavin. Obenem je analiza profilne premestitvene zmogljivosti v posameznem prečnem prerezu pokazala, da izvedene širine strug Predelice (6 m) in Koritnice (8 m) nudijo maksimalno premestitveno zmogljivost, seveda toliko časa, dokler ostanejo brežine stabilne in se struga ne širi sama od sebe. Takrat premestitvena zmogljivost

upade, kar nakazuje tudi izvedena analiza premestitvene zmogljivosti. Tedaj preidejo dinamične sile tekočih voda iz intenzivnega poglabljanja dna struge v bočno erodiranje nezavarovanih brežin in posledično prihaja do odlaganja plavin iz brežin v odseku širjenja struge in nizvodno od njega. Tak naravni proces spiranja in erodiranja brežin s širjenjem struge vodi k prelaganju vodnih tokov, kar omogoča spiranje in odplavljanje mas drobirskega toka, ki so v tej fazi ureditve obeh vodotokov sicer bile v letu 2001 urejeno splanirane okoli osnovne struge. Stanje ureditve je potrebno po vsaki višji vodi pregledati in po potrebi izvesti manjša lokalna zavarovanja, ki dovolj daleč od osnovne struge preprečujejo, da bi vodni tok ušel predaleč od osnovne struge v raščeno brežino. Ko bo v drugi fazi ureditve strug obeh vodotokov povečan izkop osnovne struge, bo s tem upadla premestitvena zmogljivost, poglabljanje se bo zmanjšalo in povečano erodiranje brežin bo ustavljeno s predvidenimi globinskimi utrditvami (jet-grouting).

LITERATURA

- Mikoš, M., Metode vrednotenja srednjih pretočnih hitrosti vode v naravnih vodotokih. Gradbeni vestnik, letnik 38, št. 1/2, str. 16-23, 1989a.
- Mikoš, M., Metode vrednotenja zrnastostnih združb plavin v naravnih vodotokih. Gradbeni vestnik, letnik 38, št. 7/8, str. 158-165, 1989b.
- Mikoš, M., Navodila za uporabo programa ZPP : verzija 1999. Ljubljana: FGG, Katedra za splošno hidrotehniko, 18 str., 1999.
- Mikoš, M., Petkovšek, G., Navodila za program MPM : verzija 1999. Ljubljana: FGG, Katedra za splošno hidrotehniko, 14 str., 1999.
- Mikoš, M., Petkovšek, G., Šraj, M., Brilly, M., Analiza erozije tal na porečju Koritnice = Soil erosion analysis in the Koritnica River catchment. Ujma, št.16 (v tisku), 2002a.
- Mikoš, M., Vidmar, A., Šraj, M., Kobold, M., Sušnik, M., Uhan, J., Pezdič, J., Brilly, M., Hidrološke analize na plazu Stože pod Mangartom = Hydrologic analyses of the Stože landslide. Ujma, št.16 (v tisku), 2002b.
- Mikoš, M., Štravs, L., Petkovšek, G., Brilly, M., Prodna bilanca reke Koritnice – 2.Morfološke spremembe. Gradbeni vestnik, št.12 letnik 51 (v tisku), 2002.
- Ribičič, M., Značilnosti drobirskega toka Stože pod Mangartom = Debris flow at Log pod Mangartom. Ujma, št. 14/15, str. 102-108, 2001.
- VGI, Ureditev strug Predelice in Koritnice od Gorenjega Loga do Možnice – dopolnitev idejnega projekta C-1129/2. Vodnogospodarski inštitut družba za gospodarjenje z vodami, Ljubljana, 2001.

DOLOČITEV DEJAVNIKA EROZIVNOSTI PADAVIN IN ODTOKA R NA PODLAGI DNEVNIH PADAVIN NA POVODJU DRAGONJE

DETERMINATION OF RAINFALL AND RUNOFF EROSIVITY R - FACTOR BASED ON DAILY PRECIPITATION DATA FOR THE DRAGONJA CATCHMENT

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 551.311.2

GREGOR PETKOVŠEK, MATJAŽ MIKOŠ

P O V Z E T E K Erozivnost padavin in odtoka je najpomembnejši vzrok erozije tal. Erozivnost padavin in odtoka izražamo z dejavnikom R , ki ga določamo na podlagi podatkov o intenziteti padavin v kratkih časovnih intervalih. Ti so v Sloveniji na razpolago le na nekaterih lokacijah in v krajših (nekaj deset let) časovnih serijah. V prispevku podajamo možnost uporabe dnevnih padavinskih podatkov za določitev mesečne in letne erozivnosti padavin in odtoka. Za obravnavano območje smo z orodjem umetne inteligence za odkrivanje enačb GoldHorn ugotovili, da je parameter, ki najbolje opisuje erozivnost padavin, vsota kvadratov dnevnih padavin, ter da se razmerje med erozivnostjo padavin in omenjenim parametrom med letom spreminja in približno sledi srednji mesečni temperaturi.

S U M M A R Y Rainfall and runoff erosivity is the most important driving force of the soil erosion phenomenon. It can be expressed through the so-called R -factor. For its calculation, we need precipitation data with a high temporal resolution. These are typically available on only few locations and in short (a few decades) time series. In the paper, we present a possibility to calculate monthly and annual values of R -factor based on daily precipitation data. We used GoldHorn, an artificial intelligence tool for equation discovery. For the area under investigation, we discovered that the sum of squares of daily precipitation best describes the R -factor. Further, we discovered that the ratio between R -factor and the sum of squares of daily precipitation varies along a year and approximately follows the mean monthly temperature.

Avtorja:

Gregor Petkovšek, univ. dipl. inž. grad., UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2,

gpetkovs@fgg.uni-lj.si

izr. prof. dr. Matjaž Mikoš, univ. dipl. inž. grad., UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2,

mmikos@fgg.uni-lj.si

G. PETKOVŠEK, M. MIKOŠ: Določitev dejavnika erozivnosti padavin in odtoka R na podlagi dnevnih padavin na povodju Dragonje

1. UVOD

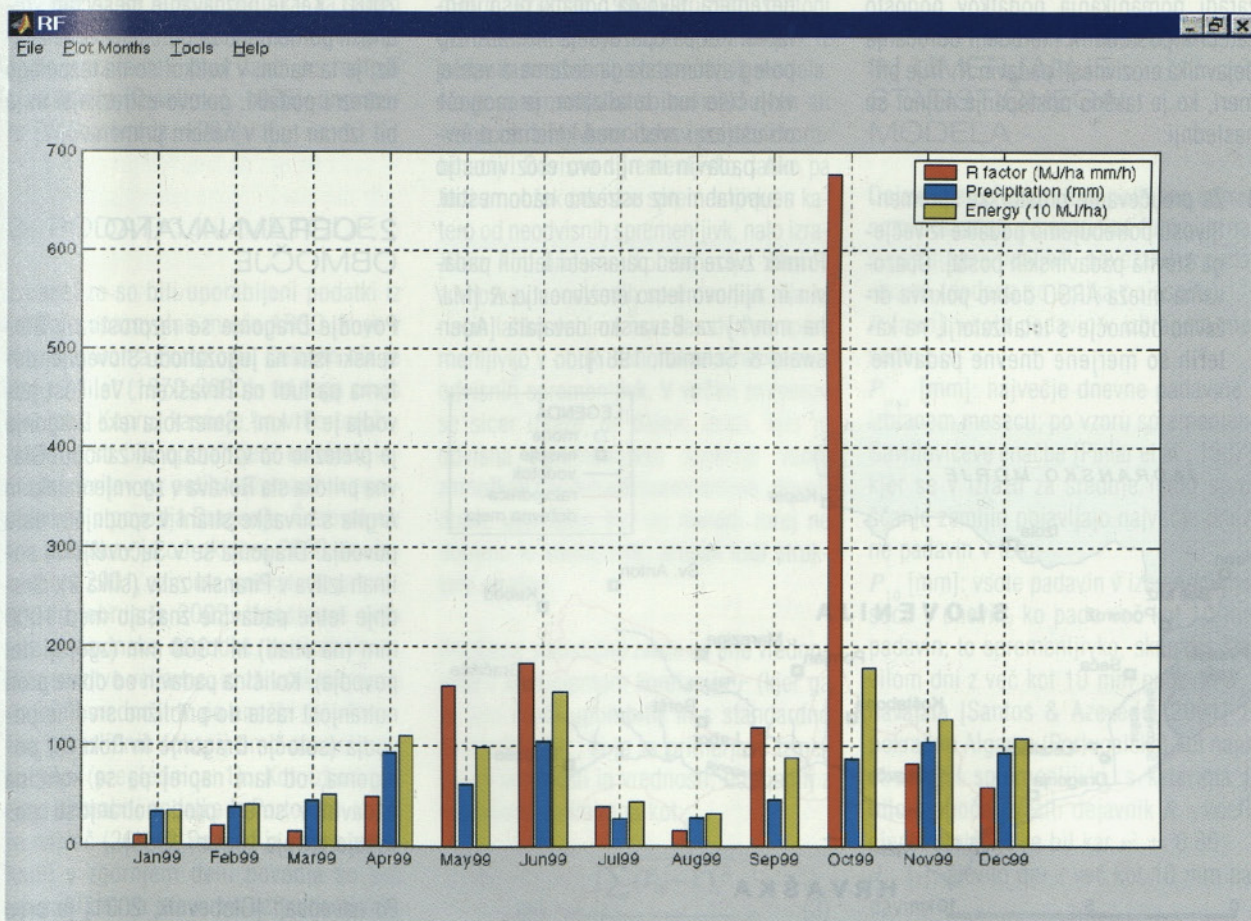
Erozija se v splošnem pojavlja kot posledica različnih eksogenih dejavnikov, na primer delovanja tekoče vode, vetra, temperaturnih nihanj in težnosti. Glede na vzrok nastanka poznamo več vrst erozije [Pintar & Mikoš 1983, Mikoš 1995]. V naših podnebnih razmerah sta najbolj prisotni plazna erozija in površinska vodna erozija, v hidroloških krogih kratko imenovana erozija tal, ki je rezultat erozijskega delovanja padavin in površinskega odtoka. Dinamiko in pregled metod za vrednotenje erozije tal podaja [Petkovšek, 2000].

Erozijo tal, ki je posledica naravnih dejavnikov ali pa človeških dejavnosti, kot so kmetijstvo, rudarstvo in gradbeništvo, moramo upoštevati pri načrtovanju posegov v prostor in urejanju povodij. Za preučevanje erozije tal in razvoj zaščitnih

ukrepov obstajajo v kmetijstvu, kjer erozija povzroča izgubo plodnih tal, tudi povsem gospodarske vzpodbude. Na področju gradbeništva je v povezavi z erozijo tal najbolj znano zaplavljanje akumulacij. Erodirane hribine, ki jih vodni tok odnaša v vodotoke in premešča po njihovih strugah, se kot rečni sedimenti kopičijo za jezovi, kjer je rečni tok upočasnjen in njegova zmožnost premeščanja sedimentov zmanjšana. Odloženi sedimenti zasedajo koristno prostornino akumulacije in s tem zmanjšujejo količino vode, ki je na voljo za proizvodnjo energije. V novejšem času se z dvigom okoljske zavesti pojavlja problem sedimentov kot polutanta. Čezmerno spiranje tal in s tem povezana čezmerna kalnost v času visokih voda povzroča zamuljevanje prodnatega oziroma peščenega dna vodotokov. S tem se zmanjšuje izmenjava površinskih in podzemnih voda v območju rečnih koridorjev in poslabšujejo

razmere v vodnih in obvodnih habitatih. Sedimenti so tudi prenašalci drugih polutantov, ki se premeščajo, vezani na površino zrn sedimentov. V Sloveniji je znan primer živega srebra, ki izvira iz okolice zdaj že zaprtega rudnika živega srebra v Idriji in se premešča po Soči. Ko se sedimenti, onesnaženi z živim srebrom, odložijo v Tržaškem zalivu, se živo srebro preko bentoških organizmov vključi v prehranjevalno verigo, in v ribah doseže vrednosti, ki bodo ob nadaljevanju zdajšnjih trendov kmalu postale zaskrbljujoče [Širca 1996, Žagar 1999, Horvat et al. 1998]. Prvi korak v reševanju omenjenih problemov je poznavanje in ovrednotenje procesov erozije tal.

Erozivnost padavin in odtoka ponazarja dejavnik R , ki je za izbrani dogodek definiran kot produkt energije padavin E in največje polurne intenzitete naliva I_{30} [Renard et al., 1997]:



Slika 1: Uporabniški vmesnik programa RF za določanje dejavnika R po [Renard et al., 1997].

G. PETKOVŠEK, M. MIKOŠ: Določitev dejavnika erozivnosti padavin in odtoka R na podlagi dnevni padavin na povodju Dragonje

$$R = E \cdot I_{30}, \quad (1)$$

Energija padavin posameznega dogodka E je funkcija porazdelitve intenzitete padavin za obravnavani dogodek. Izračun je podan v npr. [Renard et al., 1997]. Letna (mesečna, ipd) erozivnost padavin je vsota erozivnosti vseh dogodkov v enem letu (meseču, ipd.). Za določitev erozivnosti padavin po enačbi (1) potrebujemo podatke o padavinah z veliko časovno ločljivostjo, npr. 5 minut, kot so podatki iz avtomatskih dežemerov mreže Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO). Erozivnost padavin v poljubnem časovnem obdobju lahko določimo s pomočjo programa RF (slika 1), ki smo ga za ta namen razvili s pomočjo programskega paketa Matlab(R) [Petkovšek, 2002a].

Če pa želimo opraviti določene analize spremenljivosti erozivnosti padavin v izbranem območju in času, se moramo zaradi pomanjkanja podatkov pogosto zateči k posrednim metodam določanja dejavnika erozivnosti padavin R . Trije primeri, ko je takšno postopanje nujno, so naslednji:

1. Za preučevanje prostorske spremenljivosti potrebujemo podatke iz večjega števila padavinskih postaj. Opazovalna mreža ARSO dobro pokriva državno območje s totalizatorji, na katerih so merjene dnevne padavine.

Manj pa je podatkov o 5-minutnih intenzitetah padavin, ki so podlaga za izračun erozivnosti padavin. Tako deluje na oziroma v bližini povodja Dragonje le en avtomatski dežemer. Poleg tega je ta dvakrat spremenil svojo lokacijo; med leti 1970 in 1974 je bil postavljen v Koprno, nato je bil premeščen v Portorož na Beli Križ nad Piranom, leta 1992 pa na Letališče Portorož.

2. Podobno velja za napovedovanje časovnih trendov, ko potrebujemo dolg niz podatkov z iste lokacije. Prestavitelj dežemera na drugo lokacijo lahko povzroči navidezne trende, ki pa niso posledica resničnih časovnih sprememb, temveč razlik v padavinskem režimu med lokacijama.

3. Zaradi tehničnih napak pogosto pride do odpovedi delovanja avtomatskega dežemera, tako da podatki niso uporabni. Ker pa opazovalna mreža ARSO poleg avtomatskega dežemera vselej vključuje tudi totalizator, je mogoče ob ustrezni zvezi med količino dnevnih padavin in njihovo erozivnostjo neuporabni niz ustrezno nadomestiti.

Primer zveze med parametri letnih padavin in njihovo letno erozivnostjo R [MJ/ha mm/h] za Bavarsko navajata [Auerwald & Schmidt, 1987]:

$$R = -14.8 + 1.41 P_p, \quad (2a)$$

kjer je P_p [mm] količina padavin med majem in oktobrom. Podobno enačbo za povodje Rena podaja [Asselman, 1997]. [Lal & Elliot, 1994] v svojem pregledu metod za določanje erozivnosti padavin navajata, da je po [Fournier, 1956] možno dobiti linearno zvezo med dejavnikom R in naslednjim izrazom:

$$C = \frac{\sum P_i^2}{P}, \quad (2b)$$

kjer je P_i vsota padavin v i -tem mesecu, P pa letna vsota padavin. Za del povodja Rena [Sauerborn et al., 1999] navajajo, da je koeficient korelacije med R in C enak $r^2 = 0.64$.

Primer regresijske enačbe med izbranimi parametri mesečnih padavin in njihovo erozivnostjo za pokrajino Algarve (Portugalska) podajata [Santos & Azevedo, 2001]. Ker je poznavanje mesečnih vrednosti pomembno za določene vrste analiz, je ta način, v kolikor so na razpolago ustrezni podatki, gotovo ustrežnejši in je bil izbran tudi v našem primeru.

2. OBRAVNAVANO OBMOČJE

Povodje Dragonje se razprostira v Slovenski Istri na jugozahodu Slovenije, deloma pa tudi na Hrvaškem. Velikost povodja je 91 km². Smer toka reke Dragonje je pretežno od vzhoda proti zahodu. Glavna pritoka sta Rokava v zgornjem delu in Argila s hrvaške strani v spodnjem delu povodja. Dragonja se v Sečoveljskih solinah izliva v Piranski zaliv (slika 2). Srednje letne padavine znašajo med 1000 mm (na obali) in 1300 mm (zgornji del povodja). Količina padavin od obale proti notranjosti raste do približno sredine povodja (sotočje Dragonje in Rokave) polagoma, od tam naprej pa se količina padavin v smeri proti notranjosti povečuje hitreje [Ogrin, 1995].

Po navedbah [Globevnik, 2001] je prvo raziskavo sproščanja in odplavljanja zem-



Slika 2: Povodje Dragonje (slovenski del).

G. PETKOVŠEK, M. MIKOŠ: Določitev dejavnika erozivnosti padavin in odtoka R na podlagi dnevnih padavin na povodju Dragonje

Ijlin na obravnavanem območju opravil [PUH, 1971], ki je izdelal karto erozijskih procesov za povodje Dragonje. Uporabljena je bila metoda Gavrilovića [Gavrilović, 1970]. Ugotovili so, da so bili površinski erozijski procesi razviti na celotnem povodju Dragonje, zlasti pa v njegovem zgornjem delu. V drugi polovici sedemdesetih in v osemdesetih letih prejšnjega stoletja so se na povodju izvajala protierozijska stabilizacijska dela in pogozdovanje s črnim borom, kar je znatno zmanjšalo površinske procese erozije, kar ugotavljata [Globevnik & Sovinc, 1998]. [Globevnik, 2001] obravnava sproščanje in odplavljanje zemljin za stanje leta 1995. Uporabljena je bila ista metodologija kot pri [PUH, 1971]. Avtorica ugotavlja, da je bilo sproščanje v povodju Dragonje leta 1971 približno enako povprečnemu specifičnemu sproščanju hribin v hudourniških območjih, ki po [Mikoš, 1995] znaša $500 \text{ m}^3/\text{km}^2 \text{ leto}$. Po 25 letih pa se je zmanjšalo kar za skoraj 60%. Za hrvaški del povodja Dragonje je karto erozije tal, prav tako po metodi Gavrilovića [Gavrilović, 1970], pripravila [Vodoprivreda, 1987].

3. PODATKI IN METODE

Za analizo so bili uporabljeni podatki iz postaje opazovalne mreže ARSO, ki je v Kopru oziroma Portorožu. Celoten niz je dolg 31 let (1970–2000), od tega prvih pet let v Kopru, kasneje pa v Portorožu. Nadalje so bili uporabljeni rezultati lastnih meritev na petih dežemerih v zgornjem delu povodja Dragonje. Časovni niz teh podatkov je od oktobra 2000 do decembra 2001, oziroma v nekaterih primerih do februarja 2002. Upoštevali smo vse padavinske dogodke, pri katerih so bile meritve veljavne, in za vsak dogodek določili vrednost R po enačbi (1). Podatke iz različnih lokacij smo obravnavali ločeno (preglednica 1). Kot izhodišče smo uporabili podatke iz Portoroža, ki jih je največ (26 let). Podatki iz Kopa in lokacij v zgornjem delu povodja so bili uporabljeni za preverbo veljavnosti statističnega modela, dobljenega s podatki

| faza | niz | število lokacij | dolžina niza |
|-------------|--------------------|-----------------|--------------|
| umerjanje | Portorož 1975-2000 | 1 | 26 let |
| preverjanje | Koper 1970-1974 | 1 | 5 let |
| | povodje 2000/01 | 5 | 15 mesecev |

Preglednica 1: Shema izbora nizov za umerjanje in preverjanje statističnega modela.

iz Portoroža. Podatki iz Kopa so primereni kot neodvisen relativno dolg testni niz. S podatki iz zgornjega dela povodja, ki zajemajo različne lokacije, pa je bilo mogoče ugotoviti, ali je zveza neodvisna od lokacije in potemtakem uporabna za celotno območje.

Od statističnih metod smo uporabili linearno regresijo, linearno regresijo z več spremenljivkami in orodje umetne inteligence za odkrivanje enačb (program GoldHorn, [Križman, 1994]). Pri zadnji metodi gre za sestavljanje novih spremenljivk iz podanih neodvisnih spremenljivk modela. Nove spremenljivke so zmnožki dveh ali več spremenljivk modela v poljubni kombinaciji. Odvisno spremenljivko, lahko pa tudi zmnožek odvisne spremenljivke s katero od neodvisnih spremenljivk, nato izrazimo kot linearno kombinacijo členov zmnožkov neodvisnih spremenljivk. Na ta način lahko dobimo izraz za odvisno spremenljivko v obliki racionalne funkcije neodvisnih spremenljivk. V večini primerov se sicer izkaže, da dajejo izrazi, kjer je odvisna spremenljivka funkcija vsote zmnožkov neodvisnih spremenljivk, dovolj dobro ujemanje. Pri tej metodi torej ne dobimo le koeficiente, ampak tudi strukturo enačbe.

Dobljene statistične zveze so bile vrednotene s koeficientom korelacije r (kjer ga je bilo moč uporabiti) in s standardno deviacijo SD_m , ki je za primerjave izmerjenih vrednosti in vrednosti, dobljenih z modelom, definirana kot:

$$SD_m = \sqrt{\frac{\sum_i (Y_m - Y)_i^2}{ps}}, \quad (3)$$

kjer je Y izmerjena vrednost odvisne spremenljivke, Y_m pa napoved statističnega modela. ps je število prostostnih stopenj, ki je razlika med številom podatkov n in številom parametrov statističnega modela p :

$$ps = n - p, \quad (4)$$

4. REZULTATI

4.1 STRUKTURIRANJE IN UMERJANJE STATISTIČNEGA MODELA

Dejavnik erozivnosti R za poljuben mesec smo poskušali poiskati kot funkcijo naslednjih spremenljivk, povezanih s padavinami (dodana so kratka pojasnila):

P [mm]: vsota padavin v izbranem mesecu;

P_{max} [mm]: največje dnevne padavine v izbranem mesecu; po vzoru spremenjene Gavrilovićeve enačbe [Pintar et al., 1987], kjer se v izrazu za srednje letno sproščanje zemljin pojavljajo največje dnevne padavine v letu;

P_{10} [mm]: vsote padavin v izbranem mesecu v dnevih, ko pade več kot 10 mm padavin; to spremenljivko, skupaj s številom dni z več kot 10 mm padavin d_{10} , navajata [Santos & Azevedo, 2001] za pokrajino Algarve (Portugalska) kot najustreznejši spremenljivki, s katerima je bilo mogoče izraziti dejavnik R - koeficient korelacije je bil kar $r^2 = 0.89$;

d_{10} [-]: število dni z več kot 10 mm padavin;

ΣP^2 [mm²]: vsota kvadratov dnevnih pa-

davin za izbrani mesec; podoben izraz nastopa v izrazu za indeks porazdelitve padavin PCI, poleg tega pa je ob predpostavki, da sta tako največja polurna intenziteta padavin I_{30} kot tudi energija padavin E premo sorazmerna količini padavin, je dejavnik R premo sorazmeren kvadratu količine padavin.

Rezultati linearne regresije ene ali več spremenljivk za izbrani niz podatkov (Portorož, 26 let po 12 mesecev, $n = 312$) so podani v preglednici 2.

Iz preglednice vidimo, da je vsota kvadratov dnevnih padavin ΣP^2 spremenljivka, ki najbolje napoveduje erozivnost pada-

vin za izbrani mesec. Regresija s spremenljivkama P_{10} in d_{10} je dala precej slabše rezultate kot v pokrajini Algarve, kar je bržkone posledica drugačnih podnebnih značilnosti (atlantsko podnebje v primerjavi s submediteranskim v Slovenski Istri). Regresija z vsemi spremenljivkami ne da dosti boljših rezultatov kot samo s ΣP^2 .

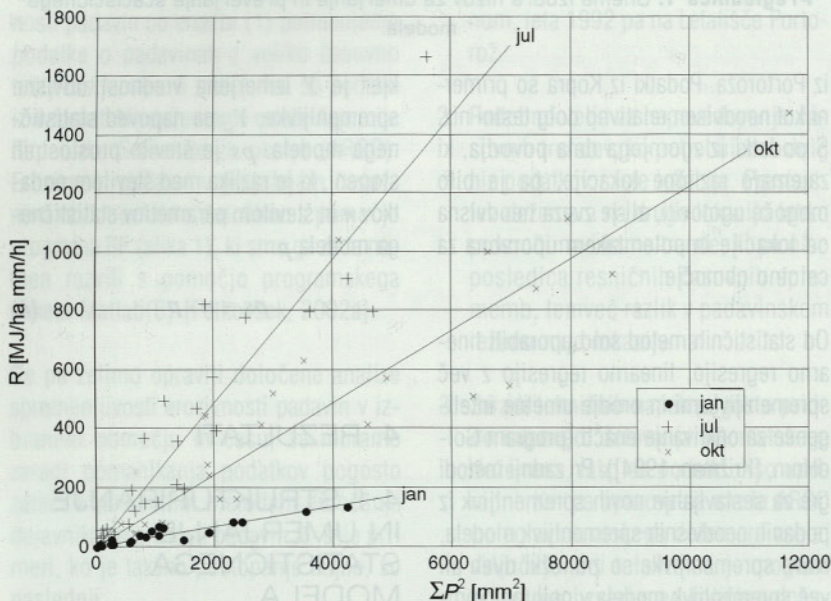
Vrednost koeficienta korelacije med R in ΣP^2 je v primerjavi s koeficienti, ki so navedeni v komentarju enačbe (2b) kar visoka, zlasti ker gre za napoved mesečnih in ne le letnih vrednosti. Vendar je treba upoštevati, da smo v našem primeru analizirali le podatke z ene postaje oziroma majhno območje. Zato smo želeli izboljšati napoved z uporabo drugih, nepadavinskih podatkov, ki so bili na voljo. Tako je iz slike 3 razvidno, da se razmerje med R in ΣP^2 spreminja po letnih obdobjih, in sicer je največje poleti, najmanjše pa pozimi. To je razumljivo, saj so poletni nalivi krajši, a intenzivnejši, medtem ko so pozimi padavine bolj enakomerno porazdeljene skozi daljši čas. Opisa sezonskega spreminjanja smo se lotili na dva načina. Pri prvem načinu smo dopolnili niz neodvisnih spremenljivk tako, da smo dodali še srednjo mesečno temperaturo T [°C]. Pri drugem načinu pa smo iskali zvezo za vsak mesec posebej, pri čemer smo uporabili znanje, ki smo ga pridobili pri analizi prvega načina.

Pri prvem načinu smo s programom Gold-Horn kot najboljše dobili naslednje zveze med R in neodvisnimi spremenljivkami:

št. členov:1
 $R = 16 + 0.0085 T \cdot \Sigma P^2$,
 $r^2 = 0.863, SD = 151.1,$ (5a)

št. členov:2
 $R = -11 + 0.0104 T \cdot \Sigma P^2 - 0.00000206 \cdot \Sigma P^2 \cdot \Sigma P^2$,
 $r^2 = 0.877, SD = 143.8,$ (5b)

št. členov:3
 $R = 17 - 0.60 P + 0.0112 T \cdot \Sigma P^2 - 0.00000206 \cdot \Sigma P^2 \cdot \Sigma P^2$,



Slika 3: Dejavnik erozivnosti padavin R kot funkcija vsote kvadratov dnevnih padavin ΣP^2 za izbrane tri mesece z regresijskimi premicami.

| spremenljivke | r^2 | SD_m | $SD_m \cdot R_0$ |
|--|-------|--------|------------------|
| P | 0.40 | 309 | 0.100 |
| P_{max} | 0.60 | 254 | 0.082 |
| P_{10} | 0.46 | 294 | 0.095 |
| P_{10}, d_{10} | 0.64 | 239 | 0.077 |
| $P, P_{max}, P_{10}, d_{10}$ | 0.67 | 230 | 0.075 |
| ΣP^2 | 0.71 | 218 | 0.071 |
| $\Sigma P^2, P, P_{max}, P_{10}, d_{10}$ | 0.72 | 212 | 0.069 |

Preglednica 2: Rezultati linearne regresije ene ali več spremenljivk za izbrani niz podatkov (Portorož, 26 let po 12 mesecev, $n = 312$).
 R_0 je srednja letna erozivnost padavin.

G. PETKOVŠEK, M. MIKOŠ: Določitev dejavnika erozivnosti padavin in odtoka R na podlagi dnevni padavin na povodju Dragonje

$$r^2 = 0.881, SD = 142.3, \quad (5c)$$

V skladu s pričakovanji te enačbe kažejo sezonsko spreminjanje R , izraženo s temperaturo. Vidimo, da enačba z enim členom že dovolj dobro napoveduje vrednost R in da z večanjem števila členov dosežemo komaj kaj boljše ujemanje ob zmanjšani preglednosti enačbe. Ker gre za empirično zvezo, privzamemo kot najustreznejšo najenostavnejšo enačbo (5a). Nadalje lahko upoštevamo, da pozitiven prosti člen nima načelne podlage, saj je $R = 0$ pri $\Sigma P^2 = 0$ oziroma kvečjemu pri $\Sigma P^2 > 0$. Z regresijo skozi izhodišče (brez prostega člena) odpravimo to neskladje, pri čemer je izguba natančnosti napovedi zanemarljiva:

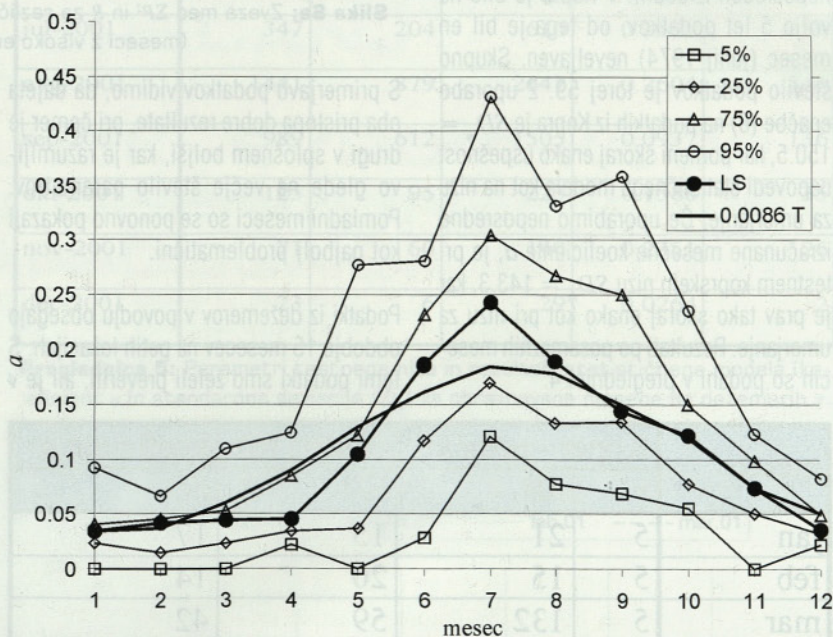
$$R = 0.0086 T \cdot \Sigma P^2, SD = 151.2, \quad (6)$$

Ker je predstavlja enačba (6) linearen odnos med odvisno in neodvisno spremenljivko, je r^2 enak kot pri enačbi (5a). Poudarimo, da dobro ujemanje v obeh primerih ni posledica ujemanja srednjih mesečnih temperatur in sezonskega spreminjanja erozivnosti padavin R , saj je med njima korelacija slaba ($r^2 = 0.17$). Iz dejstva, da v omenjenih enačbah ne nastopa člen s samo temperaturo T ali samo z vsoto kvadratov dnevni padavin ΣP^2 , lahko sklepamo, da podatki kažejo na to, da je tako pri $\Sigma P^2 = 0$ kot pri $T [^{\circ}\text{C}] = 0$ erozivnost padavin $R = 0$, ne glede na vrednost druge neodvisne spremenljivke.

S srednjo mesečno temperaturo torej lahko zadovoljivo opišemo mesečno spreminjanje razmerja med R in ΣP^2 . Pri drugem pristopu pa smo to razmerje (ki smo ga poimenovali koeficient a) za vsak mesec izračunali na podlagi podatkov za izbrani mesec ob uporabi metode najmanjših kvadratov (neposreden izračun). Primerjava med obema pristopoma je po mesecih podana v preglednici 3 in na sliki 4. V preglednici 3 je podan tudi z razpon (največja vrednost) erozivnosti padavin, na sliki tri pa porazdelitev koeficienta a (vrednost pri verjetnosti 5, 25, 75 in 95 %).

| mesec | niz za umerjanje | | | prvi pristop $R = 0.0086 \cdot T \cdot \Sigma P^2$ | | drugi pristop $R = a \cdot \Sigma P^2$ | |
|--------|------------------|--------------------|--------------------|---|------------------|---|-------|
| | povp. R_0 | st. dev. SD_0 | maks. R_{max} | SD_m | $0.0086 \cdot T$ | SD_m | a |
| | | | | | | | |
| jan | 34 | 38 | 133 | 12 | 0.034 | 12 | 0.034 |
| feb | 29 | 35 | 116 | 15 | 0.037 | 13 | 0.042 |
| mar | 69 | 71 | 241 | 48 | 0.060 | 42 | 0.044 |
| apr | 74 | 66 | 302 | 85 | 0.089 | 41 | 0.046 |
| maj | 178 | 211 | 860 | 152 | 0.130 | 145 | 0.104 |
| jun | 358 | 356 | 1354 | 194 | 0.162 | 167 | 0.186 |
| jul | 375 | 394 | 1661 | 212 | 0.183 | 148 | 0.243 |
| avg | 523 | 450 | 1752 | 243 | 0.178 | 234 | 0.189 |
| sep | 712 | 752 | 3237 | 275 | 0.150 | 273 | 0.145 |
| okt | 451 | 404 | 1469 | 173 | 0.120 | 168 | 0.122 |
| nov | 210 | 237 | 1111 | 116 | 0.074 | 116 | 0.074 |
| dec | 71 | 75 | 311 | 34 | 0.050 | 18 | 0.036 |
| povpr. | 257 | 257 | 1046 | 151 | - | 141 | - |

Preglednica 3: Statistični parametri erozivnosti padavin R in obeh izračunov $R = R(T, \Sigma P^2)$ po mesecih.



Slika 4: Spreminjanje koeficienta a in produkta $0.0086 T$ po mesecih. Za koeficient a so podane vrednosti, dobljene na umeritvenem nizu po metodi najmanjših kvadratov (LS) in pri različnih vrednostih porazdelitvene funkcije ($N = 26$ let).

Neposreden izračun (drugi pristop) daje, kar je razumljivo, nekoliko boljše rezultate. Razlika je opazna zlasti v pomladanskih mesecih (marec, april), kjer so razlike med neposredno izračunano vrednostjo koeficienta a in zmnožka $0.0086 T$ največje (preglednica 3). Te napovedi so obenem tudi najmanj zanesljive, kar kaže visoka vrednost standardne deviacije

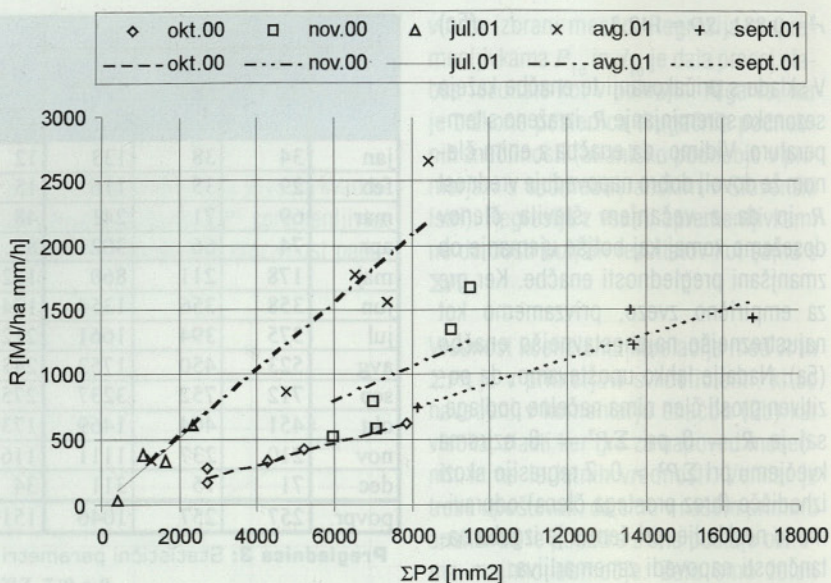
SD_m napovedi statističnega modela (oba pristopa) v primerjavi s povprečno vrednostjo R_0 in standardno deviacijo SD_0 umeritvenega niza. To si razlagamo z dejstvom, da so spomladanske padavine lahko v obliki enakomernega deževja (zimski tip padavin) ali pa nalivov (poletni tip), zaradi česar vrednost koeficienta a med posameznimi dogodki precej niha.

Drugo večje odstopanje med pristopoma se pojavi julija. Slika 4 kaže, da lahko vrednosti koeficienta a v istem mesecu med posameznimi leti zelo nihajo.

4.2 PREVERJANJE STATISTIČNEGA MODELA

Rezultate regresije smo preverili na podatkih z lokacije Koper in dežemerov na zgornjem delu povodja.

Podatke iz Kopa uporabimo kot neodvisen testni niz, s katerim preverimo uspešnost napovedi modela, dobljenega s podatki iz niza za umerjanje (enačba 6 in neposreden izračun). V Kopru je bilo na voljo 5 let podatkov, od tega je bil en mesec (junij 1974) neveljaven. Skupno število podatkov je torej 59. Z uporabo enačbe (6) na podatkih iz Kopa je $SD_m = 150.5$, kar pomeni skoraj enako uspešnost napovedi statističnega modela kot na nizu za umerjanje. Če uporabimo neposredno izračunane mesečne koeficiente a , je pri testnem koprskem nizu $SD_m = 143.3$, kar je prav tako skoraj enako kot pri nizu za umerjanje. Rezultati po posameznih mesecih so podani v preglednici 4.



Slika 6a: Zveza med ΣP^2 in R za različne lokacije v povodju in različne mesece (mesece z visoko erozivnostjo padavin).

S primerjavo podatkov vidimo, da dajeta oba pristopa dobre rezultate, pri čemer je drugi v splošnem boljši, kar je razumljivo glede na večje število parametrov. Pomladni meseci so se ponovno pokazali kot najbolj problematični.

Podatki iz dežemerov v povodju obsegajo obdobje 15 mesecev na petih lokacijah. S temi podatki smo želeli preveriti, ali je v

istem letnem obdobju (meseču) razmerje med R in ΣP^2 na vseh lokacijah enako, oziroma kakšna so odstopanja. Rezultati so podani v preglednici 5.

Koeficient a ponekod precej odstopa od dolgoletnih povprečij, dobljenih na umeritvenem nizu, vendar je večinoma v dobljenih mejah (preglednica 5, slika 4). Vrednosti standardne deviacije SD_m po posameznih mesecih so v primerjavi z nizom za umerjanje (preglednica 3) in standardno deviacijo vzorca SD_0 , povsem zadovoljivi. To pomeni, da je zveza med R in ΣP^2 neodvisna od lokacije, da torej v posameznem mesecu (oziroma temperaturnih razmerah) pari $(R, \Sigma P^2)$ iz različnih lokacij ležijo na isti premici (sliki 6a in 6b).

4.3 OPTIMALNA DOLŽINA NIZA ZA DOLŽITEV POVPREČNE LETNE EROZIVNOSTI PADAVIN

Na koncu smo poskušali ugotoviti še optimalno dolžino niza, katerega povprečje daje ob uporabi dobljene statistične zveze dovolj dobre rezultate za povprečno letno erozivnost padavin. Slika 5

| mesec | Koper - podatki | | enačba (6) | koeficient a |
|-------|-----------------|------|------------|----------------|
| | n | SD | SD | SD |
| jan | 5 | 21 | 15 | 17 |
| feb | 5 | 15 | 20 | 14 |
| mar | 5 | 132 | 59 | 42 |
| apr | 5 | 73 | 98 | 30 |
| maj | 5 | 69 | 58 | 15 |
| jun | 4 | 293 | 66 | 99 |
| jul | 5 | 213 | 139 | 131 |
| avg | 5 | 812 | 318 | 326 |
| sep | 5 | 709 | 419 | 389 |
| okt | 5 | 260 | 70 | 75 |
| nov | 5 | 59 | 71 | 56 |
| dec | 5 | 15 | 27 | 24 |

Preglednica 4: Uspešnost napovedi obeh pristopov, z enačbo (6) in koeficientom a , na testnem nizu (Koper).

G. PETKOVŠEK, M. MIKOŠ: Določitev dejavnika erozivnosti padavin in odtoka R na podlagi dnevni padavin na povodju Dragonje

prikazuje delež standardne deviacije SD_m v primerjavi s povprečno vrednostjo R_0 med umeritvenim nizom in napovedjo za različne dolžine niza.

Iz rezultatov je razvidno, da lahko pri 10-letnem nizu že računamo z dokaj zanesljivo napovedjo, saj SD_m ne presega 5 odstotkov povprečja. Pri napovedih za posamezno leto je ta vrednost 15 odstotkov, nato pa strmo narašča in znaša pri napovedi za posamezen mesec 56 odstotkov.

5. SKLEP

Za določanje erozivnosti padavin in odtoka R potrebujemo podatke o intenziteti padavin v kratkih časovnih intervalih. Pogosto ti niso na razpolago, imamo pa na voljo podatke o dnevni padavinah. V raziskavi smo preučevali možnost uporabe dnevni padavinskih podatkov za določitev mesečne erozivnosti padavin. Ugotovili smo naslednje:

- parameter, ki najbolje opisuje erozivnost padavin, je vsota kvadratov dnevni padavin
- razmerje med erozivnostjo padavin in vsoto kvadratov dnevni padavin se med letom spreminja in približno sledi srednji mesečni temperaturi

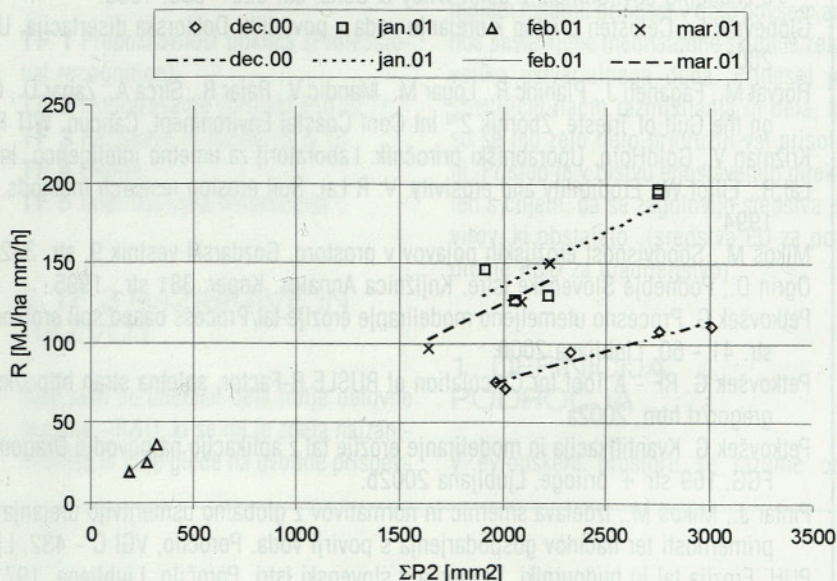
Ti dejstvi smo potrdili na dveh testni nizih, s katerima smo enačbo časovno in prostorsko preverili.

Ugotovili smo, da dobimo pri dolžini niza 10 let za dejavnik R le 5% razliko med letnim povprečjem napovedi statističnega modela in letnim povprečjem izračunov na podlagi meritev. To je zadovoljivo, saj npr. [Renard et al, 1997] za izračun povprečne letne erozivnosti zaradi velike spremenljivosti dejavnika R med leti priporočajo nize dolžine 20 let.

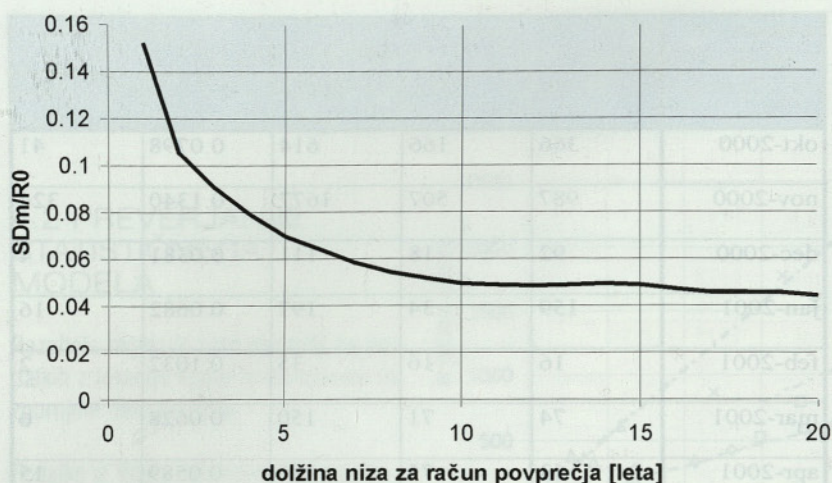
Uporabnost enačbe za določanje erozivnosti padavin in odtoka na podlagi podatkov o dnevni padavinah se je že potrdila v nadaljnjih raziskavah erozije tal v povodju Dragonje, kjer smo ugotavljali

| mesec | testni niz | | | model | |
|----------|------------|--------|-----------|--------|--------|
| | R_0 | SD_0 | R_{max} | a | SD_m |
| okt-2000 | 366 | 166 | 614 | 0.0798 | 41 |
| nov-2000 | 987 | 507 | 1677 | 0.1340 | 324 |
| dec-2000 | 92 | 18 | 111 | 0.0381 | 4 |
| jan-2001 | 159 | 34 | 197 | 0.0682 | 16 |
| feb-2001 | 16 | 16 | 35 | 0.1032 | 2 |
| mar-2001 | 74 | 71 | 150 | 0.0628 | 6 |
| apr-2001 | 63 | 75 | 186 | 0.0589 | 15 |
| maj-2001 | 196 | 121 | 350 | 0.2157 | 16 |
| jun-2001 | 35 | 21 | 51 | 0.0589 | 6 |
| jul-2001 | 347 | 204 | 610 | 0.2530 | 78 |
| avg-2001 | 1441 | 879 | 2647 | 0.2604 | 345 |
| sep-2001 | 989 | 612 | 1505 | 0.0937 | 136 |
| okt-2001 | 125 | 95 | 223 | 0.1588 | 35 |
| nov-2001 | 71 | 60 | 140 | 0.2351 | 26 |
| dec-2001 | 23 | 6 | 29 | 0.0264 | 2 |

Preglednica 5: Parametri testnega niza in rezultati statističnega modela (koeficient a in standardna deviacija SD_m) za obravnavane mesece na dežemerih v povodju.



Slika 6b: Zveza med ΣP^2 in R za različne lokacije in različne mesece (mesece z nizko erozivnostjo padavin).



Slika 5: Razmerje med standardno deviacijo SD_m in povprečjem dejavnika erozivnosti padavin R_0 kot funkcija dolžine niza, znotraj katerega povprečujemo letne vrednosti.

časovne trende in prostorsko razporeditev erozivnosti padavin in odtoka [Petkovšek, 2002b].

ZAHVALA

Zahvaljujemo se Agenciji Republike Slovenije za okolje, ki nam je posredovala podatke o petminutnih in dnevnih padavinah na obravnavanem območju (umeritveni niz in prvi testni niz). Meritve padavin v zgornjem delu povodja Dragonje (drugi testni niz) pa smo opravili v sodelovanju s Vrije Universiteit iz Amsterdama. Prispevek je nastal v okviru doktorskega študija prvega avtorja, ki ga je finančno podpiralo Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport RS.

LITERATURA

- Asselman N.E.M., Suspended sediment in the Rhine. The impact of climate change on erosion, transport and deposition. Netherlands Geographical Studies 234, 1997.
- Auerswald K., Schmidt F., Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern. Bayerisches Geologisches Landesamt, 72 str., 1986.
- Fournier F., The effect of climatic factors on soil erosion: Estimates of solids transported in suspension and runoff. Assoc. Int. Hydrol. Publ. 38(6), 1956.
- Gavrilović S., Savremeni načini proračunavanja bujičnih nanosa i izrada karata erozije. Posvet Erozijski tokovi i rečni nanos. Institut Jaroslav Černi, Beograd, str. 85 - 100, 1970.
- Globevnik L., Sovinc A., The impact of catchment land use change on river flows: the Dragonja river, Slovenia. Hydrology in a changing environment I. John Wiley & Sons, str. 525 - 533, 1998.
- Globevnik L., Celosten pristop k urejanju voda v povodjih. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, 167 str. + priloge, 2001.
- Horvat M., Faganeli J., Planinc R., Logar M., Mandić V., Rajar R., Širca A., Žagar D., Covelli S., The impact of mercury mining on the Gulf of Trieste. Zbornik 2nd Int Conf Coastal Environment, Cancun. WIT Press, str. 11 - 20, 1998.
- Križman V., GoldHorn. Uporabniški priročnik. Laboratorij za umetno inteligenco, Inštitut Jožef Stefan, 19 str., 1994.
- Lal R., Elliot W., Erodibility and erosivity. V: R Lal, Soil erosion research methods, str. 181 - 208. St. Lucy Press, Florida, 1994.
- Mikoš M., Soodvisnost erozijskih pojavov v prostoru. Gozdarski vestnik 9, str. 342 - 351, 1995.
- Ogrin D., Podnebje Slovenske Istre. Knjižnica Annales, Koper, 381 str., 1995.
- Petkovšek G. Procesno utemeljeno modeliranje erozije tal/Process based soil erosion modelling. Acta hydrotechnica 18(28), str. 41 - 60, Ljubljana 2000.
- Petkovšek G. RF - A Tool for Calculation of RUSLE R-Factor, spletna stran http://ksh.fgg.uni-lj.si/KSH_ANG/introduction/regor/rf.htm, 2002a.
- Petkovšek G. Kvantifikacija in modeliranje erozije tal z aplikacijo na povodju Dragonje. Doktorska disertacija, oddano senatu FGG, 169 str + priloge, Ljubljana 2002b.
- Pintar J., Mikoš M., Izdelava smernic in normativov z globalno usmeritvijo urejanja po ekosistemih, pojavnostih in ekološki primernosti ter načinov gospodarjenja s površini voda. Poročilo, VGI C - 432, Ljubljana, 133 str., 1983.
- PUH. Erozijski tal in hudourniki, Dragonja v slovenski Istri. Poročilo. Ljubljana, 1971.

- Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., Yoder D.C., Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised universal soil loss equation (RUSLE). USDA, Agricultural Handbook No 703, 404 str., 1997.
- Santos Loureiro N., Azevedo Coutinho M., A new procedure to estimate the RUSLE E130 index, based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region, Portugal. Journal of Hydrology 250, str. 12 - 18, 2001.
- Sauerborn P., Klein A., Botschek J., Skowronek A., Future rainfall erosivity derived from large-scale climate models - methods and scenarios for a humid region. Geoderma 93, str. 269 - 276, 1999.
- Širca A., Modeliranje hidrodinamike in transporta živosrebrovih spojin v Tržaškem zalivu. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, FGG, 164 str., 1996.
- Vodoprivreda, Karta erozije i katastar vodnih pojava reke Dragonje za dio sliva u SR Hrvatskoj. Poročilo, B -178. Rijeka, 1987.
- Žagar D., Razvoj in aplikacija tridimenzionalnega modela za simulacijo transporta in procesov pretvorb živega srebra v morskem okolju. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, FGG, 101 str., 1999.

POROČILA Z DRUŠTVENIH SREČANJ

35. SESTANEK EVROPSKEGA SVETA GRADBENIH INŽENIRJEV (EUROPEAN COUNCIL OF CIVIL ENGINEERS - ECCE)

1. SPLOŠNO

Svet gradbenih inženirjev Evrope se je sestel v Helsinkih, Finska 7. in 8. junija 2002 na svojem 35. sestanku. Prisostvovalo 43 predstavnikov iz 17 držav od sicer dvajsetih, kolikor je danes članic. Dnevni red sestanka je bil zelo zapolnjen, saj se je poleg obveznih tem, v katerih se je obravnavala tekoča finančna politika Sveta in članstva v Svetu, delalo tudi v posebnih delovnih skupinah. Na posebni plenarni seji se je nato pregledalo stanje po posameznih temah in sprejelo zaključke ter usmeritve za delo do naslednjega sestanka, ki bo 13. in 14. septembra 2002 v Atenah (GR).

Delovne teme oziroma skupine (task forces):

- TF 1 Prepoznavnost poklica (Professional recognition),
- TF 2 Izobraževanje (projekt EUCEET),
- TF 3 Raziskave in razvoj (R & D),
- TF 4 Okolje,
- TF 5 Informacijska tehnologija .

2. TF 3 RAZISKAVE IN RAZVOJ

Sam sem se udeležil dela tretje delovne skupine - R&D, ki se mi je zdela najzanimivejša in ki je glede na uvodne prispev-

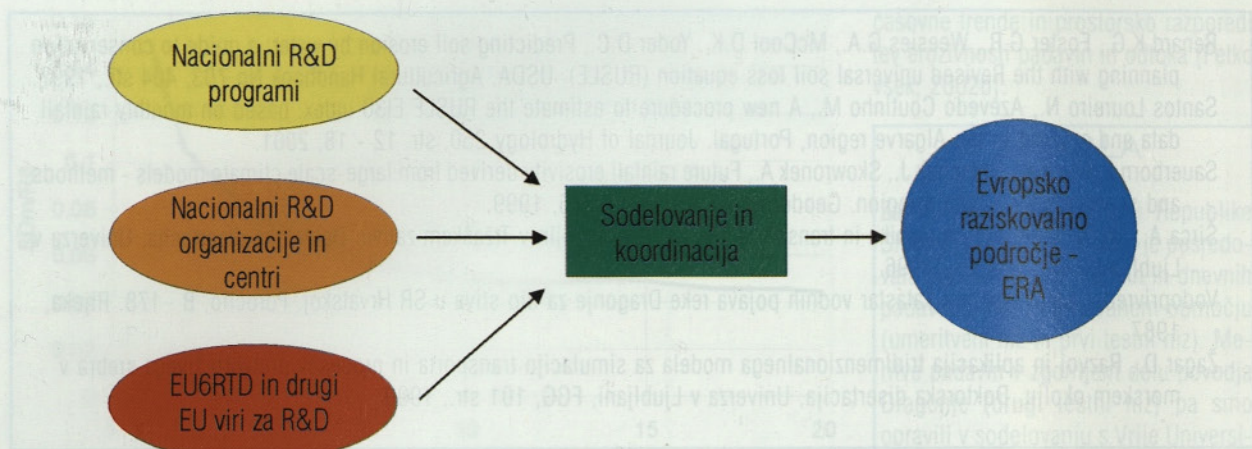
ke finskih kolegov tudi največ obetala. Skupino vodi Olavi Tupamaki, ki je po mojem mnenju prinesel v delo povsem ad hoc sestavljene mednarodne skupine zelo veliko ustvarjalnega duha. Prinesel je specifični način razmišljanja in dela, ki so se mu zelo hitro pridružili vsi prisotni. Pristop je v bistvu enostaven in direkten s ciljem, da se zagotovijo sredstva iz virov, ki obstajajo (sredstva EU za področje R&D za graditeljstvo).

1. DEFINICIJA PODROČJA

V evropskem prostoru se razume ob

Avtor:

doc.dr. Branko Zadnik, IBE d.d., Ljubljana



Slika 1: Angažiranje sredstev za R & D aktivnosti

izrazu »construction – graditev, gradnja« niz aktivnosti, od razvojnih dejavnosti, projektiranja, gradnje in tudi rušitve stavbe. Za primernejši opis področja raziskovalno – razvojne dejavnosti v graditeljstvu je ta definicija preozka. Danes se čedalje bolj vpeljuje (tudi na finsko iniciativo) nov izraz, ki naj bi celoviteje predstavil širino in obseg vseh aktivnosti, ki se navezujejo na graditev, in sicer »Construction and Real Estate Cluster - CREC«, pri čemer »Real Estate« ne pomeni le lastništva nepremičnin, kot so parcele ali stavbe, temveč se pojem uporablja razširjeno tudi za vse inženirske konstrukcije oziroma na vse aktivnosti, ki so kakorkoli povezane z graditvijo. CREC zajema vse **aktivnosti celotnega življenjskega ciklusa objekta**, kar pomeni, da vključuje vse aktivnosti, ki se izvajajo v življenjski dobi objekta, od vzdrževanja, obratovanja, popravil in obnove. Obseg aktivnosti, oziroma razliko med »Construction« in »CREC« so Finci popisali s statističnimi podatki za leto 2000, kjer predstavlja na finskem »construction« 10 % BNP, CREC pa seveda veliko širši prostor, po tej oceni ca. 30 % istega BNP. Analogno ocenjujejo na nivoju EU za construction 11 % od BNP EU in CREC tudi okoli 30 % BNP EU. Ta izhodišča so seveda pomembna za pridobivanje proporcionalno primernih sredstev za R&D aktivnosti iz ciljnih proračunov. Takšen način razmišljanja in takšen pristop lahko seveda inicira le stroka in ne politika ali birokracija, ki

običajno ne poznata vsebine in nimata prvobitnega interesa za obravnavo. Na ta način so Finci uspeli strateško obvladati sceno doma in zagotoviti stroki mesto, ki ji gre. Analogno predlagajo organizacijo aktivnosti na nivoju ECCE s ciljem, da bi stroka na nivoju EU v Bruslju poskusila zagotoviti večji delež za (so)financiranje R&D projektov. Pri vsem tem gre za obvladovanje prostora na nivoju skupnega proračuna za dejavnost in se ne spuščajo na nivo delitve sredstev za posamezne projekte, kar bo treba storiti kasneje.

2. EVROPSKO RAZISKOVALNO PODROČJE (EUROPEAN RESEARCH AREA – ERA)

Na evropskem nivoju naj bi se takšno skupno področje formiralo z angažiranjem sredstev iz različnih virov, tudi z šestega raziskovalnega programa (EU6RTD). Osnovna ideja je predstavljena na sliki 1.

Ena od osnovnih aktivnosti TF3 v ECCE pri organizaciji ERA je vzpostavitev baze podatkov o R&D kapacitetah posameznih držav (pregled R&D organizacij in njihovega angažiranja), vzpostavitev njihovega sodelovanja in koordinacije za nastop na velikih R&D projektih, ki jih bo financirala EU. Pri tem so mišljeni projekti različnih velikostnih redov, tudi do 100 milijonov EUR. Detajlno je ideja predsta-

vljena v letnem poročilu TF3 za leto 2001-2002 (ECCE TF R&D, Annual Report 2001-2002). Glede na to, da se Slovenija v tej sferi še ni pojavila, bi bilo potrebno čimprej določiti stalnega nacionalnega predstavnika v tej skupini in tudi posredovati podatke o SI raziskovalnih organizacijah. Sodim, da je strateško pomembno, da se vključimo v organizacijo področja že v tej, predhodni fazi, saj na ta način lahko pridobimo določeno prednost in kakovosten vpogled v dogajanje in realne možnosti pri kasnejših detajlnejših projektnih aktivnostih.

3. OSTALE INFORMACIJE

- Na sestanku je bil prisoten tudi predsednik svetovne zveze inženirskih organizacij (World Federation of Engineering Organisation - WFEO), ki deluje pod okriljem UNESCO. V svojem pozdravnem nagovoru je povabil ECCE, da se pridruži WFEO.
- V pripravi je izdaja publikacije z naslovom »The Civil Engineering Profession in Europe«. V teku je zbiranje oziroma obnova podatkov. Aktivnosti morajo biti zaključene do septembrskega sestanka v Atenah.
- V sklopu tehnične ekskurzije so nam gostitelji prikazali obnovitvena dela na eni od glavnih ulic Helsinkov, kjer ob-

navljajo kompletne podzemne inštalacije, gradijo novo tramvajsko progo in sistem ogrevanja uličnega tlaka, ki bo zagotavljal, da bo ulica kopna tudi v zimskem času. Predstavili so nam tudi velik projekt selitve deponije premoga za helsinško termoelektrarno iz površinskih deponij v podzemne silose (4 enote, valji premera 40 m in višine 75 m.) Silosi in vsi pripadajoči objekti in dostopi do njih bodo izkopani v zelo zdravem granitu do nivoja 110 m pod morsk gladino. Problema talne vode ni, geomehanski pogoji za izvajanje del so idealni. S to selitvijo deponije pod površje bodo pridobili površino za izgradnjo nove stanovanjske soseske.

• Podane so bile informacije o več bodočih srečanjih:

- Dubrovnik (HR), Third European Forum (EEF), 11.-13. oktober 2002.
- Kuopio (F), Integrated Lifetime Engineering of Buildings and Civil Infrastructures, 01.-03. december, 2003.
- Praga (CZ), Steel Structures and Bridges, 17.-20. september, 2003.
- Praga (CZ), Geotechnical Problems with Man-Made and Man Influenced Grounds, 25.-28. avgust, 2003.

4. FINSKA, DEŽELA TI-SOČERIH IDEJ IN NJIH REALIZACIJ

Gostitelj sestanka, finska zveza gradbenih inženirjev (RIL), se je pri organizaciji sestanka zelo potrudila in se predstavila kot odličen organizator srečanja v hardverskem smislu (prostori in oprema za delo srečanja) kot tudi v softverskem pogledu (predstavitev realizacij in promocija svojih idej).

V uvodnem delu srečanja je g. Y. Matikainen predstavil delo zveze finskih gradbenih inženirjev (RIL), ki je nastopila kot gostitelj našega srečanja. RIL je zelo močna organizacija s ca. 5100 člani in tradicijo, ki sega v ustanovno leto 1934.

So vodilni pri izdajanju navodil dobre prakse (codes of practices), zelo aktivni v sistemu izobraževanja, tudi pri aktivnostih za doseg kompatibilnosti izobraževanja na evropskem nivoju, organizirajo mednarodne simpozije, itd. Delo imajo organizirano v 35 delovnih komitejih in so člani mnogih mednarodnih organizacij (ECCE, ASCE, JSCE, ...). Sodiijo, da je zelo pomembno in se zato tudi zelo trudijo pridobiti čim večji vpliv na vladne odločitve. Tako so pripravili akcijski načrt s 63 točkami, ki ga je privzel za svojega tudi kabinet predsednika vlade. Programe pripravljajo v sodelovanju z ministrstvi in profesionalnimi organizacijami. Uspeli so doseči konsens, da mora biti vsaka predlagana in sprejeta ideja realizirana v treh letih ter da v primeru menjave vlade ostane obveznost realizacije tudi novi vladi. Kako so to dosegli, mi ni uspelo izvedeti, je pa ideja logična, pravilna in očitno blizu tudi finskiim politikom. Njihovi načrti so zelo obsežni. Zelo na kratko bi se jih dalo predstaviti s tem, da nameravajo razviti nov center znanja za Finsko tako, da bodo razvili izobraževalni center, kjer bodo poučevali z lastnimi kadri ter zunanji partnerji, da bodo razvili raziskovalni center z mednarodno mrežo raziskovalcev, vzpostaviti nameravajo zelo tesno sodelovanje z industrijo, in to s privatnim financiranjem do leta 2003. Za naše razmere nedojemljivo, ni pa razloga, da jim ne bi verjeli, še posebej potem, ko smo poslušali vabljen predavanje, v katerem je bil v sklopu še vedno uvodnega dela srečanja predstavljen tudi čudež gospodarskega uspeha Finske v zadnjem desetletju. Vabljeni predavatelj dr. Velli-Pekka Saarnivaara, sicer po osnovni izobrazbi gradbeni inženir in generalni direktor TEKES, to je ustanove, ki je zadolžena za usmerjanje celotnega vladnega financiranja razvoja in raziskav (R&D) v Finski, je predstavil R&D v povezavi z dosežki finskega graditeljstva. Predavanje je bilo zelo zanimivo in poučno. Finci se zavedajo in so na to tudi ponosni, da so po številnih kriterijih, ki se nanašajo na R&D, inovacije, znanstveno publiciranje, patentiranje in izvoza visoke tehnologije najuspešnejša ali dru-

ga najuspešnejša država na svetu. Te trditve so bile predstavljene na podlagi statističnih rezultatov, ki so bile opravljene v sklopu EU za leto 2001. Do analognih rezultatov je prišel pri svojih analizah tudi UNDP (United Nations Development Programme) za leto 2001 ob ocenjevanju tehnološkega razvoja z indeksom tehnoloških dosežkov (TAI – Technology Achievement Index), International Institute for Management Development – IMD je Fince po konkurenčnosti postavil na drugo mesto že v letošnjem letu (2002), WEF (World Economic Forum) pa na prvo mesto. Upoštevač inovacijske kapacitete so uvrščeni s strani WEF na drugo mesto, po tehnološkem kriteriju pa na tretje.

Takšni rezultati niso doseženi slučajno. Finska ima v zadnjem desetletju največjo rast vlaganj v R&D na svetu. Tako so lani vložili 3.5 % BNP (bruto nacionalni produkt) v R&D. V tem je bila lani višje le Švedska s 4.0 %. Ostali smo nižje (Japonska 3.0, ZDA 2.7, Nemčija 2.5, ..., Slovenija 0.70 %). Severnjaki se očitno zelo dobro zavedajo, da se konkurenčnost jutrišnjega dne dosega danes. Uspešnost finskega vlaganja v R&D se kaže v kreiranju novih delovnih mest in s tem ekonomske rasti. Ugotavljajo, da je tehnologija najpomembnejši vir rasti produktivnosti. Javno financiranje razvoja tehnologije vzpodbuja podjetja k inovacijam in sodelovanju pri razvoju. Sicer je zelo ilustrativen tudi podatek v konkretnih številkah, saj navedeni odstotek pomeni, da samo država nameni iz proračuna za področje R&D 320 milijonov EUR, od česar dobijo približno tretjino univerze in raziskovalni inštituti, ostalo pa gospodarstvo. Pri teh številkah tudi ne skrivajo, da je približno 20 - 25 % projektov neuspešnih. R&D aktivnosti so organizirane kot dinamičen integralni sistem, ki ni deljen na bazične, aplikativne in industrijske raziskave. Pristop je projektivni v najširšem smislu besede.

doc. dr. Branko Zadnik, IBE d.d. Ljubljana
Ljubljana, 11.06.2002



PRIPRAVLJALNI SEMINARJI ZA STROKOVNI IZPIT V GRADBENIŠTVU, ARHITEKTURI IN KRAJINSKI ARHITEKTURI V LETU 2002

| MESEC | SEMINAR | IZPITI | | |
|----------|---------|-------------------|-----------|------------|
| | | GRADBENIKI | ARHITEKTI | KRAJINARJI |
| December | 16.-20. | ustni: 2. - 5.12. | | |

2003

| MESEC | SEMINAR | IZPITI | | |
|-----------|-----------|------------------------------------|-----------|-------------------------------------|
| | | GRADBENIKI | ARHITEKTI | KRAJINARJI |
| Januar | 20. - 24. | pisni: 25.1. | | |
| Februar | 17.-21. | ustni: 3. - 6. | | |
| Marec | 17.-21. | pisni: 1.3. ustni: 10. - 13.3. | | pisni: 22.3. |
| April | 14.-18. | | | ustni: 1. - 4.4. |
| Maj | 19.-23. | pisni: 31.5. | | |
| Junij | | ustni: 9. - 13.6. | | |
| September | 22.-26. | | | |
| Oktober | 20.-24. | pisni: 25.10. | | |
| November | 17.-21. | ustni: 3. - 7.11. pisni: 22.11. | | pisni: 8.11. ustni: 17. - 20.11. |
| December | 15.-19. | ustni: 1. - 4.12. | | |

A. PRIPRAVLJALNE SEMINARJE

organizira **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS)**, Karlovska 3, 1000 Ljubljana (telefon/fax: 01 / 422-46-22), E-mail: gradb.zveza@siol.net

Seminar za GRADBENIKE poteka 5 dni (46 ur) in pripravlja kandidate za splošni in posebni del strokovnega izpita, Cena seminarja znaša 102.000,00 SIT z DDV.

Seminar za ARHITEKTE IN KRAJINSKE ARHITEKTE poteka (prve) 3 dni in jih pripravlja za splošni del strokovnega izpita. Cena seminarja je 51.600,00 SIT z DDV.

K seminarju vabimo tudi kandidate, ki so že opravili strokovni izpit po določeni stopnji izobrazbe, pa so si pridobili višjo in morajo opravljati dopolnilni strokovni izpit. Ponujamo jim predavanje iz področja "Investicijski procesi in vodenje projektov". Cena predavanja in literature je 14.400,00 SIT z DDV.

Seminar ni obvezen! Izvedba seminarja je odvisna od števila prijav (najmanj 20 kandidatov). Udeleženca prijavi k seminarju plačnik (podjetje, družba, ustanova, sam udeleženec ...). Prijavo v obliki dopisa je potrebno poslati organizatorju **najkasneje 20 dni** pred pričetkom določenega seminarja. Prijava mora vsebovati: priimek, ime, poklic (zadnja pridobljena izobrazba), in naslov prijavljenega kandidata ter naslov in davčno številko plačnika. Samoplačnik mora k prijavi priložiti kopijo dokazila o plačilu. Poslovni račun ZDGITS je 02017-0015398955; davčna številka 79748767.

B. STROKOVNI IZPITI

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS)**, Jarška 10 B, 1000 Ljubljana. Informacije je mogoče dobiti pri ge. Terezi Rebernik od 10.00 do 12.00 ure, po telefonu 01 / 547-33-15, fax. 01 / 547-33-20, spletna stran: <http://www.izs.si>

1/1
165 x 245 mm

2/3
108 x 223 mm

1/2
165 x 115 mm

1/4
165 x 60 mm

1/3
52 x 223 mm

Gradbeni vsetnik je strokovno znanstvena revija, s katero predstavljamo slovenski in tuji strokovni javnosti dosežke z vseh področij gradbeništva. Revija je tudi člansko glasilo Zveze gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije ter Matične sekcije gradbenih inženirjev pri Inženirski zbornici Slovenije.

Revija izhaja mesečno v nakladi 2750 izvodov. Med naročniki je tudi 52 naslovov iz tujine; z nekaterimi tujimi naslovi pa si revijo izmenjujemo.

Leta 2001 smo skromno obeležili 50 letnico neprekinjenega izhajanja in si želimo, da bi se slovensko gradbeništvo z revijo ponašalo tudi v prihodnosti, ko bo z širjenjem globalizacije na veliki preizkušnji naša strokovna in nacionalna zavest. Če bomo sodelovali, bomo ohranili svojo prestižno, v slovenskem jeziku pisano revijo, ki nas bo povezovala, nas izobraževala, preko katere bomo lahko komunicirali s kolegi v domovini in tujini, se spoznavali in merili med seboj v znanju.

Bodočnost Gradbenega vestnika je odvisna od nas, zato Vas vabimo k pisanju člankov, v družbo naročnikov in k prispevanju reklamnih oglasov.

Uredništvo

NAVODILA ZA ODDAJO OGLASA

Oglas lahko oddate kot:

- rastrski format JPEG, TIFF, EPS
- CDR (ver 8.0 ali manj), pri čemer je potrebno vse črke spremeniti v krivulje

Vsebine je mogoče poslati z redno pošto (disketa) ali po E-pošti na naslednja naslova:
gradb.zveza@siol.net
jtd.robort@siol.net

Za reklamne oglase se priporočamo po naslednjem ceniku:

| | |
|---|----------------------|
| Ovitek: zadnja stran 1/1 (165 x 245 mm) | 200.000,00 SIT + DDV |
| Notranja stran 1/1 (165 x 245 mm) | 150.000,00 SIT + DDV |
| N.S. 2/3 (108 x 233 mm) | 130.000,00 SIT + DDV |
| N.S. 1/2 (165 x 115 mm) | 100.000,00 SIT + DDV |
| N.S. 1/3 (52 x 233 mm) | 75.000,00 SIT + DDV |
| N.S. 1/4 (165 x 60 mm) | 40.000,00 SIT + DDV |



**Kakovost
S
tradicijo**

**ISO
9001**



**tiskarna
ljubljana, d.d.**

Poslovna enota:
1295 Ivančna Gorica, Startetova 9
SLOVENIJA
telefon: ++386 (0)1 7887 222
telefax: ++386 (0)1 7887 237
e-mail: tiskarna.ljubljana@mrak.si



CM Celje, CESTE MOSTOVI CELJE, d.d.

Družba za nizke in visoke gradnje
Lava 42, 3001 Celje
Telefon: 03 42 66 100
Telefaks: 03 42 66 306
E-mail: info@cm-celje.si

Z Vami že 40 let!

Gradnja nadomestnega mostu čez
Savinjo pri Rogovilcu



Obnova ceste Rogla – Padeški vrh



A.C. Ločica



Rekonstrukcija mostu čez Muro in petih inundacij



Stanovanjsko poslovni objekt LAVA

Proizvodni program:

- I. Gradnja in obnova vseh vrst cest, avtocest in ostalih prometnih površin.
- II. Gradnja in obnova mostov in viaduktov.
- III. Gradnja:
 - bencinskih servisov
 - letališč
 - objektov za varstvo okolja
 - športnih objektov
- IV. Razvoj in kakovostna proizvodnja:
 - gradbenih materialov
 - asfaltnih zmesi
 - betonov in cementnih stabilizacij
 - kamnitih drobirjev
 - kalcijevega klorida
 - opreme za vzdrževanje cest
 - polimerno modificiranih bitumnov
- V. Izvajanje:
 - prevoznih storitev
 - strojnih storitev
 - vzdrževanja delovnih sredstev
 - laboratorijskih preiskav asfaltov, betonov in zemljin

Za gradnjo cest, mostov, viaduktov in visoke gradnje ter proizvodnjo mineralnih surovin, kar je naša konkurenčna prednost zaradi celovitosti ponudbe, so pomembne izkušnje in strokovno znanje, odločilna pa je kakovost v pripravi in izvedbi del.