

# GRADBENI VESTNIK

marec 2008



GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE IN  
MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

Poštnina plačana pri pošti 1102 Ljubljana



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

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774

Ljubljana, marec 2008, letnik 57, str. 57-84

Izdajatelj:

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

Izdajateljski svet:

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

Glavni in odgovorni urednik:

**prof. dr. Janez Duhovnik**

Sodelavec pri MSG IZS:

**Jan Kristijan Juteršek**

Lektorica:

**Alenka Raič Blažič**

Lektorica angleških povzetkov:

**Darja Okorn**

Tajnica:

**Anka Holobar**

Oblikovalska zasnova:

**Mateja Goršič**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

**Kočeviski tisk**

Naklada:

**3000 izvodov**

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

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

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

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

## Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

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

Uredništvo

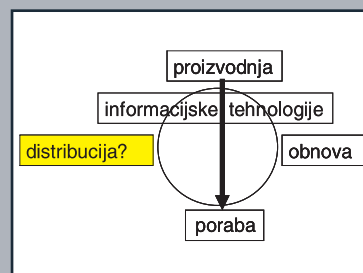
# Vsebina • Contents

## Članki • Papers

stran **58**

prof. dr. Aleš Krainer, univ. dipl. inž. arh.  
asist. Mitja Košir, univ. dipl. inž. arh.  
doc. dr. Živa Kristl, univ. dipl. inž. arh.  
asist. Mateja Dovjak, dipl. san. inž.

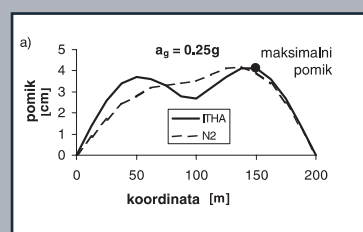
### **PASIVNA HIŠA PROTI BIOKLIMATSKI HIŠI** PASSIVE HOUSE VERSUS BIOCLIMATIC HOUSE



stran **69**

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

### **POENOSTAVLJENA NELINEARNA POTRESNA ANALIZA MOSTOV** SIMPLIFIED NONLINEAR SEISMIC ANALYSIS OF BRIDGES



stran **76**

prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.

### **AKTIVNA ZAŠČITA PITNE PODTALNICE ZA VODOVOD ORMOŽ** ACTIVE PROTECTION OF DRINKING GROUNDWATER FOR WATERWORKS ORMOŽ



## Novice s fakultet

stran **82**

Nataša Šuman, univ. dipl. gosp. inž.  
Daniela Dvornik Perhavec, univ. dipl. inž. grad.

### **DRUŠTVO DIPLOMANTOV FAKULTETE ZA GRADBENIŠTVO** **V MARIBORU**

## Novi diplomanti

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

## Koledar prireditev

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

Slika na naslovnici: Most čez Ljubljanico v Podpeči, foto Janez Duhovnik

# PASIVNA HIŠA PROTI BIOKLIMATSKI HIŠI

## PASSIVE HOUSE VERSUS BIOCLIMATIC HOUSE

prof. dr. Aleš Krainer, univ. dipl. inž. arh.  
asist. Mitja Košir, univ. dipl. inž. arh.  
doc. dr. Živa Kristl, univ. dipl. inž. arh.  
asist. Mateja Dovjak, dipl. san. inž.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,  
Jamova 2, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek  
UDK 728.3: 504.75

**Povzetek** | Članek problematizira koncept pasivne hiše glede na kakovost bivalnega okolja in primerja pasivni in bioklimatski koncept načrtovanja stavb. Cilj pasivne hiše je zmanjšanje porabe toplotne energije na manj kot 15 kWh/m<sup>2</sup> leto. Pri zasteklitvah, te nas predvsem zanimajo, moramo zato uporabiti trojno zasteklitev, s tem pa oknu vzamemo dinamično komunikacijsko funkcijo. Filozofija načrtovanja pasivne hiše ima za »stransko« posledico zmanjšanje dotoka dnevne svetlobe, zaradi mehanskega prezračevanja pa prekinitve neposrednega stika z zunanostjo. Toda koncept izolacije človeka od zunanjih vplivov je po ugotovitvah mnogih študij škodljiv za zdravje. Zunanje okolje človeku ni sovražno, marveč deluje stimulatивно na fiziologijo in psiho. Dnevna svetloba zagotavlja bolj kakovostno osvetlitev, stimulira vid in je pomembna komunikacija med notranjim in zunanjim prostorom. Stalno spreminjanje količine in kakovosti dviga koncentracijo in odzivnost. Podobno velja tudi za sluh in voh. Pri bioklimatskem konceptu upoštevamo sprotne prilagajanje zunanjim razmeram, notranjim potrebam in zahtevam. Bližje kot stavba sledi temu (temperaturna dinamika, sončno in toplotno sevanje, relativna vlaga in premikanje zraka), bolj je učinkovita. Nestabilni model predstavlja dinamično strukturo, ki deluje v realnem času. Cilj vseh opisanih intervencij v okviru bioklimatskega načrtovanja je zdravo bivalno in delovno okolje ob čim manjši porabi energije in ne čim manjša poraba energije ob fiziološkem minimumu.

**Summary** | The paper deals with the concept of a passive house in relation to inside environment and compares the passive and the bioclimatic concepts. The goal of the passive house is the reduction of heating energy use to less than 15 kWh/m<sup>2</sup> per year. To reach this goal, the glazing, which interests us the most, has to be triple. This consequently reduces the dynamic communicational function of windows. In the philosophy of the passive house design, the reduced daylighting and cutting off the direct contact with external environment is viewed as the collateral damage. But the concept of alienating people from natural environment is, according to many studies, harmful to health. The external environment is not hostile to us, on the contrary, it has stimulative effects on body and mind. Daylight provides quality lighting, stimulates sense of sight and is an important communication between the internal and external space. The constant changes of light improve concentration and responsiveness. The same goes for hearing and sense of smell. The bioclimatic concept, on the contrary, is based on the simultaneous adaptation to external conditions and to internal needs. Better can a building follow these two profiles (temperature dynamics, solar and thermal radiation, relative humidity, and air stratification), more efficient it is. The unstable model represents the dynamic structure that functions in real time. The goal of the above described interventions in the framework of bioclimatic design is healthy living and working environment with as low energy use as possible and not as low energy use regarding physiological minimum.



## 1 • UVOD

V zadnjem času smo priča na videz nerazumljivemu razvoju dogodkov, povezanih z vplivi na podnebne razmere na svetu. Posledica današnjih trendov podnebnih sprememb so spremenjene razmere v bivalnem in delovnem okolju, kar vpliva na zdravje favne in flore. Del tega sistema smo tudi ljudje. Spremembe sta povzročili neuravnovešena poraba snovi in energije na Zemlji.

Skrb za trajnostni razvoj je izrecno opredeljena kot vse pomembnejša strateška naloga EU in držav članic, ki mora najti svoje mesto v okviru razvojnih usmeritev vseh razvojnih sektorjev, tudi gradbenega. V okviru politično popularizirane besedne zveze »trajnostni razvoj« (sustainable development) se tudi pasivna hiša dandanes promovira kot t.i. trajnostna gradnja. Izraz »sustainable development« se danes pojavlja v vsakem pravnem aktu v razlagi pojmov, uveljavljen pa je bil s konvencijo ZN v Riu (UN, 1992) in pomeni »popolno uravnoteženje ekonomskih, socialnih, okoljskih in zdravstvenih vidikov razvoja«. Pri današnjih pasivnih hišah pa sta poudarjeni le ekonomska in delno okoljska komponenta razvoja, medtem ko se na socialni in zdravstveni vidik načrtno ali nenačrtno pozabi. Če izhajamo iz obstoječih študij, ki znanstveno dokažejo negativne vplive pomanjkanja dnevne svetlobe, nezadostnega prezračevanja itd. (kot posledičnega bivanja v pasivnih hišah) lahko štejemo današnje pasivne hiše na tržišču kot izrazito netrajnostne.

»Netrajnostno ravnanje so vse človeške aktivnosti, ki imajo negativen vpliv na okolje,

zdravje in življenje ljudi in se v prihodnosti ne smejo izvajati. Če se oceni, da je človekova aktivnost v prihodnosti netrajnostna, se je potrebno vzdržati in je ne izvesti (EC, 1992). Pri oblikovanju bivalnega in delovnega okolja imamo najprej prenos iz človeka, ki je organski sistem, na artefakte, na objekte, zgradbe, stavbe, nato pa udarec nazaj zaradi posledic, ki jih le-te povzročajo v okolju. Vse skupaj poteka v okviru socioekološkega, proizvodno-potrošnega kroga (Slika 1), ki ga oblikujejo proizvodnja, distribucija in uporaba. Žal pride pri tem do odpadka, ki se ne vrača v sistem, tako kot se to dogaja pri naravnih ekoloških sistemih. To je tehnološko-ekonomski problem, ki je v tem okviru rešljiv. Glavni problem kroga je danes distribucija, ki se je iz pozitivnega povezovalca proizvodnje in potrošnje spremenila v rakasto celico, ki iz ostalih delov sistema samo jemlje oziroma vanj nič ne vlaga, kar so presenetljivo zaznali tudi nekateri zelo cenjeni ekonomisti. Možna rešitev je lahko le razvoj in neposredna uporaba informacijske tehnologije, tako na strani proizvajalcev kot tudi na strani uporabnikov.

Problem nastane, ko vzrok, prevelika in ali napačna uporaba energije in snovi, kar naenkrat prekrije posledico – ogroženo zdravje. Večina naporov reševanja te problematike je usmerjena v energijo, veliko manj v materiale, ki jih potrebujemo pri oblikovanju našega bivalnega in delovnega okolja, še manj v zdravje in učinkovitost. Postavljajo se različni enostranski predlogi, ki dobivajo religiozen pomen, ker jih večina ljudi enostavno ne razume, jim pa verjame.

Če govorimo o energiji, je čim manjša poraba energije, ki prihaja iz neobnovljivih virov, le instrument za doseganje glavnega cilja: zdravega bivalnega in delovnega okolja.

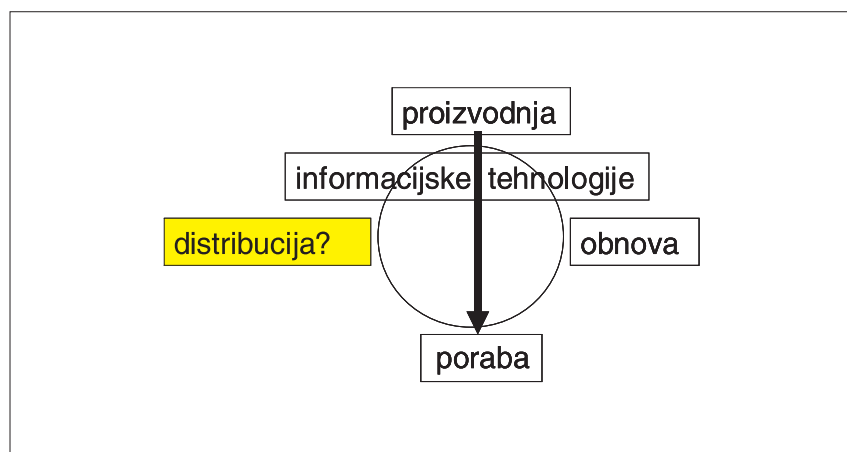
Eden od pojavov, kjer je posledica skrita za vzrokom, je tako imenovano gibanje »pasivna hiša«.

Cilj pasivne hiše je zmanjšanje porabe toplotne energije na manj kot 15 kWh/m<sup>2</sup> leto, kar nekateri opisujejo kot tehnični standard. Pri netransparentnem delu ovoja tehnično ni problem doseči nizek U faktor. Pri zasteklitvah, ki nas predvsem zanimajo, mora biti toplotna prehodnost U manj kot 0,75 W/m<sup>2</sup>K in globalna prepustnost za sončno sevanje g najmanj 0,5. To naj bi dosegli s trojno zasteklitvijo. Na tak način se oknu, ki je napomembnejši aktivni del ovoja, jemlje njegova dinamična komunikacijska funkcija.

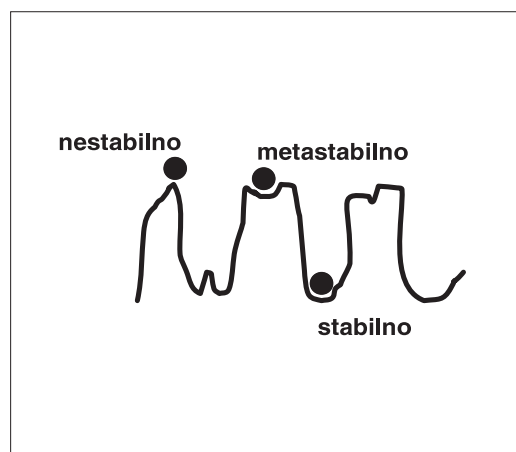
Koncept pasivne hiše, ki temelji izključno na določeni minimalni porabi energije za gretje in hlajenje, ima vse možnosti, da že v sami zasnovi vpliva na zmanjšanje dostopa dnevne svetlobe v prostore in posredno omogoča razmere, ki lahko povzročijo probleme z zagotavljanjem svežega zraka pri prezračevanju. To je zaprt sistem v sovražnem okolju, nekaj podobnega kot vesoljska kapsula.

Sama filozofija načrtovanja pasivne hiše temelji na principu negativne intervencije pri porabi energije za ogrevanje. »Stranske« posledice so zmanjšanje dotoka dnevne svetlobe, pri zagotavljanju svežega zraka oziroma prezračevanju in pri neselektivni zvočni izolaciji. Nekateri predvidevajo celo kazni: če se odpre okno, se izključi gretje.

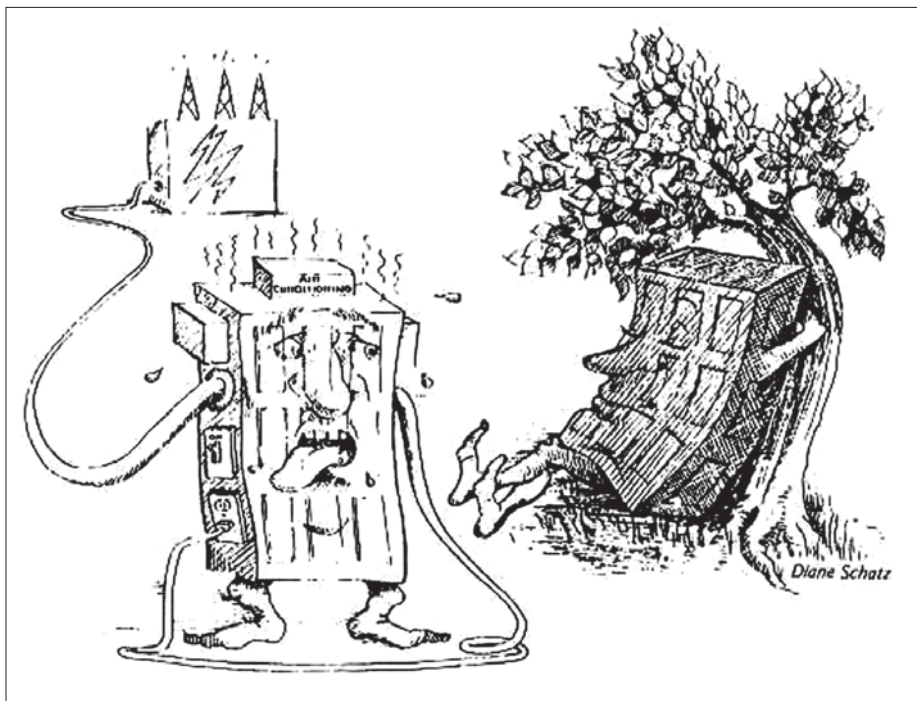
Prvi problem je, da se kot kriterij za oblikovanje bivalnega okolja uporablja samo en faktor, to je poraba energije za ogrevanje. Ameriški sistem za ocenjevanje LEED (Leadership in Energy and



Slika 1 • Proizvodno-potrošni socioekološki krog, pozitivno uporabljena informacijska tehnologija lahko omeji vedno bolj negativne vplive distribucijskega dela kroga



Slika 2 • Konceptualna shema razmerij med notranjim in zunanjim okoljem



Slika 3 • Problem zdrave pameti pri načrtovanju

Environmental Design) uporablja štiri kriterije: 1. energijo in atmosfero, 2. materiale in vire, kjer so pomembni lokalni materiali in zmanjšanje stroškov za Transporte, 3. kakovost notranjega okolja, ki zajema vodljivost ter nadzor sistemov za povišanje produktivnosti, udobja in dobrega počutja stanovalcev in zagotovitev dnevne svetlobe ter razgledov in 4. inovativnost pri načrtovanju. Ameriška energetska izkaznica LEED daje prednost zdravemu in udobnemu okolju pred varčevanjem z energijo.

V več kot treh desetletjih se energetska učinkovito načrtovanje ni izvleklo iz otroške dobe začetniške arhitekturne tehnike. Prefetala je tehnokonomska dimenzija, ki jo prav malo zanimajo drugi elementi oblikovanja bivalnega in delovnega prostora. Ti so bili poznani že Vitruvij in nazadnje F.L. Wrightu. Koncept pasivne hiše je eksces 21. stoletja, v katerem sta v oblikovanju bivalnega in delovnega okolja med seboj povezana realni čas in realni prostor.

Tu gre za sprotno prilagajanje zunanjim razmeram in notranjim potrebam in zahtevam. Bližje ko lahko stavba sledi tema dvema profiloma, ki ju opisujejo temperaturna dinamika, sončno in toplotno sevanje, relativna vlaga in premikanje zraka, bolj je učinkovita (slika 2). Nestabilni model predstavlja dinamično strukturo, pri kateri se notranje okolje v realnem času prilagaja zunanjim razmeram in notranjim zahtevam. Pri oblikovanju povezuje obe

okolji princip kontinuuma prostora in časa. Časovne intervencije so zvezne. Temu modelu se poskušamo čim bolj približati, ker omogoča izbor optimalnih razmer. Metastabilni model je približek nestabilnemu, le da so tu časovne intervencije periodične, občasne. Princip kontinuuma prostora in časa v praksi deluje. Stabilni model je izločevalni model v sovražnem okolju, kjer je glavni cilj čim manjša povezava med notranjim in zunanjim okoljem. Glavna naloga ovoja je dušenje komunikacij med notranjim in zunanjim prostorom. Za vrsto intervencij že obstajajo tehnološke rešitve in informacijske tehnologije vodenja, ki so na ravni nekaterih naprav prisotne tudi v pasivni hiši. Napačna filozofija načrtovanja pri pasivni hiši najprej za reševanje problema uporabi visoko tehnologijo, potem pa za izgovor ugotavlja, da so deleži možnih izkoristkov naravnih in obnovljivih virov v sistemu zanemarljivo majhni. Celo debeline toplotne izolacije na neprozornih delih ovoja, kjer naj bi bil jasen cilj tehnološki maksimum, to je največja debelina, ki še vpliva na zmanjšanje koeficienta toplotne prehodnosti, na tak način niso določene. Kako vsa stvar deluje?

Najprej se deklarativno izjavi, da so tako imenovani brezplačni »pasivni« energetski viri sončni dotoki skozi okna in druge transparentne odprtine, toplota, ki jo oddajajo svetila, naprave in procesi ter metabolična toplota ljudi.

Tehnološki ukrepi, ki sledijo, so usmerjeni v zmanjšanje odtoka toplotne energije v okolje skozi ovoj stavbe, toplotno izolativnost in zrakotesnost in v naprave, predvsem toplotne črpalke in rekuperatorje. V teh okvirih je potrebno opozoriti najprej na fenomen, ki mu pravimo zdrava pamet (slika 3) Ovoj stavbe ima dva funkcionalna sklopa. Prvi sklop so neprozorni deli in tu ni težko doseči ne samo »ekonomske«, kar koli že to pomeni, dimenzije toplotne izolacije, ampak tudi tehnološko upravičene dimenzije, ki se pri uporabi normalnih toplotnih izolacijskih materialov, dosegljivih na trgu, gibljejo med 20 in 30 cm in več. Drugi sklop so prozorni deli ovoja, ki ga predstavljajo predvsem okna. Ta del v pasivnih konceptih predstavlja »šibko točko« stavbe, ker če hočemo skozi stekla spraviti še kaj vidnega dela sončnega sevanja, pridemo do omejitev sposobnosti toplotne izolativnosti zasteklitev.

Malo je stvari, ki bi bile tako povsod prisotne, kot so okna, ki omogočajo najbolj eleganten in najbolj neposreden način izkoriščanja sončnega sevanja in njegove nenadomestljive komponente dnevne svetlobe. Optični in toplotni odziv stavb sta nedeljiva, a se njuna analiza še vedno v večini primerov izvaja ločeno. V analizi optičnih in toplotnih tokov morata biti oba fenomena med seboj sinhronizirana in harmonizirana.

Žal je še vedno prisotno mnenje, posebej v konceptu pasivne hiše, da je okno najšibkejši del ovoja stavbe. To je žalostno 70 let potem, ko je bila kot model predlagana v prvem kanonu avantgardne arhitekture zastekljena kocka in kakšnih 30 let po tem, ko se ja ta kanon sesul v submiesovskem arhetipu.

Uporabnikom mora biti jasno, da se dnevne svetlobe kupiti ne da, da je bila pravica do dnevne svetlobe temeljito obdelana že v rimskem pravu in da se lahko borijo z nesrkupuloznimi nepremičninskimi manipulantmi le s temeljitim poznavanjem te problematike. Pred kakšnimi petimi leti so se na Japonskem pojavile ideje, da bi bilo dovoljeno v stanovanjih določeno število bivalnih sob brez dnevne svetlobe! Hiša, v kateri pade resnična prepustnost zasteklitev v bivalnih prostorih za dnevno svetlobo na 30–40 %, v ostalih pa so okna tako ali tako motnja, je idealno komplementarna s tako filozofijo oblikovanja bivalnega prostora. V Sloveniji se tako imenovani »developerji« trudijo na vse načine, kako bi se izognili pravilu 1 ura sonca decembra, 3 ure marca in septembra in 5 ur junija, ki ga je mukoma uvedla bivša sanitarna inšpekcija in ki že tako predstavljajo komaj sprejemljive minime.

Velikost odprtine je bila v vsej zgodovini človeštva odvisna od dveh faktorjev: razpoložljive tehnologije nosilne konstrukcije in varnosti.

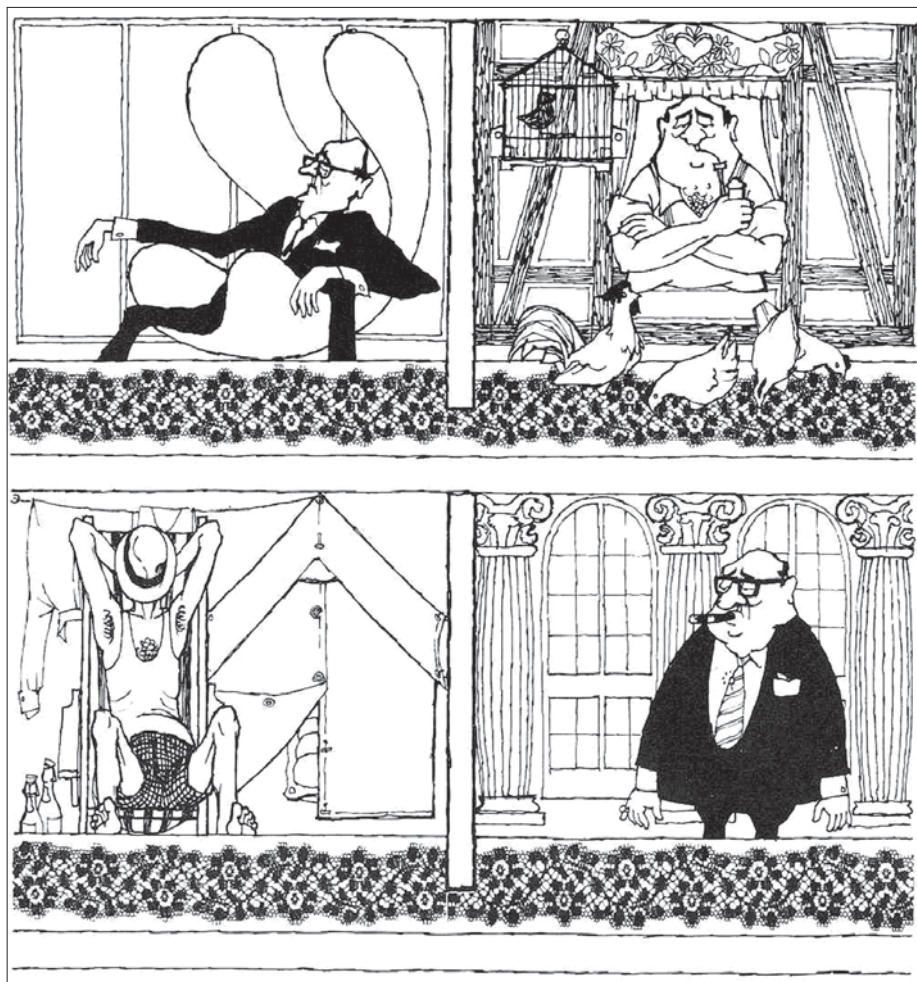
Valovne dolžine sončnega sevanja, ki nas predvsem zanimajo, so med 380 in 2500 nm, od tega 380–770 nm vidni del in ostalo toplotni ali bližnji infrardeči del.

Cilj bioklimatskega načrtovanja je oblikovati tak sistem grajenega okolja, ki omogoča čim večjo, dejansko uporabo dnevne svetlobe do čim večje globine prostorov na čim bolj ekonomičen in enostaven način in poleg tega varčevanje z energijo za osvetljevanje, gretje in hlajenje. Za dosego teh ciljev je treba povečati ravni dnevne svetlobe v prostoru, izboljšati njeno razporeditev, zmanjšati bleščanje in čim bolj učinkovito prilagajati razpoložljivo sončno sevanje notranjim potrebam in zahtevam z vodljivimi in prilagodljivimi sistemi. Sončno svetlobo je možno neposredno upravljati z odbijanjem, preusmerjanjem, lomljenjem in razprševanjem. Za te posege je na voljo vrsta tehnologij s praktično neomejenimi razvojnimi možnostmi.

Pojavljajo se razlage, da nekatere pasivne hiše izpolnjujejo konceptualne zahteve bioklimatskega oblikovanja. Če obstajajo taki primeri in seveda tudi obstajajo, potem to niso pasivne hiše.

Cilj bioklimatskega načrtovanja je doseči zdrave, udobne, ugodne in prijetne bivalne in delovne razmere s čim manjšo porabo neobnovljivih virov energije in snovi. Za čim manjšo porabo neobnovljivih virov energije in snovi je treba izkoristiti tehnološke možnosti, ki so v določenem času na voljo. Ob tem se je treba čim bolj približati tistim razmeram v naravnem okolju, ki zahtevane pogoje izpolnjujejo v okviru toleranc, ki so odraz razvitosti določene družbe in potreb ali zahtev posameznika. Od nekdaj je tu veljalo pravilo zdrave pameti, za katero je bilo v evlucijskem procesu še dovolj prostora. V sodobnem času so se pojavili poskusi manipulacij in zlorab, za katere je zdrava pamet grožnja. Ta proces je še posebej nevaren na področju grajenega okolja, ker so življenjske dobe artefaktov dolge tudi od 50 do 100 let. Hiše se ne da vreči stran kot kakšne plastične natikače, posegi v arhitektonsko-gradbeneški del pa so tako tehnološko kot tudi finančno zelo zahtevni.

Ta izhodišča morajo biti jasna, preden se lotimo intervencij za zmanjševanje tolotnih izgub, za izrabo sončnega sevanja pozimi in zaščito pred njim poleti, za izbor strojnih in drugih naprav ter kontrolnih sistemov. Bioklimatsko načrtovanje kot koncept in še ne kot



Slika 4 • Pomen in položaj posameznika v sistemu

intervencija poskuša ustvariti v bivalnih prostorih razmere, ki zagotavljajo biološko udobje z uporabo razpoložljivih virov zunanega okolja in zasnovati strategije, ki omogočajo zmanjšanje energetskih obremenitev pred načrtovanjem naprav za gretje ali hlajenje. Gre za harmonizacijo toplotnih, svetlobnih in informacijskih tokov, za razporejanje prostorov, odprtih na strateške položaje, za kombinacije toplotne akumulacije konstrukcijskih sklopov in prezračevanja ter hlajenje z nočnim zrakom, za jasno opredelitev pomembnosti energetskih prihrankov v primerjavi z njihovim vplivom na kakovost, ne samo količino zraka. Kakovost notranjega okolja močno vpliva na počutje in delovanje ljudi. V prvi vrsti gre za vpliv dnevne svetlobe, tako količine kot tudi njene kakovosti, vpliv komunikacije z zunanjim okoljem in njegovo dinamiko, ki je vgrajen v našo genetsko strukturo in možnostjo vplivanja na to komunikacijo. S stališča kakovosti in varnosti se dnevni svetlobi in vizualnemu okolju ob bok postavljata zvočno in olfaktorično okolje.

Zadovoljstvo oseb, ki se zadržujejo v stavbi, je pomemben kriterij za kakovost stavbe (slika 4).

Raziskave so pokazale, da je predvsem nezadovoljstvo vzrok za pojav sindroma bolne stavbe (sick building sindrom).

Osrednji problem sindroma bolne hiše je ne samo potreba po zagotovitvi dovolj velikih dotokov svežega zraka, ampak tudi naravno prezračevanje stavbe z veliko možnostjo neposredne kontrole notranjega okolja z odpiranjem oken in zagotavljanjem uporabe dnevne svetlobe, kar je v nasprotju z izločevalnim oblikovalnim pristopom pasivne hiše.

Mimogrede naj omenimo, da se kot poseben dosežek pasivne hiše navaja njena kakovostna zvočna izolativnost, beri osamitev, ki je povezana s tesnjenjem kot pomembnim prispevkom k energetski učinkovitosti na ravni dotoka zraka v stavbo.

Prenašanje problema prekomernega hrupa v zunanem okolju na ovoj stavbe je nesprejemljivo.



Omejevanje slušne komunikacije in uporabe sluha kot morda najbolj univerzalnega čuta je dvojna katastrofa. Za naš informacijski sistem so blagodejni šumi iz okolja, na primer šelestenje listja v vetru na eni strani, na drugi strani pa gre za problem varnosti in kontrole. Na primer, mama ob množici gospodinjskih opravil s sluhom nadzira početje otrok na vrtu. Kaj pomeni nekaj evrov ali kWh-jev v primerjavi z občutkom, kaj se z otroki zunaj dogaja in možnostjo hitrega posredovanja v primeru neprijetnih dogodkov ali celo nesreč?

Pri oblikovanju kakovostnega bivalnega okolja so odločilni: ergonomija bivalnega in delovnega prostora, subjektivna zaznava toplotnega udobja, kakovost zraka, škodljive snovi v zraku in snovi, ki povzročajo smrad, draženje zaradi bakterij in mikroorganizmov, vizualno udobje in zvočno okolje.

Večina ljudi je bistveno bolj zadovoljnih, če lahko na svoje stanje in okolje neposredno

vplivajo, če lahko vplivajo na spremembe v bivalnem in delovnem prostoru (premikanje pohištva, obešanje slik), če lahko odpirajo okna in vplivajo na temperaturo in osvetljenost. To ne izključuje avtomatizacije in uporabe naprednih sistemov vodenja, popolnoma pa mora biti jasna možnost osebnega posega in vpliva.

Za doseganje psiholoških, fizikalnih in finančnih koristi zdrave stavbe morajo biti stavbe načrtovane tako, da zagotovijo največji možni dostop do naravne svetlobe in pogledov navzven, da sta zagotovljena odlično prezračevanje in nadzor onesnaževalcev notranjega zraka, da je preprečena možnost nastajanja nezaželene kondenzacije vlage in da poudarjajo psihološke in socialne vidike prostora, ki se uporablja za bivanje in delo.

Faktorji, ki poleg temperatur, relativne vlage in gibanja zraka tudi vplivajo na toplotno

udobje in so bolj ali manj eksperimentalno dokazani, so tudi aklimatizacija: sprememba lokacije (hladnejše, toplejše podnebje), letne spremembe na določeni lokaciji (letni časi ipd.), starost in spol, zgradba telesa, kondicija in zdravje, hrana in pijača, sevalne asimetrije, prepih, tople ali hladne površine.

Tu gre za različne kombinacije fizioloških zaznav in psihosocioloških predstav in pričakovanj, ki lahko predstavljajo specifične lastnosti različnih lokacij in z njimi povezanih kultur, za katere ni prostora v konceptu pasivne hiše. O tem je pisal že Vitruvij (Vitruvius, 1970) pred približno 2000 leti, tema pa je tudi del evropske direktive o gradbenih proizvodih, CPD89/106, ki kot najvišji dokument na področju grajenega okolja v EU, v drugem odstavku tretjega člena navaja, da je treba v okviru bistvenih zahtev upoštevati možne razlike v podnebnih razmerah ali načinu življenja.

## 2 • ZDRAVJE

Kardiovaskularno zdravje zahteva občasne vaje, ob katerih je človekovo telo izpostavljeno pogosto znatnemu fizičnemu neudobju. Stoops (Stoops, 2004) trdi, da imata kratkotrajna bolečina in neudobje dolgoročen pozitiven vpliv na zdravje in se sprašuje, ali preveč omejeni standardi za toplotno udobje v resnici nimajo dolgoročno negativnih vplivov na zdravje.

Deli počitniških aktivnosti so povezani s toplotnim neudobjem: smučanje ob nizkih temperaturah pozimi, praženje na soncu poleti. Medtem ko se ljudje sami izpostavljajo toplotnemu neudobju, kar se prav gotovo ne dogaja slučajno ali zaradi kakšnih mazohističnih nagnjenj, nekateri menijo, da je potrebno zagotoviti v stavbah, v bivalnem in delovnem okolju take temperature, ki čim bolj zmanjšajo odstotek toplotnega nezadovoljstva ali da zagotovijo

nevtralno okolje. Fangerjeva lestvica toplotnega udobja ima sedem stopenj, od vroče do mrzlo. Toplotno udobje pa je definirano s tem, da posamezniku ni niti mraz niti vroče. Za opredelitev pojma dobro počutje in zadovoljstvo prav gotovo ni dovolj, da je to nekaj kar ni niti tako niti tako.

Potrebujemo hitro regulacijo na določenih delih ovoja, trenutno predvsem na odprtinah, po potrebi ali želji in možnost prilagajanje sezonskime značilnostim. Pozimi bomo imeli nekaj dni, ko nas bo malo zeblo, zato nekaj več obleke, nekaj več odej ali njihova souporaba, kar bi lahko celo vplivalo na problematično nataliteto, in tople čaj, poleti nekaj dni, ko nam bo vroče, nekaj manj obleke, parkrat pod tuš in v hladilnik po hladno pijačo ali po sladoled.

V obeh primerih gre za prilagoditev stanjem v realnem času, ki omogoča zmanjševanje

vršnih energetskih obremenitev (predvsem elektrika za klimatizacijo poleti) in kapaciteto grelnih in hladilnih sistemov.

Rezultat je poleg treninga kardiovaskularnega sistema lahko tudi prihranek pri energetski porabi, kar predstavlja redko, skoraj neverjetno kombinacijo.

Zakaj je udobje in dobro počutje marginalizirano in stigmatizirano? Zakaj so finančno težko merljive vrednote, kot je veselje do življenja v naravi in možnost, da se to omogoči v neposrednem bivalnem in delovnem okolju, želje po avtonomiji in decentralizaciji, princip samozadostnosti, celovita zavest o omejenih virih in ne samo poraba energije za distribucijo in politiko kot njenim delom nezanimivi ali celo nevarni? Iz naštetih področij ni lahko ali je težko potegniti profite, prisotnost nekaterih pa profit omejuje ali celo onemogoča. Pri bioklimatskem načrtovanju stavb in aktivnosti ne gre za hedonizem, ampak za zagotavljanje zdravja in posledično visoke produktivnosti.

## 3 • DNEVNA SVETLOBA

V evropskem Akcijskem načrtu za energetske učinkovitost: izvedba možnosti (EC, 2006) ugotavljajo, da se 20 % celotne proizvodnje elektrike uporabi za osvetljevanje in da je možno z uporabo visoko učinkovite LED tehnologije

(Light Emitting Diode) prihraniti 30 % današnje porabe za splošno osvetljevanje do leta 2015 in 50 % do leta 2025. Bilo bi vse lepo in prav, če bi najprej zagotovili upoštevanje vpliva količine dnevne svetlobe na zdravje in posledično

učinkovitost celotnega sistema bivalnega in delovnega okolja in nato tudi možnosti uporabe novih tehnologij v okviru zmanjšanja porabe energije za osvetljevanje. Rezultat takega načina pristopa je naslednji: če lahko z generacijo novih svetil zagotovimo manjšo porabo energije, potem se res nima smisla truditi z zagotavljanjem dnevne svetlobe, ki se tako razvednoži na raven energetskega vira!



Svetlobna učinkovitost je razmerje med svetlobnim in toplotnim tokom za dnevno svetlobo 100–130 lm/wat, pri klasičnih žarnicah je to 10–15, pri fluorescentnih 45–60 in pri visokotlačnih natrijevih svetilih 80–90. Dnevna svetloba je v primerjavi z drugimi svetlobnimi viri energetsko najbolj učinkovit vir osvetljevanja, vsi ostali viri imajo slabše razmerje med svetlobno učinkovitostjo in energijo, ki je za to potrebna in so neposredno ali posredno odvisni od neobnovljivih virov.

Sama pravica do dnevne svetlobe je bila zagotovljena že v okviru rimskega prava. V industrijski revoluciji se je omejevanje te pravice pojavilo kot kolateralna škoda, danes pa je dobilo njeno omejevanje in kraja opravičilo v ikonografiji trga. Argument za učinkovito uporabo dnevne svetlobe ni samo vačevanje z energijo, ampak predvsem zdravje in vizualno udobje, večja produktivnost ter povezava z naravo, z nebesno dinamiko.

Psihologi in strokovnjaki za energetsko učinkovitost so že davno ugotovili, da lahko nekaj tako enostavnega, kot je sončna svetloba, pomaga k bolj učinkovitemu delu, da se več naučimo, da smo manjkrat odsotni z dela zaradi bolezni in da se poveča prodaja.

Najbolj enostaven prispevek uporabe dnevne svetlobe so možni prihranki porabe energije oziroma sredstev. Podatki na podlagi meritev so na voljo predvsem iz ZDA. Zgodnje študije iz poznih 1970-tih so nakazale možne prihranke med 15 in 20 %. Na primer v Los Angelesu povprečna trgovina s prehrano lahko prihrani 16.000 USD na leto, ali 3,2 USD/m<sup>2</sup>, tipična osnovna šola 7,500 USD na leto, ali 2,3 USD/m<sup>2</sup>, klimatizirana poslovna stavba z intenzivno osvetljava 7,5 USD/m<sup>2</sup> in neklimatizirana poslovna stavba z normalno osvetljava 0,5 USD/m<sup>2</sup>.

Drugi del predstavljajo vplivi na prodajo. Študija verige blagovnic v ZDA je pokazala, da je prodaja za 40 % večja v trgovinah z dnevno svetlobo (svetlobniki) kot v tistih brez njih. Pričakujejo, da bi se povprečna prodaja z osvetljevanjem z dnevno svetlobo dvignila od 0,2 USD/m<sup>2</sup> na 0,26–0,29 USD/m<sup>2</sup>. V Costco store je leta 1999 instalacija svetlobnikov na 5 % površine od 15.000 m<sup>2</sup> povzročila letni prihranek energije 0,15 kWh/m<sup>2</sup> leto ali 23.000 USD na leto.

Kar nas posebej zanima, pa je vpliv dnevne svetlobe na zdravje in posredno ali neposredno na produktivnost. Po podatkih U.S. Green Building Council (2006) dnevna svetloba poveča produktivnost za skoraj 7 %, individualen nadzor temperature za 3,6 %, v šolah so rezultati testov za 20 % boljši, v

uradih povečanje produktivnosti 2–16 % in 15–40 % manj izostankov z dela.

Raziskava Daylighting in Schools, ki je obravnavala odnose med vlivom dnevne svetlobe in človekovim odzivom in ki je zajela 21.000 učencev v treh državah: Kaliforniji, Koloradu in Washingtonu, je bila prva študija, ki je pokazala čisto in nedvomno povezavo med dnevno svetlobo in učinkovitostjo v šolah. Učenci v prostorih z naravno svetlobo so za 26 % boljši pri branju in za 20 % boljši pri matematiki. Podobno so učenci v prostorih z največjimi okenskimi odprtini za 15 % bolj napredovali pri matematiki in za 23 % pri branju. Učenci z največjo stopnjo dnevne svetlobe so imeli v primerjavi z učenci z najmanjšo od 7 % do 18 % višje ocene. Študije kažejo, da je dobro načrtovana uporaba dnevne svetlobe povezana s povečano učinkovitostjo študentov, kar dokazujejo 13–26 % višje ocene pri standardiziranih testih, medtem ko je slaba dnevna osvetlitev povezana s slabšimi rezultati (Rosenberg, 2003).

The Department of Education of Alberta, Canada je izvajal dvoletno raziskavo, kjer so ugotovili, da se učenci pri svetlobi, ki vsebuje celoten vidni spekter, učijo hitreje, imajo višje ocene, rastejo hitreje, imajo za 1/3 manj izostankov zaradi bolezni in imajo za 2/3 manj lukenj v zobeh. Na zadnje ima vpliv UV del spektra sončnega sevanja, ker ultravijoličasta svetloba spodbuja proizvodnjo vitamina D v koži. To verjetno pomaga telesu bolje absorbirati kalcij in s tem zmanjševati pojavljanje lukenj v zobeh.

Raziskave na Švedskem so pokazale, da lahko delo v razredih brez dnevne svetlobe zmede osnovne hormonske vzorce in zato vpliva na sposobnost učencev za koncentracijo in sodelovanje in ima sčasoma vpliv na rast in odsotnost zaradi bolezni.

Spremembe žariščne razdalje omogočajo trening očesnih mišic, njihovo sproščanje in tako vplivajo na zdravje očesa. Za to so potrebni čim bolj neovirani pogledi skozi okna. To je odvisno od položaja, oblike, velikosti in lastnosti zasteklitve. Pri pasivni hiši je deklarirana vrednost prepustnosti za dnevno svetlobo najmanj  $\tau_v = 0,5$ , ta podatek velja za idelane razmere, pravokotno sevanje in čiste površine na obeh straneh zasteklitve. Če upoštevamo še ta dva faktorja, pridemo na  $\tau_v = 0,36$ , kar pomeni, da v najboljšem primeru pride v notranjost polovica, v realnem pa ena tretjina razpoložljive dnevne svetlobe! Dnevna svetloba zagotavlja bolj kakovostno osvetlitev, stimulira vid in je pomembna

komunikacija med notranjim in zunanjim prostorom. Posreduje informacije o dnevnem času, sezoni in vremenskih razmerah. Stalno spreminjanje količine in kakovosti dviga koncentracijo in odzivnost.

Podobno velja tudi za sluh in voh.

Koeficient sončnega sevanja skozi zasteklitve – g je vsota transmisije sončnega sevanja in dela sončnega sevanja, ki se absorbira v steklih in potem prenaša v prostor. V ogrevalni sezoni je zaželeno, da čim večji delež kratkovalovnega sevanja, od katerega vidni del predstavlja približno 46 %, vstopi v prostor. Istočasno želimo čim manj toplote izgubiti iz prostora v zunanost. Vsaka intervencija v okviru zasteklitve, ki zmanjša prenos toplote navzven, žal tudi povzroči zmanjšanje transmisije sončnega sevanja v prostor.

Po podatkih podjetja Pilkington, ki je eden od največjih proizvajalcev stekla na svetu (Building Products – UK), je pri dvojnem izolacijskem steklu (čista zunanja šipa, polnilo argon 16 mm, notranja šipa z nizko emisijskim premazom) U zasteklitve 1,1 W/m<sup>2</sup>K, prepustnost za vidno svetlobo  $\tau_v = 0,58$  in celotna prepustnost, g = 0,47 (Insuligh + Optitherm) oziroma 0,65 in 0,42 (Insulight + Optifloat). Proizvajalci stekel in zasteklitve, ki pri U zasteklitve 0,75 W/m<sup>2</sup>K dosežejo prepustnost za dnevno svetlobo najmanj C = 0,5, v propagandnih materialih pasivnih hiš niso navedeni.

Aresteh (Aresteh, 2003) navaja kot ciljno vrednost bodočih zasteklitve z visoko stopnjo toplotne izolativnosti U = 0,57 W/m<sup>2</sup>K, v sredini zasteklitve, ki se lahko doseže s tremi stekli, z dvema nizkoemisijskima premazoma in kriptonom kot polnilom med stekli. Če upoštevamo še vplive okvira in distančnikov, je realna dolgoročna vrednost U = 0,68 in g = 0,44.

Ker problematiziramo predvsem prepustnost za dnevno svetlobo, je treba poudariti, da velja podatek  $\tau_v = 0,58$  za pravokotno sevanje na zasteklitve in za čiste površine na notranji in zunanji strani. Faktorja zmanjšanja prepustnosti sta za mestno okolje v obih primerih 0,8, tako dobimo 0,58 x 0,8 x 0,8 = 0,37, kar je veliko manj kot je deklarirana minimalna vrednost za pasivno hišo, pri konkretnih primerih pa se ta podatek praviloma ne navaja.

Po izhodiščih za pasivno hišo je U zasteklitve manj kot 0,75 W/m<sup>2</sup>K in prepustnost za vidno svetlobo najmanj 0,5. Pilkington v svoji ponudbi navaja tip trojne zasteklitve z najmanjšim U = 0,74 W/m<sup>2</sup>K (steklo Optitherm SN + argon + Optifloat Clear + argon + Optitherm SN,  $\tau_v = 69$  %, g = 0,31).

Vloga koeficienta  $U$  je pomembna v podnebnih conah, kjer je predvsem potrebno gretje. V mešanih podnebnih conah, kot je tudi slovenska, je predvsem pomemben koeficient sončnega pritoka  $g$  in sposobnost spre-

minjanja iz visokega za ogrevalno sezono na nizkega za hladilno sezono. To dinamično prilagajanje je skladno s konceptom dinamičnega, bioklimatskega načrtovanja bivalnega in delovnega prostora. Omogočiti

je treba čim večjo prepustnost za vidni del sončnega sevanja skozi zasteklene odprtine  $\tau_v$ ,  $g$  pa uravnovati z zunanjimi senčili ali z nočno izolacijo. Ta ukrep je v slovenskih pravilnikih že prisoten.

#### 4 • FAKTOR UMAZANOSTI STEKEL

V realnem okolju so zasteklitve izpostavljene zunanjim vplivom: od nanosov raznih delcev, ki nastajajo pri izgorevanju in prahu, do kemičnih sprememb na steklenih površinah, ki nastajajo predvsem zaradi vpliva žveplovega dioksida. Ti vplivi, vključno z »vzdrževanjem dostopnosti dnevne svetlobe« ali kot temu pravimo tudi čiščenje, so pri komercialnih podatkih o lastnosti zasteklitve večinoma zamolčani. Seveda je stopnja zmanjšanja transmisije odvisna od lokacije in pogostosti čiščenja. Po Illuminating Engineering Society of North America je faktor vpliva lokacije na zmanjšanje transmisije v čistem okolju 0,9,

v mestnem 0,8 in v zelo umazanem 0,7, po nekaterih virih celo 0,4! Zato, da se faktor umazanosti ne zniža pod 0,8, je potrebno v neindustrijskih območjih čiščenje na 2–3 mesece in v industrijskih conah na 2–6 tednov.

Poleg stopnje transmisije skozi odprtine na raven osvetlitve in na njeno razporeditev v prostoru vpliva tudi absorptivnost oziroma reflektivnost notranjih površin, kar je predvsem povezano z njihovo barvo in vzdrževanjem. Notranja distribucija dnevne svetlobe je pomemben faktor pri njenem optimalnem izkoriščanju. Pri tem ne moremo govoriti samo

o bivalnem, ampak tudi o delovnem okolju, ker med njima ni nobene razlike. Angleški The Factory Act iz leta 1937 (!) določa časovna obdobja za čiščenje, vzdrževanje in barvanje notranjih površin prostorov.

Med tem ko se pri umetnem osvetljevanju faktor vzdrževanja upošteva pri dimenzioniranju svetil, je tak način reševanja pri naravnem osvetljevanju problematičen. Težko si predstavljamo povečano velikost okenskih površin zaradi zmanjšanja njihove učinkovitosti, ki ga povzročijo umazane šipe. Načeloma ne bi smelo biti zmanjšanje večje kot 0,8 vrednosti čistih površin. Seveda je to 0,8 od prepustnosti sistemov zasteklitve, ki že sami povzročajo zmanjšanja okoli 0,5 za globalno sevanje pri  $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  in deklarirano zmanjšanje na manj kot  $\tau_v = 0,5$  za vidno svetlobo.

#### 5 • PREZRAČEVANJE

Cilj prezračevanja ni samo dovod svežega zraka v prostor, da bi znižali stopnjo onesnaženosti na varno in sprejemljivo raven. Onesnaženje povzročijo tudi telesne vonjave, vlaga zaradi dihanja in industrijski vplivi.

Novi predlog slovenskega pravilnika o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije navaja 0,5–0,7-kratno izmenjavo zraka v prostoru na uro. Če bi uporabljali princip pozitivne intervencije, bi to pomenilo najmanj 0,7. V praksi pa to pomeni ne manj, ampak tudi ne več. V to silijo druge omejitve in komoditeta, ker je najlažje deklarativno zmanjšati porabo energije za ogrevanje z manjšo stopnjo prezračevanja. Ob tem je treba povedati, da imajo količine prezračevanja skrit še en kavelj: odstotek ljudi, ki to vrednost še sprejmejo. Le-ta je v našem primeru 70 %, kar pomeni, da imamo 30 % ljudi, ki se ne počutijo niti dobro, niti nevtrarno, ampak slabo!  $30 \text{ m}^3$  na uro na osebo je zahteva, ki temelji na dovoljeni količini  $\text{CO}_2$  v zraku, nima pa s kvaliteto zraka nobene zveze. To je fiziološki minimum.

Na splošno je lahko  $\text{CO}_2$  kontrola seveda čisto učinkovit način uravnavanja prezračevanja. Ker ne loči naravnega in umetnega, mehanskega prezračevanja, lahko prispeva k

zmanjšanju porabe energije, ki je potrebna za prezračevanje, ker se, dokler je naravno prezračevanje dovolj veliko, mehansko sploh ne vključi. Zato je tesnjenje stavbe nad vrednosti, ki omogočajo zadostno izmenjavo zraka, nepotrebno, tesnjenje pod  $n = 0,5/\text{h}$  pa popolna neumnost.

Sterilen zrak na splošno zdravju lahko le škodi, čist podeželski zrak ima 350 milijonov različnih delcev na  $\text{m}^3$ . Organizmi na zemlji delujejo v določenih tolerančnih pasovih in so se na tak način delovanja in na spremembe v evoluciji prilagodili. Tu gre za spremembe temperature, vlage in spremembe razmerij in količin različnih snovi v zraku v različnih časovnih ciklikih.

V pasivni hiši naj bi bil zagotovljen zdravju neškodljiv zrak z minimalno količino  $\text{CO}_2$ !

Naslednji problem je rekuperacija in/ali pranje zraka.

Za zagotovilo kakovosti zraka v prostorih ni dovolj samo minimalna količina  $\text{CO}_2$ . Preveč enostavno je vgraditi v stavbo razne naprave za pranje zraka in razglasiti, da so z njimi zagotovljeni fiziološki minimumi. Tak pristop je kapitulantski. Čist zrak je treba zagotoviti v zunanjem okolju, brez demagoških izgovorov.

Če bodo šli trendi tako, kot grede, nam bodo nazadnje zaradi »ekonomskih« razlogov natknili maske in prepričevali množice z raznimi piarovskimi fintami, da je to najboljša rešitev. Modrovanje olimpijskih veljakov o kakovosti zraka v Pekingu med olimpijskimi igrami in način poročanja v medijih kaže, da so stvari še mnogo hujše, kot si jih predstavljajo. Za nekaj deset maratoncev je treba zagotoviti kakovosten zrak, kaj se je in se bo dogajalo z nekaj deset milijoni prebivalcev mesta, nikogar ne zanima.

V časopisu Delu smo imeli priložnost prebrati ugotovitve nemškega raziskovalca Wabnerja (Wabner, 2008), ki ugotavlja, da gre v prijetno dišečem ozračju snov bolje v glavo, da so v razredih, ki jih dišavijo, učenci bistveno manj agresivni in veliko bolj pozorni in se po vsem sodeč tudi bolje učijo. Raziskava v ZDA je pokazala, da vonj po limoni prepolovi število pravopisnih napak. V stavbi Kajima korporacije v Tokiju, v kateri je veliko vse mogoče avtomatizacije in vrhunske informacijske tehnologije, so pred leti v prostore spuščali na vsakih petnajst minut izbrane vonjave: vrtnica, gorski bor, morska obala. Na vprašanje, zakaj je to dobro, so odgovorili, da v teh prostorih delajo inženirji na izredno dragih projektih in da jim je treba zato, da so čim bolj učinkoviti in da delajo čim manj napak, zagotoviti optimalne delovne razmere.

## 6 • PREKINJENO OGREVANJE IN NOČNA IZOLACIJA

Račun toplotnih izgub pri pasivni hiši temelji na prilagojeni stacionarni metodi, ki zadostuje za dokazovanje izpolnjevanja v predpisih zahtevanih vrednosti. Dejanski porabi se približajo lahko le dinamične metode računanja porabe energije za grejje, hlajenje in osvetljevanje.

Pri kriteriju, ki se pri pasivni hiši uporablja za toplotno prehodnost, koeficientu toplotne prevodnosti  $U$  in čim bolj nespremenjenem časovnem profilu temperature zraka, razporeditev posameznih plasti v ovoju stavbe, na primer položaj toplotne izolacije zunaj, notri ali v sredini, nima vpliva.

Pri dinamični toplotni analizi, kjer upoštevamo zunanje vplive, spremembe temperature zraka in intenzivnosti sončnega sevanja ter spremenljive notranje zahteve, imajo različni položaji toplotne izolacije, povezani s sistemom prekinjenega ogrevanja, ki zahteva možnost usklajenega odziva temperature površin prostora in dotoka toplote, velik vpliv.

Na to se navezuje tudi uporaba nočne izolacije. Po več kot petnajst let stari študiji (Krainer, 1990) se možni prihranki gibljejo v Ljubljani v

januarju pri toplotni izolaciji na zunanji strani, velikosti okna 30 % floorne površine in južni orientaciji med 40–60 %, pri zahodni orientaciji med 25–40 %. Račun temelji na vzorčni dvonadstropni stavbi s površino 160 m<sup>2</sup>, z maksimalno možno dimenzijo okna na južni strani, z  $U$  neprozornih delov ovoja 0,3 W/m<sup>2</sup>K in odprtine 3,4 (dvojno izolacijsko steklo, ki je takrat bilo na trgu). V primeru boljše toplotne izolativnosti se deleži prihrankov seveda relativno zmanjšajo. Pri prenovljeni stavbi iz petdesetih let v Ljubljani (Krainer, 2005) je pri uporabi nočne izolacije poraba energije za ogrevanje manjša za okoli 5 % in pri prekinjenem ogrevanju za okoli 20 %. Prenovljena stavba ima nespremenjene okenske odprtine, izvedene po takratnih predpisih. Toplotna prevodnost ovoja je pri strehi 0,16 W/m<sup>2</sup>K, pri zunanjih stenah 0,19 in pri oknu 1,4 W/m<sup>2</sup>K. V tej stavbi je bila v sezoni 2005/2006 povprečna poraba v 57 stanovanjih 80 kWh/m<sup>2</sup>a, po obstoječem pravilniku bi morala biti največ 57,20. Rezultati stacionarnih in dinamičnih simulacij več variant različnih temperatur zraka, prekinjenega

ogrevanja in nočne izolacije so bili med 30 in 56 kWh/m<sup>2</sup>a. Razen v enem stanovanju, kjer je bila poraba 25 kWh/m<sup>2</sup>a, ni bila poraba manjša kot 50 kWh/m<sup>2</sup>a.

To so realna izhodišča za iskanje možnosti in ukrepov za zmanjšanje porabe energije za ogrevanje. Očitno je, da je problem predvsem način uporabe. Tu sta rešitev dva med seboj povezana ukrepa. Prvi je stalni monitoring najpomembnejših parametrov notranjega okolja po posameznih prostorih ali skupinah prostorov, kjer morajo biti prikazane fizikalne količine, na primer temperatura zraka in osvetljenost, ter s tem povezani stroški. Drugi je povezan z načrtovanjem bivalnega prostora, kjer mora biti omogočena individualna regulacija okoljskih parametrov v posameznih prostorih. Z drugimi besedami, v eni sobi je lahko okno odprto, v drugi zaprto, vedeti pa je treba, koliko to stane. Od tod naprej lahko šele govorimo o kakovosti življenja. Za racionalno proizvodnjo toplote so dobrodošle vse tehnološke izboljšave naprav, a ne na račun zdravega bivalnega okolja.

Eden od potencialov aktivne, dinamične hiše je tehnologija krmiljenja temperature notranjih površin prostorov, ne samo tal, ampak tudi sten in stropov, v okviru veliko površinskih grelnih in hladilnih sistemov.

## 7 • VPLIVI IN POSLEDICE

Cilj vseh opisanih intervencij v okviru bioklimatskega načrtovanja je zdravo bivalno in delovno okolje in ne čim manjša poraba energije, kot je to pri konceptu »pasivne hiše«.

V slovenskem pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah je največja dovoljena vrednost  $U$  okna 1,4 W/m<sup>2</sup>K. To je okno z dvojno izolacijsko zasteklitvijo, s polnilom argonom in z enim nizkoemisijским premazom. Čista zasteklitve v tem primeru prepušča okoli 70 % dnevne svetlobe. Okno z  $U = 0,6$  W/m<sup>2</sup>K, ki je izhodiščni element v konceptu pasivne hiše, s trojno izolacijsko zasteklitvijo in kriptonom za polnilo prepušča okoli 50 % dnevne svetlobe. Poveča se toplotna izolativnost, istočasno se zmanjša dotok dnevne svetlobe v prostor.

Da bi ugotovili, kaj to pomeni v toplotni in svetlobni bilanci stavbe, smo na FG napravili primerjalno analizo 27ih naključno izbranih stavb z uporabo omenjenih oken (Krainer, 2007). Primerjali smo spremembo porabe energije za ogrevanje s spremembo stopnje

osvetljenosti pri zasteklitvah z  $U = 1,4$  W/m<sup>2</sup>K, prepustnostjo za vidno svetlobo,  $\tau_v = 0,7$  in globalno prepustnostjo za sončno sevanje,  $g = 0,65$  in  $U = 0,6$  W/m<sup>2</sup>K, vidno,  $\tau_v = 0,5$  in globalno  $g = 0,5$ . Povprečno se je letno zmanjšala poraba energije za ogrevanje za 15 %, ob tem pa se je povprečno poslabšala osvetlitev z dnevno svetlobo za 25 %. V 13 primerih se je osvetljenost zmanjšala za 40 %. V dveh primerih je pri zmanjšanju porabe energije za ogrevanje od 0,7–1,5 % prišlo do poslabšanja osvetlitve za 29 %. V najslabšem primeru je pri zmanjšanju porabe energije za ogrevanje za 13 % prišlo do poslabšanja osvetlitve za več kot 60 %! Te rezultatov, če jih primerjamo s posledicami in vplivi dnevne svetlobe na zdravje, počutje in učinkovitost delovanja, ni potrebno posebej razlagati.

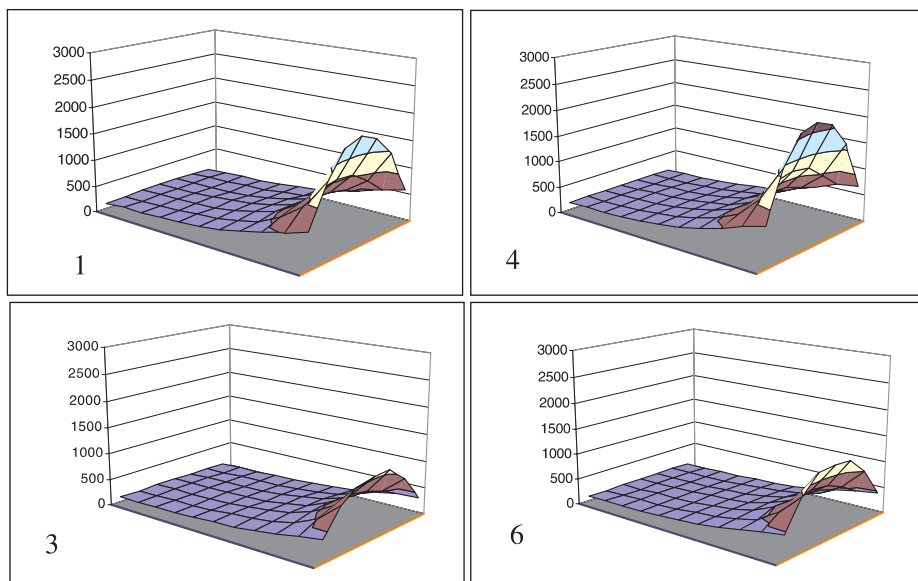
Vpliv dvojne in trojne zasteklitve, (proizvajalec stekel Pilkington) na specifično letno porabo energije za ogrevanje smo primerjali tudi na vzorčni stavbi. Struktura dvojne zasteklitve pri  $U$  neprozornega dela ovoja 0,15 W/m<sup>2</sup>K in

izmenjavi zraka  $n = 1$  je bila: steklo optifloat clear 4 mm + argon polnilo 15 mm + steklo optitherm S3 4 mm,  $U = 1,12$ ,  $g = 61$  %,  $\tau_v = 76$  %, struktura trojne pa: steklo optitherm SN 4 mm + argon polnilo 12 mm + steklo optifloat clear 4 mm + argon polnilo 12 mm + optitherm SN 4 mm,  $U = 0,74$ ,  $\tau_v = 66$  %,  $g = 50$  %.

Specifična letna poraba energije za ogrevanje je bila v primeru z najmanjšo dovoljeno velikostjo okenske odprtine in dvojno zasteklitvijo 68,33 kWh/m<sup>2</sup>a, v primeru trojne zasteklitve pa 67,80 kWh/m<sup>2</sup>a. Za toliko, kot se je povečal toplotni upor zasteklitve, so se zmanjšali solarni pritoki, z njimi pa tudi stopnja osvetlitve prostora z dnevno svetlobo z vsemi posledicami. Pri takem rezultatu je kakršnakoli »ekonomska« analiza nesmiselna. Ob tem se je povprečna letna osvetljenost z dnevno svetlobo zmanjšala za 13–15 %.

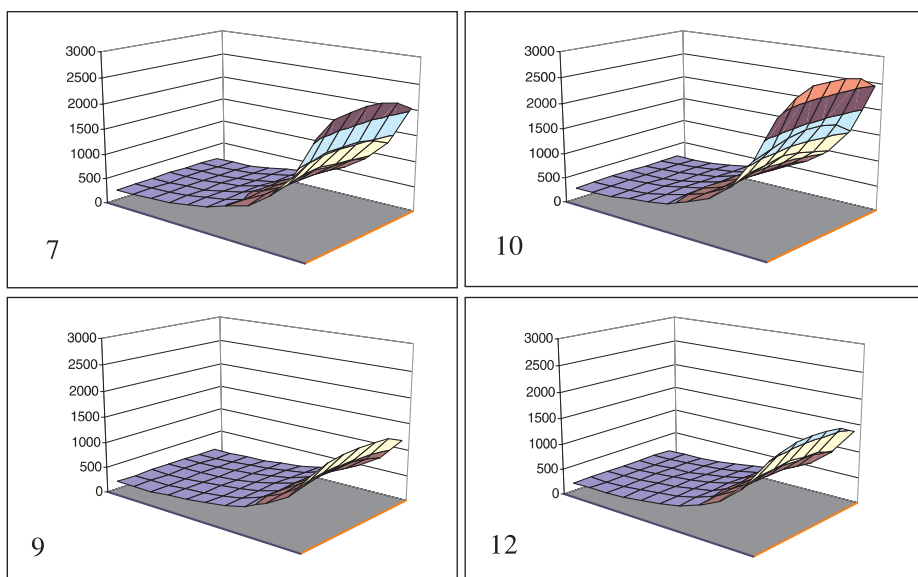
V primeru z največjo možno okensko odprtino je bila specifična poraba energije za ogrevanje pri dvojni zasteklitvi 59 kWh/m<sup>2</sup>a in pri trojni zasteklitvi 55 kWh/m<sup>2</sup>a, to je 7 % manjša poraba. Ob tem se je povprečna letna osvetljenost z dnevno svetlobo zmanjšala za 14 % v idealnih razmerah, ki jih predstavljajo podatki proiz-





Slika 5 • Primerjava osvetljenosti pri odprtini 14 % talne površine.

- 1 - trojna zasteklitev, čisto, vpadni kot sončnega sevanja 90°.  
 4 - dvojna zasteklitev, čisto, vpadni kot sončnega sevanja 90°.  
 3 - trojna zasteklitev, umazana, vpliv vpadnega kota sončnega sevanja.  
 6 - dvojna zasteklitev, umazana, vpliv vpadnega kota sončnega sevanja.  
 14 % povprečno letno zmanjšanje osvetlitve pri trojni čisti zasteklitvi in vpadnem kotu sončnega sevanja 90° (1–4). 38 % povprečno letno zmanjšanje osvetlitve pri trojni umazani zasteklitvi in dejanskem vpadnem kotu sončnega sevanja v primerjavi s čisto zasteklitvijo in vpadnim kotom sončnega sevanja 900 (4–6).



Slika 6 • Primerjava osvetljenosti pri odprtini 42 % talne površine: največja možna odprtina.

- 7 - trojna zasteklitev, čisto, vpadni kot sončnega sevanja 90°.  
 10 - dvojna zasteklitev, čisto, vpadni kot sončnega sevanja 90°.  
 9 - trojna zasteklitev, umazana, vpliv vpadnega kota sončnega sevanja.  
 12 - dvojna zasteklitev, umazana, vpliv vpadnega kota sončnega sevanja.  
 72 % povprečno povečanje osvetljenosti pri največji možni odprtini v primerjavi z najmanjšo dovoljeno

vajalcev, pri čistem steklu in vpadnem kotu sončne svetlobe 900. V realnih razmerah, kjer se upošteva faktor umazanosti stekel in

dejanski vpadni koti sončnega sevanja, pa se osvetljenost z dnevno svetlobo zmanjša za 38 % (sliki 5 in 6).

Glavni problem pri realizaciji intervencij na ravni tkiva stavbe, ki se poskuša približati naravnim sistemom tako iz flore kot tudi iz favne, je kritično pomanjkanje strokovnjakov tako v fazi projektiranja, izvedbe in morda še najbolj v fazi vzdrževanja. Za to je v prvi vrsti kriv sistem šolanja na vseh ravneh. Namesto da bi sedemdeseta leta povzročila pospešek in preskok tehnološko-informacijskega praga, je zahtevnost problematike harmoničnega vklapljanja grajenega okolja v, recimo temu, naravno okolje, kjer so potrebna nova znanja fizike, kemije, kontrolnih sistemov, gradbenih in instalacijskih tehnologij, povzročila predvsem na ravni visokega šolstva, ki je za celoten sistem šolanja najbolj odgovorno, jezevski sindrom. Res je tudi, da se je iz akademskega okolja zelo težko boriti proti finančno močnim kavbojskim graditeljem, za katere je seveda vsako »odvečno« znanje motnja v sistemu pridobivanja profitov. Britanska vlada je celo sprožila antikavbojsko iniciativo na področju graditeljstva. Ker je na področju izgradnje bivalnega prostora lastništvo zelo razpršeno, morajo odgovorna ministrstva poskrbeti za ustrezne zaščitne dokumente in zakonodajo, med tem ko lahko veliki investitorji poskrbijo zase, na primer državna cestna infrastruktura. Neaktivnost in ignoranca uprave in pravosodja povzročata situacije, ki imajo lahko stoletne posledice. Tu gre predvsem za omejevanje pravice do sonca in do pogledov, ki sta bili v rimskem pravu natančno regulirani. Stanje na tem področju, kjer odgovorni strokovnjaki pogosto ne ločijo azimuta od elevacije in vladavino kavbojev, odlično ponazarja problem ograje ob Blejskem jezeru. O tem, kako so take probleme reševali »zaostali Balkanci«, si lahko zainteresirana strokovna javnost pogleda v kakšni knjigi prof. Dušana Grabrijana.

Ne smemo pozabiti, da naš glavni cilj ni le oblikovanje energetske učinkovitih elementov in/ali stavb, sončnih hiš ali hiš z nizko porabo energije, ki so lahko tudi bioklimatske, ali pasivnih hiš, ki zaradi svojih osnovnih izhodišč, zmanjševanja komunikacij med notranjim in zunanjim okoljem, ne morejo biti bioklimatske hiše.

Cilj energetskih analiz je odpiranje možnosti, pozabljenih in novih možnosti, oblikovanja ugodnih, udobnih in prijetnih bivalnih in delovnih razmer, ki so eden od osnovnih dejavnikov optimalnega psihofizičnega stanja človeka in s tem tudi faktor optimalno produktivnega človeka. Poskušamo ga doseči z racionalno porabo energije, s čim manjšo porabo neobnovljivih virov in nadomestitvijo z obnovljivimi, kar je tudi pomembna strateška kategorija ter z večjo cenovno učinkovitostjo

delovanja sistema okolje-stavba-človek-energija.

Poskusi resnega in dolgoročnega reševanja te problematike z varčno rabo energije (VRE) in obnovljivimi viri energije (OVE) so na globalni ravni, o kateri je toliko blebetanja na vseh možnih področjih človekovih pozitivnih in negativnih aktivnosti, doživljala obglavljanja, tako kot predlog nemške kanclerke Angele Merkel na zadnjem G8 summitu v Heiligendammu. Njen predlog za zmanjšanje emisije CO<sub>2</sub> za 50 % v 50 letih in 50 % zmanjšanja maksimalnega dviga globalne temperature se je končal z uradno izjavo, da so vodje G8 soglašali, da si bodo prizadevali za znatna, a ne določena zmanjševanja emisij toplogrednih plinov in da bodo sodelovali z ZN pri doseganju novega sporazuma o boju proti globalnemu segrevanju do 2009.

Ob tem posamezne države EU vodijo svoje politike za uresničevanje VRE & OVE iniciativ.

V evropski energetske izkaznici, ki jo zahteva Direktiva 2002/91/ES Evropskega parlamenta in Sveta

z dne 16. decembra 2002 o energetske učinkovitosti stavb, se zahteva izključno dokumentacija porabe energije kot omejevalni ukrep, med tem ko na primer ameriška energetska izkaznica LEED daje prednost zdravemu in udobnemu okolju pred varčevanjem z energijo.

Po Selkowitzu, vodji oddelka za gradbeno tehnologijo na Environmental Energy Technologies Division pri Lawrence Berkeley Lab, je zanimivo razmerje med stroškom energije na zaposlenega/m<sup>2</sup>, ki je 20 USD in stroškom zaposlenega/m<sup>2</sup>, ki je 2000 USD (Peyton, 1999). Celo majhno izboljšanje produktivnosti ali še bolj skrajšanje odsotnosti z delovnega mesta zaradi bolezni se veliko bolj splača kot varčevanje z energijo.

Bryan (Bryan, 2007) je predstavil primer, v katerem za 0,5 % večja produktivost pokrije celotne stroške za ogrevanje, 6,6 % večja produktivnost pa lahko pokrije stroške za celo stavbo.

Naše prvobitne predstave o zavetju so ogrožene zaradi uporabe izločevalnega sistema pri oblikovanju bivalnega okolja, kjer je cilj maksimalno omejevanje komunikacij, ki jih predstavljajo toplotni in svetlobni tokovi ter optične in slušne komunikacije z namenom, da se doseže minimalna poraba toplotne energije.

Arhitektonski aktivni prostori in gradbene funkcionalne cone so več kot samo vsota fizičnih delov, so med seboj povezana in odvisna skupnost.

Bioklimatski princip povezuje samozadostnost, decentralizacijo in avtonomijo, zavedanje o omejenih virih in veselje do naravnega bivanja.

## 8 • SKLEP

Zgodba se začne leta 1973, ko so arabski dobavitelji nafte kot odgovor na jom kipur oziroma ramazan (vojno) povečali ceno nafte za štirikrat, na 12 USD za sodček. Leta 1980 se je cena dvignila na 40 USD in danes se bliža 100 USD. Vmes se je problematiziralo še vprašanje vplivov toplogrednih plinov na okolje.

Mrhovinarji globalnega managementa, di distribucijski del proizvodno potrošnega socioekološkega kroga iščejo v načetem sistemu šibka mesta, skozi katera bi lahko izsesali čim večje profite. Kakšne učinke bo to imelo na celoten sistem in njegove dele, jih seveda ne zanima. Cilj, manjša poraba energije, je seveda idealen, subjekti pa so ljudje, stavbe in naprave v stavbah. Ljudje so najmanj zanimivi. Zmanjšanje porabe energije pri ljudeh lahko dosežemo z zmanjšanjem količine ali spremembo izbora hrane in s povečanjem stopnje oblečenosti v ogrevalni sezoni. Oboje je marketinško nezanimivo ali celo nevarno. Pri stavbah je stvar bolj zapletena. Veliko se da narediti v fazi projektiranja in oblikovanja zasnove. Vendar je tu spet problem, ker so dobri projektanti predragi in zmanjšujejo profite, slabi pa malo ali nič ne prispevajo k izboljšanju delovanja sistema in se spremenijo v slabo plačane marionete s tem ustrezno stopnjo pomembnosti. Pri strukturi ovoja je pomemben del toplotna izolacija,

ki postaja vedno manj zanimiva, ker je njen delež v ceni stavbe zanemarljiv in vedno bolj transparenten.

Vse se vrtilo okoli cene energije in porabe, ki se pojavlja v dveh delih: v količini, vlaganju vanjo in v manipuliranju z obojim. Cena v resnici ali navidezno raste, količina porabljene energije naj bi padala, a se to ne dogaja, ker je globalni sistem tako uglašen, da se vlagati v zmanjšanje porabe v glavnem ne splača. Edina rešitev je najprej čim večja, v 30–50 letih pa popolna energetska neodvisnost, povezana z ustreznim psihološko pripravo, ki se ji reče izobraževanje od rojstva do smrti. Dinamične zdrave špartanske bivalne in delovne razmere pa naj bodo moda, če to da dobre rezultate.

Čeprav obstoji vrsta različnih razlag geodizajna, geopolitične dimenzije industrijskega oblikovanja, lahko nekatere uporabimo tudi pri stavbah, ki so navsezadnje neka bolj ali manj posrečena kompozicija industrijskih proizvodov. Oblikovanje se deli na tri glavna področja: komunikacijo, proizvodnjo in preživetje. Komunikacija v tem primeru ni del distribucije, katere glavna naloga v globalnem svetu postaja delanje megle med proizvodnjo in potrošnjo s profitom kot glavnim ciljem, ampak komunikacija med izdelkom in uporabnikom. Tukaj ni potrebna razlaga nekoga tretjega »neumni« množici, kaj potrebuje. Stopnja znanja, ki je

povezana z ustreznim izobraževanjem in neposredna informacija, brez marketinških predelav, podprta s napredno informacijsko tehnologijo, to neposredno komunikacijo omogočata. Pri preživetju pa gre za preživetje obeh, stavbe in njenih delov ter človeka, ki jo uporablja.

Slovenski filozof Tine Hribar je označil 19. stoletje za stoletje produkcije, 20. stol. za stoletje organizacije in 21. stol. za stoletje orientacije in smisla.

Za cilj pasivne hiše je uporabljena vrednota 19. stoletja: produkcija oziroma poraba... Cilj je urejanje notranjega okolja z napravami in opremo in ne njegovo urejanje z dinamičnim ovojem stavbe in njeno prilagodljivo zasnovo. Taka stavba je še vedno Le Corbusierjev stroj za bivanje, kar pa je, kot pravi F.L.Wright, le začetek, stroj za bivanje je najmanj, kar je (Wright, 1953).

Če je romantizem izhajal iz dobe vzroka, bi lahko postmodernizem s svojimi simboličnimi kvalitetai izhajal iz dobe vrednot. Postmodernizem v arhitekturi ni sprožil nobenih zahtev po znanstvenih dokazih svoje utemeljenosti, nobenih predpisov, standardov, »ekonomskih« ocen, kot se to zahteva pri bioklimatskih arhitekturnih intervencijah (Stasinopoulos, 1993). Po anketah v EU in ZDA varčevanje z energijo ljudi bolj malo zanima. V Eurobarometru 64: Odnos do energije, januar 2006, je 43 % anketirancev za več informacij o varčni rabi energije, 40 % za davčne olajšave, 32 % za višje standarde za naprave, ki trošijo energijo, 21 % za strožji nadzor nad uporabo standardov, ki urejajo

energetsko učinkovitost. To so lahko prioritete za ukrepanje na državni ravni. Na vprašanje, ali so pripravljene plačati več za energijo, proizvedeno iz obnovljivih virov energije je 54 % anketirancev odgovorilo NE.

Vedno bolj je jasno, da bioklimatsko orientirano načrtovanje dolgoročno ogroža profit, ki je novemu hrabremu svetu bolj pomemben kot veselje do življenja z naravo.

S filozofijo sodobnega marketinga bi lahko bioklimatsko načrtovanje vključili v sistem »modnih trendov«, kot je na primer postmodernizem, če sprejmemo razlago, da je pojem mode pri stavbah vprašljiv, in na tak bolj prepričljiv način povečali stopnjo percepcije množic. Slamnata streha je v nekaterih okoljih v Evropi postala statusni simbol, moda. Kakšna pa je razlika med slamnato streho na sodobno načrtovani stavbi in obleko z Armanijevo nalepko?

Ksenofon je zapisal v Memorabilijah: »njegovo (Sokratovo) mnenje o hišah, da je ista hiša

istočasno lepa in uporabna, je bila lekcija o znanju gradnje hiš, kakršne naj bi le-te bile: Takole se je lotil problema: »Če nekdo namerava imeti pravšnjo hišo, ali naj jo načrtuje tako, da je prijetna za življenje in čim bolj uporabna?« In ko so temu pritrdili: »Ali je prijetna,« je vprašal, »če je hladna poleti in topla pozimi?« In ko so se tudi s tem strinjali: »Torej v hiše z južno orientacijo sončni žarki prodirajo v stebrišča pozimi, med tem ko je poleti pot sonca naravnost nad našimi glavami in nad streho, tako da je tam senca. Če je to najboljša rešitev, bi morali graditi tako, da je južna stran višja, da dobi južno sonce in severna stran nižja, da obvaruje pred mrzlim vetrom. Na kratko rečeno, hiša, v kateri lastnik najde prijetno zavetje v vseh letnih časih in lahko varno hrani svoje premoženje, je istočasno najbolj prijetna in najlepša.« (400 pnš!) (Xenophon, 1997).

Vsaka stavba je izpostavljena široki pahljači razmer v okolju, njihova medsebojna delova-

nja določajo naravni zakoni. Roger Bacon je pred 400 leti zapisal: »Naravo lahko obvladamo le tako, da ubogamo njene zakone.« Za popolno predvidevanje delovanja stavbe bi potebovali možnost uravnovešenega spreminjanja problemskih parametrov, katerih velika množina in različne ravni to zelo otežujejo. Uporaba računov interakcij med notranjim in zunanjim okoljem kot edinih kriterijev pri oblikovanju stavb ima lahko absurdni vpliv na arhitekturo in je nesprejemljiva. Ovoj, ki razmejuje naravno in umetno okolje, ne more in ne sme povsem preprečiti pretoka energije, snovi in informacij. Ovoj kot neke vrste vmesnik mora omogočiti pozitivne manipulacije z njimi. Ovoj ne more biti zaprta škatla, katere namen je preprečevanje kakršnekoli komunikacije, ampak aktiven sistem, uravnovalec sprememb med naravnim in umetnim okoljem, sprememb, ki so neizogibne, zaželene, spodbujajoče in številne.

## 9 • LITERATURA

Aresteh, P.E., Future Advanced Windows for Zero-Energy Homes, ASHRAE Annual Meeting, 2003.

Bryan, H., Solar Today, American Solar Energy Society, sept/okt. 2007.

EC, Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential, 2006.

EC, Towards Sustainability: a European Community Programme of Policy and Action in Relation to the Environment and Sustainable Development, 1992.

Krainer, A., Perdan, R., Kraner G., Prenova večstanovanjske zgradbe v Ljubljani: Bioklim. zgr., 2005.

Krainer, A., Košir, M., interna raziskava, UL FGG KSKE, 2007.

Krainer, A., Košir, M., Kristl, Ž., seminar 27 študentov 4. letnika UNI, Zgradba, Okolje, Energija in 3. letnika VSŠ, Bioklimatske zgradbe, Konstrukcijska smer UL FGG, 2006/2007.

Krainer, A., Primerjalna analiza medsebojnega vpliva geometrije in strukture odprtine in prostora na energetsko bilanco prostora: doktorska disertacija, Ljubljana, 1990.

Peyton, C., Sunlight could perk up kids' grades, store profits, 1999.

Rosenberg, L., Health Benefits of Green Buildings, US Environmental Protection Agency, 2003.

Stasinopoulos, N. T., Twenty Years After, A Critical Review of Solar Architecture Between 1973-93, ISES conference 'Harmony with Nature' Budapest, 1993.

Stoops, J. L., A possible connection between thermal comfort and health, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, 2004.

UN, Rio Declaration on Environment and Development. The United Nations Conference on Environment and Development, 1992.

Vitruvius, On Architecture, (1. stol. pnš.), Harvard University Press, 1970.

Wabner, D., Boljše učenje v dišečih prostorih, Delo, 2008.

Wright, F. L., The Future of Architecture, MENTOR BOOK, 1953.

Xenophon, Memorabilia, Harvard University Press, 1997.



# POENOSTAVLJENA NELINEARNA POTRESNA ANALIZA MOSTOV

## SIMPLIFIED NONLINEAR SEISMIC ANALYSIS OF BRIDGES

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

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,  
Jamova 2, Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 624.21: 699.841: 531.25

**Povzetek** | Novi evropski standard Evrokod 8/2 za projektiranje mostov na potresnih območjih vsebuje poleg standardnih elastičnih metod analize tudi nelinearne metode analize. Ena izmed takšnih metod je N2 metoda, ki jo je razvil prof. Fajfar s sodelavci na IKPIR-u. V primerjavi s stavbami so pri uporabi te metode za analizo mostov potrebne določene spremembe. Nekaj jih je predlaganih v EC 8/2, nekaj pa jih predlagata avtorja na podlagi lastnih raziskav. V članku so opisane tudi omejitve N2 metode in opisan kriterij, s katerim lahko ocenimo njeno zanesljivost. Ugotovljeno je, da je metoda primerna za analizo mostov, v katerih na odziv dominantno vpliva ena nihajna oblika, katere efektivna masa znaša vsaj 80 % celotne mase konstrukcije. V splošnem je N2 metoda bolj uporabna za analizo krajših mostov dolžine do 500 m.

**Summary** | The new Eurocode 8/2 standard for the seismic design of bridges includes either the standard elastic as well as the nonlinear methods of the analysis. One of the nonlinear methods of the analysis is the N2 method, which was developed by Prof. Fajfar and his associates. Comparing to buildings, some modifications of the method are necessary when it is applied for the analysis of bridges. Some of the modifications are proposed in the EC 8/2 and some of them are proposed by the authors of the paper. The limitations of the N2 method are described as well as the criterion, which could be used for the estimation of its efficiency. The method is accurate enough when the response of the bridge is governed predominantly by one mode, with the effective mass exceeding the 80 % of the total mass of the structure. In general, the N2 method is more accurate in bridges that are shorter than 500 m.

### 1 • UVOD

Odziv mostov pri potresni obtežbi največkrat ocenjujemo s pomočjo različnih elastičnih metod, navkljub temu, da je ta odziv velikokrat izrazito nelinearen. Zato je lahko takšna ocena potresnega odziva precej groba, v posameznih primerih pa tudi popolnoma različna od dejanske. Zato so za njihovo analizo potrebne nelinearne metode. Slednje se z novimi standardi uvajajo v projektantsko prakso, kar je gotovo ena izmed večjih novosti glede na dosedanje načine projektiranja. Ne-

linearne metode analize so vključene tudi v zadnjo verzijo standarda Evrokod 8/2 (CEN, 2005) za projektiranje mostov na potresnih območjih, katerega uporaba je s 1. 1. 2008 v Sloveniji obvezna.

Na voljo je več takšnih metod. Najboljšo oceno potresnega odziva lahko v večini primerov dobimo s pomočjo nelinearne analize časovnega odziva. To je nelinearna dinamična metoda, ki pa je še vedno zapletena za uporabo v vsakdanji praksi. Za njeno pravilno uporabo je

potrebno imeti precej izkušenj na področju modeliranja nelinearnega dinamičnega obnašanja konstrukcij in tudi veliko izkušenj pri pravilni izbiri akceleroogramov, s katerimi upoštevamo potresno obtežbo. Za nelinearno dinamično analizo je potreben tudi ustrezen specializiran program.

Bolj enostavno nelinearno potresno analizo konstrukcij omogočajo različne poenostavljene metode. Med najbolj enostavnimi in najbolj uporabljanimi je N2 metoda (Fajfar, 2002), katere različica je vključena tudi v standarda Evrokod 8/1 (CEN 2004) in Evrokod 8/2 (EC 8/2). N2 metodo je razvil prof. Fajfar s sodelavci na IKPIR-u. Prvič je bila

predlagana leta 1987 (Fajfar in Fischinger, 1987). Njena uporaba za analizo mostov pa je bila prvič prikazana leta 1997 (Fajfar et al, 1997). Metoda vključuje dve vrsti analize: a) nelinearno statično analizo bolj natančnega modela konstrukcije, kjer je upoštevano več prostostnih stopenj (MDOF model) in b) nelinearno dinamično analizo poenostavljenega modela konstrukcije, kjer je upoštevana le ena prostostna stopnja (SDOF model). N2 metoda je bila že podrobno opisana v Gradbenem vestniku (Fajfar, 2002), zato tukaj predvidevamo, da jo bralec pozna.

N2 metoda je bila prvotno razvita in testirana na stavbah. Zato je njena osnovna varianta prilagojena predvsem temu tipu

konstrukcij. Na prvi pogled bi lahko rekli, da jo je za analizo mostov še lažje uporabljati, saj je njihov konstrukcijski sistem običajno navidezno bolj enostaven. Vendar je lahko potresni odziv mostov navkljub enostavnemu konstrukcijskemu sistemu precej zapleten in bistveno drugačen kot v stavbah, še zlasti v prečni smeri mostu. Zato so pri uporabi N2 metode potrebne določene spremembe, ki so prilagojene posebnostim v potresnem odzivu mostov. Osnovne značilnosti tega odziva, po katerih se mostovi razlikujejo od stavb, so opisane v 2. poglavju.

Posamezne spremembe pri uporabi N2 metode za analizo mostov so upoštevane tudi v standardu EC 8/2, v neobveznem dodatku H.

Za nekaj teh rešitev menimo, da niso najbolj primerne. Zato podajamo tudi svoje (glej 3. poglavje), in sicer na podlagi preteklih raziskav (Fajfar et al, 1997), (Isaković in Fischinger, 2006), (Isaković et al., 2008). Večina se jih nanaša na analizo mostov v prečni smeri.

Z N2 metodo se nelinearna potresna analiza bistveno poenostavi. Zaradi poenostavitve pa ima metoda tudi določene omejitve. Primerna je predvsem za analizo konstrukcij, kjer ni velikega vpliva višjih nihajnih oblik. Zato je v vsakem posameznem primeru potrebno ugotoviti, ali je N2 metoda primerna za analizo. Kriterij, ki ga predlagamo za oceno zanesljivosti N2 metode pri analizi mostov, je opisan v 4. poglavju.

## 2 • POSEBNOSTI POTRESNEGA ODZIVA MOSTOV

Za razliko od stavb, ki so običajno večetažne konstrukcije z enako visokimi podpornimi elementi, so mostovi v večini primerov enoetažne konstrukcije, ki so podprte z različno visokimi stebri. V znatnem številu primerov so mostovi v posameznih oseh podprti le z enim stebrom (običajno so takšni viadukti). Tako so za razliko od stavb podporni elementi razporejeni le v eni ravnini. Posledično ni elementov, ki bi stabilizirali rotacije konstrukcije v horizontalni ravnini preklade. Zato lahko na odziv mostu, predvsem v njegovi prečni smeri, pomembno vplivajo višje nihajne oblike. Njihov vpliv pa se lahko tudi zelo spreminja odvisno od intenzitete potresa oziroma tečenja posameznih stebrov.

Prekladna konstrukcija mostu je lahko zaradi običajno razmeroma velike dolžine podajna. Zato pri analizi mostov (večinoma v prečni smeri) pogosto ne moremo upoštevati predpostavke o neskončno togi horizontalni povezavi navpičnih nosilnih elementov, ki jo običajno upoštevamo v stavbah (plošča je neskončno toga v svoji ravnini). To je lahko tudi eden izmed razlogov, ki povečuje vpliv višjih nihajnih oblik, še zlasti v primerih, ko most podpirajo kratki togi stebri. Bolj togi (kratki) so stebri in bolj podajna je preklada, večji je vpliv višjih nihajnih oblik.

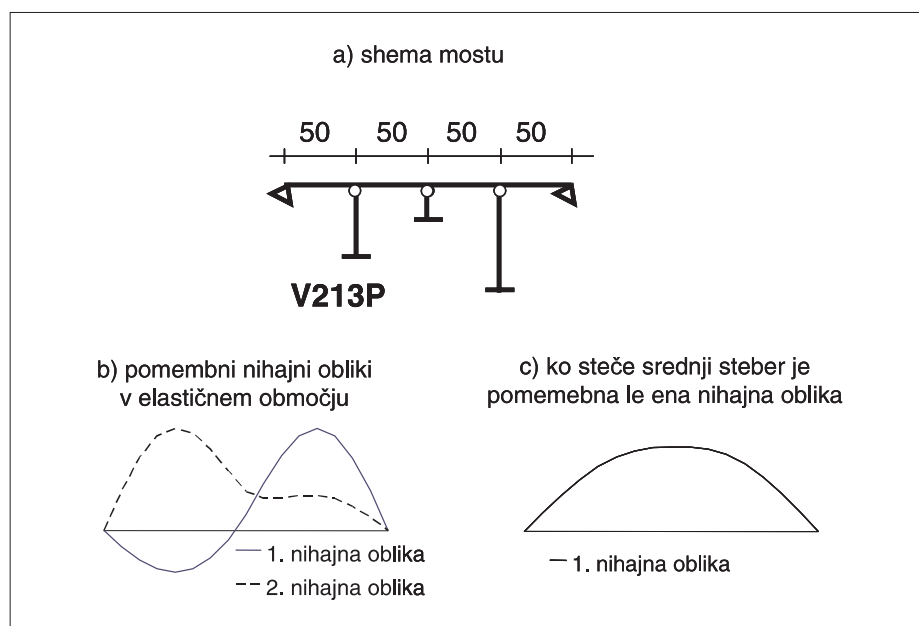
Eden izmed primerov, kjer so pomembne višje nihajne oblike, je prikazan na sliki 1a. Na odziv tega mostu vplivata v elastičnem območju (dokler ne steče armatura v stebrih) dve nihajni obliki (slika 1b). Prva je torzijska (rotacije preklade v horizontalni ravnini mostu), druga pa translacijska. Srednji zelo tog

steber ima pri tem odločilno vlogo, saj prekladni konstrukciji preprečuje proste deformacije. Ko steče armatura v srednjem stebri, se njegova togost bistveno zmanjša. Posledično steber ne ovira več pomikov preklade in odziv postane bistveno bolj enostaven. Na njega vpliva le ena nihajna oblika (glej sliko 1c).

Iz prikazanega primera lahko sklepamo, da na potresni odziv mostu poleg razmerja togosti preklade in stebrov pomembno vpliva tudi nosilnost stebrov. Prej ko steče srednji steber, prej se mu zmanjša togost, zato se posledično prej zmanjša tudi vpliv višjih nihajnih oblik.

Na odziv stebrov pomembno vpliva tudi lega kratkih stebrov. Čim bližje so kratki stebri sredini konstrukcije, tem večje je območje, kjer so pomembne višje nihajne oblike. Če so kratki stebri v sredini konstrukcije (slika 1), višje nihajne oblike pomembno vplivajo na odziv celotne preklade. V primerih ko so stebri blizu opornikov, višje nihajne oblike vplivajo le na omejeno območje preklade med temi stebri in opornikom.

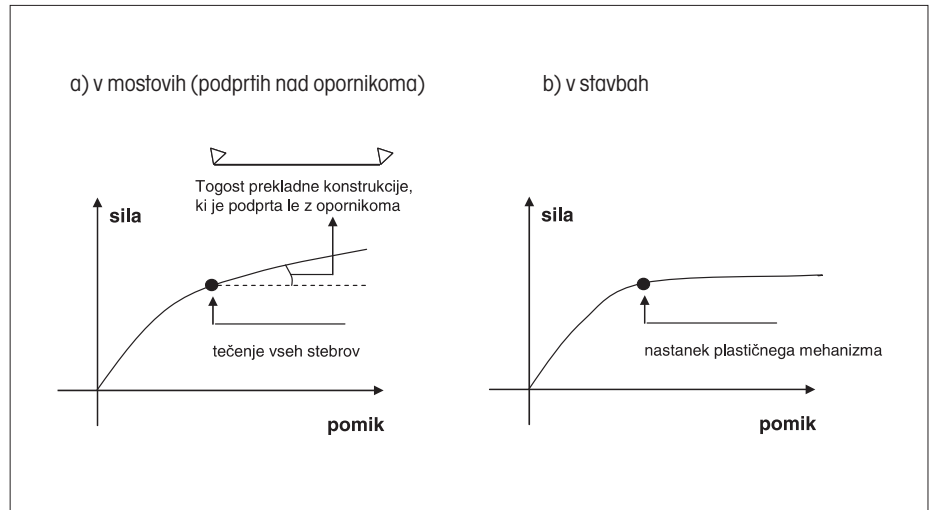
Po analogiji s stavbami most običajno obravnavamo kot sistem stebrov, povezanih s preklado. Bolj primerno pa je, da ga obravnavamo kot elastično podprto struno. Pri tem je struna prekladna konstrukcija, elastične podpore pa stebri. Če most obravnavamo na ta način, postane analiza



Slika 1 • Potresni odziv mostu, ki vsebuje kratek tog steber v sredini konstrukcije

potresnega odziva (tudi z N2 metodo) bolj jasna in enostavna.

Predhodni zaključek podpirajo tudi rezultati nelinearne statične analize. Ko obremenjujemo most v prečni smeri s horizontalno obtežbo, ki jo postopoma povečujemo, dobimo zvezo med silami in pomiki, prikazano na sliki 2a. Za razliko od stavb, kjer je zveza med silo in pomikom po nastanku plastičnega mehanizma praktično horizontalna (glej sliko 2b), v ustrezni krivulji mostov (podprtih nad opornikoma) tudi potem, ko stečejo vsi stebri, še vedno opazimo precejšen naklon. Ta naklon predstavlja togost prekladne konstrukcije, ki je podprta le na koncih z opornikoma – togost strune. Takšno obnašanje narekuje tudi nekatere spremembe pri uporabi N2 metode, ki so opisane v 3. poglavju.



Slika 2 • Tipične zveze med silami in pomiki

### 3 • POSEBNOSTI UPORABE N2 METODE ZA ANALIZO MOSTOV

Pri analizi mostov uporabljamo N2 metodo nekoliko drugače kot pri analizi stavb. Predvsem se razlike nanašajo na:

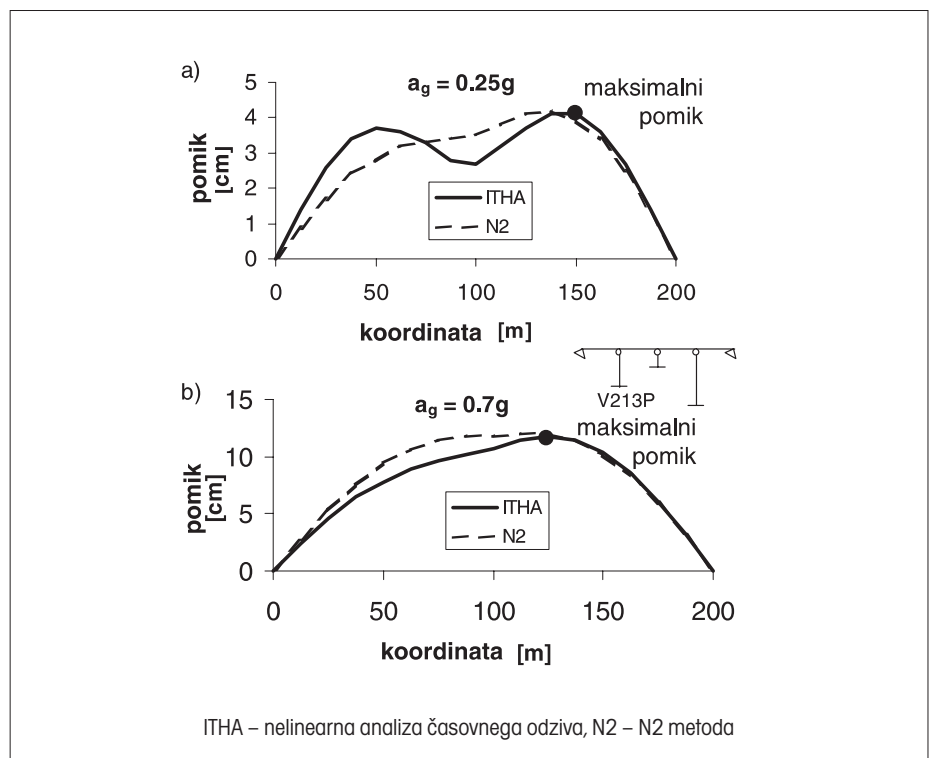
- 1) izbiro točke, v kateri spremljamo pomike konstrukcije, na osnovi katerih določimo zvezo med silami in pomiki (glej korak III. c) N2 metode v članku (Fajfar, 2002)),
- 2) izbiro razporeda inercialnih sil vzdolž konstrukcije (glej korak III. b) N2 metode v članku (Fajfar, 2002)) in
- 3) idealizacijo zveze med silami in pomiki (glej korak IV. c) N2 metode v članku (Fajfar, 2002)).

1) Eden izmed ključnih korakov pri uporabi N2 metode je nelinearna statična analiza konstrukcije. S to analizo določimo zvezo med pomiki in silami v konstrukciji. V stavbah je običajno ta zveza definirana kot zveza med pomikom konstrukcije na vrhu in vsoto prečnih sil ob vpetju nosilnih elementov. S pomočjo te zveze (krivulje) določimo karakteristike ekvivalentnega sistema z eno prostostno stopnjo.

V mostovih kot točko, v kateri spremljamo pomike, izberemo točko maksimalnega pomika prekladne konstrukcije. Takšna izbira točke, v kateri spremljamo pomike, postane bolj jasna, če most obravnavamo kot struno (preklada), ki je elastično podprta s stebri (glej komentar v 2. poglavju). Če spremljamo maksimalni pomik, lahko primerno ocenimo togost preklade, podprte s stebri, kar je še zlasti pomembno v naslednjem koraku, ko določamo ustrezen ekvivalenten model z eno prostostno stopnjo.

V določenih primerih se lahko pri različni močni potresni obtežbi lega maksimalnega pomika preklade zelo spremenijo. Tipičen primer je most, prikazan na sliki 1. Pomiki prekladne konstrukcije tega mostu pri šibkem potresu (odziv je elastičen) so pri-

kazani na sliki 3a s polno črto. Maksimalni pomik je nad desnim stebrom. Ko se intenziteta potresne obtežbe poveča, se stebel v sredini konstrukcije zmežča (steče). Posledično se zmanjša njegova togost. Zato se močno spremeni oblika deformacijske linije preklade (glej polno črto na sliki 3b). Maksimalni pomik se v tem primeru premakne proti sredini konstrukcije za približno polovico polja (ca. 25 m).



Slika 3 • Premik lege maksimalnega pomika prekladne konstrukcije pri različnih intenzitetah potresne obtežbe



Zvezo med silo in pomikom vedno konstruiramo na osnovi maksimalnega pomika prekladne konstrukcije ne glede na njegovo spreminjeno lego. Takšna izbira točke, v kateri spremljamo pomik prekladne konstrukcije, je lahko različna od tiste, ki je predlagana v standardu EC 8/2 (dodatek H). Standard namreč predlaga, da se pomik spremlja v centru mas konstrukcije, ki je običajno v sredini ali zelo blizu sredine prekladne konstrukcije. To bo ob enem približna lega maksimalnega pomika le v mostovih, ki ne

vsebujejo kratkih (fogih) stebrov v bližini sredine konstrukcije.

Pri določitvi zveze med silami in pomiki upoštevamo v mostovih vsoto prečnih sil v vseh stebrih in opornikih (vsota vztrajnostnih sil, s katerimi obremenimo konstrukcijo).

2) Pri določitvi zveze med silami in pomiki moramo predpostaviti razpored horizontalnih sil (inercialnih sil), s katerimi obremenjujemo konstrukcijo. V stavbah največkrat uporabljamo naslednje razporeditve sil: a) predpostavimo, da so sile največje na vrhu konstrukcije

in se linearno zmanjšujejo proti ničli ob vpetju, b) predpostavimo konstanten razpored sil, c) predpostavimo, da so sile proporcionalne osnovni nihajni obliki konstrukcije.

V primeru mostov sta v standardu EC 8/2 (dodatek H) predlagani naslednji dve porazdelitvi sil vzdolž prekladne konstrukcije: a) konstanten razpored, b) razpored sil, ki je proporcionalen 1. nihajni obliki konstrukcije v elastičnem (začetnem) stanju (glej sliko 4a in 4b). Drugi razpored sil lahko določimo na podlagi preproste analize nihajnih oblik s katerim izmed standardnih programov, ki omogočajo elastično modalno analizo konstrukcij (npr. (SAP2000, 2006)).

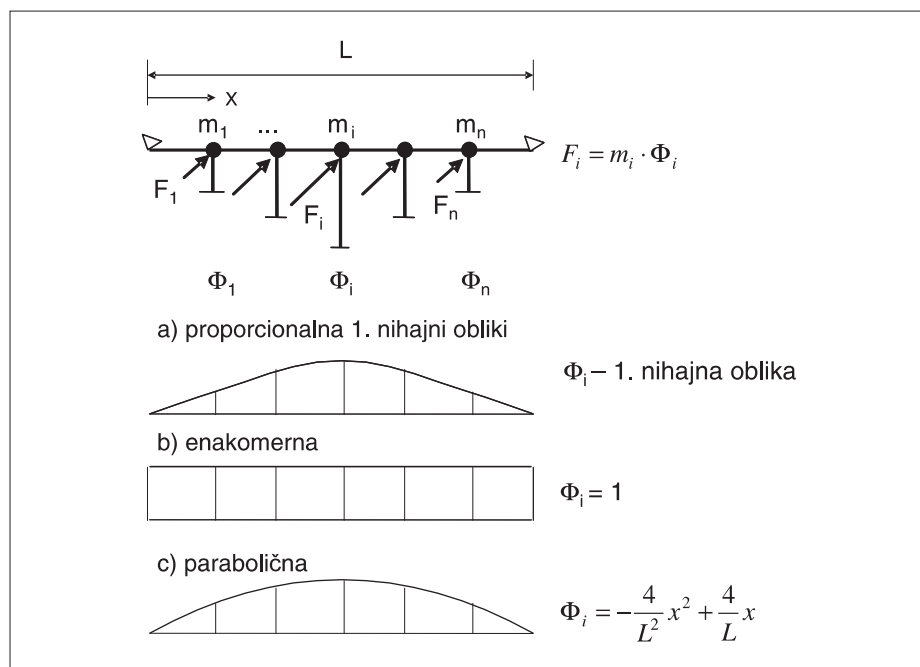
V posebnih raziskavah (Isaković in Fischinger, 2006) je bilo ugotovljeno, da je v primeru mostov, ki so vrtljivo podprti nad opornikoma, zelo primerna parabolčna porazdelitev sil (slika 4c). Takšno razporeditev določimo enostavneje kot tisto, proporcionalno 1. nihajni obliki, ocena odziva pa je lahko boljša kot v primeru enakomerne porazdelitve.

V mostovih z drsnimi podporami nad opornikoma uporabimo enakomerno porazdelitev vztrajnostnih sil ali porazdelitev, ki je proporcionalna trenutni najbolj pomembni nihajni obliki (slika 5a). Druga rešitev zahteva iteracije v mostovih s kratkimi stebri v bližini sredine preklade, saj se v takšnih mostovih nihajna oblika zelo spreminja z intenziteto potresne obtežbe.

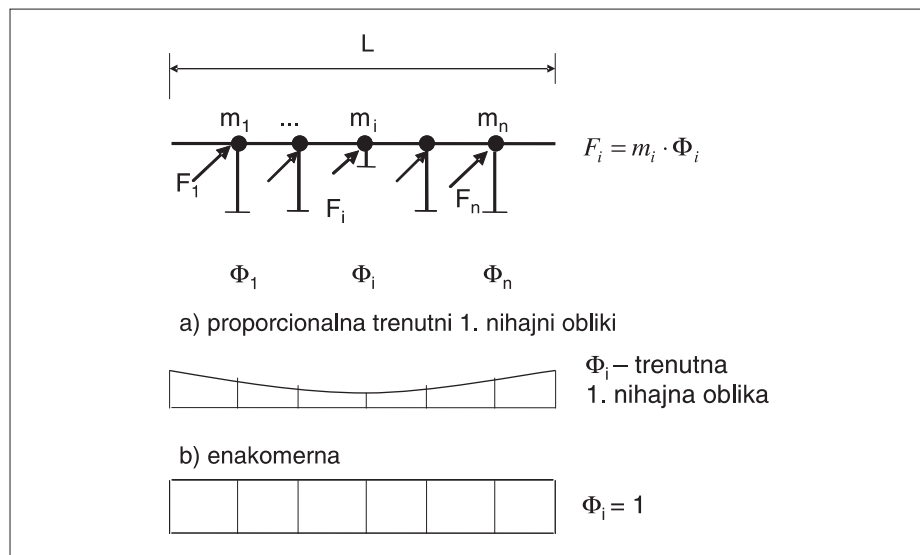
V splošnem je priporočljivo, da se pri analizi vsakega mostu uporabita dve različni porazdelitvi sil in se upošteva obojnica ustreznih rezultatov.

Predpostavljena porazdelitev sil, s katerimi analiziramo most, lahko pomembno vpliva tako na razpored pomikov kot tudi na vrednost maksimalnega pomika prekladne konstrukcije. Kot primer si oglejmo pomike prekladne konstrukcije mostu, prikazanega na sliki 6. Pomiki so določeni s tremi različnimi razporedi sil, ki so primerni za analizo mostov, podprtih nad opornikoma. Rezultati N2 metode (črtkana črta) so primerjani z rezultati nelinearne dinamične analize časovnega odziva (polna črta). Pomiki preklade so prikazani za dve intenziteti potresne obtežbe.

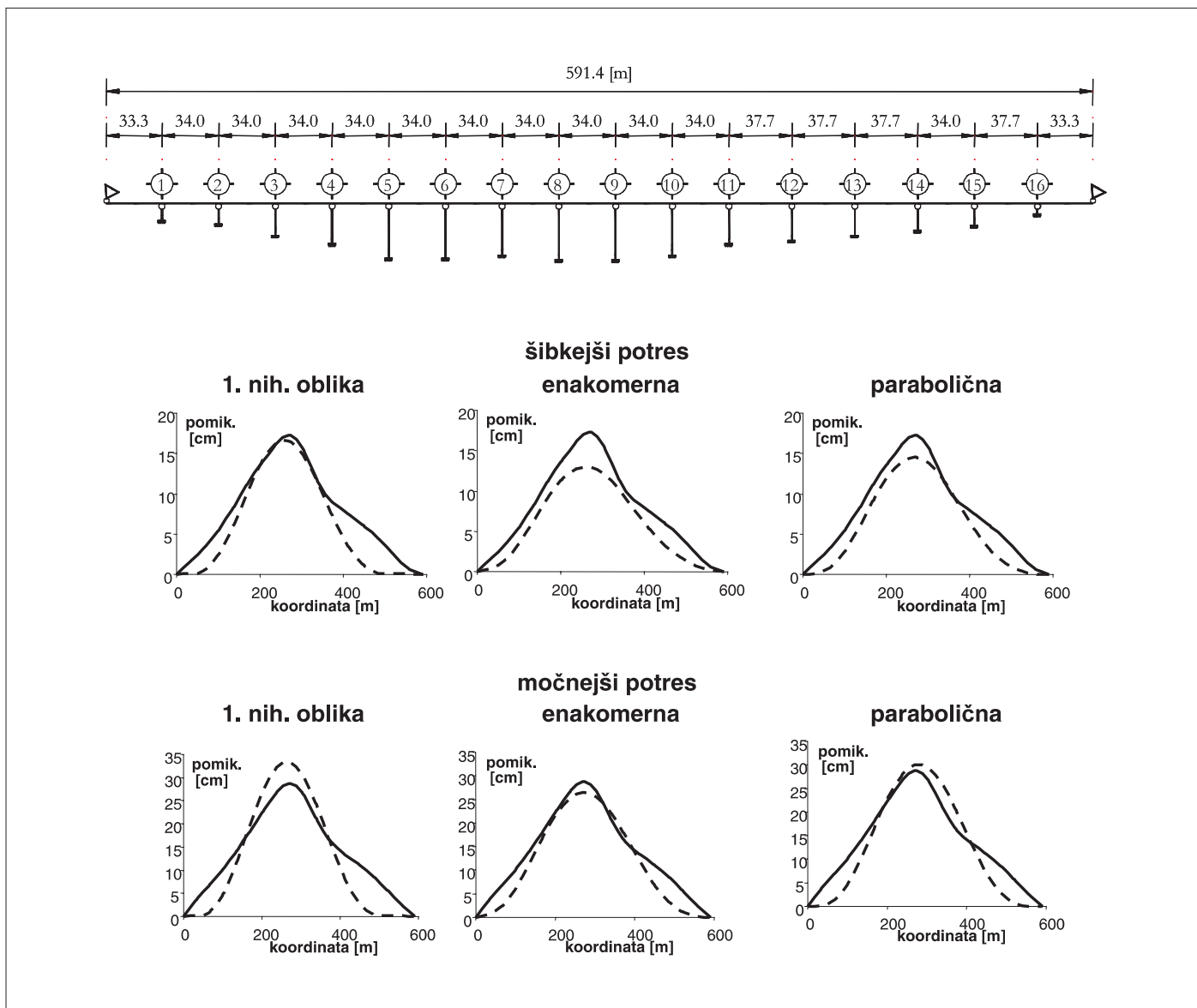
V sredini mostu so pomiki največji v primeru sil, proporcionalnih 1. nihajni obliki. S tako predpostavljenim razporedom sil dobimo tudi največji maksimalni pomik prekladne konstrukcije. V bližini opornikov so pomiki največji takrat, ko upoštevamo enakomerno porazdelitev sil. Pomiki, ki ustrezajo parabolčni razporeditvi sil, so vmesna varianta med predhodnima dvema.



Slika 4 • Razporeditve sil, ki so primerne za mostove, podprte nad opornikoma v prečni smeri obtežbe

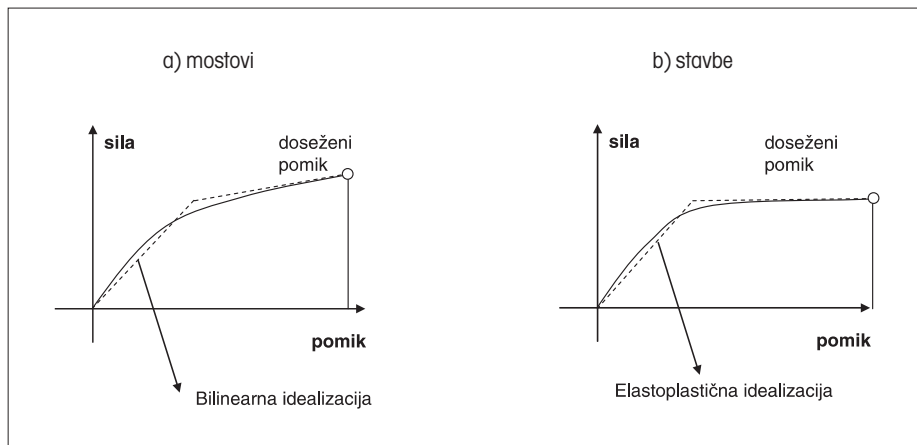


Slika 5 • Razporeditve sil, ki so primerne za mostove, ki niso podprti nad opornikoma



Slika 6 • Primer odziva mostu, določen z različnimi razporeditvami sil

3) Zvezo med silo in pomikom, ki jo določimo z nelinearno statično analizo konstrukcije, moramo idealizirati, tako da lahko določimo karakteristike ustreznega poenostavljenega modela. V primeru stavb je običajno primerna elastoplastična idealizacija (glej črtkano črto na sliki 7b). Pri mostovih, podprtih nad opornikoma, je zaradi specifične zveze med silami in pomiki bolj primerna bilinearna idealizacija (glej črtkano črto na sliki 7a). Že v 2. poglavju je bilo pokazano, da mostovi (prekladna konstrukcija) tudi potem, ko stečejo vsi stebri, lahko razpolagajo z znatno togostjo. Rezultat tega je znaten naklon »pushover« krivulje, ki mu bolj ustreza bilinearna idealizacija.



Slika 7 • Idealizacija zveze med silo in pomikom za primer a) mostov in b) stavb

Idealizacija zveze med silami in pomiki je eden izmed ključnih korakov N2 metode, saj vpliva neposredno na začetno togost poenostavljenega modela in posledično na končno vrednost maksimalnega pomika konstrukcije. Če to togost slabo ocenimo, se lahko vrednost maksimalnega pomika zelo veliko razlikuje od dejanske (glej (Isaković in Fischinger, 2006)). Zvezo med silami in pomiki idealiziramo upoštevajoč princip o enakosti energij idea-

lizirane in dejanske krivulje. Ker je energija odvisna od doseženega pomika, ki ga vnaprej ne poznamo, menimo, da je idealizacijo potrebno narediti iterativno. V večini primerov se račun hitro konča, saj je velikokrat potrebna le ena iteracija.

V EC 8/2 je v dodatku H predlagano, da se maksimalni pomik oceni s pomočjo elastične analize. Takšna rešitev je na prvi pogled logična in enostavna. Vendar mo-

ramo pri elastični analizi predpostaviti, koliko bodo pri določeni intenziteti obtežbe stebri razpokali oziroma koliko se bo zmanjšal njihov efektivni vztrajnostni moment. To pa prav tako pomeni iteracije. Ker vnaprej ne vemo, kateri stebri bodo stekli in koliko se bo zmanjšal njihov efektivni vztrajnostni moment, je lahko računski postopek dosti bolj dolgotrajen kot tisti, ki ga predlagata avtorja članka.

#### 4 • KRITERIJ, S KATERIM DOLOČIMO UPORABNOST N2 METODE ZA MOSTOVE

Z N2 metodo se nelinearna potresna analiza bistveno poenostavi. Zaradi poenostavitve pa ima metoda tudi omejitve. Primerna je predvsem za analizo konstrukcij, kjer ni velikega vpliva višjih nihajnih oblik. S predhodnimi raziskavami (Isaković in Fischinger, 2007), (Isaković et al, 2008) je bilo ugotovljeno, da je metoda dovolj natančna takrat, ko na odziv mostu dominantno vpliva le ena nihajna oblika, katere efektivna masa znaša vsaj 80 % celotne mase konstrukcije.

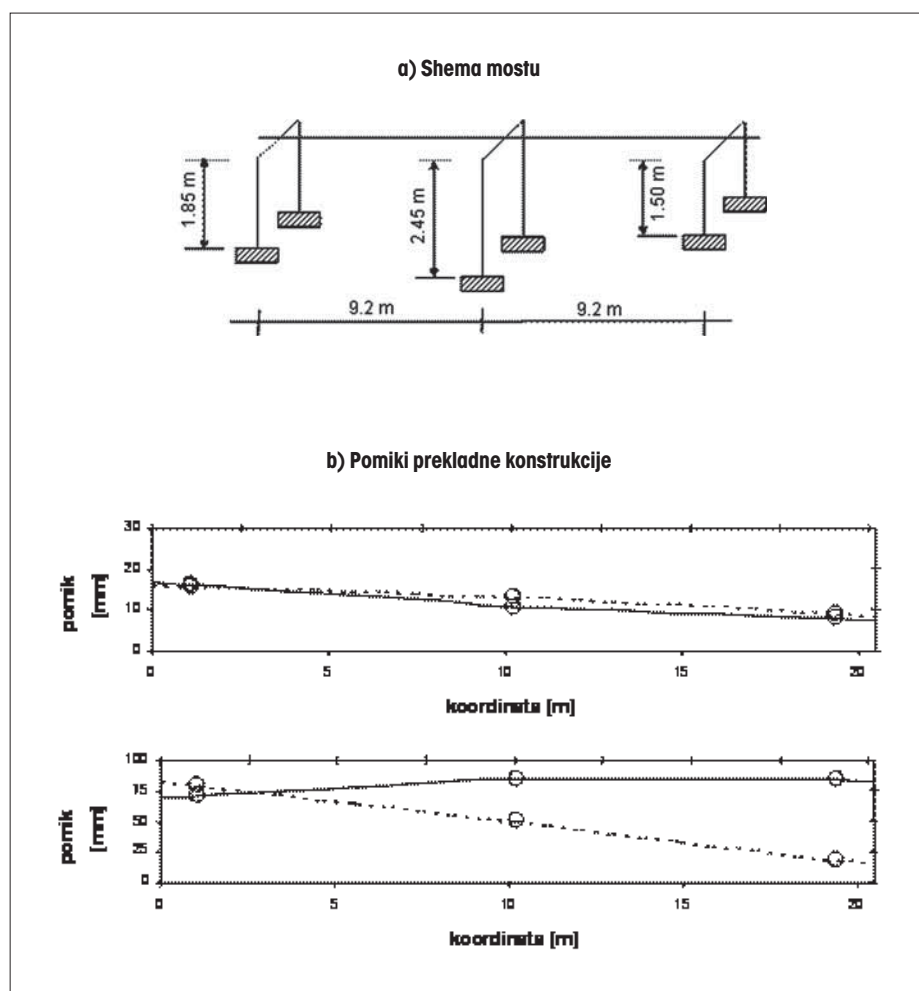
Efektivno maso lahko pri različnih intenzitetah obtežbe določimo, če poznamo ustrezne efektivne togosti stebrov. Efektivne togosti stebrov lahko izračunamo na podlagi rezultatov N2 metode. Model konstrukcije z več prostostnimi stopnjami porinemo tako, da dosežemo izračunani maksimalni pomik preklade (glej VII. koraku N2 v članku (Fajfar, 2002)). S to analizo poleg deformacijske linije mostu dobimo tudi informacijo o prečnih silah v stebrih. Če vrednosti prečnih sil v stebrih delimo s pomiki na vrhu stebrov, določimo efektivno togost vsakega izmed stebrov. S tako določenimi efektivnimi togostmi stebrov naredimo analizo nihajnih oblik in njihovih efektivnih mas. Detajlni opis postopka je na voljo v (Isaković in Fischinger, 2007).

V kratkih in srednje dolgih mostovih je lahko zanesljivost N2 metode odvisna od intenzitete potresne obtežbe. Običajno se z intenziteto potresne obtežbe zanesljivost N2 metode poveča. Eden izmed takšnih primerov je most, prikazan na sliki 1a. V elastičnem območju pomembno vplivata na potresni odziv dve nihajni obliki (glej sliko 1b). Zato se rezultati N2 metode (glej črtkano črto na sliki 3a) ne ujemajo najbolje z deformacijsko linijo, določeno z nelinearno analizo časovnega odziva (polna črta na sliki 3a). Vendar ko se intenziteta potresne obtežbe poveča in steče srednji stebel, na odziv vpliva le še ena ni-

hajna oblika (glej sliko 1c). Posledično se rezultati N2 metode veliko bolj ujemajo z rezultati nelinearne analize časovnega odziva (glej sliko 3b).

Obstajajo tudi redki obratni primeri (Isaković in Fischinger, 2007), kjer na odziv mostu v elastičnem območju vpliva le ena nihajna

oblika, ko pa se intenziteta potresne obtežbe poveča, se ta nihajna oblika zelo spremeni in pomembno naraste vpliv višjih nihajnih oblik. To se lahko zgodi v mostovih z drsnimi podporami nad opornikoma in kratkimi togimi stebri blizu enega izmed opornikov. Eden takšnih mostov je bil eksperimentalno preizkušen na treh potresnih mizah na Univerzi Nevada v Renoju (glej shemo na sliki 8) v okviru NEES projekta (Saiidi, 2007). Naloga Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Uni-



Slika 8 • Primer mostu, kjer zanesljivost N2 metode z intenziteto potresa pada

verze v Ljubljani je bila preveriti zanesljivost poenostavljenih nelinearnih metod analize v primeru obravnavanega mostu. Rezultati analize z N2 metodo so prikazani na sliki 8, in sicer za dve intenziteti potresne obtežbe. Eksperimentalno določeni pomiki prekladne konstrukcije so prikazani s polno črto, rezultati N2 metode pa s črtkano črto. Razvidno je, da je ujemanje N2 metode z eksperimentalnimi rezultati pri močnejšem potresu mno-

go slabše kot pri manj močnem potresu. Več podatkov je na voljo v (Isaković in Fischinger, 2007).

N2 metoda je v splošnem bolj uporabna za analizo krajših mostov. V predhodnih raziskavah (Isaković et al, 2008) je bilo ugotovljeno, da so preklade standardnih tipov v daljših mostovih zaradi svoje velike dolžine že tako podajne, da na njihov odziv vplivajo višje nihajne oblike tudi v primeru,

ko niso podprte s kratkimi togimi stebri. To se dogaja v mostovih z dolžino nad 500 m. V takšnih primerih je N2 metoda manj zanesljiva, zato se za analizo priporoča nelinearna analiza časovnega odziva. Glede na to, da so tako dolgi mostovi običajno tudi zelo pomembne konstrukcije, so za njihovo analizo že tako priporočljive bolj natančne in obsežne študije potresne varnosti.

## 5 • SKLEP

Novi evropski standard EC 8/2 za projektiranje mostov na potresnih območjih vsebuje poleg standardnih elastičnih metod analize tudi nelinearne metode analize. Ena izmed takšnih metod je N2 metoda, ki jo je razvil prof. Fajfar s sodelavci na IKPIR-u. V primerjavi s stavbami so pri analizi mostov potrebne določene spremembe te metode. Nekaj jih je predlaganih v EC 8/2, nekaj pa jih predlagata avtorja na podlagi lastnih raziskav.

Posebnosti pri uporabi N2 metode se nanašajo predvsem na: 1) izbiro točke, v kateri spremljamo pomike konstrukcije pri nelinearni statični analizi modela z več prostostnimi stopnjami, 2) izbiro razporeda inercijskih sil vzdolž konstrukcije in 3) idealizacijo zveze med pomiki in silami.

1) Praviloma v mostovih spremljamo maksimalni pomik prekladne konstrukcije, ne glede na njegovo lego.

2) V mostovih, ki so podprti nad opornikom, izberemo enakomeren razpored, paraboličen razpored ali razpored inercijskih sil, ki je proporcionalen najbolj pomembni nihajni obliki. V mostovih z drsnimi podporami nad opornikom je primeren enakomeren razpored sil ali razpored sil, proporcionalen najbolj pomembni obliki. Priporočljivo je, da se analiza izvede z dvema različnima razporedoma sil in se potem upošteva ovojnica ustreznih rezultatov.

3) Glede na specifično zvezo med silami in pomiki je pri mostovih primerna bilinearna idealizacija te krivulje.

Podan je tudi kriterij, na podlagi katerega lahko ocenimo zanesljivost N2 metode. V primerih, kjer znaša efektivna masa najbolj pomembne nihajne oblike več kot 80 % celotne mase konstrukcije, je ocena potresnega odziva z N2 metodo dobra.

Zanesljivost N2 metode se lahko spreminja z intenziteto potresne obtežbe. Na podlagi rezultatov N2 metode lahko pri različnih intenzitetah obtežbe ocenimo efektivno togost stebrov. Slednjo lahko uporabimo za določitev ustreznih nihajnih oblik in njihovih efektivnih mas ter zanesljivost metode ocenimo s predhodno opisanim kriterijem.

V splošnem je N2 metoda manj uporabna v mostovih, ki so daljši od 500 m. V takšnih mostovih so zaradi razmeroma velikih dolžin standardni tipi preklad že tako podajni, da na njihov odziv pomembno vplivajo višje nihajne oblike tudi v primerih, ko niso podprte s kratkimi togimi stebri.

## 6 • LITERATURA

CEN, Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Comité Européen de Normalisation, Brussels, 2004.

CEN, Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 2: Bridges, Comité Européen de Normalisation, Brussels, 2005.

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., Drobnič, D., »A simplified nonlinear method for seismic damage analysis of structures«, »Seismic design methodologies for the next generation of codes : proceedings of the international workshop«, Bled, 24–27, junij, 1997. Rotterdam; Brookfield: Balkema, str. 183–194, 1997.

Fajfar, P., »Poenostavljena nelinearna analiza konstrukcij pri potresni obtežbi«, Gradbeni vestnik, letnik 51, november 2002, str. 302–315, 2002.

Isaković, T., Fischinger, M., »Higher modes in simplified inelastic seismic analysis of single column bent viaducts«, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 35(1): 95–114. DOI: 10.1002/eqe.535, 2006.

Isaković T., Fischinger, M., »Pushover analysis of the two-span reinforced concrete bridge system«, Poročilo o rezultatih raziskav, Univerza v Ljubljani, FGG, IKPIR, 62 strani, 2007.

Isaković, T., Lazaro, Nino M. P., Fischinger, M., »Applicability of pushover methods for the seismic analysis of single column bent viaducts«, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, v postopku revizije, 2008.

SAP2000, CSI Analysis Reference Manual, ver. 10.1, Computers & Structures Inc., Berkeley, California, 2006.

Saiidi, M., »Seismic Performance of Bridge Systems with Conventional and Innovative Design«, opis projekta na spletni strani <http://nees.unr.edu/4-spanbridges/index.html>, 2007.



# AKTIVNA ZAŠČITA PITNE PODTALNICE ZA VODOVOD ORMOŽ

## ACTIVE PROTECTION OF DRINKING GROUNDWATER FOR WATERWORKS ORMOŽ

prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.  
Barjanska 68, Ljubljana

Strokovni članek  
UDK 628.112 + 628.16

**Povzetek** | V članku je opisana izvedba umetnega bogatenja podtalnice za povečanje zmogljivosti vodovodnega črpališča in z vodno zaveso izvedena »aktivna« zaščita črpane podtalnice pred onesnaževanjem s pesticidi in nitrati. Podani so rezultati čiščenja železa in mangana v samem vodonosniku ter opustitev ozoniranja vode za preprečitev tvorbe bromatov.

**Summary** | The paper describes the artificial groundwater recharge to increase the capacity of the existent drinking groundwater and, by forming a «water curtain», an active protection of drinking groundwater against pesticides and nitrates. The results of the applied underground iron and manganese removal as well as the abolition of ozone, previously used for iron and manganese oxidation, for the prevention of bromate formations are described.

### 1 • UVOD

Zaradi podnebnih sprememb občuti sušo tudi preskrba s pitno vodo.

Najbolj so prizadeti vodovodi, ki se napajajo iz manjših vodnih izvirov s kraškim zaledjem ali iz plitvih podtalnic, kot so v Pomurju, na Apaškem in Ptujskem polju, v Savinjski dolini itd.

Zaradi podnebnih sprememb v zadnjih 50 letih upadajo tudi pretoki rek, kar je z linearno ekstrapolacijo letnih pretokov za reko Reko prikazano na sliki 1 (vprašanje, koliko takšna ekstrapolacija realno povzema posledice klimatskih sprememb, ki jih opažamo, je zunaj domene tega članka).

Vzporedno z upadanjem virov pitne vode pa se zaradi urbanizacije, industrije, kmetijstva, prometa itd. povečuje tudi njihova izpostavljenost onesnaževanju.

V takšnih razmerah je pomanjkanje vode mogoče rešiti na naslednje načine:

- Če so na voljo in če so ekonomsko dosegljivi, z zajemom novih vodnih izvirov. Pri tem pa velja vodnogospodarsko in naravovarstveno načelo, naj si vsako porečje, če vodna bilanca to dopušča, oskrbi pitno vodo najprej z lastnimi vodami. Uporaba pitne vode iz lastnih porečij tudi najbolj prispeva k zavesti o potrebi splošnega varovanja in zaščite voda. Tako varstvo vode ni le strošek, ampak omogoča z nižjo ceno vode tudi ekonomske koristi.
- Z uporabo izdatnejših rek, ki po količini tudi v suši večkrat presegajo potrebe vodovodov in izdatnost vodnih izvirov ali podtalnice, iz katerih se napajajo.
- Z letno ali sezonsko izravnavo vodnih virov v površinskih akumulacijah ali, kjer je to mogoče, z uporabo zalog podtalnice z njenim bogatenjem.

V zadnjem prispevku v Gradbenem vestniku o reševanju pitne vode Slovenske Istre, obale in zalednega krasa je prikazana možnost uporabe vode iz reke Reke in iz dveh obstoječih akumulacij Mole in Klivnika, ko vodovod Rižanski vodovod iz izvira Rižane v sušnih mesecih ne dobi dovolj vode.

Ta prispevek pa obravnava rešitev pitne vode za skupinski vodovod Ormož, ki oskrbuje s pitno vodo razsežno vinorodno območje Slovenskih goric med Ljutomerom, Ormožem in Središčem ob Dravi.

V nasprotju s kraškim izvirom Rižanskega vodovoda na obali se ta vodovod napaja s plitvo (od 4 do 10 m) podtalnico Ptujškega polja, ki v sušnih mesecih nima dovolj vode, obenem pa njeno kakovost, kot je razvidno iz slike 1, ogroža kmetijstvo v zaledju in okoli vodovodnega črpališča. Poleg pesticidov in nitratov pa vsebuje podtalnica tudi preveč železa in mangana.

## 2 • OPIS PROBLEMATIKE IN REŠITEV

Mesto Ormož je dobilo vodovod v letih 1960–62 z zmogljivostjo 1500 m<sup>3</sup>/dan pitne vode iz črpališča podtalnice pri Mihovcih, ki se nahaja med reko Pesnico in potokom Sejanco. Od tedaj se je vodovod iz samega mesta razširil na celotno območje tedanje občine Ormož (vodo iz vodovoda dobiva danes 95 % prebivalstva), poraba vode pa presega 4500 m<sup>3</sup>/dan.

Za pokritje večje porabe vode je bilo potrebno zmogljivost črpališča povečati.

Zaradi plitve podtalnice (4 do 6 m debeline vodonosnega sloja z relativno nizko prepustnostjo ca. 3·10<sup>-3</sup> m/s) bi bilo potrebno zgraditi večje število novih vodnjakov, obstoječe varnostne pasove pa razširiti na plodne kmetijske površine. Poleg tega so se v podtalnici pojavili še nitrati in pesticidi.

Potrebo po hitri odpravi pomanjkanja pitne vode in zagotovitve vode tudi za dolgoročne potrebe je bilo mogoče ob pomanjkanju finančnih sredstev rešiti le z bogatenjem podtalnice z dravsko vodo iz bližnjega energetskega kanala HE Formin.

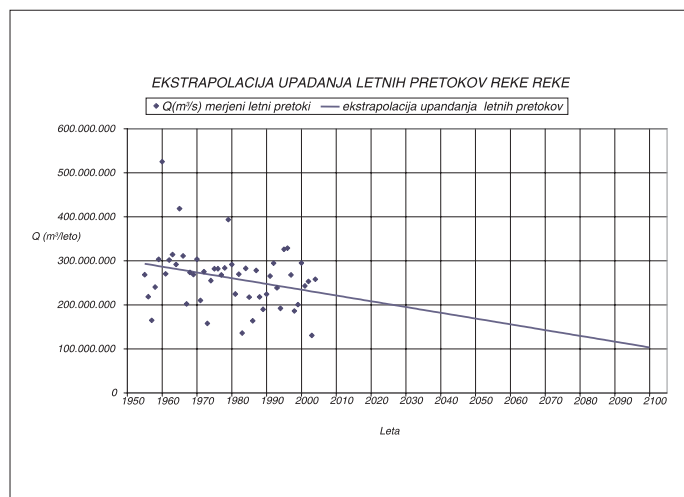
Drava z velikimi pretoki zagotavlja tudi v ekstremnih sušah vodovodu 100 % in s tem glede vodnih količin trajno varnost.

Dravska voda je tako kakovostna, da je mogoče iz nje pripraviti pitno vodo že s čiščenjem na hitrih peščenih ali počasnih bioloških filtrih. Obstoječi hidrogeološki pogoji pa omogočajo tudi uporabo enakovredne obrežne filtracije ali umetnega bogatenja podtalnice, ki slonita na enakih biokemičnih procesih priprave pitne vode kot počasni biološki filtri.

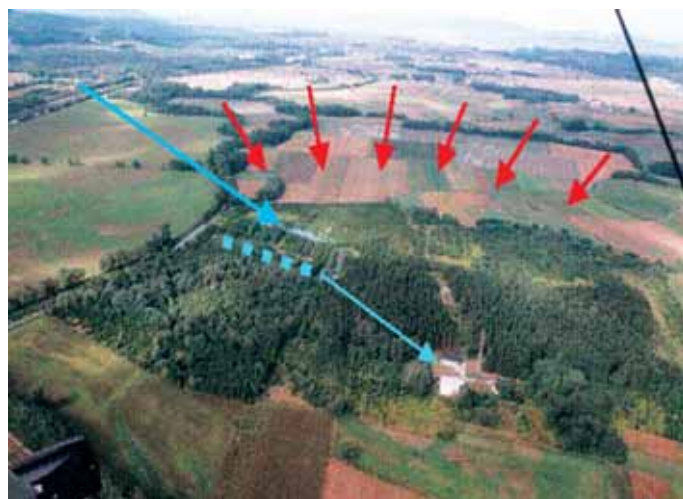
Zaradi hitre rešitve, najnižjih investicijskih in pogonskih stroškov ter možnosti postopnega dograjevanja zmogljivosti vodovoda je bil na podlagi izkušenj Mariborskega vodovoda z »aktivno« zaščito pitne podtalnice na Vrbanškem platoju tudi na črpališču vodovoda Ormož v Mihovcih uporabljen enak oziroma podoben način bogatenja podtalnice.

Slika 2. prikazuje lego vodovodnega črpališča ob Pesnici, ki je nekaj sto metrov oddaljeno od umetne struge Drave pod HE Formin. Kmetijstvo na zalednih površinah črpališča podtalnico onesnažuje in predstavlja kljub nekaterim prizadevanjem stalno nevarnost za kakovost pitne vode.

Prav tako pa izdatnost vodnjakov zaradi plitve podtalnice že pred leti ni več zadostovala za pokritje tekočih in načrtovanih potreb vodovoda.



Slika 1 • Upadanje letnih pretokov reke Reke



Slika 2 • Vodarna vodovoda Ormož z vodnjaki, pogozdenim II. zaščitnim pasom, dovodom vode iz Drave pod HE Formin in zalednimi kmetijskimi površinami

## 3 • NAČRT ZA POVEČANJE ZMOGLJIVOSTI IN VARNOSTI ČRPANE PITNE PODTALNICE PRED ONESNAŽENJEM

Naravna, padavinska podtalnica je onesnažena z železom 1,40 mgFe/l (dopustno, 0,2 mgFe/l) in manganom 0,8 mgMn/l (dopustno 0,05 mg/l). Zato je bila za odstranjevanje obeh že pred leti zgrajena čistilna naprava za oksidacijo Fe in Mn z ozonom in filtracijo vode na hitrih tlačnih peščenih filtrih (slika 6) z vgrajeno plastjoaktivnega oglja za odstranitev ostankov strupenega ozona. Ka-

sneje pa so se v podtalnici pojavili še pesticidi in nitrati, ki pa jih obstoječa čistilna naprava ni bila sposobna odstraniti. Zaradi uporabe ozona, ki je sicer učinkovit razkuževalec, pa so se v pitni vodi pojavili bromati.

Načrt za bogatenje podtalnice z dravsko vodo iz bližnjega odvodnega kanala HE Formin je omogočil istočasno rešitev vseh navedenih problemov:

- Povečanje zmogljivosti obstoječega črpališča na 4500 m<sup>3</sup>/dan, v končni fazi do 8000 m<sup>3</sup>/dan.
- Z bogatenjem ustvarjena vodna zavesa v podtalnici preprečuje dotok s pesticidi in nitrati onesnažene podtalnice v črpališče.
- Namesto ozona se je voda za oksidacijo Fe in Mn preko ejektorja zasitila (slika 6) s kisikom. Z opustitvijo ozona pa je bila v pitni vodi preprečena tvorba bromatov.

- d) Z vračanjem s kisikom zasičene vode preko vodnjakov v vodonosnik se železo in mangan, namesto v peščenih filtrih, izločita iz vode že v samem vodonosniku.
- e) Čistilni napravi, ki je po tem načrtu zgubila prvotni namen, je bila dodeljena vloga dodatne varnostne bariere za primer nepredvidenih onesnaženj, s tem da bi filtrski pesek v celoti nadomestili z aktivnim ogljem.

Na sliki 3. je koncept projektne rešitve. Dravska voda se za bogatenje podtalnice črpa iz odvodnega energetskega kanala v veliki zemeljski bazen (slike 2, 4 in 5) z zalogo vode za primer nepredvidenega onesnaženja dravske vode, obenem pa zaradi velike prostornine deluje kot učinkovit usedalnik suspendiranih snovi.

Za prehodno obdobje, ker ni dovolj sredstev za dokončanje celotnega načrta, pa je ta bazen-usedalnik do njegove naravne zatesnitve uporabljen kot infiltracijski bazen za bogatenje podtalnice.

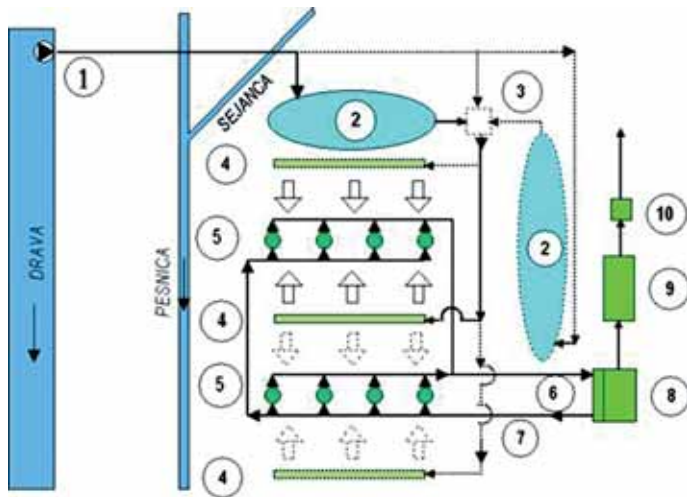
Iz bazena-usedalnika se voda preko grobega prodno-peščenega filtra vodi na načrtovana infiltracijska polja. Za preprečitev rasti alg v bazenu v poletnih mesecih je predvideno, da se bo dravska voda črpala mimo bazena direktno na grobi filter (slika 3).

Tako predočiščena voda napaja podtalnico preko infiltracijskih polj, ki delujejo kot počasni biološki filtri. V počasnem filtru in nato v vodonosniku železa in mangana očiščena voda se črpa iz vodnjakov po cevovodu, ki je na koncu opremljen z ejektorjem za prezračitev vode (slika 6) v manjši bazen. Ta je s predelno

steno ločen od izravnalnega rezervoarja za urno izravnavo med proizvodnjo in porabo vode. Od tod se preko obstoječih filtrov (slika 7), ki so pred varnostno desinfekcijo s  $Cl_2$  zadnja varnostna bariera, prečrpa v omrežje.

Manjši del čiste s kisikom zasičene vode se iz ozračevalnega bazena (slika 6) in preko vodnjakov vrača v vodonosnik (sliki 3 in 4).

Ob zadostnem vračanju z ejektorjem (slika 6) prezračene vode v vodonosnik je v podtalnici dovolj kisika, da pride do biokemične oksidacije železa in mangana ter njihove filtracije že v samem vodonosniku. Vzporedno pa poteka tudi oksidacija organskega onesnaženja in amonija. Potek oksidacije železa in mangana pri naličanju s kisikom zasičene vode v vodonosnik in črpanjem očiščene vode iz vodnjaka je prikazan na slikah 8 in 9.



**Legenda**

- zgrajeno
- ..... načrtovano
- 1 črpalnice na energetskem kanalu Drave
- 2 varnostni bazen, usedalnik, začasni poniknik
- 3 grobi peščen granulni filter
- 4 infiltracijsko polje
- 5 črpalni (ponikalni) vodnjaki za očiščeno vodo
- 6 očiščena voda v rezervoar s prezračevanjem
- 7 povratni cevovod za čisto prezračeno vodo
- 8 rezervoar
- 9 obstoječa čistilna naprava
- 10 glavno črpalnice

Slika 3 • Koncept načrtovanega bogatenja in zaščite črpane podtalnice pred onesnaževanjem s pesticidi in nitrati ter čiščenjem železa in mangana v vodonosniku. Realizacijo glej na sliki 13.



Slika 4 • Leta 1998 zgrajeni bazen z dovodom vode iz Drave, vodnjaki in cevovoda za črpanje in vračanje s kisikom zasičene vode



Slika 5 • Zemeljski bazen za varnostno zalogo vode se uporablja v prvi fazi izgradnje kot usedalnik in infiltracijski bazen za bogatenje podtalnice



#### 4 • REZULTATI DEVETLETNEGA DELOVANJA NAČRTOVANE REŠITVE



Slika 6 • S pomočjo ejektorja se črpna voda v manjšem bazenu izravnalnega rezervoarja zasiti s kisikom

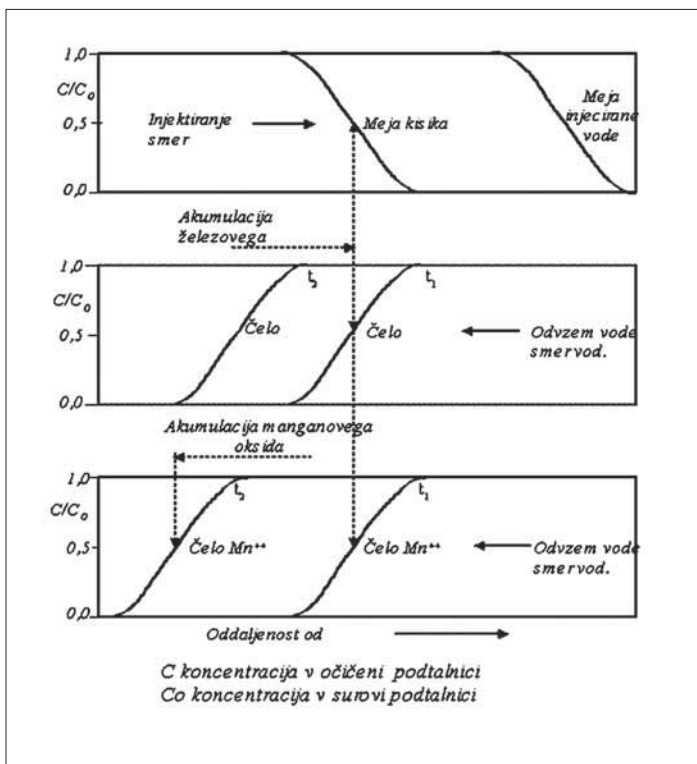


Slika 7 • Peščeni filtri in filtri z aktivnim ogljem na obstoječi čistilni napravi zagotavljajo dodatno kakovost in varnost pitne vode

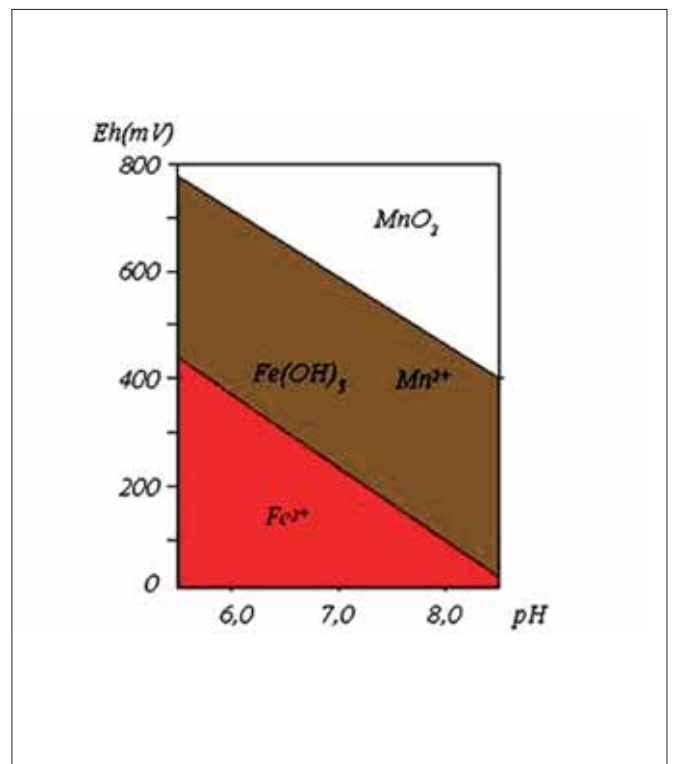
Zaradi pomanjkanja sredstev načrta, kot je prikazan na sliki 3, v desetih letih, vse do danes, ni bilo mogoče izvesti.

Od načrtovanega je bilo do leta 2005 zgrajeno le črpališče dravske vode na energetskem kanalu HE Formin s cevovodom do

varnostnega bazena – usedalnika in od njega ca. 70 m oddaljenih 5 novih vodnjakov, novi izravnalni rezervoar in cevovoda za črpanje v



Slika 8 • Shema poteka deferizacije in demanganizacije med injektiranjem čiste ozračene vode in pri povratnem črpanju vode iz vodnjaka



Slika 9 •  $Fe^{2+}$  in  $Mn^{2+}$  in  $Fe(OH)_3$   $MnO_2$  (netopna oblika) v odvisnosti od pH in Eh



vodonosniku očiščene in vračanje dela te vode preko vodnjakov nazaj v vodonosnik.

Večji del očiščene vode odteče iz rezervoarja v prvotno zgrajeni bazen za ozoniranje vode, ki je sedaj opuščeno, in se od tod črpa na že obstoječe tlačne filtre, ki se sedaj uporabljajo le še za odstranitev ostankov mangana, ker ta v vodonosniku, zaradi nedokončane realizacije projekta še ni odstranjen pod dovoljeno koncentracijo 0,05 mgMn/l (slika 10).

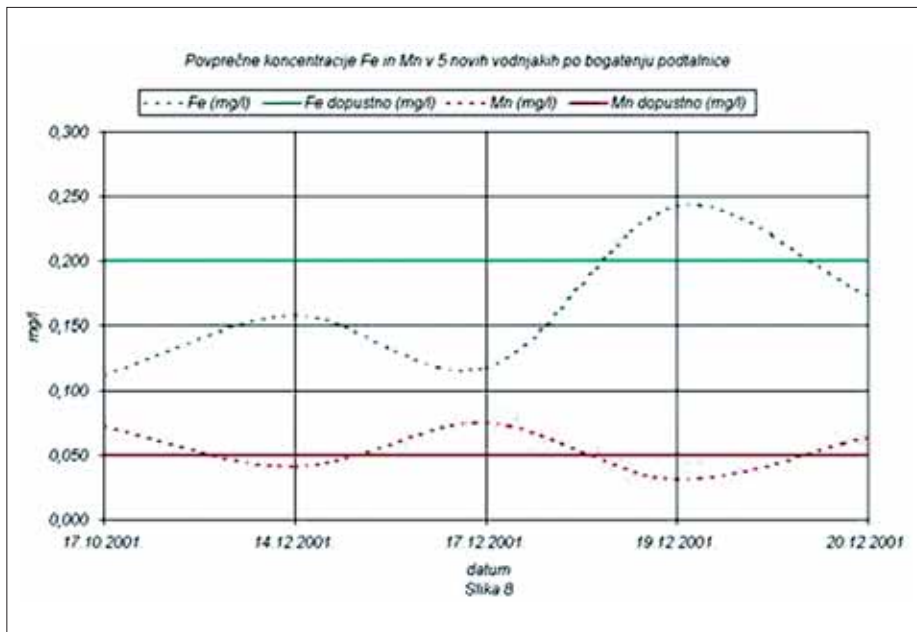
Slika 8 prikazuje potek odstranjevanja železa in mangana v vodonosniku.

Na sliki 9 pa podani pogoji za oksidacijo železa in mangana kažejo, da poteka oksidacija mangana pri večjem redox potencialu in višjem pH od železa. Zato se težje izloča iz vode.

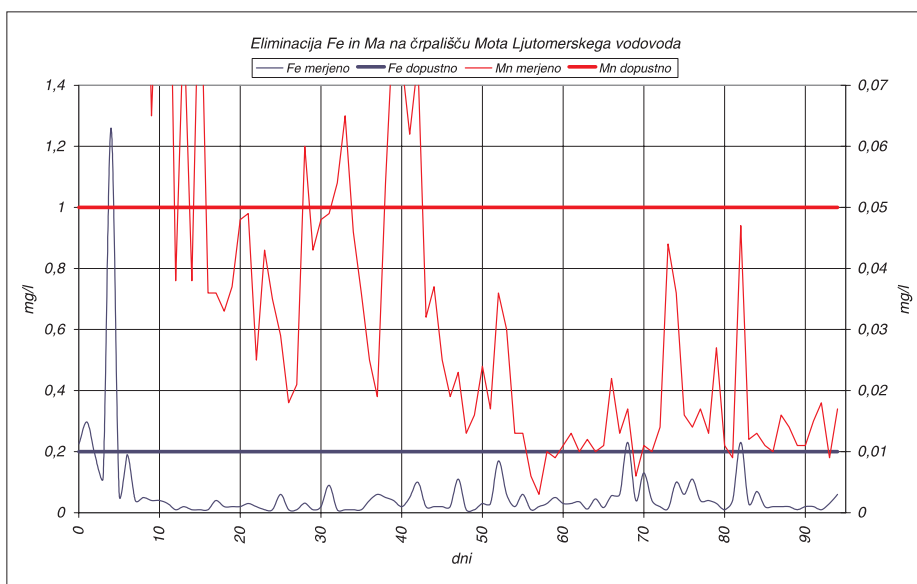
Kljub temu da je izvedena le ca. polovico načrta (manjka še eno ponikalno polje, prvo z 5 novimi vodnjaki je bilo zgrajeno šele leta 2006), pa je črpana pitna voda že od leta 2000 brez pesticidov in nitratov (slika 12), koncentracija nitratov (ca. 4 mg/l) pa je daleč pod dopustno mejo.

Z opisanim bogatenjem podtalnice se je toliko povečala zmogljivost črpališča, da je dovolj vode tudi v sušnih obdobjih. Iz pitne vode pa so odstranjeni pesticidi, nitrati in železo, ki so pod dopustno mejo. Z dokončno izgradnjo črpališča za v načrtu predvideno recirkulacijo vode v vodonosnik pa bo odstranjen tudi mangan, kar dokazujejo rezultati že leta 1991 izvedene deferizacije in demanganizacije v vodonosniku na črpališču Ljutomerskega vodovoda na Moti na sliki 11.

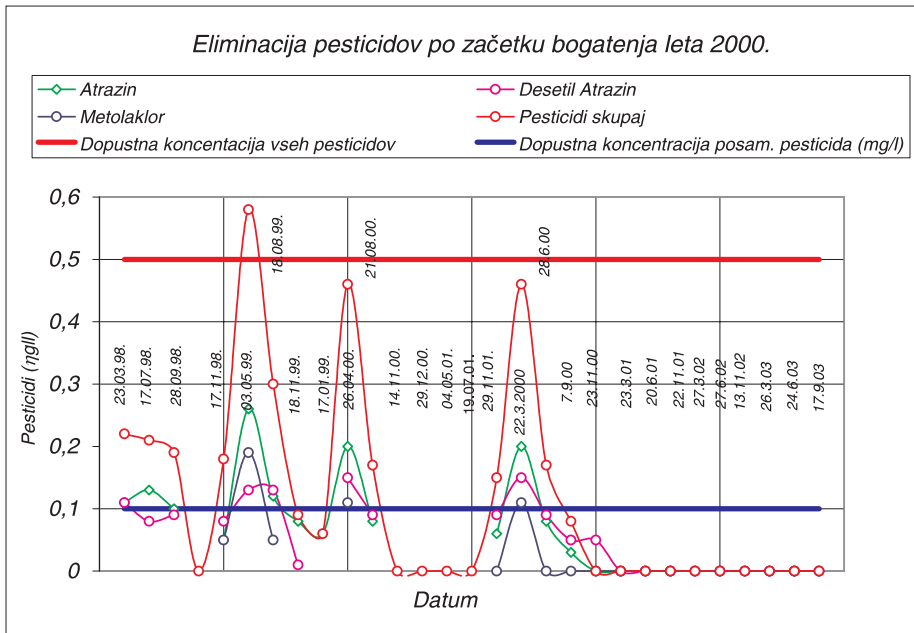
V prehodnem obdobju od pričetka bogatenja leta 1997–1998 pa je bogatenje podtalnice z eliminacijo pesticidov, nitratov, železa in deloma tudi mangana potekalo le preko zemeljskega bazena, ki bo po dokončanju načrtovanega črpališča prevzel funkcijo usedalnika in vodne rezerve za primer nepredvidenega onesnaženja Drave.



Slika 10 • Eliminacija železa in mangana v vodonosniku



Slika 11 • Potek eliminacije Fe in Mn v vodonosniku med preizkusnim pogonom med 25. 10. 1991 do 10. 4. 1992



Slika 12 • Pesticidi pred in po bogatnju podtalnice leta 2000



Slika 13 • Leta 2006 dograjeno prvo ponikalno polje s 5 novimi vodnjaki levo od ponikalnega polja, kot je prikazano na sliki 3. Na levi strani spodaj vodni rezervoar, levo obstoječa čistilna naprava, spodaj glavno črpališče

## 5 • SKLEP

Bogatenje podtalnice pri vodovodu Ormož združuje več lastnosti, ki se medsebojno dopolnjujejo:

- Izdatnost pitne podtalnice oziroma vodovodnega črpališča ni odvisna od sušnih obdobj, če podtalnico bogatimo iz večjih rek, katerih pretoki večkrat presegajo zmog-

ljivost same podtalnice.

- Istočasno se poveča zmožljivost in varnost črpane podtalnice pred onesnaženjem iz zalednih površin. Z ustvarjeno vodno zaveso je mogoče s količinsko in kakovostno kontrolo infiltrirane vode praktično v celoti preprečiti sicer možno onesnaževanje pitne podtal-

nice iz zalednih površin. Zato smo tak način poimenovali »aktivna« zaščita podtalnice.

- Klasična zaščita podtalnice, poimenovana »pasivna«, zahteva večje varnostne pasove, popolna kontrola kakovosti in količine pa je težja, če ni nemogoča.
- Zaščita pitne vode je pri »aktivni zaščiti« neposredno povezana z zaščito površinskih voda. Tako prispeva tudi k celostnemu gospodarjenju z vodo na posameznem porečju in končno v celotni državi.

# DRUŠTVO DIPLOMANTOV FAKULTETE ZA GRADBENIŠTVO V MARIBORU

**Nataša Šuman, univ. dipl. gosp. inž.**

**Daniela Dvornik Perhavec, univ. dipl. inž. grad.**

UM Fakulteta za gradbeništvo, Smetanova ul. 17, 2000 Maribor

**Povzetek** | Študij gradbeništva v Mariboru je v dobrih 45 letih izvajanja izobrazil več kot 3000 diplomantov. Zato je bila zamisel o povezovanju in druženju med diplomanti prisotna že vrsto let. Spomladi 2006 je zamisel prerasla v dejanje in ustanovljeno je bilo Društvo diplomantov Fakultete za gradbeništvo Univerze v Mariboru (kratko Društvo diplomantov FG). Danes društvo združuje vse diplomante višješolskih, visokošolskih in univerzitetnih programov gradbeništva, prometa in gospodarskega inženirstva ter vse, ki so uspešno končali magistrski in doktorski študij, tako na tedanji Višji tehnični šoli – gradbeništvo, kasneje na Tehniški fakulteti, VTO gradbeništvo ter na sedanji Fakulteti za gradbeništvo v Mariboru. Društvo trenutno šteje več kot 200 diplomantov.

## 1 • UVOD

Informacije so izredno pomembne za napredek družbe. Na Fakulteti za gradbeništvo se tega zavedamo in smo zato ustanovili Društvo diplomantov Fakultete za gradbeništvo v Mariboru. Pobuda za ustanovitev društva je sovpadala s proslavljanjem jubileja fakultete ob 45. obletnici študija gradbeništva v Mariboru in 10-letnici samostojne Fakultete za

gradbeništvo, ko je bila na fakulteti dana odločitev za izpeljavo vseh aktivnosti za registracijo društva. Ustanovni zbor je bil 10. aprila 2006. Pri zastavljanju poslanstva in vizije se je društvo zgledovalo po klubih diplomantov svetovno znanih univerz in fakultet. Osnovno poslanstvo društva je druženje diplomantov ter promocija društva kot

veznega člana vseh, ki so diplomirali na tedanji Višji tehnični šoli - gradbeništvo, kasneje Tehniški fakulteti, VTO gradbeništvo in sedanji Fakulteti za gradbeništvo; torej diplomante višješolskega, visokostrokovnega in univerzitetnega programa gradbeništva, diplomante visokostrokovnega in univerzitetnega programa prometa ter diplomante univerzitetnega programa gospodarskega inženirstva smer gradbeništvo ter vse, ki so uspešno zaključili magistrski in doktorski študij.

## 2 • POSLANSTVO IN VIZIJA DRUŠTVA

Poslanstvo Društva diplomantov FG je spodbujati razvoj stroke s pomočjo (z)druženja in vzdrževanja poslovnih ter prijateljskih vezi med diplomanti študija gradbeništva v Mariboru. Vizija društva je naslednja:

- vzpostaviti in omogočiti sodelovanje med diplomanti kot stanovskimi kolegi,
- vzpostaviti in razviti sodelovanje fakultete in njenega učiteljskega zbora z diplomanti,
- spodbuditi sodelovanje med člani društva, gospodarskimi subjekti in družbenimi ustanovami,
- prispevati k razvoju in promociji stroke,
- medijsko predstavljati dosežke stroke,

- prispevati k osebnemu in strokovnemu razvoju članov društva.

Pomemben prispevek društva je javno predstavljanje gradbene stroke in seznanjanje ljudi z gradbenimi dosežki v prostoru, v katerem živimo. Tako bomo prispevali k izboljšanju razmer v operativnem gradbeništvu, gradbena stroka bo uživala zaupanje in pridobila pomen.

Zastavljeno vizijo in poslanstvo društvo uresničuje z:

- **Družabnimi aktivnostmi:** organiziranje družabnih dogodkov, vsaj enkrat letno na osrednjem letnem srečanju, predvidoma

v mrzlih zgodnjepomladanskih dneh. Če bo izraženo zanimanje, bodo organizirane tudi druge družabne oz. športne aktivnosti.

- **Strokovnimi aktivnostmi:** organiziranje strokovnih predavanj in diskusij z namenom javnega predstavljanja dosežkov gradbene stroke.
- **Informativnimi aktivnostmi:** društvo ima za obveščanje svojih članov vzpostavljen spletni portal na naslovu: <http://diplomanti.fg.uni-mb.si>. Na voljo so informacije o napovedanih dogodkih, novice ter spisek članov društva ter pristopna izjava za bodoče člane. V pripravi je baza članov, ki bo bogat vir kontaktnih informacij bodisi za medsebojno komuniciranje ali za iskanje stanovskih kolegov, ki delujejo v enakem poslovnem



okolju. V prihodnosti bo baza povezana tudi z bazo fakultete, imenovano RONDO, v katero bodo vključeni profesorji, asistenti, gradbena podjetja ter tudi študenti, kar

bo omogočalo sodelovanje pri projektih, možnost iskanja kadrov ipd.

- Finančnimi aktivnostmi: ker se zavedamo, da je treba spodbujati mladost in ino-

vativnost, je naša želja ustanovitev sklada, s pomočjo katerega bi podeljevali nagrade za najboljša diplomska in doktorska dela.

### 3 • AKTIVNOSTI DRUŠTVA OD USTANOVITVE DO DANES

V relativno kratkem času od ustanovitve do danes je Društvo diplomantov FG izvedlo naslednje aktivnosti:

- Organiziranje in izvedba prvega družabnega srečanja diplomantov študija gradbeništva v Mariboru, maj 2006.
- Izvedba izrednega občnega zbora, z druženjem v sklopu prireditev Noč raziskovalcev, kjer nas je zabavala skupina Sigma-epsilon bend, september 2006.
- Organiziranje in izvedba prvega občnega zbora z družabnim srečanjem, marec 2007.
- Vzpostavitev spletnega portala društva in elektronskega naslova.
- Izvedba aktivnosti za pridobitev novih članov.
- Predstavitve društva na gradbenem sejmu MEGRA v Gornji Radgoni, april 2007.
- Sodelovanje pri projektu TECHTRANSFER.

#### 3.1 Prvo srečanje diplomantov

Društvo je kmalu po ustanovitvi priredilo prvo družabno srečanje diplomantov študija gradbeništva v Mariboru, ki je bilo organizirano v sklopu proslavljanja jubileja fakultete, dne 12. 5. 2006. Visok jubilej je fakulteta zaznamovala z dvema dogodkoma, in sicer z dopoldansko uradno slavnostno prireditvijo ter popoldanskim družabnim srečanjem diplomantov. Moto vseh prireditev, ki so tega dne potekale, je bil: **gradimo mostove med generacijami**.

Ob tej priložnosti je Fakulteta za gradbeništvo izdala zbornik z zgodovinskim pregledom delovanja fakultete, vključno s poimenskimi seznamom vseh diplomantov, magistrstov in doktorjev znanosti (UM, 2006).

Družabnega srečanja, ki je potekalo na Snežnem stadionu pod Pohorjem, se je udeležilo več kot 300 diplomantov (slika 1). Sproščeno druženje je bila enkratna priložnost za obnavljanje starih poznanstev in vzpostavljanje novih. Namen srečanja je bila poleg druženja promocija društva in pridobivanje članov društva. Za popestritev programa je nastopila dramska skupina študentov



Slika 1 • S prvega srečanja diplomantov



Slika 2 • Nastop glasbene skupine diplomantov Fakultete za gradbeništvo v Mariboru, Sigma-epsilon bend



fakultete, ki je odigrala izvirne skeče prigrad in anekdot iz študija na fakulteti. Srečanje pa je vsekakor doseglo svoj višek z nastopom takrat novoustanovljene glasbene skupine diplomantov FG imenovane Sigma-epsilon bend (slika 2). Bend je v takratni zasedbi: red. prof. dr. Branko Bedenik, predavatelj Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad., Benedikt Boršič, univ. dipl. inž. grad., Edi Brunčič, inž. grad. in Goran Perhavec, univ. dipl. inž. grad., pripravil odlični nastop, v katerem smo uživali prav vsi prisotni. Druženje je ob prijetnem razpoloženju trajalo vse do jutranjih ur.

### 3.2 Sodelovanje pri projektu TECHTRANSFER

Društvo je aktivno sodelovalo pri projektu TECHTRANSFER (Techtransfer, 2007), v

okviru evropskega programa Leonardo da Vinci. Namen projekta je primerjava prednosti in pomanjkljivosti izhodiščnih standardov visokošolskega izobraževanja gradbenih inženirjev na evropskem nivoju. Cilj projekta je oblikovanje modela za kakovostno strokovno izobraževanje gradbenih inženirjev in inženirjev arhitekture s poudarkom na znanjih s področja vodenja inovacij in prenosa tehnologij.

Društvo je na projektu sodelovalo v sklopu statistične raziskave standardov kakovosti v trenutnih visokošolskih programih. Člani društva so z izpolnjevanjem vprašalnika podali svoje videnje na trenutno stanje glede možnosti za usposabljanje inženirjev gradbeništva za inovativnost in tehnološki transfer.

### 3.3 Članstvo

Društvo diplomantov želi ustvariti kreativno sodelovanje in intenzivnejše mreženje stanovskih kolegov. Vsi diplomanti, ki še niso člani društva in čutijo pripadnost k fakulteti, vljudno povabljeni, da postanejo člani ter tako prispevajo svoj delež h gradnji mostov med generacijami. Obiščite spletni portal društva: <http://diplomanti.fg.uni-mb.si/>, kjer najdete pomembne informacije ter pristopno izjavo.

### 3.4 Pridobivanje finančnih sredstev

Sredstva za delovanje bo društvo še naprej pridobivalo z donatorskimi in sponzorskimi sredstvi podjetij, kjer so pretežno zaposleni diplomanti gradbene stroke, s članarino (5 € za študijsko leto) ter s sodelovanjem na projektih tudi v prihodnje.

## 4 • SKLEP

Vizija Društva diplomantov Fakultete za gradbeništvo v Mariboru je usmerjena v vzpostavljanje in ohranjanja poslovnih in prijateljskih vezi med člani društva kot stanovskimi kolegi ter z učiteljskim zborom fakultete. Vsak od nas lahko doda svoj delež pri grad-

nji mostov med generacijami naše fakultete. Prva priložnost se ponuja 4. aprila 2008, ko v večernem času organiziramo osrednje strokovno družabno srečanje. Prvi del srečanja bo namenjen strokovni razpravi o prenovljenih bolonjskih programih na FG in primer-

java s starimi ter o nazivih inženirjev. Sledilo bo družabno srečanje diplomantov, kjer bomo zopet lahko uživali ob koncertu Sigma-epsilon benda. Vljudno vabljeni člani društva, kakor tudi vsi ostali diplomanti študija gradbeništva v Mariboru. Podrobne informacije o srečanju in programom dogajanja najdete na našem spletnem portalu med novicami na naslovu: <http://diplomanti.fg.uni-mb.si/>.

## 5 • LITERATURA

Univerza v Mariboru, Razvoj študija gradbeništva in prometa v Mariboru 1960–2006, Maribor, maj 2006.

TECH TRANSFER, Novice, April 2007.

Spletne strani Društva diplomantov FG, naslov: <http://diplomanti.fg.uni-mb.si/>.

Spletne strani evropskega projekta TECHTRANSFER, naslov: <http://www.tech-transfer.eu/>.

Spletne strani Alumni kluba Univerze v Cambridgeu, naslov: <http://www.foundation.cam.ac.uk/index.php>.

# NOVI DIPLOMANTI

## UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Andrej Kovačič**, Avtomatizacija edometrske preiskave, mentor doc. dr. Janko Logar, somentor asist. dr. Boštjan Pulko

**Anja Vidali**, Obnova nepremične kulturne dediščine: primer Godbenega doma v Piranu, mentor doc. dr. Jana Šelih, somentor doc. dr. Vlatko Bosiljkov

**Robbie Smodiš**, Analiza časovnih odstopanj in prislužene vrednosti v gradbenem projektu, mentor doc. dr. Jana Šelih, somentor asist. dr. Aleksander Srdić

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Lovro Cimperman**, Vpliv konsistence in deleža zraka v svežem betonu na značilnosti zračnih por v strjenem betonu, mentor doc. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor David Duh

**Miha Šupek**, Ekstrapolacija pretočne krivulje vodomerne postaje s hidravličnim modelom HEC-RAS, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor viš. pred. mag. Leon Gosar

**Franci Starbek**, Vpliv apna na volumsko stabilnost zemljin v spodnjem ustroju cest, mentor prof. dr. Bojan Majes, somentor viš. pred. dr. Ana Petkovšek

**Nedžad Sejdinovič**, Tehnološki elaborat za gradnjo odseka HC Koper-Izola, mentor prof. dr. Janez Žmavc, somentor Tomaž Kurent  
**Igor Trdin**, Zasnova priključevanja hitre ceste v 3. razvojni osi na avtocesto A2 pri Trebnjem, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc, somentor Darko Potočnik

### MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Mateja Klaneček**, Presoja vodnogospodarske urejenosti povodja, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor doc. dr. Primož Banovec

**Tadej Markič**, Stabilizacijski objekti v vodotokih, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor prof. dr. Matjaž Mikoš

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Boštjan Goričan**, Potenciali IFC za celovito podporo življenjskega cikla gradbenega objekta, mentor doc. dr. Andrej Tibaut

### MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Borut Macuh**, Reševanje nekaterih problemov plastičnosti v mehaniki tal po teoremu zgornje vrednosti, mentor red. prof. dr. Ludvik Trauner

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

# KOLEDAR PRIREDITEV

**1.-5.4.2008**

**SEJEM MEGRA**

**21. mednarodni sejem gradbeništva in gradbenih materialov**

Gornja Radgona, Slovenija

[www.pomurski-sejem.si](http://www.pomurski-sejem.si)

[info@pomurski-sejem.si](mailto:info@pomurski-sejem.si)

**21.-25.4.2008**

**TRA 2008**

**2nd Transport Research Arena (TRA)**

Ljubljana, Slovenija

[www.traconference.com](http://www.traconference.com)

**24.-26.4.2008**

**Structures 2008 Congress**

Vancouver, Kanada

<http://content.asce.org/conferences/structures2008/index.html>

**18.-21.5.2008**

**EM08**

**The Inaugural International Conference of the Engineering Mechanics Institute**

Minneapolis, Minnesota, ZDA

[www.cce.umn.edu/conferences/em08](http://www.cce.umn.edu/conferences/em08)

**18.-22.5.2008**

**GEESD IV**

**Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics Conference**

Sacramento, Kalifornija, ZDA

<http://content.asce.org/conferences/geesd08/index.html>

**19.-22.5.2008**

**Internationales fib-Symposium 2008**

Amsterdam, Nizozemska

[dick@betonvereniging.nl](mailto:dick@betonvereniging.nl)

[www.fib2008amsterdam.nl](http://www.fib2008amsterdam.nl)

**29.5.2008**

**15. jubilejni slovenski kolokvij o betonih:**

**Izkušnje pri gradnji in sanaciji zahtevnih betonskih objektov**

Ljubljana, Trg republike 3, Slovenija

[www.irma.si](http://www.irma.si)

**4.-6.6.2008**

**IABSE Conference**

**ICT for Bridges, Buildings and Construction Practice**

Helsinki, Finska

[www.iabse.org](http://www.iabse.org)

**25.-28.6.2008**

**4th CINPAR**

**International conference on Structural Defects and Repair**

Aveiro, Portugalska

<http://cinpar.web.ua.pt/EN/info.htm>

**30.6.-4.7.2008**

**10th International Symposium on Landslides and Engineered Slopes**

Xi'an, Kitajska

[www.landslide.iwhr.com](http://www.landslide.iwhr.com)

**8.-10.7.2008**

**7th International Congress Concrete:**

**Construction's Sustainable Option**

Dundee, Škotska

[www.ctucongress.co.uk](http://www.ctucongress.co.uk)

**27.-30.7.2008**

**6th National Seismic Conference on Bridges and Highways (6NSC)**

Charleston, Južna Karolina, ZDA <http://www.scdot.org/events/6NSC/default.shtml>

**3.-5.9.2008**

**EUROSTEEL 2008**

Gradec, Avstrija

[www.eurosteel2008@tugraz.at](mailto:www.eurosteel2008@tugraz.at)

**17.-19.9.2008**

**7th RILEM International Symposium on Fibre Reinforced Concrete (BEFIB 2008)**

Chennai (Madras), Indija

[www.befib2008.iitm.ac.in](http://www.befib2008.iitm.ac.in)

**24.-26.11.2008**

**2nd International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting (ICCRRR 2008)**

Cape Town, Južna Afrika

[www.civil.uct.ac.za/icrrr](http://www.civil.uct.ac.za/icrrr)

**5.-9.10.2009**

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

Alexandria, Egipt

[www.2009icsmge-egypt.org](http://www.2009icsmge-egypt.org)

Rubriko ureja • **Jan Kristijan Juteršek**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: [mvg@izs.si](mailto:mvg@izs.si)