

GRADBENI VESTNIK

GLASILO
ZVEZE DRUŠTEV
GRADBENIH
INŽENIRJEV
IN TEHNIKOV
SLOVENIJE

Poština plačana pri
pošti 1102 LJUBLJANA

**AVGUST
2001**

**1951
2001**



Glavni in odgovorni urednik:

Prof.dr. Janez **DUHOVNIK**

Lektorica:

Alenka **RAIČ - BLAŽIČ**

Tehnični urednik:

Danijel **TUDJINA**

Uredniški odbor:

Doc.dr. Ivan **JECELJ**

Andrej **KOMEL**, u.d.i.g.

Mag. Gojmir **ČERNE**

Prof.dr. Franci **STEINMAN**

Prof.dr. Miha **TOMAŽEVIČ**

Janja **PEROVIC-MAROLT**, u.d.i.g.

Tisk:

TISKARNA LJUBLJANA d.d.

Količina: 900 izvodov

Revija izdaja ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE, Ljubljana, Karlovska 3, telefon/faks: 01 422-46-22, ob finančni pomoči Ministrstva RS za znanost in tehnologijo, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani ter Zavoda za gradbeništvo Slovenije.

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

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 5000 SIT; za študente in upokoјence 2000 SIT; za gospodarske naročnike (podjetja, družbe, ustanove, obrtnike) 40500 SIT za 1 izvod revije; za naročnike v tujini 100 USD. V ceni je všteti DDV.

Žiro račun se nahaja pri Agenciji za plačilni promet, Enota Ljubljana, številka: 50101-678-47602.

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.

2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.

3. Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.

4. Besedilo mora biti izpisano z dvojnimi presledki med vrsticami.

5. Prispevki morajo imeti naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo prispevka.

6. Besedilo člankov mora obvezno imeti: naslov članka (velike črke); imena in priimke avtorjev; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY, naslov članka v angleščini (velike črke) in povzetek v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so dodatki označeni še z A, B, C, itn.

7. Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni.

8. Slike, preglednice in fotografije morajo biti oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Slike in fotografije, ki niso v elektronski obliki, morajo biti priložene prispevku v originalu in dveh kopijah.

9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.

10. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki [priimek

prvega avtorja, leto objave]. V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c, itn.

11. V poglavju LITERATURA so dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime avtorja, priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.

12. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.

13. Pod črto na prvi strani, pri prispevkih, krajših od ene strani pa na koncu prispevka, morajo biti navedeni obsežnejši podatki o avtorjih: znanstveni naziv, ime in priimek, strokovni naziv, podjetje ali zavod, naslov.

14. Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: FGG, Jamova 2, 1000 LJUBLJANA. 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 treh izvodih in v elektronski obliki (WORD, EXCEL, AVTOD, DESIGNER).

Uredniški odbor

VSEBINA - CONTENTS

Uvodnik

Stran 174
Peter Fajfar

MIHA TOMAŽEVIČ - novi izredni član SAZU



Članki, študije, razprave Articles, studies, proceedings

Stran 175

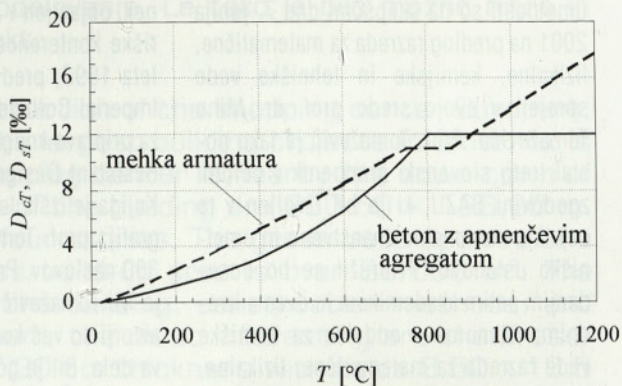
Marko Završki, Peter Henčič, Mojca Marinič
**PROJEKTIRANJE IN GRADNJA
NAKUPOVALNEGA CENTRA EUROPARK
V MARIBORU**



**DESIGN AND CONSTRUCTION OF
SHOPPING CENTRE EUROPARK
IN MARIBOR**

Stran 182

I. Planinc, S. Bratina, G. Turk, B. M. Saje
**RAČUNSKA POŽARNA ODPORNOST
ARMIRANOBETONSKEGA NOSILCA**

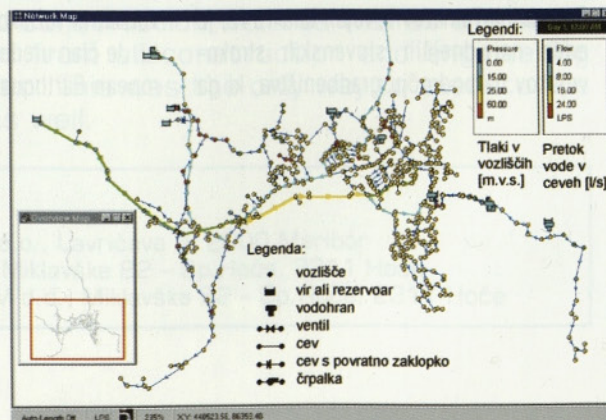


**THE DETERMINATION OF FIRE
RESISTANCE OF REINFORCED
CONCRETE BEAM**

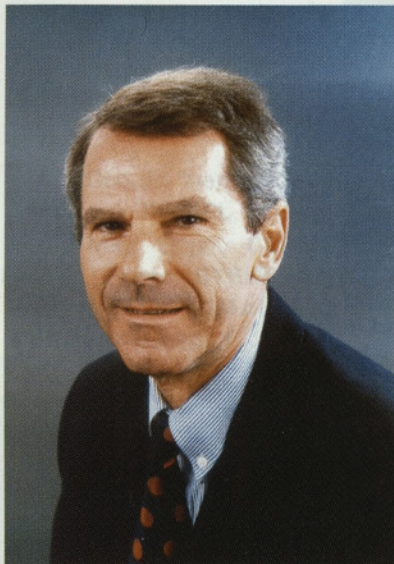
Stran 195

Franci Steinman, Primož Banovec, Sašo Šantl
**UPORABA GENETSKIH ALGORITMOV PRI
NAČRTOVANJU IN UPRAVLJANJU
VODOVODNIH SISTEMOV**

**APPLICATION OF GENETIC
ALGORITHMS WITH WATER SUPPLY
SYSTEM PLANNING AND
MANAGEMENT**



MIHA TOMAŽEVIČ - novi izredni član SAZU



Člani Slovenske akademije znanosti in umetnosti so na skupščini dne 7. junija 2001 na predlog razreda za matematične, fizikalne, kemijske in tehniške vede sprejeli v svojo sredo prof. dr. Miho Tomaževiča. Prof. Tomaževič je tako postal tretji slovenski gradbenik v celotni zgodovini SAZU, ki je bil izvoljen v to najvišjo nacionalno znanstveno in umetniško ustanovo. Pridružil se bo dosežanjim petim akademikom in dvema izrednima članoma v oddelku za tehniške vede razreda za matematične, fizikalne, kemijske in tehniške vede.

Prof. Miha Tomaževič, rojen leta 1942, je eden najvidnejših slovenskih strokovnjakov na področju gradbeništva, ki ga

odlikujejo izjemni raziskovalni dosežki in zelo uspešno inženirsko delo v praksi. Ožje področje njegovega znanstvenega dela je obnašanje zidanih in armiranobetonskih gradbenih konstrukcij pri potresni obtežbi. Ukvarja se pretežno z eksperimentalnimi raziskavami, dosežene rezultate pa zelo uspešno uporablja pri razvoju metod analize in projektiranja. Objavil je vrsto odmevnih člankov, s katerimi se je uvrstil v svetovni vrh na področju svojega dela, o čemer pričajo med drugim vabili za pripravo preglednih ("state-of-the-art") poročil na 10. evropski konferenci o potresnem inženirstvu leta 1994 na Dunaju in na 11. svetovni konferenci o potresnem inženirstvu leta 1996 v Acapulcu, številna vabila za predavanja na konferencah in univerzah, nagrada "Outstanding Paper Award" za članek, objavljen v zborniku 6. severnoameriške konference za zidane konstrukcije leta 1993, predvsem pa vabilo založbe Imperial College Press/World Scientific za pripravo knjige z naslovom Earthquake Resistant Design of Masonry Buildings. Knjiga je izšla leta 1999. Celotna bibliografija prof. Tomaževiča obsega več kot 300 naslovov. Pri zelo veliki večini objav je M. Tomaževič edini ali prvi avtor. Tuji avtorji so več kot 150-krat citirali njegova dela. Bil je gostujoči profesor na univerzah v Čilu in Italiji in imel več kot 60 predavanj in seminarjev na različnih univerzah in raziskovalnih inštitutih po svetu. Je član uredniškega odbora revije European Earthquake Engineering.

Dela M. Tomaževiča vsebujejo izvirne dosežke, ki so pomemben prispevek znanosti. Objave so bogatile svetovno zakladnico znanja z novim temeljnim znanjem o obnašanju objektov pri potresni obtežbi. Obenem dela prinašajo nove metode za potresno odporno projektiranje novih objektov in za ojačevanje obstoječih zidanih stavb, ki se že uporabljajo v praksi pri nas, pa tudi drugod po svetu. Rezultati raziskav tako niso omejeni samo na objave, pač pa neposredno prispevajo k bolj varnim in racionalnim gradbenim objektom. Posebej je treba poudariti, da so obsežen opus del M. Tomaževiča in njegovi izjemni raziskovalni dosežki nastali ob njegovi veliki angažiranosti na drugih področjih. M. Tomaževič od leta 1996 dalje uspešno vodi Zavod za gradbeništvo kot njegov direktor, pri strokovnih in razvojnih nalogah raziskovalne dosežke prenaša v prakso, sodeluje pa tudi pri podiplomskem študiju na FGG, kjer svoje znanje prenaša na podiplomske študente in inženirje iz prakse. Univerza v Ljubljani mu je podelila naziv redni profesor. Vse to priča o tem, da je M. Tomaževič celovita osebnost, ki zelo pomembno vpliva na razvoj gradbeništva v Sloveniji. Priznanje, ki mu je bilo podeljeno z izvolitvijo v članstvo SAZU, je prišlo v prave roke.

akad. prof. dr. Peter Fajfar

PROJEKTIRANJE IN GRADNJA NAKUPOVALNEGA CENTRA EUROPARK V MARIBORU

DESIGN AND CONSTRUCTION OF SHOPPING CENTRE EUROPARK IN MARIBOR

STROKOVNI ČLANEK

UDK 624 : 725.21

MARKO ZAVRŠKI, PETER HENČIČ, MOJCA MARINIČ

P O V Z E T E K V članku je opisano projektiranje in gradnja nakupovalnega centra Europark, ki šteje med največje tovrstne objekte pri nas. Center je zgrajen v ožji okolici strogega mestnega centra Maribora. Objekt je dolg 280,50 in širok 126,00 m. Posamezni deli objekta imajo 3 ali 4 etaže. Bruto površina posamezne etaže znaša nekaj nad 27.800 m², celotna bruto površina vseh etaž pa je prek 85.000 m². Posebnost objekta so tlorisne dimenzije, način izvedbe in uporaba novejših konstrukcijskih rešitev. Med te štejejo v dveh smereh prednapete armiranobetonske plošče debeline 30 cm na stebrih v rastru 8.50 x 10.5 m, pri čemer so bili uporabljeni prosto vodeni kabli brez povezave z betonom, betoni visokih trdnosti (MB 90) za stebre in točkovni temelji s poglobljeno čašo. Zahtevnost in obsežnost projektiranja ter izvedbe so skupaj s kratkimi roki terjali od gradbenih in inženiring podjetij v širši mariborski okolici združitev in tesno sodelovanje. Le tako je bilo možno hitro in kakovostno ter s tem uspešno uresničiti projekt.

S U M M A R Y Design and construction of the shopping center Europark, which is one of the largest building projects in Slovenia, is described in the paper. The location of the shopping center is nearby the down-town of Maribor. The maximum ground plan dimensions of the building are 280,50 x 126,00 m. Particular parts of the building have three to four stories. The gross build-up area of a story is about 27.800 m² and the total gross build-up area is over 85.000 m². The particularities of the project are the size of the building, construction methods, and some newest structural solutions. Among them, the most interesting are the cross-laid pre-stressed reinforced concrete slabs of 30 cm thickness with fields 8.50 x 10.5 m where the freely led bond free tendons were used, the columns made of the high strength class concrete (MB 90), and the concrete block foundations with deepened pockets. Comprehensive structural design and construction work as well as the short schedule targets set by the client demanded from all construction and engineering companies involved to join and work as one team. This was the only way to execute the project quickly, in due time, and qualitatively as well.

Avtorji:

Mag. Marko ZAVRŠKI, univ.dipl.inž.grad., GRADIS BP d.o.o., Lavričeva 3, 2000 Maribor
Peter HENČIČ, univ.dipl.inž.grad., STAVBAR – IGM d.d., Miklavška 82 – Sp.Hoče, 2311 Hoče
Mojca MARINIČ, univ.dipl.gosp.inž.grad., STAVBAR – IGM d.d., Miklavška 82 – Sp.Hoče, 2311 Hoče

1 UVOD

V članku je predstavljena konstrukcijska zasnova in izvedba nakupovalnega centra EUROPARK Maribor, ki je trenutno največji nakupovalni center v Sloveniji. V opisu konstrukcijske zasnove so izpostavljene nekatere konstrukcijske rešitve, ki so v slovenskem prostoru novejšje. To so: monolitne, v dveh smereh prednapete armiranobetonske medetažne plošče; betoni visokih trdnosti za montažne stebre in temeljenje s točkovnimi temelji s poglobljeno čašo. V nadaljevanju sta opisana organizacijski pristop k izdelavi projektne dokumentacije za izvedbo konstrukcije in izvedba gradbenih del.

2 KONSTRUKCIJSKA ZASNOVA OBJEKTA

2.1 SPLOŠNI PODATKI O OBJEKTU

Lokacija nakupovalnega centra (slika 1) je na desnem bregu Drave med dvema večjima prometnicama. Objekt omejuje

na zahodnem delu glavna vpadnica v center mesta (Titova cesta), Pobreška cesta na severnem delu objekta in na novo izvedena cesta (cesta A) na vzhodnem delu objekta. Uvoz in izvoz z vozili je mogoč s severne, južne in vzhodne smeri po dovoznih ulicah oz. rampah, dostopne rampe za pešce pa so na severni in južni strani objekta.

Objekt ima tlorisne dimenzije 280.50×126.00 m, posamezni deli objekta imajo od 3 do 4 etaže. Bruto površina posamezne etaže znaša okoli 27.800 m^2 , celotna bruto površina po vseh etažah pa je prek 85.000 m^2 .

Projekt arhitekture (PGD in PZI) je delo arhitekturnega biroja A&GP (Architektur und Generalplanung) z Dunaja. Glavni projektant je arch. mag. arch H.H. Brunner.

2.2 OPIS KONSTRUKCIJE OBJEKTA

Primarna konstrukcija objekta je okvirna armiranobetonska, delno monolitna in delno montažna. Nanjo se naslanjajo jek-

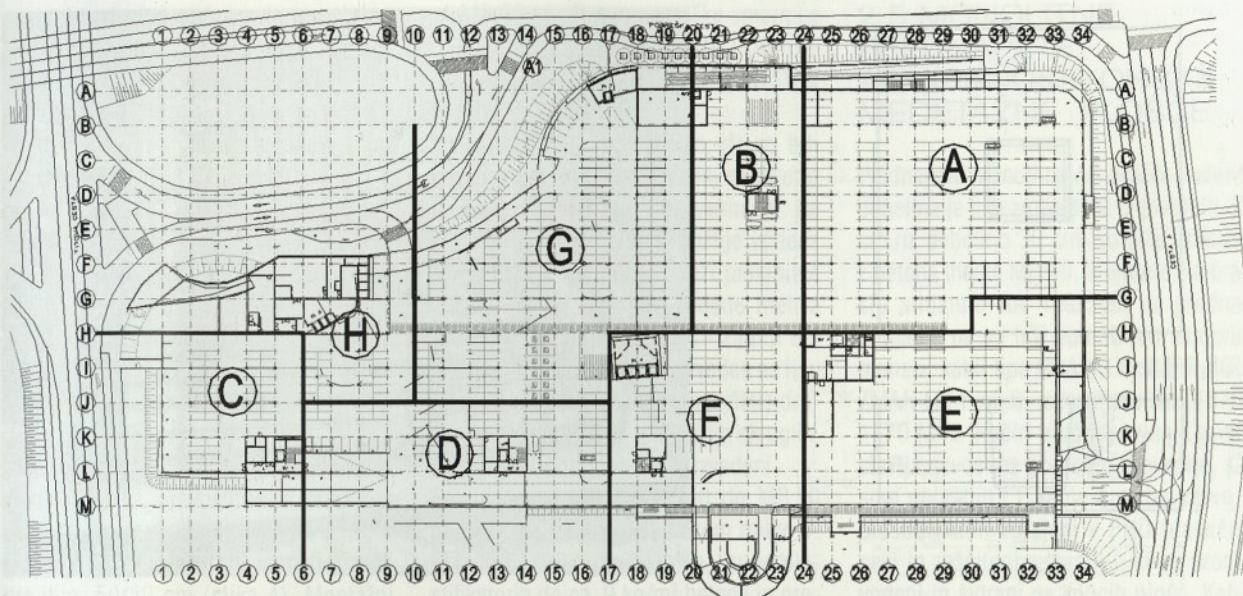
lene strešne konstrukcije ter armiranobetonske stropne plošče, stopnice in drugi deli objekta.

Celotni objekt je konstrukcijsko razdeljen na osem enot (slika 2) :

- Enota A je armiranobetonska montažna konstrukcija, ki leži med osmi 24 in 34 oziroma med osmi A in H/G.
- Enota B je armiranobetonska montažna konstrukcija, ki leži med osmi 20 in 24 oziroma med osmi A in H.
- Enota C je armiranobetonska montažna konstrukcija, ki leži med osmi 1 in 6 oziroma med osmi H in L/ M.
- Enota D je armiranobetonska montažna konstrukcija, ki leži med osmi 6 in 17 oziroma med osmi J in M.
- Enota E (garažna hiša) je monolitna armiranobetonska konstrukcija, ki leži med osmi 24 in 33 oziroma med osmi H in G/ M.
- Enota F (garažna hiša in glavni vhod ter krožna dovozna rampa) je monolitna armiranobetonska konstrukcija, ki leži med osmi 17 in 24 oziroma med osmi H in M.
- Enota G (? mall ?) je monolitna armiranobetonska konstrukcija, ki leži med



Slika 1: Nakupovalni center EUROPARK v Mariboru



Slika 2: Tloris kleti z vrisanimi dilatacijami

osmi 10 in 20 oziroma med osmi A in J.

- Enota H (? mall?) je monolitna armiranobetonska konstrukcija, ki leži med osmi 6 in 10 oziroma med osmi F in J.

Osnovni raster stebrov je 8.50 x 10.50 m. Enote A, B, C in D so montažne konstrukcije z delno monolitno izvedbo v posameznih delih objekta, kjer je bilo to potrebno zaradi večjih koristnih obtežb in geometrije objekta (visokoregalno skladišče v enoti A in vhod v enoti D). Enota H, G, E in F tvorijo monolitne prednapete armiranobetonske plošče deb. $d = 30$ cm, ki so podprte z montažnimi stebri v 1. (KL) in 2. etaži (PR) ter monolitnimi stebri v 3. etaži (1.NS). Vsi stebri imajo dimenzije 50 x 50 cm in so glede na obremenitve izvedeni v betonu z MB 30 - MB 90.

Montažno konstrukcijo sestavljajo montažne armiranobetonske prednapete votle plošče, v enoti A pa tudi π -plošče. Montažne plošče imajo razpon 10.50 m in so podprte s prednapetimi montažnimi nosilci obrnjenega T-prereza z razponom 8.50 m. Višina nosilcev je 70 do 160 cm glede na velikost obtežbe in dolžino. V vseh enotah so armiranobetonska jedra, ki prevzamejo večji del horizontalne

obtežbe. Nosilne konstrukcije vertikalnih komunikacij (dvigala, stopnice, tekoče stopnice in tekoči trakovi) so klasične armiranobetonske okvirne in stenaste konstrukcije.

Nosilna konstrukcija fasade na severni strani je jeklena branasta konstrukcija, ostale fasade so opečne in ojačane z vertikalnimi in horizontalnimi armiranobetonskimi vezmi.

Del strešne konstrukcije v enotah A, B, C in D je iz armiranobetonskih nosilcev T prereza na razdalji 2,83 m, ki podpirajo nosilno trapezno pločevino deb. 1.25 mm.

Objekt je temeljen na točkovnih in pasovnih temeljih na gramoznih tleh. Dopusna obremenitev temeljnih tal je znašala 500 - 600 kN/m².

V računu konstrukcije so bile upoštevane koristne obtežbe, določene v projektni nalogi:

- 35.0 kN/m² v visokoregalnem skladišču,
- 33.3 kN/m² dostava Interspar v enotah A in E,
- 20.0 kN/m² od osi 28-30 v enoti A,
- 15.0 kN/m² v enotah A in B ter delno v G,
- 10.0 kN/m² v enoti C, D, G in H,
- 3.0 kN/m² v upravnem in pisarniškem delu in v področju garaž v enotah E in F.

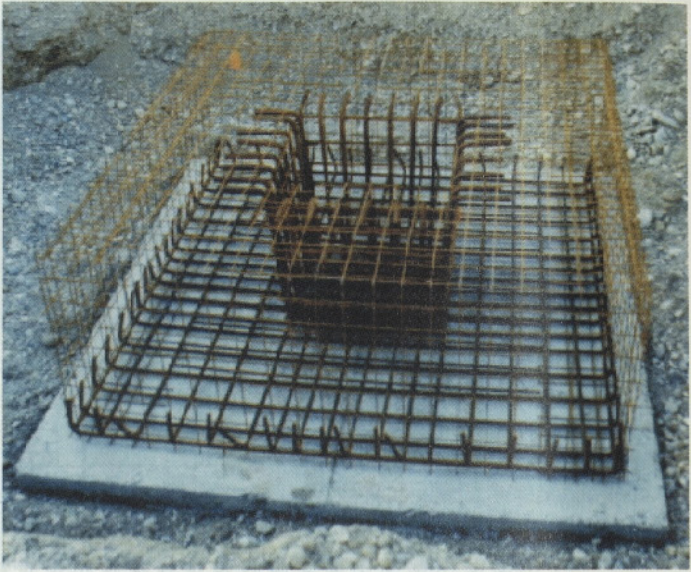
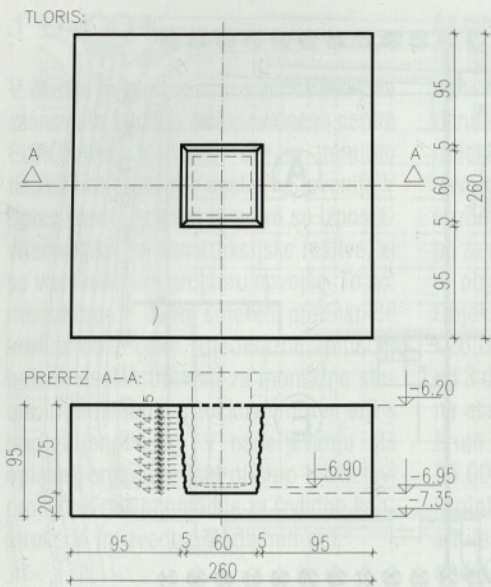
Objekt je v VII. potresni coni po MCS.

V nadaljevanju je podan opis posameznih konstrukcijskih rešitev, ki predstavljajo novost v slovenskem prostoru. To so:

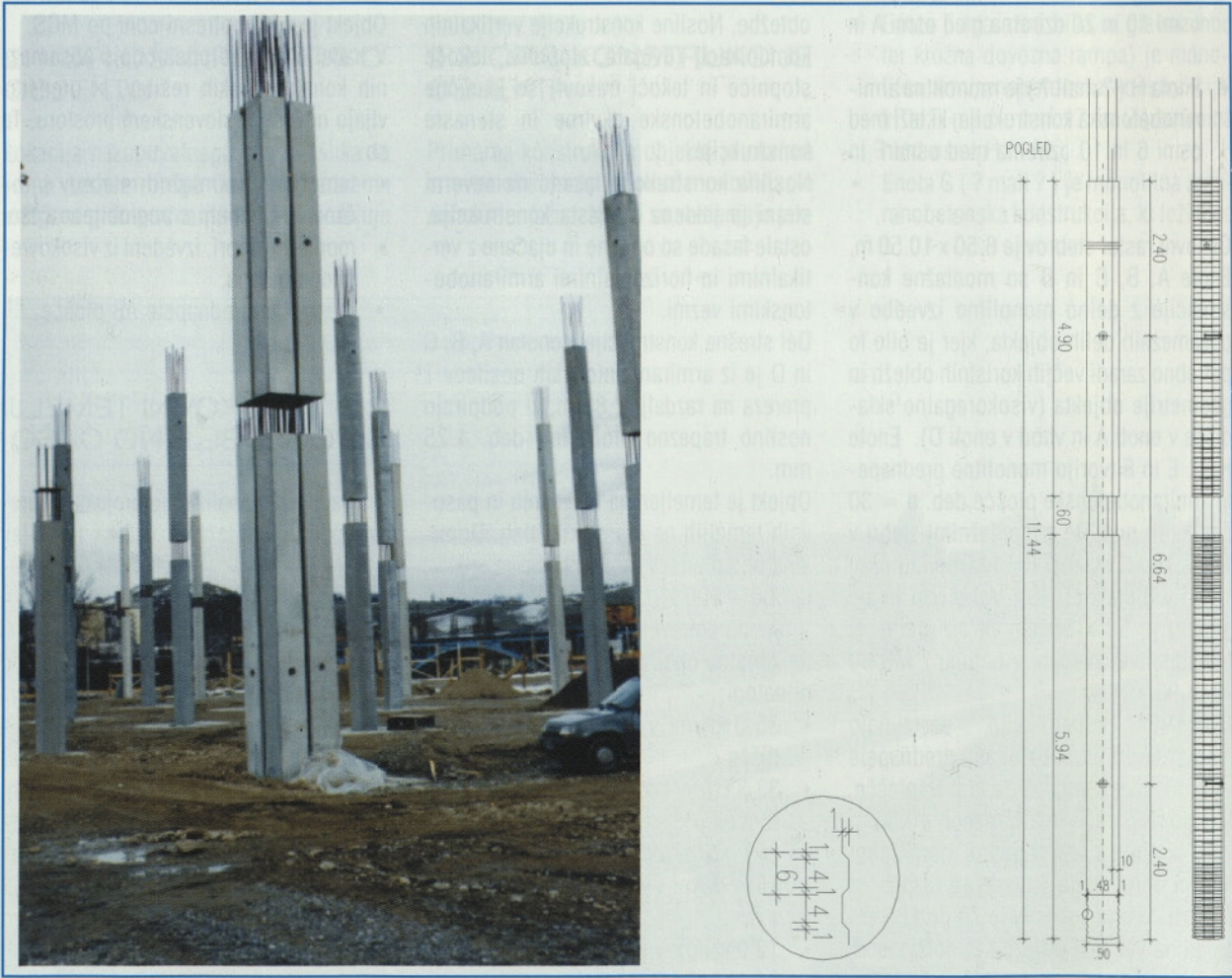
- temeljenje montažnih stebrov s točkovnimi temelji s poglobljeno čašo,
- montažni stebri, izvedeni iz visokovrednega betona,
- monolitne prednapete AB plošče.

2.3 TOČKOVNI TEMELJI S POGLOBLJENO ČAŠO

V skladu z racionalizacijo projekta in preprojektiranjem je bila večina temeljev izvedena v obliki plitvih točkovnih temeljev s poglobljeno čašo (t.i. »BLOK« temelji, slika 3) na globini 6.0 m - 7.0 m (spodnja kota temelja), merjeno od ničelne kote obstoječega terena. Povprečne tlorisne dimenzije točkovnih temeljev znašajo od 230/230 do 350/350 cm z debelino pete od 95 cm do 115 cm. Skupaj je bilo izvedeno 372 točkovnih temeljev. V blokovnih temeljih so bile izdelane poglobljene čaše, v katere so bili postavljeni montažni stebri. Stiki med stebri in čašami so bili po montaži zaliti z drobnozrnatim ekspanzijskim betonom visoke marke, s katerim se doseže



Slika 3: Točkovni temelj s poglabljeno čašo



Slika 4: Montažni steber na mestu dvojne dilatacije in opažni armaturni načrt načrt stebra

sovprežnost med stebrom in temeljem. Kontaktna površina odprtine v temelju in spodnji del stebra sta nazobčana (višina zoba znaša 4.0 cm, globina pa 1 cm). Poudariti je potrebno, da vpetost stebra v točkovni temelj in odpornost temelja na preboj dosežemo le s pravilnim zalitjem opisanega spoja.

2.4 MONTAŽNI STEBRI, IZVEDENI IZ VISOKOVREDNEGA BETONA

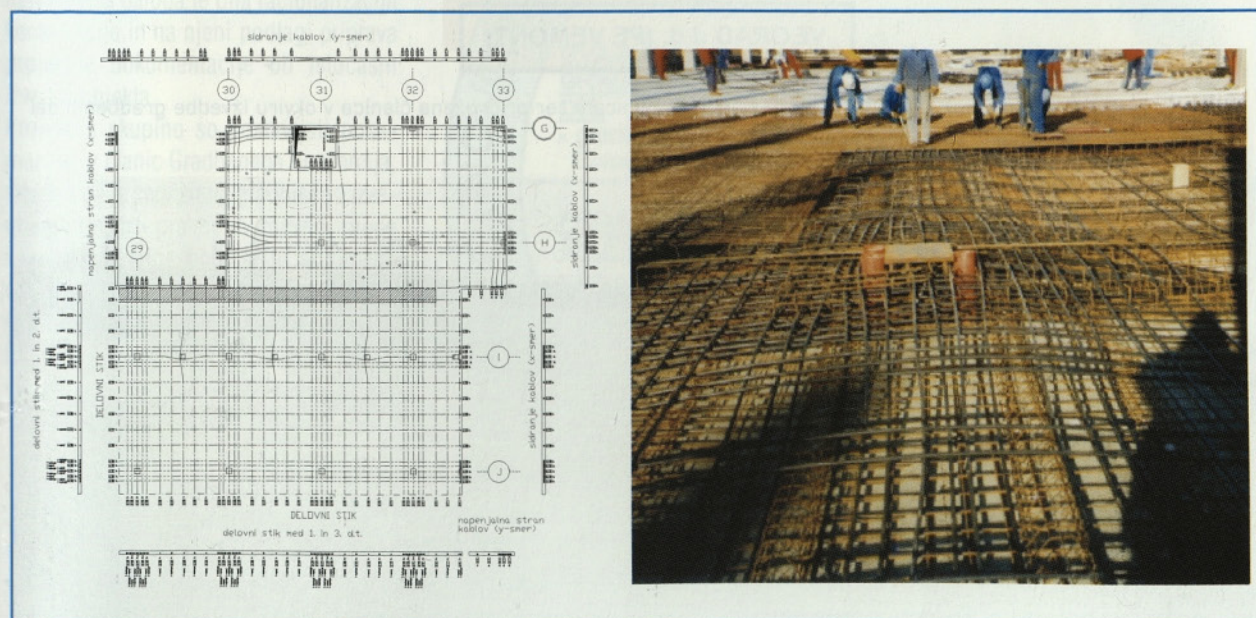
V projektu PGD konstrukcije so bili predvideni stebri pravokotnega prečnega preseka dim. 50/70 cm, ki smo jih v projektu PZI spremenili v montažne stebre dim. 50/50 cm (slika 4). Montažni stebri so bili izdelani v obratih podjetja Konstruktor d.d. in Stavbar-IGM d.d. V slednjem so bili proizvedeni predvsem stebri visokih trdnosti od MB 60 do MB 90, kar je pravzaprav omogočilo poenotenje prečnega preseka na 50/50 cm in izvedbo vitkih stebrov do višine druge etaže (dolžina ca. 12 m) in s tem posledično hitrejše napredovanje gradbenih del. Odstotek armiranja je 0.8 % do 3 %. Pri dokazu stabilnosti objekta so bile pri dimenzioniranju stebrov visokih trdnosti

> MB 60 upoštevane nemške smernice DafStb za visokovredni beton – DOPOLNITEV K DIN 1045/07.88 ZA TRDNOSTNE RAZREDE B 65 DO B 115.

Posebnost stebrov je v tem, da so bili izvedeni kot montažni v višini dveh etaž in da so bili na mestu etaž prekinjeni. Na mestu prekinitve je bila skozi vodena samo mehka armatura. Skozi prekinitve stebrov je bila kasneje vodene mehka armatura prednapetih plošč. Zadnji del stebrov (tretja etaža) je bil izveden na licu mesta. Vsi ostali stebri (v manjšini) drugih prečnih presekov, predvsem okroglih, so bili klasično monolitno izvedeni. Betoni visokih trdnosti MB 60 do MB 90 so bili proizvedeni z dodatkom mikrosilike do ca. 30 kg/m³ betona, superplastifikatorja do ca. 9 kg/m³ betona in prodnatega agregata frakcij do 16 mm. Doseženi V/C faktor se je gibal v mejah od 0.30 do 0.35. Skupaj proizvedena količina visokovrednega betona je znašala ca. 130 m³. Pri betonu trdnosti MB90 je znašala tlačna trdnost po prvem dnevu že ca. 50 MPa, po sedmem dnevu ca. 70 MPa, po 28 dneh pa je znašala tlačna trdnost betona v povprečju 95 MPa. Večina montažnih stebrov je bila proizvedena v zimskem času.

2.5 MONOLITNE PREDNAPETE ARMIRANOBETONSKE MEDETAŽNE PLOŠČE

Prednapete monolitne AB plošče, katerih debelina je bila zmanjšana iz prvotnih 35 cm na debelino 30 cm, so bile izdelane z betona marke MB 40, armirane z rebrasto armaturo RA 400/500, za prednapenjanje pa so bili uporabljeni enopramenski kabli tipa GRADIS PHILIPP HOLZMAN LH 1×0,6, s kvaliteto žice 1570/1770 MPa. Način prednapenjanja predstavlja novost na področju Slovenije, saj smo uporabili t.i. kable brez povezave s ploščo (kabli vgrajeni v PHD plastične cevi in zaščiteni z mastjo), ki so prosto vodeni in sidrani na koncih plošč. Kabli so bili vodeni v dveh med seboj pravokotnih smereh (X, Y). Kabli so bili položeni v zgoščenih pasovih v območju stebrov in na večjih medsebojnih razmakih v poljih zunaj stebrov. Zaradi velikih koristnih obtežb plošče (od 10 kN/m² do 15 kN/m²) je bila plošča v območju stebrov zaradi zagotovitve varnosti na preboj ojačena z vuto deb. 30 cm. Slika 5 shematsko prikazuje tlorsni razpored kablov in fotografijo plošče v izvedbi na gradbišču. Razlogi za izbiro prednapetih



Slika 5: Shema kablov in detajl položenih kablov

M. ZAVRŠKI, P. HENČIČ, M. MARINIČ: Projektiranje in gradnja nakupovalnega centra Europark v Mariboru

plošč so bili naslednji:

- zmanjšanje debeline plošč;
- zmanjšanje deformacij pri izbiri manjše debeline plošče;
- skrajšanje časa podpiranja in razopazovanja posameznih delovnih taktov in s tem posredno zmanjšanje potrebne količine opažev in podpornega materiala;
- zmanjšanje mehke armature.

Medetažne plošče v posameznih dilatacijskih enotah so se izvajale po delovnih etapah. V vsaki etapi se je prednapelo najmanj 50 % kablov po 3-4 dneh. Po prednapetju kablov 1. faze v posamezni delovni etapi je sledil premik opaža in podpornih stojk na lokacijo naslednje delovne etape.

3 IZVEDBA GRADBENIH DEL IN PRIPRAVA PROJEKTNE DOKUMENTACIJE

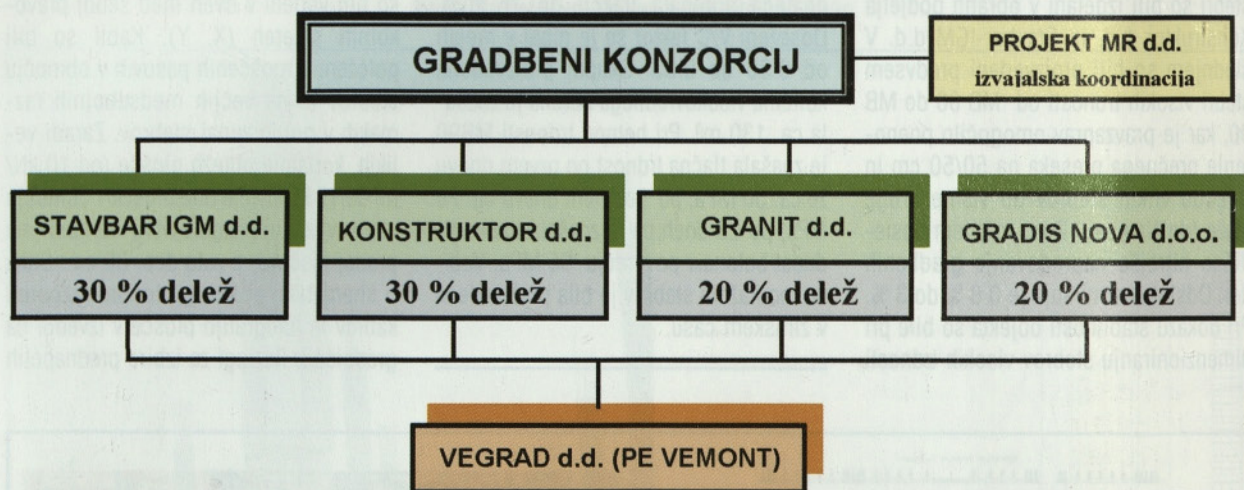
Glede na obsežnost in določene roke izvedbe del do 3. gradbene faze, je bilo nesmiselno, da bi se za dela potegovala posamezna gradbena podjetja na območju Štajerske in tako popolnoma samostojno izvedla tako velik projekt. Z namenom, da izvedba projekta in s tem delo ostane med domačimi podjetji, so se izvajalska gradbena podjetja iz Maribora in širše okolice med seboj povežala v t.i. Gradbeni konzorcij (slika 6). Gradbeni konzorcij je bil ustanovljen za čas trajanja izvedbe objekta Europark in je

vklučeval štiri izvajalska gradbena podjetja iz Maribora in širše okolice:

- Stavbar IGM d.d.,
- Konstruktor d.d.,
- Granit d.d.,
- Gradis nova d.o.o. in eno pridruženo članico iz Velenja – Vegrad d.d (PE Vemont), zadolženo za montažno konstrukcijo.

V imenu Gradbenega konzorcija je nastopal kot koordinator na nivoju izvedbe projektivna organizacija Projekt MR d.d.

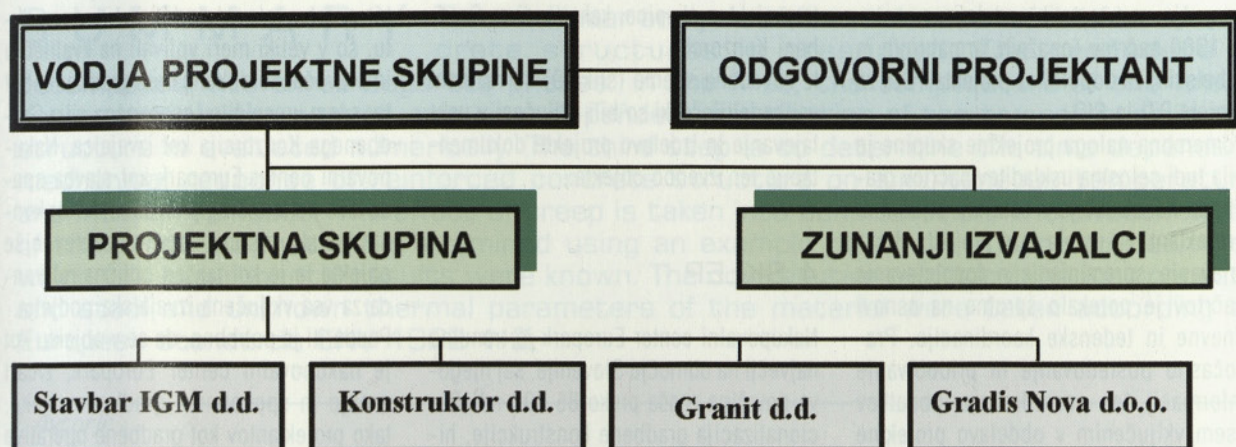
Projekt je do izpolnitve končnega cilja – otvoritve nakupovalnega središča trajal 22 mesecev, od tega so bila gradbena dela izvedena v 10 mesecih (slika 7), obrtniška in vsa ostala dela do otvoritve



Slika 6: Sestava GK in deleži, ki pripadajo posameznim članicam ter pridružena članica v okviru izvedbe gradbenih del



Slika 7: Objekt po končanju gradbenih del



Slika 8: Struktura projektne skupine

pa v nadaljnjih v 12 mesecih. Gradnja je trajala od meseca ??? leta???do meseca ???leata ???.

Pri izgradnji celotnega objekta je bilo porabljenih ca. 32.000 m³ betona, ca. 85.000 m² opažev, ca. 3600 ton mehke armature, ca. 350 ton kablov za prednapenjanje in izkopanih ca. 210.000 m³ zemlje in gramoza.

Gradbeni konzorcij ni sodeloval samo pri izvedbi gradbenih del, ampak tudi pri pripravi celotne projektne dokumentacije za monolitni del konstrukcije. Tako je bila znotraj Gradbenega konzorcija oblikovana projektna skupina (slika 8), katere najvažnejša naloga je bila racionalizacija konstrukcije in na njeni podlagi priprava projektne dokumentacije ob istočasni izvedbi objekta.

Projektno skupino so sestavljali posamezniki iz članic Gradbenega Konzorcija, skupina pa je servisirala gradbišče z izvedbenimi načrti praktično dnevno, glede na potek izvedbe objekta in sprotnega usklajevanja z ostalimi projektanti.

Glavne zadolžitve projektne skupine so bile:

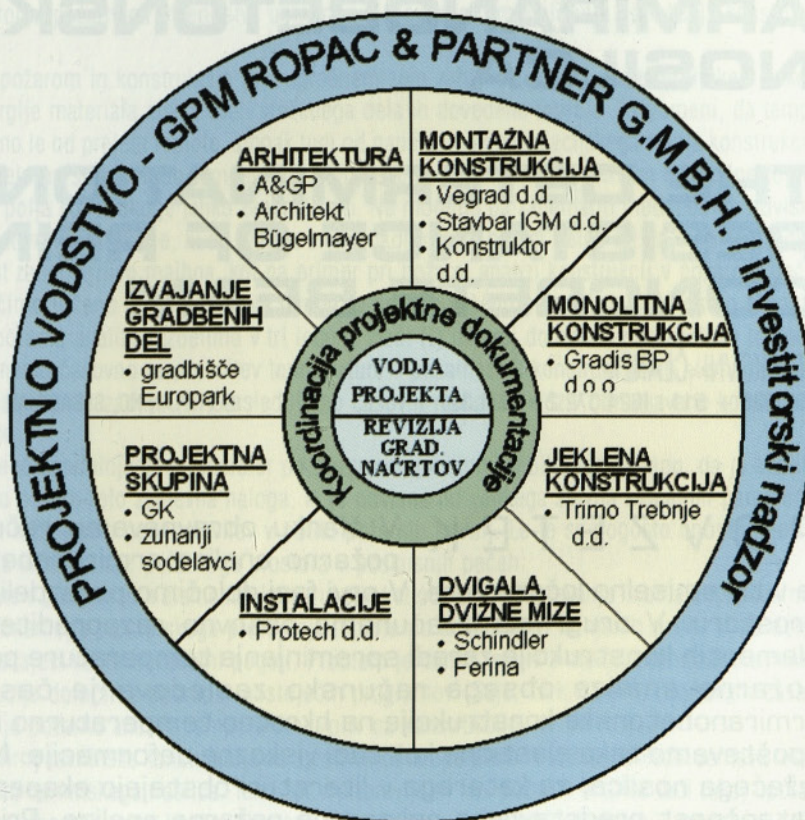
- izdelava načrtov monolitne konstrukcije in pravočasno servisiranje gradbišča z njimi,
- izdelava in celostna uskladitev projektne dokumentacije (dopolnitev PGD, PZI in PID konstrukcije),
- koordinacija med posameznimi projektanti in z investitorjem.

Projektna skupina je štela največ devet

članov ter se je v času trajanja projekta tudi spreminjala. V polni sestavi je bila aktivna 11 mesecev ter v skrčenem sestavu za nadaljnja 2 meseca. Kljub temu da se je Gradbeni konzorcij s projektno skupino pripravil na navedene aktivnosti, je bila obsežnost del nekoliko podcenjena.

Za doseganje vseh s pogodbo zavezanih rokov je bilo zato nujno vključiti zunanje sodelavce (v konici največ 4 sodelavci) in zaposlene v GRADIS BP d.o.o., ki so bili potrebni v kritičnem obdobju projekta.

Skupaj je tako v projektni skupini in s



Slika 9: Usklajevanje in izdelava projektne dokumentacije ter izvedba objekta

pomočjo vseh ostalih sodelavcev nastalo 1300 načrtov (opažnih, armaturnih in kabelskih) za dopolnitev projekta PGD, za projekt PZI in PID.

Pomembna naloga projektne skupine je bila tudi celostna uskladitev načrtov gradbene konstrukcije z ostalimi ključnimi projektanti za ostale faze projekta. Usklajevanje, spreminjanje in dopolnjevanje načrtov je potekalo sproti na osnovi dnevne in tedenske koordinacije. Pravočasno posredovanje in pridobivanje informacij ter posredovanje podatkov vsem vključenim v obdelavo projektne dokumentacije nakupovalnega centra Europark, je bilo ključnega pomena tako

ta projektno skupino, kakor tudi za Gradbeni Konzorcij.

Iz navedene sheme (slika 9) so razvidni vsi sodelujoči, ki so bili vključeni v usklajevanje in izdelavo projekte dokumentacije ter izvedbo objekta.

4 SKLEP

Nakupovalni center Europark je trenutno največji na območju Slovenije, saj njegova površina znaša preko 85.000 m². Racionalizacija gradbene konstrukcije, hitrost izvedbe in organizacija gradbenih del, uvedba novih konstrukcijskih rešitev

ter požrtvovalnost sodelujočih v projektu, so v veliki meri vplivali na kvaliteto in pravočasno dokončanje gradbenih del ter s tem uresničitev osnovnega cilja Gradbenega Konzorcija kot izvajalca. Nakupovalni center Europark kot stavba spada tako po tehnologiji izvedbe, kakor konstrukcijski zasnovi med najzahtevnejše objekte in je kot takšen odlična referenca za vsa vključena izvajalska podjetja. Poudariti je potrebno, da se v objektu kot je nakupovalni center Europark, zrcali znanje in sposobnost gradbene stroke, tako projektantov kot gradbene operative in predstavlja za vsakega sodelujočega priznanje za vloženo delo.

RAČUNSKA POŽARNA ODPORNOST ARMIRANOBETONSKEGA NOSILCA

THE DETERMINATION OF FIRE RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE BEAM

STROKOVNI ČLANEK

UDK 536 + 511 : 1624.072.2 + 691.321

IGOR PLANINC, SEBASTJAN BRATINA, GORAN TURK, BARBARA MIHAELA SAJE

POVZETEK V članku obravnavamo računski postopek za nelinearno požarno analizo armiranobetonskih konstrukcij. Razdeljen je v tri smiselno ločene faze. V prvi fazi določimo porazdelitev temperature po požarnem prostoru. V drugi fazi izračunamo časovno razporeditev temperature v posameznih elementih konstrukcije zaradi spreminjanja temperature požarnega prostora. Tretja faza požarne analize obsega računsko zasledovanje časovnega mehanskega odziva armiranobetonske konstrukcije na hkratno temperaturno in statično obtežbo, pri čemer upoštevamo tako elastične kot tudi viskozne deformacije. Na preprostem primeru prosto ležečega nosilca, za katerega v literaturi obstajajo eksperimentalni rezultati, prikažemo natančnost predstavljene nelinearne požarne analize. Pri tem konstitucijske zakone za beton in armaturo ter neznane termične parametre privzamemo skladno z evropskimi predpisi ENV 1992-1-2.

S U M M A R Y The non-linear analysis of fire resistance of reinforced concrete structures is presented. The procedure is decomposed into three separate phases. In the first, the temperature of the fire is determined. In the second, the time dependent distribution of the temperature in the structure is evaluated numerically. The third step is to determine the time dependent mechanical response of reinforced concrete structure on simultaneous temperature and mechanical loads. The effect of creep is taken into consideration. The effectiveness of the proposed method is examined using an example of simply supported beam for which the experimental results were known. The constitutive relationships for concrete and steel and unknown thermal parameters of the material were taken according to European standards ENV 1992-1-2.

Avtorji:

doc. dr. Igor Planinc, univ. dipl. inž. grad., Univerza v Ljubljani, FGG, Jamova 2, Ljubljana, iplaninc@fgg.uni-lj.si
 Sebastjan Bratina, univ. dipl. inž. grad., Univerza v Ljubljani, FGG, Jamova 2, Ljubljana, sbratina@fgg.uni-lj.si
 doc. dr. Goran Turk, univ. dipl. inž. grad., Univerza v Ljubljani, FGG, Jamova 2, Ljubljana, gturk@fgg.uni-lj.si
 mag. Barbara Mihaela Saje, univ. dipl. inž. grad., Veliki Kal 21, Mirna Peč

1. UVOD

Eksperimentalni postopki in empirične ugotovitve za določanje požarne odpornosti opišejo le lokalno obnašanje obravnavanega elementa pri visokih temperaturah, veliko zahtevnejše pa je določiti mehanizem globalnega obnašanja določene konstrukcije v realnem požaru. Na to namreč vpliva veliko parametrov, katerih spreminjanje in medsebojno odvisnost ni mogoče upoštevati. Zato je razumljivo, da je razvoj raziskav na področju požarnega inženirstva usmerjen k računskem modeliranju obnašanja konstrukcij v času požara.

Matematično modeliranje interakcije med požarom in konstrukcijo je v splošnem zelo zahteven proces. Po energijskem zakonu termodinamike je sprememba notranje energije materiala enaka vsoti vloženega dela in dovedene toplote. To pomeni, da temperaturno polje konstrukcije dejansko ni odvisno le od prejete toplote, ampak tudi od napetostno deformacijskega stanja konstrukcije. Ker pa je vpliv opravljenega mehanskega dela na spremembo temperature konstrukcije v primerjavi z vplivom dovedene toplote zelo majhen, ga pri računu temperaturnega polja konstrukcije lahko zanemarimo. Ne moremo pa zanemariti medsebojne odvisnosti temperature požarnega okolja in temperature konstrukcije, ki se nahaja v tem okolju in je bodisi delno ali pa v celoti izpostavljena vplivu požara. Kolikor je ta odvisnost zanemarljivo majhna, kot na primer pri požarni analizi konstrukcij v požarnih pečeh, lahko potek temperature konstrukcije določimo ločeno od temperature okolja in seveda ločeno od analize napetostno deformacijskega stanja. Tako postopek nelinearne požarne analize razdelimo v tri ločene faze: (i) najprej določimo porazdelitev temperature po požarnem prostoru, (ii) nato izračunamo časovno razporeditev temperature v posameznih konstrukcijskih elementih zaradi spreminjanja temperature požarnega prostora in nazadnje (iii) zasledujemo časovni mehanski odziv obravnavane konstrukcije na hkratno temperaturno in statično obtežbo.

Na podlagi velikega števila meritev časovnega spreminjanja temperatur po požarnem prostoru je bilo ugotovljeno, da je analitično obravnavanje razvoja temperature v času požara zelo zahtevna naloga, ki je odvisna od velikega števila slučajnih parametrov. Za ta namen je bilo razvitih veliko različnih inženirskih poenostavitvev v obliki požarnih krivulj. Le-te se pogosto uporabljajo tudi kot osnova za simulacijo časovnega razvoja temperature požarnega prostora v poskusnih pečeh.

Za določitev časovne razporeditve temperature v posameznih elementih konstrukcije kot posledice segrevanja in ohlajanja požarnega prostora je potrebno rešiti problem nestacionarnega prostorskega prevajanja toplote po konstrukciji in njenih delih, ki ga določa osnovna enačba prevajanja toplote ter pripadajoči robni in začetni pogoji. Problem je danes rešljiv z metodo končnih elementov. V predstavljeni analizi smo temperaturno polje določili z uporabo obstoječih programov (Saje, Turk, 1987). Izračunani časovni potek temperature predstavlja v nadaljevanju požarne analize temperaturni vpliv na konstrukcijo.

Določitev časovnega mehanskega odziva okvirne ravninske konstrukcije ob spremembi temperature in statični obtežbi zahteva rešitev posplošenih diferencialnih ravnotežnih enačb ravninskega nosilca. Tako kot v pripravljani fazi požarne analize tudi tukaj uporabimo za reševanje metodo končnih elementov. Uporabili smo končni element, ki ga je v svoji doktorski disertaciji predstavil I. Planinc (Planinc, 1998). Element je zasnovan na interpolaciji psevdoukrivljenosti težiščne osi nosilca kot edine neznanke problema. Izhodišče analize je Reissnerjeva teorija ravninskih nosilcev (Reissner, 1972), kjer upoštevamo membranske in upogibne defor-

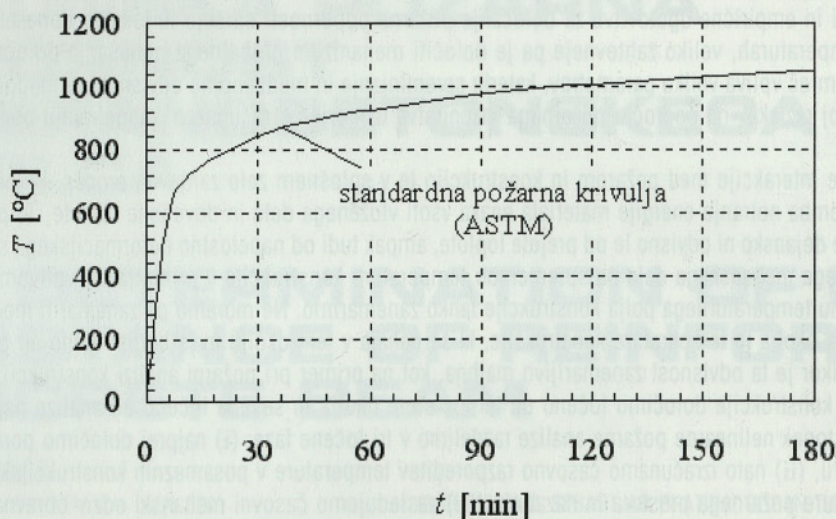
macije, ki imajo lahko skupaj s pomiki in zasuki poljubno velike vrednosti. Poleg znane Bernoullijeve predpostavke o ravnih prerezi upoštevamo tudi predpostavko, da se oblika in velikost prečnega prereza med deformiranjem ne spreminja, dodatno pa predpostavimo še kompatibilnost deformacij armature in betona na medsebojnem stiku. Uspešnost nelinearne požarne analize armiranobetonskih okvirjev je v veliki meri odvisna od ustrezne izbire konstitucijskih zakonov za beton in armaturo. Z eksperimenti je bilo ugotovljeno, da so materialni parametri in s tem tudi konstitucijski zakoni zelo odvisni od spreminjanja temperature. Pri predstavljeni požarni analizi izberemo konstitucijski zakon za beton in ojačilno armaturo skladno z evropskimi predpisi (Eurocode, 1995).

Članek poleg uvoda vsebuje še šest poglavij. V drugem, tretjem in četrtem poglavju so podrobneje opisane posamezne faze nelinearne požarne analize, v petem poglavju opišemo uporabljene konstitucijske zakone materiala, v šestem poglavju je prikazan primer požarne analize enostavne konstrukcije, v sedmem poglavju pa so podani sklepi.

2. ČASOVNI POTEK TEMPERATURE OKOLJA V ČASU POŽARA

Temperaturo požarnega prostora običajno simuliramo s požarnimi krivuljami, ki so uporabne predvsem pri eksperimentalnem preverjanju požarne odpornosti posameznih konstrukcijskih elementov v poskusni peči. Požarno krivuljo lahko razumemo kot poenostavljen opis naraščanja temperatur v fazi razvijajočega se požara, ne moremo pa z njo opisati ohlajevanja požarnega prostora.

V okviru tega prispevka prikažemo natančnost razvite nelinearne požarne analize na primeru prosto ležečega armiranobetonskega nosilca, za katerega v literaturi obstajajo eksperimentalni rezultati (Gustaferro et al., 1971). Temperatura požarnega prostora v poskusni peči je v času eksperimenta naraščala skladno s požarno krivuljo po ASTM (ASTM, 1976).



Slika 1: Potek temperature okolja med požarom v poskusni peči (ASTM, 1976)

3. RAZPOREDITEV TEMPERATURE PO ELEMENTU

Razporeditev temperature T pri času t posamezne točke elementa konstrukcije s kartezijskimi prostorskimi koordinatami x_i , kot posledica segrevanja in ohlajanja požarnega prostora je določena z rešitvijo osnovne enačbe nestacionarnega prostorskega prevažanja toplote po konstrukciji in njenih delih.

$$\gamma: \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + Q - \rho c \frac{\partial T}{\partial t} = 0, \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (1)$$

Pri tem so pripadajoči robni in začetni pogoji naslednji:

$$\mathcal{S}_T: T_S - T = 0 \quad (2)$$

$$\mathcal{S}_q: k_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} n_i - q_s = 0 \quad (3)$$

$$\mathcal{V}: T(x_i, 0) = T_0(x_i) \quad (4)$$

Z $\mathcal{V}$ označimo območje prostora, ki ga zavzema obravnavani element konstrukcije oziroma celotna konstrukcija, $\mathcal{S}_T$ je mejna ploskev konstrukcije, na kateri je s temperaturnim režimom okolja predpisano spreminjanje temperature T_S , $\mathcal{S}_q$ je mejna ploskev konstrukcije, na kateri je predpisan specifični površinski toplotni pretok q_s , k_{ij} so komponente prevodnostnega tenzorja snovi, Q je specifični prostorninski toplotni pretok, ρ je gostota snovi in c specifična toplota snovi, n_i so komponente enotskega vektorja normale na mejno ploskev konstrukcije, T_0 pa je začetna temperatura v poljubni točki obravnavanega območja. Specifični površinski toplotni pretok q_s je sestavljen iz deleža q_c , ki ga prispeva izmenjava toplote med telesom in okolico s konvekcijo, ter iz deleža q_r , ki je posledica sevanja oziroma radiacije. Pozitiven je takrat, kadar toplota prideka v telo.

$$q_s = q_c + q_r \quad (5)$$

Toplotni pretok zaradi konvekcije je sorazmeren temperaturni razliki okolice in površine ($T_A - T$) in ga zapišemo z izrazom:

$$q_c = h_c(T_A - T), \quad (6)$$

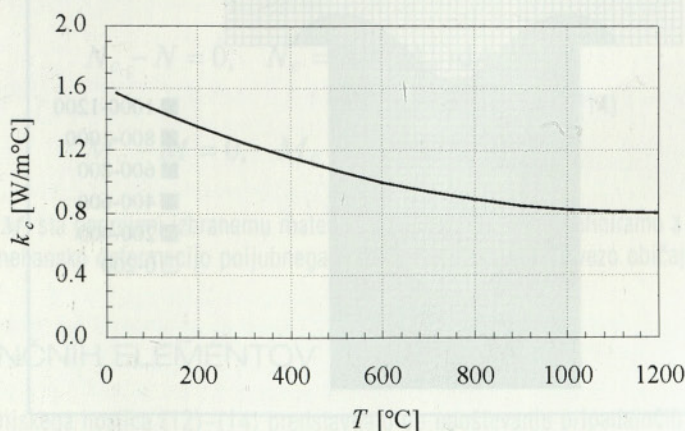
kjer h_c označuje prestopni koeficient. Toplotni pretok zaradi sevanja pa je določen z izrazom:

$$q_s = \varepsilon_r B(T_r^4 - T^4), \quad (7)$$

kjer je ε_r koeficient emisivnosti, B je Stefan-Boltzmanova konstanta, T_r je temperatura sevajočih predmetov v okolju, T pa temperatura zunanje ploskve, merjena v Kelvinih.

Na podlagi požarnih eksperimentov je bila ugotovljena odvisnost termičnih parametrov od temperature materiala. Kolikor sodimo, da je material izotropen in homogen, lahko za določitev temperaturne odvisnosti termičnih parametrov uporabimo kar zveze, ki jih priporočajo evropski predpisi ENV 1992-1-2 (Eurocode, 1995). Tako je toplotna prevodnost betona k_c določena s spodnjim izrazom. Iz slike 2 je razvidno, da ima beton z naraščanjem temperature nižjo prevodnost.

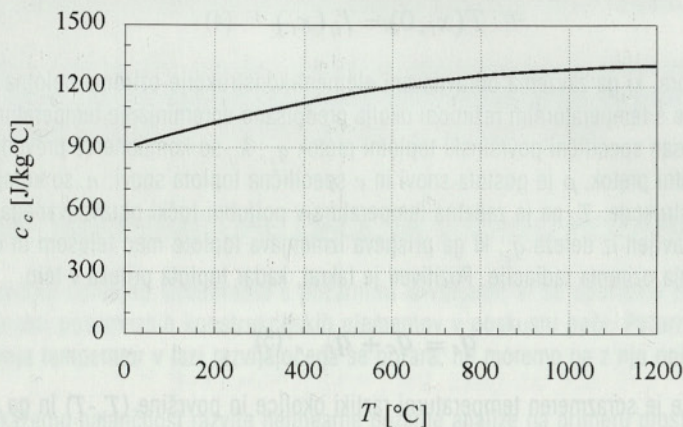
$$k_c = 1.6 - 0.16 \frac{T}{120} + 0.008 \left(\frac{T}{120} \right)^2 \quad (8)$$



Slika 2: Toplotna prevodnost betona

Specifična toplota betona c_c se z naraščanjem temperature povečuje (slika 3) in je določena z izrazom:

$$c_c = 900 + 80 \frac{T}{120} - 4 \left(\frac{T}{120} \right)^2 \quad (9)$$

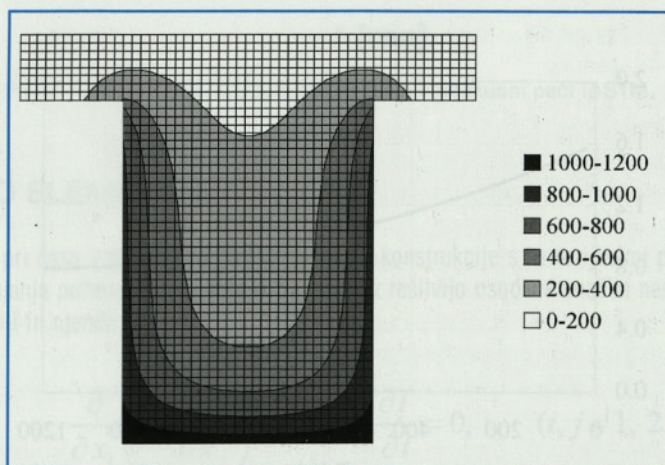


Slika 3: Specifična toplota betona

Specifična gostota betona ρ_c se spreminja s temperaturo po enačbi:

$$\rho_c = \begin{cases} 2400 \text{ kg/m}^3, & 20^\circ\text{C} \leq T \leq 100^\circ\text{C} \\ 2300 \text{ kg/m}^3, & 100^\circ\text{C} \leq T \leq 1200^\circ\text{C} \end{cases} \quad (10)$$

Analitično rešitev osnovne enačbe nestacionarnega prostorskega prevajanja toplote s pripadajočimi robnimi in začetnimi pogoji poznamo le za najenostavnejše enodimenzionalne ali dvodimenzionalne probleme. V splošnem pa sistem rešimo z uporabo numeričnih metod, kakršne so diferenčna metoda, metoda končnih elementov ali metoda robnih elementov. V okviru tega prispevka je bil uporabljen računalniški program HEATC (Saje, Turk, 1987), ki je bil razvit na Katedri za mehaniko na FGG v Ljubljani. Za orientacijo je na sliki 4 prikazano temperaturno polje karakterističnega prečnega prereza obravnavanega armiranobetonskega prosto ležečega nosilca pri času T , ki je bil izpostavljen požaru s spodnje strani.



Slika 4: Razporeditev temperature po prečnem prerezu

4. ANALIZA NAPETOSTNO DEFORMACIJSKEGA STANJA ELEMENTA

4.1. OSNOVNE ENAČBE RAVNEGA KONČNEGA ELEMENTA

Izhodišče analize napetostno-deformacijskega stanja konstrukcije oziroma njenega dela pri hkratni spremembi temperature in statični obtežbi je Reissnerjev model ravninskega nosilca (Reissner, 1972). Zasnovan je na Bernoullijevi predpostavki o ravnih prečnih prerezi, ki določa, da je raven prerez, pravokoten na težiščno os nosilca v nedeformiranem stanju, tudi po deformaciji raven in pravokoten na težiščno os. Poleg Bernoullijeve predpostavke upoštevamo tudi predpostavko, da se oblika in velikost prečnega prereza med deformiranjem ne spreminja, dodatno pa predpostavimo še kompatibilnost deformacij armature in betona na medsebojnem stiku. Pri analizi upoštevamo membranske in upogibne deformacije, ki imajo lahko skupaj s pomiki in zasuki poljubno velike vrednosti. Strižno deformiranje nosilca pri računu zanemarimo.

Napetostno deformacijsko stanje nosilca začetne dolžine L analiziramo v (x, z) ravnini kartezičevega koordinatnega sistema (x, y, z) . Os x je usmerjena v smeri težiščne osi nedeformiranega elementa ($x \in [0, L]$), os z pa je nanjo pravokotna. Geometrijsko deformacijo D poljubnega vzdolžnega materialnega vlakna izrazimo v odvisnosti od specifične spremembe dolžine težiščne osi ε – membranske deformacije in pseudoukrivljenosti težiščne osi nosilca κ – upogibne deformacije. Zaradi Bernoullijeve predpostavke je potek geometrijske deformacije po prerezu linearen in je:

$$D(x, z) = \varepsilon(x) + z\kappa(x) \quad (11)$$

Za povezavo deformacijskih veličin (ε, κ) in kinematičnih veličin (u, w, φ) vpeljemo kinematične enačbe, ki opisujejo deformirano lego nosilca, pri čemer s črtilco ($'$) označimo odvod po koordinati x .

$$\begin{aligned} 1 + u' - (1 + \varepsilon) \cos \varphi &= 0 \\ w' + (1 + \varepsilon) \sin \varphi &= 0 \\ \varphi' - \kappa &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Spremenljivki u in w označujeta pomika težiščne osi nosilca v smereh osi x in z , φ pa je zasuk težiščne osi okrog osi y . Za povezavo notranjih sil (osne sile N , prečne sile Q , upogibnega momenta M) in konservativne linijske obtežbe elementa (p_x, p_z, m_y) pa vpeljemo ravnotežne enačbe.

$$\begin{aligned} (N \cos \varphi + Q \sin \varphi)' + p_x &= 0 \\ (-N \sin \varphi + Q \cos \varphi)' + p_z &= 0 \\ M' - (1 + \varepsilon)Q + m_y &= 0 \end{aligned} \quad (13)$$

Tretjo skupino enačb predstavljata konstitucijski enačbi. Ti povežeta notranji sili (N, M) z deformacijskima veličinama (ε, κ).

$$\begin{aligned} N_c - N &= 0, \quad N_c = \int_A \sigma(D_m) dA \\ M_c - M &= 0, \quad M_c = \int_A z \sigma(D_m) dA \end{aligned} \quad (14)$$

Konstitucijski funkciji N_c in M_c sta podrejeni izbranemu materialnemu modelu, ki ga definiramo z zvezo med fizikalno normalno napetostjo σ in specifično mehansko deformacijo poljubnega vzdolžnega vlakna D_m . Zvezo običajno določimo s preskusi.

4.2. METODA KONČNIH ELEMENTOV

Osnovne enačbe ravnega linijskega nosilca (12)–(14) predstavljajo ob upoštevanju pripadajočih robnih pogojev sistem osmih nelinearnih enačb za določitev osmih neznanih veličin: dveh deformacijskih funkcij $\varepsilon(x)$ in $\kappa(x)$, treh ravnotežnih veličin

$R_1(x) = N \cos \varphi + Q \sin \varphi$, $R_2(x) = -N \sin \varphi + Q \cos \varphi$ in $M(x)$ ter treh kinematičnih veličin $u(x)$, $w(x)$ in $\varphi(x)$. Za reševanje uporabimo metodo končnih elementov, in sicer končni element, ki ga je v svoji doktorski disertaciji predstavil I. Planinc (Planinc, 1998). Element je zasnovan na interpolaciji psevdoukrivljenosti težiščne osi nosilca $\kappa(x)$ kot edine neznane funkcije problema.

4.3. NUMERIČNI POSTOPEK

Izhodišče izpeljave končnega elementa je modificiran izrek o virtualnem delu. Rezultat analize je sistem diskretnih posplošenih ravnotežnih enačb končnega elementa (Planinc, 1998). Z rešitvijo sistema dobimo napetostno in deformacijsko stanje elementa oziroma celotne konstrukcije pri poljubni vrednosti temperature. Zaradi zasledovanja mehanskega odziva konstrukcije v času požara celotni časovni interval požarne analize $[0, t_{kon}]$ razdelimo na podintervale $[t_{j-1}, t_j]$. Znotraj vsakega podintervala iz znanih deformacijskih, kinematičnih in statičnih vrednosti na začetku podintervala pri času t_{j-1} iterativno ($i = 1, 2, 3, \dots$) izračunamo z Newtonovo iteracijsko metodo neznane vrednosti na koncu časovnega podintervala t_j . Dovoljena dolžina časovnega podintervala je odvisna od konvergence Newtonove metode.

4.4. ADITIVNI RAZCEP GEOMETRIJSKE DEFORMACIJE

Pomembna predpostavka pri numeričnem postopku požarne analize je aditivni razcep prirastka geometrijske deformacije poljubnega vzdolžnega materialnega vlakna ΔD v posameznem časovnem podintervalu na vsoto prirastka elastične mehanske deformacije ΔD_m (ΔD_{cm} za beton, ΔD_{sm} za armaturo) in prirastka temperaturne deformacije ΔD_T (ΔD_{cT} za beton, ΔD_{sT} za armaturo). Poleg tega pa del prirastka geometrijske deformacije armature pripišemo vplivu viskoznega tečenja armature ΔD_C .

$$\text{Beton: } \Delta D = \Delta D_{cm} + \Delta D_{cT} \rightarrow \Delta D_{cm} = \Delta D - \Delta D_{cT} \quad (15)$$

$$\text{Armaturo: } \Delta D = \Delta D_{sm} + \Delta D_{sT} + \Delta D_C \rightarrow \Delta D_{sm} = \Delta D - \Delta D_{sT} - \Delta D_C \quad (16)$$

5. KONSTITUCIJSKI ZAKONI ZA BETON IN ARMATURO

5.1. ODVISNOST MEHANSKIH LASTNOSTI BETONA IN ARMATURE OD TEMPERATURE

Mehanski del geometrijske deformacije D_m ni neposredno odvisen od temperature oziroma časa. S fizikalno napetostjo σ je povezan prek konstitucijskih zakonov, ki so za različne materiale različni in jih določimo s preskusi. Uspešnost požarne analize armiranobetonskih konstrukcij je tako v veliki meri odvisna od ustrezne izbire konstitucijskih zakonov, pri čemer so materialni parametri, ki te zakone opisujejo, zelo odvisni od spreminjanja temperature.

V okviru predstavljene analize privzamemo konstitucijski zakon za beton po evropskih predpisih ENV 1992-1-2 (Eurocode, 1995) in je:

$$\sigma_c = \begin{cases} 0, & D_{cm} > 0 \text{ ali } D_{cm} < D \\ -f_c(T) \cdot \left[\frac{D_{cm}}{D_{c1}(T)} \cdot \frac{3}{2 + (D_{cm}/D_{c1}(T))^3} \right], & D_{cu}(T) \leq D_{cm} \leq 0. \end{cases} \quad (17)$$

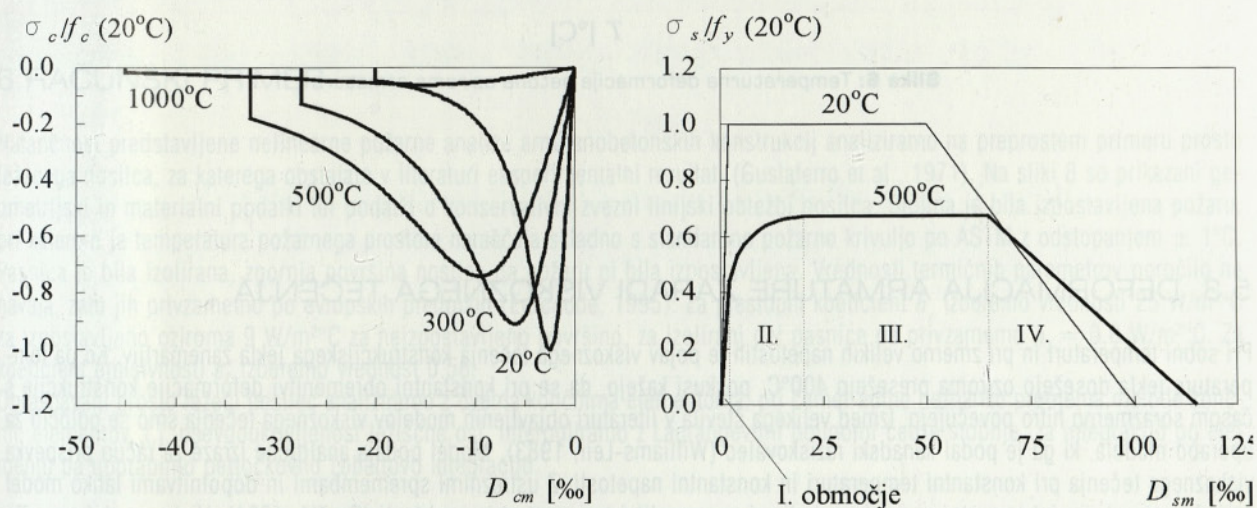
Materialni parametri betona, ki so odvisni od temperature, so: tlačna trdnost f_c , deformacija pri tlačni trdnosti D_{c1} in porušna deformacija v betonu D_{cu} . Natančna odvisnost je podana v predpisih.

Podobno kot za beton tudi konstitucijski zakon za ojačilno armaturo privzamemo po evropskih predpisih (Eurocode, 1995). Le-ta je razdeljen na štiri območja. V prvem območju je zveza med napetostjo in mehansko deformacijo armature linearna, v drugem nelinearna, v tretjem je napetost konstantna in je enaka meji tečenja f_y , v četrtem pa je zveza zopet linearna.

$$\sigma_s = \begin{cases} \text{I. } E_s(T) \cdot D_{sm}, & 0 \leq |D_{sm}| \leq \frac{\sigma_{spr}}{E_s} \\ \text{II. } \text{sign}(D_{sm}) \cdot \left[\frac{b(T)}{a(T)} \sqrt{a(T)^2 - (D_{s1} - |D_{sm}|)^2} + \sigma_{spr}(T) - c(T) \right], & \frac{\sigma_{spr}}{E_s} < |D_{sm}| \leq D_{y1} = 0.02 \\ \text{III. } \text{sign}(D_{sm}) \cdot f_y(T), & D_{y1} < |D_{sm}| \leq D_{y2} \\ \text{IV. } \text{sign}(D_{sm}) \cdot f_y(T) \cdot \left[1 - \frac{|D_{sm}| - D_{y2}}{D_{yu} - D_{y2}} \right], & D_{y2} < |D_{sm}| \leq D_{yu} \\ 0, & |D_{sm}| > D_{yu} \end{cases} \quad (18)$$

Pri tem so materialni parametri armature, ki so odvisni od temperature: elastični modul E_s , napetost na meji elastičnosti σ_{spr} , meja tečenja f_y , deformacija na meji mehčanja D_{y2} in porušna deformacija v armaturi D_{yu} . Temperaturna odvisnost materialnih parametrov ter parametrov a , b in c je podana v predpisih.

Slika 5 prikazuje delovne diagrame za beton in armaturo pri določenih vrednostih temperature materiala.



Slika 5: Temperaturno odvisni konstitucijski diagrame za beton (levo) in armaturo (desno)

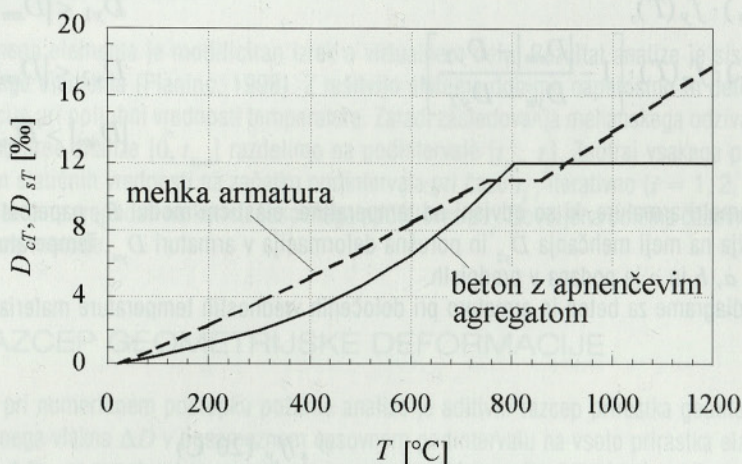
5.2. TEMPERATURNNA DEFORMACIJA BETONA IN ARMATURE

Pri segrevanju oziroma ohlajanju armiranobetonskega elementa pride do povečanja oziroma zmanjšanja prostornine obravnavanega elementa, ki je določena s specifičnimi spremembami dolžin vlaken betona D_{cT} in armature D_{sT} . Definiramo ju skladno z evropskimi predpisi (Eurocode, 1995). Tako je izraz za temperaturno deformacijo betona D_{cT} z uporabljenim apnenčevim agregatom naslednji:

$$D_{cT}(T) = \begin{cases} -1.2 \cdot 10^{-4} + 6 \cdot 10^{-6} T + 1.4 \cdot 10^{-11} T^3, & 20^\circ\text{C} \leq T \leq 805^\circ\text{C} \\ 12 \cdot 10^{-3}, & 805^\circ\text{C} < T \leq 1200^\circ\text{C} \end{cases} \quad (19)$$

za temperaturno deformacijo mehke armature D_{sT} pa:

$$D_{sT}(T) = \begin{cases} -2.416 \cdot 10^{-4} + 1.2 \cdot 10^{-5} T + 0.4 \cdot 10^{-8} T^2, & 20^\circ\text{C} \leq T \leq 750^\circ\text{C} \\ 11 \cdot 10^{-5}, & 750^\circ\text{C} \leq T \leq 860^\circ\text{C} \\ -6.2 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-5} T, & 860^\circ\text{C} < T \leq 1200^\circ\text{C} \end{cases} \quad (20)$$



Slika 6: Temperaturna deformacija betona oziroma armature

5.3. DEFORMACIJA ARMATURE ZARADI VISKOZNEGA TEČENJA

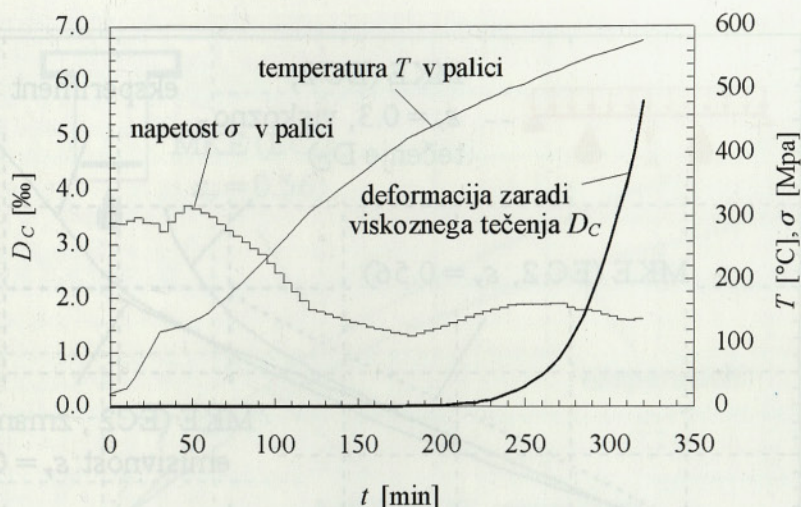
Pri sobni temperaturi in pri zmerno velikih napetostih je pojav viskoznega tečenja konstrukcijskega jekla zanemarljiv. Ko pa temperatura jekla dosežejo oziroma presežejo 400°C , poskusi kažejo, da se pri konstantni obremenitvi deformacije konstrukcije s časom sorazmerno hitro povečujejo. Izmed velikega števila v literaturi objavljenih modelov viskoznega tečenja smo se odločili za uporabo modela, ki ga je podal kanadski raziskovalec (Williams-Leir, 1983). Model podaja analitične izraze za račun prispevka viskoznega tečenja pri konstantni temperaturi in konstantni napetosti. Z ustreznimi spremembami in dopolnitvami lahko model uporabimo v okviru inkrementnega pristopa tudi pri spremenljivi temperaturi in napetosti (Srpčič, 1991). Viskozno deformacijo D_C^j na koncu obravnavanega časovnega podintervala $[t_{j-1}, t_j]$ izračunamo po enačbi:

$$b_2 D_C^j - \tanh(b_2 D_C^j) - b_2 D_C^{j-1} + \tanh(b_2 D_C^{j-1}) - \frac{b_2}{\eta} \int_{T_{j-1}}^{T_j} b_1(\Theta) d\Theta = 0 \quad (21)$$

$$\text{prirastek: } \Delta D_C = D_C^j - D_C^{j-1} \quad (22)$$

kjer je D_C^{j-1} viskozna deformacija na začetku obravnavanega časovnega podintervala, koeficienta b_1 in b_2 pa sta funkciji konstantne napetosti σ_{j-1} in konstantne absolutne temperature T ter konstant, ki so bile eksperimentalno določene za različne vrste jekla. Z $\eta = \Delta T / \Delta t$ označimo kvocient med spremembo temperature in spremembo časa. Zgornjo nelinearno enačbo rešujemo za vsak časovni podinterval numerično z uporabo Newtonove iteracijske metode, pri čemer integral ovrednotimo z Gaussovo numerično integracijo.

Na sliki 7 je prikazan razvoj viskoznih deformacij v natezni armaturni palici pri konstantni napetosti σ_{j-1} [MPa] v posameznem časovnem podintervalu ($\Delta t = t_j - t_{j-1} = 5 \text{ min}$), pri čemer je potek temperature znotraj koraka linearen. V računu upoštevamo viskozno deformiranje armature z eksperimentalno določenimi viskoznimi konstantami (jeklo z oznako X-60), ki jih podaja literatura (Williams-Leir, 1983). Iz slike je razvidno, da postanejo viskozne deformacije pomembne pri temperaturah v armaturi, višjih od 400°C .

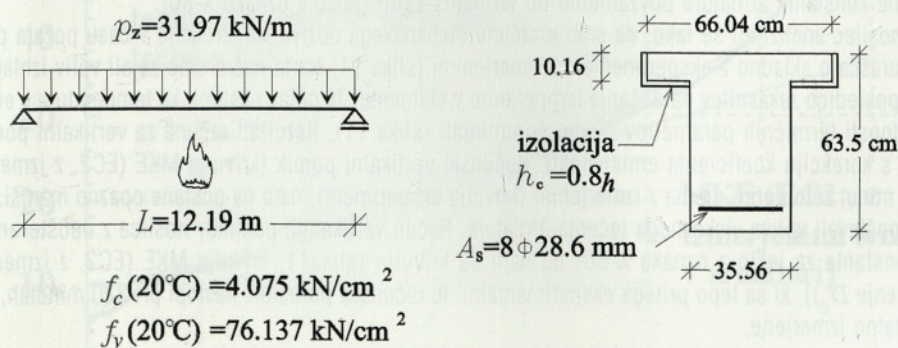


Slika 7: Naraščanje viskoznih deformacij

6. RAČUNSKI PRIMER

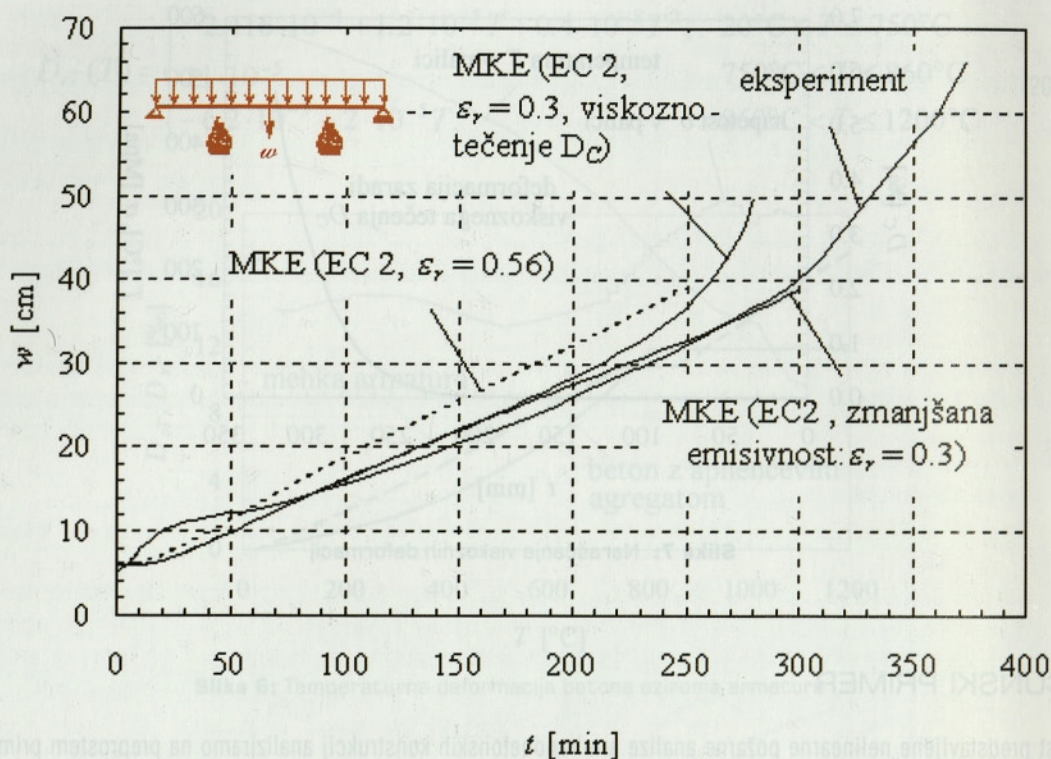
Natančnost predstavljene nelinearne požarne analize armiranobetonskih konstrukcij analiziramo na preprostem primeru prosto ležečega nosilca, za katerega obstajajo v literaturi eksperimentalni rezultati (Gustaferro et al., 1971). Na sliki 8 so prikazani geometrijski in materialni podatki ter podatki o konservativni zvezni linijski obtežbi nosilca. Stojina je bila izpostavljena požaru, pri katerem je temperatura požarnega prostora naraščala skladno s standardno požarno krivuljo po ASTM z odstopanjem $\pm 1^\circ\text{C}$. Pasnica je bila izolirana, zgornja površina nosilca pa požaru ni bila izpostavljena. Vrednosti termičnih parametrov poročilo ne navaja, zato jih privzamemo po evropskih predpisih (Eurocode, 1995). Za prestopni koeficient h_e izberemo vrednosti $25 \text{ W/m}^2\text{°C}$ za izpostavljeno oziroma $9 \text{ W/m}^2\text{°C}$ za neizpostavljeno površino, za izolirani del pasnice pa privzamemo $h_e = 0.8 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Za koeficient emisivnosti ϵ_r izberemo vrednost 0.56.

Obravnavani prosto ležeči nosilec analiziramo z dvema končnima elementoma, pri čemer edino neznanko problema metode končnih elementov, t.j. psevdoukrivljenost težiščne osi, interpoliramo z Lagrangevimi polinomi četrte stopnje, za integracijo po elementu pa uporabimo pettočkovno Lobattovo integracijo.



Slika 8: Prosto ležeči nosilec (Gustaferro et al., 1971)

Slika 9 prikazuje numerične in eksperimentalne vrednosti (krivulja eksperiment) za vertikalni pomik na sredini prosto ležečega nosilca v času požara. Primerjava nedvoumno dokazuje, da so vrednosti za termične parametre, kot jih priporočajo evropski predpisi, neustrezne, kajti izračunani vertikalni pomiki so preveliki (krivulja MKE (EC2, $\epsilon_r = 0.56$)). Tudi računski porušitev nosilca nastopi občutno prehitro (250 minut).



Slika 9: Vertikalni pomik na sredini prosto ležečega nosilca

Neustrezni termični parametri se odražajo tudi v razliki med računskim in eksperimentalnim časovnim razvojem temperature v armaturnih palicah nosilca med požarom (slika 10). Z zmanjšanjem koeficienta emisivnosti približno za polovico (krivulja MKE (EC2, zmanjšana emisivnost: $\varepsilon_r = 0.3$)) se računske vrednosti temperatur v armaturi v odvisnosti od časa zelo približajo eksperimentalnim rezultatom.

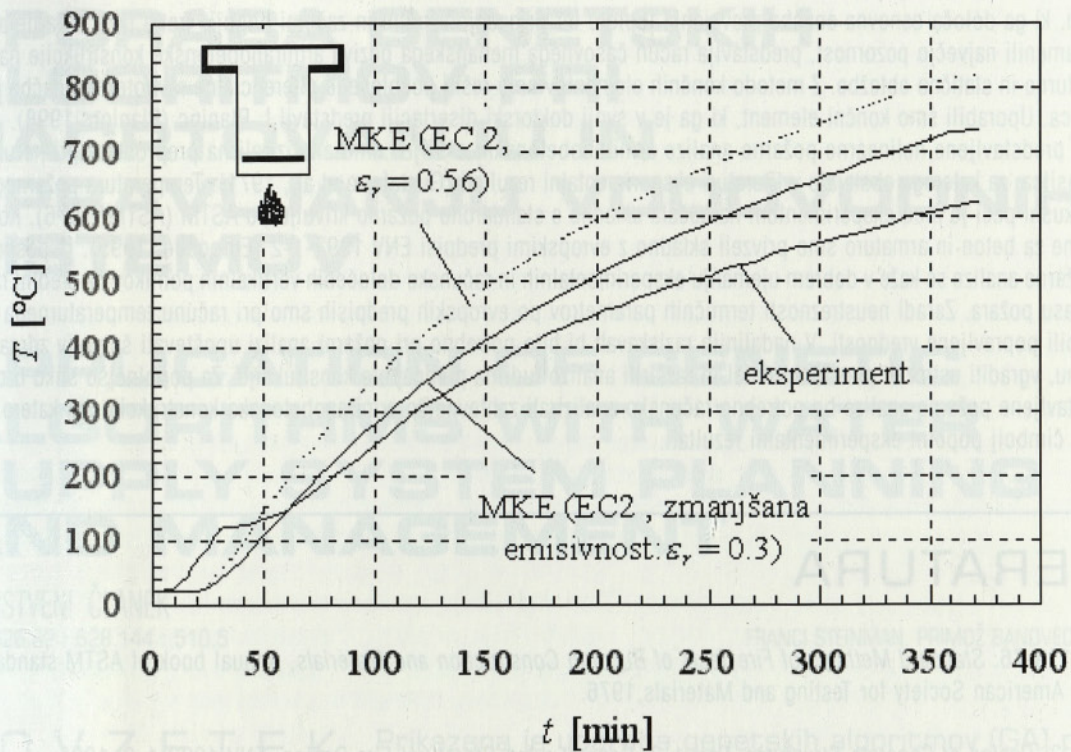
To se kaže tudi v primerjavi numeričnih in eksperimentalnih vrednosti za vertikalni pomik (slika 9), sedaj so izračunani pomiki (krivulja MKE (EC2, zmanjšana emisivnost: $\varepsilon_r = 0.3$)) mnogo bližje dejanskim, pa tudi računska porušitev nosilca je bistveno bolj natančna (300 minut).

Kolikor v računu požarne analize upoštevamo še vpliv viskoznega tečenja armature, ki postane pomemben pri temperaturah v armaturi višjih od 400°C, se pomiki po računskem času 200 minut začnejo opazno povečevati (slika 9, krivulja MKE (EC2, $\varepsilon_r = 0.3$, viskozno tečenje D_C)). Viskozne konstante armature povzamemo po Williams-Leiru (jeklo z oznako X-60).

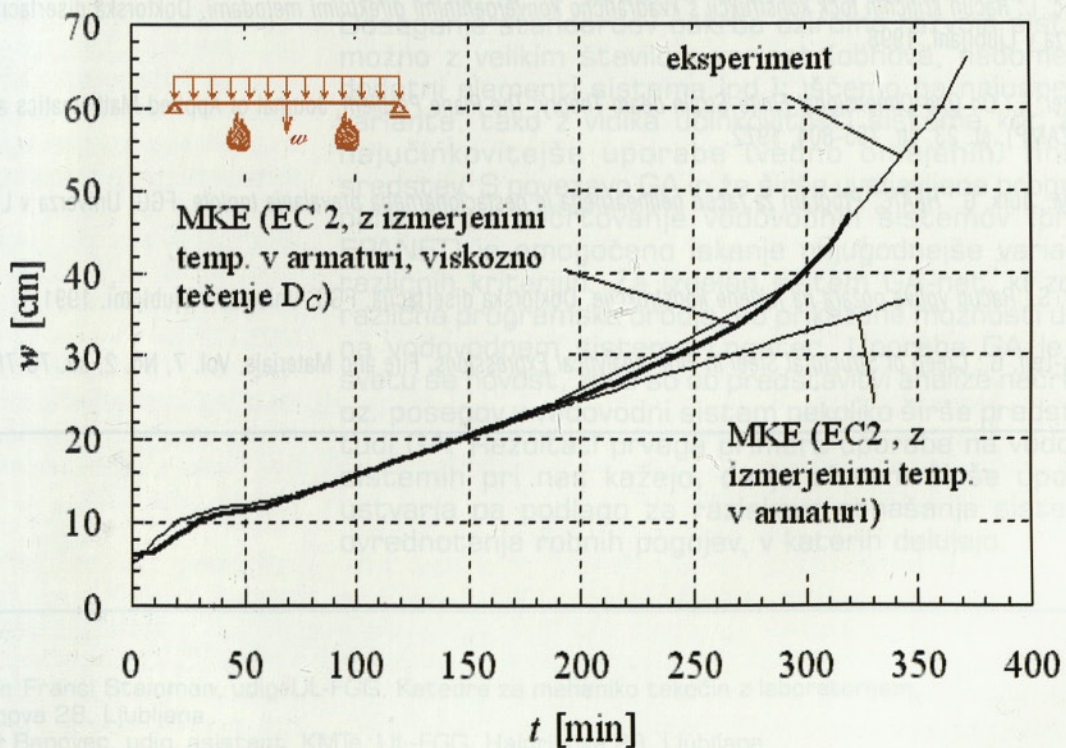
V nadaljevanju smo nosilec analizirali še tako, da smo v računu mehanskega odziva konstrukcije v času požara privzeli, da temperature v armaturi naraščajo skladno z eksperimentalno izmerjenimi (slika 11). Na ta način smo zajeli vpliv izhlapevanja vlage iz elementa, kar ima za posledico zakasnitev naraščanja temperature v elementu. Ta pojav nastopi, ko temperatura v elementu preseže 100°C. Začetnih vrednosti termičnih parametrov nismo spreminjali (slika 11). Rezultati računa za vertikalni pomik so sedaj še boljši kot pri računu s korekcijo koeficienta emisivnosti. Računski vertikalni pomik (krivulja MKE (EC2, z izmerjenimi temp. v armaturi)) se do 180 minut zelo dobro ujema z izmerjenim (krivulja eksperiment), nato pa postane opazno manjši. Vzrok je v tem, da v računu nismo upoštevali vpliva viskoznega tečenja armature. Račun vertikalnih pomikov nosilca z upoštevanjem viskoznega tečenja (viskozne konstante za jeklo z oznako X-60) pa nam da krivuljo (slika 11, krivulja MKE (EC2, z izmerjenimi temp. v armaturi, viskozno tečenje D_C)), ki se lepo prilega eksperimentalni, le računska porušitev nastopi pri 320 minutah, kar je 53 minut manj od eksperimentalno izmerjene.

7. SKLEP

Postopek nelinearne požarne analize smo razdelili v tri ločene faze. Najprej smo določili časovni razvoj temperature požarnega prostora. V drugi fazi smo izračunali časovno razporeditev temperature v posameznih konstrukcijskih elementih zaradi spreminjanja temperature požarnega prostora. Morali smo rešiti problem nestacionarnega prostorskega prevajanja toplote po konstrukciji in



Slika 10: Razvoj temperature med požarom v najbolj izpostavljeni armaturni palici



Slika 11: Vertikalni pomik na sredini prosto ležečega nosilca

njenih delih, ki ga določa osnovna enačba prevajanja toplote ter pripadajoči robni in začetni pogoji. Tretja faza požarne analize, ki smo ji namenili največjo pozornost, predstavlja račun časovnega mehanskega odziva armiranobetonske konstrukcije na hkratno temperaturno in statično obtežbo. Z metodo končnih elementov smo rešili posplošene diferencialne ravnotežne enačbe ravninskega nosilca. Uporabili smo končni element, ki ga je v svoji doktorski disertaciji predstavil I. Planinc (Planinc, 1998). Natančnost predstavljene nelinearne požarne analize armiranobetonskih okvirjev smo analizirali na preprostem primeru prosto ležečega nosilca, za katerega obstajajo v literaturi eksperimentalni rezultati (Gustaferro et al., 1971). Temperatura požarnega prostora v poskusni peči je med eksperimentom naraščala skladno s standardno požarno krivuljo po ASTM (ASTM, 1976). Konstitucijske zakone za beton in armaturo smo privzeli skladno z evropskimi predpisi ENV 1992-1-2 (Eurocode, 1995). Uspešnost nelinearne požarne analize se kaže v dobrem ujemanju eksperimentalnih in računsko določenih vertikalnih pomikov na sredini razpona nosilca v času požara. Zaradi neustreznosti termičnih parametrov po evropskih predpisih smo pri računu temperaturnega razporeda uporabili popravljene vrednosti. V nadaljnjih raziskavah bi bilo potrebno pri požarni analizi upoštevati še vpliv zdrsa armature v betonu, vgraditi ustrezen plastični model in razširiti analizo tudi na prednapete konstrukcije. Za popolnejšo sliko o natančnosti predstavljene požarne analize bo potrebno računsko analizirati zahtevnejšo armiranobetonsko konstrukcijo, za katero pa naj bi obstajali čimbolj popolni eksperimentalni rezultati.

LITERATURA

ASTM E-119-76: *Standard Methods of Fire Tests of Building Construction and Materials*, Annual book of ASTM standards, Parts 18, American Society for Testing and Materials, 1976.

Eurocode 2: *Design of Concrete Structures*, Part 1-2: General rules-Structural Fire Design, ENV 1992-1-2, 1995.

Gustaferro, A. H., Abrams, M. S., Salse, E. A. B.: *Fire-Resistance of Prestressed concrete Beams*, Study C: *Structural Behaviour During Fire Tests* (RD009.01B), PCA, Research and Development Bulletin, str. 1-29, 1971.

Planinc, I.: *Račun kritičnih točk konstrukcij s kvadratično konvergentnimi direktnimi metodami*, Doktorska disertacija, FGG, Univerza v Ljubljani, 1998.

Reissner, E.: *On One-Dimensional Finite-Strain beam Theory: The Plane Problem*, Journal of Applied Mathematics and Physics (ZAMP), št. 23, str. 795-804, 1972.

Saje, M., Turk, G.: *HEATC, Program za račun nelinearnega in nestacionarnega prevajanja toplote*, FGG, Univerza v Ljubljani, 1987.

Srpčič, S.: *Račun vpliva požara na jeklene konstrukcije*, Doktorska disertacija, FGG, Univerza v Ljubljani, 1991.

Willias-Leir, G.: *Creep of Structural Steel in Fire: Analytical Expressions*, Fire and Materials, Vol. 7, No. 2, str. 73-78, 1983.

UPORABA GENETSKIH ALGORITMOV PRI NAČRTOVANJU IN UPRAVLJANJU VODOVODNIH SISTEMOV

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS WITH WATER SUPPLY SYSTEM PLANNING AND MANAGEMENT

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 626.82 : 628.144 : 510.5

FRANCI STEINMAN, PRIMOŽ BANOVEC, SAŠO ŠANTL

POVZETEK

Prikazana je uporaba genetskih algoritmov (GA) pri analizi vodovodnih sistemov, ki poleg njihove hidravlične učinkovitosti omogoča tudi presojo variant z ekonomskega vidika. Take strokovne podlage podpirajo izvajalce gospodarske javne službe (upravljavcem vodovoda) pri načrtovanju in vodenju sistemov za oskrbo z vodo. Doseganje standardov oskrbe oziroma razvoja sistema je možno z velikim številom variant (obnova, nadomestitev, dodatni elementi sistema ipd.); iščemo pa najuspešnejše variante, tako z vidika učinkovitosti sistema kot z vidika najučinkovitejše uporabe (vedno omejenih) finančnih sredstev. S povezavo GA in že širše uveljavljene programske opreme za načrtovanje vodovodnih sistemov (program EPANET) je omogočeno iskanje najugodnejše variante po različnih kriterijih. Za izdelan sistem GA-net, ki združuje različna programska orodja, so prikazane možnosti uporabe na vodovodnem sistemu Logatec. Uporaba GA je tudi v svetu še novost, zato so ob predstavitvi analize načrtovanja oz. posegov v vodovodni sistem nekoliko širše predstavljeni tudi GA. Rezultati prvega primera uporabe na vodovodnih sistemih pri nas kažejo, da je sistem širše uporaben, ustvarja pa podlago za raziskave obnašanja sistemov in ovrednotenja robnih pogojev, v katerih delujejo.

Avtorji:

prof. dr. Franci Steinman, udig. UL-FGG, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem, Hajdrihova 28, Ljubljana

Primož Banovec, udig. asistent, KMTe, UL-FGG, Hajdrihova 28, Ljubljana

Sašo Šantl, abs. gradb. absolvent, UL-FGG, Jamova 2, Ljubljana

SUMMARY

Application of Genetic Algorithms (GA), supporting the analysis of water supply networks is presented, which allows the hydraulic efficiency and economic assessments of proposed solutions as well. This kind of expert bases support decision-making processes in the water supply management. To obtain water supply standards, there are several solutions available (renovation, substitution, addition of new elements, etc.), however, the optimal solution is also subject to the operation efficiency of a system as to the funds available as well. To satisfy all these demands and to provide the best possible solution, the GA and the software for water supply systems design (EPANET) were integrated in the GA-net tool. For better understanding, an introduction of comprehensive approach to water supply management as well as a more detailed explanation of the GA were provided. The first example of GA use on water supply systems in Slovenia was carried out on a typical water supply system of the town of Logatec. The results achieved have shown that this approach can be used comprehensively and that it lays the foundation for further system's behaviour and evaluation of boundary conditions research.

1 UVOD

V najširšem pomenu razumemo s pojmom vodovodni sistem funkcionalno celoto, sestavljeno iz različnih elementov, kot so zgradbe, objekti, naprave ipd., vse do posameznih cevi oz. opreme (npr. hišni priključki) na njih, ki so potrebni za oskrbo z vodo. Vsak vodovodni sistem ima nekaj osnovnih elementov: zajetje podzemne ali površinske vode, rezervoarje za shranjevanje vode – vodohrane, omrežje za transport vode do uporabnikov ipd., vse do inštalacij za distribucijo vode znotraj objektov. Večina vodovodnih sistemov je ustrezno razmeram, opremljena še s črpalnimi postajami ali reducirnimi ventili ipd., pa tudi že z napravami za izboljšanje kakovosti (oz. pripravo) vode. V prispevku se ne bomo ukvarjali s tem, kolikšen delež je namenjen oskrbi s pitno vodo in kolikšen za druge uporabnike, saj je ta del v izračune zajet z lokacijami (dovoljenih) odvzemov. Z odvzemi so podani tudi (hidravlični) obtežni primeri vodooskrbnega sistema v različnih pogojih (normalno obratovanje, ekstremno – primer požara, suše, izpada dela sistema

ipd.), ki jih pri posameznih variantah obravnavamo kot različne primere obratovanja.

Zgodovinski razvoj poselitve oz. človekovih dejavnosti pogojuje tudi razvoj vodovodnega sistema. Oba razvoja morata biti usklajena, pa vendar lahko ob omejenosti (razpoložljivih) količin vode, ob neprimernem razvoju vodooskrbnega sistema ali njegovem neustreznem obratovanju ipd. neustrezna oskrba z vodo ovira ali celo omejuje razvoj in nastanek drugih dejavnosti (poselitev, gospodarske subjekte ipd.). V RS je upravljanje in razvoj sistemov za oskrbo (s pitno) vodo (tj. z lokalno infrastrukturo) uvrščeno v tako imenovano obvezno lokalno gospodarsko javno službo v pristojnosti lokalnih skupnosti (občin). Občine so torej zadolžene, da zagotovijo lokalno gospodarsko službo za oskrbo z vodo na enega od načinov, kot jih določa zakon (Ur.l. 32/93). Cilj je zagotoviti oskrbo (storitev), tako, da sta usklajena povpraševanje (različne potrebe po vodi) in ponudba (ti. storitev gospodarske javne službe) v skladu s standardi (kakovost, tlaki, količine ipd.) oskrbe.

Zaradi dinamike na odzemnih mestih, dinamike razvoja poselitve oz. razvoja dejavnosti na območju, ki ga oskrbuje neki sistem, je možno doseči le ti. dinamično ravnovesje. Opredeljujejo ga seveda robni pogoji sistema, robni pogoji obratovanja (najmanjši, najvišji tlaki ipd.) in razvojni cilji, kot so izboljšanje standarda oskrbe, priključevanje novih oskrbnih območij ipd. Ker pa je vodovodni sistem funkcionalna celota, se lahko vplivi po njem prenašajo, tako da lahko posamezen (tudi lokalni) poseg vpliva na kakšno drugo območje ali področje (Steinman, 1992). Zato se pred upravljanje sistema postavlja težka naloga, kako z obratovanjem oz. načrtovanjem razvoja z omejenimi sredstvi dosegati ustrezni standard oskrbe vseh.

Izpolnjevanje obveznosti in sledenje razvojnim potrebam po vodi se vrednoti z različnih zornih kotov oz. z merili, ki jim je treba zadostiti. Zadovoljivih rešitev (po posameznih kriterijih, kot so hidravlični, ekonomski, količinski ipd.) je praviloma veliko, precej manj je sprejemljivih rešitev, od teh pa še manj izvedljivih (npr.

ekonomsko upravičenih). Odločanje zato temelji na številnih strokovnih podlagah, ki so ustrežnejše, če upoštevajo čimveč vidikov. V nadaljevanju bomo zato prikazali pristop, ki omogoča večkriterijsko optimizacijo posegov. Vsaka varianta posegov mora zagotavljati hidravlično učinkovitost sistema, med seboj pa se lahko razlikujejo po velikosti posega, po zaporedju izvajanja, po ekonomskih kazalcih ipd.

Kot izhodišče za analizo je treba vzpostaviti verodostojen (lahko poenostavljen) model realnega vodovodnega sistema. Z modelom se poskušajo poiskati najugodnejše variantne rešitve za izboljšanja trenutne oskrbe ali zagotavljanja predvidene oskrbe v prihodnosti (npr. za novo območje oskrbe). Verodostojni model (s sprejemljivimi odstopanji) je možno uporabiti za ugotavljanje učinkovitosti posameznih variant, ki jih lahko predlagajo različni pobudniki, npr. upravljalec vodovoda, lokalna skupnost, ko sprejme npr. zazidalni načrt stanovanjske soseske, ind. cone, idr. Pobude se pojavljajo sporadično, zato je potrebno sprotno preverjanje variant. Izdelan pristop to omogoča, saj gre za orodje za podporo odločanja v rokah upravljavca sistema, ki se ob vsakem izračunu tekoče posodablja in dopolnjuje. Omogoča mu, da ovrednoti bodoče posege, tako tiste, ki so potrebni zaradi

boljšega delovanja vodovodnega sistema (npr. zaradi novih predpisov), kot tudi tiste, ki se kažejo kot potrebni zaradi dodatnega povpraševanja po vodi (razvoj obstoječih oz. pojav novih dejavnosti, rast prebivalstva ipd.).

Uporabnost in pregled nekaterih rezultatov smo opisali na primeru vodovodnega sistema Logatec (UL_FGG; 2000), ki je tipičen za naš prostor. Rasel je neusklajeno s širitvijo območja oskrbe, zato je potrebna izboljšava sedanjega delovanja, hkrati pa ima že opredeljene nove naloge, ki izvirajo iz rasti števila prebivalcev, novih pozidav in novih dejavnosti.

2 NAČRTOVANJE IZBOLJŠAV OZ. RAZVOJA VODOVODNIH SISTEMOV

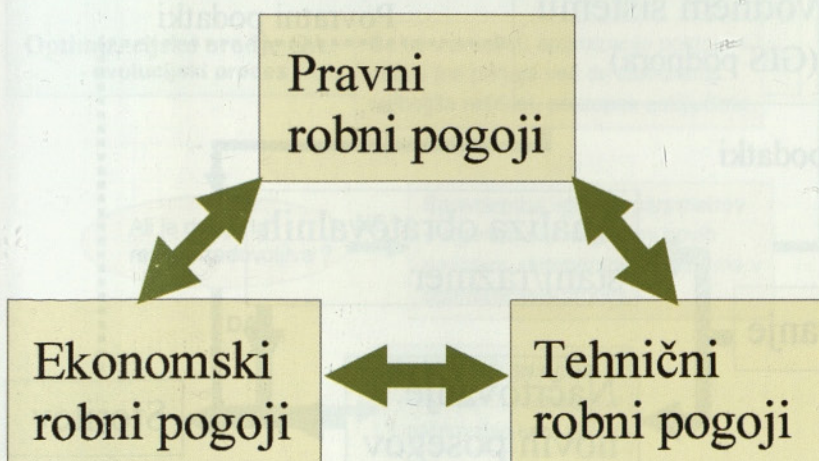
Posamezen poseg je dovoljen le, če je v skladu s tremi skupinami robnih pogojev, kot so prikazani na sliki 1. Prvo skupino ureja veljavna zakonodaja, pri čemer pa je potrebno biti pozoren tudi na prihajajočo zakonodajo, skladno s pravnim redom EU (prEN805, 1996). Ekonomski robni pogoji izvirajo tako iz makroekonomskih razmer, iz vidikov lokalne skupnosti oz. njene sposobnosti za investiranje v lokalno infrastrukturo, pa

tudi iz pogojev za uspešnost poslovanja izvajalca javne gospodarske službe. Tehnično-tehnološki robni pogoji so inženirjem seveda najbolj znani, zato jih tudi najlažje upoštevajo.

Robni pogoji nam zagotavljajo, a hkrati tudi omejujejo prostor možnih posegov in ukrepov. V primeru načrtovanja oz. upravljanja vodovodnih sistemov se kot pravni pogoji upoštevajo pravice in obveznosti (predpisi, standardi), ki se nanašajo na vodooskrbo, pa tudi ekološki vidiki. S sprejetimi predpisi se namreč vzpostavi razmerje med uporabnikom in izvajalcem (ponudnikom) storitve. V Sloveniji so enotni standardi glede oskrbe z vodo še vedno v izdelavi, zato upravljavci praviloma prevzemajo veljavne standarde iz drugih držav. Objavljen je že bil pravilnik (Ur.l. 52/99), po katerem bi se naj urejalo to področje v Sloveniji, a je bil kasneje preklican. Zato so bili pri praktičnem primeru upoštevani predpisi lokalne skupnosti in (primerjalna) ureditev v EU (Banovec, 2000).

Da bo zagotovljena ustrezna vodooskrba, je treba načrtovati posege tako, da bodo izbrane zadostne dimenzije cevovoda, vodohranov ipd., in s tem zadostne količine vode (tudi požarne vode), ki bo zadovoljiv kakovosti, pri zadostnih tlakih, ipd, kar nam določajo tehnični robni pogoji, ki so lahko precizirani tudi s predpisi. Ker se za take posege uporabljajo tudi javna (proračunska) sredstva, je potrebno dokazati ekonomsko upravičenost posegov, hkrati pa upoštevati tudi ekonomske robne pogoje, da bi izvajalec javne službe uspešno posloval.

Vsako delo, ki se izvrši na vodovodnem omrežju zaradi zagotovitev boljše (oz. večje) oskrbe z vodo, pomeni določen poseg v sistem. Da bi bil poseg čim učinkovitejši in da bi prišlo do čim manj neželenih posledic ter stroškov, je treba s celostnim pristopom upoštevati zakonodajo, opraviti potrebne raziskave o morebitni spremembi hidravlične učinkovitosti zaradi predlaganega posega in dokazati gospodarno porabo sredstev.



Slika 1: Prikaz robnih pogojev delovanja sistema

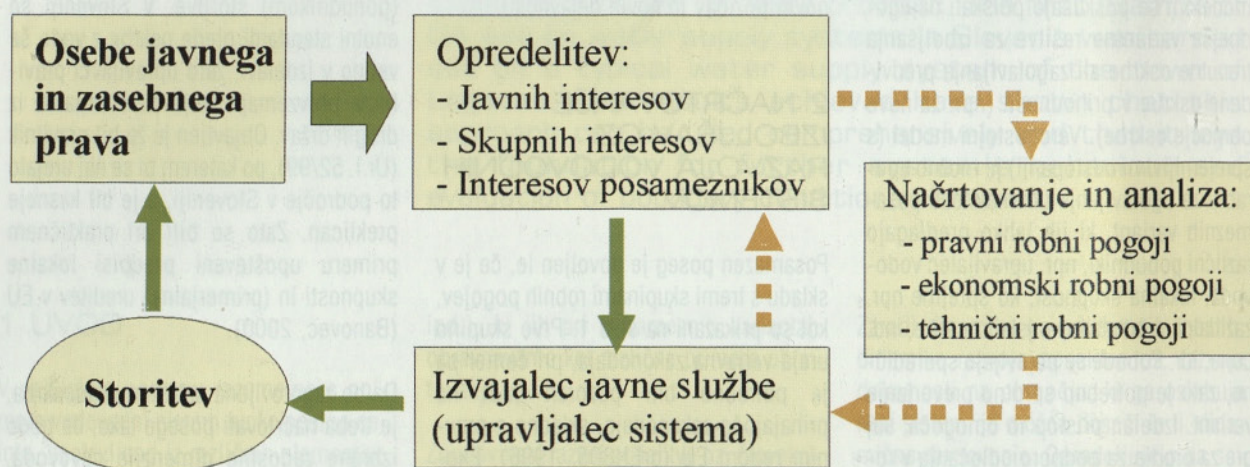
V življenjskem obdobju posameznega sistema se pojavijo različni interesi (slika 2), ki so izraženi kot želje oz. zahteve različnih oseb javnega prava (RS, občina, ...) in/ali oseb zasebnega prava (podjetja, posamezniki, ...). Investitor in/ali upravljevec vodovodnega sistema v ciklusu načrtovanja in analize, ki mora upoštevati vse vplivne dejavnike in interese, ugotavlja, katera je najboljša možna rešitev z vidika delovanja sistema. Če je predlagani ukrep sprejemljiv (tudi z morebitnih drugih vidikov), se izvede in je nato kot del storitev izvajalca javne službe

zagotovljen uporabnikom. Torej potekata dva ciklusa, eden v ozadju, kot sklop načrtovalno-analitičnega procesa, drugi pa kot usklajevanje med različnimi neposredno udeleženi subjekti (o koristih in obveznostih). Oba pa sta med seboj povezana, saj je treba tudi navzkrižno primerjati interese, presojati sprejemljivost, pa tudi pripravljenost (in zmožnost) prevzemanja tako nastalih obveznosti.

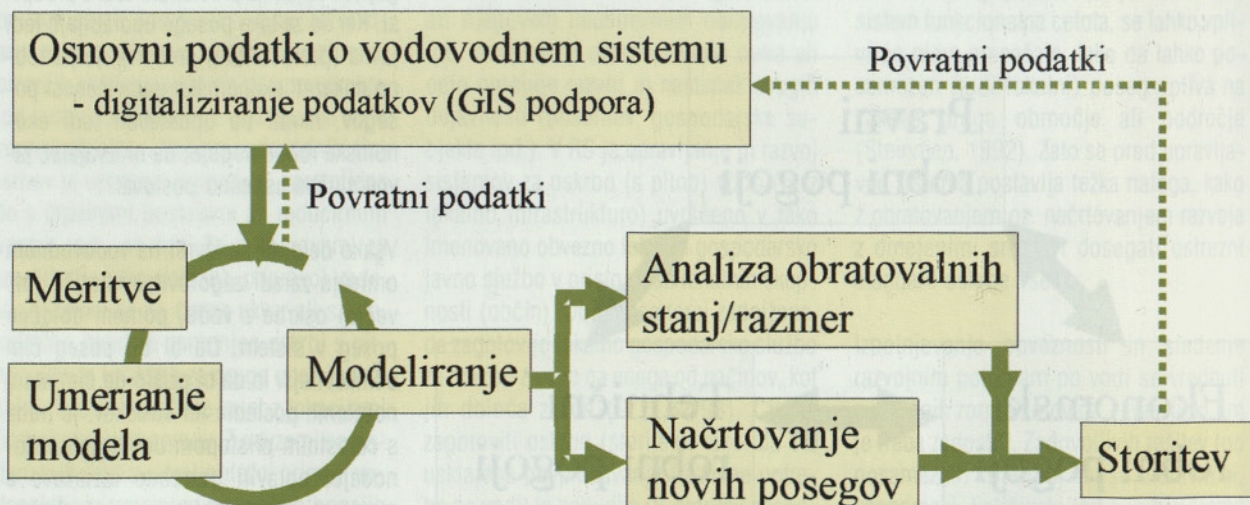
Za uspešno presojo posegov, načrtovanje in analizo so se že uveljavili posamični matematični modeli. Pristop, ki smo ga

uporabili za izdelavo podlag za načrtovanje oz. odločanje, je prikazan na sliki 3, kot primer vsakokratne obravnave od predloga do izvedbe. Nakazane pa so tudi povratne zveze, ki opozarjajo, da je potrebno na podlagi povratnih informacij spremljati tudi dosežene učinke (ugodne ali neugodne).

Za povezano obravnavo sistema smo najprej vzpostavili verodostojen vodovodni sistem. Z AutoCAD orodjem je izdelan digitaliziran načrt vodovodnega sistema, podprt z GIS orodjem, da so zajeti tudi



Slika 2: Dva ciklusa procesov od izraženega interesa do zagotovljene storitve



Slika 3: Prikaz procesa modeliranja, analize in načrtovanja

drugi relevantni podatki o sistemu, obratovanju, izdatnosti vodnih virov ipd. Glede na razsežnost (številnost cevovodov, priključkov ipd.) je običajno potrebno vzpostaviti poenostavljen model, ki pa ustrezno predstavlja funkcioniranje vodovodnega sistema. To smo obravnavali s programsko opremo EPANET 2.0, ki omogoča hidravlične izračune in analize (pa tudi izračune o kakovosti vode) in je predstavljena v poglavju 3.1. Z uporabo ge-

netjskih algoritmov (GA) in ustreznih povezav med orodji je bilo izdelano orodje GA-net.

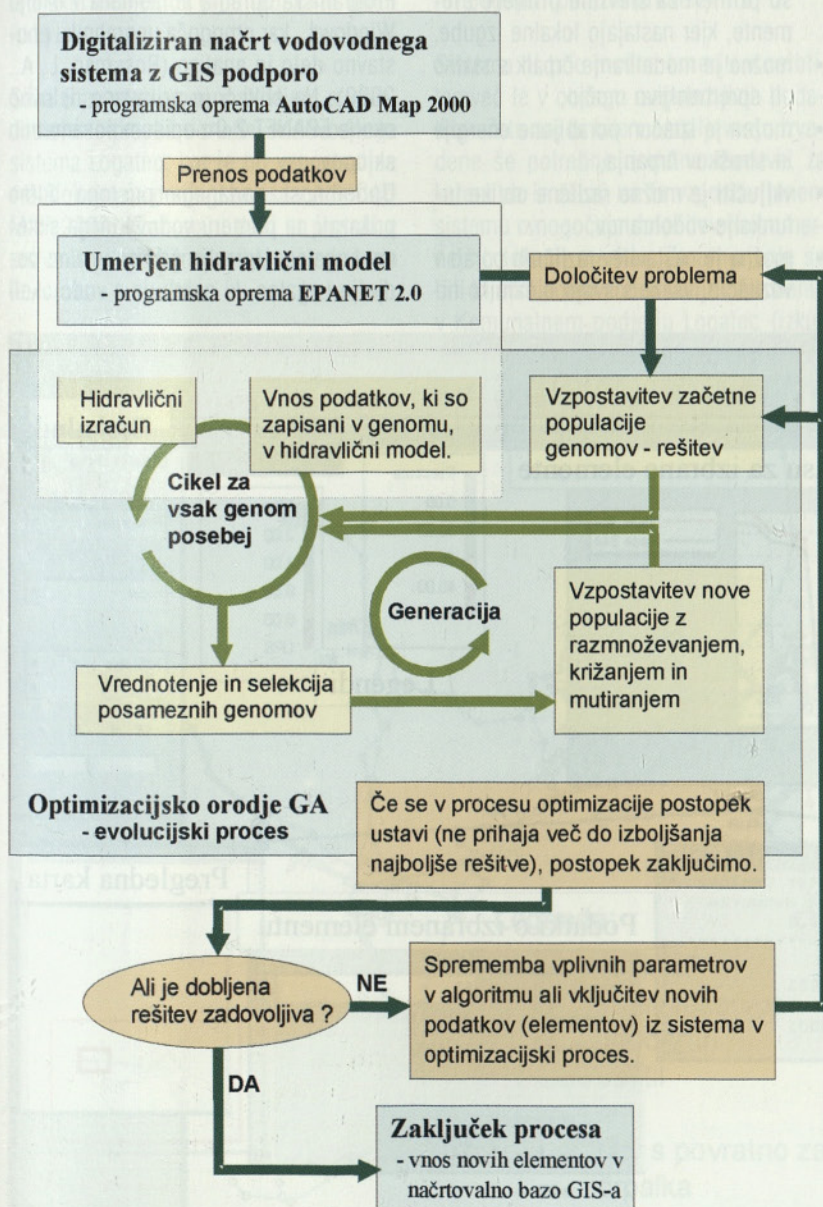
Z umerjanjem modela, ki je temeljilo na ustreznih opazovanjih v vodovodnem sistemu (tlaki, pretoki ipd.), je zagotovljeno, da model (v sprejemljivih mejah odstopanja) odraža delovanje realnega vodovodnega sistema. Proces je ponavadi zahteven (tudi zaradi težavnega pridob-

bivanja osnovnih podatkov), saj zahteva temeljito strokovno poznavanje hidravličnih zakonitosti in odzivanja sistema na različne vhodne podatke (premeri in hrpavosti cevi, različne porabe vode, obtežni primeri, itd.). S temi pripravljanimi deli je bil vzpostavljen in umerjen model, s katerim smo najprej analizirali trenutno stanje, da bi ugotovili morebitne pomanjkljivosti v sistemu in hkrati zanje poiskali optimalne rešitve za izboljšanje stanja. Ker je zaloga vrednosti med seboj vplivajočih spremenljivk pri posegih v vodovodni sistem lahko zelo velika (različni premeri cevi, moči črpalk, velikosti rezervoarjev in spremljajoči stroški), je iskanje optimalnih rešitev, ob upoštevanju že navedenih robnih pogojev, izredno obsežno delo. Prav pri reševanju take vrste problemov pa so se GA izkazali kot zelo učinkoviti, saj s posnemanjem evolucijskih procesov (razmnoževanje, križanje, mutiranje, ...), omogočajo, v primerjavi s klasičnimi orodji, hitrejše in učinkovitejše iskanje rešitev (Goldberg, 1989; Halhal, 1998).

V nadaljevanju bomo prikazali pristop k načrtovanju in iskanju za podane kriterije najbolj ugodnih rešitev (optimizacija) z uporabo povezane programske opreme EPANET 2.0 in GA.

3 NAČRTOVANJE IN OPTIMIZACIJA – PRIMER VODOVODNI SISTEM LOGATEC

Po postopku, prikazanem na sliki 3, so bile v sodelovanju z upravljavci sistema upoštevane tudi povratne informacije o vmesnih izračunih o delovanju sistema. Kot načrtovani posegi so upoštevane namere o bodočih odvzemih voda (poselitve, gospodarska raba ipd.) oz. posegi, predlagani v dosedanjih študijah ali s strani poznavalcev sistema. Na sprejemljivost posega lahko vplivajo tudi drugi robni pogoji, ki jih še ne poznamo. Zato so bili rezultati ovrednoteni po kriterijih, ki so bili podani o vprašanih, ki zadevajo upravljavca sistema, druge omejitve pa



Slika 4: Prikaz procesa iskanja optimalne rešitve za zastavljeni problem (spremembe npr. premera cevi, dodani elementi, npr. črpalka, izločitev, npr. preklap uporabnika)

bo možno simulirati v procesu sprejemanja odločitev.

Kako so v analizo povezana uporabljena programska orodja, in še posebej procesi, izvedeni z GA, prikazuje slika 4.

Celotni proces omogoča raznovrstne presoje, tako o predlaganih posegih kot o posegih, ki se zdijo potrebni po opravljenih izračunih posameznih obtežnih primerov. Za lažje razumevanje rezultatov bomo na kratko opisali obe glavni orodji, EPANET in GA.

3.1 EPANET

EPANET 2.0 je brezplačno dosegljiva programska oprema ameriške organizacije za zaščito okolja EPA (Environmental Protection Association), ki omogoča tudi nestacionarne simulacije hidravličnih

razmer in kakovosti vode v vodovodnih sistemih pod tlakom. V praksi se že pogosto uporablja, saj zadovoljuje veliko zahtev pri modeliranju vodovodnih sistemov.

Poglavitne lastnosti programske opreme so naslednje:

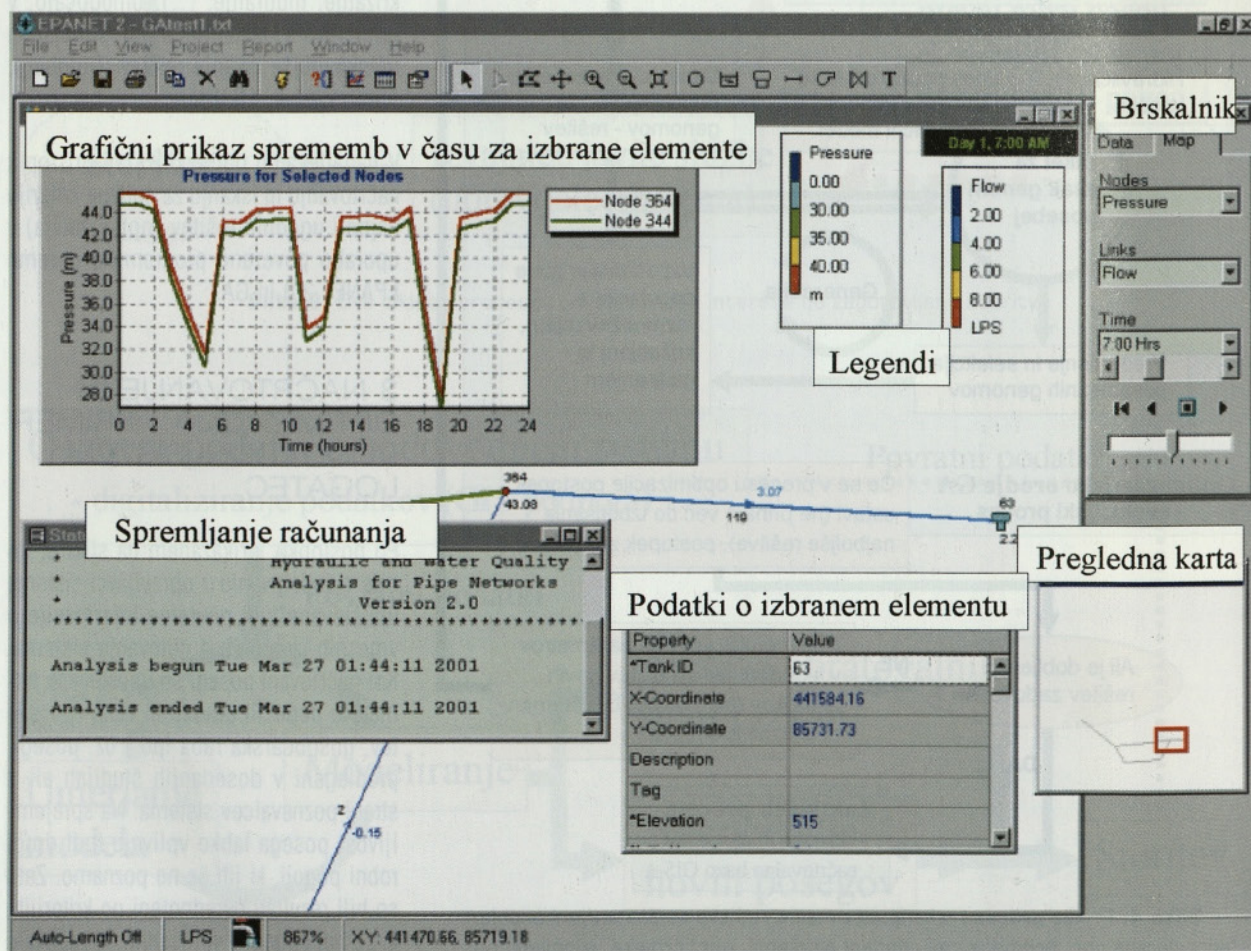
- ni omejitev pri velikosti omrežja,
- izgube zaradi trenja se lahko računajo po različnih enačbah, že vgrajeni pa so primeri za številne primere elemente, kjer nastajajo lokalne izgube,
- možno je modeliranje črpalk s stalno ali spremenljivo močjo,
- možen je izračun porabljene energije in stroškov črpanja,
- vključiti je možno različne oblike in funkcije vodohranov,
- možna je nastavev različnih porab v vozliščih, vsake s svojo dinamiko ni-

hanja porabe,

- možno je modeliranje odtokov, ki so odvisni od tlakov (npr. izgube vode iz sistema),
- dobro je podprto upravljanje sistema z upoštevanjem kontrolnih (regulacijskih) nastavitvev,
- z uporabo objektne knjižnice (dynamic link library -DLL) je omogočeno prilagajanje programske opreme lastnim potrebam, ipd.

Programska oprema je izdelana v okolju Windows, kar omogoča uporabniku enostavno delo in analizo (Rossman, L. A., 2000). Na sliki 5 je prikazano delovno okolje EPANET 2.0 z opisom posameznih sklopov.

Uporabnost podanega pristopa bomo prikazali na primeru vodovodnega sistema Logatec. Upravlja ga Komunalno podjetje Logatec, ki oskrbuje z vodo okoli



Slika 5: Prikaz delovnega okolja EPANET 2.0

7000 prebivalcev ter nekaj večjih industrijskih uporabnikov. Spada med starejše vodovodne sisteme, saj so deli sistema stari tudi 80 in več let. Vodo dobiva iz več zajetij, ki gravitacijsko napajajo sistem, in iz dveh vodnjakov s črpališči. Zajem različnih vodnih virov in etapna izgradnja so oblikovali sistem, ki ga je, glede na tlake v sistemu, možno razdeliti na tri območja: visokotlačni, srednetlačni in nizkotlačni del, med katerimi pa je možen pretok vode preko različnih regulacijskih elementov (npr. reducirni ventil ipd.).

Slika 6 prikazuje poenostavljen, a verodostojen hidravlični model vodovodnega sistema Logatec, kot je bil vzpostavljen v GIS okolju na podlagi zapisa v AutoCAD MAP 2000. Izračunani tlaki in pretoki v sistemu so grafično prikazani z barvno lestvico.

Za vzpostavitev modela smo potrebovali naslednje podatke:

- načrte vodovodnega omrežja (dimenzije, kote, elemente, povezave med deli sistema),
- podatke o cevovodih (premer, starost, material, vozlišča ipd.),
- podatke o vodnih virih, črpališčih, vodohranih oz. o drugih elementih sistema,
- lokacije izvajanih meritev,
- poraba vode v sistemu (npr. obračun dobavljene vode ipd.),
- podatke o načinu obratovanja in ostalih pogojih (obtežni primeri), idr.

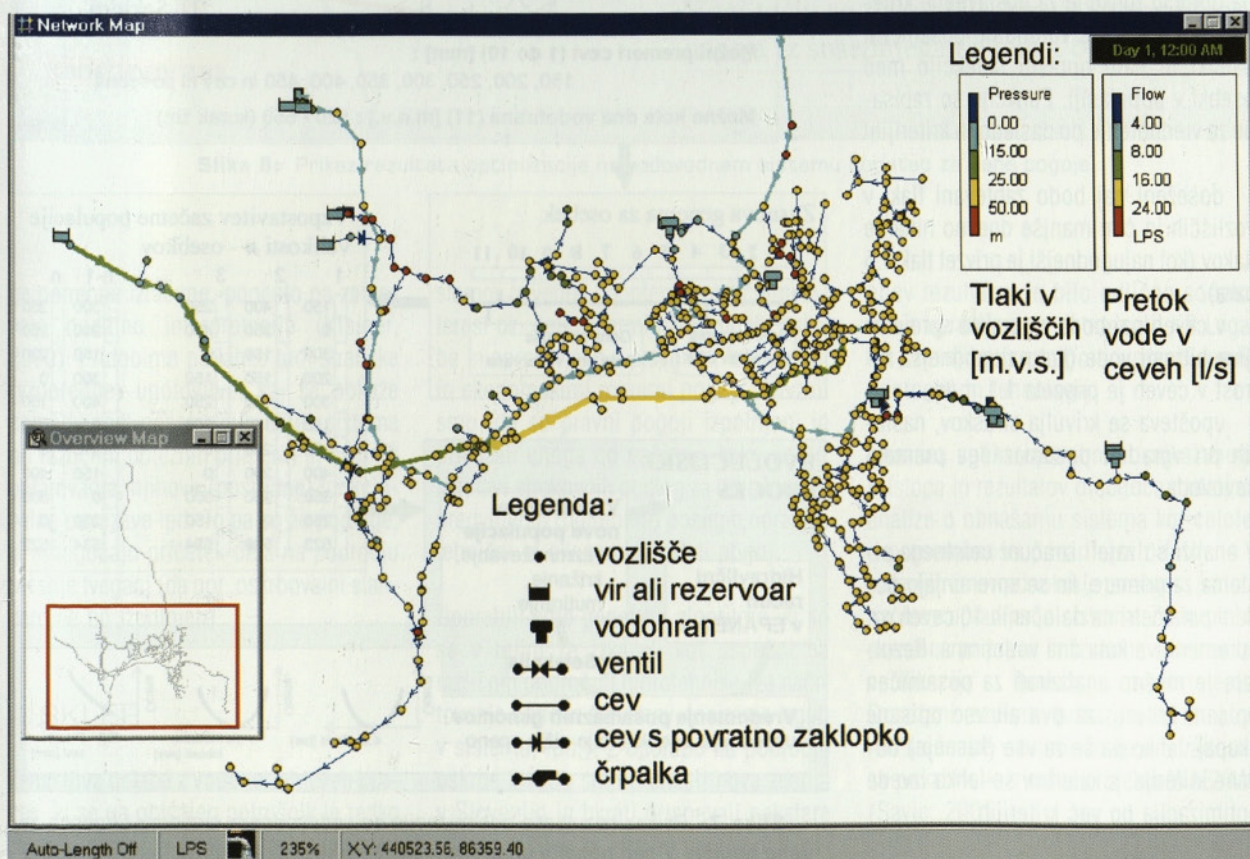
Sistema ni bilo možno umeriti v celoti, temveč le v obsegu razpoložljivih podatkov. Zato naj bi bile v nadaljevanju izvedene še potrebne dodatne meritve, za katere pa izračuni na že vzpostavljenem sistemu omogočajo določitev najprimernejših lokacij meritev. Za umerjanje so bili ključni dobro sodelovanje zaposlenih v Komunalnem podjetju Logatec (izkusni podatki), predhodno izvedene meritve (Ekodata d.o.o., 1993) in evidence

o delovanju sistema (poraba, dogodki ipd.).

3.2 GA-NET KOT OPTIMIZACIJSKO ORODJE

Za izdelano orodje GA-net, uporabljeno kot optimizacijsko orodje, si najprej oglejmo opredelitev začetne populacije možnih rešitev problema. Obravnavali bomo varianto (poseg), ki predvideva vzpostavitev novega črpališča (na vrtnah CG-4 in CG-5), izgradnjo novega protiležnega vodohrana Sekirica ter spremembe nekaterih cevovodov. Na sliki 6 so grafično prikazane lokacije predlaganih sprememb, ki naj bi izboljšale oskrbo z vodo. Gre za 10 (na sliki 7 označenih) cevovodov in za vodohran, pri katerem iščemo najprimernejšo višinsko lego oz. koto dna.

Optimizacija z GA se začne z zapisom



Slika 6: Hidravlični model vodovodnega sistema Logatec s prikazom izračuna (p, Q)

vseh spremenljivk v genom. Upoštevamo 10 cevi, vsaka ima 6 možnih nazivnih premerov in dodatno možnost, da cev morda ne bi bila potrebna, ter 31 možnih višinskih kot dna vodohrana. Zaradi take zaloge vrednosti (sprememb parametrov) je vseh možnih kombinacij veliko:

$$n = 8^{10} \cdot 31 = 3,3 \cdot 10^{10}.$$

Čeprav izkušen projektant lahko določeno število kombinacij hitro izloči, pa ostaja praktično možnih še veliko kombinacij, ki jih je potrebno z izračuni preveriti in medsebojno ovrednotiti. Za uporabo GA najprej vzpostavimo začetno populacijo možnih rešitev z naključnim zapisom (sejanjem) na območju možnih rešitev, nato pa pričnemo optimizacijski proces.

Preden pa v okolju GA lahko steče evolucijski proces, ki v vsaki generaciji izvaja selekcijo, križanje (razmnoževanje) in mutiranje v trenutni populaciji, je treba določiti funkcije za postavljene kriterije, po katerih se vrednotijo posamezni osebki in nato opraviti selekcijo med osebki v populaciji. Funkcije so zapisane za vrednotenje po naslednjih kriterijih:

- doseženi naj bodo zahtevani tlaki v vozliščih in čim manjše dnevno nihanje tlakov (kot najugodnejši je privzeta tlak 4.5 bara),
- v ceveh naj bodo za prakso sprejemljive hitrosti vode (kot najugodnejša hitrost v ceveh je privzeta 1.1 m/s),
- upošteva se krivulja stroškov, nastalih pri vgradnji posameznega premera cevovoda.

V analizi so zajeti izračuni celotnega sistema za primere, ko se spreminjajo podani parametri na določenih 10 ceveh oz. spremenljive kota dna vodohrana. Rezultate je možno analizirati za posamičen opisani kriterij, za dva ali vse opisane skupaj, lahko pa še za vse (kasneje) dodane kriterije, s katerimi se lahko izvede optimizacija po več kriterijih.

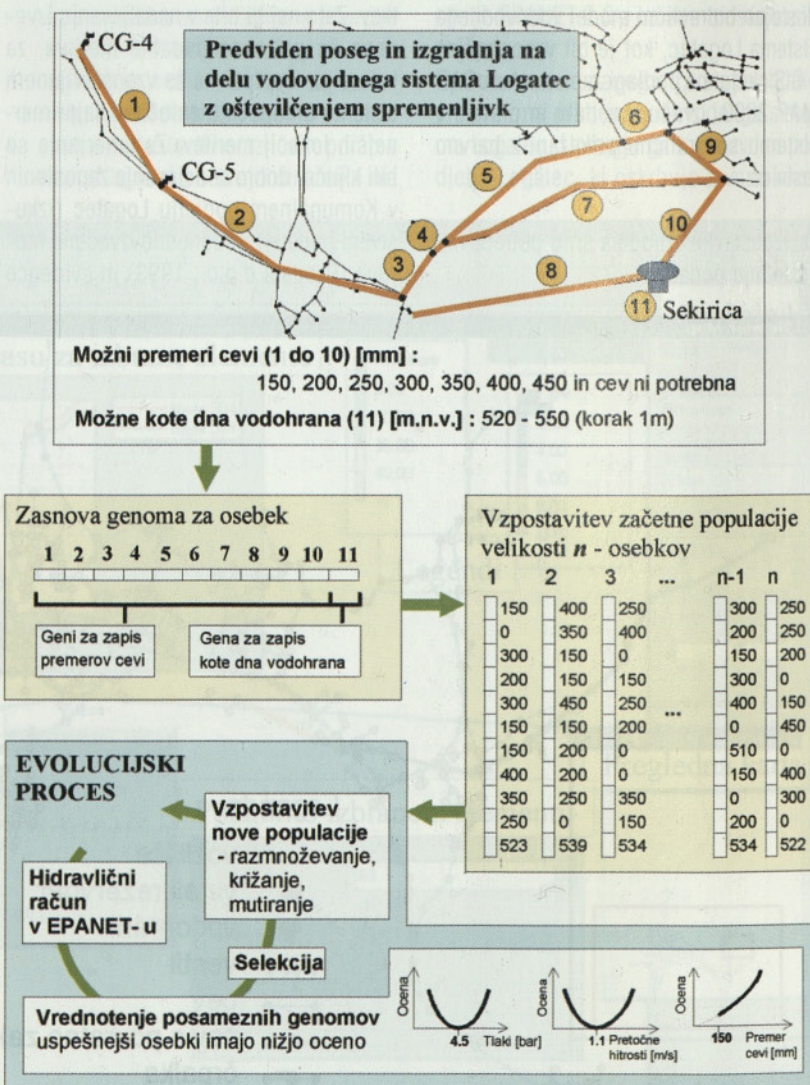
Za ovrednotenje posameznega genoma v

populaciji smo zasledovali, kakšni so izračunani tlaki v šestih reprezentativnih merskih točkah (slika 7) in izračunane hitrosti vode v optimiziranih ceveh, in to za dva načina obratovanja sistema, ki imata obtežbo z največjo urno porabo, v dnevu, ki ima najvišjo dnevno porabo. Razen gravitacijskega dotoka vode sta pri prvem načinu obratovanja črpalki CG-4 in CG-5 izključeni, zato se celoten sistem oskrbuje (tudi) iz vodohrana Sekirica, v drugem načinu obratovanja pa obe črpalki delujeta.

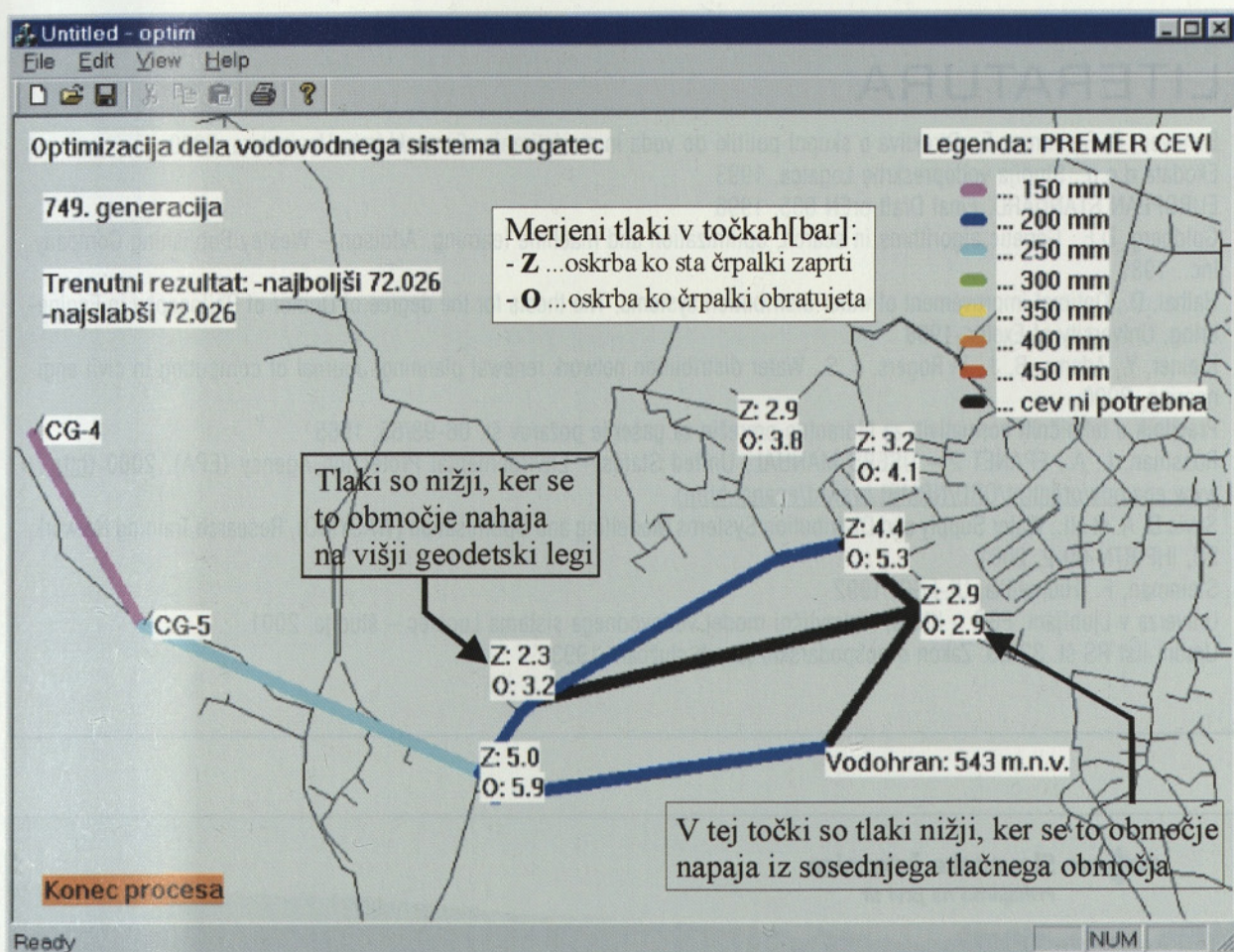
Rezultat evolucijskega procesa za posta-

vljene robne in obratovalne pogoje je prikazan na sliki 8. Opazimo lahko, da naj bi kar tri cevi bile nepotrebne za zagotavljanje primerne oskrbe v danih pogojih. Vendar pa moramo upoštevati, da se v drugih obratovalnih pogojih, predvsem pri izredni obtežbi, kot je npr. potreba po požarni vodi ali zagotovitev oskrbe pri morebitnih izpadih delov sistema, ustrezna oskrba najlažje zagotovi s krožno zasnovo oskrbe z vodo, zato računi za takšne primere pokažejo, da so potrebni tudi ti cevovodi.

Rezultati praviloma opozorijo še na dru-



Slika 7: Prikaz rezultata optimizacije na vodovodnem sistemu Logatec za dane pogoje. V teh pogojih se tri cevi izkažejo kot nepotrebne, se pa izkažejo kot potrebne pri drugih obtežnih primerih.



Slika 8: Prikaz rezultata optimizacije na vodovodnem sistemu Logatec za dane pogoje.

ge potrebne izračune, pogosto pa zahtevajo dodatno interpretacijo (Kleiner, 2000). Pridobimo pa lahko tudi stranske (vzporedne) ugotovitve, saj se pokaže pomembnost posameznih delov sistema pri različnih obtežnih primerih in načinih obratovanja, njihove (posredne) funkcionalne povezave ipd. To pa so že podlage, ki omogočajo pričetek dela na področju presoje tveganj (da npr. oskrbovalni standard ne bo izpolnjen).

4 SKLEP

Zanesljiva oskrba z vodo je zahteven proces, ki se ga običajen potrošnik le redko zaveda, opazi pa seveda, če ni urejena. Načrtovanje in upravljanje vodovodnih si-

stемов je vedno pogojeno z različnimi interesi oz. dejavnostmi na območju oskrbe in opredeljeno s pravnimi, tehničnimi in ekonomskimi robnimi pogoji. Privzeli smo, da so pravni pogoji izpolnjeni in prikazali enega od načinov, kako se pri izdelavi strokovnih podlag za odločanje o predvidenih (potrebnih) posegih odražajo tehnični in ekonomski robni pogoji.

Uporabili smo genetske algoritme, ki so se v tujini že izkazali kot uspešni na različnih področjih hidrotehnike (za načrtovanje obnove sistemov, lociranje izgub v sistemu, ipd.). Z uporabo na področju oskrbe z vodo smo prenesli nova znanja v Slovenijo in hkrati prispevali nekatere izvirne rešitve za analize vodovodnih sistemov. Eden ključnih pogojev za izpol-

nitev rezultatov je bilo odlično sodelovanje upravljavcev sistema, tj. KP Logatec, in njihova podpora uporabi novih pristopov in tehnologij.

Izkazana velika uporabnost prikazanega pristopa in rezultatov omogoča nadaljnje analize o obnašanju sistema kot celote, o pomembnosti posameznih delov in o kriterijih za ovrednotenje posegov, pa tudi načinov upravljanja sistema. Za to pa bo potrebna priprava in izvedba meritev ter verifikacija funkcij ovrednotenja. Doseženi rezultati, prikazani na strokovnih srečanjih v tujini, so že bili zadostni za povabilo k izvedbi projekta WASYMO (Savic, 2001).

LITERATURA

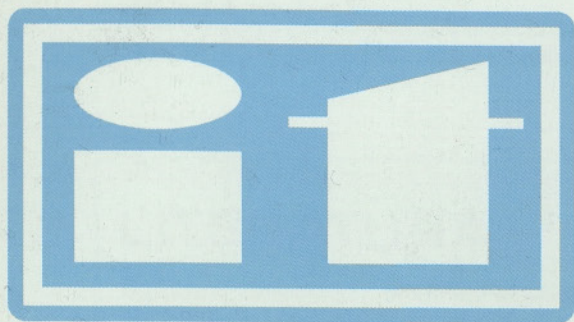
- Banovec, P., Steinman, F., Direktiva o skupni politiki do voda in modeliranje, *Evropski izziv*, Umanotera, 2000.
- Ekodata d.o.o., Študija vodopreskrbe Logatca, 1993
- EUROPEAN STANDARD, Final Draft prEN 805, 1996
- Goldberg, D.E., Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Addison – Wesley Publishing Company, Inc., 1989
- Halhal, D., Optimal improvement of water distribution systems, The thesis for the degree of Doctor of Philosophy in Engineering, University of Exeter, 1998
- Kleiner, Y., Adams, B. J., in Rogers, J. S., Water distribution network renewal planning, *Journal of computing in civil engineering*, 2000
- Pravilnik o tehničnih normativih za hidrantno omrežje za gašenje požarov št. 06-93/65, 1965
- Rossman, L. A., EPANET 2 – USERS MANUAL, United States – Environmental Protection Agency (EPA), 2000 (<http://www.epa.gov/ordntrnt/ORD/NRMRL/wswrd/epanet.html>)
- Savic D. A. et al., Water Supply and Distribution Systems Modelling and Optimisation (WASYMO), Research Training Network, EU, IHP-RTN-00-2, 2001
- Steinman, F., Hidravlika, UL-FGG, 1992
- Univerza v Ljubljani, FGG – KMTe, Hidravlični model vodovodnega sistema Logatec – študija, 2001.
- Uradni list RS št. 32/93, Zakon o gospodarskih javnih službah, 1993



Slovenske železnice
Prihajamo na prvi tir



**Nova
železniška povezava
med Slovenijo in Madžarsko**



PRIPRAVLJALNI SEMINARJI TER IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE V GRADBENIŠTVU, ARHITEKTURI IN KRAJINSKI ARHITEKTURI V LETU 2001

MESEC	SEMINAR	IZPITI	
		GRADBENIKI	ARHITEKTI KRAJINARJI
September	17. - 21.		
Oktober	8. - 12.	pisni: 27.10.	
November	12. - 16.	ustni: 5. - 8.11.	pisni: 7.11.
		pisni: 24.11.	ustni: 19. - 21.11.
December	17. - 21.	ustni: 3. - 7.12.	

A. PRIPRAVLJALNE SEMINARJE

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

Seminar za GRADBENIKE poteka 5 dni (46 ur) in pripravlja kandidate za splošni in posebni del strokovnega izpita, Cena seminarja znaša 65.000,00 SIT z DDV.

Seminar za ARHITEKTE IN KRAJINSKE ARHITEKTE poteka (prve) 3 dni in jih pripravlja za splošni del strokovnega izpita. Cena seminarja je 33.000,00 SIT z DDV.

K seminarju vabimo tudi kandidate, ki so že opravili strokovni izpit po določeni stopnji izobrazbe, pa so si pridobili višjo in morajo opravljati dopolnilni strokovni izpit. Ponujamo jim predavanje iz področja "Investicijski procesi in vodenje projektov". Cena predavanja in literature je 10.000,00 SIT z DDV.

Seminar ni obvezen! Izvedba seminarja je odvisna od števila prijav (najmanj 20 kandidatov). Udeležca prijavi k seminarju plačnik (podjetje, družba, ustanova, sam udeleženec ...). prijavo v obliki dopisa je potrebno poslati organizatorju **najkasneje 20 dni** pred pričetkom določenega seminarja. Prijava mora vsebovati: priimek, ime, poklic (zadnja pridobljena izobrazba), in naslov prijavljenega kandidata ter naslov in davčno številko plačnika. Samoplačnik mora k prijavi priložiti kopijo dokazila o plačilu. Žiro račun ZDGITS je 50101-678-47602; davčna številka 79748767.

B. STROKOVNI IZPITI

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS)**, Dunajska 104, 1000 Ljubljana. Informacije je mogoče dobiti pri Ge. Terezi Rebernik od 10.00 do 12.00 ure, po telefonu 01 / 568-52-76.