

GRADBENI VESTNIK

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

Poštnina plačana pri
pošti 1102 LJUBLJANA

APRIL 2002



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

Lektorica:
Alenka **RAIČ - BLAŽIČ**

Tehnični urednik:
Danijel **TUDJINA**

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

Tisk:
TISKARNA LJUBLJANA d.d.

Naklada: 2750 izvodov

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

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

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

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

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

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

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.
4. Besedilo mora biti izpisano z 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. Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni.
8. Slike, preglednice in fotografije morajo biti vključene v besedilo prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Slike in fotografije, ki niso v elektronski obliki, morajo biti priložene prispevku v originalu.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki [priimek prvega avtorja, leto objave]. V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c, itn.
11. V poglavju **LITERATURA** so uporabljena in citirana dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime avtorja, priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
12. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
13. Pod črto na prvi strani, pri prispevkih, krajših od ene strani pa na koncu prispevka, morajo biti navedeni obsežnejši podatki o avtorjih: znanstveni naziv, ime in priimek, strokovni naziv, podjetje ali zavod, navadni in elektronski naslov.
14. Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: FGJ, Jamova 2, 1000 LJUBLJANA oz. janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V spremnem dopisu mora avtor članka napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren. Prispevke je treba poslati v enem izvodu na papirju in v elektronski obliki v formatu MS WORD.

Uredniški odbor

VSEBINA - CONTENTS

Članki, študije, razprave
Articles, studies, proceedings

Stran 74

Miha Tomažević

OBSTOJEČI GRADBENI OBJEKTI IN RAZVOJ POTRESNEGA INŽENIRSTVA - PRIMER ZIDANIH STAVB

EXISTING BUILDINGS AND THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE ENGINEERING: THE CASE OF MASONRY BUILDINGS

(nadaljevanje iz prejšnje številke GV)

Stran 80

Tomo Cerovšek

RAZISKAVE IN UPORABA EKSPERTNIH SISTEMOV V GRADBENIŠTVU

RESEARCH AND APPLICATIONS OF EXPERT SYSTEMS IN CIVIL ENGINEERING

Stran 97

Luka Pavlovčič

ČLENITEV NAMENSKE FUNKCIJE PRI OPTIMIZACIJI JEKLENIH OKVIRJEV

FORMULATION OF OBJECTIVE FUNCTION AT THE OPTIMIZATION OF STEEL FRAMES

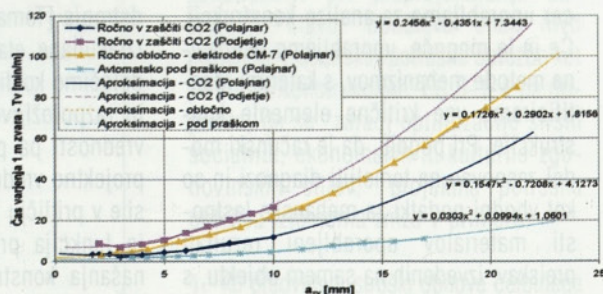
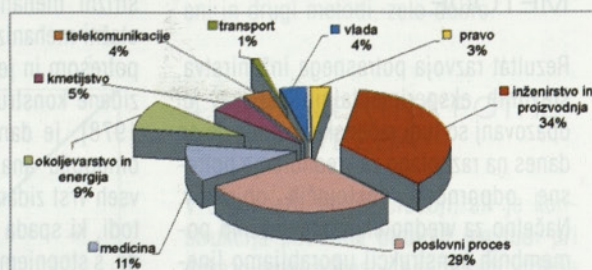
Poročila z znanstvenih in strokovnih srečanj

Stran 106

Janja Perovic - Marolt

GRADBENI PROIZVODI ZA ENOTNI TRG: PRIČAKOVANJA IN STVARNOST

CONSTRUCTION PRODUCTS FOR THE SINGLE MARKET: EXPECTATIONS AND REALITY



MIHA TOMAŽEVIČ: Obstoječi gradbeni objekti in razvoj potresnega inženirstva - primer zidanih stavb

OBSTOJEČI GRADBENI OBJEKTI IN RAZVOJ POTRESNEGA INŽENIRSTVA - PRIMER ZIDANIH STAVB

EXISTING BUILDINGS AND THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE ENGINEERING: THE CASE OF MASONRY BUILDINGS

STROKOVNI ČLANEK

UDK 624.012 : 624.131.55 : 69.059

MIHA TOMAŽEVIČ

nadaljevanje iz prejšnje številke

4.1 RAČUNSKE METODE

Rezultat razvoja potresnega inženirstva, številnih eksperimentalnih raziskav in opazovanj so tudi računske metode, ki so danes na razpolago za vrednotenje potresne odpornosti obstoječih objektov. Načelno za vrednotenje posameznih pomembnih konstrukcij uporabljamo linearne in nelinearne metode, ki jih tudi sicer uporabljamo za analizo konstrukcij. Če je le mogoče, uporabljamo nelinearne metode mehanizmov, s katerimi identificiramo vse kritične elemente konstrukcije. Pri pogoju, da je računski model zasnovan na temeljiti diagnozi in so kot vhodni podatki za mehanske lastnosti materialov uporabljeni rezultati preiskav, izvedenih na samem objektu, s takšno analizo dobimo realno sliko o potresni odpornosti konstrukcije.

Za zidane konstrukcije smo eno takšnih metod že pred leti razvili tudi na ZAG.

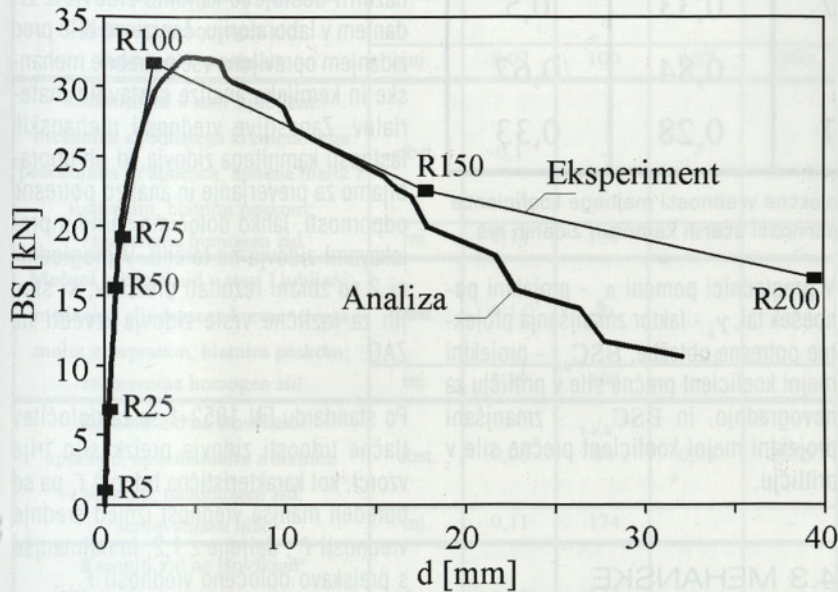
Metoda, katere podlaga je bil na začetku strižni mehanizem obnašanja zidov in etažni mehanizem obnašanja stavbe med potresom in je bila primerna za navadne zidane konstrukcije [Tomažević in sod., 1978], je danes izpopolnjena, tako da omogoča analizo potresne odpornosti vseh vrst zidanih konstrukcij. Po tej metodi, ki spada med t.i. push-over metode, s stopnjema vsiljenimi pomiki izračunamo ovojnico odpornosti kritičnega nadstropja [Tomažević, 1997]. S pomočjo izračunane etažne ovojnice odpornosti določimo koeficient potresne odpornosti in razpoložljivo globalno duktilnost, ti vrednosti pa primerjamo s predpisano projektno vrednostjo koeficienta prečne sile v pritličju in globalne duktilnosti, ki je funkcija predpisanega faktorja obnašanja konstrukcije. Metodo smo že nekajkrat preverili s preiskavami modelov različnih vrst zidanih stavb na potresni mizi. Ugotovili smo, da se računski rezultati ujemajo z rezultati eksperimentov, če so le v računu upoštevani dejanski poda-

tki o mehanskih lastnostih zidovja (slika 8). Izkušnje kažejo, da je ujemanje glede odpornosti zelo dobro, manj dobro pa je lahko glede togosti, saj na to vplivajo vpetostni pogoji zidov pri različnih sistemih zidanih konstrukcij in s tem povezani upogibni vplivi, ki se ne dajo vedno natančno računsko modelirati.

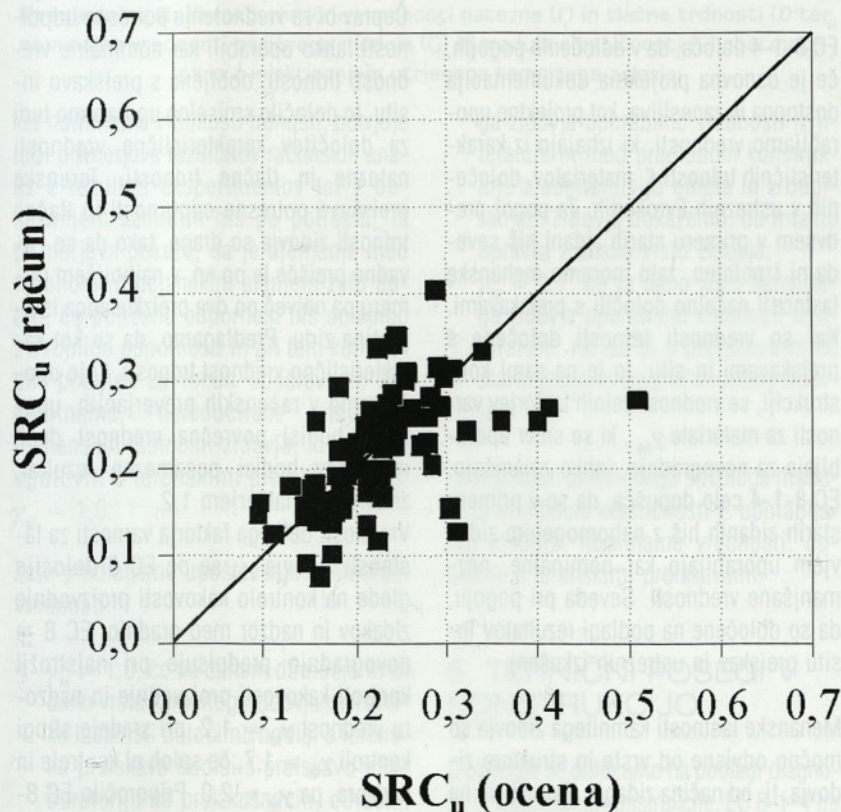
Seveda pri sistematičnem vrednotenju stavb na širšem potresno ogroženem območju ne bomo uporabljali natančnih metod. V svetu je v zadnjem času že nekaj metod, ki to omogočajo. V principu so podobne. Ker pa niso bile razvite za splošno uporabo, pač pa za vrednotenje gradbenega fonda, specifičnega za dano območje, jih brez prilagoditve ne moremo uporabljati kjerkoli. Zato je bila pred nekaj leti tudi pri nas v okviru projekta Potresna ogroženost in varstvo pred potresi razvita poenostavljena metoda za oceno potresne ranljivosti obstoječih gradbenih objektov, v prvi vrsti zidanih in armiranobetonskih konstrukcij, pa tudi

Avtor:

prof.dr. Miha Tomažević, univ.dipl.inž.grad., Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana. e-pošta: miha.tomazevic@zag.si



Slika 8: Primerjava eksperimentalne in izračunane etažne ovojnice odpornosti



Slika 9: Primerjava ocenjenih in z natančnejšo metodo izračunanih vrednosti koeficienta potresne odpornosti

mostov. Metoda za vse vrste konstrukcij temelji na ekspertni presoji vrednosti pomembnih parametrov, ki definirajo modelni vektor, s katerim opišemo potrebno odpornost. Večja je banka podatkov, s katerimi razpolagamo, bolj zanesljiva je tudi ocena, ki jo dobimo s predlaganim modelom. Ker je največ izkušenj, pa tudi natančnejših analiz povezanih s potresno odpornostjo zidanih stavb, je bila metoda za zidane stavbe nedavno posodobljena [Lutman in sod., 2001, 2002]. S posodobljeno metodo je bila že analizirana vrsta pomembnih objektov v Mestni občini Ljubljana, na podlagi rezultatov pa so bili tudi identificirani kritični objekti, ki bodo kasneje analizirani z bolj natančno metodo. Metoda je bila preverjena s primerjavo z rezultati, dobljenimi z natančnejšim računom. Kot kaže primerjava (slika 9), je ujemanje koeficienta potresne odpornosti SRC_u , kot enega od parametrov, s katerim definiramo potresno odpornost konstrukcije, izračunanega po eni in drugi metodi, zelo dobro.

4.2 PROJEKTA POTRESNA OBTEŽBA

V splošnem se pri presoji, ali je konstrukcija potrebna utrditve, pa tudi pri dokazovanju potresne odpornosti utrjene konstrukcije pri preprojektiranju obstoječih stavb, upošteva enak nivo projektne (računske) potresne obtežbe kot pri novih konstrukcijah. EC 8-1-4 pa dopušča, da se "zaradi optimizacije širših socialnih, ekonomskih in kulturno-zgodovinskih ciljev," projektna potresna obtežba izjemoma zniža v primeru:

1. ko predvideni stroški obnove celotnega gradbenega fonda na posameznem območju narastejo čez vse meje oziroma
2. ko upoštevanje računskih potresnih sil zahteva popolnoma nesprejemljive tehnične ukrepe pri kulturnozgodovinskih spomenikih.

EC 8-1-4 dopušča zmanjšanje projektnega pospeška tal tudi v odvisnosti od preostale življenjske dobe objekta. V predlo-

Stopnja	VI	VII	VIII	IX
a_g	0,05	0,1	0,2	0,3
$BSC_{d,u}$	0,08	0,17	0,33	0,5
γ_n	1	1	0,84	0,67
$BSC_{d,u-r}$	0,08	0,17	0,28	0,33

Preglednica 1: Predlog za zmanjšanje projektne vrednosti mejnega koeficienta prečne sile za preverjanje potresne odpornosti starih kamnitih zidanih hiš

gu slovenskega Nacionalnega dokumenta za uporabo EC 8 (NDU) je faktor zmanjšanja v primeru, ko je preostala življenjska doba 50 let ali več, enak 1,00 (ni zmanjšanja) in pade na 0,67, ko je preostala življenjska doba samo 15 let ali manj. Faktor zmanjšanja po NDU tudi v nobenem drugem primeru ne sme biti manjši od 0,67.

V enem od prejšnjih prispevkov smo utemeljili predlog za znižanje projektne potresne obtežbe v primeru, ko imamo opravka z utrditvijo večjega števila starih zidanih hiš na potresno ogroženem območju [Tomažević, 1999]. Na podlagi analiz potresne odpornosti in eksperimentalnih raziskav namreč ugotavljamo, da se z običajnimi tehničnimi ukrepi pri starih kamnitih zidanih hišah težko dosežejo vrednosti koeficienta potresne odpornosti, višje od 0,3. Na drugi strani pa izkušnje po potresih dokazujejo, da so se hiše med potresom zadovoljivo obnašale, čeprav so bile vrednosti potresne odpornosti, izračunane z upoštevanjem dejanskih vrednosti lastnosti materialov, nižje od zahtevanih za dano območje. Če potresno odpornost hiš primerjamo z znižanimi vrednostmi projektne obtežbe, pa se moramo zavedati, da je znižanje smiselno samo v primeru, ko povezanost zidov v višini stropnih konstrukcij zagotavlja, da se zidana stavba med potresom obnaša celovito. To namreč omogoča, da se bo med potresom izkoristila razpoložljiva sposobnost sipanja energije, ki jo predpostavlja faktor obnašanja konstrukcije q . Predlog za znižanje projektne potresne obtežbe je podan v preglednici 1.

V preglednici pomeni a_g - projektni pospešek tal, γ_n - faktor zmanjšanja projektne potresne obtežbe, $BSC_{d,u}$ - projektni mejni koeficient prečne sile v pritličju za novogradnjo, in $BSC_{d,u-r}$ - zmanjšani projektni mejni koeficient prečne sile v pritličju.

4.3 MEHANSKE LASTNOSTI MATERIALOV IN DELNI FAKTORJI VARNOSTI

EC 8-1-4 določa, da v določenih pogojih, če je osnovna projektna dokumentacija dostopna in zanesljiva, kot projektne uporabljamo vrednosti, ki izhajajo iz karakterističnih trdnosti f_k materialov, določenih v ustreznih Evrokodih. Ta pogoj predvsem v primeru starih zidanih hiš seveda ni izpolnjen, zato moramo mehanske lastnosti načelno določiti s preiskavami. Ker so vrednosti trdnosti določene s preiskavami in-situ, to je na sami konstrukciji, se vrednost delnih faktorjev varnosti za materiale γ_m , ki se sicer uporabljajo za novogradnjo, lahko zmanjšajo. EC 8-1-4 celo dopušča, da se v primeru starih zidanih hiš z nehomogenim zidovjem uporabljajo kar nominalne, zmanjšane vrednosti. Seveda pri pogoju, da so določene na podlagi rezultatov in-situ preiskav in ustreznih izkušenj.

Mehanske lastnosti kamnitega zidovja so močno odvisne od vrste in strukture zidovja, tj. od načina zidanja. Zato se jih ne da oceniti na podlagi lastnosti sestavnih materialov, kamna in malte, pač pa jih je

treba za vsak posamezni tip gradnje določiti s preiskavo. Zaradi lastnosti materialov, načina gradnje kamnitega zidovja in vpliva časa je zelo težko natančno ponazoriti obstoječe kamnito zidovje z zidanjem v laboratoriju, čeprav so bile pred zidanjem opravljene vse potrebne mehanske in kemijske analize sestavnih materialov. Zanesljive vrednosti mehanskih lastnosti kamnitega zidovja, ki jih uporabljamo za preverjanje in analizo potresne odpornosti, lahko določimo samo s preiskavami zidovja na terenu. V preglednici 2 so zbrani rezultati preiskav, ki smo jih za različne vrste zidovja izvedli na ZAG.

Po standardu EN 1052-1 se za določitev tlačne trdnosti zidovja preizkusijo trije vzorci, kot karakteristična trdnost f_k pa se opredeli manjša vrednost izmed srednje vrednosti f_{sr} , deljene z 1,2, in najmanjše s preiskavo določeno vrednosti f_{min} :

$$f_k = \min(f_{sr}/1,2; f_{min}). \quad (1)$$

Čeprav bi za vrednotenje potresne odpornosti lahko uporabili kar nominalne vrednosti trdnosti, dobljene s preiskavo in-situ, to določilo smiselno uporabimo tudi za določitev karakteristične vrednosti natezne in tlačne trdnosti. Terenske preiskave potresne odpornosti in tlačne trdnosti zidovja so drage, tako da se navadno preišče le po en, v najboljšem primeru pa največ po dva preizkušanca istega tipa zidu. Predlagamo, da se kot karakteristično vrednost trdnosti, ki jo upoštevamo v računskih preverjanjih, upošteva bodisi povprečna vrednost dveh rezultatov bodisi posamezen rezultat, zmanjšan s faktorjem 1,2.

Vrednosti delnega faktorja varnosti za lastnosti zidovja γ_m se po EC 8 določijo glede na kontrolo kakovosti proizvodnje zidakov in nadzor med gradnjo. EC 8 za novogradnjo predpisuje pri najstrožji kontroli kakovosti proizvodnje in nadzoru vrednost $\gamma_m = 1,2$, pri srednje strogi kontroli $\gamma_m = 1,7$, če sploh ni kontrole in nadzora, pa $\gamma_m = 2,0$. Priporočilo EC 8-1-4, da se pri vrednotenju potresne odpornosti starih zidanih hiš upoštevajo

Vrsta zidu	Stanje	f_t (MPa)	G (MPa)	f (MPa)	E (MPa)
Kamniti zid na Kozjanskem: apnec; apnena malta z blatnim peskom; nehomogen zid; vrednosti v predpisih	obst.	0,02	60	0,5	1950
	inj.	0,07	100	0,97	8200
Kamniti zid v stari Ljubljani: mešanica sljudnatega kremenovega peščenjaka in apnenca; apnena malta z nepranim, blatnim peskom; razmeroma homogen zid	obst.	0,1	-	-	-
	inj.	0,14	100	-	-
Mešani kamniti zid v stari Ljubljani: mešanica sljudnatega kremenovega malta z nepranim, blatnim peskom; razmeroma homogen zid	obst.	0,14	40	-	-
	inj.	0,19	450	-	-
Kamniti zid na Bovškem: apnec; apnena malta z blatnim peskom; nehomogen zid; stanovanjske hiše	obst.	0,06	84	0,98	2655
	inj.	0,11	174	-	-
Kamniti zid na Bovškem: apnec; apnena malta z blatnim peskom; nehomogen zid; javne stavbe	obst.	0,08	166	-	-
	inj.	0,2	404	-	-

Preglednica 2: Karakteristične vrednosti natezne (f_t) in tlačne trdnosti (f) ter nominalne vrednosti strižnega modula (G) in modula elastičnosti (E) obstoječega in z injektiranjem utrjenega kamnitega zidovja

kar nominalne vrednosti trdnosti, potrjuje tudi primerjava rezultatov računskih analiz z rezultati eksperimentov ter z obnašanjem kamnitih hiš po potresih. Ta primerjava pokaže, da je ujemanje med računom in dejanskim stanjem zelo dobro, če potresno odpornost hiš opišemo z ovojnico odpornosti in pri tem kot vhodni podatek za račun upoštevamo kar nominalne, nereducirane vrednosti mehanskih lastnosti zidovja, ki smo jih ugotovili s terenskimi preiskavami, tj. $\gamma_M = 1,0$.

Zato predlagamo upoštevanje naslednjih vrednosti:

- $\gamma_M = 1,0$, če na danem območju in za dano vrsto kamnitega zidovja mehanske lastnosti določimo bodisi s terensko preiskavo bodisi s preiskavo v laboratoriju na preizkušancih, odvzetih iz obstoječega zidovja;
- $\gamma_M = 1,2$, če za dano vrsto kamnite-

ga zidovja uporabimo vrednosti iz literature in med pregledom konstrukcije z odstranitvijo ometa in z odpiranjem zidovja dokažemo, da imamo opravka z enako vrsto zidovja;

- $\gamma_M = 1,7$, če za dano vrsto kamnitega zidovja uporabimo vrednosti iz literature, ne da bi s preiskavami na stavbi preverili vrsto in strukturo zidovja.

Za vrednosti projektne strižnega modula G in modula elastičnosti E uporabljamo srednje, nominalne vrednosti, dobljene s terenskimi preiskavami.

5. TEHNIČNI POSEGI V KONSTRUKCIJO

O posegih se odločamo na podlagi diagnoze in vrednotenja konstrukcije. EC 8-1-4 ne zahteva nič novega, ko določa, da morajo biti posegi takšni, da bomo z njimi od-

pravili vse ugotovljene velike napake, izboljšali morebitno nepravilno zasnovano konstrukcije, zagotovili, da se elementi konstrukcije med potresom ne bodo pretirano poškodovali ter hkrati izpolnili vse zahteve v zvezi s potresno odpornostjo konstrukcije kot celote. Pri izbiri posegov težimo k čim manjšemu spreminjanju lokalnih togosti in povečanju lokalnih duktilnosti na kritičnih mestih, zagotoviti pa moramo tudi trajnost novih elementov in izključiti nevarnost propadanja zaradi medsebojnega vpliva novih in starih elementov v stičnih območjih.

Cela vrsta posegov oziroma njihovih kombinacij nam je na razpolago, od tega, da se ne odločimo za noben poseg, skrajšamo življenjsko dobo stavbe oziroma spremenimo njeno namembnosti, do rušenja celotne stavbe in njene zamenjave z novo. Če pa se odločimo za poseg, potem lahko lokalno ali v celoti spremenimo oziroma zamenjamo poškodovane ali nepoškodovane elemente, spremenimo obstoječe nekonstrukcijske elemente v konstrukcijske, prilagodimo konstrukcijo v prid večji pravilnosti, duktilnosti ali spremembi nihajne dobe, zmanjšamo maso ali dodamo nove konstrukcijske elemente, vgradimo elemente za disipacijo energije oziroma novo konstrukcijo, ki bo prevzela potresne sile, ali pa celotno konstrukcijo potresno izoliramo.

Pri starih zidanih konstrukcijah morajo tehnični posegi za zagotavljanje potresne odpornosti izpolnjevati naslednje zahteve:

- zidovi morajo biti med seboj ustrezno povezani z vezmi, stropi pa morajo zagotoviti prenos potresnih sil na zidove, zato morajo biti utrjeni in ustrezno sidrani v zidovje. To prepreči nihanje zidov pravokotno na ravnino in zagotovi celovitost obnašanja konstrukcije;
- zidovi morajo biti enakomerno razporejeni v obeh smereh stavbe, biti pa morajo tudi dovolj odporni, da bodo prevzeli pričakovano potresno obtežbo. V primeru, ko je treba vgraditi nove

elemente, se morajo ti razporediti enakomerno po tlorisu in višini, da se preprečijo morebitni neugodni torzijski vplivi;

- temelji morajo biti dovolj močni, da prevzamejo in prenesejo povečane mejne obremenitve z utrjenih elementov v temeljna tla.

Posegi, ki jih za doseganje teh zahtev v praksi že nekaj časa uporabljamo, so v načelu enostavni in, kot so pokazale eksperimentalne raziskave in izkušnje po potresih, če so pravilno uporabljeni, tudi učinkoviti. Celovito obnašanje konstrukcije je prvi pogoj, da se razpoložljiva potresna odpornost zidovja izkoristi v celoti, obenem pa je prvi pogoj tudi za zanesljivost naših računskih ocen oziroma vrednotenja potresne odpornosti. Ni treba posebej poudarjati, da je osnova vseh računskih modelov predpostavka, da stropne konstrukcije med potresom kot toge šipe v svoji ravnini raznašajo potresno obtežbo na posamezne zidove v sorazmerju z njihovo togostjo. Če ta predpostavka tudi v resnici ni izpolnjena, so rezultati računa vprašljivi.

Celovito obnašanje konstrukcije in skupno delovanje zidov starih hiš med potresom dosežemo predvsem z vgradnjo jeklenih zidnih vezi, ki jih položimo simetrično na obeh straneh zidov in sidramo na vogalih, medtem ko obstoječe lesene strope sidramo v zidove in, v primeru velikih razpetin, utrdimo z diagonalnimi vezmi. Na podlagi eksperimentalnih raziskav je bil razvit postopek za dimenzioniranje jeklenih zidnih vezi [Tomažević in sod., 1995]. Lesene strope lahko tudi zamenjamo s ploščami, ki jih ustrezno sidramo in povežemo z zidovjem, vendar to za zagotavljanje celovitega obnašanja zidane konstrukcije ni nujno potrebno.

Izbrana metoda za utrjevanje zidov je odvisna od vrste in kakovosti obstoječega zidovja ter od zahtevane stopnje povečanja. Pri kamnitem zidovju smo bolj ali manj omejeni na injektiranje, t.j. vtiskavanje cementne suspenzije pod pritiskom v številne votline zidovja.

Injekcijska masa, ki zapolni votline, po strjevanju poveže zidovje v monolitno strukturo. S tem se prepreči razpadanje in razslojevanje in zagotovi celovito obnašanje zidu med potresom, kar bistveno poveča potresno odpornost. Stopnja povečanja nosilnosti je odvisna od kakovosti obstoječega zidovja. Če je zid šibak, je stopnja povečanja visoka, v primeru zidovja dobre kakovosti pa povečanje ni tako izrazito. Ker se obenem z nosilnostjo z injektiranjem poveča tudi togost zidu, je treba injektiranje izvesti enakomerno po celi tlorisni površini stavbe, sicer lahko zaradi povečane togosti posameznega zidu pride do sprememb pri porazdelitvi potresnih sil na zidove in s tem do neugodnih torzijskih vplivov med potresom. Raziskave so pokazale, da je mogoče večji ali manjši del cementa v injekcijski mešanici zamenjati z inertnimi materiali in tako sprojektirati mešanico, ki po injektiranju ne bo imela neugodnih stranskih učinkov (povečanje vlažnosti, izločanje soli iz zidovja), pač pa bo vsakokrat prilagojena zahtevam posamezne stavbe, ne da bi pri tem trpela dosegljiva nosilnost zidovja [Tomažević in Apih, 1993].

Raziskave kažejo, da pri kamnitem zidovju z injektiranjem ne moremo prilagoditi nosilnosti posameznega zidu zahtevam, ki jih pokaže računski analiza potresne odpornosti. Povečanje natezne trdnosti zidovja in s tem nosilnosti zidu je namreč v največji meri odvisno od kakovosti in strukture osnovnega zidu, in le v manjši meri od trdnosti injekcijske mešanice.

Pri opečnem zidovju je za utrditev na razpolago več možnosti. Če razpoke v zidu samo zainjektiramo s cementno ali epoksidno maso, smo vzpostavili le prvotno stanje. Povečanje nosilnosti je majhno, saj injekcijska masa ne more prodreti dovolj globoko v obstoječo malto, da bi povečala njeno trdnost. Povečanje nosilnosti pri opečnem zidovju dosežemo predvsem z oblaganjem zidu z armiranim cementnim ometom ali z drugimi vrstami obloge. Da bi zagotovili, da se obloga med potresom ne bo odlepila od zidu oziroma izbočila, armaturo oblo-

ge sidramo v zid z ustrezno gosto razporejenimi sidri. Obojestranske obloge so precej bolj učinkovite kot enostranske.

Moderna tehnologija ponuja uporabo plastičnih laminatov iz karbonskih vlaken. Laminati imajo visoko natezno trdnost v smeri vlaken, zato jih je treba nalepiti na zid v obliki trakov, položenih v smeri pričakovanih natezних napetosti. Njihova slabost je, da niso nosilni v smeri pravokotno na vlakna, pa tudi njihova natezna porušitev je krhka. Čeprav so trakovi nalepljeni na zid, jih je na konceh treba sidrati na tak način, da bodo kljub morebitnemu delnemu odlepljenju še vedno funkcionalni. Ker so lepljeni z epoksidnimi lepili, je treba poskrbeti za ustrezno protipožarno zaščito, zaščititi pa jih je treba tudi proti UV sevanju. Čeprav so rezultati raziskav nosilnosti ugodni, pa zaradi cene, visokih tehnoloških zahtev pri vgradnji ter zaščite zaenkrat še ni pričakovati njihove množične uporabe.

Za povečanje nosilnosti se uporablja tudi prednapetje zidu v navpični ali vodoravni smeri, s katerim se v zidu ustvarijo napetostni pogoji, ki povečajo velikost zunanje vodoravne sile, ki povzroči nastanek strižnih razpok. Tudi prednapetje ima veliko pomanjkljivost. Kot neelastičen, nehomogen in anizotropen material je zidovje podvrženo tečenju (spremembam deformacij pri konstantnih obremenitvah). Kabli, s katerimi zid prednapnemo, so praviloma kratki, tako da velike izgube prednapetja nastanejo že samo zaradi zdrsov pri sidrnih glavah. Vsako dodatno stisnjenje zidu pa pomeni še toliko večjo, na žalost tudi neobvladljivo zmanjšanje na začetku uvedene sile prednapetja in s tem nepredvideno spremembo napetostnega stanja oziroma zmanjšanje nosilnosti.

6. SKLEPNE UGOTOVITVE

Razvoj potresnega inženirstva v zadnjih desetletjih ni vplival samo na novogradnjo, pač pa je spremenil tudi odnos do

obstoječih objektov. S številnimi raziskavami so bila pridobljena nova znanja in razvite nove tehnologije za popravila in utrjevanje vseh vrst konstrukcij. Ta znanja omogočajo realno oceno potresne odpornosti in izvedbo učinkovitih, pa hkrati ekonomičnih ukrepov, ki zagotovijo, da bodo tudi obstoječi gradbeni objekti izpostavljeni enakemu potresnemu tveganju kot novogradnja. Ne nazadnje pa so bile raziskave, izvedene v zadnjih desetletjih, in izkušnje po potresih podlaga tudi za pripravo evropskega predstandarda Eurocode 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij, ki v delu 1-4: Utrditev in popravilo stavb na celovit način ureja problematiko popravil in utrjevanje obstojećih stavb. Neobvezno uporabo tega predstandarda, že prevedenega v slovenščino, z metodo platnic in nacionalnim dokumentom za uporabo uvaja tudi Slovenija.

Vsi zadnji potresi dokazujejo, da se problemov, ki jih predstavljajo obstoječi gra-

dbeni objekti, še vedno ne zavedamo dovolj. Čeprav je škode in žrtev ponavadi največ prav zaradi neustreznega obnašanja obstojećih objektov, tako stavb kot inženirske infrastrukture, čeprav imamo na razpolago moderno regulativo, ki celovito obravnava pristop k reševanju problema, pa pri nas praviloma pozabimo na potresno ogroženost že takrat, ko je pred nami bodisi prenova obstoječe hiše bodisi sprememba namembnosti objekta bodisi karkoli, kar zahteva poseg v konstrukcijo. Le redki lastniki oziroma upravljalci pomembnih objektov se zavedajo potresne nevarnosti. Če pa se že, so v pravni praznini, ko stara jugoslovanska regulativa še ni bila nadomeščena z EC 8, raje pripravljene celo prevzeti odgovornost za tveganje, da se njihovim objektom med potresom lahko kaj zgodi, kot pa da bi investirali še nekaj dodatnih sredstev in objektom zagotovili ustrezno potresno odpornost. Z izgovorom, da je tveganje izredno majhno.

Se manj se dogaja v zvezi z reševanjem

potresnih problemov večjih skupin obstojećega gradbenega fonda. Razen redkih izjem, ko mestne uprave začenejajo vsaj z vrednotenjem pomembnejših objektov, kot so zdravstveni in gasilski domovi ter šole, še vedno pogrešamo sistematične, od državne uprave koordinirane dejavnosti za zmanjšanje potresne ranljivosti starih mestnih jeder. Le upamo lahko, da se bodo razmere izboljšale, preden bo najbolj ranljiva območja prizadel močan potres. Izgovorov za pasivno obnašanje ne bi smelo biti, saj imamo, kot je bilo prikazano tudi v tem prispevku, znanje in izkušnje, ne nazadnje pa tudi tehnično regulativo, ki celovito ureja problematiko potresne odpornosti obstojećih objektov. Če se zavedamo, kaj za gospodarstvo pomeni po potresu porušeno območje, pa bi se za preventivne dejavnosti morala najti tudi ustrezna finančna sredstva.

LITERATURA

Eurocode 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - Del 1-4: Splošna pravila - Utrditev in popravilo stavb. SIST ENV 1998-1-4:2000 (sl). USM, 2000.

Lutman, M., Peruš, I., Tomažević, M. Potresna odpornost objektov v Mestni občini Ljubljana. Poročilo ZAG št. P 940/00-650-2, Ljubljana, 2001.

Lutman, M., Peruš, I., Tomažević, M. Parametric approach to seismic vulnerability evaluation of existing buildings. 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, 2002 (sprejeto za objavo v zborniku).

Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na potresnih območjih. Uradni list SFRJ, št. 31, 1981.

Pravilnik o tehničnih normativih za sanacijo, ojačitev in rekonstrukcijo objektov visoke gradnje, ki jih je poškodovale potresne in za rekonstrukcijo in revitalizacijo objektov visoke gradnje. Uradni list SFRJ, št. 52, 1985.

Tomažević, M. Izpopolnitev računalniškega programa POR. Poročilo ZRMK-IK, Ljubljana, 1978.

Tomažević, M., Apih, V. Ojačevanje kamnitega zidovja z zidovju prijaznim injektiranjem. Informacije ZRMK, 306-307, 43, 1-2, 3-4-5, 1993.

Tomažević, M. Preverjanje potresne odpornosti zidanih konstrukcij: prilagajanje novim zahtevam. Gradbeni vestnik, 46, 9-10, str. 254-266, 1997.

Tomažević, M., Weiss, P., Lutman, M. Eksperimentalna raziskava povezovanja zidov opečnih hiš z jeklenimi zidnimi vezmi. Informacije ZRMK, 316, Gradbeni vestnik, 44, 4-5-6, 1995.

Tomažević, M. Kriteriji in parametri za preprojektiranje starih kamnitih zidanih stavb na potresnih območjih. Gradbeni vestnik, 48, 8-9-10, str. 186-197, 1999.

RAZISKAVE IN UPORABA EKSPERTNIH SISTEMOV V GRADBENIŠTVU

RESEARCH AND APPLICATIONS OF EXPERT SYSTEMS IN CIVIL ENGINEERING

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 007.5 : 624

TOMO CEROVŠEK

P O V Z E T E K Ekspertni sistemi (ES) predstavljajo enega izmed načinov strojne nadomestitve kognitivnih sposobnosti človeka. Od prvih omemb ES do danes je minilo več desetletij. Široke razsežnosti potencialne uporabe tudi v gradbeni stroki so v zadnjih dvajsetih letih (predvsem v drugi polovici osemdesetih in v prvi polovici devetdesetih spodbudile raziskovalce doma in po svetu k izdelavi številnih prototipov. Ti pa so žal le redko postali komercialni sistemi ali vitalni del poslovnega procesa in inženirskega dela nasploh. Preteklo obdobje predstavlja primerno podlago za pregled in oceno stanja razvoja in uporabe ES v gradbeništvu. Pričujoči prispevek nudi reprezentativen pregled z nekaterimi kritičnimi ocenami. Pri tem je izpostavljena pomembna vloga interneta, ne samo kot neizčrpnega vira informacij, ampak kot informacijsko - komunikacijska infrastruktura orodij naslednje generacije.

S U M M A R Y Expert systems (ES) represent one of the possible ways to simulate cognitive abilities of a human. Early developments in the area of ES are dated several decades from now. The wide range of possible uses of ES in civil engineering has attracted numerous researchers that have developed several prototypes in last twenty years (especially in late 80-ies and in the first half of the 90-ies). However, only some of those systems have become commercial, or one of the vital parts in business process, neither they had significant role in engineering work. This period represents firm base for the state of the art study of ES in civil engineering. The paper gives a representative overview with some critical remarks. A special emphasis is given to the Internet, not only as information source, but also as information-communication infrastructure for the tools of the next generation.

Avtor:

mladi raziskovalec, Tomo Cerovšek, univ. dipl. inž. grad., Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, Jamova 2, 1000 Ljubljana

1. UVOD

Ekspertni sistemi (ES) so se razvili iz ideje, da je možno na avtomatiziran (strojni) način rešiti probleme, ki zahte-

vajo znanje eksperta. Med zgodnje začetke ES v gradbeništvu sodi formula-cija AISC standardov za jeklene konstrukcije v obliki odločitvenih tabel [Fenves, 1969] ali na primer na znanje oprt

sistem za pomoč pri analizi konstrukcij [Bennett et al, 1970]. V osemdesetih letih so po svetu izdelali že številne kompleksne prototipe, ki so jim bile namenjene posebne izdaje revij, kot je

[Gero, 1985]. V drugi polovici osemdesetih se ES predstavijo tudi slovenski gradbeni stroki [Duhovnik, 1986], izdelajo se prvi domači ES: za tehniške predpise [Duhovnik in Berkopec, 1988], prototipi ES za pomoč pri analizi in snovanju konstrukcij (pregled v [Duhovnik, 1989]), za vzdrževanje cest [Žura, 1990], za projektiranje ovoja zgradbe [Krainer, 1992], različni pristopi so bili tudi podrobno predstavljeni in implementirani v doktorskih disertacijah [Turk, 1992, Žlajpah, 1992, Peruš, 1994].

1.1 AKTUALNOST EKSPERTNIH SISTEMOV DANES

Čeprav uporabnosti in aktualnosti kakega koncepta ali metode ni mogoče popolnoma objektivno oceniti, lahko obravnavamo nekaj nazornih kazalcev. Izbira teh kriterijev je odvisna od področja dela, ki ga želimo raziskati. Naj izpostavimo tri bistvene segmente, ki tvorijo zaključeno celoto: (1) raziskovalno delo, (2) pedagoško delo in (3) prenos in uporabo pridobljenega znanja v vsakdanje praktično strokovno delo.

Raziskovalno delo. O aktualnosti v razisko-

valnem delu veliko pove število aktivnih raziskovalnih projektov in število objav v znanstvenih in strokovnih publikacijah, ki bi jih lahko uvrstili v obravnavano področje. Raziskovalni projekti v evropski skupnosti so zelo redki (več v poglavju 5). Če pogledamo podatke o publikacijah, prikazane na *sliki 1*, vidimo, da število člankov, ki se navezujejo na koncept ES, v zadnjem obdobju močno upada. V obdobju zadnjih petih let se je število objav tako rekoč razpolovilo. Na podlagi tega ne moremo soditi o uporabnosti ES, lahko pa brez zadržkov trdimo, da postajajo »raziskovalno« nezanimivi. Če bi želeli izvedeti več o kronološkem razvoju novih metod, se lahko sklicujemo na citate. Če privzamemo, da se avtorji sklicujejo na inovativne metode, ki so jih uporabili tudi pri svojem delu, lahko razberemo, katera obdobja so bila še posebno plodna (*slika 2*). Kljub temu da je bilo v prvi polovici 90. napisanih mnogo več del kot v zadnjem obdobju, vidimo, da ni proporcionalnega odnosa med številom citatov in člankov v obdobju izpred nekaj let in v zadnjem času.

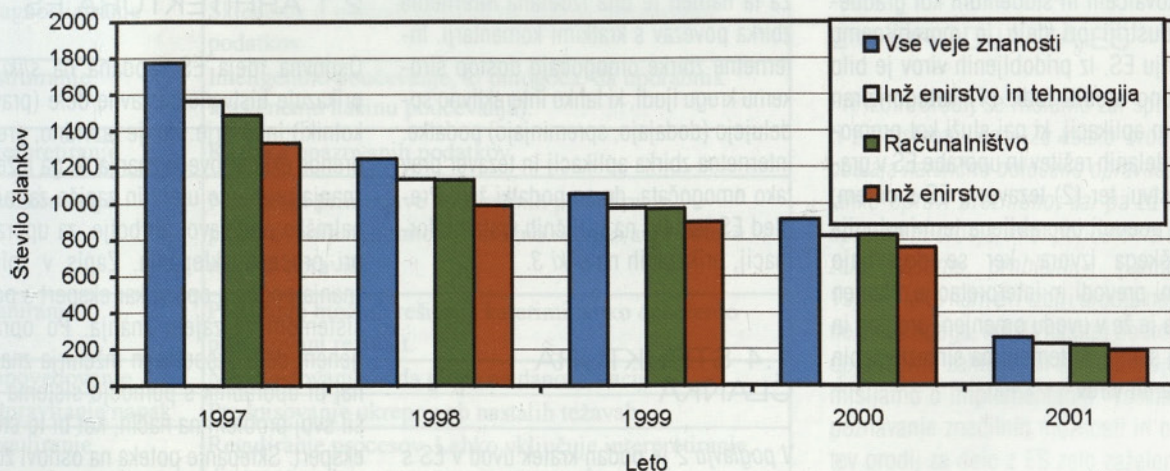
Pedagoško in strokovno delo. Delo domačih raziskovalcev običajno ne vključuje predstavnikov iz industrije. Zato jih

tako ni mogoče pritegniti k uporabi sodobnih metod. Glede na to, da je raziskovalna dejavnost dokaj zaprta, igra pedagoški proces pri seznanjanju najpomembnejšo vlogo. Študenti na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani v dodiplomskem študiju nimajo priložnosti bolje spoznati ES, potem ko že osvojijo osnovna teoretična znanja. Za razvoj ES je poznavanje strokovnega področja ključnega pomena. Krog osveščenih ljudi ostaja s tem zelo omejen. Podjetja se odločijo za uporabo sodobnih informacijskih tehnologij izključno iz ekonomskih razlogov, kjer igra čas vodilno vlogo. Ob navedenih dejstvih in pomanjkanju uspešnih uporabnikov ter ponudnikov ES je vzpostavljena zaključena zanka, ki ne daje pozitivnih rezultatov.

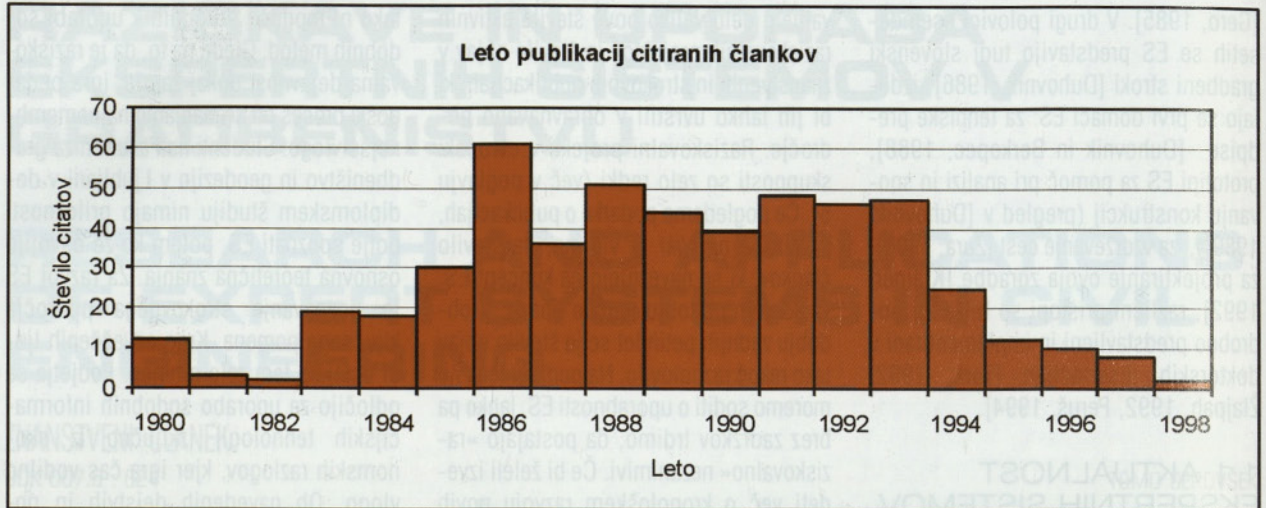
1.2 CILJ IN NAMEN

Viri informacij o ES, njihovih prednostih in aplikacijah so dostopni v tiskani obliki, na internetu ali preko ustnega izročila (seminarji, predavanja itd.). Publikacije so pogosto nedostopne in v omejenih izvodih, internetni iskalniki pa dajejo preveč zadetkov, med katerimi je težko poiskati prave. Osnovni cilj je bil izdelati vir

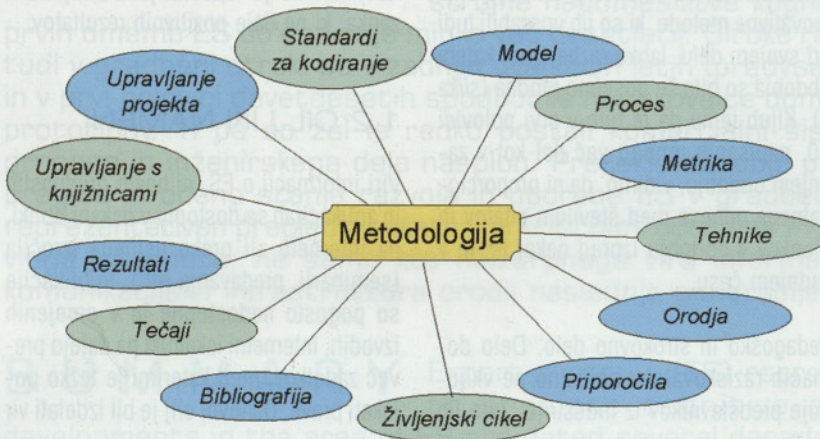
Število člankov v letih 1997-2001



Slika 1: Število člankov, ki obravnavajo kakršnekoli rešitve povezane z ES, objavljenih v zadnjih petih letih pri založniški hiši Elsevier. (Vir: www.scienceDirect.com)



Slika 2: Prikaz števila citatov na članke, ki so bili napisani v določenem letu, za obdobje zadnjih dvajset let. Število citatov lahko tako služi kot barometer inovacij v ES. (Vir: www.ReasearchIndex.com)



Slika 3: Metodologija za obravnavanje ekspertnih sistemov [Menzies, 1995].

informacij, ki bo dolgoročno služil tako raziskovalcem in študentom kot gradbeni industriji pri delu in morebitnemu uvajanju ES. Iz pridobljenih virov je bilo potrebno urediti tudi: (1) kategoriziran seznam aplikacij, ki naj služi kot promocija izdelanih rešitev in uporabe ES v gradbeništvu, ter (2) tezaver o ES s ciljem, da se poenoti uporabljena terminologija angleškega izvora, ker se pojavljajo različni prevodi in interpretacije. Namen članka je že v uvodu omenjeni pregled in ocena stanja, ki temelji na sintezi vsebin iz zbranih virov.

1.3 METODA

Z uporabo tradicionalnih virov in interneta

smo skušali poiskati čimveč informacij. Za ta namen je bila izdelana internetna zbirka povezav s kratkimi komentarji. Internetne zbirke omogočajo dostop širokemu krogu ljudi, ki lahko interaktivno sodelujejo (dodajajo, spreminjajo) podatke. Internetna zbirka aplikacij in tezaver prav tako omogočata, da so podatki živi. Pregled ES temelji na različnih vrstah informacij, prikazanih na *sliki 3*.

1.4 STRUKTURA ČLANKA

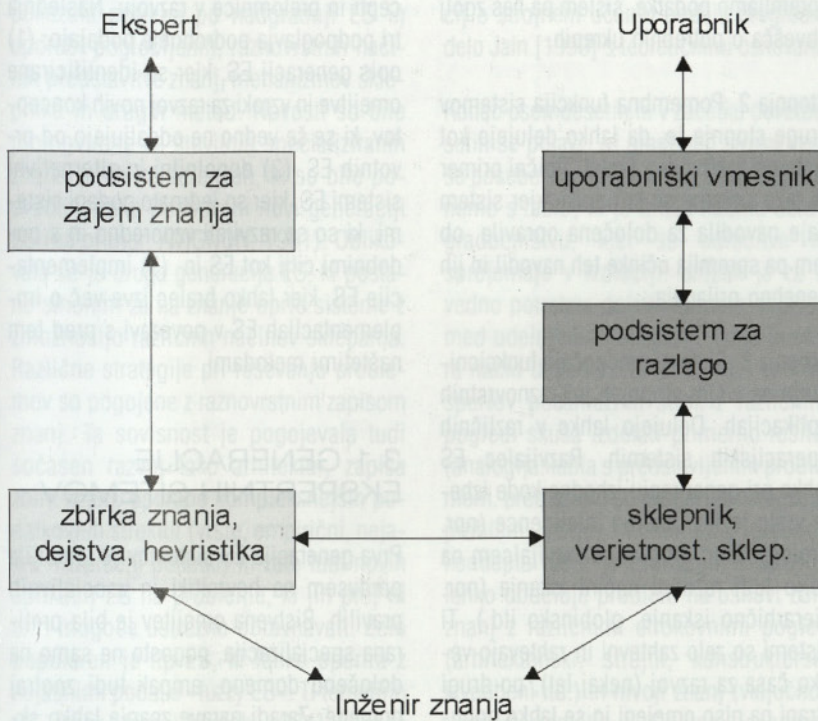
V *poglavju 2* je podan kratek uvod v ES s funkcionalnim opisom, razvrstitvijo in značilnostmi orodij. *Poglavje 3 (Razvoj ES)* daje poudarek pristopom, ki so po-

sebneга pomena za gradbeništvu. *Poglavje 4* je osredotočeno na izbrane značilne težave, ki nastopajo pri implementaciji gradbenih ES, kot so vrste znanja in modeli integracije. *Poglavje 5* s pregledom aplikacij s komentarji služi kot uvod v razpravo. V sklepnem delu pa sledijo sklepi. *Dodatek A* vsebuje seznam izbranih referenčnih gradbenih ES, v *dodatku B* pa je prikazana internetna aplikacija s tremi ključnimi zbirkami: viri, aplikacije in terminologija.

2. SPLOŠEN OPIS EKSPERTNIH SISTEMOV

2.1 ARHITEKTURA ES

Osnovna ideja ES, podana na *sliki 4*, prikazuje bistvene sestavne dele (pravokotniki) in akterje. Kot je razvidno, gre za prenos ekspertovega znanja, ki ga inženir znanja primerno uredi in zapiše za računalniško obdelavo, ali bolje, za uporabo pri procesu sklepanja. Zapis v zbirko znanja pogosto opravi kar ekspert s podsistemom za zajem znanja. Po opravljenem delu eksperta in inženirja znanja naj bi uporabnik s pomočjo sistema rešil svoj problem na način, kot bi to storil ekspert. Sklepanje poteka na osnovi zbirke znanja in podatkov o problemu uporabnika, ki jih posreduje preko uporabniškega vmesnika. Podsistem za razlago



Slika 4: Osnovna struktura ekspertnega sistema [Feigenbaum, 1988]

poskrbi še za interpretacijo dobljenih rezultatov, med drugim pa tudi obvesti uporabnika (preko vmesnika) o potrebnih podatkih za nadaljnje sklepanje. Več o

načinih zapisa znanja in sklepanja najdete v navedeni literaturi, v poglavju 3 pa več o razvoju ES.

Tip opravila	Opis področja dela, ki mu služi
Konfiguriranje	Sestavljanje primernih komponent sistema na ustrezen način.
Diagnosticiranje	Sklepanje o možnih težavah na osnovi opazovanih podatkov.
Instruiranje	Inteligentno poučevanje, ki omogoča, da uporabnik klasičnemu načinu poučevanja).
Interpretiranje	Razlaga opazovanih podatkov.
Nadzorovanje	Na osnovi primerjave opazovanih podatkov in pričakovanih rezultatov je možno ocenjevanje poteka nekega opravila.
Planiranje	Podajanje možnih rešitev s katerimi lahko dosežemo pričakovani rezultat.
Napovedovanje	Napovedovanje izida glede na dano situacijo.
Odpravljanje napak	Predpisovanje ukrepov ob nastalih težavah.
Reguliranje	Reguliranje procesov. Lahko vključuje interpretiranje, diagnosticiranje, opazovanje, napovedovanje in odpravljanje napak.

Preglednica 1: Razvrstitev aplikacij ES po tipu opravil

2.2 KLASIFIKACIJA APLIKACIJ ES

Kot odgovor na vprašanje: »Kakšne probleme lahko rešujemo z uporabo ES?« se v literaturi o ES pogosto pojavljajo opisi značilnih tipov opravil [Waterman, 1986, Giarratano, 1998, Jackson 1999]. Ker smo tovrstno kategorizacijo uporabili pri internetni zbirki aplikacij ES (glej dodatek B), podajamo opise v preglednici 1.

Kvantitativna razdelitev ES po številu pravil je primeren podatek za opis vgrajenega znanja: (1) od tega je odvisen obseg problemskega prostora, s katerim ES operira, (2) ocenimo lahko količino opravljenega dela sodelujočih ekspertov in inženirjev znanja ter (3) primerjamo učinek ES. Večina ES v začetku devetdesetih je vsebovala med 10^2 - 10^3 pravil ali/in objektov. Večje število ES se je približalo redu 10^4 , le izjemoma pa lahko najdemo ES velikostnega reda števila pravil 10^5 [Feigenbaum, 1992]. Smiselna opisna razdelitev je podana v preglednici 2.

Obseg	Število pravil
Majhni	< 1000
Srednji	$\leq 10,000$
Veliki	> 10,000

Preglednica 2: Razvrstitev ES glede na obseg pravil

2.3 ORODJA ZA ES

Pri izbiri orodij se moramo žal sprijazniti z dejstvom, da: »Za vsako orodje ES obstaja natančno določeno opravilo, ki ga lahko opravi brezhibno, žal pa za vsako opravilo ni orodja, ki bi popolnoma ustrezalo našemu problemu« [Leibowitz, 1998]. Tako nam pri izbiri orodja ne ostane nič drugega, kot da najprej podrobneje opredelimo zahteve, in šele kasneje razmišljamo o implementaciji. Vsekakor je poznavanje značilnih možnosti in omejitev orodij za delo z ES zelo zaželeno.

Osnovna razdelitev orodij ES, ki se navezuje tako na zapis znanja kot tudi na

način sklepanja, loči dva tipa: (1) deterministični in (2) stohastični ES. Podobno kot metode pri analizi konstrukcij so tudi stohastični ES mnogo bolj zahtevni in občutljivi. To velja tako pri implementaciji mehanizmov reševanja problemov kot tudi že pri samem zapisu znanja. Naj se v tem uvodnem delu omejimo zgolj na funkcionalni opis (preglednica 3).

Stopnja 0. Sistemi so zaprti (uporablja se lahko samo vgrajeno znanje), zunanjih programov ni mogoče klicati, sklepanje pa je omejeno na enostavne načine, kot so: veriženje naprej, veriženje nazaj, induktivno sklepanje. Sistemi te osnovne stopnje imajo že vgrajene pripomočke za razlago. Nakup sistemov, izdelanih s takimi orodji, se odsvetuje, saj je celo ročno popraviljanje ali dodajanje pravil praktično nemogoče.

Stopnja 1. Tovrstni ES sistemi omogočajo uporabo zunanjih programov in se uporabljajo v tako imenovanih inteligentnih zbirkah, v sistemih za diagnosticiranje in podobno. Ta stopnja je potrebna za vse tiste vrste aplikacij, kjer je potrebna dvo-smerna komunikacija med ES in drugimi programi ter morebitnimi vhodnimi enotami, kot so senzorji. Pri mehanizmih sklepanja je dodana možnost izbire načina sklepanja in opravljanja matematičnih operacij, uporabniki pa lahko v poljubnem trenutku prikažejo potek odločanja. Zmožni so tudi upravljati z drugimi komponentami sistema in imajo že vgrajene enostavnejše načine podajanja vhodnih podatkov. Sistemi te vrste so ustrezni na primer za vzdrževanje, kjer nenehno

spremljamo podatke, sistem pa nas zgolj obvešča o potrebnih ukrepih.

Stopnja 2. Pomembna funkcija sistemov druge stopnje je, da lahko delujejo kot sistem z zaključeno zanko. Tipični primer za take sisteme so krmilniki, kjer sistem daje navodila za določena opravila, ob tem pa spremlja učinke teh navodil in jih nenehno prilagaja.

Stopnja 3. Sistemi omogočajo funkcioniranje na višjih stopnjah pri raznovrstnih aplikacijah. Delujejo lahko v različnih operacijskih sistemih. Razvijalec ES lahko pri generiranju izhodne kode izbere vrsto jezika umetne inteligence (npr. Prolog). Med drugim so razvijalcem na voljo tudi različni načini iskanja (npr. hierarhično iskanje, globinsko itd.). Ti sistemi so zelo zahtevni in zahtevajo veliko časa za razvoj (nekaj let), po drugi strani pa niso omejeni in se lahko poljubno dopolnjujejo.

Stopnja 4. Glavna značilnost sistemov četrte stopnje je dostop do zbirke znanja, ki se lahko popravlja in dopolnjuje tudi z metodami strojnega učenja. Žal so ti sistemi še vedno zelo dragi in skoraj nedostopni.

3. RAZVOJ EKSPERTNIH SISTEMOV

Namen tega poglavja je pregled razvoja ES in ni omejen zgolj na gradbeno stroko. Ker problematika presega okvire tega prispevka, so izbrani zgolj ključni kon-

cepti in prelomnice v razvoju. Naslednja tri podpoglavja podrobneje podajajo: (1) opis generacij ES, kjer so identificirane omejitve in vzroki za razvoj novih konceptov, ki se še vedno ne oddaljujejo od prvotnih ES, (2) dopolnilni in alternativni sistemi ES, kjer so jedrnatopodani sistemi, ki so se razvijali vzporedno in s podobnimi cilji kot ES in (3) implementacije ES, kjer lahko bralec izve več o implementacijah ES v povezavi s pred tem naštetimi metodami.

3.1 GENERACIJE EKSPERTNIH SISTEMOV

Prva generacija ES sistemov je temeljila predvsem na hevrstiki in asociativnih pravilih. Bistvena omejitev je bila pretirana specializacija, pogosto ne samo na določeno domeno, ampak tudi znotraj domene. Zaradi narave znanja lahko sklepamo, da sistem postane nekompetenten zunaj ozke domene, za katero je bilo znanje sistematično obdelano [Feigenbaum et al, 1988]. Feigenbaum še poudarja, da ti ES sistemi *vedo samo to* in nimajo sposobnosti generaliziranja, reševanja analognih problemov ali zmožnosti, da na kakršenkoli drug način razširjajo ali aplicirajo znanje na sorodna področja. S tem so bili omejeni na reševanje problemov le *ene vrste* – v ozko specializirani domeni. Vsak zastavljen problem zunaj manipulacijskega problemskega prostora ES degradira ES iz »eksperta« v popolnega »laika«.

Kot posledica navedenih dejstev se je

Lastnost	Stopnja 0	Stopnja 1	Stopnja 2	Stopnja 3	Stopnja 4
Pripomoček za razlago	√	√	√	√	√
Klic zunanjih programov		√	√	√	√
Izbira načina sklepanja		√	√	√	√
Deluje kot zaključena zanka			√	√	√
Podpora za različne OS				√	√
Možnost učenja					√

Preglednica 3: Klasifikacija glede na značilne funkcionalne možnosti orodij za ES

pokazala potreba po nadgradnji ES in uporabi poglobljenih, raznovrstnih načinov predstavitve znanj, mehanizmov sklepnika in drugih metod. Novosti so bile promovirane na številnih specializiranih znanstvenih konferencah, ki so bile posvečene tako imenovani novi generaciji ES (na primer: AVIGNON, 1991). Oblikovala se je druga generacija ES, ki postane sinonim za na znanje oprte sisteme z zmožnostjo različnih načinov sklepanja. Različne strategije pri reševanju problemov so pogojene z raznovrstnim zapisom znanj. Ta sovisnost je pogojevala tudi sočasen razvoj tako arhitektur, zapisa zbirk znanj, uporabo kompleksnejših podatkovnih struktur (vrste, empirični, nejasni, razpršeni podatki) in zato tudi novih aplikacij ES na probleme, ki jih prej ni bilo mogoče ustrezno obravnavati. Zelo popularen je tip ES, ki lahko operira z nejasnimi podatki »fuzzy ES«. Ti temeljijo na »fuzzy« teoriji [Zadeh, 1984], ki jo je utemeljil Zadeh že v začetku 60. Sistemi nove generacije postopoma postajajo heterogoni in odprti. Nove dimenzije ES so vzbudile tudi avtomatizacijo zajema znanja, ki je bilo vse pogostejše osnovano na modelnih predstavah in objektno orientiranem pristopu, uveljavlja pa se tudi tako imenovano kvalitativno modeliranje. S tem se heuristični način predstavitev v obliki produkcijskih IF-Then pravil ne izključuje, ampak dopolnjuje.

Če povzamemo: značilne prednosti ES druge generacije so tako v vidnem napredku v sklepnikih, pomembno vlogo igra tudi nadgradljivost, robustnost, možnost ponovne uporabe posameznih komponent, izboljšani način zajema znanja, uporaba verjetnosti, statističnih metod in možnost strojnega učenja. Strojno učenje v tem kontekstu temelji na treh metodah: (1) interaktivni programi za izvajanje znanja, (2) programi, ki se učijo s strojno obdelavo teksta z razpoznavanjem vsebine in (3) razpoznavanje konceptov pod nadzorom inženirja znanja. Slednji posreduje primere, program pa skuša identificirati attribute, ki določajo posamezne koncepte [Jackson, 1999]. Več informa-

cij o strojnem učenju podaja pregledno delo Jain [1999] s teoretičnimi osnovami.

Konec osemdesetih in v začetku devetdesetih se pojavi za gradbeno stroko vrsta še posebej zanimivih konceptov. Naj začnemo s *tablo*, ki je bližja načinu dela v gradbeništvu, kjer se odločitve ne sprejemajo v izolaciji, ampak je za to vedno potrebna določena mera soglasja med udeleženi eksperti. Tabla ilustrira način dela na problemu, kjer več ekspertov posameznih strok z različnimi pogledi skuša izdelati primerno rešitev (analogija: tabla s predstavljenim problemom, pred katero so eksperti z nalogo, da problem rešijo). Pomembna prednost koncepta table je predvsem v tem, da lahko obdeluje problem na osnovi zbirk znanj z različnimi strokovnimi pogledi (arhitektonski, strojni, konstrukterski, izvedbeni itd.) in nivoji znanj (vključno z »zdravo pometjo«). Ob tem je seveda potrebno zagotoviti primerno koordinacijo in komunikacijo posameznih komponent table, kar je pogosto zelo zahtevno.

Naslednja zanimiva alternativa tradicionalnim ES je koncept *ES kritika* [Steinmann, 1998]. Posebnost načina dela z ES kritikom je, da uporabnik ne posreduje samo vhodne podatke, ampak tudi rešitve. ES kritik torej ne izdelava rešitve samostojno, njegova naloga je zgolj ocena rešitve. ES te vrste lahko služijo kot recenzenti pri izdelanih delih projektov. S tem lahko projektanta pravočasno opozorijo na nepredvidene težave ali nepopolne rešitve (včasih tudi banalne), predvsem na tiste, ki lahko znatno ogrozijo varnost, povečajo stroške ali čas izvedbe. Kritik torej daje projektantu popolno svobodo, kar je bistvena prednost, glavna slabost pa je, da je potrebno rešitev celovito interpretirati na način, kot ga zahteva ES (običajno je v precejšnji meri avtomatizirano, vendar je zelo odvisno od problema). Posebna vrsta ES, ki združujejo več metod reševanja problemov, podsistem za učenje ali sistem kritik, se imenuje tudi hibridni sistem.

Skozi ves razvoj ES se poskuša poiskati

rešitev za skupino sorodnih problemov. Takšne ES imenujemo generični ES. Do njih lahko pridemo na dva načina: (1) s predelavo delujočih, že implementiranih ES s tem, da postanejo neodvisni od domene ali (2) s programi, ki jih lahko uporabljamo skupaj z jeziki umetne inteligence in nam avtomatično generirajo kodo. Rezultat takšnih predelav v generične ES so tudi številne komercialne lupine.

3.2 DOPOLNILNI IN ALTERNATIVNI SISTEMI ES

Sistemi, ki so zelo blizu ES, so *sistemi za podporo pri odločanju* – DSS (angl. Decision Support Systems), namenjeni sistematičnemu in poenostavljenemu načinu iskanja kakovostne odločitve. S tem odpravljajo nekatere težave pri odločanju, ki so posledica vzrokov, kot so: veliko število dejavnikov, ki vplivajo na odločitev, zahtevno in pogosto nepopolno poznavanje odločitvenega problema in ciljev odločitve, obstoj več skupin odločevalcev z nasprotnimi si cilji in druge ovire za izvedbo odločitvenega procesa. Poseben primer predstavljajo *večparametrični odločitveni modeli* [Bohanec in Rajkovič, 1999]. Večparametrsko odločanje temelji na razgradnji odločitvenega problema na manjše podprobleme. Variante razgradimo na posamezne parametre (kriterije, attribute) in jih ločeno ocenimo glede na vsak parameter. Končno oceno variante dobimo z določenim postopkom združevanja. Tako izpeljana vrednost je potem osnova za izbor najustreznejše variante.

Zanimivo kombinacijo med učenjem in reševanjem problemov predstavljajo sistemi pod imenom "sklepanje na osnovi primerov" – CBR (angl. Case Based Reasoning). Znanje je v tem primeru predstavljeno v obliki rešenih primerov, ki se lahko aplicirajo na dani problem. Osnovna ideja sistemov CBR temelji na dejstvu, da je mnogo lažje uporabljati tehnike in koncepte, ki delujejo enostavno, namesto da bi se razvijali in nenehno dopolnjevali sistemi z modeli ali načrti re-

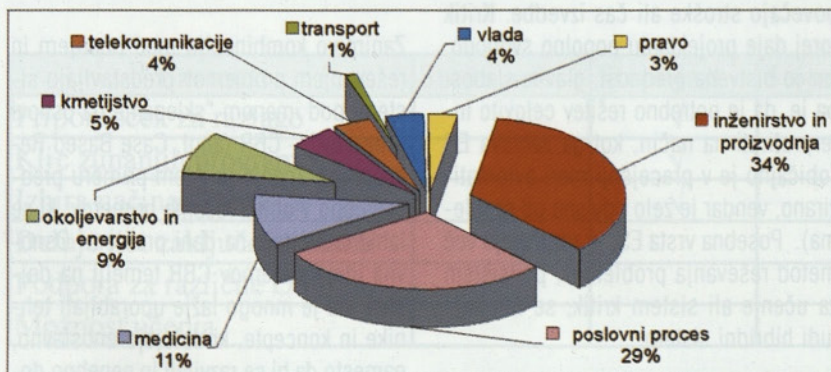
ševanja problemov, ki težijo k celovitosti. Struktura zapisov primerov pri sistemih CBR žal pogosto ne pove dovolj, kakšna je bila pot do rešitve, ki jo želimo uporabiti. Zato je potrebno posvetiti posebno pozornost zapisu na način, ki bo tem bolj poučil uporabnika o kontekstu in naravi problema. Podobno je z nevronskimi mrežami in genetski algoritmi. Vse pogosteje pa se omenja tudi pomembnost »Data mining« metod (slo. rudarjenja po podatkih) kot načina obdelovanja podatkov in iskanja vzorcev. Pregled alternativnih metod je slovenski gradbeni stroki predstavil Kompore [1996]. Pri implementaciji ES se je sredi devetdesetih izoblikovala posebna veja, ki obravnava zajem in odkrivanje znanja - KADS (angl. Knowledge Acquisition and Discovery Systems). Pregledna predstavitev z analizo modeliranja različnih stopenj znanja je podana v [Menzies, 1995].

3.3 IMPLEMENTACIJA ES

Članek Svetovne perspektive in trendi ES [Liebowitz, 1997], ki temelji na analizi treh svetovnih kongresov o ES v letih 1991, 1994 in 1996, opisuje globalne trende v razvoju ES z glavnim zaključkom: »Na podlagi zbranih podatkov se dozdeva, da je trg ES zdrav, vendar se krepi počasi.« V pregledu podaja aplikacije ES na različna področja (slika 5), kjer je zanimiv podatek, da je kar 45 odstotkov prikazanih ES apliciranih na področja, med katera lahko uvrstimo tudi gradbe-

ništvo (transport, okoljevarstvo in energija, inženirstvo in proizvodnja).

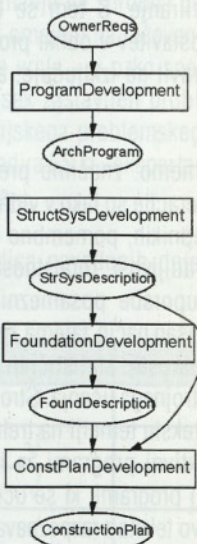
Prvi svetovni kongres predstavlja prehodno obdobje, povezano s konvencionalnimi tehnologijami. S tem se predstavljene rešitve pogosto osredotočijo na integracijo z novimi tehnologijami, kot so ekspertni sistemi. Že tedaj so bile predstavljeni pristopi, kot so CBR, objektno orientirani pristopi, nevronske mreže, »fuzzy logika« itd. Kot ozko grlo pri razvoju se identificirajo težave s kompleksnostjo in omejenim znanjem. Zato predlaga razvoj metod za avtomatičen zajem znanja in strojnega učenja. Z drugim kongresom leta 94 je viden svetovni napredek v uporabi inteligentnih sistemov, sistemi za upravljanje z znanjem, »fuzzy logiko«, izstopajo ES za nadzorovanje in krmiljenje v dejanskem času. S tretjim svetovnim kongresom se daje čedalje večji poudarek metodologiji za razvoj ES. Stalnico predstavljajo: distribuirani ES (4 %), »fuzzy« ES (16 %), zajem znanja (6 %), strojno učenje (4 %) in nevronske mreže (4 %), multimedijški ES (4 %). Viden je občuten porast v razvoju metodologij za izdelavo ekspertnih sistemov (iz 3 % na 14 %), zmerno povečanje je vidno tudi v področjih: teorija kaosa (iz 0 % na 4 %), inteligentni agenti (iz 1 % na 5 %), genetski algoritmi (iz 1 % na 5 %), hibridni sistemi (iz 1 % na 4 %), zmanjša pa se uporaba probabilističnih metod. S svetovnim kongresom leta 98 (četrti) in dogajanjem za tem ostaja »znanje« s spremljajočimi metodami še vedno jedro raziskovanja.



Slika 5: Pregled aplikacij ES na posamezne domene [Liebowitz, 1987]

4. ZNAČILNOSTI ES V GRADBENIŠTVU

Osnovni namen ES v gradbeništvu je avtomatizirana pomoč pri delu inženirja. Inženirsko delo vključuje vrsto procesov, ki so [Boerk, 1999] razčlenjeni v dva medsebojno odvisna tipa procesov: informacijske in materialne procese. Informacijski procesi pogosto podpirajo materialne in za razliko od slednjih ne operirajo z materialnimi sredstvi oziroma dobrinami. Primeri informacijskih procesov so načrtovanje, planiranje in nadzorovanje, značilni materialni procesi pa se običajno nanašajo na fizična opravila, kot so: izkop gradbene jame, opaženje, armiranje, betoniranje in podobno. ES torej sodijo v informacijski del procesov in lahko opravljajo različna opravila po fazah. Delo pri tem poteka po fazah od predinvesticijskih študij, arhitektonske zasnove, načrtovanja, vse do gradnje in uporabe objekta. Na primer: ES na sliki 6 IBDE - integrirano okolje za načrtovanje objektov (angl. Integrated Building Design Environment) služi tako pri predinvesticijskih študijah, arhitektonski zasnovi, zasnovi konstrukcije, ovrednotenju stroškov in načrta gradnje (več v Dodatku A).



Slika 6: Shema ekspertnega sistema IBDE (Integrated Building Design Environment). Opis v dodatku A

Skupni imenovalac vsem procesom, ki potekajo po posameznih fazah je: (1) uporaba različnih nivojev in vrst strokovnega in splošnega znanja, (2) procesi so med seboj odvisni in (3) za konsistentno rešitev je potrebna velika mera komunikacije in koordinacije (integracija). Neodvisno od načina dela pa je potrebno zadoštili zahtevam iz predpisov in standardov. Naslednja podpoglavja obravnavajo nekatera vprašanja, povezana z navedenimi dejstvi: katere so vrste znanj in podatkov, kakšni so možni načini uporabe predpisov v ES in kako integrirati komponente ES.

4.1 VRSTE ZNANJ IN PODATKOV

Uporabnost na znanje oprtih sistemov je močno odvisna od značilnih vrst znanj o problemih, ki jih želimo obdelati. Ker predstavlja znanje konkurenčno prednost na trgu, je pomembno razmisliti o »lastništvu« znanja in sploh o možnostih zapisa v kontekstu gradbenega projekta kot produkta načrtovanja in bistva delovanja inženirja.

Znanje o načrtovanju, slika (7.a), lahko razdelimo na [Tommelien, 1997]: (1) splošno - globalno, (2) vezano na industrijo, (3) vezano na podjetje in (4) posameznika. Pri nalogah, ki vključujejo vse štiri segmente, se pojavi vprašanje, ali je sploh mogoče pričakovati sodelovanje

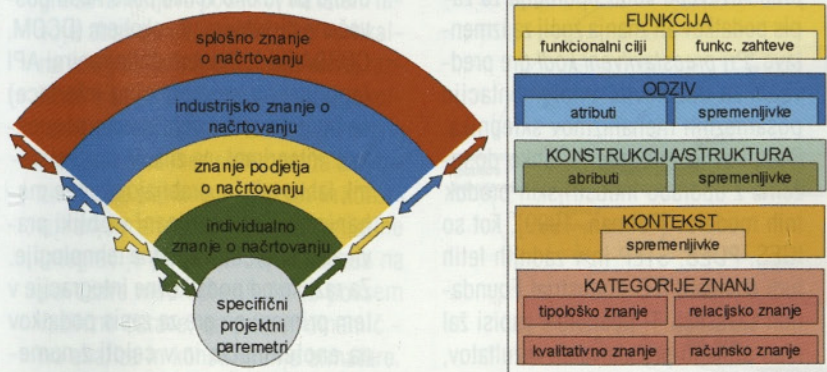
številnih ekspertov različnih področij. Podjetja in posamezniki zagotovo niso pripravljene deliti svojih izkušenj in inovativnih metod z drugimi, čeprav bi bilo možno večji del pravil zapisati. Tako je za podjetje smiselno le, da poskrbi za lasten sistem za upravljanje z znanjem in vzpodbudi sodelavce k aktivnem sodelovanju. S tem si lahko zagotovi, da znanje posameznikov ostane v podjetju. Ker je razvoj in vzdrževanje takšnih sistemov drago in dolgotrajno, se zanje ne odločajo. Poleg tega tudi način zapisa znanja v kontekstu projekta in načrtovanja ni univerzalno izdelan. Zapisi znanja v oblikah kot na sliki 7.b so sicer za določene primere uporabni, vendar nastane ob tem vrsta drugih težav. Poleg eksplicitnega znanja je v gradbeni stroki veliko znanja, ki ga ne moremo tako enostavno opisati oz. formulirati (angl. tacit knowledge). Številne raziskave na področju upravljanja z znanjem so v teku in bodo zagotovo predmet raziskovanja. S tem ko postaja analiza komunikacij sodelujočih prek interneta enostavnejša, je pričakovati tudi bolj učinkovite rešitve.

4.2 UPORABA PREDPISOV V ES

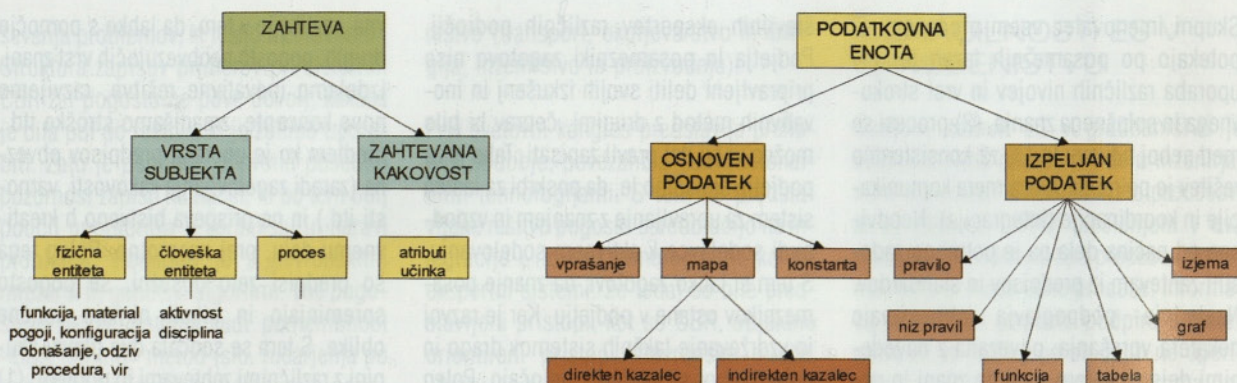
Predpisi vsebujejo združeno znanje in izkušnje strokovnjakov tako iz industrije kot tudi iz akademskih krogov. Zato presegajo okvire navodil in zahtev ter so po naravi enakovredni drugim znanjem. Gla-

vna razlika je v tem, da lahko s pomočjo drugih, pogosto neobvezujočih vrst znanj, izdelamo inovativne rešitve, razvijemo nove koncepte, zmanjšamo stroške itd., medtem ko je uporaba predpisov obvezna (zaradi zagotavljanja kakovosti, varnosti itd.) in ne prispeva bistveno h kreativnemu delu, prej nasprotno. Poleg tega so predpisi zelo obsežni, se pogosto spreminjajo in nikoli nimajo končne oblike. S tem se soočata dve glavni skupini z različnimi zahtevami in pogledi: (1) delovna telesa, ki pripravljajo in objavljajo standarde, ter (2) uporabniki standardov. Večina raziskav s področja kompjuterizacije predpisov je bilo namenjeno enostavnejši ali avtomatizirani uporabi za uporabnike. Obširen bibliografski pregled področja »elektronskih predpisov« najdemo na internetnih straneh [NRC, 1994] kanadskega inštituta NRC, ki se s to problematiko sistematično ukvarja daljše obdobje, svoje rešitve pa tudi uspešno trži.

Pri pripravi elektronskih predpisov za uporabnike ne gre samo za to, da so ti na voljo v priročnejši elektronski obliki. V kontekstu ES lahko omogočijo enovito interpretacijo zahtev, s čimer se odpravi možnost napačnih individualnih tolmačenj v standardih zapisanih pravil. Razvoj ES je bil pri tem pogojen z razpoložljivo IT: sprva so se pravila, načini računa in druge zahteve algoritmično vgrajevali v programe za račun konstrukcij, kot je EAVEK ali SAP, naslednji nivo predstavlja zapis v obliki odločitvenih tabel [Fenves, 1969, Duhovnik, 1986, Berkopec, 1988], produkcijskih pravil, objektno orientiranega zapisa [Žlajpah, 1992], hipertekstna in plastna predstavitev [Turk, 1992] ali na primer nevronske mreže [Peruš 1992]. Prvo poglobljeno analizo struktur predpisa sta podala Harris in Wright leta 1981 (Slika 8.a) [de Ward, 1992, Turk, 1992]. Ob splošni uporabi interneta se je pozornost preusmerila na nove možnosti za objavo predpisov, ki lahko omogočajo hitrejši način objavljanja takoj po potrditvi vsebin ustreznih organov [Cеровšek in Turk, 1998]. V prihodnje bi bil smiseln razvoj predpisov in ES, ki bi jih bilo mogoče uporabljati preko interneta, saj že



Slika 7: (a) univerzum znanja o načrtovanju (Fenves) in (b) zapis znanja "prototype refinement" (Gero)



Slika 8: (a) struktura predpisa (Harris in Wright) in (b) struktura objektov za zajem predpisov (Garret)

obstaja primeren način, ki bi lahko združil številne navedene pristope: XML. Pri XML implementaciji se lahko uporabi Garretova objektno orientirana modularna in spremenljiva predstavitev predpisov (slika 8.b), ki je podrobno opisana v disertaciji [Žlajpah, 1992] kjer so podane Garretove sheme z ilustrativno aplikacijo na domače standarde.

Naj izpostavimo zgolj nekaj očitnih prednosti tehnologije XML: (1) vsebina je ločena od oblike, kar omogoča, da se isti izvor uporabi za tisk, objavo na internetu itd., (2) isti zapis je razumljiv za človeka in stroj, (3) jezik je dovolj bogat za zapis kompleksnih podatkov, kot so enačbe-MathML, vektorske slike-SVG itd., (4) omogoča navzkrižno sklicevanje in (5) je še posebej primeren za delovne skupine, ki standarde pripravljajo v več jezikih. Zapis XML je možno uporabiti tudi kot vir, iz katerega je lahko izdelati zbirko znanje za uporabo v ES [Leff, 2001].

4.3 INTEGRACIJA ES

Obstoječi ES običajno pokrivajo ozko specializirano področje. Na ta način se avtomatizirajo posamezni deli inženirskega dela in s tem tvorijo otoke avtomatizacije. Postavlja se vprašanje, kako posamezna avtomatizirana opravila med seboj integrirati. Zahteve in možne rešitve, povezane z računalniško integriranim projektiranjem je v svojem delu podal Turk [1992]. Problematiki integracije ES

je bila posvečena tudi posebna izdaja ASCE monografije [Tommelien, 1997], kjer je izpostavljenih pet možnih stopenj integracije: (1) podatkovna integracija, (2) integracija preko funkcionalnih mehanizmov orodij, (3) nadzorno upravljavska integracija, (4) procesna integracija in (5) temeljna integracija. Višji nivoji integracije, ki so kombinacija zgoraj navedenih načinov, presegajo okvire enostavne komunikacije med orodji, kjer gre zgolj za avtomatiziran prenos izhodnih podatkov enega orodja v vhodne podatke za določeno opravilo drugega orodja. Posebnost tovrstnih integracij je, da zagotavljajo mehanizme, ki omogočajo integracijo na način, da podvajanje bodisi funkcionalnosti orodij ali zapisa podatkov, s katerimi operirajo, ni potrebno.

(1) Podatkovna integracija. Pri podatkovni integraciji je zanimiv koncept *komunikacijske kode*, ki se za razliko od *predstavitvene kode* uporablja za zapis podatkov ali znanja zgolj za izmenjavo. Pri *predstavitveni kodi* gre predvsem za učinkovito implementacijo posameznih mehanizmov sklepnika. Podatkovno integracijo lahko dosežemo z uporabo industrijskih produktivnih modelov [Tolman, 1999], kot so IGES, PDES, STEP in v zadnjih letih tudi standard IFC (Industrial Foundation Classes). Ti poenoteni zapisi žal niso prinesli pričakovanih rezultatov, zato je koncept komunikacijske kode bolj zanimiv. Za učinkovito podatkovno integracijo je pomembna tudi vmes-

na izmenjava podatkov. Pri tem gre za ohranjanje začasnega zapisa podatkov, ki nastanejo kot vmesni rezultat kakega opravila, vendar niso predstavljeni kot končni rezultati. Ta vmesni rezultat pa je morda potreben kot vhodni podatek kakega drugega opravila. Pri obravnavanju celotne problematike je treba zagotoviti, da se isti podatki ne podvajajo, da se v procesu sklepanja uporabljajo konsistentna dejstva in da poteka nenehna sinhronizacija dejstev med komponentami integriranega sistema.

(2) Integracija preko funkcionalnih mehanizmov orodij. Podvajanje posameznih funkcij programov je nezaželeno tako pri samem programiranju kot kasneje pri vzdrževanju. Takšnemu podvajanju se običajno izognemo z uporabo procedur, objektnih tehnologij, vnaprej pripravljenih knjižnic, v zadnjem obdobju pa je bilo veliko pozornosti posvečene distribuiranim okoljem (DCOM, CORBA itd.). Z dobro definiranimi API (application programming interface) se programersko delo znatno poenostavi. Integrirani, na znanje oprti sistemi, lahko tako uporabljajo skupne mehanizme, ki so zapisani v obliki pravil ali z uporabo objektno tehnologije. Za razliko od podatkovne integracije v tem primeru ne gre za zapis podatkov na enoten način in v celoti z namenom, da lahko isti izvor uporablja več orodij. Glavni poudarek je v izmenjavi podatkov med posameznimi deli

ali funkcijami komponent znotraj integriranega okolja.

(3) Nadzorno upravljalvska integracija. S tem načinom se omogoči koordinacija in komunikacija med opravili posameznih orodij. Tovrstna integracija je zasnovana na *natančnem opisu opravil*: o vhodnih in izhodnih podatkih ter o načinu delovanja vsakega funkcionalnega mehanizma znotraj sleherne komponente sistema. Glede na zaloge ukrepov in njihove komplementarne uporabe, ki opisujejo pogoje za funkcioniranje komponente v smislu potrebnih mehanizmov drugih orodij, se vzpostavi osnova za integracijo. Ob tem se snovalci sistema odločijo o načinu shranjevanja bodisi za centralizirano ali distribuirano arhitekturo. Na podlagi znanja iz zgoraj omenjenega opisa opravil lahko določimo tok podatkov. Za enostavne primere, ko so vhodni in izhodni podatki poznani in so hkrati po naravi reševanja problemov izolirani od ostalih postopkov, je določanje sosledja opravil dokaj trivialno. V kompleksnejših medsebojno odvisnih nalogah pa se moramo zateči k bolj metodološkemu pristopom.

(4) Procesna integracija. Arhitekture, ki podpirajo tovrstno integracijo, običajno naslavljajo določeno domeno in naravo podatkov in ne mehanizmov samih. Pri procesni integraciji poznamo dva načina integracije: horizontalno in vertikalno. Pri horizontalni integraciji gre za izmenjavo podatkov na istem nivoju abstrakcije, medtem ko vertikalna integracija integrira med seboj različne nivoje abstrakcije. Primer okolja, ki ima horizontalni značaj, je na primer povezava med sistemom za dimenzioniranje nosilnih elementov in konstruiranjem armature. Primer vertikalne integracije pa se običajno nanaša na povezave med opravili, ki so povsem različne narave, na primer dinamična analiza in konstruiranje armature. Vertikalna integracija torej poteka med različnimi nalogami znotraj discipline ali med disciplinami.

(5) Platformska integracija. Integracija na podlagi enotne osnove je v prejšnjem obdobju (brez globalnega omrežja) vključevala poleg poenotenja komunikacijskih in podatkovnih protokolov tudi poenotenje informacijsko – komunikacijske infrastrukture. Slednja omejitev je z razvojem interneta postala lažje obvladljiva. Internet je dostopen takorekoč vsem, prav tako so se uveljavili splošno uporabljene protokoli, kot so TCP/IP. Razvoj orodij za inženirsko delo v zadnjem času temelji na integraciji inženirskih internetnih servisov, ki omogočajo sodelovanje prek internetne infrastrukture. Čeprav osnovna ideja ni aplicirana za primer ekspertnih sistemov, bi bilo mogoče uporabiti enak koncept skupaj s posebnostmi, ki jih delo z ES zahteva.

5. GRADBENI EKSPERTNI SISTEMI

Pregled uporabe ES v gradbeništvu je v tem poglavju razdeljen na dva dela. Prvi del se osredotoči na učenje, ki je ponavadi iz analiz uporabe ES izvzeto, v drugem delu pa so podani: reference na nekatere že obstoječe obsežne preglede, ko je na sliki 9, kratki opisi izbranih ES in raziskovalnih projektov, katerih rezultat je bil neposredno vezan na ES.

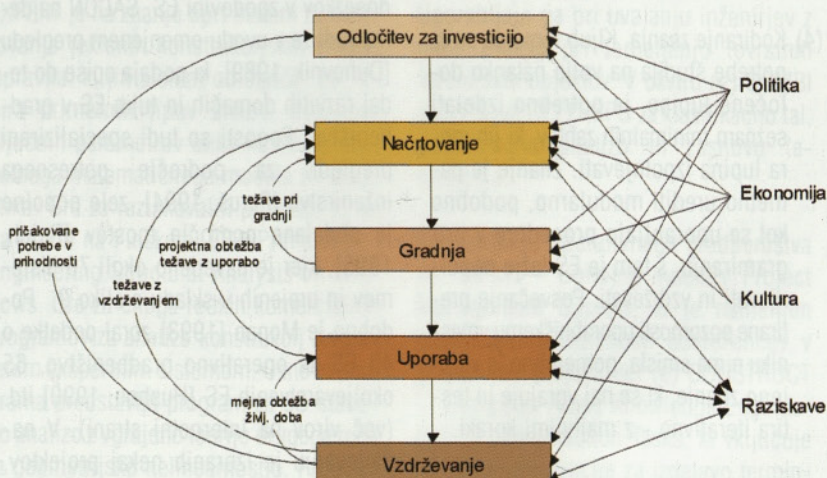
5.1 ES IN UČENJE

V povezavi z ES in učenjem mislimo, da je potrebno izpostaviti dve ključni vprašanji: »Kakšne so težave, posebnosti itd. povezane s poučevanjem ES?« in »Kako se lahko ES sistemi uporabljajo pri poučevanju gradbeništvu.«

Dolgoletne osebne izkušnje s poučevanjem ES je podal Liebowitz [1998] s podrobnim opisom celotnega tečaja. Jedro prispevka je strnil v šest korakov pri implementaciji prototipov ES z opisi težav in koristnimi nasveti. Podajamo kratek povzetek kot ilustrativen oris dela snovalca ES:

(1) Izбира problema. Priporočljivo je, da je snovalec ES dobro seznanjen s problemom oz. domeno, kar močno zmanjša čas izdelave prototipa. Če je le mogoče, naj se ES aplicira na kakšno neprijetno opravilo, ki ni preveč trivialno. Slednje naj izbere zgolj za izdelavo prvega prototipa (za občutek). Poiskati je potrebno eksperta, ki bo pripravljen sodelovati. Pomembno je, da se zastavijo realni cilji (omejeno št. pravil, enostaven uporabniški vmesnik itd.). Že zelo zgodaj se mora izdelati delujoč prototip na osnovi prvih zapisov znanja.

(2) Zajem znanja. Čeprav naj bi bil sno-



Slika 9: Informacijski tokovi med opravili in subjekti kot osnova za pregled aplikacij ES [Reich, 1995]

valec seznanjen s področjem, ki ga želi obdelati z ES, je nujno potrebno, da se v proces vključi ekspert, ki je »zunanja oseba«. Na ta način je stanje bližje dejanskemu procesu izdelave, snovalec pa je sposoben zastavljati primerna vprašanja. Po prvih razpravah z ekspertom mora snovalec vedeti, ali je pridobil pravega eksperta, ali je domena primerno izbrana in ali je sposoben razumeti odgovore in zastavljati vprašanja. Pripraviti je potrebno sistematičen način izpraševanja ter, ko je le mogoče, prikazati ekspertu delovanje sistema na osnovi znanja, ki ga je že posredoval. Ob tem, ko snovalec dela kot inženir znanja, naj bo opremljen z literaturo in če ekspert dovoli, naj ga posname, saj si ni mogoče vedno vsega zapisati ali zapomniti.

- (3) Predstavitev znanja. Predstavitev znanja naj odraža način razmišljanja eksperta (če vsebine posreduje v obliki »če je – potem...«: uporabimo produkcijska pravila, če podaja vsebine bolj opisno: uporabimo semantične mreže ali okvire). K probabilističnemu zapisu se naj pristopi samo, če je to res nujno potrebno (ne zato, ker ekspertna lupina to omogoča). Izbira načina sklepanja naj bo pogojena z načinom razmišljanja eksperta (če je pogojeno s podatki: veriženje naprej, če se teži k cilju: veriženje nazaj).
- (4) Kodiranje znanja. Kljub temu da so za potrebe študija na voljo natanko določene lupine, je potrebno izdelati seznam minimalnih zahtev, ki jih mora lupina izpolnjevati. Znanje je pametno urediti modularno, podobno kot se uporabljajo procedure v programiranju, s tem je ES lažje dopolnjevati in vzdrževati. Posvečanje pretirane pozornosti uporabniškemu vmesniku nima smisla, pomembno je vgrajeno znanje, ki se naj vgrajuje in testira iterativno – z majhnimi koraki.
- (5) Preverjanje in ovrednotenje znanja. Preveriti se mora konsistentnost vgraje-

nega znanja in logike z uporabo primerov različnih težavnostnih stopenj. Če obstajajo že rešeni dokumentirani primeri, lahko z njimi primerjamo rešitev ES, delovanje sistema naj preverijo eksperti, ki niso sodelovali pri snovanju.

- (6) Implementacija in vzdrževanje. Čeprav gre za prototip, je potrebno sistem preveriti na nekaj testnih uporabnikih, ga dokumentirati in pripraviti načrt vzdrževanja (izbira in poučevanje vzdrževalcev).

ES lahko uporabljamo za izobraževanje začetnikov in omogočajo standardizacijo postopkov in zahtev [Duhovnik, 1989]. Z uporabo metod sklepanja, kot je veriženje naprej in nazaj, pri danem problemu poiščemo značilne napake in težave študentov. Že v začetku 90. [referenca ... anumba] se skušajo ES uporabiti kot osebni asistenti pri poučevanju študentov. Taki sistemi se imenujejo ITS.

5.2 APLIKACIJE ES IN RAZISKOVALNI PROJEKTI

V splošni literaturi so primeri gradbenih ES zelo redki. Med izjeme sodi SACON [Bennett et al, 1970], ki ga predstavijo v končni obliki leta 1978 in ga lahko najdemo na številnih seznamih pomembnih dosežkov v zgodovini ES. SACON najdemo tudi že v uvodu omenjenem pregledu [Duhovnik, 1989], ki podaja opise do tedaj razvitih domačih in tujih ES v gradbeništvu. Pogosti so tudi specializirani pregledi: za področje potresnega inženirstva [Peruš, 1994], zelo popolno je obdelano področje mostov [Reich, 1995], kjer je navedeno okoli 70 sistemov in urejenih v skladu s sliko 9, Podobno je Monah [1993] zbral podatke o 40 ES za operativno gradbeništvu, 65 okoljevarstvenih ES [Hushon, 1990] itd. (več virov na internetni strani). V nadaljevanju je izbranih nekaj projektov, povezanih z ES in drugih ES predvsem za stavbe po tipičnih področjih (več na iter-

netu). Primer kompleksnega integriranega sistema je podan v dodatku A. Zaradi celovitosti posameznih komponent ne bi bilo smiselno ločevati.

Najobsežnejši program, ki je spodbudil uporabo ES, v evropskem in verjetno tudi v svetovnem merilu, je prav gotovo ESPRIT v devetdesetih letih [ESPRIT, 1993]. Zanj podajamo nekaj ilustrativnih podatkov. Program je pričel teči konec 80. in z njim so bile povezane dokaj velike investicije, saj je sofinanciranje potekalo od 18 mesecev do 5 let (natančnih podatkov o številu človek/mesec ni). Povprečno trajanje projektov, katerih rezultat so ES (nekaj deset projektov), znaša 3 leta, zadnji projekti pa so stekli koncu 90. V nadaljevanju so ti projekti označeni z oznako (€), ki ji sledi akronim projekta z velikimi črkami. ES razviti v okviru projektov programa ESPRIT vključuje številna področja gradbeništvu, kar bi zadostovalo za samostojno publikacijo.

Čeprav je običajno, da ES vključujejo znanje s predpisov, je prav, da izpostavimo tiste, ki neposredno naslavlajo to problematiko: (€) NOMOS – Knowledge Acquisition for Normative Reasoning Systems, ki se ukvarja z zajemom znanja in formalizacijo normativov in (€) AUTOCODE (Intelligent System for Automatic Processing of Design Codes of Practice), ki omogoča preverjanje skladnosti rezultatov analize po MKE s standardom EUROCODE ne glede na domeno (uporabi se lahko v gradbeništvu, strojništvu itd.).

Na področju gradbeništvu so zelo pogosti projekti, ki »integrirajo«: CAD sisteme, programe za račun konstrukcij, ES in produktne modele. Med večje projekte sorodnih pristopov sodijo na primer (€) COMBINE, ki se je osredotočal na integracijo že obstoječih orodij in ne na razvoj novih, (€) COMBI – Computer-Integrated Object-Oriented Model for the Building Industry, kjer so skušali doseči integracijo več ES z uporabo komunikacijskega centra v obliki produktnega modela in (€) ATLAS – Architecture, metho-

dology and Tools for computer integrated Large Scale Engineering), kjer so uporabili produktni model STEP kot osnovo za na znanje oprt sistem. ES IPEXCAD – Integrated Prototype based Expert CAD environment. ES je namenjen preverjanju skladnosti s predpisi na osnovi CAD risb. Izmenjava podatkov poteka preko vmesnika med CAD grafičnim okoljem in na znanje oprtim sistemom. Odlika sistema je modularnost in neodvisnost posameznih komponent: sam ekspertni sistem, zapis znanja o domeni in CAD okolje. Tako se lahko katerakoli komponenta zamenja, treba pa je pripraviti grafični interpreter in interpreter znanja. Prikaz je izdelan za primer stopnišč.

Medtem ko projekt (€) ATLAS ni osredotočen na natančno določeno fazo, je pri (€) COMBI poudarek na fazi zasnove. Podobno velja za (€) PATRICIA – Proving and Testability for Reliability Improvement of Complex Integrated Architectures kot po-moč pri arhitektonskih zasnovah. ICADS – Intelligent Computer Assisted Design System. Okolje omogoča pomoč pri snovanju shematičnih zasnov konstrukcij. Sistem uporablja komercialno CAD produkcijsko okolje, ki ga dopolnjuje geometrijski interpreter. Interpreter poskrbi za arhitektonsko interpretacijo geometrijskih likov na risbi, ki jih nato obdeluje sistem šestih ES zintegriranih v EDA – Expert Design Advisor (ekspertni svetovalec za načrtovanje). Komponente sistema EDA nadzorujejo proces načrtovanja in ovrednotijo izdelane rešitve v skladu z zahtevami iz predpisov, tako da del sistema EDA avtomatsko generira vrednosti različnih parametrov. Šest ES pokriva naslednja področja: osončenje, zvočno izolacijo, izbiro konstrukcijskega sistema, termični odziv stavbe, oceno stroškov, dostopnost za invalide. Koordinacijski sistem table poskrbi za izbiro ustreznih parametrov, ki jih pripravijo ekspertni sistemi posameznih domen, in nadzoruje celotno delovanje sistema.

S področja potresnega inženirstva: ESAS – Earthquake Safety Assessment System omogoča oceno zasnove konstrukcije po

več standardih, kontrolo rezultatov dinamične analize ter kontrolo sil in pomikov. Sistem se lahko uporablja za diagnostiranje in projektiranje [Peruš, 1994]. Zanimiv je še sistem, ki bi ga lahko izdelali iz domače multimedijske zbirke potresnih porušitev EASY. To je ES SEIBR, ki je zasnovan na znanju o potresni odpornosti konstrukcij, teoriji verjetnosti, »fuzzy« logiki in raznih zbirk podatkov. Sistem omogoča oceno potresne varnosti AB in drugih konstrukcij ter interpretacijo rezultatov. Poleg indeksa odpornosti določi tudi možne porušne mehanizme, ki jih interpretira z uporabo zbirke potresnih porušitev. Glavna vhodna podatka sta opis konstrukcije in pričakovan potres. Uporablja se lahko kot sistem za oceno potresne varnosti pri procesu načrtovanja, pomaga pri načrtovanju ojačitev in pri pedagoškem procesu.

Projektiranje armature v nosilcu – Prototip ES omogoča projektiranje armature nosilca. Sistem omogoča določitev položaja in dimenzij armature po prerezu in vzdolž nosilca. Modelirati je mogoče tudi stike posameznih elementov in uporabiti več vrst predpisov. Sistem je zasnovan odprto in ga je možno povezati z drugimi programi in CAD okolji [Žlajpah, 1992]. V okviru (€) COMBI je bil prav tako razvit ES RC-XPS za dimenzioniranje armature.

Za področja jeklenih konstrukcij: FST-EXPERT je na znanje oprt sistem za načrtovanje jeklenih konstrukcijskih stikov. Opravila, ki jih sistem omogoča, so: izbira primernih tipov stikov, določitev ključnih parametrov stika in izbira smiselnega matematičnega modela za račun stika. Gre za raziskovalni prototip, ki so ga razvili na Finskem. ESA Prima Win – Engineering Structural Analysis on Windows. Gre za enega redkih komercialnih programov za analizo konstrukcij z vgrajenim ekspertnim sistemom. Osnovo programa predstavlja program za 3D statično analizo z vgrajeno teorijo drugega reda in geometrijsko nelinearnostjo. Program ima vgrajenih vrsto nacionalnih predpisov, izmenjava pa poteka preko podatko-

vne integracije na podlagi zapisa ISO-STEP. Podobno kot FST-EXPERT je sistem namenjen izbiri in dimenzioniranju jeklenih stikov (togih, členkastih paličnih in varjenih) konstrukcije po EC3. Nivo avtomatizacije lahko izbira uporabnik sam: (1) ročno izbere vse parametre in program preveri ustreznost, (2) predlaga rešitve na osnovi prejšnjih dimenzioniranj in predlog, shranjenih v zbirki podatkov ali (3) program samostojno izbere rešitev in po korakih dokumentira in ovrednoti rešitve. AURORA-STACOR – je ES za določanje korozivne občutljivosti konstrukcij. Ocena je podana v obliki verjetnosti korozivnih poškodb na podlagi znanja skupine ekspertov, znanstveno potrjenih objav in analiz eksperimentalnih podatkov ter podatkov o primeru (lokaciji, izpostavljenost obravnavanih jeklenih elementov). Uporaba sistema zmanjša stroške vzdrževanja jeklenih konstrukcij.

CUFAD+ – Compression and Uplift Foundation Analysis and Design, kjer oznaka + označuje vgrajen na znanje oprt sistem za izbiro vhodnih podatkov. Pri izdelavi sistema so se osredotočili na pripravo orodja, ki bo znalo inteligentno svetovati pri izbiri ključnih parametrov za temeljenje konstrukcij. Svetovalec se lahko tako aktivira na željo uporabnika sistema in kvalitativno interpretira izbrane parametre. Sistem je bil apliciran za temeljenje električnih - daljnovidov. Uporabljajo ga pri uvajanju inženirjev z manj prakse pri temeljenju tovrstnih inženirskih objektov. V okviru (€) COMBI je bil razvit GCFD-XPS za klasifikacijo tal, geotehnično analizo in zasnovo temeljenja.

Na področju operativnega gradbeništvu (€) BIPMS – Building Industry Project Management System, ki je namenjen koordiniranju aktivnosti udeležencev v gradbenem projektu ter (€) CONSTRUCT – Computer-Aided Knowledge Engineering for Construction Tasks, ki vključuje ES druge generacije za izdelavo terminskih planov, plana gradnja ter načrtovanja. CMIX – je ES za določanje beton-

skih mešanic na podlagi predpisov, podatkov in modelov. Na podlagi empiričnih podatkov in osnovnega znanja o materialnih sistem predlaga optimalno betonsko mešanico, podobno CONCRETE MIX DESIGNER omogoča ovrednotenje lastnosti na osnovi poskusnih mešanic, CONCEX je na znanje oprt sistem za zagotavljanje kakovosti betona pri gradnji, CONTEC omogoča diagnosticiranje in negovanje betonskih konstrukcij. DURCON daje predloge za pripravo betonske mešanice pri izrednih pogojih, ESCON je namenjen modeliranju tehnologije betona, SLABFORM pa na primer omogoča izbiro najprimernejšega načina izvedbe.

S področja prometa bi omenili pristop, ki je bil zelo pogost in med drugim implementiran pri projektu (€) PATRIC – Parallel Petri-Net Simulations for Traffic Control in Conurbations), v okviru katerega se izdelava sistem za kontrolo prometa, ki ga tvorita: (1) ES za določitev operativnih in strateških odločitev v smislu zmanjšanja časovnih zaostankov in onesnaženja ter (2) GIS sistem za vizualizacijo vhodnih in izhodnih podatkov.

6. SKLEP

Možnosti, ki jih nudijo ekspertni sistemi, niso povsem izkoriščene, čeprav je interes v raziskovanju občutno manjši kot pred leti. Bistvene prednosti, kot so dvig kakovosti dela, skrajšanje časa in znižanje stroškov izdelave [Žlajpah, 1992], številne možnosti pri učenju in beleženju znanja, se ne morejo udeležiti, saj izdelani prototipi pogosto niso bili praktično nikomur na voljo, razen razvijalcem. Res je tudi, da postanejo izredno učinkoviti pri specifičnih problemih, pri tem pa je pomembno, da je takšnih neprijetnih problemov dovolj, kar zagotavlja primerno motivacijo za snovanje ES. Značilni problemi za gradbene ES so povezani z integracijo, znanjem in predpisi. Iz pregleda implementacij je bilo v okviru integracije ES mogoče zaznati tudi silne napore, povezane z izdelavo grafičnih interpreterjev. Ti poskrbijo za

interpretacijo geometrije (npr. da je skupina črt stena ali nosilec). Vsak snovalec je običajno razvijal svoj interpeter, da je lahko ES geometrijske podatke razumel. Žal tudi produktni modeli niso bistveno prispevali k izboljšanju stanja. Priložnost vidimo v razvoju sodobnih parametričnih modelirnikov (Revit, Architectural Desktop), kjer so številne zakonitosti med konstrukcijskimi elementi že parametrično definirane in jih bo enostavneje nadgraditi z ES. V razvoju pa je tudi nova verzija produktnega modela IFC, ki bo omogočal direktno preverjanje skladnosti s predpisi.

Navzlic nenehnemu razvoju metod pri ES je še vedno potrebna velika mera prilagojenega, dolgotrajnega dela, ob tem pa se je potrebno vedno znova soočiti s težavami z zapisom in formulacijo znanja. Nekatere težave, povezane z znanjem v gradbeništvu, so naslednje: pogosta improvizacija, veliko število splošnih dejstev, težko opredeljiva intuitivna načela in izkustvena znanja, interdisciplinarnost delovanja inženirskega dela, veliko število sodelujočih, lastništvo, obseg in razpršenost znanj. Ob tem so prisotne še številne tehnične, časovne in ekonomske ovire, nedostopna orodja ter dokaj zahteven proces načrtovanja in implementacije ES. Smiselni je tudi razmislek o uporabi alternativnih sistemov, kot so CBR, nevronske mreže, genetski algoritmi ali na primer »data mining« in »text mining«. Avtomatska strojna obdelava projektne dokumentacije, predpisov in drugih dokumentov ali empiričnih rezultatov bo prav gotovo še pridobila veljavo, saj se količina ob učinkovitih namiznih orodjih nenehno večja. Rezultate teh analiz pa bo mogoče tudi zapisati v obliki ES.

Za podjetja, ki razmišljajo o tem, da bi bilo dobro zapisati znanje podjetja in zaposlenih posameznikov, je priporočljiv pristop po korakih. Začnejo lahko z enostavnimi sistemi, kot sta na primer HelpDesk ali FAQ (pogosto zastavljena vprašanja), ju postopoma nadgradijo s sistemom za upravljanje znanja, ki lahko postane inteligentni sistem. S tem ko bo

zbirka znanja dovolj velika, bo tudi znanja lažje primerno povezati in izdelati ES. Predlagamo, da za to uporabijo intranet na nivoju organizacije ali ekstraneta na nivoju sodelujočih pri projektu. Prednost je v tem, da so lahko že prvi rezultati zajema znanja takoj uporabni (npr. pri enostavnem HelpDesk-u), sodeluje lahko širok krog ljudi, ki bodo na interaktiven način zastavljali dobra vprašanja (v čemer so računalniki še vedno šibki), strokovnjaki pa naj odgovore posredujejo v zbirko znanja in ne direktno posameznikom, za kar naj bodo še posebej nagajeni. Podjetju se bo zagotovo obrestovalo. Z razvojem dela prek interneta bodo moči tudi strojno analizirati aktivnosti v projektnih skupinah, kar lahko predstavlja nove aplikacije za ES. Naslednja pomembna vloga interneta je možnost distribucije ES. Uporabniki lahko uporabljajo ES poskusno in plačniško, ne da bi avtor moral skrbeti za distribucijo, inštalacije in zaščito, pri tem lahko izve, kako se sistem uporablja in dobi odziv uporabnikov. Pomen odziva uporabnikov predstavlja namreč enega ključnih kriterijev za izboljšave ES [Peruš, 1994]. Pri izdelavi internetnih aplikacij je bila izpostavljena vloga zapisa XML, ki omogoča kombinacijo različnih že uporabljenih, preizkušenih metod tako na področju predpisov kot tudi projektne dokumentacije, uporabi pa se ga lahko tudi pri integraciji in komunikaciji.

Skupaj s pregledom in zaključki podanimi v tem prispevku, je bila izdelana tudi internetna zbirka podatkov s številnimi viri (dodatek B), v izdelavi pa je tudi tezaver o ES (dodatek C).

LITERATURA

- Bennett, J. S., Creary, L., Englemore, R., Melosh, R., SACON: a knowledge-based consultant for structural analysis. *Technical Report STAN-CS-78-699*, Stanford University, 1970.
- Bjoerk, B-C, Information technology in Construction: domain definition and research issues, V: C.J. Anumba, editor, *Computer-Integrated design in Construction*, vol. 1, št. 1, str. 3-16. SETO, London, United Kingdom, 1999.
- Bohanec, M., Rajkovič, Večparametrski odločitveni modeli. *Elektronski vir*: <http://www-ai.ijs.si/MarkoBohanec/org95/index.html>, 1995.
- Cerovšek, T., Turk, Ž., Nove možnosti za objavo predpisov, V: SAJE, Franc (ur.), LOPATIČ, Jože (ur.). *Zbornik 20. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, Bled, 15. - 16. oktober 1998*. Ljubljana: Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev, str. 141-148, graf. Prikazi, 1998.
- Duhovnik, J., Ekspertni sistemi za projektiranje gradbenih konstrukcij. V: DUHOVNIK, Janez (ur.). *Računalniško projektiranje (CAD) gradbenih konstrukcij: zbornik 3. seminarja, Ljubljana, maj 1986*. Ljubljana: Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, str. 3-12, ilustr., 1986.
- Duhovnik, J., Berkopec, A., Tehniški predpisi kot ekspertni sistem. V: DUHOVNIK, Janez (ur.). *Računalnik v gradbenem inženirstvu: zbornik 4. seminarja, Ljubljana, april 1988*. Ljubljana: Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, str. 22-28, ilustr., 1988.
- Duhovnik, J., Ekspertni sistemi v gradbeništvu. *Gradbeni vestnik*, let. 38, št. 9/10, str. 256-261, 1989.
- ESPRIT Programme. Project Synopses and Information Services. IT Programme Information Desk (ESPRIT). European Commission, DG III. <http://www.newcastle.research.ec.org/esp-syn/index.html>, 1993-.
- Feigenbaum, E. A., McCorduck, P., and Nii, H. P., The Rise of the Expert Company, New York, 1988: Times Books, 1988.
- Feigenbaum, E. A., Expert Systems: Principles and Practice. *The Encyclopedia of Computer Science and Engineering*, 1992.
- Fennes, S.J., Gaylord, E. H., Goel, S. K., Decision table formulation of 1969 AISC specification, Civil Engineering Studies SRS 374, University of Illinois, Urbana, 1969.
- Giarratano, J., Riley, G., Expert Systems: Principles and programming, PWS publishing company, London, str. 579, 1998.
- Hushon, J.M., "Overview of Environmental Expert Systems," Hushon, J.M., ed., Proceedings of the Symposium on Expert Systems for Environmental Applications, American Chemical Society, Washington, D.C., pp. 1-24, 1990.
- Jackson, P., Expert Systems, Addison Wesley, str. 542., 1999.
- Jain, S., Osherson, D., Royer, J.S., Sharma, A., Systems that learn: An introduction to Learning Theory, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London England, str. 301, 1999.
- Kalay, Y.E., Khemlani, L., JinWon, C., An integrated model to support distributed collaborative design of buildings, *Automation in Construction*, Elsevier Science, vol. 7, št. 2-3, str. 177-188, 1998.
- Kim, K. Han, I., Maintaining case-based reasoning systems using a genetic algorithms approach, Expert Systems with Applications, Volume 21, Issue 3, str. 139-145, October 2001.
- Kompare, B., Artificial Intelligence: A Valuable Tool for Data Mining and Machine Construction of Models. V: DUHOVNIK, Janez (ur.). *Računalnik v gradbenem inženirstvu: zbornik 8. seminarja, Ljubljana, junij 1996*. Ljubljana: Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, str. 11-21, ilustr., 1996.
- Krainer, A. Ekspertni sistem - projektiranje ovoja zgradbe. V: DUHOVNIK, Janez (ur.). *Računalnik v gradbenem inženirstvu: zbornik 6. seminarja, Ljubljana, april 1992*. Ljubljana: Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, str. 321-327, 1992.
- Leff, L. L., "Rule-Processing in the Legal XML Context," Proceedings of the ICAIL-2001 Workshop: Legal Knowledge Systems in Action: Practical AI in Today's Law Office" str 27-30, St. Louis, May 21, 2001.
- Liebowitz, J. Worldwide Perspectives and Trends in Expert Systems: An Analysis Based on the Three World Congresses on Expert Systems. *AI Magazine* 18(2), str. 115-119, 1997.
- Mohan, S., "Expert System Applications in Construction Management and Engineering", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 116, No. 1, March, 1990
- Neap, H.S., Celik, T., A knowledge-based system for determination of marginal value of building projects, *Expert Systems with Applications*, Volume 21, Issue 3, str. 119-129, October 2001.

NRC. Pathfinder: ELECTRONIC CODES. <http://www.nrc.ca/irc/library/pf09.html>. 1994.

Peruš, I., Na znanje oprt sistem za oceno potresne varnosti armiranobetonskih konstrukcij visokogradnje : doktorska disertacija. Ljubljana: [I. Peruš] 1 zv. (loč. pag.), ilustr., tabele, 1994.

Reich, Y, Artificial Intelligence in Bridge Engineering: Towards Matching Practical Needs with Technology. *Special issue Microcomputers in Civil Engineering on Bridge Engineering*, str. 25, 1995.

Steinmann, A, "Knowledge-Based Expert Systems: Critiquing versus Conventional Approaches" *International Journal of Expert Systems with Applications* 433-441, 1998.

Tommelein, I. D., Expert systems for civil engineers: Integration issues, ASCE, str. 247 ilustr, 1997.

Turk, Ž., Okolje za računalniško integrirano projektiranje konstrukcij : doktorska disertacija. Ljubljana: [Ž. Turk], 176 f., ilustr., 1992.

Tolman, F.P., Product modeling standards for the building and construction industry: past, present and future. *Automation in Construction*, Elsevier Science, vol. 8, št. 3, str. 227-235, 1999.

Waterman, D.A., A guide to Expert systems, Adison Wesley, str. 419, 1986.

de Ward, M., Computer aided conformance checking: doktorska disertacija. Technische Universiteit Delft. 1992.

Zadeh, L.A., "Making computers think like people," I.E.E.E. Spectrum, 8/1984, str. 26-32, 1984.

Žlajpah, D., Ekspertni sistem za projektiranje armature : doktorska disertacija. Ljubljana: [D. Žlajpah], XII, 166 f., ilustr., 1992.

Žura, M., Ekspertni sistem za vrednotenje in vzdrževanje cest. V: DUHOVNIK, Janez (ur.). *Računalnik v gradbenem inženirstvu : zbornik 5. seminarja, Ljubljana, april 1990*. Ljubljana: Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvu in geodezijo, Oddelek za gradbeništvu in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, 1990, str. 46-53, ilustr., 1990.

DODATEK A: PRIMER INTEGRIRANEGA KOMPLEKSNEGA ES ZA STAVBE

IBDE – Integrated Building Design Environment. Integrirano okolje za načrtovanje stavb so zasnovali na oddelkih za arhitekturo in gradbeništvu na Carnegie Mellon University, Pensilvanija, ZDA. Podan je opis glavnih komponent, ki tvorijo ogrodje sistema:

- ARCHPLAN je ekspertni sistem, ki na osnovi generičnega prototipa izdelava arhitektonsko zasnovo za tipični primer funkcionalnega tipa zgradbe. S pomočjo vgrajenega hevrističnega znanja modificira izhodiščno zasnovo glede na specifične zahteve projekta. Modifikacija poteka v odvisnosti od treh medsebojno povezanih modulov, imenovanih SCM (Site, Location, Massing). Morebitna neskladja, ki lahko nastanejo kot produkt avtomatske obdelave modulov z različnimi aspekti, pa rešuje poseben funkcijski modul. Ta modul tudi poskrbi za 3D grafično predstavitev izdelanih rešitev. Poseben modul prav tako poskrbi za predlog cirkulacije na osnovi izbranih vertikalnih in horizontalnih elementov.

- CORE generira razporeditev posameznih prostorov znotraj stavbe (stopnišča, dvigala, hodnike, toaletne prostore). Uporablja sistem LOOS, ki omogoča konfiguriranje razporeditve prostorov za različne domene. LOOS je sestavljen iz: (1) generatorja razporeditev, ki je neodvisen od domene, (2) modula za preverjanje ustreznosti rešitve z vgrajenim znanjem o domeni (izdelava tudi testne rezultate) in (3) kontrolnega modula, ki uravnava celoten proces na osnovi testnih rezultatov. CORE začne

delo pri dvigalih, ki jim določi najbolj primeren položaj, in nato prične z generiranjem možnih razporeditev.

- STRYPES je na znanje oprt sistem za konfiguriranje konstrukcijskega sistema. Izdelan je na podlagi znanja, pridobljenega med izdelavo ekspertnega sistema HI-RISE. Načrtovanje temelji na dekompoziciji in omejitvah. Vgrajeno znanje vsebuje različne konstrukcijske sisteme in komponente, ki omogočajo izdelavo več alternativ. Na osnovi omejitev se izločajo tiste rešitve, ki ne ustrezajo zahtevam na različnih nivojih abstrakcije. Rezultat sistema STRYPES so možni konstrukcijski sistemi za prenos vertikalne in horizontalne obtežbe (prostorske konstrukcije, zavetrovani okviri, zidovi itd.).

- STANLAY opravlja dve glavni opravili v fazi zasnove konstrukcije: (1) razporeditev konstrukcijskih elementov in (2) približna analiza konstrukcijskega sistema. Vhodne podatke pripravi sistem STRYPES. Razporeditev konstrukcijskih elementov omogoča lociranje konstrukcijskega sistema za prenos vertikalne in horizontalne obtežbe. Konstrukcijski elementi za prenos horizontalne obtežbe vključujejo tudi opis 2D vertikalnih konstruktivnih elementov (npr: stene, okvirji) in njihov tlorisni položaj. Na osnovi razporeditve in položaja konstruktivnih elementov se nato določi distribucija obtežbe na posamezne komponente, v sklepni fazi se nato določijo še vplivi obtežbe z uporabo približnih metod.

- FOOTER je ekspertni sistem, ki omogoča izdelavo zasnove temeljenja. Načrtovanje temeljenja je razdeljeno v naslednja

opravila: kategorizacija objekta, kategorizacija terena in določitev načina temeljenja. Rezultat zasnove temeljenja je kombinacija raznih načinov temeljenja (pasovno, točkovno itd.).

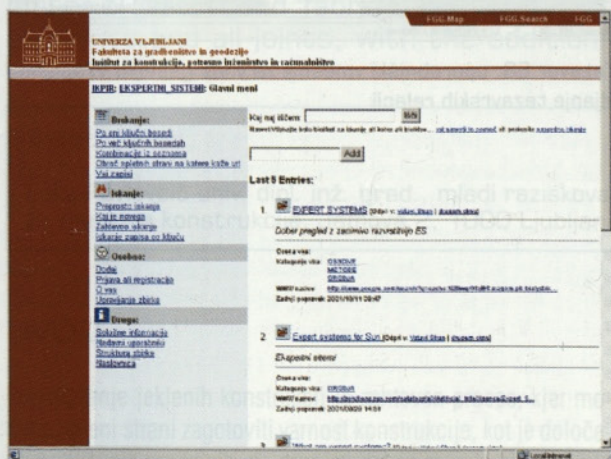
• **SPEX** je na znanje oprt sistem, ki omogoča preliminarno analizo konstrukcijskih elementov za konstrukcijski sistem, določen že z ekspertnim sistemom STANLAY. SPEX uporablja heuristični način dela, pri čemer uporablja tri vrste znanj: (1) znanje iz predpisov, (2) teoretično znanje o konstrukcijah, materialih in geometrijskih odvisnosti ter (3) specifično znanje določenega konstruktorja.

• **CONSTRUCTION PLANEX** je na znanje oprt sistem za določitev bistvenih parametrov pri načrtovanju plana gradnje (stroški, viri, terminski plan, itd). Delo sistema se prične pri razgradnji zasnove konstrukcije in temeljenja na aktivnosti za posamezne elemente (opaženje, armiranje, betoniranje itd.), kasneje se te aktivnosti združijo v glavne faze gradnje v projektu (temeljenje, temeljna plošča itd.). V naslednji fazi pa sistem pripravi predloge o načinu izvedbe za posamezne dele stavbe. Določiti pa je možno tudi potrebno število delavcev in opreme ter pripraviti oceno stroškov in terminski plan.

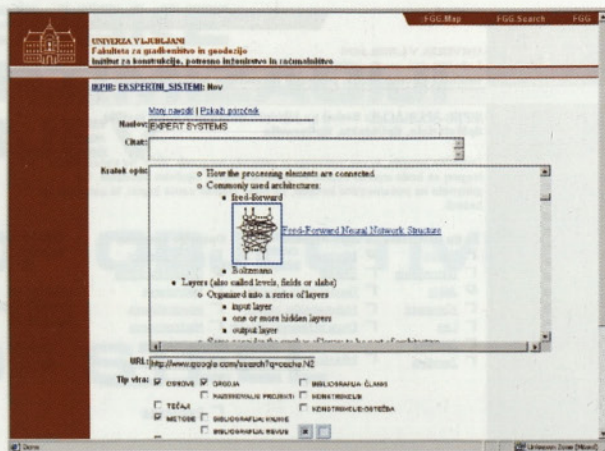
CONSTRUCTION CRITIC je ekspertni sistem za oceno primernosti tlorisnih rešitev v zgodnjih fazah projektiranja, in sicer takoj za tem, ko je izdelana zasnova tlorisa in po koncu preliminarnih izračunov. Namen postopka je preveriti modularnost in uniformnost izdelanih tlorisnih zasnov.

DODATEK B: INTERNETNA STRAN: EKSPERTNI SISTEMI

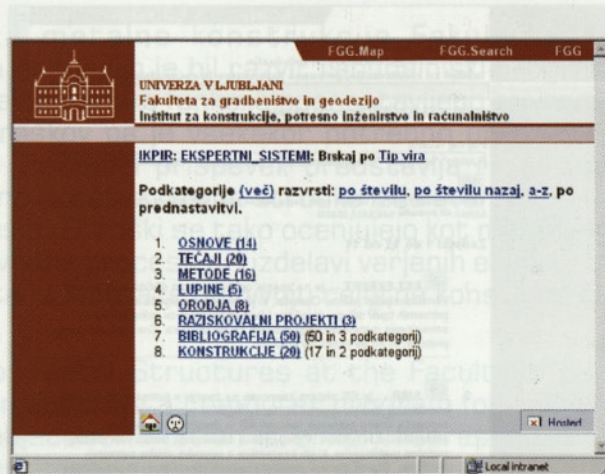
Internetna stran ES je na www naslovu: <http://30let.ikpiz-com/es>. Stran se še dopolnjeje in trenutno vsebuje okoli 200 povezav. Ker se pogosto zgodi, da že objavljeni vir avtorji umaknejo, se lahko izdela tudi kopija na našem strežniku.



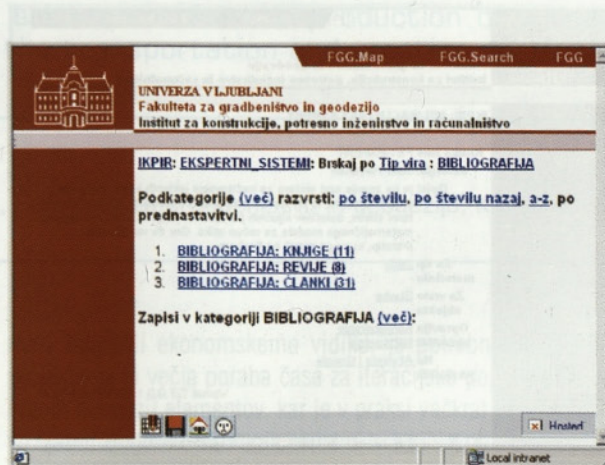
Viri ES: osnovna stran



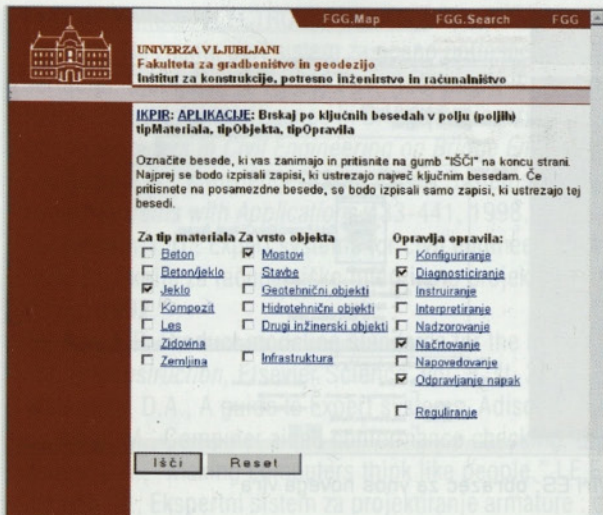
Viri ES: obrazec za vnos novega vira



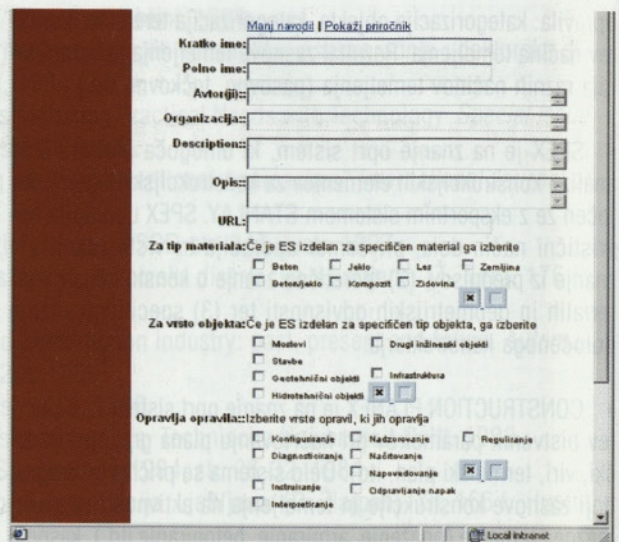
Viri ES: pregled virov po kategorijah



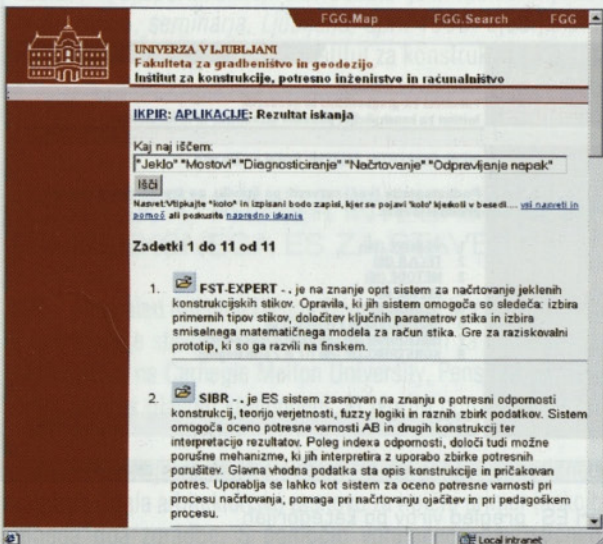
Viri ES: pregled podkategorij bibliografij



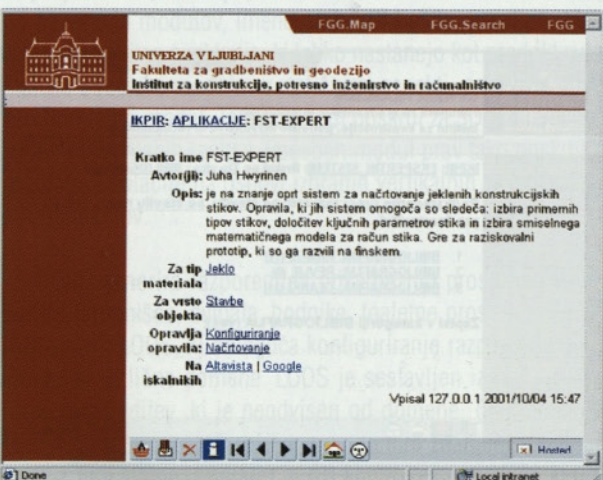
Aplikacije ES: možnost iskanja po uporabljenih kategorijah



Aplikacije ES: obrazec za vnos novega ES



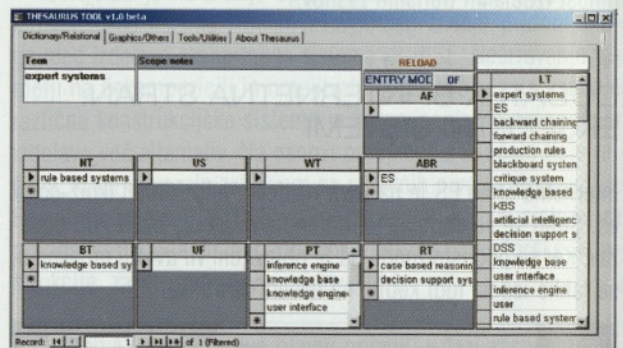
Aplikacije ES: rezultat iskanja



Aplikacije ES: prikaz zapisa

DODATEK C: TEZAVER ES

Tezaver, ki je še v pripravi, temelji na pojmovniku izrazov, ki se pogosto uporabljajo. Na sliki je prikazan uporabniški vmesnik za pripravo, v bodoče pa bo izdelana tudi internetna aplikacija. Trenutno je zbranih nekaj manj kot 200 pojmov, ki pa še niso vsi prevedeni oziroma pojasnjeni v slovenščini.



Tezaver ES: uporabniški vmesnik za vnos gesel in vzpostavljanje tezavskih relacij

ČLENITEV NAMENSKE FUNKCIJE PRI OPTIMIZACIJI JEKLENIH OKVIRJEV

FORMULATION OF OBJECTIVE FUNCTION AT THE OPTIMIZATION OF STEEL FRAMES

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 624.014.2 : 519.68

LUKA PAVLOVČIČ

P O V Z E T E K Na Katedri za metalne konstrukcije Fakultete za gradbeništvo in geodezijo je bil razvit računalniški program za optimalno projektiranje jeklenih okvirjev, ki za namensko funkcijo poenostavljeno privzema volumen konstrukcije. Za korektno oceno stroškov pa je vsekakor potrebno upoštevati tudi sam postopek izdelave jeklenih okvirjev. Pričujoči prispevek predstavlja razširjeno varianto namenske funkcije, ki čim bolj natančno upoštva realne stroške izdelave. Naslanja se na razpoložljive podatke o proizvodnih procesih. Stroški se tako ocenjujejo kot materialni stroški ter stroški porabljenega časa za proizvodne procese pri izdelavi varjenih elementov in stikov. Tem so prišteti še stroški transporta in montaže na nivoju celotne konstrukcije.

S U M M A R Y At the Chair for Metal Structures at the Faculty of Civil and Geodetic Engineering a computer program for optimal design of steel frames was developed. Its objective function is simply represented by the volume of the structure. For the real estimation of the cost of a structure it is necessary to include the whole process of fabrication of steel frame. This paper presents the expanded version of the objective function with the ambition to estimate real fabrication costs as accurately as possible. Its form is based on the availability of data on included fabrication processes. The cost of the structure can be calculated from material costs and fabrication time costs, both spent for the production of welded elements and all joints, with the addition of the transportation and erection costs for the whole structure.

Avtor:

Luka Pavlovčič univ. dipl. inž. grad., mladi raziskovalec, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za metalne konstrukcije, Jamova 2, 1000 Ljubljana

UVOD

Projektiranje jeklenih konstrukcij je zahteven proces, kjer moramo na eni strani zagotoviti varnost konstrukcije, kot je določeno v veljavnih predpisih, po drugi strani pa morajo biti sprojektirane konstrukcije ekonomsko opravičljive. Da bi v čimvečji

meri zadostili ekonomskemu vidiku, je potrebna izkušnost projektanta in večja poraba časa za iteracijsko popraviljanje izbranih dimenzij elementov, kar je v praksi večkrat neuresničljivo. Zato nalogo projektiranja konstrukcij zlahka prepoznamo kot optimizacijski problem, kjer pri danih pogojih varnosti konstrukcije iščemo najcenejšo rešitev.

L. PAVLOVČIČ: Členitev namenske funkcije pri optimizaciji jeklenih okvirjev

Optimizacijski problem lahko na splošno matematično definiramo takole:

$$\text{minimum: } f(\bar{x})$$

$$\text{pri pogojih: } g_i(\bar{x}) \leq 0 \text{ za } i = 1, \dots, m$$

$$h_i(\bar{x}) = 0 \text{ za } i = 1, \dots, l$$

$$\bar{x} = \{x_1, \dots, x_n\} \in X$$

Funkcijo $f(\bar{x})$ imenujemo *namenska funkcija*. Funkcije $g_i(\bar{x})$ predstavljajo *pogojne neenačbe*, funkcije $h_i(\bar{x})$ so *pogojne enačbe*, oboje skupaj pa imenujemo *vezi*. Vektor \bar{x} iz množice možnih rešitev X predstavlja *neznanke* optimizacijskega problema. Naloga matematičnega programiranja je poiskati tak vektor \bar{x} , ki bo minimiziral namensko funkcijo $f(\bar{x})$, obenem pa bo zadostil vsem pogojem oziroma vezem.

Na Katedri za metalne konstrukcije Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani je dr. Aleš Krajnc za svojo doktorsko disertacijo [Krajnc, 1998] izdelal računalniški program za optimalno projektiranje jeklenih okvirjev. Program obravnava ravninske okvirje s prostorskim obnašanjem elementov (uklon iz ravnine, bočna zvrnitev elementov). Vsi elementi so dvojnosi metrični varjeni I profili. Odločujoči prerezi nosilcev so semikompaktni, ostali lahko tudi vitki, pri analizi konstrukcije pa je upoštevana elastična teorija drugega reda. Program optimira dimenzije posameznih elementov, in sicer na dva neodvisna načina:

- z matematičnim programiranjem z modificirano SUMT metodo (*Sequential Unconstrained Minimization Technique*), ki reši problem z zaporednim reševanjem več brezpogojnih programov.
- hevristični pristop z genetskimi algoritmi, katerih značilnost je iskanje "skoraj" optimalne rešitve počasi, potrpežljivo in zanesljivo.

Neznanke optimizacijskega problema so dimenzije vseh prečnih prereзов konstrukcije, torej po štiri neznanke za dvojnosi metrični I prerez: višina in širina prereza ter debelina pasnice in stojine. Vezi so v obliki pogojnih neenačb in zajemajo vse računske kontrole po ENV 1993-1-1 na nivoju prečnega prereza, posameznega elementa in celotne konstrukcije. Namenska funkcija je definirana kot volumen konstrukcije, kar pomeni, da program poišče take dimenzije elementov, da bo imela konstrukcija najmanjši volumen, tj., da bo, pri uporabljenem materialu enake gostote, konstrukcija najlažja:

$$\text{minimum: } f(\bar{x}) \equiv V(\bar{x}) = \sum_{i=1}^{n_e} V_i(\bar{x})$$

kjer je n_e število elementov.

NAMEN ČLENITVE NAMENSKE FUNKCIJE

Seveda je namenska funkcija v programu za optimalno projektiranje jeklenih okvirjev nedodelana, saj vemo, da najlažja konstrukcija še ne zagotavlja, da je izvedba te konstrukcije najcenejša. Pri varjenih I profilih predstavlja pomemben prispevek k stroškom razrez pločevin, čiščenje pločevin, sestava pločevin, njihovo varjenje, ravnanje in barvanje nosilca, ... Prav tako ni zanemarljiva cena izdelave stikov in je posredno odvisna od dimenzij stikovanih elementov. Veliki so tudi sami stroški transporta v delavnici izdelanih elementov do gradbišča in stroški sestave celotne konstrukcije, torej montaže. Ti stroški so že težje opredeljivi in tudi njihova neposredna odvisnost od dimenzij prereзов elementov je manjša.

Zahteva po korektni oceni vseh stroškov in s tem v zvezi želja po nastavitvi realnejšega problema optimizacije jeklenih okvirjev odpira torej novo nalogo: natančneje opredeliti namensko funkcijo. To pomeni, da je potrebno preprosto obliko namenske funkcije, ki izraža le volumen konstrukcije, razširiti na dejanske stroške, v katere so poleg stroškov jekla vključeni tudi ostali procesi izdelave elementov, stikov in celotne konstrukcije. Pri tem je pomembno posamezne prispevke definirati tako, da so smiselno funkcijsko odvisni od neznank optimizacijskega problema, torej od dimenzij vseh prereзов. Zato bo dobra določitev namenske funkcije na koncu ne samo čim realneje ovrednotila stroške konstrukcije, temveč bo nudila možnost ocenitve, kateri prispevki so z zornega kota optimizacije najpomembnejši. Ugotovilo se bo lahko torej, kakšen vpliv ima sprememba dimenzij prereзов na posamezne procese izdelave jeklene konstrukcije.

OBLIKE NAMENSKIH FUNKCIJ ZA JEKLENE KONSTRUKCIJE

Ker se optimizacijski problem rešuje matematično, je potrebno tako vezi kot namensko funkcijo zapisati v analitični obliki in za veliko metod reševanja se zahteva zveznost funkcij in če se da, čim preprostejša odvisnost od neznank problema. Pri preprosti in pregledni odvisnosti se pri posameznih stroškovnih prispevkih osnovne geometrijske karakteristike (površina prereza, obseg prereza, dolžina in volumen elementa, itd.) množi z določenim koeficientom. Tako jasno opredelitev namenske funkcije je v svoji doktorski disertaciji [Kravanja, 1996] uporabil tudi dr. Stojan Kravanja. V računskem primeru optimiranja tablastih zapornic hidrotehnike je upošteval naslednje člene namenske funkcije:

- materialni stroški: $c_{mater} \cdot \rho \cdot V$
- stroški rezanja pločevine: $c_{cut} \cdot L_{cut}$
- stroški varjenja: $c_{weld} \cdot L_{weld}$

- stroški protikorozijske zaščite: $c_{acrp} \cdot S$
- transportni stroški: $c_{transp} \cdot \rho \cdot V$

Neznane geometrijske karakteristike so naslednje: V – volumen konstrukcije, S – protikorozijsko zaščitena površina konstrukcije, L_{cut} – dolžina rezanih robov pločevin ter L_{weld} – dolžina zvarov.

Cena preglednosti take namenske funkcije je njena pavšalnost. Na ceno posameznega procesa vpliva namreč več parametrov in v primeru rezanja in varjenja pločevin ima določen vpliv debelina pločevin, kar je v našem primeru optimiranja jeklenih okvirjev neznana spremenljivka. Omenjena namenska funkcija je seveda prilagojena optimiranju tablastih zapornic, torej za specifični primer, za katerega se določene spremenljivke in parametre lahko fiksira – znana je na primer približna debelina in vrsta zvarov.

Z ocenjevanjem stroškov varjenih jeklenih konstrukcij se ukvarjata tudi K. Jármaj in J. Farkas. V članku [Jármaj, 1999] predstavljata njuno različico namenske funkcije, ki je kompleksnejša in obravnava več parametrov. Zanimiva je tudi zaradi delitve namenske funkcije na materialne stroške (K_m) in stroške proizvodnje (K_f):

$$K = K_m + K_f = k_m \rho V + k_f \sum_{i=1}^7 T_i$$

kjer sta k_m in k_f stroškovna faktorja, T_i pa predstavljajo proizvodne čase oz. normative za naslednje proizvodne procese:

- varjenje: T_1 – čas za pripravo, stikovanje in točkanje
- T_2 – čas za varjenje
- T_3 – čas dodatnih opravil (menjava elektrod, čiščenje žilindre, ...)
- ravnanje pločevin – T_4
- priprava, čiščenje površin – T_5
- barvanje – T_6
- rezanje in brušenje robov – T_7

Pri varjenju je upoštevan faktor zahtevnosti konstrukcije, tehnologija varjenja, vrsta zvara, T_1 je v odvisnosti od \sqrt{V} , pri T_2 in T_3 pa od dolžine in debeline zvara (L_w in $a_w^{1.5}$). Pri ravnanju pločevin so zajeti faktor zahtevnosti, debelina in površina pločevine. Priprava površin in barvanje sta odvisna od parametra zahtevnosti in obdelovane površine ter rezanje od dolžine rezanega roba (L_r) in od debeline pločevin (r^n , kjer je $n \in [0.25, 0.5]$) odvisen od tehnologije rezanja).

Vidimo, da je Jármajeva in Farkasova varianta namenske funkcije dobro razdelana, da je vzpostavljena odvisnost od bistvenih geometrijskih karakteristik in so upoštevani bistveni proizvodni procesi na nivoju elementa ali obdelovanega dela konstrukcije. Za primer ocenjevanja celotnega jeklenega okvir-

ja lahko pogrešamo prispevek k stroškom na nivoju konstrukcije (transport, montaža) in cenitev stikovanja elementov v vijачeni izvedbi. Postavlja se tudi vprašanje, kje so zajeti dodatni materialni stroški (npr. barve, porabe varilne žice, itd.), če je prispevek vseh proizvodnih procesov preveden le na porabo proizvodnega časa. Poleg tega so določeni parametri ocenjevani precej pavšalno (recimo faktor zahtevnosti je lahko 1, 2 ali 3) in bi to lahko pri neki analizi dejanske konstrukcije povzročalo določene nejasnosti. Zaradi povedanega bi bilo za naš poseben primer optimiranja jeklenih okvirjev smiselno sestaviti novo namensko funkcijo, ki bi izhajala iz čimbolj konkretnih postavk.

NOV PREDLOG NAMENSKE FUNKCIJE

Ob želji samostojnega snovanja namenske funkcije že takoj naletimo na težave z zbiranjem realnih podatkov za obravnavane proizvodne procese. V praksi ocenjujejo posamezne stroške zelo približno, recimo porabo barve ocenijo kar na težo konstrukcije, prav tako določijo porabo vijakov pri vijачeni izvedbi konstrukcije kot ustrezni delež celotnega volumna konstrukcije. Tako ocenjevanje na oko nas pri matematični nastavitvi problema optimizacije seveda ne more zanimati. Izkaže se, da je natančnejši princip ocenjevanja možen preko tabeliranih normativov, torej časa, potrebnega za proizvodni proces kot sta se problema lotila že Jármaj in Farkas. Najobsežnejša in s tem tudi medsebojno primerljiva zbirka tabel normativov in napotkov za ocenjevanje proizvodnega časa različnih tehnologij varjenja, rezanja in sestave pločevin obstaja v priročniku Andreja Polajnarja [Polajnar, 1991] in prav ta sistem ocenjevanja narekuje predlagano obliko namenske funkcije.

Koncept določitve stroškov preko vrednotenja proizvodnega časa, smiselno dopolnimo še s cenitvijo porabljenih materialnih sredstev. Poleg same porabe jekla upoštevamo še stroške vijakov, porabljeno barvo, porabo varilne žice ali elektrod, v primeru MIG-MAG varjenja porabo plina, upoštevamo lahko tudi uporabo električne energije itn. Tudi nekatere materialne porabe so lepo tabelirane v odvisnosti od naših neznank problema, v splošnem pa se na tem delu zatakne, saj je v Polajnarjevem priročniku navedba materialnih porab pomanjkljiva.

Poleg vseh proizvodnih procesov izdelave jeklenih konstrukcij, ki sta jih obravnavala že Jármaj in Farkas, je v namenski funkciji potrebno dodati še člen za ocenjevanje stroškov za stike, v katerem je poleg omenjenega navedeno tudi vrtnanje pločevin in stroški za vijake ter prispevek transportnih in montažnih stroškov. Namenska funkcija bi tako dobila naslednjo obliko:

$$F = S_{celotni} = k_m \cdot r \cdot V_{el} + S_{nel} [S_{varjenje}] + S_{nel} [S_{rezanje}] + S_{nel} [S_{prip.površine}] + S_{nel} [S_{ravnanje elementov}] + S_{nel} [S_{barvanje}] +$$

L. PAVLOVČIČ: Členitev namenske funkcije pri optimizaciji jeklenih okvirjev

$$+S_{stiki} + S_{transport} + S_{montaža},$$

kjer predstavlja $S_{nel} [...]$ vsoto prispevkov po vseh elementih konstrukcije.

Določanje raznih parametrov proizvodnih procesov je olajšano s poznavanjem okoliščin proizvodnje za specifične potrebe. Tako vemo, da varjene profile izdelamo v delavnici, kjer so pogoji predvidljivi in je delo enostavnejše kot pri montaži sami. Prav tako se namestitve potrebnih dodatnih pločevin v stikih opravi že v delavnici, zato se pri montaži elemente samo stika: bodisi preprosto vijučeno bodisi se varijo na mestu samem. Tudi dodatni popravki premazov in zaščita konstrukcije je stvar prispevka montaže.

STROŠKI JEKLA ELEMENTOV KONSTRUKCIJE

Ti stroški so zajeti v prvem členu, kjer je k_m materialni stroškovni koeficient za kilogram jekla, ρ je gostota jekla, pod V_{el} pa štejemo volumen vseh elementov v konstrukciji. Stroške jekla dodatnih pločevi v stikih prištejemo k stroškom za stike.

STROŠKI VARJENJA

V našem primeru se v delavnici vari elemente – zvar med pasnico in stojino, ojačitvene pločevine stebrov v stikih in na prečke se pri določenih stikih privari še čelno pločevino. Stroške varjenja pri stikanju elementov v primeru varjenih priključkov prištejemo okvirno kar k stroškom montaže. Pri

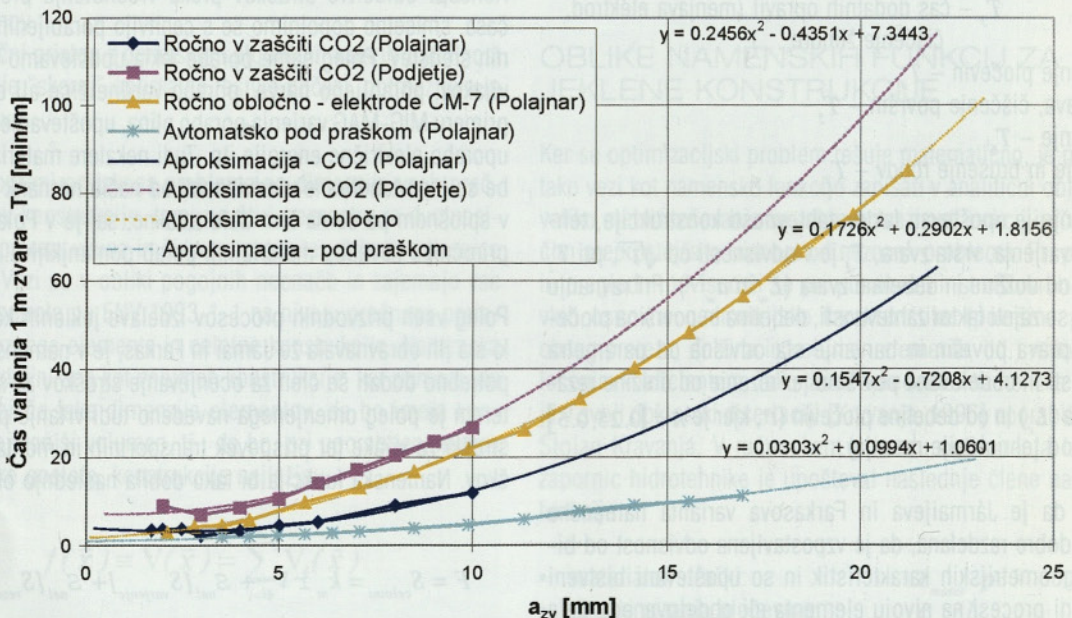
varjenju elementov in ojačitvenih pločevin uporabimo kotne zware, čelne pločevine pa naj se privari s čelnimi zvari. Poleg vrednotenja normativov za varjenje upoštevamo še materialne stroške varjenja in pri elementih prispevek porabe časa za stikanje pločevin in njihovo točkanje. Člen namenske funkcije za varjenje bi imel naslednjo obliko:

$$S_{varjenje} = k_{var} (T_{var} l_{zv}) + (S_i k_{m,var,i} M_{var,i}) l_{zv} + k_{sest} T_{sest}$$

Prva dva člena sta v principu merjena na enoto dolžine zvara. Toda stroške porabljenega časa za varjenje razdelamo natančneje:

$$k_{var} (T_{var} l_{zv}) = k_{var} [f_{var} T_v(a_{zv}) l_{zv} + T_{dodat.}]$$

in tu dodatni člen $T_{dodat.}$ ki predstavlja časovni pribitek, ki ni vezan na enoto dolžine zvara in bi lahko zajemal npr. pripravljalno zaključni čas, čas označevanja zvarov, nastavitve parametrov, itd., kvari preglednost izraza. T_v predstavlja osnovni varilni čas enega metra zvara, ki je podan v odvisnosti od debeline zvara a_{zv} , s tem pa posredno od debeline pločevine d_{pl} , kar je neznanka problema ($a_{zv} = k_{zv} d_{pl}$, kjer je k_{zv} predpisan koeficient). V literaturi je odvisnost podana tabelarično, vendar jo zaradi želene zvezne odvisnosti aproksimiramo s kvadratno parabolo ($T_v = A a_{zv}^2 + B a_{zv} + C$) in s tem tudi razširimo veljavno področje. Vnos podatkov v računalniški program se tako zjedri na tri parametre (A, B, C), dlakocepska natančnost pa ne bi bila na mestu, saj je samo ocenjevanje stroškov zaradi narave problema okvirno. Izraz T_v je definiran s tehnologijo varjenja, vrsto zvara (kotni, čelni, ...) kakih dodatnih dejavnikov (ročno ali strojno varjenje, ...) in žal tudi z izbiro ustrezne ta-



Slika 1: Varjenje kotnih zvarov

bele. Na *sliki 1* so upodobljeni časi T_v za kotne zvarje pri različnih tehnologijah varjenja po Polajnarjevem priročniku, zraven pa je dodan diagram po obračunski tabeli, ki jo uporabljajo v enem od slovenskih podjetij. Po tej tabeli so opazni približno dvakrat povečani časi, kar lahko pripišemo pavšalno prištetim časom priprave in čiščenja zvarov, označevanja ter ostalih pomožnih časov. Problem je tako lahko v nedosledno definiranih tabelah in opisih vključenih opravil. Na *sliki 1* so vidne aproksimacije diagramov s kvadratnimi parabolami.

Korekcijski faktor f_{var} lahko zajema povečanje časov zaradi prekinjenosti ali kratkih zvarov, čiščenja zvarov, položaja varjenja (v delavnici upoštevamo kar varjenje od zgoraj na horizontalni ravnini), itn. Dolžina zvara je pri varjenju elementov enaka $l_{zv} = 4L$. Parameter k_{var} je stroškovni koeficient normativa za varjenje, torej vrednotenje za varjenje porabljenega časa.

Drugi člen v izrazu za stroške varjenja predstavlja materialne stroške varjenja, v kar se lahko vključi poraba varilne žice ali elektrod, poraba zaščitnega plina, poraba električne energije, ... Različne porabe $M_{var,i}$ na meter zvara so zopet odvisne od debeline zvara in jih ponovno aproksimiramo s kvadratnimi parabolami. Na *sliki 2* je prikazana primerjava porabe žice pri varjenju kotnih zvarov v zaščiti CO_2 po Polajnarjevem priročniku in obračunski preglednici, dobljeni v enem od slovenskih podjetij. Zopet so opazna manjša odstopanja diagramov podobnih oblik, kar nas preseneti, saj naj različni dejavniki ne bi imeli vpliva na porabo žic. Materialni stroškovni faktorji $k_{m,var,i}$ so seveda za vsak predmet porabe različni.

Normativ sestavljanja pločevin za varjenje lahko razdelimo na čas, potreben za manipulacijo pločevin (postavitev pločevin,

obračanje elementa, snemanje in odstranitev varjenega elementa) in čas, potreben za predhodno točkanje pločevin:

$$T_{sest} = T_{ploč}(x V_{el}) + T_{točk} l_{zv} + T_{točk.prip}.$$

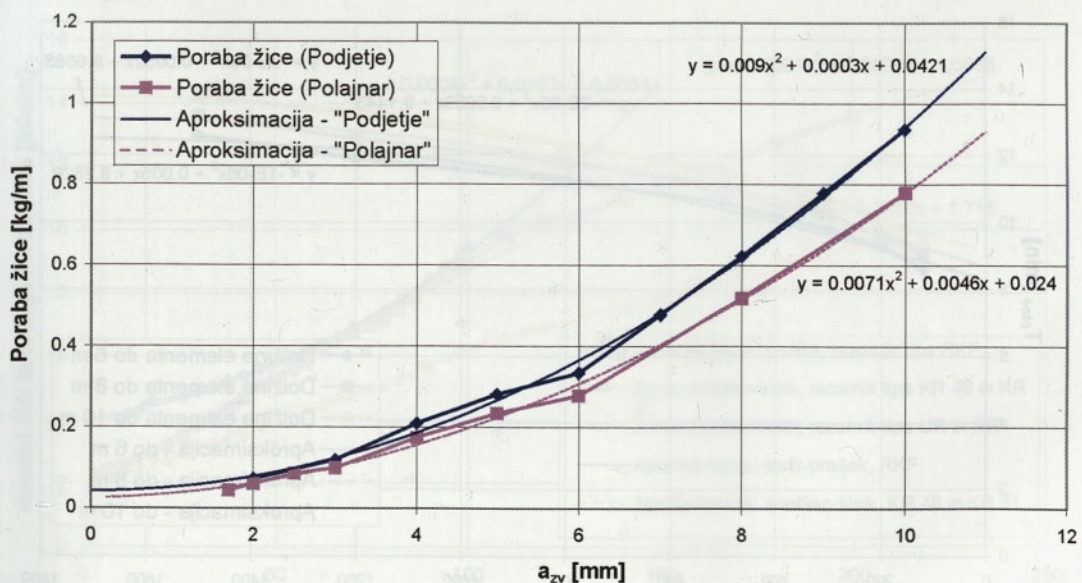
V Polajnarjevem priročniku so časi manipulacije s pločevinami zgledno tabelirani in so odvisni od teže pločevin, od njihove dolžine, od tehnologije varjenja in še od nekaterih drugih dejavnikov. Na *sliki 3* je prikazan potreben čas $T_{ploč}$ pri avtomatskem varjenju pod praškom z uporabo dvigala, in sicer za tri dolžine pločevin. Glede na povprečno dolžino elementov konstrukcije se izbere ustrezn diagram s kvadratno aproksimacijo. Ker so aproksimacije tu konkavne, je potrebno paziti, da pri zelo težkih elementih ne pride do padanja krivulje, kar bi lahko "zmotilo" optimizacijski proces.

Pri točkanju pločevin se izkaže, da so časi $T_{točk}$ za točkanje tekočega metra zvara kratki, tako da kompliciranje z odvisnostjo od debeline zvara ni umestno in se zato a_{zv} izbere vnaprej. Možno je tudi upoštevati pomožni čas točkanja $T_{točk.prip}$ za nastavitev parametrov točkanja, za čiščenje šob, za označevanje, itd., kar se pač ne veže na dolžino zvara.

STROŠKI REZANJA PLOČEVIN

Razrezati je potrebno tako pločevine elementov kot vse dodatne pločevine v stikih. Izraz za oceno stroškov rezanja je analogen tistemu za varjenje:

$$S_{rezanje} = k_{rez}(T_{rez} l_{rob}) + (S_i k_{m,rez,i} M_{rez,i}) l_{rob} + k_{man.pl.} T_{man.pl.}$$



Slika 2: Poraba žice pri varjenju kotnih zvarov v zaščiti CO_2

Stroški samega procesa rezanja se še delijo:

$$k_{rez} T_{rez} l_{rob} = k_{rez} [f_{rez} T_r(d_{pl}) l_{rob} + T_{dodat,rez} L],$$

kjer je k_{rez} stroškovni koeficient, f_{rez} korekcijski faktor rezanja, ki lahko zajema vrsto gorljivega sredstva, čistoče kisika, pozicije rezanja, itd., $T_{dodat,rez}$ pa dodatni časovni pribitek, ki ni vezan na enoto dolžine rezanega roba (menjava diz, nastavitve gorilnika, prižiganje plamena, označevanje predmeta, ...). Osnovni čas rezanja je zajet v T_r in je v tabelah odvisen od debeline rezane pločevine d_{pl} in določen s tehnologijo rezanja. V Polajnarjevem priručniku je obdelano plamensko rezanje: strojno ali ročno rezanje, z različnimi zmesmi na različnih tipih rezalnikov. Na *sliki 4* so prikazani trije tipi ročnega plamenskega rezanja po Polajnarju.

Dolžina rezanega roba l_{rob} bi pri rezanju pločevin za elemente lahko reducirali z $l_{rob} = k_{rob} L + 2š$, kjer je $š$ širina pločevin, dolžina L pa je množena z izbranim koeficientom razreza $k_{rob} \in [1, 2]$, kjer bi vrednost 1 pomenila, da pri razrezu pločevine v ožje kose z enim rezom obdelamo robova sosednjih pločevin in 2 za rezanje vsake pločevine po celotnem obodu.

Materialni stroški rezanja zajemajo npr. porabo rezalne zmesi ali porabo električne energije, pri čemer je poraba na tekoči meter roba $M_{rez,i}$ funkcijsko odvisna od debeline pločevine d_{pl} .

Pri stroških manipulacije s pločevinami je čas za postavitve in snemanje rezane plošče $T_{man,pl}$ odvisen od teže in dolžine plošče in se zato podaja podobno kot $T_{ploč}$ pri sestavi pločevin za varjenje (*slika 3*).

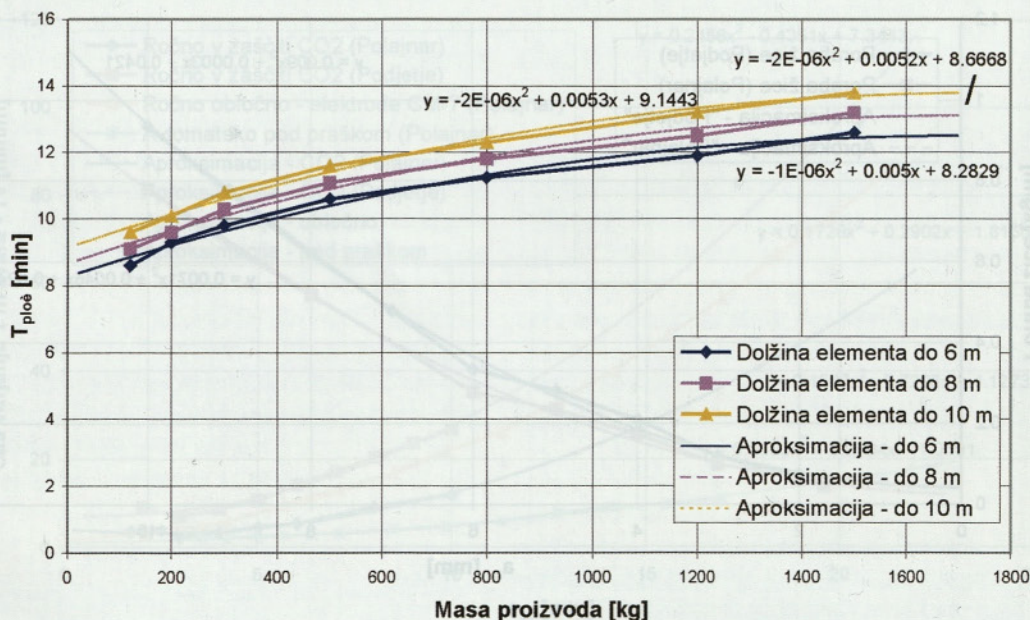
STROŠKI PRIPRAVE POVRŠINE ELEMENTOV

Sem spadajo vsi stroški čiščenja, peskanja, itd., s čimer se pripravi površina za barvanje. Naravno bi se stroški ocenjevali na enoto čiščene pločevine, kot sta predpostavila že Farkas in Jármaj, toda v praksi se površina pločevin večinoma pripravi s peskanjem, tako da se razrezane pločevine po tekočem traku pošljejo skozi avtomatsko peskalno komoro. Zato naj se stroški raje ocenjujejo na enoto dolžine pločevine, dodatno pa naj se v grobem upošteva še širina:

$$S_{prip.površine} = k_{prip.pov} T_{prip.pov} L_{pl}$$

Stroškovni koeficient $k_{prip.pov}$ lahko v vrednotenje porabljenega časa všteje še energetske stroške, amortizacijske stroške, stroške obrabe in izrabe peskalnih zrn, ... Porabo časa za peskanje lahko definiramo z $T_{prip.pov} = k_{pesk} T_{pesk}$ kjer je T_{pesk} čas peskanja na enoto dolžine pločevine v smislu kapacitete oz. hitrosti peskalnika, korekcijski koeficient k_{pesk} pa ta čas za ozke pločevine zmanjšuje. Če je širina peskalnika oz. tekočega traku B_{pesk} precej širša od širine pločevine b_{pl} , potem lahko predstavlja kvocient B_{pesk} / b_{pl} celoštevilske deljenje B_{pesk} / b_{pl} .

Bistveni del stroškov peskanja predstavlja priprava površin dolgih pločevin za elemente, tako da prispevek kratkih dodatnih pločevin v stikih zanemarimo.



Slika 3: Časi sestave pločevin za avtomatsko varjenje z dvigalom

STROŠKI RAVNANJA ELEMENTOV

Za razliko od Farkasovega in Jármajjevega ocenjevanja stroškov ravnanja posameznih pločevin se v praksi ravnajo predvsem celotni že zvarjeni nosilci, zato poizkusimo oceniti ravnanje celotnega elementa.

$$S_{\text{ravnanje elementov}} = k_{\text{rav}} T_{\text{rav}}(d_{\text{pl.min}}) L_{\text{el}}$$

Predpostavimo linearno odvisnost od dolžine elementa L_{el} in verjetno obratno odvisnost od debeline najtanjše pločevine $d_{\text{min}} = \min(d_{\text{stojinem}}, d_{\text{pasnice}})$, saj tanjše, kot so pločevine, bolj se nosilci ob varjenju krivijo. Zaradi pomanjkanja pravih podatkov v literaturi, bo v nadaljnjem potrebno ta prispevek še raziskati in dodelati.

STROŠKI BARVANJA

Barvanje elementov in stikov poleg lepšega videza konstrukcijo tudi protikorozijsko zaščiti. Zopet lahko ocenimo stroške porabljenega časa ter materialne stroške, in to na enoto dvostranske površine pločevin $2A_{\text{pl}}$:

$$S_{\text{barvanje}} = (k_{\text{barv}} T_{\text{barv}} + k_{\text{m,barve}} M_{\text{barve}}) 2A_{\text{pl}}$$

Pri stroških procesa barvanja s stroškovnim koeficientom k_{barv} množimo časovni normativ barvanja na enoto dolžine $T_{\text{barv}} = k_{\text{deb}} T_{\text{b,nanos}}$, kjer je $T_{\text{b,nanos}}$ potrebni čas enega nanosa predpisane debeline in je k_{deb} korekcijski koeficient debeline nanosa, ki upošteva končno debelino premaza.

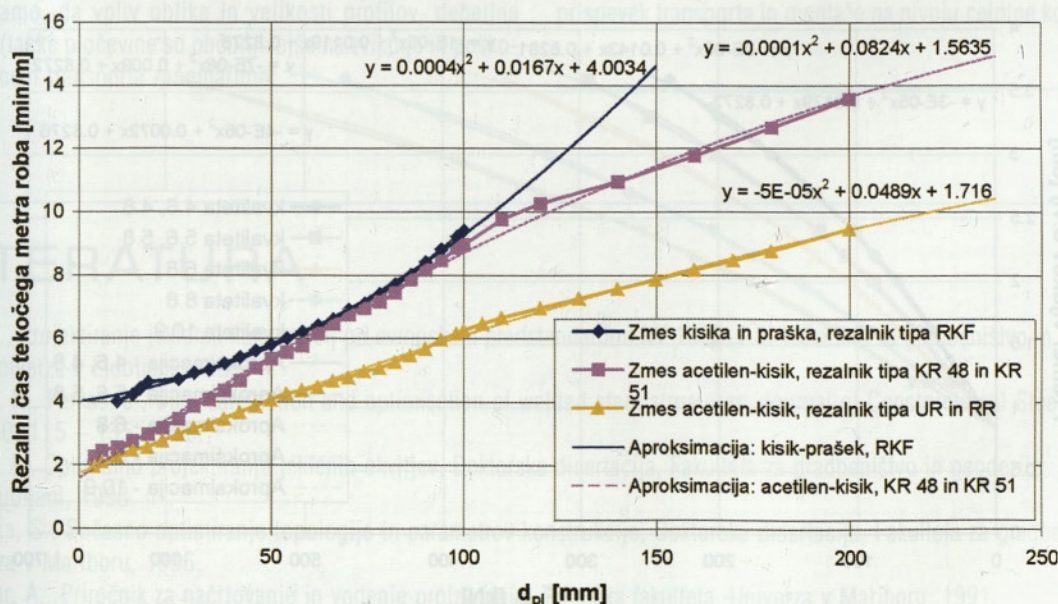
Tudi pri materialnih stroških barvanja se poraba barve na enoto površine M_{barve} lahko oceni preko porabe za določeno debelino nanosa $M_{\text{b,nanos}}$: $M_{\text{barve}} : M_{\text{b,nanos}} = k_{\text{deb}} M_{\text{b,nanos}}$.

STROŠKI STIKOV

Ocenjevanje stroškov za stike je kompleksnejše, saj izdelava stikov vključuje obdelavo dodatnih pločevin, torej dodatno porabo jekla in prispevek odločujočih proizvodnih procesov na pločevinah ter hkrati izvedbo stikovanja samega. Pri obdelavi dodatnih pločevin upoštevamo stroške varjenja, rezanja in barvanja.

Pri jeklenih konstrukcijah poznamo celo vrsto izvedb členkastih, delno togih in togih stikov. Vsaki od izvedb bi bilo potrebno ocenjevanje stroškov posebej prilagoditi, kar napeljuje na razvrščanje stikov po tipih. Obravnavajmo dve vrsti togih stikov:

- **Stik A: varjeni togi stik prečke na steber.** Za togost so potrebne štiri ojačitvene pločevine v stebru, katerih skupna širina in debelina se ujema s širino in debelino pasnic prečke, dolžina pa je enaka višini stojine stebra. Vse so delavniško obrezane, privarjene na stojino in pasnici stebra ter pobarvane. Čelna pločevina ni potrebna, saj se prečka privari na pasnico stebra na sami montaži (čelni zvar). Slednji stroški pa se že uvrščajo k stroškom montaže, zato se v sklopu stikov ne upoštevajo.
- **Stik B: vijučeni togi stik prečke na steber.** Tudi tu so identično stiku A predvidene štiri ojačitvene pločevine v stebru.



Slika 4: Plamensko ročno rezanje

V delavnici se na prečko s čelnim zvarom privari čelna pločevina debeline premera vijakov ($d_{ep} = d_{vij}$), širine prečke ($b_{ep} = b_{pr}$) in višine $h_{ep} = h_{pr} + 4(2d_o)$, kjer je d_o premer luknje. Okoli vsake pasnice so predvideni štirje vijaki (skupaj torej $n_{vij} = 8$ na stik), ki se jih preprosto zdimentzionira na polno nosilnost prečke:

$$F_{t,Rd} \geq F_t = \frac{W_{el,pr} f_y}{4h_T \gamma_M}$$

kjer je $F_{t,Rd}$ natezna nosilnost vijaka, F_t natezna sila na en vijak, $W_{el,pr}$ elastični odpornostni moment prečke, f_y meja plastičnosti jekla, h_T razdalja med težiščema pasnic prečke oz. skupin štirih vijakov ($h_T = h_{pr} - d_{pas}$) in γ_M materialni varnostni faktor. Pri zahtevani natezni nosilnosti vijaka $F_{t,Rd}$ lahko po priročniku za projektiranje jeklenih konstrukcij po ENV 1993-1-1 D. Bega [Beg, 1999] v odvisnosti od izbrane kvalitete vijakov izračunamo potrebno debelino vijaka d_{vij} . Na sliki 5 so prikazani diagrami odvisnosti debeline vijaka od natezne trdnosti in njihove aproksimacije s kvadratnimi parabolami. Premer luknje se lahko izračuna poenostavljeno kar za vse vijake enako (kot pri M16 – M24): $d_o = d_{vij} + 0.2$ cm. Luknjanje (2*8 lukenj na stik - čelna pločevina in pasnica stebra) se izvede v delavnici, privijanje vijakov pa je del montaže.

Stroški dodatne porabe jekla:

$$k_m \rho V_{stiki}$$

Upoštevana je dodatna poraba jekla, in sicer je v V_{stiki} vštet

volumen vseh ojačitvenih pločevin v stebrih, pri stikih tipa B pa še volumen vseh čelnih pločevin.

Stroški varjenja stikov:

$$S_{varjenje} = k_{var} (T_{var} l_{zv,st}) + (S_i k_{m,var,i} M_{var,i}) l_{zv,st}$$

Stroški varjenja se ocenjujejo podobno kot pri elementih, s tem da sestavljanje tu ne pride v poštev in so čelne pločevine privarjene na prečke s čelnimi zvari in ne kotnimi kot povsod drugod. Dolžina zvara ($l_{zv,st}$) pri stikih nastopi kot neznanka optimizacijskega problema. Pri ojačitvenih pločevinah je $l_{zv,st,oj} = 2(h_{oj} + 2b_{oj})$, pri varjenju čelne pločevine pa $l_{zv,st,čp} = h_{pr} + 2b_{pr}$. Ker so ti zvari praviloma kratki, se lahko z določenim faktorjem poveča varilni čas.

Stroški rezanja pločevin pri stikih:

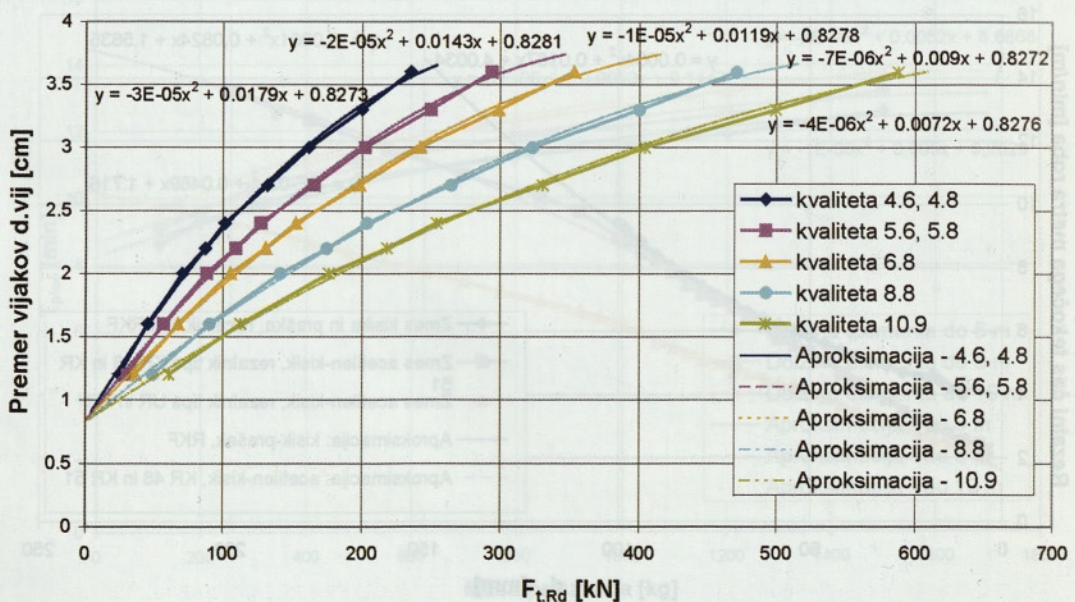
$$S_{rez,rob} = k_{rez} (T_{rez} l_{rob,st}) + (S_i k_{m,rez,i} M_{rez,i}) l_{rob,st}$$

Ker so pločevine lahke, zanemarimo člen za manipulacijo pločevin. Rezani rob posamezne pločevine $l_{rob,st}$ predstavlja kar njen obod.

Stroški barvanja:

$$S_{barvanje} = (k_{barv} T_{barv} + k_{m,barve} M_{barve}) 2A_{pl,st}$$

Barvanje se upošteva enako kot pri elementih in je $2A_{pl,st}$ dvostranska površina pločevin.



Slika 5: Debelina vijakov v odvisnosti od natezne trdnosti

Stroški luknjanja pločevin:

$$S_{luknjanje} = k_{luk} T_{luk} d_{pl}$$

Luknjanje oz. kar vrtanje pločevin je proces, ki ga je potrebno na novo opredeliti. Smiselna je linearna odvisnost od debeline vrtane pločevine d_{pl} . Vrtalni normativ lahko definiramo z obratno odvisnostjo od vrtnalnih hitrosti v_{vrt} , ki je odvisna od premera sve dra d_s in od specifičnega vrtnalnika: $T_{luk} = S_{npl} [n_{luk} f_{luk} / v_{vrt} (d_{sv})]$. Število lukenj za eno pločevino priključka je v našem primeru $n_{luk} = 8$, f_{luk} je korekcijski faktor (nastavitve parametrov vrtanja, čiščenje, brušenje lukenj, ...), k_{luk} pa stroškovni koeficient vrtanja.

Stroški vijakov na stik:

$$S_{vijaki} = k_{m,vij} (d_{vij}) n_{vij}$$

Stroški vijakov pri vijachenem stiku zajemajo le materialne stroške vijakov (cena vijakov), stroški stikanja elementov in vijachenja pa so del montaže. Stroškovni koeficient $k_{m,vij}$ je seveda funkcijsko odvisen od debeline vijakov določene kvalitete (aproksimacija s kvadratno parabolo). Število vijakov na stik je $n_{vij} = 8$.

STROŠKI TRANSPORTA

Stroški transporta so težko ocenljivi in nanje vpliva več parametrov. Vendar se jih v osnovi zdi najsmiselneje vrednotiti v odvisnosti od mase celotne konstrukcije ($\gamma V_{celotni}$), pri tem pa se zavedamo, da vpliv oblike in velikosti profilov, debeline pločevin (tanke pločevine so občutljivejše na zvijanje in poškodbe) pri ceni transporta zanemarimo:

$$S_{transport} = k_{transp} \gamma V_{celotni}$$

V stroškovnem faktorju k_{transp} lahko zajamemo vrsto prevoza, oddaljenost gradbišča od proizvodnje, razpon elementov, ...

STROŠKI MONTAŽE

Tudi montaža predstavlja težko opredeljiv del stroškov. V grobem ga zopet ocenimo glede na celotno maso konstrukcije $\gamma V_{celotni}$:

$$S_{montaza} = k_{montaza} \gamma V_{celotni}$$

Tu bi stroškovni koeficient $k_{montaza}$ moral upoštevati višino in zahtevnost konstrukcije, način izvedbe stikov (vijacheni ali varjeni), dolžino elementov, uporabljeno tehnologijo gradnje in mehanizacijo na gradbišču, itd.

SKLEP

Predlagana oblika namenske funkcije je odprta: katerikoli dodaten podatek ali parameter pomemben za ocenjevanje stroškov proizvodnje bi lahko namensko funkcijo nekoliko spremenil. V primeru obravnavanja nadaljnjih tipov priključkov bi se izraz za stroške stikov tem novim tipom prilagodil. Če bi želeli obravnavati tudi prekladne stike, bi se po komponentah in proizvodnih procesih ocenilo stroške analogno stikom tipa A in B. Toda osnovna ideja ostaja, torej ocenjevanje stroškov glede na normative proizvodnih procesov z njihovimi materialnimi stroški – na nivoju elementov in stikov, tem stroškom pa se prišteje še prispevek transporta in montaže na nivoju celotne konstrukcije.

LITERATURA

- Beg, D., Projektiranje jeklenih konstrukcij po evropskem predstandardu ENV 1993-1-1, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, 1999.
- Jarmai, K., Farkas, J., Cost calculation and optimisation of welded steel structures, Journal of Constructional Steel Research, 50, 115 – 135, 1999.
- Krajnc, A., Optimalno projektiranje jeklenih okvirjev, Doktorska disertacija, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, 1998.
- Kravanja, S., Sočasno optimiranje topologije in parametrov konstrukcije, Doktorska disertacija, Fakulteta za gradbeništvo, Univerza v Mariboru, 1996.
- Polajnar, A., Priručnik za načrtovanje in vodenje proizvodnje, Tehniška fakulteta, Univerza v Mariboru, 1991.

POROČILA Z ZNANSTVENIH IN STROKOVNIH SREČANJ

GRADBENI PROIZVODI ZA ENOTNI TRG: PRIČAKOVANJA IN STVARNOST

CONSTRUCTION PRODUCTS FOR THE SINGLE MARKET: EXPECTATIONS AND REALITY

UDK 006.8(4) : 338.45 : 69

JANJA PEROVIC - MAROLT

Konferenca s tem naslovom je potekala 4. in 5. decembra 2001 v Bruslju. Trajala je dva dni in je imela štiri glavne teme:

- direktiva o gradbenih proizvodih v očeh sodelujočih,
- znak CE na podlagi tehničnih specifikacij,
- izvajanje in uveljavljanje direktive o gradbenih proizvodih v nacionalnih sistemih ter
- pogled v prihodnost.

Direktiva o gradbenih proizvodih je bila tretja direktiva tako imenovanega novega pristopa, nove poti držav članic Evropske unije, ki so soglašale, da bodo sledile poenotenju notranjega trga. Namesto podrobne tehnične harmonizacije je novi pristop opredelil jasen pravni okvir, ki temelji na bistvenih zahtevah, ki na koncu zagotavljajo visoko stopnjo varovanja skupnih interesov. Namen direktive je zelo jasen: zagotoviti primeren pravni okvir za delovanje notranjega trga gradbenih proizvodov, ne da bi se s tem zmanjšale obstoječe upravičene stopnje varnosti v državah članicah. Kot je dobro znano, se ta direktiva v nekaterih pomembnih pogledih razlikuje od drugih direk-

tiv »novega pristopa«: najpomembnejši je gotovo ta, da se bistvene zahteve, določene v direktivi, ne nanašajo na gradbene proizvode, temveč na gradbeni objekt, v katerega bodo ti proizvodi vgrajeni. V primeru direktive o gradbenih proizvodih zato proizvod ne more neposredno izpolnjevati bistvenih zahtev in je izpolnitev tehničnih specifikacij (standardov ali evropskih tehničnih soglasij) le pot do pridobitve znaka CE, ki potrjuje skladnost z zahtevami direktive.

Vloga CEN in Evropske organizacije za tehnična soglasja (European Organization for Technical Approvals - EOTA) je po temtakaem bistvena in razpoložljivost standardov ali evropskih tehničnih soglasij je v tem primeru pogoj za polno vpeljavo direktive. Prvi harmonizirani standard - EN 197-1:2000, Cement - 1. del: Sestava, zahteve in merila skladnosti, ki »pokriva« velik del trga pomembnih proizvodov, je bil potrjen v aprilu 2001, do konca leta 2001 jih je bilo že 50. Zasnova in obravnava pripravljenih tem konference sta bili zelo široki, sklepe razprave, ki povzemajo dogajanje na tem področju, pa lahko združimo v tri poglavja, kot sledi.

DOSEŽKI

Dvanajst let od objave Direktive o gradbenih proizvodih je bilo potrebnih, da so vsi udeleženci procesa graditve iz držav članic izpopolnili svoje razumevanje direktive. To je postavilo temelje za razvoj enotnega trga za gradbeništvo. Trden pravni okvir za sprejem direktive je sedaj tu. Precejšen paket harmoniziranih evropskih standardov (imenovanih tudi standardi za proizvode) in preskusnih metod je že pripravljen ali pa bo kmalu. Tudi pomembno število prostovoljnih evropskih standardov je že izdano. Malo verjetno je, da bi bilo to storjeno brez gonilne sile direktive o gradbenih proizvodih.

Izdelane so tudi že številne smernice za evropska tehnična soglasja, na njihovi podlagi se podeljuje znak CE. Prav tako narašča število evropskih tehničnih soglasij (European Technical Approvals - ETA), za katere ni izdelanih smernic. Realno se pričakuje, da bosta za nekatere proizvode kmalu potrebna le en preskus in en certifikat, ki bo priznan in veljaven v vseh državah članicah evropskega gospodarskega prostora.

Evropski požarni preskus in klasifikacija

Avtorica:

Janja Perovic-Marolt, univ. dipl. inž. gradb., koordinator projektov, SIST Slovenski inštitut za standardizacijo, Šmartinska 140, 1000 Ljubljana, e-pošta: janja.perovic-marolt@sist.si

proizvodov, ki bosta nadomestila obstoječe nacionalne sisteme, sta skoraj gotova.

Evrokodi - evropski standardi za računanje konstrukcij - so na voljo v obliki predstandardov (ENV), predlogi za evrokode kot standarde pa so že v pripravi. Države članice prilagajajo nacionalne predpise, da jih bodo lahko upoštevale. Številni laboratoriji, certifikacijski in kontrolni organi so bili priglasi pri Evropski komisiji, da bi lahko izvajali postopke potrjevanja skladnosti. Začela se je tudi koordinacija njihove aktivnosti za zagotavljanje skladne uporabe direktive.

Države članice so začele pregledovati nacionalne predpise, da bi jih prilagodile proizvodom, označenim z znakom CE. Na internetu je na voljo že vrsta informacij s tega področja.

PROBLEMI

Proizvajalci gradbenih proizvodov žal še vedno premalo poznajo direktivo o gradbenih proizvodih in posledice znaka CE. Zamude pri izdajanju evropskih tehničnih specifikacij (tako standardov kot tudi tehničnih soglasij) so odločno predolge. Pomanjkanje evropskih standardov prve generacije bo v bližnji prihodnosti zahtevalo dokončanje baze druge generacije standardov.

Vedeti je treba, da znak CE zagotavlja le mesto na trgu. Da pa bi se proizvod lahko uporabljal, zahtevajo tehnične specifikacije kot del sistema označevanja z znakom CE predvsem informacije za vgraditev oziroma uporabo. Ta informacija je potrebna za povezavo med obnašanjem proizvodov in predpisi za graditev objektov. Marsikateri veji industrije in nekaterim državam članicam se poleg znaka CE še vedno zdi potreben tudi prostovoljni znak kakovosti.

Znak CE bo povzročil tekmo le na podlagi cene, kar bo po mnenju nekaterih lahko pripeljalo do znižanja kakovosti proizvodov. Proizvodi, ki jih obstoječi standarde za proizvode ali evropska tehnična soglasja ne obravnavajo, pa bodo imeli težave pri hitrem pridobivanju znaka CE,

ki bo na ta način oviral uvajanje novosti. Mnogi standardi v splošnem ohranjajo ustaljene sestavne dele, vendar je treba zaradi hitrejšega uvajanja novosti pripravljati standarde na podlagi obnašanja proizvodov.

Pet držav članic še ni vzpostavilo obveznega CE-označevanja, kar vodi k zmedeni in deformaciji trga. Seveda je to bolj pravno vprašanje kot resničen problem, saj morajo biti domala vsi proizvodi označeni z znakom CE, kakor hitro je to mogoče. Posamezne države članice opažajo, da označevanje z znakom CE ni skladno z nacionalnimi potrebami in skušajo najti poti za uvajanje dodatnih zahtev.

Da bi dosegli dosledno vpeljavo direktive, morajo priglasi organi sodelovati v posvetovalni skupini in ustrezni sektorski skupini.

Majhnim in srednje velikim podjetjem je verjetno mnogo težje izpolniti zahteve za znak CE kot velikim, zlasti ker si velika lahko privoščijo sodelovanje pri razvoju tehničnih specifikacij. To pa resnično vzbuja skrb, saj so majhna in srednja podjetja poznana kot inovativnejša od velikih.

Evropa potrebuje tudi usklajene metode za računanje toplotnega in akustičnega obnašanja stavb. Prav tako je treba v državah članicah zagotoviti dosleden tržni nadzor.

NADALJNJE AKTIVNOSTI

Cilj aktivnosti je ustvariti učinkovito in kakovostno gradbeno industrijo za prihodnje generacije. Vsi, ki sodelujejo v tem procesu, morajo prepoznati in sprejeti odgovornost za svojo vlogo pri tem. Nikakor ni koristno grajati drugih zaradi prepočasnega napredka. Industrija mora biti manj zaščitniška, pri tem pa je treba upoštevati, da bo v prihodnosti zdrav in sposoben gradbeni sektor zagotovil najboljše možnosti na trgu.

Pripravo evropskih tehničnih specifikacij je treba pospešiti. Čeprav je ta problem prisoten že vrsto let in je bilo sprejetih že mnogo odločitev, pa so rezultati skrom-

ni in niso izpolnili pričakovanj. Vsi vpleteni: CEN, nacionalni organi za standarde, Evropska organizacija za tehnična soglasja in nacionalni organi za tehnična soglasja morajo privzeti čvrsto politiko menedžmenta in vzpostaviti nagrajevanje pri doseganju ciljev ter sankcije pri zamudah.

Viri Evropske komisije za gradbeništvo se morajo povečati. Ne moremo pričakovati, da bo sedanja majhna ekipa izpolnila zahteve sektorja, ki v Evropski uniji ustvarja 9 % bruto družbenega proizvoda. Praktična implementacija Direktive o gradbenih proizvodih, kot je znak CE, postaja realnost in ta bo tej ekipi sčasoma postavila veliko zahtev, kar bo še otežilo njeno delo.

Povečati je treba promocijo na ravni držav, tako da bodo države članice jamčile, da se vsi, ki sodelujejo v procesu graditve, zavedajo prihoda znaka CE in njegovih posledic.

Zaskrbljenost v zvezi z majhnimi in srednjimi podjetji je upravičena in Evropska komisija mora zagotoviti preverjanje učinka znaka CE na taka podjetja. Evropska komisija mora nujno pripraviti navodila o tem, kaj je in kaj ni dovoljeno pri znakih kakovosti (nacionalnih ali evropskih).

Kljub začetnim težavam, ki so trajale več kot deset let, se priprava in izdaja standardov na tem zelo specifičnem in kompleksnem področju pospešujeta. Lahko upamo, da bo k že izdanim harmoniziranim standardom letos dodani še veliko novih, kar bo pripomoglo k poenotenju trga tudi na tem področju.



SLOVENSKI
INŠTITUT ZA
STANDARDIZACIJO

prodaja	informacijska točka
tel. 01/ 478 30 63	tel. 01/ 478 30 68
faks. 01/ 478 30 97	faks. 01/ 478 30 98
e-pošta prodaja@sist.si	e-pošta info@sist.si

Slovenski inštitut za standardizacijo
Prodaja
Šmartinska c. 140
1000 Ljubljana

SIST CD-ROM: Slovenska standardizacija na področju gradbeništva

SIST CD-ROM Slovenska standardizacija na področju gradbeništva obsega:

- o osnovne podatke o Slovenskem inštitutu za standardizacijo
- o pomembne podatke o delu slovenske nacionalne standardizacije na področju gradbeništva
- o kompletni spisec vseh veljavnih in razveljavljenih standardov na področju gradbeništva

Spisec sestavljata pregled slovenskih standardov in pregled predlogov slovenskih standardov. Glavno poglavje v vsakem delu predstavlja seznam po področjih, ki omogoča izbiro dokumentov po vsebinskih področjih in podaja vse njihove podatke. Kazalo področij temelji na mednarodni klasifikaciji za standarde (International Classification for Standards, ICS) in usmerja na oba dela kataloga.

Spisec je oblikovan v ADOBE ACROBAT .pdf formatu.

NAROČILNICA

Naročam SIST CD-ROM/GRADB 2/2002

elektronska izdaja po ceni 4000 SIT _____ izvodov

Z naročilom tudi sprejemam določila o zaščiti avtorskih pravic, ki jih ima na SIST CD-ROM/GRADB Slovenski inštitut za standardizacijo. Dovoljena je uporaba po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah in v skladu z naslednjimi določili:

- CD-ROM/GRADB se sme naložiti in uporabljati na osebnih računalnikih in omrežjih, ki so izključno v lasti in pod nadzorom naročnika, uporaba pa ne zajema morebitnih povezanih organizacij.
- Naročnik nima pravice do nalaganja ali pošiljanja CD-ROM/GRADB v javno dostopno omrežje, ga razmnoževati za prodajo in distribucijo, dajati pravice uporabe, dajati v najem ali v zakup.
- Naročnik CD-ROM/GRADB ne sme spreminjati, iz njega odstraniti oznak izdajatelja, lahko pa ga uporablja kot podporo za dokumentacijo, povezano z njegovim delom.

Naročnik (pri organizacijah odgovorna oseba)

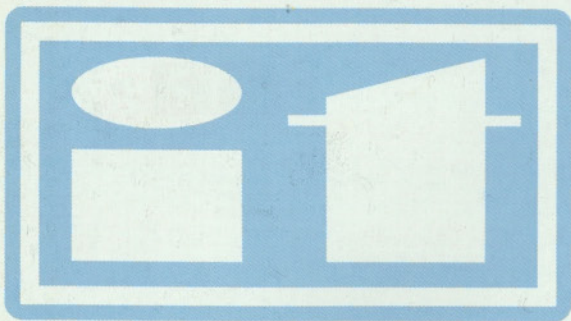
Organizacija

Naslov

Davčna številka

Datum

Podpis (pri organizacijah tudi žig)



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

MESEC	SEMINAR	IZPITI			
		GRADBENIKI	ARHITEKTI	KRAJINARJI	
Maj	13.-17.		pisni: 18.5. ustni: 27. - 30.5.		
Junij		pisni: 1.6. ustni: 10. - 14.6.			
September	23.-27.				
Oktober	21.-25.	pisni: 26.10.			
November	18.-22.	ustni: 4. - 7.11. pisni: 23.11.		pisni: 9.11. ustni: 18. - 21.11.	
December	16.-20.	ustni: 2. - 5.12.			

A. PRIPRAVLJALNE SEMINARJE

organizira **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS)**, Karlovška 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 90.000,00 SIT z DDV.

Seminar za ARHITEKTE IN KRAJINSKE ARHITEKTE poteka (prve) 3 dni in jih pripravlja za splošni del strokovnega izpita. Cena seminarja je 45.600,00 SIT z DDV.

K seminarju vabimo tudi kandidate, ki so že opravili strokovni izpit po določeni stopnji izobrazbe, pa so si pridobili višjo in morajo opravljati dopolnilni strokovni izpit. Ponujamo jim predavanje iz področja "Investicijski procesi in vodenje projektov". Cena predavanja in literature je 12.600,00 SIT z DDV.

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

B. STROKOVNI IZPITI

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS)**, 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.