

K-UDC 05:625; ISSN 0017-2774 • LJUBLJANA, JANUAR-FEBRUAR-MAREC, 1995 • LETNIK XXXIV • STR.: 1-58

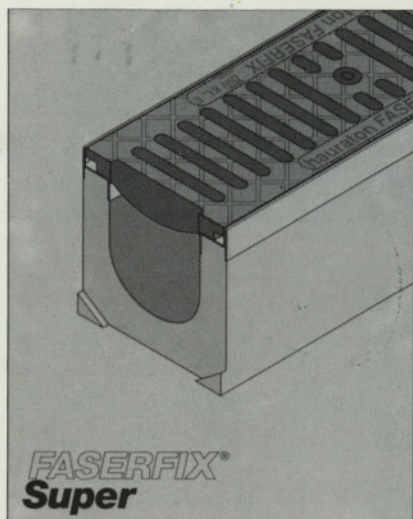
GRADBENI VESTNIK

1-2-3

1995

 **hauraton**

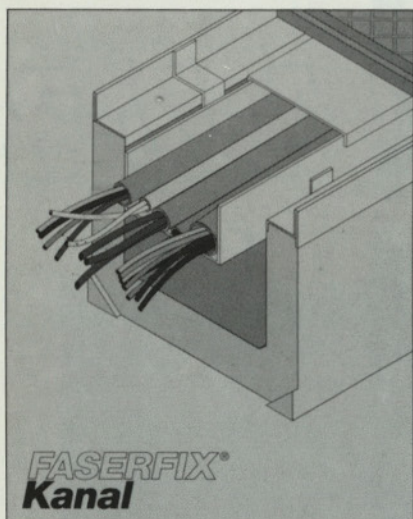
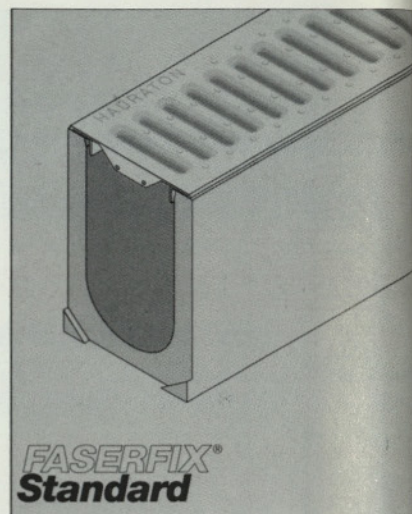




 **hauraton**

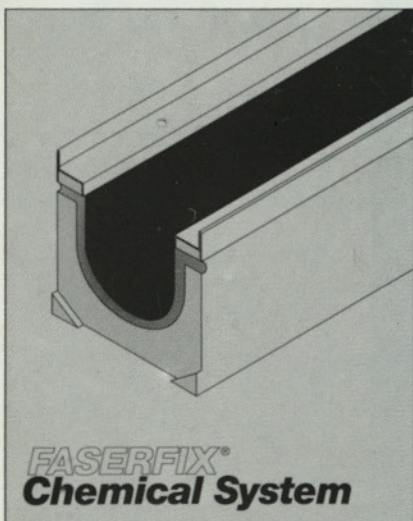
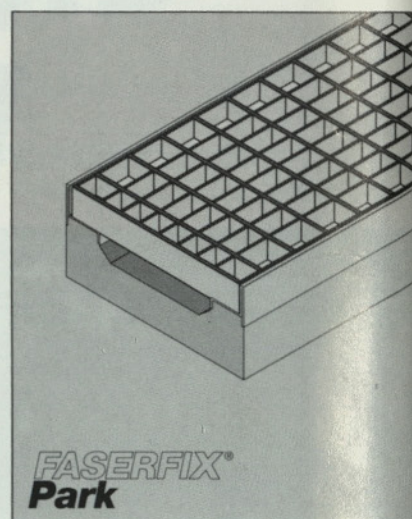
učinkovita rešitev odvajanja meteornih
voda z različnih površin najširša
paleta rešetk in kanalet
od 15 kN do 900 kN
program iz nerjavečega jekla za
kuhinje in prehrambeno industrijo
športni program za stadione
hidravlični preračun in CDA skice
vgradnje

**PREPROSTA MONTAŽA,
UČINKOVITOST, ESTETSKI VIDEZ,
DIN 19580, ISO 9001**



 **hauraton**

**PREDSTAVNIŠTVO V SLOVENIJI
SORA 57, 61215 MEDVODE
TEL/FAX 061/611-285**



OBIŠČITE NAS NA GRADBENEM SEJMU V GORNJI RADGONI OD 18. DO 22. APRILA 1995

IŠČEMO TUDI TRGOVINE Z GRADBENIM MATERIALOM, KI JIH ZANIMA PRODAJA NAŠIH IZDELKOV

GRADBENI VESTNIK

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE
ŠT. 1-2-3 • LETNIK 44 • 1995 • ISSN 0017-2774

VSEBINA-CONTENTS

Članki, študije,
razprave
Articles studies,
proceedings

- Amalija Trauner:
CaCl₂ PRI GRADNJI IN VZDRŽEVANJU CEST TER VPLIV NA NJIHOVO
VARNOST 2 ✓
CaCl₂ FOR ROAD BUILDING AND MAINTAINING AND ITS INFLUENCE
ON ROAD SAFETY
- Vlado Oštir, Janez Reflak:
VPLIV PODOJNOSTI LINIJSKIH PODPOR NA NOTRANJE STATIČNE
VELIČINE V PLOŠČAH IN V NOSILCIH 20
THE INFLUENCE OF FLEXIBILITY OF LINEAL SUPPORTS ON INTERNAL
FORCES IN PLATES AND GIRDERS
- Marjan Pipenbaher:
NOVOSTI PRI SNOVANJU IN IZVEDBI PREMOSTITVENIH OBJEKTOV 26 ✓
NEW APPROACH IN DESIGN AND CONSTRUCTION OF BRIDGES
- Frañc Saje:
POŽARNA VARNOST BETONSKIH KONSTRUKCIJ 34
FIRE SAFETY OF CONCRETE STRUCTURES

Poročila – Informacije
Reports – Information

- Bojan Leben:
SLOVENIJA, PRIDRUŽENI ČLAN FEHRL 41

Poročila Fakultete za
arhitekturo,
gradbeništvo
in geodezijo
Univerze v Ljubljani
Proceedings of the
Department of Civil
Engineering University,
Ljubljana

- Maruška Šubic Kovač:
FAKTOR IZRABE ZEMLJIŠČA KOT MERILO RACIONALNE RABE ZEM-
LJIŠČA V TRŽNEM GOSPODARSTVU IN PRI NAS 43
LAND USE INTENSITY AS A MEASURE OF ECONOMIC LAND USE IN
THE MARKET ECONOMY AND IN SLOVENIA

Novosti – Gradbeništvo
Tehniška fakulteta
Univerza v Mariboru
Civil Engineering News
University in Maribor

- Andrej Štrukelj:
UPORABA METODE PRESEČIŠČ ZA SNEMANJE FASAD OBSTOJEČIH
OBJEKTOV 49
USING THE METHOD OF INTERSECTIONS FOR MEASUREMENT AND
RECORDING OF BUILDING FRONTS

Informacije Zavoda za
raziskavo materiala in
konstrukcij Ljubljana
Institute for testing and
research in materials
and structures
Ljubljana

- Jelena Srpić:
SODOBNI LESENI MOSTOVI 53 ✓
MODERN TIMBER BRIDGES

CaCl_2 PRI GRADNJI IN VZDRŽEVANJU CEST TER VPLIV NA NJIHOVO VARNOST

UDK 625.76:699.83:546.41'131

AMALIJA TRAUNER, ALEKSANDER KERSTEIN

P O V Z E T E K

Sestavek daje primerjalno sliko ustreznosti dveh kemičnih sredstev za odtajanje ledu natrijevega klorida in kalcijevega klorida (NaCl , CaCl_2), ki sta poznani v svetu kot najbolj uporabni.

Avtorja v nadaljevanju dokazujeta prednosti kalcijevega klorida pred natrijevim v smislu gospodarske koristnosti, z vidika prometne varnosti, vpliva na človeka, na pitno vodo, na rodno zemljo in rastline. V članku so na kratko obdelane vse tri tehnologije proizvodnje kalcijevega klorida. Za naš bivalni prostor je zanimiv tretji. To je reakcija med klorovodikovo kislino in apnencem. Po tem postopku kalcijev klorid pridobivajo v CP Celje – obrat asfaltna baza – kamnolom Velika Pirešica.

Poseben poudarek je dan uporabi kalcijevega klorida pri gradnji cest, kar je še posebej zanimivo za to zvrst strokovnih bralcev.

CaCl_2 FOR ROAD BUILDING AND MAINTAINING AND ITS INFLUENCE ON ROAD SAFETY

S U M M A R Y

The article features the comparison between two chemical substances sodium chloride and calcium chloride which are recognized in the world as the most useful ones.

The authors further provide evidence of the advantages of calcium chloride over sodium chloride regarding economy use from the point of traffic safety and ecology (effects on humans, drinking water, soil and plants). All the three technological processes of calcium chloride production are explained; the last one is most suitable for our area. It is based on the reaction between chlorohydrogen acid and limestone. This process of calcium chloride production is used by CP Celje – obrat asfaltna baza in kamnolom Velika Pirešica.

Special emphasis is given to practical use of calcium chloride in road building what may be of great interest for professional readers.

1.0. UVOD

Gradnja in vzdrževanje cestne mreže sta odločilna za ekonomski napredek vsake dežele. Omrežje varnih in prevoznih cest v vseh vremenskih razmerah je pomembno za vse panoge gospodarstva in za varnost udeležencev v prometu posebno v zimskem času, ko promet zaradi snega in ledu poteka po zglaženem cestišču.

Posebno pri gradnji in vzdrževanju cest na severnoameriškem kontinentu ima kalcijev klorid (CaCl_2) veliko vlogo. To je razumljivo, saj so prav na tem kontinentu največja ležišča kalcijevega klorida. Zato so se že v sredi stoletja v ZDA in Kanadi razvili razni vidiki uporabe kalcijevega klorida pri gradnji in vzdrževanju cest. Pri tem ločimo tri osnovne vidike, in sicer:

Avtorja:

Amalija Trauner, dipl. inž., Kerstein ing. Aleksander

Republiški inšpektor za varstvo okolje, direktor obrata asfaltna baza in kamnoloma Vel. Pirešica

- protiprašna obdelava gramoznih-makadamskih cestišč,
- povečanje nosilnosti nosilnih in zapornih plasti cestišč v makadamski izvedbi ali z asfaltno prevleko,
- kot posipno sredstvo za odtajanje ledu na cestah pri zimskem vzdrževanju cest.

Pomen kalcijevega klorida se tako rezultira v reševanju najbolj problematičnega področja gradnje cest; to je utrjevanje in zagotavljanje nosilnosti zgornjega stroja cest. Določeni učinki kalcijevega klorida zagotavljajo izdelavo gramoznih vozišč brez asfalta, ki pa so boljša od običajnega »makadama«. To je prej omenjena protiprašna obdelava gramoznih vozišč s kalcijevim kloridom, ki obremenjuje tudi kohezivnost vgrajenih materialov in večjo nosilnost. Pri vozišču ne smemo računati samo na statično in dinamično obremenitev, ampak tudi na atmosferske vplive v povezavi z velikim nihanjem temperature.

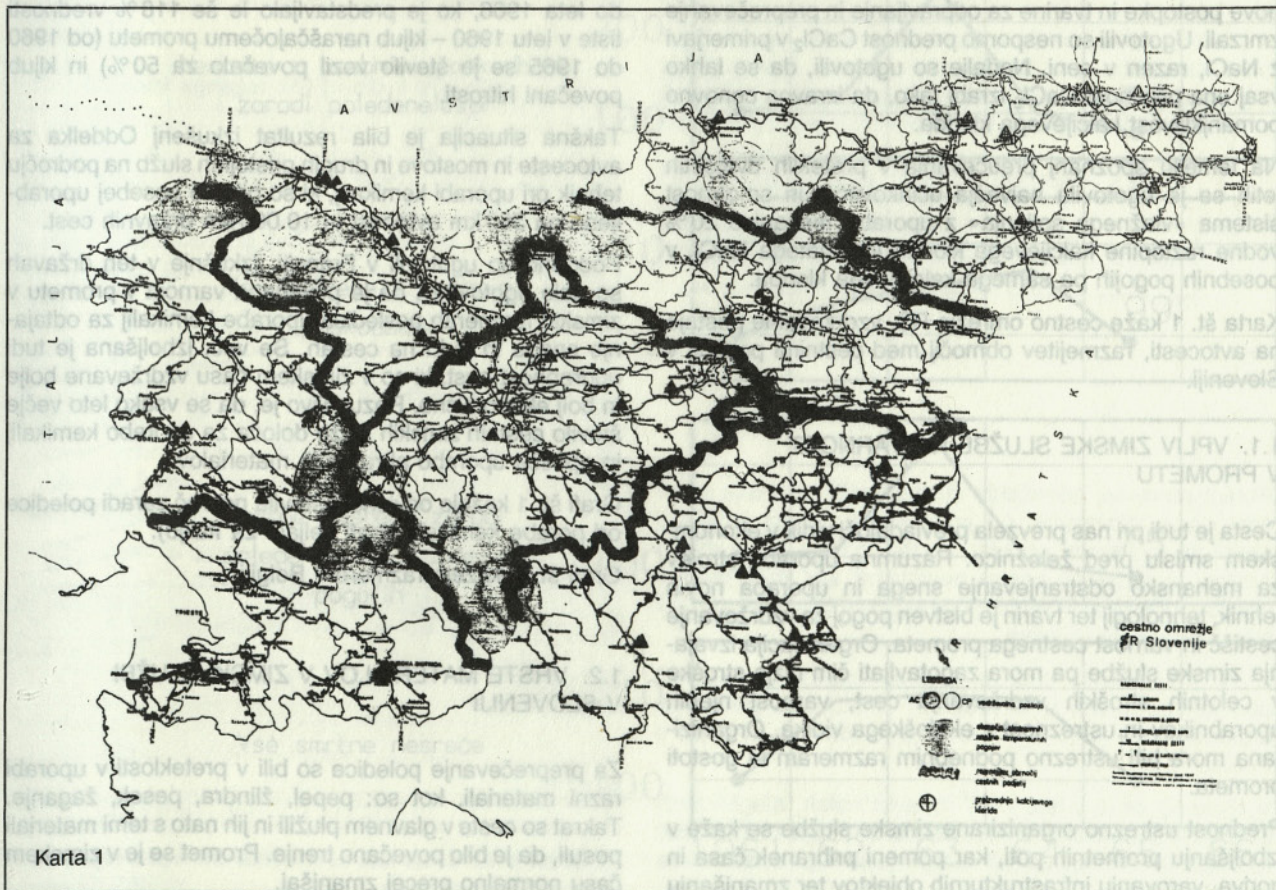
Znano je, da je takšna tehnika na ameriškem kontinentu povsem izpodrinila klasični »makadam«. Seveda je ta tehnika primerna za ceste z manjšo prometno obremenitvijo. Ima pa še to prednost, da je cenena. Po drugi strani pa s kalcijevim kloridom obdelani gramozni sloj ceste predstavlja kakovostno podlago za asfaltno prevleko. Le-ta ima poleg nosilnosti še odpornost proti zmrzovanju, ki je eden od pomembnih dejavnikov pri nastanku poškodb na cestah. Vzročno s tem je povezano tudi vzdrževanje cest, ki med drugimi zajema odpravo poškodb na cestah

po odjugi in je tehnološko in stroškovno ob normalnih zimah zahtevno.

V šestdesetih letih so se te tehnike začele razvijati in uporabljati tudi v Zahodni Evropi, potem ko je Solvay zagotovil večje količine relativno cenene CaCl₂ iz odpadnih lužin v postopku pridobivanja sode. V tedanji Jugoslaviji do leta 1986 CaCl₂ ni nihče proizvajal, takrat pa so v CP Celje prišli na idejo, da bi ga proizvajali iz odpadnih surovin, predvsem kislin. Njihov cilj je bil pridobivanje CaCl₂ kot posipnega sredstva za odpravo zmrzali. Na podlagi literature o teoretičnih dognanjih in tujih praktičnih izkušnjah pa se je pokazalo, da je uporaba CaCl₂ širša od samega zimskega vzdrževanja. Tako so raziskali tehnično-tehnološke možnosti uporabe CaCl₂ tudi pri gradnji in vzdrževanju cest na splošno in temu primerno začrtali tudi proizvodnjo. V letu 1987 so začeli s pilotsko proizvodnjo in dve leti kasneje z redno.

Posebno zanimiv je kratek zgodovinski razvoj tehnologije vzdrževanja cestnega sistema v zimskih razmerah.

Pri nas smo tja do petdesetih let uporabljali za vzdrževanje cest v hladnih vremenskih razmerah različne posipne materiale, ki naj bi predvsem zmanjšali gladkost vozišč. To so bili priročni materiali in v vedno večji meri za to pripravljeni kamniti drobirji. Ta postopek se je do sredine petdesetih let najbolje obnesel in se razvil od preprostega ročnega posipavanja do popolnega avtomatiziranega postopka posipavanja teh tvarin.



Z leti so izkušnje pokazale, da za zagotovitev varne vožnje, za zagotavljanje vse večjih hitrosti in gostote prometa ti ukrepi ne zadoščajo, saj je učinek zaradi razmeta kratkotrajen, število posipov pa veliko.

V šestdesetih letih se je težišče prizadevanja preneslo na iskanje kemičnih sredstev za preprečevanje zmrzali oziroma za preventivne namene. Med kemičnimi sredstvi je največji razmah uporabe doživel natrijev klorid (NaCl). Temu je pripomogla lahka dostopnost, cenenost, načelno ustrezen postopek in možnost uporabe z že razvitimi mehaniziranimi pripravami za posipavanje drobljenih kamenin. S tem je bila dana možnost uporabe kombinacije natrijeve soli in drobljene kamenine ali vsake tvarine posebej. Zaradi prednosti, ki ga je imel postopek z uporabo NaCl pred uporabo samih kamnitih drobirjev, se je ta postopek hitro razširil. V zahtevnejših zimskih prometnih razmerah (visoka gostota prometa in temperatura pod -10° C) v svetu pa so se pokazale tri temeljne slabosti tega postopka:

1. Enaka občutljivost za promet kot pri kamnitih drobirjih (ker je NaCl granulometrijsko podoben drobnemu pesku).
2. Pri temperaturi okoli -8° C uporabna lastnost za topljenje ledu in snega praktično preneha delovati.
3. Kasnejše raziskave so pokazale tudi ekološko neustreznost NaCl.

Zaradi tega in prej navedenega so razvili v Zahodni Evropi nove postopke in tvarine za odpravljanje in preprečevanje zmrzali. Ugotovili so nesporno prednost CaCl₂ v primerjavi z NaCl, razen v ceni. Nadalje so ugotovili, da se lahko vsaj ena prednost CaCl₂ izrazi tako, da izravna cenovno pomanjkljivost kalcijevega klorida.

Na temelju spoznanj preučevanja v preteklih dvajsetih letih se je ugotovila največja učinkovitost in smotrnost sistema »vlažnega soljenja« z uporabo mešanice 20 % vodne raztopine kalcijevega klorida in zrnatega NaCl, v posebnih pogojih pa samega kalcijevega klorida.

Karta št. 1 kaže cestno omrežje RS, vzdrževalne postaje na avtocesti, razmejitev območij med cestnimi podjetji v Sloveniji.

1.1. VPLIV ZIMSKE SLUŽBE NA VARNOST V PROMETU

Cesta je tudi pri nas prevzela prevladujoči vidik v ekonomskem smislu pred železnico. Razumna uporaba strojev za mehansko odstranjevanje snega in uporaba novih tehnik, tehnologij ter tvarin je bistven pogoj za vzdrževanje cestišč in varnost cestnega prometa. Organizacija izvajanja zimske službe pa mora zagotavljati čim nižje stroške v celotnih stroških vzdrževanja cest, varnost njenih uporabnikov in ustreznost z ekološkega vidika. Organizirana mora biti ustrezno podnebnim razmeram in gostoti prometa.

Prednost ustrezno organizirane zimske službe se kaže v izboljšanju prometnih poti, kar pomeni prihranek časa in goriva, varovanju infrastrukturnih objektov ter zmanjšanju

števila prometnih nezgod.

V Sloveniji je bilo storjenih zelo malo raziskav, ki bi pokazale na odnose med zimskim vzdrževanjem in varnostjo uporabnikov cestnega sistema ter na vpliv intervencij zimske službe na nastajanje prometnih nezgod.

Več je bilo v tej smeri storjenega v svetu. Tako po podatkih sodeč v državah Srednje Evrope 10–15 % vseh prometnih nesreč pripisujejo zimskim razmeram na vozišču.

Stopnja prometnih nesreč pred posipanjem je 6-krat večja kot zunaj zimskega obdobja, posipanje cest pa jo zmanjšuje z 9,5 na 2,5 nesreč, šteto na milijon voznih kilometrov.

Očitno je, da posipanje cest vzpostavlja skoraj normalne pogoje in zmanjšuje tveganje, ki ga s sabo nosijo poledenele poti.

Pri odčitavanju grafov je jasno razvidno, da je pri razširjeni rabi kemikalij in pridobljenih izkušnjah z leti število nesreč zaradi poledice v upadanju.

Tretji graf kaže krivulji gibanja števila nesreč v cestnem prometu, ki so bile povzročene direktno ali indirektno zaradi zimskih pogojev, saj je vsaka nesreča lahko skupek okoliščin (napake voznika, stanja vozila, atmosferskih pogojev itd.). Vrh krivulje v letu 1963 je posledica izredno hude zime v letu 1963.

Število nesreč zaradi poledice je redno in hitro upadalo do leta 1966, ko je predstavljalo le še 118 % vrednosti tiste v letu 1960 – kljub naraščajočemu prometu (od 1960 do 1965 se je število vozil povečalo za 50 %) in kljub povečani hitrosti.

Takšna situacija je bila rezultat izkušenj Oddelka za avtoceste in mostove in drugih pristojnih služb na področju tehnik pri uporabi kemikalij, ki so bile še posebej uporabljene na 350 km avtocest in 10.000 km državnih cest.

Podobno so ugotovili v Franciji. Izkušnje v teh državah so dale ugotovitev, da je povečana varnost v prometu v zimskih razmerah posledica uporabe kemikalij za odvajanje snega in ledu na cestah. Še več, izboljšana je tudi uporabnost cest, ki so v zimskem času vzdrževane bolje in bolj ekonomično. Razumljivo je, da se vsako leto večje število cestnih zimskih služb določa za uporabo kemikalij in opuščja uporabo abrazivnih materialov.

Grafi št. 1 kažejo odvisnost števila nesreč zaradi poledice od porabe kemikalij (grafi veljajo za Italijo).

Grafi št. 2 kažejo razmere v Belgiji.

1.2. VRSTE MATERIALOV V ZIMSKI SLUŽBI V SLOVENIJI

Za preprečevanje poledice so bili v preteklosti v uporabi razni materiali, kot so: pepel, žlindra, pesek, žaganje. Takrat so ceste v glavnem plužili in jih nato s temi materiali posuli, da je bilo povečano trenje. Promet se je v zimskem času normalno precej zmanjšal.

Poraba kemikalij 1

Nesreče zaradi poledenelosti
v zimskih pogojih

3.000

Vse nesreče

Podatki kažejo, da je število nezgod na višjih tleh in

CaCl₂ in NaCl.

Nesreče z osebnimi poškodbami
zaradi poledenosti 1

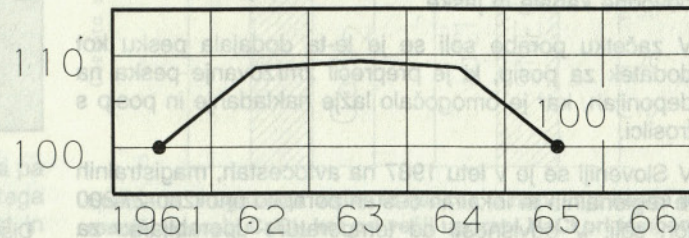
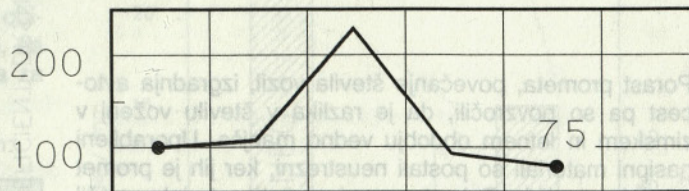
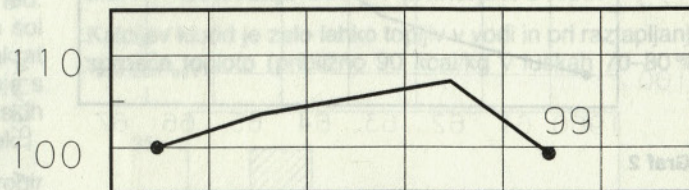
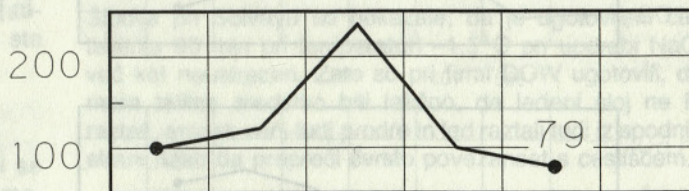
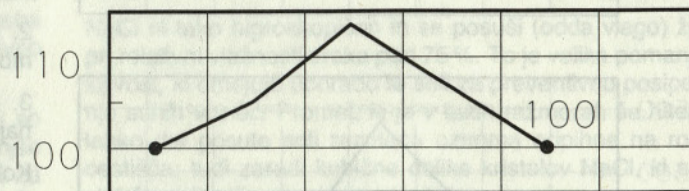
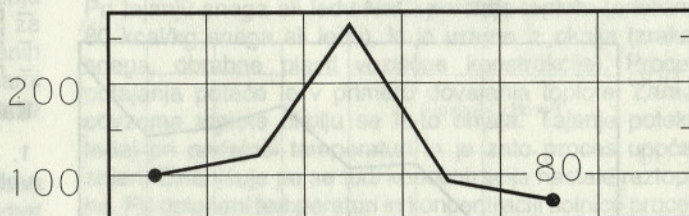
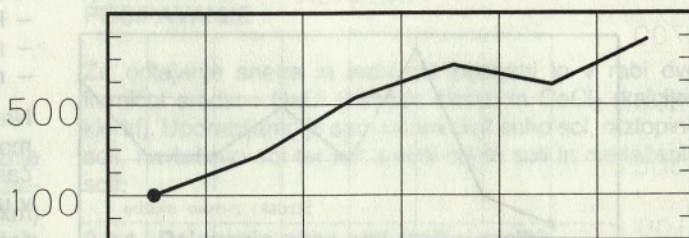
Vse nesreče z osebnimi
poškodbami

Smrtne nesreče zaradi
poledenosti v zimskih

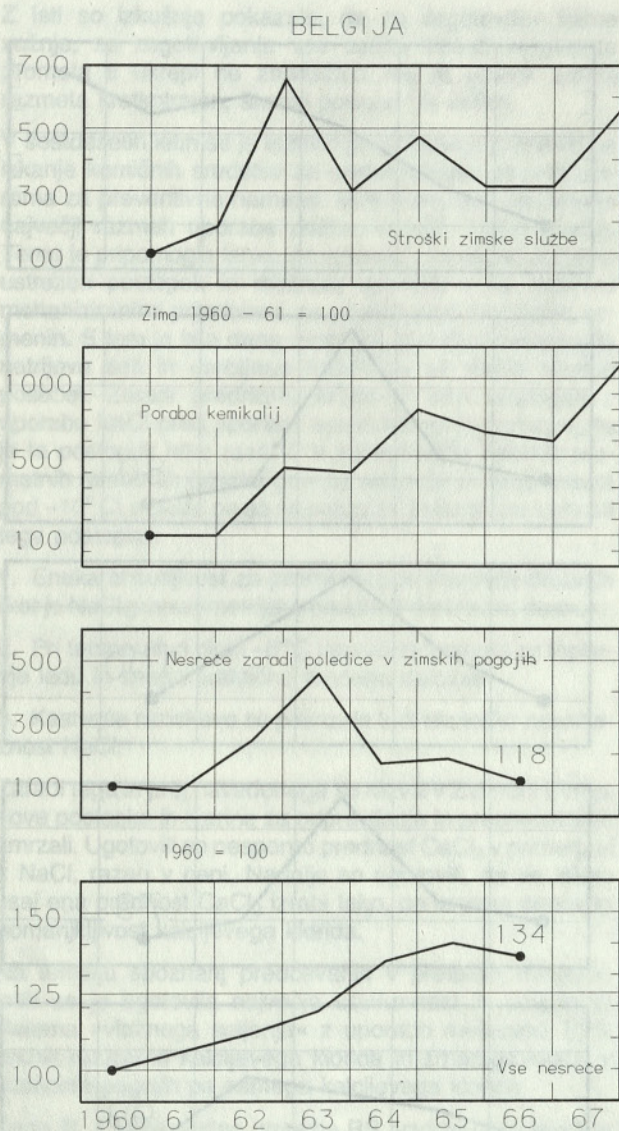
pogojih

Vse smrtne nesreče

Graf 1



Graf 1



Graf 2

Porast prometa, povečanje števila vozil, izgradnja avtocest pa so povzročili, da je razlika v številu voženj v zimskem in letnem obdobju vedno manjša. Uporabljeni nasipni materiali so postali neustrezni, ker jih je promet zmetal s cestišča. Poleg tega pa je posuti material zamašil odvodne kanale in jaške.

V začetku porabe soli se je le-ta dodajala pesku kot dodatek za posip, ki je preprečil zmrzovanje peska na deponijah, kar je omogočalo lažje nakladanje in posip s trosilci.

V Sloveniji se je v letu 1987 na avtocestah, magistralnih in regionalnih in lokalnih cestah porabilo približno 27 200 ton soli. V odvisnosti od temperature uporabljamo za posipanje cest:

- natrijev klorid
- kalcijev klorid
- magnezijev klorid
- mešanica navedenih soli.

Natrijeva sol se pridobiva kot kamena sol v rudnikih ali iz morja v solinah. Kalcijev klorid se predvsem v zadnjem času uporablja, medtem ko je magnezijev klorid zelo malo v uporabi.

Meje praktične porabe so:

- natrijev klorid do -7°C
- kalcijev klorid -20 do -25°C
- magnezijev klorid do -15°C

Kakovost soli mora zadoščati določenim normativom:

1. zrnavost
velikost zrn $> 5\text{ mm}$ 0 %
 $0,315\text{--}2\text{ mm}$ 80 %
 $< 0,16\text{ mm}$ največ 5 %

2. vlažnost
mora biti manjša od 2 %

3. v vodi topne snovi
najmanj 9 %

Količine soli za posipavanje se gibljejo v mejah od 5 g/m^2 do 30 g/m^2 , pa tudi do 40 g/m^2 v odvisnosti od temperature in jakosti padavin.

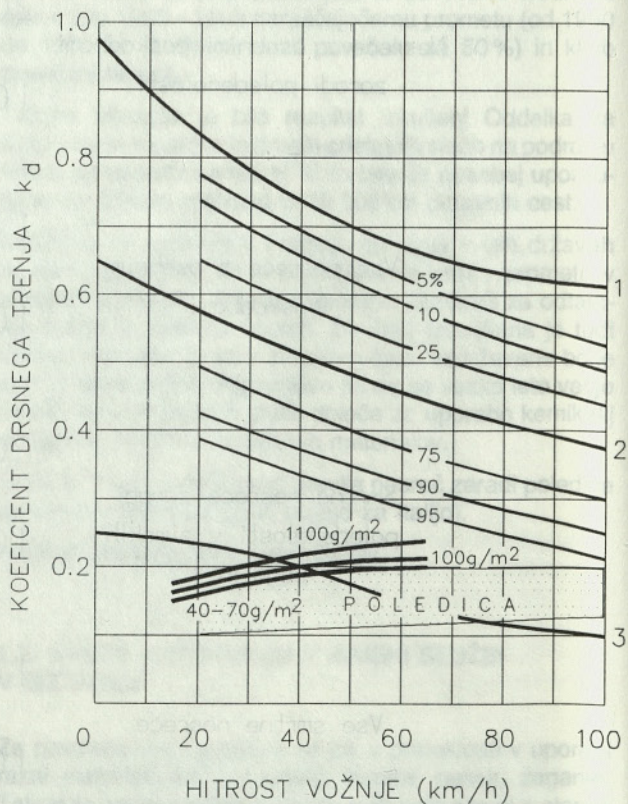


Diagram 1 (2). Odvisnost koeficienta drsnega trenja od količine posutega drobirja

2.0. METODE ODPRAVLJANJA ZMRZALI NA CESTIŠČU

2.1. DELOVANJE KAMNITEGA POSIPNEGA MATERIALA

Raziskave so pokazale, da za zagotovitev varne vožnje v zimskih razmerah posipanje s kamnitim posipnim materialom ne zadošča. Celo s 1100 g/m² (= ca. 8 t/km) drobirja posuta vozna površina je pri hitrosti vožnje 100 km/h zagotavljala vrednost količnika drsnega trenja samo 0,23, kar je pod priporočljivo mejno vrednostjo za varno vožnjo ($K = 0,33$, 90 % pogostost). Posip zaglajenih vozniških površin z gospodarsko še opravičljivimi količinami zrnatih materialov za ohrapavljenje izboljša drsno trenje relativno zelo malo.

Pa še ta učinek je lahko le kratkotrajen in je odvisen predvsem od hitrosti vozila in temperature, saj promet posipni material razmeče ob vozišče. Ker lahko ostane posuti material na vozišču celo samo nekaj minut, je treba posipavanje ponavljati. Zato je vprašljivo tudi preventivno posipanje kamnitih materialov.

Podatki kažejo, da je število nezgod na voziščih, ki so posipana s sredstvi za odtajanje, praviloma znatno manjše (celo do 85 %) kot tistih, ki so posipana z materiali za ohrapavljenje. V velikem številu držav se število nezgod v prometu sploh ne ali pa malo spreminja, odkar uporabljajo za preprečitev gladkosti kemični sredstvi, kot sta CaCl₂ in NaCl.

2.1.1. Kamni agregat kot posipni material

Za posip oziroma ohrapavljenje vozišča ob poledici se uporablja drobljeni kamni material. Pesek rabi za premostitev v tistem času, ki ga sol potrebuje, da raztali led. Prav tako kamni material uporabljajo v primerih, ko sol ne more raztaliti snega in nastane snežna brozga. Takrat je za zagotovitev varnosti prometa primerno posipanje s peskom. Po sneženju oziroma pluženju na makadamskih cestah prav tako uporabljamo za posip vozišča pesek.

Uporabljamo drobljeni pesek (zrnastost do 2 mm), drobir (zrnastost do 8 mm), običajno kar frakcijo 4/8 mm. Za strmine in makadamske ceste so lahko zrna večja, običajno se uporablja frakcija 8/16 mm. Izkušnje kažejo, da je uporaba frakcij 4/8 mm in 8/16 mm najprimernejša za beton oziroma asfalte.

Posipni material mora ustrezati naslednjim zahtevam:

- ustrezna granulometrijska sestava
- čistost (zrna gline, fini delci)
- odpornost proti zmrzovanju
- odpornost proti drobljenju.

Preventivno posipanje s peskom ni učinkovito, stroški pa zaradi več posipanj niso nič manjši kot pri soli. Poleg tega je treba prav tako upoštevati čiščenje asfaltnih cest in odvodnih naprav.

2.2. DELOVANJE KEMIČNIH SRESTEV ZA POSIPAVANJE

Za odtajanje snega in ledu sta poznani in v rabi dve kemični sredstvi NaCl (natrijev klorid) in CaCl₂ (kalcijev klorid). Uporabljamo ju samostojno kot suho sol, raztopino soli, navlaženo sol ter kot zmesi suhih soli in navlaženih soli.

2.2.1. Delovanje suhe soli (soli v zrnih)

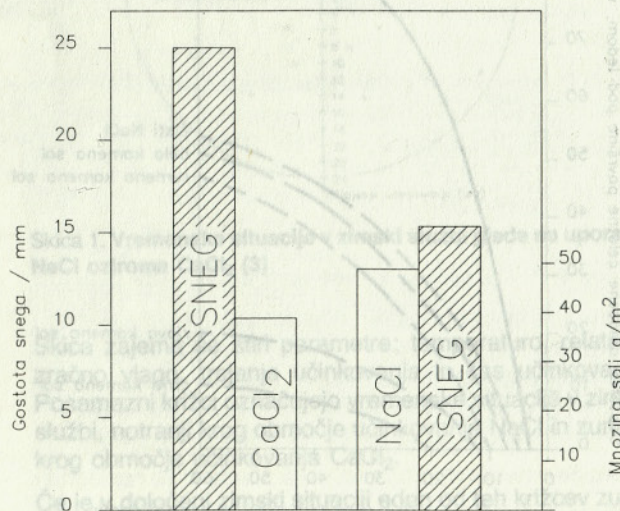
Pri tajanju snega ali ledu NaCl porablja toploto (približno 80 kcal/kg snega ali ledu), ki jo vzame iz okolja (zraka, snega, obrabne plasti voziščne konstrukcije). Proces odtajanja poteče le v primeru dovajanja toplote. Zaradi odvzema toplote okolju se le-to ohlaja. Tajanje poteka tedaj pri padajoči temperaturi in je zato proces upočasnjen. Zmanjšuje pa se tudi koncentracija nastale raztopine. Pri določeni temperaturi in koncentraciji solnice proces odtajanja poneha.

NaCl ni tako higroskopičen in se posuši (odda vlago) že pri relativni vlažnosti zraka pod 75 %. To je velika pomanjkljivost, ki omejuje uporabo te soli za preventivno posipanje suhih vozišč. Promet, ki je v takih razmerah še hiter, lahko del posute soli razmeče oziroma odpihne na rob cestišča; tudi zaradi kubične oblike kristalov NaCl, ki se slabše nalegajo na vozno površino.

Študije pri Solvayu so pokazale, da je ugotovljeni čas taljenja 90 min pri temperaturi $-1,5^{\circ}\text{C}$ pri uporabi NaCl več kot neustrezen. Zato so pri firmi DOW ugotovili, da mora tališno sredstvo biti takšno, da ledeni sloj ne le raztali, ampak vanj tudi prodre in led raztali tudi iz spodnje strani, tako da prepreči čvrsto povezanost s cestiščem.

2.2.1.1. Delovanje CaCl₂ v primerjavi z NaCl

Kalcijev klorid je zelo lahko topljiv v vodi in pri raztapljanju sprošča toploto (približno 90 kcal/kg v luskah 70–80 %)

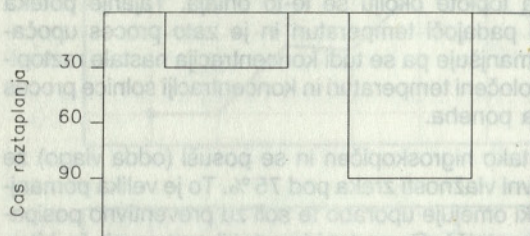


Shema št. 1 ugotavlja veliko krajši čas raztapljanja snega pri manjši uporabi CaCl₂ kot pri večji uporabi NaCl pri temperaturi $-1,5^{\circ}\text{C}$ (Solvay).

za razliko od NaCl , ki po posipu potrebuje veliko več toplote iz okolja.

CaCl_2 je zelo higroskopičen in absorbira vlago celo iz razmeroma suhega zraka (do 37 % relativne vlažnosti) in pri nizkih temperaturah. Pri 80 % relativni vlažnosti zraka navzame CaCl_2 za dvojno lastno težo vlage. Rezultati tujih študij kažejo, da dosega CaCl_2 pri vseh temperaturah pod lediščem boljše učinke tajanja glede na globinsko delovanje kot NaCl . Tudi pri $-1,5^\circ\text{C}$, ko se naj bi uporabljal NaCl , je bilo z manjšo dozo NaCl_2 v krajšem času raztopljenega več ledu kot z NaCl .

Čas raztapljanja 90 minut za NaCl pa v praksi sploh ne ustreza (Solvay).



Temperatura: -15°C

Promet: 250 avtov/h

Vir: Solvay

Shema št. 2 prikazuje, da se je pri določeni temperaturi $-1,5^\circ\text{C}$ ob večji porabi NaCl stopilo manj snega kot pri manjši uporabi NaCl_2 (Solvay).

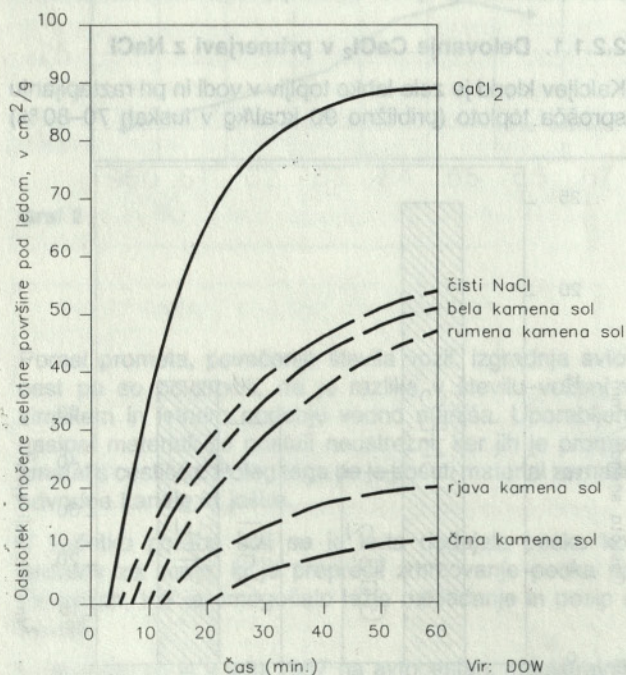


Diagram št. 2 prikazuje čas raztapljanja 0,3175 cm debelega ledenega sloja od podlage s CaCl_2 (94/95 %) v primerjavi z NaCl pri temperaturi $-3,8^\circ\text{C}$ (DOW).

CaCl_2 kot talilno sredstvo ima sposobnost prodiranja v ledeni sloj, tako preprečuje čvrsto povezanost s cestiščem in ima boljše talične sposobnosti v primerjavi z NaCl .

Testi so pokazali, da je bil CaCl_2 pri $-3,89^\circ\text{C}$ po 10 minutah 3,5-krat učinkovitejši, po 20 minutah 2,4-krat, po 30 minutah še 2-krat učinkovitejši v raztapljanju ledene površine kot NaCl (3).

Za odtajanje snega in ledu sta poznani in v rabi dve kemični sredstvi NaCl (natrijev klorid) in CaCl_2 (kalcijev klorid). Uporabljamo ju samostojno kot suho sol, raztopino soli, navlaženo sol ter kot zmesi suhih soli in navlaženih soli.

2.2.2. DELOVANJE RAZTOPIN SOLI

Postopki uporabe raztopin soli so bili razviti kot rezultat iskanja trajnejše učinkovitosti soli za odtajanje ledu.

V praksi se večinoma uporablja raztopina CaCl_2 (15–32 %), in sicer pretežno 26-odstotna raztopina.

Za pripravo 1,2 l solnice z lediščem -32°C potrebujemo 500 g lusk CaCl_2 (77–80 %) in 1 l vode.

Ledišče raztopine soli je tam nižje, čim večji je delež soli v raztopini. Zasičene raztopine NaCl zmrznejo pri $-21,2^\circ\text{C}$, CaCl_2 pri $-51,6^\circ\text{C}$. V praksi znaša temperaturno območje uporabe raztopine soli

- z NaCl do -10°C
- s CaCl_2 do -20°C .

Potek tajanja z raztopino se razlikuje od tajanja s soljo v zrnih. Medtem ko posamezna zrna soli prodirajo skozi plast in najedajo luknje ter led mehčajo, se raztopina soli razprostire po površini ledu, nastane površinsko odtajanje. Pri tem nastali film vode na vozni površini drsno trenje še zmanjša. To traja le toliko časa, da se plast ledu zmehča in deloma raztopi, tako da jo promet lahko poruši.

Na začetku (po posipu) učinkovitejše odstranjevanje ledu z brizganjem raztopin se upočasni. Vzrok je v zmanjšani koncentraciji raztopine, pa tudi v porabljeni toploti v okolju.

Neodvisno od vrste imajo raztopine soli določene prednosti pred solmi v zrnih:

- natančnejši nadzor porabljene količine
- enakovrednejšo razporeditev po vozišču
- uporabnost vse do -50°C in pri vsakem vremenu
- dolgo učinkovanje
- večji delovni radij vozil za posipanje
- naprave za brizganje in vozila je mogoče uporabiti tudi pri drugih delih.

Postopek je možno tako avtomatizirati, da lahko en človek obvladuje vse aktivnosti zimske službe.

Pomanjkljivosti se kažejo v naslednjem:

- vlaga, ki pade na vozno površino, razredčuje raztopino soli, tako da pri hitri ohlavitvi lahko razredčena raztopina ustvari gladek led
- v določenih meteoroloških pogojih se lahko raztopina

koncentrira, kar povzroči ponovno kristalizacijo soli. To lahko tudi zmanjša drsno trenje na vozni površini

– v primerjavi s sedanjimi postopki posipavanja se je potrebno preusmeriti na nove naprave za posipavanje in tudi sistem skladiščenja je spremenjen.

Z uporabo postopka vlažnega soljenja, ki je trenutno v razvitem svetu najbolj razširjena metoda posipavanja, je mogoče zmanjšati porabo soli za odtajanje ledu ali snega na voziščih na najmanjšo še potrebno in primerno količino ter zagotoviti optimalno varnost vožnje v mejah, ki jih pogojuje stanje vozišča.

Vlažna sol sestoji iz trdnih zrn soli, obdanih s filmom raztopine soli. Omočenje zrn se izvede tik pred posipom. Vlažna sol je tedaj videti kot lepljiva, mokra in brezbarvna kaša.

Poznamo tri postopke vlažnega soljenja, kjer se kot trda jedra uporablja NaCl, redko NaCl_2 .

2.2.2.1. z 20 % H_2O navlaženi NaCl

2.2.2.2. z raztopino NaCl navlaženi NaCl

2.2.2.3. z raztopino CaCl_2 navlaženi NaCl

Testiranja v Švici so pokazala, da ostanejo na cestišču naslednje količine soli (posip = 100 %):

a) po prevozu 100 vozil pri povprečni hitrosti 90 km/h

- pri suhem NaCl ca. 20 % soli
- pri navlaženem NaCl ca. 80 % soli

b) po prevozu 1000 vozil pri povprečni hitrosti 90 km/h

- pri suhem NaCl ca. 10 % soli
- pri uporabi raztopine NaCl ca. 40 % soli
- pri uporabi raztopine CaCl_2 ca. 60 % soli.

2.2.2.1. Ovlaženje NaCl z vodo

Postopek ima določene prednosti pred uporabo suhega NaCl, še več pa ima pomanjkljivosti:

- voda lahko zmrzne in cevi postanejo neuporabne
- v primeru poškodbe dotoka soli (transportni agregat se zamaši in zmanjka soli) se cestišče obrizga z vodo, zaradi česar lahko na podhlajenem cestišču nastane ledena površina
- učinkovanje vode je kratkotrajno, zato cestišča pogosto posipajo, kar dodatno ogroža okolje
- pri nižjih temperaturah sistem v celoti odpove; posledica je poledenitev cestišča zaradi dodatne vlage
- negospodaren transport vode.

2.2.2.2. Ovlaženje NaCl z raztopino NaCl različnih koncentracij

Nekatere prej navedene pomanjkljivosti ovlaženja z vodo je možno preprečiti z uporabo vsaj 15 % do 20 % raztopine NaCl. Vendar se tudi v tem procesu pojavljajo pomanjkljivosti:

– učinkovanje je kratkotrajno, ker se sol izkristalizira in se lahko odpihne iz cestišča; zato cestišče pogosto posipavajo, kar še dodatno ogroža okolje

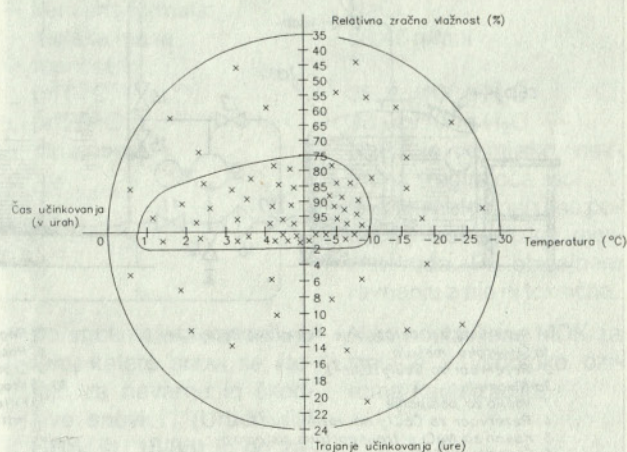
– pri nizkih temperaturah ne učinkuje.

2.2.2.3. Ovlaženje NaCl z raztopino CaCl_2 različnih koncentracij

Novost pri posipavanju predstavlja uvedba posipa z vlažno soljo. To je pri nas novost, medtem ko je v tujini ta proces v rabi že dalj časa in daje zelo dobre rezultate.

Prednosti postopkov so:

- ni nevarnosti za zamrznitev cevi niti pri najnižjih temperaturah
- učinek tudi pri nizkih temperaturah do -50°C
- onesnaževanje okolja je zmanjšano na dva načina:
 - a) ker ni neustreznih posipov, se zmanjšuje poraba soli
 - b) del Na^+ se nadomesti s Ca^+ , kar pomeni, da kalcij zmanjšuje škodljivo delovanje natrija in omogoča ohranitev naravne osmoze rastlin
- v primeru poškodb dotoka suhe snovi se cestišče obrizga samo z raztopino CaCl_2 , ki v vsakem primeru doseže želeni učinek
- dosežen je dolgoročnejši učinek, odvisen predvsem od dejavnikov, kot so zračna vlaga, temperatura, gostota prometa in podobno, saj CaCl_2 ne izkristalizira iz raztopine.



Skica 1. Vremenske situacije v zimski službi glede na uporabo NaCl oziroma CaCl_2 (3)

Skica zajema še štiri parametre: temperaturo, relativno zračno vlago, trajanje učinkovanja in čas učinkovanja. Posamezni križci označujejo vremenske situacije v zimski službi, notranji krog območje učinkovanja NaCl in zunanji krog območje učinkovanja CaCl_2 .

Če je v določeni zimski situaciji eden od teh križcev zunaj področja učinkovitosti uporabljenih posipnih sredstev, potem se šteje, da je bil celoten posip napačen. Problem je v ekstremnih vrednostih določenega oskrbnega področja,

zato je treba najti takšno metodo za posipavanje, ki te ekstremne situacije obvlada.

Primer:

a) Pri 70 % relativni vlažnosti je posipanje NaCl napačno. Že majhen dodatek CaCl₂ bi to preprečil.

b) Pri temperaturi -12°C čisti posip na NaCl tudi napačen. Tudi tukaj bi se z majhnim dodatkom CaCl₂ to dalo preprečiti.

c) Če se pri določenih pogojih zahteva zadostni učinek odtajanja že po 30 minutah (npr. zjutraj na vpadnicah, ki vodijo v mesto), potem tega ni moči zagotoviti samo s posipom na NaCl.

d) Če pri profilaktičnem posipavanju nastopi zmrzal šele 3 ure po posipu, potem posip na NaCl ne more biti učinkovit. Seveda pa bi se z majhnim dodatkom CaCl₂ področje učinkovanja posipne snovi NaCl razširilo.

Vlažna ali mokra sol je zmes NaCl in raztopine CaCl₂ v vodi. Najustreznejša kot najbolj preizkušena koncentracija je 20–30 % raztopina CaCl₂. Sestavini še mešata neposredno pred posipom vozišča na krožniku za raztros. Vozilo je opremljeno s silosom za suhi NaCl in s cisterno za CaCl₂.

vlažne soli zagotavlja, da se takšna sol daljši čas zadrži na vozišču. S povečanim izkoristkom vlažne soli je mogoče posipno količino znatno zmanjšati; s tem se zmanjša tudi stopnja korozije vozil in cestnih objektov (mostov);

– skrbno načrtovano posipavanje, ki ustreza vremenskim razmeram, lahko prepreči nastanek poledice;

– vlažna sol je lahko praviloma večkrat učinkovita, ker je vtisnjena v vdolbine in votline na vozni površini in lahko prepreči naknadno poledico;

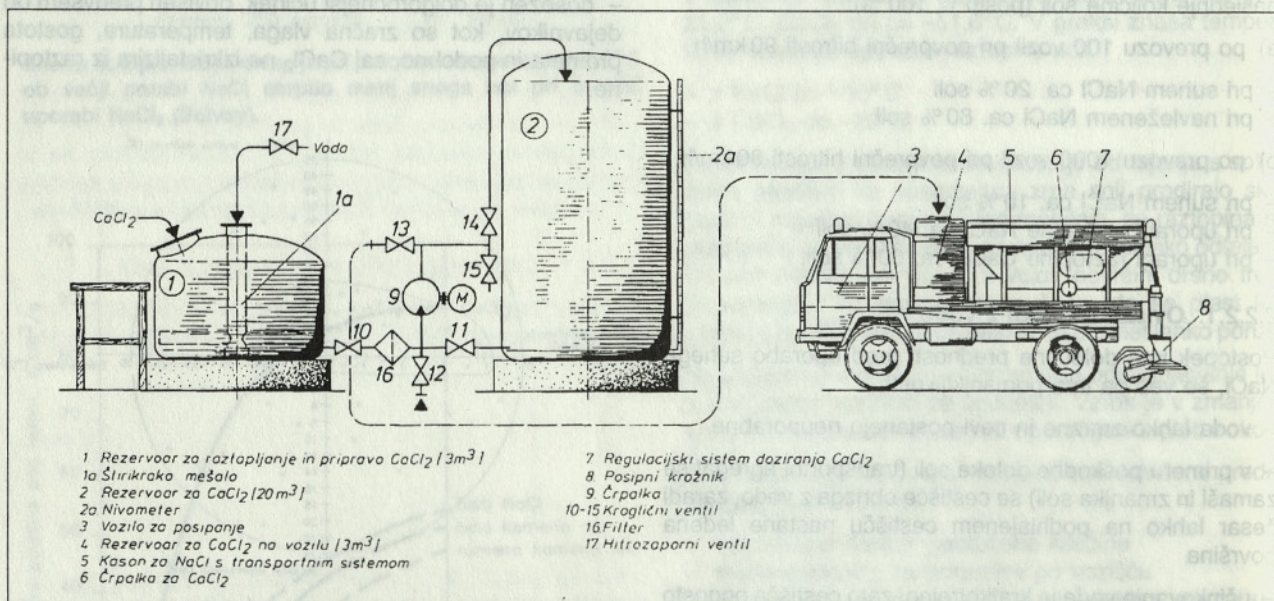
– z vlažno soljo je izbojšan in povečan začetni učinek soli pri tajanju. Rezerva trdnih delcev soli v vlažni soli omogoča, da se led topi tudi globinsko; globinski učinek solnih zrn led tudi mehča in ga promet lažje razbije;

– posipanje je izboljšano z več vidikov:

• velik delež tekočine izboljšuje ekakomerno razdelitev soli v zrnih

• nastanek kapljic, v katerih je raztopljena sol, omogoča boljše prilagajanje zrn vozni površini in s tem boljše pokrivanje vozne površine. Povečana je učinkovitost otažanja ledu in snega;

– omočenje zrn omogoča znatno večjo širino posipanja, saj soli ne odpihne s cestišča. Poleg tega je možno



Shema 4. Prikaz opreme za posipanje s CaCl₂ (CP Celje)

Prednosti posipavanja z vlažno soljo se kažejo v vrsti lastnosti, ki ugodno vplivajo na izboljšanje varnosti prometa, varstva okolja in na gospodarnost zimske službe.

Poleg že omenjenih prednosti velja poudariti še naslednje:

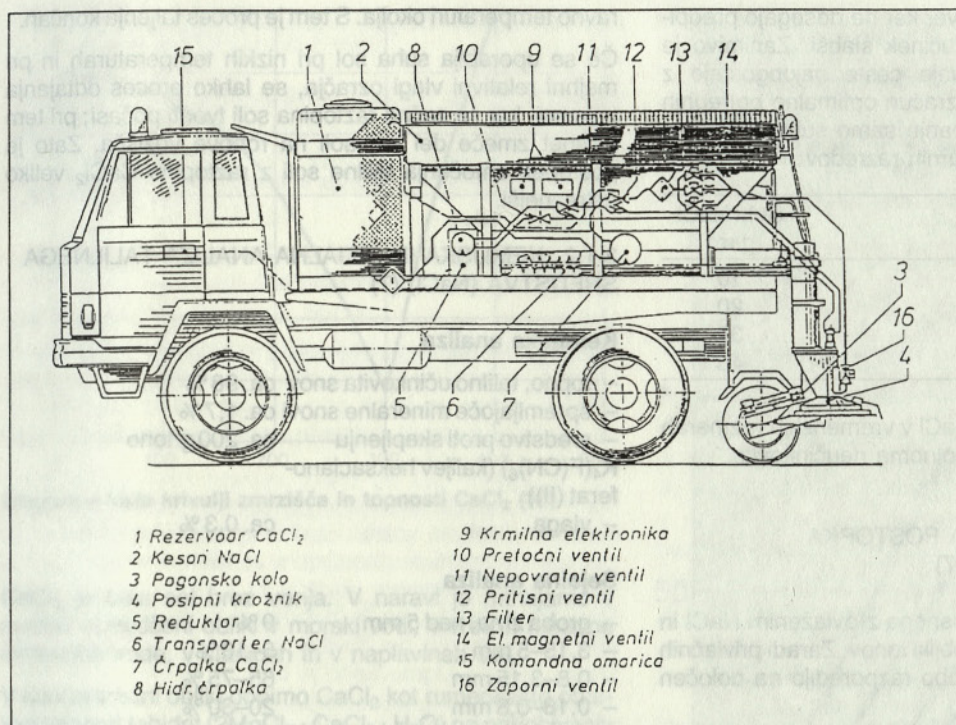
– dodana količina skoraj v celoti veže delce soli, kar preprečuje razmetavanje soli ob cesti;

– s tekočino povzročena boljša sposobnost oprijemanja

povečati tudi hitrost pri posipavanju ter posipanje natančno omejiti;

– zaradi manjše količine posipa (npr. zmanjšanja z 20 na 10 gr/m² se poveča dolžina poti posipanja z enim polnjenjem vozila, tudi če upoštevamo, da je na vozilu cisterna s približno 1500l raztopine soli, ki uporabno nosilnost vozila ustrezno zmanjša;

– uporaba vlažne soli zmanjšuje oziroma odpravlja nevarnost zamrzitve in zamažitve odtočnih kanalov s peskom, s čimer zmanjšuje stroške spomladanskega čiščenja komunalne kanalizacije.



Shema 3. Vozilo z opremo za mokro posipavanje (CP Celje)

Sistem posipanja z vlažno soljo ne vpliva ugodno samo na prometno varnost in zaščito okolja, temveč ima njegova uporaba prednost tudi zaradi:

- lažje in zanesljivejše manipulacije v operativni rabi
- višjo stopnjo tehnologije, ki pogojuje ostrejšje kriterije tehnološke discipline:
- uporaba domače opreme za vozila za posipanje
- uporaba domače opreme za transport
- uporaba domače opreme za skladiščenje

Vse to pa pomeni tudi uveljavitev lastnega znanja oziroma razvoja.

3.0. LASTNOSTI NaCl in CaCl_2

Vlažna sol za posipavanje cestišča ima z ekološkega vidika prednosti pred uporabo samega NaCl . Za oceno ekološkega vidika obeh snovi so pomembne značilnosti obeh.

3.1.0. NaCl – NATRIJEV KLORID

– kemična formula	NaCl
– molska masa	58,45 g/mol
– topnost	
pri 0°C	35,7 g/100 g H_2O
pri 20°C	36,0 g/100 g H_2O
– strupenost	NaCl je kemijsko nevtralna regirajoča sol. V vodnih raztopinah ima podobne lastnosti kot morska voda. Pri običajnem ravnanju z njo ni toksična.
– po strokovnem navodilu o tem, katere snovi se štejejo za nevarne in škodljive snovi... (Uradni list SRS, št. 18/85) in po zakonu o vodah (Uradni list SRS, št. 38/81, 29/86 in 15/91)	Niso postavljene MDK za izpuste v vodotoke oziroma kanalizacijo.
– pravilnik o ravnanju s posebnimi odpadki, ki vsebujejo nevarne snovi (Uradni list SRS, št. 20/86)	Solni odpadki so zajeti pod šiframa 51802 in 51511 ter so uvrščeni v III. kategorijo odpadkov – posebni odpadki.

- Natrijev klorid pridobivamo kot kameno sol v rudnikih ali iz morja v solinah. Te soli imamo doma malo in jo je treba uvažati iz Romunije, Rusije, Egipta.

 **hauraton**

Pri dobavi soli nastopajo težave, ker ne dosežajo predpisanih normativov in je zato učinek slabši. Zanimivo je dejstvo, da pri nas posipavajo ceste najpogosteje z mešanico drobljenca in soli. Izračun optimalno potrebnih količin suhega NaCl pri posipanju samo suhega NaCl z upoštevanjem štirih temperaturnih razredov:

Temperatura °C	Suhi NaCl g/m ²
5–0	10
0–(–5)	20
(–5)–(–10)	30
<–10	40

Pri tem je posipanje suhega NaCl v vremenskih razmerah temperaturo pod –10°C popolnoma neučinkovito.

3.1.1. KEMIZEM TALILNEGA POSTOPKA Z OVLAŽENIM NaCl s H₂O (7)

Pri talilnem postopku leda ali snega z ovlaženim NaCl in H₂O nastopata natrij in klor v obliki ionov. Zaradi privlačnih sil se Na⁺ in Cl[–] ioni med sabo razporedijo na določen način in tvorijo kristalno telo.

H⁺

Vodna molekula ima obliko kota 0^{–2}

H⁺

in je na enem koncu pozitivno nabita, na drugem pa negativno.

Če damo kristal NaCl v vodo, se naberejo okoli Na⁺ in Cl[–] ionov zaradi elektrostatičnega privlaka vodne molekule, zaradi česar se ioni izločijo iz kristalne mreže, kristal soli se raztopi.

Če pade temperatura okolja na 0°C ali nižje, čista voda zmrzne v celoti. Raztopina soli pa nasprotno pri podkoračiv tališča ne zmrzne kot celota (npr. –5°C, 10 % NaCl). Zmrzišče raztopine soli pomeni temperaturo, pri kateri se pričenjajo iz raztopine izločati prvi kristali ledu in je vedno nižje kot zmrzišče vode. Vzrok je v privlačnih silah med molekulami vode in med natrijevimi kloridnimi ioni, ki pa zadržujejo vodne molekule, da se ne bi združile v ledene kristale. Pri tem se iz raztopine izloča samo voda, medtem ko koncentracija soli raste v preostali raztopini, kar vpliva na dodatno znižanje ledišča.

Kakor hitro naraste koncentracija preostale množine raztopine tako daleč, da je točka ledišča enakovredna temperaturi okolja, se preneha tvorba ledu.

Tudi pri padajočih temperaturah je raztopina soli še vedno prisotna na cestišču. Zaradi tega ne pride do povezave zimske obloge ledu s cestiščem, kar ugodno vpliva na mehansko čiščenje vozišča. Na mestih stikov med kristali soli in ledom se tvori nasičena raztopina, s tem se povečuje površina, na kateri lahko deluje sol in se tako proces taljenja pospešuje do točke, ko se kristali soli povsem raztopijo in se je toliko ledu utekočinilo, da ustreza temperatura zmrzišča nastale solne raztopine

ravno temperaturi okolja. S tem je proces taljenja končan.

Če se uporablja suha sol pri nizkih temperaturah in pri majhni relativni vlagi ozračja, se lahko proces odtajanja zakasni, ker se začne raztopina soli tvoriti počasi; pri tem promet zmeče del zrn soli na robove vozišča. Zato je postopek omočenja talilne soli z raztopino CaCl₂ veliko ustrežnejši.

3.1.2. KEMIJSKA IN SEJALNA ANALIZA TALILNEGA SREDSTVA (NaCl) (7)

Kemijska analiza

- topno, talilno učinkovita snov ca. 98 %
- spremljajoče mineralne snovi ca. 1,7 %
- sredstvo proti skepljenju ca. 200 g/tono K₄(F(CN)₆) (kalijev heksacianoferat (II))
- vlaga ca. 0,3 %

Sejalna analiza

- groba zrna, nad 5 mm 0 %
- 3,15–5 mm 5–10 %
- 0,8–3,15 mm 65–75 %
- 0,16–0,8 mm 20–30 %
- pod 0,16 mm > 5 %

Talilna sol NaCl je osnovna sol za vse talilne procese, katere ekonomska uporaba v zimskih razmerah je 10–20 g/m² do temperature –7°C.

3.2.0. CaCl₂ – KALCIJEV KLORID

- kemična formula CaCl₂
- molska masa 110,99 g/mol
- topnost:
 - pri 0°C 59,5 g/100 g H₂O
 - pri 20°C 74,5 g/100 g H₂O
- pH vodnih raztopin do koncentracije 10 % 6,2–7,4
- strupenost CaCl₂ ni strupen, uporablja se v farmacevtski in živilski industriji ter kot dodatek umetnim gnojilom. V vodnih raztopinah ima podoben učinek kot morska voda.

- po strokovnem navodilu o tem, kateri snovi se štejejo za nevarne in škodljive (Uradni list SRS, št. 18/85) in po zakonu o vodah (Uradni list SRS, št. 38/81, 29/86 in 15/91)

Niso postavljene MDK za vodotoke in kanalizacijo.

- pravilnik o ravnanju z odpadki, ki vsebujejo nevarne snovi (Uradni list SRS, št. 20/86)
- CaCl₂ je naveden pod šifro 51526 in uvrščen v III. kategorijo odpadkov.

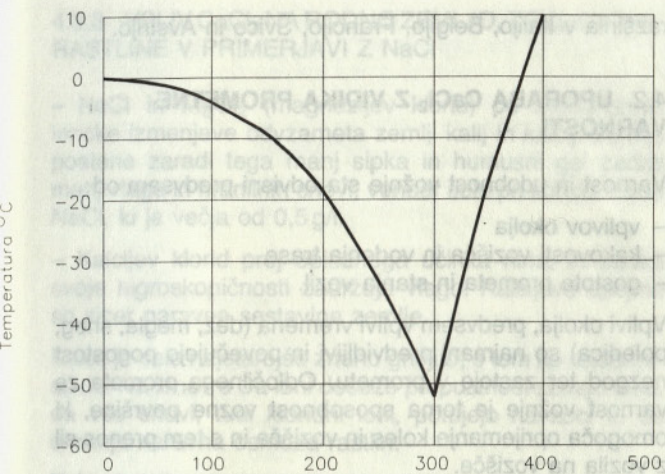


Diagram 4 kaže krivulji zmrzišča in topnosti CaCl₂ (10)

CaCl₂ je bela sol brez vonja. V naravi jo nahajamo v močno razredčeni obliki v morski vodi, v vrelih naravne mineralne vode, v slanica in v naplavinah soli.

V koncentrirani obliki dobimo CaCl₂ kot rumenkasto obarvan mineral tahidrit (2MgCl₂ · CaCl₂ · H₂O) pri pridobivanju kalija v karnalitu. Naravna nahajališča se le redko uporabljajo za pridobivanje CaCl₂. Pridobivamo ga iz NaCO₃ (natrijevega karbonata), NaCl (natrijevega klorida) in CaCO₃ (apnenca).

3.2.1. VPLIV UPORABE VLAŽNE SOLI NA TALILNI PROCES

Posebna učinkovitost vlažne soli je v takojšnjem talilnem učinku; saj je že na začetku na razpolago dovolj raztopine CaCl₂ z nižjim zmrziščem, tako da se prične taljenje takoj ob stiku soli z ledenimi kristali.

Pri tem ne nastanejo izgube zaradi razpihovanja kot pri uporabi NaCl. Razlog taljenju ledu zaradi delovanja soli je v težnji, ki jo ima sol za raztapljanjem. Da bi se lahko sol za odtajanje raztopila, mora biti prisotna voda. Za talilni proces pa mora biti prisotna talilna toplota. Ta toplota se dobi v primeru CaCl₂ kot talilne snovi iz postopka raztapljanja te soli v vodi. Ta proces je eksotermna reakcija, kjer pride do sproščanja toplote.

Z uporabo vlažne soli se učinkovitost NaCl bistveno poveča, s tem da lahko CaCl₂ dovaja NaCl potrebno vlago. Prav tako pa se toplotni delež mešanice soli za odtajanje izenači ali prevesi celo v pozitivno stran.

Z eksotermnim procesom nastala toplota odtajanje pospešuje; tako 8 % raztopina CaCl₂ ponizha temperaturo snega in ledu za približno 10°C, 25 % pa do 35°C.

Večji učinek trajanja s CaCl₂ od NaCl je viden pri vseh temperaturah pod lediščem. Trajanje tega učinka pa je odvisno tudi od temperature, kar dokazuje naslednja preglednica (2).

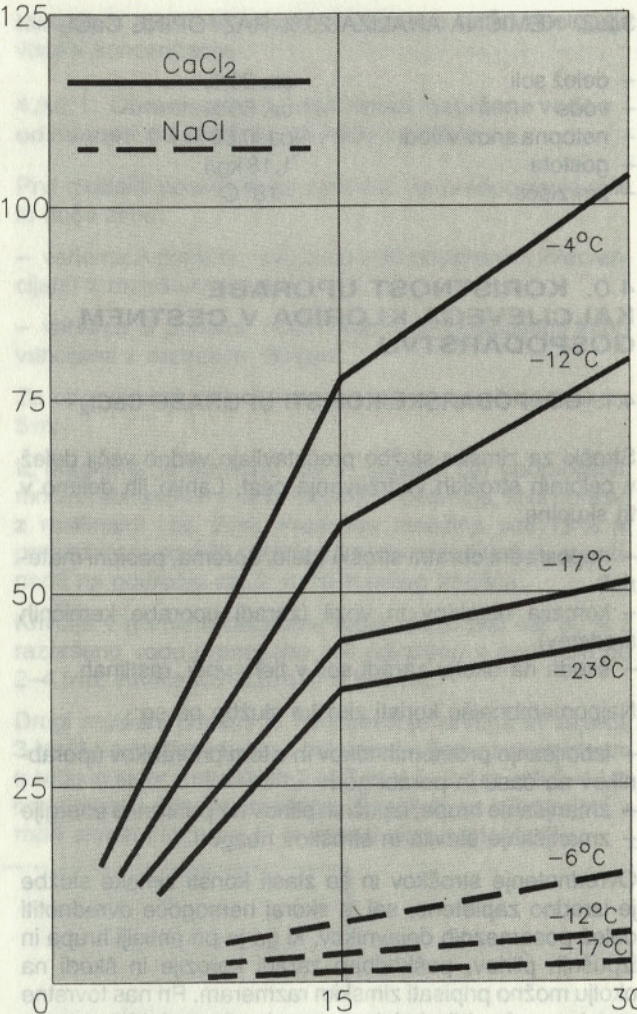


Diagram 3 prikazuje odtajano količino ledu v odvisnosti od trajanja učinkovanja kalcijeve in natrijeve soli ter temperature na vozišče (2).

Temperatura °C	Čas učinka trajanja CaCl ₂ (h)
-2	do 1 ^h 20 min
-4	1 ^h 50 min
-7	2 ^h 30 min
-10	3 ^h 20 min
-14	7 ^h
-18	trajno

Preglednica 2

Tudi trajanje učinkovanja NaCl se povečuje, ker se raztopljena zmes NaCl/CaCl₂ obloži na cestišču v obliki glazure; nasprotno pa se NaCl hitro izkristalizira v obliki kristalov, ki jih veter in gost promet odpihneta s cestišča.

Vlažna sol ima veliko širše območje uporabe kot NaCl – čisti ali ovlaženh – glede na temperaturo, relativno vlažnost, trajanje učinkovanja, hitrost raztapljanja.

3.2.2. KEMIČNA ANALIZA 20 % RAZTOPINE CaCl_2

– delež soli	ca. 20 %
– vode	ca. 80 %
– netopna snov v vodi	ca. 0,02 %
– gostota	1,18 kg/l
– zmrzišče	–18° C

4.0. KORISTNOST UPORABE KALCIJEVEGA KLORIDA V CESTNEM GOSPODARSTVU

4.1. GOSPODARSKE KORISTI UPORABE CaCl_2

Stroški za zimsko službo predstavljajo vedno večji delež v celotnih stroških vzdrževanja cest. Lahko jih delimo v tri skupine:

- neposredni obratni stroški (delo, oprema, posipni material)
- korozija objektov in vozil (zaradi uporabe kemičnih sredstev)
- škoda na okolju zaradi soli v tleh, vodi, rastlinah.

Najpomembnejše koristi zimske službe pa so:

- izboljšanje prometnih tokov in s tem prihrankov uporabnikov na času in porabi goriv
- zmanjšanje hrupa, izpušnih plinov ter prihranku energije
- zmanjšanje števila in stroškov nezgod.

Ovrednotenje stroškov in še zlasti koristi zimske službe je izredno zapleteno, saj je skoraj nemogoče ovrednotiti delež posameznih dejavnikov, ki ga je pri emisiji hrupa in izpušnih plinov, poškodbah zaradi korozije in škodi na okolju možno pripisati zimskim razmeram. Pri nas tovrstne raziskave niso bile izdelane, vendar pa se lahko zgledujemo po okvirnih podatkih pri Američanih, ki so ugotovili, da znaša izpad plač zaradi zamujanja na delo ali odsotnosti z dela, stroškov izpadov proizvodnje, stroškov porabe goriva več kot 18 mio dolarjev ter na okrog 3 mio dolarjev ocenjujejo škodo zaradi uporabe kemičnih sredstev za odtajanje ledu ali snega. Tako znaša le približno 1/6 koristi na voziščih, ki bi jih s tako zimsko službo lahko zagotovili. Tudi poraba goriva se pozimi pri vožnji v koloni in omejeni hitrosti poveča za ca. 20 % pa tudi več. S poskusi so dokazali, da se poraba goriva poveča za 1,7 do 1,8 l/100 km.

Rezultati raziskav v Nemčiji in Švici pa kažejo, da je zimska služba brez uporabe soli za tajanje snega in ledu približno 3,3-krat dražja. Pri ugotavljanju stroškov zimske službe z uporabo 20 % NaCl za navlaženje NaCl in uporabo 16 % CaCl_2 za navlaženje NaCl so ugotovili, da se prvo navedeni stroški razlikujejo od drugih le glede na čisto materialne stroške v korist uporabe 20 % NaCl , vendar se ta razlika že izniči, če bi ob upoštevanju daljšega učinkovanja CaCl_2 namesto 100 posipov izvedli le 95.

Metodo posipavanja cest v zimskih razmerah so najprej osvojili v Nemčiji že v letu 1975. Do leta 1985 pa se je

razširila v Italijo, Belgijo, Francijo, Švico in Avstrijo.

4.2. UPORABA CaCl_2 Z VIDIKA PROMETNE VARNOSTI

Varnost in udobnost vožnje sta odvisni predvsem od:

- vplivov okolja
- kakovosti vozišča in vodenja trase
- gostote prometa in stanja vozil.

Vplivi okolja, predvsem vplivi vremena (dež, megla, sneg, poledica) so najmanj predvidljivi in povečujejo pogostost nezgod ter zastoje v prometu. Odločilnega prometa za varnost vožnje je torna sposobnost vozne površine, ki omogoča oprijemanje koles na vozišča in s tem prenos sil z vozila na vozišče.

Na torno sposobnost vozne površine vplivajo poleg vrste obrabne plasti na vozišču tudi vremenske razmere. Najmanjše vrednosti se dosežejo v zimskih razmerah, predvsem na poledenem vozišču in zglateni plasti snega. Raziskave kažejo, da je pogostost nesreč na cestah s snegom in ledom do 30-krat večja kot na cestah brez snega in ledu. Ugotovljeno je tudi, da je nad 20 % težjih nezgod v zimskem obdobju možno pripisati zimskim pogojem na vozišču. Hitrost vožnje pa ne moremo toliko zmanjšati, da bi bila varnost pozimi enaka kot poleti.

V primerjavi s sredstvi za odtajanje so materiali za hrapavljenje manj učinkoviti. Podatki dokazujejo, da je število nezgod na voziščih, ki so posipana s kemičnimi sredstvi, praviloma znatno manjše (celo do 85 %) kot na tistih, ki so posipana z materiali za hrapavljenje.

4.3. UPORABA KALCIJEVEGA KLORIDA Z EKOLOŠKEGA VIDIKA IN V PRIMERJAVI Z NATRIJEVIM KLORIDOM (8)

4.3.1. VPLIV NA ČLOVEKA

Kalcijev klorid tako kot natrijev klorid sta nevtralni soli in nestrupeni. Obe se uporabljata v živilski in farmacevtski industriji. Mešanica obeh soli se zaradi higroskopičnosti CaCl_2 manj praši, kar je pri ravnanju z njo ugodneje.

4.3.2. VPLIV NA PITNO VODO

Kalcijev in natrijev klorid sta v vodi dobro topna in se s padavinami spirata v površinske vode ali pa skozi zemljo pronicata v podtalnico.

Kalcijev klorid povečuje trdoto vode, obe soli pa vplivata na okus vode. Dopustna koncentracija kalcijevega klorida, ki še ne vpliva na okus, je 500 mg/l in je večja kot dopustna koncentracija NaCl , ki znaša 400 mg/l.

V ekstremnih primerih stekanja s pobočij lahko pride do zasajevanja lokalnih vodnih virov, vendar je pri uporabi mešanice natrijevega in kalcijevega klorida ta nevarnost manjša že zato, ker je skupna količina soli za ca. 60 % manjša.

4.3.3. VPLIV CaCl_2 NA RODNO ZEMLJO, ZEMLJINO IN RASTLINE V PRIMERJAVI Z NaCl

– NaCl in MgCl_2 (magnezijev klorid) po mehanizmih ionske izmenjave odvezmeta zemlji kalij in kalcij. Zemlja postane zaradi tega manj sipka in humusni gel zadrži manj vlage in hranilnih snovi, vendar šele pri koncentraciji NaCl , ki je večja od 0,5 g/l.

– Kalcijev klorid prej opisanega učinka nima in zaradi svoje higroskopičnosti zadržuje vlago. Kalcijeve spojine so sicer naravna sestavina zemlje.

Kalcij je celo najstarejše znano gnojilo; s tem ko nadomešči del Na ionov s Ca ioni doseže prepustnost zemlje tako, da vse snovi, tudi kloridni ioni, potujejo navzdol in se ohranja naravna osmoza rastlin.

Tako kalcijev kot natrijev klorid pa kot vodotopni soli spreminjata osmotski tlak raztopin. Odvisno od koncentracije raztopljenih soli je to za biotop škodljivo in ima podoben vpliv, kot če bi vrt zalivali z morsko vodo.

– Velik delež natrija v zemljini povzroča zamuljenje in zgoščevanje prostora okoli korenin. S tem nastajajo dodatne obremenitve za rast rastlin.

– Kalcij učinkuje kot flokulant. S flokulacijo oziroma tvorbo »agregatov«, kot to imenujejo pedologi, se izboljšuje delež zraka in vode v tleh; tako pa se izboljšujejo življenjski pogoji korenin.

Klorid je v tleh enako gibljiv in se v zemljini hitro premešča,

tako da v prostoru korenin le občasno lahko nastopajo visoke koncentracije.

4.3.3.1. Obremenitev s soljo zaradi razpršene vode v odvisnosti od razdalje do roba cestišča

Prvi modelni poskus je bil osnovan na predpostavki mile in hude zime:

– varianta A pomeni: milo zimo z 20 posipalnimi intervencijami z raztrosom 20 g/m^2

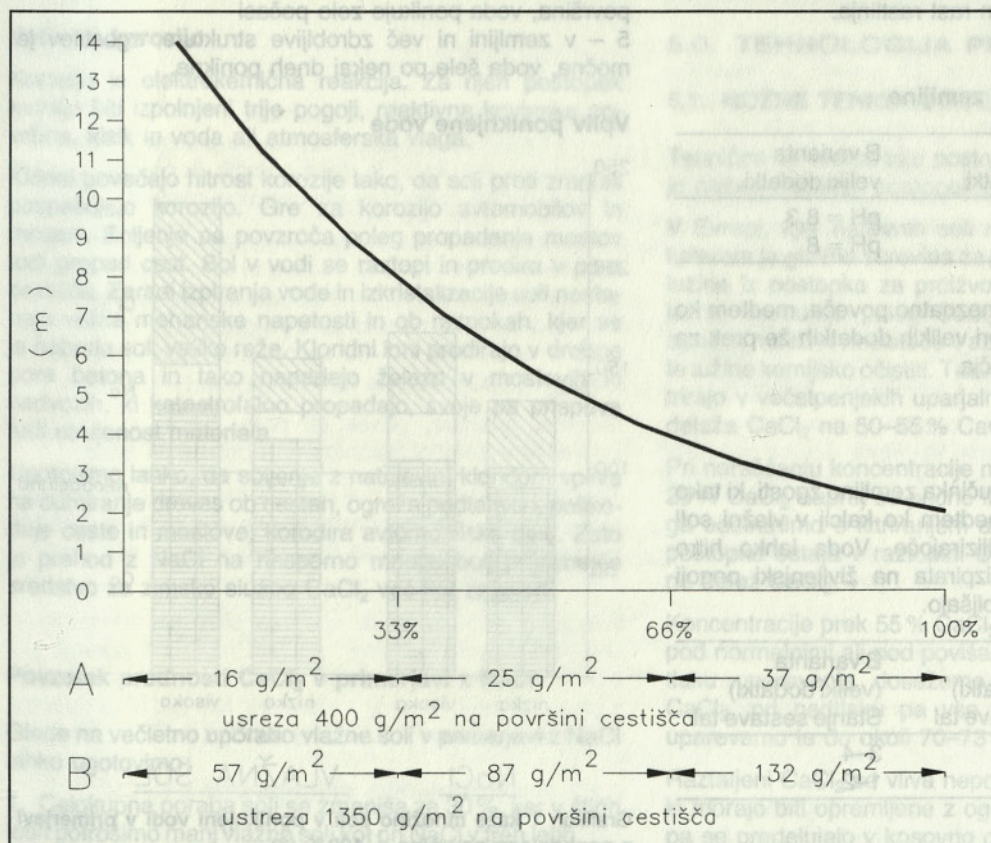
– varianta B pomeni: hudo zimo s 45 posipalnimi intervencijami z raztrosom 30 g/m^2 .

Za obe varianti velja širina raztrosa na vozišču, širokem 5 m.

Iz diagrama je razvidno, da je največji del uporabljenih množin soli zajetih v cestnih jarkih v področju, ki ni poraslo z rastlinami (ca. 2 m). Preostala množina soli 13 % je porazdeljena zaradi razpršene vode s padajočimi množinami na področju ca. $2 < 14 \text{ m}$ poleg vozišča.

Krivulja v gornjem diagramu kaže, da je bilo ca. 30 % z razpršeno vodo prenesene soli odloženo v področjih od 2–4,5 m, zatem 4,5–8,5 m in 8,5–14 m.

Drugi modelni poskus je nadaljevanje prvega in zajema 3 lončke z rastlinami, ki so bili izpostavljeni obremenitvam s soljo in sicer v območjih 2–4,5 m, 4,5–8,5 m in 8,5–14 m oddaljenosti od roba cestišča. Rezultati so bili merjeni v milih zimah (varianta A) in v ostri zimi (varianta B).



Naslednja preglednica kaže skupne množine posipa v 10-kratni uporabi soli v odvisnosti od razdalje od roba vozišča.

1 – rahla, zdrobljiva struktura, voda lahko hitro ponikuje
2 – zdrobljiva struktura je še ohranjena, voda še dobro ponikne

Preglednica 1. Podatki modelnega poskusa št. 2 (3)

Razdalja od roba cestišča (m)	Lončki	NaCl		Mešana sol			
		skupna množina soli v 10 enakih dozah mg/lonček	ustreza g/m ²	množina posipa skupno v 10 enakih dozah mg/lonček		skupno	ustreza g/m ²
				NaCl	CaCl ₂		
A 8,5-14 5,4-8,5 2,0-4,5	3	664	16	531	133	664	16
	3	1000	25	800	200	1000	25
	3	1512	37	1210	300	1512	37
B 8,5-14 4,5-8,5 2,0-4,5	3	2296	57	1837	458	2296	57
	3	3480	87	2784	696	3480	87
	3	5280	132	4224	1056	5280	132

A = nizke doze = mila zima z 20 posipalnimi intervencijami po 20 g/m²: 400 g/m²; širina cestišča 5 m = 2000 dolžinskih metrov

B = visoke doze = ostra zima s 45 posipalnimi intervencijami po 30 g/m²: 1350 g/m²; širina cestišča 5 m = 6750 dolžinskih metrov

Rezultati poskusa kažejo, da po 10-kratni uporabi obeh soli, ki ustreza približno eni posipalni sezoni, obremenitev s solmi bolj ali manj vpliva na pH, sestav zemljine, kakovost poniknjene vode in rast rastlinja.

Vpliv soli na pH vrednost zemljine

snov za odtajanja	A varianta majhni dodatki	B varianta veliki dodatki
NaCl	pH = 7,9	pH = 8,3
vlažna sol	pH = 7,8	pH = 8

Zaradi vlažne soli se pH le neznatno poveča, medtem ko pri NaCl naraste posebno pri velikih dodatkih že prek za rast rastlin ugodnega območja.

Vpliv na sestav zemljine

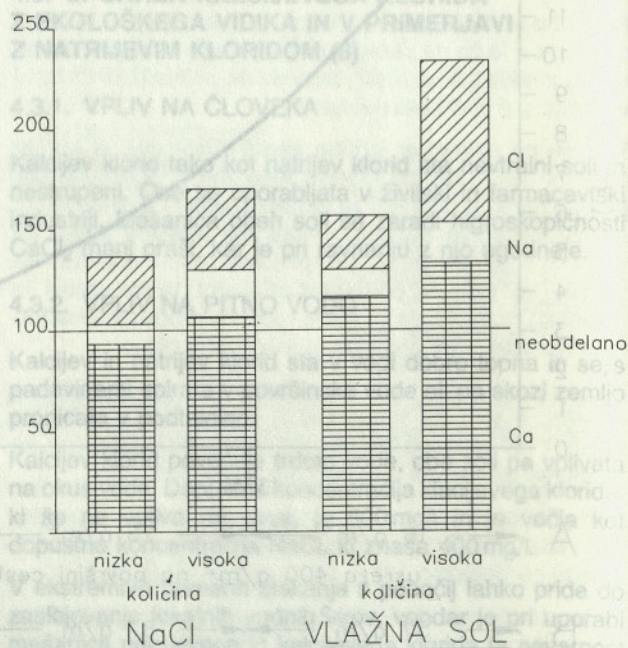
Natrij zaradi nabrekujočega učinka zemljino zgosti, ki tako postaja slabo prepustna, medtem ko kalcij v vlažni soli učinkuje na zemljino stabilizirajoče. Voda lahko hitro ponikne, natrij in klor se izpirata na življenjski pogoji korenin rastline se tako izboljšajo.

Tališno sredstvo	A varianta (majhni dodatki) Stanje sestave tal	B varianta (veliki dodatki) Stanje sestave tal
NaCl	2	3-4
vlažna sol	1	1-2

Legenda:

3 – vidno porušenje zdrobljive strukture, naraščajoča zgostitev, voda samo počasi ponikuje
4 – zdrobljiva struktura je v veliki meri uničena, gobasta površina, voda ponikuje zelo počasi
5 – v zemljini ni več zdrobljive strukture, zgostitev je močna, voda šele po nekaj dneh ponikne.

Vpliv poniknjene vode



Grafikon 1 kaže množino soli v poniknjeni vodi v primerjavi z neobdelano površino = 100 % (3).

Preiskave so pokazale, da se pri vseh uporabljenih količinah obeh vrst soli klorid relativno močneje izpira kot natrij in natrij močneje kot kalcij. Bistveno pa je, da so se soli pri zemljini, ki je bila obdelana z mešano soljo, močneje izpirale kot pri zemljini, obdelani z NaCl , kar pomeni, da se pri obdelavi z naravno soljo bistveno večji delež soli hitreje odstranjuje iz področja, nevarnega za rastlinstvo (to je iz področja korenin).

Vpliv na rast rastlin

Preiskave so pokazale, da se po zimski uporabi soli tudi pri rasti rastlin kažejo bistvene razlike pri rabi NaCl kot pri rabi vlažne soli.

Ocena poškodb javorja po 1-letni uporabi talilnih snovi

Talilna snov	A varianta z majhnimi dodatki	B varianta z velikimi dodatki
NaCl	1–2	3
Vlažna sol	1	2

Legenda:

- 1 – zdrave rastline brez vsakršne poškodbe
- 2 – zdrava rastlina s posamičnimi poškodbami na listih
- 3 – rastline z dobro zaznanimi poškodbami listov
- 4 – vsi listi kažejo močnejše poškodbe
- 5 – rastline v izumiranju ali pa so že izumrle

Vpliv na korozijo

Korozija je elektrokemična reakcija. Za njen postopek morajo biti izpolnjeni trije pogoji, reaktivna kovinska površina, kisik in voda ali atmosferska vlaga.

Kloridi povečajo hitrost korozije tako, da soli proti zmrzali pospešujejo korozijo. Gre za korozijo avtomobilov in mostov. Soljenje pa povzroča poleg propadanja mostov tudi propad cest. Sol v vodi se raztopi in prodira v pore cestišča. Zaradi izpiranja vode in izkristalizacije soli nastanejo velike mehanske napetosti in ob razpokah, kjer se je nabrala sol, velike reže. Kloridni ioni prodirajo v drobne pore betona in tako napadajo železo v mostovih in nadvozih, ki katastrofalno propadajo, svoje pa prispeva tudi utrujenost materiala.

Ugotovimo lahko, da soljenje z natrijevim kloridom vpliva na odmiranje dreves ob cestah, ogroža podtalnico, poškoduje ceste in mostove, korodira avtomobilске dele. Zato je prehod z NaCl na nesporno mnogo bolj prijaznejše sredstvo za zimsko službo CaCl_2 več kot zaželen.

Povzetek prednosti CaCl_2 v primerjavi z NaCl

Glede na večletno uporabo vlažne soli v primerjavi z NaCl lahko ugotovimo:

1. Celokupna poraba soli se zmanjša za 30 %, ker v štirih letih potrošimo manj vlažne soli kot pri NaCl v treh letih.

2. Pri uporabi kalcijevega klorida se nadomesti del Na ionov z rastlinsko hranljivim kalcijevim kloridom.

3. Vlažna sol ustrezno vpliva na strukturo tal; z modelnimi poskusi se je nedvomno dokazalo, da se večje množine Cl in Na izpirajo iz področja koreninc; to je obremenitev rastline s soljo manjša.

4. Pri uporabi vlažne soli v primerjavi s čistim NaCl se zrnata struktura tal zaščiti, to je pozitivno vpliva na oskrbo tal z vlago in z zrakom; tako postanejo življenjski pogoji rastlin bolj ugodni.

5. Upravičeno se predvideva, da je pri dolgotrajni uporabi vlažne soli možno zadržati obremenitev s soljo pri mnogih rastlinah pod mejo toksičnosti.

4.4. UPORABA KALCIJEVEGA KLO RIDA Z VIDIKA VZDRŽEVANJA CEST

V vzdrževanje cest, ki ga pojmujemo kot redno vzdrževanje, je v svojem bistvu preventivno in kurativno izvajanje ukrepov, ki zagotavljajo, da je prometna površina v takšnem stanju, da po njej normalno poteka promet.

Obdelavo gramoznega ustroja cestišč s kalcijevim kloridom štejemo k preventivnim ukrepom vzdrževanja zgornjega ustroja cest. Poleg tega poznamo še posebno vrsto tako imenovanega zimskega vzdrževanja, ki mora zagotoviti normalno potekanje prometa v razmerah obilnih padavin pri nizkih temperaturah, ko se na površini ceste nakopiči sneg in ko se površina prevleče z ledom.

5.0. TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE CaCl_2

5.1. MOŽNE TEHNOLOGIJE IZDELAVE CaCl_2

Tehnično so možni trije postopki izdelave CaCl_2 . V ZDA je najbolj razširjen postopek predelave naravne soline.

V Evropi, kjer naravnih soli ni, prevladuje postopek pri katerem je glavna surovina za proizvodnjo CaCl_2 odpadna lužina iz postopka za proizvodnjo sode po Solvayu. Te lužine vsebujejo poleg CaCl_2 še nepresnovljeni NaCl , apno in različne nečistoče v apnu. Zaradi tega je potrebno te lužine kemijsko očistiti. Tako pripravljeno lužino koncentrirajo v večstopenjskih uparjalnikih od začetka okoli 10 % deleža CaCl_2 na 50–55 % CaCl_2 .

Pri naraščanju koncentracije med uparjenjem, nekako od 20 % CaCl_2 naprej se prične izločati iz raztopine NaCl , ki ga odstranimo s filtriranjem ali centrifugiranjem. Pri tem postopku ostaja v raztopini CaCl_2 še 1–2 % NaCl glede na delež CaCl_2 .

Koncentracije prek 55 % CaCl_2 dosežemo z uparevanjem pod normalnimi ali pod povišanim tlakom. Pri normalnem tlaku uparovanja dosežemo koncentracijo okoli 75 % CaCl_2 , pri nadtlaku pa vse do 85 % CaCl_2 . Običajno uparujemo le do okoli 70–73 % CaCl_2 .

Raztaljeni CaCl_2 se vlija neposredno v sode ali cisterne, ki morajo biti opremljene z ogrevalnimi napravami, lahko pa se predelujejo v kosovno obliko na granulirnih napra-

vah ali v obliki lusk na hladilnih valjih. Kosovni CaCl₂ lahko v sušilnikih posušijo do brezvodnega CaCl₂.

Tretji možni postopek za proizvodnjo CaCl₂ je v reakciji med klorovodikovo kislino in apnencem, pri čemer dobimo CO₂ in vodno raztopino CaCl₂. Iz 20 % vodne raztopine CaCl₂ se lahko na razpršilnem sušilniku dobi trdni CaCl₂ kot brezvodni CaCl₂ ali pa v obliki hidrata v obliki finega prahu. Takšen postopek je upeljan v Cestnem podjetju Celje in družbi Kemira na Finskem.

6.0. GRADNJA CENENIH CEST V GORATIH ALI RAZVIJAJOČIH SE PREDELIH (16)

6.1.0. CaCl₂ V GRAMOZNI MEŠANICI ZA GRADNJO CENENIH CEST

V tujini v goratih predelih in razvijajočih se predelih dajejo prednost gradnji cenениh cest s pomočjo gramozne mešanice, ki vsebuje kalcijev klorid.

Kalcijev klorid v mešanici prispeva pomembne prednosti:

- zagotavlja homogeno osnovno površino
- zagotavlja zadovoljivo dopustno nosilnost za tanko ali debelo asfaltno površino, eno- ali dvoplastno bitumensko prevleko.

Kalcijev klorid se dodaja gramozni mešanici do ca 1, 5 % teže suhe snovi v obratu ali na mestu samem. Temelji cestišč iz gramozna mešanega s kalcijevim kloridom se uspešno uporabljajo v prenekaterih evropskih državah Avstriji, Belgiji, Ševici, Italiji...

Pri gradnji cest (neasfaltirane ali temelji za kasnejše asfaltiranje) se pokažejo utrjevalne lastnosti kalcijevega klorida, če ga dodamo peščeno gramozni mešanici.

Omenili smo že, da kalcijev klorid izboljša vezne lastnosti in dopustne obremenitve ter naredi cestišče odpornejše proti kasnejši izsušitvi, koroziji ali vplivu prahu; čez dva ali tri mesece kompresijski modul doseže več kot 350 NM/m².

Če se pri gradnji cest uporablja gramozna mešanica s kalcijevim kloridom, pripravljena v obratu, se material vgrajuje z grederjem in utrdi z ustreznim valjarjem.

Kolikor se namerava asfalt polagati v desetih dneh, se po pripravi temeljev kamena struktura ščetka ter nato položi bitumenska prevleka. V pričakovanju deževja pa se površina peska.

Dodajanje kalcijevega klorida gradbenemu materialu pocieni stroške vzdrževanja zaradi ugodne vezljivosti in nepreprašnosti.

V tujini pa takšne neasfaltirane ceste uspešno vzdržujejo s posipanjem oziroma škropljenjem cest z raztopino kalcijevega klorida. Če je kalcijev klorid še dodan gradbeni mešanici, potem se število potrebnih škropljenj zmanjša na polovico.

Graditelji in vzdrževalci cest bi se pri prekrivanju cest z majhnimi količinami CaCl₂ rešili visokemu številu škrop-

ljenj z vodo po temeljih pri pripravi tal ali po neasfaltiranih cestah, poteh ali športnih igriščih.

Kalcijev klorid ostaja kot najcenejši dodatek tekočih gramoznih mešanic za temelje asfaltiranih in neasfaltiranih cest.

6.1.1. Gramoziranje cest s kontinuirno granulometrijo in z dodatkom CaCl₂

Uporaba mešanic kamena s široko in zvezno granulometrijo in z dodatkom CaCl₂, ki se pripravljajo na centralnem mestu za temeljne sloje, ima pomembne prednosti:

- konstantno doziranje oskrbnih materialov
- optimalen delež vode, dozirane v trenutku mešanja, ostane v enaki količini zaradi prisotnosti CaCl₂
- ustrezno razprostiranje, kompaktiranje, profiliranje zaradi optimalnega deleža vlage
- povečanje kohezije izdelanih slojev in odpornost proti zarezavanju
- ni možnosti posedanj, če je nosilnost tal temeljev zadostna.

6.2. TEHNIKA UPORABE

6.2.1. Zvezno gramoziranje s CaCl₂

Gre za mešanico granulacij 0/40, 0/32, 0/20 z dodatkom CaCl₂ in vode (uporabljali pa so že mešanice 0/7, da bi zapolnili praznine nekega temelja iz obrnjenih tlakovalnih kamnov. Njihova granulometrija se odčita iz krivulj po Talbotu.

$$y = 100 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^x$$

D = premer največjih zrn gramozna

d = odprtina zank sita, skozi katera prihaja y [%]

x = eksponent, ki ga je treba določiti, in naj bo nad 0,35 in 0,55 zaradi uskladitve maksimalne gostote.

Največja gostota se doseže s »filerjem« (elementi, manjši od 74 mikrometrov) 10 %. Temelji bi se le slabo deformirali že pri deležu »filerja« 7 %. Količina dodanega CaCl₂ mora biti med 0,5–1 % po teži suhega granulata, če ga dodajamo v obliki lusk (77–80 %) oziroma med 0,4 do 0,8 % CaCl₂, če ga dodajamo kot raztopino.

Material (gramoz, pesek ali prah, CaCl₂ in vodo) se pripravlja v klasični betonarni diskontinuirne vrste.

Tehnika za izvajanje del je značilno ročno razgrinjanje materiala za majhna gradbišča in uporaba mehanskih naprav, kot so greder ali finiserji (za beton ali za asfalt) za večja gradbišča.

Predvidene debeline za spodnje sloje so 10–15 cm in 8–15 cm za zgornje sloje; pri tem mora biti spodnji sloj dobro kompaktiran. Najboljši učinki se dosežejo z valjarji s pnevmatikami ali stroji – vibratorji, kjer naj bi se dosegla zahtevana gostota v suhem stanju 2,2 t/m³.

6.2.2. Diskontinuirano gramoziranje s CaCl₂

Mešanice lahko pripravimo v centralni napravi (tako npr.

mešanico s diskontinuirno granulacijo 0/32 za 8 cm debeli zgornji sloj) in pa mešanice »in situ« (na mestu). Pri mešanicah »in situ« lahko dosežemo tudi dobre lasnosti, če razprostiranje cestišč navlažimo s CaCl_2 .

6.2.3. Podtemeljenje

Izdelava podtemeljev iz peska in žlindre povzroča težave pri kompaktiranju, ker zahteva velike količine vode. Temu se graditelji izognejo tako, da zaključijo zgornji del podtemeljev s 6–8 cm debelim slojem in granulacijo 0/20 ali 0/32, kar pomeni boljšo stabilizacijo na površini. Pri tem pa uporabljajo bodisi na površini ali v mešanici CaCl_2 .

6.2.4. Nasipavanje zemlje

Pri nasipavanju zemlje igra pomembno vlogo kot protiprašno sredstvo CaCl_2 .

7.0. SKLEP

Že več kot četrto stoletje kalcijev klorid dokazuje svojo učinkovitost tako v zimski službi kot v izgradnji cest graditeljem le koristi.

Ugotovljena je njegova vsestranska uporabnost ne le za protiprašno obdelavo cestišč in izdelavo podtemeljev, temveč kot izjemno učinkovito sredstvo za odtaljenje ledu na cestiščih in sploh za preprečitev zaledenelih površin, kar ima še poseben pomen v zimsko-vzdrževalni cestni službi. Za ta namen se uporablja CaCl_2 kot prah ali luskice

ali pa v obliki 20 do 30 % vodnih raztopin. Trdni CaCl_2 omogoča namreč na zasneženih in poledenelih cestah takojšno povezanost in s tem varen in nemoten zimski cestni promet. Te hitre učinke lahko razložimo:

– zaradi svoje higroskopičnosti brezvodni CaCl_2 absorbira vlago iz zraka tudi pri hladnem in suhem vremenu

– raztapljanje CaCl_2 je eksotermna reakcija, kjer del toplote oddaja ledu in snega, medtem ko je pri postopku taljenja z NaCl potrebno toploto odvezati iz toplote okolja.

Ekonomičnost porabe CaCl_2 omogočajo že majhne porabe CaCl_2 , ki dajejo presenetljive učinke tudi pri zelo nizkih temperaturah do -30°C (npr. 5,7 ali $11,4\text{ g/m}^2$ cestišča pri preventivnem posipu in podvojene količine za takojšnji učinek proti snegu in ledu).

Glavni učinek uporabe CaCl_2 proti zmrzali na cestišču pa je v njegovi kombinaciji s kuhinjsko soljo. Saj uporaba le kuhinjske soli odpove že pri temperaturi -10°C , ker je zaradi majhne relativne vlažnosti proces raztapljanja te soli zelo upočasnen. Z dodatkom CaCl_2 pa je učinek taljenja ledu na cestišču naglo pospeši tudi pri tem. -30°C in s tem omogoči prometno varno vozišče.

V praksi se zato največ uporablja vlažna sol; to je zmes NaCl, ovlažene z 20 % raztopino kalcijevega klorida.

Tudi v Sloveniji ta tehnologija postopoma, a gotovo nadomešča z vseh vidikov močno neustrezno tehnologijo posipanja vozišč v zimskem času z NaCl.

LITERATURA

1. Prof. dr. J. Žmavc: Priročnik za stabiliziranje materialov, ZRMK Ljubljana
2. Prof. dr. J. Žmavc: Gospodarski in prometni vidiki uporabe novih tehnologij vzdrževanja in gradnje cest s CaCl_2
3. Dr. Johannes, Kemična tovarna KALK, april 1978, Kalcijev klorid kot sredstvo za taljenje, s posebnim ozirom na potresanje mokre soli (Predavanje na 59. seji delovanja odbora družbe za raziskave pri cestogradnji OIAV) 1978
4. Izkušnje z vlažno soljo pri preprečevanju poledice na avtocestah v Porenju – Pfalz, dipl. ing. S. Hahn, Berlin
5. Praksa posipavanja z ovlaženo soljo (Strasse und Verkehr 11/87), Siegfried Hahn, Berlin
6. Vorbedingungen für einen wirtschaftlichen und wirkungsvollen Präventiveinsatz mit Strohsalzen, dr. R. Zulauf, Chur, Strasse und Verkehr 4/67
7. Opomnik Raziskovalne družbe za ceste v Kölnu 2/87, 17/87
8. Ekološki vidiki proizvodnje in uporabe CaCl_2 pri vzdrževanju in gradnji cest, prof. dr. Bogdan Volavšek, Univerza v Mariboru, Tehniška fakulteta
9. J. Žmavc: Priročnik stabiliziranja materialov ZRMK 1970 Ljubljana
10. CaCl_2 – Chlorure de calcium et viabilite hivemable, Solvay
11. Deutscher Straßen-Dienst GmbH, DSD-Merkblatt 1/87, 2/87, 3/87, 5/87
12. Calcium Chloride Handbook, The Dow Chemical Company 1974
13. Calcium Chloride Neve-Neige. Schnee 1967
14. A. Carlier (Solvay Cie S.A.) Economic justification of winter treatments and road safety, gradivo za mednarodni kongres, Torino, 1968
15. Dipl. ing. Dr. Tech, Otto Dedič, Ein Beitrag zur Salzstrenung 1977, Wien
16. Gramoziranje cest z zvezno velikostjo kamenja, obdelanega s CaCl_2 (francoski prevod)

VPLIV PODAJNOSTI LINIJSKIH PODPOR NA NOTRANJE STATIČNE VELIČINE V PLOŠČAH IN V NOSILCIH

UDK 624.04:624.072/.073

VLADO OŠTIR, JANEZ REFLAK

P O V Z E T E K

V prispevku je prikazan vpliv podajnosti linijskih podpor na notranje statične veličine v ploščah in nosilcih. S pomočjo linearno elastične analize z metodo končnih elementov smo analizirali primere z različno togimi linijskimi nosilci v sredini plošče in na njenem robu ter ugotovili, da togost podajnih linijskih nosilcev bistveno vpliva na potek notranjih statičnih veličin v ploščah in v nosilcih.

THE INFLUENCE OF FLEXIBILITY OF LINEAL SUPPORTS ON INTERNAL FORCES IN PLATES AND GIRDERS

S U M M A R Y

The paper presents the influence of flexibility of lineal supports on internal forces in plates and girders. The linear elastic analysis of reinforced concrete plates with the help the finite element method has been used. Considering the stiffness of more flexible lineal supports, more economically cross section design of plates and girders near the supports has been reached.

1.0. UVOD

Pri analizi plošč v visokogradnjah običajno ne upoštevamo vertikalne podajnosti nosilcev, ki podpirajo ploščo. Posledica tega je neekonomično dimenzioniranje nosilcev in plošč v področju podajnih linijskih nosilcev. Napaka, ki jo naredimo, je tem večja, čim bolj je linijski nosilec podajen. Da bi ugotovili velikostni red napake, smo s pomočjo linearno elastične analize, z metodo končnih elementov, analizirali primere, kjer smo upoštevali vpliv podajnosti linijskega nosilca. Analizo smo izvedli po metodi končnih elementov s pomočjo programa »PLOŠČA« [3]. Za modeliranje plošče smo uporabili 9-vozliščne Mindlinove ploščne končne elemente (MIN9), za modeliranje nosilca pa 3-vozliščne linijske končne elemente (TIM3). Ker ima pri nosilcih na robu plošče pomembno vlogo torzijska togost linijskega nosilca, smo analizirali primere z linijskim nosilcem v sredini plošče in na njenem robu.

Problematiko upoštevanja širine vertikalno nepodajnih točkovnih in linijskih podpor smo podrobneje opisali v [2], zato se bomo v prispevku omejili le na vpliv podajnosti linijskih podpor.

2.0. VMESNA LINIJSKA PODPORA

Kot značilen primer vmesne linijske podpore smo analizirali kontinuirno ploščo, sestavljeno iz dveh kvadratnih polj velikosti 4×4 m in debeline 12 cm (slika 1).

Enakomerna zvezna obtežba po celotni površini plošče je znašala 8 kN/m^2 . Za elastični modul materiala plošče in nosilca smo upoštevali $32 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$.

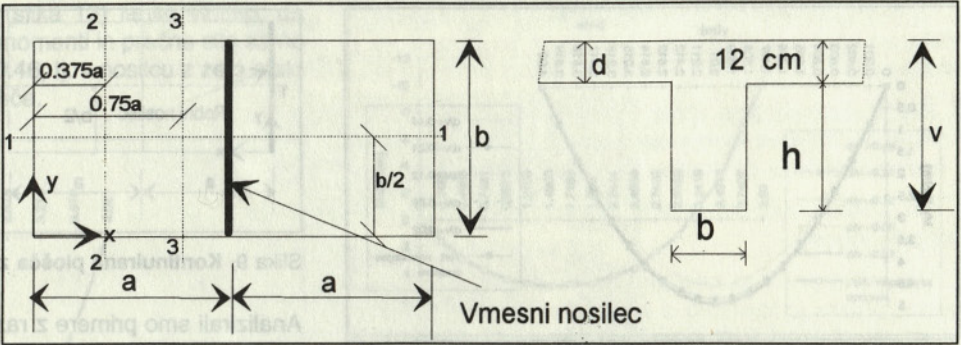
Višina in togost nosilca sta bistvenega pomena, zato smo analizirali primere z različnimi togimi vmesnimi nosilci (slika 2).

Avtorja:

Vlado Oštir, mag., dipl. inž. gradb., mladi raziskovalec

Janez Reflak, dr., dipl. inž. gradb., docent, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, Jamova 2, Ljubljana

Slika 1. Kontinuirna plošča z vmesnim linijskim nosilcem

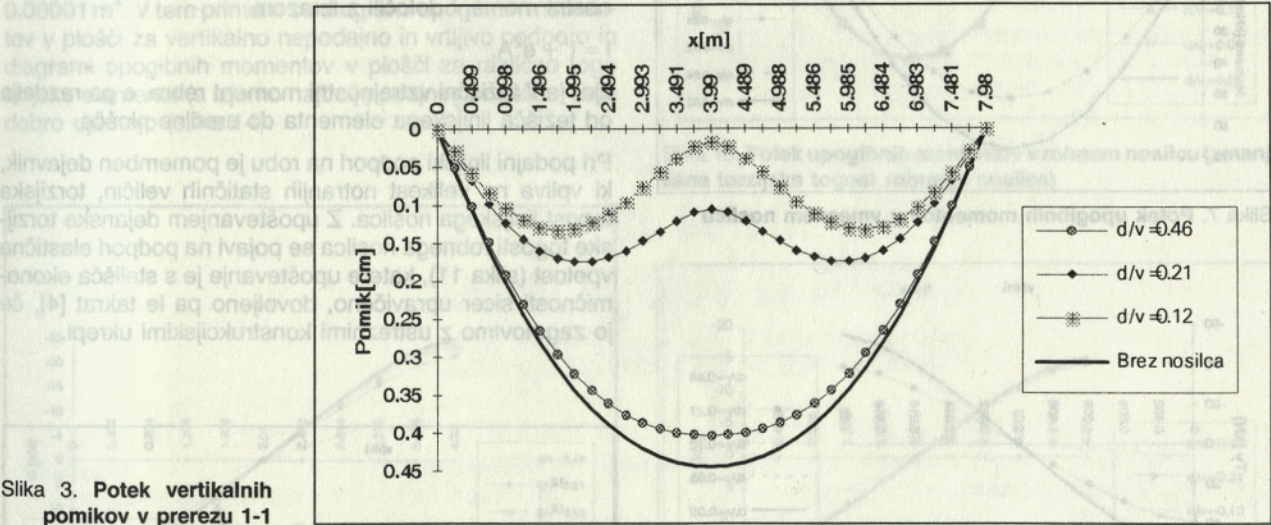


b [m]	h [m]	b · h [m ²]	I-upog [m ⁴]	I-torzij. [m ⁴]
0.36	0.14	5.04E-02	8.23E-05	9.16E-04
0.36	0.44	1.58E-01	2.56E-03	3.49E-03
0.36	0.88	3.17E-01	0.02	0.01
0.36	1.88	0.68	0.2	0.03
0.36	4.88	1.76	3.49	0.08

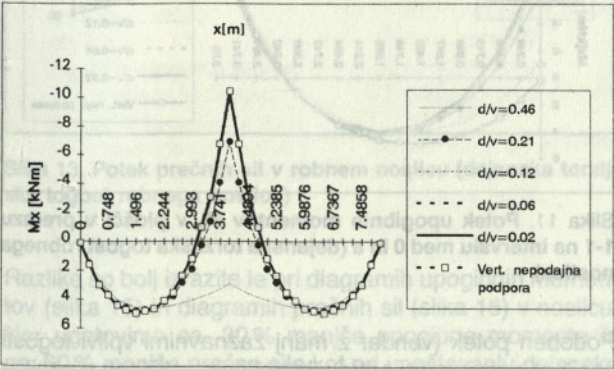
Slika 2. Geometrijske karakteristike linijskih elementov

Ugotovimo lahko, da se pri majhnih razmerjih debeline plošče proti višini nosilca, tj. pri veliki togosti linijskih nosilcev, rezultati za upogibne momente v plošči dobro ujemajo s tistimi za vertikalno nepodajno podporo; obratno pa opazimo pri gibkih nosilcih bistveno drugačen potek upogibnega momenta M_x v plošči v bližini nosilca (slika 4). Podobno velja za potek vertikalnih pomikov (slika 3).

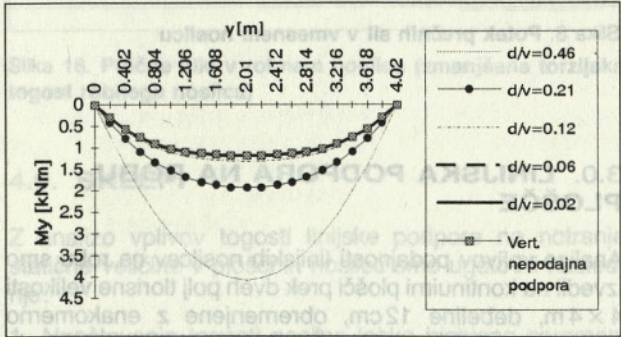
Velike razlike nastopijo tudi pri upogibnih momentih M_y v plošči v bližini vmesnega nosilca (slika 5). Vpliv podajnosti



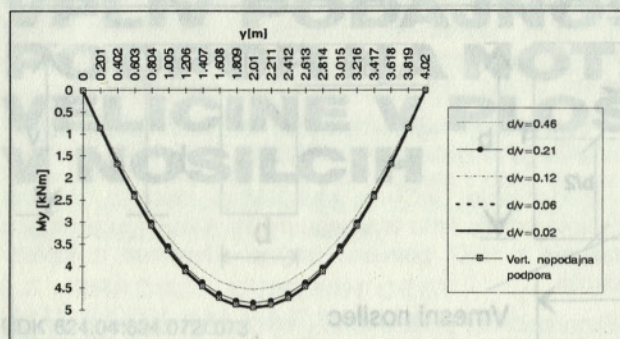
Slika 3. Potek vertikalnih pomikov v prerezu 1-1



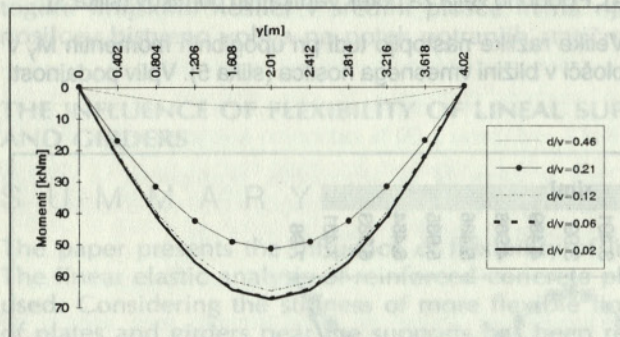
Slika 4. Potek upogibnih momentov M_x v plošči v prerezu 1-1



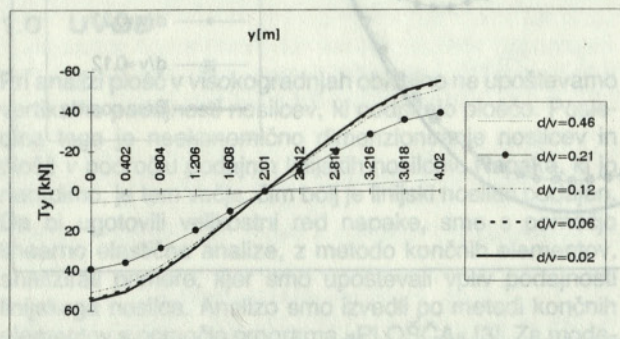
Slika 5. Potek upogibnih momentov M_y v plošči v prerezu 3-3

Slika 6. Potek upogibnih momentov M_y v ploči v prerezu 2-2

(togosti) linijskega nosilca na upogibne momente M_y v ploči pa se zmanjšuje z oddaljenostjo od nosilca (slika 6). Glede na različne togosti linijskih elementov nastopijo podobne razmere tudi v nosilcu. Upogibni momenti (slika 7) in prečne sile (slika 8) naraščajo z večanjem togosti nosilca.



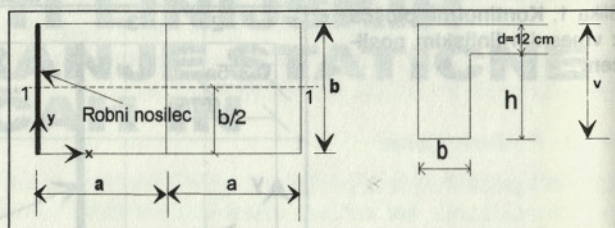
Slika 7. Potek upogibnih momentov v vmesnem nosilcu



Slika 8. Potek prečnih sil v vmesnem nosilcu

3.0. LINIJSKA PODPORA NA ROBU PLOŠČE

Analizo vplivov podajnosti linijskih nosilcev na robu smo izvedli na kontinuirni ploči prek dveh polj tlorisne velikosti 4×4 m, debeline 12 cm, obremenjene z enakomerno zvezno obtežbo $q = 8 \text{ kN/m}^2$ (slika 9). Material plošče in nosilca je bil enak kot v razdelku 2.0.



Slika 9. Kontinuirana ploča z linijskim nosilcem na robu

Analizirali smo primere z različno togimi robnimi linijskimi nosilci (slika 10).

b [m]	h [m]	b · h [m ²]	I - upog [m ⁴]	I - torzij. [m ⁴]
0.36	0.14	5.04E-02	4.91E-04	9.16E-04
0.36	0.44	1.58E-01	1.50E-02	3.49E-03
0.36	0.88	3.20E-01	0.0996	0.01
0.36	1.88	0.68	0.8761	0.03
0.36	4.88	1.76	14.47	0.08

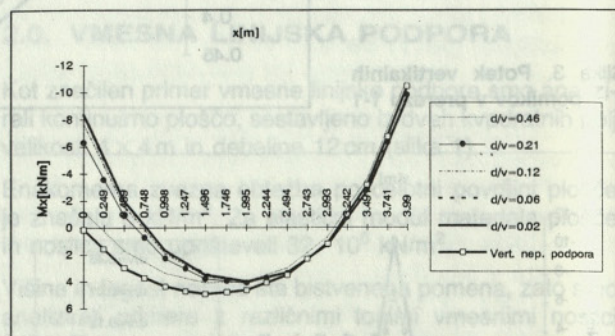
Slika 10. Geometrijske karakteristike robnih linijskih elementov

Zaradi ekscentrične priključitve rebra smo upogibni vztrajnostni moment določili z izrazom

$$I = I' + e^2 A,$$

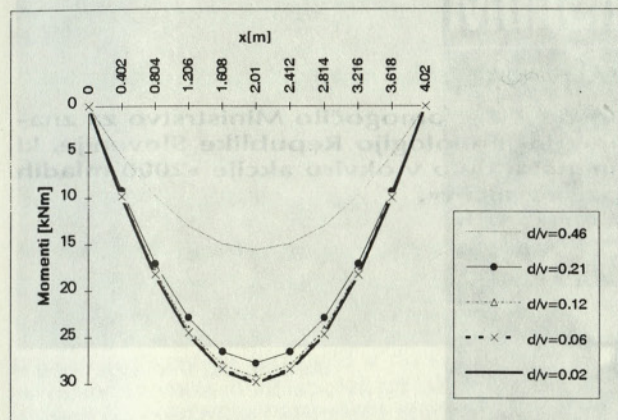
kjer je I' težiščni vztrajnostni moment rebra, e pa razdalja od težišča linijskega elementa do sredine plošče.

Pri podajni linijski podpori na robu je pomemben dejavnik, ki vpliva na velikost notranjih statičnih veličin, torzijska togost linijskega nosilca. Z upoštevanjem dejanske torzijske togosti robnega nosilca se pojavi na podpori elastična vpetost (slika 11), katere upoštevanje je s stališča ekonomičnosti sicer upravičeno, dovoljeno pa le takrat [4], če jo zagotovimo z ustreznimi konstrukcijskimi ukrepi.

Slika 11. Potek upogibnih momentov M_x v ploči v prerezu 1-1 na intervalu med 0 in a (dejanska torzijska togost robnega nosilca)

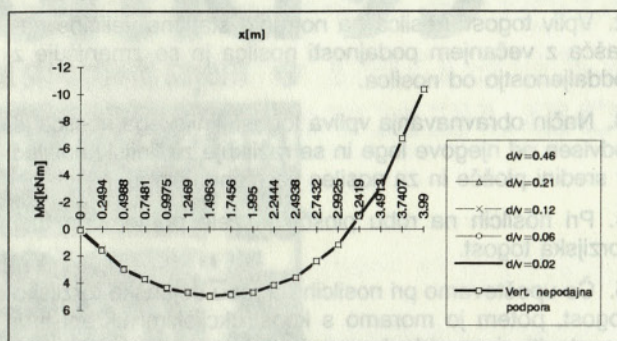
Podoben potek (vendar z manj zaznavnimi vplivi togosti nosilca) opazimo pri notranjih statičnih veličinah v nosilcu (sliki 12 in 13). Iz diagrama upogibnih momentov (slika

12) in prečnih sil v nosilcu (slika 13) lahko vidimo, da bistveno odstopajo upogibni momenti in prečne sile samo v nosilcu z razmerjem $d/v = 0.46$, tj. v nosilcu z zelo malo višino glede na debelino plošče.

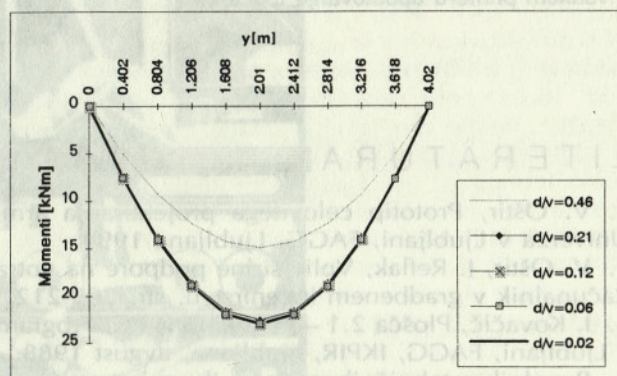


Slika 12. Potek upogibnih momentov v robnem nosilcu (dejanska torzijska togost robnega nosilca)

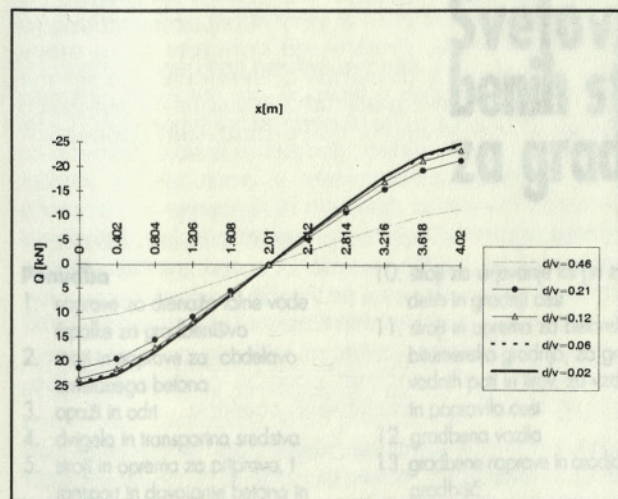
Da bi dobili nekoliko jasnejšo sliko vpliva torzijske togosti, smo zmanjšali torzijsko togost nosilca na fiktivno vrednost 0.00001 m^4 . V tem primeru se diagrami upogibnih momentov v plošči za vertikalno nepodajno in vrtljivo podporo in diagrami upogibnih momentov v plošči za različno toge linijske elemente (z izjemo najbolj podajnega nosilca) zelo dobro ujemajo (slika 14).



Slika 14. Upogibni momenti M_x v plošči v prerezu 1-1 na intervalu med 0 in a

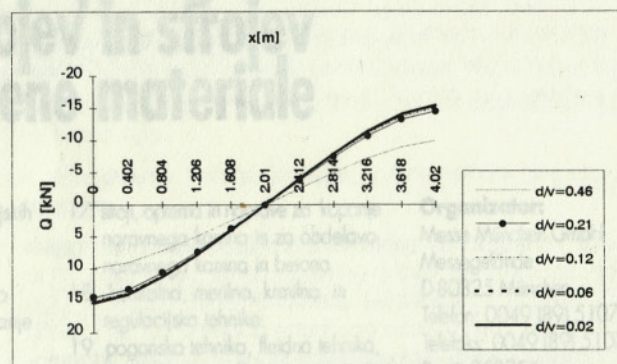


Slika 15. Potek upogibnih momentov v robnem nosilcu (zmanjšana torzijska togost robnega nosilca)



Slika 13. Potek prečnih sil v robnem nosilcu (dejanska torzijska togost robnega nosilca)

Razlike so bolj izrazite le pri diagramih upogibnih momentov (slika 15) in diagramih prečnih sil (slika 16) v nosilcu, kjer ugotovimo ca. 30 % manjše upogibne momente in ca. 60 % manjše prečne sile kot pri upoštevanju dejanske torzijske togosti robnega nosilca.



Slika 16. Prečne sile v robnem nosilcu (zmanjšana torzijska togost robnega nosilca)

4.0. SKLEPI

Z analizo vplivov togosti linijske podpore na notranje statične veličine v plošči in nosilcu smo ugotovili naslednje:

1. Upoštevanje togosti nosilca lahko bistveno spremeni potek notranjih statičnih veličin v plošči in v nosilcu.

2. Vpliv togosti nosilca na notranje statične veličine narašča z večanjem podajnosti nosilca in se zmanjšuje z oddaljenostjo od nosilca.

3. Način obravnavanja vpliva togosti linijskega nosilca je odvisen od njegove lege in se razlikuje za linijski nosilec v sredini plošče in za nosilec na njenem robu.

4. Pri nosilcih na robu plošče je zelo pomembna tudi torzijska togost.

5. Če upoštevamo pri nosilcih na robu dejansko torzijsko togost, potem jo moramo s konstrukcijskimi ukrepi tudi zagotoviti, sicer pride do napačnega prevzemanja upogibnih momentov v plošči in do neekonomičnega dimenzioniranja nosilca.

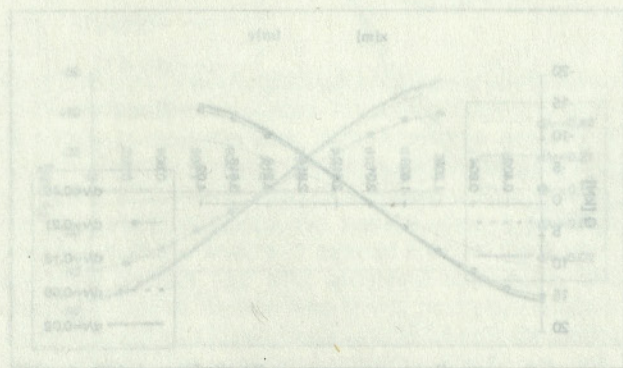
6. Pri projektiranju nosilcev z majhno višino priporočamo v vsakem primeru upoštevanje togosti.

LITERATURA

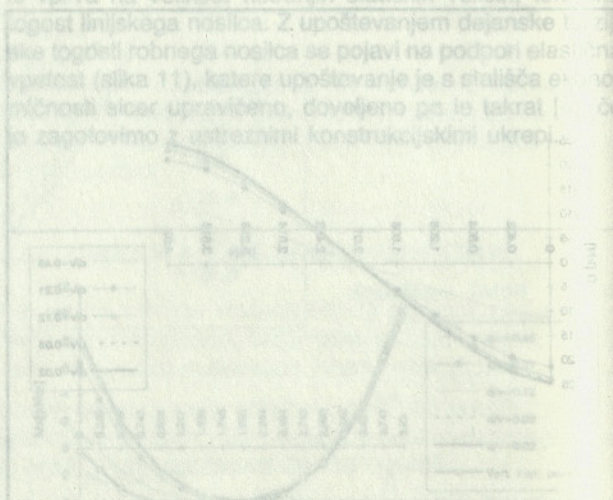
1. V. Oštir, Prototip celovitega projektiranja armiranobetonskih plošč v stavbah, Magistrska naloga, Univerza v Ljubljani, FAGG, Ljubljana 1994.
2. V. Oštir, J. Reflak, Vpliv širine podpore na notranje statične veličine v ploščah, Zbornik 7. seminarja Računalnik v gradbenem inženirstvu, str. 205-212, Ljubljana 1994.
3. I. Kovačič, Plošča 2.1 – verzija IBM-PC, Program za računanje plošč, Uporabniški priročnik, Univerza v Ljubljani, FAGG, IKPIR, Ljubljana, avgust 1988.
4. Pravilnik o tehničnih normativih za beton in armirani beton (Ur. list SFRJ 11/87).

ZAHVALA

Prispevek je omogočilo Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije, ki financira delo v okviru akcije »2000 mladih raziskovalcev«.



Slika 16. Prečne sile v robnem nosilec (zmanjšane torzijske togosti)



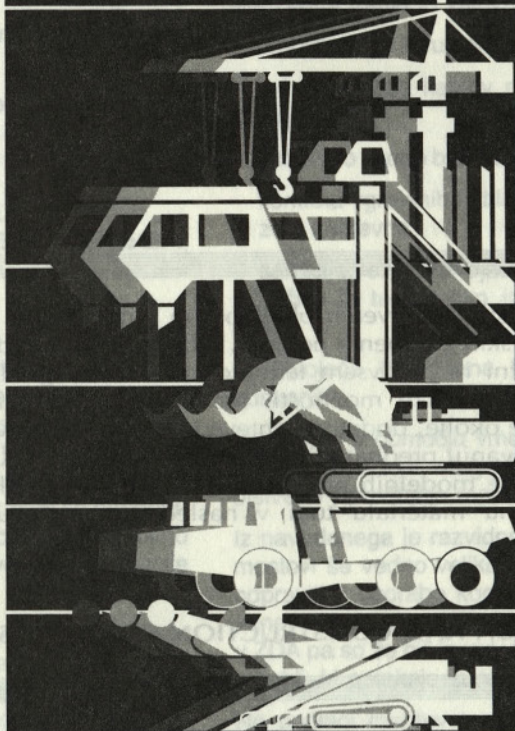
Slika 17. Potek prečnih sil v robnem nosilec (dejanska torzijska togost)



bauma® 95

24. mednarodni strokovni sejem

München, 3.–9. April



Svetovni sejem gradbenih strojev in strojev za gradbene materiale

Ponudba

1. naprave za drenažo talne vode črpalke za gradbeništvo
2. stroji in naprave za obdelavo armiranega betona
3. opaži in odri
4. dvigala in transportna sredstva
5. stroji in oprema za pripravo, transport in dovajanje betona in malte, prednapenjanje betona
6. bagri, nakladalniki, naprave za odkop in planiranje
7. stroji in oprema za gradnjo rogov in predorov
8. naprave za vrtnanje, zabijanje in vlečenje, sistemi za gradnjo in vzdrževanje kanalov
9. kompresorji, pnevmatsko in hidravlično orodje
10. stroji za utrjevanje tal pri zemeljskih delih in gradnji cest
11. stroji in oprema za betonsko in bitumensko gradnjo, za gradnjo vodnih poti in tirov, za vzdrževanje in popravilo cest
12. gradbena vozila
13. gradbene naprave in orodja, oprema gradbišč
14. stroji in naprave za industrijo cementa, apna, gipsa, peska, gline, prodca in gramoza
15. stroji in naprave za reciklažo gradbenih strojev
16. stroji in naprave za proizvodnjo s cementom, apnom in mavcem vezanih gradbenih elementov in gradbenih materialov

17. stroji, oprema in naprave za kopanje naravnega kamna in za obdelavo naravnega kamna in betona
18. kontrolna, merilna, krmilna in regulacijska tehnika
19. pogonska tehnika, fluidna tehnika, agregati za gradbene stroje, stroje za gradbene materiale in gradbena vozila
20. oprema, pribor in obrabni deli za gradbene stroje, stroje za gradbene materiale in gradbena vozila
21. strokovne zveze, organizacija, strokovne založbe

Organizator:

Messe München GmbH
Messegelände
D-80325 München
Telefon: 0049 (89) 5107 209
Telefaks: 0049 (89) 5107 172
Bx * 35075#

NOVOSTI PRI SNOVANJU IN IZVEDBI PREMOSTITVENIH OBJEKTOV

UDK 624.2/8:691

MARJAN PIPENBAHER

P O V Z E T E K

Izgradnja novih in številnih premostitvenih objektov bo v naslednjih letih v Sloveniji pomembna naloga tako projektantov kot izvajalskih gradbenih podjetij. Obseg gradbenih del na avtocestnem sistemu postavlja zahtevo po hitri, ekonomični in predvsem tehnološko sodobni gradnji. Uporaba prednapetega betona nudi sodobnemu projektantu velike možnosti, hkrati pa predstavlja velik izziv. Povečana prometna obtežba, vedno agresivnejše okolje, dodatne zahteve investitorjev ter velika konkurenca, zahtevajo vedno inventivnejši pristop pri snovanju prednapetih betonskih konstrukcij. Uporaba kakovostnejših materialov, novih tehnologij ter izvajanje modelnih preiskav pred gradnjo velikih mostov zagotavlja prednapetemu betonu kot konstrukcijskemu materialu tudi v naslednjem stoletju dominantno vlogo pri izgradnji premostitvenih objektov.

NEW APPROACH IN DESIGN AND CONSTRUCTION OF BRIDGES

S U M M A R Y

Building new bridges to improve infrastructure systems in Slovenia will be an important task for designers and constructing companies. We have to build some important highways in a very short time period, so there is a high demand for new and economic construction methods. Prestressed concrete faces many challenges. Increasing live load, environmental conditions and various demands of serviceability set the requirements for new prestressed concrete structures. New and improved material are available. Research and large scale applications tests of new constructions methods lead to ways for real progress and application of prestressed concrete in next century.

UVOD

Velika konkurenca, zahteve investitorjev po čim krajših rokih izgradnje ter vedno ostrejši kriteriji glede trajnosti in enostavnosti vzdrževanja premostitvenih objektov silijo projektante in izvajalska gradbena podjetja, da pri gradnji uporabljajo vedno racionalnejše in inventivnejše tehnološke postopke, ki poenostavijo in pocenijo izvedbo konstrukcij ter hkrati zagotavljajo večjo trajnost objektov.

Prednapeti beton še vedno predstavlja zaradi svojih znanih prednosti pred klasično armiranim betonom ter ostalimi konstrukcijskimi materiali (jeklo, aluminij) material, ki se največ uporablja pri gradnji sodobnih premostitvenih objektov tako v tujini kot v Sloveniji.

V poslednjih 5 letih pa se je zaradi bistveno izboljšane protikorozijske zaščite jeklenih in sovprežnih konstrukcij, dominantne uporabe jekla pri visečih mostovih ter nasploh pri mostovih z ekstremnimi razponi, padca cen jekla, ki jo je povzročila kriza v svetovni jeklarski industriji, pričela zmanjševati konkurenčnost uporabe prednapetega betona pri izgradnji premostitvenih objektov.

Nujna posledica konkurenčnega boja je bil pospešen razvoj in iskanje novih tehnologij gradnje premostitvenih objektov kakor tudi uporaba vedno kakovostnejših materialov ter konstrukcijskih sklopov.

V tehnološko razvitih državah poteka danes razvoj pri uporabi prednapetega betona v mostogradnji v 4 glavnih smereh, in sicer:

Avtor:

Marjan Pipenbaher, dipl. inž. gr., Inženirski biro PONTING d.o.o., Maribor

– uporaba tehnologije prednapenjanja zunaj betonskega preseka v vzdolžni smeri mosta

– prednapenjanje brez sovpreganja v prečni smeri mosta s predfabriciranimi kabli, ki so zainjektirani s cementno injekcijsko malto oziroma s protikorozijsko zaščitno mastjo

– uporaba visoko kakovostnih betonov MB 65 – MB 125

– uporaba stojin škatlastih nosilcev iz valovitega jekla

1.0. PREDNAPENJANJA BREZ SOVPREGANJA IN ZUNAJ BETONSKEGA PRESEKA

Kratek zgodovinski pregled

Ideja o zunanjem prednapenjanju je stara, saj jo je že leta 1927 patentiral nemški inženir Färber, vendar v praksi ni bila dejansko uporabljena. Današnji sistem zunanjega prednapenjanja pa je patentiral leta 1943 Dischinger. Podal je inovativno idejo o zunanjem prednapenjanju betonskih nosilcev, ki mu je omogočila zaradi še nepopolnega poznavanja reoloških lastnosti betonov ponovno ponapenjanje kablov, kadar je šlo za velike deformacije nosilcev zaradi lezenja betona.

V obdobju med leti 1950 in 1975 je bil sistem zunanjega prednapenjanja zaradi problemov pri zagotavljanju protikorozijske zaščite kablov skoraj popolnoma opuščen, tako da je v tem obdobju doživel bliskovit razvoj sistem prednapenjanja s kabli, ki so toga sovprežno povezani z betonskim presekom.

Predporod zunanjega prednapenjanja, ki so ga spremljale obsežne raziskave, se je pričel v začetku osemdesetih let v ZDA in Angliji ter še posebej v Franciji in Švici. Danes se omenjeni sistem vedno bolj uporablja pri izvedbi novih mostov in viaduktov, v visokogradnji, posebej pa je uporaben pri sanacijah in ojačitvah obstoječih betonskih konstrukcij, saj je uspešno rešen problem antikorozijske zaščite kablov.

Zakaj zunanje prednapenjanje mostov

Na podlagi dolgoletnih svetovnih izkušenj pri projektiranju in izvedbi mostov je razvidno, da se kljub nekaterim prednostim konstrukcij, ki so prednapete s kabli, ki potekajo v betonskem preseku (boljši izkoristek kablov, večja varnost v porušnem stanju ter pred nastankom razpok), pojavlja pri klasično prednapetih konstrukcijah bistven problem – zagotavljanje trajnosti ter možnost sanacije ali po potrebi ojačitve, saj vemo, da je življenjska doba premostitvenih objektov od 60–80 let, seveda če prej funkcionalno ne zastarijo.

Glavne pomanjkljivosti klasično prednapetih konstrukcij so:

– betonski preseki so masivnejši in težji, saj so dimenzije presekov definirane tudi s konstruktivnimi zahtevami glede

razporeditve in zaščite kablov

– pri velikem številu kablov in pri vitkih presekih je vgrajevanje betona oteženo, preseki so oslabljeni zaradi kabelskih cevi (stojine!)

– pri dolgih kontinuirnih kablilih znaša padec napenjalne sile zaradi trenja in valovanja do 50 %

– problematika utrujanja jekla za prednapenjanje

– v fazi gradnje kablov ni mogoče ustrezno korozijsko zaščititi

– kabli niso vedno brezhibno in kakovostno zainjektirani

– kontrola vgrajenih kablov praktično ni več možna ali pa je zelo zahtevna

– sanacija, oziroma ojačitev prednapetih konstrukcij je tehnično in tehnološko izredno zahtevna, zamudna in draga

– obstoječe korodirane kable je praktično nemogoče odstraniti

– kabli so v območju vmesnih podpor dodatno ogroženi s kloridovimi ioni, vlago ter ostalimi kemičnimi vplivi, ki bistveno povečujejo možnost korozije kablov.

Iz navedenega je razvidno, da imajo klasično prednapeti mostovi še vedno veliko pomanjkljivosti, ki jih je mogoče odpraviti z uporabo kombinacije kablov, ki potekajo v in zunaj betonskega preseka. V Franciji, ZRN in predvsem v ZDA pa so že bili izvedeni objekti, ki so prednapeti samo s kabli, ki potekajo zunaj betonskega preseka.

Na podlagi meritev ter rednega opazovanja objektov v fazi uporabe je razvidno, da se omenjeni mostovi obnašajo povsem regularno, tako da ni ovir, ki bi preprečevale množično uporabo tehnologije zunanjega prednapenjanja.

Poglavitne prednosti kombinirano ali samo zunanje prednapetih konstrukcij pa so:

– betonski preseki so vitkejši (predvsem stojine) in s tem bistveno lažji

– vgrajevanje betona je lažje, v betonskem preseku ni oslabitev

– izgube zaradi trenja so minimalne

– večja izkoriščenost kablov (po EC No2 od 70–80 % natezne trdnosti jekla)

– ker so kabli zaradi betonskega preseka je omogočena enostavna kontrola

– kabli so korozijsko zaščiteni že med gradnjo

– kable je mogoče enostavno zamenjati, konstrukcijo pa po potrebi ojačiti z dodatnimi kabli

– večja ekonomičnost in predvsem možnost kontrole izvedbe injektiranja, kar zagotavlja trajnost in varnost konstrukcije

Opis kablov za zunanje prednapenjanje

Kabli za zunanje prednapenjanje so sestavljeni iz nasled-

njih elementov:

- jeklenih kablov za napenjanje
- napenjalnih glav za končno sidranje in donapenjanje
- protikorozijskega zaščitnega sistema
- sedel na mestu deviacij kablov

Jeklo za prednapenjanje

Večina standardov za napenjalno jeklo razlikuje med gladkimi in rebrastimi palicami, žicami in prameni. Statistični podatki kažejo, da se danes vgrajuje ca. 75 % pramen, 15 % žic in ca. 10 % palic.

Uporaba žic in pramen je univerzalna, palice pa so omejene na ravne in kratke kable.

Velika uporaba pramen je posledica ugodnega razmerja – tona/sila.

Sidrne in napenjalne glave

Do nedavnega so bili kabli sidrani z enakimi glavami, kot se uporabljajo za prednapenjanje s sovpreganjem. V preteklem obdobju pa je razvoj sidrnih glav dosegel velik napredek. Napenjalne glave so danes izdelane tako, da je kable možno popustiti in jih zamenjati ali pa dodatno ponapeti.

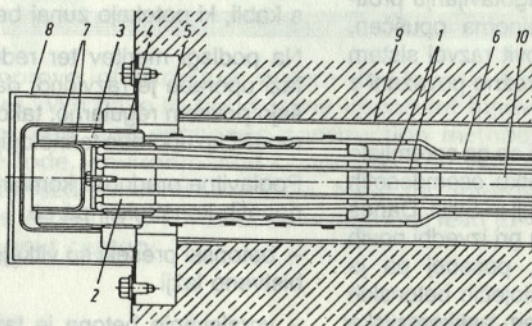
Oba sistema sta v praksi preizkušena in zagotavljata kakovostno protikorozijsko zaščito. Specialna trajno plastična injekcijska mast se mora pred injektiranjem segreti na ca. 100 stopinj C, tako da je zagotovljena predpisana viskoznost, ki zagotavlja dobro oblitje jeklenih kablov.

Konstrukcija sedel na mestu deviacij kablov

Kable, ki so prednapeti zunaj betonskega preseka, lahko vodimo ravno ali pa poligonalno, tako da sledijo momentni liniji zaradi obtežb. Da se zagotovi predpisana lega, je potrebno kable voditi prek posebno konstruiranih sedel, ki zagotavljajo prenos odklonskih sil kablov na konstrukcijo. V večini primerov so sedla sestavljena iz ukrivljenih jeklenih cevi, ki so vgrajene v beton, ali pa so preko navarjene jeklene podkonstrukcije sidrane v betonsko maso.

Stik med kablom in sedlom mora biti skrbno detajliran, da se kabel med napenjanjem in v fazi uporabe ne poškoduje ($R > 4.00\text{ m}$). Posebno pozornost moramo posvetiti stiku PE cevi z jekleno cevjo, ki poteka prek sedla.

Slika 1. Napenjalna glava BBR SUSPA za zunanje napeti kabel

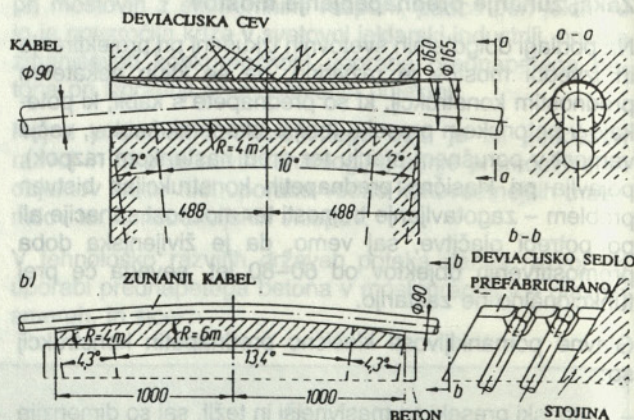


1. žica za prednapenjanje premera 7 mm
2. sidrna glava
3. vlečni prstan
4. sidrna matica
5. sidrna plošča
6. PE - cev
7. PE - zaščitna kapa
8. jeklena zaščitna kapa
9. PE - opažna cev
10. zaščitna injekcijska mast

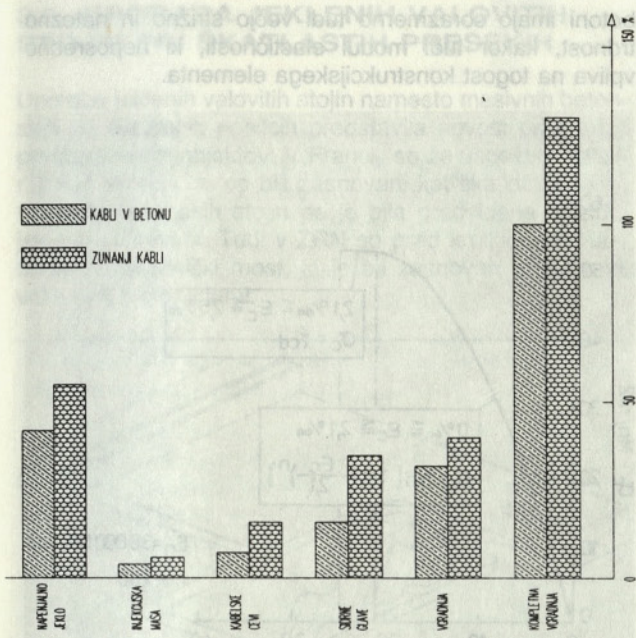
Protikorozijski zaščitni sistem

Jeklo za napenjanje kot bistven nosilni element potrebuje kakovostno in trajno zaščito pred korozijo. Za kable, ki so zainjektirani v betonskem preseku, je zaščita zagotovljena že z alkalnim okoljem injekcijske malte oziroma betona.

Kabli, ki potekajo zunaj betonskega preseka, se danes uporabljajo kot predfabricirani, izdelani in zainjektirani v delavnici (jekleni kabli se vstavijo v PE cevi in se zainjektirajo s trajno plastično injekcijsko mastjo, npr. Denso-jetom, tako da se na gradbišču samo vgradijo in prednapnejo) ali pa se na gradbišču vstavijo v pocinkane jeklene ali PE cevi, prednapnejo ter zainjektirajo s cementno ali trajno elastično injekcijsko mastjo.



Slika 2. Shematski prikaz deviacijskega sedla v polju

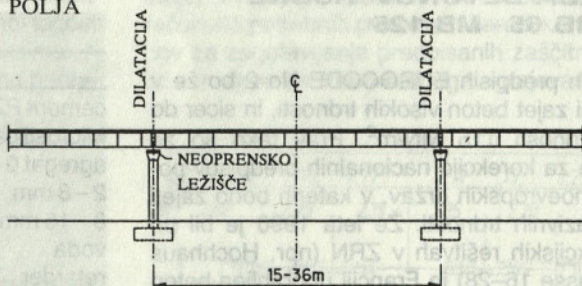


Slika 3. Cenovna primerjava klasičnih in zunanjih kablov

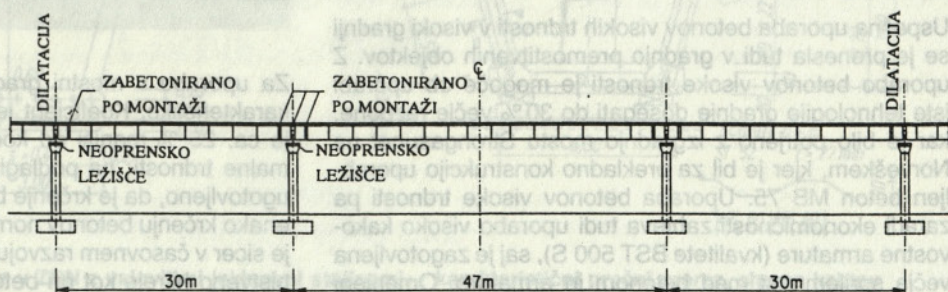
Ekonomski primerjava

Iz primerjalne analize do sedaj izvedeni objektov v tujini je razvidno, da so kabli, ki potekajo zunaj betonskega preseka, lahko tudi do 100 % dražji od kablov, ki potekajo znotraj betonskega preseka. Ko pa upoštevamo ceno materialov celotne konstrukcije, je konstrukcija, ki je prednapeta s kombinacijo kablov, ki potekajo v betonskem preseku (faza gradnje), in kabli, ki potekajo zunaj betonskega preseka (faza uporabe), v fazi izvedbe dražja od 2 do 5 %.

PROSTO LEŽEČA POLJA



KONTINUIRANA POLJA



Slika 4. Viadukt Nuevo Leon – vzdolžni prerez, shematski prikaz sistema gradnje

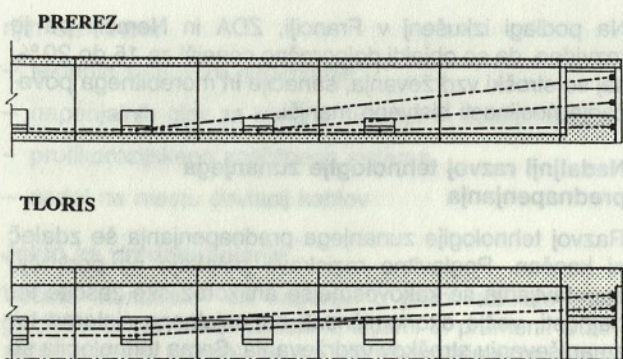
Na podlagi izkušenj v Franciji, ZDA in Nemčiji pa je razvidno, da so objekti dolgoročno cenejši za 15 do 20 %, saj so stroški vzdrževanja, sanacije in morebitnega povečanja nosilnosti bistveno manjši.

Nadaljnji razvoj tehnologije zunanje prednapenjanja

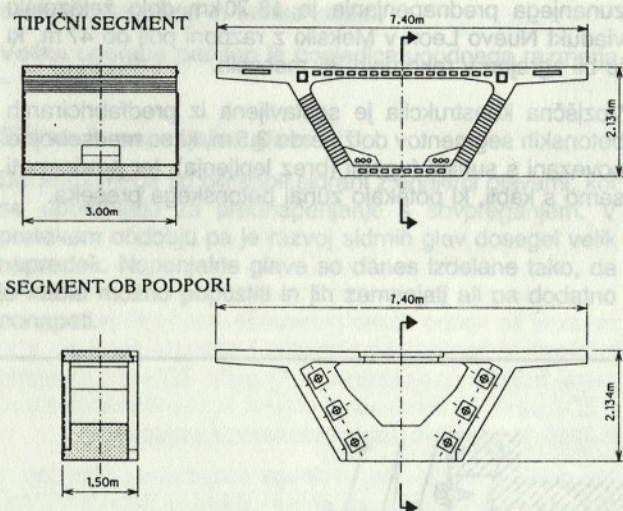
Razvoj tehnologije zunanje prednapenjanja še zdaleč ni končan. Poglavitne raziskave potekajo na področju zagotavljanja še kakovostnejše antikorozijske zaščite ter trajnosti, večje ekonomičnosti napenjalnega sistema ter zmanjševanja stroškov vzdrževanja. Sama tehnologija se v najrazvitejših državah množično uporablja.

Najnovejši dokaz uspešnega primera uporabe tehnologije zunanje prednapenjanja je 18,70 km dolg železniški viadukt Nuevo Leon v Meksiku z razponi polj do 47 m, ki je bil zgrajen v rekordnih 36 mesecih.

Voziščna konstrukcija je sestavljena iz predfabriciranih betonskih segmentov dolžine do 3.5 m, ki so medsebojno povezani s suhimi fugami (brez lepljenja), ter prednapeti samo s kabli, ki potekajo zunaj betonskega preseka.



Slika 5. Shematski prikaz vodenja kabelskih linij



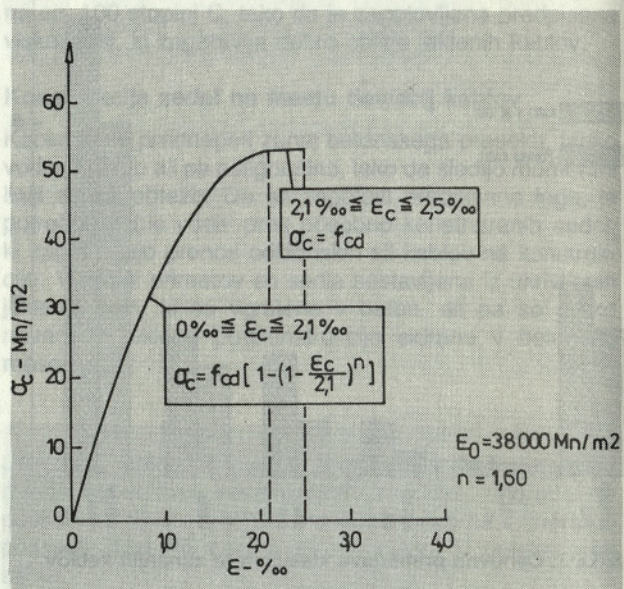
Slika 6. Tipični segment nad podporo in v polju

2.0. UPORABA BETONOV VISOKE TRDNOSTI MB 65 – MB 125

V novih evropskih predpisih EUROCODE No 2 bo že v naslednji korekciji zajet beton visokih trdnosti, in sicer do karakteristične trdnosti 115 MN/m^2 . Prav tako so že končane priprave za korekcijo nacionalnih predpisov posameznih zahodnoevropskih držav, v katerih bodo zajeti betoni visokih nazivnih trdnosti. Že leta 1990 je bil pri številnih konstrukcijskih rešitvah v ZRN (npr. Hochhaus Mainzer Landstrasse 16–28) in Franciji uporabljen beton karakteristične trdnosti do MB 125.

Uspešna uporaba betonov visokih trdnosti v visoki gradnji se je prenesla tudi v gradnjo premostitvenih objektov. Z uporabo betonov visoke trdnosti je mogoče ob uporabi iste tehnologije gradnje dosegati do 30 % večje razpone, kar je bilo potrjeno z izgradnjo mostu Strongasunet na Norveškem, kjer je bil za prekladno konstrukcijo uporabljen beton MB 75. Uporaba betonov visoke trdnosti pa zaradi ekonomičnosti zahteva tudi uporabo visoko kakovostne armature (kvalitete BST 500 S), saj je zagotovljena večja sprijemnost med betonom in armaturo. Omenjeni

betoni imajo sorazmerno tudi večjo strižno in natezno trdnost, kakor tudi modul elastičnosti, ki neposredno vpliva na togost konstrukcijskega elementa.



Slika 7. Računski delovni diagram betona MB 85

Delovni diagram betonov visoke trdnosti se bistveno razlikujejo od betonov običajne kakovosti. Do ca. 80 % karakteristične tlačne trdnosti namreč poteka skoraj linearno, kar je posledica izredno majhnega vodocementnega faktorja, ki znaša od 0.22 do največ 0.35 ter dodatkov (Mikrosilica).

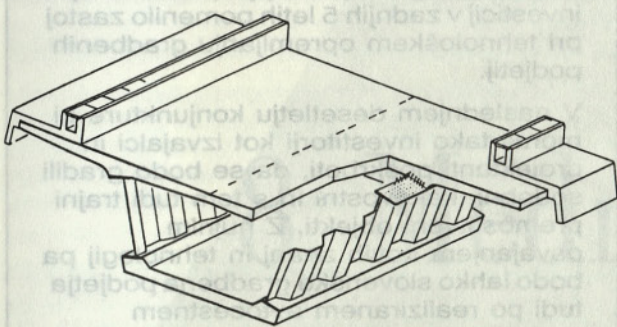
Primer recepture betona MB 85 ter MB 125: (privzeto po literaturi)

	MB 85	MB 125
cement PZ45	450 kg	450 kg
Microsilica	35 kg	45 kg
agregat 0–2 mm	613 kg	661 kg
2–8 mm	385 kg	358 kg
8–16 mm	753 kg	768 kg
voda	150 l	128 l
retarder	1.6 l	1.8 l
plastifikator	10 l	22 l

Za uporabo v mostni gradnji so bistvene tudi reološke karakteristike. Koeficient lezenja betonov visoke trdnosti je ca. 25 % manjši od koeficienta lezenja betonov normalne trdnosti; na podlagi preiskav pa je bilo prav tako ugotovljeno, da je krčenje betona visoke trdnosti približno enako krčenju betonov normalne trdnosti, bistvena razlika je sicer v časovnem razvoju, kjer krčenje v začetku poteka bistveno hitreje kot pri betonih običajne kakovosti.

3.0. UPORABA JEKLENIH VALOVITIH STOJIN PRI ŠKATLASTIH PRESEKIH

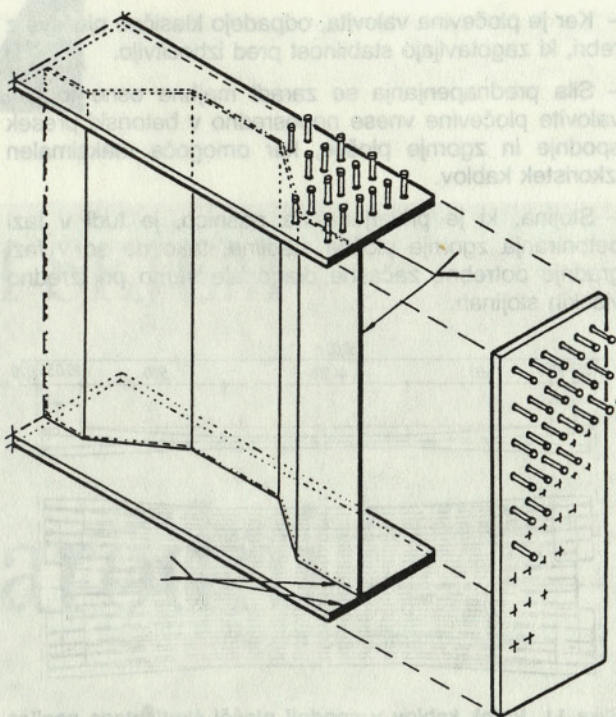
Uporaba jeklenih valovitih stojin namesto masivnih betonskih pri škatlastih nosilcih predstavlja novost pri gradnji premostitvenih objektov. V Franciji so že uspešno realizirali več mostov, ki so bili zasnovani kot škatlasti nosilci, namesto betonskih stojin pa je bila predvidena valovita jeklena pločevina. Tudi v ZRN so pred kratkim predali v uporabo železniški most, ki je bil zasnovan z jeklenimi valovitimi pločevinami.



Slika 8. Zasnova mostu s stojinami iz valovite pločevine

Da niso valovite jeklene stojine škatlastih nosilcev zgolj modna muha, dokazujejo uspešno izvedeni objekti ter naslednje prednosti v primerjavi s klasičnimi betonskimi stojinami:

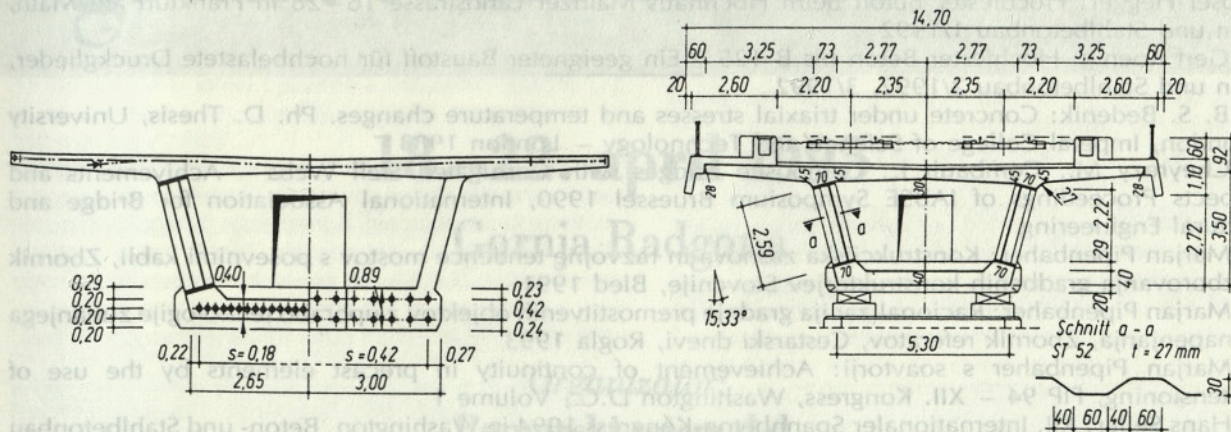
- Z uporabo jeklenih valovitih pločevin se bistveno zmanjša lastna teža škatlastega preseka, saj stojine predstavljajo tudi do 50 % betonskega preseka.
- Upogibna in strižna nosilnost preseka je razdeljena na obe plošči in stojini.
- Voziščna in spodnja plošča, ki sta iz betona visoke trdnosti (MB 65–MB 85), zagotavljata upogibno togost preseka. Z dano kombinacijo je dosežen maksimalen izkoristek betonskega preseka, saj je vsa masa na perife-



Slika 9. Konstrukcijska zasnova jeklene stojine

riji preseka.

- Valovita pločevina, iz katere je stojina, rabi za prenos strižnih obremenitev. Zaradi nagubanosti je v vzdolžni smeri mostu "mehka", tako da v principu ne prevzema normalnih napetosti. V prečni smeri pa je zaradi valov dovolj toga, da lahko prevzame obremenitve v prečni smeri in je zagotovljen okvirni učinek škatle.
- Odpadejo problemi, ki nastajajo pri betoniranju visokih stojin. Pri večjih mostovih so debeline stojin večje od računsko potrebnih predvsem zaradi konstrukcijskih ukrepov za zagotavljanje predpisanih zaščitnih slojev betona do armature ter kakovostnega vgrajevanja betona.

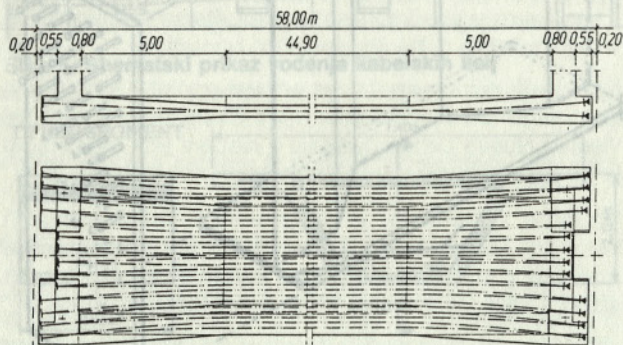


Slika 10. Pilotni železniški nadvoz v ZRN z valovitimi jeklenimi stojinami – karakteristični prečni prerez, shema kablov

– Ker je pločevina valovita, odpadejo klasične ojačitve z rebri, ki zagotavljajo stabilnost pred izbočitvijo.

– Sila prednapenjanja se zaradi majhne osne togosti valovite pločevine vnese neposredno v betonski presek spodnje in zgornje plošče, kar omogoča maksimalen izkoristek kablov.

– Stojina, ki je privarjena na pasnico, je tudi v fazi betoniranja zgornje plošče stabilna, tako da so v fazi gradnje potrebne začasne diagonale samo pri izredno visokih stojinah.



Slika 11. Potek kablov v spodnji plošči škatlatega nosilca nadvoza

4.0. SKLEP

Sorazmerno nizke cene ter izredno intenziven tempo izgradnje avtocestnega omrežja in s tem spremljajočih premostitvenih objektov v Republiki Sloveniji žal sili projektante in izvajalce, da uporabljajo pri snovanju in izvedbi objektov prvenstveno obstoječe tehnologije gradnje, saj je pomankanje investicij v zadnjih 5 letih pomenilo zastoj pri tehnološkem opremljanju gradbenih podjetij.

V naslednjem desetletju konjunktura bi morali tako investitorji kot izvajalci in projektanti poskrbeti, da se bodo gradili sodobni, kakovostni in s tem tudi trajni premostitveni objekti. Z nujnim osvajanjem novih znanj in tehnologij pa bodo lahko slovenska gradbena podjetja tudi po realiziranem avtocestnem programu uspešno konkurirala v tujini.

LITERATURA

1. D. Jungwirth: Externe Vorspannung – Zeitgeist oder technischer Fortschritt, Der Bauingenieur 67/1992
2. M. Virlogeux: Die externe Vorspannung, Beton und Stahlbetonbau, 83/1988
3. J. Mathivat: Recent developments in prestressed concrete bridges, FIP – notes 2/1988
4. J. Eibl: Vorspannung ohne Verbund, erste Brückenueberbauten mit externer Vorspannung für
5. FIP External Prestressing. Commission Steel and Systems 5th Revised Draft, Zürich 1990
6. J. Eibl: On some external prestressed bridges in Germany, XIth International Congress on Prestressed Concrete, Hamburg 1990
7. K. Schütt: Entwicklung und Anwendung eines Spannglieds für externe Vorspannung, Beton- und Stahlbetonbau 86/1991
8. P. E. Mondorf: Design-Construction of Precast segmental Elevated metro Line for Monterrey, PCI Journal, 1993
9. Josef Hegger: Hochfester Beton beim Hochhaus Mainzer Landstrasse 16–28 in Frankfurt am Main, Beton und Stahlbetonbau 1/1992
10. Gert Koenig: Hochfester Beton bis B 125 – Ein geeigneter Baustoff für hochbelastete Druckglieder, Beton und Stahlbetonbau 2/1992, 3/1992
11. B. S. Bedenik: Concrete under triaxial stresses and temperature changes. Ph. D. Thesis, University of London, Imperial College of Science and Technology – London 1983
11. Cheyrez M., Combault J.: Composite bridges with Corrugated Steel Webs – Achievements and Prospects Proceedings of IABSE Symposium Bruessel 1990, International Association for Bridge and Structural Engineering
13. Marjan Pipenbaher: Konstrukcijska zasnova in razvojne tendence mostov s poševnimi kabli, Zbornik 13. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, Bled 1991
14. Marjan Pipenbaher: Racionalizacija gradnje premostitvenih objektov z uporabo tehnologije zunanega prednapenjanja, Zbornik referatov, Cestarski dnevi, Rogla 1993
15. Marjan Pipenbaher s soavtorji: Achievement of continuity in precast elements by the use of post-tensioning, FIP 94 – XII. Kongress, Washington D.C., Volume 1
16. Hans Seiler: XII. Internationaler Spannbeton-Kongress 1994 in Washington, Beton- und Stahlbetonbau 11/94, 12/94
17. EUROCODE No 2



GRADBENI SEJEM

8. Mednarodni bienalni sejem gradbeništva in gradbenih materialov

18.-22. april 1995

Gornja Radgona

Organizator:

Pomurski sejem d.d.

Gornja Radgona

POŽARNA VARNOST BETONSKIH KONSTRUKCIJ

UDK 699.81:624.012.4

FRANC SAJE

P O V Z E T E K

Prispevek obravnava požarno varnost betonskih konstrukcij. Na kratko so prikazane mehanske lastnosti betona in jeklene armature pri povišani temperaturi, ki jih potrebujemo za analizo odziva konstrukcije pri visoki temperaturi okoliškega medija v primeru požara. V nadaljevanju prispevka so podane osnovne enačbe računa toplotne prevodnosti za določitev poteka temperature konstrukcije, ki je izpostavljena požarni obremenitvi.

Za analizo mejne nosilnosti konstrukcije pri povišani temperaturi v primeru požara sta podana dva tipa računa. Natančnejša določitev mejne nosilnosti konstrukcije pri požarni obremenitvi s pomočjo nelinearne analize konstrukcije na podlagi toplotnega odziva je zaradi zahtevnosti postopka bolj primerna za raziskovalno-razvojne namene. Za enostavno in hitro določitev mejne nosilnosti konstrukcije pri povišani temperaturi oziroma požarne varnosti konstrukcije pa lahko uporabimo tudi približni računski postopek, ki je podan v evropskem standardu pr ENV 1992-1-2. Na koncu sestavka so prikazani še najpomembnejši tehnični ukrepi za zagotavljanje požarne varnosti, ki jih predpisuje omenjeni evropski standard.

FIRE SAFETY OF CONCRETE STRUCTURES

S U M M A R Y

The paper deals with fire safety of concrete structures. It presents briefly the mechanical properties of concrete and steel reinforcement at increased temperature, necessary for the analysis of the response of the structure at high temperature of the surrounding medium in case of fire. In the sequel the paper gives the basic equations of the calculus of heat conductivity for the determination of the temperature distribution of structures exposed to fire.

For the analysis of the limit bearing capacity of the structure at increased temperature in case of fire two types of calculus are given. More exact determination of the limit bearing capacity of the structure at fire loading is due to the highly demanding process by the help of the nonlinear analysis of structures on the basis of heat response more appropriate for the research and development purposes. For simple and quick determination of limit bearing capacity of the structure at increased temperature, or for the determination of fire safety of the structure the approximate computational procedure, given in the European prestandard ENV 1992-1-2, can also be used. At the end the paper presents the most important technical requirements to provide fire safety regulated by the mentioned European prestandard.

1. UVOD

Požarna varnost je ena izmed pomembnih zahtev, ki jim morajo gradbene konstrukcije zadoščati. Definiramo jo z dolžino časovnega intervala, v katerem gradbena konstrukcija tudi pri visoki temperaturi okolja ohrani nosilnost in zagotavlja vsaj minimalno varnost proti porušitvi.

Požarne varnosti konstrukcij ne zagotavljamo z negorljivostjo osnovnih materialov nosilne konstrukcije, ampak s smotrim konstruiranjem. Konstrukcije iz negorljivih materialov, kot je jeklo, so pogosto zaradi velike toplotne prevodnosti in občutljivosti za visoko temperaturo mnogo manj požarno varne kot strokovno izvedene gorljive lesene konstrukcije. Zaradi nizke toplotne prevodnosti lesa,

Avtor:

Franc Saje, doc. dr. dipl. inž. gradb.,

FAGG, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

še posebej pa površinskega sloja oglja, ki v primeru požara nastane na površini profilov, toplota iz površja le počasi prodira v notranjost lesenih profilov, ki zaradi tega tudi pri visoki temperaturi okoliškega medija sorazmerno dolgo časa ohranijo potrebno nosilnost.

Ustrezno konstruirane betonske konstrukcije pa so hkrati požarno varne in negorljive. Požarno varnost armiranobetonskih in prednapetih betonskih konstrukcij v glavnem zagotavljamo z ustrezno izbiro dimenzij konstrukcij in oddaljenosti armature od površine elementov konstrukcije, minimalno stopnjo armiranja in smotrnim razporedom oziroma vodenjem armature. Duktilnost in možnost preazporitve notranjih sil pri statično nedoločnih sistemih tvori pomemben del dejanske varnosti konstrukcij.

Varnost konstrukcij pri požarni obremenitvi lahko računsko ugotovljamo z nelinearno analizo odziva konstrukcije z upoštevanjem prenosa toplote v skladu z zakoni termodinamike, mehanskih lastnosti materiala pri povišani temperaturi, fizikalne nelinearnosti in reologije materiala ter geometrijske nelinearnosti konstrukcije.

Računske metode nelinearne analize odziva konstrukcije pri povišani temperaturi so zaradi zahtevnosti in obsežnosti dela primerne le za raziskovalno in razvojno delo, na podlagi katerega določimo ustrezne tehnične ukrepe, ki zagotavljajo zahtevano požarno varnost konstrukcije.

V praksi zagotavljamo požarno varnost konstrukcij z izpolnjevanjem posebnih tehničnih ukrepov, ki so na podlagi ustreznih teoretičnih in eksperimentalnih raziskav določeni v standardih za požarno varno gradnjo konstrukcij. V Sloveniji ustreznih standardov za požarno varnost betonskih konstrukcij nimamo, tako da naše konstrukcije večkrat ne zadoščajo niti zahtevam ustreznega evropskega predstandarda pr ENV 1992-1-2 iz oktobra 1993 niti nemškega standarda o zagotavljanju požarne varnosti gradbenih konstrukcij DIN 4102.

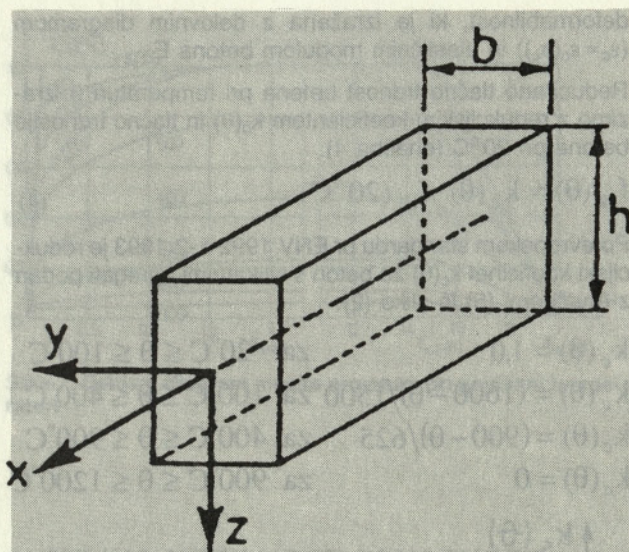
2. PREVAJANJE TOPLOTE BETONSKIH KONSTRUKCIJ

Prevajanje toplote v dveh smereh homogenega izotropnega materiala, katerega termične lastnosti niso odvisne od temperature, lahko opišemo z difuzijsko enačbo (1), ki jo uporabimo za določitev poteka temperature po betonski konstrukciji.

$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + q_v - \rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Pri tem je T temperatura, y , z kartezijevi koordinati poljubne točke prečnega prereza elementa konstrukcije, t čas, k toplotna prevodnost, ρ gostota, c specifična toplota materiala in q_v prostorninski toplotni tok.

Robni pogoj na površini, na kateri je predpisan toplotni pretok skozi površino, zapišemo z enačbo (2).



Slika 1

$$k \left(\frac{\partial T}{\partial y} n_y + \frac{\partial T}{\partial z} n_z \right) = -q_0 - h(T - T_s) \quad (2)$$

Pri tem sta n_y in n_z komponenti normale na površino elementa, q_0 predpisani toplotni tok in $h(T - T_s)$ toplotni pretok konvekcije. Robni pogoj na površini elementa, kjer je predpisana skupna temperatura T_s , izrazimo z enačbo (3).

$$(T - T_s) = 0 \quad (3)$$

S pomočjo ustrezne programske opreme, ki jo izdelamo na podlagi podanih izhodiščnih enačb in toplotnih karakteristik betona, lahko pri predpisani zunanji temperaturi oziroma toplotnem toku določimo temperaturo v poljubni točki betonske konstrukcije.

3. MEHANSKE LASTNOSTI BETONA IN JEKLA PRI POVIŠANI TEMPERATURU

Mehanske lastnosti materialov, ki jih upoštevamo pri analizi konstrukcij v normalnih razmerah, določamo običajno pri sobni temperaturi, to je pri 20 °C. Znano je, da se s spreminjanjem temperature, mehanske lastnosti betona in jekla, ki ga uporabljamo za armiranje in prednapenjanje betonskih konstrukcij, spreminjajo.

Vpliv povišane temperature na lastnosti betona

Temperatura okolja konstrukcij, ki so izpostavljene požarni obremenitvi v smislu standarda pr ENV 1992-1-2:1993, lahko znaša med 20 in 1200 °C. Z naraščanjem temperature betona, ki je seveda drugačna od temperature okoliškega medija, se spreminjata tako karakteristična tlačna (f_{ck}) in natezna (f_{tk}) trdnost betona kakor tudi njegova

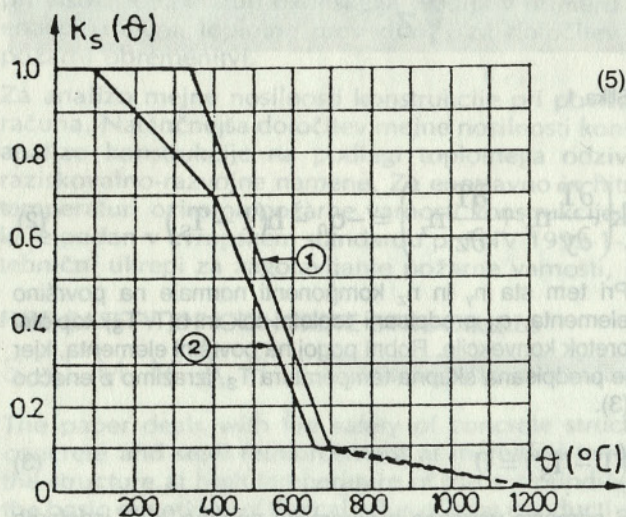
deformabilnost, ki je izražena z delovnim diagramom ($\epsilon_c = \epsilon_c(\sigma_c)$) in elastičnim modulom betona E_c .

Reducirano tlačno trdnost betona pri temperaturi θ izrazimo z redukcijskim koeficientom $k_c(\theta)$ in tlačno trdnostjo betona pri 20°C (enačba 4).

$$f_{ck}(\theta) = k_c(\theta) \cdot f_{ck}(20^\circ\text{C}) \quad (4)$$

Po evropskem standardu pr ENV 1992-1-2:1993 je redukcijski koeficient $k_c(\theta)$ za beton s silikatnimi agregati podan z enačbami (5) in sliko (2).

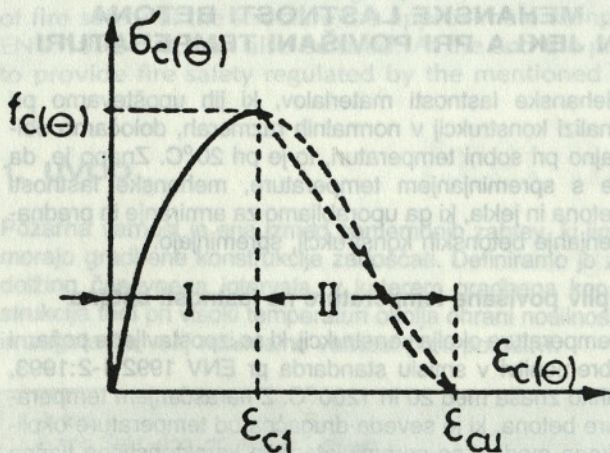
$$\begin{aligned} k_c(\theta) &= 1,0 & \text{za } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C} \\ k_c(\theta) &= (1600 - \theta)/1500 & \text{za } 100^\circ\text{C} \leq \theta \leq 400^\circ\text{C} \\ k_c(\theta) &= (900 - \theta)/625 & \text{za } 400^\circ\text{C} \leq \theta \leq 900^\circ\text{C} \\ k_c(\theta) &= 0 & \text{za } 900^\circ\text{C} \leq \theta \leq 1200^\circ\text{C} \end{aligned}$$



① $k_s(\theta)$ za jeklo z $\epsilon_{uk} > 2,0\%$

② $k_s(\theta)$ za jeklo z $\epsilon_{uk} < 2,0\%$

Slika 2. Redukcijski koeficient $k_c(\theta)$



Slika 3. Delovni diagram betona

Delovni diagram betona pri povišani temperaturi pa je v evropskem standardu podan z enačbo (6) in sliko (3). Karakteristične vrednosti diagrama so v odvisnosti od temperature podane v standardu.

$$\sigma_c(\theta) = f_c(\theta) \left[\frac{\epsilon_c(\theta)}{\epsilon_{c1}(\theta)} \cdot \left(\frac{3}{2 - (\epsilon_c(\theta)/\epsilon_{c1}(\theta))^3} \right) \right] \quad (6)$$

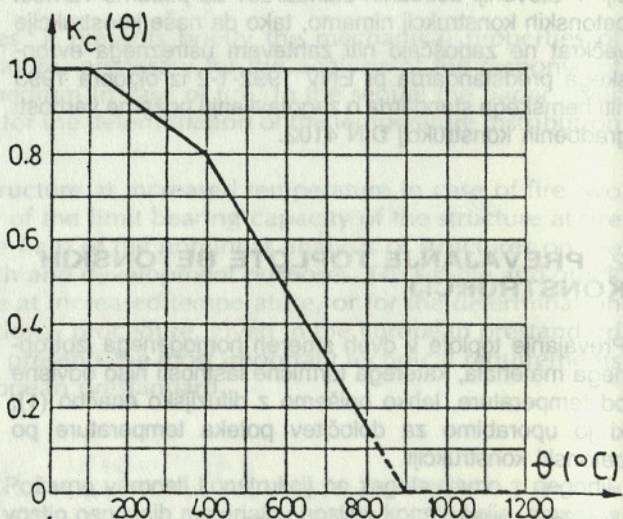
Vpliv povišane temperature na lastnosti armature

Karakteristična napetost mehke armature na meji elastičnosti pri povišani temperaturi (θ) je določena z enačbo (7), za prednapeto armaturo pa z enačbo (8).

$$f_{yk}(\theta) = k_s(\theta) \cdot f_{yk}(20^\circ\text{C}) \quad (7)$$

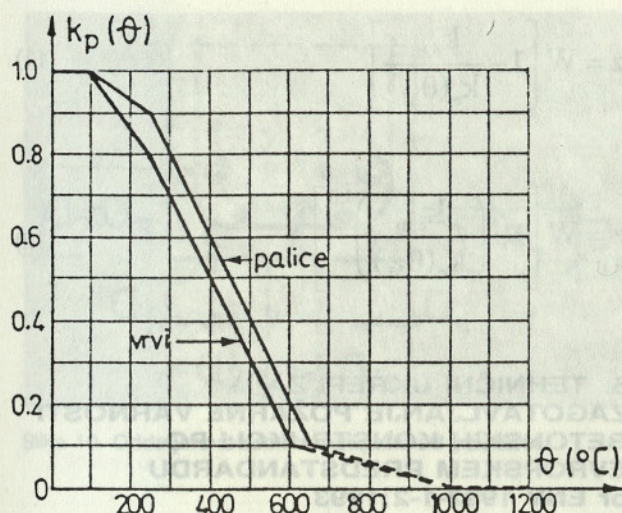
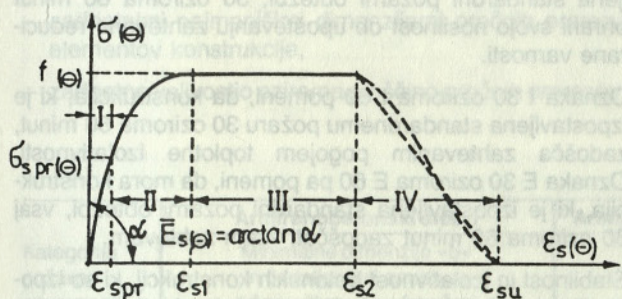
$$f_{pk}(\theta) = k_p(\theta) \cdot f_{pk}(20^\circ\text{C}) \quad (8)$$

Pri tem je redukcijski koeficient $k_s(\theta)$ za mehko armaturo podan na sliki (4), redukcijski koeficient $k_p(\theta)$ za prednapeto armaturo pa na sliki (5).

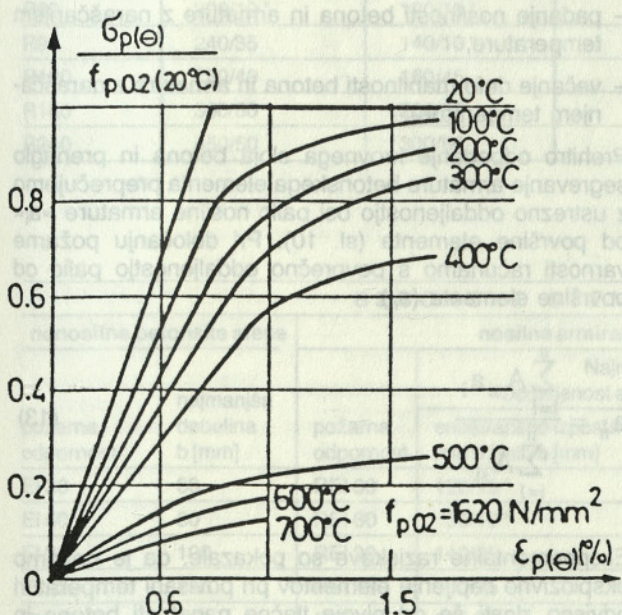


Slika 4. Koeficient $k_s(\theta)$ za mehko armaturo

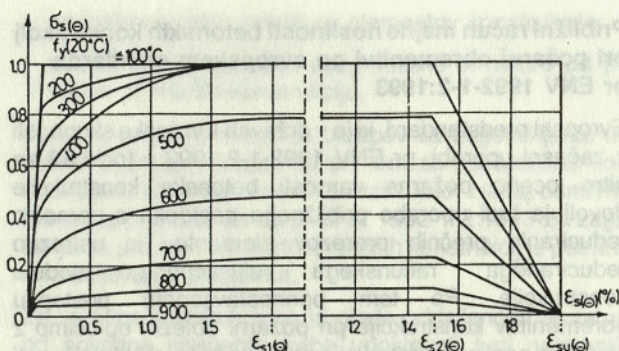
Za simuliranje delovnega diagrama jekla za armiranje in prednapenjanje v odvisnosti od temperature so v standardu pr ENV 1992-1-2:1993 dane tudi ustrezne enačbe. Model delovnega diagrama jekla pri povišani temperaturi je prikazan na sliki (6), dejanski delovni diagram mehke armature na sliki (7), delovni diagram prednapete armature pa na sliki (8).

Slika 5. Koeficient $k_p(\theta)$ za prednapeto armaturo

Slika 6. Shematični delovni diagram jekla pri povišani temperaturi



Slika 8. Delovni diagram palic za prednapenjanje pri povišani temperaturi



Slika 7. Delovni diagram mehke armature pri povišani temperaturi

4. MEJNA NOSILNOST IN VARNOST KONSTRUKCIJE PRI POŽARNI OBREMITVI

Principi splošne računske analize požarne varnosti betonskih konstrukcij

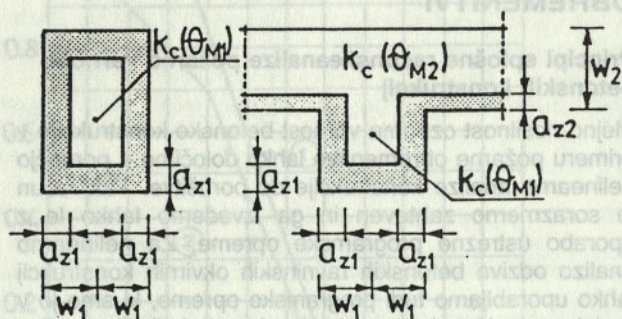
Mejno nosilnost oziroma varnost betonske konstrukcije v primeru požarne obremenitve lahko določimo s pomočjo nelinearne analize konstrukcije do porušitve. Tak račun je sorazmerno zahteven in ga izvedemo lahko le z uporabo ustrezne programske opreme. Za nelinearno analizo odziva betonskih ravninskih okvirnih konstrukcij lahko uporabljamo tudi programsko opremo, ki smo jo v sodelovanju Katedre za metalne konstrukcije in gradiva in Katedre za masivne in lesene konstrukcije izdelali na FGG v Ljubljani. Teoretične podlage razvite računske metode nelinearne analize konstrukcije in ustrezne programske opreme so podane v že objavljenih sestavkih avtorjev računske metode [3], [4], [5], [6], kjer si jih bralec lahko natančneje ogleda.

Pri računu mejne nosilnosti betonske konstrukcije pri požarni obremenitvi moramo v okviru nelinearne analize obremenitve in pomikov konstrukcije poleg običajne geometrijske in materialne nelinearnosti ter reoloških vplivov, kot je razvidno iz literature [3] do [6], dodatno upoštevati še vpliv povišane temperature betona in armature na njihove mehanske lastnosti. Pri integraciji napetosti moramo upoštevati delovne diagrame betona in armature, ki so v posameznih točkah prereza odvisni tudi od temperature na teh mestih prereza, kot je razvidno iz 3. točke tega sestavka. Časovni potek temperature v posameznih točkah konstrukcije pa na podlagi izhodiščnih enačb, ki so podane v 2. točki tega sestavka, določimo po zakonih prenosa toplote.

Na ta na način z nelinearno analizo podane konstrukcije lahko pri poljubnem trajanju povišane temperature okolja konstrukcije določimo njeno mejno nosilnost oziroma varnost proti porušitvi. Na podlagi takšnih analiz pa potem določimo potrebne tehnične ukrepe, ki v praksi zagotavljajo zahtevano stopnjo požarne varnosti konstrukcije.

Približni račun mejne nosilnosti betonskih konstrukcij pri požarni obremenitvi po evropskem standardu pr ENV 1992-1-2:1993

Evropski predstandard, ki je v državah Evropske skupnosti v začasni uporabi, pr ENV 1992-1-2:1993 v točki 43 za hitro oceno požarne varnosti betonske konstrukcije dovoljuje tudi uporabo približnega postopka s pomočjo reduciranih prečnih prereзов elementov in ustrezno reduciranega računskega elastičnega modula konstrukcije. Po tem poenostavljenem postopku obremenitev konstrukcije pri požarni obtežbi določimo z običajno analizo konstrukcije po linearni teoriji elastičnosti z upoštevanjem reduciranega modula elastičnosti konstrukcije $E_{cd}(\theta_n) = (k_c(\theta_m))^2 \cdot E_{ck}(20^\circ\text{C})$ in reduciranih prečnih prereзов konstrukcije zaradi povišane temperature. Reducirane prereze pri tem določimo na ta način, da po tistem delu oboda, ki je izpostavljen ognju oziroma visoki zunanji temperaturi, prereз zmanjšamo za določeno debelino plasti a_z , ki je določena v standardu (slika 9).



Slika 9. Reducirani prečni prereз konstrukcije

Račun mejne nosilnosti prereзов elementov konstrukcije oziroma varnosti konstrukcije pri požarni obtežbi pa izvedemo z upoštevanjem reducirane tlačne trdnosti betona $f_{cd}(\theta_m)$ in reduciranih prečnih prereзов (slika 9) po običajni metodi računa mejne nosilnosti prereзов v skladu s predstandardom Eurocode 2 ENV 1992-1-1 iz marca 1992.

Pri tem je reducirana tlačna trdnost betona podana z enačbo (9).

$$f_{cd}(\theta_M) = k_c(\theta_M) \cdot f_{ck}(20^\circ\text{C}) \quad (9)$$

Povprečni redukcijski koeficient $k_{c,m}$ za del prereза ali celoten prečni prereз je podan z enačbo (10), pri čemer je n število kontrolnih točk.

$$k_{c,m} = \frac{(1 - 0,2/n) \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i)}{n} \quad (10)$$

Debelina računsko nenosilnega površinskega sloja » a_z « betonskega prereза nosilcev in stropov je podana z enačbo (11), stebrov in sten pa z enačbo (12).

$$z = W \left[1 - \frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right] \quad (11)$$

$$z = W \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right)^{1,3} \right] \quad (12)$$

5. TEHNIČNI UKREPI ZA ZAGOTAVLJANJE POŽARNE VARNOSTI BETONSKIH KONSTRUKCIJ PO EVROPSKEM PREDSTANDARDU pr ENV 1992-1-2:1993

V navedenem predstandardu stopnja požarne varnosti R 30 oziroma R 60 pomeni, da konstrukcija, ki je izpostavljena standardni požarni obtežbi, 30 oziroma 60 minut ohrani svojo nosilnost ob upoštevanju zahtevane reducirane varnosti.

Oznaka I 30 oziroma I 60 pomeni, da konstrukcija, ki je izpostavljena standardnemu požaru 30 oziroma 60 minut, zadošča zahtevanim pogojem toplotne izolativnosti. Oznaka E 30 oziroma E 60 pa pomeni, da mora konstrukcija, ki je izpostavljena standardni požarni obtežbi, vsaj 30 oziroma 60 minut zadoščati vsem zahtevam.

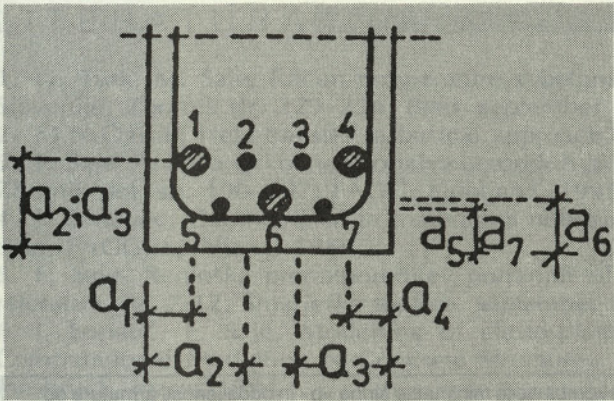
Stabilnost in izolativnost betonskih konstrukcij, ki so izpostavljene požarni obremenitvi, ogrožajo zlasti:

- odstopanje krovne plasti betona,
- eksplozivno cepljenje betonskih elementov,
- padanje nosilnosti betona in armature z naraščanjem temperature,
- večanje deformabilnosti betona in armature z naraščanjem temperature.

Prehitro odpadanje krovne plasti betona in prenapetost segrevanje armature betonskega elementa preprečujemo z ustrezno oddaljenostjo osi palic nosilne armature » a_i « od površine elementa (sl. 10). Pri določanju požarne varnosti računamo s povprečno oddaljenostjo palic od površine elementa (a_n).

$$a_n = \frac{\sum_{i=1}^n A_{si} a_i}{\sum_{i=1}^n A_{si}} \quad (13)$$

Eksperimentalne raziskave so pokazale, da je nevarno eksplozivno cepljenje elementov pri povišani temperaturi odvisno zlasti še od nivoja tlačne napetosti betona in minimalne dimenzije prečnega prereза elementa konstrukcije.



Slika 10. Oddaljenost armaturnih palic od površine

Zahtevano požarno varnost ojačenih betonskih konstrukcij v skladu z evropskim predstandardom pr ENV 1992-1-2:1993 zagotavljamo z:

- zadostnimi najmanjšimi dimenzijami prečnih prereзов elementov konstrukcije,
- zadostno velikostjo oziroma ploščino prečnih prereзов,

- zadostno nosilno armaturo elementov konstrukcije,
- zadostno oddaljenostjo palic nosilne armature od površine elementa konstrukcije.

Opisane zahteve tehničnih ukrepov za zagotavljanje ustrezne požarne varnosti se pri tem za posamezne konstrukcijske elemente nekoliko razlikujejo. Nekaj osnovnih zahtev iz predstandarda pr ENV 1992-1-2:1993 za zagotavljanje požarne varnosti betonskih konstrukcij je podanih v nadaljevanju prispevka.

Za vse tipe konstrukcij pa je glede oddaljenosti armature od površine elementa treba upoštevati tudi najmanjšo debelino krovnega sloja betona, ki je potrebna zaradi korozijske zaščite betona in je določena v standardu Eurocode 2-1992-1-1. Vrednosti, ki so v naslednjih preglednicah označene z *, pomenijo, da zadoščajo za zagotavljanje požarne varnosti, zaradi potrebne korozijske zaščite pa jih moramo povečati. Kadar debelina krovnega sloja betona preseže 50 mm, moramo ta sloj dodatno armirati s fino mrežo.

Stebri in natezni elementi iz armiranega in prednapetega betona

Kategorija požarne odpornosti	Armiranobetonski stebri		Armirani in prednapeti betonski elementi	
	Minimalne dimenzije »b« in oddaljenosti armature od površine »a« v [mm] pri izpostavljenosti požaru		Možne kombinacije minimalne dimenzije »b« in oddaljenosti armature od površine »a« min (b/a) [mm]	
	večstranska	enostranska	1	2
R30	150/10 *	100/10 *	80/25	200/10 *
R60	200/10 *	120/10 *	120/40	300/25
R90	240/35	140/10 *	150/55	400/45
R120	280/40	160/45	200/65	500/45
R180	360/50	200/60	240/80	600/60
R240	450/50	300/60	280/90	700/70

Preglednica 1. Minimalne dimenzije prereza »b« in oddaljenosti armature od površine »a«

BETONSKE STENE				
nenosilne betonske stene		nosilne armiranobetonske stene		
požarna odpornost	najmanjša debelina b [mm]	požarna odpornost	Najmanjša debelina »b« in oddaljenost armature od površine »a« v [mm]	
			enostransko izpostavljene min b / min a [mm]	dvostransko izpostavljene min b / min a [mm]
EI 30	60	REI 30	120/10 *	120/10 *
EI 60	80	REI 60	130/10 *	140/10 *
EI 90	100	REI 90	140/25	170/25 *
EI 120	120	REI 120	160/35	220/35
EI 180	150	REI 180	210/55	300/55
EI 240	175	REI 240	270/70	360/70

Preglednica 2. Minimalna debelina »b« in oddaljenosti armature od površine sten »a« glede na požarno varnost

Zahteve po preglednici 1 veljajo v primeru uporabe silikatnih agregatov, v primeru uporabe apnenčastih agregatov lahko podane zahteve v povprečju reduciramo za 10%.

Nenosilne betonske in nosilne armiranobetonske stene

Minimalne zahteve debeline sten in oddaljenosti armature od površine so podane v preglednici 2.

Armiranobetonski in prednapeti betonski nosilci

Kategorija požarne odpornosti	Min. debelina stojine b_w [m]	Možne kombinacije minimalne širine »b« in oddaljenosti armature od površine »a« min (b/a) [mm]						
		prosto ležeče grede				grede neprekinjene preko več polj		
		1	2	3	4	1	2	3
R30	80	80/25	120/15	160/15*	200/10*	80/12*	160/12*	200/12*
R60	100	120/40	160/35	200/30	300/25	120/25	200/12*	300/12*
R90	100	150/55	200/45	250/40	400/35	150/35	250/25	400/25
R120	120	200/65	240/55	300/50	500/45	220/45	300/35	500/35
R180	140	240/80	300/70	400/65	600/60	380/60	400/60	600/50
R240	160	280/90	350/80	500/75	500/70	480/70	500/70	700/60

Preglednica 3. Najmanjša dopustna debelina stojine »b_w«, širina pasu »b« in oddaljenosti armature od površine »a«

6. SKLEP

Pri neprekinjenih nosilcih mora armatura nad podporami segati vsaj 0,3 k_f v vsakokratno polje, upoštevana prerazporeditev notranjih sil v skladu z ENV 1992-1-1 pa ne sme preseči 15%.

Stropne konstrukcije

Pri neprekinjenih ploščah prek več podpor mora biti prerez armature nad podporami večji od 0,5 % betonskega prereza ($A_s > 0,005 A_c$), dolžina negativne armature pa mora biti tolikšna, da vsaj 0,3 l_{ef} sega v priležni polji. Pri gobastih ploščah pa je vsaj 20 % potrebne armature nad vmesnimi podporami v obeh smereh potrebno vleči prek celih dolžin priležnih polj.

Glede zagotavljanja požarne varnosti betonskih konstrukcij smo v Sloveniji v občutnem zaostanku za razvojem stroke in ustrezno regulativo v razvitih evropskih državah. Betonske konstrukcije, ki so izvedene v skladu z našo tehnično regulativo, glede požarne varnosti v več primerih ne zadoščajo zahtevam evropskega predstandarda o zagotavljanju požarne varnosti betonskih konstrukcij pr ENV 1992-1-2:1993, še manj pa nekoliko strožjim nemškimi predpisom DIN 4102. Da bi na področju zagotavljanja požarne varnosti dosegli evropsko raven, bomo morali v Sloveniji še marsikaj postoriti. Prvi korak k temu je gotovo sprejem evropske regulative s področja požarne varnosti konstrukcij. Z nadaljnjimi prizadevanji pa bomo morali v zavesti gradbenih konstruktorjev doseči tudi ustrezen miselni preskok.

Požarna odpornost	Normalne plošče				Gobaste plošče brez gob	
	Potrebna debelina h _s [mm]	Oddaljenost armature od površine min a [mm]			Potrebna debelina h _s [mm]	Oddaljenost armature od površine min a [mm]
		plošče, nosil- ne v eni smeri	križem armirane plošče l _y /l _c ≤1,5	1,5≤l _y /l _c ≤2,0		
REI 30	60	10 *	10 *	10 *	150	10 *
REI 60	80	20	10 *	15 *	200	15
REI 90	100	30	15	20	200	25
REI 120	120	40	20	25	200	35
REI 180	150	55	30	40	200	45
REI 240	175	65	40	50	200	50

Preglednica 4. Minimalna debelina h_s in oddaljenost armature od površine plošč

L I T E R A T U R A

1. G. Turk, M. Saje, Račun temperature v betonskih škatlah, 13. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije, Zbornik str. 229–234, Bled, september 1991.
2. M.N.Özisik, Heat transfer, a basical approach, McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1985.
3. F. Saje, Analiza viskoznega odziva betonskih okvirjev, 6. seminar Računalnik v gradbenem inženirstvu, Zbornik del, str. 190–197, FAGG, Ljubljana, 1991.
4. J. Banovec, Geometrijska in materialna nelinearnost pri ravninskih okvirnih konstrukcijah, doktorsko delo, FAGG, Ljubljana, 1986.
5. F. Saje, Reološka prerazporeditev notranjih sil sovprežnih konstrukcij, Kuhljevi dnevi '93, Zbornik referatov, str. 7-12, Šmarješke toplice, september 1993.
6. J. Lopatič, F. Saje, Modelling of elasto-plastic response of concrete structurec, EURO-C 1994, Computational Modelling of Concrete Structures, Proceedings 3rd International Conference, 10 strani, Innsbruck, marec 1994.
7. Eurocode 2: Design of concrete structures, Part 1-2: Structural fire design pr ENV 1992-1-2:1993.
8. DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen

SLOVENIJA, PRIDRUŽENI ČLAN FEHRL

Že leta 1989 ustanovljeno združenje FEHRL (Forum of European National Highway Research Laboratories – Forum evropskih nacionalnih cestnih raziskovalnih laboratorijev – inštitutov) je bilo ustanovljeno za države Evropske skupnosti in države EFTA z namenom, da spodbudi sodelovanje med evropskimi nacionalnimi raziskovalnimi laboratoriji in inštituti na področju cestnih gradenj. Forum želi zagotavljati ustrezna znanja za svoje vlade, evropsko skupnost, cestno industrijo in uporabnike cest. To naj bi preprečilo ob istočasni produktivni konkurenci podvajanje naporov in vodilo k integraciji evropskih potencialov na področju cestnega transporta, ki je temeljnega pomena za socialni in ekonomski razvoj in je istočasno najpomembnejša oblika transporta v Evropi, ki poleg tega še narašča.

Izhodišča in cilji za ustanovitev združenja:

- pomembnost cestnega transporta
- potrebna sredstva za vzdrževanje in razvoj cestne infrastrukture
- velik socio-ekonomski strošek prometnih nezgod
- prednosti skupnega nastopa in izvajanja raziskovalnih projektov
- tekoča izmenjava informacij, izkušenj, trendov in novih iniciativ na raziskovalnem področju

- izkoriščanje prednosti ob skupnem iskanju raziskovalnih potreb in možnosti sodelovanja
- izvajanje skupnih predvsem medsektorskih, multidisciplinarnih in razvojnih raziskovalnih projektov, med katerimi je izpostavljen SERRP projekt – Strategic European Road Research Programme (Strateški evropski cestni raziskovalni program s petnajstimi projekti)
- razvoj evropske regulative in standardizacije
- bolj učinkovit način uvajanja rezultatov raziskav.

Gornja izhodišča so spodbudila zanimanje za sodelovanje s tem združenjem in tako je ZRMK v imenu Slovenije ob podpori Ministrstva za promet in zveze in Republiške uprave za ceste leta 1992 vložil prošnjo za včlanitev v FEHRL.

Po predstavitvi celotne slovenske organiziranosti cestnoprometne raziskovalne sfere in ZRMK v aprilu 1993 je sledilo leto in pol dolgo obdobje, v katerem so člani urejali formalnosti in pripravili pravilnik za članstvo v tem združenju. V novem pravilniku je dana možnost tudi ostalim državam postati pridruženi član foruma, v katerem so bili do sedaj le predstavniki držav evropske zveze in EFTE. Tako je bilo novembra 1994 odločeno, da lahko postane Slovenija pridruženi član tega združenja in Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana slovenski predstavnik.

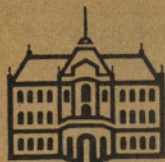
To združenje prevzema pobudo pri povezovanju evropskih cestnogradbenih raziskovalnih inštitucij in s tem njihovih potencialov pri izvajanju raziskovalnih nalog na področjih, kjer Evropa trenutno potrebuje odgovore za rešitev akutnih problemov.

Naši cilji pa so bili in so povezovanje in sodelovanje z evropskimi cestnimi raziskovalnimi inštituti, priprava svojih standardov ob upoštevanju vseh naših specifičnih razmer in vse to v sodelovanju in povezovanju z vsemi slovenskimi strokovnjaki na posameznih področjih, saj je želja in obveza ZRMK, da prenaša informacije in koordinira delo v naši državi.

Ta koordinacija trenutno poteka:

- na področju povezovanja med 3 od 15 projektov SERPP in pripadajočimi COST programi in nadaljnjimi, ki so v pripravi – ustanavljanju.
- na področju posredovanja informacij o izvajanju raziskovalnih nalog, ki se izvajajo v okviru vseh evropskih držav in njihovih nacionalnih inštitutov članov FEHRL, ki jih je sedaj 17.

Kontaktna oseba: Bojan Leben, inž., tel.: 061 1683 261, fax.: 061 348 369.



GV XXXIV • 1-2-3

POROČILA 37

**FAKTOR IZRABE ZEMLJIŠČA KOT
MERILO RACIONALNE RABE
ZEMLJIŠČA V TRŽNEM
GOSPODARSTVU IN PRI NAS**

UDK: 7118:330.342

MARUŠKA ŠUBIC-KOVAČ

POVZETEK

V članku smo s pomočjo matematičnega modela analizirali nekatere značilnosti izrabe stavbnega zemljišča v državah z razvitim tržnim gospodarstvom in v Sloveniji. Prikazali smo tudi možnost uporabe omejitve izrabe stavbnega zemljišča v prostorskem planiranju, v zemljiški politiki in pri vrednotenju stavbnih zemljišč.

LAND USE INTENSITY AS A MEASURE OF ECONOMIC LAND USE IN THE MARKET ECONOMY AND IN SLOVENIA

SUMMARY

By help of a mathematical model we in this article analysed some land use intensity characteristics in the countries with developed market economy and in Slovenia. We presented the possibilities of use limitation at land use intensity in spatial planning, in land policy and at land valuation.

1.0. UVOD

V Sloveniji so bile cene stavbnih zemljišč v preteklosti neposredno ali posredno administrativno določene in praviloma nizke. V primeru gradnje na tako poceni pridob-

ljenih zemljiščih je bilo vprašanje o njihovi racionalni izrabi skorajda nepomembno. Izračunavanje tako imenovanih količinskih kazalcev urbanističnega standarda pri izdelavi prostorskih izvedbenih aktov je bilo samo informativno. Družbena lastnina na stavbnih zemljiščih ni spodbujala njihove racionalne izrabe.

Avtorica:

Maruška Šubic-Kovač, viš. pred., mag., dipl. inž. gradb.

Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo, Institut za komunalno gospodarstvo

Z legalizacijo zasebne lastnine na stavbnih zemljiščih pri nas in z novim razmerjem moči med zasebnimi in javnimi interesi na teh zemljiščih bomo morali racionalno izrabo stavbnega zemljišča upoštevati tudi v sistemu prostorskega planiranja in zemljiške politike ter pri vrednotenju nepremičnin.

V tržnem gospodarstvu na eni strani želi podjetnik izravnati visoko ceno stavbnega zemljišča s čim večjo izrabo tega zemljišča, na drugi strani pa država zaradi gradbenih in urbanističnih razlogov regulira oziroma omejuje to težnjo po čim večji izrabi zemljišča, s tem pa tudi po višjem donosu, s prepovedjo na deklarativen način oziroma z ekonomskimi instrumenti. Namen tega članka je prikazati značilnosti faktorja izrabe zemljišča kot enega od meril racionalne rabe stavbnega zemljišča v tržnem gospodarstvu in njegovo uporabnost pri regulaciji razvoja in rasti naselij.

2.0. NEKATERE TEMELJNE ZNAČILNOSTI SPREMINJANJA FAKTORJA IZRABE ZEMLJIŠČA V TRŽNEM GOSPODARSTVU

V ekonomski teoriji se pojem intenzivnosti izrabe zemljišča nanaša na količino kapitala, dela in managementa, ki v procesu produkcije odpade na enoto površine zemljišča. Raven intenzivnosti izrabe zemljišča je pogojena z vrsto rabe zemljišča. Pri dani vrsti rabe zemljišča je raven intenzivnosti izrabe zemljišča pogojena tudi s faktorji, kot so: dejanska raba zemljišča, značilnosti zemljišča, spremembe v ponudbi in povpraševanju, razmerje produkcijskih faktorjev in preference podjetnika [1]. Omejenost produkcijskih faktorjev pomembno vpliva na intenzivnost izrabe zemljišča. Pri omejeni količini zemljišč, namenjenih specifični rabi, podjetnik intenzivira izrabo zemljišča. Pri omejenosti ostalih produkcijskih faktorjev išče ob danih omejitvah tisto kombinacijo produkcijskih faktorjev, ki prinaša najvišji donos, čeprav lahko to vodi v manj intenzivno izrabo zemljišča.

Višina cene stavbnega zemljišča, ki jo je posamezni podjetnik v tržnem gospodarstvu pripravljen plačati na določeni lokaciji, se ravna po pričakovanem donosu iz te lokacije. V splošnem lahko podjetnik izravna visoko ceno stavbnega zemljišča s čim višjim donosom od zemljišča. Višji donos lahko doseže z večanjem bruto etažnih površin in z višjo najemnino na kvadratni meter bruto etažne površine. Najemnine ne more povišati toliko časa, dokler je na trgu na razpolago še dovolj tovrstnih nepremičnin na enakovrednih lokacijah, ki imajo tolikšno najemnino. Višji donos lahko doseže z večanjem bruto etažnih površin, s čimer pri dani površini zemljišča povečuje intenzivnost izrabe stavbnega zemljišča. Torej, visoko ceno stavbnega zemljišča bo podjetnik v tržnem gospodarstvu nadomestil z intenzivnejšo izrabo tega zemljišča. Tudi samo naraščanje cen zemljišč na trgu spodbuja podjetnika v tržnem gospodarstvu k intenzivni izrabi že zazidanih stavbnih zemljišč in k zazidavi še nezazidanih stavbnih zemljišč.

Opisana razmerja veljajo, če lastnik stavbnega zemljišča ni hkrati tudi uporabnik tega zemljišča, ampak je le podjetnik, ki bo dal ali daje stavbo na tem zemljišču v najem. Če je lastnik stavbnega zemljišča hkrati njegov uporabnik, vplivajo na intenzivnost izrabe stavbnega zemljišča tudi subjektivne okoliščine oziroma osebne preference lastnika glede prostorskega standarda.

Kot merilo intenzivnosti (racionalnosti) izrabe stavbnega zemljišča uporabljamo v praksi faktor izrabe zemljišča, ki nam pove, koliko kvadratnih metrov bruto etažne površine odpade na kvadratni meter površine stavbnega zemljišča. Odvisen je torej od spreminjanja specifičnih potreb po bruto etažnih površinah in specifičnih potreb po stavbnih zemljiščih.

V nadaljevanju si pogledimo, kako se spreminja faktor izrabe zemljišča v odvisnosti od spreminjanja bruto etažne površine oziroma števila etaž in zazidane površine zemljišča ter površine stavbnega zemljišča. Matematični model bi lahko zapisali takole:

$$FIZ = FIZ \{ BEP (n, F_z), F \} \text{ oziroma}$$

$$FIZ = \frac{BEP}{F}$$

$$FIZ = \frac{n \cdot F_z}{F}, \text{ tako da je}$$

$$FIZ = n \cdot F_z.$$

Pri tem pomenijo oznake:

- FIZ – faktor izrabe zemljišča
- BEP – bruto etažna površina (m²)
- F – površina zemljišča (m²).
- n – število etaž,
- F_z – zazidana površina stavbnega zemljišča in
- FAZ – faktor zazidanosti zemljišča, ki nam pove, koliko kvadratnih metrov zazidane površine (stavbišča) odpade na kvadratni meter površine stavbnega zemljišča.

Dokažemo lahko, da je

$$\frac{dFIZ}{FIZ} = \frac{dn}{n} + \frac{dF_z}{F_z} - \frac{dF}{F}, \quad (1)$$

pri čemer je:

$$\frac{dBEP}{BEP} = \frac{dn}{n} + \frac{dF_z}{F_z}.$$

Relativna sprememba faktorja izrabe zemljišča je v splošnem enaka vsoti relativne spremembe števila etaž in relativne spremembe zazidane površine, zmanjšani za relativno spremembo površine stavbnega zemljišča.

V dolgoročnem obdobju lahko na podlagi znanih specifičnih potreb po bruto etažnih površinah in na podlagi znanih faktorjev izrabe zemljišča na podlagi 1) ugotovljamo specifične potrebe po novih stavbnih zemljiščih v posameznih srednjeročnih obdobjih na ravni naselja kot celote. Če ne planiramo pozidave na novih stavbnih zemljiščih,

potem govorimo o intenzivnem razvoju naselja in velja, da je

$$\frac{dF}{F} = 0 \text{ in } \frac{dFIZ}{FIZ} = \frac{dn}{n} + \frac{dF_z}{F_z} \quad (2)$$

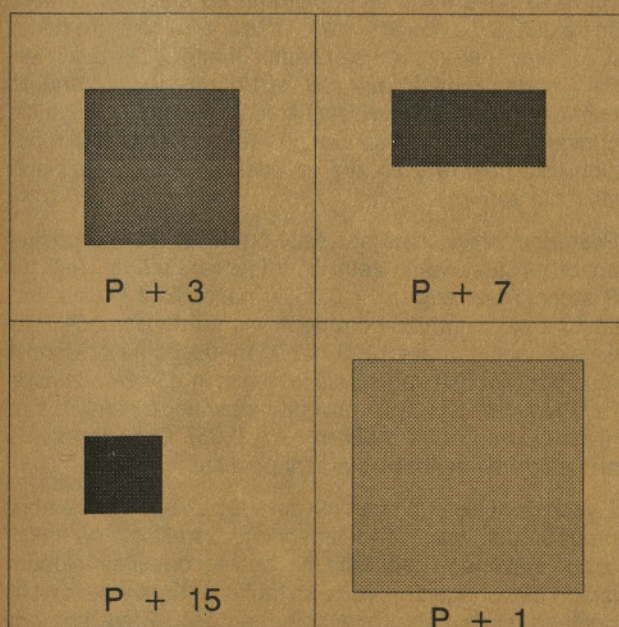
Relativna sprememba faktorja izrabe zemljišča je enaka relativni spremembi števila etaž in relativni spremembi zazidane površine zemljišča. Intenzivnejša izraba stavbnega zemljišča je v tem primeru mogoča le z večanjem števila etaž in zazidane površine zemljišča.

V Nemčiji je potrebno v načrtu rabe zemljišč in v zazidalnem načrtu upoštevati in določiti najvišje vrednosti določenih meril izrabe zemljišča in pri tem tudi faktorja izrabe zemljišča. Najvišje vrednosti faktorjev izrabe zemljišč so določene glede na vrsto območjih v posebnem predpisu [2].

Če predpostavimo, da je faktor izrabe zemljišča omejen oziroma določen v nekem obdobju na določeni prostorski planski celoti, potem velja 2). Relativna sprememba faktorja izrabe zemljišča na prostorski planski celoti je enaka relativni spremembi števila etaž in relativni spremembi zazidane površine. Najvišji še dovoljeni faktor izrabe zemljišča je mogoče doseči s kombinacijo različnega števila etaž in zazidane površine, saj je

$FIZ \cdot F = \text{const}$, iz česar sledi, da je tudi $n \cdot F_z = \text{const}$.

Plansko določen faktor izrabe zemljišča ne pogojuje enolične zazidave znotraj posamezne prostorske planske celote. Prav tako so mogoči različni načini zazidave na prostorskih planskih celotah, ki imajo predpisane enake faktorje izrabe zemljišča, kar nam kaže spodnja slika.



Slika 1. Različni načini zazidave zemljišč z enako površino stavbnega zemljišča, faktorjem izrabe zemljišča $FIZ = 1$, različnim številom etaž (od $P + 1$ do $P + 15$) in različno zazidano površino stavbnega zemljišča.

V splošnem velja, da je največje možno število etaž omejeno zaradi naravnih danosti in omejitev gradnje. Zazidana površina pa je lahko največ tolikšna, kot je površina posameznega zemljišča. Dejansko so omejitve večje predvsem zaradi predpisov o odmikih za doseg ustrežne požarne varnosti, kakovosti bivalnega okolja in t. i. estetske kontrole rasti in razvoja naselja [3]. Če se pojavi kot dodatno merilo izrabe zemljišča poleg faktorja izrabe zemljišča še zahtevano število etaž ali faktor zazidanosti stavbnega zemljišča, se lahko zgodi, da najvišji še dovoljeni faktor izrabe zemljišča na posameznih zemljiščih znotraj prostorske planske celote ne more biti dosežen. S tem pa ni dosežena zahtevana (racionalna) izraba stavbnega zemljišča [4].

3.0. FAKTOR IZRABE ZEMLJIŠČ IN VREDNOTENJE STAVBNIH ZEMLJIŠČ

Kot smo že napisali: podjetnik v tržnem gospodarstvu nadomešča visoko ceno zemljišča z intenzivnejšo izrabo zemljišča. Pri ostalih nespremenjenih faktorjih, ki vplivajo na ceno stavbnega zemljišča, je zato posledica različnih cen stavbnih zemljišč tudi različna izraba stavbnega zemljišča. Šele v tem primeru, ko obstaja taka relacija, lahko v vrednotenje stavbnih zemljišč vključimo tudi faktor izrabe zemljišča. Za razliko od cene se v tako ocenjeni vrednosti stavbnega zemljišča ne odraža njegova možna uporaba v prihodnost, ampak le trenutno stanje glede intenzivnosti izrabe stavbnega zemljišča. Hkrati to pomeni, da vpliva faktorja izrabe zemljišča na njegovo ceno v razmerah družbene lastnine in razmerah nedelujočega trga stavbnih zemljišč ne moremo upoštevati oziroma ta vpliv ne more biti značilen.

Regresijska analiza cen stavbnih zemljišč v Nemčiji je pokazala, da obstaja določena odvisnost med ceno stavbnih zemljišč in faktorjem izrabe zemljišč. Tako na primer je bila za obravnavani predel v Kölnu v Nemčiji ugotovljena značilna odvisnost med cenami stavbnih zemljišč in faktorjem izrabe zemljišč. Korelacijski koeficient med omenjenima znakoma je znašal kar 0.79 [5].

V tržnem gospodarstvu se faktor izrabe zemljišča pri določeni vrsti zazidave zmanjšuje z oddaljenostjo od središča mesta oziroma naselja [6], kar je tudi lahko posledica padanja cen stavbnih zemljišč od središča mesta oziroma naselja proti obrobju.

To pomeni, da je

$$\frac{dFIZ}{FIZ} < 0,$$

$$\frac{dn}{n} < 0, \quad \frac{dF_z}{F_z} < 0 \text{ in } \frac{dF}{F} > 0.$$

Zato je

$$\left| \frac{dn}{n} + \frac{dF_z}{F_z} \right| > \left| \frac{dF}{F} \right|.$$

V absolutnem smislu je z oddaljenostjo od središča mesta oziroma nselja relativna sprememba bruto etažnih površin večja od relativne spremembe površin zemljišč. Število etaž in zazidana površina zemljišč se z oddaljenostjo zmanjšuje hitreje, kot se povečuje površina zemljišč. V tem smislu lahko tudi pojasnimo Alonsov paradoks, da revni stanujejo na dragih zemljiščih v središčih mesta in bogati na poceni zemljiščih zunaj mesta. Polensky [7] ga je pojasnil v svoji disertaciji s preračunom cene zemljišča na kvadratni meter bruto etažne površine. Če preračunamo ceno zemljišč na kvadratni meter bruto etažne površine, potem dobimo ravno obrnjeno sliko, kajti bogati stanujejo v vilah, revni pa v stanovanjskih silosih.

V predelih ekskluzivnih vil, kjer so cene stavbnih zemljišč sicer nadpovprečno visoke, je faktor izrabe zemljišča zelo nizek. Na višino cene stavbnega zemljišča v takem predelu vpliva poleg ekonomskih še kopica neekonomskih faktorjev. Gre za neelastično prilagajanje spremembe faktorja izrabe zemljišč ceni stavbnega zemljišča. V tem primeru je količnik elastičnosti cene stavbnega zemljišča glede na faktor izrabe zemljišča ($E_{C, FIZ}$)

$$E_{C, FIZ} = \frac{\frac{\partial C}{C}}{\frac{\partial FIZ}{FIZ}} \text{ in } |E_{C, FIZ}| < 1$$

ter parcialni koeficient elastičnosti cene stavbnega zemljišča glede na površino zemljišča pri nespremenjeni bruto etažni površini ($E_{C, F}$)

$$E_{C, F} = \frac{\frac{\partial C}{C}}{\frac{\partial F}{F}} \text{ in } |E_{C, F}| < 1.$$

Zato moramo pri vrednotenju stavbnih zemljišč taka območja obravnavati ločeno od ostalih območij, za katere velja elastično prilagajanje faktorja izrabe zemljišča ceni stavbnega zemljišča [8].

Vse dosedaj napisano velja za homogen prostor in za razmere tržnega gospodarstva, s katerimi se bomo pri nas srečali takrat, ko bo trg stavbnih zemljišč začel delovati.

4.0. NEKATERE ZNAČILNOSTI FAKTORJA IZRABE ZEMLJIŠČA PRI NAS

Faktor izrabe zemljišča se je v Sloveniji v preteklosti uporabljal predvsem pri načrtovanju sosesk kot merilo izrabe prostora na ravni celotne soseske. Faktor izrabe zemljišča velja še danes za enega izmed kriterijev pri določitvi višine enomesečnega nadomestila za uporabo stavbnega zemljišča [9]. Pravilnik o enotni metodologiji





za izračun prometne vrednosti stanovanjskih hiš, stanovanj in drugih nepremičnih [10] uporablja faktor izrabe zemljišča kot enega izmed faktorjev pri izračunu vrednosti stavbnega zemljišča na kvadratni meter površine stanovanja. Nobeden izmed naštetih faktorjev izrabe nima takega pomena, kot ga ima faktor izrabe zemljišča v tržnem gospodarstvu.

Ker na oblikovanje faktorja izrabe zemljišč pri nas ne vpliva njegova tržna cena oziroma trg stavbnih zemljišč še ne deluje, ne moremo faktorja izrabe zemljišč že danes vključevati v vrednotenje stavbnih zemljišč. Današnji faktorji izrabe zemljišč pri nas so le posledica trenutnih načrtovalskih in oblikovalskih kriterijev posameznega načrtovalca, deloma pa so tudi posledica nekaterih ukrepov zemljiške politike v zvezi z opredeljevanjem nezazidanih stavbnih zemljišč.

Posredno lahko omenjeno tezo potrdimo tudi na podlagi analize trga stavbnih zemljišč v Ljubljani v letu 1993 [8]. S stopnjo tveganja $\alpha = 0,05$ in na podlagi t-testa smo lahko z izbranim vzorcem ugotovili, da na območju ljubljanskih občin v letu 1993 ni bilo medsebojne odvisnosti med oddaljenostjo od središča mesta in površino zemljišča. Prav tako tudi vpliv površine stavbnega zemljišča na njegovo ceno ni bil značilen ($\alpha = 0,05$). Omenjeno velja pri nespremenjeni bruto etažni površini.

Z vzpostavitev trga stavbnih zemljišč pri nas bo potrebno preučiti tudi vpliv cene stavbnega zemljišča na faktor izrabe stavbnega zemljišča. Na podlagi omejitev faktorjev izrabe stavbnega zemljišča pa lahko že danes postavimo podlago obdavčenju stavbnih zemljišč. Zato smo na Inštitutu za komunalno gospodarstvo s pomočjo vzorčnih območij v Ljubljani analizirali sedanje faktorje izrabe zemljišča [8], upoštevajoč pri tem njihovo različno lego in rabo zemljišča. Rezultati so zbrani v preglednici 1.

Lega stavbnega zemljišča,	Faktor izrabe zemljišča (FIZ)		
vrsta gradnje	posamičnega zemljišča		območja
(št.etaž)	min	maks	povprečen
Središče mesta:	0.35	6.14	
Šubičeva ulica, hiše (P+1)	0.35	0.38	
Prešernova cesta, bloki od (P+2) do (P+4)	0.74	2.12	1.19
Ferentov vrt, stolpnice od (P+2) do (P+11)			3.62
Trubarjeva cesta, zgradbe od (P+1) do (P+2)	1.21	2.00	
Ajdovščina, žgradbe od (P) do (P+14)			2.90
Cankarjeva ulica, zgradbe od (P) do (P+6)	1	6.14	3.72
Šiška:	0.43	1.94	
Središče ob kinu Šiška, zgradbe od (P) do (P+8)	0.50	1.94	1.55
Derčeva ulica, bloki (P+3)			0.95
Tugomerjeva ulica, vrstne hiše (P+1)	0.43	0.63	0.53

Preglednica 1. Faktorji izrabe zemljišč v izbranih primerih v Ljubljani

Na podlagi analize vzorčnih območij smo ugotovili, da so večje razlike med posameznimi faktorji izrabe stavbnih zemljišč predvsem v mestnem središču, saj je najnižji faktor izrabe zemljišča 0.35, najvišji pa 6.14, medtem ko so razlike na območju zunaj središča mesta te razlike manjše. Če primerjamo te rezultate s faktorji izrabe zemljišča, ki jih za mestno središče predpisuje nemški pravilnik [2] in se gibljejo na intervalu od 1 do 2.4, potem lahko ugotovimo, da so pri nas večja odstopanja od teh vrednosti.

Če si kot enega izmed ciljev prostorskega planiranja in zemljiške politike postavimo racionalno izrabo zemljišč ter ustrezno kakovost bivalnega in delovnega okolja vključno z ustrezno dostopnostjo, potem bi lahko ta cilj dosegli tudi s pomočjo omejitve faktorja izrabe zemljišča. Z omejitvijo vrednosti faktorjev izrabe zemljišč v fazi načrtovanja in pri uporabi stavbnih zemljišč lahko:

- s predpisano spodnjo mejo spodbujamo intenzivnejšo izrabo stavbnih zemljišč oziroma promet z viškom stavbnih zemljišč, ki niso pozidana, in
- s predpisano zgornjo mejo omejujemo previsoko zazidavo stavbnih zemljišč v središču, upoštevajoč pri tem urbanistične in gradbene zahteve glede višine zazidave, potrebnih zelenih in parkirnih površin, odmikov od ceste in podobno.

Dolgoročno gledano lahko s spreminjanjem zgornjih in spodnjih mej dopustnih faktorjev izrabe zemljišča uravnavamo rast in razvoj naselij [11]. Dopustne faktorje izrabe stavbnih zemljišč lahko v primeru, ko gre že za zazidana stavbna zemljišča, uporabimo kot podlago za različno obdavčitev stavbnih zemljišč. Predlagani način mora biti seveda ustrezno vgrajen v celoten sistem obdavčenja nepremičnin in predstavlja sam zase le enega od možnih predlogov obdavčenja nepremičnin v prihodnosti.

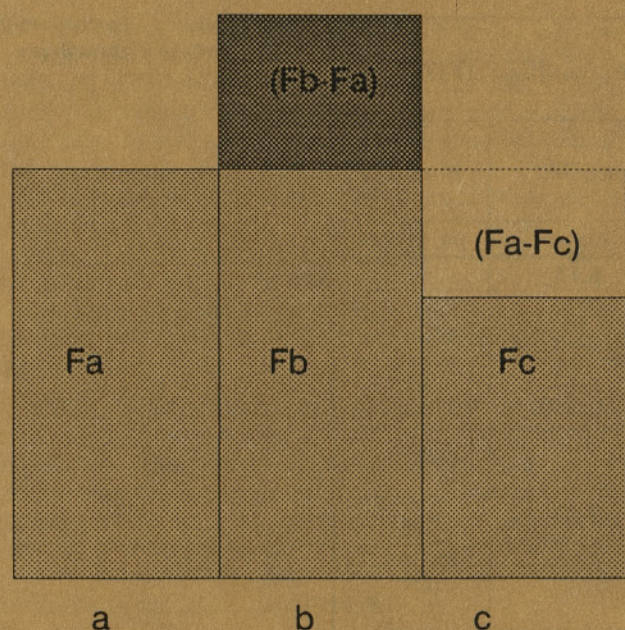
Če je faktor izrabe zemljišča (FIZ) manjši od dopustnega faktorja izrabe zemljišča (FIZ_d), obdavčimo stavbno zemljišče nad površino, ki omogoča doseg dopustnega faktorja izrabe zemljišča, z višjo davčno stopnjo. Prav tako obdavčimo del stavbnega zemljišča, kjer je faktor izrabe zemljišča nad dopustno mejo, z višjo davčno stopnjo. Poglejmo si to na konkretnem primeru.

Imamo tri stavbna zemljišča, na katerih je postavljena enaka stavba. Faktor izrabe zemljišča na zemljišču a je enak dopustnemu, faktor izrabe zemljišča na zemljišču b je nižji od dopustnega in faktor izrabe zemljišča na zemljišču c je višji od dopustnega faktorja izrabe zemljišča.

Torej velja, da je

$$FIZ_a = FIZ_d,$$

$$FIZ_b < FIZ_d \text{ in } FIZ_c > FIZ_d.$$



Slika 2. Zemljišča a, b in c, ki imajo faktor izrabe zemljišča enak, manjši in večji od doprlistnega faktorja izrabe zemljišča

Če je

$$FIZ = \frac{BEP}{F} \Rightarrow F = BEP \cdot FIZ,$$

potem lahko izračunamo površino stavbnega zemljišča (F_d), ki omogoča doseg dopustnega faktorja izrabe

zemljišča (FIZ_d)

$$F_d = BEP \cdot FIZ_d.$$

V našem primeru je $F_d = F_a$. Zato v primeru a obdavčimo površino stavbnega zemljišča F_a po običajni davčni stopnji. V primeru b obdavčimo površino stavbnega zemljišča F_a po običajni davčni stopnji, površino stavbnega zemljišča $(F_b - F_a)$ pa po višji davčni stopnji. V primeru c obdavčimo površino stavbnega zemljišča F_c po običajni davčni stopnji, del površine tega stavbnega zemljišča površine $(F_a - F_c)$ po po višji davčni stopnji. Pri tem je površina stavbnega zemljišča $(F_a - F_c)$ tista površina, ki bi omogočila doseg zahtevanega faktorja izrabe zemljišča.

5.0. SKLEP

Zasebna lastnina na stavbnih zemljiščih v državah z razvitim tržnim gospodarstvom ne predstavlja lastništva na zemljišču v absolutnem smislu. Tudi na zasebnem zemljišču lahko država uveljavlja javni interes. Ker med cilje urejanja prostora v Sloveniji lahko štejemo tudi racionalno rabo zemljišča, kakovost bivalnega in delovnega okolja ter ustrezno prometno dostopnost, lahko država operacionalizira te cilje tudi s pomočjo omejitve faktorja izrabe zemljišča. Nekatere značilnosti faktorja izrabe zemljišča v tržnem gospodarstvu in pri nas smo prikazali v članku, kolikšne naj bi bile vrednosti dopustnih faktorjev izrabe zemljišč v naših razmerah, pa je potrebno še podrobneje raziskati.

LITERATURA

- [1] Barlowe R., Land Resource Economics – The Economics of Real Estate, Prentice Hall, 557 strani (1986)
- [2] Verordnung über bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung (-BauNVO-)), 15. 9. 1977 (BGBl. I S. 1769), 19. 12. 1986 (BGBl. I S. 2665) v delu: Sammlung ämtlicher Texte zur Wertermittlung von Grundstücken, Verlag für Verwaltungspraxis Franz Rehm, München, 192 strani (1987)
- [3] Boeddinghaus G., Abstandsflächen im Bauordnungsrecht der neuen Länder, Rehm, München, 150 strani (1992)
- [4] Boeddinghaus G., Über das Zusammenwirken bauplanungsrechtlicher und bauordnungsrechtlicher Vorschriften bei der Bodenverkehrsgenehmigung, Vermessungswesen und Bauordnung, Bonn, Heft 8, str. 393–402 (1985)
- [5] Vogels M., Grundstücks- und Gebäudebewertung- marktgerecht, Bauverlag, Wiesbaden und Berlin, 454 strani (1989)
- [6] Muth R. F., Urban Residential Land and Housing Marketst, Issues in Urban Economics, Baltimore, str. 285–317 (1968)
- [7] Polensky T., Die Bodenpreise in Stadt und Region München, disertacija, Verlag Michael Lassleben, Kallmünz/Regensburg, 1974, v disertaciji: Rakar A., Nekateri vidiki rasti urbanih aglomeracij, Ljubljana, 108 strani + 9 strani prilog (1979)
- [8] Šubic Kovač M. et al., Opredelitev in operacionalizacija pogojev za vzpostavitev kontroliranega trga stavbnih zemljišč na območju mesta Ljubljane, Institut za komunalno gospodarstvo, 103 strani + 8 strani prilog (1994)
- [9] Odlok o nadomestilu za uporabo stavbnega zemljišča, UL SRS št. 32/86 in 39/89
- [10] Pravilnik o enotni metodologiji za izračun prometne vrednosti stanovanjskih hiš in stanovanj ter drugih nepremičnih, UL SRS št. 8/1987
- [11] Baumol W. J., Wallace E. O., Economics, Environmental Policy and the Quality of Life, Prentice Hall, 377 strani (1979)

UPORABA METODE PRESEČIŠČ ZA SNEMANJE FASAD OBSTOJEČIH OBJEKTOV

UDK 69.059.25:519.68

ANDREJ ŠTRUKELJ

POVZETEK

V prispevku je prikazan razvoj algoritma za pripravo podatkovne baze koordinat karakterističnih točk fasade obstoječega objekta. Omenjena baza podatkov lahko rabi kot vhodna datoteka za nadaljnjo grafično obdelavo s katerim od znanih programskih grafičnih orodij. Osnova za izračun koordinat vsake točke je ne glede na velikost objekta meritev, ki jo izvedemo s pomočjo teodolita z dveh stojišč z znanimi koordinatami.

USING THE METHOD OF INTERSECTIONS FOR MEASUREMENT AND RECORDING OF BUILDING FRONTS.

SUMMARY

In the paper the algorithm for the creating of the data base of the coordinates of the characteristic points of the front of a building is developed. The above mentioned data base can be used as the input file for one of the known graphical packages. The base for the calculation of each point coordinate is the measurement made by a theodolite from two different standing points with known co-ordinates.

1. UVOD

V starih mestnih jedrih se je za potrebe spomeniškega varstva večkrat pojavila potreba po snemanju fasad obstoječih zaščitenih objektov, za katere načrti ne obstajajo več. Da lahko načrt fasade izrišemo v merilu, potrebujemo

natančne koordinate njenih karakterističnih točk. Osnova za to so meritve na terenu. Za celotno fasado jih lahko izvedemo s teodolitom z dveh stojišč (O_1 in O_2), ki so izbrana tako, da z njih lahko uviziramo vse karakteristične točke na fasadi. Za vsako točko lahko tako na podlagi treh izmerjenih kotov določimo njene koordinate.

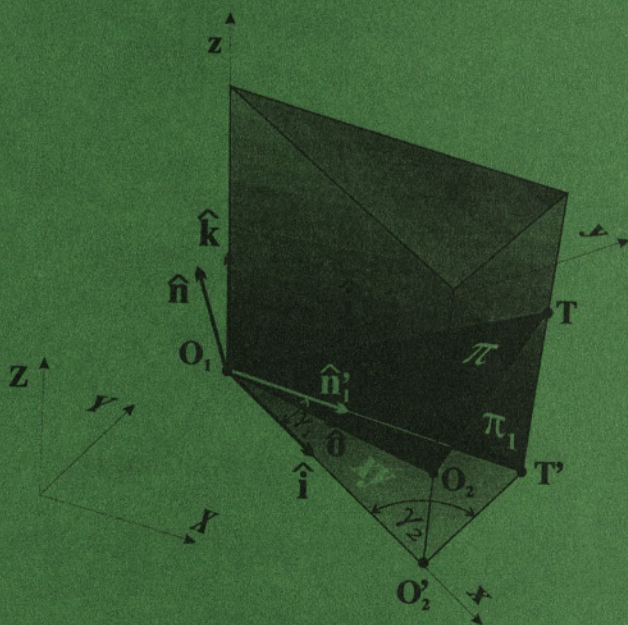
Avtor:

Mag. Andrej Štrukelj, dipl. inž. gr., asistent na Fakulteti za gradbeništvo Univerze v Mariboru

2. PRIPRAVA PODATKOV

Poznamo koordinate obeh stojišč v globalnem koordinatnem sistemu: $O_1(X_1, Y_1, Z_1)$ in $O_2(X_2, Y_2, Z_2)$. Lokalni koordinatni sistem xyz postavimo tako, da predstavlja stojišče O_1 njegovo izhodišče, os x pa poteka skozi točko O_2 , ki predstavlja projekcijo O_2 na xy ravnino. Koordinate obeh stojišč v lokalnem koordinatnem sistemu so torej $O_1(0, 0, 0)$ in $O_2(x_2, 0, z_2)$. Točko, katere koordinate računamo, označimo s T , njeno projekcijo na xy ravnino pa s T' . Enotski vektor, ki kaže v smeri veznice O_1T , označimo z $\hat{n}_1$, enotski vektor v smeri veznice obeh stojišč pa z $\hat{o}$. Ravnino, ki jo definirajo točke O_1 , O_2 in T , označimo s π , normalo na njo z $\hat{n}$, ravnino, ki poteka skozi os z in točko T , pa s π_1 .

Najprej s stojišča O_1 uviziramo točko T in izmerimo kot γ_1 med osjo x ter veznico med O_1 in T' . Hkrati odčitamo tudi velikost kota γ_3 med osjo z in vektorjem $\hat{n}_1$. Nato točko T uviziramo s stojišča O_2 in izmerimo še kot γ_2 med osjo x ter veznico med O_2 in T' .



Slika 1. Grafični prikaz problema

3. RAČUN KOORDINAT TOČKE T

Prvi korak je določitev koordinat projekcije točke T na xy ravnino s pomočjo izmerjenih kotov γ_1 in γ_2 ter projekcije razdalje med merskima izhodiščema O_1 in O_2 .

Premica, ki poteka skozi točko $O_1(0, 0, 0)$ in $T'(x_T, y_T, 0)$, ima v ravnini xy enačbo:

$$y_{p1} = \operatorname{tg}(\gamma_1) \cdot x, \quad (1)$$

premica, ki poteka skozi točki $O_2'(x_2, 0, 0)$ in $T'(x_T, y_T, 0)$, pa:

$$y_{p2} = -\operatorname{tg}(\gamma_2) \cdot (x - x_2).$$

Izenačimo desne strani enačb (1) in (2) in dobimo izraz za x_T :

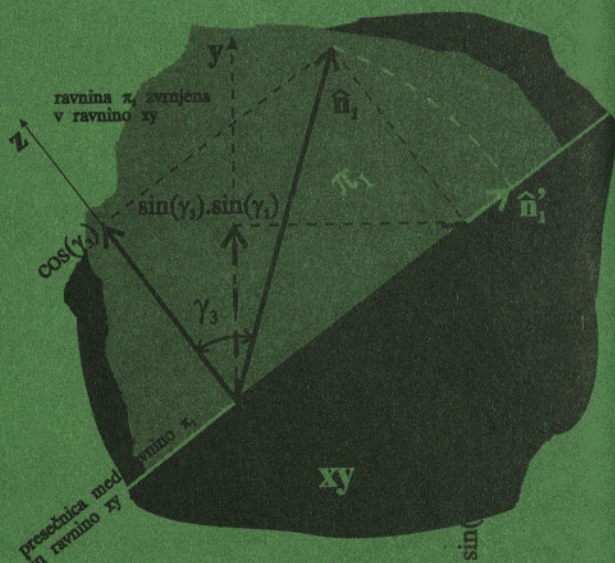
$$x_T = \frac{\operatorname{tg}(\gamma_2)}{\operatorname{tg}(\gamma_1) + \operatorname{tg}(\gamma_2)} \cdot x_2. \quad (3)$$

Enačbo (3) vstavimo v enačbo (1) ali (2) in dobimo izraz za y_T :

$$y_T = \frac{\operatorname{tg}(\gamma_1) \cdot \operatorname{tg}(\gamma_2)}{\operatorname{tg}(\gamma_1) + \operatorname{tg}(\gamma_2)} \cdot x_2. \quad (4)$$

Za določitev vektorja normale na ravnino π potrebujemo najprej enotska vektorja $\hat{n}_1$ in $\hat{o}$. Iz slike 2, kjer smo ravnino π_1 prikazali zvrnjeno v ravnino xy , lahko komponente vektorja $\hat{n}_1$ kar odčitamo:

$$\hat{n}_1 = \begin{Bmatrix} \sin(\gamma_3) \cdot \cos(\gamma_1) \\ \sin(\gamma_3) \cdot \sin(\gamma_1) \\ \cos(\gamma_3) \end{Bmatrix}. \quad (5)$$



Slika 2. Določitev komponent vektorja $\hat{n}_1$

Komponente vektorja $\hat{o}$ lahko določimo tako, da normiramo radij vektor iz izhodišča lokalnega koordinatnega sistema (O_1) do točke O_2 :

$$\hat{o} = \frac{1}{\sqrt{x_2^2 + z_2^2}} \begin{Bmatrix} x_2 \\ 0 \\ z_2 \end{Bmatrix}. \quad (6)$$

Vektorja $\hat{o}$ in $\hat{n}_1$ ležita v ravnini π . Njun vektorski produkt ima torej smer normale na ravnino, nima pa enotske dolžine, saj vektorja $\hat{o}$ in $\hat{n}_1$ v splošnem nista pravokotna. Tako je:

$$\hat{N} = \hat{o} \times \hat{n}_1 = \hat{n} \cdot \sin(\alpha), \quad (7)$$

kjer je α kot, ki ga v ravnini π oklepata vektorja $\hat{o}$ in $\hat{n}_1$. Vrednost vektorskega produkta pa je:

$$\vec{N} = \hat{o} \times \hat{n}_1 = \frac{1}{\sqrt{x_2^2 + z_2^2}} \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ x_2 & 0 & z_2 \\ \sin(\gamma_3) \cdot \cos(\gamma_1) & \sin(\gamma_3) \cdot \sin(\gamma_1) & \cos(\gamma_3) \end{vmatrix} \quad (8)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{x_2^2 + z_2^2}} \begin{pmatrix} -z_2 \cdot \sin(\gamma_3) \cdot \sin(\gamma_1) \\ x_2 \cdot \sin(\gamma_3) \cdot \cos(\gamma_1) - x_2 \cdot \cos(\gamma_3) \\ x_2 \cdot \sin(\gamma_3) \cdot \sin(\gamma_1) \end{pmatrix}$$

S tem, ko poznamo vektor $\vec{N}$, lahko zapišemo enačbo ravnine π :

$$\vec{n} \cdot (\vec{r} - \vec{m}) = \frac{\vec{N}}{\|\vec{N}\|} \cdot (\vec{r} - \vec{m}) = \vec{N} \cdot (\vec{r} - \vec{m}) = 0. \quad (9)$$

Vektor $\vec{m}$ predstavlja radij vektor od izhodišča lokalnega koordinatnega sistema do poljubne znane točke na ravnini π . Ker v našem primeru ravnina poteka skozi izhodišče koordinatnega sistema, je $\vec{m} = \vec{0}$. Enačba ravnine pa se glasi:

$$\vec{N} \cdot \vec{r} = 0, \quad (10)$$

oziroma v razviti obliki:

$$-z_2 \cdot \sin(\gamma_3) \cdot \sin(\gamma_1) \cdot x + (x_2 \cdot \sin(\gamma_3) \cdot \cos(\gamma_1) - x_2 \cdot \cos(\gamma_3)) \cdot y + x_2 \cdot \sin(\gamma_3) \cdot \sin(\gamma_1) \cdot z = 0. \quad (11)$$

Iz gornje enačbe izrazimo z:

$$z = \frac{z_2}{x_2} \cdot x - \left(\frac{x_2}{x_2 \cdot \sin(\gamma_3) \cdot \cos(\gamma_1) - x_2 \cdot \cos(\gamma_3)} \right) \cdot y. \quad (12)$$

Ko v enačbo 12 vstavimo izraz za x_T in y_T (enačbi 3 in 4), dobimo vrednost z koordinate točke T:

$$z_T = \frac{x_2 \cdot \operatorname{tg}(\gamma_2)}{\operatorname{tg}(\gamma_3) \cdot \cos(\gamma_1) \cdot (\operatorname{tg}(\gamma_1) + \operatorname{tg}(\gamma_2))}. \quad (13)$$

Koordinate točke T v lokalnem koordinatnem sistemu so:

$$\begin{pmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{pmatrix} = \frac{x_2}{\operatorname{tg}(\gamma_1) + \operatorname{tg}(\gamma_2)} \cdot \begin{pmatrix} \operatorname{tg}(\gamma_2) \\ \operatorname{tg}(\gamma_1) \cdot \operatorname{tg}(\gamma_2) \\ \frac{\operatorname{tg}(\gamma_2)}{\operatorname{tg}(\gamma_2) \cdot \cos(\gamma_1)} \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Obdelati moramo še limitne primere, ko je kateri od kotov γ_1 , γ_2 ali γ_3 enak nič. Tangens tega kota gre v tem primeru namreč preko vsake meje. Vzemimo najprej, da gre $\gamma_1 \rightarrow 0$. Tedaj je:

$$\lim_{\operatorname{tg}(\gamma_1) \rightarrow \infty} x_T = \lim_{\operatorname{tg}(\gamma_1) \rightarrow \infty} \frac{\operatorname{tg}(\gamma_2) \cdot x_2}{\operatorname{tg}(\gamma_1) + \operatorname{tg}(\gamma_2)} = 0,$$

$$\lim_{\operatorname{tg}(\gamma_1) \rightarrow \infty} y_T = \lim_{\operatorname{tg}(\gamma_1) \rightarrow \infty} \frac{\operatorname{tg}(\gamma_1) \cdot \operatorname{tg}(\gamma_2)}{\operatorname{tg}(\gamma_1) + \operatorname{tg}(\gamma_2)} \cdot x_2 = \operatorname{tg}(\gamma_2) \cdot x_2, \quad (15)$$

$$\lim_{\operatorname{tg}(\gamma_1) \rightarrow \infty} z_T = \lim_{\operatorname{tg}(\gamma_1) \rightarrow \infty} \frac{\operatorname{tg}(\gamma_2) \cdot x_2}{\operatorname{tg}(\gamma_3) \cdot \cos(\gamma_1) \cdot (\operatorname{tg}(\gamma_1) + \operatorname{tg}(\gamma_2))} = \frac{\operatorname{tg}(\gamma_2)}{\operatorname{tg}(\gamma_3)} \cdot x_2.$$

V primeru, ko gre $\gamma_2 \rightarrow 0$, dobimo:

$$\lim_{\operatorname{tg}(\gamma_2) \rightarrow 0} x_T = \lim_{\operatorname{tg}(\gamma_2) \rightarrow 0} \frac{\operatorname{tg}(\gamma_2) \cdot x_2}{\operatorname{tg}(\gamma_1) + \operatorname{tg}(\gamma_2)} = x_2,$$

$$\lim_{\operatorname{tg}(\gamma_2) \rightarrow 0} y_T = \lim_{\operatorname{tg}(\gamma_2) \rightarrow 0} \frac{\operatorname{tg}(\gamma_1) \cdot \operatorname{tg}(\gamma_2)}{\operatorname{tg}(\gamma_1) + \operatorname{tg}(\gamma_2)} \cdot x_2 = \operatorname{tg}(\gamma_1) \cdot x_2, \quad (16)$$

$$\lim_{\operatorname{tg}(\gamma_2) \rightarrow 0} z_T = \lim_{\operatorname{tg}(\gamma_2) \rightarrow 0} \frac{\operatorname{tg}(\gamma_2) \cdot x_2}{\operatorname{tg}(\gamma_3) \cdot \cos(\gamma_1) \cdot (\operatorname{tg}(\gamma_1) + \operatorname{tg}(\gamma_2))} = \frac{x_2}{\operatorname{tg}(\gamma_3) \cdot \cos(\gamma_1)}.$$

Ko gre $\gamma_3 \rightarrow 0$ ne glede na velikost kotov γ_1 in γ_2 , velja:

$$\lim_{\operatorname{tg}(\gamma_3) \rightarrow \infty} z_T = 0. \quad (17)$$

4. TRANSFORMACIJA KOORDINAT GLEDE NA RAVNINO FASADE:

Ker fasado običajno rišemo s čelne strani, je smiselno dobljene koordinate točk transformirati v koordinatni sistem $x'y'z'$, kjer je os x' definirana s presečnico ravnine xy in ravnine fasade. Os z' poteka pravokotno na ravnino xy skozi točko, ki jo izberemo za izhodišče koordinatnega sistema $x'y'z'$. Vzemimo, da je ravnina fasade navpična. Koordinati x'_i in z'_i podajata lego točke T_i v ravnini fasade, koordinata y'_i pa podaja velikost neravnine oziroma odklon od navpične lege. V odvisnosti od programskega paketa, ki ga uporabljamo za grafično obdelavo podatkov, moramo le-te samo še zapisati v ustreznem formatu.

Zgoraj omenjeno transformacijo izvedemo tako, da iz množice točk T_i izberemo dve karakteristični točki $T_1(x_1, y_1, z_1)$ in $T_2(x_2, y_2, z_2)$ (običajno ob vznožju fasade). Če točko T_1 postavimo za izhodišče novega koordinatnega sistema $x'y'z'$, kjer os x' poteka skozi točko T_2 in oklepa z osjo x kot β , lahko $\cos(\beta)$ in $\sin(\beta)$ zapišemo v obliki:

$$\cos(\beta) = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}, \quad (18)$$

$$\sin(\beta) = \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}$$

Transformacija koordinat iz sistema xyz v sistem $x'y'z'$ se torej glasi:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & \sin(\beta) & 0 \\ -\sin(\beta) & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x - x_1 \\ y - y_1 \\ z - z_1 \end{pmatrix}. \quad (19)$$

5. SKLEP

Prikazani postopek je preprost, hiter in zanesljiv. Zaradi svoje enostavnosti je morda nekoliko zunaj okvira strokovne revije, ker pa v praksi na primeru snemanja fasad starega dela Slovenskih Konjic, ki ga izvaja podjetje Projektivno-tehnološki biro iz Maribora, daje zelo dobre rezultate, smo se kljub temu odločili za njegovo predstavitev.



STROKOVNI IZPITI ZA GRADBENIŠTVO IN ARHITEKTURO TER PRIPRAVLJALNI SEMINARJI ZA STROKOVNE IZPITE V LETU 1995

Rok	Leto	Mesec	A. SEMINAR	B.	
				IZPIT	
				pisni	ustni
IV.	1995	April	17.–21. april	22. april	8.–12. maj
V.	1995	Maj	15.–19. maj	20. maj	5.–9. junij
VI.	1995	September	18.–22. september		
VII.	1995	Oktober	16.–20. oktober	21. oktober	6.–10. november
VIII.	1995	November	13.–17. november	18. november	4.–8. december
IX.	1995	December	11.–15. december		

A. Pripravljalni seminar za strokovne izpite organizira **ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE, LJUBLJANA, Erjavčeva 15, telefon 061/221-587**. Prijavo v obliki dopisa, skupaj z dokazilom o plačilu, pošlje organizatorju plačnik stroškov seminarja. Cena seminarja za posameznega udeleženca znaša 350 DEM, plačljivo v SIT po srednjem tečaju Banke Slovenije na dan plačila, z doplačilom 5% prometnega davka. Morebitno spremembo cene bomo objavili naknadno po njenem sprejetju.

B. Strokovni izpit organizira **ZAVOD ZA RAZISKAVO MATERIALA IN KONSTRUKCIJ LJUBLJANA, Dimičeva 12, Ljubljana**. Vse informacije dobite osebno ali prek telefona 061/342-671 vsak dan, razen sobote, nedelje in praznikov, od 8. do 12. ure pri inž. Grošlju oziroma g. Šubljevi.

SODOBNI LESENI MOSTOVI

UDK 624.21:691.11

JELENA SRPČIĆ

POVZETEK

V preteklosti so bili leseni mostovi zelo pogoste konstrukcije, njihova razširjenost pa se je pri nas do današnjih dni precej zmanjšala. Danes so starejši leseni mostovi zaradi nepravilne izvedbe in slabega vzdrževanja večinoma v slabem stanju. V razvitih deželah je uporaba lesa za zunanje konstrukcije ponovno aktualna, saj se je s spremenjeno zasnovo, predvsem s povečanjem togosti razdelilne konstrukcije, in z boljšo zaščito lesa trajnost lesenih konstrukcij občutno povečala.

MODERN TIMBER BRIDGES

SUMMARY

Although timber bridges were quite common in the past, the use of timber for bridge construction in our country is drastically reduced. Because of inadequate design and poor maintenance, existing bridges are in relatively bad shape. However, due to improved design, which introduced greater stiffness to superstructure, as well as development of new technologies for wood protection, durability of modern timber bridges is significantly improved.

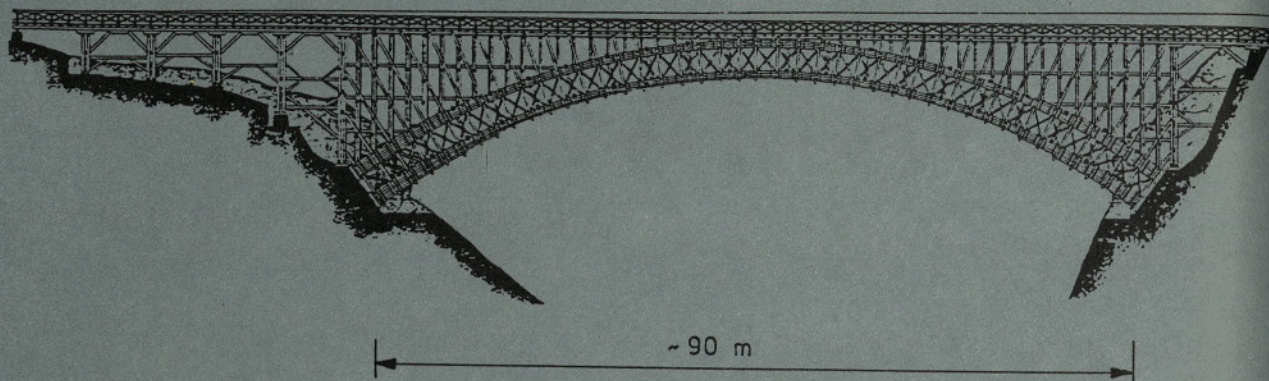
SPLOŠNO

Lesene nosilne elemente so v preteklosti pogosto uporabljali za zunanje konstrukcije – prvi mostovi so bili lesena bruna, prav tako so bile v gozdnatih predelih iz lesa stavbe. Kasneje so nekatere lesene zunanje konstrukcije, zlasti mostovi, postali prave znamenitosti (npr. most čez Ren v Schaffhausnu, most Cascade čez jezero Eire, most v Luzernu, pri nas včasih ločni most čez Kokro v Kranju, zdaj mostova čez Krko v Kostanjevici itd.).

Les je eden najstarejših materialov za prenos upogibnih obremenitev, zaradi njegovih pomanjkljivosti (neobstoječnosti proti vlagi, biološkim škodljivcem in požaru) pa so ga pričeli opuščati in kazalo je, da se bo uporaba omejila na okrasne – nekonstruktivne – elemente oziroma na začasne konstrukcije. S pojavom lameliranega lesa se je začel pravi preporod lesenih konstrukcij. Les so pričeli uporabljati za najbolj zahtevne konstrukcije z velikimi razponi, na žalost pa se je njegova uporaba omejila v glavnem na notranje konstrukcije.

Avtorica:

*Jelena Srpčić, mag., vodja razvoja lesenih konstrukcij
Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij, Dimičeva 12, Ljubljana*



Železniški most Cascade čez jezero Eire (razpetina loka 90 m)

MOSTNE KONSTRUKCIJE

Vedno večje onesnaženje zraka, predvsem pa agresivne snovi, s katerimi posipavamo ceste, sta v zadnjem desetletju povzročila poškodbe ali celo porušitve več betonskih mostov v Evropi. Tudi pri nas so zaradi poškodb potrebne obsežne in drage sanacije betonskih mostnih konstrukcij. Če namreč debelina zaščitnega betonskega sloja ni zadostna oziroma beton nima primerne zaščitne sposobnosti, lahko vlaga, zlasti pa sol, povzroči na armaturi nepopravljive posledice. Torej je armatura v betonu potrebna enake, če ne še boljše površinske zaščite kot les.

Menimo, da je že čas, da se znebimo predsodkov, da je les v zunanjem okolju neobstoje. Z uporabo najrazličnejših zaščitnih sredstev lahko njegovo obstojnost bistveno izboljšamo, prav tako zmanjšamo propadanje z uporabo pravih konstrukcijskih rešitev (onemogočajo stalno prisotnost vlage in s tem primerne pogoje za delovanje lesnih škodljivcev). V tem primeru se bo obstojnost lesa precej povečala, s tem pa se bo podaljšala življenjska doba konstrukcije. Na splošno lahko trdimo, da so lesene konstrukcije ob pravilni izbiri, skrbni kontroli kakovosti vhodnih surovin, uporabi zaščitnih sredstev in rednem vzdrževanju izredno ekonomične in estetske in bodo glede na vse večje pomanjkanje energije in skrb za zdravo okolje povečale svoj pomen.

PREDNOSTI LESA KOT GRADBENEGA MATERIALA

Les kot naravna surovina potrebuje za obdelavo izredno malo energije, saj je v njem že nakopičena ekološko najčistejša in najbolj ekonomična – sončna energija. To je tudi razlog vse večji naklonjenosti tem konstrukcijam v razvitejših državah. Obenem pa ima les v primerjavi s konstrukcijskim betonom približno enake uporabne trdnostne lastnosti, le da je lesena konstrukcija 4-krat lažja od betonske.

Z renesanso lesa kot konstrukcijskega materiala se vračamo k naravnim materialom, ki so zlasti zaželeni v zaščitnih naravnih okoljih (naravni parki, gozdni rezervati). V teh okoljih so ljudje že od davnih časov pogosto izdelovali lesene konstrukcije, saj so ta področja večinoma bogata z lesom in s tem odpadejo vsi transportni stroški. Prav tako lesene elemente po preteku življenjske dobe zlahka odstranimo (uporabimo tudi kot kurjavo!), medtem

ko danes na več krajih vidimo ostanke dotrajanih betonskih konstrukcij, ki kazijo okolico.

SEDANJE STANJE PRI NAS

Pregledi obstoječih mostnih konstrukcij – tako lesenih kot armiranobetonskih – so pokazali, da je problem trajnosti mostov predvsem problem pomanjkljive zaščite materiala pred vgraditvijo, slabo ali sploh nikakršno vzdrževanje, pri večini lesenih mostov pa tudi zastarela izvedba zgornje – razdelilne oziroma krovne konstrukcije. V uporabi so v glavnem nepovezane in zato zelo podajne lesene konstrukcije (podnice), pri katerih so pritrditvena sredstva močno lokalno obremenjena in hitro popustijo. Na tako podajno konstrukcijo težko vgradimo kvalitetno izolativno oziroma obrabno plast (asfalt), ker le-ta hitro razpoka.

Na podlagi petletnih sistematičnih pregledov mostnih konstrukcij na regionalnih in magistralnih cestah lahko trdimo, da so pregledani leseni cestni mostovi (tudi objekti z glavnimi nosilci iz jeklenih I-profilov) v glavnem v slabem stanju, razen nekaj svetlih izjem (obnovljena mostova v Kostanjevici, most čez Pišnico pri Eriki). Veliko lesenih konstrukcij je bilo že zamenjanih z armiranobetonskimi, ponekod so na betonskih objektih izvedli le lesene ograje. Mostovi so v slabem stanju predvsem zaradi neustreznih konstrukcijskih rešitev in slabega vzdrževanja. Omenili smo že, da so konstrukcije zgornjega ustroja precej podajne, kar velja zlasti za kombinacijo jeklenih glavnih nosilcev in lesene razdelilne konstrukcije. Prečne in obrabne podnice so velikokrat med seboj slabo povezane, prav tako je razrahljana povezava med glavnimi nosilci in razdelilno konstrukcijo. Glavni nosilni elementi so mnogokrat zamočeni, jekleni nosilci so korodirani, tako da voda zastaja ob lesenih delih. Posebno kritični deli so ležišča: ležiščne police so mokre in zablatene, prečni tramovi, na katere se naslanjajo glavni nosilci, pa trhli.

LESENI MOSTOVI V ZDA

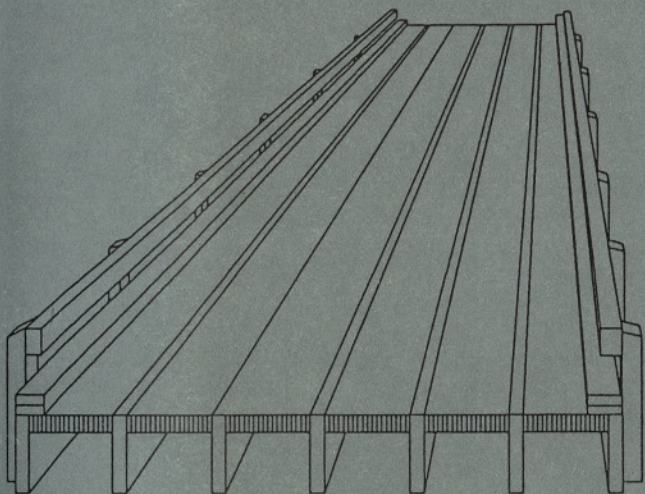
V Združenih državah Amerike imajo izredno veliko lesenih mostov. Po podatkih iz leta 1990 je od celotnega števila mostov z razpetino, večjo od 7 m, v uporabi približno 12 % ali 71.200 lesenih mostnih konstrukcij. Veliko so jih že nadomestili z armiranobetonskimi, vendar pa želijo zlasti v gozdnatih predelih lesene mostove ohraniti. Zato so pričeli z njihovo revitalizacijo oziroma nadomeščanjem s

sodobnimi lesenimi konstrukcijami, zlasti z uvajanjem lameliranega lepljenega lesa. Da bi pospešili izdelavo mostnih konstrukcij iz lesa, ki je na razpolago v bližini objekta, so iz državnega proračuna odobrili precejšnja sredstva za realizacijo programa, imenovanega National Timber Bridge Initiative, kjer država sofinancira del stroškov gradnje za novo konstrukcijo iz lokalne vrste lesa. Program zajema tudi osnovne raziskave mehanskih lastnosti vrst lesa, ki se za ta namen prvič uporabljajo. Prav tako se financirajo preiskave, ki na značilnih objektih zasledujejo obnašanje mostnih konstrukcij v daljšem času, predvsem spreminjanje vlažnosti, nabrekanje lesa in s tem povezane spremembe deformabilnosti oziroma padca sile prednapetja (pri večini objektov je zgornja konstrukcija prečno prednapeta). Opazovanja zajemajo tudi učinkovitost korozijske zaščite vezi. Prav tako izvajajo obremenilne preizkušnje, najprej na novih konstrukcijah in nato po nekajletni uporabi.

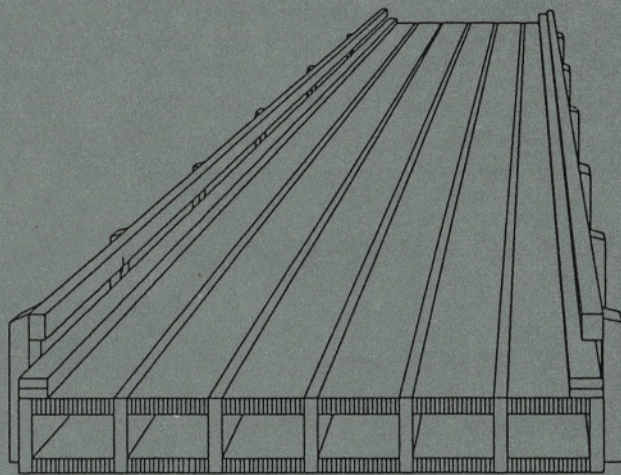
NEKAJ KONSTRUKCIJSKIH REŠITEV

V svetu so pričeli pospešeno iskati rešitve za izdelavo sodobnih lesenih mostov. Ena od možnosti je pokrita konstrukcija, s katero se bistveno zmanjša izpostavljenost vremenskim vplivom in s tem tudi stroški vzdrževanja. Ta rešitev je zlasti primerna za objekte v mestih, so pa gradbeni stroški zanjo precej večji.

Druga, cenejša možnost je izdelava nepokritega objekta, ki pa mora imeti zelo dobro hidroizolacijo zgornje konstrukcije, da ne pride do zamakanje glavne nosilne konstrukcije. Le-ta je lahko različna – kot smo že omenili, je zaradi omejenega vira (nosilci večjih dimenzij) pogosta uporaba lepljenih nosilcev. Na eni strani so to klasični lepljeni nosilci z voziščno ploščo, prečni prerez pa je lahko tudi škatlast.



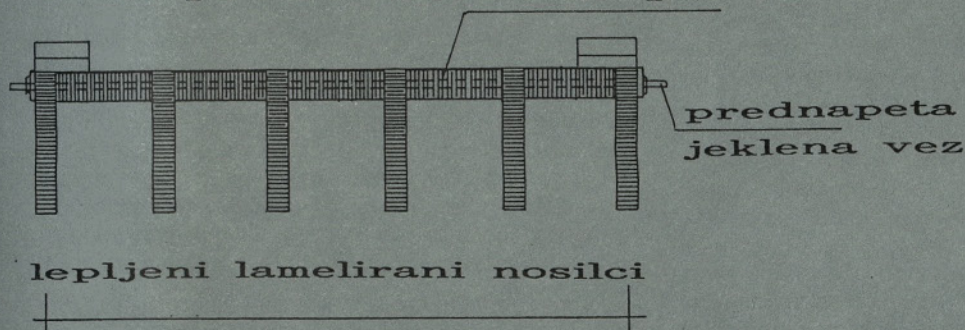
a) T prerez



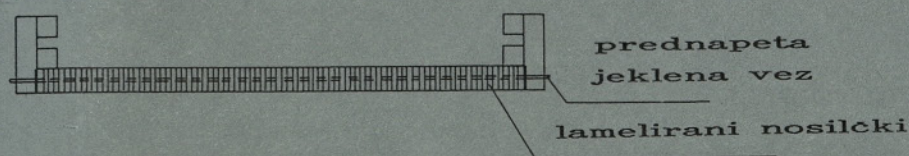
b) škatlasti prerez

Značilna prereza lesene mostne konstrukcije

Prečni prerez lamelirana plošča



Prečni prerez



OPOMBA: notranji nosilci iz lesa iglavcev,
zunanja iz trdega lesa (hrast)

Značilna prečna prereza
mostnih konstrukcij

Kljub približno 10 % večji togosti lameliranega lepljenega lesa obstaja pri konstrukcijah večjih razpetin še vedno problem prevelikih deformacij. Prav tako so za les značilni reološki pojavi (časovno povečevanje deformacij), ki so izrazitejši v vlažnem okolju. Pri podajni razdelilni konstrukciji je tudi zelo neugodna razporeditev obtežbe po prečnem prerezu. Zato moramo razdelilno konstrukcijo izvesti čimbolj togo.

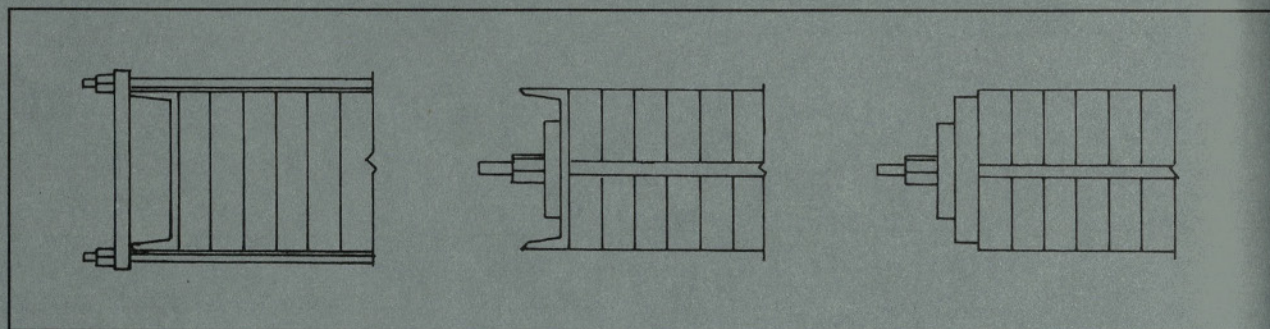
Za doseganje večje prečne togosti je najpogosteje uporabljeno prečno prednapetje. Na naslednjih skicah sta prikazana dva značilna prereza lesenih mostnih konstrukcij – ene z lameliranimi glavnimi nosilci in lamelirano voziščno ploščo (vsi elementi so prečno povezani z vezmi). V drugem primeru so nosilci položeni drug poleg drugega in prav tako prečno prednapeti, tako da tvorijo togo leseno ploščo. V tem primeru je bil za robne nosilce uporabljen vremensko bolj odporen material.

Detalji sidranja vezi so različni: gre lahko za lokalne močnejše podložke ali so le-te sidrane prek vzdolžnih C-profilov. Na podlagi opazovanj ugotavljajo, da sta oba načina učinkovita, lahko pa so problematične lesene podložke, kadar so le-te iz premehkega lesa.

oziroma uvedbo nove tehnologije pri njihovi prenovi. Prevečkrat namreč vidimo, da se tudi pri obnovi ravna napačno: vgrajuje se nezaščiteni les iglavcev, še vedno se izvajajo preveč podajne razdelilne konstrukcije, kjer se po kratkem času pojavi rahljanje spojnih sredstev ter mehanske poškodbe obrabnih podnic.

Poudarek želimo dati zaščiti lesa v agresivnih naravnih okoljih: osvojiti je treba metode za učinkovito zaščito lesa (ki bo obenem nenevarna za okolje) ter uvesti novo tehnologijo izdelave globinsko zaščitenih elementov. Nadalje želimo izboljšati konstrukcijsko izvedbo: predlagati primerne detajle pri stiku lesa s stalno vlago (gre za konstruktivne, statično obremenjene elemente), predvsem pa izboljšati zgornje razdelilne konstrukcije.

Da bi to dosegli, smo Ministrstvu za znanost in tehnologijo že predlagali (do sedaj neuspešno), da podpre raziskovalni projekt, ki bi poskušal razrešiti te probleme. V prvi vrsti se želimo posvetiti uvedbi lepljenih lesenih elementov v zunanja okolja; področju, ki je bilo do sedaj precej zanemarjeno. Raziskave, ki jih želimo izvajati, bi rabile tako proizvajalcem lepljenih elementov pri osvojitvi proizvodnje kot izvajalcem globinske zaščite (ti do sedaj niso



a) preko vzdolžnega jeklenega profila

b) z lokalnimi podložkami

Detalji sidranja prečnih vezi

ZAŠČITA LESA

Problematika zaščite lesa v zunanjih okoljih je v zadnjem času z ekološko osveščenostjo uporabnikov dobila nove razsežnosti. Zaradi pomanjkanja se namreč vedno manj uporablja obstojni les listavcev (hrast, kostanj) in več iglavcev (jelka, smreka), ki pa brez zaščite hitro propada. Po svetu se zato za zunanje konstrukcije uporablja v glavnem globinsko impregniran les, glede zaščitnih sredstev pa so mnenja precej deljena. Medtem ko v ZDA veliko uporabljajo zaščitna sredstva na osnovi kroma in arzena (tim. CCA zaščita), so evropske norme glede toksičnosti sredstev strožje. Prav tako so deljena mnenja, ali je boljša zaščita lamel pred lepljenjem v nosilno konstrukcijo ali pa zaščitni postopek izvedemo na že izdelanih elementih. Vse to so problemi, ki jih je treba čimprej rešiti.

NAČRTI ZA RAZISKOVALNO DELO

Glede na slabe izkušnje glede stanja in sanacijskih postopkov pri obnovi lesenih cestnih mostov, smo si zastavili za cilj izboljšanje obstoječih lesenih mostov

ščitili lepljenih konstrukcij), pa tudi investitorjem pri odločanju, katero konstrukcijsko rešitev bodo izbrali. Del projekta, ki bo obravnaval uvajanje toгих razdelilnih konstrukcij na lesene mostove, se bo vključeval v slovensko-ameriški raziskovalni projekt, ki smo ga prijaviли skupaj z raziskovalci Forest Products Laboratory iz Madisona, Wisconsin. Po že izvršenih dogovorih so možnosti, da pri nas izvajamo laboratorijske preiskave prototipov razdelilnih konstrukcij, kot soraziskovalci pa imamo dostop tudi do rezultatov dela ameriških kolegov, ki se v zadnjih štirih letih pospešeno ukvarjajo s ponovnim uvajanjem lesenih mostnih konstrukcij.

Želimo si, da bi kot nadaljevanje tega projekta lahko izdelali konkreten objekt: leseni most manjših dimenzij, ki bo po testiranjih postavljen na izbrano lokacijo, nato pa bo v daljšem času zasledovano njegovo obnašanje med eksploatacijo.

SKLEP

Uvajanje sodobnih lesenih konstrukcij v zunanja okolja je izziv tako za gradbenika kot za arhitekta. Čeprav so po svetu izvedeni iz lesa nekateri zelo veliki objekti, tudi mostovi na avtocestah, menimo, da bi v naših razmerah

leseni mostovi predstavljali idealno rešitev za manjše objekte v zaščitnih naravnih okoljih. Naši naravni parki, pa tudi druga gozdnata področja, so značilne pokrajine, kjer bi se leseni mostovi izredno lepo vključili v okolje. Seveda pa je treba izdelati nove mostne konstrukcije ob upoštevanju dognanj sodobne stroke, predvsem glede

konstrukcijske zasnove ter zaščite lesa. Tudi pri prenovi obstoječih objektov je treba posodobiti znanje o lesenih konstrukcijah, vgrajevati bolj toge razdelilne konstrukcije, nanje izvesti kakovostno hidroizolacijo, lesene elemente pa zaščitili z zaščitnimi sredstvi, zlasti če se uporablja slabše obstojen les iglavcev.

LITERATURA

1. BARGER L. S., Lopez-Anido R., GangaRao H. V. S.: Experimental Evaluation of Stressed Timber Bridge Systems, Transportation Research Record 1426, 1993, 2. del Modern Timber Bridges, str. 57-61.
2. Crossing, Časopis National Timber Bridge Initiative, 1991-94.
3. DAVALOS J. F., Salim H. A., Dickson B.: Development and Field Testing of the Camp Arrowhead Modular Stress-Laminated T-System Timber Bridge, Transportation, Research Record 1426, 1993, 2. del Modern Timber Bridges, str. 44-49
4. GUTKOVSKI R. M., Williamson T. G.: Heavy Timber Structures and Bridges, simpozij Structural Wood Research, Session Four, 1984, str. 109-130
5. GUTKOWSKI R. M., McCutcheon W. J.: Comparative Performance of Timber Bridges, Journal of Structural Engineering, Vol. 113, 1987, str. 1468-1486
6. INFORMATIONSDIENST HOLZ: Brücken – Planung-Konstruktion-Berechnung, EGH Bericht, 1988
7. KUŠAR J.: Leseni mostovi, Nova proizvodnja št. 5, 1991, str. 252-257
8. MC CUTCHEON W. J.: The Mormon Creek Bridge – Performance After Three Years, publikacija FPL, april 1992
9. OLIVA M. G., Dimakis A. G., Ritter M. A., Tuomi R. L.: Stress-Laminated Wood Bridge Decks, Experimental and Analytical Evaluations, publikacija FPL, marec 1990
10. RITTER M. A.: Timber Bridges, United States Department of Agriculture, Forest Service, 1990
11. RITTER M., Oliva M. G.: Field Performance of U. S. Stress-Laminated Wood Bridges, Proceedings of the 1990 International Timber Engineering Conference Tokyo, 1990, Vol. 2, str. 564-569
12. RITTER M. A., Wacker J. P., McMillan K. S., Kainz J. A.: Development and Evaluation of the Teal River Stress-Laminated Glulam Bridge, Transportation Research Record 1426, 1993, 2. del Modern Timber Bridges, str. 27-35
13. STEVANOVIĆ B., Stepanović M.: Zaštita drvenih mostova, Simpozioj Trajnost konstrukcija, Brioni 1985, str. 155-159
14. TAYLOR R. J., Ritter M. A.: Development of Longer Span Wood Bridges, Proceedings of the 3rd International conference on short and medium span bridges, Montreal Canada, 1990, Vol. 2, str. 391-402

Glavni in odgovorni urednik:

Franč ČAČOVIČ

Lektor:

Alenka RAIČ

Tehnični urednik:

Danijel TUDJINA

Uredniški odbor:

Sergej BUBNOV, Stane PAVLIN,

Andrej KOMEL,

mag. Jože BOŠTJANČIČ,

mag. Ivan JECELJ,

dr. Franci STEINMAN

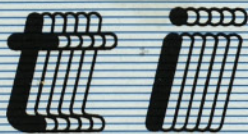
Tisk:

TISKARNA TONE TOMŠIČ

v LJUBLJANI

Revija izdaja Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, Ljubljana, Erjavčeva 15, telefon: 061/221-587. Žiro račun pri SDK Ljubljana 50101-678-47602. Tiska Tiskarna Tone Tomšič v Ljubljani. Letno izide 12 števil. Celoletna naročnina za člane društev znaša 1890 SIT. Za študente in upokoјence velja polovična cena. Naročnina za gospodarske naročnike znaša 21.000 SIT, za inozemske naročnike 100 US \$.

Revija izhaja ob finančni pomoči Ministrstva za znanost in tehnologijo, Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana, Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Univerze v Ljubljani in Tehniške fakultete, OG Gradbeništvo, Univerze v Mariboru. V naročnini je vštet 5% prometni davek.



tehno inženiring

Homec, VII. ul. 35

SLO - 61235 RADOMLJE

phone + fax + + 386 61 728 002, 728 506, 727 876



STREŠNI Ω NOSILEC

izdelan za objekt v
Kuwaitu

Karakteristike:

- razpon: 45,0 m
 - višina v ležišču: 88 m
 - višina v sredini: 155 cm
 - debelina sten: 10 cm
- Dograjena dva vzdolžna
stebra za adhezijsko
prednapenjanje s silo
6.000 MN

VIBRIRANJE:

Potujoča vibro-tehnika
spremenljive frekvence

ZAPARJEVANJE:

Nizkotemperaturno pod
aluminjastimi pokrovi

DVIG NOSILCA IZ KALUPA:

16 ur po betoniranju

TRDNOST OB DVIGU:

58,7 MPa

1. Montaža nosilcev
2. Postavljeni nosilci
3. Kalup za nosilca

• PROJEKTIRANJE

- obratov za betonske prefabrike in galanterijo
- betonarniško-transportnih postrojenj
- kalupov za vse vrste betonskih izdelkov
- opreme za vibriranje in zaparjevanje

• OPREMLJANJE

- obratov za betonske prefabrike in galanterijo
- obratov za proizvodnjo betona
- oprema za prenapenjanje

• PROIZVODNJA

- vseh vrst kalupov za betonske izdelke
- opreme za vibriranje in zaparjevanje
- naprave za transport in doziranje betona

• MONTAŽA IN VZDRŽEVANJE

- vseh vrst naprav za izdelavo betona betonskih polizdelkov ter naprav v industriji gradbenega materiala

• SVETOVANJE

- za izvedbo betonarn, tovarn betonskih izdelkov, obdelavo in negovanje betona, tehnologij v industriji gradbenega materiala