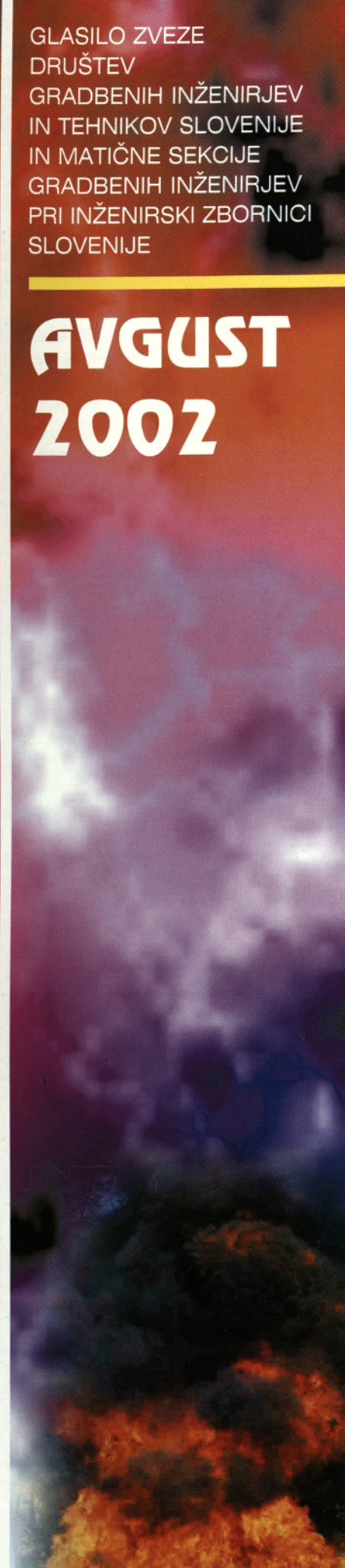


GRADBENI VESTNIK

Poština plačana pri
pošti 1102 LJUBLJANA

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

AVGUST 2002



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

Lektorica:
Alenka **RAIČ - BLAŽIČ**

Tehnični urednik:
Danijel **TUDJINA**

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

Tisk:
TISKARNA LJUBLJANA d.d.

Naklada: 2750 izvodov

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

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

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

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

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

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

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

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

Uredniški odbor

VSEBINA - CONTENTS

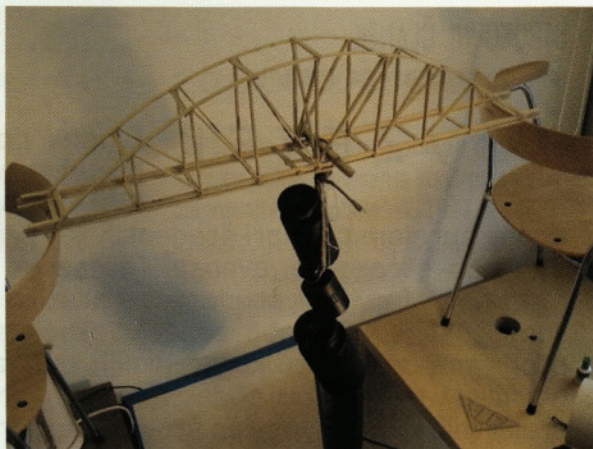
Članki, študije, razprave
Articles, studies, proceedings

Stran 214

Vojko Kilar

SPECIFIČNOST POUČEVANJA STATIKE NA FAKULTETI ZA ARHITEKTURO V LJUBLJANI

**SPECIFICS OF TEACHING STATICS AT
THE FACULTY OF ARCHITECTURE IN
LJUBLJANA**



Stran 225

Jože Guštin

TEMPERATURNI ODZIV POŽARU IZPOSTAVLJENIH KONSTRUKCIJ REZERVOARJEV

**TEMPERATURE RESPONSE OF POOL
STRUCTURES EXPOSED TO FIRE**



Stran 236

Martina Zbašnik - Senegačnik, Janez Kresal

PREZRAČEVANA FASADA

VENTILATED FAÇADE



SPECIFIČNOSTI POUČEVANJA STATIKE NA FAKULTETI ZA ARHITEKTURO V LJUBLJANI

SPECIFICS OF TEACHING STATICS AT THE FACULTY OF ARCHITECTURE IN LJUBLJANA

STROKOVNI ČLANEK

UDK 378.147 : I624.04 + 721

VOJKO KILAR

P O V Z E T E K Članek opisuje nekatere specifične načine poučevanja predmetov gradbene vsebine na Fakulteti za arhitekturo (FA) v Ljubljani, ki so se uveljavili v zadnjih nekaj letih, dosegli dober sprejem tako pri študentih kot pri drugih pedagogih FA in bodo morda zanimivi tudi za širšo strokovno javnost. Prispevek na kratko opisuje izdelavo modelov iz različnih materialov (prvi stik študentov s statiko na FA), predavanja o pomembnosti dobre zasnove konstrukcije, uporabo za arhitekta prilagojenih računalniških programov (vpogled v programe za analizo konstrukcij), prikaze gradnje zanimivejših objektov doma in v tujini (vpogled v prakso) ter sodelovanje med arhitekti in gradbeniki v smislu simulacije navideznih projektnih birojev (vpogled študentov v timsko projektno delo in komunikacijsko tehnologijo).

S U M M A R Y The paper describes some specific educational approaches of teaching structural engineering subjects at the Faculty of Architecture (FA) in Ljubljana that have been developed in past few years. They have been accepted well by the students as well as by other faculty members and they might be interesting also for other faculties and other professionals in this field of activity. The paper briefly describes the fabrication of structural models of various materials (first contact of students with statics course), the courses connected with the importance of good conceptual design of the building, the usage of specialized structural analysis computer programs (insight in the programs for structural analysis), the survey of building process of selected interesting buildings in Slovenia and abroad (insight in up-to-day practice) and cooperation between architects and structural engineers in a form of artificial project bureaus (insight of students in team-oriented project work and communication technology).

Avtor:

Doc. Dr. Vojko Kilar, univ. dipl. inž. gradb., Fakulteta za arhitekturo, Zoisova 12, Ljubljana

1.0 UVOD

Fakulteta za arhitekturo Univerze v Ljubljani je edina uradna institucija v slovenskem nacionalnem in kulturnem prostoru, na kateri si študentje lahko pridobijo

bijo strokovni naziv univerzitetni diplomirani inženir arhitekture. Fakulteta se odlikuje predvsem po dokaj široki pahljači zastopanih področij, na katerih se lahko arhitekt kasneje uveljavi v praksi, kar se kaže tudi v izjemno visokem

interesu za vpis. Tako je bilo pred dvajsetimi leti število vpisanih študentov v vseh letnikih 280, pred desetimi leti 482, danes pa že 702 (skupaj z IX semestrom). V četrtem letniku se študij deli na 3 smeri, in sicer na: arhitekturo (povprečno ca.

60 % študentov), oblikovanje (26 %) in urbanizem (14 %). Povprečno število diplomantov, ki pa z leti močno niha, je okrog 60 na leto.

Arhitektura je po eni strani del likovne umetnosti (skupaj s slikarstvom, kiparstvom, tudi grafiko in industrijskim oblikovanjem), po drugi pa je neizpodbitno tudi del tehnike. Arhitektura je vedno in bo združevala tako tehniško kot tudi umetniško komponento. Izredno pomembna je tudi njena socialno-družbena komponenta v zvezi z ustvarjanjem in vrednotenjem našega bivalnega prostora. Arhitekt v današnjem času vse bolj nastopa kot koordinator in usklajevalec dela različnih strokovnjakov, ki sodelujejo v procesu graditve objekta, zato mora čim bolj poznati tudi sorodne stroke. Kot projektant zgradb mora med drugim dobro poznati zahteve gradbene stroke in se zavedati pomena uspešnega sodelovanja s statikom konstrukterjem.

Poučevanje predmetov gradbene vsebine je razdeljeno na obvezne predmete in izbirne predmete. Za vse študente obvezni predmeti s področja gradbeništva in statike so naslednji: Osnove tehnične mehanike (120 ur - 1. letnik), Arhitekturne konstrukcije (120 ur - 1. letnik), Konstruiranje in dimenzioniranje (120 ur - 2. letnik) in Osnove gradbene mehanike (60 ur - 3. letnik). Možna je še izbira treh izbirnih predmetov, in sicer Konstrukcijski sistemi, Zasnova konstrukcij in Konstrukcije industrijskih objektov (vsi po 30 ur).

Predmeti s gradbeno/statično vsebino seznanjajo študente z osnovnimi pojmi statike, dimenzioniranja, konstruiranja in zasnove ter izvedbe gradbenih konstrukcij. Del predavanj še vedno poteka konvencionalno, to je pretežno enosmerno od učitelja k študentu z uporabo krede, table, prosojnic, diapozitivov, primerov rešenih vaj ipd. Takšna oblika dela omogoča hitro podajanje obsežnejših delov snovi in je primerna predvsem za nižje letnike, vendar pa ne krepi občutka študenta za obnašanje konstrukcij in za

druge dejanske probleme, ki se pojavljajo pri (timskem) delu v praksi. V zadnjih letih je bil konvencionalni način študija obogaten s primeri iz prakse, dopolnjena pa so bila tudi predavanja o dobri zasnovi konstrukcij (npr. pripravljen je bil kratak izvleček o zasnovi AB konstrukcij iz predpisa Eurocode 8 za arhitekto), ki jih spremljajo tudi primeri prikazov poškodb in rušitev konstrukcij med močnimi potresi v zadnjih letih. Eden poglobitvenih problemov, s katerim smo soočeni pri učenju statike na arhitekturi, je, kako študente v razmeroma kratkem času na čim bolj učinkovit način (po možnosti s čim manj formul in matematike) naučiti osnovnega razumevanja in občutka za projektiranje konstrukcij. Omenjene pomanjkljivosti poskušamo odpraviti tudi z uvajanjem dodatnih kvalitativnih pristopov, kot so:

- izdelava in testiranje modelov (1. letnik),
- razširitev konvencionalnih predavanj s predavanji o načelih dobre zasnove konstrukcij in z diapozitivi, ki prikazujejo posledice močnejših potresov na nepravilno zasnovane stavbe (3. letnik),
- uporaba arhitektom prilagojenih računalniških programov za statično analizo in statično kontrolo različnih arhitekturnih rešitev pri reševanju realne projektne naloge (3. letnik),
- prikaz in analiza glavnih korakov procesa načrtovanja in gradnje nekaterih objektov doma in v tujini ter učenje na storjenih napakah (3. in 4. letnik),
- uvajanje projektne načina dela s poudarkom na komunikaciji med arhitektom in drugimi udeleženci (predvsem gradbeniki) v procesu graditve (4. letnik).

Namen članka je na kratko predstaviti omenjene specifične načine poučevanja statike, s katerimi želimo predvsem olajšati in približati gradbeno stroko študentom arhitekture. Menimo, da je informacija o novih sodobnejših načinih poučevanja statike na FA zanimiva tudi za sorodne fakultete in za vse strokovnjake iz prakse, ki sodelujejo pri graditvi objek-

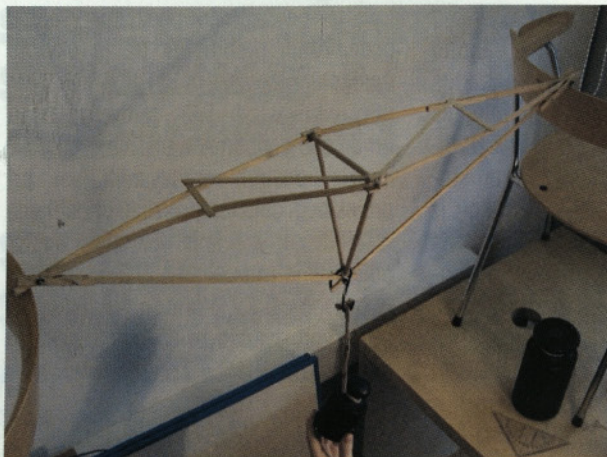
tov. Namen članka ni podajanje vsebine posameznih predmetov (ta je okvirno dostopna na www.arh.uni-lj.si in v drugih publikacijah FA), temveč opisati omenjene sodobnejše pristope, tako pri konvencionalnih predavanjih kot pri projektne delu ter analizirati pridobljene rezultate in izkušnje. Nekateri načini poučevanja (modelne vaje in za arhitekto prilagojeni računalniški program ALL) se na šoli izvajajo že dlje časa, nekateri pa so bili vpeljeni v zadnjih nekaj letih.

2.0 MODELNE VAJE

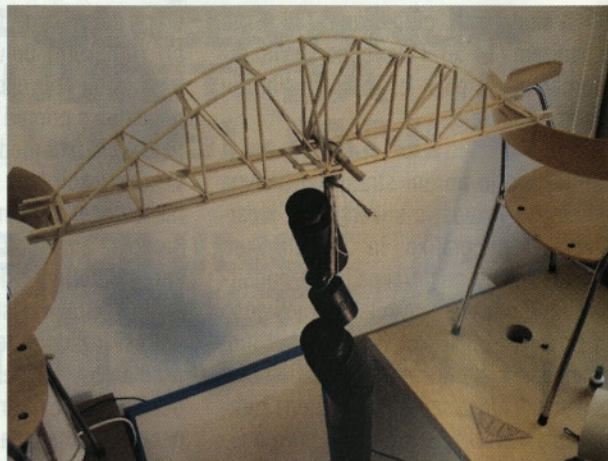
Izdelava in testiranje modelov omogoča nazoren prikaz obnašanja konstrukcij pod obremenitvijo [Dobovišek, 1977 in 1982]. Izdelava modelov omogoča študentom 1. letnika, da sami izdelajo konstrukcijo po svoji zamisli in jo tudi preizkusijo. Model mora izpolnjevati podane pogoje, to je nositi dano obtežbo na danem razponu, obenem pa mora biti tudi čim lažji. Tak način dela olajšuje prvi stik študenta s statiko in problematiko zasnove konstrukcij ter ga motivira za samostojno razmišljanje. Ob opazovanju in analiziranju modelov se lahko ob pomoči predavatelja uči na svojih napakah. Uvodni seminar dela z modeli omogoča kratek a nazoren prikaz zelo raznovrstnih statičnih problemov, kot so:

- izbira materiala,
- izbira konstrukcijskega sistema, dimenzij in razmerij med posameznimi nosilnimi elementi,
- potrebe po omejitvi napetosti in pomikov,
- uklonski problemi in potrebe po zavetovanjih,
- razporeditev tlačnih in nateznih napetosti (kar pri armiranem betonu pogojuje tudi pravilno polaganje armature),
- probleme sidranja armature,
- potrebe po strižni armaturi,
- delovanje prednapetih nosilcev,
- izvedbeni problemi (na primer vozlišč, podpor, mest za vnos obtežbe...).

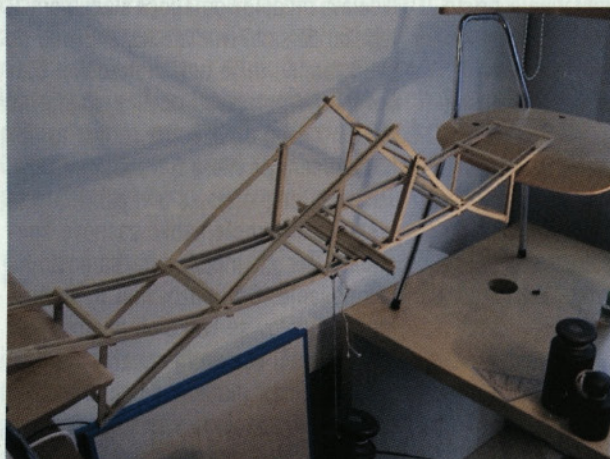
Uporabljeni materiali so a) lesene paličice dimenzij 8 x 3 mm in 2 mm vrvica



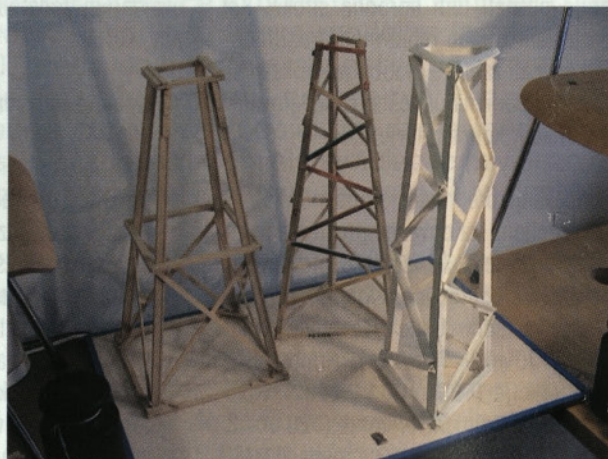
Slika 1: Prostoležeči most iz lesenih paličic (3 x 8 mm), obremenjen z utežjo 2 kg. Razpon 80 cm, največja višina 20 cm, teža 30 g. Zaradi sproščene povezave med delom zgornjega pasu in zavetrovanjem je dobro viden uklon zgornjega pasu



Slika 3: Skrbno konstruirani in izdelani mostovi iz lesenih paličic imajo lahko precejšnjo nosilnost. Na sliki je ločni most obremenjen z utežmi teže 17 kg. Razpon 80 cm, puščica loka 20 cm, teža 150 g



Slika 2: Most razpona 80 cm je težak 150 g in zdrži utež teže 10 kg. Vidna je prekoračitev pomika, ki še dopušča uporabnost mostu in globalni uklon mostu tik pred njegovo porušitvijo



Slika 4: Stolpi iz lesa in papirja, višina 60 cm, vertikalna obtežba na vrhu je 5 kg (les) oziroma 2 kg (papir)

(samo za prevzem nateznih sil), b) papir in c) kocke iz stiropora. Iz lesa in papirja študentje izdelujejo mostove, konzolne nosilce, stolpe in konstrukcije za nazoren dvosmerni raznos obtežbe. Trije primeri prostoležečega mostu različnih nosilnosti in teže so prikazani na slikah 1, 2 in 3. Na sliki 4 so prikazani stolpi iz lesa in papirja z različnim številom in razporeditvijo stranskih diagonal.

Pri testiranju modelov ugotovimo mejno porušno obtežbo (ob tem ugotovimo in komentiramo tudi obliko in vzrok porušitve) in izmerimo njegovo težo. Najboljši modeli so tisti, ki nosijo zahtevano obre-

menitev in tehtajo čim manj, če pa so predimenzionirani, pa tisti, ki tehtajo čim manj in nosijo čim več.

Iz stiropornih kock izdelujemo različne oblike »armiranobetonskih« plošč in enostavnih okvirov, pri katerih je potrebno namesto natezne armature uporabiti lepilni trak. Na vseh mestih, kjer je »armature« preveč, lahko trak prerežemo, ne da bi bila ogrožena nosilnost konstrukcije. Slika 5 prikazuje okvir iz stiropornih kock pri horizontalni obtežbi. Potrebno armaturo nosilca nadomešča rdeči lepilni trak. Zeleni lepilni trak predstavlja konstrukcijsko armaturo. Vidna je potrebna

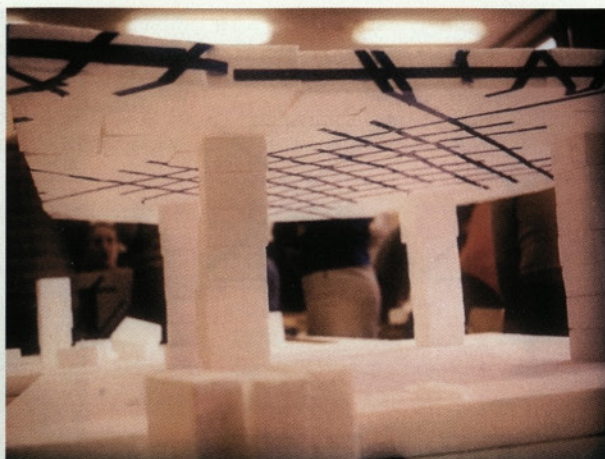
armatura vogalov ter stebrov in prečke ter pomanjkljivo sidranje »armature« v levem steburu. Slika 6 prikazuje ploščo z dvosmerno spodnjo armaturo iz lepilnega traku.

3.0 POMEMBOST »DOBRE« ZASNOVE KONSTRUKCIJE

Arhitekt projektant pri zasnovi konstrukcije pomembno vpliva na možnosti za izbiro statično najugodnejšega konstrukcijskega sistema, zato je zelo pomembno, da dobro pozna in razume



Slika 5: Vpeti okvir iz stiropornih kock pri horizontalni obtežbi (konstrukcijsko armaturo predstavlja rdeči lepilni trak)



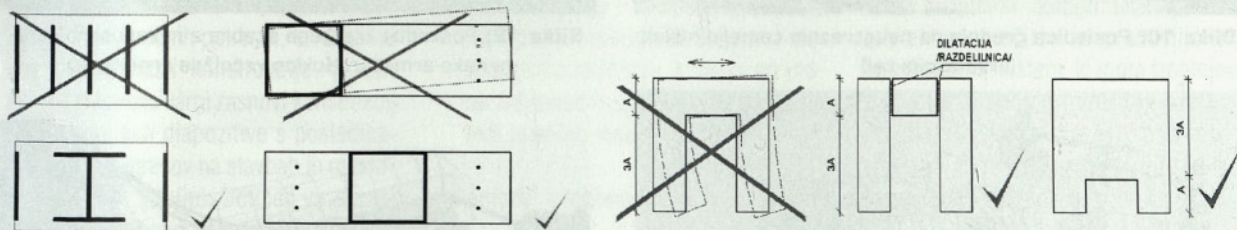
Slika 6: Plošča s previsnimi polji na stebrih iz stiropornih kock. Spodnja dvosmerna armatura (lepilni trak) je potrebna le na območju med stebri

osnovne zakonitosti dobre zasnove konstrukcij. Poleg pridobitve osnovnega znanja s področja uporabe gradbenih materialov, določanja obtežb ter analize in dimenzioniranja konstrukcij, je namreč za arhitekta predvsem pomembno, da si pridobijo razumevanje o pomembnosti dobre zasnove konstrukcije. Le pri takšnih konstrukcijah bo namreč mogoč korekten dokaz varnosti s strani statika. Zato dodatno podrobneje obravnavamo predvsem naslednje teme:

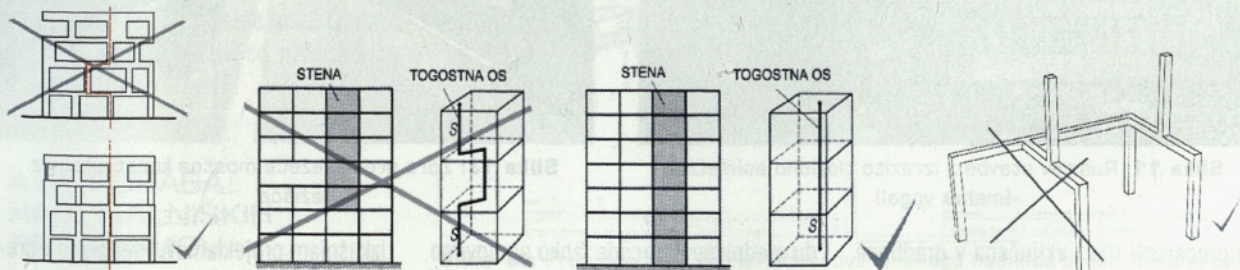
- premagovanje razponov in izbira dimenzij horizontalnih nosilnih elementov (nosilci, paličja, brane, plošče in oblikovanje prerezov),
- izbira tlorisne razporeditve in dimenzij vertikalnih nosilnih elementov (stebri, stene),
- pomembnost čim bolj neposrednega poteka nosilnih elementov do temeljev stavbe,
- zagotovitev zadostne horizontalne togosti v dveh pravokotnih smereh (ok-

- viri, stene, zavetrovanja, jedra),
- pravilnost razporeditve elementov za prevzem horizontalne obtežbe v tlorisu in po višini,
- nevarnosti nastanka mehkih etaž in potrebe po zagotovitvi globalnih porušnih mehanizmov (načelo »močni stebri, šibke prečke«),
- potrebe po delitvi konstrukcije na enostavne dilatacijske enote.

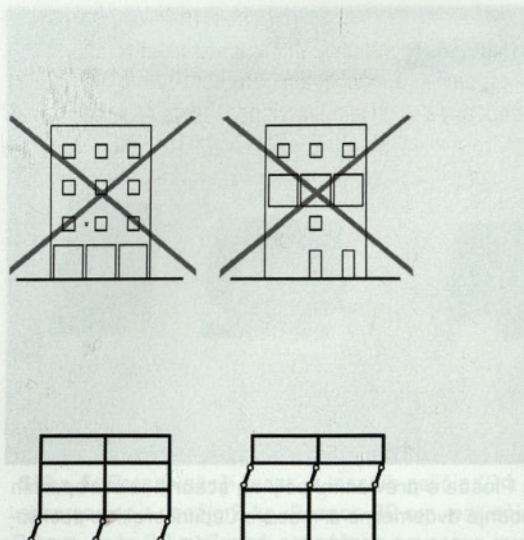
Načela za dobro zasnovo konstrukcij so



Slika 7: Pravilnost konstrukcije v tlorisu. a) Nosilni elementi naj bodo razporejeni v dveh pravokotnih smereh; b) Konstrukcija naj bo čim bolj simetrična; c); d) Tlorise nepravilnih oblik je potrebno razdeliti na enostavne dilatacijske enote; e) Dopustne so nepravilnosti do velikosti odprtin 25% tlorisne dimenzije



Slika 8: Pravilnost konstrukcije po višini. a) Nosilni elementi naj segajo neprekinjeno do temeljev, središča togosti posameznih etaž naj se čim manj spreminjajo po višini; b) Izjemoma so dovoljene grede, ki podpirajo prekinjene nosilne stebre, vendar morata grede podpirati vsaj dve direktni podpori



Slika 9: Mehka etaža in možne posledice po močnem potresu



Slika 10: Posledice gradnje na neustreznih temeljnih tleh (likvefakcija tal)



Slika 12: Poškodbe kratkega stebra z nezadostno stremensko armaturo (uklon vzdolžne armature)



Slika 11: Rušitev stavbe z izrazito tlorisno asimetrijo (mehak vogal)



Slika 13: Zdrs prostoležeče mostne konstrukcije z ležišča

v precejšnji meri vključena v gradbene predpise, še posebej podrobno in restriktivno pa so opisana v predpisih za gradnjo na potresnih območjih. Ob pregle-

du predpisov Eurocode lahko ugotovimo, da pravila večinoma nastopajo v obliki priporočil, katerih izpolnjevanje je do precejšnje mere prepuščeno presoji in

izkušnjam projektantov. Predpis je v precejšnji meri prilagojen potrebam statikov-projektantov in v precej manjši meri potrebam in uporabi arhitektov. Zato smo

v okviru raziskovalnega dela na Fakulteti za arhitekturo pripravili povzetek, ki povzema in razlaga glavne zahteve za dobro potresno varno gradnjo, povezane z zasnovo AB konstrukcij, ki so vsebovane v predpisu Eurocode 8 [Eurocode 8, 2000 in 2001; Fajfar, 1999; Fischinger, 2001a] in jih združuje v enostavno in pregledno celoto, ki služi kot študijsko gradivo pa tudi kot opora arhitektu projektantu pri njegovem delu [Fajfar, 1981; Slak, 2001; Kilar, 2002]. Manjši del povzetka, ki obravnava pravilno zasnovo stavbe v tlorisu in po višini, je prikazan na slikah 7 in 8. Slika 9 prikazuje mehko etažo v stavbi in način porušitve konstrukcije z mehko etažo v potresu leta 1999 v Turčiji.

Izkušnje iz potresov na domačih in še posebej na tujih tleh dokazujejo, da ustrezno zasnovane in solidno grajene stavbe z zadostno horizontalno odpornostjo in s kvalitetno projektiranimi in izvedenimi detajli večinoma zelo dobro prenašajo močnejše potrese, ne glede na leto izgradnje in v tem času uporabljane predpise o potresno varni gradnji. Po drugi strani pa lahko opazimo tudi, da noben statik ne more zagotoviti, da se bo slabo zasnovana konstrukcija dobro obnašala med močnimi potresi. Posledice nepravilno zasnovanih stavb se pogosto pojavijo šele pri močnih potresih, ki razgalijo vse nepravilnosti konstrukcije. Predavanja o potresno varni zasnovi konstrukcij vključujejo tudi diapozitive s posledicami močnih potresov na stavbah in mostovih pri nas in v tujini. Odličen vir diapozitivov s potresno vsebino in njihovim komentarjem predstavlja tudi baza diapozitivov EASY, ki je dostopna tudi na internetu [Fischinger, 1998]. Nekateri posnetki posledic neustrezne gradnje stavb na potresnih območjih so prikazani na slikah 10, 11, 12 in 13.

4.0 UPORABA RAČUNALNIŠKIH PROGRAMOV

Današnja obširna ponudba računalniških programov vsebuje programe za analizo

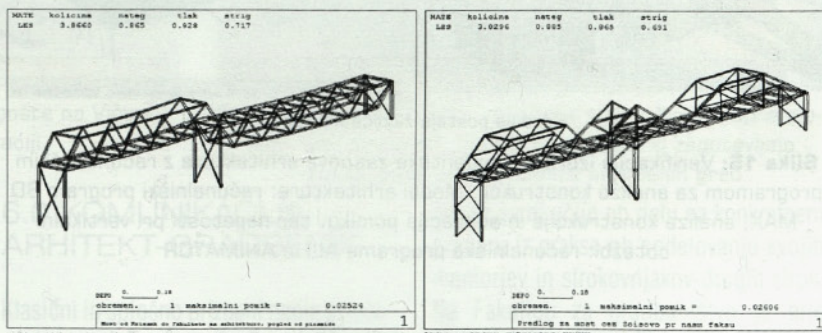
praktično vseh vrst konstrukcij, ki se pojavljajo v gradbeni praksi. Uporaba »pešč« računskih metod je danes omejena na enostavne primere, pomembna pa ostaja tudi pri verifikaciji rezultatov računalniških programov. Pri uporabi računalniških programov za potrebe izobraževanja arhitektov projektantov se pojavljajo predvsem naslednji problemi:

- enostavni in enostavno dostopni programi za analizo linijskih 2D konstrukcij praviloma ne pokrivajo vseh problemov, povezanih s projektiranjem stavbe,
- 3D programi, ki omogočajo modeliranje celotne konstrukcije, so kompleksni in za uporabo zahtevajo precej predhodnega znanja,
- vnos podatkov je pogosto prezamuden, prikaz rezultatov pa je prilagojen potrebam statikov,
- programi za analizo, ki omogočajo direktno povezavo z računalniškimi programi, ki jih uporabljajo arhitekti (AutoCAD, ArchiCAD...), so tako po kompleksnosti kot ceni (tudi za omejeno študentsko uporabo) težje dostopni obširni programski paketi, ki zahtevajo veliko dodatnega znanja, ki pogosto presega običajni študijski okvir na FA,
- obstaja nevarnost ustvarjanja prevelikega zaupanja v računalnik, tako da lahko postane računalniški program »vsevedna črna skrinjica«, ki naj bi po vnosu zahtevanih podatkov vedno dala tudi pravilne rezultate.

Omenjene probleme delno odpravijo

računalniški programi, ki so posebej prilagojeni potrebam arhitektov. Eden teh je računalniški program ALI (bi zdržalo?), ki je bil razvit posebej za ta namen na naši fakulteti [Dobovišek, 1995]. Program omogoča 3D analizo linijskih in ploskovnih konstrukcij s pomočjo končnih elementov. Rezultati so prilagojeni potrebam arhitektov, saj je omogočen barvni prikaz animacij premikov in izkoriščenosti napetosti v konstrukciji, ki omogoča enostavno preveritev ustreznosti zasnovane konstrukcije. Vse večjo pomanjkljivost programa ALI predstavlja vnos podatkov, ki še vedno zahteva podatke v obliki numerične vhodne datoteke. Zato smo v študijski program vključili tudi program SAP2000e [SAP2000e, 2001], ki omogoča tako grafični vnos podatkov kot tudi povezavo s programom Autocad. Zaenkrat je uporaba programa SAP2000e omejena na študente pri izbirnem predmetu v IV. letniku.

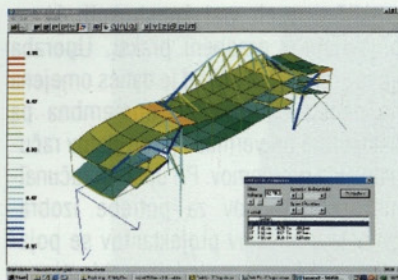
Uporaba programa ALI omogoča razmema enostavno preveritev ustreznosti zasnovane konstrukcije, pri čemer so na razpolago tudi podatki o količinah porabljenega materiala, ki določajo ceno predlagane konstrukcijske rešitve. Na ta način omogočamo študentom, da za podano projektno nalogo izdelajo svojo arhitekturno rešitev in predvidijo svoj konstrukcijski sistem, ki mora izpolnjevati zahtevane pogoje (omejitev napetosti, pomikov, nihajnih časov), obenem pa mora biti tudi cenovno ustrezen. Pokazalo se je, da tak način dela izredno moti-



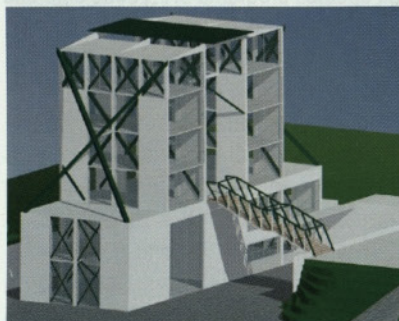
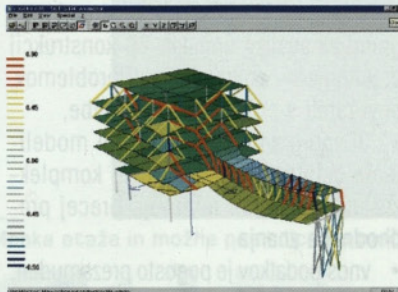
Slika 14: Program ALI - primera zasnove lesenega nadhoda preko Zoisove ulice pred FA. Vidna je poraba lesa v kubičnih metrih, faktor maksimalno izkoriščenosti napetosti v tlaku in nategu in maksimalni pomik za obremenitev 1 (vertikalna lastna, stalna in koristna obtežba)



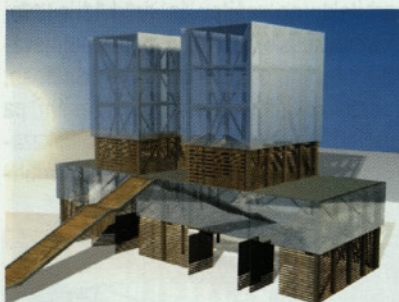
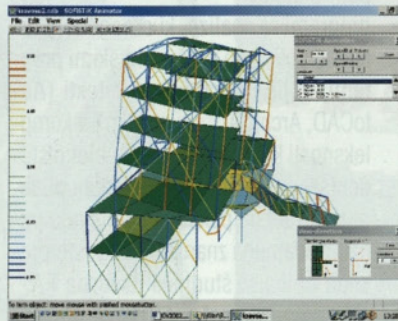
Restavracija nad avtocesto



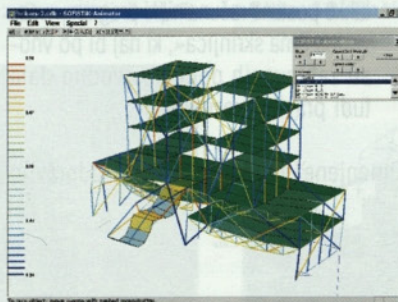
Letališka zgradba



Spodnja postaja žičnice na Vogel



Spodnja postaja žičnice na Vogel



Slika 15: Verifikacija izbrane študentske zasnove arhitekture z računalniškim programom za analizo konstrukcij. Model arhitekture: računalniški program 3D MAX, analiza konstrukcije in animacija pomikov ter napetosti pri vertikalni obtežbi: računalniška programa ALI in ANIMATOR

vira študente, saj jih sooča z dejanskimi problemi tako arhitekta kot statika pri reševanju konkretne projektne naloge [Kilar, 2001]. Slika 14 prikazuje dve študen-

tski rešitvi nadhoda preko Zoisove ceste v Ljubljani (pred FA).

Slika 15 prikazuje nekaj primerov od štu-

dentov predlaganih arhitekturnih rešitev večjih stavb in njihovo verifikacijo s programom ALI. Prikazane so zasnove arhitekture in kontrola statičnega modela za restavracijo nad avtocesto (leto 2000), letališko zgradbo z nadhodom (leto 2001) in za spodnjo postajo žičnice na Voglu (leto 2002). Pri rezultatih analize konstrukcije so prikazani tudi maksimalni pomiki in barvna skala izkoriščenosti napetosti materiala pri danem obtežnem primeru (faktor izkoriščenosti napetosti mora biti pod 1.00). Mejne tlačne napetosti so prikazane z modro barvo, natezne pa z rdečo. Vmesne napetosti so prikazane z različnimi barvnimi odtenki.

5.0 PRIKAZ IN ANALIZA GRADNJE NEKATERIH IZBRANIH OBJEKTOV

Iz izkušenj vemo, da se najhitreje učimo na konkretnih primerih in njihovi analizi, zato predavanja vključujejo tudi diapozitive gradnje izbranih tipičnih in/ali odmevnih zgradb v Ljubljani in tujini v zadnjih nekaj letih. Kjer je mogoče, je prikazana gradnja stavbe po posameznih fazah, od izkopa temeljev, do zaključnih del na fasadah in končnega videza objekta. Diapozitive spremljajo razpoložljivi načrti in komentar gradbenih problemov pa tudi storjenih napak, tako v fazi zasnove, analize kot izvedbe. Na ta način se študentje na primerih stavb, ki »rastejo pred njihovimi očmi«, seznanijo s sodobnejšimi načini in problemi gradnje, uporabo materialov in izvedbo detajlov. Postopek zbiranja diapozitivov je zahteval zamudno sprotno spremljanje in fotografiranje gradnje nekaterih objektov v zadnjih letih. Zbrana je slikovna dokumentacija gradnje naslednjih stavb:

- jeklena/betonska stavba Sony centra in Muzeja sodobne umetnosti v Berlinu (sliki 16 in 17),
- armiranobetonska poslovno stanovanjska stavba v Novih Poljanah v Ljubljani (slika 18),
- jeklena poslovna stavba nove pošte na Viču v Ljubljani (sliki 19 in 20),



Slika 16: Izdelava steklene fasade na stolpnici Sony centra v Berlinu



Slika 17: Stropni jekleni palični nosilec na katerega so spodaj priključene sovprežne grede, ki nosijo sovprežno AB ploščo (Muzej sodobne umetnosti v Berlinu)



Slika 18: Stene z odprtinami (prečke so nosilni AB parapeti) stanovanjskega kompleksa Nove Poljane v Ljubljani



Slika 19: Jeklena okvirna konstrukcija pošte na Viču – vidni so dvojni stebri ob dilataciji



Slika 20: Pošta na Viču - opaženje sovprežne stropne plošče, vidni so jekleni moznički na gredah, ki zagotavljajo skupno delovanje AB plošče in jeklenih gred

- armiranobetonska montažna hala novega centra Interspar v Ljubljani,
- jeklena/aluminijasta/steklena kupola nad bazenom pri Odesi (slika 21),
- betonska lupina vodnjaka na trgu v Solkanu (sliki 22 in 23).

6.0 KOMUNIKACIJA ARHITEKT-GRADBENIK

Klasični in splošno priznani način poučevanja poteka praviloma pretežno enosmerno od učitelja k študentu. Nasprotje klasičnemu načinu poučevanja predstavlja projektno delo, pri katerem se študenti sami učijo ob delu na konkretnem primeru iz prakse ob sodelovanju svojih mentorjev in strokovnjakov drugih strok.

Na Fakulteti za gradbeništvo je bilo projektno delo s samostojno vlogo študenta do nedavnega zelo redko, kar bistveno slabi občutek študentov za dejanske probleme v praksi. Nekoliko drugače



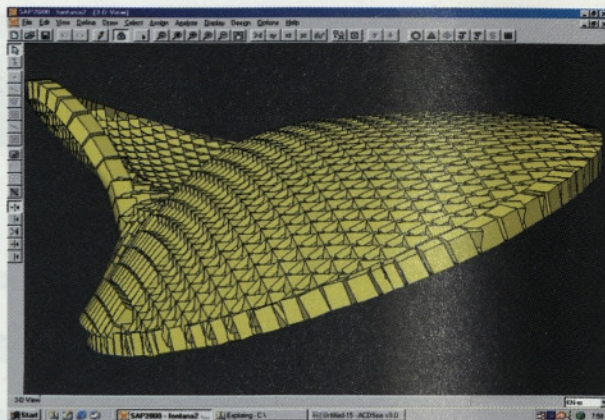
Slika 21: Kupola nad bazenom – pogled na končano kupolo



Slika 22: Lupina vodnjaka v Solkanu: ekscentrično podprta računalniško generirana forma obložena z marmorjem

je na Fakulteti za arhitekturo, kjer je projektno delo že po tradiciji skoncentrirano v obliki tako imenovanega seminarkega dela pod okriljem posameznih mentorjev. Pri projektnem delu se – predvsem v višjih letnikih – obravnavajo problemi iz aktualne prakse, žal pa reševanje problemov običajno poteka samozadostno v okviru arhitekturne stroke. Le redki so poskusi komunikacije s konstruktorjem, strojnikom in drugimi udeleženci v procesu gradnje. Problem ustreznega komuniciranja s sorodnimi strokami je torej skupen obema poklicema in že v sami osnovi tudi študijema gradbeništva in arhitekture. Divergentni način izobraževanja že znotraj obeh fakultet, še bolj pa med njima, je vir kasnejšega nerazumevanja in celo konfliktnih situacij v praksi.

Nedavno je bilo v svetu vpeljanih kar nekaj študijskih programov, ki delujejo v okviru navideznih projektnih birojev. Značilno za delo na daljavo je sodelovanje različnih strokovnjakov pri skupnem projektu s pomočjo sodobnih orodij informacijske tehnologije preko video kamer, elektronske pošte, skupne rabe programov (program sharing) in interneta. Po takem zgledu [Fruchter, 1996; Cerovšek, 2000; Turk, 2000] smo se zgledovali tudi pri vpeljavi aktivnejšega sodelovanja med Fakulteto za arhitekturo in Fakulteto za gradbeništvo v Ljubljani. V letošnjem letu že drugo leto poteka skupno projektno delo na daljavo v okviru izbirnih predmetov "Računalniško projektiranje konstrukcij" na gradbeni fakulteti in "Zasnova konstrukcij" na Fakulteti za arhitekturo [Fischinger, 2001b]. Delo izbranih



Slika 22: Računalniški model armiranobetonske lupine vodnjaka debeline 14 cm z ojačilnim robom (program SAP2000)

projektnih skupin (minimalno en par arhitekt – gradbenik) na dejanskih objektih poteka v petih fazah: (1) na podlagi projektnih zahtev najprej arhitekt predlaga osnovno zamisel stavbe, potrebnih volumnov, gabaritov..., (2) nato gradbenik predlaga nekaj možnih konstrukcijskih rešitev, materialov..., (3) v tretji fazi arhitekt in gradbenik uskladiata predloge in izbereta optimalno varianto, (4) potem vsak s svojega stališča podrobno analizirata konstrukcijo, (5) na koncu skupaj pripravita predstavitev projekta z zornega kota arhitekta in zornega kota gradbenika.

Timsko projektno interdisciplinarno delo je že samo po sebi zapleten proces tudi v primeru, ko poteka brez uporabe računalnika. Zato je organizacija takšnega dela v elektronski obliki še posebej zahtevna naloga. Še zlasti to velja za področje gradbeništva in arhitekture, kjer udeleženci posredujejo drug drugemu številne informacije različnega tipa. Udeleženci med sabo delijo numerične, grafične (statične in dinamične) in tekstovne informacije. Za prikaz in izmenjavo vseh teh informacij so potrebna razmeroma zahtevna in večinoma najsodobnejša orodja informacijske tehnologije. Glavna orodja lahko razdelimo v tri osnovne skupine: (1) orodja, ki se uporabljajo za sam proces načrtovanja in projektiranja konstrukcij (arhitekti: AutoCAD, ArchiCAD, 3Dmax; gradbeniki: SAP2000, OKVIR, EAVEK), (2) orodja, ki jih študentje upo-

rabljajo za učenje (v glavnem baze, predavanja in zapiski na internetu) in (3) orodja, ki se uporabljajo za medsebojno komunikacijo in za končno prezentacijo rezultatov (NetMeeting, PowerPoint, FrontPage). Rezultati projektnih skupin iz šolskega leta 2000/2001 so trenutno še dostopni tudi na Internetu (<http://ucilnica.fgg.uni-lj.si/sola/rpk/0001/ss/>).

Eden od računalniških programov, ki omogoča video-avdio komunikacijo preko interneta je Netmeeting. Program je standardno vgrajen v operacijski sistem Windows 2000, za vzpostavitev povezave med dvema oddaljenima računalnikoma pa je potrebna le dodatna (razmeroma poceni) kamera, mikrofoni (običajno vgrajen v kamero) in priključek na inter-

net. Povezava deluje zelo enostavno, podobno in zanesljivo kot klic po telefonu, le da se obenem prenaša tudi slika. Poleg komunikacije program Netmeeting omogoča še izmenjavo datotek in skupno rabo programov. Slednja poteka tako, da lahko katerikoli računalniški program, ki se ga da v skupno rabo (ni potrebno, da je instaliran na obeh računalnikih) uporabljata oba udeleženca hkrati, pri čemer si s pritiski na miško izmenjujeta kontrolo nad delom s programom. To na primer pomeni, da lahko arhitekt in gradbenik hkrati odpreta program AutoCAD, hkrati pregledujeta iste načrte in oba dajata spremembe v načrt, pri čemer pa se obenem tudi slišita in vidita preko kamere. Nekaj primerov uporabe programa NetMeeting pri sodelovanju na daljavo

med FA in FGG v šolskem letu 2001/2002 je prikazano na sliki 24.

7.0 SKLEP

Eden glavnih problemov, s katerim smo soočeni pri učenju statike na Fakulteti za arhitekturo, je, kako študente v razmeroma kratkem času na čim bolj učinkovit način (po možnosti s čim manj formul in matematike, brez katerih pa seveda ne gre) naučiti osnovnega razumevanja in občutka za projektiranje konstrukcij. Namen prispevka ni podajanje učnega načrta pri posameznih predmetih, temveč opis nekaterih specifičnih načinov poučevanja predmetov gradbene vsebine na Fakulteti za arhitekturo v Ljubljani. Z



Slika 24: Uporaba programa Netmeeting. V ozadju je program v skupni rabi (AutoCAD 2000), v ospredju pa glavno okno za video komunikacijo, okno za pogovor (Chat), okno za skiciranje (Whiteboard), okno za dodeljevanje programov v skupno rabo (Sharing programs) in okno za prenos datotek (File Transfer)

njimi želimo preseči okvire konvencionalnega podajanja znanja, obenem pa v pedagoški proces vpeljati novosti, ki jih prinaša sodobna informacijska tehnologija. Podrobneje je opisanih pet študijskih pristopov: 1) Izdelava in testiranje modelov, 2) Pomembnost in razumevanje dobre zasnove konstrukcij, 3) Uporaba za arhitekto prilagojenih računalniških pro-

gramov, 4) Prikaz in analiza gradnje nekaterih objektov doma in v tujini in 5) Uvajanje projektnega načina dela s podarkom na komunikaciji med arhitektom in drugimi udeleženci (predvsem gradbenikom konstruktorjem) v procesu graditve. Dosedanja praksa na fakulteti kaže, da omenjeni načini poučevanja povečujejo tako nivo razumevanja snovi kot

tudi interes in motivacijo študentov. To se kaže tako v dobrih ocenah študentov kot tudi drugih pedagogov na Fakulteti za arhitekturo. Seveda pa glavna ocena in potrditev uspešnosti naših prizadevanj ostaja v uspešnem uveljavljanju naših diplomantov v projektantski praksi doma in v tujini.

LITERATURA

- Cerovšek, Tomo, Turk, Žiga: *Projektiranje in planiranje na daljavo*, V: LOPATIČ, J. (ur.), Saje, F. (ur.): Zbornik 22. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, str. 163-169, Bled, 19. - 20. oktober 2000.
- Dobovišek, Borut: *Bauen lernen durch Bauen. Zur Statiklehre für Architekten*, Bauwelt 68, str. 1599-1600, 1977.
- Dobovišek, Borut: *Navodila za uporabo računalniškega programa ALI (bi zdržalo ?)*, Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, 1995.
- Dobovišek, Borut; Kušar, Jože; Bratovič, Mladen: *Styropor + Tesafilm = Anschauungsmodell für Stahlbeton*, Bauwelt 73, str. 180-181, 1982.
- Fajfar, Peter: *Gradivo za Seminar o uporabi evropskih predpisov za konstrukcije: Eurocode 8 - Splošno in analiza*, IKPIR - FGG, Ljubljana, 1999.
- Fajfar, Peter: *Zasnova potresnovarnih zgradb*, publikacija IKPIR št. 23, FAGG, Ljubljana, 1981.
- Fischinger, Matej: *Gradivo za Seminar o uporabi evropskih predpisov za konstrukcije: Eurocode 8 - Armiranobetonske konstrukcije*. IKPIR - FGG, Ljubljana, 2001 (a).
- Fischinger, Matej; Cerovšek, Tomo; Turk, Žiga: *EASY: a hyper media learning tool*, Electron. j. inf. tech. constr., št. 3, str. 1-10, 1998 (tudi na <http://www.ikpir.fgg.uni-lj.si/easy/slo/index.htm>, <15.02.2002>).
- Fischinger, Matej; Isaković, Tatjana; Kilar, Vojko; Slak, Tomaž: *Sodelovanje študentov arhitekture in gradbeništva v okviru predmeta računalniško projektiranje konstrukcij*, V: Duhovnik, J., Turk, Ž., Cerovšek, T., ur.: *Gradbena informatika 2001*, IKPIR - FGG, str. 213-220, Ljubljana, december 2001 (b).
- Fruchter, R.: *Conceptual, Collaborative Building Design Through Shared Graphics*, AI in Civil and Structural Engineering, str. 33-41, 1996.
- Kilar, Vojko: *Konstrukcije v arhitekturi*, V: Juvanec, B., ur.: *Risba je jezik arhitekta - Arhitektura, raziskave 2001/2*, Fakulteta za arhitekturo (FA), str. 46-49, Ljubljana, 2001.
- Kilar, Vojko: *Vpliv zasnove konstrukcije na potresno odpornost objektov*, revija Ujma, Uprava RS za zaščito in reševanje, sprejeto v objavo, 2002.
- Paulay, T., Priestley M.J.N.: *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons, Inc., ZDA, 1992.
- prEN 1998 - 1, *Eurocode 8 - projektiranje konstrukcij na potresnih področjih*, Draft No. 4, (Delovno gradivo - osnutek), December, 2001.
- SAP2000, *Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures*, Computers and structures, Inc. Berkeley, California, 2001.
- SIST ENV 1998-1, 2 in 3, *Eurocode 8 - projektiranje konstrukcij na potresnih področjih*, April, 2000.
- Slak, Tomaž; Kilar, Vojko: *Arhitekt projektant in zasnova potresno varnih konstrukcij po EC8*, V: Saje, F.; Lopatič, J., ur.: 23. Zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije, Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev, str. 147-156, Bled, 18.-19. oktober 2001.
- Turk, Žiga, Cerovšek, Tomo, Šargač, Mario: *Študij za delo na daljavo = Learning for distance working*, Gradb. vestn., let. 49, str. 258-267, november 2000.

TEMPERATURNI ODZIV POŽARU IZPOSTAVLJENIH KONSTRUKCIJ REZERVOARJEV

TEMPERATURE RESPONSE OF POOL STRUCTURES EXPOSED TO FIRE

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 536.45 :699.81

ANDREJ REBEC, FRIDERIK KNEZ, PRIMOŽ PLEŠEC

P O V Z E T E K Vpliv gorečega rezervoarja na konstrukcije v okolici je mogoče analizirati s poznavanjem termičnih karakteristik požara, oblik širjenja termične obtežbe in končno s poznavanjem zaradi toplotnega vpliva spremenjenih mehanskih lastnosti materialov prizadetih konstrukcij. V članku je prikazan način določanja termičnega vpliva na okolico na podlagi znane termične obtežbe gorečega rezervoarja. Numerične podatke, s katerimi je mogoče definirati termično obtežbo gorečega rezervoarja, smo povzeli po literaturi oziroma smo jih določili z modelnimi požarnimi testi v Požarnem laboratoriju ZAG. V zaključnem delu je prikazana računalniška simulacija gorečega rezervoarja in temperaturna porazdelitev po površini strešne kupole sosednjega rezervoarja.

S U M M A R Y The influence of a burning pool on structures in close vicinity can be analyzed knowing thermal characteristics of fire, fire load propagation and material properties that change due to heat influence. In the paper, a methodology of determination of burning pool thermal impact on the surrounding structures is shown. The numerical data used are established from different sources and also from experimental results. The results of numerical simulation of temperature field in the shell-type fuel-tank covering as a consequence of a burning pool in vicinity are shown.

Avtorji:

mag. Andrej Rebec, univ. dipl. inž. grad., Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, Ljubljana
Friderik Knez, univ. dipl. fiz., Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, Ljubljana
Primož Plešec, Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, Ljubljana

1. UVOD

Toplotni vpliv gorečega rezervoarja na okolico je mogoče ovrednotiti na podlagi poznavanja karakteristik požara in zakonitosti širjenja v požaru sproščene toplote. V prvem delu članka so bile prikazane osnovne karakteristike bazenskih požarov. Gre za sklop analiz, ki na

podlagi eksperimentalnih rezultatov in empiričnih formul omogoča določanje hitrosti gorenja gorljivega medija (kurilno olje, bencin), določanje oblike in dimenzij plamenskega telesa in določanje temperature plamenskega telesa razvitega bazenskega požara. Na podlagi znanih karakteristik bazenskega požara in poznavanja načina širjenja v požaru sproščene

toplote po okolici je mogoče definirati toplotne pogoje na sosednjih izpostavljenih objektih. Širjenje v bazenskem požaru sproščene toplote je mogoče kvalitativno in kvantitativno opisati z radiacijsko in konvekcijsko komponento prenašanja toplote. V neposredni bližini plamenskega telesa prispeva znaten delež k prenosu toplote konvekcijska komponenta

ta, zunaj tega področja pa prevlada radiacijska komponenta prenašanja toplote.

2. TOPLOTNO SEVANJE BAZENSKIH POŽAROV

Kvalitativno in kvantitativno ovrednotenje toplotnega radiacijskega polja v okolici bazenskega požara je mogoče na podlagi teorije sevanja segrelih teles in ustreznih eksperimentalnih rezultatov, povezanih predvsem z določanjem emisivnosti plamenskega telesa in atmosferske absorpcije. V literaturi sta poznana dva modela sevanja toplote iz bazenskih požarov: model točkovnega izvora in model trdnega plamena. Prednost točkovnega modela v primerjavi z modelom trdnega plamena je predvsem v njegovi enostavnosti, slabosti pa so povezane z nenatančnostjo rezultatov, ki jih s takim modelom izračunamo. Do nenatančnosti rezultatov v neposredni bližini plamenskega telesa pride zaradi zanemarjenega vpliva konvekcijskega načina prenosa toplote. Na poljubni oddaljenosti od plamenskega telesa se dodatna nenatančnost izračunov pojavi zaradi modeliranja prenosa radiacijske komponente v požaru oddane toplote skozi medij in s tem povezane absorpcije toplote v mediju, ki je odvisna od razdalje med sevalcem in sprejemnikom. V analizah z modelom točkovnega izvora tudi ni mogoče zajeti medsebojnih geometrijskih relacij sevalca in sprejemnika, kar model trdnega plamenskega telesa omogoča.

V članku je predstavljen toplotni vpliv bazenskega požara na okolico, izračunan z modelom trdnega plamena. V tem modelu privzamemo, da seva plamen po celotni površini in da se med procesom gorenja sproščena energija prenaša v obliki sevanja vročih produktov gorenja, ki so sestavljeni predvsem iz žarečih saj in plinskih produktov. Sevanje lahko v tem modelu opišemo kot sevanje trdnega, sivnega telesa z emisivnostjo, različno od 1. Gostota toplotnega toka, ki ga plamensko telo seva na svoji površini, je odvisna od sestave dimnih plinov in kon-

centracije trdnih delcev saj (ti sevajo 90 in tudi več odstotkov celotne sevanje toplote [Markstein, 1976]) in od absorpcije sevanja znotraj plamena. Pri tem je pomembno, da sevajo žareče saje in plini v celotnem volumnu plamena, vendar je za opis sevanja plamena na njegovi površini pomembna le zunanja plast plamena. V modelu trdnega sivnega plamenskega telesa vpeljana emisivnost plamena zajema vpliv absorpcije toplotnega sevanja znotraj plamena, ki ni enostavno določljiva količina in je odvisna od kemijske strukture produktov gorenja, toplotnih pogojev in geometrije plamena. V dodatku k članku so mehanizmi toplotnega sevanja plamenskega telesa podrobneje razloženi.

Za analizo vpliva gorečega rezervoarja naftnih derivatov na okolico je potrebno poznati gostoto toplotnega toka, ki vpadna na sprejemnik in jo lahko napišemo v obliki naslednje enačbe:

$$I = \tau F \varepsilon \sigma T^4, \quad (1)$$

kjer pomenijo:

I gostoto toplotnega toka, ki vpadna na sprejemnik (W/m^2),

τ absorpcijski koeficient atmosfere (brez dimenzije),

F prostorski vidni koeficient (brez dimenzije),

ε emisivnost plamenskega telesa (brez dimenzije),

σ Stefanovo konstanto ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W / m^2K^4$) in

T povprečno absolutno temperaturo plamenskega telesa (K).

V homogenih mešanicah produktov gorenja plamenskega telesa globine x je emisivnost ε_m podana z enačbo:

$$\varepsilon_m(x) = \frac{1}{\sigma T^4} \int_0^\infty E_{b\lambda}(\lambda) (1 - e^{-k_m \lambda x}) d\lambda, \quad (2)$$

kjer $E_{b\lambda}$ pomeni spektralno gostoto toplotnega toka v notranjosti plamenskega telesa, torej $E_{b\lambda} = \partial E_b / \partial \lambda$, kjer je E_b gostota toplotnega toka, ki ga sevajo saje z emisivnostjo $\varepsilon \approx 1$. Če je zmes spek-

tralno siva, k_m ni odvisen od valovne dolžine in preide v k_m . Ker sajasti delci sevajo kot črna telesa, velja $\int E_{b\lambda}(\lambda) d\lambda = \sigma T^4$, integrirano v celotnem območju valovnih dolžin, zato lahko enačbo (2) zapišemo v naslednji obliki:

$$\varepsilon_m(x) = \varepsilon = 1 - e^{-k_m x}, \quad (3)$$

kjer je k_m absorpcijski koeficient plamenskega telesa (m^{-1}). S teoretičnega stališča predpostavka sive zmesi dovoljuje računanje radiacijskega prenosa toplote z upoštevanjem karakteristik oblike plamenskega telesa in brezdimenzijskega parametra optične debeline $k_m L$, kjer je L značilna dimenzija določene oblike plamenskega telesa (če plamensko telo opišemo z valjem, je značilna dimenzija L premer osnovne ploskve valja). Ta opis poenostavi račun, vendar pa je potrebno absorpcijski koeficient k_m definirati eksperimentalno. V literaturi so znani podatki za k_m pri bazenskih požarih, kjer ta znaša za požare tekočega zemeljskega plina 0.42, za požare tekočega naftnega plina 0.34 in 0.12 za požare tekočih ogljikovodikov. Padanje gostote toplotnega toka, ki ga plamensko telo seva na svoji površini (dodatek, slika A2), je mogoče razložiti s padanjem razmerja med toploto močjo, ki se pri gorenju sprošča in toplotno močjo, ki jo plamensko telo seva v okolico. Razmerje je tipično manjše od 0.4 in je funkcija geometrije plamenskega telesa oziroma premera ponve. Omenjeno razmerje, [Moorhouse, 1982] je definirano z naslednjo zvezo:

$$\eta = \frac{E_f}{m_A \Delta H_c} \left(1 + 4 \frac{H}{D}\right), \quad (4)$$

kjer pomenijo:

E_f gostoto toplotnega toka, ki ga na svoji površini seva plamensko telo (W/m^2),

ΔH_c sežigno toploto gorljivega medija (J/kg),

m_A masno hitrost gorenja gorljivih hlapov na enoto površine (kg/sm^2),

H višino valja plamenskega telesa (m) in

D premer bazenskega požara (m).

V preglednici 1 so prikazane izračunane vrednosti razmerja med sproščeno toplotno močjo in sevano toplotno močjo, η v odvisnosti od premera bazenskega požara, kjer je geometrija plamenskega telesa opisana s *Thomasovo* enačbo [Thomas, 1963]. Prikazane rezultate (preglednica 1) je mogoče na makroskopskem nivoju komentirati s padanjem transparentnosti (naraščanjem absorpcijskega koeficienta plamena k_m) in posledično s padanjem emisivnosti plamenskega telesa.

2.1 SEVANJE PLAMENSKEGA TELESA

Poznavanje gostote sevanega toplotnega toka, ki vpada na izpostavljeno površino (I), omogoča ob poznavanju medsebojnih geometrijskih razmerij sevalca in sprejemnika in znanih materialnih lastnosti izpostavljene površine sprejemnika računanje temperaturnega polja po izpostavljeni površini in s tem toplotnega odziva izpostavljene površine.

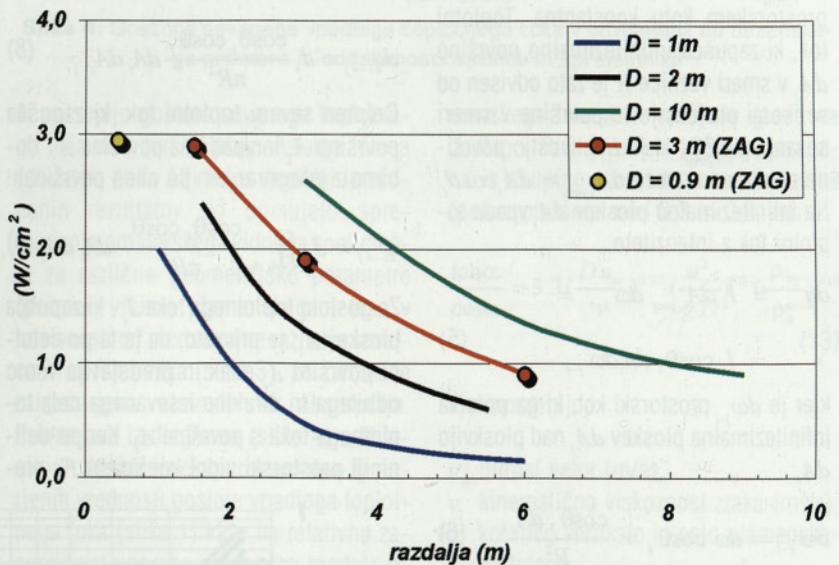
Eksperimentalne vrednosti izmerjene gostote toplotnega toka vpadlega sevanja (I) za različne premere bazenskih požarov, merjene na različnih oddaljenostih na višini 60 cm od tal, so prikazane na sliki 1. Na sliki so prikazane tudi meritve v Požarnem laboratoriju ZAG za dve testni ponvi s premerom 90 in 300 cm, meritve vpadlega sevanja so bile izvedene na štirih razdaljah na višini 50 cm od tal. Rezultati meritev v požarnem laboratoriju se dobro ujemajo s primerjanimi meritvami v literaturi [Hagglund, 1976].

2.2 PROSTORSKI VIDNI KOEFICIENT

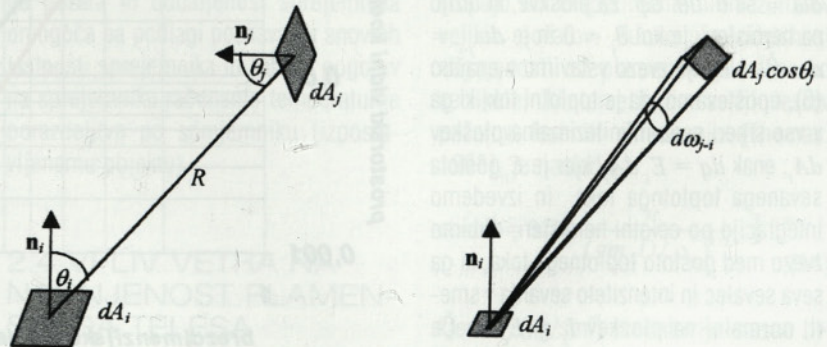
Geometrijski vpliv sevanja sevalca na sprejemnik lahko opišemo s prostorskim vidnim koeficientom F_{ij} , ki je v splošnem odvisen od oblike plamenskega telesa, oddaljenosti med sevalcem in sprejemnikom ter od relativne orientacije in oblike sprejemnika. Prostorski vidni koeficient je definiran kot razmerje med

Premer bazenskega požara D (m)	η (%)
1	35
1.5	39
2	34
3	31
5	16
10	10

Preglednica 1: Padanje razmerja med sproščeno in sevano toplotno močjo η



Slika 1: Gostota vpadlega toplotnega toka (I) za različne premere ponev (D) v odvisnosti od medsebojne razdalje sevalca in sprejemnika



Slika 2: Vpeljava prostorskega vidnega koeficienta, povezana z izmenjavo toplote med dvema infinitezimalnima površinama in prostorski kot med njima

gostoto toplotnega toka, ki ga seva infinitezimalna površina dA_i in gostoto toplotnega toka, ki vpada na infinitezimalno površino dA_j , ki sta medsebojno povezani z veznico dolžine R (slika 2). Pomen indeksov i in j je v tem podpoglavju naslednji: indeks i označuje količine, povezane s sevalcem, indeks j pa količine, povezane s sprejemnikom.

Če privzamemo, da je sevanje difuzno, je porazdelitev intenzitete sevanja I (definirana kot toplotna moč na enoto površine projekcije ploskve v smeri sevanja $dA_{i,proj}$, sevana v prostorski kot $d\omega$) po prostorskem kotu konstantna. Toplotni tok, ki zapuša infinitezimalno površino dA_i v smeri veznice R je zato odvisen od velikosti projekcije te površine v smeri sevanja $dA_{i,proj}$, ki je z velikostjo površine povezana z zvezo $dA_{i,proj} = dA_i \cos\theta_i$. Na infinitezimalno ploskev dA_j vpada toplotni tok z intenziteto:

$$dq_{i \rightarrow j} = I_i dA_{i,proj} d\omega_{j-i} = I_i \cos\theta_i dA_i d\omega_{j-i} \quad (5)$$

kjer je $d\omega_{j-i}$ prostorski kot, ki ga pokriva infinitezimalna ploskev dA_j nad ploskvijo dA_i :

$$d\omega_{j-i} = d\omega \cos\theta_j = \frac{\cos\theta_j dA_j}{R^2} \quad (6)$$

$d\omega$ pa predstavlja prostorski kot, v splošnem definiran kot razmerje med infinitezimalno površino dA_n , ki leži na hemisferi in ki ta kot pokriva, in kvadratom premera hemisfere: $d\omega \equiv dA_n / R^2$. V sferičnih koordinatah $d\omega$ zapišemo kot $d\omega = \sin\theta d\theta d\phi$. Za ploskve, ki ležijo na hemisferi, je kot $\theta_j = 0$ in je $d\omega_{j-i} = d\omega$. Če slednjo zvezo vstavimo v enačbo (5), upoštevamo, da je toplotni tok, ki ga v vse smeri seva infinitezimalna ploskev dA_i , enak $dq = E_i dA_i$, kjer je E_i gostota sevanega toplotnega toka in izvedemo integracijo po celotni hemisferi, dobimo zvezo med gostoto toplotnega toka, ki ga seva sevalec in intenziteto sevanja v smeri, normalni na ploskev $I_i = E_i / \pi$. Če upoštevamo, da imata v primeru difuznega sevanja odbiti toplotni tok in sevani toplotni tok enako kotno porazdelitev in-

tenzitate, ju lahko seštejemo v toplotno moč sevalca na enoto površine sevalca J_i (W/m^2) in velja $I_{i,(s+o)} = J_i / \pi$, kjer je $I_{i,(s+o)}$ vsota intenzitete sevanega in odbitega toplotnega toka.

Če površina sprejemnika dA_j ne leži na hemisferi, je potrebno upoštevati njeno projekcijo na veznico $dA_{j,proj} = dA_j \cos\theta_j$, zato dobimo izraz za toplotni tok, ki iz površine dA_i prehaja na površino dA_j :

$$dq_{i \rightarrow j} = I_i \frac{\cos\theta_i \cos\theta_j}{R^2} dA_i dA_j \quad (7)$$

oziroma:

$$dq_{i \rightarrow j} = J_i \frac{\cos\theta_i \cos\theta_j}{\pi R^2} dA_i dA_j \quad (8)$$

Celoten sevani toplotni tok, ki zapuša površino A_i in vpada na površino A_j , dobimo z integriranjem po obeh površinah:

$$q_{i \rightarrow j} = J_i \iint_{A_i A_j} \frac{\cos\theta_i \cos\theta_j}{\pi R^2} dA_i dA_j \quad (9)$$

Za gostoto toplotnega toka J_i , ki zapuša ploskev A_i , je privzeto, da je ta po celotni površini A_i enak in predstavlja vsoto odbitega in direktno izsevanega dela toplotnega toka s površine A_i . Ker po definiciji prostorski vidni koeficient F_{ij} pre-

dstavlja razmerje med oddanim toplotnim tokom s površine A_i in toplotnim tokom, ki vpada na površino A_j , lahko zapišemo izraz:

$$F_{ij} = \frac{q_{i \rightarrow j}}{A_i J_i} \quad (10)$$

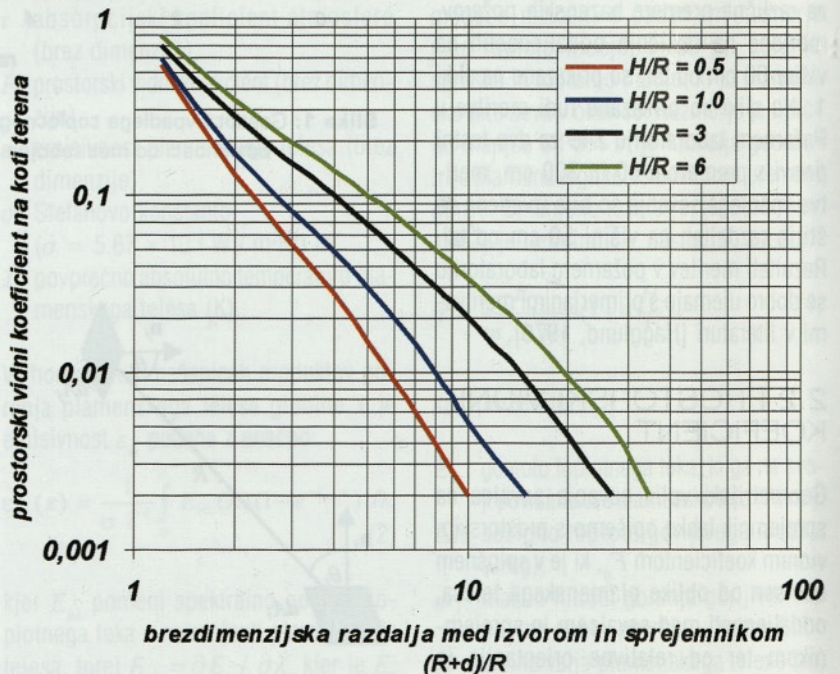
kjer je $q_{i \rightarrow j}$ toplotni tok, ki vpada na ploskev A_j in izvira s ploskve A_i in je J_i gostota toplotnega toka, ki zapuša ploskev A_i . Enačbo (9) z upoštevanjem enačbe (10) napišemo v naslednji obliki:

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \iint_{A_i A_j} \frac{\cos\theta_i \cos\theta_j}{\pi R^2} dA_i dA_j \quad (11)$$

Integral v enačbi (11) je lahko kljub enostavnim geometrijskim karakteristikam sevalca in sprejemnika analitično nerešljiv, zato integralni izraz prevedemo na vsoto in ga rešujemo v naslednji obliki:

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \sum_{A_i} \sum_{A_j} \frac{\cos\theta_i \cos\theta_j}{\pi R^2} \Delta A_i \Delta A_j \quad (12)$$

Na sliki 3 so prikazani največji možni prostorski vidni koeficienti (izmed vseh možnih orientacij sprejemnika) navpičnih valjev plamenskega telesa s različnimi razmerji višina-polmer (H/R) v odvisnosti od brezdimenzijske oddaljenosti spre-



Slika 3: Največji možni prostorski vidni koeficient med plamenskim valjem in sprejemnikom na tleh

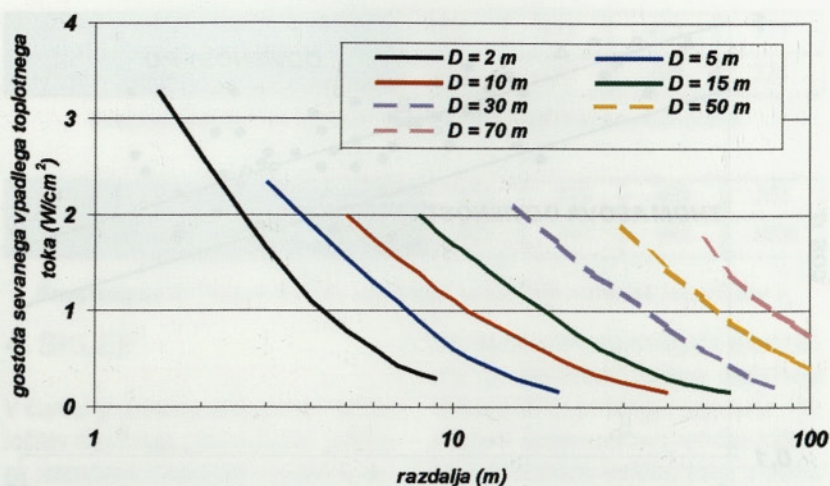
jemnika $(R+d)/R$, kjer je R polmer bazena in d oddaljenost sprejemnika od roba bazena.

V bližini rezervoarja s požarom je prostorski vidni koeficient precej manj občutljiv za razmerje med višino plamenov in premerom bazena kot pri večji oddaljenosti. Razlog je predvsem to, da pri majhni oddaljenosti opazovalec že vidi veliko večino obsega površine plamenov in naraščanje višine plamenov bistveno ne povečuje vidnega faktorja. Pri večjih oddaljenostih od gorečega rezervoarja je vidni faktor bistveno bolj občutljiv za razmerje med višino plamenskega telesa in premerom bazena.

2.3 VPADLI TOPLOTNI TOK

Model trdega plamena omogoča določanje polja sevanja v okolici bazenskega požara. Glede na naravo problema je natančnost rezultatov omejena, vendar predstavlja zanesljivo pot za ocenitev gostote vpadlega toplotnega toka na izpostavljeni površini, kar potrjuje primerjava izračunanih in eksperimentalno izmerjenih rezultatov. Na sliki 4 prikazani diagram je povzet iz eksperimentalnih rezultatov za krivulje, ki opisujejo gostoto vpadlega toplotnega sevanja bazenskih požarov s premeri 2, 5, 10 in 15 m. Prvi privzete pri uporabi modela za premerje ponev 30, 50 in 70 m (črtkane krivulje) je korektnost ekstrapolacije rezultatov. Drugi privzete je, da plamensko telo seva kot površinski sevalec z znano gostoto sevanega toplotnega toka, pri čemer je zanemarljivo sevanje produktov gorenja v obliki oblaka delno zgorelih gostih saj. Tretji privzete modela je, da je zanemarljiva atmosferska absorpcija. V literaturi, npr. [Mudan, 1984], so opisane bolj ali manj natančne metode za ocenitev napake, ki nastane zaradi drugega in tretjega privzetka.

Na sliki 4 prikazani diagram je skonstruiran na podlagi enačbe (1), na podlagi pripadajočih eksperimentalnih rezultatov,



Slika 4: Gostota sevanega vpadlega toplotnega toka v odvisnosti od bazenskega premera in oddaljenosti sevalca in sprejemnika

ki opisujejo gostoto sevanega toplotnega toka na površini plamenskega telesa (dodatek, slika A2) in na podlagi izračunanih rezultatov, ki opisujejo spreminjanje prostorskega vidnega koeficienta za različne geometrijske parametre (premer, višina) plamenskega telesa v odvisnosti od medsebojne razdalje sevalca in sprejemnika (slika 3), pri čemer je zanemarljiva atmosferska absorpcija. Primerjava iz diagrama (slika 4) odčitanih vrednosti in eksperimentalno izmerjenih vrednosti gostote vpadlega toplotnega toka (slika 1) kaže na relativno zanesljivost uporabe opisanega modela trdega plamena. Krivulje na sliki 4, ki opisujejo gostoto vpadlega toplotnega toka, ki ga seva bazenski požar, upoštevajo prostorski vidni koeficient za primer opazovalca na koti terena. Na diagramu odčitana vrednost za izbrani premer bazenskega požara in oddaljenost sprejemnika omogoča na podlagi poznavanja snovnih lastnosti sprejemnika in robnih pogojev na sprejemniku računanje temperaturne porazdelitve po sprejemniku (izpostavljenemu objektu).

2.4 VPLIV VETRA NA NAGNjenost PLAMENSKEGA TELESA

V literaturi so znane tri funkcijske odvisnosti, ki definirajo kot α med osjo pla-

menškega telesa in vertikalo glede na podlago. Prva [Welker, 1967] je izvedena iz skupine manjših požarnih testov (ponve premera med 0.3 in 0.6 m):

$$\frac{\tan \alpha}{\cos \alpha} = 3.3 \left(\frac{Du_w}{v} \right)^{0.07} \left(\frac{u_w^2}{gD} \right)^{0.8} \left(\frac{\rho_{vg}}{\rho_a} \right)^{-0.6} \quad (13)$$

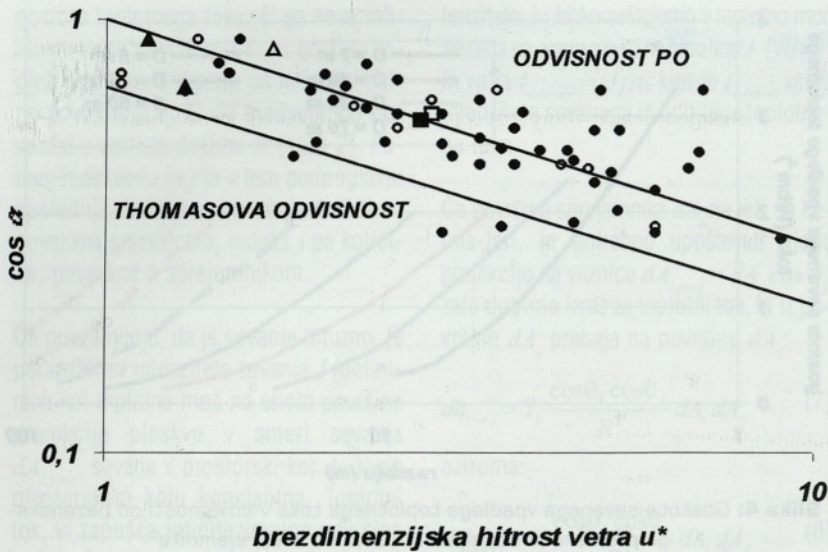
kjer pomenijo:

- u_w hitrost vetra (m/s),
- v kinematično viskoznost zraka (m^2/s),
- α kot med vertikalo in osjo plamenskega telesa,
- D premer bazenskega požara (m),
- ρ_a gostoto zraka (kg/m^3) in
- ρ_{vg} gostoto hlapov gorljivega medija pri temperaturi vrelišča (kg/m^3).

Po enačbi (13) izračunane vrednosti odstopajo od eksperimentalnih rezultatov velikih požarov. Funkcijska odvisnost nagnjenosti osi plamenskega telesa od vertikale, ki temelji na seriji testov požarov lesenih skladovnic [Thomas, 1963], je naslednja:

$$\cos \alpha = 0.7 \left[\frac{u_w}{(g m_A D / \rho_a)^{1/3}} \right]^{-0.49} \quad (14)$$

kjer m_A (kg/sm^2) predstavlja masno hitrost gorenja gorljivega medija in g gravitacijski pospešek ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$). AGA [(American Gas Association), 1974] pre-



Slika 5: Odvisnost med brezdimenzijsko hitrostjo vetra in nagnjenostjo plamenov

Primer	Dejanska hitrost vetra (m/s)	Modelna hitrost vetra (m/s)	Brezdimenzijska hitrost vetra	Naklon plamenskega telesa α (°)
1.	0	0	0	~ 0
2.	3	1.11	1.41	~ 30
3.	5	1.84	2.32	~ 45
4.	30	11.05	13.9	~ 75

Preglednica 2: Nagnjenost plamenskega telesa v odvisnosti od hitrosti vetra

dlaga na podlagi eksperimentalnih rezultatov naslednjo odvisnost nagnjenosti plamenskega telesa v odvisnosti od hitrosti vetra:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= 1 & \text{za } u^* &\leq 1 \\ \cos \alpha &= 1/\sqrt{u^*} & \text{za } u^* &\geq 1 \end{aligned} \quad (15)$$

kjer u^* predstavlja brezdimenzijsko hitrost vetra podano z naslednjo enačbo:

$$u^* = u_w / \left(\frac{g m D}{\rho_{vg}} \right)^{1/3} \quad (16)$$

Na sliki 5 so prikazani eksperimentalni rezultati nagnjenosti plamenskega telesa in izračunanimi koti po enačbah (14) in (15), povzeti po literaturi [Mudan K.S., 1984]. Odvisnost po AGA je bila dobljena v študiji gorenja utekočinjenega naftnega plina, Thomasova odvisnost pa temelji na eksperimentih gorenja lesene skladovnice. Za opis nagnjenosti plamenskega telesa pri gorenju tekočih ogljikovodikov je model AGA primernejši.

V Požarnem laboratoriju ZAG smo izvedli štiri teste bazenskih požarov z meritvami nagnjenosti plamenskega telesa v smeri vetra v odvisnosti od hitrosti vetra, pri čemer je bil merjen odklon osi plamenskega telesa od vertikalne osi.

Modelna hitrost vetra je bila izračunana iz enačbe (16) ob predpostavki, da se plamensko telo bazenskega požara s premerom 300 cm obnaša enako kot plamenska telesa realnih požarov [Hottel, 1959].

3. RAČUNSKI PRIMER

Na podlagi eksperimentalno izmerjenih naklonskih kotov nagnjenosti plamenskega telesa bazenskega požara (preglednica 2) smo izvedli računalniško simulacijo toplotnega vpliva gorečega rezervoarja na strešno aluminijasto kupolo sosednjega rezervoarja. Termična analiza je bila izdelana na podlagi znanih parcialnih diferen-

cialnih enačb prostorskega nestacionarnega nelinearnega prevajanja toplote in pripadajočih robnih in začetnih pogojev z uporabo metode končnih elementov. S pomočjo toplotnega modela smo računali vpliv plamenskega telesa, ki je v modelu predstavljen z valjem z znano temperaturo, geometrijo in emisivnostjo na izpostavljenemu aluminijasto kupolo z višino 9.95 m in premerom 59.66 m. Površina plamenskega telesa in strešne kupole izpostavljenega rezervoarja sta bili v modelu opisani s ploskovnimi elementi. Za izračun smo uporabili programski paket ABAQUS verzija 6.1 z vgrajenimi elementi za modeliranje, uporabili smo elemente ploskovnih struktur DS3 (trikotni elementi) za modeliranje kupole in DS4 (štirikotni elementi) za modeliranje plamenskega valja.

Razdalja med osjo plamenskega telesa na osnovni ravnini in osjo kupole je znašala 90 m. Definirali smo obliko in velikost plamenskega telesa H/D (višina/premer = 60 m/60 m), predpostavili emisivnost plamenskega telesa $\epsilon = 0.21$ in absorpcijo sevanja v atmosferi, opisano s transmisivnostjo $\tau = 0.7$, na razdalji gorečega rezervoarja in izpostavljene kupole 30 m. Modeliranje plamenskega telesa je bilo izvedeno s 361 štirikotnimi elementi s skupno 400 vozlišči, izpostavljene kupole pa s 702 trikotnimi elementi in 379 vozlišči. Površinska temperatura plamenskega telesa je bila predpisana s požarno krivuljo (prva faza: linearno naraščanje temperature od začetne vrednosti $T = 303$ K s hitrostjo 97 K/min v trajanju 10 minut, druga faza: ves čas konstantna temperatura 1273 K). Izbrana emisivnost plamenskega telesa je znašala $\epsilon = 0.21$, efektivna emisivnost, ki smo jo uporabili v modelu in ki upošteva povprečno transmisivnost atmosfere od sevalca do sprejemnika $t = 0.7$ pa je bila $\epsilon = 0.15$. Modelirali smo različne naklone plamenskega telesa pri različnih hitrostih vetra (preglednica 2). Prostorski vidni koeficienti, zajeti v analizi, so bili določeni z uporabo funkcij, vgrajenih v programskem paketu.

V analizi smo upoštevali naslednje sno-

vne lastnosti kupole, izdelane iz aluminijeve zlitine (kvaliteta 3003, skupina Al-Mn) debeline 1.2 mm:

- gostota $\rho = 2700$ (kg/m³),
- toplotna prevodnost λ v odvisnosti od temperature (preglednica 3),
- specifična toplotna kapaciteta c_p v odvisnosti od temperature (preglednica 4):

Temperatura T (K)	273	373	473	573
Toplotna prevodnost λ (W/mK)	190	197	204	211

Preglednica 3: Temperaturna odvisnost toplotne prevodnosti λ

Temperatura T (K)	273	373	473	573
Specifična toplotna kapaciteta c_p (J/kgK)	903	944	985	1026

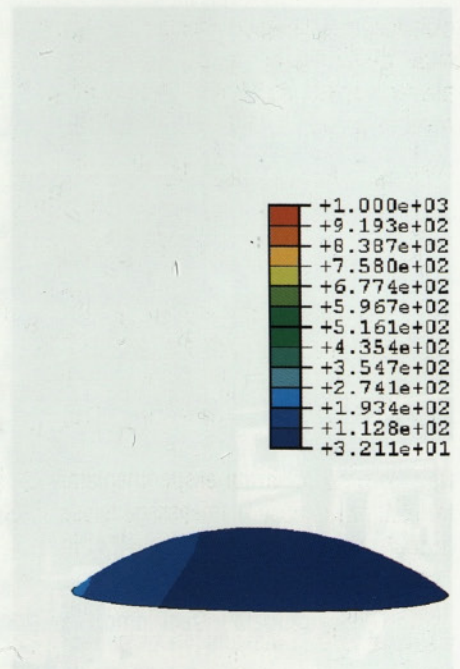
Preglednica 4: Temperaturna odvisnost specifične toplotne kapacitete c_p

V analizi je bila privzeta emisivnost aluminijeve zlitine $\varepsilon = 0.8$. Porazdelitev temperature po kupoli za posamezne hitrosti vetra in posledično nagnjena plamenska telesa smo računali za čas trajanja analize 1200 sekund, ko je bilo vzpostavljeno približno stacionarno stanje (hitrost spreminjanja temperature temenske točke kupole je padla pod 5 % najvišje vrednosti, ki smo jo izračunali med simulacijo in je bila dosežena v 575 sekundi) temperaturnega polja kupole (slike 6,7,8,9).

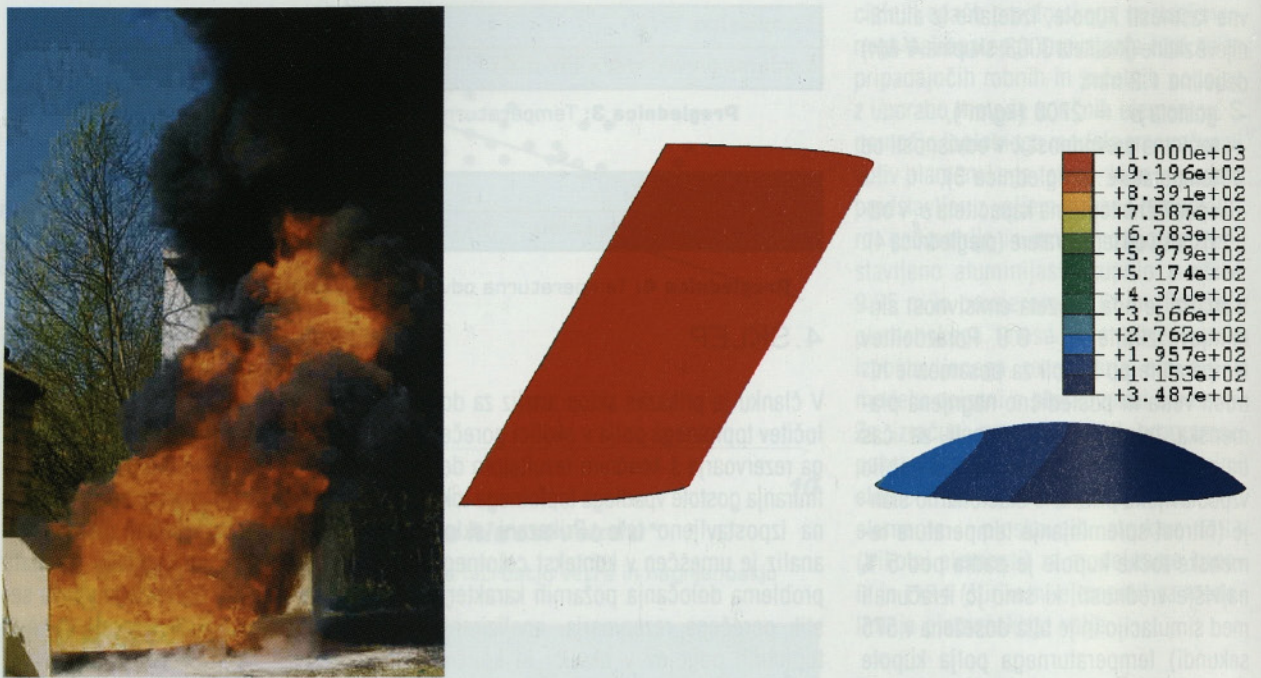
4. SKLEP

V članku je prikazan sklop analiz za določitev toplotnega polja v okolici gorečega rezervoarja s končnim rezultatom definiranja gostote vpadlega toplotnega toka na izpostavljeno telo. Prikazani sklop analiz je umeščen v kontekst celotnega problema določanja požarnih karakteristik gorečega rezervoarja, analiziranja toplotnih pogojev v okolici in končno analiziranja termomehanskega odziva izpostavljenih konstrukcij v okolici. Mo-

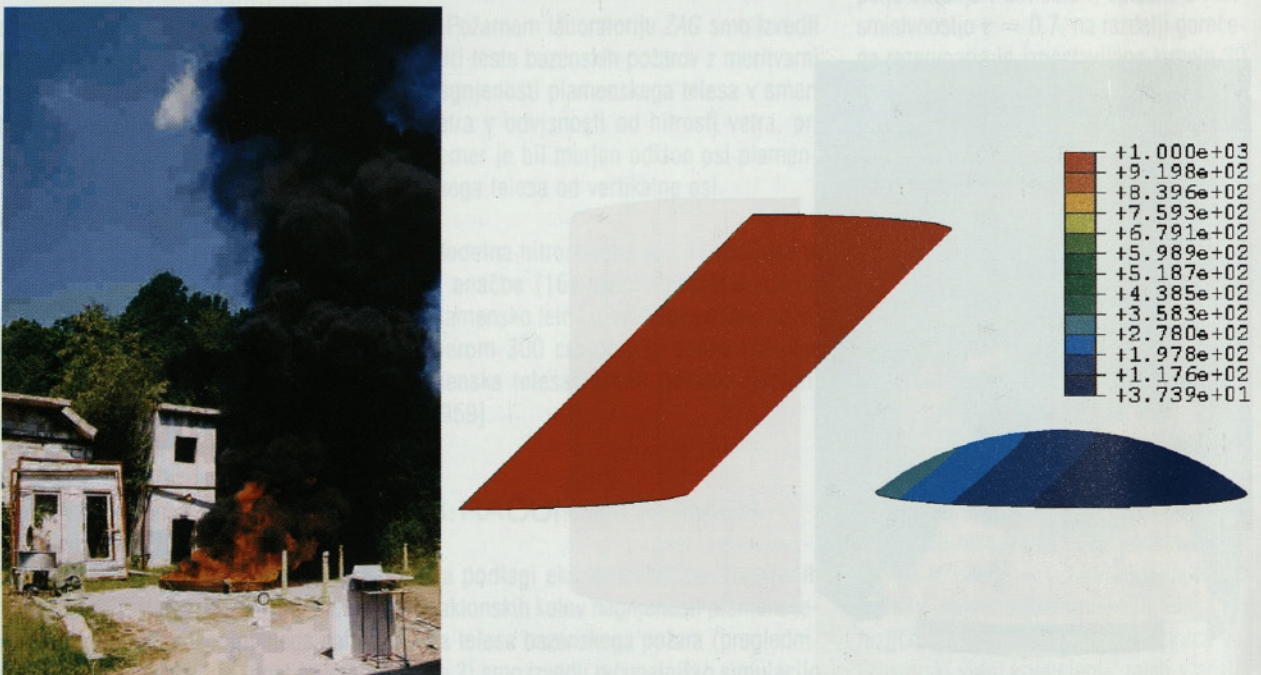
del trdega plamena omogoča kvantitativno in kvalitativno oceno toplotnega stanja v okolici gorečega rezervoarja. Primerjalni eksperimentalni rezultati kažejo, da je izračunano toplotno polje v okolici relativno dobro ocenjeno ob določenih omejitvah in predpostavkah modela, kar potrjujejo tudi eksperimentalni rezultati. Izračunani rezultati toplotnega vpliva sevalca na sprejemnik so pokazali, da je za pravilno oceno bistveno pravilno upoštevanje vpliva prostorskega vidnega koeficienta in, posredno, vpliva vetra.



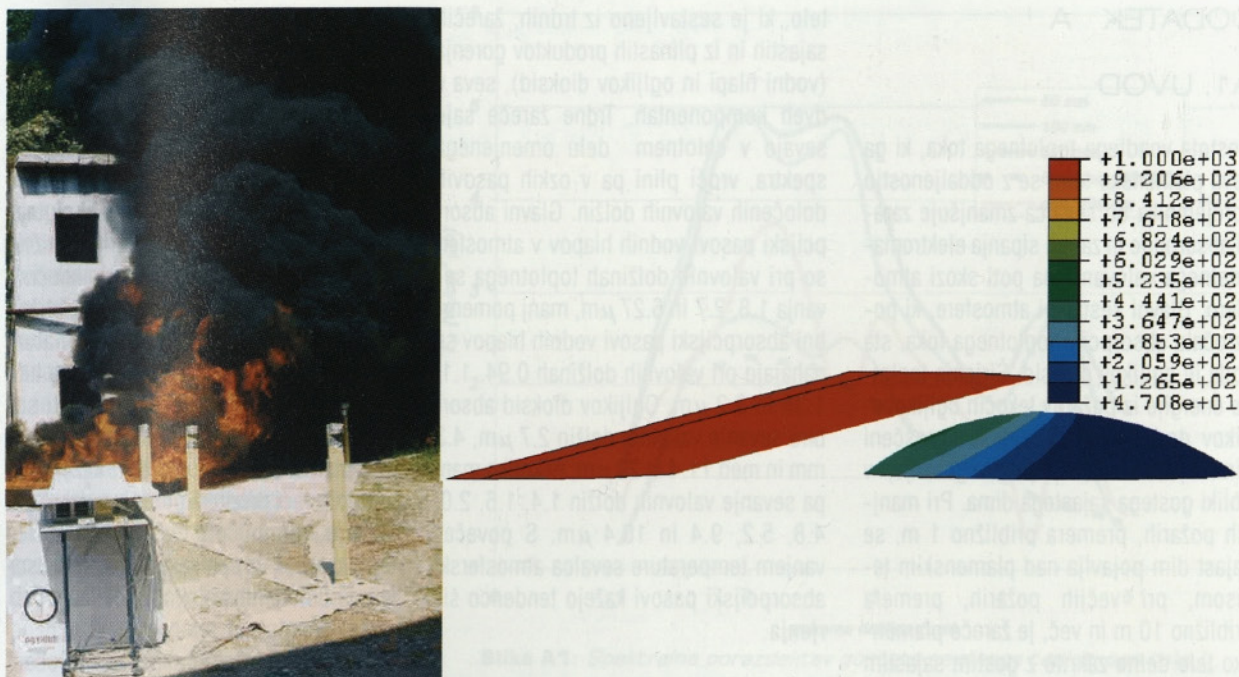
Slika 6: Oblika plamenskega telesa med požarnim testom in pripadajoča modelna simulacija pri hitrosti vetra $v = 0$ m/s¹, porazdelitev temperature (°C) po kupoli je izračunana po 20 minutah simulacije



Slika 7: Oblika plamenskega telesa med požarnim testom in pripadajoča modelna simulacija pri hitrosti vetra $v = 3 \text{ ms}^{-1}$, porazdelitev temperature ($^{\circ}\text{C}$) po kupoli je izračunana po 20 minutah simulacije



Slika 8: Oblika plamenskega telesa med požarnim testom in pripadajoča modelna simulacija pri hitrosti vetra $v = 5 \text{ ms}^{-1}$, porazdelitev temperature ($^{\circ}\text{C}$) po kupoli je izračunana po 20 minutah simulacije



Slika 9: Oblika plamenskega telesa med požarnim testom in pripadajoča modelna simulacija pri hitrosti vetra $v = 30 \text{ ms}^{-1}$, porazdelitev temperature ($^{\circ}\text{C}$) po kupoli je izračunana po 20 minutah simulacije

LITERATURA

- American Gas Association, LNG Safety Research Program, *Report IS 3-1* (1974),
- Felske J.D. and Tien C.L., Calculation of Emissivity of Luminous Flames, *Comb. Sci. Tech.*, 7, pp. 25-31 (1973),
- Hagglund B. and Persson L., The Heat Radiation from Petroleum Fires, *FOA Report*, Forsvarets Forskningsanalt, Stockholm (1976),
- Hottel H.C., Certain Laws Governing Diffusive Burning of Liquids, *F. Res. Abs. And Rev.*, 1, p. 41 (1959),
- Hottel H.C. and Sarofim A.F., Radiative Transfer, *McGraw-Hill*, New York (1967),
- Markstein G.H., Radiative Energy Transfer from Turbulent Diffusion Flames, *Comb. And Flame*, 27, pp. 51-63 (1976),
- Modak A., Radiation from Products of Combustion, *Tech. Report #040E6, BU-1*, Factory Mutual Research Corp., Norwood, MA (1978),
- Moorhouse J. and Pritchard M., Thermal Radiation Hazards from Large Pool Fires and Fireballs-A Literature Review, *J. Chem. Sym.*, 71, pp. 123-125, (1982),
- Mudan K.S., Thermal Radiation Hazards from Hydrocarbon Pool Fires, *Prog. Energy Comb. Sci.*, 10, pp. 59-80 (1984),
- Thomas P.H., The Size of Flames from Natural Fires, *9th Int. Combustion Symposium*, Comb. Inst., Pittsburgh, PA, pp. 844-859 (1963),
- Welker J.R. and Slipecevic C.M., Wind Interaction Effects on Free Burning Fires, *Tech. Report #1441-3* to Office of Civil Defence of U.S. Bureau of Standards (1967),
- Yuen W.W. and Tien C.L., Simple Calculation Scheme for the Luminous Flame Emissivity, *17th Int. Symp. Comb.*, Comb. Inst. Pittsburgh, PA, p. 1481, University of Leeds, England (1976)

DODATEK A

A1. UVOD

Gostota vpadlega toplotnega toka, ki ga seva plamensko telo, se z oddaljenostjo sprejemnika od sevalca zmanjšuje zaradi absorpcije in zaradi sipanja elektromagnetnega valovanja na poti skozi atmosfero. Glavni sestavini atmosfere, ki povzročata absorpcijo toplotnega toka, sta voda in ogljikov dioksid. Širjenje toplotne energije iz požarov tekočih ogljikovodikov dodatno omejujejo še sproščeni dimni produkti (nepopolno gorenje) v obliki gostega sajastega dima. Pri manjših požarih, premera približno 1 m, se sajast dim pojavlja nad plamenskimi telesom, pri večjih požarih, premera približno 10 m in več, je žareče plamensko telo delno zakrito z gostim sajastim dimom. Količine sajastega dima v splošnem ne moremo definirati in se v literaturi pogosto zanemarja. Gostota vpadlega toplotnega toka na sprejemnik je odvisna od prostorskega vidnega koeficienta (prostorskega kota med sprejemnikom in plamenskimi telesom), ki je definiran z medsebojno geometrijsko odvisnostjo plamenskega telesa in izpostavljenega telesa. Za plamensko telo bazenskih požarov je privzeto v splošnem telo cilindrične oblike. Premer cilindra je definiran s premerom bazena, višina cilindra pa z višino žareče plamenske ovojnice. Energijski tok nastaja v celotnem plamenskem telesu in se širi skozenj zaradi transparentnosti plamenskega telesa. Nivo transparentnosti plamenskega telesa lahko predstavimo z efektivno emisivnostjo, ki predstavlja razmerje med v plamenskem telesu nastalim sevanjem in sevanjem, ki zapušča plamensko telo.

Nivo transparentnosti in posledično emisivnost plamenskega telesa sta v splošnem odvisna od globine plamenskega telesa. Bistveni del spektra elektromagnetnih valov, ki jih sevajo nizkotemperaturna plamenska telesa - sem sodijo plamenska telesa požarov ogljikovodikov - se nahaja v infrardečem področju z valovno dolžino med 1 in 6 μm . Plamensko

telo, ki je sestavljeno iz trdnih, žarečih sajastih in iz plinastih produktov gorenja (vodni hlapi in ogljikov dioksid), seva v dveh komponentah. Trdne žareče saje sevajo v celotnem delu omenjenega spektra, vroči plini pa v ozkih pasovih določenih valovnih dolžin. Glavni absorpcijski pasovi vodnih hlapov v atmosferi so pri valovnih dolžinah toplotnega sevanja 1.8, 2.7 in 6.27 μm , manj pomembni absorpcijski pasovi vodnih hlapov se nahajajo pri valovnih dolžinah 0.94, 1.1, 1.38 in 3.2 μm . Ogljikov dioksid absorbira sevanje valovnih dolžin 2.7 μm , 4.3 mm in med 11.4 in 20 μm , nekoliko manj pa sevanje valovnih dolžin 1.4, 1.6, 2.0, 4.8, 5.2, 9.4 in 10.4 μm . S povečevanjem temperature sevalca atmosferski absorpcijski pasovi kažejo tendenco širjenja.

A2. SEVANI TOPLOTNI TOK NA POVRŠINI PLAMENSKEGA TELESA

Ko obravnavamo plamensko telo kot trdno telo, mu pripišemo emisivnost, ki povezuje temperaturo plamenskega telesa in gostoto sevanega toplotnega toka. Vrednost emisivnosti ni vnaprej določena, temveč je odvisna od dejanske gostote sevanega toplotnega toka, ta pa je odvisna od razmer v plamenskem telesu, predvsem od debeline plamena. V literaturi so znani modeli, kjer avtorji obravnavajo plamensko telo kot črno telo. Taka obravnava v model vpelje napake, ki precenijo gostoto sevanega toplotnega toka, kar je s stališča inženirske prakse dopustna poenostavitev. Eksperimentalni rezultati sevanega spektra toplotnega toka kažejo, da se spekter nahaja v območju med 1 in 6 μm in da je spektralna gostota sevanega toplotnega toka odvisna od globine plamena.

Analiza različnih globin plamenskega telesa (50, 100 in 150 cm) [Haglund, 1976] in pri tem merjena spektralna gostota sevanega toplotnega toka na površini plamenskega telesa kaže, da gostota sevanega toplotnega toka narašča z

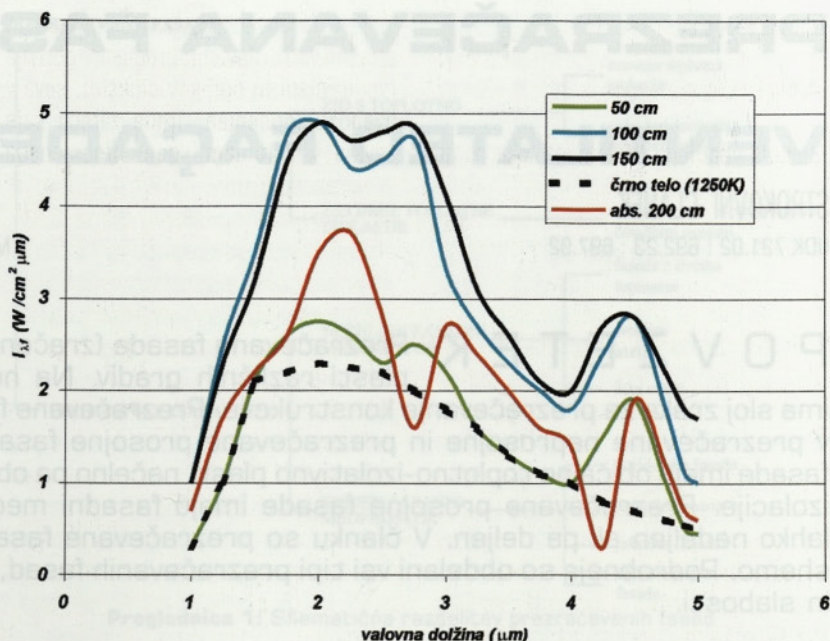
naraščanjem globine plamenskega telesa od 50 do 150 cm in doseže najvišjo vrednost pri globini plamenskega telesa med 150 in 200 cm. Analiza spektralne gostote sevanega spektra kaže, da je pri debelini plamenskega telesa 150 do 200 cm, dosežena gostota sevanega toplotnega približno 13 W/cm², kar praktično pomeni, da seva plamensko telo kot črno telo pri temperaturi površine približno 1250 K. Podobne vrednosti temperature so bile na takem plamenskem telesu tudi izmerjene. Eksperimentalni rezultati sevanega spektra toplotnega toka na površini plamenskega telesa tudi kažejo, da sevajo žareči produkti gorenja v celotnem spektru, dimni plini (vodna para in ogljikov dioksid) pa sevajo v ozkih pasovih na določenih valovnih dolžinah.

Analiza sevanega spektra na določeni oddaljenosti od površine plamenskega telesa tudi kaže na absorpcijske značilnosti medija, skozi katerega sevanje potuje. V zraku sta najpomembnejši sestavini, ki absorbirata sevanje v območju 1 do 6 μm vodna para in ogljikov dioksid. Na sliki 1A zelena krivulja predstavlja spektralno gostoto sevanega toplotnega toka na površini plamenskega telesa pri globini plamenskega telesa 50 cm. Črtna črna črta pod njo kaže sevanje žarečih produktov gorenja, ki sevajo kot črno telo. Lokalni maksimumi zelene črte pomenijo prispevek pasovnega sevanja molekul plinskih produktov v obliki vodne pare pri valovnih dolžinah 1.9 in 2.7 μm in ogljikovega dioksida pri valovnih dolžinah 2.7 in 4.3 μm . Podobno velja za globino plamenskega telesa 100 in 150 cm, z ustrezno višjo gostoto sevanja toplotnega toka. Pri povečevanju globine plamenskega telesa od 50 na 150 cm narašča gostota sevanega toplotnega toka od 5.6 do 9.8 W/cm². Pri večanju globine plamena začne gostota sevanega toplotnega toka padati. Vzrok za to je zmanjševanje volumenske moči plamena (količine toplote, ki se v časovnem intervalu sprosti v kontrolnem volumnu), kar je podrobneje razloženo v nadaljevanju. Na makroskopskem nivoju lahko navedene pojave opišemo z emisivnostjo pla-

menskega telesa, ki je v konkretnem primeru tesno povezana s transparentnostjo plamenskega telesa. Eksperimentalni rezultati gostote sevanega toplotnega toka [Hagglund, 1976] na sliki 2A kažejo, da ta narašča z večanjem debeline plamenskega telesa od 50 do 200 cm, kjer doseže maksimum, nato pa z večanjem debeline plamenskega telesa pada do debeline plamenskega telesa 10 m (premer bazena), od tod dalje je gostota sevanega toplotnega toka približno konstanta in znaša približno 6 W/cm^2 .

Krivulja rdeče barve na sliki 1A ponazarja spektralno gostoto vpadlega toplotnega toka (premer bazena 150 cm, spektralna gostota toplotnega toka merjena na oddaljenosti 200 cm). Lokalni minimumi so posledica absorpcije toplotnega toka v zraku. Ker sta tako v produktih gorenja kot tudi v zraku - s stališča prenosa toplote s sevanjem - glavni sestavini vodna para in ogljikov dioksid, se lokalni minimumi pojavijo pri istih valovnih dolžinah kot lokalni maksimumi in se zato medsebojno izničujejo. Ker pa koncentracija obeh komponent v plamenskem telesu ni enaka kot v zraku in ker je različna tudi temperatura, prispevkov ne moremo preprosto odšteti.

Površina pod krivuljo, ki označuje spektralno porazdelitev gostote toplotnega toka plamenskega telesa globine 150 cm znaša približno 13 W/cm^2 (slika 1A). Na sliki 2A je prikazana izmerjena gostota toplotnega toka na površini plamenskega telesa sevanega toplotnega toka v odvisnosti od premera kurišča. Na diagramu razberemo, da znaša gostota sevanega toplotnega toka na površini pri globini plamenskega telesa 150 do 200 cm (slika 2A) tudi $\approx 13 \text{ W/cm}^2$ in predstavlja maksimum odvisnosti gostote sevanega toplotnega toka na plamenski površini v odvisnosti od premera bazena. Hkrati je izmerjena temperatura plamenskega telesa 1250 K, kar pomeni, da plamensko telo globine 150 cm seva približno kot črno telo pri isti temperaturi. V literaturi [Mudan, 1984] je znan model prispevkov dveh sevalcev - produktov gorenja: v



Slika A1: Spektralna porazdelitev gostote sevanega toplotnega toka I_M različnih globin plamenskega telesa

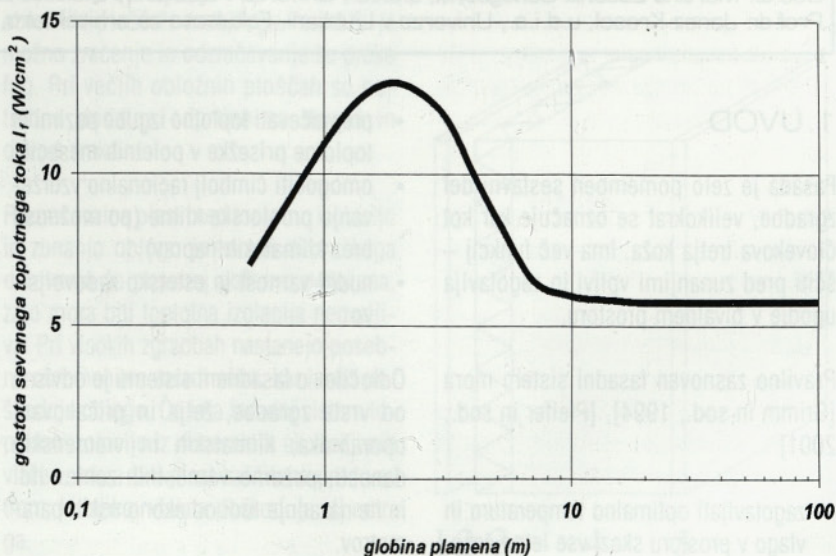
obliki dimnih plinov in v obliki žarečih saj. Različni avtorji [Modak, 1978], [Felske, 1973], [Yuen, 1976], [Hottel, 1967] so izpeljali formule za računanje posameznih prispevkov k emisivnosti plamenskega telesa, pri čemer je emisivnost definirana z naslednjim splošnim izrazom:

$$\varepsilon = \varepsilon_s + \varepsilon_w + \varepsilon_c + \Delta\varepsilon_{c,w} \quad (A1)$$

kjer pomenijo:

- ε_s emisivnost saj, povprečeno po celotnem spektru,
- $\varepsilon_c, \varepsilon_w$ skupna pasovna emisivnost CO_2 oziroma H_2O in
- $\Delta\varepsilon_{c,w}$ korekcijski faktor prekrivanja pasov $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$.

Tak račun je relativno zapleten, temelji na vrsti predpostavk, rezultati pa kljub temu niso zanesljivi.



Slika A2: Gostota sevanega toplotnega toka I_r na površini plamenskega telesa različnih globin plamenskega telesa

PREZRAČEVANA FASADA

VENTILATED FAÇADE

STROKOVNI ČLANEK

UDK 721.02 : 692.23 : 697.92

MARTINA ZBAŠNIK - SENEGAČNIK, JANEZ KRESAL

P O V Z E T E K Prezračevana fasada (zračena fasada) je sestavljena iz več plasti različnih gradiv. Na notranji strani zunanje obloge ima sloj zraka za prezračevanje konstrukcije. Prezračevane fasade sistematično razdelimo v prezračevane neprosojne in prezračevane prosojne fasade. Prezračevane neprosojne fasade imajo običajno toplotno-izolativno plast, načelno pa obstajajo tudi take brez toplotne izolacije. Prezračevane prosojne fasade imajo fasadni medprostor večjih dimenzij, ki je lahko nedeljen ali pa deljen. V članku so prezračevane fasade sistemizirane v pregledno shemo. Podrobneje so obdelani vsi tipi prezračevanih fasad, njihove značilnosti, prednosti in slabosti.

S U M M A R Y Ventilated façade (aired façade) consists of several layers of various building materials. There is an air layer for construction airing on the inner side of the external wainscot. Ventilated façades are systematically divided into ventilated non-transparent and ventilated transparent façades. Ventilated non-transparent façades usually have a thermal-insulation layer, but as a principle they exist also without thermal insulation. Ventilated transparent façades have a façade space of large dimensions that might be undivided or divided. In the research project façades are systemised in tables. All types of ventilated façades, their characteristics, advantages and weaknesses are described in detail.

Avtorja:

Doc.dr. Martina Zbašnik-Senegačnik, u.d.i.a., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Zoisova 12, Ljubljana.
Prof.dr. Janez Kresal, u.d.i.a., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Zoisova 12, Ljubljana.

1. UVOD

Fasada je zelo pomemben sestavni del zgradbe, velikokrat se označuje kar kot človekova tretja koža. Ima več funkcij – ščiti pred zunanjimi vplivi in zagotavlja ugodje v bivalnem prostoru.

Pravilno zasnovan fasadni sistem mora [Grimm in sod., 1994], [Pfeifer in sod., 2001]:

- zagotavljati optimalno temperaturo in vlago v prostoru skozi vse letne čase,
- nuditi uporabnikom primerno kakovost zraka,

- preprečevati toplotne izgube pozimi in toplotne prisežke v poletnih mesecih,
- omogočiti čimbolj racionalno vzdrževanje prostorske klime (po možnosti brez klimatskih naprav),
- nuditi varnost in estetsko zadovoljstvo.

Odločitev o fasadnem sistemu je odvisna od vrste zgradbe, želja in pričakovanj uporabnika, klimatskih in vremenskih danosti, požarno-varnostnih zahtev itd. in ne nazadnje tudi od ekonomskih parametrov.

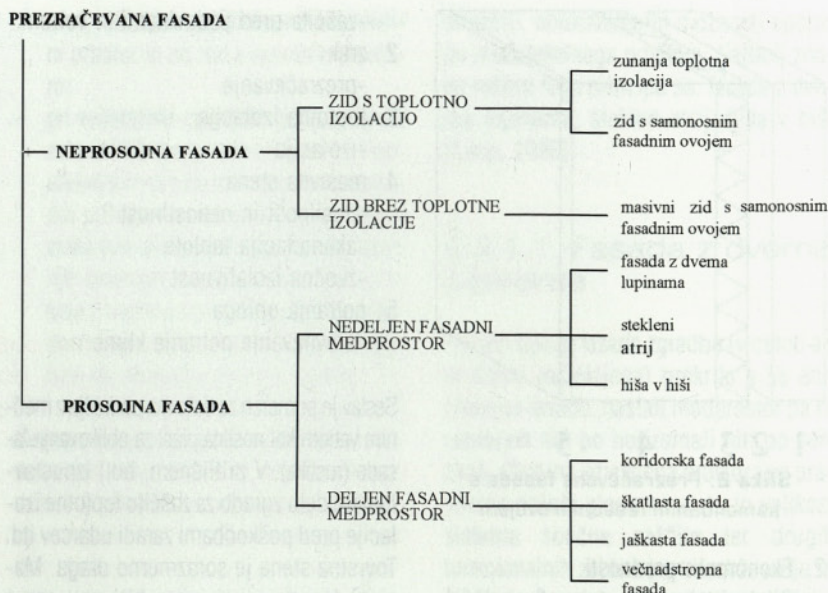
Fasade je glede na njihovo sestavo v prvi

vrsti mogoče deliti na prezračevane in neprezračevane [Zbašnik-Senegačnik in sod., 2001]. Po analogiji s hladno in toplo streho je možno tudi označevanje hladna (prezračevana, zračena) in topla (neprezračevana, nezračena) fasada.

Prezračevana fasada ima na notranji strani zunanje obloge sloj zraka za prezračevanje konstrukcije in se po tem razlikuje od neprezračevanih fasad, kjer so sloji posameznih gradiv tesno skupaj. Prezračevane fasade so posebej primerne v ekstremnih pogojih – ob močnem vetru, dežju, mrazu itd. Plast zraka preprečuje pregrevanje toplotne izolacije,

poleg tega pa omogoča morebitni vlagi v toplotni izolaciji, do katere pride zaradi kondenzacije vodne pare ali zaradi zunanjih vplivov, da čimprej odteče ali izhlapi iz konstrukcije. Da prezračevalni sloj služi svojemu namenu, mora zrak krožiti, kar pa je mogoče le, če ima sistem vgrajene dovodne in odvodne odprtine. Zaradi termike se zrak dviguje in izhaja v zgornjem predelu fasade, skozi dovodne odprtine v spodnjem delu fasade pa prihaja hladen zunanji zrak.

Poznamo več različnih tipov prezračevalnih fasad; glede na izbrana gradiva jih razdelimo v dve skupini – prezračevana neprosojna in prezračevana prosojna fasada (preglednica 1).



Preglednica 1: Shematična razdelitev prezračevalnih fasad

2.1. PREZRAČEVANA NEPROSOJNA FASADA S TOPLOTNO IZOLACIJO

Pri prezračevalnih neprosojnih fasadah je prezračevalna plast nameščena med zunanjo fasadno oblogo in toplotno izolacijo. Toplotna izolacija tako ni izpostavljena direktnemu sončnemu sevanju, kar podaljša njeno življenjsko dobo. Prednost tega sistema je tudi v tem, da se toplotna izolacija lažje posuši, če slučajno pride do zamakanja.

Glede na položaj toplotne izolacije ločimo dva sistema zunanje zidu – prezračevana fasada z zunanjo in vmesno toplotno izolacijo [Pfeifer in sod., 2001].

2.1.1. Prezračevana fasada z zunanjo toplotno izolacijo

Pri tem tipu fasade je nosilni zid toplotno izoliran na zunanji strani.

Sestava od zunaj navznoter (slika 1):

- 1 fasadni ovoj
 - zaščita pred padavinami in vetrom
- 2 zrak
 - prezračevanje
- 3 toplotna izolacija

- izolacija
- 4 masivna stena
 - nosilnost ali nenosilnost
 - akumulacija toplote
- 5 notranja obloga
 - uravnavanje notranje klime

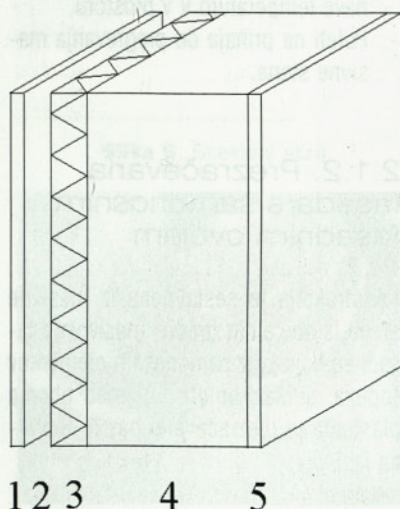
Za zunanjo oblogo se uporabijo številna gradiva, kot npr. obložne plošče iz umetnih snovi, kovin, stekla, lesa. Lahko so za paro neprepustna, ker vodno paro, ki prodira od znotraj, prepreči v prezračevalnem sloju in jo odvede ven. Pri obložnih ploščah manjšega formata je možno zračenje in odzračevanje že preko fug. Pri večjih obložnih ploščah so potrebne dodatne odprtine za dovod in odvod zraka.

Prezračevalna plast med toplotno izolacijo in zunanjo oblogo je zaradi dimniškega delovanja še posebej požarno ogrožena, zato mora biti toplotna izolacija negorljiva. Pri visokih zgradbah nastanejo posebne obremenitve zaradi vetra, kar lahko poškoduje oblogo. Če ima fasadni sistem toplotno izolacijo iz mineralnih ali steklenih vlaken, mora biti plast zaščitena pred vetrom, ki lahko vlakna poškoduje ali odtrga.

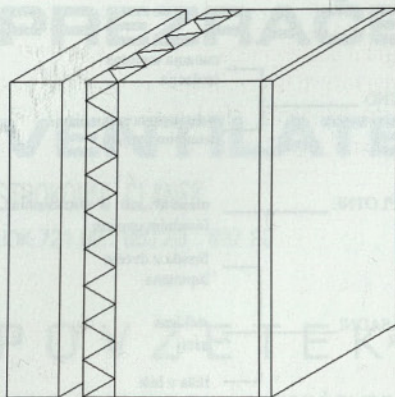
Zunanje stene z zunanjo toplotno izolacijo

in prezračevano oblogo so gradbeno fizikalno neoporečne in imajo številne prednosti pred drugimi fasadnimi sistemi.

1. Neoporečni gradbeno-fizikalni sestav:
 - Zaradi zunanje toplotne izolacije ni toplotnih mostov.
 - Poškodbe zaradi zmrzovanja se zmanjšajo, ker v masivni steni in na njej ne nastaja rosa ter meja zmrzovanja vedno leži v toplotni izolaciji.
 - Prašne fuge in barvne spremembe niso vidne na notranji strani stene.



Slika 1: Prezračevana fasada z zunanjo toplotno izolacijo



1 2 3 4 5

Slika 2: Prezračevana fasada s samonosnim fasadnim ovojem

2. Ekonomske prednosti:

- Dilatacija se lahko namesti v zelo velikih razmakih, ker ni velikih temperaturnih raztezkov nosilne konstrukcije. Dilatacije za posamezne gradbene dele lahko v celoti odpadejo.
 - Pri ogrevanju z radiatorji parapet učinkuje kot lončena peč - shrani sevalno toploto in jo po končanem ogrevanju oddaja v prostor.
- ## 3. Prijetna prostorska klima:
- Na masivni steni in v njej ne prihaja do pojava kondenzacije – rosenja stene (do česar sicer pogosto prihaja, še posebej pri povišani vlagi).
 - Masivna stena z zunanjo toplotno izolacijo pozimi akumulira toploto in uravnava temperaturo v v prostoru.
 - Poleti ne prihaja do pregrevanja masivne stene.

2.1.2. Prezračevana fasada s samonosnim fasadnim ovojem

Konstrukcija je sestavljena iz masivne stene iz običajnih gradiv, masivnega fasadnega ovoja iz samonosnih elementov (opeka, silikat, beton,...), med obema plastema je prezračevalni pas in toplotna izolacija.

Sestava od zunaj navznoter (slika 2):

- 1 masivni fasadni ovoj

- zaščita pred padavinami in vetrom
- 2 zrak
- prezračevanje
- 3 toplotna izolacija
- izolacija
- 4 masivna stena
- nosilnost in nenosilnost
- akumulacija toplote
- zvočna izolativnost
- 5 notranja obloga
- uravnavanje notranje klime

Sestav je primeren za deževna področja z močnim vetrom kot nosilna plast za oblikovanje fasade (rustika). V pritličnem, bolj izpostavljenem delu zgradb za zaščito toplotne izolacije pred poškodbami zaradi udarcev itd. Tovrstna stena je sorazmerno draga. Masivni fasadni ovoj mora biti povezan z notranjo masivno steno z nerjavnimi sidri. Za plast zraka so potrebne dovodne in odvodne odprtine in ukrepi za odvodnjavanje iz prezračevalnega sloja.

Prednosti fasade z masivnim fasadnim ovojem:

- gradbeno-fizikalno zelo ugodna sestava konstrukcije,
- ugodna bivalna klima vse leto,
- dobra akumulativnost.

2.2. PREZRAČEVANA NEPROSOJNA FASADA BREZ TOPLOTNE IZOLACIJE

Ta fasada je sestavljena iz dveh zidov, med katerima je prezračevalni sloj. Toplotna izolativnost stene se v primerjavi z enoslojnim masivnim zidom zaradi dodatne obloge na zunanji strani ne spremeni, izboljšajo pa se nekatere gradbeno-fizikalne lastnosti stene [Grimm in sod., 1994].

2.2.1. Masivni zid s samonosnim fasadnim ovojem

Fasadna stena je sestavljena iz nosilnega zidu in samonosnega fasadnega ovoja,

med njima je plast zraka.

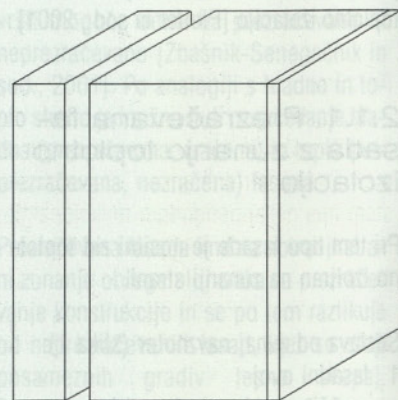
Sestava od zunaj navznoter (slika 3):

- 1 masivni fasadni ovoj
- zaščita pred padavinami in vetrom
- 2 zrak
- prezračevanje
- 3 masivna stena
- nosilnost ali nenosilnost
- akumulacija toplote
- zvočna izolativnost
- 4 notranja obloga
- uravnavanje notranje klime

Masivni fasadni ovoj (samonosna stena) je dobra zaščita pred vetrom, prezračevalni sloj pa preprečuje poletno pregrevanje stene. Fasadni sistem je zato primeren na področjih z veliko sonca in vetra.

2.3. PREZRAČEVANA PROSOJNA FASADA

Prezračevana prosojna fasada [Behling in sod., 1999], [Oesterle in sod., 1999] je sestavljena iz zunanje steklene fasade, medstekelnega prostora in notranje (steklene) fasade. Zunanja fasada predstavlja zaščito pred neugodnim vremenom, nudi delno zvočno zaščito pred zunanjim hrupom ter preko odprtih za zrak omogoča prezračevanje medstekelnega prostora in za njim ležečih prostorov. Do prezračevanja medstekelnega prostora prihaja



1 2 3 4

Slika 3: Masivni zid s samonosnim fasadnim ovojem

zaradi termičnega vzgona in delovanja vetra. Odprtine so lahko izvedene tako, da se prilagajajo razmeram v okolici in se zapirajo.

Zunanja fasada je danes večinoma zastekljena z varnostnim steklom (kaljeno in/ali lepljeno). V fasadnem vmesnem prostoru je običajno potrebna premična sončna zaščita, ki prostor ščiti pred obremenitvijo zaradi sončnega sevanja. Notranja fasada je praviloma iz dvoslojnega stekla v okvirju in zagotavlja zaščito pred toplotnimi izgubami pozimi. V večini primerov so na notranji fasadi pomična krila za naravno zračenje [Schittich in sod., 1998].

Prezračevane prosojne fasade so smiselne takrat, ko so zgradbe v okolju z visokimi obremenitvami zaradi vetra in zunanje hrupa. Poleg tega so primerne tudi pri sanacijah, če se obstoječe fasade ne sme ali ne more zamenjati. V tem primeru daje zunanja fasadna opna zaščito pred vremenskimi vplivi in dopušča sodobno oblikovanje.

Medstekelni prostor se lahko oblikuje kot neuporabno površino ali kot pohodni prostor za vzdrževanje obeh fasad in pomeni razširitev notranjega prostora. Medprostor je, ne glede na uporabnost, lahko nedeljen ali deljen [Lang, 1998], kar nudi različne funkcionalne posebnosti.

2.3.1. NEDELJEN MEDSTEKELNI PROSTOR

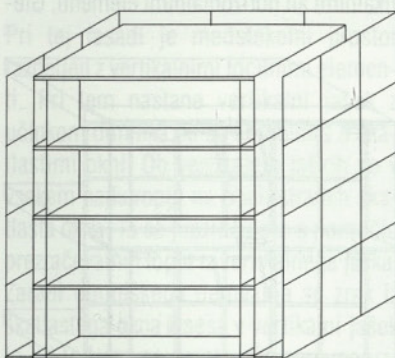
Pri temu sistemu dvoslojnih fasad zunanja zasteklitev prekriva več etaž, ne da bi bil medstekelni prostor razdeljen z etažnimi konstrukcijami. Ta fasadni sistem ima nekaj neugodnih funkcionalnih lastnosti s stališča zvočne zaščite, požarne varnosti in termičnih lastnosti [Compagno, 1999], [Oesterle in sod., 1999]:

- zvok se lahko neovirano razširi po medstekelnem prostoru, kar privede do zvočnih obremenitev prostorov, ki mejijo nanj;
- ogenj in dim se lahko podobno kot

zvok neovirano razširita v medstekelni prostor in od tod v notranje prostore;

- pri večetažnih zgradbah lahko pride do zelo velikih temperaturnih razlik v medstekelnem prostoru. V poletnih mesecih prihaja ob pomanjkljivem pretoku zraka tudi do večjih obremenitev zgornjih prostorov z vročim zrakom. To se rešuje z nadzorovanim dovodom in odvodom zraka skozi prezračevalne odprtine na podnožju in vrhu fasade.

Čeprav imajo fasadni sistemi z nedeljenim medstekelnim prostorom podobne lastnosti, se razlikujejo po kon-



Slika 4: Fasada z dvema (steklenima) lupinama



Slika 5: Fasada z dvema lupinama - IMP, Ljubljana, Dunajska cesta, [Schüco, Alukönigstahl]

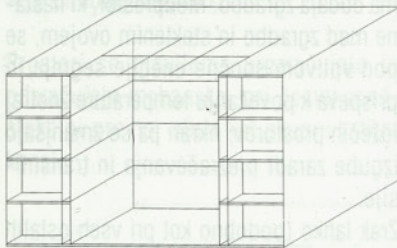
strukciji, oblikovanju in možnosti uporabe medstekelnega prostora. Najbolj znane rešitve tega principa so: fasada z dvema lupinama, steklen atrij, hiša v hiši [Lang, 1998].

2.3.1.1. Fasada z dvema lupinama

Pri tem tipu je fasada zgradbe (v celoti ali le delno zastekljena) prekrita s še eno stekleno fasado, nastali medprostor pa ni razdeljen niti po horizontali niti po vertikali. Globina vmesnega prostora se praviloma določi glede na vrsto in velikost sistema sončne zaščite ter drugih funkcionalnih zahtev (npr. vzdrževanje in čiščenje fasade). Normalno je razdalja med obema stenama med 50 in 70 cm (sliki 4 in 5).

2.3.1.2. Stekleni atrij

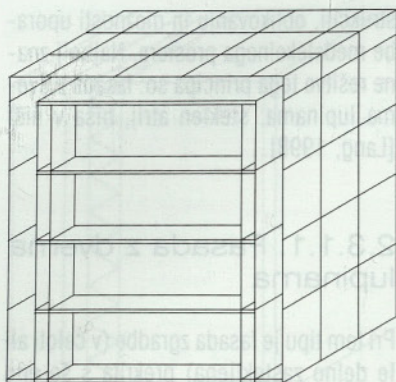
Ta fasadni sistem je običajno v jedru zgradbe. Če je ta prostor na vrhu zastekljen, nastane steklen atrij, ki lahko služi različnim namenom. Zaradi solarnih pribitkov in transmisijskih izgub zgradbe



Slika 6: Stekleni atrij



Slika 7: Bavarski dvor - stekleni atrij, 3D model, [Schüco, Alukönigstahl]



Slika 8: Hiša v hiši

je v tem prostoru vse leto povišana temperatura zraka v primerjavi z zunanjo temperaturo, kar po eni strani razširja možnost uporabe prostora (npr. zimski vrt – povečanje kisika in vlage v prostoru, zmanjšanje škodljivih snovi), po drugi strani pa zmanjšuje gradbeno-fizikalne zahteve na sosednjih fasadnih delih (manjše temperaturne razlike, manjše gibanje zraka na stičišču na notranji fasadi – manjše obremenitve za notranjo fasadno steno atrija) (sliki 6 in 7).

2.3.1.3. Hiša v hiši

Pri tem sistemu steklena opna popolnoma obdaja zgradbo. Medprostor, ki nastane med zgradbo in steklenim ovojem, se pod vplivom sončne energije segreje in prispeva k povečanju temperature znotraj ležečih prostorov, hkrati pa se zmanjšajo izgube zaradi prezračevanja in transmisije.

Zrak lahko (podobno kot pri vseh ostalih sistemih z nedeljenim medstekelnim prostorom) znotraj ovoja prosto kroži, s čimer zaradi internega pretoka zraka tudi manj osončena področja dosežejo višje temperature v primerjavi z zunanjim zrakom (sliki 8 in 9).

2.3.2. DELJEN MED-STEKELNI PROSTOR

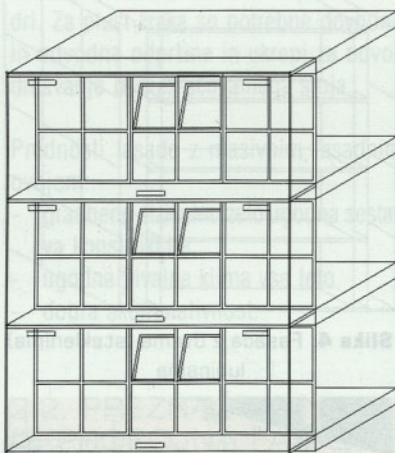
Z razdelitvijo fasadnega vmesnega prostora se izognemo predvsem funkcionalnim slabostim prej obravnavanih fasad,



Slika 9: Vhodni del Pediatrije, Ljubljana – hiša v hiši, 3D model, [Schüco, Alukönigstahl]

kot sta zvočna zaščita in požarna varnost. Medstekelni prostor je razdeljen z vertikalnimi ali horizontalnimi elementi. Gle-

de na ločilne elemente ločimo koridor-sko, jaškasto, škatlasto in večnadstropno fasado [Lang, 1998], [Oesterle in sod., 1999].



Slika 10: Koridorska fasada

2.3.2.1. Koridorska fasada

Medstekelni prostor je razdeljen s horizontalnimi etažnimi konstrukcijami. Pri tem nastane pohodni koridor, ki je v vsakem nadstropju ali pa povezuje več nadstropij (v tem primeru je potrebno paziti na pregrevanje, požarno varnost in zvočno zaščito).

Zrak se praviloma dovaja v spodnjem delu koridorskega prostora, odvaja pa na



Slika 11: Gospodarska zbornica – Ljubljana – koridorska fasada, [Schüco, Alukönigstahl]

vrhu. Pri namestitvi prezračevalnih odprtih je potrebno izključiti mešanje dovodnega in odvodnega zraka med dvema koridorjema. Dovodne in odvodne lopute morajo zato imeti zadosten vertikalni razmak.

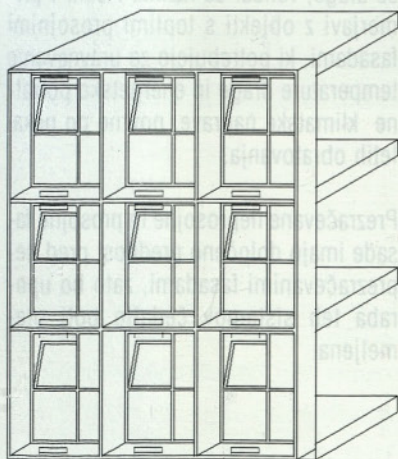
Koridorske fasade so zaradi vmesne členitve dražje, vendar se s tem odpravi vrsta gradbeno-fizikalnih problemov (boljša požarna varnost, manjši prenos zvoka, manjši vročinski zastoj v zgornjem delu fasade). S stališča tehnike prezračevanja je tovrstna fasada zelo uspešna, slabost pa je v prenosu zvoka med prostori v isti etaži (sliki 10 in 11).

2.3.2.2. Škatlasta fasada

Pri škatlastih fasadah je medstekelni prostor razdeljen po nadstropjih, hkrati pa ima tudi vertikalne členitve. Podobno kot tradicionalna škatlasta okna predstavlja tudi tu vsak fasadni člen samostojno celoto, ki nima zveze s sosednjim elementom. Vsaka taka fasadna enota ima svoje dovodne in odvodne odprtine.

Mešanje dovodnega in odvodnega zraka se preprečuje z diagonalno zamaknjenimi prezračevalnimi odprtinami.

Ta fasadna ima boljše požarno-varnostne



Slika 12: Škatlasta fasada

lastnosti in boljšo zvočno zaščito kot ostali fasadni sistemi. Pozicija vertikalnih in horizontalnih ločilnih elementov je praviloma določena z zadaj ležečim prostorom in njegovim uporabnikom. V nasprotju z jaškasto fasado pa je pretok zraka v fasadnem vmesnem prostoru zaradi majhnega termičnega vzgona zelo omejen, zato morajo biti prezračevalne odprtine zadosti velike, sicer pride do pregrevanja.

Škatlasta fasada je primerna pri zgradbah z velikimi odprtinami in takrat, ko se zahteva izredno dobra zvočna izolacija med prostori (sliki 12 in 13).

2.3.2.3. Jaškasta fasada

Pri tej fasadi je medstekelni prostor razdeljen z vertikalnimi ločilnimi elementi. Pri tem nastane vertikalni jašek z učinkom dimnika, ki se kombinira s škatlastimi okni. Ob vertikalnih jaških so v vsakem nadstropju na obeh straneh škatlasta okna. Ta se prezračujejo s pomočjo prezračevalnih loput iz vertikalnega jaška. Zaradi dimniškega delovanja se zrak iz škatlastega okna izsesa v vertikalni jašek in od tod gre na prosto. Če naravno vzgonsko delovanje ne zadošča, se zrak mehansko srka preko vertikalnega jaška.



Slika 13: Astra, Ljubljana – škatlasta fasada, [Schüco, Alukönigstahl]

Jaškaste fasade zahtevajo manj odprtih na fasadi, ker je prezračevanje močnejše zaradi velikega vzgona zraka v jašku. Zaradi tega ima fasada boljšo zvočno zaščito pred zunanjim hrupu. Višina dimnika je v praksi omejena (določeno je razmerje med svetlim presekom in višino dimnika), zato je ta način primeren predvsem za nižje zgradbe.

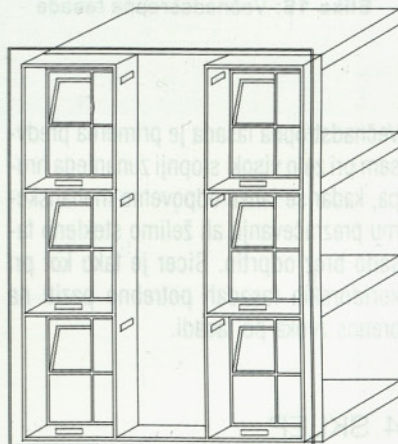
Vertikalna razdelitev se izvede glede na okenske ali prostorske osi. Jaškasta fasada je primerna pri zgradbah z majhnimi okenskimi odprtinami in pri zahtevi po visoki zvočni izoliranosti med prostori (sliki 14 in 15).

2.3.2.4. Večnadstropna fasada

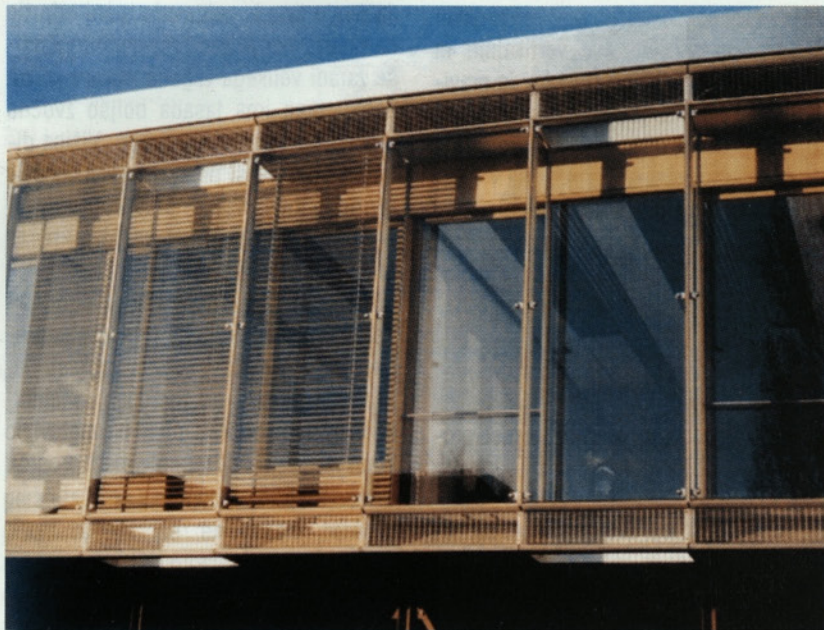
Medstekelni prostor je skupen za več prostorov, in sicer tako v horizontalni kot vertikalni smeri.

Za prezračevanje in odzračevanje medstekelnega prostora služijo zelo prepisne odprtine v bližini tal in strehe. Med kurilno sezono je medstekelni prostor spodaj in zgoraj zaprt, da se presežek sončne energije s pomočjo efekta zimskega vrta čimbolj izkoristi.

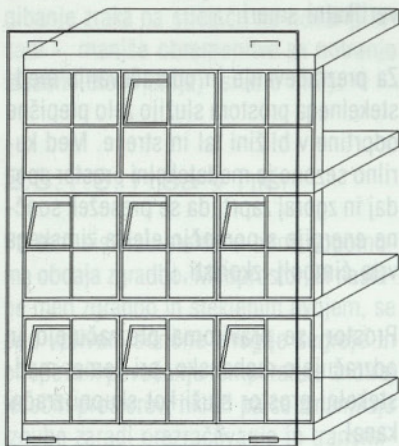
Prostori se praviloma prezračujejo in odzračujejo mehansko, pri čemer medstekelni prostor služi kot skupni zračni kanal.



Slika 14: Jaškasta fasada



Slika 15: Model jaškaste vzorčne fasade za nebotičnik, Düsseldorf, [Oesterle in sod., 1999]



Slika 16: Večnadstropna fasada

Večnadstropna fasada je primerna predvsem pri zelo visoki stopnji zunanega hrupa, kadar se lahko odpovemo mehanskemu prezračevanju ali želimo stekleno fasado brez odprtih. Sicer je tako kot pri koridorskih fasadah potrebno paziti na prenos zvoka po fasadi.

4. SKLEP

Prezračevane fasade se v zadnji deset-



Slika 17: Victoria Ensemble, Köln – večnadstropna fasada [Oesterle in sod., 1998]

letjih zelo hitro razvijajo. Prezračevalna plast, ki je nameščena za zunanjim fasadnim ovojem, daje tovrstnim fasadam nekaj prednosti pred sistemom neprezračevanih fasad, kjer posamezne plasti ležijo tesno skupaj.

Pri prezračevanih neprosojnih fasadah prezračevalna plast preprečuje pregrevanje toplotne izolacije in notranje stene, poleg tega pa omogoča izhlapevanje vode, ki morebiti kondenzira v kon-

strukciji. Prezračevane neprosojne fasade imajo toplotno izolacijo na zunanji strani masivne stene. Fasadna obloga je lahko v obliki obloge ali samonosne masivne fasadne stene. V prvem primeru se stena prezračuje sama med fugami obloge, v primeru masivne stene pa so potrebne posebne odprtine za zrak. Prezračevana neprosojna fasada brez toplotne izolacije z masivno samonosno oblogo je primerna zlasti v vetrovnih in vročih krajih.

Prezračevane prosojne fasade so poseben tip steklenih fasad, ki imajo med zunanjo in notranjo fasadno opno fasadni vmesni prostor večjih dimezij, kjer se sistem prezračuje. V fasadnem vmesnem prostoru mora biti nameščena sončna zaščita, ki notranji prostor ščiti pred poletnim pregrevanjem. Zrak v fasadnem vmesnem prostoru se zaradi termike dviguje in izhaja skozi odvodne odprtine, hkrati pride do vsrkavanja hladnega zraka iz okolice. Prostori, ki mejijo na fasadni vmesni prostor, se praviloma prezračujejo mehansko skozi odprtine v notranji fasadni steni. Pri snovanju prezračevanih prosojnih fasad je ključnega pomena upoštevanje zvočnih, požarno-varnostnih in termičnih zahtev objekta. Po fasadnem vmesnem prostoru se namreč širijo zvok, dim in vroč zrak, kar zmanjšuje standard notranjih prostorov.

Prezračevane prosojne fasade so danes še drage, vendar se razlika v ceni v primerjavi z objekti s toplimi prosojnimi fasadami, ki potrebujejo za uravnavanje temperature drage in energetsko potratne klimatske naprave, povrne po nekaj letih obratovanja.

Prezračevane neprosojne in prosojne fasade imajo določeno prednost pred neprezračevanimi fasadami, zato bo uporaba teh sistemov čedalje bolj utemeljena.

LITERATURA

- Behling, S.; Behling, S.: GLASS – KONSTRUKTION UND TECHNOLOGIE IN DER ARCHITEKTUR, Prestel, München – London – New York, 1999.
- Compagno, A.: INTELLIGENTE GLASSFASADEN, 4. razširjena izdaja, Artemis Verlags-AG, Zürich, 1999. Fotodokumentacija podjetja Alukönihtahl (sistem Schüco), Slovenija.
- Grimm, F., Clemens, R.: HINTERLÜFTETE FASSADEN, Karl Krämer Verlag, Stuttgart, Zürich, 1994.
- Hebgen, H.; Heck, F.: AUSSENWANDKONSTRUKTIONEN MIT OPTIMALEM WÄRMESCHUTZ, 2. predelana izdaja, Vieweg Verlag, Braunschweig, 1977.
- Lang, W.: ZUR TIPOLOGIE MEHRSCHALIGER GEBÄUDEHÜLLEN AUS GLAS, Detail 7/1998, 1225-1232.
- Oesterle, et al.: DOPPELSCHALIGE FASSADEN, Callwey, München, 1999.
- Pfeifer, G. et al: MASONRY CONSTRUCTION MANUAL, Birkhäuser Edition Detail, München, 2001.
- Schittich, C. et al.: GLASBAU ATLAS, Birkhäuser Verlag, Basel – Boston – Berlin, 1998.
- Zbašnik-Senegačnik-M, Kresal, J.: TEHNOLOŠKA TIPOLOGIJA FASADNEGA PLAŠČA, raziskovalna naloga, Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, 2001.

24. ZBOROVANJE

GRADBENIH KONSTRUKTORJEV SLOVENIJE

Bled, Festivalna dvorana, 14.-15. november 2002

VABILO ZA PRIPRAVO PRISPEVKOV

Vabimo vas, da se v okviru predlagane tematike aktivno vključite v delo zborovanja. Prispevke boste lahko s pomočjo diapozitivov in prosojnic predstavili ustno ali pa s posterji v predverju dvorane. Pisne sestavke bomo ne glede na način predstavitve v obliki člankov objavili v zborniku. Avtorje prispevkov prosimo, da nam do 15. septembra 2002 sporočite naslov svojega prispevka skupaj s kratkim povzetkom predvidene vsebine in točnim naslovom avtorja oziroma avtorjev, če jih je več. Povzetek naj ne presega 150 besed. O sprejemu prijavljenega prispevka boste pisno obveščeni. Prispevke v dokončni obliki pa je potrebno poslati na naslov: **Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev, Jamova 2, 1000 Ljubljana**, najkasneje do 20. oktobra 2002.

PRIJAVA

Udeležbo na zborovanju prijavite s tem, da nam pošljete izpolnjeno prijavo (po faxu na št.: **01/ 425 06 83** ali na naslov **SDGK, Jamova 2, 1000 Ljubljana**) in nakažete kotizacijo na transakcijski račun Slovenskega društva gradbenih konstruktorjev št. **02085-0015319187** s pripisom Za 24. zborovanje gradbenih konstruktorjev. Prijavi priložite potrdilo o plačani kotizaciji.

KOTIZACIJA

Kotizacija, v kateri so stroški organizacije in publikacije zborovanja, kakor tudi stroški družabnega srečanja, znaša 34.000 SIT na osebo v primeru plačila do 31. 10. 2002, kasneje pa 39.000 SIT.

PROMOCIJA DEJAVNOSTI

Na podlagi dogovora z organizatorjem bo na zborovanju mogoča tudi promocija vaših izdelkov in storitev z razstavami, posterji in predvajanjem filmov. Za morebitne dodatne informacije pokličite na številko: **01/ 476 86 00**.

PRIJAVA

za 24. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije
14. in 15. novembra 2002 na Bledu

Ime in priimek: _____ Davčna številka: _____

Podjetje oz. ustanova: _____ Podpis: _____

Naslov: _____ Kotizacija je bila nakazana na transakcijski račun

Telefon: _____ Slovenskega društva gradbenih konstruktorjev,
Jamova 2, Ljubljana, št. 02085-0015319187.

E-mail: _____ Potrdilo o plačani kotizaciji je priloženo.

1/1
165 x 245 mm

2/3
108 x 223 mm

1/2
165 x 115 mm

1/4
165 x 60 mm

1/3
52 x 223 mm

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

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

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

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

Uredništvo

NAVODILA ZA ODDAJO OGLASA

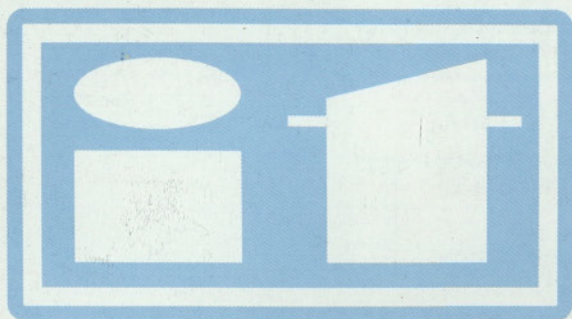
Oglas lahko oddate kot:

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

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

Za reklamne oglase se priporočamo po naslednjem ceniku:

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



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

MESEC	SEMINAR	IZPITI		
		GRADBENIKI	ARHITEKTI	KRAJINARJI
September	23.-27.			
Oktober	21.-25.	pisni: 26.10.		
November	18.-22.	ustni: 4. - 7.11. pisni: 23.11.	pisni: 9.11. ustni: 18. - 21.11.	
December	16.-20.	ustni: 2. - 5.12.		

A. PRIPRAVLJALNE SEMINARJE

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

Seminar za GRADBENIKE poteka 5 dni (46 ur) in pripravlja kandidate za splošni in posebni del strokovnega izpita, Cena seminarja znaša 90.000,00 SIT z DDV.

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

K seminarju vabimo tudi kandidate, ki so že opravili strokovni izpit po določeni stopnji izobrazbe, pa so si pridobili višjo in morajo opravljati dopolnilni strokovni izpit.

Ponujamo jim predavanje iz področja "Investicijski procesi in vodenje projektov". Cena predavanja in literature je 12.600,00 SIT z DDV.

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

B. STROKOVNI IZPITI

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