

GRADBENI VESTNIK

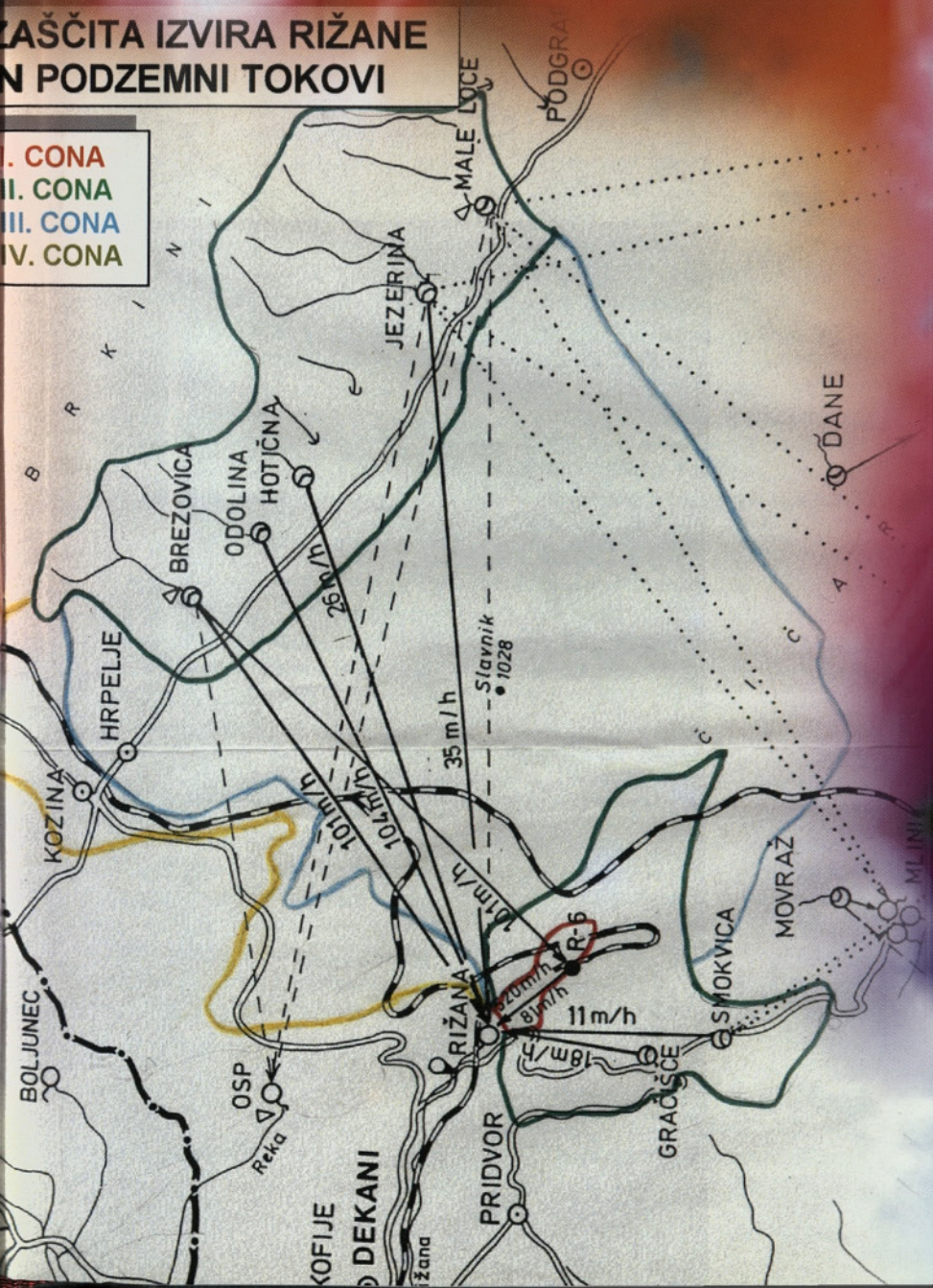
GLASILO ZVEZE
DRUŠTEV
GRADBENIH INŽENIRJEV
IN TEHNIKOV SLOVENIJE
IN MATIČNE SEKCIJE
GRADBENIH INŽENIRJEV
PRI INŽENIRSKI ZBORNICI
SLOVENIJE

Poštnina plačana pri
pošti 1102 LJUBLJANA

**JULIJ
2002**

ZAŠČITA IZVIRA RIŽANE N PODZEMNI TOKOVI

I. CONA
II. CONA
III. CONA
IV. CONA



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 upokoјence 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 desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki [priimek prvega avtorja, leto objave]. V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c, itn.
11. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime avtorja, priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
12. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
13. Pod črto na prvi strani, pri prispevkih, krajših od ene strani pa na koncu prispevka, morajo biti navedeni obsežnejši podatki o avtorjih: znanstveni naziv, ime in priimek, strokovni naziv, podjetje ali zavod, navadni in elektronski naslov.
14. Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: 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

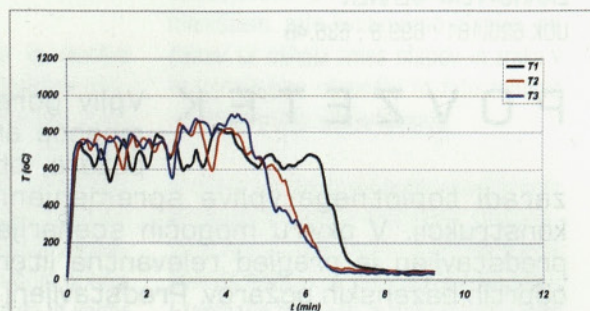
Članki, študije, razprave
Articles, studies, proceedings

Stran 182

Andrej Rebec, Friderik Knez, Milan Hajdukovič

KARAKTERISTIKE BAZENSKIH POŽAROV

CHARACTERISTICS OF POOL FIRES

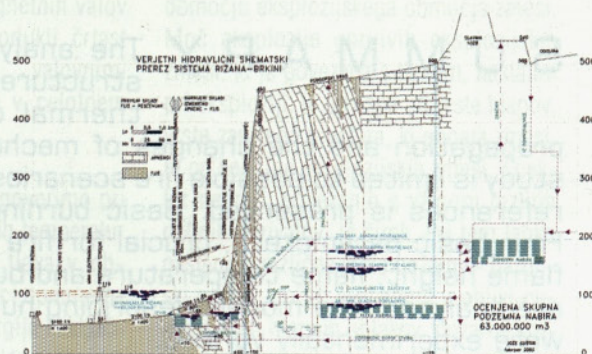


Stran 194

Jože Guštin

VEČNAMENSKA AKUMULACIJA RIŽANA

MULTIPURPOSE IMPOUNDING RESERVOIR OF THE RIŽANA REGION



Stran 205

Martina Zbašnik - Senegačnik, Janez Kresal

NEPREZRAČEVANA FASADA

NON - VENTILATED FAÇADE

KARAKTERISTIKE BAZENSKIH POŽAROV

CHARACTERISTICS OF POOL FIRES

ZNA NSTVENI ČLANEK

UDK 620.181 : 699.8 : 536.46

ANDREJ REBEC, FRIDERIK KNEZ, MILAN HAJDUKOVIČ

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 s poznavanjem zaradi toplotnega vpliva spremenjenih mehanskih lastnosti materialov prizadetih konstrukcij. V okviru mogočih scenarijev nesreč smo se omejili na bazenske požare, predstavljen je pregled relevantne literature, razloženi so osnovni mehanizmi gorenja odprtih bazenskih požarov. Predstavljeni so štirje osnovni parametri, od katerih je odvisen razvoj in širjenje toplotne obtežbe po okolici prizadetega rezervoarja, in sicer hitrost gorenja gorljivega medija, pričakovana oblika in višina plamenskega telesa nad gorečim rezervoarjem in temperatura plamenskega telesa. Modeli, ki opisujejo računsko določevanje teh parametrov, so bili tudi eksperimentalno verifikirani.

S U M M A R Y The analysis of the influence of a burning oil tank on structures in close vicinity can be analysed if knowing the thermal characteristics, the modes of thermal load propagation and the changes of mechanical properties due to thermal influence. The study is limited to possible fire scenarios of fully-developed pool fires. A review of available references is presented. Basic burning mechanisms of open pool fires are analysed. Four basic parameters, crucial for fire development being expected – the flame shape, flame height, flame temperature and burning-media velocity, as well as fire propagation are analysed. The models describing numerical evaluation of the mentioned parameters were experimentally verified.

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
Milan Hajdukovič, univ.dipl.inž.str., Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, Ljubljana

1. UVOD

V petrokemijski industriji narašča uporaba različnih vrst tekočih ogljikovodikov. Mnogi od produktov so klasificirani kot nestabilne, reaktivne tekočine, ki generirajo lahko vnetljive hlape pri ambientalnih temperaturah. Na območju skladišč,

kjer je lociranih več rezervoarjev naftnih derivatov, lahko požar na enem ali več rezervoarjih predstavlja veliko okoljsko nesrečo. Ob tem je za razvoj požara pomembno, da so hlapi bencina in večine ostalih lahko vnetljivih tekočin težji od zraka in se lahko širijo daleč od izvora, odvisno od količine, časa in drugih po-

gojev. Plamenišče, splošno privzeto kot najpomembnejši parameter rizičnosti lahko vnetljivih tekočin, ni edini parameter za ocenitev tveganja nastanka požara. Ostali pomembnejši parametri, ki vplivajo na rizičnost, so vžigna temperatura, eksplozijsko območje ter hlapljivost pri normalnih in povišanih temperaturah.

Zanimivo je, da imajo parametri za ocenitev tveganja nastanka požara razmeroma majhen vpliv na karakteristike gorenja v že nastalem in razširjenem požaru.

Namen raziskave je bil razviti model, ki bo omogočal analizo vpliva razvitega požara rezervoarja z vnetljivo tekočino na okolico. V analizi smo se omejili na vpliv gorečega rezervoarja na termični in mehanski odziv aluminijaste strešne kupolaste konstrukcije enega od sosednjih rezervoarjev v sklopu večjega skladišča rezervoarjev naftnih derivatov. Poleg tega smo se omejili na odprte bazenske požare, ki predstavljajo le eno od vrst nesreč, povezanih s skladiščenjem tekočih ogljikovodikov. Celotna analiza je sestavljena iz določitev termične obtežbe gorečega rezervoarja, termičnega vpliva gorečega rezervoarja na okolico in določitve termomehanskega odziva požaru izpostavljenih konstrukcij v okolici.

V tem delu želimo prikazati predvsem požarne karakteristike gorečega rezervoarja. Podatki, s katerimi je mogoče definirati termično obtežbo gorečega rezervoarja, so bili izmerjeni s požarnimi testi, rezultati pa so bili primerjani s podatki iz literature. V članku je predstavljen tudi povzetek relevantne literature, pri čemer smo se posebej posvetili nekaterim temeljnim mehanizmom gorenja odprtih bazenskih požarov, povezanih z določitvijo požarnih karakteristik plamenskega telesa gorečega rezervoarja.

2. POŽARNO INŽENIRSTVO IN NEVARNOSTI, POVEZANE S SKLADIŠČENJEM NAFTNIH DERIVATOV

Vsak nastanek in razvoj požara je povezan z vrsto in količino gorljivih snovi, temperaturnimi pogoji in pogoji dovajanja zraka (kisika). Nastanek produktov gorenja je definiran s kemijskimi reakcijami med gorljivimi snovmi in kisikom pri določenih temperaturah ter zakonito-

stmi dinamike fluidov. V požaru so rezultat gorenja dimni plini in žareče saje, pri čemer pride v splošnem do nepopolnega izgorevanja in s tem povezane neznane kinetike nastajanja saj (zgoreli in delno zgoreli produkti) in prepletanja neznane strukture turbulentnih razpršenih oblik plamenskega telesa s toplotnim transportom nezreagiranih delcev gorljivih snovi.

Na mikroskopskem nivoju je rezultat požara nastanek in širjenje toplotne energije v spektru elektromagnetnih valov določenih valovnih dolžin, ki jih sevajo produkti gorenja. Nastanek elektromagnetnega valovanja je pogojen s prehodi med energijskimi nivoji molekul produktov gorenja, v splošnem dimnih plinov, predvsem ogljikovega dioksida in vodne pare ter žarečih saj. Količina in medsebojno razmerje prvih in drugih sta predvsem odvisna od vrste gorljivih snovi in nivoja nepopolnosti gorenja. Analiza spektra sevanih elektromagnetnih valov kaže, da sevajo dimni produkti črtast spekter z določenimi valovnimi dolžinami, saje pa sevajo v celotnem spektru toplotnih valov.

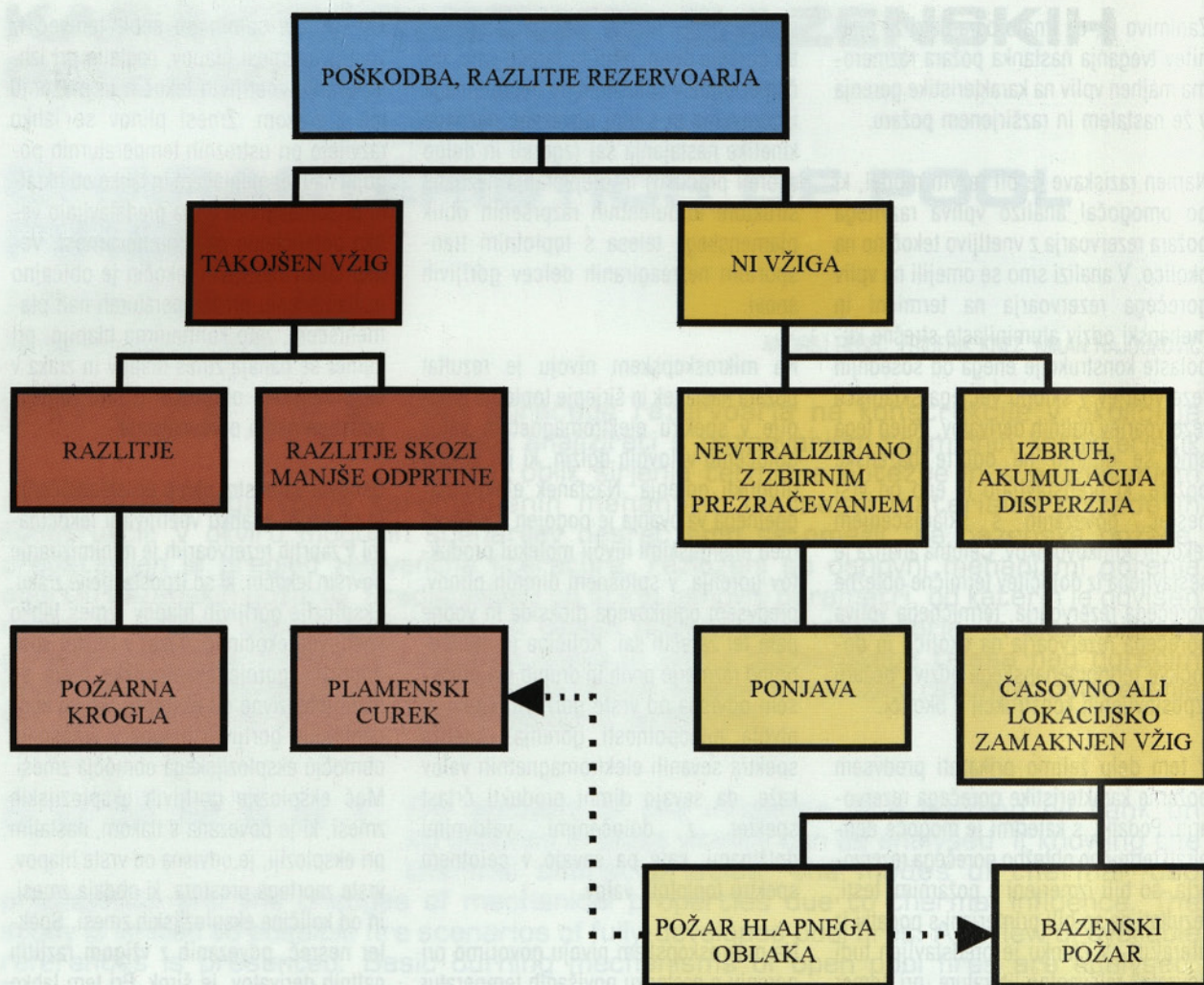
Na makroskopskem nivoju govorimo pri gorenju o nastanku povišanih temperatur in posledično povišanega tlaka v območju požara kot o posledici spremembe povprečne kinetične energije naključnega gibanja molekul produktov gorenja. Na sedanji stopnji znanj je določanje temperaturnega stanja plamenskega telesa požara in do neke mere analiza toplotnega toka na poljubni oddaljenosti od požara nujno v zvezi z empiričnimi izrazi, povezanimi s splošnimi fizikalnimi zakoni. Zato prihaja pri povezovanju rezultatov na nivoju majhnih in srednje velikih požarnih testov v primerjavi z realnimi požari do razlik. Del požarnega inženirstva, kjer obravnavamo toplotno obtežbo, nastalo v procesu gorenja, je zato nujno povezan z določenimi približki.

Nevarnost gorenja in eksplozije lahko vnetljivih in vnetljivih tekočin ne izvira iz nevarnosti gorenja in eksplozije vnetljivi-

vih tekočin samih po sebi, temveč iz vnetljivih zmesi hlapov, nastalih pri izhlapevanju vnetljivih tekočin in mešanju teh z zrakom. Zmesi plinov se lahko razvijejo pri ustreznih temperaturnih pogojih nad plameniščem in lahko ob hkratni prisotnosti vira vžiga predstavljajo veliko potencialno požarno nevarnost. Veliko lahko vnetljivih tekočin je običajno uskladiščenih pri temperaturah nad plameniščem, zato kontinuirno hlapijo, pri čemer se nahaja zmes hlapov in zraka v eksplozijskem območju in zato zahteva poseben način obravnavanja.

Osnovni varnostni ukrep pri skladiščenju in ravnanju z lahko vnetljivimi tekočinami v zaprtih rezervoarjih je minimiziranje površin tekočin, ki so izpostavljene zraku. Eksplozije gorljivih hlapov (zmes lahko vnetljivih tekočin in zraka) v bližini spodnje ali zgornje eksplozijske meje so manj intenzivne od eksplozij, ko so koncentracije gorljivih hlapov v vmesnem območju eksplozijskega območja zmesi. Moč eksplozije gorljivih eksplozijskih zmesi, ki je povezana s tlakom, nastalim pri eksploziji, je odvisna od vrste hlapov, vrste zaprtega prostora, ki obdaja zmesi, in od količine eksplozijskih zmesi. Spekter nesreč, povezanih z vžigom razlitih naftnih derivatov, je širok. Pri tem lahko nastanejo različne vrste požarov - bazenski požari, požari s plameni v obliki curka, požari hlapnih oblakov, požarne krogle. Vsak od njih se obnaša specifično s povsem različnimi toplotnimi vplivi na okolico.

Velik del požarnega inženirstva, ki pokriva požarno zaščito industrije, je namenjen obvladovanju scenarijev, povezanih s požari rezervoarjev naftnih derivatov. Za izvajanje zaščitnih ukrepov direktno in indirektno požaru izpostavljenih objektov je temeljnega pomena poznavanje fizikalno-kemijskih procesov gorenja ter principov prenosa toplote v prizadetem objektu in iz gorečega objekta na okolico. V primeru analiziranja posledic požara na velikih odprtih rezervoarjih tekočih ogljikovodikov so predvsem pomembne karakteristike gorenja in proces



Slika 1: Diagram mogočih dogodkov v primeru razlitja vnetljivih tekočin

prenosa toplote na okolico, kjer prevladujeta radiacijska in konvekcijska komponenta prenosa toplote na okolico.

Prenos toplote s konvekcijo predstavlja znaten delež le v neposredni bližini požara, sicer pa radiacijska komponenta prispeva bistven delež k segrevanju okoliških teles. Poleg jakosti sevanja je pomemben podatek spektralna porazdelitev sevanega toplotnega toka glede na spektralno absorpcijo izpostavljenega predmeta. Glede na okoliščine in pogoje, ki vodijo do takih nesreč, lahko pričakujemo različne vrste odprtih požarov.

Diagram poteka na sliki 1 kaže na mogoče dogodke, ki vodijo do katastrofalnih od-

prtih požarov. Zaporedje dogodkov kaže, da razlitje vnetljive tekočine ni nujno povezano s takojšnjim vžigom in požarom. Levi del diagrama kaže zaporedje mogočih dogodkov s takojšnjim vžigom gorljivega medija. V primeru manjšega izliva iz manjše odprtine lahko pričakujemo požar v obliki plamenskih curkov. V primeru večjega izliva in takojšnjega nastanka požara govorimo o požarni kroglji, katere obseg je povezan predvsem s količino uplinjenega dela in tekočega dela vnetljive tekočine, sproščene pri izlivu iz rezervoarja.

Kadar po izlivu vnetljive tekočine ne pride do takojšnjega nastanka požara, je izliv sestavljen iz hipno vplinjene tekoči-

ne, akumulirane vnetljive tekočine in mešanice hlapov. Zakasneni lokalni vžig, ki sledi akumulaciji vnetljivih medijev, običajno rezultira v bazenskem požaru s karakteristikami, ki so tesno povezane z geometrijo bazena (rezervoarja). Črtkane poti mogočih dogodkov v diagramu poteka kažejo na možnost nastanka odprtega bazenskega požara ali nastanka požara v obliki reaktivnih plamenov.

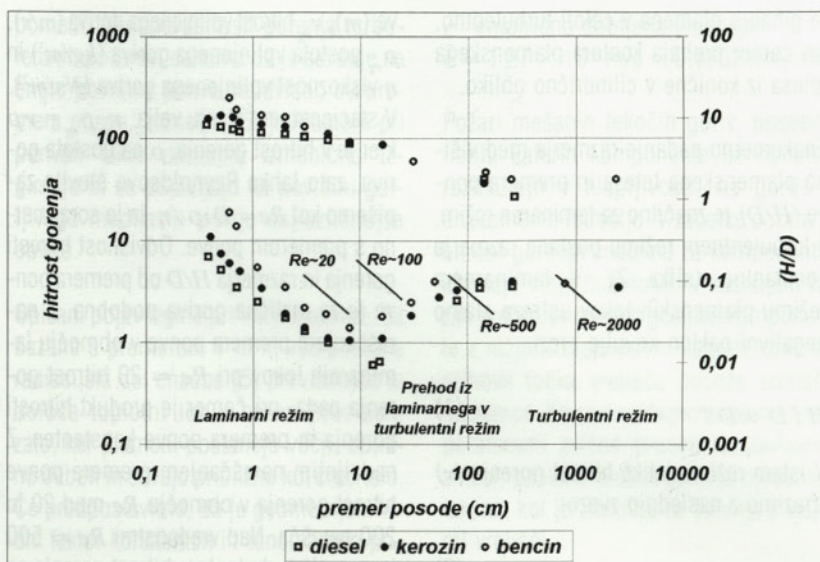
3. MODEL TERMIČNE ANALIZE

V osnovi pomeni požar tekočih ogljikovodikov kemijsko reakcijo med gorljivim medijem in kisikom iz zraka pri zadostni

temperaturi. To je splet neponovljivih, interaktivno povezanih kemijskih in fizikalnih reakcij, odvisnih predvsem od lastnosti gorljivega medija. Produkti gorenja, dimni plini in žareče saje pri požaru sevajo elektromagnetno sevanje, od katerih je za analizo toplotnega vpliva požara na okolico pomemben spekter z valovnimi dolžinami od 0.8 do 1000 μm . Širjenje toplotne obtežbe na telesa v okolici požara je odvisno od intenzivnosti požara, lastnosti medija, po katerem se požar širi, razdalje ter prostorskega vidnega kota. Na sedanji stopnji znanj je požarno inženirstvo, predvsem tisti del, kjer analiziramo termično obtežbo, sestavljeno iz eksperimentalno verificiranih modelov. Te sestavljajo empirične enačbe, postavljene v okviru splošnih fizikalnih in kemijskih zakonitosti.

Termične lastnosti požara lahko definiramo z vrsto produktov gorenja, kemijsko sestavo, geometrijsko obliko in velikostjo požara ter predvsem s temperaturo produktov gorenja (plamenskega telesa). V modelu so upoštevani zaključki serije eksperimentalnih rezultatov [Markstein, 1976], iz katerih izhaja, da se za tekoče ogljikovodike lahko privzame, da seva vidno plamensko telo 90 % celotnega sevanega energijskega toka, preostalih 10 % pa sevajo plinasti produkti gorenja. Produkti gorenja so predvsem molekule ogljikovega dioksida in vodne pare ter žareče saje, približne velikosti od 0.005 do 0.08 μm . Do omenjenega razmerja v celotni sevani energiji pride kljub dejstvu, da predstavljajo delci, ki tvorijo vidno plamensko telo, relativno majhen delež volumna plamena. Vzrok za to je v spektru sevanja. Vidni delci sevajo kot črno telo, dimni plini pa so črtasti sevalci.

Za ugotavljanje toplotnega vpliva požara na izpostavljena telesa v okolici je poleg poznavanja spektralne sestave toplotnih valov produktov gorenja pri požarnih temperaturah potrebno poznati tudi lastnosti prehoda elektromagnetnega sevanja skozi medij za različna območja spektra. Pri tem je pomembna vsebnost vode in



Slika 2: Na spodnjem delu slike je prikazana hitrost gorenja (v) kot funkcija premera ponve (D), na zgornjem delu slike pa je prikazano razmerje višine plamenskega telesa in premera ponve (H/D) kot funkcija premera ponve, Re = Reynoldsovo število

ogljikovega dioksida, oddaljenost telesa od požara in spektralna absorptivnost medija. Poznati pa je potrebno tudi mehanske lastnosti izpostavljenega telesa pri ustreznih povišanih temperaturah.

3.1 KARAKTERISTIKE PLAMENSKEGA TELESA

3.1.1 HITROST GORENJA

Temeljnega pomena za določanje termomehanskega vpliva požara na izpostavljeno telo je poznavanje geometrije plamenskega telesa požara s pripadajočo temperaturo, posredno pa tudi hitrosti gorenja gorljivega medija, ki je definirana kot hitrost nižanja gladine gorljivega medija in ima enoto mm/min. Oblika in velikost plamenskega telesa sta odvisni od gorljivega medija, površine kurišča in atmosferskih pogojev. V splošnem ju določamo na podlagi izkustvenih podatkov (požari, požarni testi v zmanjšanem in realnem merilu). V literaturi [Blinov, 1957], [Hottel, 1959] so znani rezultati sistematičnih testov za različne premere bazenskih požarov, pri čemer so bili kot gorilni medij uporabljeni bencin, kurilno

olje in traktorski kerozin. Testi so bili izvedeni s kurišči cilindričnih ponev premerov od 0.37 cm do 22.9 m. Rezultati so omogočili osnovno razlago mehanizma gorenja in sproščanja toplote bazenskih požarov (slika 2). Ob tem je bila merjena hitrost gorenja gorljivega medija in višina plamenskega telesa, to je dveh osnovnih karakteristik, potrebnih za analizo vpliva gorečega rezervoarja na okolico. Na spodnjem delu slike 2 je prikazana hitrost gorenja (v) kot funkcija premera ponve (D), na zgornjem delu slike pa je prikazano razmerje višine plamenskega telesa in premera ponve (H/D) kot funkcija premera ponve.

Fotografski posnetki so pokazali, da se z naraščanjem premera ponve za katerokoli vrsto uporabljenega goriva spreminja struktura plamena od konične stacionarne oblike (premer ponve 1.1 cm) do pulzirajočega plamena s frekvenco 18–20 Hz (premer ponve 3 cm). Z naraščanjem premera ponve upada frekvenca pulzirajočega plamena, del nestabilnega plamena se zmanjšuje vse do premera ponev 15 cm. Od tod dalje se struktura plamena spreminja kontinuirano po vsem plamenskem telesu, pri premeru ponev nad 1.3 m pa

je gibanje plamena v celoti turbulentno, pri čemer prehaja kontura plamenskega telesa iz konične v cilindrično obliko.

Enakomerno padanje razmerja med višino plamenskega telesa in premera ponve (H/D) je značilno za laminaren režim, v turbulentnem režimu postane razmerje konstantno (slika 2). V laminarnem režimu plamenskih tokov ustreza stalno negativni naklon krivulje zvezi:

$$H/D \propto D^{-n} \quad (1)$$

V istem režimu lahko hitrost gorenja (v) izrazimo z naslednjo zvezo:

$$v \propto D^{-m} \quad (2)$$

Zvezi (1) in (2) združimo v:

$$(v)(D/H) \propto D^{n-m}$$

ali

$$vD^2/H \propto D^{n+1-m} \quad (3)$$

Pri tem se eksponent n giblje med 0.1 in 0.3 (slika 2), eksponent m med 1.1 in 1.3, eksponent $n+1-m$ pa je približno enak nič. Razmerje (vD^2/H) , ki je sorazmerno razmerju hitrosti gorenja gorljivega medija in višine plamenov, je v laminarnem režimu konstantno. To je obenem znan rezultat raziskav curkov goriva s kratkimi laminarnimi plameni, kjer je dolžina plamenskega telesa sorazmerna z volumenskim tokom gorljivih plinov in neodvisna od premera izhodne odprtine curka. V turbulentnem režimu pri velikih Reynoldsovih številih, $Re > 500$, je razmerje višine plamenskega telesa in premera ponve konstantno, kar je podobno rezultatom požarnih testov curkov goriva s turbulentnim plamenskim telesom, kjer je razmerje dolžine plamenskega telesa in premera ponev neodvisno od Re . Rezultat je posledica mešanja zraka z gorivom predvsem zaradi turbulentne narave plamena in manj zaradi transporta gorljive mešanice zaradi vzgonskega gibanja snovi. Reynoldsovo število je definirano kot $Re = Dv_{vg}\rho_{vg}/\eta$, kjer so: D premer pon-

ve (m), v_{vg} hitrost vplinenega goriva (m/s), ρ_{vg} gostota vplinenega goriva (kg/m^3) in η viskoznost vplinenega goriva (Ns/m^2). V stacionarnem stanju velja: $v_{vg}\rho_{vg} = v\rho$ kjer je v hitrost gorenja, ρ pa gostota goriva, zato lahko Reynoldsovo število zapišemo kot $Re = Dv\rho/\eta$ in je sorazmerno s premerom ponve. Odvisnost hitrosti gorenja in razmerja H/D od premera ponve je za različna goriva podobna. Z naraščanjem premera ponve v območju laminarnih tokov pri $Re \approx 20$ hitrost gorenja pada, pri čemer je produkt hitrosti gorenja in premera ponve konstanten. Z nadaljnjim naraščanjem premera ponve hitrost gorenja v območju Re med 20 in 200 narašča. Nad vrednostmi $Re \approx 500$ je gorenje turbulentno, hitrost gorenja pa ni več odvisna od premera ponve.

Opisano obnašanje gorenja tekočih oglikovodikov v požaru je povezano s prenosom toplote, ki je potrebna za uplinjanje goriva iz posode. Hitrost gorenja je sorazmerna z uplinjanjem goriva in posledično s sproščanjem toplote bazenskega požara. Del sproščene toplote se prenaša v gorivo, ta toplota je potrebna za fazni prehod med tekočim in plinastim stanjem goriva in je sestavljena iz treh prispevkov: q_1 , q_2 in q_3 , ki predstavljajo toplotno moč zaradi prevajanja toplote po obodu ponve, toplotno moč zaradi konvekcije toplote iz plamena na površino goriva v ponvi in toplotno moč zaradi sevanja plamenskega telesa na površino goriva v ponvi.

Prikazano kvantitativno sklepanje je mo-

goče poenostavljeno zapisati, [Hottel, 1959]:

$$\begin{aligned} q_1 &= k_1 \pi D (T_F - T_B) \\ q_2 &= h_c (\pi D^2 / 4) (T_F - T_B) \\ q_3 &= (\pi D^2 / 4) \sigma F (T_F^4 - T_B^4) (1 - e^{-kd}) \end{aligned} \quad (4)$$

kjer pomenijo:

- q_i toplotno moč posameznih prispevkov q_1 , q_2 in q_3 (W),
- k_1 koeficient prevajanja toplote (W/mK),
- D premer ponve (m),
- T_F temperaturo plamenskega telesa (K),
- T_B temperaturo plinaste faze nad gladino goriva (K),
- h_c toplotno prestopnost za konvekcijo (W/m²K),
- F prostorski vidni kot (brezdimenzijski parameter),
- k ekstinkcijski koeficient (1/m),
- σ Stefanovo konstanto ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ W/m²K⁴) in
- d optično debelino plamena (m).

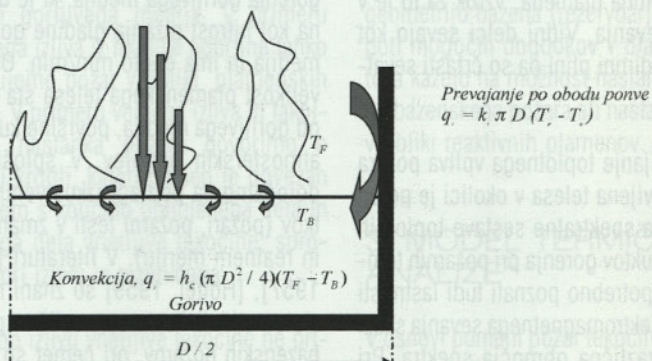
Na sliki 3 so prikazani posamezni prispevki k prenosu toplote iz plamenskega telesa na površino goriva.

Člene q_1 , q_2 in q_3 povežemo, v:

$$\begin{aligned} q / \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) &= 4 \frac{k_1}{D} (T_F - T_B) + \\ &+ h_c (T_F - T_B) + F \sigma (T_F^4 - T_B^4) \\ &(1 - e^{-kd}), \end{aligned} \quad (5)$$

Prispevek prevajanja po obodu ponve (q_1)

$$\text{Sevanje, } q_3 = (\pi D^2 / 4) \sigma F (T_F^4 - T_B^4) (1 - e^{-kd})$$



Slika 3: Prenos toplote iz plamena v gorivo.

je robni efekt, odvisen od obsega ponve, temperaturne razlike med temperaturo plamena (T_p) in temperaturo plinaste faze nad gladino goriva (T_g) in koeficienta prevajanja toplote k_1 , ki je odvisen od specifične geometrije ponve in je obratno sorazmeren z vrednostjo povprečne toplotne upornosti pri prenosu toplote po obodu, preračunane na dolžino oboda ponve. Prispevek konvekcijskega prenosa toplote iz plamena v gorivo (q_2) je odvisen od površine, na kateri prestop poteka, od temperaturne razlike med plamenom in gorivom in od konvekcijske konstante h_c , ki je odvisna od specifičnih razmer na površini goriva.

Prispevek sevalnega prenosa toplote iz plamena (q_3) je odvisen od površine goriva, od temperature plamena, vidnega faktorja med plamenom in gladino goriva in od ekstinkcije energijskega toka na poti skozi plamen. Optična debelina plamena je odvisna od geometrije plamena in znaša med približno $d = 0.7D$ in $d = 0.95D$, [Kreith, 2000]. Za opis odvisnosti lahko v grobem zapišemo $d \approx D$.

Pri majhnih premerih ponve je prvi člen na desni strani enačbe (5) dominanten, drugi člen od D ni odvisen, tretji člen pa je majhen ($e^{-kd} \approx 1$). Pri velikih premerih ponve je vpliv prvega člena (q_1) zanemarljiv, vpliv drugega člena (q_2) je majhen, tretji člen (q_3) pa postane dominanten ($e^{-kd} \approx 0$). V vmesnem območju sta prvi in tretji člen majhna (kondukcija po obodu ponve je majhna glede na premer ponve, plamen pa je še optično redek, $k \approx 0$). Drugi člen v enačbi (5) postane pomembnejši. Opisane zakonitosti se odražajo kot padanje hitrosti gorenja goriva v območju majhnih premerov. Hitrost doseže minimum, nato pa se z večanjem premera ponve ustali pri vrednosti, ki je približno neodvisna od vrste goriva in ostane konstantna, ne glede na večanje premera ponve. Najnižje vrednosti so izmerjene pri premerih ponve 10 cm.

Pri velikih ponvah (rezervoarjih) sta količini q_1 in q_2 bistveno manjši kot q_3 , kar

pomeni stalnost hitrosti gorenja turbulentnih požarov, oziroma da je sevanje na enoto površine ponve neodvisno od premera ponve [Hottel, 1959]. Plameni pri ponvah takih dimenzij izmenično izginejo in se pojavljajo na površini gorljivega medija in tvorijo najrazličnejše oblike.

Opisani pojav izgine pri večjih ponvah. Za bazene s premerom 1 m in več postane radiacijski del enačbe (5) prevladujoč in določa toplotni tok v bazen predvsem zato, ker plameni postanejo večji, optično debeli in sevajo približno kot črno telo. Če predpostavimo, da je geometrijski vidni faktor konstanten in zanemarimo prispevka q_1 in q_2 ter upoštevamo, da se toplotna moč q pretvarja v izparilno toplotno:

$q = \Delta H h d m / dt = \Delta H h \rho (\pi D^2 / 4) v$,
lahko enačbo (5) za večje ponve poenostavimo v:

$$v = v_{max} (1 - e^{-kd}), \quad (6)$$

kjer je:

v hitrost gorenja v bazenu (ponvi) končnih dimenzij (mm/min),

v_{max} hitrost gorenja v neomejeno velikem bazenu (mm/min),

k ekstinkcijski koeficient za IR sevanje v plamenu (1/m),

ΔH_v izparilna toplota goriva (J/kg) in
 m masa vplinjenega goriva (kg).

Podobno študijo gorenja bazenskih požarov so izdelali na U.S. Bureau of Mines na požarih v zmanjšanem merilu. Za bazenske požare s prevladujočo radiacijsko komponento prenosa toplote je bila izpeljana na podlagi eksperimentalnih podatkov za tekoča goriva (metanol, tekoči vodik, tekoči zemeljski plin, butan, heksen, benzen,...), [Burgess, 1961], naslednja zveza med hitrostjo gorenja in razmerjem sežigne in izparilne toplote:

$$v_{max} = c \frac{\Delta H_c}{\Delta H_v}, \quad (7)$$

kjer je:

ΔH_c sežigna toplota (J/kg),

ΔH_v izparilna toplota (J/kg) in

c empirično dobljena vrednost,

$c = 1.27 \times 10^{-6} \text{ m/s} = 0.0762 \text{ mm/min}$.

Požari mešanih tekočih goriv, posebno tistih, katerih komponente se občutno razlikujejo v hlapljivosti, ne gorijo z enakomerno hitrostjo. V začetku požara je hitrost gorenja značilna za komponente, ki imajo višje hlapnosti. V kasnejših fazah požara se morajo gorljive komponente z nižjimi hlapnostmi segreti, tako da njihova točka vrelišča doseže vrelišče mešanice. Ko se z ustrezno visokimi temperaturami prične proces razstavljanja zmesi, postane hitrost gorenja mešanice takšna, kot je značilna za frakcije z višjimi vrelišči.

Izvedena je bila serija požarnih testov zmesi nesimetričnega dimetil hidrazona (UDMH) in dietilen triamina (DETA), [Grumer, 1961], vrelišče prvega je pri 63 °C, drugega pa pri 207 °C. Rezultati so pokazali, da je bilo gorenje v začetni fazi požara podobno gorenju dimetil hidrazona, v zaključni fazi požara pa gorenju dietilen triamina. Avtorji študije [Grumer, 1961] so predlagali naslednjo enačbo za določanje hitrosti gorenja mešanic tekočih goriv:

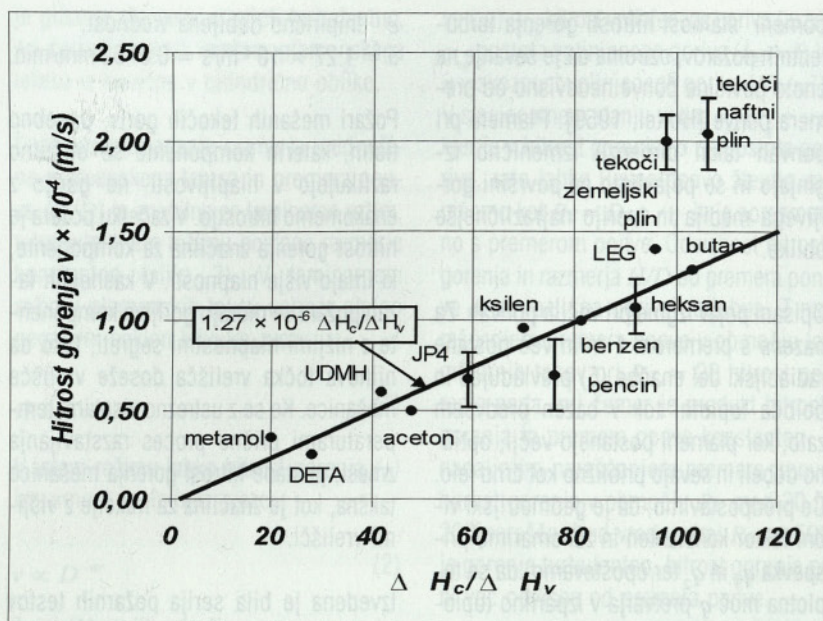
$$v_{max} = c \frac{\sum_{i=1}^N n_i \Delta H_{ci}}{\sum_{i=1}^N n_i \Delta H_{vi} + \sum_{i=1}^N m_i \int_{T_a}^{T_b} C_p(T) dT}, \quad (8)$$

kjer pomenijo:

n_i, m_i molski delež komponente zmesi v tekočem (n) in v plinastem stanju (m),
 T_a, T_b začetno temperaturo in temperaturo vrelišča posamezne komponente zmesi (K) in

C_p specifična toplota komponente zmesi goriva (J/K).

Za mešanice goriv, kot je bencin, katerega specifična toplota gorenja in uplinjanja posameznih komponent je približno enaka, in pri katerih je $n_i \approx m_i$, lahko namesto enačbe (8) z izpostavljanjem



Slika 4: Odvisnost med hitrostjo gorenja in termokemičnimi lastnostmi različnih goriv [Mudan, 1984]

približno enakih količin in upoštevanjem, da je navadno $\Delta H_{vi} \gg Cp$, napišemo približek v naslednji obliki:

$$v_{max} = n_1 v_{1,max} + n_2 v_{2,max} + \dots \quad (9)$$

kjer se številčni indeksi nanašajo na posamezne komponente mešanice goriv. Rezultati primerjalne analize, izdelane na podlagi serije testov merjenja hitrosti gorenja [Zabetakis, 1961] in izračunanih hitrosti gorenja po enačbah (8) in (9), kažejo na dobro ujemanje hitrosti gorenja različnih vrst gorljivih medijev (slika 4), na kateri so tekoči naftni plin, tekoči zemeljski plin, bencin, DETA in UDMH mešanice, ostali mediji pa enokomponentna goriva.

3.1.2 Višina plamenskega telesa

Za odprte bazenske požare ogljikovodikov so značilni vzgonski, difuzni plameni (plamensko telo). Hitrost zmesi hlapov na površini bazena je majhna v primerjavi s hitrostjo plinov v plamenski coni, nastalo zaradi vzgona (hitrosti se razlikujeta za faktor 50 in več). V tem primeru lahko privzamemo [Thomas, 1963], da je rela-

tivna višina plamenov (razmerje višine plamenov in premera bazena) funkcija Froudevega števila (Fr):

$$\frac{H}{D} = K_1 Fr^n \quad (10)$$

kjer pomenijo:

H višino plamenskega telesa (m),
 D premer bazenskega požara (m),
 K_1 konstanto, odvisno od vrste gorljivega medija (brezdimenzijski parameter),
 n eksponent Froudevega števila (Fr),
 Fr Froudevo število, brezdimenzijski parameter, definiran kot: $Fr = v_{vg}^2 / gD$,
 v_{vg} hitrost uplinjenega goriva na površini bazena (m/s) in
 g gravitacijski pospešek ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$).

Ker je celotni volumenski tok gorljivih hlapov Q (m^3/s) na površini bazena s premerom D definiran z naslednjo odvisnostjo:

$$Q \propto v_{vg} D^2 \quad (11)$$

lahko Froudevo število zapišemo tudi kot:

$$Fr \propto \frac{Q^2}{g D^5} \quad (12)$$

Masno hitrost gorenja gorljivih hlapov dm/dt (kg/s) lahko napišemo kot:

$$dm/dt = m_A \pi D^2 / 4 = \rho_{vg} Q \quad (13)$$

kjer pomenijo:

Q volumenski tok gorljivih hlapov na goreči površini bazena (m^3/s),

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

ρ_{vg} gostoto hlapov gorljivega medija (kg/m^3).

Froudevo število lahko na osnovi (11) do (13) napišemo tudi v naslednji obliki:

$$Fr \propto \frac{Q^2}{g D^5} \propto \left(\frac{m_A}{\rho_{vg} \sqrt{gD}} \right)^2 \quad (14)$$

Srednja višina vidnega turbulentnega difuznega plamenskega telesa je na podlagi zgornjih odvisnosti in eksperimentalnih rezultatov s krožnimi kurišči odvisna od Froudevega števila (10) in je definirana z naslednjim izrazom [Thomas, 1963]:

$$H/D = 42 (m_A / \rho_{vg} \sqrt{gD})^{0.61} \quad (15)$$

$$H/D = 55 (m_A / \rho_{vg} \sqrt{gD})^{0.67} u^{*-0.21} \quad (16)$$

V primeru vpliva vetra je potrebno zgornji izraz modificirati [Thomas, 1963]. Imamo:

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

$$u^* = u_w \left(\frac{g m_A D}{\rho_{vg}} \right)^{-1/3} \quad (17)$$

V literaturi je znan tudi naslednji izraz [Moorhouse, 1982], ki je bil izpeljan na osnovi testov večjih požarov tekočega naftnega plina z upoštevanjem vpliva vetra:

$$H/D = 6.2 (m_A / \rho \sqrt{gD})^{0.254} u_{10}^{*-0.044} \quad (18)$$

kjer u_{10}^* predstavlja brezdimenzijsko hitrost vetra, definirano v enačbi (17), na

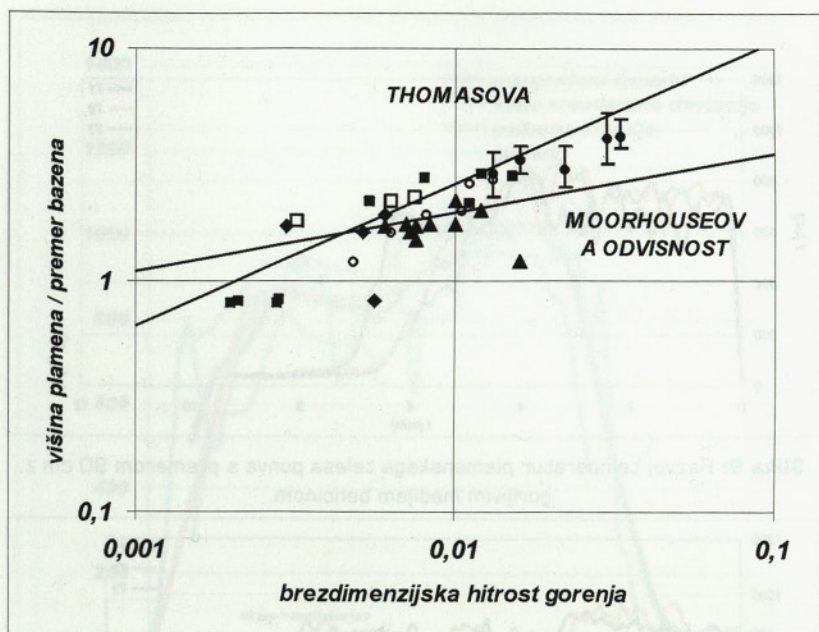
višini 10 m, r pa gostoto zraka. V obeh enačbah (16) in (18) privzamemo za u_{10}^* vrednost ena, če je izračunana vrednost manjša kot ena. Na sliki 4 so prikazana razmerja med višino plamenskega telesa in premerom bazenskega požara kot funkcije brezdimenzijske hitrosti gorenja. Eksperimentalni podatki se nanašajo na bazenske požare zemeljskega in naftnega plina, bencina, kerozina, acetona in JP-4.

Primerjava eksperimentalnih rezultatov s *Thomasovo* enačbo (16) ter *Moorhouse-ovo* enačbo (18) kaže, da so rezultati, izračunani po *Thomasovi* enačbi, bližje eksperimentalnim rezultatom [Mudan, 1984].

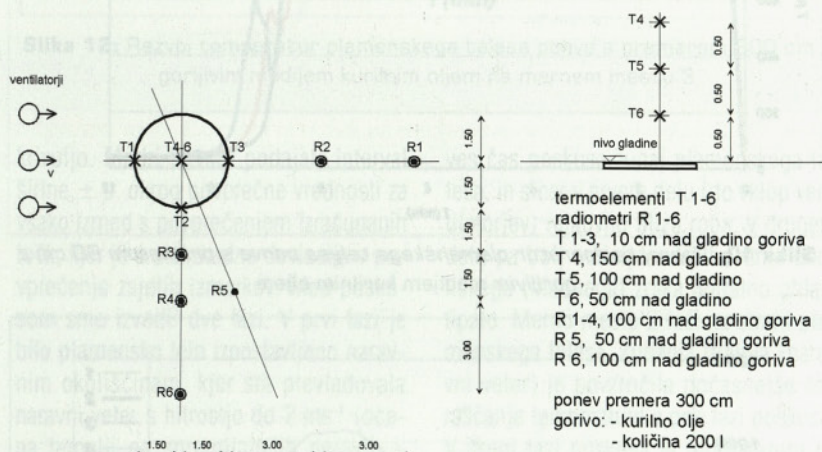
4. IZVEDBA IN VREDNOTENJE PRIMERJALNIH LABORATORIJSKIH PREISKAV

V Požarnem laboratoriju ZAG smo izvedli serijo primerjalnih požarnih testov in merili požarne karakteristike plamenskega telesa. Gorljiv medij sta predstavljala kurilno olje in bencin. Požarni testi so bili zasnovani kot modelni poskusi s primarnim namenom potrditi uporabnost modelnih enačb na obeh izbranih dimenzijah ponev in s tem verifikirati model v območju velikosti ponev, primerljivih s ponvami, ki smo jih uporabili pri testih. Pri testih smo merili hitrost gorenja, višino in obliko plamenskega telesa ter temperaturo plamenskega telesa. Kurišče modelnih preiskav so predstavljale jeklene poneve premera 90 in 300 cm. Velikost manjšega kurišča je bila izbrana predvsem zaradi ugotavljanja razlik v plamenskem telesu gorljivih medijev kurilnega olja in bencina, preliminarne določanja razvoja temperatur plamenskega telesa med požarnim testom in določanja hitrosti gorenja obeh medijev. Velikost večjega kurišča je bila izbrana z namenom, da bodo rezultati primerljivi z realnimi požari rezervoarjev naftnih derivatov.

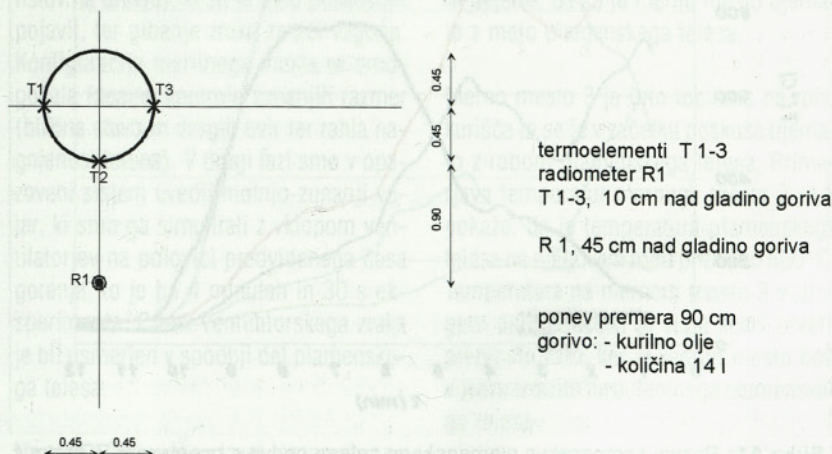
Iz literature [Hottel, 1959], [Blinov,



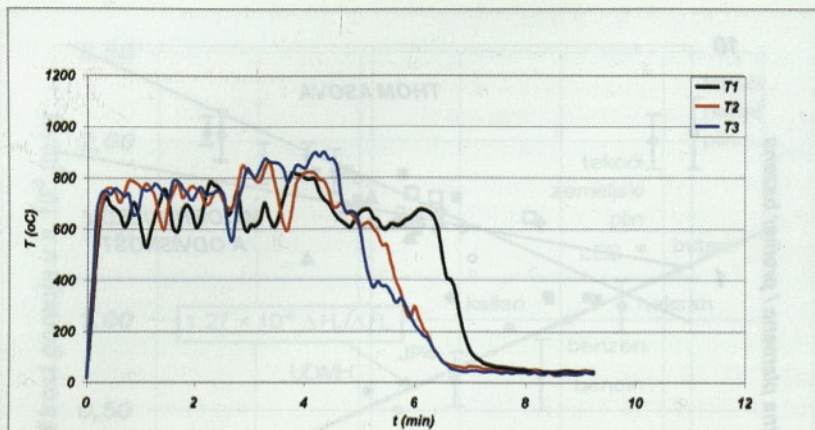
Slika 5: Višina plamenov bazenskih požarov različnih vrst ogljikovodikov



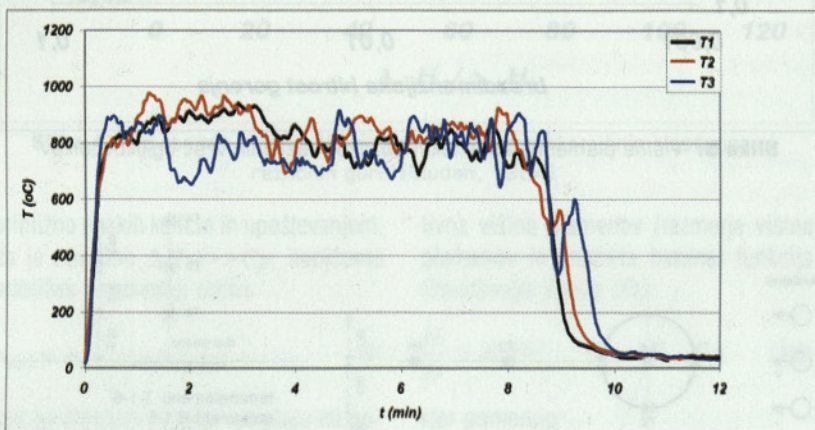
Slika 6: Shema priprave požarnega testa z lokacijo tipal na ponvi 300 cm



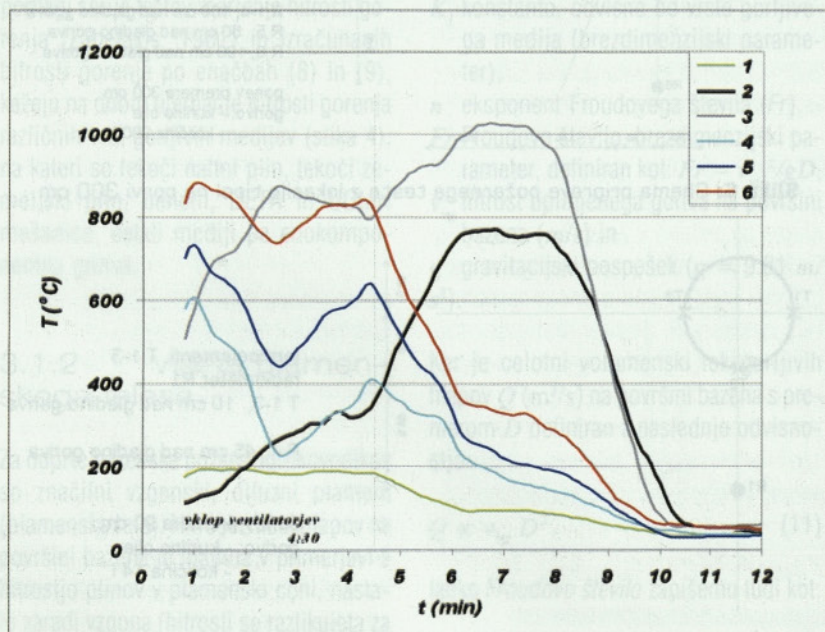
Slika 7: Shema priprave požarnega testa z lokacijo tipal na ponvi 90 cm



Slika 9: Razvoj temperatur plamenskega telesa ponve s premerom 90 cm z gorljivim medijem bencinom



Slika 10: Razvoj temperatur plamenskega telesa ponve s premerom 90 cm z gorljivim medijem kurilnim oljem



Slika 11: Razvoj temperatur plamenskega telesa ponve s premerom 300 cm z gorljivim medijem kurilnim oljem po posameznih mernih mestih



Slika 8: Plamensko telo požarnega testa v ponvi premera 300 cm

1957], [B.Hagglund, 1976] in deloma iz slike 2 je namreč razvidno, da lahko štejemo ponev s premerom 300 cm za kurišče takšnih dimenzij, kjer ne prihaja več do izrazitega spreminjanja obravnavanih požarnih karakteristik plamenskega telesa z naraščanjem premera ponve (hitrost gorenja je približno neodvisna od večanja premera ponve, podobno velja za razmerje H/D , premer ponve pa je tudi že zadosten, da plamen ni optično tanek). Zato lahko modelne enačbe z zadovoljivo zanesljivostjo uporabimo tudi na ponvah večjih premerov. Merili smo temperaturo plamenskega telesa, opazovali obliko in višino plamenskega telesa ter merili hitrost gorenja gorljivega medija. Shema postavitve tipal je razvidna iz slik 6 in 7, in sicer za test s 300 cm in za test z 90 cm ponvijo.

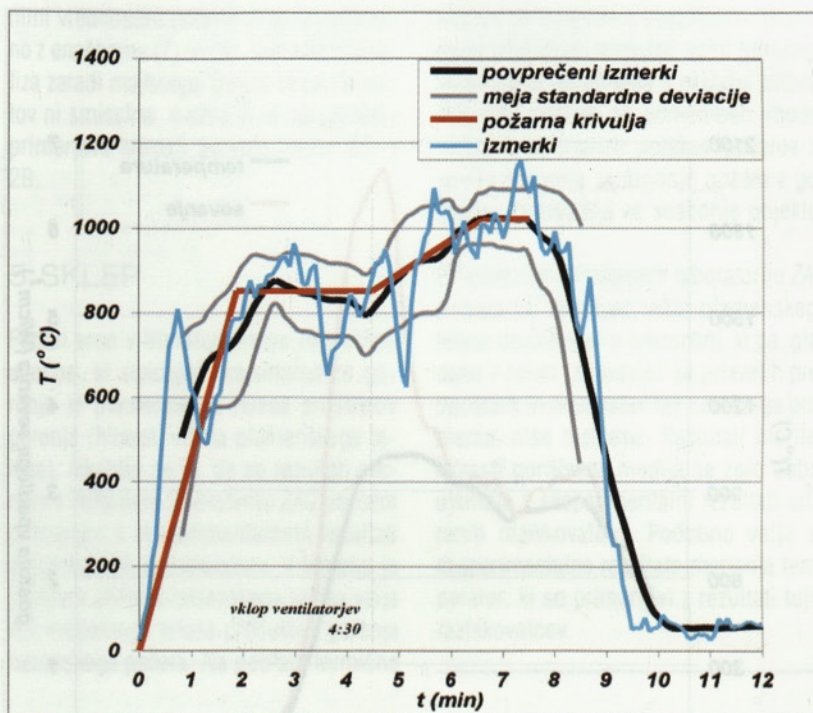
Na slikah 9 in 10 je prikazan razvoj temperatur plamenskega telesa ponve premera 90 cm. Temperature so bile merjene v sredini kurišča in na obodu kurišča 5 cm nad gladino gorljivega medija. Razvoj temperatur (bencin, kurilno olje) na ponvah s premerom 90 cm je tipičen za požarne krivulje tekočih ogljikovodikov. Očitna je tipična karakteristika hitrega dviga temperatur (prve minute požara) na določen temperaturni nivo polno razvite-

ga požara (800 °C do 1000 °C) in relativno hiter proces ohlajevanja.

Opazna je razlika med bencinom in kurilnim oljem. V prvem primeru je plato požarnih temperatur nižji za ≈ 100 °C, polnorazviti požar pa je krajši (≈ 5 minut) kot v drugem primeru, ko znaša trajanje polnorazvitega požara ≈ 8 minut. Različno trajanje polnorazvitega požara je v povezavi z različnimi hitrostmi gorenja gorljivega medija, kar potrjujejo izmerjeni rezultati hitrosti gorenja (preglednica 1). Kontura in velikost plamenskega telesa je v obeh primerih približno enaka. Požarni testi na večji ponvi premera 300 cm so bili posneti s filmsko kamero in IR kamero. Na osnovi definiranega tlorisa plamenskega telesa (kurišče - ponev) in na osnovi višine plamenskega telesa je bilo mogoče skonstruirati plamensko telo v obliki valja z izmerjeno povprečno temperaturo. Tako določeno plamensko telo (izmerjena višina valjev) je bilo mogoče primerjati z rezultati v literaturi [Hagglund, 1976] slika 14 in z enačbama (16) in (18). Diagrama na slikah 11 in 12 prikazujeta potek temperatur v plamenskem telesu v večih fazah poskusa pri poskusu s ponvijo premera 300 cm. Diagram na sliki 11 prikazuje razvoj temperatur na vseh šestih merjenih mestih, diagramu na sliki 12 pa razvoj temperature na mernem mestu 3. Temperature smo merili z večkanalnim univerzalnim merilnim sistemom s pomočjo termočlenov z majhno termalno maso.

Postavitev poskusa je razvidna iz slike 6. Izmerke smo obdelali z metodo plavajočega povprečja s povprečenjem po 20 izmerkov (1 minuta) in s korakom 1 izmerek. S tako obdelavo smo filtrirali fluktuacije, ki nastanejo zaradi izrazito turbulentnega značaja plamenskega telesa ter šum merilnega sistema, ohranili pa smo glavne značilnosti poteka temperature. Izmerjene temperature (sliki 11 in 12) so primerljive z eksperimentalnimi rezultati v literaturi [Mudan, 1984] in [Hagglund, 1976].

Na sliki 12 so povprečki prikazani s črno



Slika 12: Razvoj temperatur plamenskega telesa ponve s premerom 300 cm z gorljivim medijem kurilnim oljem na mernem mestu 3

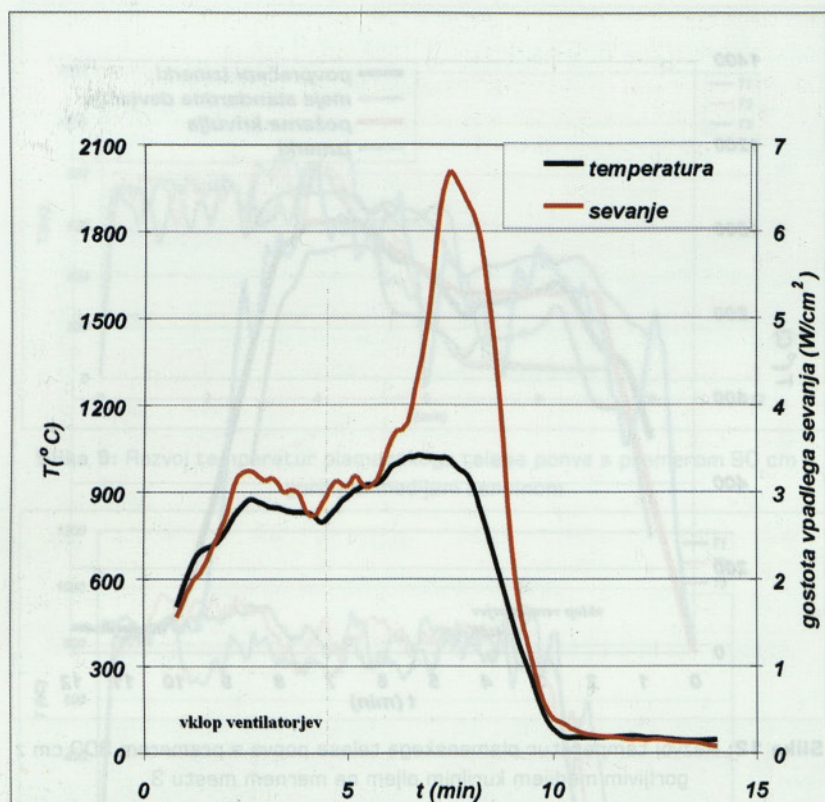
krivuljo. Modri krivulji podajata interval širine $\pm s$ okrog povprečne vrednosti za vsako izmed s povprečenjem izračunanih točk, kjer je s standardna deviacija v povprečenju zajetih izmerkov. Med poskusom smo izvedli dve fazi. V prvi fazi je bilo plamensko telo izpostavljeno naravnim okoliščinam, kjer sta prevladovala naravni veter s hitrostjo do 2 ms^{-1} (ocene temelji na spremljajočih pojavih – veter že občutimo, ni pa še premikanja listov na drevju), ki se je med poskusom pojavil, ter gibanje zraka zaradi vzgona. Konfiguracija merilnega mesta ni omogočala idealne kontrole zunanjih razmer (bližina stavb in drugih ovir ter rahla nagnjenost terena). V drugi fazi smo v opazovani sistem uvedli motnjo-zunanjí veter, ki smo ga simulirali z vklopom ventilatorjev na polovici predvidenega časa gorenja, to je po 4 minutah in 30 s eksperimenta. Curek ventilatorskega zraka je bil usmerjen v spodnji del plamenskega telesa.

Na sliki 10 je viden razvoj temperatur po posameznih mestih. Merno mesto 1 leži

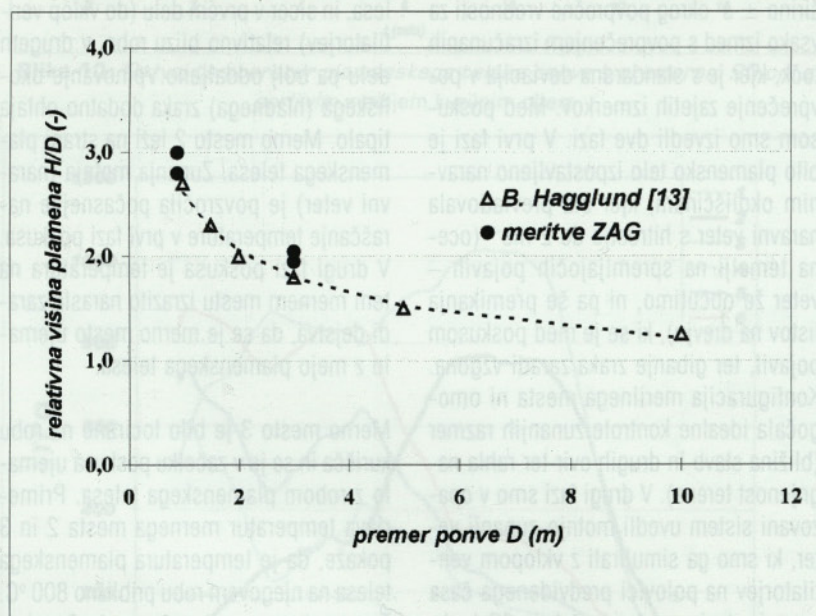
ves čas poskusa zunaj plamenskega telesa, in sicer v prvem delu (do vklop ventilatorjev) relativno blizu roba, v drugem delu pa bolj oddaljeno. Vpihovanje okoliškega (hladnega) zraka dodatno ohlaja tipalo. Merno mesto 2 leži na strani plamenskega telesa. Zunanja motnja (naravni veter) je povzročila počasnejše naraščanje temperature v prvi fazi poskusa. V drugi fazi poskusa je temperatura na tem mernem mestu izrazito narasla zaradi dejstva, da se je merno mesto ujemalo z mejo plamenskega telesa.

Merno mesto 3 je bilo locirano na robu kurišča in se je v začetku poskusa ujemalo z robom plamenskega telesa. Primerjava temperatur mernega mesta 2 in 3 pokaže, da je temperatura plamenskega telesa na njegovem robu približno 800 °C. Temperatura na mernem mestu 3 v drugem delu poskusa je višja kot v prvem preprosto zato, ker je merno mesto bolj v jedru izrazito turbulentnega plamenskega telesa.

Temperature na mernih mestih 4, 5 in 6



Slika 13: Primerjava razvoja temperature na mernem mestu 3 (črna krivulja) z razvojem gostote energijskega toka, merjenega na mestu R2 (rdeča krivulja)



Slika 14: Relativna višina plamenskega telesa (H/D) v primerjavi s premerom D

so temperature v osi kurišča na različnih višinah. Temperatura mernega mesta 6 v prvi fazi poskusa se približno ujema s temperaturo na robu plamena (merno

mesto 3, 1. faza, merno mesto 2, 2. faza). Vidimo tudi, da je temperatura v jedru hitreje narasla kot temperatura na obrobju plamenskega telesa. Zanimiv je

vertikalni profil temperature, kjer je očitno padanje temperature z višino, ter padec temperatur v drugi in tretji minuti poskusa. Padec je najmanjši na mestu 6, kjer je tudi sicer najvišja temperatura, večji pa je na mestih 4 in 5, kjer je temperatura sicer nižja. Ker pojav izrazito zasledimo le v osi, ne pa tudi na robovih plamenskega telesa, ne gre za zunanjo motnjo. Bolj verjetno je, da gre za padec temperature zaradi obdobja slabšega zgorevanja, ko se večina kisika porabi za gorenje že na obrobju, ki se je v tem času razvilo. Vertikalni profil poteka temperatur v osi kurišča (v prvem delu poskusa se približno ujema s povprečno osjo plamenskega telesa) lahko razložimo s pojavom turbulenc.

Le-te bi lahko povzročile mešanje vročih dimnih plinov z delno ohlajenimi dimnimi plini (zunaj področja žarečega jedra) in z zunanjim, hladnim zrakom. Splošno padanje temperatur v zadnjem delu diagrama predstavlja ugašanje plamena. Na diagramu na sliki 12 vidimo potek temperature na mernem mestu 3. Dodana je požarna krivulja (polna, rdeča črta), s katero lahko v grobem opišemo razvoj temperature plamenskega telesa. Požarna krivulja ima v grobem dva nivoja temperature, in sicer približno 850 °C v prvi, brezvetrni fazi, in približno 1000 °C v fazi z dodanim zunanjim vetrom. Standardna deviacija izmerkov, zajetih v eno točko, znaša tipično približno 80 °C.

Na sliki 13 vidimo primerjavo med temperaturo na mernem mestu 3 in sprejeto gostoto energijskega toka (W/cm^2) radiometra R2. Vidno je ujemanje dinamike temperature in sevanega toplotnega toka. Področje, kjer sevanje močno naraste, predstavlja obdobje, ko je plamensko telo zajelo radiometer, zato je gostota toplotnega sevanja narasla.

Na sliki 14 je prikazana odvisnost relativne višine (H/D) plamenskega telesa od premera (D) eksperimentalnih meritev testnih bazenskih požarov [Hagglund, 1976] skupaj z rezultati meritev v Požarnem laboratoriju ZAG. V obeh primerih je bilo kot

gorljiv medij uporabljeno kurilno olje. Pri manjši ponvi s premerom 90 cm ni razlik, pri večji ponvi s premerom 300 cm je opazna razlika med obema meritvama, pri čemer je bila izmerjena višina plamenskega telesa valja v požarnem laboratoriju za 10 % večja.

Višino plamenskega telesa med poskusom smo določili s pomočjo fotografskih posnetkov, vrh plamenskega telesa smo definirali kot najvišjo točko žareče ovojnice plamena. V dveh požarnih testih za vsako dimenzijo ponve smo primerjalno merili hitrost gorenja obeh gorljivih medijev bencina in kurilnega olja. Hitrost gorenja je definirana kot hitrost nižanja gladine gorljivega medija.

Rezultati meritev so prikazani v preglednici 1 in so primerljivi z eksperimental-

nimi vrednostmi (sliki 2 in 3) in posredno z enačbama (7) in (8). Statistična analiza zaradi majhnega števila eksperimentov ni smiselna, možna je le neposredna primerjava hitrosti gorenja testov 2A in 2B.

5. SKLEP

Podali smo v literaturi znane empirične enačbe, ki opisujejo karakteristike gorenja in plamenskega telesa produktov gorenja (hitrost, višina plamenskega telesa). Izkazalo se je, da so rezultati meritev v Požarnem laboratoriju ZAG povsem primerljivi z eksperimentalnimi rezultati citiranih tujih raziskovalcev. V temelju je potrjena oblika plamenskega telesa valja kot modelnega telesa produktov gorenja bazenskega požara. Na podlagi termične

analize in izmerjenih parametrov je mogoče izračunati termični vpliv gorečega rezervoarja na objekte v njegovi bližini. Rezultati analize so pomemben vhodni podatek za analizo potekov požarov in oceno tveganja za širjenje požara z gorečega rezervoarja na sosednje objekte.

Pri poskusih v Požarnem laboratoriju ZAG prihaja pri meritvah višin plamenskega telesa do določenih odstopanj, ki pa, gledano v celoti, zavedajoč se privzetih predpostavk in poenostavitve celotnega problema, niso bistvene. Rezultati meritev hitrosti gorljivega medija se zelo dobro ujemajo z eksperimentalni rezultati citiranih raziskovalcev. Podobno velja za eksperimentalne rezultate merjenja temperatur, ki so primerljivi z rezultati tujih raziskovalcev.

	Test	Prerez (m ²)	Gorljivi medij (dm ³)	Čas gorenja (min)	Hitrost gorenja (mm/min)	(m)
1.	Ponev 1A	0.64	Bencin, 14	4.5	4.82	2.7
2.	Ponev 1B	0.64	Kurilno olje 14	6.8	3.23	2.5
3.	Ponev 2A	7.07	Kurilno olje 200	9.4	2.98	6.1
4.	Ponev 2B	7.07	Kurilno olje 220	9.6	3.24	5.9

Preglednica 1: Hitrost gorenja gorljivih medijev in višina plamenskega telesa

LITERATURA

- Blinov V.I. and Khudiakov G.N., Certain Laws Governing Diffusive Burning of Liquids, *Accademia Nank*, SSSR Doklady, pp. 1094-1098, 1957.
- Burgess D.S., Strasser A., and Grumer J., Diffusive Burning of Liquid Fuels in Open Trays, *Fire Res. Abs. and Rev.*, 3, p. 177, 1961.
- Grumer J., Strasser A., Kubala T., and Burges D.S., Uncontrolled Diffusive Burning of Some New Liquid Propellants, *Fire Res. Abs. and Rev.* 3, p. 159, 1961.
- 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.
- Kreith F., *Thermal Engineering*, CRC Press, Springer, 2000.
- Markstein G.H., Radiative Energy Transfer from Turbulent Diffusion Flames, *Comb. and Flame*, 27, pp. 51-63, 1976.
- Moorhouse J., Scaling Criteria for Pool Fires Derived from Large-Scale Experiments, *I. Chem. Sym.*, 71, pp. 165-179, 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.
- Zabetakis M.G. and Burgess D.S., Research in Hazards Associated with the Production and Handling of Liquid Hydrogen, U.S. Bureau of Mines Report, *RI 5707*, 1961.

VEČNAMENSKA AKUMULACIJA RIŽANA

MULTIPURPOSE IMPOUNDING RESERVOIR OF THE RIŽANA REGION

STROKOVNI ČLANEK

UDK 627.12 : 628.11

JOŽE GUŠTIN

P O V Z E T E K Obala in Kras imata štiri regijske vodovode: rižanski, kraški, postojnski in ilirskobistriški. Razen rižanskega se ta vodovodna omrežja napajajo samo iz lastnih virov. Sedanji in perspektivni viri za te vodovode so: izvir Rižana s kraško podtalnico, kraška in posoška podtalnica ob Brestovici, izvir Malni s kraško podtalnico in ilirskobistriški viri. Vsi ti vodni viri so perspektivni. Rižanski vodovod je dogradil dolgoročni vitalni del vodovodnega sistema. Ostal je nedograjen dolgoročni odjem na izviru Rižane. V tem prispevku je obdelan dolgoročni odvzem vode na Rižani in dopolnilne ter varnostne navezave med vodovodnimi sistemi te regije.

S U M M A R Y The Slovenian Coast and the Karstic region have four regional waterworks: of Rižana, of the Karst, of Postojna and of Ilirska Bistrica. These waterworks, with the exception of the waterworks of Rižana, are supplied exclusively from their local water resources. Actual and possible long term water supplies for these waterworks are: the Rižana spring including underground water, Karstic and Soča River's underground water near Brestovica, the spring Malni with its own Karstic underground and several springs in the Ilirska Bistrica region. The waterworks of Rižana has added part of a long term system to the main waterworks, while the water capture system at Rižana spring should still be completed. This paper describes a possible way to capture water from the spring Rižana for a long term water supply including the indications on utilities and safety connections necessary between the waterworks in the region.

Avtor:

Jože Guštin, univ. dipl. inž. grad., Bidovčeva 14, 6000 KOPER

1. UVOD

Kam po vodo za Obalo? To je stalnica, ki se nadaljuje že nekaj desetletij. Nove ideje se pojavljajo in stare se ponavljajo. Temo je potrebno nenehno obnavljati in dopolnjevati.

Na podlagi rezultatov hidrogeoloških ra-

ziskav na Obali konec šestdesetih let prejšnjega stoletja smo spoznali, da glavnina vode za perspektivno rabo na Obali teče po strugi Rižane. To pa je nemogoče bolje izkoristiti ne da bi zadrževali visoke vode. Prva zamisel o površinskem zadrževalniku je nastala konec šestdesetih let. To je bila zamisel o nadzemnem zadrževalniku na potoku Rakovec pod

Kubedom, ki naj bi imel prostornino 5 mio m³. Ta zbiralnik naj bi rabil za pokrievanje biološkega minimuma ob suši v strugi Rižane. Leta 1964 je avtor predlagal zbiralnik v dolini Predloke ali Griže s prostornino 11 mio m³ ali 7,4 mio m³, ki naj bi pokrival biološki minimum v strugi Rižane ob uporabi izvira Rižane za potrebe vodooskrbe. Od tedaj je bila ta lo-

kacija sprejeta v prostorske akte Občine Koper kot rezervat za vodooskrbo.

Okrog leta 1980 so se izvajale hidrogeološke raziskave na območju izvira Rižane [Krivic, 1982-1988]. Te raziskave so pokazale, da je možno realizirati nadzemni zbiralnik nad samim izvirom reke Rižane. Tako je nastal predlog, da se akumulaciji Predloka pridruži še akumulacija Izvir z dolinsko pregrado ob zaselku Žgani. Ta akumulacija naj bi imela prostornino 32,3 mio m³. Za obe akumulaciji je predvidena maksimalna gladina na koti 110 m.n.m. Ob gradnji magistralnega cevovoda Izvir - vodarna Rižana Ø 1400 mm je bila zaradi koriščenja mednarodnega kredita dana prednost navezavi na vodni vir Brestovica preko kraškega vodovoda in na izvir Malni na Planinskem polju.

V devetdesetih letih je prišlo do povezave vodarne Rižana s kraškim vodovodom ob Rodiku s cevovodom Ø 500 mm. Takrat je bila izdelana tudi dokumentacija za gradnjo akumulacije Kubed prostornino 5 mio m³. Ta gradnja naknadno strokovno ni bila sprejeta.

Rižanski vodovod nujno potrebuje nove kapacitete za kritje sušnega primanjkljaja. V prispevku bomo prikazali dodatni predlog zadrževalnika visokih voda v dolini Rižane, ki se lahko uvrsti v izbiro ob že predloženih rešitvah. V [Guštin, 1989] je opisana vodna bilanca in ekonomska primerjava med raznimi variantami.

2. AKUMULACIJA GRIŽA IN RIŽANA

2.1 SPLOŠNO

V članku [Guštin, 1989] je prikazana možna rešitev zbiralnika visokih voda izvira Rižane v dveh akumulacijah Izvir in Predloka, ki sta medsebojno povezana z vodno gladino na koti 110 m.n.m. Zbiralnik Predloka se lahko izloči kot samostojni zbiralnik, ki naj bi bil ob onesnaženju izvira Rižane varnostni vir za oskrbo z

vodo do normalizacije stanja na osnovnem viru.

Obdelana je tudi vodna bilanca izdatnosti izvira Rižane in sušni primanjkljaj, ki bi ga bilo potrebno nadomestiti z umetnimi zadrževalniki visokih voda.

V tem prispevku bomo prikazali tudi rešitev istega problema na enakem principu z akumulacijama Griža in Rižana. Lokacijo obeh akumulacij kaže slika 1.

2.1.1. Akumulacija Griža

Akumulacija Griža naj bi se gradila v stranskem rokavu rižanske doline nad potočkom Žanestra. V tej dolini ni nobenih aktivnosti razen kamnoloma gradbenega podjetja Primorje, ki ima omejeno dovoljenje za odkop apnenca. V tej dolini ne potekajo ne prometni ne drugi energetski in komunalni koridorji in je primeren za namestitev akumulacije. Ta dolina lahko nadomesti ovrženo akumulacijo Kubed in rabi za prvo etapo reševanja stiske Rižanskega vodovoda, to je od 2005 do 2015. Z dograditvijo osnovne akumulacije Rižana pridobi akumulacija Griža funkcijo varovalne akumulacije, kot bi jo imela v prej navedeni rešitvi akumulacija Predloka.

Za akumulacijo niso potrebne dolge priprave za poseg v prostor in se jo da hitro realizirati najkasneje do 2005. Z nabrano vodo v zbiralniku se da prebroditi čas priprave in gradnje osnovne akumulacije Rižana. Gospodarno bi bilo graditi samo akumulacijo Rižana, vendar bi morala biti ta zgrajena do leta 2005. Tako hitra gradnja pa ni verjetna, tudi če bi imeli dovolj sredstev.

2.1.2. Prostorska namestitev akumulacije

Dolina se nahaja ob Mostičju, na levi strani doline Rižana na razdalji 50 m od struge Rižana. Dolina se začne s sotesko dolgo 350 m in globoko 85 m. Na dnu je

soteska široka povprečno 30 m in na vrhu 350 m. Na koncu soteske se odpre ozka dolina levo in desno v dolžini 1300 m in povprečni širini 200 m. V soteski doline je možna graditev nasute pregrade, ki bi bila visoka 80 m, v kroni pa bi bila dolga 350 m. Kota dna zbiralnika ob pregradi bi znašala 75 m n.m., maksimalna zajezeitev je možna do kote 145 m n.m.

Maksimalna bruto prostornina bi znašala 7,5 mio m³ vode, kar je za nekaj milijonov več kot v akumulaciji Kubed (5,0 mio m³).

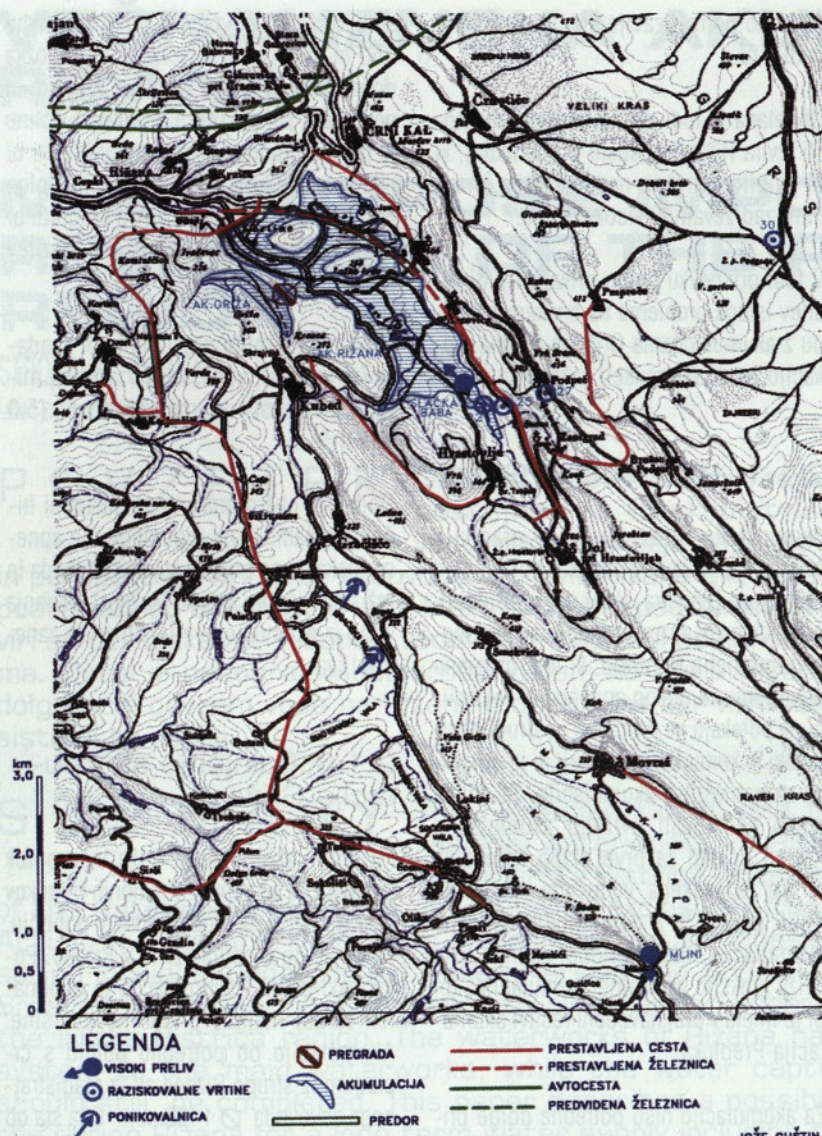
Dolina je obkrožena z neprepustnimi flišnimi skladi, le na jugozahodu je apnenca laska, ki se prikaže iz smeri Kubeda in leži nad flišnimi skladi. Možnost uhajanja vode iz akumulacije v tej smeri je zanemarljiva.

2.1.3. Polnjenje akumulacije Griža

Po dolini akumulacije Griža teče potok Žanestra, ki se napaja iz majhnih izvirkov iz sklada fliša na jugozahodnem pobočju. Potok se ob Mostičju zliva v Rižano. Površinski dotok v akumulacijo je minimalen zaradi majhne prispevne površine. Akumulacijo bo potrebno polniti s črpanjem iz struge Rižane ali iz magistralnega cevovoda Ø 1400 mm. Oba sta ob predvideni pregradi. Zaradi zmanjšanja stroškov črpanja je možno iz potoka Rakovca pod Kubedom speljati po 700 m dolgem kanalu vodo v akumulacijo Griže. Na ta račun bi dobili letno v akumulacijo 1,5 mio m³, ki bi zmanjšala količino letno prečrpane vode za polnjenje.

2.1.4. Odjem iz akumulacije Griže

Vodo iz nabiralnika se bo jemalo ob nizki izdatnosti izvira za kritje biološkega minimuma v strugi Rižana in za dopolnjevanje primanjkljaja na izviru za potrebe vodooskrbe. Biološki minimum se izpušča v reko preko obstoječega cevovoda.



Slika 1: Lokacija akumulacije Rižana in Griža

voda Ø 500 mm ob sifonu pri motelu. Količine vode za vodno oskrbo se dodaja v cevovod Ø 1400 mm. Ob dograditvi zbiralnika Rižana se bo voda izkoriščala toliko, kolikor bi rabila za obnovo shranjene vode. Akumulacija mora biti vedno polna zaradi intervencije v primeru težav z odjemom v glavnem zbiralniku.

2.2. AKUMULACIJA RIŽANA

2.2.1. Prvotne zamisli

Spoznanje, da so potrebe po vodi za

vodooskrbo in vzdrževanje biološkega minimuma v strugi reke Rižane večji od sušne izdatnosti izvira Rižane (0,3 m³/s), je narekovalo iskanje prostora za shranjevanje presežkov visokih voda. Iz tega so nastali predlogi zajezev doline pod Kubedom in Predloke. Hidrogeološke raziskave v zaledju izvira so pokazale možnost za zbiralnik vode v strugi Rižane s potapljanjem izvira. Pretehtane so bile možnosti pregrade nad izvirom, pod izvirom ob motelu in ob Žganih skupaj z ločeno akumulacijo Predloke [Guštin, 1989]. V tem prispevku bomo obdelali predloge gradnje ene same pregrade ob stroških po izgradnji pregrade Griža.

2.2.2. Hidrogeološka slika

Zapletenost geološke zgradbe in hidrogeoloških razmer je možno dognati le z dolgotrajnimi in dragimi hidrogeološkimi raziskavami. Z dosedanjimi raziskavami se je ustvarila groba slika obstoječega stanja (slika 2). Južno od črte tektonske prelomnice Kubed - Loka, ki poteka preko izvira, ni podtalne vode in le v večjih globinah pridemo do omejenih količin geološke vode (to je juvenilna voda, ki nastane iz magme in pride prvič v obtok). Ti predeli so neprepustni za vodo in prikladni za postavitev pregrad in zbiralnika. Vzhodno od te prelomnice je geološka zgradba, ki je nastala po več serijah tektonskih aktivnosti. Tu se sloji neprepustnega fliša in razpokanega prepustnega apnenca izmenjujejo v več smeri. V preteklosti je prelivni prag izvira Rižane potekal znatno višje od sedanjega. Voda je odnašala mehki fliš in poglobljala dolino Rižane.

Zaradi tega so v ozadju izvira v smeri Slavnika nastali trije nizki nivoji kraške podtalnice:

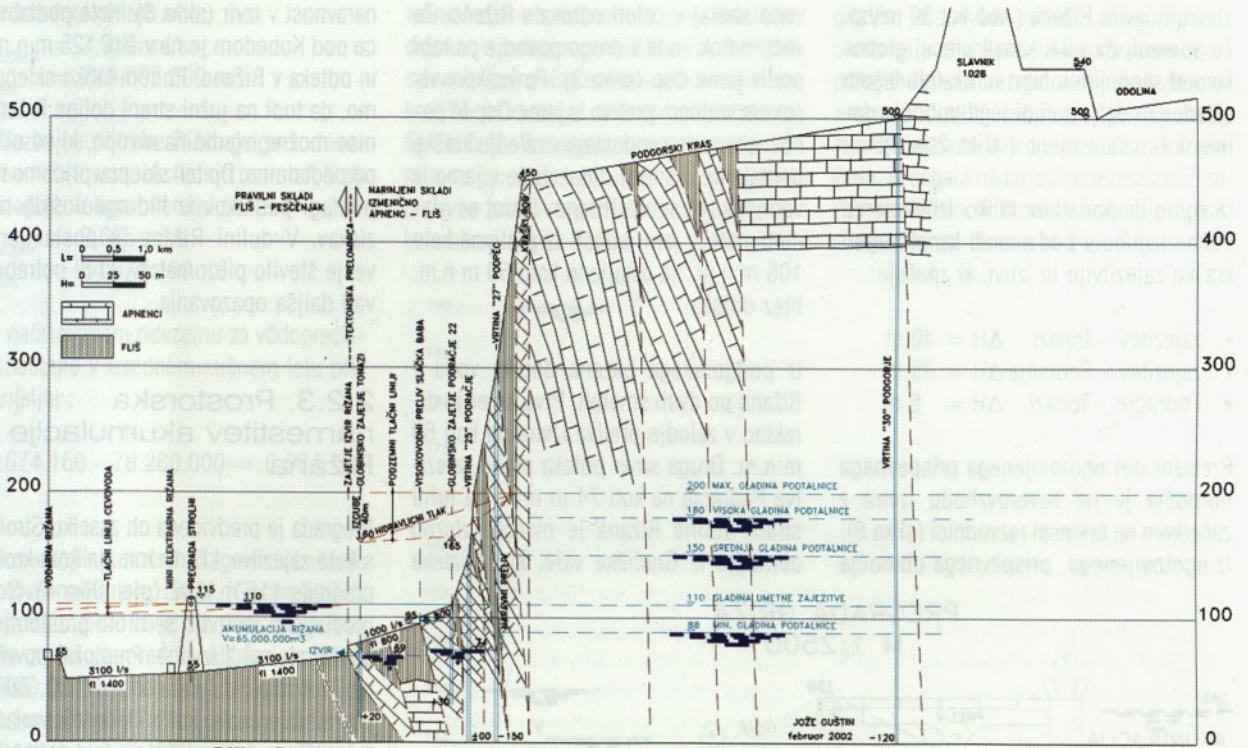
- Za izvirom na koti 69 m n.m.
- Ob visokovodnem prelivu Slačka baba na koti 74 m n.m.
- Pod Kraškim robom ob Podpeči na koti 88 m n.m.

Ta višji nivo se razteza pod Podgorsko planoto proti Slavniku. Ob bogatem deževju se voda na najvišjem horizontu dvigne od kote 150 m n.m. do kote 200 m n.m. To pomeni, da se nivo dvigne za maks. 112 m.

Ob najvišjih vodostajih, ki nastopijo samo nekajkrat letno, se aktivirajo za kratek čas visoki kraški prelivni:

- Slačka baba, kota 95 m n.m. v Podračju
- Jama Osp, kota 105 m n.m.
- Mlini, kota 150 m n.m. na hrvaški meji proti Buzetu, ki nima direktne zveze s povodjem Rižane.

V času aktivnosti visokih bruhalnikov je



Slika 2: Podolžni profil vodnega sistema Vodarna Rižana – kraška podtalnica

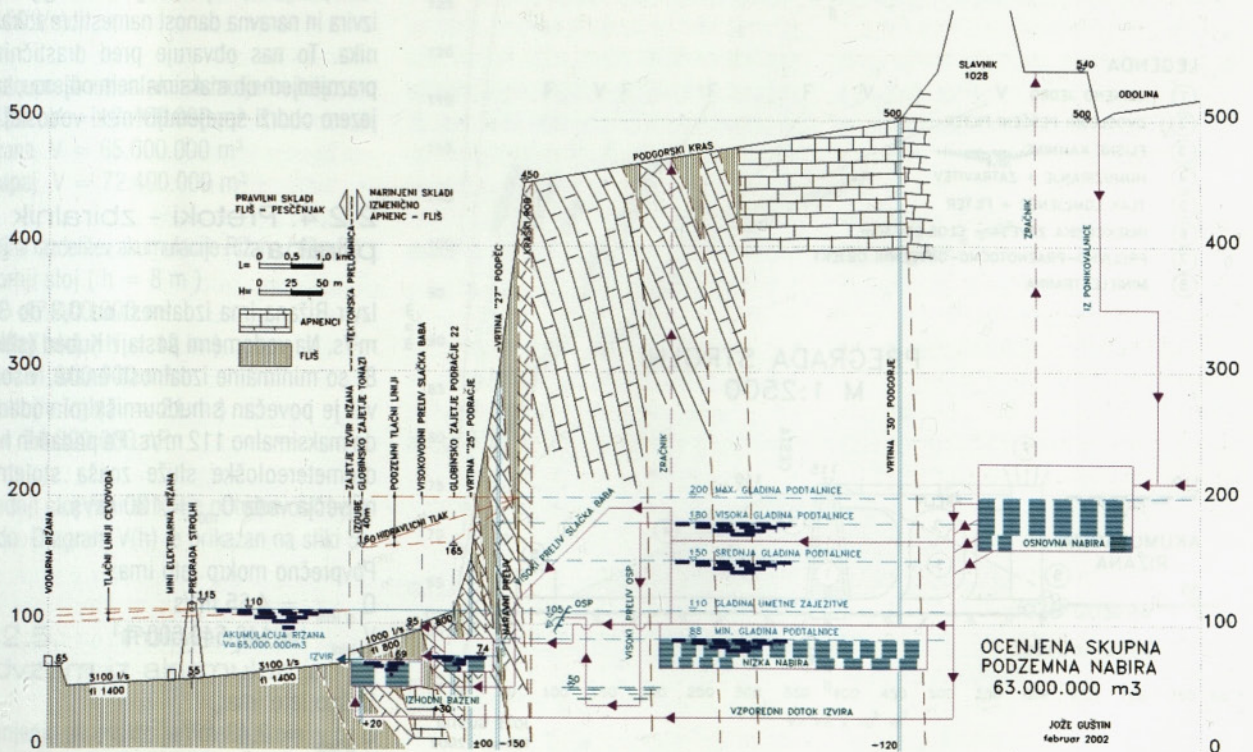
v zajetih vrtnah izmerjen naslednji tlak:

- Tonazi, 80 m v.s.
- Podračje, 65 m v.s.

Nivo vode se v zajetih vrtnah dvigne na koto:

- Tonazi, 160 m n.m.
- Podračje, 165 m n.m.

Ob višjih vodostajih kraške podtalnice voda izteka iz podzemnih kanalov samo na omenjenih visokovodnih prelivih in na



Slika 3: Verjetni shematski hidravlični prerez sistema Rižana - Brkini

J. GUŠTIN: Večnamenska akumulacija Rižana

stalnem izviru Rižana (več kot $30 \text{ m}^3/\text{s}$). To pomeni, da so ti kanali precej globoko pod spodnjim robom vertikalnih flišnih skladov in da je zaradi tega pobočje doline dobro zatesnjeno (slika 2 in 3).

Iz zgornjih podatkov lahko izračunamo tlačne izgube v podzemnih kanalih med kraško zajezitvijo in izlivi, ki znašajo:

- zajezitev - Tonazi $\Delta H = 40 \text{ m}$
- zajezitev - Podračje $\Delta H = 35 \text{ m}$
- Podračje - Tonazi $\Delta H = 5 \text{ m}$

Pretežni del ugotovljenega prispevnega območja je na severovzhodu izvira z začetkom na brkinski razvodnici (slika 8). Iz ugotovljenega prispevnega območja

voda skoraj v celoti odteka v Rižano. Za večji odtok vode v drugo povodje pa rabi preliv jame Osp (slika 3). Po vsakem visokem vodnem prelivu iz jame Osp in ponovnem padcu vodostaja v zaledju kraške podtalnice preneha dotok vode v jamo iz vodnega zbiralnika Rižane. Takrat se gladina vode v jami spusti iz prelivne kote 105 m n.m. na ustaljeno koto 50 m n.m. brez dotoka.

Iz podgorskega bazena doteka voda v Rižano po dveh smereh. Prva smer je direktno v zaledje preliva izvira na koti 69 m n.m. Druga smer poteka preko zajezitve Podračja na koti 74 m n.m. Na južni strani doline Rižana je manjše zbirno območje iz Gračiške vale, ki se izteka

naravnost v izvir (slika 8). Kota podtalnice pod Kubedom je na višini 125 m n.m. in odteka v Rižano. Po tem lahko sklepamo, da tudi na južni strani doline Rižane niso možne izgube na nivojih, ki so nižji od podtalnice. Do teh sklepov pridemo na podlagi podatkov iz hidrogeoloških raziskav. V dolini Rižane je postavljeno večje število piezometrov, ki bi potrebovali daljša opazovanja.

2.2.3. Prostorska namestitve akumulacije Rižana

Pregrada je predvidena ob zaselku Strolhi s koto zajezitve 110 m n.m. in koto krone pregrade 115 m n.m. (glej sliko 4). S to predlagano rešitvijo se bruto prostornina od 43 mio m^3 (Izvir + Predloka) poveča na $72,4 \text{ mio m}^3$ (Rižana + Griže). Zalita površina je enaka kot pri prejšnji varianti z dodatkom doline Griža in dela doline od Žganov do Strolkov. Dolžina jezera bi znašala $4,0 \text{ km}$, širina pa povprečno $0,8 \text{ km}$. V tej izvedbi se velikost in zmogljivost akumulacije ne opira na analizo potreb, temveč na to, kaj nam nudi zmogljivost izvira in naravna danost namestitve zbiralnika. To nas obvaruje pred drastičnim praznjenjem ob maksimalnem odjemu, saj jezero obdrži sprejemljiv nizki vodostaj.

2.2.4. Pretoki - zbiralnik - poraba

Izvir Rižana ima izdatnost od $0,3$ do $30 \text{ m}^3/\text{s}$. Na vodomerni postaji Kubed (slika 8) so minimalne izdatnosti enake, visoki val je povečan s hudourniškimi vodami do maksimalno $112 \text{ m}^3/\text{s}$. Po podatkih hidrometeorološke službe znaša stoletna največja voda $Q_{100} = 130 \text{ m}^3/\text{s}$.

Povprečno mokro leto ima:

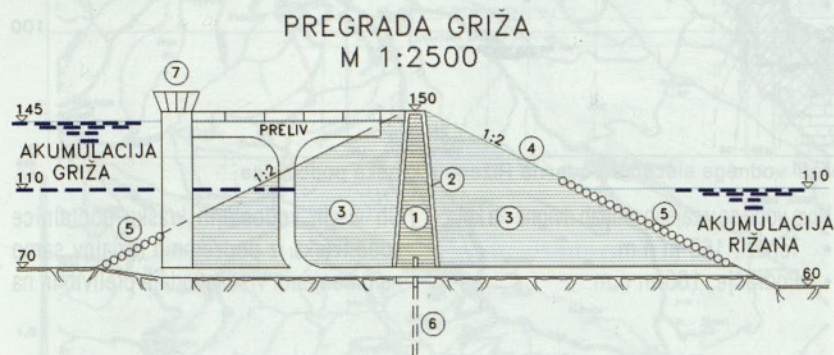
$$Q_{\text{sr.letni}} = 4,65 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{\text{letni}} = 146.549.000 \text{ m}^3$$

Sušno leto ima:

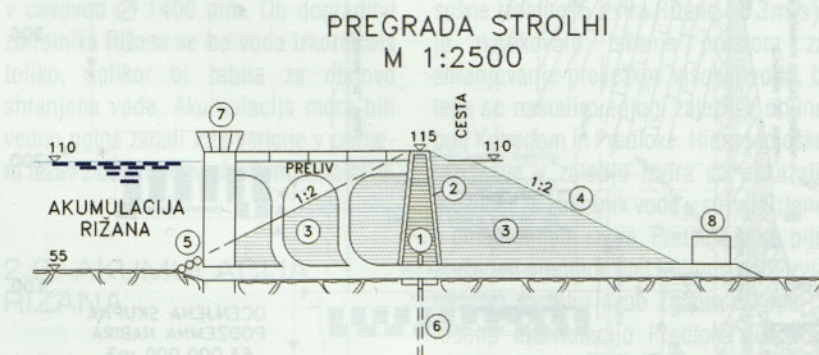
$$Q_{\text{sr.letni}} = 2,48 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{\text{letni}} = 78.270.000 \text{ m}^3$$



LEGENDA

- 1 GLINENO JEDRO
- 2 DVOSLOJNI PEŠČENI FILTER
- 3 FLIŠNE KAMNINE
- 4 HUMUZIRANJE + ZATRAVITEV
- 5 TLAK LOMLJENEC + FILTER
- 6 INJEKCIJSKA ZAVESA - GLOB. 20-30m
- 7 PRELIVNO-PRAZNOTOČNO-ODVZEMNI OBJEKT
- 8 MINIELEKTRARNA



JOŽE GUŠTIN
februar 2002

Slika 4: Prečna prereza pregrad

Izredno mokro leto ima :

$$Q_{\text{izr. letno}} = 7,910 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{\text{letni}} = 249.603.000 \text{ m}^3$$

Za razvojne potrebe Rižanskega vodovoda so načrtovane naslednje potrebe, ki so usklajene s kapacitetami izvira :

$$Q_{\text{sr. letni}} = 2,685 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{\text{letni}} = 84.674.160 \text{ m}^3$$

Pri načrtovanem odvzemu za vodopreskrbo nastane v izrednem sušnem letu pri manjkljaj :

$$84.674.160 - 78.280.000 = 6.604.160 \text{ m}^3$$

Iz dosedanjih pretočnih diagramov izvira je ugotovljeno [Guštin, 1988], [Guštin, 1989], da potrebujemo za kritje deficita izvirne vode za tri zaporedna sušna leta okoli 30.000.000 m³ iz akumulacije. Iz gornjih načrtovanih količin za bodočih 50 let se lahko krije tudi biološki minimum Rižane. Vodomer na postaji Kubed je ca. 900 m nizvodno od izvira Rižane. V hidrograme vodomerne postaje Kubed, ki so osnova za te izračune, ni zajet redni odjem vode za potrebe Rižanskega vodovoda Koper (100 - 150 l/s).

Bruto prostornina akumulacije bi bila:

$$\text{Griza } V = 7.400.000 \text{ m}^3$$

$$\text{Rižana } V = 65.000.000 \text{ m}^3$$

$$\text{Skupaj } V = 72.400.000 \text{ m}^3$$

Slojna razdelitev akumulacije Rižana (slika 6) :

$$\text{zgornji sloj (} h = 8 \text{ m)}$$

$$V = 17.400.000 \text{ m}^3$$

$$\text{srednji sloj (} h = 12 \text{ m)}$$

$$V = 31.000.000 \text{ m}^3$$

$$\text{spodnji sloj (} h = 31 \text{ m)}$$

$$V = 24.000.000 \text{ m}^3$$

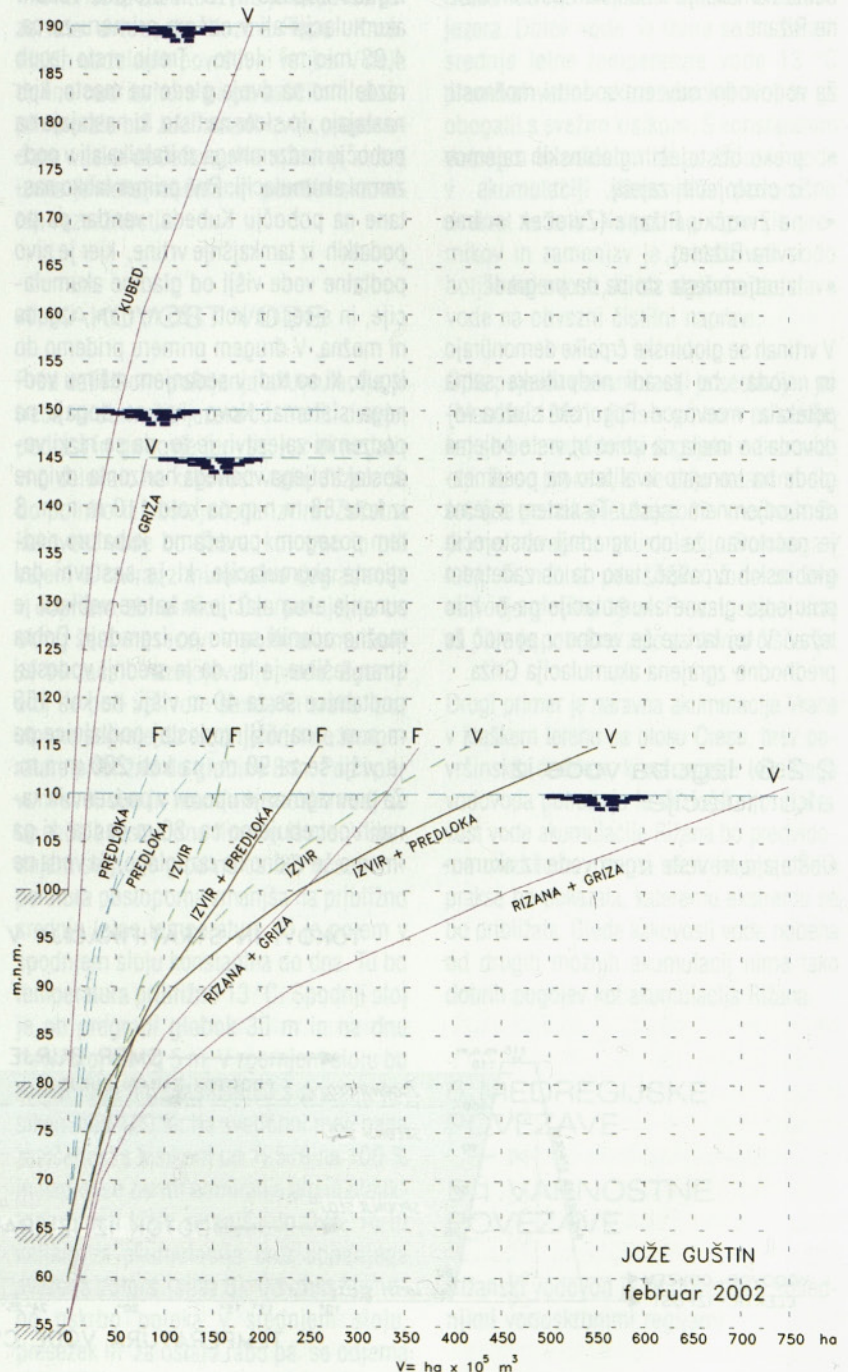
Srednji sloj rabi za kritje potrebe oskrbe z vodo. Diagram V(h) je prikazan na sliki 5.

2.2.5. Polnjenje in odvzem iz akumulacije

Polnjenje akumulacije poteka skoraj v celoti preko izvira iz kraške podtalnice, le

manjši del ob deževju iz površinskega dotoka. V sušnem obdobju prihaja dotok samo iz izvira. Ob izredno visoki vodi na koti 95 m n.m. je aktiven tudi iztok na Slački babi. Z dvigom nivoja nad koto 88 m n.m. bo voda zalila vse tri podzemne prelivne pragove podtalnice do prelivne kote akumulacije 110 m n.m. Ob tej koti

gladine jezera voda odteka v strugo Rižane samo na prelivni pregradi na izpustu. Na polnjena akumulacija zalije vso dolino skupaj s črpališčem Podračje. Na sredi jezera ostaneta dva otoka Loško brdo in Brdo, ki segata nad gladino jezera za 56 m oziroma 63 m. V Predloki ostane polotok s cerkvijo sv. Janeza in župniščem. Od-



Slika 5: Diagram vodnih površin in prostornin akumulacij

J. GUŠTIN: Večnamenska akumulacija Rižana

vzem vode iz akumulacije za potrebe Rižanskega vodovoda bo odtekal po novem magistralnem cevovodu $\varnothing$ 1400 mm. Preko starega cevovoda $\varnothing$ 500 mm bo možen odjem za namakanje doline Rižane in industrijo v luškem bazenu. Na izpustu bo odjem za biološki minimum struge Rižane, škocjanskega akvatorija in za dodatno namakanje kmetijskih površin doline Rižane.

Za vodovodni odvzem bodo tri možnosti:

- preko obstoječih globinskih zajemov iz obstoječih zajetij,
- na Zvročku Rižane (Zvroček = ime izvira Rižane),
- iz odjemnega stolpa na pregradi.

V vrtinah se globinske črpalke demontirajo in voda bo zaradi nadpritiska sama odtekala v cevovod. Pogonska služba vodovoda bo imela na izbiro tri vrste odjema glede na trenutno kvaliteto na posameznem odjemnem mestu. Ta sistem zajema je načrtovan že ob izgradnji obstoječih globinskih črpališč, tako da ob začetnem polnjenju glavne akumulacije ne bi bilo težav. V tej fazi je še vedno v pomoč že predhodno zgrajena akumulacija Griža.

2.2.6. Izguba vode iz akumulacije

Obstajajo tri vrste izgub vode iz akumu-

lacije:

- izhlapevanje z gladine,
- pronicanje v zaliti teren,
- izguba v razpokanem apnencu.

Prvi dve vrsti izgub sta neizbežni in se lahko združita, ker nastajata približno na isti površini. V praksi se računa, da na te izgube odpade 1,15 m stolpca vode v akumulaciji ali v našem primeru za ca. 4,03 mio m³ letno. Tretjo vrsto izgub razdelimo na dve glede na mesto, kjer nastajajo, in sicer na tiste, ki nastajajo na pobočju nadzemnega zbiralnika ali v podzemni akumulaciji. Prvi primer lahko nastane na pobočju Kubeda, vendar pa po podatkih iz tamkajšnje vrtine, kjer je nivo podtalne vode višji od gladine akumulacije, in sicer na koti 125 m n.m., izguba ni možna. V drugem primeru pridemo do izgub, ki so tudi v sedanjem režimu vodnega sistema. Novo, kar se dogaja na podzemni zaježitvi, je to, da se nizki vodostaj tretjega vodnega horizonta dvigne iz kote 88 m n.m. na koto 110 m n.m. S tem posegom povečamo kubaturo podzemne akumulacije, ki je sestavni del zunanje akumulacije in katere velikost je možno oceniti samo po izgradnji. Dobra stran rešitve je ta, da je srednji vodostaj podtalnice še za 40 m višji, na koti 150 m n.m., najvišji vodostaj podtalnice pa je višji še za 90 m, na koti 200 m n.m. Za premagovanje uporov v podzemnih kanalih potrebujemo ca. 20 m padca, ki ga imamo še vedno na razpolago, da voda ne

bi v večji meri odtekala na visoke prelive. V najslabšem primeru je možno preliv na pregradi znižati, ker bi z upoštevanjem podzemnega zbiralnika celotne količine bile še vedno v okviru prostornine planiranega nadzemnega zbiralnika. Minimalna gladina zaježitve brez upoštevanja podzemnega zbiralnika bo na koti 100 m n.m., tako da se gladina zaradi sušnega odjema zniža za 10 m. To minimalno znižanje bo ob maksimalnem odjemu obdržalo prijeten videz jezera in ravnovesje flore in favne v njem.

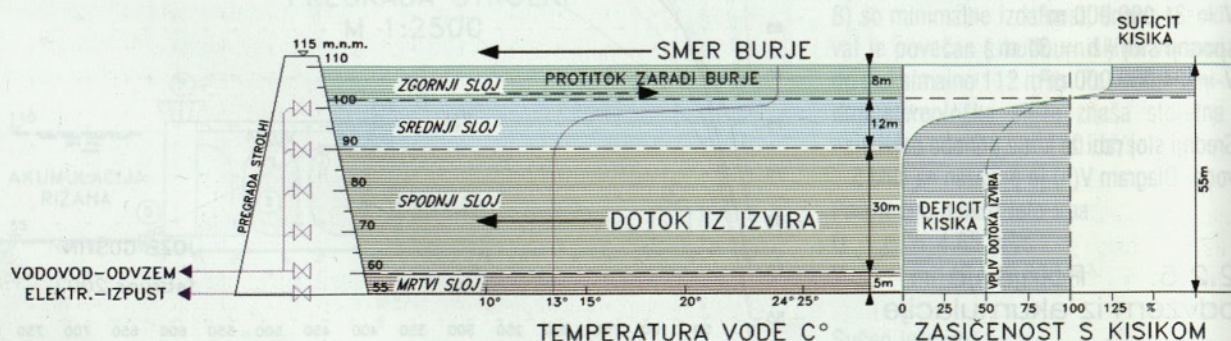
3. OVIRE IN PREMEŠTITVE V OBMOČJU AKUMULACIJE

SedANJI uporabniki prostora, kot so obstoječe stanovanjske hiše, opuščeni mlini, železnica, prašičja farma in podobno so prostor zasedali večinoma stihijski tako da so lahko zadovoljili lastne potrebe, brez načrtovane izrabe prostora,

Seznam prostorskih ovir:

- 40 raznih hiš
- cerkev sv. Marije ob izviru
- motel
- železnica
- cesta Črni kal - Sočerga
- cesta v Hrastovlje
- cesta za Loko
- kmetijske površine

TOKOVI IN STRATIFIKACIJA V AKUMULACIJI



Slika 6: Tokovi in stratifikacija v akumulaciji

Ob gradnji vsake večje akumulacije se srečamo z naseljeno dolino. V dolini Rižana problem ni tako akuten, ker so naselja na višjih legah po pobočju. V dolini je ostalo manjše število hiš zaradi nekdanjih mlinov ali bližine vode. Te hiše potrebujejo nadomestno lokacijo. Cerkev sv. Marije se lahko preseli na enega od novonastalih otokov sredi jezera Brdo ali Loško Brdo in popestri ambient. Motel ob izviru se kot nerentabilen objekt odstrani brez večje škode.

Železnica ogroža jezero in podtalnico na celotnem poteku preko rezervata. Če ne pride prej do realizacije drugega tira železnice z navezavo na mednarodni koridor, je treba narediti korekcijo trase in jo delno spraviti v predor pod akumulacijo. Po izgradnji drugega tira se zaradi zaščite izvira ta trasa Prešnica - Koper opusti in uporabi lahko eventualno kot lokalna cesta in rekreacijska kolesarska pot.

Cesta Črni Kal - Sočerga je regionalna cesta meddržavnega pomena. Ta cesta poteka v ožjem in najožjem varstvenem pasu izvira. Ta cesta bi po določitvi varstvenih pasov izvira Rižane morala biti na določenih odsekih zaprta za ves promet. Nova regionalna cesta se spelje po robu varovanega območja Rižane. Začne se 250 m nižje od obstoječega odcepa republiške ceste Kozina - Rižana. Prehod čez dolino Rižana bo speljan po pobočju pregrade Strolhi na koti 110,0 m n.m. Po prehodu doline se cesta usmeri proti dolini Martezina in pride skozi predor Mohoreče 900 m v dolino Rokave. Okrog hriba Varda se priključi na obstoječo cesto Dvori-Beli kamen in se nad Kocjančiči naveže v Dolanih na cesto proti sv. Antonu. Od priključka do Sočerge se rekonstruira obstoječa cesta. Od Trebeš do Kučibrega se rekonstruira cesta, ki bi bujski promet delno preusmerila iz Obale v ozadje. Novi cestni priključek v Loko in Hrastovlje se začne v Katinari in se po pobočju naveže na Loko. Od Brezovice se nova cesta spusti do proge in ob njej pride do ceste Hrastovlje-Dol. Hrastovlje se na južni strani

z novo cesto naveže na drugi cestni razvoj pod Kubedom okrog hribov Vrh in Kobel. Zaradi lokalne krožne povezave bi bila koristna nova lokalna navezava Movraž-Rakitovec in Zazid-Praproče. Na cesti Kozina-Rupa je potrebno prepovedati promet avtocistern in omejiti ostali promet ter predelati odvodnjavanje. Velika korist za zaščito izvira je odpoved rezervata avtoceste Kozina-Rupa. Kmetijskih obdelanih površin ni veliko. V delu doline nad izvirom bi po zaščitnih ukrepih morala biti tudi zaradi izvira prepovedana vsaka obdelava. Na spodnji strani izvira je nekaj obdelanih površin skromnih razsežnosti.

4. KAKOVOST VODE

Pred začetkom polnjenja akumulacije je treba na območju jezera odstraniti drevje, podrast in grmovje ter vse, kar bi negativno delovalo na kakovost vode. Jezero se bo polnilo iz obstoječega izvira. Začetna kakovost vode bo dobra, kot smo jo bili vajeni iz izvira, z minimalno degradacijo v odprtem zbiralniku. Čas polnjenja bo okrog šest mesecev. V polni akumulaciji se bo začelo razslojevanje vode. Zgornji sloj se pod vplivom sonca in zraka postopno segreje do srednje dnevne temperature približno do globine 8 m. Pod vplivom svetlobe in hranilnih snovi v vodi se bo začela rast vodne flore in faune. V srednjem sloju do globine ca. 20 m se temperatura postopoma zmanjša na približno srednje letne temperature, ki je potem v spodnjem sloju konstantna do dna. Tu bo temperatura približno 13 °C. Spodnji sloj je ob pregradi globok 30 m in na dnu mrtvi sloj okrog 5 m. V zgornjem sloju bo zaradi rasti alg zasičenost s prostim kisikom nad 100 %. Na svetlobni meji pade zasičenost s kisikom od 125 % na 100 % in naprej se zaradi odmiranja alg in planktona prosti kisik zmanjša do 0 %. To bi veljalo za akumulacijo brez spodnjega svežega dotoka (slika 6). Odvzem za vodno oskrbo poteka v srednjem sloju, presežek in za ostalo rabo pa se odjema iz spodnjega sloja. V akumulaciji voda nikoli popolnoma ne miruje. Enkrat letno

jeseni ob temperaturi zgornjega sloja 4 °C, poteka vertikalna zamenjava slojev. Ob tem dogodku se voda skali z usedlinami z dna in algami z vrha. Pod vplivom burje, ki je tu zelo močna in deluje v smeri daljše diagonale jezera, se zgornja plast jezera premika proti pregradi in spodaj se voda vrača nazaj. Delovanje burje bosta močno ovirala otočka v sredini jezera. Dotok vode iz izvira se bo zaradi srednje letne temperature vode 13 °C premikal vedno skozi spodnji sloj in ga obogatil s svežim kisikom. S konstantnim dotokom in odtokom se bo celotna voda v akumulaciji zamenjala povprečno dvakrat na leto. Na podlagi zgornjih premikov in zamenjav je pričakovati vodo boljše kakovosti, ki bo olajšala obdelavo vode na obvezni čistilni napravi.

Opis pojavov v akumulaciji je sestavljen po [Manual, 1961]. Opis v grobem prikazuje, kaj se bo predvidoma dogajalo v akumulaciji. To so procesi, ki se dajo natančno določiti le po nekaj let trajajočih meritvah. Za primer navajamo akumulacijo Botonega v Istri, ki nabira površinsko vodo in ima največjo globino 19 m. Pred uporabo vode za pitje je potrebno zelo zahtevno čiščenje.

Drugi primer je naravna akumulacija Vrana v kraškem terenu na otoku Cresu, brez površinskih dotokov, ki na zajetju lokalnega vodovoda potrebuje le dezinfekcijo. Kakovost vode akumulacije Rižana bo predvidoma med tema dvema ekstremoma. Šele praksa bo pokazala, kateremu ekstremu se bo približala. Glede kakovosti vode nobena od drugih možnih akumulacij nima tako dobrih pogojev kot akumulacija Rižana.

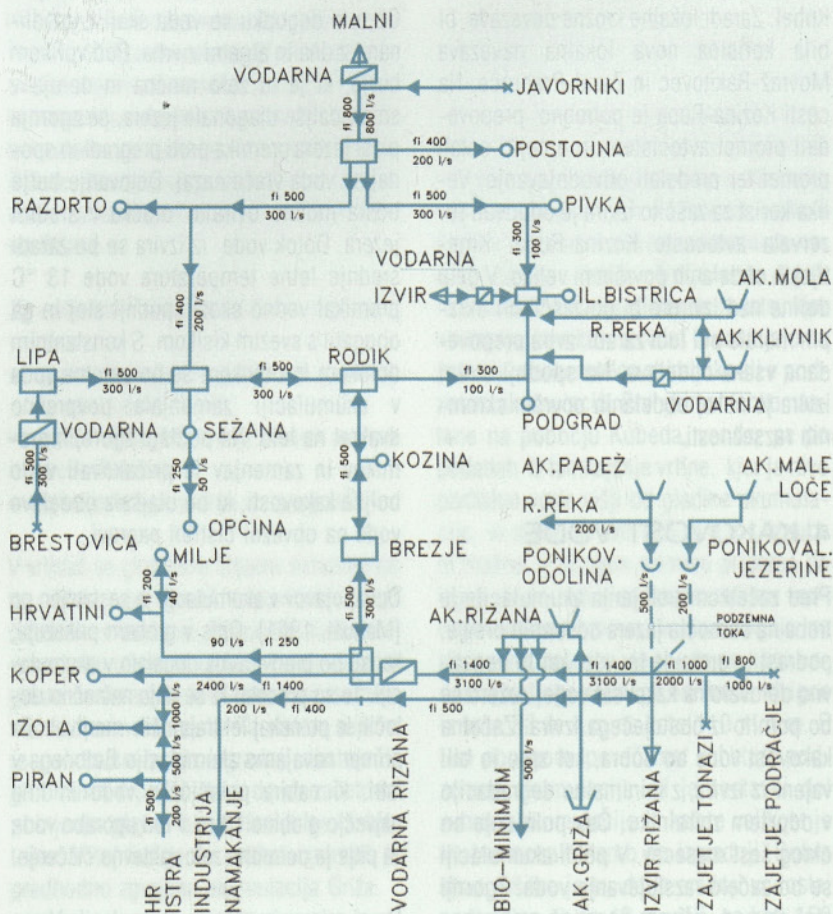
5. MEDREGIJSKE POVEZAVE

5.1. VARNOSTNE POVEZAVE

Rižanski vodovod je že povezan s sosednjimi vodoskrbnimi regijami.

Obstoječa enosmerna in dvosmerne medregijske povezave:

J. GUŠTIN: Večnamenska akumulacija Rižana

JOŽE GUŠTIN
februar 2002

Slika 7: Generalna dolgoročna razpredelnica pretokov in povezav sistemov Obala-Sežana-Postojna-Il. Bistrice

Hrvaška Istra	300 l/s	(dvosmerna)
Milje Trst	40 l/s	(dvosmerna)
Sežanski Kras	160 l/s	(enosmerna)
	500 l/s	

Za dvosmerno enakomerno obratovanje je potrebno dograditi črpališče na Valeti, v vodarni Rižana in nove črpalke v rezervoarju Brezje.

Te navezave so ugodno razporejene iz nasprotnih smeri, tako da so uporabne v primeru prekinitve dobave vode iz Rižane. Te količine so zadovoljive za kratke preki-

nitve. Tem rezervnim zmogljivostim se bo pridružilo še bruto 7,4 mio m³ v predlagani akumulaciji Griža.

5.2. MEDREGIJSKE REDNE OSKRBE

Po izgradnji akumulacij Griža in Rižana ter dograditvi črpališč je možna preko že obstoječih nadregijskih povezav redna prodaja viškov vode (slika 7):

Hrvaška Istra	200 l/s
Milje	50 l/s

Sežana - Ilirska Bistrica	300 l/s
	550 l/s

Za to redno oskrbo sosednjih regij je potrebno ob sedanji čistilni napravi dograditi ustrezne kapacitete. Obnoviti bi bilo treba cevovod Kozina - Podgrad in navezavo na ilirskobistriški vodovodni sistem. Ob vzporedni oddaji za koprsko kmetijstvo in industrijo se oddaja vode podvoji in to bi močno vplivalo na pocenitev vode in zaslužek vodovoda. To je ob realizaciji akumulacij možno in bi dobro vplivalo na že zgrajene cevovodne kapacitete rižanskega vodovoda.

5.3. OSTALE MEDREGIJSKE POVEZAVE

Med sosednjimi regijami Sežana - Postojna - Ilirska Bistrica bi bila potrebna navezava Postojne in Sežane preko Razdrtega, zmogljivosti okrog 200 l/s, ter Pivke in Ilirske Bistrice s pretokom do 150 l/s. Navezava preko Postojne se napaja iz Malnov in Javornikov. Ilirska Bistrica lahko ob bogatjenju Reke koristi akumulaciji Klivnik in Molo. Z akumulacijo Griža in Rižana, zajetjem Brestovica, Malni in Ilirska Bistrica ter z bogatjenjem rižanske podtalnice iz akumulacije Padež in Male Loče pridemo na skupni pretok, ki znaša 4.900 l/s, kar bo predvidoma zadostovalo do leta 2100. Ob tem so še na razpolago vode iz Klivnika in Mole.

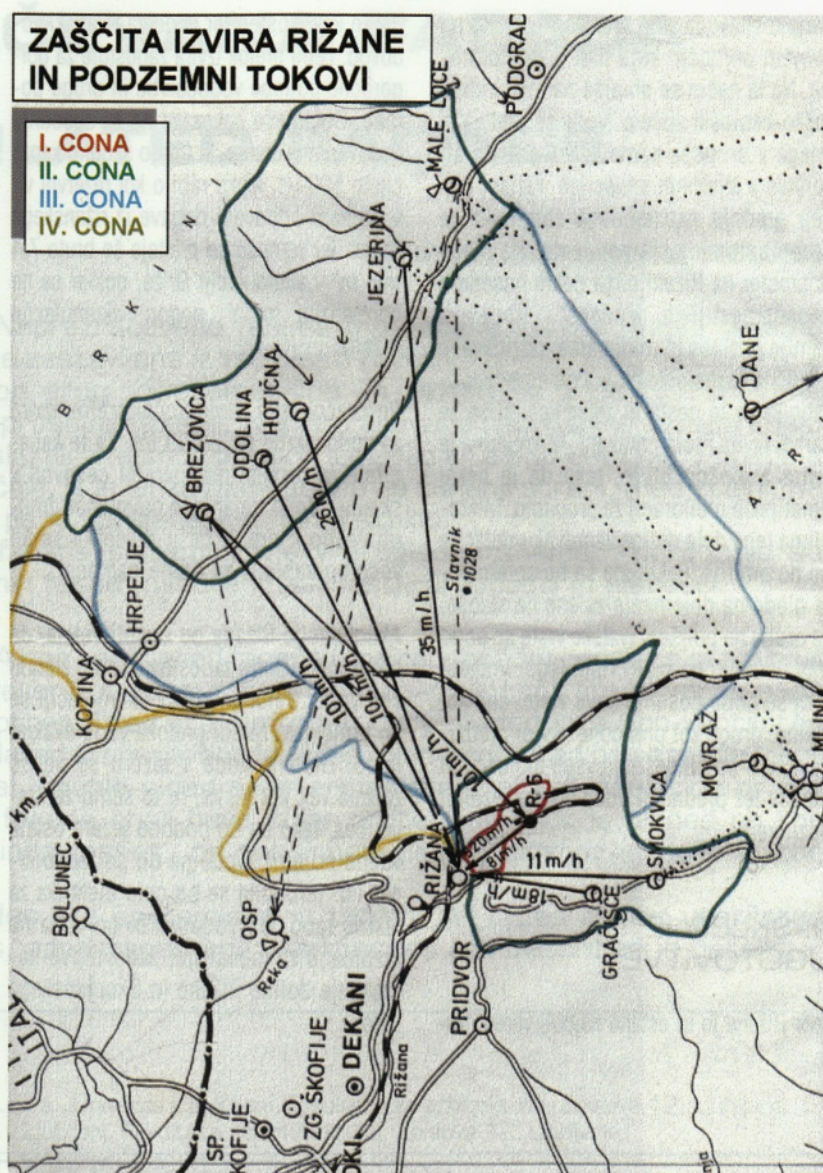
6. ZAŠČITA AKUMULACIJE

Velika ugodnost predlagane lokacije akumulacije je, da potrebuje majhne dodatne zaščitne ukrepe. Vse ovire večinoma leže v zaščitnem območju izvira, ki ga moramo kot takega zaščititi tudi brez akumulacije (slika 8). V zaščito akumulacij ne spada sama zaščita prostora, ki ga zaseda, temveč spadajo vse prispevne površine, ki se skoraj v celoti pokrivajo z območjem zaščite izvira Rižane. Izvir Rižana ima skoraj idealne razmere za površinski zbirnik vode. Pred štirideset-

timi leti je na izviru v opuščnem mlinu živel čuvaj izvira v službi Rižanskega vodovoda. Ta družina je uporabljala vodo na izviru za vse življenjske potrebe. Problemi so se začeli, ko smo poluradno zgradili železnico Prešnica – Koper; ko smo edino prašičjerejo, ki jo imamo na Obali, z vsemi dovoljenji zgradili nad samim izvirom; ko smo v cesto Mostičje – Sočerga vložili denar za rekonstrukcijo, namesto da bi jo preložili zunaj zaščitnega območja. Po cesti Kozina – Rupa je bil usmerjen ves promet avtociŝtern iz Reke, tudi tiste, ki so bile namenjene za Pivko in Postojno. Ta problem nam je rešila sosednja država, ki je spomladi 2002 prepovedala prehod cistern čez mejni prehod. Izgradila se je brkinska slemenska cesta za vasi, ki imajo vsako leto manj prebivalcev. Dogajajo se tudi pozitivni premiki. V vaseh je vsako leto manj ljudi, živina je skoraj popolnoma izginila in njive so skoraj vse neobdelane. Zgradila se je tudi vaška kanalizacija tam, kjer se je zgradil javni vodovod. Železnica Kozina – Buzet ima minimalni promet in po izgradnji povezave Lupoglav – Matulje bo ostala brez prometa. Moteča je ostala v tem prostoru železnica Kozina – Koper, ki jo je potrebno prestaviti podzemno, vzporedno s traso avtoceste, do priključka na predvideni evropski hitri železniški koridor. Cesto Rižana – Sočerga je treba prestaviti zunaj zaščitnega območja. Do prestavitve je treba vzpostaviti kontrolo in strožji režim prometa ter prepovedati vožnjo cistern. Spodbudna bi bila iniciativa, da se celotno vodozaščitno območje skupaj s Škocjansko jamo proglasi za nacionalni park kraških rariet in pojavov.

7. VRSTNI RED GRADNJE

Najprej je treba zgraditi akumulacijo Griža. Zdaj bo ugodna priložnost, da se z odvečnim materialom pri gradnji avtoceste po znižanih stroških nasuje pregrada. Ob gradnji prve pregrade morajo potekati priprave za gradnjo pregrade Štrohli. Temu sledi dograditev vodarne, ki je lahko na višji legi, nad obstoječo vodar-



Slika 8: Zaščita izvira Rižane in podzemni tokovi

no. Okrog bodoče akumulacije je treba zamenjati listopadno drevje z igličastim zaradi boljše higijene na bregovih jezera. Cerkev sv. Marije se prenese na enega od na novo nastalih otokov v sredi akumulacije. Prehitevanje z gradnjo novih zajetij zunaj povodja Rižane je negospodarno, dokler imamo na Rižani presežne vode, že zgrajeno vodarno in vse dolgoročne cevne povezave. Dopolnilni viri z dodatnimi medregijskimi povezavami bodo prišli prav kot ojačitev Rižane po izkoriščanju njenih zmogljivosti in dopolnitev ostalih virov v regijah.

8. EKOLOŠKI UČINKI AKUMULACIJE

Na prostoru od Postojne preko Krasa do istrske državne meje imamo tri hidrološke sisteme pomembne za vodno oskrbo: rižanski, timavski in pivško-javorniški sistem. V današnji oskrbi z vodo vsak od teh sistemov na svojem območju trenutno pokriva lastne potrebe, razen rižanskega. Rižansko območje kljub naravnim virom, ki zadostujejo za nadaljnji stoletni razvoj, že trideset let kupuje vodo iz sosednjih regij. V tem prispevku se zago-

varja rešitev, da vsak hidrološki sistem na svojem območju krije tudi lastne potrebe. Na ta način se ohranja naravni hidrološko-ekološki sistem. Voda se preliva iz enega v drugega samo kot dopolnilo ali varstvo v izjemnih situacijah. Fizični poseg gradnje nadzemnega zbiralnika je grobo spreminjanje ambienta. Na srečo ta prostor na Rižani nima nekih posebnih nenadomestljivih vrednosti. Obdelava zemlje je slaba in minimalna, pozidava je kaotična in maloštevilna. Pomembni uporabniki so le cesta in železnica, ki se že zaradi izvira mora umakniti. Mikroklima je ostra z močno burjo, tako da je nekaj kmetijskih melioracij že propadlo. Mikroklima tega dela doline zaradi akumulacije se bo omilila. Pokrajina se bo spremenila glede na dožemanje za ene na slabše, za druge na boljše. Živalske vrste se bodo morale seliti na malo višje lege. V akvatorij se bodo doselile nove vrste, ene kot stalne, druge kot prehodne. Avtor predvideva, da bo ob seštetju vseh minusov in plusov ter prednosti vodooskrbe rezultat pozitiven.

9. SKLEPNE UGOTOVITVE

Izvir Rižane je in ostane najbolj varen, bo-

gat in kakovosten vir vode za rižanski vodovod. Letni pretok izvira zadostuje za dolgoročne potrebe vodooskrbe in druge porabe. Obstoječe povezave na tri sosednje vodovodne sisteme, ki imajo skupno kapaciteto 500 l/s, lahko rabijo kot rezervni vir v primeru odpovedi dobave iz rižanskega izvira. Tej varnosti se prišteje še bruto 7,4 mio m³ v akumulaciji Griža, dokler se ne normalizira redni pogon akumulacije Rižana.

Povprečni letni dolgoročni pretok izvira za vodooskrbo bo 2.600 l/s. Za te kapacitete je zgrajen magistralni cevovod v skladu z dobo trajanja in povprečno zmožljivostjo izvira. V času presežka se bo voda uporabljala za druge namene.

Akumulacija Rižana bo dovolj velika, da bo za vodooskrbo zadostoval samo žlahtni sloj vode. Celotna voda v akumulaciji se bo zamenjala zaradi pretoka vode dvakrat letno. Gladina vode v jezeru se ne bo znižala več kot 10 m, in to samo za kratek čas, tako da bo podoba jezera ostala vedno prijetna. Vode ne bo potrebno črpati in pridobila se bo celo elektrika za lastno rabo. Ob vodooskrbi bo voda na razpolago za industrijo, zadovoljivo namakanje doline Rižane in Škocjanskega zatoka.

Dolgoročni magistralni cevovod je že zgrajen do samih izvirov. Dograjena bo tudi čistilna naprava, ki se bo postopoma večala. Iz vsega tega ni težko sklepati, da ni nobenega trenutnega opravičila za trošenje denarja na račun vodooskrbe Obale zunaj doline Rižane. Po že izdelani dokumentaciji je varianta Padež kratkoročna in štirikrat dražja od prve etape na Rižani.

Dograditev osnovnega dolgoročnega dela regionalnih vodnih naprav je velik zalogaj, ki ga potrošniki sami ne zmorejo. Zgleden primer iz preteklosti za rešitev tega problema najdemo pri gradnji prvega regionalnega vodovoda iz Rižane leta 1935. Takrat so se za gradnjo združile državne in lokalne moči v razmerju 94% in 6%. Med gradnjo so ugotovili, da lokalni prispevek ni uresničljiv in je bila celotna gradnja končana na državne stroške.

10. ZAHVALA

Avtor članka se za pripravo slik zahvaljuje Deanu Guštinu.

LITERATURA

Guštin, J., Idejni projekt zaščite izvira in akumulacije Rižane, Rižanski vodovod Koper, 1988.

Guštin, J., Večnamenska akumulacija Rižana, Gradbeni vestnik, letnik 38, str.173-183, 1989.

Krivic, P., Letna poročila geoloških raziskav področja Rižane, Geološki zavod Ljubljana, 1982-1988.

Manual of British Water Engineering Practice, 1961.

NEPREZRAČEVANA FASADA

NON-VENTILATED FAÇADE

STROKOVNI ČLANEK

UDK 721.02 : 692.23 : 697.92

MARTINA ZBAŠNIK - SENEGAČNIK, JANEZ KRESAL

P O V Z E T E K Neprezračevana fasada (nezračena fasada, topla fasada) je sestavljena iz več plasti različnih gradiv, ki so tesno druga ob drugi. Sistematično jih razdelimo v neprezračevane neprosojne in neprezračevane prosojne fasade. Neprezračevane neprosojne fasade imajo zunanjo, notranjo, obojestransko ali vmesno toplotno izolacijo ali pa so brez nje. Prosojna fasada mora imeti sončno zaščito, ki je lahko nameščena na zunanji strani, med stekli, na notranji strani zasteklitve, ali pa je vgrajena v zunanje steklo. V članku so neprezračevane fasade sistemizirane v pregledno shemo. Podrobneje so obdelani vsi tipi neprezračevanih fasad, njihove značilnosti, prednosti in slabosti.

S U M M A R Y A non-ventilated façade (unaired façade) consists of several layers of various building materials that are close to each other. They are systematically divided into non-ventilated non-transparent and non-ventilated transparent façades. Non-ventilated non-transparent façades have external, internal, double-sided or intermediate thermal insulation or are even without it. Transparent façade shall have solar protection that is placed on the external side between the windowpanes, on the inner glazing side or is built in the external pane. In the research project façades are systemised in tables. All types of non-ventilated façades, their characteristics, advantages and weaknesses are described in details.

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 zunanji, zelo pomemben ovoj zgradbe, zato se označuje za človekovo tretjo kožo. Ljudje veliko časa preživimo v zgradbah, zato je optimalna zasnova zunanje bivalne opne nujna za občutek ugodja v prostoru. Zunanja stena varuje človeka pred zunanjimi vplivi kot so dež, sneg, sonce, veter... Pomembna naloga fasadne stene je tudi preprečevanje toplotnih izgub iz notranjega prostora. Poleg tega mora zagotavljati primerno temperaturo in osvetljenost prostora, uravnati količino vlage v prostoru in absorbirati neprijetne vonjave. Naloge fasadne-

ga plašča so torej zelo raznolike, zato mora biti ta sestavljen tako, da bo zadoštil vsem gradbeno-fizikalnim zahtevam [Pfeifer in sod., 2001].

Fasadni ovoj je običajno vertikalna površina, ki omejuje volumen objekta. Sestava fasadnega plašča je zgodovinsko gledano doživela tri konceptualne preobrazbe – od masivne enovite stene preko skeletne zgradbe z nenosilno steno do današnje steklene opne, ki obdaja zgradbo.

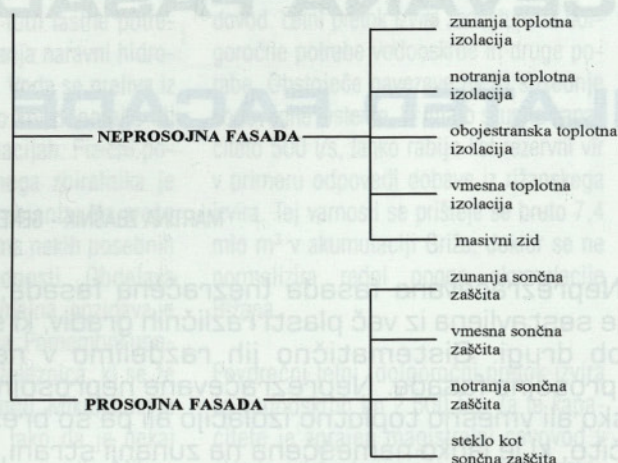
1. Prvobitna masivna stena je zaradi svoje debeline zadovoljevala tako statično, kot tudi toplotno- in zvočno izolativ-

no funkcijo. Osnovni gradivi sta bili kamen in opeka, ki imata veliko sposobnost akumulacije toplote – poleti toploto shranjujeta in jo oddajata v hladnejših mesecih, kar ima ugoden vpliv na toplotni režim v zgradbi.

2. Industrijska revolucija je v arhitekturno konstruiranje uvedla kovine. Zgradbe z jeklenim skeletom so v drugi polovici 19. stol. pomenile popolno novost pri oblikovanju fasade. Fasadna stena je postajala vse tanjša, lažja, svobodnejša, predvsem pa nenosilna.

3. Razvoj aluminija in stekla je v zadnjih

NEPREZRAČEVANA FASADA



Slika 1: Shematična razdelitev neprezračevanih fasad

treh desetletjih pripeljal do razmaha gradnje visečih fasad. Uvedba prekinjenega toplotnega mostu v aluminijastem profilu ter pojav kaljenih stekel, lepljenih steklenih plošč, sestavljenih večslojnih steklenih plošč, vgradnje fotovoltaičnih elementov v steklene plošče itd. ter pojav novih tehnologij gradnje večslojnih fasadnih sten omogoča izvedbo popolnoma prosojne fasadne stene, ki v celoti izpolnjuje gradbeno-fizikalne zahteve.

V sodobni arhitekturni praksi se vzporedno razvijajo in uporabljajo vsi trije koncepti fasadnih zasnov.

Z gradbeno-fizikalnega stališča fasadne zasnove razdelimo v dva glavna tipa – prezračevane in neprezračevane fasade [Hebgen, 1977]. Po analogiji z definicijo hladnih in toplih streh je tudi pri fasadah možna razdelitev na hladne (prezračevane, zračene fasade) in tople (neprezračevane, nezračene fasade) [Zbašnik-Senegačnik in sod., 2001]. Bistvena razlika med obema sistemoma je v tem, da so pri neprezračevanih fasadah posamezne plasti tesno skupaj. Prednost tega fasadnega sistema je v enostavnejši in cenejši izvedbi, lažjemu oblikovanju fasade itd. Prezračevana fasada ima takoj za zunanjo oblogo sloj zraka za prezračevanje stene. Sistem je ugoden predvsem zaradi manjšega vpliva zunanjih vremenskih vplivov na notranji sestav stene. V prvi vrsti ne

pride do toplotne preobremenitve, morebitna vlaga, do katere pride zaradi kondenzacije vodne pare, pa se hitro posuši [Hebgen, 1977].

2. NEPREZRAČEVANE FASADE

Neprezračevane fasade so običajno sestavljene iz več plasti različnih gradiv tesno drugo ob drugem, pri čemer vsaka plast opravlja svojo funkcijo [Pfeifer in sod., 2001]. Redkeje so stene samo iz enega gradiva.

Neprezračevane fasade so lahko neprosojne ali prosojne. Neprezračevane neprosojne fasade imajo praviloma vgrajeno toplotno izolativna plast. Tu pride do toplotnega zastoja, zato so zunanje fasadne obloge termično veliko bolj obremenjene kot pri prezračevanih fasadah. Neprezračevane prosojne fasade so iz stekla in zahtevajo dodaten sistem protisončne zaščite.

2.1. NEPREZRAČEVANA NEPROSOJNA FASADA

Pri neprezračevani neprosojni fasadi so posamezne plasti tesno skupaj v nasprotju s prezračevano neprosojno fasado, ki ima med plastmi sloj zraka za

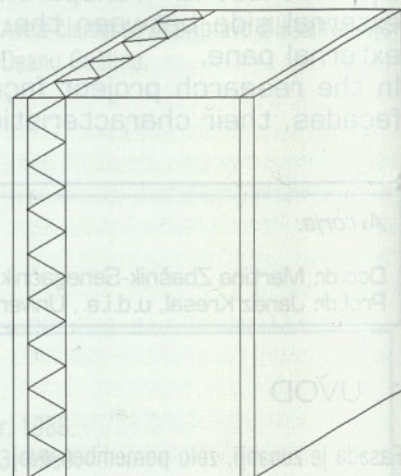
prezračevanje. Toplotna izolacija je lahko zunanja, notranja, vmesna ali obojestranska [Grimm, 1994], [Hebgen, 1977]. Vsak sistem ima svoje lastnosti, ki jih je potrebno upoštevati pri izbiri fasadne zasnove v danem primeru.

2.1.1. Fasada z zunanjo toplotno izolacijo

Pri tej izvedbi fasade je toplotna izolacija na zunanji strani nosilnega zidu.

Sestava od zunaj navznoter (slika 2):

- 1 fasadni ovoj
 - zaščita pred padavinami in vetrom
- 2 toplotna izolacija
 - izolacija
- 3 masivna stena
 - nosilnost ali nenosilnost
 - akumulativnost
 - zvočna izolativnost
- 4 notranja obloga
 - uravnavanje prostorske klime



1 2 3 4

Slika 2: Fasada z zunanjo toplotno izolacijo

Fasadni ovoj
Vsaka obloga fasadnega ovoja, ki tesno nalega, je pri enoplastni zunanji toplotni izolaciji zaradi toplotnega zastoja skozi toplotno izolacijo izpostavljena zelo visoki termični obremenitvi. Poleg tega ima ta običajno zunanji fasadni ovoj in toplot-

na izolacija različne razteznostne koeficiente.

Fasadni ovoj mora biti posebej dobro prepusten za paro, ker sicer v neugodnih pogojih pride do kondenzacije vodne pare. Posledica so luščenje in mehurji. Za fasadni ovoj ni mogoče uporabiti običajnega mineralnega ometa, ker je preveč krhek, manjka mu tudi potrebna kohezija (notranja trdnost) in adhezija (prijemanje na podlago). Bolj uporabne so v več plasteh nanese tanke prevleke na podlagi umetnih snovi in cementa z vgrajeno (vtisnjeno) mrežo iz steklenih vlaken.

Toplotna izolacija

Kot toplotno izolacijo se večinoma uporablja narezano in oblikovano trdo ploščo iz polistirena. To gradivo z zaprtimi porami je obstojno na staranje, razpadanje (trohnjenje) in praktično ne vpija vode. Polistiren ni odporen na delovanje UV žarkov, kar pa ni problematično, saj je zaščiten z oblogo.

Najbolj razširjen sistem tega tipa je »de-mit fasada«.

Prednosti zunanje toplotne izolacije:

Če je neprezračevana fasada z zunanjo toplotno izolacijo pravilno izvedena, ima sistem nekaj prednosti pred prezračevano fasado:

- ni nekontroliranih zračnih plasti, v katerih so lahko nevidne poškodbe podkonstrukcije, ki nosi zunanji fasadni ovoj,
- pri zunanji toplotni izolaciji z ometom je možno prosto oblikovanje fasade,
- stroški ogrevanja so pri fasadni steni z zunanjo toplotno izolacijo nižji kot z notranjo toplotno izolacijo.

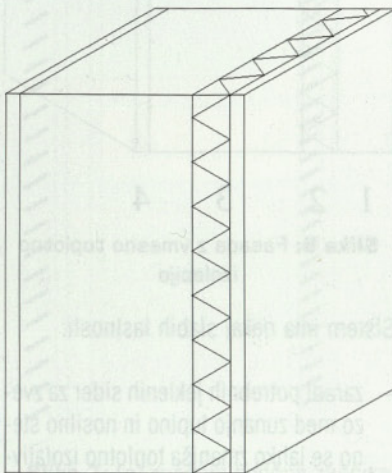
2.1.2. Fasada z notranjo toplotno izolacijo

Pri tej izvedbi je toplotna izolacija na notranji strani nosilne stene.

Sestava od zunaj navznoter (slika 3):

- 1 fasadni ovoj

- zaščita pred padavinami in vetrom
- 2 masivna stena
- nosilnost ali nenosilnost
- zvočna izolativnost
- 3 toplotna izolacija
- izolacija
- 4 notranja obloga
- uravnavanje prostorske klime



1 2 3 4

Slika 3: Fasada z notranjo toplotno izolacijo

Nosilna stena je izpostavljena velikim temperaturnim spremembam, pozimi popolnoma zmrzne in je zaradi toplotnega zastoja poleti zelo topla. Na zunanji strani stenah prihaja do velikih temperaturnih raztezov, zato so potrebne dilatacijske fuge v relativno majhnih razdaljah. Še posebej so izpostavljene stene iz vidnega betona, ki morajo biti dodatno armirane. Slaba stran tega sistema je tudi ta, da nosilna stena ne more akumulirati toplote, ki bi jo kasneje lahko oddajala v prostor.

V nasprotju z zunanjo toplotno izolacijo so pri notranji toplotni izolaciji manjše zahteve. Pri tem sistemu lahko pride do kondenzacije vodne pare v toplotni izolaciji, zato je z izračunom potrebno preveriti potrebnost parne zapore. Penasta toplotno-izolacijska gradiva z zaprtimi celicami, kot so npr. plošče iz polistirena, ki imajo $\mu = 20$ do 200, lahko istočasno služijo kot parna zapora, kar pomeni prihranek.

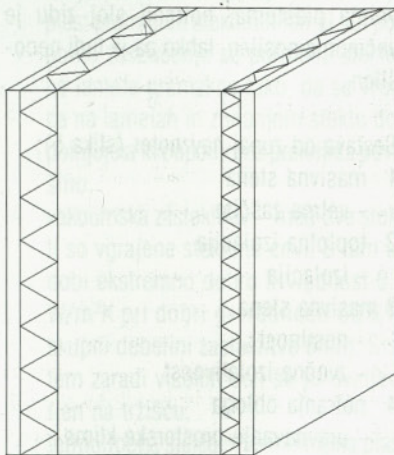
Toplotna izolacija mora biti na notranji strani stene pokrita s trdo oblogo, za kar so primerne plošče iz mavčnega kartona. Pri notranji toplotni izolaciji, ki je pokrita samo s tankim ometom ali tapeto, lahko poleti pride do pregrevanja prostorske klime oziroma do nastanka t. i. barakarske klime. Notranja toplotna izolacija je primerna le za prostore, ki se ogrevajo za kratek čas (vikendi, prostori za občasna zbiranja, samo začasno uporabljana stanovanja). Tu ni potreben dober zbirnik toplote, ker se prostor ravno tako hitro lahko tudi ohladi.

2.1.3. Fasada z obojestransko toplotno izolacijo

Toplotna izolacija leži pri tem sistemu na zunanji in notranji strani fasadnega zidu.

Sestava od znotraj navzven (slika 4):

- 1 fasadni ovoj
- zaščita pred padavinami in vetrom
- 2 zunanja toplotna izolacija
- izolacija
- 3 masivna stena
- nosilnost ali nenosilnost
- zvočna izolativnost
- 4 notranja toplotna izolacija
- izolacija
- 5 notranja obloga
- uravnavanje prostorske klime



1 2 3 4 5

Slika 4: Fasada z obojestransko toplotno izolacijo

Pri tej konstrukciji zunanje stene je potrebno paziti na vse kriterije, ki veljajo tako pri notranji kot zunanji toplotni izolaciji. Toplotna izolacija, ki se uporablja pri tem sistemu, mora biti odporna proti vlagi (npr. penasta toplotno-izolacijska gradiva, ki ne trohni). Pri vlažnih prostorih, kamor spadajo kuhinje in kopalnice, je večinoma potrebna parna zapora, ki mora ležati med notranjo toplotno izolacijo in notranjo oblogo.

Boljši učinek se doseže, če je debelina zunanje toplotne izolacije v primerjavi z notranjo v razmerju 2 : 1. Meja zmrzovanja in možnega rosišča leži potem v zunanji plasti toplotne izolacije.

Ta sistem je med drugim primeren za betonske zunanje stene, tudi če so že opremljene z zunanjo ali vmesno toplotno izolacijo. Pri tem zadošča izolativna obloga deb. ca. 5 mm, ki je nameščena pod notranjo oblogo, npr. mavčno-kartonsko ploščo. Ker gre tu le za ukrep izboljšanja občutka pri dotiku notranje površine, ne moremo govoriti o obojestranski toplotni izolaciji v pravem pomenu.

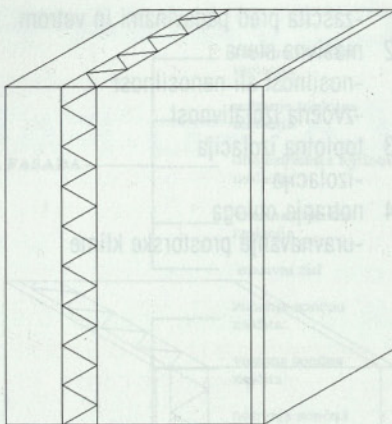
2.1.4. Fasada z vmesno toplotno izolacijo

Toplotna izolacija leži med dvema masivnima plastema, notranji sloj zidu je večinoma nosilen, lahko pa je tudi neno-silen.

Sestava od zunaj navznoter (slika 5):

- 1 masivna stena
 - vetrna zaščita
- 2 toplotna izolacija
 - izolacija
- 3 masivna stena
 - nosilnost
 - zvočna izolativnost
- 4 notranja obloga
 - uravnavanje prostorske klime

Najbolj znana izvedba te večplastne zunanje stene je t. i. troslojna plošča, velikostenska betonska plošča za montažno gradnjo.



1 2 3 4

Slika 5: Fasada z vmesno toplotno izolacijo

Sistem ima nekaj slabih lastnosti:

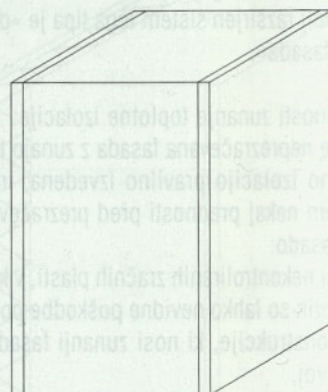
- zaradi potrebnih jeklenih sider za zvezo med zunanjo lupino in nosilno steno se lahko zmanjša toplotna izolativna vrednost (toplotni mostovi).
- zunanja obloga (običajno 5 do 8 cm debele lupine) je zaradi toplotnega zastoja, do katerega pride v primeru zadaj ležeče toplotne izolacije, podvržena velikim obremenitvam zaradi menjavanja temperatur. Da se te obremenitve preprečijo, je potrebno primerno izvesti fuge in jih potem zapolniti s trajno elastičnim kitom. Pri preozkih fugah ali pri pretrdi tesnilni masi obstaja nevarnost, da se zunanja lupina od zunaj izboči in izpuli iz povezovalnih sider. Obe betonski lupini ne smeta biti zaradi tega na noben način toga povezani skupaj. Termične obremenitve zunanje lupine so tem višje:
 - a) čim višji je njihov koeficient temperaturnega raztezka,
 - b) čim več toplote ostane v vmesni toplotni izolaciji,
 - c) čim manjša je debelina in
 - d) čim temnejša je površina.
- Pri montažnih fasadah z vmesno toplotno izolacijo, kjer je fasadni element iz betona, na robovih pogosto prihaja do toplotnih mostov.

2.1.5. Masivni zid

Monolitna nosilna stena je sestavljena le iz enega gradiva (opeka, kamen, glina, les). Te stene so navadno porozne in »dihajo« - torej prepuščajo zrak in vodno paro. Pri fasadah iz enega gradiva je težko izpolniti gradbeno-fizikalne zahteve, ne da bi stene postale zelo debele. V zadnjem času (zaenkrat še) redki proizvajalci nudijo posebne opečne izdelke, ki imajo brez dodatne toplotne izolacije zadovoljiv koeficient toplotne prehodnosti (npr. Termoblok, Porotherm...), vendar niso primerni za vsa klimatska področja.

Sestava od zunaj navznoter (slika 6):

- 1 fasadni ovoj
 - zaščita pred padavinami in vetrom
- 2 masivna stena
 - nosilnost ali nenosilnost
 - zvočna izolativnost
- 3 notranja obloga
 - uravnavanje prostorske klime



1 2 3

Slika 6: Masivni zid

2.2. NEPREZRAČEVANA PROSOJNA FASADA

Neprezračevane prosojne fasade so iz steklene, eno- ali večslojne steklene opne. Prosojne fasade so podvržene velikim zahtevam, saj morajo biti po eni strani prepustne za svetlobo, po drugi strani pa je potrebno regulirati prepustnost infra rdečih žarkov v zgradbo –

poleti preprečevati in pozimi omogočati prehod toplote v prostor. Za ta namen so razviti različni sistemi sončne zaščite: steklene fasade z zunanjo, vmesno, notranjo in vgrajeno sončno zaščito [Compagno, 1999], [Behling in sod., 1999].

2.2.1. Steklена fasada z zunanjo sončno zaščito

Pred stekleno steno je nameščena toga ali premikajoča sončna zaščita (slika 7a). Prve so poznane v obliki strešnega napušča in konzolnih gradbenih elementov, sončnih loput, »brise-soleils« in lamel. K drugi skupini spadajo prav tako običajni izdelki kot mreže iz tkanine, žaluzije in pločevinaste lamele. Redkejša so rešitve s premičnimi fasadnimi elementi, kot so polkna, rolete, paneli, mrežne rešetke ali elementi za preusmerjanje svetlobe.

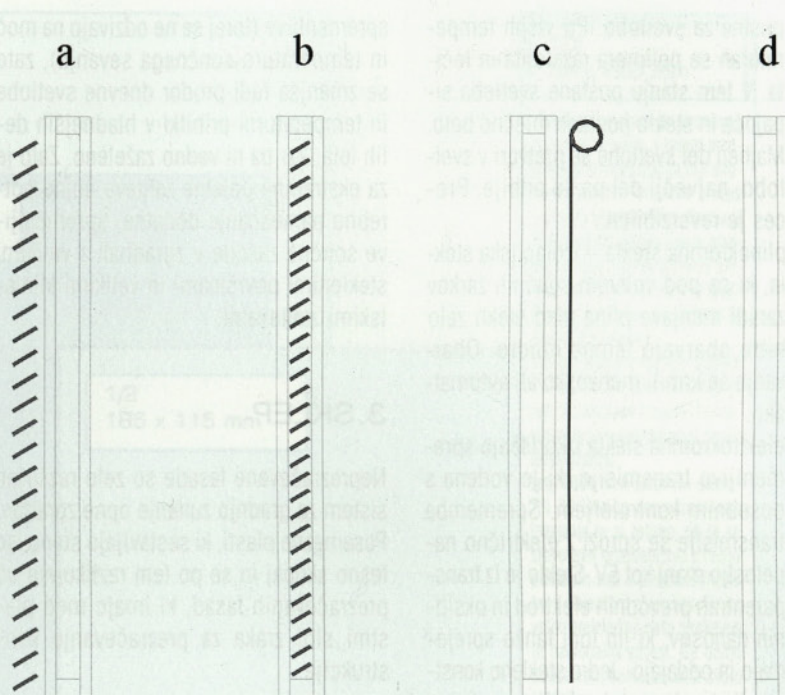
Sistem steklene fasade z zunanjo sončno zaščito ima najboljši izkoristek, ker sekundarni toplotni pribitki, ki nastanejo z direktnim sončnim sevanjem na sončno zaščito, ostanejo zunaj ovojne zgradbe. Tipična g-vrednost je približno 10%. Neugodno je to, da je zunanja sončna zaščita – kot npr. žaluzije ali lamele – izpostavljena slabemu vremenu, kar zahteva periodično čiščenje in lahko povzroča visoke stroške vzdrževanja.

2.2.2. Steklена fasada z vmesno sončno zaščito

Sončna zaščita v obliki lamel je vgrajena med stekla (npr. dvoslojno termoizolacijsko steklo), (slika 7b). Ta sistem je trenutno manj zanimiv. Medtem ko je za čiščenje posebej neproblematičen, je vzdrževanje lahko drago, če so med stekla nameščeni elektromotorji.

2.2.3. Steklена fasada z notranjo sončno zaščito

Sončna zaščita leži na notranji strani steklene stene (slika 7c). Sistem je manj



Slika 7: (a) zunanja sončna zaščita, (b) vmesna sončna zaščita, (c) notranja sončna zaščita, (d) steklo kot sončna zaščita

učinkovit, ker toplota preko stekla že pride v prostor. To se da delno preprečiti z izsesavanjem toplega zraka nad sončno zaščito. Tipična g-vrednost (vrednost skupnega prehoda sončne energije skozi zasteklitev) je približno 30%. Prednost je možnost čiščenja in vzdrževanja sončne zaščite, ki je v tem sistemu bistveno enostavnejša. Komercialni izdelki so sestavljeni iz tekstilnih materialov kot npr. zavese iz vertikalnih lamel, roloji, žaluzije, goste tkanine itd.

2.2.4. Steklo kot sončna zaščita

Sončna zaščita je vgrajena v zasteklitveni sistem (slika 7d). V zadnjih letih se to področje nabolj razvija.

Številni proizvajalci nudijo različna »pametna« stekla, ki pod vplivom sončnega sevanja spreminjajo svoje lastnosti. Obstajajo različni sistemi [Behling in sod., 1999], [Schittich in sod., 1998]:

- naparjene prevleke na steklu, ki selektivno odbijajo infra rdečo svetlobo. Obi-

čajno so te naporitve iz srebra ali titana;

- vodljiva sončna zaščita na pomičnem steklu, ki je vgrajeno v izolacijsko steklo. V vmesnem prostoru med dvema steklenima ploščama so steklene lamele, ki jih je mogoče premikati. Sončna zaščita temelji na namenski izključitvi direktne sončne svetlobe. Folija je nanešena na notranjo plast zunanje šipe in zunanjo plast premičnih steklenih lamel. Za popolno zasenčenje se pomične steklene lamele premakne tako, da se vzorca na lamelah in zunanjem steklu dopolnjujeta in popolnoma prekrijeta površino.
- vakuumaska zasteklitev – med dve stekli so vgrajene steklene cevi. S tem se dobi ekstremno dobro k-vrednost 0,2 W/m²K pri dobri g-vrednosti 60% in skupni debelini zasteklitve 6mm. Sistem zaradi visokih cen še ni uveljavljen na tržišču;
- termotropna stekla – termotropna plast je sestavljena iz dveh umetnih snovi (polimerov) z različnima lomnima količnikoma. Pri nižjih temperaturah je plast homogena, transparentna in pre-

pustna za svetlobo. Pri višjih temperaturah se polimera razslojita in ločita. V tem stanju postane svetloba sipajoča in steklo postane mlečno belo. Majhen del svetlobe se pretvori v svetlobo, največji del pa se odbije. Proces je reverzibilen.

- plinokromna stekla – izolacijska stekla, ki se pod vplivom sončnih žarkov zaradi menjave plina med stekli zelo hitro obarvajo temno modro. Obarvanje se krmili mehansko ali avtomatsko.
- elektrokromna stekla izkoriščajo spremenljivo transmisijo, ki je vodena s posebnim kontrolerjem. Sprememba transmisije se sproži z električno napetostjo manj kot 5V. Steklo je iz transparentnih prevodnih elektrod in oksidnih nanosov, ki jih ioni lahko sprejemajo in oddajajo. Jedro steklene konstrukcije tvori prevodna folija iz polimera, ki je tesno pritrjena na steklo. Deluje kot elektrolit oz. ionski prevodnik. Odlikuje se po veliki prepustnosti za ione, neprepustna pa je za elektrone. Ko pride do primerne napetosti na transparentnih elektrodah, stečejo naneseni ioni (litij) iz ene na drugo plast. Ker se nasprotna naboja privlačita, povzroči dovedeni ionski tok nabožno enako velik tok elektronov v nasprotni smeri. To povzroči v elektrokromni plasti spremembo optičnih lastnosti.

Lastnosti tovrstne sončne zaščite niso

spremenljive (torej se ne odzivajo na moč in temperaturo sončnega sevanja), zato se zmanjša tudi prodor dnevne svetlobe in temperaturni pribitki v hladnejših delih leta, kar pa ni vedno zaželeno. Zato je za ekstremne poletne zahteve nujno potrebno nameščanje dodatne, spremenljive sončne zaščite v zgradbah z velikimi steklenimi površinami in velikimi klimatskimi zahtevami.

3. SKLEP

Neprezračevane fasade so zelo razširjen sistem za gradnjo zunanje opne zgradbe. Posamezne plasti, ki sestavljajo steno, so tesno skupaj in se po tem razlikujejo od prezračevanih fasad, ki imajo med plastmi sloj zraka za prezračevanje konstrukcije.

Neprezračevane fasade so glede na gradivo, ki jih sestavljajo, neprosojne in prosojne. Vsak sistem ima nekaj karakterističnih lastnosti – prednosti in slabosti – ki jih je potrebno upoštevati.

Pri neprezračevani neprosojni fasadi je potrebno poudariti lažje uravnavanje toplotnih izgub in pribitkov, slaba stran sistema pa je manjša transparentnost in osvetljenost prostora. Pri neprezračevanih neprosojnih fasadah je najbolj optimalna rešitev zid z zunanjo toplotno izolacijo, ki je primeren za vse vrste zgradb.

Fasada z notranjo izolacijo je primerna za prostore, ki se ne ogrevajo redno, fasada z obojestransko toplotno izolacijo pa kot dodatna toplotna izolacija z notranje strani (predvsem v vlažnih prostorih). Fasada z vmesno toplotno izolacijo se uporablja pri troslojnih betonskih ploščah za montažno gradnjo. Masivni zid je tradicionalni način gradnje iz enega gradiva (glina, kamen, opeka...). Po današnjih standardih masivni zid zaenkrat težje doseže predpisane normative.

Neprezračevana prosojna fasada je danes modna, saj nudi velike oblikovalske izzive. Odlikuje jo velika transparentnost, težje pa je uravnavanje toplotnih izgub in pribitkov ter vdora vidne in infra rdeče svetlobe. Pri neprezračevanih prosojnih fasadah je na fasadah (razen na severni) potreben poseben sistem sončne zaščite. Najboljši učinek nudi zunanja sončna zaščita, ki prepreči vdor toplote skozi steklo. Slaba stran te rešitve je drago vzdrževanje. Manj uporabna je vmesna zaščita, ki sicer zahteva manjše stroške vzdrževanja, vendar potrebuje veliko energije za avtomatsko uravnavanje senčil med stekli. Notranja sončna zaščita ne predstavlja velikih stroškov za čiščenje, slabost pa je v tem, da je potrebno toploto, ki pride v prostor, posebej odvajati. Steklo kot sončna zaščita je učinkovito, a drago uravnavanje prodora toplote v prostor. Slabost tega sistema je v tem, da preprečuje prodor svetlobe in toplote v prostor tudi pozimi, ko to ni zaželeno.

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.
- Grimm, F., Clemens, R.: HINTERLÜFTETE FASADEN, 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 MEHRSCALIGER GEBÄUDEHÜLLEN AUS GLAS, Detail 7/1998, 1225-1232.
- Pfeifer, G. in sod.: MASONRY CONSTRUCTION MANUAL, Birkhäuser Edition Detail, München, 2001.
- Schittich, C. in sod.: GLASBAU ATLAS, Birkhäuser Verlag, Basel – Boston – Berlin, 1998.
- Zbašnik-Senegačnik-M, Kresal, J.: TEHNOLOŠKA TIPOLOGIJA FASADNEGA PLAŠČA, raziskovalna naloga, Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, 2001.

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



Kakovost s tradicijo



tiskarna
ljubljana, d.d.

1000 Ljubljana, Tržaška 42,
SLOVENIJA
telefon: ++386 (0)1 423 15 15
telex: ++386 (0)1 257 14 61, 423 41 23
e-mail: tiskarna.ljubljana@mrak.si



tiskarna
ljubljana, d.d.

Poslovna enota:
1295 Ivančna Gorica, Stantetova 9
SLOVENIJA
telefon: ++386 (0)1 7887 222
telex: ++386 (0)1 7887 237
e-mail: tiskarna.ljubljana@mrak.si

ISO 9001





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)**,
Karlovska 3, 1000 Ljubljana (telefon/fax: 01 / 422-46-22), E-mail: gradb.zveza@siol.net

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