

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška 3, 1000 Ljubljana, telefon/faks 01 422 4622 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani** in **Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**
izr. prof. dr. **Matjaž Mikoš**
Jakob Presečnik
MSG IZS: **Gorazd Humar**
mag. Črtomir Remec
doc. dr. **Branko Zadnik**
FGG Ljubljana: **doc. dr. Marijan Žura**
FG Maribor: **Milan Kuhta**
ZAG: **prof. dr. Miha Tomaževič**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. **Janez Duhovnik**

Sodelavec pri MSG IZS:

Jan Kristijan Juteršek

Lektorica:

Alenka Raič Blažič

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Anka Holobar

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

3050 izvodov

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

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

Letno izide 12 števk. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 5500 SIT; za študente in upokojece 2200 SIT; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 40.687,50 SIT za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80 EUR. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:

02017-0015398955

Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN

TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH

INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774

Ljubljana, maj 2006, letnik 55, str. 101-132

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

- Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
- Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
- Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.
- Besedilo mora biti izpisano z znaki velikosti 12 pik z dvojnimi presledkom med vrsticami.
- Prispevki morajo imeti naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo prispevka.
- Besedilo člankov mora obvezno imeti: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); oznako ali je članek strokoven ali znanstven; nazive, imena in priimke avtorjev ter njihove naslove; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY, 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.
- Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni.
- Slike, preglednice in fotografije morajo biti omenjene v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Vse slike in fotografije v elektronski obliki (slike v običajnih vektorskih grafičnih formatih, fotografije v formatih .tif ali .jpg visoke ločljivosti) morajo biti v posebnih datotekah, običajne fotografije pa priložene.
- Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
- Kot decimalno ločilo je treba uporabiti vejico.
- 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.
- V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime prvega avtorja (lahko okrajšano), priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
- 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.
- 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 in v 8. točki določenih grafičnih formatih.

Uredništvo

HIDRODINAMIČNO MODELIRANJE OBJEKTOV V MORJU: NOVA MARINA IN KOMUNALNI PRIVEZI V SEMEDELSKEM ZALIVU • Vsebina • Contents

In memoriam

stran **102**

Profesor višje šole **Branko Ozvald**, univ. dipl. inž. grad., 1919–2006

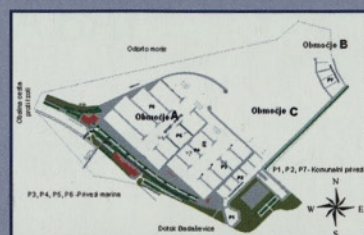
Članki • Papers

stran **103**

mag. Leon Gosar, univ. dipl. inž. grad.,
Nejc Pogačnik, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.,
prof. dr. Franci Steinman, univ. dipl. inž. grad.

HIDRODINAMIČNO MODELIRANJE OBJEKTOV V MORJU: NOVA MARINA IN KOMUNALNI PRIVEZI V SEMEDELSKEM ZALIVU

HYDRODYNAMIC MODELING OF MARINE STRUCTURES:
NEW MARINA AND LOCAL PORT IN SEMEDELA BAY



stran **113**

prof. dr. Franci Kržič, univ. dipl. inž. grad.

NOVI OBJEKTI V CEMENTARNI SKALE V SALONITU ANHOVO

NEW STRUCTURES IN CEMENT FACTORY SKALE IN SALONIT ANHOVO

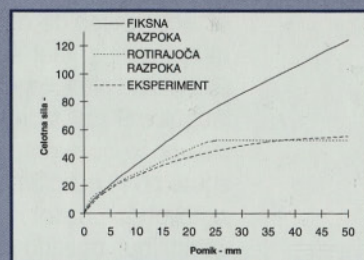


stran **126**

Jaka Dujc, univ. dipl. inž. grad.,
doc. dr. Boštjan Brank, univ. inž. grad.

RAČUN MEJNE NOSILNOSTI ARMIRANOBETONSKIH PLOŠČ

LIMIT LOAD ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE PLATES



Novi diplomanti gradbeništva

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Koledar prireditev

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Slika na naslovnici: Del transportnega sistema surovin v cementarni Anžovo, foto Franci Kržič



IN MEMORIAM

Profesor višje šole Branko Ozvald, univ. dipl. inž. grad. 1919–2006

Branko Ozvald se je rodil 22. 8. 1919 v Veliki Blatnici na Češkem. Njegov oče, Slovenec, je v Pragi doštudiral gradbeništvo ter se poročil s Čehinjo. Leta 1920 so se starši preselili v Slovenijo, kjer je l. 1938 maturiral na gimnaziji v Ljubljani in l. 1946 diplomiral za gradbenega inženirja na Tehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Med vojno 1941–45 je bil nekaj časa v italijanski internaciji v Gonarsu. Ko so Italijani zaprli tehniško fakulteto, se je vpisal na študij matematike in fizike. Ko so Nemci zaprli univerzo, se je zaposlil pri gradbenem podjetju, takoj po vojni pa pri železniški direkciji v Ljubljani (biro za obnovo porušenih mostov). Leta 1946 je bil izvoljen za asistenta na gradbenem oddelku tehniške fakultete. V letu 1947–49 je bil dodeljen v okviru pomoči nerazvitim republikam takratne Jugoslavije začasno Bosni in Hercegovini, kjer je delal v birojih in na gradbiščih v Sarajevu, Bihaću, na Palah ter pri gradnji Litostroja v Ljubljani. Leta 1962 je bil izvoljen na osnovi habilitacijskega dela za docenta, l. 1974 za profesorja višje šole, l. 1985 pa je bil na Fakulteti za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo s polno delovno dobo upokojen.

Na fakulteti je predaval na raznih oddelkih predmete Dimenzioniranje gradbenih konstrukcij, Enciklopedija gradbeništva, Gradbeni elementi in tehnično risanje ter Visoke zgradbe in bil mentor počitniških praks gradbenikov. Sodeloval je tudi pri predmetih s področja industrijskih zgradb, ki so se predavali pod okriljem katedre vsem tehničnim strokam. Ob tem se je v skoraj 40-letni delovni dobi srečal s približno 10.000 študenti vseh tehničnih panog. Za predmete, ki jih je predaval, je napisal učbenike in drugo študijsko gradivo. Njegov najobsežnejši učbenik je Enciklopedija gradbeništva iz l. 1970 (432 strani), namenjen predvsem študentom geodezije in edini te vrste v slovenski literaturi.

V več strokovnih revijah, zbornikih, leksikonih, časopisih ipd. je objavil preko 190 član- kov ter razprav, napisal pa je tudi 10 krajših monografij, razmnoženih kot tipkopisi (131 strani). Največ strokovnih člankov je objavil v Gradbenem vestniku ter v reviji Življenje in tehnika. Njegove publikacije obravnavajo poleg gradbeništva še matematiko, fiziko, opisno geometrijo, ladjedelništvo, šolstvo, tehnično zgodovino idr. Imel je tudi precej javnih predavanj in nastopov na strokovnih kongresih, na radiu in televiziji Ljubljana, na televiziji Sarajevo idr. Izdelal je več projektov za konstrukcije stavb, industrijskih objektov in mostov. Opravljal je več funkcij v univerzitetnih in družbenih organih. Pri Društvu gradbenih inženirjev in tehnikov je bil dolga leta referent za strokovni dvig (javna predavanja) ter fakultetni poverjenik. Povabljen je bil tudi k sodelovanju s Slovensko akademijo znanosti in umetnosti (biografski leksikon) ter z drugimi strokovnimi institucijami. Za razširitev strokovnega in splošnega obzorja je potoval v 48 tujih držav na vseh kontinentih.

Leta 1992 je bil povabljen v novoustanovljeno grboslovno, rodoslovno in zastavoslovno društvo Slovenski ščit, po novem Heraldica Slovenica, kjer je bil l. 1995 imenovan za častnega svetnika društva. Tu je vodil sekcijo zgodovine nobilitologije (nauk o plemstvu) ter bil dopisnik z omenjenega področja.

Prizadevnega pedagoga še dolgo ne bomo pozabili.

Evald Beloglavec, univ. dipl. inž. grad.

HIDRODINAMIČNO MODELIRANJE OBJEKTOV V MORJU: NOVA MARINA IN KOMUNALNI PRIVEZI V SEMEDELSKEM ZALIVU

HYDRODYNAMIC MODELING OF MARINE STRUCTURES: NEW MARINA AND LOCAL PORT IN SEMEDELA BAY

mag. Leon Gosar, univ. dipl. inž. grad.,
Nejc Pogačnik, univ. dipl. inž. vod. kom.,
prof. dr. Franci Steinman, univ. dipl. inž. grad.

UL. FGG, KMTe – Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem,
Hajdrihova 28, Ljubljana
leon.gosar@fgg.uni-lj.si

Strokovni članek
UDK 627.231:532.5

Povzetek | Obstoječa marina v Koprju ne zadostuje več povpraševanju, prostorske možnosti pa njene širitve in nadgradnje v sedanjem predelu mesta ne omogočajo. Nove možnosti za komercialne priveze in za komunalne priveze tistih, ki živijo z morjem, se iščejo s pripravo novega lokacijskega načrta v Semeledskem zalivu. Kritični dejavniki, ki v večjem obsegu vplivajo na inženirsko načrtovanje marine pa tudi drugih objektov na morju, so valovanje, plimovanje ter spreminjanje oblike dna in obale. Primarna dejavnost, pogosto pa tudi sekundarne, tj. podrejene rabe, podajajo za predlagani objekt, napravo ali ureditev v območju urejanja svoje specifične zahteve. Za dejavnosti v marini se tako zahteva, da valovanje v njej ne presega dovoljene meje, hkrati pa so postavljene še tehnološke zahteve (npr. plovbe in privezovanja). Prva naloga je torej z inženirskim načrtovanjem dokazati, da so vzpostavljeni ustrezni obratovalni pogoji, nato pa sledi še izpolnjevanje zahtev po Zakonu o graditvi objektov (stabilnost in trdnost itd.). Predlagani posegi v morje prinašajo neposredne, načrtovane spremembe, povzročijo pa tudi posredne vplive, kot so spremembe tokov in kakovosti ali vplive na plovbo in na druge rabe morja. Obe skupini vplivov je treba obravnavati že v začetnih fazah načrtovanja, kasneje pa vse natančneje ovrednotiti. Del opravljenih analiz obsega tudi hidrodinamično modeliranje za predlagano marino ter komunalne priveze v Semeledskem zalivu. Prikazan bo hidrodinamični model model valovanja v marini in v vplivnem območju urejanja.

Summary | The existing marina in Koper does no longer meet the demand for moorings, and spatial possibilities in the present part of the town do not allow its extension or enhancement. New possibilities of commercial moorings and of communal moorings for those living with the sea are being explored by the preparation of a new detailed spatial plan in the Semeleda bay. Critical factors having significant influence on the engineering planning of the marina as well as of other structures in the sea are wave motion, tidal motion and variableness of the sea bottom and coastline. The primary activity and frequently also the secondary ones, i.e. subordinate uses, set their specific requirements for the proposed structure, device or regulation in the area of planning. With regard to the activities in the marina, it is required that the wave motion does not extend beyond the allowed limit and that technological requirements are met (e.g. of navigation and mooring). The first task is therefore to prove by means of engineering planning that all

appropriate operating conditions have been set up. This is followed by the fulfilment of the requirements pursuant to the Construction Act (stability and strength, etc.). The proposed interventions in the sea bring direct and planned changes, but they also have indirect impacts, such as changes in hydrodynamics and sea quality, or impacts on navigation and other marine area uses. Both groups of impacts have to be dealt with as early as in the initial phases of planning and subsequently be subject to more precise evaluation. A part of the performed analyses comprises also hydrodynamic modeling of the proposed marina and communal moorings in the Semedela bay. The paper will present the hydrodynamic model and the wave model in the marina and in the impact area of planning.

1 • UVOD

Človek posega v prostor in okolje iz dveh razlogov: lahko so to posegi za točno določen namen (npr. gradnja avtocest), lahko pa so to posegi zaradi boljšega standarda bivanja (npr. gradnja akumulacij zaradi vse večje porabe vode). Spremembe prostora narekujejo tako človekove želje po izboljšanju kakovosti in privlačnosti naravnih danosti kot tudi večje funkcionalnosti ali bogatenja naravnih danosti. Za dosego več ciljnih funkcij strokovnjaki iz različnih področij prispevajo svoja specializirana znanja za pripravo tehnično, ekonomsko, okoljsko, družbeno in estetsko ustreznih oziroma sprejemljivih predlogov za poseg v prostor.

Ustrezno ovrednotenje hidrodinamičnih vplivov morja na predlagano marino, hkrati pa tudi marine na morski in priobalni prostor, je bistvenega pomena za načrtovanje posameznih objektov. Zagotavljanje varnosti in ustreznih pogojev za obratovanje marine se dokazuje z izračuni o ustrezno (majhni) višini valovanja, o primernih hidrodinamičnih pogojih za zadostno izmenjavo vode iz marine z okolico, kar vpliva na kakovost vode, vse do zadostnih razmakov plovnih poti in primerne razporeditve privezov. Tehnološka shema marine, skupaj z drugimi usmeritvami soglasodajalcev, vpliva na oblikovanje idejne zasnove marine in na konstrukcijske rešitve. Izračuni hidrodinamičnih pogojev, ki omogočajo npr.

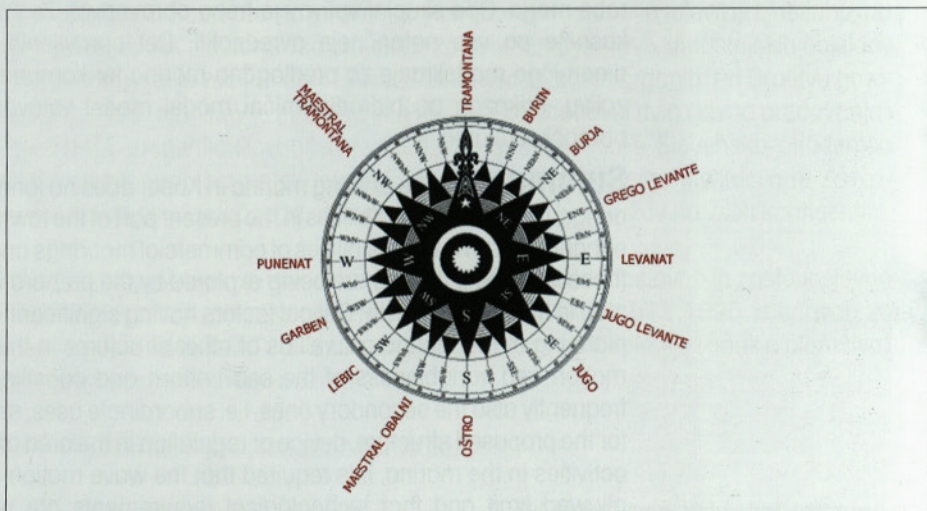
določitev obremenitve konstrukcij, ocene trendov kakovosti vode v bodočem akvatoriju marine ali izračune sprememb v gibanju vode v predlagani marini in vplivnem delu prostora morja, so bili izdelani s pomočjo dvodimenzionalnega (2D) matematičnega modela AquaSea.

Hkrati pa je bilo treba obravnavati tudi lastnosti valovanja, kot so višine, hitrosti in smeri valovanja na različnih območjih, valovanje v ožinah, v zalivih itd., da bi lahko opravili ustrezne napovedi predvidenega stanja. Z izračuni je bilo treba preveriti oz. dokazati, da predlagane rešitve zagotavljajo pogoje, potrebne za predvidene dejavnosti. Cilj raziskovanja valovanja je bil ugotoviti, kolikšni so vplivi valovanja na posamezne objektekakor tudi vpliv predlaganega posega na spremembo valovanja v okolici. Odgovore smo poiskali s pomočjo matematičnega modela Stwave.

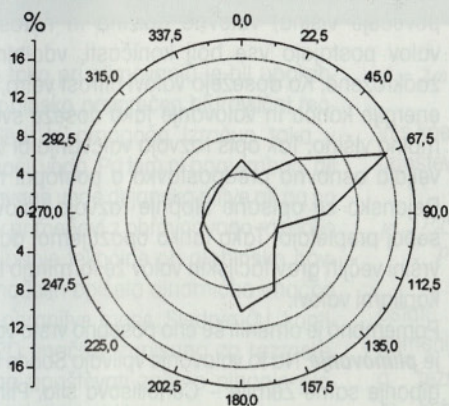
2 • HIDROMETEOROLOŠKI POGOJI V TRŽAŠKEM ZALIVU

Za vodo Tržaškega zaliva so značilna velika temperaturna nihanja, od 7° do 27°C. Najnižje temperature so v februarju, nato se aprila zaradi izmenjave z dotekajočo toplejšo vodo iz južnega dela Jadranskega morja temperatura dviga. Segrevanje morja traja vse do meseca avgusta, ko se prične voda na površini ohlajati in doseže v oktobru–novembru izotermijo. Temperatura v slovenskem delu Tržaškega zaliva ima značilen sinusni letni potek s homogeno horizontalno porazdelitvijo.

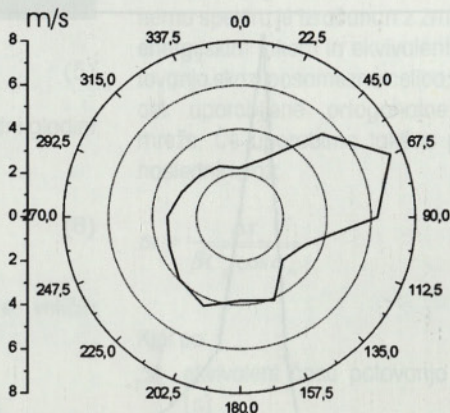
Nihanja slanosti so najmočnejše izražena v površinskem sloju (29,5–38 psu), medtem ko se pri dnu vrednosti gibljejo od 36 do 38 psu. Višje slanosti nastopajo v zimskih mesecih (januar, februar) po celem vodnem stolpcu, najnižje pa so v obdobju maj–junij ter september–oktober v površinskem sloju.



Slika 1 • Imena in smeri vetrov



Slika 2 • Porazdelitev pogostosti vetrov (%) po smereh (Grm, obdobje 1. januar do 14. marec 2002, oceanografska boja)



Slika 3 • Porazdelitev jakosti vetrov (m/s) po smereh (Grm, obdobje 1. januar do 14. marec 2002, oceanografska boja)

Prozornost morja se precej spreminja. Ker prevladuje muljasto in drobnopješčno dno, je voda pogosto zelo kalna. Ob obali je kalnost predvsem posledica dotoka lebdječih plavin iz vodotokov ter intenzivnosti vzdrževalnih del na plovnihih kanalih (tj. refuiliranja) Luke Koper. Na obravnavanem območju je prozornost morja oziroma vidljivost ponavadi manjša od 4 m. Najpogostejši vetrovi slovenskega morja so vetrovi iz širšega intervala južnih in jugovzhodnih smeri ter burja (slika 1). Po jakosti burja močno prevladuje nad južnimi vetrovi na odprtem morju, saj srednja vrednost za obdobje obdelave (januar–avgust 2001, merjeno na oceanografski boji pred Piransko punto, katere lastnik je Morska biološka postaja) presega 7 m/s (Grm, 2002).

Analiza podatkov, zbranih na oceanografski boji, kaže, da znaša najpogostejša jakost vetra nad morjem od 2 do 4 m/s, kar prikazuje sliki 2 in 3.

Glavni tok v Jadranskem morju teče vzdolž vzhodne obale iz juga proti severu s hitrostjo 3–4 navtične milje na dan in vzdolž italijan-

ske obale nazaj proti jugu. Analiza tokov, izmerjenih na oceanografski boji, kaže, da je glavna os tokov pri dnu in v osrednjem delu vodnega stolpca usmerjena v notranost Tržaškega zaliva vzdolž smeri osi zaliva, nekaj metrov pod gladino pa je najpogostejša smer tokov proti zahodu, iz zaliva. V tej plasti gre predvsem za vetrne in gostotne tokove, v globinah vodnega stolpca pa prevladujejo gostotni in plimski tokovi. Stalnega toka v Koprskem zalivu pravzaprav ni mogoče ugotoviti, saj je pod vplivom spreminjajočih se meteoroloških in oceanografskih značilnosti. Primerjave smeri toka s smerjo vetra na lokacijah merilnih točk v Koprskem zalivu ob upoštevanju vpliva poteka smeri obale so pokazale, da zgornji sloj vode, debeline 4–7 m, v glavnem sledi smeri vetra na površini in nastalim tokom zaradi strižne sile vetra. Ugotovljene pa so bile tudi obratne situacije, ko se sloj vode giblje v nasprotni smeri kot piha veter. Tak primer kratkotrajnega kroženja vode so tokovi in Koprskem zalivu ob nastopu močnih vetrov iz smeri vzhod-severovzhod in jugozahod.

Dolgotrajnejši močni vetrovi pa večinoma povzročijo stabilno cirkulacijo tokov.

Plimovanje ob slovenski obali je mešanega tipa in je posledica astronomskih plimovanj v Jonskem morju in južnem delu Jadranskega morja. Približno vsakih 15 dni se izmenjujeta poldnevni (dve plimi in dve oseki v dnevu) in dnevni tip plimovanja (ena plima in ena oseka dnevno, ki je bolj izrazita kot pri poldnevnem plimovanju). Na osnovno plimovanje ob slovenski obali vplivajo še veter in zračni pritisk ter sočasnost lastnega nihanja gladine Jadranskega morja.

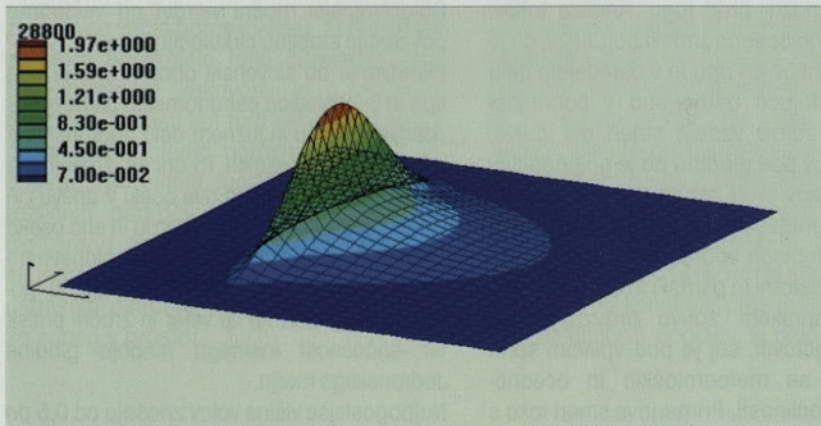
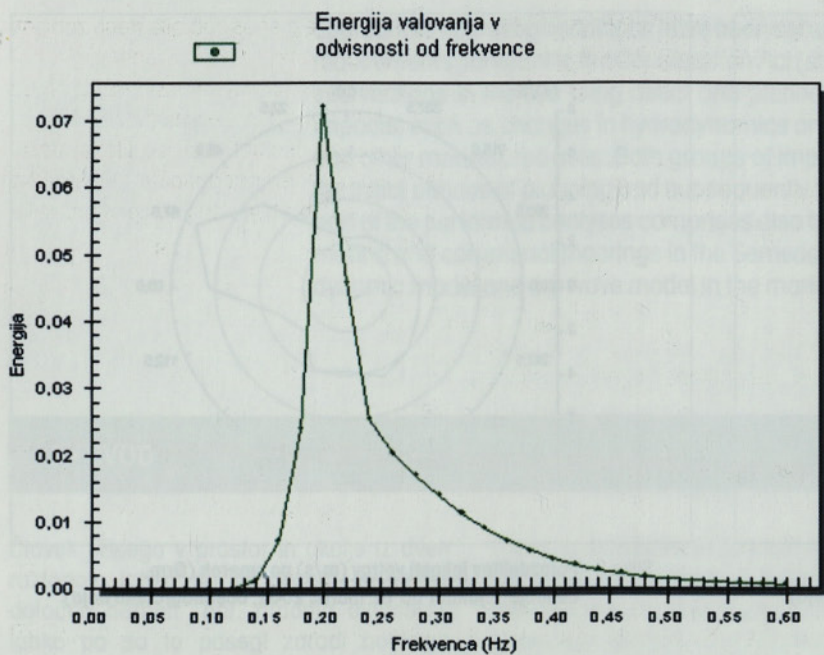
Najpogostejše višine valov znašajo od 0,5 do 1,5 m, kar ustreza stanju morja III. stopnje po WMO (tj. Svetovni meteorološki organizaciji). V slovenskem morju so pogoste tudi višine valovanja od 2,0 do 2,5 m, vendar ne v Koprskem zalivu. Najvišje valove je na obravnavanem območju pričakovati ob burji in poletni tramontani. Zato smo izdelali tudi analizo povratnih dob ekstremnih valov iz severozahodnega kvadranta (maestral tramontana), saj najbolj ogroža objekte na obravnavani lokaciji.

3 • VALOVANJE, PLIMOVANJE IN TOK

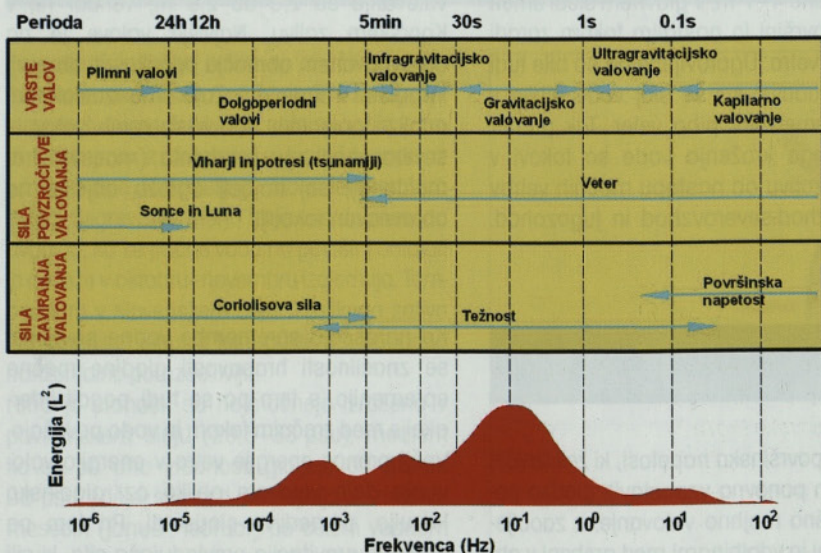
Ko veter piha preko vodne površine, se zaradi trenja med vodno površino in zračnim tokom ter sprememb pritiska ravna gladina morja začne počasi oblikovati v majhne zaobljene valove. Spremembi oblike vodne površine

nasprotuje površinska napetost, ki želi izničiti valovanje in ponovno vzpostaviti gladko površino. Takšno majhno valovanje, z zaobljenimi grebeni in vdolbinami med grebeni v obliki črke "V", imenujemo **kapilarno valovanje**.

Ko naraščajo spremembe vodne površine, se značilnosti hrapavosti gladine močno spremenijo, s tem pa se tudi pogoji interakcije med zračnim tokom in vodo povečajo. Večji prenos energije vetra v energijo valovanja daje valovom obliko oz. gladinsko krivuljo, primerljivo sinusoidi. Pri tem pa postane gravitacija prevladujoča sila, ki sili k vzpostavitvi prejšnjega stanja. Zato govo-



Slika 4 • Prikaz porazdelitve valovnega spektra, uporabljenega v matematičnem modelu Stwave



Slika 5 • Prikaz približne porazdelitve valovne energije glede na povzročajočo silo

rimo o **gravitacijskem valovanju**. Če se valovom še naprej dodaja energija (npr. ob nevihtah), se jim hitro povečuje višina, valovna dolžina in hitrost. Grebeni valov postajajo vse bolj koničasti, vdolbine pa bolj zaokrožene. Ko dosežejo valovi hitrost vetra, se prenos energije konča in valovanje tako doseže svojo maksimalno višino. Tak opis razvoja valovanja bi veljal, če bi veljala osnovna predpostavka o postopni rasti valov. Dejansko se opisane stopnje razvoja valovanja med seboj prepletajo. Tako lahko opazujemo, da se na površini večjih gravitacijskih valov že formirajo tudi manjši kapilarni valovi.

Pomembno je omeniti še eno posebno vrsto valovanja, to je **plimovanje**. Na to valovanje vplivajo Sonce in Luna, ter gibanje same Zemlje – Coriolisova sila. Plimovanje bi lahko pravzaprav opisali kot valovanje z zelo dolgo periodo, ki traja približno eno polovico cikla vrtenja Zemlje. Valovanje na obravnavanem območju se lahko najenostavneje opiše z velikostjo energije in frekvenco valovanja. Vsi valovi pa niso enaki in se ne gibljejo v pravilnem sinusnem gibanju, zato jih je potrebno definirati z valovnim spektrom. Valovni spekter je statistično opisano porazdelitev valovanja na nekem območju. Konceptualno je spekter valovanja zasnovan kot verjetnostna porazdelitev valov z enakimi valovnimi dolžinami. Definiran je kot funkcija frekvence (enodimenzijski spekter) oz. frekvence in smeri pri porazdelitvi valovne energije (dvodimenzionalni spekter). Enodimenzionalni spekter iz matematičnega modela valovanja »Stwave« je prikazan na sliki 4. Ta valovni spekter je zasnovan na predpostavki, da si računalniški program faz valovnega spektra v iteracijah ne zapomni, zato se faze kot element spektra generirajo naključno. Pri izračunih realnih projektov je faza redkokdaj znana. Je pa potrebna za določanje višine valov ob morskih zgradbah ter za detajlno obravnavo loma in potovanja valov na manjšem območju (npr. znotraj marine).

Za določitev valovnega spektra je odločilen vzrok valovanja. Kaj valovanje povzroča, kako ga lahko opišemo in kakšne so povezave med posameznimi dejavniki? Valovanje nastane zaradi različnih sil na tekočino. Glede na dolžino trajanja jih v grobem delimo na dve skupini: na **trenutne sile** (potres, izbruh vulkana) in na **stalne sile** (veter, plima). Z opisom lastnosti teh sil je možno opisati različna valovanja, ki se pojavijo na površini vode, kar prikazuje slika 5.

Glede na pogoje v obravnavanem primeru je bila odločilna sila težnosti, zato je bilo območje gravitacijskega valovanja izhodišče za izbiro parametrov valovanja pri izdelavi študije.

4 • ZASNOVA MATEMATIČNIH HIDRAVLIČNIH MODELOV

Za izračun toka pri plimovanju je bil uporabljen 2D, globinsko povprečen hidravlični model AquaSea, ki omogoča izračun toka v plitvih območjih voda. Pri tem ni pomembno, ali so obravnavane vode dejansko plitve ali pa so je globina v primerjavi z obravnavano razdaljo majhna. Gibanje tekočine pri globinsko povprečenih modelih opišeta dinamična enačba in enačba ohranitve mase. Slednja (t.i. kontinuitetna) 2D enačba, zapisana za razmere, kjer je treba upoštevati znatno nihanje globine, ima naslednjo obliko:

$$\frac{\partial}{\partial x}(uH) + \frac{\partial}{\partial y}(vH) + \frac{\partial \eta}{\partial t} = q \quad (1)$$

kjer je nihanje globine zapisano kot sprememba okrog srednje vrednosti:

$$H = h + \eta \quad (2)$$

uporabljene oznake veličin pomenijo:

- h srednja globina vode (m)
- η spreminjanje globine okrog srednje vrednosti (m)
- H dejanska, računska globina (m)
- u hitrost v x-smeri (m/s)
- v hitrost v y-smeri (m/s)
- t čas (s)
- q dotok oz. tok vode v oz. iz obravnavanega območja na enoto florisne površine ($m^3/s/m^2$) oz. (m/s), kjer je dotok definiran kot pozitiven

Kontinuitetna enačba vsebuje tri neznanke, tj. dve komponenti hitrosti (u, v) in dejansko globino H, zato za izračun tokovnih razmer potrebujemo še dve enačbi. To sta dinamični enačbi, zapisali za obe smeri x in y:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x}u + \frac{\partial u}{\partial y}v = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + fv - \frac{g}{HC^2}(u^2 + v^2)^{1/2}u + \frac{K}{H}W_x|W| - \frac{q}{H}(u - u_0) \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial x}u + \frac{\partial v}{\partial y}v = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} - fu - \frac{g}{HC^2}(u^2 + v^2)^{1/2}v + \frac{K}{H}W_y|W| - \frac{q}{H}(v - v_0) \quad (4)$$

pri čemer smo upoštevali vpliv Coriolisove sile z ustreznim koeficientom:

$$f = 2\omega \sin \varphi \quad (5)$$

in s koeficientom trenja vetra na vodni gladini upoštevali še ta vpliv:

$$K = \frac{\rho_a C_D}{\rho_w} \quad (6)$$

ostale, doslej neopisane oznake veličin pomenijo:

- g težnostni pospešek (m/s^2)
- ω kotna hitrost vrtenja Zemlje (s^{-1})
- φ zemljepisna širina ($^\circ$)
- C de Chezyjev koeficient trenja ob dnu ($m^{1/2}/s$)
- ρ_a gostota zraka (kg/m^3)
- C_D trenjski koeficient vetra
- ρ_w gostota vode (kg/m^3)
- W_x hitrost vetra v x-smeri (m/s)
- W_y hitrost vetra v y-smeri (m/s)
- |W| skupna jakost (skalar) hitrosti vetra (m/s), $|W| = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$
- u_0 hitrost dotoka/odtoka vode v x-smeri (m/s)
- v_0 hitrost dotoka/odtoka vode v y-smeri (m/s)

Tri enačbe skupaj opišejo globinsko povprečno tokovanje vode, zato lahko z njimi izračunamo tokovno sliko pri plimovanju. Vgrajene so v računalniški program AquaSea. V računalniškem programu Stwave pa je nastanek valovanja definiran drugače (Vatnaskil, 1998), saj je treba zajeti transformacijo sil vetra v notranje sile vode, ki povzročajo drugačno obliko valovanja – s povečevanjem prenosa energije pa valovanje tudi narašča. Matematični zapis toka energije vetra F_{in} , ki se pretvarja preko trenja v energijo valovanja, je takšen:

$$F_{in} = \lambda \frac{\rho_a}{\rho_w} 0.85 C_m \frac{u_*^2}{g} \quad (7)$$

kjer so:

- F_{in} tok prenosa energije vetra (m^2/s)
- λ koeficient, ki poda, kolikšen delež energije se iz atmosfere direktno prenese v dodatno energijo valovanja
- ρ_a gostota zraka (kg/m^3)
- ρ_w gostota vode (kg/m^3)
- C_m srednja hitrost valovanja (m/s)
- u- trenjska hitrost, ki je enaka zmnožku hitrosti vetra in korena koeficienta strižne napetosti (m/s)

V globlji vodi je prenos energije treba zapisati nekoliko drugače. Prispevek energije valovnemu spektru je izračunan z zmnožkom med energijskim tokom in ekvivalentom časa potovanja skozi posamezno celico, ki je sestavni del uporabljene ortogonalne Kartezijeve mreže. Če uporabimo takšen pristop, velja naslednji izraz:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{\beta C_g \cos \alpha_m} \quad (8)$$

Kjer so:

- Δt ekvivalent časa potovanja skozi celico (s)
- Δx karakteristična razdalja, upoštevana kot velikost celice
- β vplivni faktor, za vetrove na morju ima priporočeno vrednost 0,9
- C_g povprečna skupna hitrost valovanja za celotni spekter (m/s)
- α_m povprečna smer valovanja glede na postavitev in definiranje mreže ($^\circ$)

Ker je Stwave ravninski, 2D model, so v izračune vključeni samo vetrovi, ki pihajo proti obali. Pri izračunih s Stwave pa ni možno upoštevati dušenja zaradi procesov, ki bi nastali kot posledica nasprotnih vetrov z obale ali valovanja proti odprtemu morju. Vendar so rezultati izračunov zaradi neupoštevanja dušenja na varni strani.

Valovanje je lahko opisano kot samostojno in v interakciji s tokom (npr. vzdolž obale). Z indeksom \dot{g}_a bo opisano gibanje kot celota (valovanje s tokom), z indeksom \dot{r} pa gibanje posameznega vala. Če se obravnava skupna hitrost celotnega valovanja, se doda še indeks \dot{g} . Tako lahko zapišemo disperzijsko enačbo valovanja:

$$c_r^2 = gk \tan kd \quad (9)$$

z njeno pomočjo lahko izrazimo hitrost vala:

$$C_r = \frac{c_r}{k} \quad (10)$$

in nato definiramo hitrost valovanja:

$$C_{gr} = 0.5 C_r \left(1 + \frac{2kd}{\sin 2kd}\right) \quad (11)$$

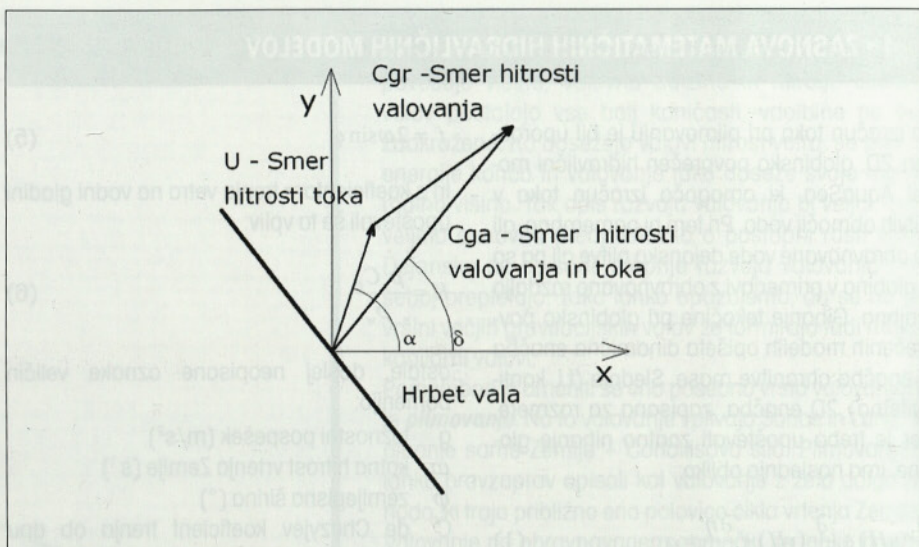
zato je skupna hitrost gibanja valovanja in toka zapisana z naslednjo enačbo:

$$(C_{ga})_i = (C_{gr})_i + (U)_i \quad (12)$$

Pri zgornji enačbi za skupno hitrost valovanja indeks ζ omogoča še razdelitev hitrosti na dve komponenti v x- in y-smeri. Grafični prikaz vektorjev hitrosti valovanja in toka je podan na sliki 6.

V enačbah uporabljene oznake pomenijo:

- C_r hitrost vala (m/s)
- C_{gr} hitrost gibanja valovanja (m/s)
- C_{ga} hitrost gibanja valovanja in toka (m/s)
- ζ valovna kotna frekvenca
- g gravitacijski pospešek (m/s²)
- ρ_w gostota vode (kg/m³)
- U hitrost morskega toka (m/s)
- δ kot smeri morskega toka v izbranem sistemu
- α kot smeri valovanja v izbranem sistemu
- L valovna dolžina
- k valovno število $k = \frac{2\pi}{L}$



Slika 6 • Vektorji hitrosti tokov in valovanja

5 • OBMOČJE UMEŠČANJA NOVE MARINE

Gradnja nove marine in komunalnih privezov v Kopru naj bi obsegala gradnjo valobrana, zaščitenega s kamnometom, ki bi potekal v loku proti sredini zaliva, ter gradnjo notranjih pomolov za komercialne in komunalne priveze. Predlagani poseg bi se navezal na spreminjanje sedanje morske linije, ki poteka vzporedno s cesto Semedela–Žusterna, ko se bo spremenila namembnost sedanje obalne ceste po izgradnji obalne hitre ceste (PS, 2004). Drugo območje urejanja obsega izgradnjo komunalnih privezov na severo-vzhodnem delu zaliva, ob obstoječem ribiškem mandraču v Kopru. Obe območji sta funkcionalno povezani, zato je treba obravnavati celotni zaliv in del odprtega morja skupaj.

Nova marina in komunalni privezi, prikazani na sliki 7, naj bi imeli naslednje prostorske dele:

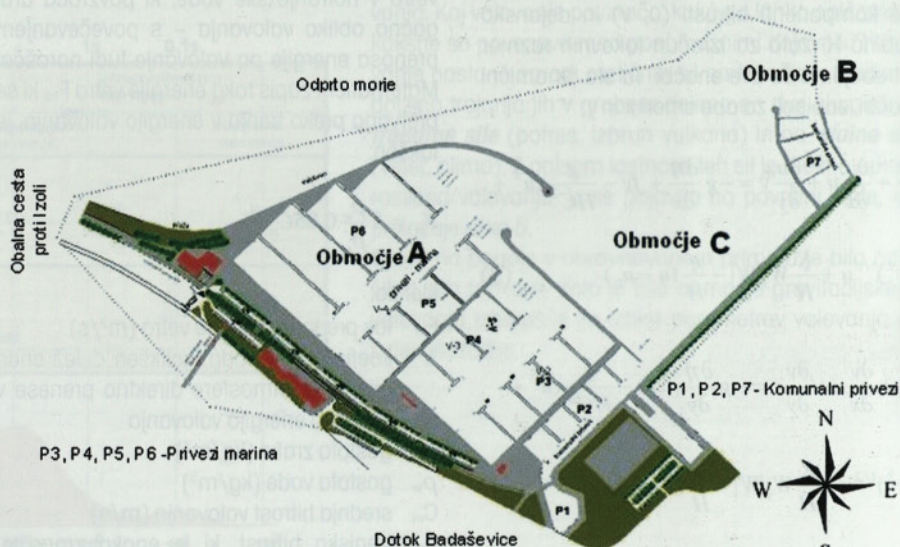
- dva sedanja stara mandrača, ki sta namenjena komunalnim privezom (na sliki 1 imata oznako P1),
- prostor za komunalne priveze in izliv Badaševice v morje (oznaka P2),
- prostor za komunalne priveze ob ribiškem mandraču na severo-vzhodnem delu zaliva (oznaka P7),
- prostor za komercialne priveze (oznake P3, P4, P5 in P6).

Predlog nadgrajuje idejo, prikazano v strokovnih podlagah za prostorske akte. Za izhodiščno zasnovo so bile opravljene hidrodinamične presoje, prikazane v maritimni študiji. Iz obsežnih rezultatov modeliranja za veliko število možnih scenarijev ter z izmenjavo izkušenj pri izdelavi idejne študije za marino in komunalne priveze v Kopru se je postopoma oblikovala predlagana rešitev.

Z upoštevanjem različnih vidikov je bila nato usklajena oblika oz. zasnova marine in komunalnih privezov, ki je prikazana na sliki 7.

Za potrebe modeliranja je bilo območje Semedelskega zaliva s predlagano umestitvijo marine razdeljeno na tri območja obdelave (Steinman et al., 2005):

- Območje **A**: Marina s komercialnimi in komunalnimi privezi.
- Območje **B**: Novi komunalni privezi v severo-vzhodnem delu zaliva ob obstoječem ribiškem mandraču.
- Območje **C**: Osrednji del zaliva.



Slika 7 • Z različnih zornih kotov usklajen predlog oblike marine in komunalnih privezov

Za območji A in B je bilo treba na podlagi izračunov predlagati takšno geometrijo celotnega posega oz. porazdelitve elementov, ki bi zagotavljala čim boljše gibanje vode v akvatoriju komercialnih privezov. S tem bi dosegli ugodno in čim hitrejšo izmenjavo vode, kar bi olajšalo izpolnjevanje pogojev glede kakovosti vode v marini. V področju komunalnih pri-

vezov je bilo treba skupaj s prejšnjim pogojem zagotoviti še ustrezne razmere na iztoku reke Badaševice, kjer nastajajo težave predvsem zaradi hudourniškega značaja tega vodotoka. Potrebno je bilo zadostiti tudi najzahtevnejšemu pogoju za delovanje marine, ki zahteva, da valovanje v predvidenih akvatorijih ne sme presegati višine 30 cm.

Osrednji del zaliva (območje C) je bilo treba zaradi morebitnih posrednih vplivov marine na hidrodinamične razmere, na vpliv (primarnega in sekundarnega) valovanja na predvidene objekte in na morebiti spremenjene pogoje za plovbo v samem zalivu obravnavati posebej.

6 • ROBNI POGOJI HIDRODINAMIČNEGA MODELA

Rezultati izračunov hidrodinamičnega modela in modela valovanja podali ugotovitve, ki bi lahko vplivale tudi na spremembe konstrukcije valobranov in glavnih pomolov, predvsem zaradi zagotovitve naslednjega:

- zadostne izmenjave vode v akvatoriju marine in komunalnih privezov. Obseg izmenjave je problematičen ob minimalnih gibanjih morja, zato je potrebna optimizacija oblike valobranov in konstrukcij znotraj akvatorija ter optimizacija odprtin, ki povečujejo izmenjavo vode v akvatoriju itd.;
- vpliva višjih visokovodnih pretokov Badaševice na razmere v akvatorijih, saj dotekajoči visoki pretoki povzročajo dodatne obremenitve (sila impulza reke);
- vpliva ekstremnih valov, nastalih ob najneugodnejših razmerah na morju;
- sočasnega vpliva več neugodnih vplivov, kar je zajeto preko podanih robnih pogojev.

Od robnih pogojev, ki vplivajo na gibanje vode v obravnavanem območju, je treba upoštevati predvsem naslednje (slika 8):

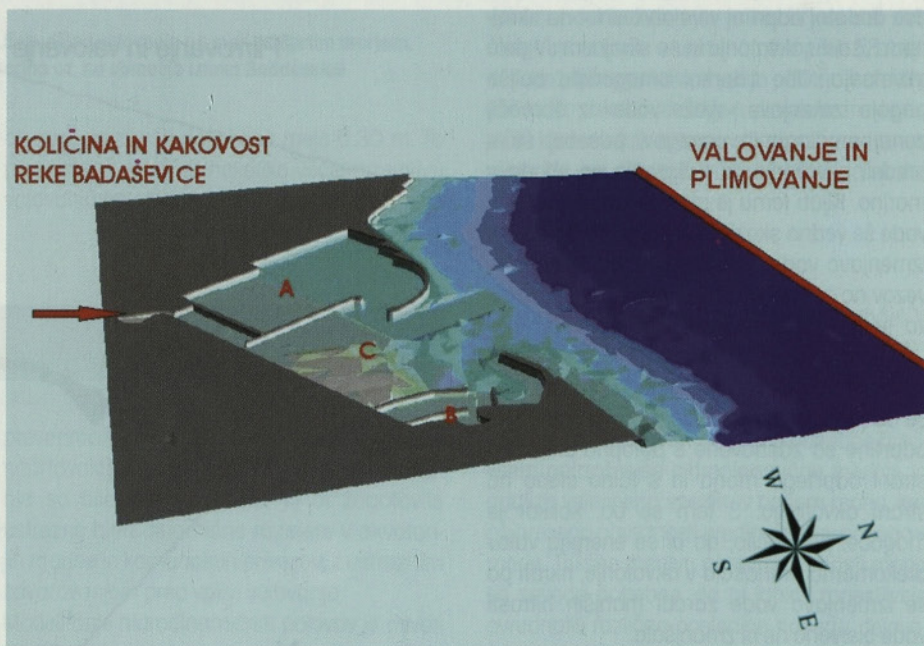
- spreminjanje gladine na zunanem, morskem robu, ki nastane zaradi plimovanja,
- vpliv vetra (različnih smeri in jakosti) na površino morja, kar povzroča in oblikuje valovanje,
- dinamiko pritokov v znanih lokacijah izlivov (tudi s podano temperaturo ali koncentra-

cijo onesnaževal), dotok reke reke Badaševice,

- odprti rob (tj. odprtina) marine, preko katerega se vanjo prenašajo vplivi,
- razporeditev hitrosti na robovih, ki so bile pridobljene iz izračuna večjega področja ali iz opravljenih meritev tokovanja,

- znane razmere o širjenju onesnaževal in prenosa toplote na površini ali na robovih.

Izračuni s hidrodinamičnim modelom so upoštevali kombinacije robnih pogojev, zato je nastalo enajst obtežnih primerov. Izračuni z modelom valovanja pa so bili opravljeni za tri primere, kjer so bile upoštevane višine valovanja na robovih modela z različnimi povratnimi dobami.



Slika 8 • Prikaz lokacij, kjer so bili za obravnavano območje upoštevani robni pogoji

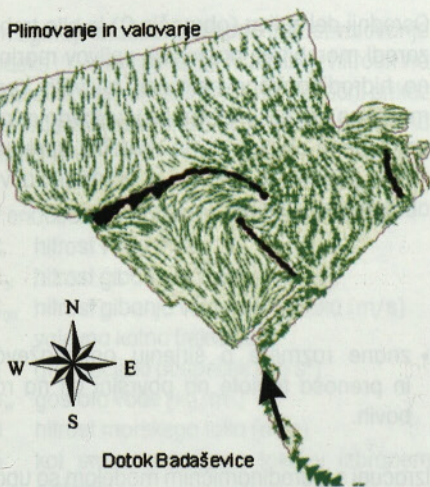
7 • PREDSTAVITEV REZULTATOV

Končni rezultati, ki služijo načrtovalcem objektov in ureditev, so sinteza rezultatov več numeričnih modelov, s katerimi se je iskala najugodnejša varianta gibanja in kroženja morske vode v akvatoriju marine in komunalnih privezov. Poleg modela AquaSea je bil za

verifikacijo uporabljen tudi tridimenzijski (3D) model PLOW3D, razvit na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (Rajar, 1991), (Rajar, Četina, 1992). Za izračun gibanja morske vode niso bili upoštevani pomoli znotraj marine in pomoli za

priveze, saj bodo le-ti izvedeni v plavajoči izvedbi ali z izvedbo ploščadi, nameščene na uvrtnih kolih. Takšne konstrukcije sicer predstavljajo motnjo (kakor tudi privezana plovila), vendar so spremenjene hitrosti gibanja vode znotraj akvatorija marine in komunalnih privezov dovolj majhne, da so razlike zanemarljive. Na sliki 9 je prikazan primer izračunanega gibanja morske vode (Steinman et al., 2005).

Plimovanje in valovanje



Slika 9 • Polje hitrosti za obtežni primer 7, s prikazom rezultata modeliranja po času 31,0 ur

Na podlagi dosedanjih izkušenj z modeliranjem podobnih objektov in iz vmesnih rezultatov modelov se je pokazalo, da sta potrebni dve dodatni odprtini v valobranih – na skrajnem SZ delu akvatorija in na skrajnem JV delu akvatorija. Obe odprtini omogočata boljše pogoje izmenjave »sveže vode« iz območij zunaj predlaganih posegov, posebej še s predeli akvatorija, ki ležijo dlje od vhoda v marino. Kljub temu je glavni vir dotoka sveže vode še vedno skozi vhod v marino. Za boljše izmenjavo vode v akvatoriju komunalnih privezov na zahodnem delu Smedeškega zaliva je prav tako predvidena odprtina, ki je umeščena 10 m od stare semedelske ceste, da bi se izognili vnosu s tistega predela, kjer se ob maestralu naplavlja morska trava. Vse odprtine so zasnovane s potopno steno na strani odprtega morja in s talno steno na strani akvatorija. S tem se bo, kolikor je mogoče, preprečilo, da bi se energija valov prekomerno prenašala v akvatorije, hkrati pa se izmenjava vode zaradi manjših hitrosti vode bistveno ne bi zmanjšala.

Pri primerjavi razmer pri vgradnji različnih velikosti odprtini se je izkazalo, da so za izmenjavo vode ugodnejše odprtine manjših velikosti. Zaradi večjih hitrosti pretakajoče se vode iz odprtine je namreč izmenjava vode ugodnejša v oddaljenih predelih akvatorijev. Simulacija hkratnih vplivov dotoka Badaševice in plimovanja je prikazala, da je tokovna slika v območju privezov P3, P4, P5, P6, P7 in P8 skoraj enaka tokovni sliki v primeru, ko je simulirano samo plimovanje. Razlog za to, da Badaševica nima vplivov na ta območja privezov, je predvsem velika odprtina oz. vhod v marino. V območju privezov P1 in P2 pa so

izračuni pokazali, da že majhni pretoki Badaševice prevladujejo kot gonilna sila procesov. Simulacije visokovodnih pretokov reke Badaševice, tj. pretokov z večjo povratno dobo so pokazale, da v izlivnem delu lahko nastane celo vodni skok, ki nastane ob prehodu iz deročega v mirni tok. Za minimalno širino iztoka reke Badaševice je bila privzeta in ohranjena širina svetlega profila pod mostom za pešce na obstoječem iztoku Badaševice, za katerega so bili ustrezni računi pretočnosti izvedeni pri dimenzioniranju premostitve. Za zaključni del iztoka iz območja komunalnih privezov P2 je predlagana izvedba s potopno steno, kar zagotavlja učinkovitejše odvajanje reke Badaševice pri pretokih z večjo povratno dobo (Steinman et al., 2005).

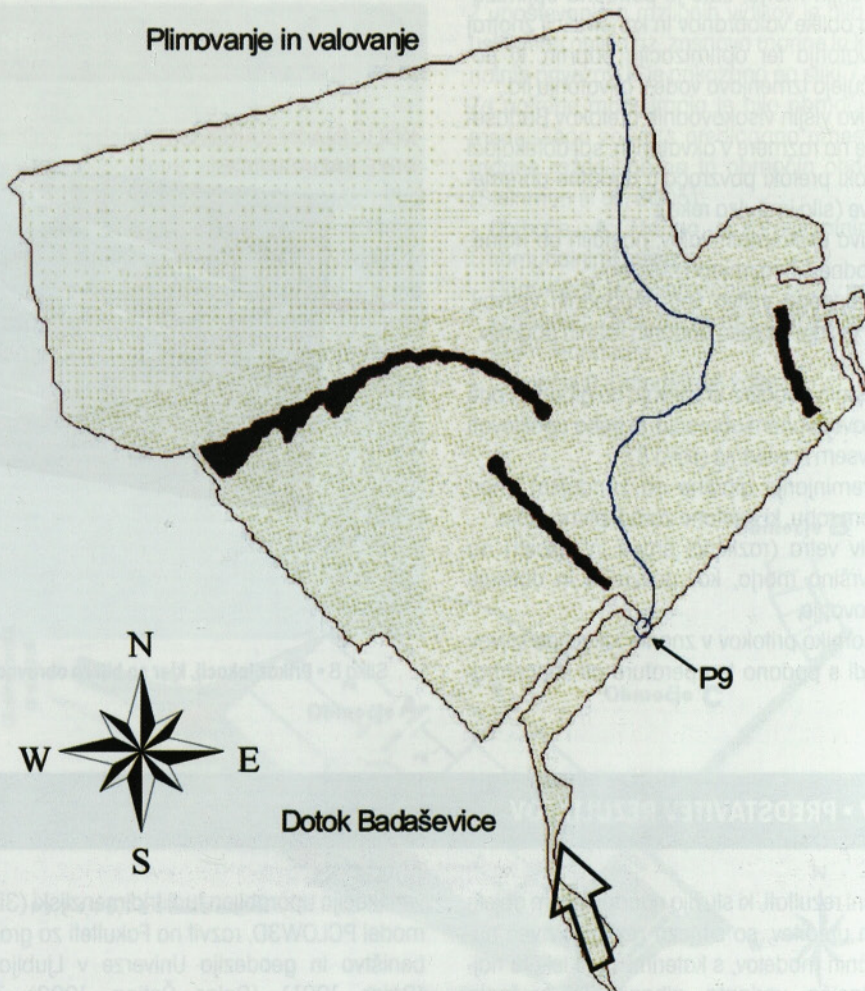
Da bi odgovorili na vprašanje, kakšno je gibanje vode reke Badaševice v komunalnih privezih in naprej v zalivu, je bil opravljen tudi izračun gibanja delca pri nekoliko večjem pretoku Badaševice. Poznavanje tega gibanja

vode je pomembno za presojo sprememb kakovosti vode, saj bi morebitni prevelik vnos hranilnih snovi (iz Badaševice) v predel komercialnih privezov marine lahko ogrozil izpolnjevanje zahtev o kakovosti voda. Prikaz trajektorije delca na sliki 10 dokazuje, da njegova pot vodi iz osrednjega dela zaliva.

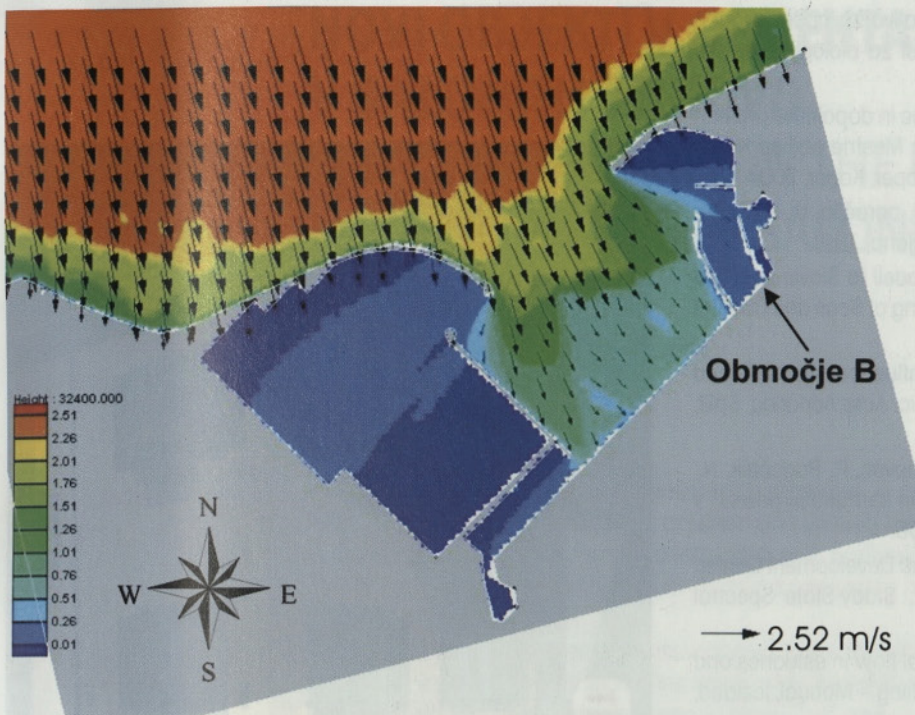
Izračuni so pokazali, da ima Badaševica že pri pretokih, ki so večji od $2 \text{ m}^3/\text{s}$, prevladujoč vpliv na tokovno gibanje, kar zagotavlja, da morebitni dotoki hranilne snovi oz. onesnaževala iz povodja reke odteka ven iz Smedeškega zaliva in ne vplivajo na stanje v lukah.

Analiza vpliva valovanja je pokazala, da na območje novih komercialnih privezov v marini zunanje valovanje ne bo imelo prekomernega vpliva. Gladina bi predvidoma zanihala le za nekaj centimetrov tudi ob najbolj neugodnih pogojih (slika 11). Drugačno pa je stanje v predelu komunalnih privezov na iztoku reke Badaševice. Ker mora prerez omogočiti odtok

Plimovanje in valovanje



Slika 10 • Prikaz potovanja delca, ki potuje iz točke P9, v razmerah iz obtežnega primera 11. Prikazana trajektorija opisuje pot delca, ki jo napravi v času simulacije od 24,8 do 34,0 ure



Slika 11 • Višina valovanja v marini kot posledica 2,5 m višine valovanja na meji z odprtim morjem. Večji vdor valov je viden le skozi vhod v marino oz. na območje iztoka Badaševice

visokih voda Badaševice, se lahko valovanje močneje širi tudi od morske strani navznoter. Valovanje lahko doseže višino tja do 0,20 m

ob tem, da znaša dovoljena meja 0,30 m. To pa pomeni, da kljub nekoliko večjemu vplivu valovanja na akvatorij, še zlasti na vtoku, tudi

tu valovanje nima omejevalnega vpliva na pogoje privezov. K temu najbolj pripomore ugodna oblika vhoda v akvatorij, vsi privezi pa se nahajajo na pravilni strani akvatorija.

Znotraj akvatorija za komunalne priveze (območje B) ob ribiškem mandraču na severovzhodnem delu zaliva so valovi zaradi defrakcije nekoliko višji kot na območju komunalnih privezov v marini. Zaradi močnejšega vpliva valovanja, ki dosega zgornjo tretjino dovoljenih višin valovanja, se je kot potrebna pokazala izvedba prvega pomola s potopno steno, izvedeno do tal. Ločilna stena bi lahko izračunani vpliv valovanja močno zmanjšala.

Valovanje v osrednjem delu Semedelskega zaliva se močneje ne spremeni. Nekoliko večji vpliv na višino valovanja bi imel globlji predel plovne poti v zalivu, po katerem bi se valovanje dokaj močno širilo proti stranskemu valobranu. V srednjem delu, na prehodu med plovno potjo in nespremenjenim delom zaliva, se energija valovanja močno zmanjša, kar se odrazi na povečanju višine valovanja. Severovzhodni del zaliva, kjer je razširjeni del ribiškega mandrača s komunalnimi privezi, oblike del razdeljenega toka, z večjo plitvino v sredini zaliva. To valovanje oblike tudi valobran obstoječih komunalnih privezov in se vzporedno ob njem širi vse do obstoječega obalnega skalometeta.

8 • SKLEP

Kar najboljše poznavanje prostora morja, v katerega se umešča nov objekt, omogoča temeljito analizo sprememb obstoječega stanja oz. naravnih danosti, hkrati pa določitev tehničnih parametrov, potrebnih za dimenzioniranje objektov in ureditev. Lastne izkušnje in vsebine iz objavljenih virov pripomorejo k natančnejši opredelitvi problema in robnih pogojev. Hkrati omogočajo, da se lahko pripravijo predhodne ali alternativne študije predlogov, za katere lahko vsaj deloma

preverimo ustreznost rešitev. S sodelovanjem načrtovalcev posega in izvajalcev modeliranja so bile razvite rešitve, ki bi zagotovile ustrezne hidrodinamične razmere v akvatorijih marine in komunalnih privezov, z ustreznim zavarovanjem pred vplivi valovanja.

Modeliranje hidrodinamičnih pojavov je osvetlilo le del kompleksnega prepletanja različnih vplivov. Za izdelavo naslednjih faz gradbene dokumentacije bodo potrebni natančnejši rezultati modeliranja. Kadar matematični modeli

ne zadoščajo, se lahko uporabi fizični model. V tej fazi modeliranja še niso bili upoštevani različni procesi, kot so npr. zalivski tok, dotok sladke vode Badaševice ipd. Za izboljšanje natančnosti izračunov pa bi bile potrebne predvsem natančnejše hidrodinamične meritve in analiza valovnega spektra v našem morju, kar pa presega obveznosti predlagateljev posega v morje. Takšne meritve naravnih danosti morja so seveda potrebne, da bi lahko zanesljiveje ovrednotili različne posledice našega delovanja v (morskem) okolju, vplive procesov na kopnem in na morju in bolje ocenili nepredvidljive in predvidljive dogodke na obalnem območju.

9 • LITERATURA

- Kompare, B., Gosar, L., Babič, R., Prešeren, T., Kozelj, D., Sanacija virov onesnaževanja reke Badaševice – Spremljanje stanja kakovosti reke Badaševice z lokacijo virov onesnaževanja, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko, Ljubljana, 2005.
 Gabrijelčič, P., Plazar Mlakar, M., Gazvoda, D., Čok, G., Gosar, L., Steinman, F., Podrobnejša zasnova prostorskih ureditev obalnega pasu, integralno poročilo, Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, 2005.

Grm, A., Roža vetrov v južni polovici Tržaškega zaliva za obdobje od 1. januarja do 14. marca 2002. Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja Piran, 2002.

PS Prostor d.o.o., Strokovne podlage za spremembe in dopolnitve prostorskih sestavin dolgoročnega družbenega plana Mestne občine Koper (marina in komunalni privezi), Mestna občina Koper, Koper, 2004.

Rajar, R., Izračuni cirkulacije vode v Marini Koper, poročilo, UL-FGG, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem, Ljubljana, 1991.

Rajar, R., Application of the Three-Dimensional Modell to Slovenian Coastal Sea. Inter. Conference on Computer modelling of Seas and Coastal Regions, Southampton, April 1992.

Rajar, R., Četina, M., Modelling of Tidal and Wind-Influenced Currents and Dispersion of Pollutants in the Northern Adriatic. Acta Adriatica, Split, 1992.

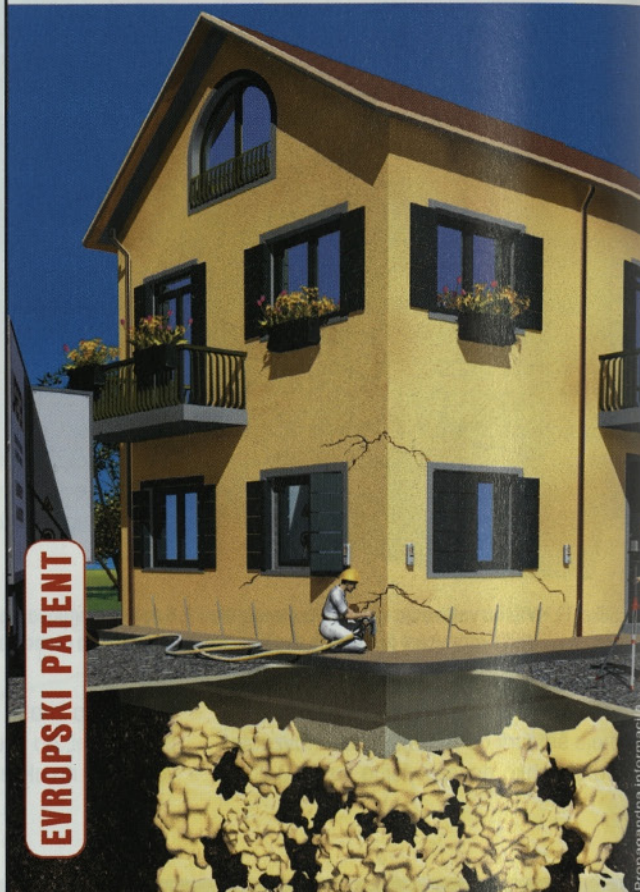
Steinman, F., Gosar, L., Rajar, R., Kompare, B., Banovec, P., Pogačnik, N., Strokovne podlage za lokacijski načrt "Marina in komunalni privezi" v Kopru – Maritimna študija, končno poročilo, 2005.

US Army Corps of Engineers; Engineer Research and Development Center: Coastal and Hydraulics Laboratory: STWAVE: Stady-State Spectral Wave Model; User's Manual for STWAVE, 2001.

Vatnaskil Consulting Engineers inc., AquaSea, Tidal flow in estuaries and coastal areas, Lake circulation, Transport modelling – Manual, Iceland, 1998.

Vodnogospodarski inštitut, Modelna preiskava zaliva ob novem izlivu Badaševice med Koprom in Semedelo, Ljubljana, 1982.

POSEDANJA? RAZPOKE?



EVROPSKI PATENT

REŠITEV PROBLEMOV NOSILNOSTI TERENA

- preprosto, brez izkopavanj
- brez umazanije in škarta
- takojšna učinkovitost
- priročno, inovativno
- zanesljivo, nadzor z laserjem
- močni dvigi stavb
- evropski patent

Uretek® je edinstvena tehnologija utrjevanja temeljnih tal, ki se uporablja za reševanje problemov posedanja terena. Izjemna moč stiskanja terena (do 10.000 Kpa) in natančnost tehnologije Uretek® Deep Injections delujeta v globini terena pod temelji in s tem jamčita popoln uspeh posega in trajnost doseženih rezultatov.

Najzanesljivejša rešitev za probleme posedanja terena.

GARANCIJA 10 LET.

URETEK®
PRAVA REŠITEV ŽE OD LETA 1975

Uretek, d.o.o., Sokolska ulica 5, 1295 Ivančna Gorica,
tel.: 01/ 787 83 86, faks: 01/ 786 90 82, GSM: 040/ 237 569
www.uretek.si, uretek@uretek.si

NOVI OBJEKTI V CEMENTARNI SKALE V SALONITU ANHOVO

NEW STRUCTURES IN THE CEMENT FACTORY SKALE IN SALONIT ANHOVO

prof. dr. Franci KRŽIČ, univ. dipl. inž. grad.

Derčeva 27, 1000 Ljubljana

Strokovni članek

UDK 691.54.006.4

Povzetek | Pri dosedanji proizvodnji cementa v cementarni SKALE v Salonitu Anhovo so predstavljali precejšen problem oddaljenost deponije in neustrezen transport in doziranje odpadnih pnevmatik v rotacijsko peč, prašenje na odprti deponiji surovin za cement ter transport vlažnih surovin do mlina cementa z nekontroliranim vnosom vlage v proces mletja.

V prispevku so predstavljeni štirje novi objekti, ki so namenjeni avtomatizaciji in racionalizaciji proizvodnje cementa ter močno izboljšujejo ekološko stanje na prostoru cementarne ter s tem odpravljajo dosedanje pomanjklivosti. Ti objekti so: skladišče odpadnih pnevmatik z linijo za pripravo in doziranje v rotacijsko peč za pečenje klinkerja, cevovod toplih plinov od stolpa izmenjevalnika toplote do nove stavbe mlina premoga in petrolkoks, stavba novega mlina in hala za skladiščenje surovin s transportnim sistemom za oskrbo mlina premoga in petrolkoks ter mlina cementa.

Summary | In the process of cement production in the cement factory SKALE in Salonit Anhovo the distance of the storage as well as inadequate transportation and dosing of disposed tyres in the rotary kiln, rising of dust at the open storage of raw materials for the cement grinding plant and the transport of humid materials to the cement grinding plant with uncontrolled entry of humidity into the milling process have in the past presented a considerable problem.

The paper presents four new structures contributing to the automation and rationalisation of the cement production and considerably improving the ecological conditions in the area of the cement factory, thus correcting the past deficiencies. These structures are: the storehouse for disposed tyres with a line for the preparation and dosing into the rotary kiln for burning clinker, the hot gas piping from the preheater to the new building of the coal and petcoke grinding plant, the building of the new grinding plant and a hall for storing raw materials with a transportation system for the supply of coal and petcoke grinding plant and the cement grinding plant.

1 • UVOD

V proizvodnji cementa se kot surovine uporabljajo klinker, apnenec, gips, žindra in tras. Klinker se proizvaja v rotacijski peči s pečenjem laporne moke pri temperaturah do 2000 °C. V cementarni Skale se dnevno proizvede 2000 ton klinkerja. Za kurjenje rotacijske peči se kot glavni energenti uporabljajo fin suh prah surovega premoga in petrolkoks ter odpadne pnevmatike. V

manjših količinah pa se uporabljajo tudi drugi energenti, kot so zemeljski plin, odpadna olja in živalske maščobe. Zaradi čim večjega zmanjšanja stroškov za energente se je proizvajalec odločil, da poveča kapaciteto porabe cenenih odpadnih pnevmatik. Medtem ko so se doslej pnevmatike vozile do stolpa izmenjevalnika toplote iz precej oddaljene deponije, ročno nalagale v dvigalo

in nato ročno prenašale in metale v drčo, se z izgradnjo skladišča pnevmatik, ki ustreza vsem ekološkim standardom, in izgradnjo linije za pripravo, transport in doziranje pnevmatik v neposredni bližini stolpa izmenjevalnika toplote in rotacijske peči proces bistveno poceni. Doseže se stabilnejši tehnološki proces pečenja klinkerja, s sistemom loput na novi vstopni drči, ki zmanjšuje vdor nezaželenega zraka, pa se povečuje zmogljivost rotacijske peči in zmanjšuje verjetnost nastajanja nalepov v petnem delu izmenjevalnika toplote. Ker je linija avtomatizirana

rana in nadzorovana s komandnega pulta rotacijske peči, je pri doziranju izključen človeški faktor. Vse to prispeva tudi k boljšemu nadzoru emisij dimnih plinov in manjšemu številu izpadov elektrofiltrov. Kapaciteta linije je do 2,5 t/h.

Trenutno se petrolkoks melje na lokaciji cementarne Polje. Za potrebe tamkajšnjega mlina se petrolkoks skladišči v obstoječi hali za klinker in na prostem v bližini te hale. Obstoječi mlin petrolkoks po kapaciteti ne zadošča več za potrebe pečenja klinkerja v Cementarni Skale. Sedanja poraba petrolkoks je ca. 28.000 t/leto. Z večinskim deležem petrolkoks 45.000 t/leto pa se predvideva znatno znižanje stroškov energentov za kurjenje rotacijske peči.

Za čim boljši izkoristek in kvalitetno kurjenje rotacijske peči je izredno pomembna prava glavnega goriva – prahu premoga in petrolkoks. Zato je bila zgrajena nova stavba mlina premoga in petrolkoks, v kateri potekajo številne tehnološke operacije: odvzem, transport in začasno skladiščenje surovega premoga in petrolkoks, odvzem, sušenje in mletje, dovod toplih plinov iz izmenjevalnika toplote, transport, ločevanje, skladiščenje in doziranje prahu v glavni gorilnik rotacijske peči.

Transport toplih plinov poteka po cevovodu od priključka na obstoječi cevovod pri stolpu izmenjevalnika toplote do mlina v dolžini ca. 230 m.

Klinker se kot glavna komponenta pri mletju cementa skladišči v silosih klinkerja. Ostale komponente so se do sedaj skladiščile na odprtem prostoru na prostih površinah med desno brežino reke Soče in silosi klinkerja, mlina cementa in objekti opreme. Razen laporja, ki ga iz bližnjega kamnoloma vozijo kamioni, se vse ostale komponente običajno pripeljejo v Anhovo po železnici. Vagoni se razkladajo na obstoječem vagonemskem vrtačališču, od tod dalje pa se material transportira s tračnimi transporterji in izsipa na prostem na kup pred silosom klinkerja. Do končnega mesta odprte deponije je ves ta material potrebno še naložiti z nakladačem na kamion in ga prepeljati na predvideno mesto.

Oskrba mlina cementa z dodatnimi surovinami poteka sedaj tako, da se jih najprej zopet z nakladačem naloži na kamion ali demper in surovino prepelje do vsipnega lijaka nad obstoječo transportno linijo, ki transportira surovino do mlina cementa. Sedanji način skladiščenja povzroča veliko problemov v mlino cementa zaradi nekontroliranega vnosa vlage, ki povzroča lepljenje materiala na raznih mestih vse do mlina in pogojuje sušenje vhodnih surovin v mlino. V zimskem času material tudi zmrzuje in na transportni liniji se pojavljajo kosi materiala, ki so nad maksimalno dopustno dimenzijo.

Glavni problem sedanjega načina skladiščenja na prostem pa je nekontrolirano prašenje na širši lokaciji cementarne Skale v sušnih in

vetrovnih obdobjih. Ker je po kamionskih transportnih poteh veliko raztresenega materiala od manipulacije s surovinami na odprti deponiji, je to tudi dodatni vir prašenja.

Z odločitvijo o gradnji novega mlina premoga in petrolkoks na lokaciji Skale, je bilo potrebno predvideti tudi ustrezno skladiščenje surovin vključno s surovim petrolkoksom. O istočasni gradnji hale surovin za potrebe mlina cementa je bilo zaradi racionalne izrabe razpoložljivega prostora v cementarni Skale in najnižjem strošku investicije za skladiščenje surovin upravičeno zgraditi skupno halo surovin za mlin cementa in mlin premoga ter petrolkoks.

Skladiščna hala in transport surovin do mlina cementa in mlina premoga je bil za cementarno Skale oz. podjetje SALONIT Anhovo eden ključnih projektov, s katerim je želelo narediti tudi pomemben korak na področju odprave emisij prahu in hrupa.

Objekti, ki so v sklopu skladiščne hale in transporta surovin, obsegajo: napravo za raztovarjanje surovin ob kamionski dobavi, transportne naprave za transport surovin v halo, skladiščno halo s pripadajočo opremo in transportne naprave za transport surovin do mlina cementa in mlina premoga.

Proces transporta surovin v halo ter odvzem in transport surovin iz hale je avtomatski, zato ne potrebuje stalnega delovnega mesta v hali. Potreben bo le občasni nadzor nad delovanjem naprav.

2 • SKLADIŠČE IN LINIJA ZA PRIPRAVO IN DOZIRANJE ODPADNIH PNEVMATIK

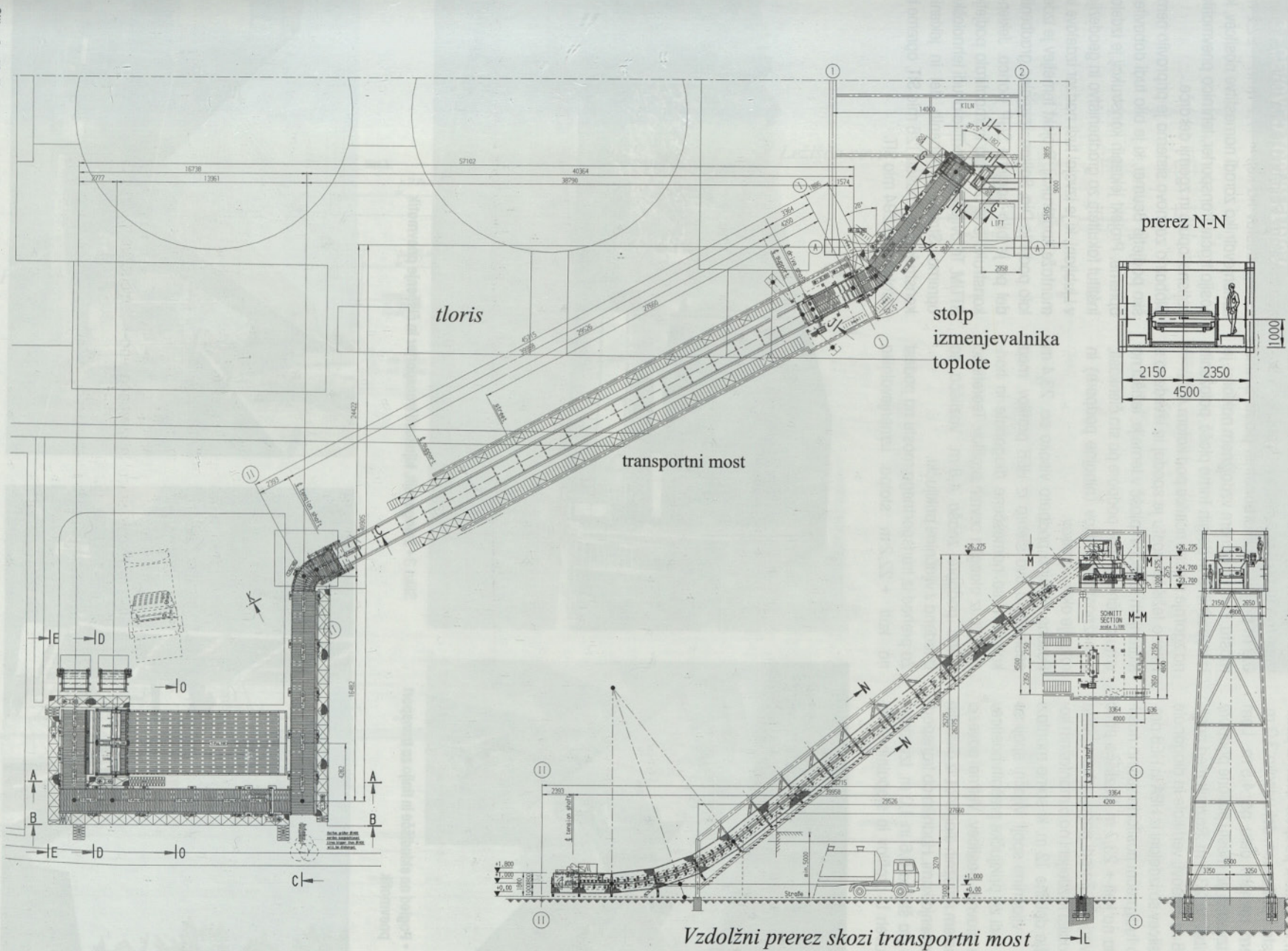
Oba objekta kažejo slike 1 do 5. Skladišče odpadnih pnevmatik je s treh strani z armirano-betonskim zidom obdan prostor dimenzij ca. 17 x 30 m. Višina zidu je 3,0 do 4,5 m. Dno predstavlja 30 cm debela betonska plošča, zgoraj prekrita z utrdilnim obrizgom. Tik ob skladišču je postavljena linija za pripravo in doziranje odpadnih pnevmatik, ki jo sestavljajo: zalogovnik, ki ga s pnevmatikami polni nakladač, kljukasti transporter, ki zajema pnevmatike iz zalogovnika in jih transportira na valjčne transporterje, ki so postavljeni v kaskadah, da se na njih izloča voda in ostale nečistoče, zavesa fotocelic, kjer se preverita oblika in dimenzije vsake pnevmatike in se izločijo tiste, katerih oblika ni pravilna ali premer presega 1,4 m ali pa debelina 0,4 m, tračni transporter, ki iz kote 0,0 m s pomočjo transportnega mostu prenese pnevmatike na

podest toplotnega izmenjevalnika na koti + 22,2 m, tehtnica pnevmatik in potisna loputa, ki pnevmatiko potisne v vstopno drčjo, po kateri zdrsi v rotacijsko peč.

Zalogovnik je na betonske stebričke postavljen nepokrit jeklen kontejner, izmer 11,2 x 4,5 x 2,0 m. Kljukasti transporter in sistem čiščenja pnevmatik z delom transporterjev je prekrit z dvokapno nadstrešnico. Pred njo sta nameščena še dva zabojnika za nečistoče. Dvokapna nadstrešnica je dolga 9,8 m, široka 6,6 m in visoka 7,0 m. Pravokotno na to nadstrešnico je izvedena enokapna nadstrešnica dolga 21,2 m, široka 3,8 m in visoka 4,5 m, pod katero teče tračni transporter, ki ima ob koncu nameščen sistem za izločanje pnevmatik nepravilnih oblik ali dimenzij. Pravokotno na to nadstrešnico je nameščena enokapna nadstrešnica, ki po-

teka ob hali za vzdrževanje in se nato lomi pod kotom 28° proti transportnemu mostu. Dolžina te nadstrešnice je 26,5 m, širina dela ob stavbi je 3,2 m, na lomljenem delu pa je širina 2,8 m in višina 3,8 m. Glavni nosilni sistem vseh nadstrešnic so v točkovne temelje vpeti okvirji iz HEA profilov. Preko prečk okvirjev so položene lege iz U profilov, stabilnost konstrukcij pa je zagotovljena s povezji iz okroglih profilov z napenjalkami. Za kritino in delne fasadne obloge je uporabljena trapezna Trimo pločevina.

Poševni transportni most, ki je v celoti dolg ca. 46 m, sestavljajo: dva lomljena palična glavna nosilca, prečni nosilci med zgornjimi pasovi, ki nosijo strešno kritino in so del zgornjega vetrnega povezja, prečni nosilci med spodnjimi pasovi, ki nosijo transportni trak in stopnice in so del spodnjega vetrnega povezja, fasadni nosilci, ki nosijo elemente fasade in svetlobnega pasu, podest na koti + 23,7 m, na katerem je nameščen pogon transportnega traku ter ležišča na koti



Slika 1 • Linija za pripravo in doziranje odpadnih pnevmatik

+ 0.00 m in na palični podpori. Glavna palična nosilca sta v poševnem delu visoka 3,0 m, na zgornjem ravnem delu pa 4,5 m. Lom nosilcev je izveden na mestu palične podpore na višini približno 23,7 m. Razmik med nosilcema je 4,8 m. Pasovi, vertikale in diagonale glavnih nosilcev so izdelani iz HEA in HEB profilov, enako tudi prečni nosilci in večina nosilcev podesta na koti + 23,7 m. Vozlišča palic paličja so varjena. Zaradi pogojev transporta so glavni nosilci razdeljeni na 5 montažnih kosov, največje dolžine 12 m, ki so na montaži sestavljeni z vijaknimi spoji. Vijakni spoji so predvideni tudi za priključke prečnih nosilcev na pasove glavnih nosilcev. Vetrna povezava sestavlja sistem nateznih diagonal, iz okroglih profilov z napenjalkami. Hodnika ob transportnem traku sta široka 0,6 in 1,0 m. Izvedena sta iz po dveh U profilov in stopalnic iz re-

braste pločevine. Fasadna obloga je iz trapezne Trimo pločevine, svetlobni pas visok 0,9 m pa je iz polikarbonatnih plošč. Streha mostu, ki je v močnem vzdolžnem naklonu, je iz trapeznih 8 m dolgih Trimo plošč, položenih na zgornje prečne nosilce pod kotom 43°.

Fiksno ležišče mostu je spodaj in izvedeno s sidranjem ležiščnih plošč v temelje, ležišči na vrhu palične nihajne podpore pa sta členkasti, z možnostjo pomikov (nihajne podpore) in rotacije okoli sornikov.

Palično nihajno podporo visoko ca. 23,4 m sestavljata dva stebra iz HEB profilov, med katerima so nameščene diagonale in horizontalne iz okroglih cevni profila. Teoretična širina podpore znaša 4,8 m. Vozlišča so izvedena z vijaknimi priključki.

Za prehod iz transportnega mostu na podest na koti + 22,2 m stolpa izmenjevalnika

toplofte je bil zgrajen dodatni vmesni podest z nadstreškom. Potrebna je bila tudi predelava dela podestov na koti + 17,2 m in + 22,2 m izmenjevalnika zaradi namestitve nosilcev, ki nosijo tračni transporter, tehtnico pnevmatik, potisno loputo in zgornji del drče.

Globalno zasnovi sistema je pripravilo nemška podjetje Beumer, ki je bilo tudi dobavitelj opreme. Projekt jeklenih konstrukcij je izdelal Inštitut fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani, ki je izvajal tudi nadzor izdelave in montaže konstrukcij. Projekt temeljev je izdelalo podjetje Dia, Solkan, izvajalec gradbenih del pa je bilo podjetje SGP Gorica. Jeklene konstrukcije je izdelalo in montiralo podjetje STTIM, Trbovlje, ki je montiralo tudi tehnološko opremo. Stroški gradbenih del in jeklenih konstrukcij so znašali 126 mio SIT, opreme in ostalega pa 294 mio SIT.



Slika 2 • Pogled na skladišče in linijo za transport pnevmatik



Slika 3 • Zalogovnik, kljukasti transporter in čiščenje pnevmatik

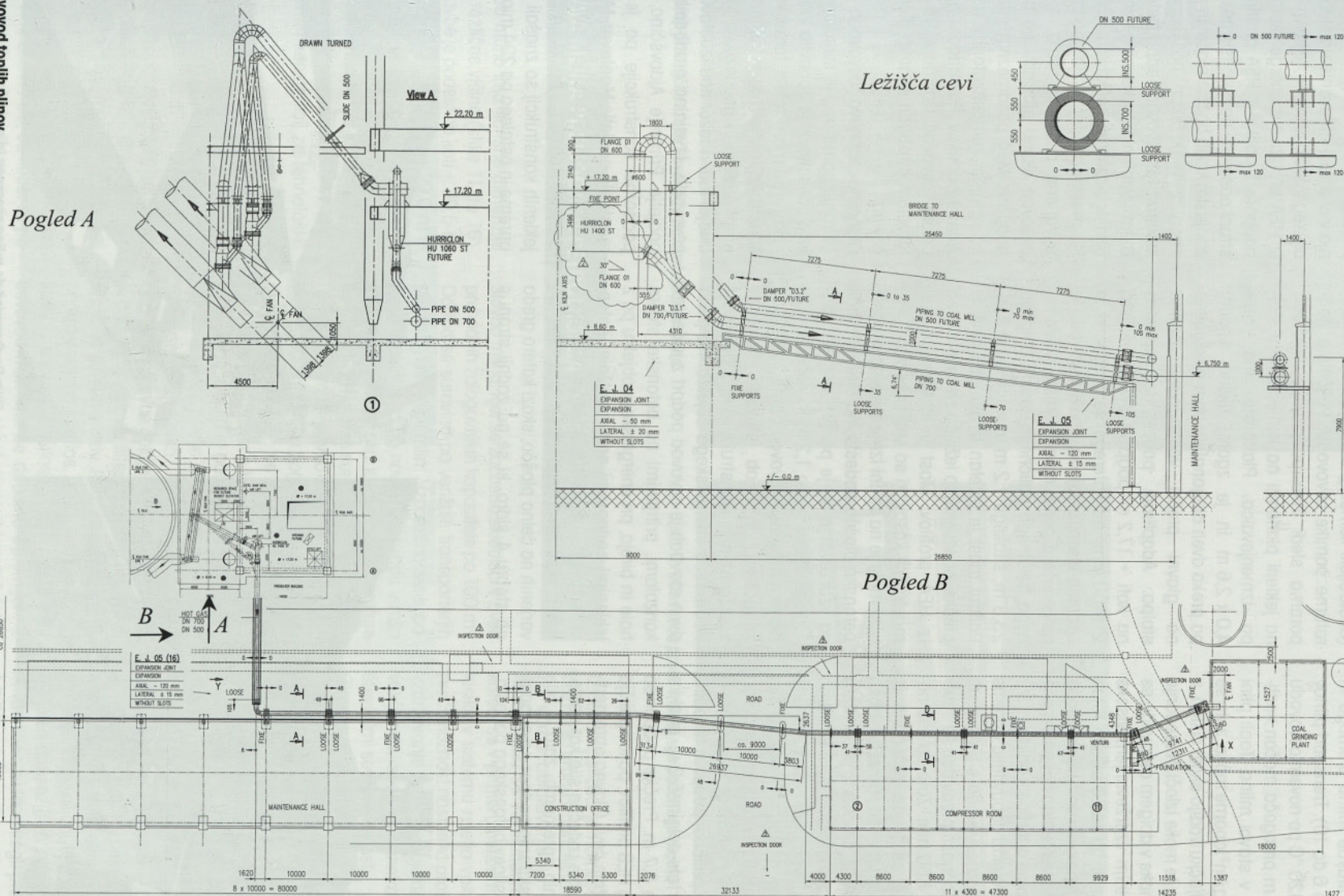


Slika 4 • Transportni most po montaži



Slika 5 • Transportni most z delom nadstrešnice

Slika 6 • Cevovod toplih plinov



Floris

Cevovod je namenjen transportu toplih plinov od priključka na obstoječi cevovod ob stolpu izmenjevalnika toplote premera $\varnothing 1800$ mm do stavbe mlina premoga in petrolkokska (slike 6 do 10). Transport plinov temperature do 320°C po novem cevovodu dolgem ca. 230 m omogoča močan ventilator, nameščen v stavbi mlina. Topli plini vsebujejo do 60 g/m^3 laporne moke, zato se že kmalu po priključku vodijo skozi ciklon, v katerem se večina te moke izloči. Nasedanje manjših količin moke v dolgem cevovodu se preprečuje s stalnim vzdrževanjem visoke hitrosti plinov, ki je večja od 20 m/sec . Kljub temu pa so v drugi polovici dolžine cevovoda za odstranjevanje eventualno nasedle moke izvedene tri kontrolne odprtine s pokrovi.

V zasnovanem projektu dobavitelja opreme je poleg zgrajenega cevovoda s premerom $\varnothing 700$ mm v bodočnosti predviden še cevovod s premerom 500 mm. Zato so vse nosilne konstrukcije cevovoda računane in konstruktivno izvedene za obtežbe obeh cevovodov. Zgrajeni cevovod 700 mm s steno debelo 6 mm, se na začetku z dvema krakoma priključuje na obstoječa cevovoda nad betonskim podestom izmenjevalnika toplote na koti $+ 8,6$ m. Vsak krak novega cevovoda je na koti $+ 17,32$ m fiksno podprt s svojo jekleno palično podporo v obliki prostorskega portala dolgim $5,0$ m, širokim $1,4$ m in visokim $8,7$ m. Prečke podpor so izdelane iz HEA in HEB profilov, palice paličja nog pa iz kvadratnih cevi. Glavna obremenitev podpor so velike izvlečne sile kot posledica temperaturnih sprememb, zato je bilo potrebno izvesti sidranje podpor na spodnji strani močnih nosilcev betonskega podesta.

Na višini $+ 27$ m se oba kraka združita v eno cev, ki je po svoji dolžini večkrat podprta, ob podporah pa so nameščeni kompenzatorji (dilatacijski komadi), ki omogočajo temperaturne pomike cevovoda. Paličnima podporama sledi tako podpiranje cevovoda na jekleni platformi na koti $+ 21,0$ m stolpa izmenjevalca. Platforma ima mere $4,0 \times 2,6$ m in je zgoraj fiksno, spodaj pa preko dveh diagonalnih opor priključena na glavni prečki večetažnega okvirja stolpa. Adaptirani podest izmenjevalca na koti $+ 17,2$ m podpira ciklon premera $\varnothing 1400$ mm, na katerega se z zgornje in spodnje strani priključuje novi cevovod. Ta nato poteka preko navzdol rahlo naklonjenega trikotnega paličnega mostu dolgega $23,8$ m, širokega $1,2$ m in visokega $0,9$ m. Palični most je izdelan iz okroglih cevi, le prečke, na katerih so ležišča za cevovod, so iz HEA profilov. Most je izdelan iz treh montažnih kosov, ki so spojeni z vijaki. Palični most je na strani izmenjevalca sidran v betonsko ploščo podesta, na strani ob hali za vzdrževanje pa je podprt z nihajno palično podporo široko $1,2$ m in visoko $6,1$ m. Na tem mestu se cevovod obrne za ca. 90° in poteka dalje ob stavbah hale za vzdrževanje in konstrukcijskega biroja ter nad streho energetskega objekta. Na prvih dveh stavbah je cevovod podprt z jeklenimi konzolami, pritrjenimi na betonske stebre hale in biroja, pri energetskega objekta pa z jeklenimi podporami nad vzdolžnim betonskim nosilcem. Jeklene konzole na stebrih hale za vzdrževanje so iz dveh U profilov, pritrjenih na čelno ploščo, skozi katero gredo ob stebri 4 sidra, ki se na zadnji strani s

pomočjo dveh kotnikov močno privijejo in tako prevzamejo momentno obtežbo. Za prevzem strižne sile pa je na čelno ploščo privarjen močan čep, ki sede v izvrtano luknjo v stebri. Pritrjevanje na stebre konstrukcijskega biroja je enako, le konzolni nosilec je iz HEA profila. Na energetskega objektu so podpore T oblike iz HEA profilov z zgornji strani nasajene na betonski nosilec in preko obojestranskih bočnih pločevin priključene s strani z vijaki skozi nosilec. Vmes med stavbami je cevovod podprt s stebri visokimi $6,2$ m, vpetimi v točkovne betonske temelje. Steber z zgornjo prečko je iz HEA profilov.

Na mestih podpor so na spodnji strani cevi privarjena posebna sedla, s katerimi je cevovod fiksno ali pomično priključen na podpore. Med posameznimi deli cevovoda so vgrajeni kompenzatorji z različnimi dolžinami pomikov. Po končani montaži je bil celotni cevovod izoliran s 15 cm debelim tervolom in obdan s tanko aluminijско ploščevino.

Globalno zasnovano cevovoda in dimenzioniranje same cevi je izvedlo nemško podjetje Loesche, ki je dobavilo tudi ciklon in še nekaj opreme. Projekt temeljev in jeklenih konstrukcij pa je izdelal Inštitut fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani, ki je izvajal tudi nadzor nad izdelavo in montažo cevovoda. Izvajalec gradbenih del je bilo podjetje Primorje Ajdovščina, cevovod in podporne konstrukcije pa je izdelalo in montiralo podjetje Montavar, Maribor s podizvajalci. Kompenzatorje je dobavilo nemško podjetje Korema. Stroški gradbenih del in jeklenih konstrukcij so znašali 126 mio SIT, opreme in ostalega pa 294 mio SIT.



Slika 7 • Stolp izmenjevalnika toplote, rotacijska peč in novi cevovod



Slika 8 • Cevovod do mlina premoga in petrolkokska

Dobavilo: SIT



Slika 9 • Detalj priključka kraka cevovoda na obstoječi cevovod



Slika 10 • Cevovod preko trikotnega paličnega mostu

4 • STAVBA MLINA PREMOGA IN PETROLKOKSA

Jeklena stavba mlina ima tlorisne dimenzije 15 x 18 m in različne višine (slike 11 do 16). Najvišji del stavbe je podest na koti + 39,5 m, strehe pa so na kotah +36,0 m, + 29,0 m in +24,0 m. Na stavbo je priključeno še stopnišče tlorisnih dimenzij 6,0 x 3,2 m in odprta nadstrešnica za cisterno s CO₂. V stavbi je nameščenih veliko število raznih podestov, stopnišč in podpornih konstrukcij za tehnološko opremo.

Glavno opremo v stavbi mlina predstavljajo: valjčni vertikalni mlin kapacitete 17 t/h, dva verižna dozirnika kapacitete 40.000 in 55.000 m³/h, filter s 770 m² filtrne površine, dozirna naprava kapacitete 12 t/h, transportni trakovi kapacitete 150 t/h, CO₂ postaja s 5000 kg tekočega CO₂ motorji, frekvenčni pretvorniki in merilna oprema.

Odvzem surovega premoga in petrolkokska poteka iz nove skladiščne hale, od koder se po gumijastih transportnih trakovih prenaša v

stavbo mlina, kjer se začasno skladišči v dveh prehodnih zalogovnikih kapacitete po 100 m³. Od tod se surovina po verižnih transporterjih dozira v vertikalni mlin. Vzporedno se s pomočjo ventilatorja po novem cevovodu v mlin dovaja topel sušilni plin, ki dosega temperature do 320°C. V mlinu se surovi premog ali petrolkoks zmelje med mlevno mizo in mlevnimi valji v prah, sušilni plin ga pograbi in transportira v dinamični separator, pri čemer se med tem transportom prah osuši. V separatorju se grobi delci prahu izločijo in padejo nazaj na mizo v ponovno mletje. Mletje se izvaja v atmosferi z nizko vsebnostjo kisika (7–8 % O₂).

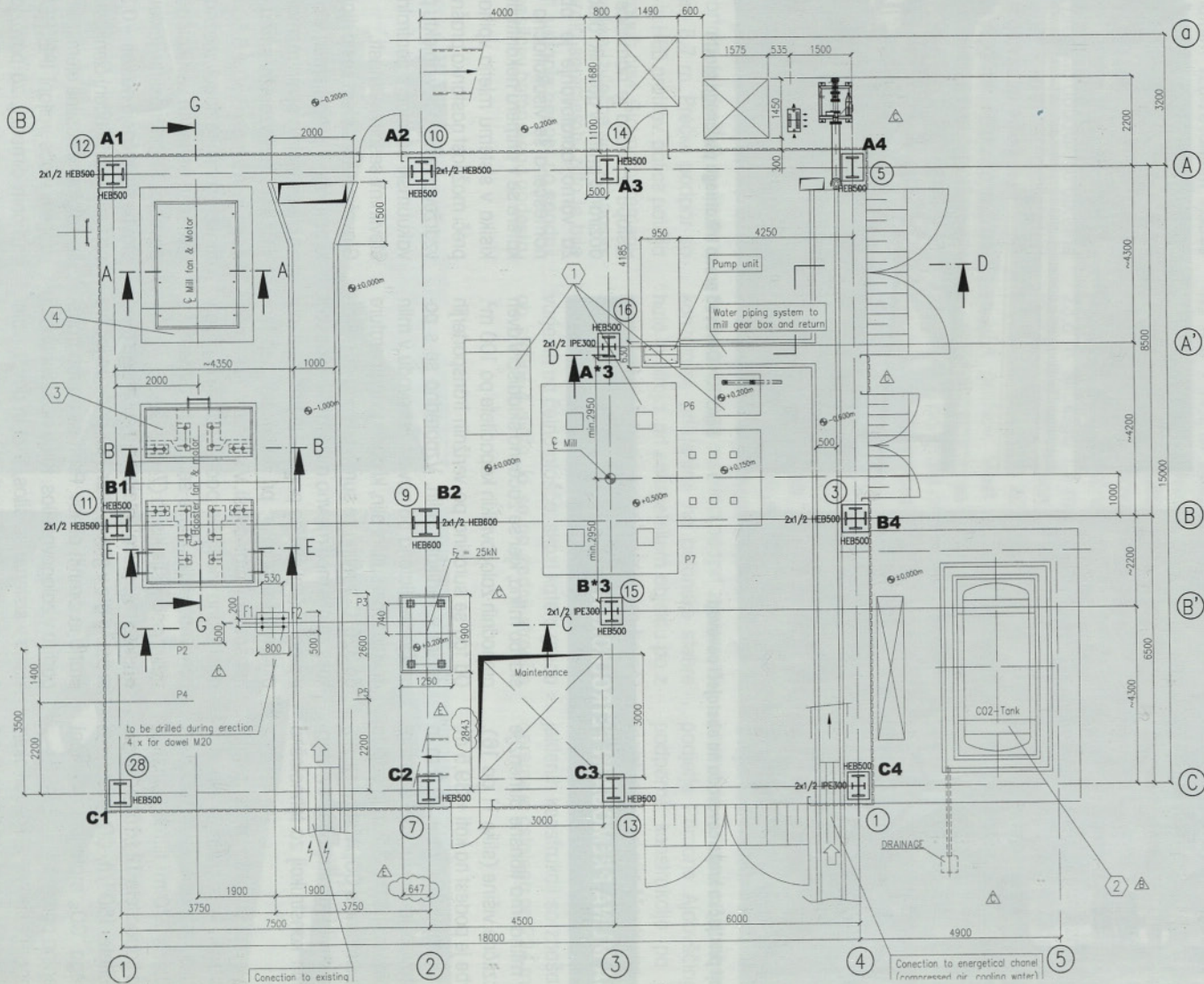
Nastala mešanica ohlajenega sušilnega plina in prahu gre v glavni filter, kjer pride do ločitve prahu in dimnih plinov. Prah se od tod transportira v zalogovni silos. Kljub nizki vsebnosti kisika v sistemu so silos, filter in povezovalni cevovod mlin-filter še dodatno opremljeni z razbremenilnimi eksplozijskimi loputami. Na

izstopu iz silosa je nameščena naprava za doziranje prahu v gorilnik rotacijske peči.

Za varno obratovanje je ob stavbi mlina nameščena še visokotlačna CO₂ postaja, iz katere se v primeru nekontroliranega porasta kisika v sistemu mletja vpihava CO₂, ki prepreči možnost nastanka prašne eksplozije. Za vzdrževanje čistoče v objektu pa je nameščen vakuumski sesalec s centralno instalacijo in številnimi sesalnimi mesti.

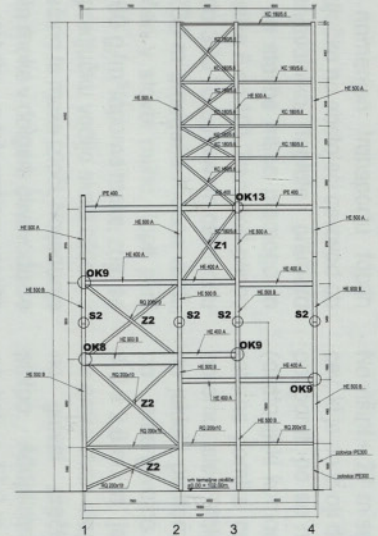
Glavni nosilni sistem sestavljajo jekleni okvirji, ki potekajo v prečni smeri v oseh 1, 2, 3 in 4 na medsebojnih osnih razmakih 7,50 + 4,50 + 6,00 m ter v vzdolžni smeri v oseh A, B in C z osnimi razmaki 8,50 + 6,50 m. Kjer je bilo iz funkcionalnih razlogov možno, so med okvirji izvedena ustrezna vertikalna in horizontalna povežja. Stebri nosilne jeklene konstrukcije stavbe se pričnejo na koti – 0,30 m. Okvirji so na temelje priključeni členkasto. V konstrukciji so za glavne nosilne elemente večinoma uporabljeni vroče valjani IPE, HEA in HEB profili različnih dimenzij, za povežja pa okrogle in kvadratne cevi ter okrogli profili z napenjalnami. Elementi konstrukcije so med seboj spo-

Slika 11 • Stavba mlina premoga in petrolkokska

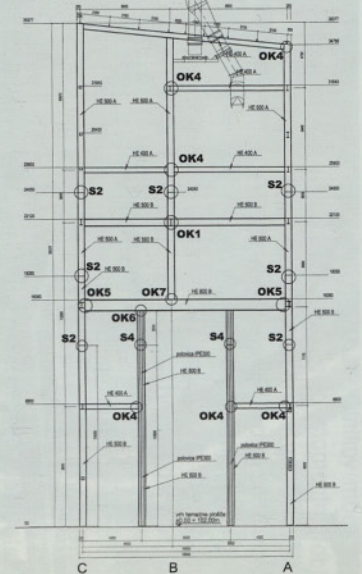


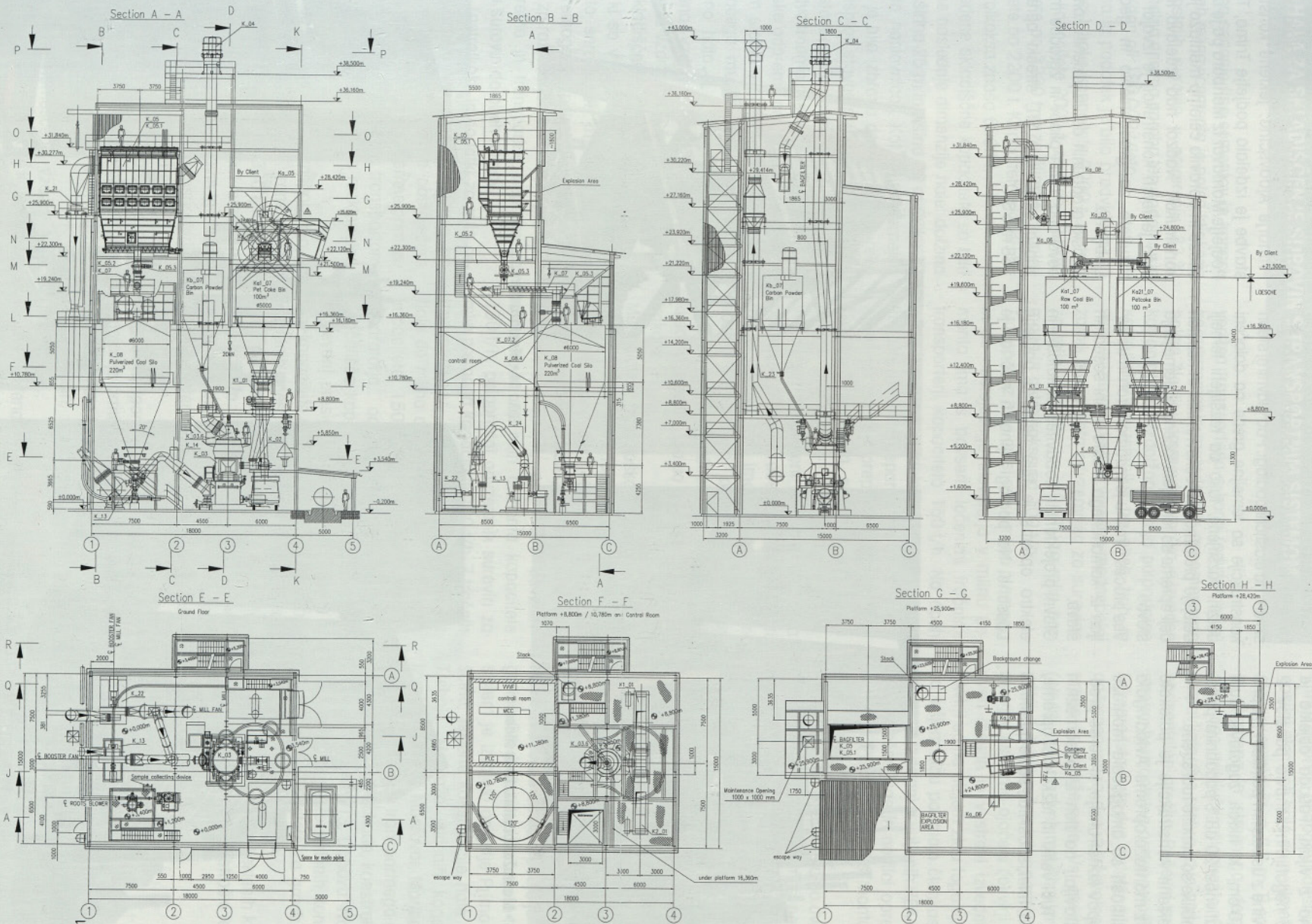
Floris

OKVIR V OSI C



OKVIR V OSI 3





jeni pretežno z vijaki. Fasada objekta je izvedena iz negorljivih sendvič panelov iz ravne pločevine z ustreznim polnilom skupne debeline 6,0 cm, ki hkrati zagotavlja tudi zvočno izolativnost 20 dB. S podobnimi paneli trapezne oblike so prekrite tudi strehe. Montaža jeklene konstrukcije je potekala vzporedno z montažo opreme. Avtodvigala velikih nosilnosti so omogočala montažo velikih sklopov konstrukcije, ki so se predhodno sestavljali na tleh iz posameznih elementov. Tudi veliki in težki kosi opreme, kot npr. mlin, filter, silosi itd., so se montirali kot celota.

Stavba mlina je temeljena na pasovnih temeljih, ki so med seboj povezani v branasti sistem na elastični podlagi. Pod glavnimi stebri konstrukcije so temeljne grede na določeni dolžini razširjene, tako da razširjeni temelji delujejo pretežno kot točkovni. Mlin in nekateri deli opreme so temeljeni ločeno od temeljenja stavbe.

Ves proces v mlinu je avtomatiziran in upravljan iz komandnega mesta v eni sosednjih stavb.

Glavni projektant in dobavitelj tehnološke in elektro opreme je bilo nemško podjetje Loesche. Na podlagi njihovih načrtov je

podjetje SPIT, Nova Gorica izdelalo projekt stavbe. Gradbena dela je izvajalo podjetje Primorje Ajdovščina, jeklene konstrukcije stavbe je izdelalo podjetje Trimo, Trebnje. Podjetje Montavar iz Maribora pa je izdelalo silose in opravilo celotno montažo jeklenih konstrukcij. Nadzor nad izdelavo in montažo jeklenih konstrukcij je izvajal Inštitut fakultete za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.

Stroški gradbenih del in jeklenih konstrukcij cevovoda toplih plinov in zgradbe mlina so znašali 480 mio SIT, stroški opreme pa 768 mio SIT.



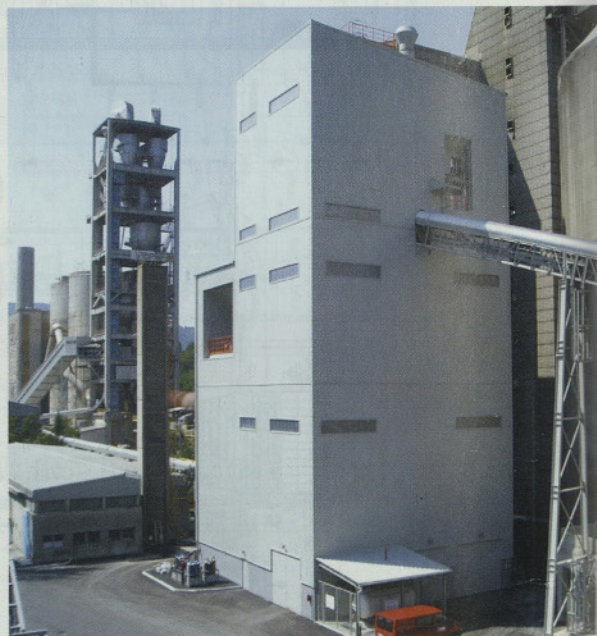
Slika 13 • Montaža konstrukcije in silosa



Slika 14 • Montaža filtra



Slika 15 • Zmontirana jeklena konstrukcija



Slika 16 • Izgotovljen objekt

5 • HALA ZA SKLADIŠČENJE SUROVIN S TRANSPORTNIM SISTEMOM

Glede na sedanje tipe cementov in kapacitete obeh mlinov cementa je poleg klinkerja delež ostalih surovin v povprečju 33 %. Maksimalna dnevna poraba teh dodatkov je 1820 t/dan ali 190.000 t/leto.

Glede na ta podatek je bilo predvideno: za apnenec 1 boks kapacitete 2200 t, za tras 1 boks kapacitete 2000 t, za gips 2 boksa kapacitete po 2200 t in za žlindro 3 boksi kapacitete po 2200 t. Kapaciteta skladiščenja petrolkokska znaša 6000 t.

Za navedene skladiščne kapacitete so bile določene naslednje dimenzije hale: dolžina 164 m, širina 25 m in višina 22 m (slike 17 do 20 in naslovnica). Kot najprimernejša lokacija je bila izbrana desna brežina reke Soče nasproti stavbe mlina cementa Skale. Vzdlž stavbe mlina cementa in skladiščne hale je dvosmerna cesta za potrebe celotne kamionske odpreme cementa v vrečah in v razsutem stanju v cisternah ter za dostop do bodočega multiceličnega silosa. Med skladiščno halo in brežino reke Soče je predvidena vzdrževalna pot za potrebe vodarjev za vzdrževanje brežine reke Soče vzdolž skladiščne hale.

Objekti, ki so v sklopu skladiščne hale in transporta surovin do mlina cementa in mlina premoga in petrolkokska obsegajo: napravo za raztovarjanje surovin s pripadajočo opremo in transportne naprave za transport surovin do obeh mlinov.

Surovine (petrolkoks in dodatki za mlin cementa) prispejo v cementarno Skale po železnici. Raztovarjanje je na obstoječem vagonem zračališču. Za izjemne primere dovoza surovin s kamionskim transportom pa je bilo zgrajeno kamionsko razkladalno mesto.

Surovine se od tod dalje transportirajo v skladiščno halo s tračnimi transporterji širine 800 mm in kapacitete 300 t/h. Pred vstopom materiala v halo je krenica, ki usmerja petrolkoks v halo surovin in vse do mlina premoga po tračnih transporterjih, ločeno od surovin za mlin cementa. S tem je v največji možni meri preprečeno onesnaženje surovin za mlin cementa z organskimi substancami, kot sta premog oz. petrolkoks.

Pod streho sta nameščena vzdolž hale pomična tračna transporterja, s katerima se odvisno od vrste materiala polni ustrezni boks. V hali sta instalirana dva nagibna

verizna transporterja s korci (odvzemnika) za odzemanje materiala iz posameznega boksa. Nosilni jarem odvzemnika je izveden kot polportal. Vzdlžna vožnja polportalne konstrukcije odvzemnika po obeh tirih je sinhronizirana, da je preprečen medsebojni zamik. Kapaciteta odvzemnika za surovine za mlin cementa je 150 t/h, za mlin premoga in petrolkokska pa 100 t/h.

Transport iz hale do silosa v mlinu premoga in do obstoječega elevatorja v mlinu cementa ima s povsem ločenimi tračnimi transporterji kapaciteto 150 t/h. Na obeh vejah transporta je detektor kovin in železa in tračni magnetni separator za izločanje teh tujkov. S tem so preprečene možne poškodbe v mlinu in separatorju v obeh mlevnih procesih.

V hali sta predvideni tudi dve mesti za potrebe vzdrževanja obeh odvzemnikov. Vsi tračni transporterji imajo prigradjeno varnostno opremo in potezno vrstico ter vzdolžni hodnik za potrebe vzdrževanja; tisti, ki so na prostem, pa so pokriti s streho nad trakom.

Med glavno tehnološko opremo in transportni sistem pa spada: kamionsko zračališče kapacitete 400 t/h, 8 tračnih transporterjev za transport surovin v halo kapacitete 400 t/h, polportalni odvzemnik surovin za mlin cementa kapacitete 150 t/h, polportalni odvzemnik surovin za mlin premoga kapacitete 100 t/h, 7 tračnih transporterjev za transport surovin iz hale do mlina cementa in mlina premoga kapacitete 150 t/h, 2 tračna magnetna separatorja, odpraševanje kamionskega zračališča kapacitete 32000 m³/h, 5 odpraševanj presipnih mest na transportu v halo kapacitete 4500 m³/h, 3 odpraševanja presipnih mest na transportu iz hale do mlina cementa in mlina premoga, tehničnica pod tračnim transporterjem do mlina cementa, 4 presipni stolpi različnih dimenzij in velikosti ter firni material s pritrdilnimi elementi.

Osnovno podporno konstrukcijo jeklene hale predstavlja armiranobetonska konstrukcija, ki jo v glavnem tvorita dva vzdolžna zidova različnih višin, prečni zidovi bunkerjev in talna plošča.

Nosilna jeklena konstrukcija hale je v vzdolžni smeri razdeljena v tri samostojne dilatacijske enote, ki so vsklajene z dilataci-

jami v betonski podporni konstrukciji. Glavni nosilni elementi hale so nesimetrični prečni okvirji v razmakih ca. 6,3 m. Ti so sestavljeni iz glavnega in strešnega dela, ki je na glavnega priključen členkasto. Glavni okvir sestavljata dva stebra, dve poševni in ena horizontalna prečka. Poševni prečki nosita streho, horizontalna pa tehnološko opremo, ki jo predstavljata dva vzdolžna in dva prečna transporterja, dva vzdrževalna podesta in proga za vzdrževanje. Vsi okvirji so enaki (okvirji 1), le na dveh mestih, kjer se na halo priključujeta prečna transporterja, so stebri okvirjev ustrezno ojačeni (okvirji 2). Na teh dveh mestih je v strehi izvedena frčada. Okvirji so na nižjem zidu togo vpeti v čaše, na višjem zidu pa imajo členkasto ležišče. Okvirji so izdelani iz valjanih HEA in HEB profilov, strešne lege in nosilci opreme pa so pretežno IPE in U profili. Vsi montažni stiki in priključki so vijaçeni.

V vsaki dilatacijski enoti sta po dve vertikalni in horizontalni povezji, vmes pa so okvirji med seboj povezani z horizontalnimi povezavami. Vsi navedeni elementi so iz cevni profilov. Za kritino in fasadno oblogo so uporabljene valovite Esal plošče.

Opis transportnega sistema surovin, ki meri v celotni dolžini preko 500 m, v tem prispevku ni zajet.

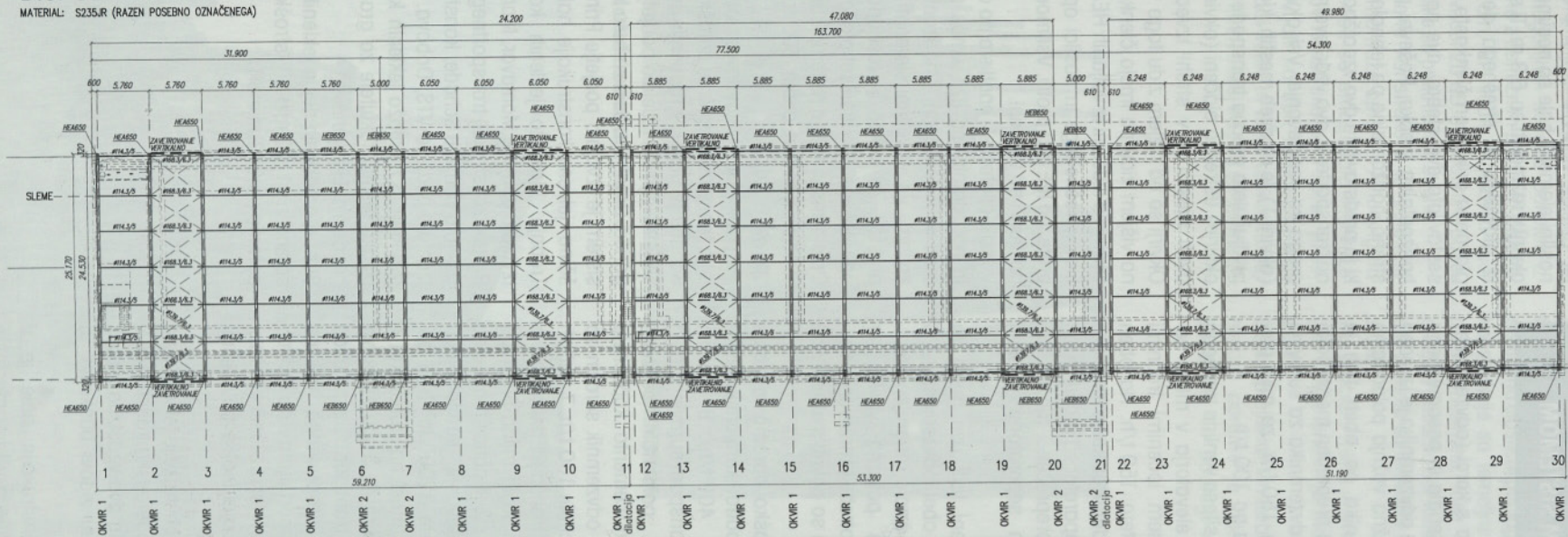
Na podlagi podatkov investitorja in dobavitelja tehnološke opreme nemškega podjetja Schade je projekt gradbenih del in jeklenih konstrukcij hale izdelalo podjetje Spit, Nova Gorica. Gradbena dela za halo in transportni sistem je izvajalo podjetje Primorje, Ajdovščina, jeklene konstrukcije hale pa Trimo, Trebnje. Montažo jeklenih konstrukcij je izvajalo podjetje Montavar, Maribor.

Projekt konstrukcij transportnega sistema je izdelalo podjetje Schade, konstrukcije pa je izdelalo podjetje VTS, Dobova. Nadzor nad izdelavo in montažo jeklenih konstrukcij je izvajal Inštitut fakultete za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.

Stroški gradbenih del in jeklenih konstrukcij so znašali 1120 mio SIT, stroški tehnološke opreme pa 633 mio SIT.

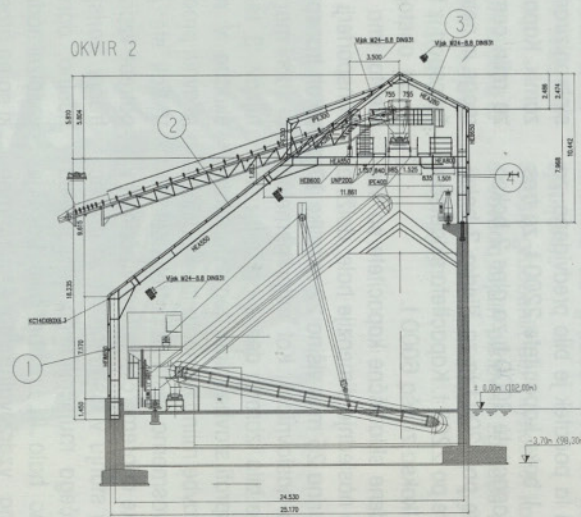
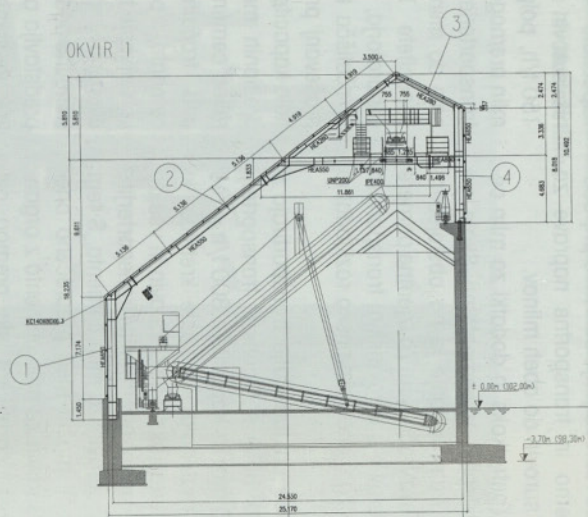
DISPOZICIJA ZAVETROVANJ IN VZDOLŽNE POVEZAVE - STREHA

MATERIAL: S235JR (RAZEN POSEBNO OZNAČENEGA)



FRČADA ↑

FRČADA ↑

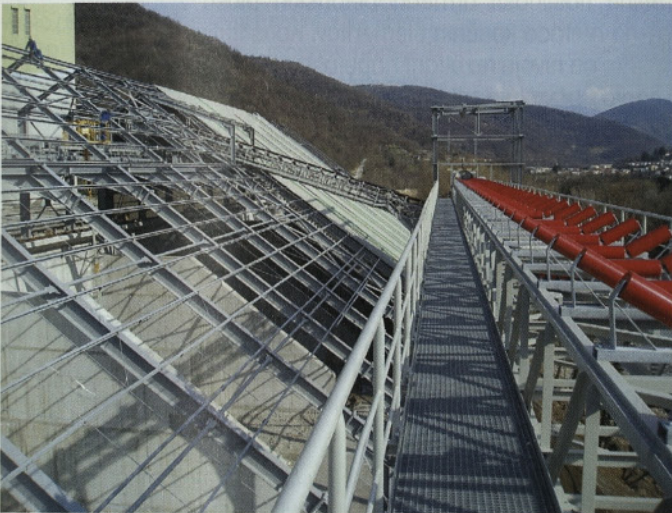




Slika 18 • Montaža okvirja



Slika 19 • Montaža polportalne konstrukcije odvzemnika



Slika 20 • Frčada s prečnim transporterjem

6 • SKLEP

Z izjemo nekaterih del pri ureditvi okolice, so vsi omenjeni objekti izgotovljeni in že nekaj časa poizkusno obratujejo. Obratovanje pote-

ka brez zastojev in brez pomanjkljivosti, kar gre pripisati tudi vestnemu in zavzetemu delu ter visoki strokovni usposobljenosti vodij pro-

jektov in njihovih sodelavcev, uslužbencev tovarne Salonit Anhovo, ki so tudi prispevali pomembne podatke za pripravo tega članka.

RAČUN MEJNE NOSILNOSTI ARMIRANOBETONSKIH PLOŠČ

LIMIT LOAD ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE PLATES

Jaka Dujc, univ. dipl. inž. grad.

UL, FGG, Jamova 2, Ljubljana,
jdujc@ikpir.fgg.uni-lj.si

doc. dr. Boštjan Brank, univ. dipl. inž. grad.

UL, FGG, Jamova 2, Ljubljana,
bbrank@ikpir.fgg.uni-lj.si

Znanstveni članek

UDK 691.31: 531.25

Povzetek | Prikazana je analiza mejne nosilnosti armiranobetonskih plošč z razmeroma enostavno materialno nelinearno metodo končnih elementov. Konstitutivni model armiranobetonske plošče, ki je definiran na nivoju rezultatov napetosti (t.j. upogibnih momentov in prečnih sil na dolžinsko enoto), povezuje celotne vrednosti notranjih sil s celotnimi vrednostmi pripadajočih deformacij. Takšna analiza je primerna za izračun (oceno) mejnega stanja armiranobetonskih plošč pri monotonem obremenjevanju, kar je prikazano z več numeričnimi primeri.

Summary | An efficient approach for computing the limit load of reinforced concrete plates by the nonlinear finite element method is presented. The constitutive model for reinforced concrete plates is set in terms of stress resultants (bending moments and shear forces per unit length) and corresponding strains, relating their total values. The approach is suitable for the analysis of limit state of reinforced concrete plates subjected to monothonic loading, as shown in several numerical examples.

1 • UVOD

Analiza mejne nosilnosti armiranobetonskih plošč ima precejšno praktično vrednost, zato je na to temo moči najti precej strokovne literature. Inženir, ki želi izračunati mejno stanje armiranobetonske plošče, ima na voljo vsaj dve možnosti: lahko uporabi metodo plastičnih (porušnih) linij, ki je razložena v mnogih knjigah (npr. (Save, 1972), (Nielsen, 1984), (Moy, 1996), (Park, 2000), (Radosavljević, 1990)), ali pa komercialne računalniške programe za analizo konstrukcij po metodi končnih elementov, ki omogočajo materialno nelinearno modeliranje armiranega betona (npr. (Abaqus, 2002)).

Mejna nosilnost (porušna obtežba), izračunana po metodi plastičnih linij, je za mnogo standardnih primerov (npr. za pravokotne plošče pod enakomerno obtežbo, ipd.) po-

dana v omenjenih (in drugih) knjigah. Osnovni princip te metode so predpostavljene plastične linije, ki ploščo razdelijo na posamezne toge dele, ki se lahko sučejo le okoli teh linij. Če delo, ki ga na takšnem kinematičnem mehanizmu opravijo polnoplastični momenti na mestu plastičnih linij, enačimo z delom, ki ga na istem mehanizmu opravi zunanja obtežba, pridemo do mejne nosilnosti (porušne obtežbe) armiranobetonske plošče. Omenimo naj, da z metodo plastičnih linij dobimo zgornjo oceno mejne nosilnosti.

Pri uporabi komercialnih računalniških programov se plošča po debelini razdeli na sloje betona in armature. Za opis obnašanja sloja armature se uporabi standardni elastoplastični materialni model za jeklo, za opis obnašanja slojev betona pa so na voljo precej

sofisticirani nelinearni snovni modeli, ki opisujejo beton v tlaku kot elastoplastičen material, za beton v nategu pa navadno uporabijo modele elastične poškodovanosti. Pri takšni nelinearni analizi plošč je potrebna uporaba končnih elementov za lupine ter poznavanje precejšnjega števila parametrov, ki opisujejo obnašanje betona.

V tem delu obravnavamo tretjo možnost. Ta prav tako temelji na materialno nelinearni analizi armiranobetonske plošče z metodo končnih elementov, vendar definiramo konstitutivni model armiranobetonske plošče z rezultantami napetosti, kar naredi nelinearno analizo mnogo enostavnejšo. Izognemo se sofisticiranemu snovnemu modelu betona in si omogočimo uporabo končnih elementov za plošče, zaradi česar so računski časi analize mnogo krajši. Ideja je povzeta po (Ibrahimbegović, 1992, 1993, 1994), spremenimo jo le v toliko, da uporabimo priporočila Evrokoda 2 za opis konstitutivnega modela betona.

Z omenjenim pristopom lahko identificiramo mejno stanje armiranobetonske plošče pri monotonem povečevanju obtežbe; npr. pri obremenitvi zaradi lastne in stalne obtežbe. Če pa je obteževanje plošče takšno, da je prisotno veliko pomembnega razbremenjevanja in ponovnega obremenjevanja, se moramo omenjenemu načinu računanja mejne obtežbe odpovedati. Omeniti je potrebno, da je že pri monotonem povečevanju zelo verjetno, da bo prišlo do lokalnega razbremenjevanja

zaradi lokalne spremembe togosti plošče, vendar predpostavimo, da so neelastični efekti zaradi takšnega razbremenjevanja zanemarljivi. Poleg tega predpostavimo tudi, da pomiki plošče niso tako veliki, da bi prišli do izraza membranski efekti, povezani s pojavom ósnih (membranskih) sil v plošči. Takšne pojave pri analizi mejnih nosilnosti armiranobetonskih plošč lahko obravnavamo kot sekundarne in zanemarljive. Če pa jih kljub temu želimo vključiti v analizo, moramo upo-

števati geometrijsko nelinearnost in končne elemente za plošče zamenjati s končnimi elementi za lupine. Omenimo naj, da membranske sile lahko znatno povečajo nosilnost plošče pri nezamemarljivih pomikih.

V nadaljevanju članka je najprej opisana določitev konstitutivnega modela na nivoju rezultant napetosti za izotropno in anizotropno armirane plošče, nato so podani algoritmi, ki jih uporabljamo pri računu mejne nosilnosti, na koncu so opisani numerični primeri.

2 • KONSTITUTIVNI MODEL ARMIRANEGA BETONA ZA PLOŠČE

2.1 Osnovna ideja

Po Reissner-Mindlinovi teoriji plošč obravnavamo ploščo kot ploskev v ravnini x_1, x_2 , ki ima v vsaki točki tri prostostne stopnje: pomik v smeri x_3 in zasuka normale na ploskev okoli osi x_1 in x_2 (slika 1). Te prostostne stopnje nam omogočajo, da izrazimo vektor ukrivljenosti κ in vektor strižnih deformacij γ kot

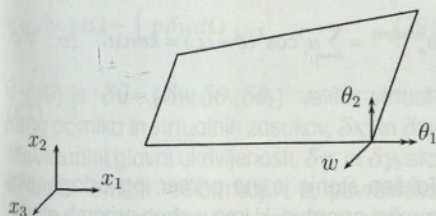
$$\kappa = \left[-\frac{\partial \theta_2}{\partial x_1}, \frac{\partial \theta_1}{\partial x_2}, \frac{\partial \theta_1}{\partial x_1} - \frac{\partial \theta_2}{\partial x_2} \right]^T = [\kappa_{11}, \kappa_{22}, 2\kappa_{12}]^T, \quad (1)$$

$$\gamma = \left[\frac{\partial w}{\partial x_1} + \theta_2, \frac{\partial w}{\partial x_2} - \theta_1 \right]^T. \quad (2)$$

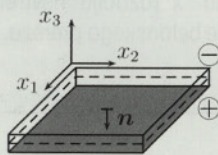
V tem delu uporabljeni konstitutivni model za armiranobetonske plošče povezuje celotne vrednosti ukrivljenosti in strižnih deformacij s celotnimi vrednostmi pripadajočih notranjih sil. Slednje zberemo v vektor upogibnih momentov na dolžinsko enoto \mathbf{m} in vektor prečnih sil na dolžinsko enoto \mathbf{q}

$$\mathbf{m} = [m_{11}, m_{22}, m_{12}]^T, \quad \mathbf{q} = [q_1, q_2]^T \quad (3)$$

Glede na definicijo ukrivljenosti (1) in uporabljen konstitutivni model so momenti pozitivni, kadar pride do nategov na spodnji strani plošče, to je na strani z normalo \mathbf{n} v $-x_3$ smeri (slika 2).



Slika 1 • Pozitivne smeri pomika in zasukov



Slika 2 • Nategnjena stran plošče (potegnjena stran), ko so momenti pozitivni

Strižni in upogibni del konstitutivnega modela armiranega betona obravnavamo ločeno. Za izračun strižnih sil uporabimo standardne linearno elastične konstitutivne enačbe za izotropen material

$$\mathbf{q} = \mathbf{C}_s \gamma, \quad \mathbf{C}_s = \frac{5}{6} \frac{E_c h}{2(1+\nu_c)} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

kjer je E_c elastični modul betona, h debelina plošče in ν_c Poissonov količnik betona. Ta konstitutivni model seveda ne omogoča analize porušitve plošče zaradi preboja.

Upogibni del konstitutivnega modela armiranega betona razdelimo na dve stanji: na stanje I nerazpokanega betona ter na stanje II, kjer so že prisotne razpoke v betonu. Ko je beton nerazpokan, upoštevamo linearno elastično povezavo med momenti in ukrivljenostmi. Če zanemarimo prispevek armature, dobimo

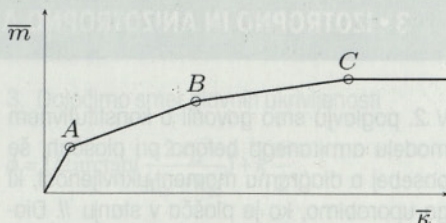
$$\mathbf{m} = \mathbf{C}_B \kappa, \quad \mathbf{C}_B = \frac{E_c h^3}{12(1-\nu_c^2)} \begin{bmatrix} 1 & \nu_c & 0 \\ \nu_c & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu_c}{2} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Stanje II se začne, ko eden od momentov v dveh ortogonalnih smereh, ki sta za kota ϕ in $\phi + \pi/2$ zasukani od osi x_1 , prekorači vrednost $m_{raz} = f_{ct} \frac{h^2}{6}$, kjer je f_{ct} natezna trdnost betona (na m_{raz} lahko gledamo kot na moment, pri katerem pride do razpok pri ravninskem nosilcu s širino 1).

Nastanek morebitnih razpok torej kontroliramo v dveh ortogonalnih smereh, ki sta lahko ali smeri glavnih ukrivljenosti ali smeri glavnih momentov ali smeri največje odpornosti plošče; več o izbiri smeri bo povedanega v nadaljevanju. Tudi v stanju II, ko so že prisotne razpoke, kontroliramo nastanek novih razpok v dveh ortogonalnih smereh; pri tem sta ti smeri lahko različni od tistih-ob nastanku prve razpoke. V stanju II zanemarimo vpliv Poissonovega količnika in konstitutivni model armiranobetonske plošče določimo tako, da za vsako smer posebej ovrednotimo diagram moment-ukrivljenost. Postopek ovrednotenja takšnega diagrama je opisan v poglavju 2.2.

2.2 Diagram moment-ukrivljenost

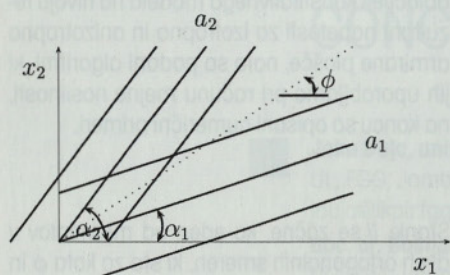
Poglejmo si, kako določimo zvezo med momentom \bar{m} in pripadajočo ukrivljenostjo $\bar{\kappa}$ (slika 3), za smer, ki jo določa kot ϕ (slika 4). Najprej izračunamo vrednosti \bar{m} in $\bar{\kappa}$ za tri tipična stanja armiranobetonskega prereza (slika 3), ki so: pojav prve razpoke v betonu (točka A, $\bar{m} = m_{raz}$, $\bar{\kappa} = \kappa_{raz}$), začetek plastifikacije armature (točka B, $\bar{m} = m_{fbc}$, $\bar{\kappa} = \kappa_{fbc}$) in porušitev betona v tlaku (točka C, $\bar{m} = m_{kon}$, $\bar{\kappa} = \kappa_{kon}$). Nato te točke preprosto povežemo med seboj.



Slika 3 • Diagram moment ukrivljenost za glavno smer

Ključni parameter, ki določa obliko diagrama, je efektivna količina armature v smeri kota ϕ , ki jo določimo po enačbi

$$\alpha_\phi = \sum a_i \cos^2(\phi - \alpha_i), \quad (6)$$



Slika 4 • Količine in smeri armature

kjer je a_i površina armature položene v smeri α_i (slika 4).

Konstitutivne enačbe za beton in jeklo, ki jih potrebujemo za določitev točk A, B in C, privzamemo po Evrokodu 2. Za beton v tlaku uporabimo naslednjo zvezo med napetostjo σ_c in deformacijo ϵ_c

$$\sigma_c = \begin{cases} f_{ck} (1 - (1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}})^n) & \text{za } 0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{c2} \\ f_{ck} & \text{za } \epsilon_{c2} < \epsilon_c \leq \epsilon_{cu3} \end{cases} \quad (7)$$

V (7) je $\epsilon_{c2} = 0,002$, $\epsilon_{cu3} = 0,0035$, $n = 2$ za betone $f_{ck} \leq 50$ in f_{ck} je tlačna trdnost betona. Natezna trdnost betona in pripadajoča deformacija sta po Evrokodu 2 $f_{ct} = f_{ct}(f_{ck})$ in $\epsilon_{ct} = \frac{f_{ct}}{E_c}$. Za armaturo privzamemo standardni diagram med deformacijami ϵ_s in napetostmi σ_s

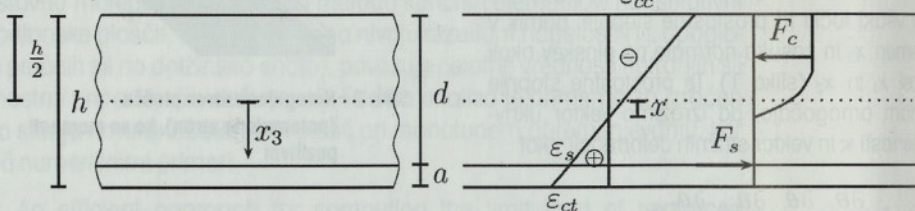
$$\sigma_s = \begin{cases} E_s \epsilon_s & \text{za } \epsilon_s \leq \frac{f_y}{E_s} \\ f_y & \text{za } \epsilon_s > \frac{f_y}{E_s} \end{cases}, \quad (8)$$

kjer je f_y trdnost jekla, E_s pa elastični modul jekla ($E_s = 20000 \text{ kN/cm}^2$).

2.3 Kritični momenti in pripadajoče ukrivljenosti

Za določitev kritičnih momentov in pripadajočih ukrivljenosti (točke A, B in C na sliki 3) potrebujemo naslednje podatke: f_y , E_s , količina armature na dolžinsko enoto a_2 (mm^2/m), f_{ck} , f_{ct} oziroma $\epsilon_{ct} = \frac{f_{ct}}{E_c}$, E_c , h , statično višino d oz. oddaljenost armature od spodnjega roba $a = h - d$.

Na sliki 5 je ϵ_{cc} robna deformacija betona na tlačni strani, ϵ_{ct} robna deformacija betona na natezni strani, ϵ_s deformacija armature, F_c rezultanta tlačnih napetosti v betonu, F_s sila v armaturi in x razdalja nevtralne osi do težiščne linije betonskega prereza.



Slika 5 • Ravnotežje v prerezu plošče

Moment in pripadajoča ukrivljenost, pri katerem pride do prve razpoke (točka A na sliki 3), sta

$$m_{raz} = f_{ct} \frac{h^2}{6}, \quad \kappa_{raz} = 2 \frac{\epsilon_{ct}}{h} = 2 \frac{f_{ct}}{E_c h} \quad (9)$$

Moment, pri katerem pride do plastifikacije armature (točka B na sliki 3), določimo tako, da predpišemo deformacijo v armaturi $\epsilon_s = \frac{f_y}{E_s}$ ter s tem silo v armaturi $F_s = f_y a_\phi$. Ker je rezultanta napetosti v betonu enaka sili v armaturi:

$$F_c = F_s, \quad F_c(x) = \int_0^x \sigma_c dx_3, \quad (10)$$

lahko poiščemo lego nevtralne osi x , pri kateri je prerez v ravnotežju. Nato določimo robni deformaciji betona ϵ_{cc} in ϵ_{ct} (slika 5). Moment pri začetku plastifikacije armature in pripadajoča ukrivljenost sta torej

$$m_{tec} = \int_0^x \sigma_c x_3 dx_3 + \left(\frac{h}{2} - a\right) F_s, \quad \kappa_{tec} = \frac{\epsilon_{ct} + \epsilon_{cc}}{h} \quad (11)$$

Moment pri začetku rušenja betona v tlaku (točka C na sliki 3) dobimo tako, da predpišemo vrednost robne deformacije betona $\epsilon_{cc} = \epsilon_{cu3}$. Ker je armatura plastificirana, je sila

$F_s = f_y a_\phi$. Podobno kot prej se tudi sedaj išče lega deformacijske ravnine; veljata enačbi (10). Moment pri začetku rušenja betona in pripadajoča ukrivljenost sta

$$m_{kon} = \int_0^x \sigma_c x_3 dx_3 + \left(\frac{h}{2} - a\right) F_s, \quad \kappa_{kon} = \frac{\epsilon_{ct} + \epsilon_{cc}}{h} \quad (12)$$

V našem modelu smo predpostavili, da armature ni preveč, tako da do porušitve prereza pride zaradi prekoračene mejne deformacije na tlačni strani betona.

enaka za vsak kot ϕ :

$$\alpha_\phi^{izotropna} = \sum a_i \cos^2(\phi - \alpha_i) = konst. \quad \text{za } \forall \phi. \quad (13)$$

Takšno stanje je, na primer, pri ortogonalni mrežni armaturi, ki ima v obeh smereh enako količino armature a_i :

3 • IZOTROPNO IN ANIZOTROPNO ARMIRANE PLOŠČE

V 2. poglavju smo govorili o konstitutivnem modelu armiranega betona pri ploščah, še posebej o diagramu moment-ukrivljenost, ki ga uporabimo, ko je plošča v stanju // . Diagram $\bar{m}(\bar{\kappa})$ smo izpeljali za poljuben kot ϕ (slika 4). V tem poglavju pa bomo pogledali

možnosti, ki se nam ponujajo za izbiro kota ϕ pri različno armiranih ploščah.

3.1 Izotropna armatura

O izotropni armaturi govorimo, kadar je efektivna količina armature a_ϕ (enačba (6))

$$a_\phi = a_1 \cos^2(\phi - \alpha) + a_1 \cos^2(\phi - \alpha + \frac{\pi}{2}) = a_1$$

za $\forall \phi$. (14)

Zaradi izotropnosti armature izračunamo $\bar{m}(\bar{\kappa})$ (slika 3) le enkrat in ga shranimo, saj velja za vsak kot ϕ .

Algoritem, ki ga v stanju // uporabimo pri numerični analizi izotropno armiranih plošč, je naslednji:

1. Pri znanih $\hat{\mathbf{u}} = (w, \theta_1, \theta_2)^T$ določimo ukrivljenosti v koordinatnem sistemu x_1, x_2 :

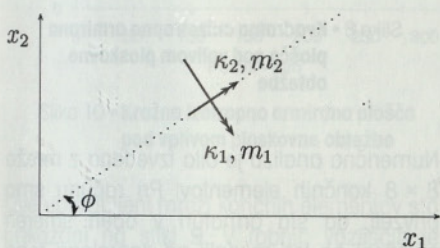
$$\mathbf{\kappa} = \mathbf{\kappa}(\hat{\mathbf{u}}) = [\kappa_{11}, \kappa_{22}, 2\kappa_{12}]^T \quad (15)$$

2. Določimo glavne ukrivljenosti (slika 6)

$$\kappa_{1,2} = \frac{\kappa_{11} + \kappa_{22}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\kappa_{11} - \kappa_{22}}{2}\right)^2 + (\kappa_{12})^2} \quad (16)$$

3. Iz prej določenega diagrama $\bar{m}(\bar{\kappa})$ odčitamo glavna momenta (slika 6)

$$m_1 = \bar{m}(\kappa_1), \quad m_2 = \bar{m}(\kappa_2) \quad (17)$$



Slika 6 • Smeri glavnih ukrivljenosti in momentov

4. Določimo strižne deformacije in strižne sile v koordinatnem sistemu x_1, x_2, x_3 :

$$\boldsymbol{\gamma} = \boldsymbol{\gamma}(\hat{\mathbf{u}}) = [\gamma_1, \gamma_2]^T, \quad \mathbf{q} = [q_1, q_2]^T = \mathbf{C}_s \boldsymbol{\gamma} \quad (18)$$

5. Uporabimo princip virtualnega dela $\delta\Pi$ kot osnovo za analizo po metodi končnih elementov

$$\delta\Pi(\mathbf{u}, \delta\hat{\mathbf{u}}) = \int_{\Omega} (m_1 \delta\kappa_1 + m_2 \delta\kappa_2 + q_1 \delta\gamma_1 + q_2 \delta\gamma_2) d\Omega - \int_{\Omega} p \delta w d\Omega \quad (19)$$

V (19) je $\delta\hat{\mathbf{u}} = (\delta w, \delta\theta_1, \delta\theta_2)^T$ vektor virtualnega pomika in virtualnih zasukov, $\delta\kappa_1$ in $\delta\kappa_2$ sta virtualni glavni ukrivljenosti, $\delta\gamma_1$ in $\delta\gamma_2$ sta virtualni strižni deformaciji, p površinska obtežba, Ω pa območje v ravnini x_1, x_2 , ki ga zavzema središčna ploskev plošče.

3.2 Anizotropna armatura

Kadar je efektivni prerez armature odvisen od smeri ϕ , govorimo o anizotropni armaturi:

$$a_\phi(\phi) \neq konst. \quad (20)$$

Takšno stanje je npr. pri enojno armirani plošči ali pa pri križno armirani plošči z različnima količinama armature v vsaki smeri. Na razpolago imamo dve možnosti za analizo anizotropno armiranih plošč, ki ju poimenujemo fiksna razpoka (tu je smer ϕ , v kateri kontroliramo razpoke, vnaprej določena) in rotirajoča razpoka (tu se smer ϕ med analizo spreminja).

3.2.1 Fiksna razpoka

Nastanek razpok predpostavimo v smeri največje odpornosti plošče. Pri izbrani armaturi je tako smer razpok vnaprej določena s $\phi = \phi_r$, kjer je

$$\tan 2\phi_r = \frac{\sum_{i=1}^{nr} m_{kon\ i} \sin 2\alpha_i}{\sum_{i=1}^{nr} m_{kon\ i} \cos 2\alpha_i} \quad (21)$$

Vektor ukrivljenosti $\mathbf{\kappa}$, v koordinatnem sistemu nt , ki ga določa kot ϕ_r , ima vse tri komponente različne od nič

$$\kappa_n \neq 0, \quad \kappa_t \neq 0, \quad \kappa_{nt} \neq 0. \quad (22)$$

Za smeri n in t izračunamo efektivni količini armature a_n in a_t s pomočjo enačbe (6) in določimo diagrama $\bar{m}_n(\bar{\kappa}_n)$ in $\bar{m}_t(\bar{\kappa}_t)$. Za določitev momenta m_{nt} pa uporabimo konstitutivno enačbo

$$m_{nt} = \beta(\kappa_n, \kappa_t) \frac{E_c t^3}{12 \cdot 2(1-\nu)} \kappa_{nt} \quad (23)$$

kjer je $\beta(\kappa_n, \kappa_t)$ koeficient, ki upošteva postopno zmanjšanje strižne odpornosti zaradi nastanka razpok. Zaradi poenostavitve se večkrat upošteva, da ima koeficient β konstantno vrednost (pri numeričnih primerih v 4. poglavju smo uporabili $\beta = 1$).

Algoritem, ki ga v stanju // uporabimo pri numerični analizi anizotropno armiranih plošč pri modelu fiksne razpoke, je naslednji:

1. Pri znanih $\hat{\mathbf{u}} = (w, \theta_1, \theta_2)^T$ določimo ukrivljenosti v koordinatnem sistemu x_1, x_2 :

$$\mathbf{\kappa} = \mathbf{\kappa}(\hat{\mathbf{u}}) = [\kappa_{11}, \kappa_{22}, 2\kappa_{12}]^T \quad (24)$$

2. Transformiramo ukrivljenosti v koordinatni sistem nt

$$\mathbf{\kappa}_r = \mathbf{T}_r^T \mathbf{\kappa}, \quad \mathbf{\kappa}_r = [\kappa_n, \kappa_t, \kappa_{nt}]^T \quad (25)$$

$$\mathbf{T}_r = \begin{bmatrix} \cos^2 \phi_r & \sin^2 \phi_r & -\sin 2\phi_r \\ \sin^2 \phi_r & \cos^2 \phi_r & \sin 2\phi_r \\ \sin \phi_r \cos \phi_r & -\sin \phi_r \cos \phi_r & \cos 2\phi_r \end{bmatrix} \quad (26)$$

3. Izračunamo momente v koordinatnem sistemu nt :

$$m_n = \bar{m}_n(\kappa_n), \quad m_t = \bar{m}_t(\kappa_t),$$

$$m_{nt} = \beta(\kappa_n, \kappa_t) \frac{G_c t^3}{12} \kappa_{nt} \quad (27)$$

4. Določimo strižne deformacije in strižne sile v koordinatnem sistemu x_1, x_2, x_3 :

$$\boldsymbol{\gamma} = \boldsymbol{\gamma}(\hat{\mathbf{u}}) = [\gamma_1, \gamma_2]^T, \quad \mathbf{q} = [q_1, q_2]^T = \mathbf{C}_s \boldsymbol{\gamma} \quad (28)$$

5. Uporabimo princip virtualnega dela $\delta\Pi$, kot osnovo za analizo po metodi končnih elementov

$$\delta\Pi(\mathbf{u}, \delta\hat{\mathbf{u}}) = \int_{\Omega} (m_n \delta\kappa_n + m_t \delta\kappa_t + m_{nt} \delta\kappa_{nt} + q_1 \delta\gamma_1 + q_2 \delta\gamma_2) d\Omega - \int_{\Omega} p \delta w d\Omega \quad (29)$$

V (29) je $\delta\hat{\mathbf{u}} = (\delta w, \delta\theta_1, \delta\theta_2)^T$ vektor virtualnega pomika in virtualnih zasukov, $\delta\kappa_n$, $\delta\kappa_t$, $\delta\kappa_{nt}$ pa so virtualne ukrivljenosti.

3.2.2 Rotirajoča razpoka

Nastanek razpok predpostavimo v smereh glavnih ukrivljenosti, ki se lahko med analizo seveda spreminjata.

Algoritem, ki ga v stanju // uporabimo pri numerični analizi anizotropno armiranih plošč pri modelu rotirajoče razpoke, je naslednji:

1. Pri znanih $\hat{\mathbf{u}} = (w, \theta_1, \theta_2)^T$ določimo ukrivljenosti v koordinatnem sistemu x_1, x_2 :

$$\mathbf{\kappa} = \mathbf{\kappa}(\hat{\mathbf{u}}) = [\kappa_{11}, \kappa_{22}, 2\kappa_{12}]^T \quad (30)$$

2. Določimo glavne ukrivljenosti

$$\kappa_{1,2} = \frac{\kappa_{11} + \kappa_{22}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\kappa_{11} - \kappa_{22}}{2}\right)^2 + (\kappa_{12})^2} \quad (31)$$

3. Določimo smer glavnih ukrivljenosti

$$\phi = 1/2 \arctan\left(\frac{2\kappa_{12}}{\kappa_{11} - \kappa_{22}}\right) + k \frac{\pi}{2},$$

$$k = \begin{cases} 1 & \text{za } \kappa_{11} - \kappa_{22} < 0 \\ 0 & \text{sicer} \end{cases} \quad (32)$$

4. Določimo efektivno količino armature, ki pripada glavnim smerem:

$$a_1 = a_\phi = \sum a_i \cos^2(\phi - \alpha_i),$$

$$a_2 = a_{\phi+\pi/2} = \sum a_i \cos^2(\phi + \frac{\pi}{2} - \alpha_i) \quad (33)$$

5. Določimo diagrama $\bar{m}_1(\bar{\kappa}_1)$ in $\bar{m}_2(\bar{\kappa}_2)$

6. Odčitamo momente v smereh glavnih ukrivljenosti:

$$m_1 = \bar{m}_1(\kappa_1), m_2 = \bar{m}_2(\kappa_2) \quad (34)$$

7. Določimo strižne deformacije in strižne sile v koordinatnem sistemu x_1, x_2, x_3 :

$$\gamma = \gamma(\hat{\mathbf{u}}) = [\gamma_1, \gamma_2]^T, \mathbf{q} = [q_1, q_2]^T = \mathbf{C}_s \gamma \quad (35)$$

8. Uporabimo princip virtualnega dela $\delta\Pi$, kot osnovo za analizo po metodi končnih elementov:

$$\delta\Pi(\mathbf{u}, \delta\hat{\mathbf{u}}) = \int_{\Omega} (m_1 \delta\kappa_1 + m_2 \delta\kappa_2 + q_1 \delta\gamma_1 + q_2 \delta\gamma_2) d\Omega - \int_{\Omega} p \delta w d\Omega \quad (36)$$

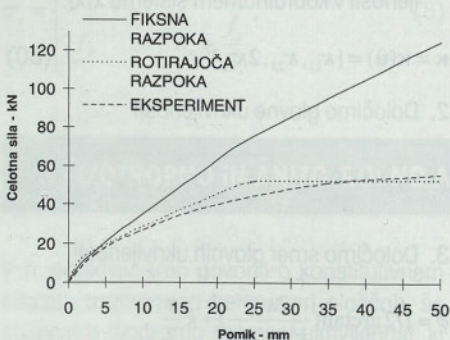
4 • NUMERIČNI PRIMERI

Predstavljeni konstitutivni model in pripadajoči algoritmi so bili vgrajeni v 4-vozliščni končni element za plošče s kvadratno interpolacijo pomika in linearno interpolacijo zasukov θ_1 in θ_2 , ki je predstavljen v (Bohinc, 2005). Za generacijo programske kode smo uporabili programsko okolje AceGen (Korelc, 2002, 2005). Prav tako so bile tudi vse analize izvedene v okolju AceGen, saj ima vgrajen modul za analizo po metodi končnih elementov (CDriver).

Pri vseh primerih z izotropno armiranimi ploščami so rezultati, dobljeni z izotropnim modelom, identični rezultatom, dobljenim z anizotropnim modelom z rotirajočo razpoko. Edina razlika je le v tem, da je čas računa nekoliko krajši pri izotropnem modelu, saj je za izračun potrebnih manj operacij.

4.1 Anizotropna pravokotna prostoležeča plošča

Obravnavamo prostoležečo pravokotno ploščo pod ploskovno obtežbo z debelino $h = 80$ mm, dolžino $l = 3000$ mm in širino $b = 2000$ mm. Plošča je ortogonalno armirana z $a_1 = 251$ mm²/m v eni smeri in



Slika 7 • Pravokotna anizotropno armirana plošča pod vplivom ploskovne obtežbe

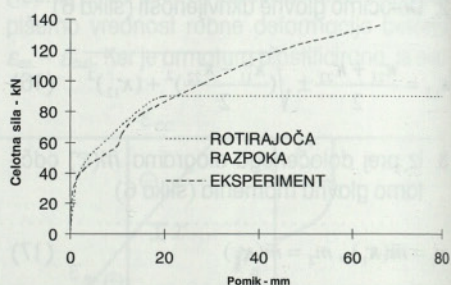
$a_2 = 559$ mm²/m v drugi smeri. Položaj armature je $c_1 = c_2 = 14$ mm od spodnjega roba plošče. Materialne karakteristike so: $E_c = 24$ GPa, $f_{ck} = 26,5$ MPa, $f_{ct} = 2,5$ MPa, $E_s = 205$ GPa in $f_y = 460$ MPa.

Numerična analiza je bila izvedena z mrežo 8×8 končnih elementov. Uporabili smo dva prej omenjena modela za določitev mejne nosilnosti; model s fiksno in model z rotirajočo razpoko. Na sliki 7 so primerjeni rezultati (vertikalni pomik središča plošče v odvisnosti od obtežbe) obeh modelov z rezultati eksperimentalne analize (ti so povzeti po (Ibrahimbegović, 1994)). Iz slike 7 je razvidno, da model rotirajoče razpoke s primerno natančnostjo oceni mejno nosilnost plošče, medtem ko model fiksne razpoke zelo preceni dejansko nosilnost plošče. Razlog za takšno razhajanje je dejstvo, da se smeri glavnih obremenitev ne ujema s smerjo glavnih odpornosti. Model fiksne razpoke bi dal primerne rezultate le v primeru, ko bi se ti dve smeri ujeli, to je pri optimalno dimenzionirani plošči. Ker tudi pri ostalih primerih ta model zelo preceni dejansko nosilnost plošče, se zdi, da ni primeren za uporabo pri analizi mejne nosilnosti armiranobetonskih plošč z metodo končnih elementov.

4.2 Anizotropna kvadratna prostoležeča plošča

Drugi primer obravnava prostoležečo kvadratno ploščo pod ploskovno obtežbo. Plošča je debela $h = 51$ mm, stranica plošče pa je $a = 1830$ mm. Plošča ima ortogonalno armaturo, in sicer $a_1 = 281$ mm²/m v smeri prve stranice ter $a_2 = 235$ mm²/m v smeri druge stranice plošče. Položaj armature je $d_1 = 39$ mm za prvo smer ter $d_2 = 44$ mm za drugo smer, kjer je d razdalja do zgornjega roba plošče. Materialne karakteri-

stike za beton in jeklo so: $E_c = 32,42$ GPa, $f_{ck} = 35$ MPa, $f_{ct} = 3,79$ MPa, $v_c = 0,18$, $E_s = 206,91$ GPa in $f_y = 375,9$ MPa.

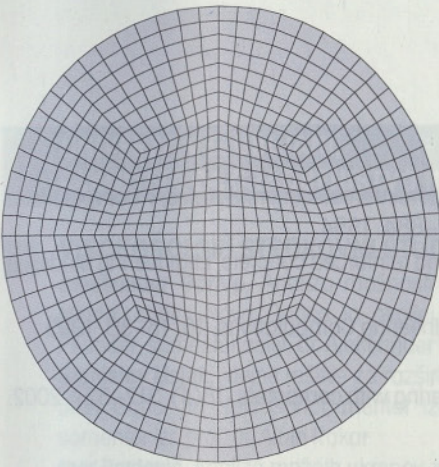


Slika 8 • Kvadratna anizotropno armirana plošča pod vplivom ploskovne obtežbe

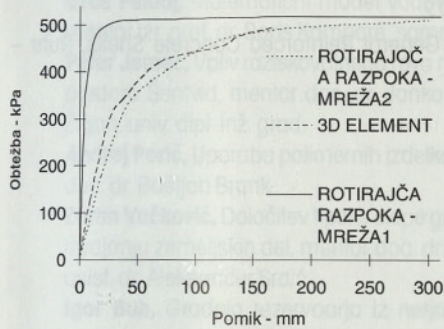
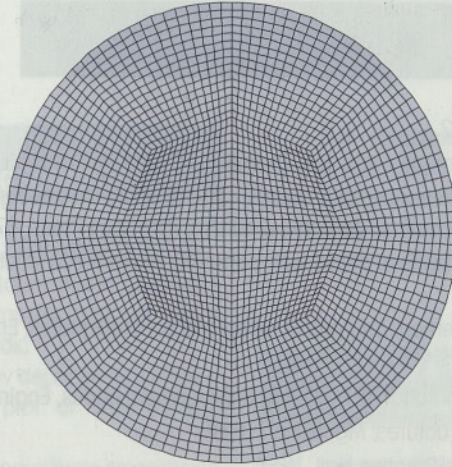
Numerična analiza je bila izvedena z mrežo 8×8 končnih elementov. Pri računu smo privzeli, da sta armaturi v obeh smereh položeni na isti razdalji od zgornjega roba plošče: $\bar{a} = (a_1 + a_2) \cdot 0,5 = 42$ mm. V vogalnih vozliščih je bil dovoljen vertikalni pomik, s čimer smo simulirali robne pogoje iz eksperimenta ((Ibrahimbegović, 1992)). Na sliki 8 je prikazan vertikalni pomik sredine plošče v odvisnosti od obtežbe. Razvidno je, da se rezultati zelo dobro ujema v območju majhnih pomikov. Pri večjih pomikih se v plošči pojavijo membranske sile, ki znatno povečajo dejansko nosilnost, v naši analizi pa jih nismo upoštevali.

4.3 Izotropna krožna vpeta plošča

Krožna izotropno armirana plošča je debeline $h = 1000$ mm, njen radij pa $R = 10000$ mm. Karakteristike betona so: $E_c = 20$ GPa, $f_{ck} = 35$ MPa, $f_{ct} = 5,6$ MPa, $v_c = 0,16$, jekla pa: $E_s = 210$ GPa in $f_y = 460$ MPa. Plošča ima izotropno armaturo $\mu = 1\%$ v vsaki smeri, položeno $a = 30$ mm od spodnjega roba plošče. Enaka količina armature je bila uporabljena tudi na zgornji strani: $\mu' = 1\%$ in $a' = 30$ mm.



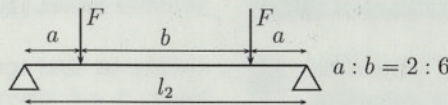
Slika 9 • Krožna plošča: mreža 1 in mreža 2



Slika 10 • Krožna izotropno armirana plošča pod vplivom ploskovne obtežbe

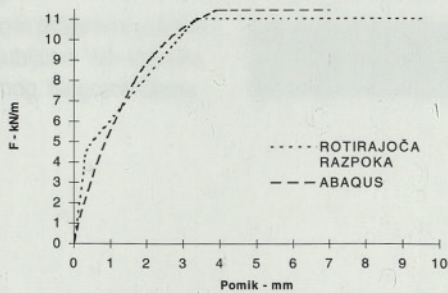
4.4 Plošča z dvema prostima robovoma

V četrtem primeru smo primerjali rezultate, dobljene s komercialnim programom (Abaqus, 2002), z rezultati, dobljenimi z opisanim pristopom. Modelirali smo prostoležečo pravokotno ploščo, ki je na dveh robovih podprta, dva robova sta prosta.



Slika 11 • Obtežba plošče z dvema prostima robovoma

Uporabili smo mrežo 10 × 10. Plošča je obremenjena z linijsko obtežbo F (slika 11). Armirana je le v smeri, ki je pravokotna na



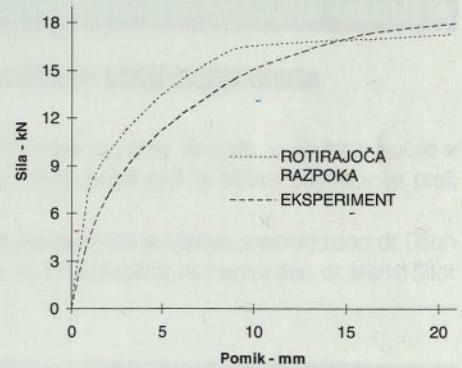
Slika 12 • Anizotropno armirana prostoležeča plošča z dvema prostima robovoma

smer podprtih robov, in sicer z armaturo $a_1 = 274 \text{ mm}^2/\text{m}$. Karakteristike plošče so: dolžina podprtih robov $l_1 = 457 \text{ mm}$, dolžina nepodprtih robov $l_2 = 762 \text{ mm}$, debelina $h = 38 \text{ mm}$, statična višina $d = 31 \text{ mm}$. Materialne karakteristike so: $E_c = 29 \text{ GPa}$, $f_{ck} = 32 \text{ MPa}$, $f_{ct} = 2 \text{ MPa}$, $v_c = 0,18$, $E_s = 200 \text{ GPa}$ ter $f_y = 220 \text{ MPa}$.

Čeprav je v Abaqusu uporabljen zelo sofisticiran materialni model za armirani beton, se ocena mejne nosilnosti ne razlikuje bistveno od ocene, dobljene s prikazanim pristopom (slika 12).

4.5 Izotropna kvadratna točkovno podprta plošča

Kvadratna plošča, podprta na štirih vogalih, je obremenjena s koncentrirano silo v središču plošče. Karakteristike plošče so: debelina $h = 44 \text{ mm}$, dolžine stranic $a = 914 \text{ mm}$, izotropna armatura $\mu = 0,85 \%$ in statična višina $d = 33 \text{ mm}$. Karakteristike materiala so: $f_{ck} = 38 \text{ MPa}$, $E_c = 36 \text{ GPa}$, $v_c = 0,15$, $f_{ct} = 5,3 \text{ MPa}$, $E_s = 200 \text{ GPa}$ in $f_y = 345 \text{ MPa}$.



Slika 13 • Izotropno armirana točkovno podprta kvadratna plošča

Pri numerični analizi je bila uporabljena mreža 20 × 20. Na sliki 13 je prikazan vertikalni pomik točke, ki je za $\frac{a}{10}$ oddaljena od središča plošče v smeri osi x_1 . Tudi v tem primeru se izkaže, da so dobljeni rezultati bistveno ne razlikujejo od eksperimentalno dobljenih rezultatov (glej (Zahlten, 1993)).

razpokanja betona in zaradi plastifikacije armature. Čeprav analiza temelji na nelinearni metodi končnih elementov, je robustna in razmeroma preprosta. Prednost prikazanega pristopa, glede na precej uporabljano teorijo plastičnih linij, je informacija o velikosti pomikov pri doseženi mejni nosilnosti, ki je lahko zanimiva za študij mejnega stanja uporabnosti.

5 • SKLEP

Rezultati uporabljenega pristopa za račun mejne obtežbe armiranobetonskih plošč se dobro ujemajo z razpoložljivimi eksperimentalnimi rezultati (ki so na voljo v strokovni literaturi) za tiste plošče, kjer se je obtežba monotono povečevala vse do porušitve. Bistvo uporabljenih analiz je, da upošteva postopno degradacijo armiranega betona zaradi

razpokanja betona in zaradi plastifikacije armature. Čeprav analiza temelji na nelinearni metodi končnih elementov, je robustna in razmeroma preprosta. Prednost prikazanega pristopa, glede na precej uporabljano teorijo plastičnih linij, je informacija o velikosti pomikov pri doseženi mejni nosilnosti, ki je lahko zanimiva za študij mejnega stanja uporabnosti.

6 • LITERATURA

- Abaqus 6.3., Hibbit, Karlsson & Sorensen Inc., 2002.
- Bohinc, U., Ibrahimbegović, A., Robustni končni elementi za plošče, Zbornik Kuhljevi dnevi 2005, 33–40, 2005.
- Ibrahimbegović, A., Frey, F., An efficient approach to serviceability analysis and ultimate load design of reinforced concrete plates, v Computational modelling of concrete structures (H. Mang, N. Bićanić, R. de Borst, uredniki), Pineridge Press, 875–884, 1994.
- Ibrahimbegović, A., Frey, F., Sarf, J. L., Limit load analysis of plates with particular reference to steel and reinforced concrete, Engineering Modeling, 5, 3–4, 75–82, 1992.
- Ibrahimbegović, A., Frey, F., Stress resultant finite element analysis of reinforced concrete plates, Engineering Computations, 10, 15–30, 1993.
- Korelc, J., <http://www.fgg.uni-lj.si/Symech>, 2005.
- Korelc, J., Multi-language and multi-environment generation of nonlinear finite element codes, Engineering with computers, 18(4), 312–327, 2002.
- Moy, S. J., Plastic methods for steel and concrete structures, MacMillan, 1996.
- Nielsen, M. P., Limit analysis and concrete plasticity, Prentice-Hall, 1984.
- Park, R., Gamble, W. L., Reinforced concrete slabs, Wiley, 2000.
- Radosavljević, Ž., Bajić, D., Armirani beton, knjiga 3, Elementi armiranobetonskih konstrukcija, Graevinska knjiga, 1990.
- Save, M. A., Massonet, C. E., Plastic analysis and design of plates, shells and disks, Nort-Holland, 1972.
- Zahnten, W., A contribution to the Physically and Geometrically Nonlinear Computer Analysis of General Reinforced Concrete Shells, Ruhr - Universität Bochrum, 212–215, 1993.

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Aleksander Gorjup, Analiza možnosti stanovanjske gradnje v Mestni občini Nova Gorica in okolici, mentor prof. dr. Mirko Pšunder, somentor asist. dr. Aleksander Srdić

Stanislav Lisjak, Idejne rešitve za razširitev deponije odpadkov v Stari Gorici pri Novi Gorici, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan, somentor izr. prof. dr. Albin Rakar

Igor Pavlovič, Analiza možnih ukrepov za povečanje zmogljivosti in skrajšanja potovalnega časa avtobusnega mestnega prometa, mentor doc. dr. Marijan Žura

Uroš Peklaj, Matematični model vodovodnega omrežja Dravlje, mentor izr. prof. dr. Boris Kompare, somentor Matej Uršič

Peter Jemec, Vpliv raziskovalnega rova na gradnjo dvopasovnega predora Šentvid, mentor doc. dr. Janko Logar, somentor Angelo Žigon, univ. dipl. inž. grad.

Andrej Perič, Uporaba polimernih izdelkov v gradbeništvu, mentor doc. dr. Boštjan Brank

Zoran Vučković, Določitev tipske ekipe gradbene mehanizacije pri izvajanju zemeljskih del, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc, somentor asist. dr. Aleksander Srdić

Igor Buh, Gradnja rezervoarja iz nerjavnega jekla za fosforno kislino, mentor doc. dr. Boštjan Brank, somentor doc. dr. Jelena Vojvodič Tuma

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Franc Sinur, Torzijska odpornost vzdolžnih in prečnih ojačitev polnostenskih nosilcev, mentor prof. dr. Darko Beg

Aleš Bucaj, Hitra cesta Koper-Izola, idejna študija variante Škocjan-Izola, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc

Laszlo Cikajlo, Analiza prometnega koridorja in projektiranje trase primestne (lahke) železnice na odseku Ljubljana Vič-Vrhnika, mentor prof. dr. Bogdan Zgonec, somentor mag. Blagomir Černe

Rok Henigman, Koncept podatkovnega modela sistema za spremljanje dokumentov v procesu graditve, mentor doc. dr. Jana Šelih, somentor asist. dr. Aleksander Srdić

Aleš Goršek, Strokovne podlage za oblikovanje cene pitne vode na območju Občine Trebnje, mentor izr. prof. dr. Albin Rakar

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Barbara Omerzu, Komunalna ureditev soseske Sončni park v Celju, mentor pred. Uroš Lobnik, univ. dipl. inž. arh., somentor Daniela Dvornik Perhavec, univ. dipl. inž. grad.

Martina Semič, EC-2 prikaz osnovnih napetostnih stanj skozi rešene primere, mentor pred. Benedikt Boršič, univ. dipl. inž. grad., somentor doc. dr. Peter Dobrila

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA

Barbara Dobaj, Postopek priprave ponudb za javna naročila v inženiring podjetju, mentorja red. prof. dr. Mirko Pšunder in izr. prof. dr. Borut Bratina

Nina Težak, Energijsko modeliranje zgradb, mentorja doc. dr. Dean Korošak in izr. prof. dr. Borut Bratina, somentor doc. dr. Metka Sitar

Rubriko ureja • **Jan Kristjan Juteršek**, univ. dipl. inž. grad.

KOLEDAR PRIREDITEV

31.5 - 2.6.2006

Mobility Trends

Paris, Francija

www.mobilitytrends.com

4.6 - 6.6.2006

8th International Symposium

Transport Noise and Vibration 2006

St. Petersburg, Rusija

<http://webcenter.ru/~eeaa/tn06/>

eeaa-vaa@peterlink.ru

22.6.2006

Designing Safer Roads

London, Anglija

www.thepassiverevolution.co.uk

andrev.pledge@thepassiverevolution.co.uk

27.6 - 29.6.2006

EuroRoads 2006

Paris, Francija

www.terrapinn.com/2006/euroroads

linda.fransson@terrapinn.com

4.7 - 7.7.2006

Infrastructure Facilities Asia 2006

Singapur

www.infrastructure-asia.com

enquiry@hqinterfama.com

11.7 - 13.7.2006

Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels

Portorož, Slovenija

www.bhrgroup.com/confsite/av06home.htm

bastle@bhrgroup.com

28.7.2006

4th International Engineering & Construction Conference

Los Angeles, Kalifornija, ZDA

www.asce.org

thancuff@lacds.org

4.8 - 6.8.2006

International Conference on

Physical Modelling in Geotechnics 2006

Hong Kong, Hong Kong

www.icpmg2006.ust.hk/onlinesubmission.htm

stse@ust.hk

6.8 - 10.8.2006

WCTE 2006

World Conference on Timber

Portland, Oregon, ZDA

www.alexschreyer.de/eng/w_conf.htm

jamie.legoe@oregonstate.edu

14.8 - 16.8.2006

ASCE

Operating Reservoirs in Changing Conditions

Sacramento, California, ZDA

www.asce.org/conferences/om06/abstract.cfm

4.8 - 17.8.2006

STESSA 2006

Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas

Yokohama, Japonska

www.serc.titech.ac.jp/stessa2006/

wada@serc.titech.ac.jp

29.8 - 1.9.2006

12th European Conference on Composite Materials

Biarritz, Francija

www.paginas.fe.up.pt/ECCM12/

eccm12@lcts.u-bordeaux1.fr

6.9 - 8.9.2006

6st European Conference on Numerical Methods

in Geotechnical Engineering

Graz, Avstrija

www.numge06.tugraz.at

numge06@tugraz.at

6.9 - 10.9.2006

10th IAEG Congress Engineering geology for tomorrow's cities

Nottingham, Anglija

www.iaeg2006.com

contact@iaeg2006.com

13.9 - 15.9.2006

IABSE Symposium on Responding to Tomorrow's Challenges in Structural Engineering

Budimpešta, Madžarska

www.iabse.hu

iabse@asszisztencia.hu

25.9 - 30.9.2006

7th International Symposium on Environmental Geochemistry

Peking, Kitajska

www.iseg2006.com/welcome.htm

iseg2006@vip.skleg.cn

15.11 - 17.11.2006

8th International Symposium on Tunnel Construction and Underground Structures

(8. mednarodno posvetovanje o gradnji predorov in podzemnih prostorov)

Ljubljana, Slovenija

www.drustvo-dpgk.si

leon.kostiov@firnet.net

11.6 - 13.6.2007

International Conference: Sustainable Construction Materials and Technologies

Coventry, Anglija

www.uwm.edu/dept/cbu/coventry.html

4.9 - 6.9.2007

7th International Congress: Construction's Sustainable Option

Dundee, Škotska

www.ctucongress.co.uk

Rubriko ureja • **Jan Kristijan Juteršek**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: msg@izs.si