

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, januar 2013, letnik 62, str. 1-28

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za knjigo RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani** in **Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**
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: **akad. prof. dr. Miha Tomažević**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Sodelavec pri MSG IZS:

Jan Kristijan Juteršek

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

3400 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 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 22,95 EUR; za študente in upokojene 9,18 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 169,79 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:

SI56 0201 7001 5398 955

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Članki (razen angleških povzetkov) in prispevki morajo biti napisani v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledkom med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev z nazivi in naslovi ter besedilo.
6. Članki morajo obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); znanstveni naziv, imena in priimke avtorjev, strokovni naziv, navadni in elektronski naslov; oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; ključne besede v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; ključne besede (key words) 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 ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike (risbe in fotografije s primerno ločljivostjo) in preglednice morajo biti razporejene in omenjene po vrstnem redu v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: (priimek prvega avtorja, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela razvrščena po abecednem redu priimkov prvih avtorjev in opisana z naslednjimi podatki: priimek, začetnica imena prvega avtorja, priimki in začetnice imen drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. 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.
14. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD glavnemu in odgovornemu uredniku na e-naslov: janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V sporočilu mora avtor napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren.

Uredništvo

Vsebina • Contents

Nagrajeni gradbeniki

stran 2

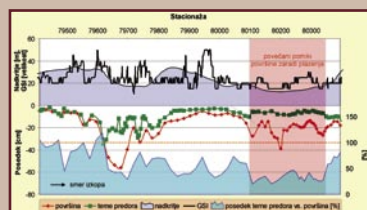
izr. prof. dr. Jana Šelih, univ. dipl. inž. grad.
**PODELITEV PREŠERNOVIH NAGRAD IN PRIZNANJ NAJBOLJŠIM
ŠTUDENTOM LETA 2012 NA FAKULTETI ZA GRADBENIŠTVO IN
GEODEZIJO UNIVERZE V LJUBLJANI**



Članki • Papers

stran 3

dr. Jure Klopčič, univ. dipl. inž. grad.
izr. prof. dr. Janko Logar, univ. dipl. inž. grad.
**VPLIV ANIZOTROPIJE HRIBINSKE MASE NA VELIKOST IN SMER
POMIKOV ZARADI IZKOPA PREDORA**
INFLUENCE OF ANISOTROPY OF ROCK MASS ON MAGNITUDE AND
DIRECTION OF DISPLACEMENTS DUE TO TUNNELLING



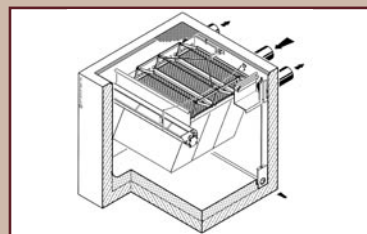
stran 15

dr. Ljudmila Koprivec, univ. dipl. inž. arh.
**PREFABRICIRANI FASADNI SISTEM QBISS AIR – INOVACIJA
V ARHITEKTURI**
PREFABRICATED FACADE SYSTEM QBISS AIR – AN INNOVATION
IN THE ARCHITECTURE



stran 20

Franc Maleiner, univ. dipl. kom. inž.
**ČIŠČENJE PADAVINSKIH ODTOKOV S POMOČJO ČISTILCA
UFT-FLUIDCLEAR**
CLEANING OF RAINWATER DRAINS THROUGH THE CLEANER
UFT-FLUIDCLEAR



Novi diplomanti

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

Koledar prireditev

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

Slika na naslovnici: Hladilni stolp bloka 6 v termoelektrarni Šoštanj, foto arhiv TEŠ

PODELITEV PREŠERNOVIH NAGRAD IN PRIZNANJ NAJBOLJŠIM ŠTUDENTOM LETA 2012 NA FAKULTETI ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO UNIVERZE V LJUBLJANI

V četrtek, 6. decembra 2012, smo na UL FGG podelili Prešernove nagrade Fakultete za gradbeništvo in geodezijo za posebno uspešna dela študentov dodiplomskih študijev in pohvale najuspešnejšim študentom za študijske dosežke.

Prešernove nagrade so najvišje nagrade, namenjene dosežkom študentov, ki jih podeljuje Univerza v Ljubljani in njene članice s ciljem spodbujanja znanstvenoraziskovalne in umetniške dejavnosti študentov dodiplomskega študija tradicionalno vsako leto v tednu univerze, posvečenem obletnici ustanovitve Univerze v Ljubljani. Nagrada se podeli samostojnim delom, ki so izdelana v času dodiplomskega študija in predložena v predpisani obliki. Za Prešernove nagrade so lahko predlagana dela, ki izrazito presegajo redne študijske zahteve in so napisana v strokovno neoporečni slovenščini. V letu 2012 je bilo podeljenih pet Prešernovih nagrad Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, od tega tri

študentom gradbeništva in dve študentoma geodezije.

Nagrade so prejeli:

- **Gašper Štebe** za nalogo z naslovom PONOVA OBDELAVA MERITEV V POLOŽAJNI MREŽI HE MOSTE OD 1950 DO 2010, izdelano pod mentorstvom izr. prof. dr. Tomaža Ambrožiča ter somentorstvom prof. dr. Dušana Kogoja in asist. Klemena Kregarja;
- **Vesna Vidmar** za nalogo z naslovom SIMULACIJA GIBANJA KAPLJEVIN V CISTERNI PO METODI SPH IN METODI NIHALA, izdelano pod mentorstvom doc. dr. Dušana Žagarja in somentorstvom asist. dr. Gregorja Petkovška;
- **Nataša Đurić** za nalogo z naslovom OBJEKTNO USMERJENA KLASIFIKACIJA ZA DOLOČANJE DREVESNIH VRST IN ZAZNAVANJE JAPONSKEGA DRESNIKA, izdelano pod mentorstvom doc. dr. Mojce Kosmatin Fras in somentorice Urše Kanjir;

- **Nejc Bezak** za nalogo z naslovom VERJETNOSTNA ANALIZA VISOKOVODNIH KONIC Z METODO VREDNOSTI NAD IZBRANIM PRAGOM IN Z METODO LETNIH MAKSIMUMOV, izdelano pod mentorstvom doc. dr. Mojce Šraj in somentorstvom prof. dr. Mitje Brillyja;
- **Nuša Černe** za nalogo z naslovom IN-SITU IN LABORATORIJSKE PREISKAVE HISTORIČNIH MALT, izdelano pod mentorstvom izr. prof. dr. Violete Bokan Bosiljkov in somentorice Petre Štukovnik.

Čeprav so študiji na FGG med zahtevnejšimi na Univerzi v Ljubljani, je med našimi študenti tudi mnogo takšnih, ki so s svojim uspešnim študijskim delom vzor svoji generaciji kolegov in tudi tistim, ki na študij šele prihajajo. Najboljšim med njimi podeljuje fakulteta že vrsto let nagrade za najuspešnejša dela. S tem želi fakulteta pokazati, da ceni trud in opravljeno delo nadarjenih študentov.

Med najuspešnejšimi študenti UL FGG v letu 2012 so bili naslednje študentke in študenti: **Anja Kotar in Marko Lavrenčič** (študijski program gradbeništvo), **Urban Čepon** (študijski program vodarstvo in komunalno inženirstvo) ter **Klemen Bajc in Matic Čoh** (študijski program operativno gradbeništvo).

V študijskem programu geodezija in geoinformatika so prejeli pohvale **Lucija Cigelšek, Alenka Pajtler, Urša Poglajen in Klemen Ritlop**, v programu geodezija **Jernej Tekavec**, v študijskem programu prostorsko načrtovanje pa **Simona Zavec**.

Vsem nagrajencem iskreno čestitamo.

izr. prof. dr. **Jana Šelih**
prodekanica za študentske zadeve



VPLIV ANIZOTROPIJE HRIBINSKE MASE NA VELIKOST IN SMER POMIKOV ZARADI IZKOPA PREDORA

INFLUENCE OF ANISOTROPY OF ROCK MASS ON MAGNITUDE AND DIRECTION OF DISPLACEMENTS DUE TO TUNNELLING

dr. Jure Klopčič, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Katedra za mehaniko tal, Jamova 2, 1000 Ljubljana,
jure.klopacic@fgg.uni-lj.si

Znanstveni članek

UDK 624.121:624.19(497.4)

izr. prof. dr. Janko Logar, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Katedra za mehaniko tal, Jamova 2, 1000 Ljubljana,
janko.logar@fgg.uni-lj.si

Povzetek | Pri analizi meritev pomikov predorov v mehkih, anizotropnih hribinskih masah in meritev površine nad takšnimi predori smo opazili nekatere karakteristične deformacijske vzorce, ki so bili nedvomno posledica anizotropije zaledne hribinske mase. Da bi opažene izkušnje kvantificirali in jih tako naredili uporabne za morebitne bodoče projekte v anizotropnih hribinah, smo na podlagi velike množice 3D-numeričnih analiz z variacijami togosti in trdnosti ter relativne orientacije diskontinuitet glede na os predora določili velikost pomika pred čelom in pričakovano usmerjenost vektorja pomikov stropne točke. Uporabnost rezultatov smo prikazali na primerih izmerjenih odzivov predorske cevi in površine v predorih Trojane in Jasovnik.

Ključne besede: predori, anizotropne hribine, pomiki

Summary | During the analyses of measured displacements in tunnels in soft anisotropic rock mass conditions and surface monitoring data above these tunnels some characteristic deformation patterns were observed. These patterns were clearly governed by the anisotropy of the surrounding rock mass. To quantify the obtained experiences for the future projects in similar ground conditions, a large number of 3D numerical calculations was performed. The magnitude of the displacement ahead of the tunnel face and the normal orientation of the displacement vector of the crown point were determined for different relative orientations of the discontinuities to the tunnel axis and different combinations of stiffness and strength parameters. The applicability of the results was checked on the case histories of the Trojane and Jasovnik tunnels with regard to measured displacements of the tunnel contour and surface displacements.

Key words: tunnels, anisotropic rock, displacements

1 • UVOD

Nova znanja in tehnologije omogočajo varno in cenovno učinkovito izrabo podzemnega prostora tudi v primeru močno deformabilne in slabo nosilne hribine. Gradnja je v takšnih razmerah običajno povezana s precejšnjimi tveganji. Opazovalna metoda ((Rabcewicz, 1965), (Peck, 1969)) se je izkazala kot najprimernejša za obvladovanje tveganj pri gradnji podzemnih objektov s klasično metodo (pri nas bolj znano pod imenom NATM). Analiza in ustrezna interpretacija izmerjenih in opaženih podatkov omogočata oceno ustreznosti vhodnih projektnih parametrov ter optimizacijo podporja in delovnih procesov glede na izmerjeni in pričakovani odziv podzemnega objekta (Schubert s sodelavci, 2003).

Integralni del opazovalne metode pri gradnji podzemnih prostorov so geodetske metode, ki služijo za določitev pomikov merskih točk predorske obloge in ugrezkov površine. Na podlagi teh pomikov opazujemo proces stabilizacije prečnega prereza in določimo potreben nadprofil izkopa za bodoče profile. Optimalna pot za določitev nadprofila je analiza rezultatov opazovanja gradnje ter določitev velikosti nadprofila na podlagi pričakovanih pomikov in geoloških struktur. V ta namen je Guenet s sodelavci (1985) razvil enostavno, a učinkovito metodo, ki jo je nadgradil Barlow

(1986) in nadalje prilagodil za uporabo v mehkih hribinah Sellner (2000). Polempirična analitična funkcija (v nadaljevanju pomikovna funkcija) hiperbolične oblike opisuje radialne pomike ostenja predora kot funkcijo napredovanja izkopnega čela in časovno odvisnega odziva hribine (Barlow, 1986). Pomikovno funkcijo prilagajamo merjenim radialnim pomikom s spreminjanjem prostih parametrov, ki opisujejo odziv sistema hribina – podporje ob upoštevanju faznosti gradnje. Glavna prednost pomikovne funkcije je enostavnost, saj omogoča hitro in zanesljivo oceno procesa stabilizacije prečnega prereza z upoštevanjem 3D-vplivov gradnje in tudi časovne komponente gradnje. Za določitev »normalnega« obnašanja in končne velikosti pomika tako ne potrebujemo materialnih parametrov, ki bi jih bilo treba določiti z dragimi in zamudnimi laboratorijskimi preiskavami. Zaradi teh prednosti je metoda primerna za vsakodnevno uporabo pri spremljanju gradnje predora (Sellner, 2000).

Uporaba vzdolžnih pomikov je bila v geotehnični praksi dolgo časa spregledana in šele s spoznanji Schuberta in sodelavcev so vzdolžni pomiki začeli pridobivati pravo veljavo. Omogočajo namreč prepoznavanje sprememb v togosti hribinske mase precej

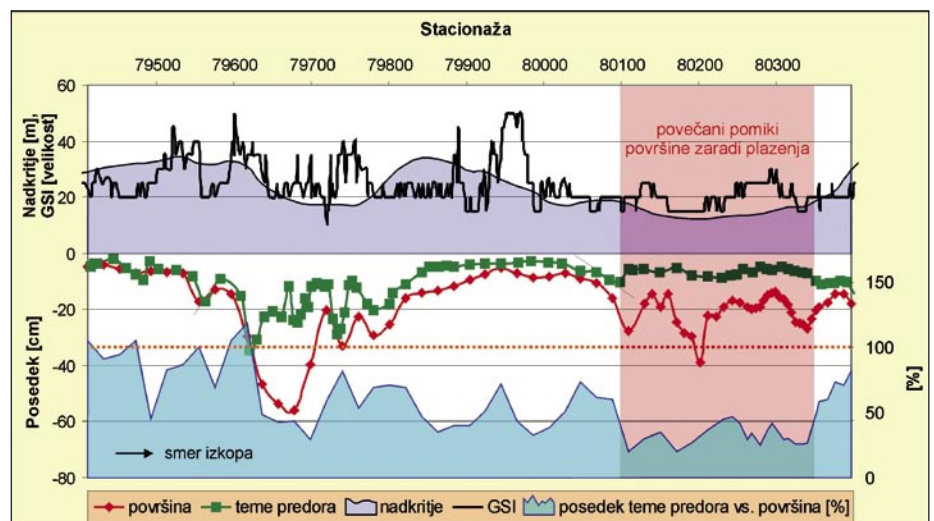
pred čelom predora ((Schubert, 1993), (Schubert, 1995)). V primeru bolj toge hribine pred čelom predora se vektor pomikov (vzdolžni in vertikalni pomik) odkloni od normalnega položaja v smeri nadaljnjega izkopa, medtem ko se v primeru slabše hribine pred čelom odkloni od normalnega položaja v izkopani prostor. Za izotropne materiale je bil ta kot določen v razponu 8 do 15°. Steindorfer (1998) je na podlagi nekaj meritev v predorih v anizotropnih hribinah nakazal normalno orientacijo vektorja pomikov v odvisnosti od relativne usmeritve ravnin anizotropije glede na os predora (anizotropija pomeni različne lastnosti hribine v različnih smereh, ki izdatno vplivajo na njeno obnašanje; običajno se nanaša na oslabiljene ploskve v hribinski strukturi, kot so na primer skrilaost, plastovitost, prelomi, razpoke). Odziv izkopanega prostora oziroma velikost in smer pomikov po konturi predora sta tako močno odvisni od trdnostnih parametrov in relativne usmerjenosti diskontinuitet glede na izkopani prostor ((Wittke, 1990), (Solak, 2009)).

Na podlagi obsežne baze meritev 3D-pomikov primarne obloge predorov, grajenih v anizotropni hribinski masi (predori Trojane, Golovec, Šentvid, Jasovnik, Ločica, Podmilij), smo sistematično primerjali izmerjeni odziv predorske obloge z geološko zgradbo prostora, da bi ugotovili morebitne karakteristične deformacijske vzorce pomikov predorov v anizotropnih hribinah.

2 • ANALIZA MERJENIH POMIKOV

Zaradi zelo obsežnega izvedenega programa monitoringa je za analizo meritev najbolj interesanten predor Trojane. V predoru so bile opravljene geodetske meritve petih merskih točk v 389 merskih profilih, horizontalni inklinometer in vertikalni ekstenzometer, na površini nad predorom pa geodetske meritve merskih točk na odseku 1200 m vzdolž obeh osi na vzhodni strani predora (merske točke na 20 m), geodetske meritve 4 do 13 točk v 43 prečnih prerezhih in niveliranje večjega števila stavb.

Na sliki 1 je prikazana primerjava merjenih pomikov temenske točke v predoru (zeleni črta) in površine (rdeča črta) na vzhodnem delu predora, ki poteka z nizkim nadkritjem od 15 do 35 m pod vasjo Trojane (prikazan z vijolično površino na zgornjem delu slike 1). Od stacionaže km 79 + 600 naprej so pomiki

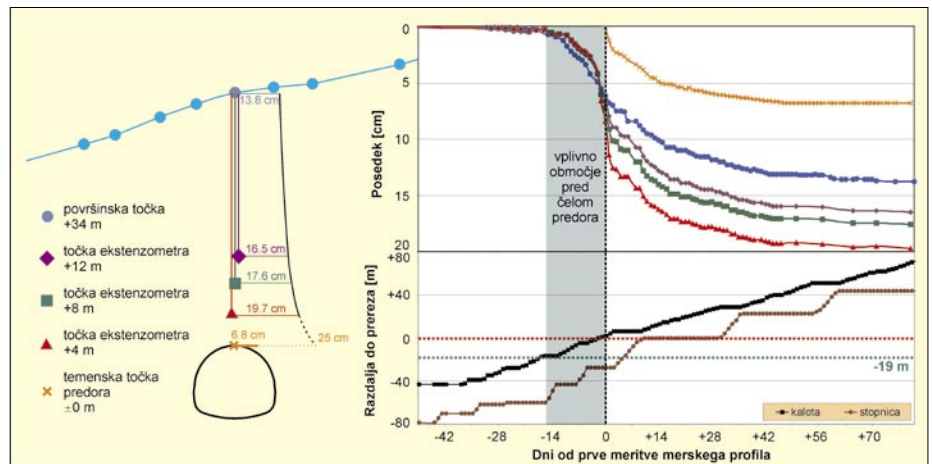


Slika 1 • Primerjava pomikov površine in temenske točke leve (južne) cevi predora Trojane na vzhodnem delu predora pod vasjo Trojane

površine precej večji kot pa izmerjeni pomiki ostena predora. Z modro površino je predstavljen odstotek pomika predora glede na pomik površine, ki variira med 35 in 80 odstotki. Nižji odstotki so povezani z manjšim nadkritjem nad predorom. Kljub vgrajenemu togemu podporju, uporabi cevnega ščita, podpiranju izkopnega čela z velikim številom sider in podpornim jedrom ter hitremu zapiranju podpornega obroča se je večina pomikov zgodila pred čelom predora in se v veliki meri prenesla na površino.

Običajno se le del pomika, ki ga izmerimo v predoru, prenese na površino. Razpored pomikov z globino je prikazan z rezultati vertikalnega ekstenzometra, ki je bil vgrajen nad osjo južne cevi v bližini Garni hotela v vasi Trojane na stacionaži km 79 + 842 (slika 2). Na površini je bil merjen merski profil sedmih točk z dodatno točko na ustju vertikalnega ekstenzometra 34 m nad temenom predora. Merske točke tritočkovnega vertikalnega ekstenzometra so bile 4, 8 in 12 m nad temenom predora in se jih je opazovalo že precej pred vplivnim območjem prihajajočega izkopnega čela predora. Ko je čelo kalote prečilo vertikalni ekstenzometer, se je v temenu predora vgradila merska točka. Vse navedene točke so bile opazovane dovolj dolgo, da se je hribinska masa na območju popolnoma umirila.

Točka ekstenzometra 4 m nad temenom predora (rdeča barva) se je posedla za 19,7 cm, točka na površini (modra barva) 13,8 cm in temenska točka (oranžna barva) 6,8 cm. Če ekstrapoliramo trend posedkov ekstenzometriških točk do temena predora, bi ob predpostavki zmanjševanja deformacij stran od izkopanega prostora celotni posedek temenske točke znašal 25 cm. Izmerjeni del pomika znaša tako zgolj 27 odstotkov celotnega pomika. Podoben rezultat dobimo tudi iz analize horizontalnega inklinometra, ki je bil v dolžini 80 m vgrajen v cevi cevnega ščita nad temenom južne cevi v območju pod objektom GP Trojane (Klopčič, 2009). Primerjava ekstrapoliranega pomika do temena predora in pomika površinske točke pokaže, da se je na območju vertikalnega ekstenzometra (nadkritje 34 m) le polovica pomika na temenu predora prenesla do površine. Kjer je nadkritje nad predorom nižje, se na površino prenese večji delež pomika. Če zdaj pogledamo sliko 1 v luči rezultatov slike 2, lahko ocenimo, da se je na vzhodnem delu predora Trojane pred čelom predora izvršilo od 60 do 80 odstotkov vseh deformacij zaradi izkopa predora. Ti rezultati kažejo, da togo podporje in vsi drugi ukrepi za zagotavljanje stabilnosti



Slika 2 • Prikaz zmanjševanja pomikov v hribinski masi vstran od izkopanega prostora s primerjavo pomikov površinske točke, točk vertikalnega ekstenzometra in temenske točke v predoru - južna cev predora Trojane

čela ter zmanjšanje pomikov pred čelom predora v določenih pogojih sicer vplivajo na zmanjšanje merjenih pomikov merskih točk v predoru, nimajo pa želenega vpliva na pomike pred čelom in na pomike površine.

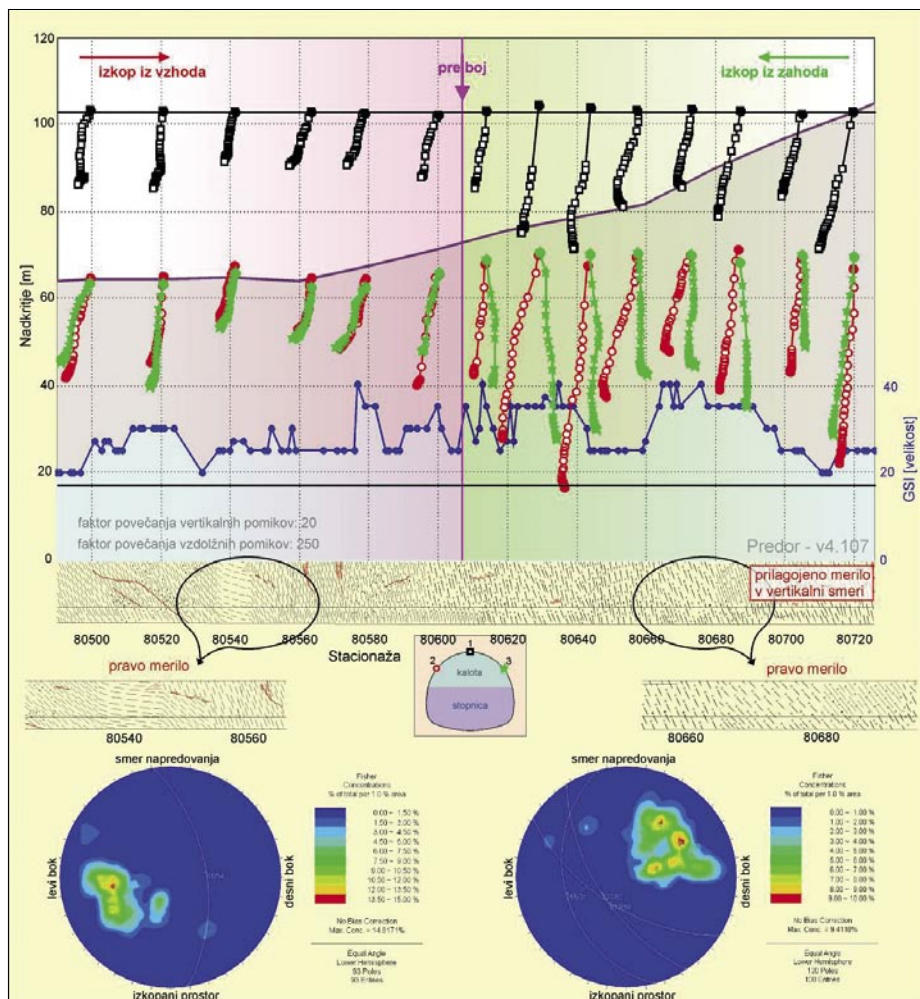
Razlog za velike deformacije pred čelom predora je torej treba najti v sami hribini, v njeni strukturi. Tonon (2003) je na podlagi 3D-numeričnih analiz ugotovil, da na delež pomikov, ki se zgodijo pred čelom predora in za njim, vpliva tudi relativna orientacija diskontinuitet. V primeru izkopa z vpadom diskontinuitet v čelo (v nadaljevanju izkop z vpadom - slika 3) se večina celotnega pomika zgodi pred čelom, ker je hribina bolj deformabilna pravokotno na diskontinuitete kot vzdolž diskontinuitet in se torej deformacije lahko začnejo precej daleč od čela. Nasprotno pa se pri vpadu diskontinuitet v izkopani prostor (v nadaljevanju izkop proti vpadu) večina pomikov zgodi šele za čelom v že izkopanem prostoru, kajti hribina se lahko le malo deformira v smeri nadaljnega izkopa. Dokaz za zgornjo trditev lahko najdemo na območju prebojev predorov v anizotropnih hribinah, če so ti izvedeni v vsaj približno enakomerno skrklavi ali plastoviti hribinski masi. Takšen primer smo našli na območju preboja desne (severne) cevi predora Trojane (slika 4).

Geološka zgradba je prikazana z vzdolžnim prerezom preučevanega območja in s Schmidtovim diagramom polov diskontinuitet relativno na os predora in smer napredovanja izkopa. Hribinska masa na zahodni strani sestoji iz menjajočih se sekvenc skrklavega peščenjaka in meljevca z mejnimi vrednostmi GSI med 25 in 40 ter povprečnimi med 30 in 35. Izkop z zahodne smeri se je vršil proti vpadu plasti; relativni vpad plasti glede na os predora in smer izkopa je v smeri proti levemu boku in nazaj. Na vzhodni strani se peščenjak večinoma menjuje s plastmi glinovca in v manjši meri meljevca. Vrednost GSI je nižja kot na zahodu - povprečje znaša okoli 25. Izkop z vzhodne strani se je vršil z vpadom plasti; relativni vpad plasti je proti desnemu boku in naprej. Nadkritje nad predorom se zmanjšuje od zahoda proti vzhodu.

Izmerjeni pomiki približno 120 m dolgih odsekov z zahoda in vzhoda so na sliki 4 predstavljeni z vzdolžnim prerezom vektorjev pomikov (vertikalni in vzdolžni pomiki) treh merskih točk: temenske in obeh bočnih. Opaziti je, da so na območju izkopa z zahoda pomiki kljub boljšemu materialu, ki je izkazan z višjimi vrednostmi GSI, pomembno večji kot pomiki na območju izkopa z vzhoda. Del razlike v velikosti pomikov se lahko pripiše tudi večjemu



Slika 3 • Razlaga izrazov izkopa z vpadom in izkopa proti vpadu



Slika 4 • Območje preboja desne cevi predora Trojane; prikaz vzdolžnega prereza vektorjev pomikov in pripadajoča geološka zgradba

nadkritju nad območjem izkopa z zahoda. Na sliki 4 je opaziti tudi podoben naklon vektorjev pomikov stropnih točk vzdolž obeh odsekov; pri izkopu z vzhoda so bili vektorji usmerjeni

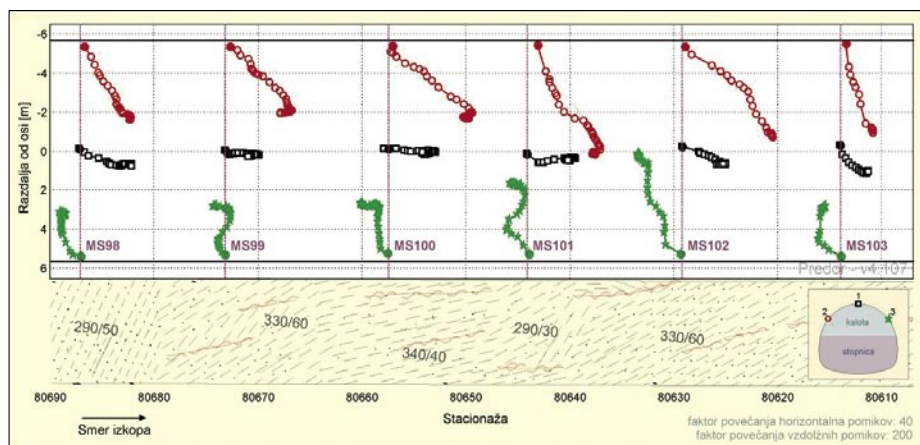
v izkopani prostor, pri izkopu z zahoda pa v smer nadaljnega izkopa. Na odseku, ki je bil izkopan z zahoda, je razvidna razlika med orientacijami vektorjev pomikov obeh bočnih

točk: vektor pomikov leve bočne točke (rdeče barve) kaže v smer nadaljnega izkopa, vektor desne točke pa v izkopani prostor.

Za boljšo predstavbo je ta odsek prikazan s tlorisom vektorjev pomikov in pripadajočo geološko zgradbo na sliki 5. Plasti vpadajo proti levemu boku in v izkopani prostor; vektorji pomikov bočnih točk so torej na te plasti pravokotni. Predvsem na merskih profilih MS 99 in MS 101 se na desnih bočnih točkah (zeleno barva) opazi vpliv lokalnih geoloških struktur in tudi padajočega nadkritja na smer vektorja pomikov. Takoj po izkopu kalote so bili vektorji namreč usmerjeni pravokotno na vpad plasti v izkopani prostor, ko pa se je vpliv napredujočega čela kalote dovolj odmaknil, se je smer vektorjev pomikov spremenila v smer padajočega nadkritja. Po dokončanem podpornem obroču se je usmeritev vektorjev spremenila še enkrat, tokrat v primarno smer, tj. normalno na vpad plasti.

Opozoriti velja še na spremembo smeri orientacije vektorjev pomikov levih bočnih točk (rdeča barva) po dokončanem podpornem obroču, ki se je spremenila iz smeri normalno na vpad plasti v smer vzporedno s plastmi, torej iz deformacij normalno na plasti (smer, v kateri je hribina bolj deformabilna) v strižne deformacije vzdolž plasti (smer, v kateri je hribina manj deformabilna). Glede na opaženo lahko sklepamo, da v hribini pri velikih spremembah napetostnega stanja prevladujejo deformacije pravokotno na ravnine anizotropije, ko pa se napetostno stanje približa novemu končnemu stanju, postanejo dominantne strižne deformacije med ploskvami.

Neposredno odvisnost deformacijskega odziva predorske konture od relativne orientacije ravnin anizotropije glede na os predora je sicer pokazalo že precej avtorjev. Steindorfer (1998) je na podlagi meritev nakazal, da orientacija diskontinuitet vpliva na orientacijo vektorja pomikov, Tonon (2003) je na podlagi numeričnih izračunov ugotovil, da izkop glede na različne usmerjenosti diskontinuitet vodi do različnega deleža pomikov pred čelom in pomikov izkopanega prostora, kar smo tudi opazili na primeru predora Trojane. Da bi opažene fenomene kvantificirali in jih nato primerjali z merjenimi vrednostmi, smo izvedli veliko število numeričnih analiz. Glede na zgoraj prikazane velike deleže pomikov pred čelom predora nas je zanimal vpliv stopnje anizotropije hribinske mase in relativne usmerjenosti diskontinuitet na delež pomikov pred čelom predora in orientacijo vektorja pomikov.

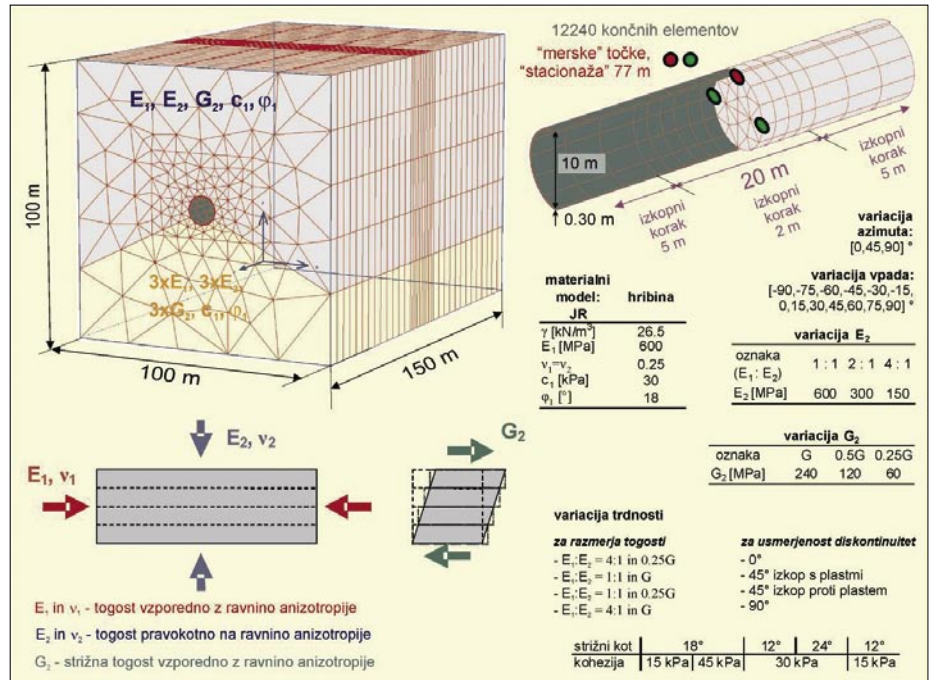


Slika 5 • Tloris vektorjev pomikov in pripadajoča geološka zgradba na območju preboja desne cevi predora Trojane; izkop z zahoda

3 • NUMERIČNI IZRAČUNI

Izračune smo opravljali s programskim paketom Plaxis 3D Tunnel in uporabo vgrajenega anizotropnega materialnega modela Jointed rock. Uporabljeni numerični model je prikazan na sliki 6. Modelirali smo krožni predor premera 10 m (približni ekvivalentni premer dvopasovnega predora). Podporje smo modelirali z volumnskimi elementi s togostjo 8 GPa, s čimer smo zajeli vpliv mladega in starega betona ter vpliv razpok na togost. Izkop predora smo opravili po celotnem prerezu naenkrat v izkopnih korakih po 5 m na začetku in koncu modela, v sredini, kjer so bile »merske« točke, pa v korakih po 2 m. Pri izračunih smo varirali azimut vpada plasti (vzporedno z osjo – azimut 0°, pod kotom 45° glede na os in pravokotno na os – azimut 90°) in vpadni kot plasti (od +90° do -90° s korakom 15°). Nadalje smo varirali razmerje med elastičnima moduloma E_1 in E_2 ter vrednost strižnega modula G_2 (pomeni posameznih modulov so definirani na sliki 6 levo spodaj, izhodiščna vrednost $G = E_1 / (2(1 + \nu_1))$ je strižni modul za izotropni material). Niz računov smo ponovili še za različne trdnostne parametre.

Da bi se zaradi enakega modula v obremenitvi in razbremenitvi (značilnost Jointed rock modela) izognili prevelikim dvizkom zaradi izkopa predora, smo v spodnjem delu modela uporabili material s trikrat večjo togostjo (območje rumene barve na modelu na sliki 6).



Slika 6 • Numerični model za izračun vpliva anizotropije na odziv predora z uporabo anizotropnega konstitutivnega modela Jointed rock

Za primerjavo smo izračun opravili tudi z dvema izotropnima konstitutivnima modeloma, vgrajenima v Plaxis: z elastičnim modelom ($E = E_1$, $\nu = \nu_1$) in modelom Hardening soil z napetostno odvisnimi togostnimi parametri

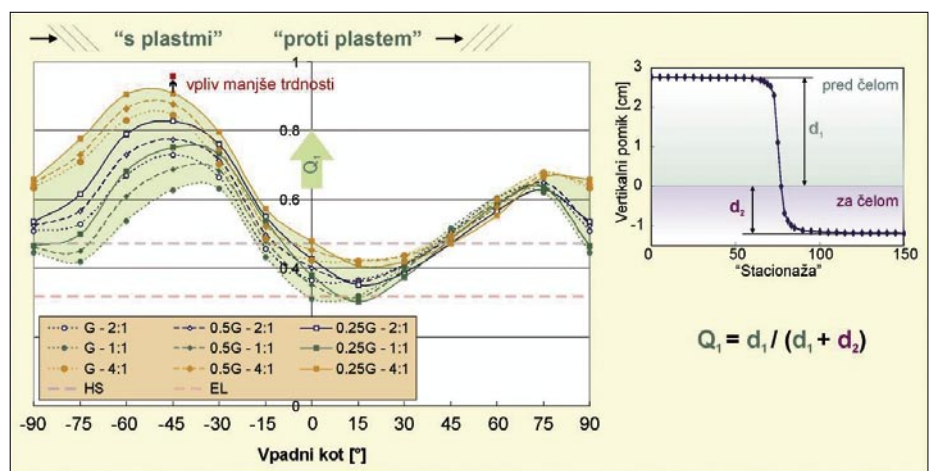
($E_{50}^{ref} = E_{oed}^{ref} = E_1$, $E_{ur}^{ref} = 3E_1$, $c = c_1$, $\phi = \phi_1$, $m = 0.5$, $K_0^{NC} = 0.691$, $\nu_{ur} = 0.2$, $p_{ref} = 1050$ kPa). Skupaj je bilo opravljenih skoraj 600 3D-numeričnih analiz.

4 • ANALIZA NUMERIČNIH IZRAČUNOV

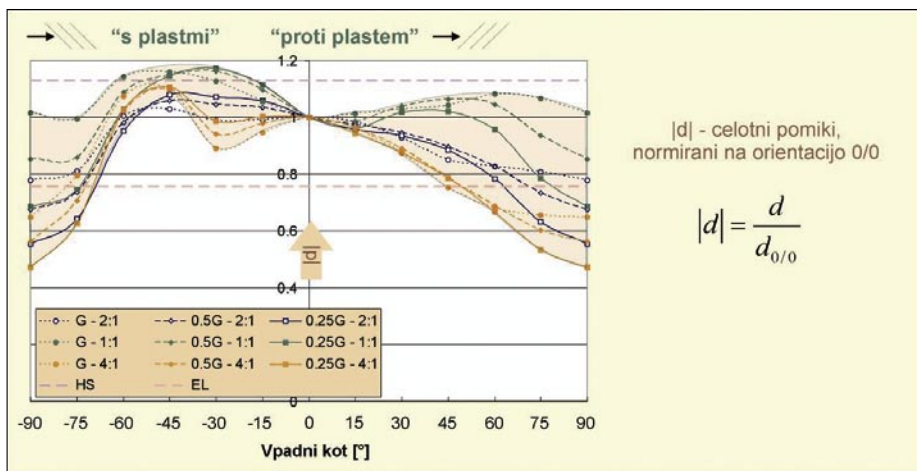
V prvem delu bo prikazan vpliv anizotropije na delež pomikov pred čelom predora glede na vertikalni pomik stropne točke na »stacionaži« 77 m (na sredini modela), v drugem pa vpliv anizotropije na orientacijo vektorja pomikov za stropno in obe bočni točki.

4.1 Vpliv orientacije anizotropije na delež pomikov

V prvem delu smo se tako osredinili na parameter pomikovne funkcije Q_1 , ki predstavlja delež pomikov zaradi gradnje predora, ki se zgodi pred čelom predora. Barlow trdi, da velikost pomikov pred čelom odraža velikost spremembe napetostnega stanja pred čelom predora. Rezultati so prikazani za usmerjenost diskontinuitet vzporedno z osjo predora oziro-



Slika 7 • Izračunani parameter Q_1 za kombinacije treh razmerij $E_1 : E_2$, treh azimutov diskontinuitet, štirih različnih vrednosti strižnega modula in dvanajstih različnih vpadov diskontinuitet



Slika 8 • Normirani celotni pomiki glede na celotni pomik pri 0°/0° za različna razmerja $E_1 : E_2$ različne vrednosti strižnega modula in azimutov diskontinuitet

ma azimut 0° pri spreminjanju vpadnega kota; s krivuljo so povezane vrednosti, ki pripadajo enemu naboru materialnih karakteristik. Rezultati za preostali obravnavani usmerjenosti diskontinuitet so podani v (Klopčič, 2009). Območje, ki ga omejujejo omenjene krivulje, je obarvano.

Parameter Q_1 izračunamo kot razmerje med pomikom opazovane točke, ki se zgodi pred čelom predora, in celotnim pomikom te točke. Kot je razvidno s slike 7, so krivulje Q_1 za usmerjenost diskontinuitet 0° (vzporedno z osjo) sinusoidne oblike z dvema maksimumoma (pri 45° do 60° vpadu plasti v smer nadaljnjega izkopa in pri 75° vpadu plasti v izkopani prostor) in dvema minimumoma (pri 0° do 15° pri vpadu plasti v izkopani prostor in pri vertikalnih ploskvah anizotropije, tj. 90°). Pri izkopu s plastmi je opazen velik vpliv stopnje anizotropije hribinske mase, pri čemer je območje omejeno navzgor s krivuljo, dob-

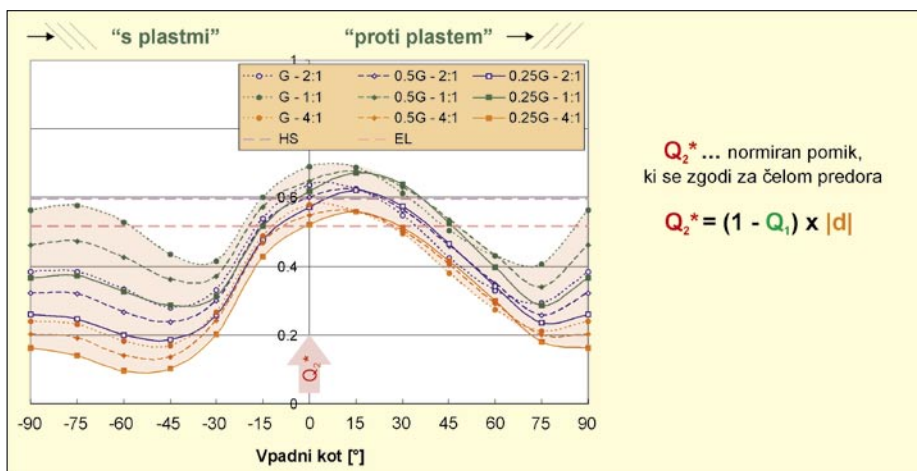
ljeno z najslabšimi parametri ($E_1 : E_2 = 4 : 1$ in $0,25 G$), in navzdol omejeno s krivuljo, dobljeno z najboljšimi uporabljenimi parametri ($E_1 : E_2 = 1 : 1$ in G). Pričakovano večja stopnja anizotropije povzroči večji pomik pred čelom. Vrednosti so tako na intervalu med 0,36 pri subhorizontalnem vpadu plasti v izkopani prostor (to je tudi vrednost Q_1 , ki jo dobimo pri izračunu z elastičnim materialnim modelom) ter 0,91 pri vpadnem kotu 45° v smer nadaljnjega napredovanja. Razlike v togosti hribinske mase na drugi strani pri izkopu proti plastem skorajda ne vplivajo na vrednost Q_1 . Spreminjanje trdnostnih parametrov nima značnega vpliva na velikost parametra Q_1 . Največja vrednost parametra Q_1 je pri vpadnem kotu 45° pri izkopu s plastmi za največjo stopnjo anizotropije in najslabše trdnostne parametre in znaša 0,95 (slika 7), kar pomeni, da bi se v slabih hribinskih pogojih kar 95 odstotkov pomika izvršilo pred čelom predora!

Nadalje smo pri analizah računskih podatkov opazili, da se pri variacijah togosti hribine in vpada plasti spreminja tudi absolutna velikost pomikov. Da bi lahko pomike primerjali med sabo, smo dobljene vrednosti normalizirali na krivuljo, dobljeno pri orientaciji diskontinuitet 0°/0°. Ta je namreč skupna vsem usmerjenostim diskontinuitet. Tako normirane krivulje celotnih pomikov (označimo jih z $|d|$) so prikazane na sliki 8.

Velikost normiranih pomikov za različne kombinacije togosti in vpadne kote znaša med 50 in 120 odstotki pomika pri orientaciji 0°/0°. Raztros velikosti pomikov se z naraščanjem vpadnega kota od 0° proti 90° pri izkopu proti plastem povečuje, pomiki se generalno zmanjšujejo. Pri izkopu s plastmi so pomiki primerjalno največji, ne glede na stopnjo anizotropije so za vpadni kot 45° vsi večji od pomika pri orientaciji diskontinuitet 0°/0°, pri vpadnih kotih 15°, 30° in 60° so od tega pomika manjši le pri razmerju elastičnih modulov $E_1 : E_2 = 4 : 1$.

Glede na dobljene rezultate (največji pomiki pri izkopu s plastmi s hkratnim največjim deležem pomikov pred čelom) smo zato, da bi dobili boljšo predstavo o vplivu izkopa proti plastem ali s plastmi, smo definirali nov parameter $Q_2^* = (1 - Q_1) \cdot |d|$. Q_2^* predstavlja normirani pomik, ki se zgodi za čelom predora v izkopanem prostoru. Pri visoki stopnji anizotropije ($E_1 : E_2 = 4 : 1$ in $G_2 = 0,25 G$) in vpadnem kotu diskontinuitet 45° v smer nadaljnjega izkopa se za čelom izvrši le okoli 10 odstotkov celotnega pomika, preostalo se izvrši pred čelom. Pri izkopu v istem materialu, a z nasprotnim vpadom plasti (45° v izkopani prostor) se za čelom izvrši 42 odstotkov celotnega pomika. Območja (obarvana v rdeči barvi) so za majhne vpadne kote pri izkopu s plastmi in vse kote pri izkopu proti plastem približno enake debeline, razširijo se le pri bolj strmih vpadnih kotih v primeru izkopa s plastmi. Iz spodnjih grafov vidimo, da na to najbolj vpliva razmerje elastičnih modulov $E_1 : E_2$, manj pa vrednost strižnega modula G_2 . Izračun v izotropnih pogojih z modelom Hardening soil da vrednost $Q_2^* = 0,6$, kar je v območju višjih vrednosti normiranega pomika izkopanega prostora.

Videti je, da se velikost pomikov izkopanega območja pri izkopu v istem materialu in enakem vpadnem kotu, le iz različne smeri (izkop s plastmi ali proti plastem), lahko drastično razlikuje. Če za vsak vpadni kot izračunamo razmerje med deležem normiranih pomikov izkopanega predora pri izkopu proti plastem in deležem normiranih pomikov



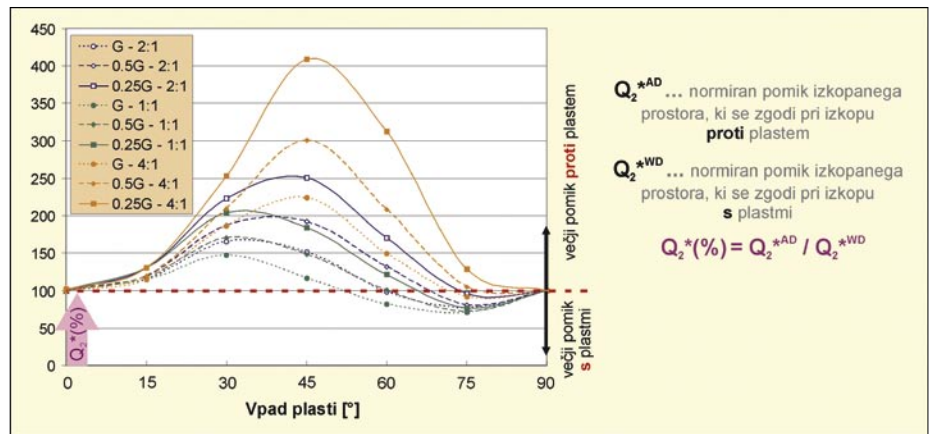
Slika 9 • Normirane vrednosti pomika (Q_2^*), ki se zgodi za čelom predora

pri izkopu s plastmi (označimo s Q_2^* (%)), dobimo krivulje na sliki 10.

V primeru največje obravnavane stopnje anizotropije ($E_1 : E_2 = 4 : 1$ in $G_2 = 0,25 G$) znaša razmerje Q_2^* (%) pri vpadnem kotu 45° več kot 400 odstotkov, kar pomeni, da bi bil izmerjeni pomik izkopenega prostora v primeru izkopa proti plastem več kot štirikrat večji kot pomik izkopenega prostora pri izkopu v nasprotni smeri v istem materialu! Spodnjo mejo predstavlja krivulja, izračunana z najmanjšo stopnjo anizotropije ($E_1 : E_2 = 1 : 1$ in izotropno vrednostjo G_2), pri čemer je maksimum pri vpadnem kotu 30° in znaša 150 odstotkov. Izrazit vpliv na velikost Q_2^* (%) ima strižni modul – pri razmerju modulov elastičnosti $E_1 : E_2 = 4 : 1$ je pri izotropni vrednosti strižnega modula G_2 velikost Q_2^* (%) le še 170 odstotkov v primerjavi s 410 odstotki pri četrtinki vrednosti izotropnega strižnega modula. Nižja razmerja elastičnih modulov $E_1 : E_2$ pomaknejo maksimume krivulj v smeri manjših vpadnih kotov; zmanjša se tudi razmerje. Pri strmih vpadnih kotih so lahko pomiki pri izkopu proti plastem v primeru manjših stopenj anizotropije celo manjši kot pri izkopu s plastmi.

4.1.1 Primerjava merjenih in računskih odzivov

Z dobljenimi rezultati zdaj lahko razložimo fenomene, opažene v predoru Trojane (veliki pomiki površine pri razmeroma majhnih izmerjenih pomikih temenske točke v predoru). Pri izkopu leve cevi predora Trojane z vzhodne strani je izkop potekal s prevladujočim vpadom plasti v smer nadaljnjega izkopa z majhnim vpadnim kotom približno 20° (slika 11). Za takšno orientacijo diskontinuitet lahko s slike 7 odčitamo delež pomikov pred čelom predora v velikosti 65 odstotkov za največjo obravnavano stopnjo anizotropije, kar je nekaj manj, kot kažejo analize rezultatov horizontalnega inklinometra in vertikalnega ekstenzometra. Pri tem je treba poudariti velik raztros orientacije diskontinuitet. Velik delež izmerjenih orientacij ima večji vpadni kot kot prevladujoča orientacija. Večji vpadni kot pri izkopu s plastmi pomeni večji delež pomikov pred čelom predora (slika 7). Za vpadni kot 30° tako znaša delež predpomika 80 odstotkov celotnega pomika, kar je znotraj opaženega velikostnega reda deleža predpomikov na obravnavanem delu predora Trojane. Prava vrednost dobljenih rezultatov se pokaže na krajšem opazovanem odseku ali celo pri analizi pomikov posameznih merskih profilov z v uvodu omenjeno semianalitično pomikovno

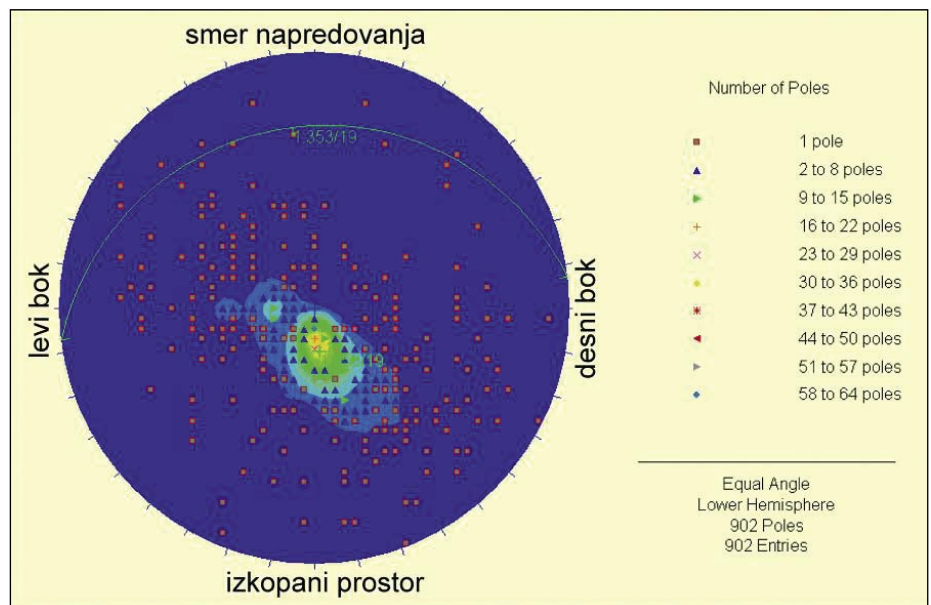


Slika 10 • Razmerje pomikov pri izkopu predora proti vpadu plasti in z vpadom plasti, ki se zgodijo za čelom predora (Q_2^* (%))

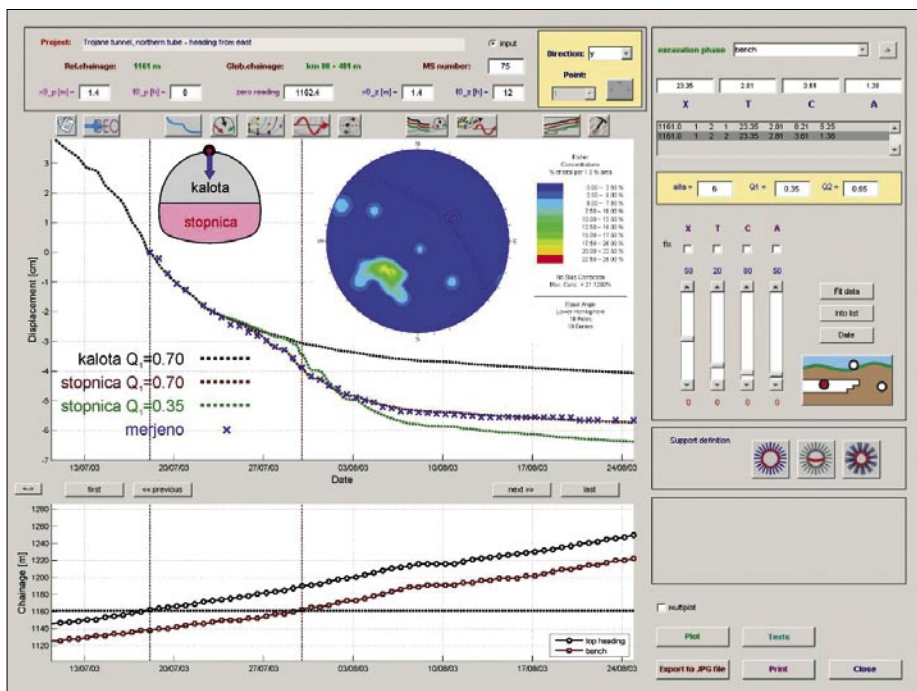
funkcijo. Pomikovna funkcija je sestavljena iz treh delov: prvi del predstavlja pomike pred čelom; drugi del predstavlja pomike med izkopom izkopenega koraka z merskim profilom in prvo meritvijo točk; tretji pa izmerjene pomike za izkopenim čelom. Le zadnji del pomikovne funkcije lahko merimo in zanj je mogoče natančno določiti proste parametre s prilaganjem funkcije merjenim pomikom, medtem ko sta prva dva dela določena na podlagi numeričnih simulacij in sta močno odvisna od Q_1 (predstavlja tisti delež celotnega pomika zaradi gradnje predora, ki se zgodi pred čelom predora) in x_f (predstavlja velikost vplivnega območja pred čelom predora). Barlow trdi, da velikost pomikov pred čelom odraža velikost spremembe napetostnega stanja pred čelom predora.

Za posamezne merske profile iz območja preboja desne (severne) cevi predora Trojane smo prilagajali pomikovno funkcijo za posamezne izkopske faze merjenim vertikalnim pomikom stropne točke (modri križci) z uporabo izračunanih vrednosti parametra Q_1 glede na prevladujočo orientacijo diskontinuitet – v literaturi so avtorji uporabljali vrednost $Q_1 = 0,35$. Glede na rezultate primerjave deleža pomikov pred čelom za merjene in računске vrednosti na območju predora Trojane smo privzeli vrednost Q_1 za kombinacijo $E_1 : E_2 = 4 : 1$ in $0,25 G$.

V območju merskega profila MS75 (izkop z vzhoda) prevladuje orientacija diskontinuitet $42^\circ/48^\circ$ (relativno na os predora) oziroma diskontinuitete vpadajo v smer nadaljnjega izkopa, kar na podlagi oprav-



Slika 11 • Orientacija diskontinuitet v levi cevi predora Trojane pri izkopu z vzhodnega portala; orientacija diskontinuitet je podana relativno glede na os predora



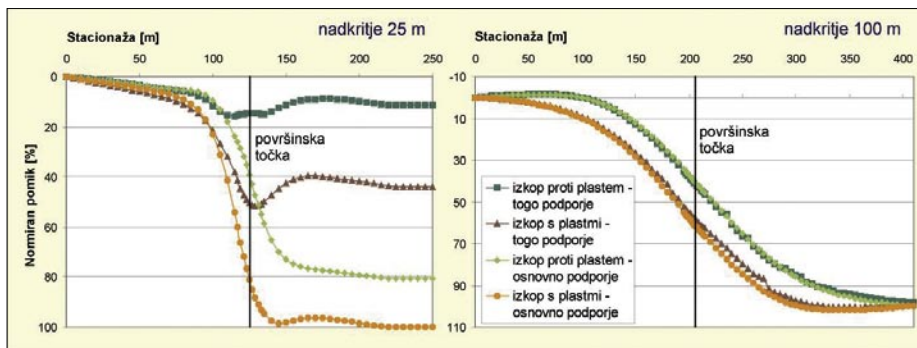
Slika 12 • Računsko prilagojeni in merjeni vertikalni pomiki stropne točke v merskem profilu MS75 na stacionaži km 80 + 481 v severni cevi predora Trojane (izkop z vzhoda)

Ijenih numeričnih analiz vodi k vrednosti parametra $Q_1 = 0,70$. Na sliki 12 je s črno črtkano črto izrisana pomikovna funkcija za izkop kalote, z rdečo črtkano črto pomikovna funkcija za izkop stopnice, z zeleno črtkano črto pa pomikovna funkcija stopnice za vrednost parametra $Q_1 = 0,35$, ki je nismo mogli na noben način bolje prilagoditi merjenim pomikom.

Opravljeni izračuni parametra Q_1 torej omogočajo boljše prilagajanje pomikovne funkcije merjenim pomikom ter tako pridobitev boljših karakterističnih vrednosti prostih parametrov pomikovne funkcije za različne tipe hribine in s tem boljše napovedi pomikov za prečne profile, ki še bodo izkopani.

Na podlagi prikazanega se nam ponujata naslednji dve hipotezi:

– Predpostavimo, da se predvideva gradnja predora z nizkim nadkritjem pod naseljenim območjem v mehki, skrilavi kamnini in z azimutom diskontinuitet, ki je vzporeden poteku osi predora, ter vpadom diskontinuitet s kotom 45° . V omenjenem primeru bi bilo z vidika čim manjšega vpliva gradnje na površino bolj ugodno izkop vršiti z vpadom plasti v izkopani prostor, saj se pri takšni smeri izkopa glede na diskontinuitete večina deformacij zgodi za čelom predora in jih lahko nadzorujemo s togim podporjem. Če bi potekal izkop iz druge smeri, bi se večina deformacij zgodila pred čelom predora, kjer jih ne moremo učinkovito nadzorovati, in bi gradnja predora tako neizogibno močno vplivala na objekte v vplivnem območju nad predorom.



Slika 13 • Vpliv togosti podporja in višine nadkritja na pomik točke na površini v primeru anizotropne hribinske mase (usmerjenost diskontinuitet 0° , vpadni kot 45° , $E_1 : E_2 = 4 : 1$ in $0,25 G$)

– Če bi gradnja predora v zgoraj opisanih hribinskih razmerah potekala pod visokim nadkritjem in/ali neposeljenim območjem, bi bilo z vidika racionalnosti gradnje bolj ugodno graditi predor z vpadom plasti v čelo predora, saj se v tem primeru večina deformacij izvrši pred čelom predora. Potrebna velikost nadprofila bi bila tako manjša, manjša bi bila tudi obremenitev primarnega podporja, kar bi se odrazilo v ekonomičnosti gradnje.

Da bi ti dve hipotezi preverili, smo opravili serijo numeričnih izračunov, pri katerih smo za usmerjenost diskontinuitet 0° ter vpadni kot 45° pri izkopu s plastmi in proti plastem varirali višino nadkritja (25 m, 50 m in 100 m) ter togost podporja (osnovna togost volumskih elementov, s katerimi smo modelirali podporje predora, je znašala 8 GPa, povečana togost pa je bila desetkratna – 80 GPa). Opazovali smo točko na zgornji površini in sredini modela (da smo zajeli vse vplive, so bili modeli pri različnih nadkritjih različnih dolžin).

Rezultati na sliki 13 so prikazani za najvišjo obravnavano stopnjo anizotropije ($E_1 : E_2 = 4 : 1$ in $0,25 G$). Pri nizkem, 25 m nadkritju nad predorom se pri osnovni togosti podporja pomika površine pri izkopu s plastmi (oranžna krivulja) oziroma proti plastem (svetlo zelena krivulja) ne razlikujeta drastično, razlika znaša 20 odstotkov. Pri povečani (desetkratni) togosti podporja pa je razlika med pomikoma drastična: pomik površine v primeru izkopa s plastmi je 2,5-krat večji kot pomik površine pri izkopu proti plastem v istem materialu!

Povsem drugačna je zgodba pri visokem, 100 m nadkritju. Končni pomik površine je enak za obe obravnavani togosti podporja in neodvisen od smeri izkopa glede na vpad diskontinuitet. Razlikuje se le potek krivulj, ki je neodvisen od togosti podporja (napetosti na nivoju predora se že precejšnje in podporje v takem primeru ne služi omejitvi pomikov). Pri izkopu s plastmi se večina deformacij zgodi pred čelom predora, zato se to tudi hitreje odrazi na površini, medtem ko se pri izkopu proti plastem večina deformacij izvrši po izkopu predora, se pa te deformacije prav tako v celoti prenesejo na površino.

4.2 Vpliv orientacije anizotropije na pričakovano oziroma normalno orientacijo vektorja pomikov

V drugem delu raziskave smo ugotavljali pričakovano oziroma normalno orientacijo vektorja pomikov zaradi različnih usmerjenosti diskontinuitet glede na os predora. Obravna-

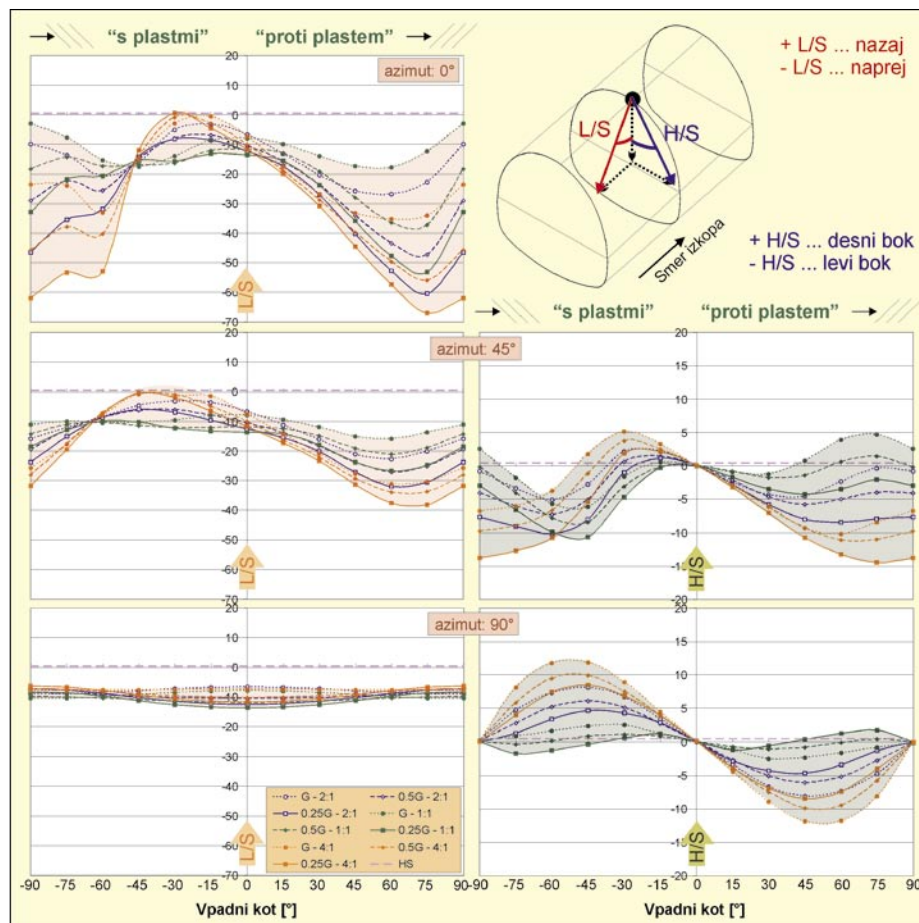
vali smo tri točke, kot je to prikazano na sliki 6: temensko točko ter levo in desno bočno točko, ki sta bili na osi modeliranega krožnega predora. Za določitev normalne orientacije vektorja pomikov in lažji prikaz rezultatov smo vektor pomikov opisali z dvema kotoma:

- L/S je kot med longitudinalno in vertikalno komponento vektorja pomikov posamezne točke (pozitiven kot je v smeri izkopanega prostora oziroma »nazaj«),
- H/S je kot med horizontalno in vertikalno komponento vektorja pomikov posamezne točke (pozitiven kot je v smeri desnega boka kot je prikazano tudi na sliki 14).

Na levi strani slike 14 je prikazan kot L/S vektorja pomikov stropne točke za vse tri usmerjenosti 0°, na desni strani pa kot H/S vektorja pomikov za usmerjenosti 45° in 90° (za 0° je kot H/S enak 0° za vse vpadne kote in variacije togosti). Krivulje povezujejo kote pri enaki kombinaciji togosti za različne vpadne kote, in sicer za pomike izkopanega prostora (pomiki pred čelom niso upoštevani). Pri usmerjenosti 0° lahko kot L/S vektorja pomikov pri največji stopnji anizotropije znaša skoraj 70° v smer nadaljnega izkopa za strme vpadne kote pri izkopu s plastmi in proti plastem, kar se da razložiti z večjo deformabilnostjo hribine pravokotno na smer diskontinuitet; tudi raztros rezultatov glede na stopnjo anizotropije je v primeru strmih vpadnih kotov velik. Za referenco služi izračun z izotropnim modelom Hardening soil, pri katerem kot L/S znaša 13° in je orientiran v izkopani prostor.

Presenetljivo je, da je pri izkopu s plastmi (razen pri blagih naklonskih kotih ter razmerju $E_1 : E_2 = 4 : 1$) vektor pomikov izkopanega prostora orientiran v smer nadaljnega izkopa, glede na to, da je pričakovana orientacija vektorja pomikov vsaj približno pravokotno na smer vpada diskontinuitet. Če izrišemo potek vzdolžnih pomikov stropne točke v odvisnosti od stacionaže za primer izkopa s plastmi in proti plastem za usmerjenost 0° in vpadni kot 45° (slika 15), je smer končnega celotnega vzdolžnega pomika točke (pomik pred čelom + pomik izkopanega prostora) pričakovana: naprej za izkop proti plastem in nazaj za izkop s plastmi oziroma pravokotno na smer diskontinuitet. Če pa gledamo samo vektorja pomika izkopanega prostora, oba kažeta naprej.

V oči zbode enak odziv hribinske mase v enem in drugem primeru. Najprej je vektor pomikov orientiran nazaj, tik pred izkopom merskega profila pa se orientacija v obeh primerih spremeni in vektor pomikov kaže naprej, v smer nadaljnega izkopa. Obnašanje



Slika 14 • Vpliv anizotropije hribinske mase na normalno orientacijo vektorja pomikov stropne točke; izris kotov L/S in H/S za različne usmerjenosti in vpadne kote diskontinuitet ter kombinacije togosti

lahko razložimo z ugotovitvami, pridobljenimi pri analizi merskih podatkov v predoru Trojan (slika 5), in dejstvom, da je anizotropna hribinska masa bolj deformabilna v smeri pravokotno na ravnine anizotropije.

Pri izkopu s plastmi se večji del pomikov izvrši pred čelom predora, in sicer pravokotno na smer diskontinuitet, kar pomeni, da je vektor pomikov orientiran v izkopani prostor. Po izkopu in podgradnji s podporjem se izvrši le še preostanek deformacij. Tedaj prevladujejo strižne deformacije vzdolž ploskev anizotropije (zmanjšanje normalnih napetosti povzroči padec trenja med ploskvami), zato je vektor pomikov izkopanega prostora usmerjen naprej.

Podobno lahko razložimo obnašanje pri izkopu proti plastem. V tem primeru se večina deformacij zgodi v izkopanem prostoru. Pri približevanju opazovanemu profilu je obremenitev hribinske mase pred čelom relativno majhna in hribina se lahko deformira le preko strižnih deformacij vzdolž ploskev anizotropije, zato je vektor pomikov orientiran nazaj. Ko pa se čelo čisto

približa opazovanemu profilu, se obremenitev na tem območju močno poveča in hribina se začne deformirati pravokotno na ploskve anizotropije, zato vektor pomikov kaže naprej.

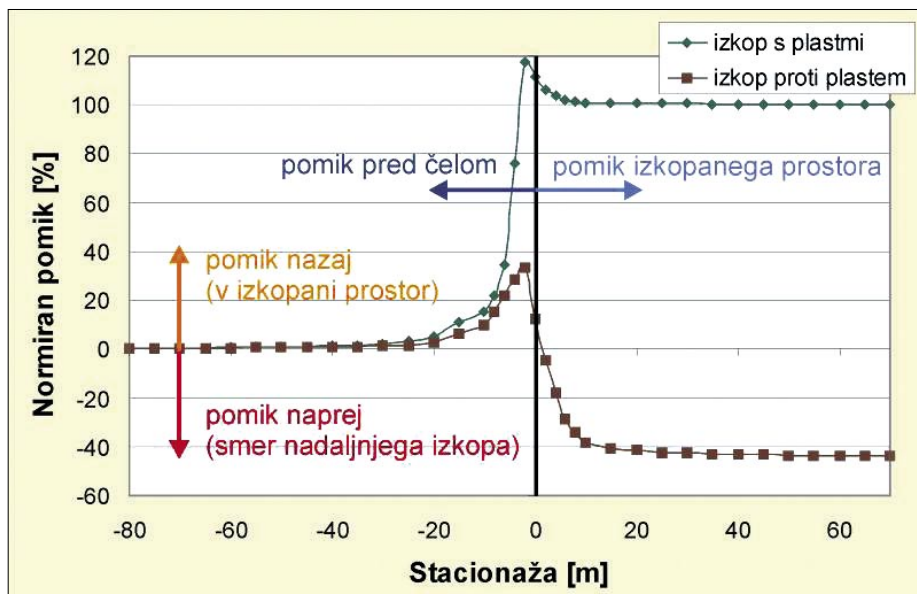
S tem vedenjem lahko sedaj interpretiramo še smer prečnih pomikov stropne točke in pripadajočega kota H/S na sliki 14. Smer pomikov se glede na usmerjenost diskontinuitet spreminja. Pri izkopu s plastmi so razen za strme vpadne kote pri razmerju elastičnih modulov $E_1 : E_2 = 1 : 1$, kjer pride do strižnih deformacij med ploskvami anizotropije, deformacije pravokotne na vpad plasti in vektor pomikov kaže proti levemu boku. Pri izkopu s plastmi z blagimi vpadnimi koti prevladujejo deformacije normalno na vpad diskontinuitet; vektor pomikov je orientiran proti desnemu boku. Pri izkopu s plastmi s strmimi vpadnimi koti se lahko hribina deformira samo strižno vzdolž diskontinuitet, zato vektor pomikov kaže proti levemu boku. Smer deformacij pri vpadnem kotu 30° in izkopu s plastmi je izrazito odvisna od stopnje anizotropije, predvsem razmerja elastičnih modulov E_1 in E_2 . Pri razmerju

$E_1 : E_2 = 1 : 1$ je vektor pomikov stropne točke usmerjen proti levemu boku, pri razmerju $E_1 : E_2 = 4 : 1$ pa proti desnemu boku.

4.2.1 Primerjava merjenih in računskih odzivov

Izračunane orientacije vektorja pomikov za stropno točko in obe bočni točki glede na relativno usmerjenost diskontinuitet na os predora smo nato primerjali z merjenimi vrednostmi. Predor Trojane se je zaradi mestoma kaotične strukture in posledično precej neenakomernim oziroma neenotnim vpadom diskontinuitet izkazal za le omejeno uporabnega za tako primerjavo. Kar se vпада diskontinuitet tiče, je bila precej bolj enotna struktura zaznana na delu predora Jasovnik, kjer je izkop potekal v psevdoziljskih skladnih meljevcev in glinovcev. Pri primerjavi merjenih in računskih odzivov smo predvsem za obe bočni točki naleteli na težavo. Stropna točka v predoru je bila nekje v temenu, premaknjena morebiti za kak meter po konturi predora od vertikalne osi prereza. Normala na konturo za realno stropno točko lahko tako za nekaj stopinj odstopa od vertikale, kar je normala na konturo v primeru računске točke (slika 16). Merski bočni točki 2 in 3 sta pomaknjeni po konturi navzgor proti stropu predora in je zato normala na konturo v območju realnega položaja bočnih točk za 15° do 30° zamaknjena glede na horizontalo, kar je normala na konturo v primeru računskih bočnih točk. Rezultati za računsko stropno točko naj bi bili tako primerljivi rezultatom merske točke, medtem ko naj bi računski bočni točki izkazovali nekaj večja kota L/S in H/S za usmerjenost 45° in večji kot H/S pri približno enakem kotu L/S za usmerjenost 0° kot merski bočni točki.

V naslednjem koraku smo nato želeli na podlagi realnega položaja točke določiti normalno orientacijo vektorja pomikov z interpolacijo polja pomikov vseh treh izračunanih točk. Tako bi lahko za znan položaj točke podali pričakovano orientacijo vektorja pomikov, določeno s kotoma L/S in H/S. Glede na to, da je v primeru hidrostatskega napetostnega stanja pomik točke pravokoten na konturo predora, je bila normalizacija smeri vektorja glede na pravokotnico na konturo smiselna predpostavka. Da bi preverili to predpostavko, smo za izbrane smeri in kombinacijo togosti $E_1 : E_2 = 2 : 1$ in 0,5 G ponovno opravili izračune za večje število računskih točk po obodu, katerih pravokotnica na krožno konturo se je spreminjala s korakom 15° od horizontale desnega boka do horizontale levega boka. Rezultati za kot L/S so prikazani na sliki 17.



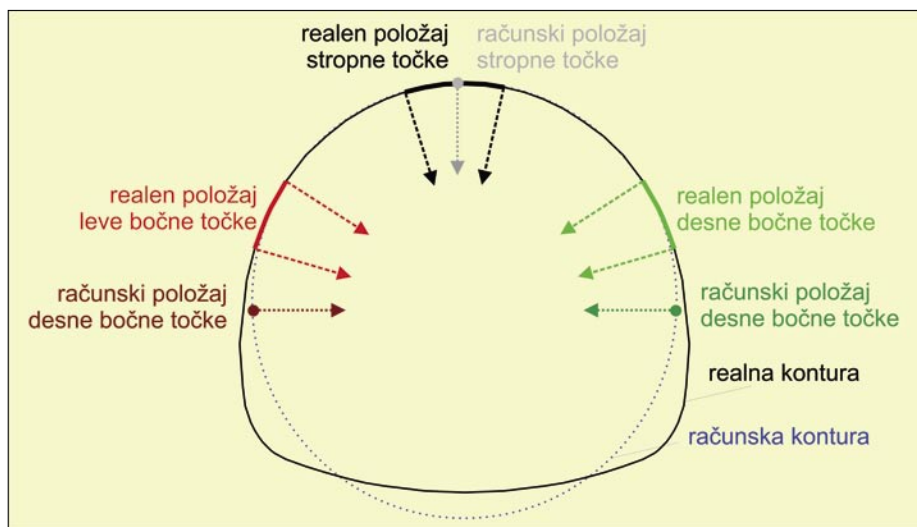
Slika 15 • Vzdolžni pomiki pri izkopu s plastmi in proti plastem z vpadnim kotom 45° in usmerjenostjo diskontinuitet 0° ter kombinacijo togosti $E_1 : E_2 = 2 : 1$ in 0,5 G

Referenčni vrednosti kota L/S sta bili izračunani z izotropnimi konstitutivnimi modeli Hardening soil (HS) in Mohr-Coulomb (MC). V primeru izračuna z Mohr-Coulombom je rezultat premica, kar pomeni, da se kot L/S linearno spreminja za različne naklone pravokotnic na konturo. Podoben rezultat dobimo tudi s konstitutivnim modelom Hardening soil, le da na bokih odnos ni več linearen. Na drugi strani se velikost kota L/S glede na normalo na konturo spreminja nelinearno s precej velikim raztrosom rezultatov in s tem onemogoča določitev pričakovane smeri vektorja pomikov za poljubno točko.

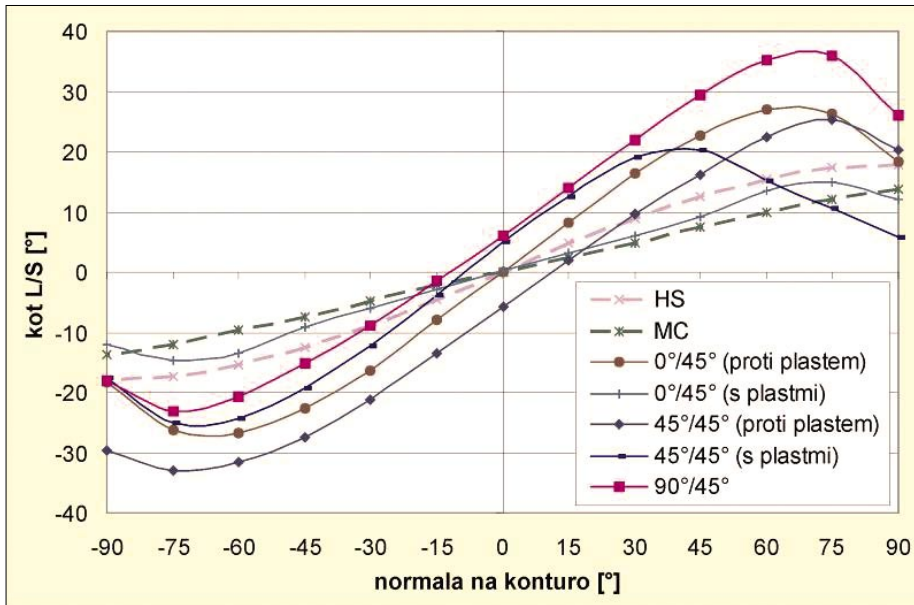
Na srečo se normala stropne točke za realne položaje zaradi majhne ukrivljenosti

konture na stropu predora ne spreminja več kot za nekaj stopinj, tako da vsaj za stropno točko lahko računski rezultat vzamemo kot primeren. Za preostale točke ne moremo podati splošnega obrazca za smer vektorja pomikov. Vseeno pa lahko za realen položaj bočnih točk kalote (nekje med 15° in 30° od horizontale oziroma 60° in 75° na grafu zgoraj) opazimo, da imajo krivulje na tem območju lokalne minimume oziroma maksimume s približno enakimi vrednostmi kota L/S na robovih intervala. Numerične izračune bi torej morali ponoviti za računске točke na teh položajih.

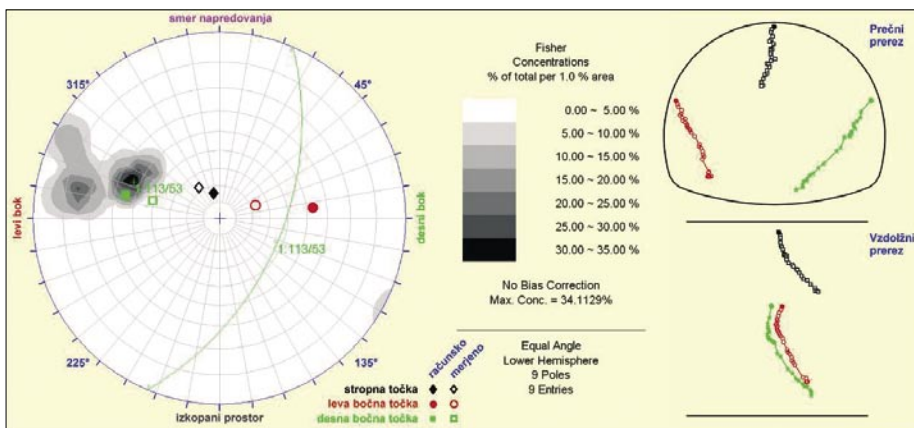
Upošteva je zgornje ugotovitve, lahko sedaj interpretiramo primerjavo merskih in računskih



Slika 16 • Položaj merskih in računskih točk



Slika 17 • Računska velikost kota L/S glede na smer pravokotnice na konturo predora



Slika 18 • Primerjava računskih (kombinacija togosti $E_1 : E_2 = 1 : 1$ in $0,25 G$) in izmerjenih orientacij vektorja pomikov v stereografski projekciji ter vektorji pomikov v prečnem in vzdolžnem prerezu; merski profil MS31 na stacionaži km 76 + 599 v desni (severni) cevi predora Jasovnik

5 • SKLEP

Pri analizi predorov v mehkih, anizotropnih hribinskih masah smo opazili nekatere karakteristične deformacijske vzorce, ki se jih je dalo razložiti z relativno usmerjenostjo diskontinuitet (ploskev anizotropije) hribinske mase glede na os predora: veliki pomiki pred čelom predora, razlika v smeri deformacij pri različnih nivojih obremenitev in različna velikost pomikov izkopanega prostora v istem materialu, le pri različni smeri izkopa. Skupni imenovalec vsem zgornjim pojavom je večja deformabilnost hribinske mase

v smeri pravokotno na ploskve anizotropije in manjša deformabilnost v smeri ploskev anizotropije. Pri velikih spremembah napetostnega stanja prevladujejo deformacije normalno na ploskve anizotropije, pri majhnih spremembah napetostnih stanj pa se normalne deformacije toliko zmanjšajo, da pridejo do izraza strižne deformacije med ploskvami anizotropije. Do aktivacije strižne deformabilnosti vzdolž ploskev anizotropije pride, ko se obremenitev pravokotno na ploskve anizotropije zmanjša.

orientacij vektorja pomikov za merski profil MS31 iz desne cevi predora Jasovnik – vektorji pomikov so prikazani s stereografsko projekcijo s podloženim izrisom prevladujoče orientacije diskontinuitet na sliki 18. Na desni strani slike so izrisani še vektorji pomikov v prečnem in vzdolžnem prerezu.

Na območju prikazanega merskega profila prevladujejo diskontinuitete z usmerjenostjo 113° (proti desnemu boku in nazaj) in vpadnim kotom 53° – izkop se je torej vršil proti plastem. Na podlagi primerjav izmerjenih in izračunanih smeri vektorjev pomikov treh točk vzdolž daljšega odseka v obeh ceveh smo kot najboljšo kombinacijo togosti za predor Jasovnik določili $E_1 : E_2 = 1 : 1$ in $0,25 G$. Kota L/S in H/S za prevladujočo orientacijo diskontinuitet smo dobili z linearno interpolacijo med ustreznimi vrednostmi s slike 14. Upoštevati moramo tudi, da geološka struktura ni čisto enotna; nekaj podatkov imamo tudi o blažjih vpadnih kotih pri skorajda isti usmeritvi – v tem primeru je kot H/S manjši (slika 14).

Za stropno točko je rezultat pričakovan, odstopanje med izračunanim in izmerjenim vektorjem pomikov je minimalno glede kota L/S in nekaj večje glede kota H/S. Dejstvo je, da je prikazan vpad plasti manj problematičen glede orientacije vektorja pomikov v vzdolžni smeri, saj je blizu usmerjenosti 90° , pri kateri kot L/S s spreminjanjem vpadnega kota le malo variira, zato pa toliko bolj variira kot H/S (slika 14). Prav opažena večja variacija kota H/S glede na vpadni kot in zgoraj opisana razlika med položaji merskih bočnih točk v predoru in računskih bočnih točk vodi k večjim razlikam med merjenimi in računskimi koti H/S za obe bočni točki. Kot L/S je le minimalno odvisen od vpadnega kota, zato je njegova računaska velikost za obe bočni točki primerljiva z merskimi vrednostmi.

Za kvantifikacijo opaženih pojavov smo na podlagi množice 3D-numeričnih analiz z variacijami togosti in orientacije diskontinuitet določili velikost pomika pred čelom in pričakovano usmerjenost vektorja pomikov stropne točke. Ugotovili smo, da je lahko pomik izkopanega prostora pri izkopu predora z vpadom plasti v izkopani prostor za hribino z močno izraženo anizotropijo nekajkrat večji od pomika pri izkopu z vpadom plasti v smer nadaljnega izkopa. In to v istem materialu, le smer izkopa je nasprotna! Pri izkopu s plastmi se večina deformacij namreč zgodi pred čelom predora, pri izkopu proti plastem pa v izkopanem prostoru.

Zgornja opažanja in dodatne numerične analize glede togosti podporja in višine nadkritja lahko strnemo v naslednji dve ugotovitvi:

1. Če je predviden predor z nizkim nadkritjem pod naseljenim območjem, bi bilo bolj ugodno izkop predora vršiti z vpadom plasti v izkopani prostor. Tako bi se večina deformacij izvršila v izkopanem predoru, na njihovo velikost bi lahko vplivali s togim podporjem. Vpliv na površino bi bil mnogo

manjši, kot če bi izkop vršili v nasprotni smeri.

2. V kateremkoli drugem slučaju (predor z nizkim nadkritjem pod nenaseljenim območjem in stabilnimi brežinami nad predorom ali pri izkopu predora pod visokim nadkritjem) bi bilo bolj ugodno izkop vršiti z vpadom plasti v smer nadaljnega izkopa. Večina deformacij bi se tako izvršila pred čelom predora, volumen nadprofila bi bil

ustrezno manjši, podporje pa bi bilo manj obremenjeno. Pod visokim nadkritjem bi bili pomiki površine enaki, ne glede na smer izkopa ali togost podporja.

Pridobljena in v prispevku prikazana znanja vodijo v bolj ekonomično gradnjo predorov v zahtevnih razmerah anizotropnih mehkih hribin, predvsem pa v zmanjšanje vplivov izkopa predora na površinsko infrastrukturo.

6 • LITERATURA

- Barlow, J. P., *Interpretation of tunnel convergence measurements*, Magistrska naloga, Department of Civil Engineering, The University of Alberta: Edmonton, Alberta, 1986.
- Guenot, A., Panet, M., Sulem, J., A New Aspect in Tunnel Closure Interpretation, In *Proc. 26th US Symposium on Rock Mechanics*, Rapid City, USA, 1985; pp. 445–460, 1985.
- Klopčič, J., Analyses and prediction of displacements for tunnels in foliated rock mass of Perm-Carboniferous age, Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 235 p., 2009.
- Peck, R. B., State of the Art Volume: Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground, In *Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Mexico City, Mexico, pp. 225–290, 1969.
- Rabcewicz, L., *The New Austrian Tunneling Method*. Water Power, part 1, 1964, pp. 511–515; Water Power, Part 2, 1965, pp. 19–24, 1964.
- Schubert, W., Erfahrungen bei der Durchörterung einer Großstörung beim Inntaltunnel. *Felsbau*, 1993, 6, 443–447, 1993.
- Schubert, W., Budil, A., The Importance of Longitudinal Deformation in Tunnel Excavation, In *Proceedings of 8th International Congress on Rock Mechanics*, Fujii, T. (ed.), Tokyo, Japan, 1411–1414. Rotterdam: A. A. Balkema, 1995.
- Sellner, P. J., *Prediction of displacements in tunneling*, Doktorska disertacija, Technische Universität Graz, Graz, Austria, 2000.
- Solak, T., Ground behaviour evaluation for tunnels in blocky rock masses, *Tunn. undergr. space technol.*, 24, 323–330, 2009.
- Steindorfer, A., Short Term Prediction of Rock Mass Behaviour in Tunneling by Advanced Analysis of Displacement Monitoring Data, Doktorska disertacija, Technische Universität Graz, Graz, Austria, 1998.
- Tonon, F., Amadei, B., Stresses in anisotropic rock masses: an engineering perspective building on geological knowledge, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 40, 1099–1120, 2003.
- Wittke, W., *Rock mechanics*, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1990.

PREFABRICIRANI FASADNI SISTEM QBISS AIR – INOVACIJA V ARHITEKTURI

PREFABRICATED FACADE SYSTEM QBISS AIR – AN INNOVATION IN THE ARCHITECTURE

dr. Ljudmila Koprivec, univ. dipl. inž. arh.

Trimo, inženiring in proizvodnja montažnih objektov, d. d.
Prijateljeva cesta 12, 8210 Trebnje, Slovenija
ljudmila.koprivec@trimo.si

Strokovni članek

UDK: 692.23:72.001.76

Povzetek | Prefabricirani fasadni sistemi omogočajo natančno izdelavo komponent v kontroliranem okolju, povečujejo trajnost končnega izdelka in pospešujejo hitrost gradnje. V članku je predstavljen fasadni sistem Qbiss Air, ki se uvršča med inovacije v arhitekturi. Učinkovitost posameznih slojev zagotavlja toplotno in zvočno izolativnost, trdnost ter požarno odpornost lahkega, obešenega fasadnega sistema strukturnega videza, ki z minimalno debelino ponuja uporabniku kakovostno bivalno ugodje.

Ključne besede: fasadni ovoj, prefabrikacija, plinsko polnjeni paneli, inovacija, arhitektura

Summary | Prefabricated facade systems enable a precise production of their components in the controlled environment, increase durability of the final products, and fasten the whole building process. In the paper, the innovative façade system Qbiss Air is presented. The extra thin product ensures good thermal and acoustic insulation, strength and fire resistance characteristics of the structural curtain wall system, and offers quality and comfortable environment.

Key words: building envelope, prefabrication, gas filled panels, innovation, architecture

1 • UVOD

Prefabrikacija arhitekturnih elementov je prisotna skozi celotno zgodovino arhitekture. Tehnologija gradnje in stopnja prefabrikacije sta se razvijali v sovisnosti z razvojem tehnologij in materialov kot tudi z načinom življenja ljudi. Glede na arheološka izhodišča so prva lahka, prefabricirana bivališča iz naravnih gradiv izdelovali nomadi (Staub, 2008). S potrebo po gradnji stalnih bivališč in razvojem tehnologije pa se je razvila prefabrikacija opečnih, kamnitih in lesenih gradbenih elementov, ki so se uporabljali in izpopolnjevali v vseh arhitekturnih obdobjih,

vse do začetka industrijske revolucije v 19. stoletju, ko se je začela izdelava železnih, steklenih in betonskih prefabriciranih elementov. Danes se izdelujejo prefabricirani elementi, ki so podprti s tehnologijo CAD/CAM ter omogočajo precizno izdelavo v kontroliranem okolju, povečujejo trajnost elementov in pospešujejo hitrost gradnje. Moderni prefabricirani fasadni sistemi se lahko izdelujejo iz različnih elementov: kovinskih, steklenih, betonskih, lesenih, opečnih, polimernih in kamnitih. V zgradbi lahko prevzemajo nosilno vlogo (na primer montažni betonski

elementi) ali pa so samonosni (obešeni fasadni elementi). Čeprav je uporaba novih tehnologij omogočila izdelavo raznolikih oblik prefabriciranih fasadnih elementov (Schittich, 2012), se zaradi izredne modularnosti in ekonomike gradnje večinoma uporabljajo v fasadnem ovoju enostavnih geometrijskih oblik (Staub, 2008).

V nadaljevanju je predstavljen obešen fasadni sistem Qbiss Air podjetja Trimo, d. d., ki se zaradi izbranih materialov in nove tehnologije izdelave elementov uvršča med inovacije (Kralj, 2011) v arhitekturi (Trimo, 2012).

2 • PREFABRICIRAN FASADNI SISTEM QBISS AIR

Obešeni fasadni sistemi se v grobem delijo na dva tipa:

1. Fasadni sistemi, pri katerih se posamezne komponente, kot so podkonstrukcija, zasteklitveni elementi, polnila in dodatni elementi, kot so tesnila, pokrivne letvice itd., sestavljajo na gradbišču.
2. Fasadni sistemi, pri katerih so posamezne komponente v večini izdelane v proizvodnji.

Prefabriciran fasadni sistem Qbiss Air je zasnovan kot elementna fasada in zaradi svoje sestave spada v kategorijo enojnih, neprežračevanih fasadnih sistemov z visoko stopnjo prefabrikacije (slika 1).



Slika 1 • Fasadni sistem Qbiss Air se pritrjuje na skeletno, nosilno konstrukcijo po sistemu obešenih fasad. (Trimo, 2012)

Posamezne komponente fasadnega sistema, kot so podkonstrukcija, plinsko polnjeni paneli (Žnidaršič, 2010), zasteklitveni elementi, vertikalna tesnila in obešala, so pod strogo kontroliranimi pogoji sestavljene v proizvodnji (Trimo, 2012).

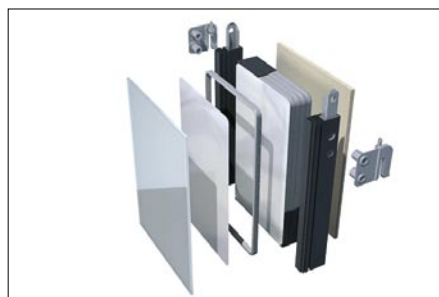
2.1 Tipi prefabriciranih elementov

Fasadni sistem Qbiss Air sestavljata dva tipa elementov: 1) element Qbiss Air in 2) element Qbiss Air z integriranimi zasteklitvenimi elementi.

1) Element Qbiss Air

Element Qbiss Air predstavlja zaradi svojega koncepta, izbora materialov, sestave posameznih slojev in tehnologije izdelave inovacijo pri fasadnem ovoju (Trimo, 2012). Element Qbiss Air sestavljajo zunanja steklena emajlirana plošča ali visokotlačni laminat, izolacijsko jedro, polnjeno s plinom, in notranja mavčno-vlaknena plošča (Žnidaršič, 2011). Posamezni sloji se s tehnologijo lepljenja in s posebej za ta namen razvito robotizirano tehnologijo serijsko proizvajajo v obliki panelov.

Ti se najprej v celoti zalijejo s polisulfidom, nato pa se vanje vtisne podkonstrukcija, sestavljena iz poliamida, ojačenega s steklenimi vlakni z integrirano jekleno cevjo. Ta vertikalno postavljena ojačitev elementa tudi preprečuje toplotne izgube fasadnega sistema. V jekleno cev se pritradijo obešala, ki omogočajo enostavno montažo elementa Qbiss Air na nosilno konstrukcijo zgradbe (slika 2).



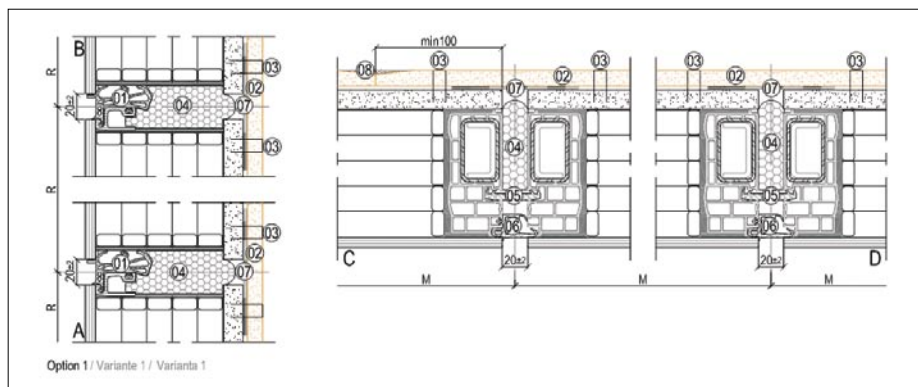
Slika 2 • Grafični prikaz posameznih sestavnih delov prefabriciranega elementa Qbiss Air (Trimo, 2012)

1a) Stopnja prefabrikacije

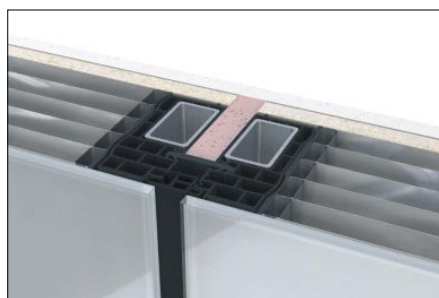
V proizvodnji so na element nameščena notranja (05) in zunanja vertikalna tesnila (06). Na montaži pa se vstavijo horizontalna tesnila (01). V rege med elemente se vbrizga samougasljiva izolacijska pena (04), ki jo prekrije parna zapora (07). Notranjost se zaključuje z dodatno mavčno kartonsko ploščo (02) in končnim opleskom (sliki 3a, 3b). V primeru potrebe po dodatni izolaciji ali zahtevah po inštalacijskih vodih v zunanji steni se notranjost zaključuje z vgradnjo dodatne podkonstrukcije in toplotne izolacije (mineralna volna) in dvema mavčnokartonskima ploščama po principih lahke gradnje z mavčnokartonskimi ploščami.

1b) Tehnične lastnosti

Fasadni sistem Qbiss Air ima dobre toplotnoizolacijske zvočne in požarne lastnosti pri skupni debelini 133 mm (Japelj-Fir, 2012). Maksimalne dimenzije elementa so širina 1250 mm in dolžina 4000 mm (preglednica 1).



Slika 3a • Vertikalni in horizontalni prerez: detajl elementa Qbiss Air tipa 1 (Trimo, 2012)



Slika 3b • Prerez čez spoj dveh elementov Qbiss Air (Trimo, 2012)

2) Element Qbiss Air z zasteklitvenimi elementi

Integrirana podkonstrukcija pri elementih Qbiss Air z vstavljenimi zasteklitvenimi elementi je sestavljena iz vertikalnih in horizontalnih aluminijastih profilov. Ti so oblikovani tako, da ponovijo obliko vertikalnih polimernih letev elementa Qbiss Air in tako omogočajo sistemsko enotnost fasadnih elementov. V aluminijaste profile se lahko v proizvodnji ali pa na gradbišču vstavijo različni zasteklitveni elementi: strukturne zasteklitve (slika 4), zasteklitve s skritim krilom (slika 5) in zasteklitve z vidnimi aluminijastimi profili.



a) Slika 4 • Detajl fiksne strukturne zasteklitve



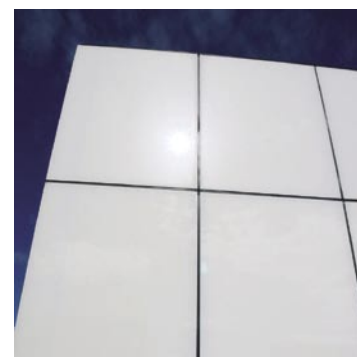
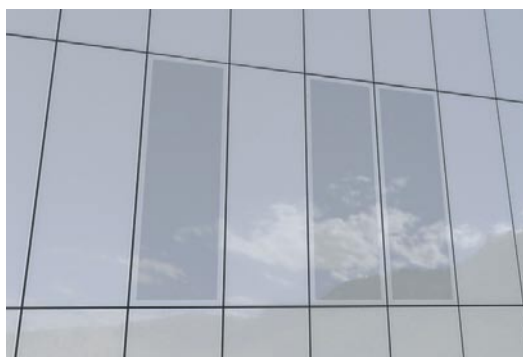
b) Slika 5 • Detajl aluminijaste zasteklitve s skritim krilom (Trimo, 2012)

2.2 Vizualno sporočilo fasadnega sistema Qbiss Air

Fasadni sistem Qbiss Air s posebej oblikovanimi vertikalnimi in horizontalnimi tesnili (širine 20 mm), s poglobljeno fugo in fino brušenimi robovi stekla zagotavlja strukturni videz fasade (slika 6). Vizualna spremenljivost fasadne površine se lahko doseže z dodatnimi obdelavami steklene plošče (poljubna barva emajlirane površine, sitotisk, digitalni tisk, laminirana barvna stekla, stekla z integriranimi LED-diodami, PV-stekla, itd.) ter s široko paleto barv, vzorcev in imitacij naravnih materialov visokotlačnega laminata.

Zunanji ovoj	Izolacijsko jedro	Notranji ovoj	Teža (kg/m ²)	Debelina (mm)
Kaljeno emajlirano steklo – 8 mm	5-komorni sistem – 100 mm	Mavčno-vlaknena plošča – 15 mm, Mavčna plošča – 10 mm	43	133
Visokotlačni laminat – 12 mm	5-komorni sistem – 100 mm	Mavčno-vlaknena plošča – 15 mm, Mavčna plošča – 10 mm	45	137
Modularna širina (mm)			500–1250	
Modularna dolžina (mm)			300–4000	
U – toplotna prehodnost (W/m ² K)			Jedro	0,17
			Sistema	0,25
Odpornost na požar			EI 60–EI 120	
Rw – zvočna izolativnost			46–60	
Vodotesnost			900–1500 Pa	
Mejno stanje uporabnosti (kPa)			1,25–2,6 (L/400)	
CO ₂ odtis (kg/m ²)			42	
Reciklabilnost (%)			96	

Preglednica 1 • Pregled tehničnih lastnosti fasadnega sistema Qbiss Air (Trimo, 2012)



Slika 6 • Strukturni videz fasadnega sistema Qbiss Air je dosežen z minimalističnimi spoji med posameznimi elementi. (Arhiv Trimo, d. d., foto: Kambič)

2.3 Postopek montaže

Na nosilno konstrukcijo zgradbe se pritrdijo pritrdilne plošče (slika 7a), na katere se obesijo prefabricirani elementi sistema Qbiss Air (slika 7b). Sledita montaža horizontalnih tesnil in zapolnitev notranjih spojev med elementi s protipožarno peno. Celotni sistem

se v interjerju zaključuje z dodatno notranjo mavčno ploščo, ki se lahko pritrdi neposredno na element ali pa na dodatno podkonstrukcijo. Na gradbišču se montirajo tudi vsi dodatni elementi (zaključek temeljne grede, kape atike).



a)

b)

Slika 7 • a) Detajl pritrditve b) Montaža elementa Qbiss Air na gradbišču (Trimo, 2012)

3 • ARHITEKTURNA PRIMERA

3.1 Vrtec Mavrica

Vrtec Mavrica arhitekta Aleša Prinčiča je eden večjih vrtcev v Sloveniji. Funkcionalno je razdeljen na 14 oddelkov, upravni del in skupne prostore, kot so telovadnica, jedilnica in večnamenski prostori. Iz vseh oddelkov je omogočen dostop na zunanje zelene površine. Na približno 2700 m² tlorisne površine je prostora za 300 otrok, ki imajo poleg sodobnih igralnic na voljo velike in svetle skupne prostore za druženje in igro.

Glede na letno potrebno toploto za ogrevanje na enoto uporabne površine zgradbe je vrtec Mavrica uvrščen v razred B2, s porabo energije med 25 in 35 kWh/m²/leto. Z vgradnjo dodatne izolacije in trislojnimi zasteklitvami se precej zviša energijska učinkovitost. Poleg elementov Qbiss Air je vgrajena dodatna izolacija iz mineralne volne debeline 10 cm dodatno izboljšala toplotno izolativnost stene

($U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$). Debelina stene pa je kljub vgradnji dodatne izolacije ostala razmeroma majhna: $d = 250 \text{ mm}$. Poleg visokoizolativnega fasadnega ovoja so k nizkoenergijskim vrednostim pripomogli tudi kotel na biomaso za ogrevanje ter prezračevalni in hladilni sistem.

Dodana vrednost je dosežena z oblikovno dovršenostjo fasadnega sistema Qbiss Air. Integracija fasadnih oblog, kot sta kaljeno emajlirano steklo in visokotlačni laminat, sta arhitektu omogočila dodatne izrazne možnosti pri oblikovanju fasadnega ovoja. Glavno, severno fasado zaznamujeta črno-belo emajlirano steklo in strukturna zasteklitev, ki ponazarjata tipkovnico klavirja (slika 8). Raznobarvna fasada upravnega dela pa se usklajeno nadaljuje v igralnice (slika 9). Arhitekt je s fasadnimi elementi Qbiss Air ustvaril igriv, raznolik in moderen fasadni ovoj.

Arhitektura vrtca Mavrica spoštuje moderne sociološke in okoljske kriterije, ki otrokom in vsem zaposlenim omogočajo visoko raven kakovosti bivanja.

3.2 Poslovno-industrijski kompleks Belimed

Fasadni sistem v upravnem delu zgradbe Belimed je tipičen primer uporabe prefabricirane, lahke elementne fasade Qbiss Air, ki omogoča hitro in enostavno montažo elementov na poslovnih zgradbah (slika 10a). Fasadni ovoj tvorijo elementi Qbiss Air z integriranimi filmsnimi, strukturnimi zasteklitvami. Zeleno toplotnoizolacijsko absorpcijsko steklo zasteklitvenih elementov in zelen emajl zunanje plošče elementa Qbiss Air tvorita vizualno enovit fasadni ovoj. Izdelani elementi Qbiss Air širine 1100 mm in dolžine 3800 mm so zagotovili hitrost montaže, debelina 133 mm pa je pripomogla v večji uporabi neto površine poslovnih prostorov ter hkrati zagotovila dobre toplotnoizolacijske, požarnovarne in akustične lastnosti fasadnega ovoja (slika 10 b).



Slika 8 • Vrtec Mavrica, Trebnje, 2012, arh. Aleš Prinčič: fasadni sistem Qbiss Air s črno-belo emajlirano stekleno zunanjo ploščo ponazarja tipkovnico klavirja. (Trimo, d. d., foto: Kambič)



Slika 9 • Vrtec Mavrica, Trebnje, 2012, arh. Aleš Prinčič: fasadni sistem Qbiss Air z laminatno zunanjo ploščo v zeleni, rumeni in rdeči barvi se skladno nadaljuje v tri trakte oddelkov. (Trimo, d. d., foto: Kambič)





Slika 10 • a) Belimed, Grosuplje, 2012, arh. Tina Božičnik b) Horizontalni prerez: detajl elementa Qbiss Air tipa 2 (Trimo, 2012)

Pri oblikovanju fasade v upravnem delu poslovno-industrijskega kompleksa je uporabljen zasteklitveni sistem Qbiss Air fiksne strukturne zasteklitve.

4 • SKLEP

Fasadni ovoj je pomemben element arhitekture. In čeprav se je skozi zgodovino pojavljal v raznovrstnih oblikah in materialih, ohranja svojo primarno lastnost ločevanja zunanjega in notranjega prostora. Njegova naloga je, da

zagotovi kvalitetno bivalno okolje uporabniku, izpolni trajnostne kriterije gradnje in omogoči identiteto arhitekturnemu prostoru. Prefabriciran, lahek in energijsko učinkovit fasadni sistem Qbiss Air se je s svojim konceptom in

lastnostmi približal visokim zahtevam modernega fasadnega ovoja (<http://www.qbiss.eu>, 2012). Poleg vizualne spremenljivosti zagotavlja energijsko učinkovite rešitve fasadnih ovojev različnih tipov zgradb, primeren pa je predvsem za javne zgradbe, saj zaradi visoke stopnje prefabrikacije omogoča ekonomsko učinkovito gradnjo, hkrati pa zagotavlja bivalno ugodje uporabnikom.

5 • LITERATURA

Povzeto po: <http://www.qbiss.eu/>, 20. 7. 2012.

Japelj Fir, M., Kralj, A., Žnidaršič, M., Remec, Č., S plinom polnjeni paneli za visokoizolacijske stavbne ovoje 21. stoletja, Gradbeni vestnik, letnik 61, str. 159–167, 2012.

Kralj, A., Žnidaršič, M., Japelj Fir, M., Remec, Č., Gas-filled panels as a high insulation alternative for 21st century buildings envelopes, Proceeding of WEC 2011, Swiss Society of Engineers and Architects SIA, Zurich, str. 1–8, 2011.

Schittich, C., Prefabrication-Hight-Tech and Manual Production, Detail, Zeitschrift fur Architektur + Baudetail, št. 6, München, 2012.

Staib, G., Dörrhöfer, A., Rosenthal, M., Components and Systems, Modular Construction, Design, Structure, New Technologies, Edition Detail, München, Basel, Boston, Berlin, 2008.

Trimo, d. d. Inženiring in proizvodnja montažnih objektov, Trebnje, Slovenija, 27. 7. 2012.

Žnidaršič, M., Kralj, A., Trendi razvoja visokoizolacijskih materialov v sodobnih stavbah. V: PERME, Tomaž (ur.), ŠVETAK, Darko (ur.). Industrijski forum IRT, Portorož, 6. in 7. junij 2011, str. 165–170, 2011.

Žnidaršič, M., Visokoizolacijski materiali v sodobnih stavbah, Inženir, vol. 3, št. 2, str. 44–53, 2010.

ČIŠČENJE PADAVINSKIH ODTOKOV S ČISTILCEM UFT-FLUIDCLEAR

CLEANING OF RAINWATER DRAINS THROUGH THE CLEANER UFT-FLUIDCLEAR

Franc Maleiner, univ. dipl. inž. kom.
Sojerjeva 43, 1000 Ljubljana

Strokovni članek
UDK 628.2/.3.004

Povzetek | Čistilec UFT-FluidClear spada med moderne in učinkovite tehnologije centralnega odstranjevanja usedlin padavinskih odtokov v mešanem kakor tudi v ločenem sistemu.

Ključne besede: tehnologije čiščenje, padavinski odtoki, usedline

Summary | The cleaner UFT-FluidClear is one of the modern technological and effective removals of deposits of the central watershed drains both in a mixed system as well as in a separate one.

Key words: cleaning technology, watershed drains, deposits

1 • UVOD

Obsežne nemške raziskave in meritve sestave padavinskih odtokov so pokazale, da so ti odtoki lahko močno onesnaženi z okolju škodljivimi snovmi. Potrebni oziroma zahtevani obseg obdelave padavinskih voda je glede na kvaliteto oziroma občutljivost vodotoka kakor tudi glede na tedaj aktualno stanje tehnike podan v nemških strokovnih DWA-smernicah M 153 (DWA, 2007).

Trenutno obratuje po Nemčiji že preko 45.500 objektov centralne obdelave in zadrževanja padavinskih voda (Regenbecken) vseh vrst in načinov. Na podlagi večdesetletnih praktičnih izkušenj je zatorej vzporedno naraščala tudi zahteva po izdelavi ustreznih smernic in napotkov za obratovanje, vzdrževanje in obnovo teh (deloma tudi že tehnično zastarelih) naprav in opreme. Za velik del vgrajene opreme (v preteklih štirih desetletjih zgrajenih in opremljenih naprav) je namreč medtem že potekla njihova amortizacijska doba.

Strokovno združenje nemških izdelovalcev strojne opreme in naprav (VDMA) je zato marca 2012 poslalo v širšo strokovno disku-

sijo načrt VDMA-smernic 24657: »Tehnična oprema za naprave centralne obdelave in zadrževanja padavinskih voda – napotki za obratovanje, vzdrževanje in obnovo.« (VDMA, 2012) (www.vdma.org) Na podlagi odziva in pripomb te široke predhodne strokovne diskusije se nameravajo pred končno uradno izdajo upoštevati še predlagane ustrezno utemeljene dopolnitve ali spremembe teh smernic.

Namen VDMA-smernic 24657 nikakor ni (hidrološko in hidravlično) dimenzioniranje in načrtovanje gradbenih objektov obdelave ter zadrževanja padavinskih voda ((Maleiner, 2005), (Maleiner, 2007), (Maleiner, 2010a), (Maleiner, 2010b)). Priporočila in napotki za dimenzioniranje in konstruiranje teh objektov so namreč že izčrpano izdelani in podani v DWA-smernicah ATV-A 166 ((ATV, 1999), (Maleiner, 2007)). Nove VDMA-smernice 24657 se bodo zatorej ukvarjale izključno le s strojno in elektrotehnično opremo naprav centralne obdelave ter zadrževanja padavinskih voda v mešanem kakor tudi v ločenem sistemu javnih kanalizacij.

VDMA-smernice 24657 naj torej pripomorejo k izpopolnjenju oziroma izboljšanju vseh faz celotnega procesa gradbene izvedbe (od načrtovanja, instalacije do prevzema celotne tehnične opreme v obratovanje) preko normalnega obratovanja, nadzora in vzdrževanja naprav do potreb končne prenovne dotrajane ali zastarele tehnične opreme. Pri tem je glavni namen smernic usmerjen k ustreznemu kakovostnemu nadzoru obratovanja in vzdrževanju tehnične opreme.

Za tehnično opremo (z normalnim obsegom delovanja) so v teh smernicah (z vidika dobaviteljev te opreme) navedeni:

- * potrebni časovni intervali vizualnih ogledov in funkcionalnega preverjanja vse opreme,
- * načini in obsegi preverjanja natančnosti delovanja celotnih naprav,
- * obsegi potrebnega nadzora in vzdrževanja,
- * poleg tega pa so podane tudi pričakovane amortizacijske dobe posameznih delov opreme.

Te smernice služijo tudi kot osnovni napotki strokovnega izbora tehnologij oziroma uporabnikom nudijo pregled medsebojnega ocenjevanja komponent opreme in sistemov tehnologij obdelave padavinskih voda.

Cilj VDMA-smernic 24657 je torej doseganje dolgoročnega, varnega, uspešnega in gospodarnega obratovanja strojne in elektrotehnične opreme naprav za obdelavo ter zadrževanje padavinskih pritokov v kanalizacijskih omrežjih zaradi ekološke zaščite naravnih vodotokov.

Pri tem naj se:

- * v fazi načrtovanja izboljša tehnična komunikacija med načrtovalci, uporabniki in izdelovalci naprav, da se tako omogočijo optimalna izbira tehnologije ter optimalno dimenzioniranje in konstruiranje celotne opreme,
- * z optimalnim nadzorom in vzdrževanjem izboljšata obratovanje in funkcionalna varnost naprav,
- * zviša amortizacijska doba tehnične opreme ob hkratnem minimiranju celotnih stroškov uporabe,
- * omogoči prispevek k harmoniziranju pojmov ter ciljev nadzornih in vzdrževalnih ukrepov.

Preglednica 1 kaže razvrstitev tehnične opreme v razrede in skupine glede na VDMA – smernice 24657.

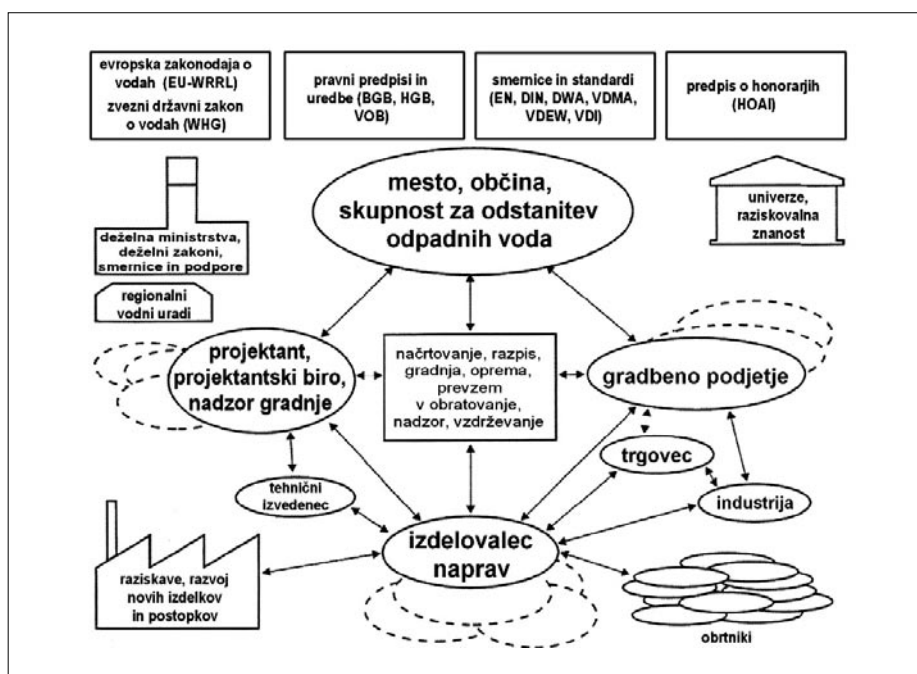
Po tej razvrstitvi spada torej v nadaljevanju opisani čistilec UFT-FluidClear (UFT, 2010a) v razred 4.

Nemški projektant mora dimenzionirati in načrtovati celotne naprave po naročilu in v korist uporabnika (na primer mestne ali občinske uprave oziroma združenja za odstranitev odpadnih voda (Abwasserzweckverband) itd.) v skladu z optimalnimi tehničnimi, ekonomskimi, ekološkimi in obratovalnimi zahtevami. Pri tem se morajo striktno upoštevati v tehničnih smernicah navedena **splošno priznana pravila tehnike** (allgemein anerkannten Regeln der Technik) in aktualno **stanje strokovnega znanja** (Stand der Wissens) na tem strokovnem področju. Izdelati se morajo ustrezni gradbeni načrti (vključno s tehnično opremo) in pri tem upoštevati vse zahteve aktualne nemške zvezne in deželne zakonodaje. Končno se morata projektna in izvedbena dokumentacija v predpisanem obsegu predložiti v strokovni pregled (revizijo) ter v izvedbeno odobritev ustreznim regionalnim državnim vodnim upravnim organom (Wasserbehörde).

Žal je bil temu zelo podoben (izredno ekonomičen in ekološko uspešen) način dela pri nas po osamosvojitvi nemudoma načrtno zatrt in izkoreninjen. Dokazi gospodarnosti in uspešnosti predhodnega režima na določenih področjih bi lahko namreč po mnenju tedanje aktualne politike povzročili dvom ali celo naknadno delno negirali upravičenost spremembe režima. Brez možnosti kritične presoje

razredi	VDMA-štev.:	skupine
1 omejevalci količin	1.1	dušilke brez pomičnih delov in brez tuje energije
	1.2	dušilke s pomičnimi deli in brez tuje energije
	1.3	dušilke s pomičnimi deli in s tujo energijo
2 omejevalci višin vodnih gladin	2.1	trdni jezovi in natege brez pomičnih delov in brez tuje energije
	2.2	razbremenilni organi s samodejno regulacijo s pomičnimi deli in brez tuje energije
	2.3	razbremenilni organi s samodejno regulacijo s pomičnimi deli in s tujo energijo
3 aparature za čiščenje	3.1	naprava za spiranje z valom
	3.2	generator strujanja
4 naprave za zadrževanje usedlin	4	grablje in sita za zadrževanje grobih in lebečih delcev
5 potopne stene	5	potopne stene za zadrževanje plavajočih snovi
6 zaježitvena varovala	6	zaježitvena varovala proti obrnjeni smeri toka
7 črpalke	7	črpalke
8 armature	8.1	armature z ročnim pogonom
	8.2	armature z motornim pogonom
9 elektrotehnika	9	EMSR-tehnika (elektrotehnika, merilna tehnika, tehnika krmiljenja in regulacije)

Preglednica 1 • Razvrščanje tehnične opreme v razrede in skupine glede na VDMA-smernice 24657



Slika 1 • Udeleženci ter zahteve za načrtovanje, gradnjo in opremljanje naprav centralne obdelave in zadrževanja padavinskih pretokov

stroke (revizij) pa se je poleg tega na ta način omogočilo slovenskim cehovskim monopolom nekaznovano in neodgovorno pohleplno grabljenje neupravičenih zaslužkov.

Na podlagi gradbenega dovoljenja je nemški projektant nadalje dolžan razpisati gradbene in tehnične storitve nevtrarno za vse možne ponudnike (herstellernerneutral) v skladu s predpisi ustrezne nemške razpisne zakonodaje (Vergabe- und Verdingungsordnung für Bauleistungen nach VOB Teil A, B und C (2009)) in v skladu s stanjem tehnike (Stand der Technik).

Nasprotno se pri nas »javno« razpisujejo zgolj v naprej striktno izbrani, strogo določeni tipi naprav in opreme (vnaprej izbranih in določenih (»naših«) ponudnikov), ki se jih dodatno formalno zaščiti pred (praviloma strokovno znatno boljšo in na podlagi končnih skupnih stroškov naknadno izkazljivo znatno cenejšo) strokovno konkurenco z na njihovo kožo pisanimi zahtevami, referencami, obrazci, garancijami itd. V skrajni sili pa se »našim izbrancem« ob koncu izvedbe del po potrebi najdejo v razpisu »pomotoma« spregledane (neupoštovane) pozicije ali nepredvidena dela in se tako dodatno odobrijo še obsežni pogodbeni aneksi (v resnici za naknadno doplačilo prvotno na razpisu prenizko ponujenih cen ali za potrebno zvišano kakovost izvedb).

Medtem ko se v Nemčiji še nekako tolerirajo do 10-odstotna prekoračenja končnih investicijskih vrednosti in nad 10-odstotno zvišanje razpisane investicije povzroči posebno strogo strokovno analizo oziroma strogo kontrolo upravičenosti in ustrezne (strokovne in finančne) odgovornosti, so pri nas znatno obsežnejše ali celo nekajkratne prekoračitve razpisnih investicij »od Boga dane« in zanje

zato nihče – tako strokovno kakor tudi finančno – ne odgovarja. Vse plača končni uporabnik ali davkoplačevalec.

Zaradi tekočega nadaljnega hitrega razvoja tehnike, zakonov, smernic, patentov in zaščitnih pravic se stalno novelira tudi (strokovni pojem) stanja tehnike. Zatorej lahko le izkušeni projektant, ki redno zasleduje in dopolnjuje svoje strokovno znanje razpolaga tudi z zadostnim aktualiziranim tehničnim znanjem in praktičnimi izkušnjami (na področju načrtovanja in gradnje elektroopreme, strojne in krmilne opreme). Njegovo strokovno znanje tako pogosto presega stanje tehnike (občasno, v obdobju nekaj let noveliranih) tehničnih smernic.

Ker po mnenju slovenske politike kritične zahteve, dopolnila in pojasnila izkušenih projektantov »vnašajo zgolj strokovni nemir«, (navidezno) zvišujejo investicijske stroške naprav in opreme (in v resnici tako nižajo ali celo ogrožajo dobiček (v že vnaprej pogodbeno sklenjeni dobavni ceni)), se pri nas običajno izbere znatno »cenejšega« (ustrezno neizkušenega in neodgovornega) projektanta, dobavitelja in izvajalca. »Nepredvidena« kasnejša posledična katastrofalna končna zvišanja investicij (in obratovalnih stroškov) pa na izbiro ponudnikov ne vplivajo več in za povzročeno škodo tudi nihče ne odgovarja. Ti dodatni skupni stroški skupaj s posledicami slabega delovanja naprav se prevladajo in bremenijo izključno le uporabnike.

VDMA-smernice 24657 skušajo doseči tudi izboljšanje do sedaj pogosto nezadostne ali prepozne komunikacije med projektanti, uporabniki in graditelji naprav (slika 1).

Glede na obseg projekta, težavnostno stopnjo del, časovno nujno izvedbe in na možnosti

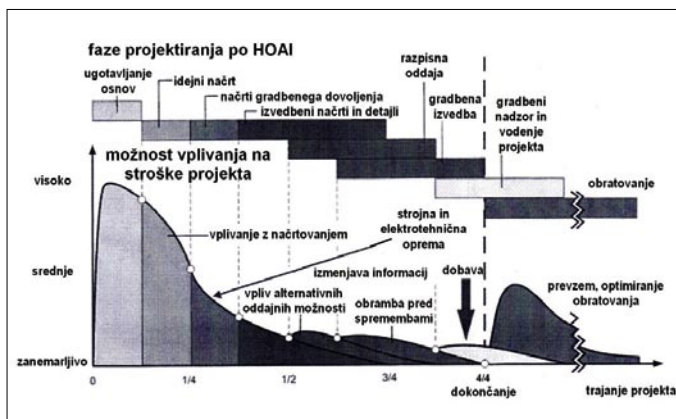
financiranja naprav lahko potekajo procesi načrtovanja in realizacije tudi po nekaj let. Pri tem ločimo po delovnem poročilu ATV-DVWK (2003) (ATV, 2003) več faz projektiranja.

V prvih fazah je možnost vplivanja na stroške največja in se v smeri dokončanja naprav hitro zmanjšuje (VDMA, 2012), (Maleiner, 2006). Po prevzemu v obratovanje lahko nastopi ponovno zvišanje vplivanja na stroške, če se pri optimiranju obratovanja naknadno ugotovijo želje po spremembah in izboljšavah.

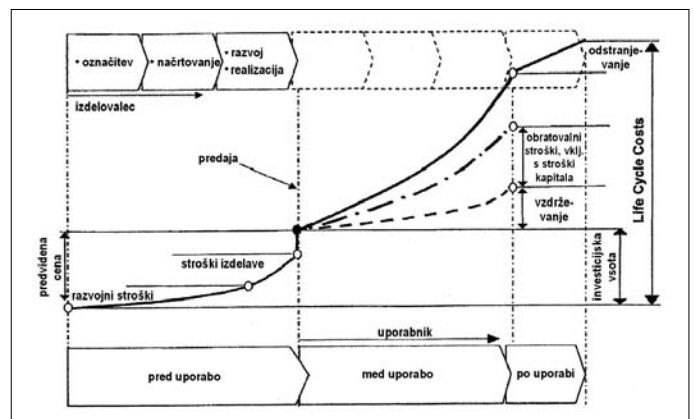
Slika 2 jasno kaže, da se vgradnja strojne ter elektroopreme vrši neposredno pred prevzemom v obratovanje, vendar se morajo ustrezne informacije izmenjavati že med fazami projektiranja.

Stroški življenjskega ciklusa (amortizacijske dobe) tehničnih naprav opisujejo procese nastajanja, inštalacije, dobe obratovanja in vzdrževanja, razgradnje in odstranjevanja. Skupni stroški, ki so povezani z določeno tehnično napravo, obsegajo poleg stroškov nabave in instalacije tudi finančne izdatke, ki nastopajo med obratovalnimi obdobji in po njih.

V Sloveniji je izključni parameter odločanja najnižja investicijska cena naprav in opreme, zato se (svoječas tudi pri nas odločilne) višine skupnih stroškov zadnji dve desetletji načrtno ne ugotavlja več. Le redkokateri od mojih mlajših strokovnih kolegov dandanes sploh še obvlada (za njegovo delovno mesto ogrožajoče nevarno strokovno znanje) izdelave takega izračuna skupnih stroškov. Slabo delovanje naprav in obseg obratovalnih stroškov zazna končni uporabnik torej šele po določenem časovnem obdobju na podlagi čezmernega in hitrega naraščanja računov za tekoče stroške.



Slika 2 • Časovni potek in vplivi stroškov pri načrtovanju, gradnji in opremljanju naprav centralne obdelave ter zadrževanju padavinskih pretokov v skladu z delovnim poročilom (ATV, 2003), (VDMA, 2012)



Slika 3 • Shematski prikaz Life Cycle Costs (VDMA, 2012)

V nasprotju z Nemčijo v Sloveniji tudi nihče (tako politično, strokovno kakor tudi finančno) ne odgovarja več za slabo načrtovane in slabo delujoče naprave ter tako povzročeno

hitro naraščajočo ekonomsko in ekološko škodo. Odgovornost je naravnost bogokletni pojem, ki sta ga žal slovenska politika in

stroka v dveh desetletjih uspela totalno izkoreniniti. Izrek naših južnih sosedov se glasi: »Narod bo to vse poplatil!«

2 • RAZVOJ NAPRAV ZA OBDELAVO IN ZADRŽEVANJE PADAVINSKIH VODA V NEMČIJI

V DWA-smernicah ATV-A 128 (ATV, 1992) je naslednja definicija nalog in ciljev naprav za obdelavo padavinskih voda (Regenwasserbehandlung):

Naloga obdelave padavinskih voda je omejitev odtokov v smeri čistilnih naprav do tolikšne mere, da se ne prekoračijo odtočne mejne vrednosti izpustov čistilnih naprav in hkrati ostajajo občasne sunkovite obtežbe vodotokov preko razbremenilnih naprav v še sprejemljivih dopustnih mejah. Cilj obdelave padavinskih voda mora biti torej najboljša možna redukcija celokupnih emisij razbremenilnikov in čistilnih naprav v okviru vodnogospodarskih zahtev.

Izid prvotne ATV-A-smernice 128 (1972) je povzročil v Nemčiji do tedaj nepredstavljivi razmah gradnje naprav za obdelavo in zadrževanje padavinskih odtokov v obliki pretočnih razbremenilnih bazenov (RÜB), zajeziženih kanalov (SK), zadrževalnih bazenov (RRB) in bazenov za čiščenje deževnice (RKB) tako v mešanih kakor tudi v ločenih sistemih kanalizacij. Po ocenah prof. H. Brombacha se je v te naprave v Nemčiji do sedaj investiralo že preko 50 milijard evrov (pri tem pa ostanejo neupoštevane dodatne investicije v razbremenilnike (RÜ) in čistilne naprave) (VDMA, 2012).

Iz začetnih tehnoloških rešitev, ki so se v glavnem opirale zgolj na nameščanje ustreznih gradbenih objektov, se je sčasoma (iz ekonomskih in ekoloških razlogov) v vse večjem obsegu uveljavila tudi uporaba strojne in elektrotehnične opreme. Dandanes sta (vse obsežnejša in zahtevnejša) avtomatizacija objektov in daljinski nadzor (razen našega žal mačehovskega odnosa) že nujna in nesporna sestavna dela modernih tehnoloških rešitev in naprav.

Prvotnemu namenu zgolj avtomatskega delovanja in krmiljenja procesov polnjenja, praznjenja in čiščenja objektov so namreč kmalu sledili zahtevani evidentirano javljane stanje in alarmiranje motenj obratovanja, optimiranje izrabe oziroma optimalnega izkoriščanja zadrževalnih prostornin itd. kakor tudi nameščanje daljinskega nadzora s sistemskim računalniškim vodenjem in upravljanjem procesov (PLS-FWS), kar zahteva vse bolj sposobno, hitro razvijajočo se strojno in elektroopremo.

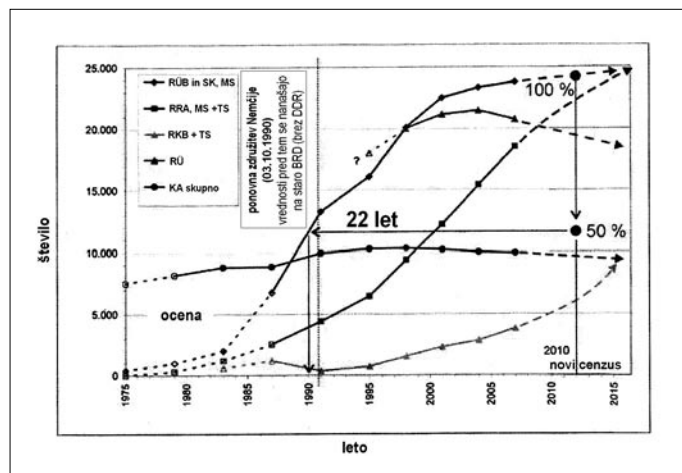
Glede na potrebno in vse hujšo racionalizacijo skupnih stroškov na področju odvajanja ter čiščenja komunalnih odpadnih voda predstavlja vse zmožnejša (in relativno cenejša) računalniška in procesna oprema glavni vir varčevanja. Žal se tega načina varčevanja

pri nas izogibamo, saj (neznatno) podraži investicijo praviloma zgolj na račun izrednega znižanja obratovalnih stroškov. Ker je pri nas pri razpisih odločilna izključno zgolj najnižja investicijska vrednost, ponudnik te »podražitve« ne predlaga, čeprav bi se praviloma ta dodatna investicija (preko znatno nižjih obratovalnih stroškov) izredno kratkoročno povrnila uporabniku.

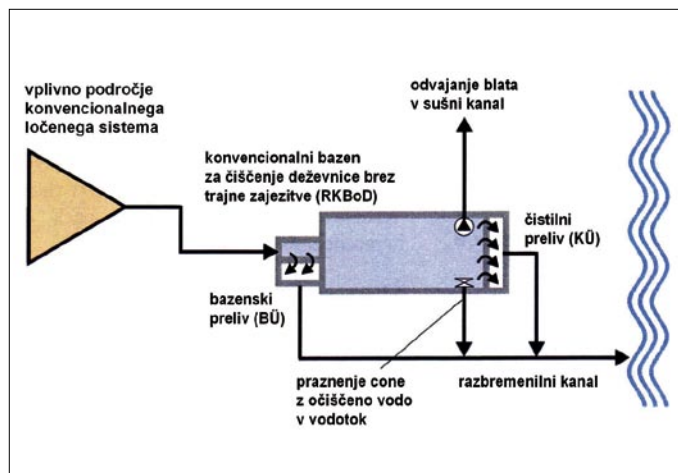
Kakor je razvidno s slike 4 presega okoli polovica (od ca. 24.000) nemških pretočnih razbremenilnih bazenov (RÜB) in zajeziženih kanalov (SK, MS) v mešanem sistemu starost 22 let in jih bo (zaradi že zdavnaj potekle amortizacijske dobe) kmalu treba obnoviti ali sanirati v skladu z aktualnim stanjem tehnike (Stand der Technik).

Zanemarljivo skupno število (in še to praviloma napačno dimenzioniranih in konstruiranih) naprav za obdelavo in zadrževanje padavinskih voda v Sloveniji jasno priča o našem nekajdesetletnem strokovnem zaostanku na tem področju.

Ker slovenska stroka ne zna oziroma le slabo obvladuje bolj zahtevno načrtovanje kanalizacijskih omrežij v mešanem sistemu, se predvsem v zadnjih desetletjih vse bolj nagiba k (»modernim«) ločenim sistemom. Žal pa dejansko tudi tega (praviloma precej dražjega) načina strokovno ne obvlada, zato namesto ločenega sistema (z medsebojno ločenima omrežjema za meteorne in sušne pretoke) pogosto na terenu ugotavljamo de-



Slika 4 • Kronološki razvoj števila naprav za obdelavo in zadrževanje padavinskih voda v Nemčiji (VDMA, 2012)



Slika 5 • Shematski prikaz čistilnega bazena deževnice brez stalne zajezižitve (RKBoD) (WeiB, 2012)

jansko izvedbo dvoje mešanih omrežij (z vsemi prikritimi ekonomskimi in ekološkimi posledicami).

Predvsem v severni in vzhodni Nemčiji je (iz praviloma topografskih razlogov) zgrajenih in obratuje precejšnje število omrežij v ločenem sistemu (Maleiner, 2010). Na izpustih meteor- nskih kanalov v vodotoke se tudi tam vse bolj zahteva ustrezna dodatna obdelava oziroma čiščenje padavinskih voda.

Dandanes v vse večji meri stremimo k de- centralnim sistemom uporabe (zadrževanje, zalivanje, splakanje itd.) in odstranitve (ponikanje, izhlapevanje, odvajanje itd.) padavinskih voda. S tem skušamo zgladiti sunkovite hidravlične obtežbe kanalizacijskih omrežij in vodotokov.

Pri obstoječih decentralnih sistemih je nak- nadna izvedba zahtevane obdelave meteor- nih odtokov pogosto precej dražja, zato se praviloma skušajo take dodatne naprave za obdelavo meteor- nih odtokov nameščati tako, da nanje lahko združimo in priključimo dotoke iz več decentralnih sistemov.

Klasični način obdelave deževnice v ločenih sistemih so čistilni bazeni deževnice (Regen- klärbecken), kjer se usedline odstranjujejo s sedimentacijo. Obenem se v njih skušajo

mehansko zadržati tudi lahke tekočine in plavajoče snovi.

Analize obširnih nemških meritev so poka- zale, da se na usedlinah (predvsem z zelo majhno granulacijo) rade »obešajo« in se z njimi izločajo težke kovine. Torej se mora predvideti tak način obdelave deževnice, ki omogoča izločitev in odstranitev tudi zelo drobnih usedlin. Da se prepreči kasnejša ponovna sprostitve težkih kovin, pa so se do sedaj za obdelavo padavinskih pretokov favorizirali predvsem čistilni bazeni deževnice brez stalne zajezišve (RKBoD).

Vendar pa pri čistilnih bazenih deževnice brez stalne zajezišve (RKBoD) zaznavamo nasled- nje kritične pomisleke:

- * Pri dimenzioniranju tega bazena se mora predpostaviti stacionarni pretok. Pri kritičnem dotoku (Q_{krit}) se po DWA-A 166 (2010) ne sme presegati površinska obtežba $q_a < 10 \text{ m}^3/\text{h}$, iz česar posledično sledijo precejšnje gradbene izmere florisa bazena. Na podlagi zahtevane minimalne vodne globine (dva metra) je tako definirana tudi potrebna prostornina bazena. Povrhu se morajo pri konstruiranju bazenov še dodatno upoštevati zahtevana minimalna razmerja dolžine/širine/višine bazenov.

- * Pri dimenzioniranju se tudi ne upoštevata učinka zadrževanja padavinskih voda v RKBoD in v ustrezni zajezišveni prostornini dovodnega kanala, čeprav obe prostornini znatno zmanjšujeta iznos usedlin v vodo- toke. Zaradi tega neupoštevanja se pro- jektirajo ter gradijo stereotipni in pogosto predragi objekti.

- * Med intenzivnejšimi padavinami pa se vendarle pogosto prekorači tudi dovolje- na hidravlična obtežba in se tako lahko ponovno zvrtničijo in iznesejo že na dnu bazena sedimentirane usedline.

- * Prostornina čistilnega bazena deževnice brez stalne zajezišve (RKBoD) se mora po vsakem padavinskem dogodku izprazniti, in sicer:

- iz cone očiščene vode (Klärwasserzone) v vodotok in

- iz cone z usedlinami v sušni kanal.

Na ta način prispejo in obtežujejo čistilno napravo (ločenega sistema) po vsakem pa- davinskem dogodku precej velike količine deževnice.

V ekonomskem in ekološkem pogledu je zato uporaba UFT-FluidClear optimalna alternativna rešitev za učinkovito zadržanje in izločanje sedimentov.

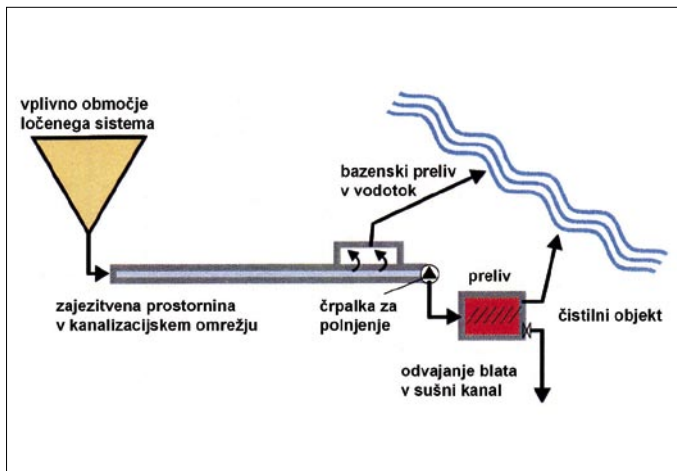
Pretok skozi poševno nameščeno usedalno satovje omogoča visoko zmogljivost izločanja usedlin. Hidravlična preobtežba in s tem ponovno vrtničenje usedlin je nemogoče.

Po začetku padavin se prične polniti bazen za čiščenje padavinskih voda (RKBoD). Na določeni delni višini gladine se nato vklopi črpalka za polnjenje čistilca UFT-FluidClear. Z zmogljivostjo črpalke se določena črpalna količina enakomerno pretaka (navzgor) skozi

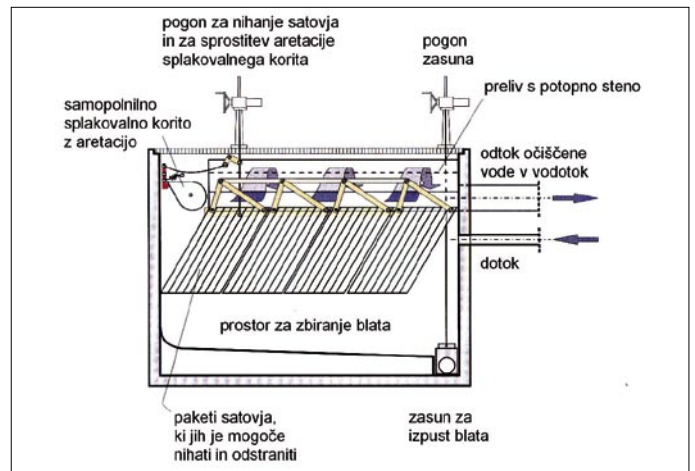
3 • ČISTILEC UFT-FluidClear

Temeljna ideja pri tej alternativni rešitvi je ločitev funkcije shranjevanja od funkcije čiščenja padavinskih voda. Padavinske vode se pri tem načinu zadržujejo v poljubno dimenzioniranih in oblikovanih zajezišvenih prostorninah, dočim se čiščenje vrši v prostor-

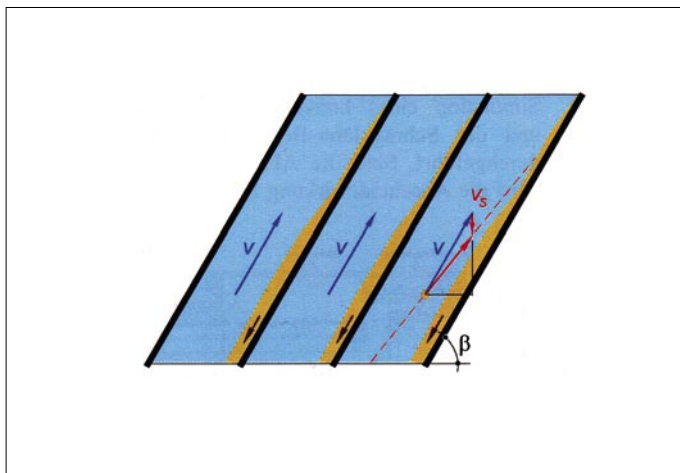
sko majhnem, kompaktnem objektu (Schräg- klärereinheit UFT-FluidClear). Dotok v čistilec UFT-FluidClear regulira praviloma ustrezna črpalka, pri zadostnem podolžnem padcu pa se lahko uporabi ustrezna dušilka.



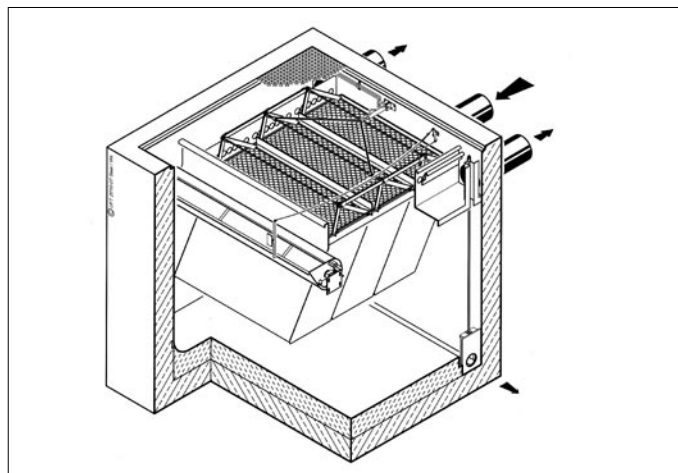
Slika 6 • Shematski prikaz zajezišvenega kanala (SK) s čistilcem UFT-FluidClear



Slika 7 • Prerez objekta



Slika 8 • Poševno usedalno satovje



Slika 9 • Naprava UFT-FluidClear

satovje, se preliva v odvodna korita in očiščena odteka v vodotok (slika 7). Pri intenzivnih nalivih se lahko vzvodno ležeči bazeni (RKB_{oD}) ali zaježitveni kanali (SK) sočasno razbremenujejo (sliki 5 in 6) tudi preko čistilnih (KŪ) in bazenskih (BŪ) prelivov.

Na sliki 6 je prikazana kombinacija zaježitvenega kanala (v skladu z ATV-A 166 (ATV, 1999)) zgolj z bazenskim prelivom (BŪ) – kar do sedaj v ločenem sistemu sploh ni bilo običajno – in s čistilcem UFT-FluidClear. Zadrževanje padavinskih pretokov se torej vrši le v zaježitvenem kanalu, medtem ko se čiščenje vrši v čistilcu UFT-FluidClear. Velikosti in oblike zaježitvenih prostornin se lahko torej poljubno izbirajo (na primer odprti zemeljski bazeni). Pri tem načinu je treba zagotoviti zgolj zahtevano zadostno majhno letno pogostost prelivanja v vodotok.

Kasnejša namestitvev čistilca UFT-FluidClear za naknadno opremljanje obstoječih RKB torej ni samo idealna rešitev, temveč lahko drastično reducira tudi stroške novih naprav za obdelavo deževnice.

UFT-FluidClear je torej dimenzioniran na majhni kontinuirani pretok, ki se pretaka počasi navzgor skozi poševno usedalno satovje (sliki 7 in 8), v katerem se izločajo sedimenti in drsijo navzdol v spodnji prostor za zbiranje blata.

Izmere pravokotnega betonskega objekta, v katerem se namesti vsa oprema UFT-FluidClear, so odvisne od predvidene pretočne količine. Satovje (s protitočnim izločanjem usedlin) sestoji iz določenega števila posameznih modulnih paketov, ki so nameščeni paralelno na skupnem nosilnem ogrodju, ki ga je mogoče ustrezno zanihati in tako mehansko odstraniti na satovju »prilepljene« usedline. Dotok iz zaježitvene prostornine poteka zgolj

z minimalnimi turbulencami pod poševno zadnjega paketa tako, da se enakomerno pretaka skozi celotni prerez satovja in pod (pred koriti nameščenimi) potopnimi stenami v obe stranski in v osrednjo odtočno korito, ki tako očiščeno vodo odvajajo težnostno v vodotok.

Za deževnico z običajno onesnaženostjo se večinoma uporablja satovje s prečno višino 40 mm. Pri deževnici s čezmerno vsebnostjo vlaknastih snovi in drevesnega listja se lahko namesti tudi večje satovje, kar pa zahteva predhodno uskladitev mnenj s proizvajalcem te opreme.

Izpustni zasun omogoča izpraznitev prostornine objekta v sušni kanal. Pri skromnih višinskih okoliščinah se lahko za izpraznitev objekta uporabijo tudi ustrezne črpalke.

UFT GmbH nudi (opcijsko) tudi namestitev izplakovalnega korita (z aretacijskim zapahom), ki se med delovanjem UFT-FluidClear samodejno napolni z očiščeno vodo. Nihajni mehanizem satovja in izplakovalno korito se lahko sprožata z elektropogonom ali hidravličnim pogonom.

Vsi uporabljeni materiali so korozijsko odporni. Vsa oprema je eksplozijsko zaščitena in vodotesna. Možna sta tudi daljinsko vodenje in nadzor celotnega objekta.

Po potrebi se lahko več teh naprav namesti tudi paralelno.

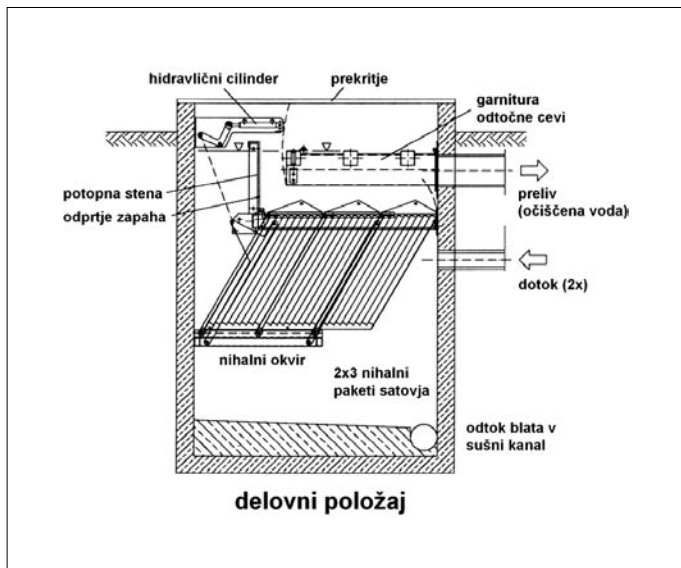
V nasprotju s klasičnimi bazeni za čiščenje deževnice (RKB_{oD}) se čistilec UFT-FluidClear ne dimenzionira zgolj na površinsko obtežbo med kritičnim dotokom. Za preverjanje enakovrednosti dimenzioniranja obeh načinov se priporoča primerjalna simulacija na podlagi dolgoročnih podatkov o izdatnosti padavin. Treba je namreč dokazati, da je letni volumski pretok čistilca UFT-FluidClear enak letnemu volumskemu pretoku preko čistilnega preliva (KŪ) RKB. Volumen satovja se izbere tako, da površinska obtežba ne presega 4 m/h. Na željo naročnika lahko UFT GmbH v sklopu svojih storitev izvede tudi tako simulacijo in dimenzioniranje.

Zaradi zanemarljive površinske obtežbe in z nameščenimi potopnimi stenami lahko čistilci UFT-FluidClear zadržijo tudi manjše količine lahkih tekočin. Če se zaradi možnosti povzročitve večje havarije potrebuje ali zahteva večja zadrževalna prostornina (na primer 30 m³ v skladu z RiStWag 82002), se priporoča ustrezna namestitvev manjše stalne zaježitve s potopno steno v čistilnem bazenu deževnice s stalno zaježitvijo (RKB_{mD}).

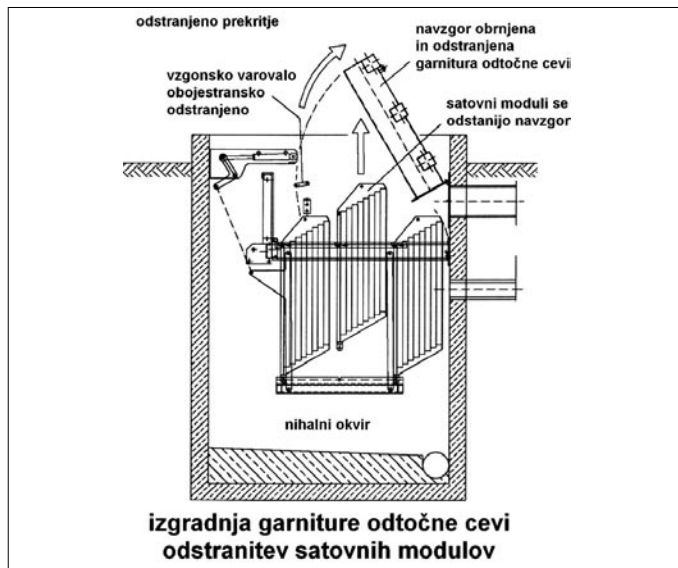
Pri čiščenju onesnaženih odtokov se kot dvostopenjska zaporedna kombinacija lahko

Orientacijske tipske velikosti čistilcev UFT-FluidClear so:

tip	pretok Q_b v l/s	zunanje izmere (DxŠxV) v mm
SKE 10	10	1950 x 1950 x 2250
SKE 20	20	2400 x 2400 x 2700
SKE 40	40	v skladu s povpraševanjem



Slika 10 • Stanje med obratovanjem



Slika 11 • Odstranitev satovja



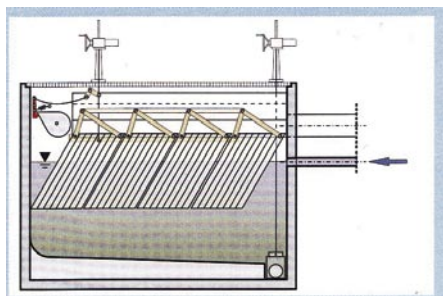
Slika 12 • Dve fazi inštalacije opreme (brez odtočnih korit in z njimi)



v ekološkem kakor tudi ekonomskem oziru idealno dopolnjujeta vrtnični separator UFT-FluidSep ((UFT, 2010b), (Maleiner, 2011)) in čistilec UFT-FluidClear.

Delovanje UFT-FluidClear se običajno odvija v naslednjih funkcijskih fazah:

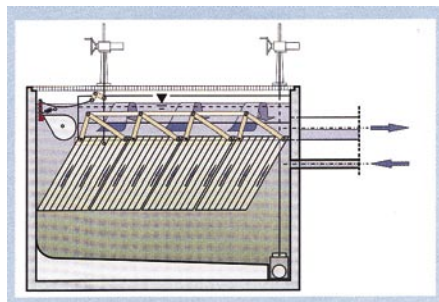
Faza 1: Polnjenje



Slika 13 • Faza polnjenja

Ob nalivu začne v predhodnem bazenu za čiščenje deževnice (RKB) delovati črpalka za polnjenje UFT-FluidCleara (slika 13)

Faza 2: Kontinuirano obratovanje

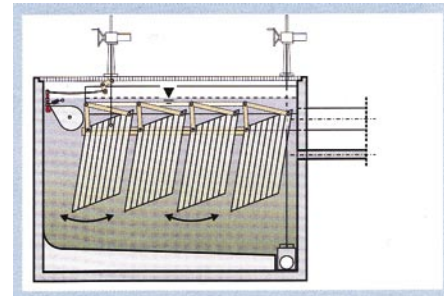


Slika 14 • Kontinuirano obratovanje

Skozi UFT-FluidClear se enakomerno pretaka relativno majhna pretočna količina. Usedline

se izločajo v satovju in lahko zdrsnejo po poševnem dnu navzdol (slika 14). Mehansko očiščene vode lahko odteka navzgor in se prelijejo v odvodna korita. Tudi med intenzivnimi nalivi površinska obtežba UFT-FluidCleara ne presega 4 m/s.

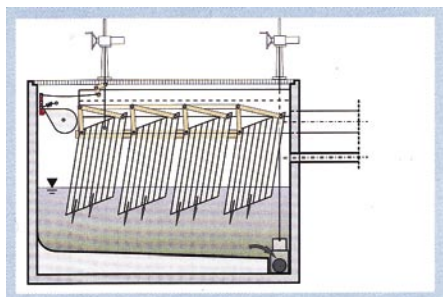
Faza 3: Očiščenje



Slika 15 • Očiščenje

Po določeni dobi obratovanja so se (navkljub strmi nastavitvi) v satovju delno »prilepile« usedline. Da se te usedline lahko »otresejo«, se črpalka za polnjenje izklopi za določen čas in se paketi satovja izpod vodne površine nekajkrat ustrezno zanihajo (slika 15). Na ta način sproščene usedline zdrsnejo navzdol. Po ponovnem zavzetju izhodiščnega položaja satovja in določenem časovnem obdobju se črpalka ponovno vklopi in nadaljuje črpanje.

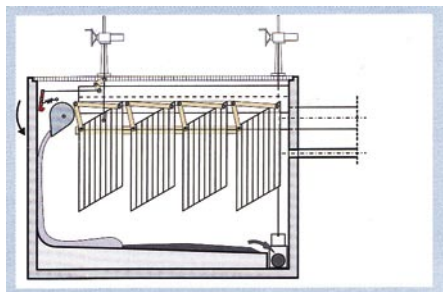
Faza 4: Praznjenje



Slika 16 • Praznjenje

Po zaključenem nalivu se dotočna črpalka izklopi. Po odprtju izpustnega zasuna se začne le nekaj m³ velika prostornina UFT-FluidCleara prazniti v sušni kanal (slika 16). Pri tem se odplakne v sušni kanal tudi pretežna količina na dnu objekta odloženih usedlin.

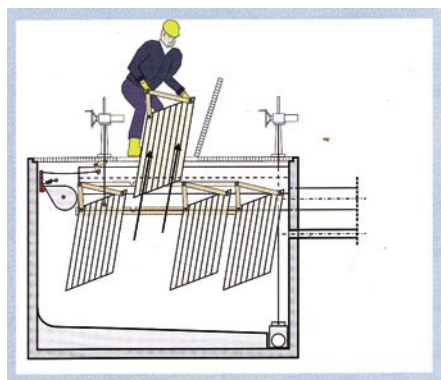
Faza 5: Čiščenje



Slika 17 • Čiščenje

Po izpraznjenju UFT-FluidCleara se lahko še preostale (na dnu »prilepljene«) usedline odplaknejo v sušni kanal z izplakovalnim koritom (slika 17). Po opravljenem izplakovanju se zapre izpustni zasun.

Vzdrževanje:



Slika 18 • Vzdrževanje

Vsi deli UFT-FluidCleara so lahko dostopni od zgoraj (slika 18). Paketi satovja – v velikostih in težah, ki jih je možno še ročno manipulirati – se po sprostitvi aretacijskih vijakov lahko ročno izvlačejo navzgor. Po potrebi se lahko z lestvami sestopi tudi v spodnji prostor.

Prednosti čistilca UFT-FluidClear so torej na kratko opisane takole:

- * Kompaktni pravokotni gradbeni objekt za podpovršinsko kakor tudi za nadterensko vgradnjo.
- * Objekt je neodvisen od velikosti in vrste bazena za deževnico (Regenbecken).
- * Polnjenje objekta je možno s črpalko, zato je prilagodljivo uporaben.
- * Majhne količine izločenih usedlin se morajo redno odstranjevati v sušni kanal.
- * Opcijsko je možna namestitvev izplakovalnega korita.

- * Enostavno avtomatsko krmiljenje z električnim tokom.
- * Visoka obratovalna varnost celotne naprave.
- * Vzdrževalno prijazna konstrukcija.
- * Paketi satovja se lahko po potrebi izmenjujejo ali odstranjujejo posamezno.

V neposredni primerjavi s klasičnim RKBoD ima ta tehnologija naslednje prednosti:

- * Dobra stopnja izločanja usedlin zaradi nizke površinske obtežbe.
- * Kompaktnost celotne naprave.
- * Možna uporaba obstoječih zaježitvenih prostornin (na primer dotočnih kanalov).
- * Če je potrebna še dodatna zaježitvena prostornina, se jo lahko ustvari s cenovnimi rešitvami (na primer z zemeljskimi zaježitvenimi bazeni).
- * Preprečevanje neekonomsko velikih RKBoD pri majhnih vplivnih področjih.
- * Na čistilne naprave prispejo samo majhne količine deževnice.

4 • SKLEP

Uspešnemu načrtnemu uničenju slovenske projektivne stroke neposredno po slovenski osamosvojitvi, ki temelji na janičarskem razvrednotenju strokovnega znanja ((Maleiner, 2006), (Skornšek, 2012), (Maleiner, 2012)), je neposredno sledilo »bolonjsko reformiranje« in trenutno vse obsežnejše »finančno varčevanje« na področju visokega šolstva, ki se zaključuje

z aktualnim kompletnim sesutjem slovenske gradbene operative kot glavnega temelja in glavne gonilne sile slovenskega gospodarstva. Vzporedno s propadom gradbeništva je in še bo kolateralno potonilo niz slovenskih, na gradbene storitve in dobavo vse mogoče strojne in elektroopreme vezanih podjetij in obrti.

Žal pozabljamo, da smo Slovenci pretekla stoletja pod vsemi mogočimi režimi in pritiski narodnostno preživel in se gospodarsko razvijali oprti na našo narodno zavedno inteligenco z obširnim strokovnim znanjem, kulturo kakor tudi s političnim in socialnim čutom. Pretekli nadpovprečni slovenski življenjski standard smo si v Jugoslaviji vzpostavili na podlagi strokovnega znanja, ki ga sedaj v Sloveniji tako striktno (samo)zatiramo. Iz zgodovine bi se lahko naučili, da so najhujši sovražniki nagrabljenega bogastva (oziroma pri nas

tako zelo opevanega kapitalizma) neuke in lačne množice, ki jih svojčas niso ustavili niti Kitajski zid, kakor je ne bodo ustavile niti moderne patrije.

Z uspešnim nadomeščanjem slovenske projekтивne stroke s tako imenovanimi inženirski smo postali slepo odvisni od ozko omejenega tujega znanja in storitev. To politično hojeno odvisnost vse dražje plačujemo. S tem se odpovedujemo tudi razumevanju ter obvladovanju boljših in cenejših alternativnih modernih tehnologij. Nekritično in neodgovorno ponovno gradimo že desetletja tehnološko preživele čistilne naprave (na primer: Em-schersko čistilno napravo v Vinici), izredno drage, nepotrebne ali slabo delujoče objekte (na primer: ljubljanski zadrževalni bazeni) ali pa se brez razlogov, znanja in izkušenj lotimo obupno predragih naprav, ki jih tehnološko sploh ne obvladujemo (na primer: komunalne membranske čistilne naprave Nova Gorica,

Logatec). Zaradi »samozaščite« pred strokovnim znanjem in praktičnimi izkušnjami se pri »javnih« razpisih striktno prepoveduje in izključuje vsaka vzporedna ali nadomestna ponudba ekološko in ekonomsko boljših ter uspešnejših tehnologij kakor tudi izdelava ustreznih izračunov skupnih (investicijskih ter obratovalnih) stroškov.

Slovenska tehnična zakonodaja ima torej zgolj dva kratkoročna cilja:

* slepo in gluho prevajanje in sprovedbo evropskih zahtev ne glede na ekološke in ekonomske posledice in dejansko skupno ceno,

* formalna zaščita politično ustvarjenih (»naših«) cehovskih monopolnih fevdov.

Skrajni čas bi bilo ponovno spodbujanje in nagrajevanje strokovnega znanja in izkušenj. Zgolj aktualno znanje in konstruktivna strokovna kritika prinašata napredek in posredno

zvišanje življenjskega standarda, nasprotno pa zgolj politično božanje in medsebojno trepljanje pomenita vse večji strokovni zastoj, nesposobnost in revščino. Nezanje, nesposobnost in neodgovornost se panično bojijo konstruktivne strokovne kritike in jo zatorej skušajo na vse možne načine že v kali (predvsem v prosveti in z ogrožanjem delovnih mest) zatreti.

S propadom vodilnih slovenskih gradbenih podjetij (kot glavnimi uživalci in dobitniki tega načina razpisov) se bodo večinoma zabrisale tudi sledi in s tem odgovornosti škodljivega preteklega namenskega prirejanja »javnih« razpisov. Zato je napočil skrajni čas reorganizacije načina javnih razpisov v Sloveniji in se (podobno kot v pretekli Jugoslaviji) ponovno zgleovati po strokovni, ekonomski in pravni ravni nemškega načina honoriranja inženirskih storitev (HOAI) ter nemškega načina razpisovanja gradbenih del (VOB in VOL).

5 • LITERATURA

- ATV-A 128, Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, april 1992.
- ATV-A 166, Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und – rückhaltung – Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung, november 1999.
- ATV-DVWK Arbeitsbericht, Hinweise zu Wirksamkeit und Kosten gewässerbezogener Maßnahmen zur Regenwasserbehandlung in der Stadtentwässerung, ISBN 3-924063-84-2, 2003.
- DWA-M 153, Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser, avgust 2007.
- Maleiner, F., Hidravlični izračuni in krmiljenje odtokov v razbremenilnih napravah v smislu ATV-A111 in ATV-A128, 13. strokovni seminar, 10. marec 2005.
- Maleiner, F., Konstruktivno načrtovanje in oprema gradbenih objektov za zadrževanje ter obdelavo padavinskih dotokov po ATV-A 166, 17. strokovni seminar, 14. marec 2007.
- Maleiner, F., Ločeni ali mešani sistem kanalizacije?, Gradbeni vestnik, letnik 59, marec 2010b.
- Maleiner, F., Nemški predpis o honorarjih za storitve arhitektov ter inženirjev (HOAI), Gradbeni vestnik, letnik 55, marec 2006.
- Maleiner, F., Obdelava in odstranitev padavinskih odtokov v ločenem in mešanem sistemu kanalizacij, 21. strokovni seminar, 10. marec 2010a.
- Maleiner, F., Pripombe na strokovni članek dipl. inž. gradb. Boruta Skornška, Cene, ceniki in vprašanje prostega trga inženirskih storitev v Sloveniji, objavljenem v junjski številki Gradbenega vestnika, Gradbeni vestnik, letnik 61, avgust 2012.
- Maleiner, F., Vrtnični separatorji, Gradbeni vestnik, letnik 60, februar 2011.
- Skornšek, B., Cene, ceniki in vprašanje prostega trga inženirskih storitev v Sloveniji, Gradbeni vestnik, letnik 61, junij 2012.
- UFT GmbH, Produktinformation SKE 0237, Schrägklärer – Einheit UFT-FluidClear, 2010a.
- UFT GmbH, Produktinformation WA 0233, Wirbelabscheider UFT-FluidSep, 2010b.
- VDMA, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., VDMA-Einheitsblatt 24657, Technische Ausrüstung für Anlagen der zentralen Regenwasserbehandlung und – rückhaltung – Hinweise für Betrieb, Instandhaltung und Erneuerung, Entwurf, marec 2012.
- Weiß, G., Neue Wege zur zentralen Regenwasserbehandlung im Trennsystem, Einsatz und Bemessung von Schrägklärern, WWT 3/2012.

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Daša Novak, Študija potresne ranljivosti starega mestnega jedra Ljubljane, mentor izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov

Miha Marinič, Analiza vplivnih parametrov oblikovanja O-energijske hiše, mentor prof. dr. Aleš Krainer, somentor doc. dr. Mitja Košir

Blaž Kragelj, Primerjava programov za izračun dnevne osvetljenosti prostorov, mentor doc. dr. Živa Kristl, somentor doc. dr. Mitja Košir

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Domen Ivanšek, Numerična analiza prehoda toplote na stikih Qbiss Air fasadnega sistema, mentor prof. dr. Boštjan Brank, somentor dr. Matjaž Žnidaršič

Janez Peternel, Analiza območij vključevanj na avtoceste in hitre ceste, mentor doc. dr. Tomaž Maher

Boris Ronkalj, Vpliv kemijske agresije na beton pri različnih temperaturah, mentor izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor asist. Tina Prinčič

Miha Vozel, Analiza nevarnih in potencialno nevarnih mest na državnih cestah, mentor doc. dr. Tomaž Maher, somentor doc. dr. Peter Lipar

Boštjan Delak, Hladne bituminizirane zmesi, mentor prof. dr. Janez Žmavc, somentor mag. Dejan Hribar

Matic Hribernik, Projektiranje cestnega mostu z leseno nosilno konstrukcijo, mentor izr. prof. dr. Jože Lopatič

Nejc Repše, Požar v knjižnici Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, mentor prof. dr. Aleš Krainer, somentor doc. dr. Mitja Košir

Nejc Pirc, Projektiranje večstanovanjske armiranobetonske stavbe v naselju "Sončni log" v Logatcu, mentor doc. dr. Sebastijan Bratina

Janez Korpič, Eksperimentalne tlačne preiskave večslojnih kamnitih zidov, mentor izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ VODARSTVA IN KOMUNALNEGA INŽENIRSTVA

Tjaša Šilc, Idejna študija odvajanja in čiščenja odpadnih voda v naseljih Žlebič, Slatnik in Sušje, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan, somentor asist. dr. Mario Krzyk

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Anja Bregovič, Sanacija struge Misljinje na območju nekdanje HE v Pamečah, mentor viš. pred. Matjaž Nekrep Perc, somentor doc. dr. Janja Kramer Stajniko

Dejan Laketič, Sovprežni most razpona 55 m, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Tomaž Žula

Primož Perko, Statična analiza ravninskih linijskih konstrukcij in projektiranje lesenega ostrešja v programu Frilo, mentor doc. dr. Milan Kuhta, somentor Mateja Zlatinek, univ. dipl. inž. grad.

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Gregor Kokot, Zasnova in računska analiza jeklene konstrukcije prostostoječe sončne elektrarne s sledilnikom, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor Samo Peter Medved, univ. dipl. inž. grad.

Monika Pangričič, Uporaba stekla v gradbeništvo, mentor red. prof. dr. Miroslav Premrov, somentor doc. dr. Vesna Žegarac Leskovar

Anamari Podergajs, Geodetska dela pri projektiranju in gradnji predorov, mentor izr. prof. dr. Boštjan Kovačič, somentor pred. Rok Kamnik

Primož Semprimožnik, Statična kontrola stolpnega žerjava MDT 178 po standardu DIN 15018-1, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor pred. Boris Visočnik

MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Stanislav Zoflar, Ocena ukrepov za izboljšanje ravni cestne infrastrukture na prometno varnost enoslednih motornih vozil, mentor red. prof. dr. Tomaž Tollazzi in somentor doc. dr. Marko Renčelj

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

INTERDISCIPLINARNI UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVO – Bolonjski študijski program 1. stopnje

Študij je zaključila z diplomskim izpitom:

Danijel Ivajnič

INTERDISCIPLINARNI UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVO

Denis Povh, Pridobivanje in patentiranje uporabe piezoelektrične energije v zgradbah, mentorja red. prof. dr. Dean Korošak – FG in doc. dr. Dušan Jovanovič – EPF

Patricija Turnšek, Geomehanska analiza pokritega vkopa na železniški progi Divača-Koper in ocena ustreznosti "in-house" pogodbe v primerjavi z drugimi razmerji javno-zasebnega partnerstva, mentorja izr. prof. dr. Stanislav Škrabl – FG in doc. dr. Dušan Jovanovič – EPF

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

KOLEDAR PRIREDITEV

10.4.2013

Bridges 2013

21st Annual Conference and Exhibition

Birmingham, Anglija

<http://2011.bridges.surveyorevents.com/content/>

15.-21.4.2013

BAUMA 2013

30th International Trade Fair for Construction Machinery, Building Material Machines, Mining Machines, Construction Vehicles and Construction Equipment

München, Nemčija

www.bauma.de

16.-18.4.2013

2013 International Highway Technology Summit

Peking, Kitajska

www.bridgweb.com/MemberPages/Article.aspx?typeid=5&id=2816

22.-24.4.2013

FIB Symposium

Engineering a concrete future: technology, modelling & construction

Tel Aviv, Izrael

www.fib2013tel-aviv.co.il/index.ehtml

6.-8.5.2013

International IABSE Spring Conference

Assessment, Upgrading and Refurbishment of Infrastructures

Rotterdam, Nizozemska

www.iabse2013rotterdam.nl

17.-19.5.2013

IC-SDCI

International Conference on Sustainable Development of Critical Infrastructure (Co-sponsored by IABSE)

Shanghai, Kitajska

<http://iem.sjtu.edu.cn/IC-SDCI/en/>

20.-22.5.2013

7th National Seismic Conference on Bridges & Highways

Oakland, Kalifornija, ZDA

www.7nsc.info

27.-29.5.2013

1st International Conference on Concrete Sustainability

Tokyo, Japonska

www.jci-iccs13.jp

12.-14.6.2013

COMPdyn 2013

4th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering

Otok Kos, Grčija

<http://compdyn2013.org/>

26.-28.6.2013

FRPRCS11

11th International Symposium on Fibre Reinforced Polymers for Reinforced Concrete Structures

Guimares, Portugalska

www.frprcs11.uminho.pt/Default.aspx?tabindex=1&tabid=1&lang=en-US&pageid=29

24.-26.7.2013

ICSA 2013

2nd International Conference on Structures and Architecture

Guimares, Portugalska

www.icsa2013.arquitectura.uminho.pt

24.-27.9.2013

26th IABSE Symposium

Long Span Bridge and Roof Structures – Development, Design and Implementation

Kolkata, Indija

www.bridgweb.com/MemberPages/Article.aspx?typeid=5&id=2443

25.-27.9.2013

IWCS 2013

Third International Workshop on Concrete Spalling due to fire exposure

Pariz, Francija

<http://mfpa-leipzig.de/index.php?id=64>

6.-9.11.2013

ECOMONDO 2013

17th International Trade Fair of Material & Energy Recovery and Sustainable Development

Rimini, Italija

<http://en.ecomondo.com/>

2.-6.6.2014

3rd World Landslide Forum "Landslide risk mitigation: Constructing a safe geo-environment"

Peking, Kitajska

www.wlf3.org

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