

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška 3, 1000 Ljubljana, telefon/faks 01 422 4622 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev pri Inženirski zbornici Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Ministrstva RS za šolstvo, znanost in šport, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani** in **Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

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

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Sodelavec pri MSG IZS:

Jan Kristjan Juteršek

Lektorica:

Alenka Raič Blažič

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Anka Holobar

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

2800 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 5500 SIT; za študente in upokojence 2200 SIT; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 40.687,50 SIT za en izvod revije; za naročnike iz tujine 100 USD. V ceni je všteta DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
02017-0015398955

Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774
Ljubljana, julij 2004, letnik 53, str. 145-172

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

- Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
- Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
- Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.
- Besedilo mora biti izpisano z znaki velikosti 12 pik z dvojnimi presledki med vrsticami.
- Prispevki morajo imeti naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo prispevka.
- Besedilo člankov mora obvezno imeti: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); oznako ali je članek strokoven ali znanstven; nazive, imena in priimke avtorjev ter njihove naslove; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY, in povzetek v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ..., naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so dodatki označeni še z A, B, C, itn.
- Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni.
- Slike, preglednice in fotografije morajo biti omenjene v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Vse slike in fotografije v elektronski obliki (slike v običajnih vektorskih grafičnih formatih, fotografije v formatih .tif ali .jpg visoke ločljivosti) morajo biti v posebnih datotekah, običajne fotografije pa priložene.
- Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
- Kot decimalno ločilo je treba uporabiti vejico.
- Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki: (priimek prvega avtorja, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c, itn.
- V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime prvega avtorja (lahko okrajšano), priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
- Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
- Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: FGG, Jamova 2, 1000 LJUBLJANA oz. janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V spremnem dopisu mora avtor članka napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren. Prispevke je treba poslati v enem izvodu na papirju in v elektronski obliki v formatu MS WORD in v 8. točki določenih grafičnih formatih.

Uredništvo

Vsebina • Contents

Članki • Papers

stran **146**

izr. prof. dr. Jakob Likar, univ. dipl. inž. rud.

PREDOR TROJANE TROJANE TUNNEL

stran **155**

prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.

SEKVENČNE (SBR) ALI KONTINUIRNE ČISTILNE NAPRAVE ZA ČIŠČENJE KOMUNALNIH ODPADNIH VODA?

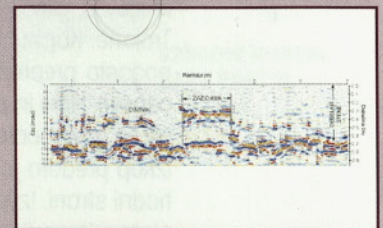
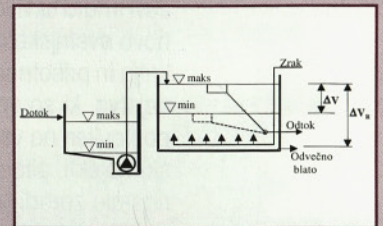
**SEQUENCING BATCH REACTOR OR CONTINUOUS WASTE WATER
TREATMENT PLANTS?**

stran **164**

Milan Živanović, univ. dipl. inž. geofiz.,
dr. Blaž Dolinšek, univ. dipl. inž. grad.

GEORADARSKE MERITVE ZA UGOTAVLJANJE USPEŠNOSTI INJEKTIRANJA V OKVIRU POPOTRESNE OBNOVE OBJEKTOV V POSOČJU

**GPR MEASUREMENTS FOR DETERMINATION OF THE SUCCESSFULNESS
OF GROUTING WITHIN THE POST-EARTHQUAKE RECONSTRUCTION
OF THE BUILDINGS IN THE POSOČJE REGION**



Seminarji

stran **168**

PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2004

EP

stran **170**

Andrej Košir, dipl. inž. geoteh. in rud.
GEOTEHNIČNA SIDRA FREYSSINET

Novi diplomanti gradbeništva

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

Koledar prireditev

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

Slika na naslovnici: Predor Trojane, foto J. Likar

PREDOR TROJANE

TROJANE TUNNEL

izr. prof. dr. Jakob Likar, univ. dipl. inž. rud.,

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta,
Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana

Strokovni članek UDK 624.195

Povzetek | 2900 m dolg dvocevni predor Trojane, umeščen v prostor na avtocestnem odseku Ljubljana–Celje, je trenutno še v gradnji. Pričetek gradnje z vzhodne strani se je v obeh ceveh izvajal neprekinjeno do območja, nad katerim je naselje. Predorski cevi imata ekvivalentni premer okrog 11 m, gradnja pa poteka ob upoštevanju principov nove avstrijske metode (NATM). Zahtevne geotehnične razmere, majhna debelina nadkritja in prisotnost poseljenega območja nad predorskima cevema so najpomembnejša dejstva, ki so vplivala na potek gradnje. Široko zastavljen opazovalni sistem, ki je bil postavljen na vseh ključnih objektih na površini, kot so ceste, stanovanjski in gospodarski objekti, plinovodi, električne napeljave itd., je omogočal kontrolo deformacij, ki so nastale zaradi gradnje predora. Sistema opazovanj v predoru in na površini sta omogočala določitev deformacijskega polja nad predorom.

Meljevec, glinavec in peščenjak so prevladujoče hribine, ki gradijo širše območje predora Trojane. Kamnine, ki gradijo območje Trojan, so tektonsko poškodovane in pregnetene, pogosto preprežene s strukturnimi anomalijami ter mehкими vložki znotraj kamninske osnove. Hitre in pogoste spremembe v kamnini med posameznimi geološkimi sekvencami so povzročale potencialne zdrse in porušitve ter vplivale na težavne pogoje gradnje. Izkop predora je potekal v štirih napadnih točkah na vsakem portalu na vzhodni in zahodni strani. Izveden je bil s pomočjo hidravličnih kladiv in bagrov s sprotnim vgrajevanjem primarnih podpornih elementov, kot so jekleni loki, brizgani cementni beton z armaturnimi mrežami in hribinska sidra. V naslednjih fazah so bila izvedena ali se še izvajajo druga gradbena dela, kot so betonski temelji, talni obok, drenažni sistem, hidroizolacija, notranja obloga in cestišče.

Summary | The 2900 m long twin Trojane tunnels, located on the motorway section AC A10 Ljubljana–Celje, are currently under construction. Starting from the east portal, the construction works advanced in both tunnels to the most demanding section that is just beneath the Trojane village. The tunnels are of about 11 m diameter and are constructed using the principles of the New Austrian Tunnelling Method (NATM). Difficult ground conditions, low overburden and the presence of the urban development above the tunnels congregated at this particular section. A comprehensive monitoring system, including roads, buildings, pipelines, electric cable towers and other communal infrastructure had been set up to enable the control of the displacements caused by the tunnelling. The monitoring data were used to establish the surface and subsurface deformation field above the tunnels.

Mudstone, claystone, and sandstone dominate the rock layering of the geological sequence relevant to the Trojane tunnel. The ground is tectonically reworked and damaged, it contains structural anomalies and there are some very weak parties within the rock matrix. Sudden and frequent transitions between lithological sequences impose potential instabilities and make the excavation of the tunnel particularly difficult.

The construction of the twin tunnel was carried out at four advancing points, one at the end of each tube on both ends of the tunnel. The construction was carried out by the hydraulic hammer and mechanical excavations and the subsequent installation of the primary support, which consisted mainly of the steel ribs, the reinforced shotcrete and the rock bolts. The next phase was the construction of the invert and the foundations, followed by the installation of the drainage and the hydro-insulation. Finally, the construction of the secondary lining and the road pavement concluded the civil works.

1 • UVOD

Trasa avtoceste je na območju Trojan speljana tako, da je prilagojena zahtevanim prometnotehničnim in okoljevarstvenim pogojem, v manjši meri pa upošteva geološko-geotehnične razmere v smislu iskanja manj zahtevnih pogojev gradnje. Območje, kjer je v prostor umeščen dvocevni dvopasovni predor Trojane, ki je dolg okrog 2900 m, je gričevnato in hribovito. V pretežni meri ga gradijo kamnine karbonske in permske starosti. Trasa predora, ki je sestavni del trojanskega odseka, je bila izbrana na podlagi obsežnih prometnotehničnih študij in okoljevarstvenih zahtev, ki so imele bistven vpliv na odločitev o njeni izbiri.

Manj je bil upoštevan geotehnični kriterij izbora, saj so dotedanje izkušnje, pridobljene pri gradnji v podobnih kamninah, nakazovale zahtevno gradnjo. Vsekakor sodobni tehnično-tehnološki postopki gradnje podzemnih objektov omogočajo izvajanje del tudi v tako zahtevnih geotehničnih pogojih, kot so na območju Trojan. Zahtevnost gradnje, ki je bila ocenjena pred pričetkom izvajanja del, je kazala na izjemno težke pogoje. Vendar so nekatera dogajanja med gradnjo preseгла predhodne ocene, tako da je bilo potrebno dopolniti tehnologijo gradnje, da bi zagotovili primerne stabilnostne razmere v predorskih

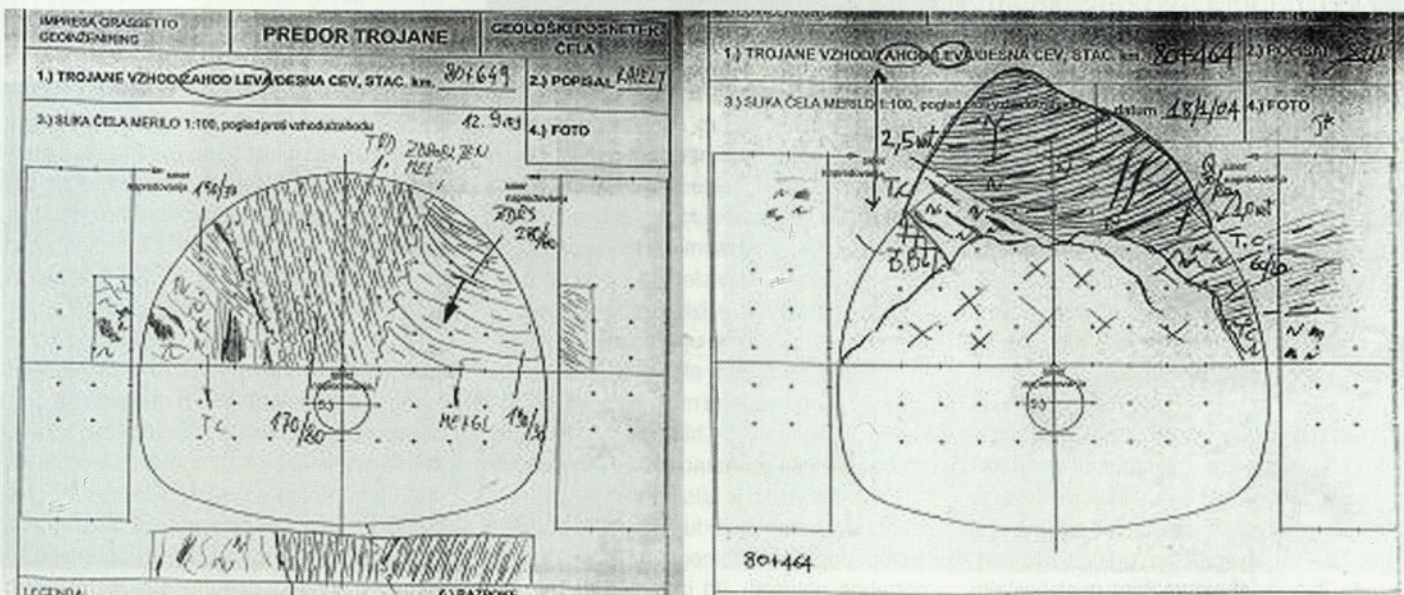
ceveh ter zmanjšali velikost absolutnih deformacij na površini v vplivnem območju predora. Izkop in vgradnja primarne obloge sta zahtevala glede na probleme, ki so se pojavljali med gradnjo, intenzivno vključevanje Geotehničnega sveta za predore in drugih uglednih strokovnjakov s področja gradnje podzemnih objektov. Poleg navedenega je bilo potrebno dopolniti projekte, ki se nanašajo na nekatere elemente zagotavljanja varnosti v predoru, skladno z najnovejšimi avstrijskimi smernicami, saj je v vmesnem času od leta 1995, ko so bili izdelani projekti, prišlo do sprememb tudi zaradi nesreč, ki so se zgodile v nekaterih predorih v Evropi. Na sliki 1 je prikazana situacija območja gradnje predora Trojane.



Slika 1 • Situacija predora Trojane

2 • INŽENIRSKO GEOLOŠKE ZNAČILNOSTI OBMOČJA TROJAN

Trojanski hrbet in širše območje v geološkem smislu pripada karbonski in permski starosti. Kamnine so v geološki preteklosti doživele ve-



Slika 2 • Značilna geološka prečna prereza predorske cevi Trojane zahod

like mehanske spremembe kot posledico tektonskih dogajanj in drugih sprememb, tako da so v pretežni meri močno tektonsko poškodovane z značilnimi vertikalnimi in subvertikalnimi prelomnimi conami, debelimi od nekaj dm do več 10 m, ki jih zapolnjuje tektonska glina z nizkimi geotehničnimi karakteristikami. Premaknjene plasti se kažejo v različnih prostorskih legah z bolj ali manj izraženimi skrilavimi lastnostmi, ki še posebej vplivajo na pogoje izkopa in primarnega podpiranja, saj je v mnogih primerih vpad plasti usmerjen v izkopni prostor. To je značilno zlasti za zahodno območje Trojan (slika 2).

Preperinski pokrov, ki je v stabilnostnem smislu najbolj problematičen, sega do različnih globin, odvisno od globine in intenzivnosti preperevanja v preteklih obdobjih. Tako imamo na nekaterih mestih globino preperinskega pokrova tudi do 17 m, medtem ko drugje debelina ne presega 1 m. V geotehničnem smislu so dokaj pomembne tektonske anomalije, ki se razprostirajo v smeri SZ–JV in vsebujejo v največ primerih tektonsko glino, ki ima sicer določeno kohezijo, je pa precej manj toga, kot so druge kamnine na območju Trojan. Kot je bilo z izkopnimi deli ugotovljeno, so

meljevci, glinavci in peščenjaki značilne kamninske plasti, katerih lega se pogosto spreminja, kar je posredno vplivalo na zagotavljanje stabilnostnih razmer v času gradnje predora. Prehodi iz enega plastovnega sistema v drugega so bili mnogokrat nepredvidljivi, še posebej tam, kjer je bilo to povezano z vertikalnimi preskoki, ki jih z vertikalnimi vrtnami ni bilo mogoče predhodno ugotoviti. Zato je bila sprotna geološko-geotehnična spremljava, na podlagi katere so bile izdelane sprotne analize, izjemnega pomena za pravočasno in učinkovito ukrepanje.

3 • VHODI V PREDOR TROJANE

Na vzhodnem in zahodnem delu so vhodi v predor Trojan locirani inženirsko gledano v dokaj neugodnih kamninah. Dostopi v predor so pod ostrimi koti glede na pobočja in temu primerno so portalna območja sorazmerno dolga, zgrajena v značilnih kamninah, ki jih v pretežni meri sestavljajo tektonsko poškodovani glinavci, meljevci in peščenjaki, pogosto zapolnjeni s hribinsko vodo, ki se nekontrolirano pretaka po razpokah. Prav ta pojav je dokaj neugoden, saj spremenljivo precejanje vode otežuje učinkovito vgradnjo drenažnega in odvodnjevalnega sistema. Na sliki 3 je prikazano območje zahodnih portalov.



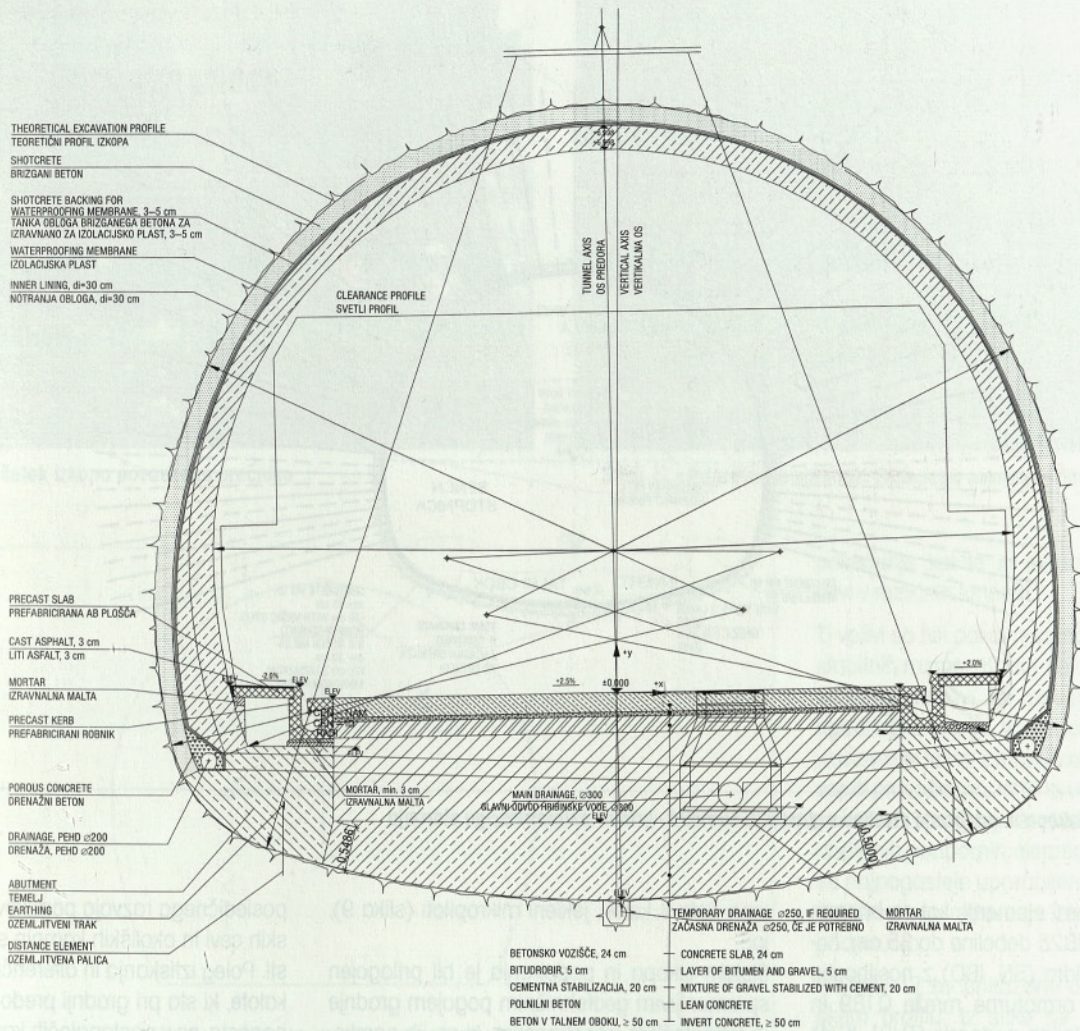
Slika 3 • Območje zahodnih portalov

4 • TEHNIČNE POSEBNOSTI GRADNJE

Desna cev predora je bila prebita 1. 10. 2003, leva pa 26. 3. 2004. Fazama gradnje predora, ki sta zajemali izkop in primarno podpiranje na štirih napadnih točkah, sledijo ostale gradbene faze, kot so vgradnja temeljev in talnega oboka, priprava primarne obloge za namestitvev zaščitne in hidroizolacijske folije, vgradnja notranje betonske obloge, odvodnjevalnega sistema za hribinsko vodo, itd. Značilni prečni prerezi predorske cevi je prikazan na sliki 4. Iz prereza sta razvidni velikost in oblika profila ter konstrukcijski elementi predora. Gradnja, ki je zajemala izkop in primarno podpiranje, je potekala ob upoštevanju principov nove avstrijske metode gradnje predorov (NATM) ob sprotnem prilagajanju podpornih ukrepov spremenljivim geotehničnim pogojem gradnje.

Geotehnične lastnosti kamnin in zemljin, ugotovljene med izkopom, ki gradijo trojanski hrbet, so dokaj spremenljive in v nekaterih primerih močno tektonsko poškodovane, tako da so večkrat odstopale od značilnega povprečja – predvsem v smislu manjše samonosilnosti. Prav slednje je bilo pomembno pri odločanju o izbiri mehanizacije in druge opreme, ki se je uporabljala pri izkopu in vgradnji podpornih elementov. Pri izkopu predora je uporabljena mehanizacija, opremljena z odkopnimi hidravličnimi kladivi, omogočala še primerno hitrost napredovanja. V primerih, ko je bila hribina dovolj mehka, so bili uporabljeni tudi navadni bagri za odkop stopnice in talnega oboka. Pri tem je potrebno pojasniti, da izvajalec del ni uporabljal predorskih bagrov, ki se pogosto upo-

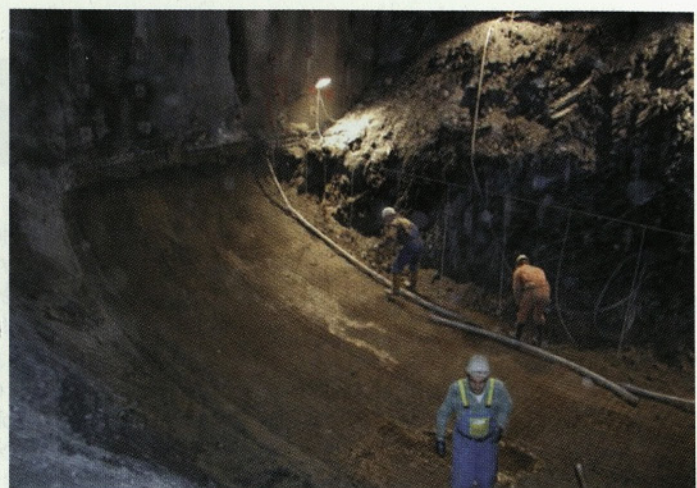
rabljajo za izkop v tovrstnih kamninah. Hitrost izkopa je različna, odvisna od trdote, trdnosti in žilavosti kamnine. Izkop kalote, ki ima prečni prerez okrog 53 m², traja od dveh do pet ur. Pri tem igra veliko vlogo pravilno odpiranje prostih ploskev v plastovitih kamninah, kar omogoča učinkovit izkop. Lastnosti kamnine zahtevajo takojšnjo vgradnjo podpornih elementov, kot je prikazano na sliki 5. Slika 6 kaže vgradnjo talnega oboka iz brizganega cementnega betona MB25 debeline 35 cm. Ker so lastnosti nastopajočih kamnin takšne, da imajo izjemno nizko samonosilnost in da uporaba vrtnanja in razstreljevanja ni bila potrebna, je bila nujna vgradnja močnejšega podpora oz. kombiniranega podpornega sistema, ki prenaša dodatne obtežbe okoliških kamnin. V pretežni meri so bili uporabljeni



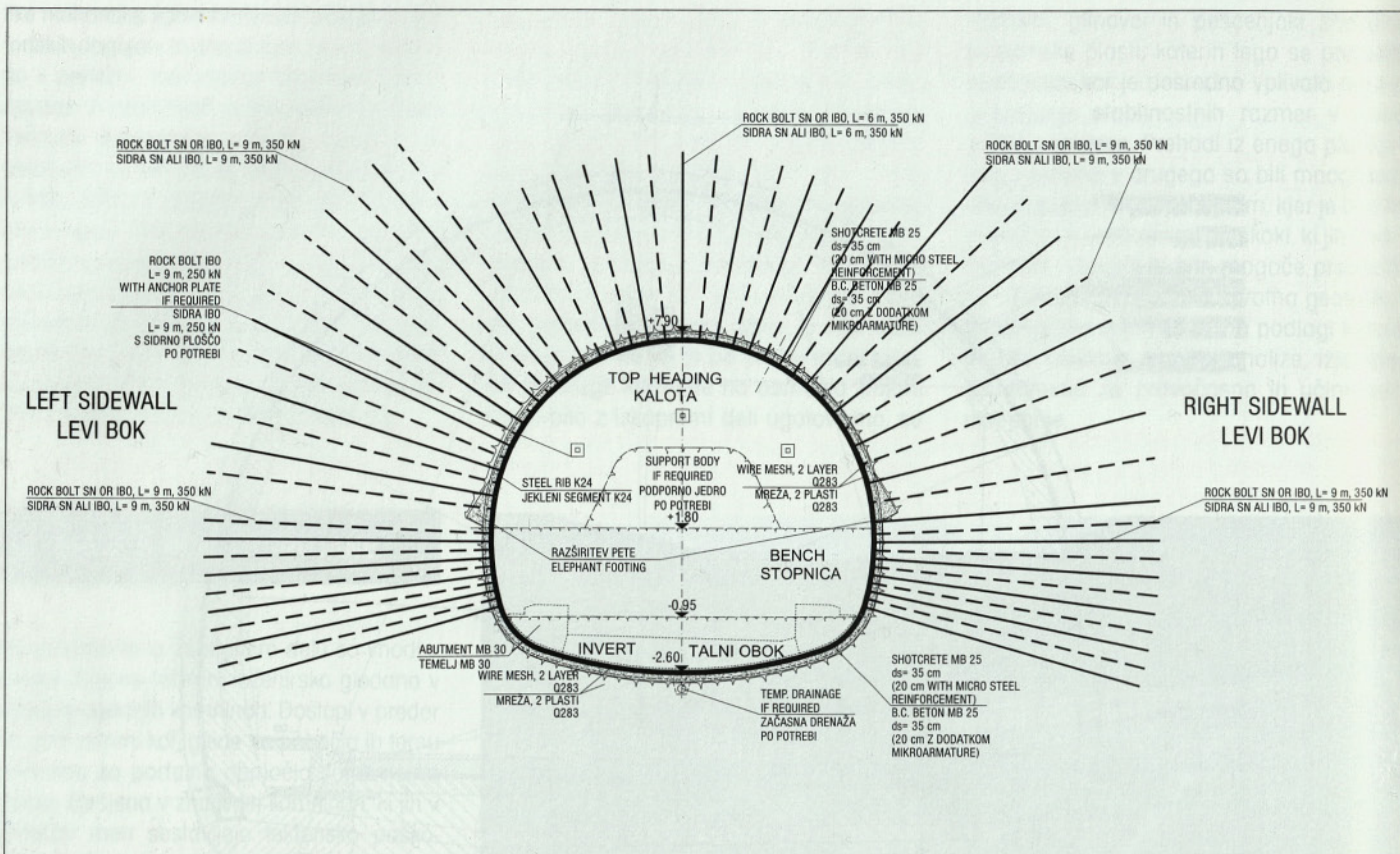
Slika 4 • Splošni prečni prerez predora



Slika 5 • Nameščanje jeklenega loka K24



Slika 6 • Vgradnja talnega oboka iz brizganega cementnega betona MB25 debeline 35 cm



Slika 7 • Način izkopa in odpiranja ploskev v plastoviti kamnini - primer asimetričnega sidranja

standardni podporni elementi, kot so brizgan cementni beton MB25 debeline do 35 cm, hribinska pasivna sidra (SN, IBO) z nosilnostjo 250 in 350 kN, armaturne mreže Q189 in Q283 ter jekleno ločno podporje (TH21, K24) ter pomožni podporni elementi, kot so jeklene sulice, jekleni cevni ščit (slika 11), začasni talni obok iz brizganega cementnega betona, razšir-

jena peta v kaloti, jekleni mikropiloti (slika 9), ipd. Sistem izkopa in podpiranja je bil prilagojen spremenljivim geotehničnim pogojem gradnje in tehnološkim posebnostim, ki so jih narekivale izjemno zahtevne hribinske razmere. Pojavi iztiskanja kamnin in časovno odvisnih sprememb napetostnih in deformacijskih polj ter

posledičnega razvoja pomikov ostenja predorskih cevi in okoliških kamnin so bili zelo pogosti. Poleg iztiskanja in diferenčnega posedanja kalote, ki sta pri gradnji predora Trojane dokaj pogosta, se v nastopajočih kamninah pogosto pojavljajo povečane preostale napetosti v kamninskih gmotah, ki povzročajo asimetrične obremenitve podpornega sistema, pospešeno



Slika 8 • Vgradnja IBO sider v kamninski steber pred izkopskim čelom



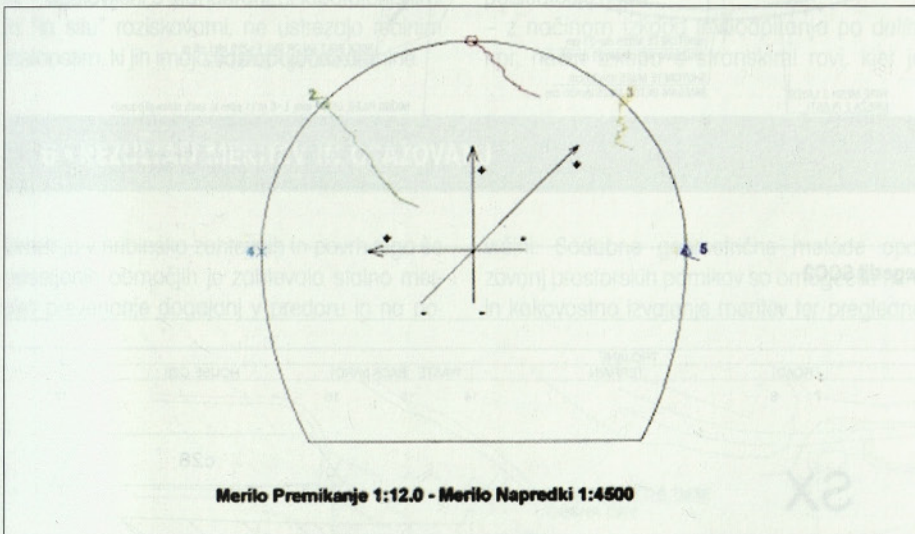
Slika 9 • Vgradnja mikropilotov v desni bok predorske cevi



Slika 10 • Pričetek izkopa povoznega prečnika



Slika 11 • Priprava na vgradnjo jeklenega cevnega štita



Slika 12 • Primer večjih diferenčnih pomikov v kaloti

5 • SPREMEMBE NAPETOSTNIH IN DEFORMACIJSKIH STANJ V KAMNINAH OKROG IZKOPNEGA ČELA

Napredovanje izkopa v nizkonosilnih in tektonsko močno poškodovanih kamninah, kot so glinavci, meljevci in tektonske gline, ki gradijo območje Trojan, je bilo povezano z velikimi vplivi oz. spremembami deformacijskih polj pred izkopnim čelom in širšem območju okrog predorske cevi. V močno zaglinjenih in relativno mehkih kamninah oziroma trdih zemljinah je ta vpliv segal tudi tri ali celo štiri premere cevi pred izkopnim čelom. Ta pojav je bil izjemno neugoden, saj je izrazilo vplival na

absolutni časovni razvoj posedanja na širšem območju. Iz dosedanjih analiz in inženirskih interpretacij sledi, da vsebnost večjih količin glinastih komponent bistveno vpliva na časovni potek deformacij, kar ima izjemen pomen za pravilno oceno možnih sprememb v daljšem časovnem obdobju.

Zato je gradnja pod poseljenim območjem, kjer je bil uporabljen prilagojen podporni sistem v hribinski kategoriji SCC2, še posebej zahtevna – slika 13.

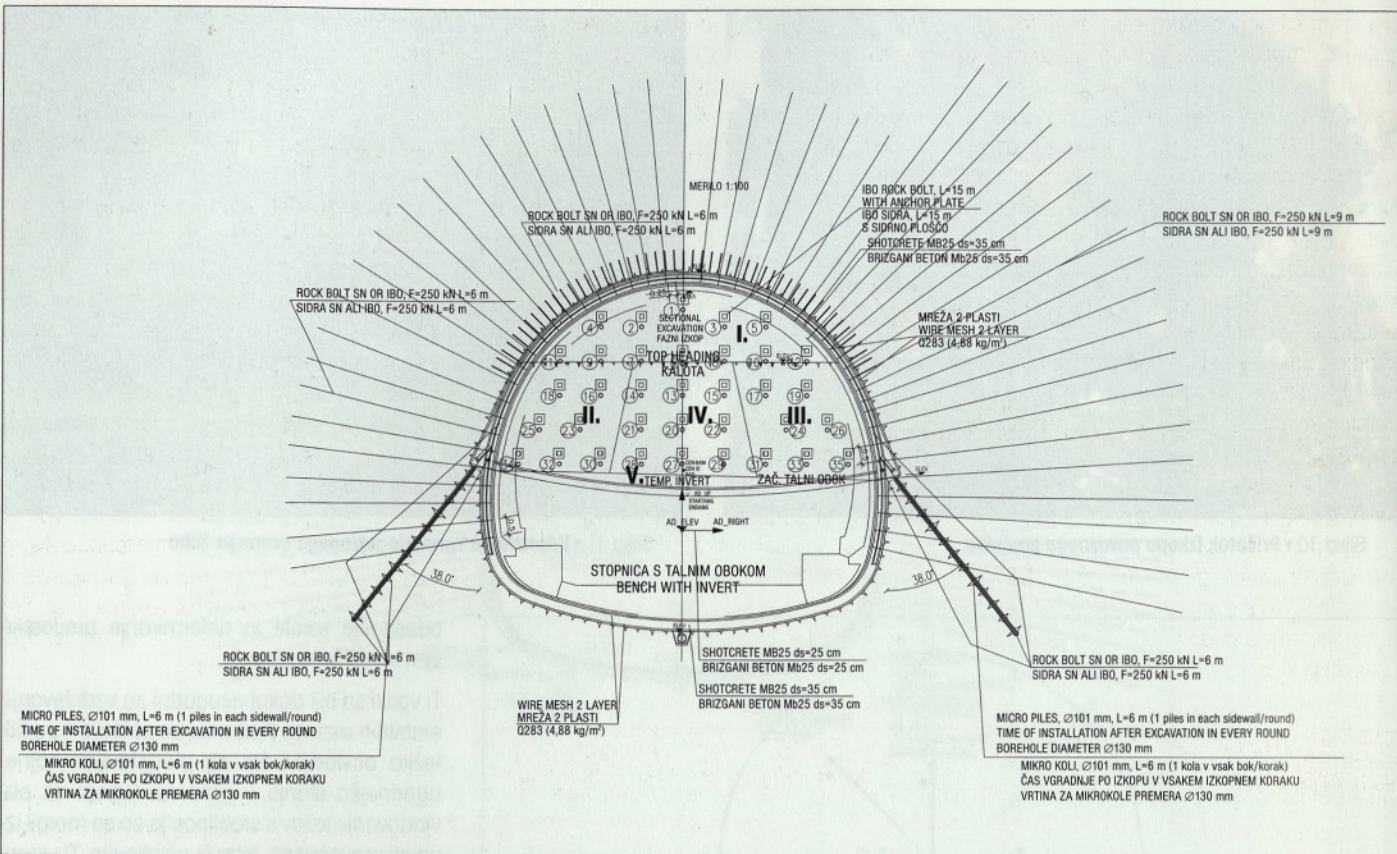
posedanje kalote in deformiranje predorske cevi v različnih smereh.

Ti vplivi so bili dokaj neugodni za vzdrževanje stabilnih razmer. Kadar so se seštevili, so bili težko obvladljivi ter so predstavljali najneugodnejša stanja v predoru. Ukrepi za obvladovanje težav s stabilnostjo so se morali izvajati pravočasno, hitro in učinkovito. Ti ukrepi ponavadi potegnejo za seboj poleg vgradnje dodatnih podpornih elementov, izmed katerih so najpogosteje uporabljena sidra, tudi manjše hitrosti napredovanja izkopa in primarnega podpiranja.

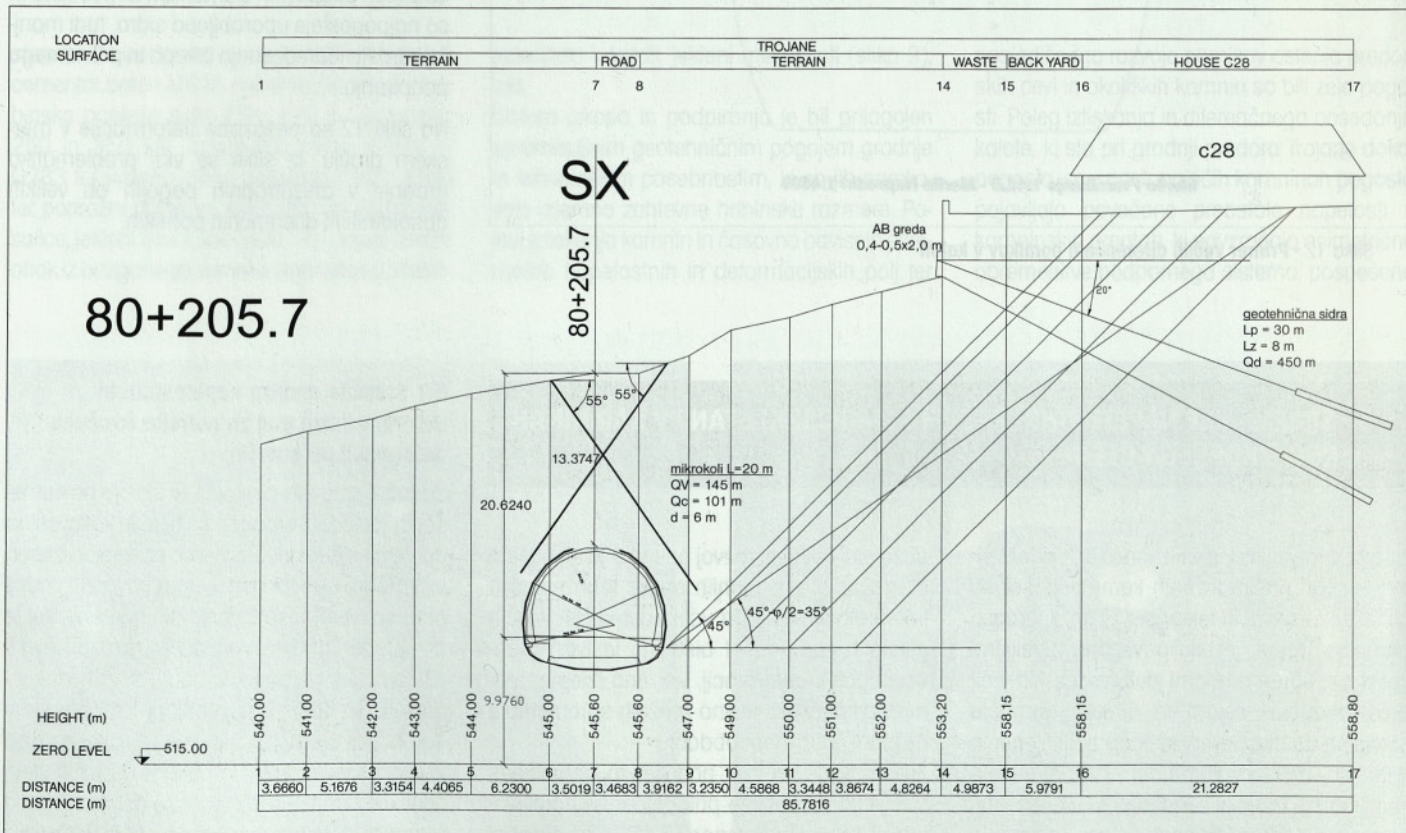
Na sliki 12 so prikazane deformacije v merskem profilu. Iz slike se vidi problematika gradnje v anizotropnih pogojih ob velikih absolutnih in diferenčnih pomikih.

5.1 Statične analize napetostnih in deformacijskih polj za potrebe izračuna deformacij na površini

Sodobni računski postopki, ki slonijo na numeričnih metodah, omogočajo hitro in kakovostno ugotavljanje sprememb, ki so posledica izkopa in vgradnje podpornih elementov pri gradnji predora. Vendar so v posebnih primerih, kot je npr. predor Trojan, prognoze in rezultati tovrstnih izračunov le pogojno uporabni. Vhodni podatki, ki jih dobimo na podlagi različnih standardnih laboratorijskih in "in situ" raziskav, niso vedno povsem realni in ne dajejo pravih vrednosti, če primerjamo dejansko dogajanje med izkopom in podpiranjem predora. Te ugotovitve so bile jasno dokazane pri predoru Trojan



Slika 13 • Podporni sistem v dopolnjeni hribinski kategoriji SCC2



Slika 14 • Shematski prikaz izkopa predora in vplivnih kotov kot posledice napetostnih in deformacijskih sprememb v kamninah in primarni oblogi

predvsem v tistih odsekih, kjer je vsebnost glinastih komponent večja v primerjavi z drugimi odseki, ki imajo večjo vsebnost meljaste in peščene komponente. V vseh dosedanjih izračunih, ki so bili narejeni v okviru prognoznih ocen deformacij, so bile izračunane absolutne vrednosti precej manjše od kasneje izmerjenih med samo gradnjo. Izmerjeni diferenčni posedki pa so se bolj ujemali z izračunanimi, tako da so bili v večini primerov celo manjši od prognoziranih.

Iskanje vzrokov, ki so bili najpomembnejši, da je prišlo do večjih razlik med prognoziranimi in izmerjenimi deformacijami, nas je pripeljalo do naslednjih ugotovitev:

- z dvodimenzionalnimi analizami se ne upošteva 3D učinka, kar je v tovrstnih kamninah izjemno pomembno;
- vhodni parametri – predvsem deformabilnostni – ugotovljeni s standardnimi laboratorijskimi in "in situ" raziskavami, ne ustrezajo realnim lastnostim, ki jih imajo nastopajoče kamnine.

Poleg navedenega uporaba dvodimenzionalnih statičnih analiz za ugotavljanje posedanja oz. deformacijskih sprememb zahteva – če hočemo, da so izračuni kolikor toliko skladni z izmerjenimi vrednostmi – bistveno znižanje vrednosti vhodnih parametrov. Na sliki 14 prikazujemo v shematski obliki vpliv izkopa na površino nad predorom.

5.2 Vpliv togosti podpornega sistema in kamninskega stebra pred izkopnim čelom

Neodvisno od navedenega je vpliv togosti podpornega sistema na velikost in časovni razvoj deformacij velikega pomena za ustrezno dimenzioniranje tehnološkega procesa gradnje. Povečano togost primarne obloge lahko dosežemo na več načinov, kot npr.:

- z vgradnjo podpornega sistema, ki zagotavlja hitro prevzemanje dodatnih obtežb, ki so posledica izkopa;
- z načinom izkopa in podpiranja po delih, npr. način izkopa s stranskimi rovi, kjer je

vzpostavljeno ravnovesje v manjših prečnih prerezi;

- z vgradnjo dodatnih nizkodeformabilnih pomožnih podpornih elementov, npr. povečanje togosti kamninskega stebra pred izkopnim čelom;
- kombinacija nekaterih navedenih.

Način izkopa, ki je bil uporabljen na nekaterih odsekih pri gradnji predora Trojane kot kombinacija togih podpornih elementov v primarni oblogi in zaščita izkopnega čela z brizganim cementnim betonom debeline 15 cm ter hribinskimi sidri dolžine do 15 m z nosilnostjo 250 kN, se je izkazal kot primeren v danih geotehničnih pogojih.

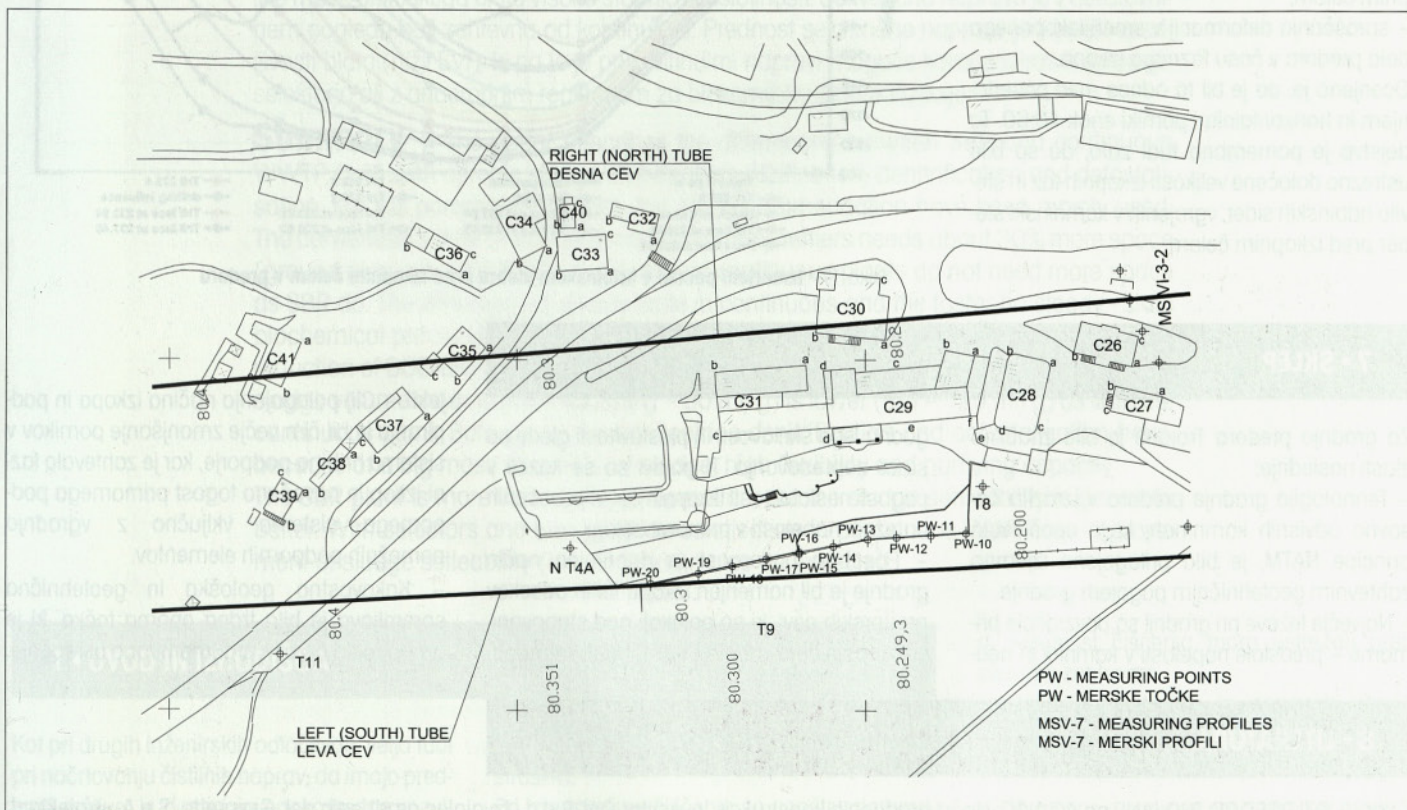
Izvedena zaščita izkopnega čela s podpornimi elementi je bila takšna, da je bilo še omogočeno normalno odvijanje tehnološkega procesa izkopa in podpiranja. To dejstvo je bilo bistveno za normalno izvajanje del s čim manjšimi prekinitvami oz. čim bolj neprekinjenim napredovanjem gradnje.

predstavitev rezultatov. Tak način dela je sicer zahteval stalno prisotnost projektanta, je pa bil učinkovit in je zagotavljal pravočasno ukrepanje. Prav to je pomembno, saj bi prepozno odzivanje lahko imelo za posledico povečane pomike na površini zaradi česar bi lahko nastale potencialno večje poškodbe na objektih.

6 • REZULTATI MERITEV IN OPAZOVANJ

Gradnja v hribinsko zahtevnih in povrh tega še poseljenih območjih je zahtevala stalno mersko preverjanje dogajanj v predoru in na po-

vršini. Sodobne geometrične metode opazovanj prostorskih pomikov so omogočile hitro in kakovostno izvajanje meritev ter pregledno



Slika 15 • Razpored merskih mest na površini nad predorsko cevjo

Opazovalna mreža na vplivnem območju predora Trojane in v predoru je bila sestavljena iz več sistemov opazovanj:

a) na površini

- reperne točke v osi predora za opazovanje posedanja in prostorskih pomikov;
- prečni merski profili, ki jih sestavljajo reperji, ki so postavljeni prečno na os predora za potrebe ugotavljanja širine deformacijskega polja;
- vertikalni inklinometri za merjenje horizontalnih pomikov po globini;

b) v predorskih cevih

- reperji za merjenje prostorskih pomikov;
- več točkovnih ekstenzometrov;
- merska sidra in – horizontalni inklinometer za merjenje časovnega razvoja in velikosti posedkov pred in za izkopnim čelom.

Na sliki 15 je prikazan razpored merskih mest na površini nad predorsko cevjo.

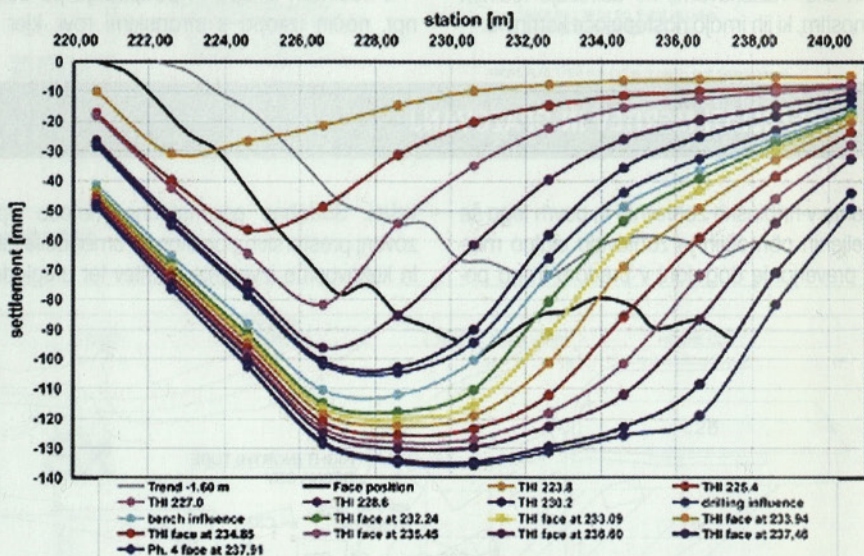
Meritve na površini nad predorom in v predoru s horizontalnim inklinometrom so se izvajale dvakrat na dan. Le tako se je natančno ugotovilo, pri katerih fazah izkopa in podpiranja so se razvile največje deformacije pred in kasneje za izkopnim čelom. Iz diagrama, ki prikazuje odvisnost med posedki in napredovanjem izkopa v kaloti ter fazami izkopa, je razvidno, da so bili pomiki največji od 2 m do 6 m pred izkopnim čelom in so bili posledica:

- deformiranja kamninskega stebra pred izkopnim čelom,
- sproščanja deformacij v smeri izkopanega dela predora v času faznega izkopa.

Ocenjeno je, da je bil ta odnos med posedanjem in horizontalnimi pomiki enak 40:60. To dejstvo je pomembno tudi zato, da so bile ustrezno določene velikosti izkopnih faz in število hribinskih sider, vgrajenih v kamninski stebel pred izkopnim čelom.



Slika 16 • Fazni izkop v kaloti v hribinski kategoriji SCC2



Slika 17 • Izmerjeni pomiki v hribinskem stebri pred izkopnim čelom v predoru

7 • SKLEP

Za gradnjo predora Trojane je bilo značilno zlasti naslednje:

- Tehnologija gradnje predora v izrazito časovno odvisnih kamninah, ki je upoštevala principe NATM, je bila prilagojena izjemno zahtevnim geotehničnim pogojem gradnje.
- Največje težave pri gradnji so povzročale primarne – preostale napetosti v kamnini in neu-

godna lega skrivalosti in plastovitosti glede na smer napredovanja. Ti pojavi so se kazali v pogosti nestabilnosti izkopnih čel in povečanih nateznih napetosti v primarni oblogi.

- Posebna pozornost in dopolnjen način gradnje je bil namenjen izkopu tistih odsekov predorskih cevi, ki so potekali pod stanovanjskimi objekti in drugimi infrastrukturnimi ob-

jektih. – Cilj prilagajanja načina izkopa in podpiranja je bil čim večje zmanjšanje pomikov v sistemu hribina-podporje, kar je zahtevalo fazni izkop in povečano togost primarnega podpornega sistema vključno z vgradnjo pomožnih podpornih elementov.

- Kakovostna geološka in geotehnična spremljava je bila trdna oporna točka, ki je omogočala hitro in argumentirano ukrepanje.

8 • LITERATURA

Likar, J., PZI PREDOR TROJANE na AC A 10; Načrt gradbenih konstrukcij. Investitor DARS,d.d.; Izvajalec gradbenih del: Grassetto, S.p.A., projektant: IRGO Consulting, d.o.o. Ljubljana, 2000-2004.

SEKVENČNE (SBR) ALI KONTINUIRNE ČISTILNE NAPRAVE ZA ČIŠČENJE KOMUNALNIH ODPADNIH VOD? SEQUENCING BATCH REACTOR OR CONTINUOUS WASTE WATER TREATMENT PLANTS?

prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana

Strokovni članek

UDK 628.32 : 628.16

Povzetek | Prispevek obravnava lastnosti sekvenčnih (SBR) in kontinuirnih čistilnih naprav (v naknadni in kompaktni izvedbi) za aerobno stabilizacijo blata z nitrifikacijo in denitrifikacijo. Relevantni tehnološki parametri obeh naprav so določeni v glavnem po obstoječih ATV navodilih. Kontinuirne naprave z gradbeno samostojnimi naknadnimi usedalniki potrebujejo ca. 30 % večje gradbene – funkcionalne površine. Kompaktne kontinuirne naprave in sekvenčne naprave pa se po porabi prostora praktično ne razlikujejo. Zaradi nestacionarnega režima reakcij potekajo biokemijski procesi hitreje v sekvenčnih kot v kontinuirnih napravah, kar pa zaradi časa za izmenično praznitev in polnjenje sekvenčnih reaktorjev ne pomeni tudi prihranka prostornine sekvenčne naprave. Potrebna prostornina sekvenčnih naprav je manjša od kontinuirnih le pri boljši usedljivosti blata $SVI = 60$ ml/g do 80 ml/g od kontinuirnih naprav z $SVI = 125$ ml/g. Obe napravi pa izkazujeta zaradi velike mase biološkega blata visoko stopnjo fleksibilnosti. Sekvenčna naprava je v obratovalnem pogledu bolj zahtevna od kontinuirne. Prednost sekvenčne naprave je v boljši usedljivosti blata (nižji SVI), ki pa jo je pri kontinuirni napravi mogoče kompenzirati z vgradnjo selektorja ali z anaerobnim reaktorjem za biokemijsko defosfatizacijo.

Summary | The paper describes the differences between SBR and continuous WWTP, both with aerobic sludge stabilisation, nitrification, denitrification and defosfatization. For the parameters of both, the ATV recommendation have been mainly used. The conventional WWTP with separate secondary settlers needs about 30% more space (ground plan area) than SBR. But compact continuous plants do not need more space as SBR do. The difference of steady-state in continuous and the faster no steady - state biochemical processes in SBR biological reactors with consequently somewhat better reduction of BOD and nitrates is described. The total volume of SBR is smaller only if the sludge volume index is ($SVI = 60$ ml/g – 80 ml/g) is lower ($SVI = 125$ ml/g) as with the continuous plant. Both plants for nitrification-denitrification and defosfatization have, because of a big mass of biological sludge, high flexibility and purifying capacity. The SBR plant is more demanding in operation, but the sludge settleability is generally better. With selectors and biological defosfatization in continuous WWTP, an improvement of sludge settleability (low SVI) could also be expected.

1 • UVOD IN IZHODIŠČA

Kot pri drugih inženirskih odločitvah, velja tudi pri načrtovanju čistilnih naprav, da imajo prednost rešitve, ki dosegajo enakovredne rezultate čiščenja pri enostavnejšem obratovanju

in nižjih skupnih obratovalnih in investicijskih stroškov.

Pri izbiri načina čiščenja se upoštevajo predvsem naslednji kriteriji:

- Kakovost čiščenja mora ustrezati predpisanim zahtevam.
- Skupni investicijski in pogonski stroški morajo biti v primerjavi z drugimi rešitvami nižji ali enaki.
- Obratovanje naprave naj bo kolikor mogoče enostavno.

d. Naprava naj omogoča čim večjo fleksibilnost oziroma prilagodljivost spremembam v količini in onesnaženosti odpadne vode, brez posledic za kakovost očiščene vode.

e. Pri visoki ceni ali pri pomanjkanju prostora je pomembna tudi velikost površine, ki jo naprava potrebuje. Za enako kakovost čiščenja je v prispevku izvedena primerjala analiza lastnosti kontinuirne in sekvenčne naprave (SBR – Sequencing batch reactor), obe z aerobno stabilizacijo blata.

Dimenzije in ostali za primerjavo relevantni parametri obeh naprav so določeni po naslednjih osnovnih enačbah (Imhoff, 1999):
Za proizvodnjo biološkega blata

$$\Delta W = 0,6 \left(\frac{SS_o}{C_{BPK5}} + 1 \right) - \frac{0,072 \cdot 0,6F}{1/\theta_c + 0,08F} (kgSS/d) \quad (1)$$

in za nitrifikacijo potrebno starost biološkega blata:

$$\theta_c = \frac{t_N}{1 - V_D/V_{tot}} (d) \quad (2)$$

Potrebno razmerje prostornin V_D/V_{tot} reaktorjev za denitrifikacijo in skupne prostornine $V_{tot} = V_N + V_D$ za nitrifikacijo in denitrifikacijo je določeno z enačbo (ATV, 1997):

$$\frac{V_D}{V_{tot}} = \frac{2,9NO_3 - N_D}{0,8 \cdot 0,75C_{BPK5} \cdot OC} \quad (3)$$

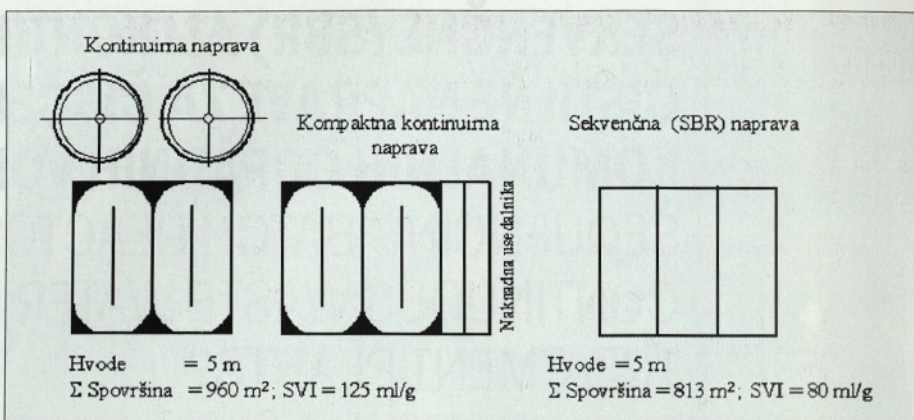
Prostornina sekvenčnega reaktorja pa je določena po enačbah (ATV, 1997):

$$V_{R1} = \frac{V_{tot} X_{BB} t_c}{n X_R t_R} (m^3)$$

$$V_{R2} = \frac{\int_0^t Q_{max} dt}{f_{max}} \quad (4)$$

$$f_{max} = \frac{\Delta V_{max}}{\Delta V_{max} + V_{min}}$$

Določitev prostornine sekvenčnega reaktorja v enačbi (4) sloni na predpostavki, da opravi enaka masa aktivnega biološkega blata v nestacionarnem režimu tega reaktorja enako »delo čiščenja« kot v (pretežno) stacionarnem režimu biokemijskih procesov kontinuirne čistilne naprave. Na sliki 1 so v enakem merilu prikazane tlorisne sheme obravnavanih čistilnih naprav z enako globino bioloških reaktorjev. Prva shema prikazuje kontinuirno napravo z dvema biološkima reaktorjema in krožnima naknadnima usedalnikoma. Druga shema pred-

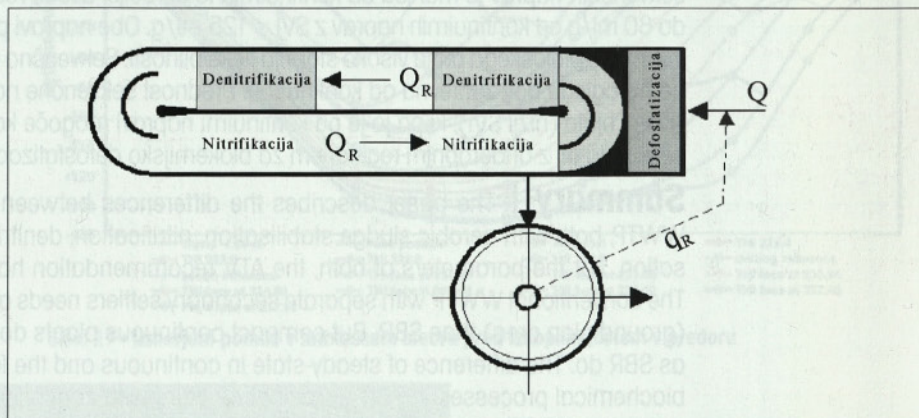


Slika 1 • Primerjava tlorisnih površin kontinuirne in sekvenčne naprave za 10.000 PE pri enaki globini reaktorjev in različnih SVI.

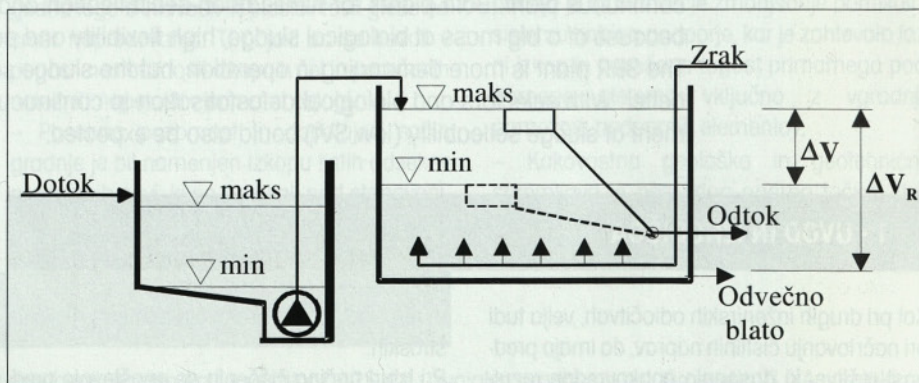
stavlja kompaktno kontinuirno napravo z naknadnima usedalnikoma v istem bloku z biološkimi reaktorji. Zadnja shema prikazuje sekvenčno napravo s tremi reaktorji.

Iz slike 1 je razvidno, da potrebujejo kontinuirne naprave z ločenimi usedalniki od sekvenčnih za ca. 30 % večjo površino. Kot sledi iz nadaljevanja, pa se po sami prostornini obe vrsti naprav le malo razlikujeta (sliki 1 in 6 ter preglednica 1). Bistveno pa se razlikujeta po načinu obratovanja in kinetiki bio-

kemijskih procesov čiščenja. Pri kontinuirnih napravah sledi biokemijska razgradnja onesnaženja v bioloških reaktorjih in sedimentacija biološkega blata v naknadnih usedalnikih dotoku odpadne vode praktično v stacionarnem režimu: $C_o \approx \text{konst.}$ Pri sekvenčni napravi pa potekata oba procesa popolnoma diskontinuirno, v izrazito nestacionarnem režimu $C_o = f(t)$. Časovni potek nitrifikacije in denitrifikacije v obeh napravah je prikazan na slikah od 2 do 5.



Slika 2 • Funkcionalna shema kontinuirne naprave

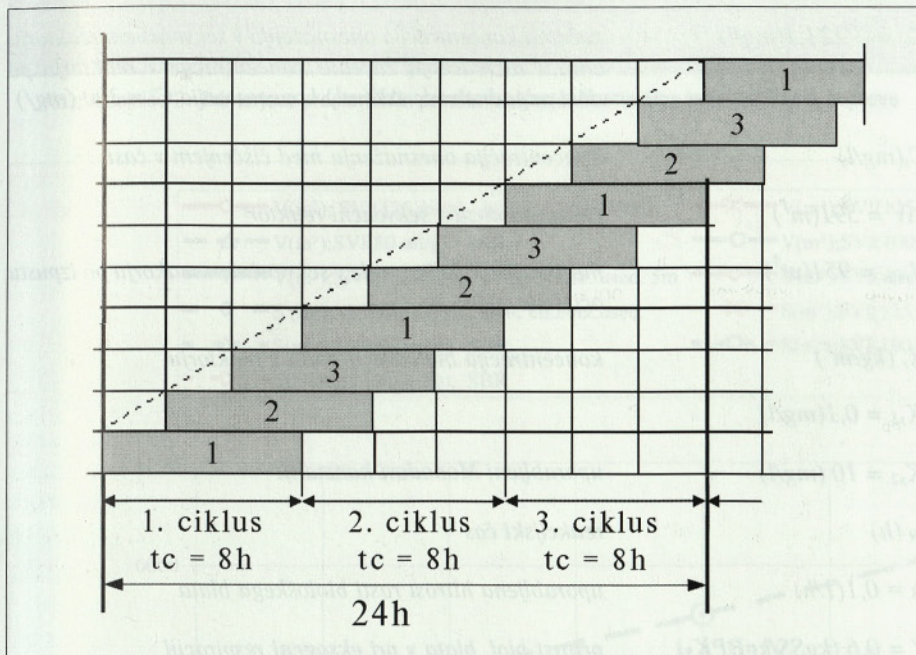


Slika 3 • Funkcionalna shema sekvenčnega reaktorja (polnitev in odtok iz reaktorja)

2 • PRIMERJAVA KINETIKE PROCESOV ČIŠČENJA OBEH ČISTILNIH NAPRAV

Kot rečeno, se v osnovi obe napravi razlikujeta po kontinuirnem in diskontinuirnem dotoku na čistilno napravo. Slika 4 prikazuje ritem delo-

vanja sekvenčne naprave (dimenzije takšne naprave so v nadaljevanju ovrednotene) s tremi reaktorji in tremi cikli polnjenja in praz-



Slika 4 • Obratovalna shema sekvenčne naprave s tremi reaktorji in tremi obratovalnimi cikli po 8 ur

Koncentracija efluenta čistilne naprave (mg/l)	Kontinuirna naprava (mg/l)	Sekvenčna naprava (mg/l)
BPK ₅	6 – 20	3 – 10
KPK	16 – 32	8 – 16
N _{tot}	1,6 – 2,0	0,8 – 1,0
P _{tot}	0,4 – 0,8	0,2 – 0,4

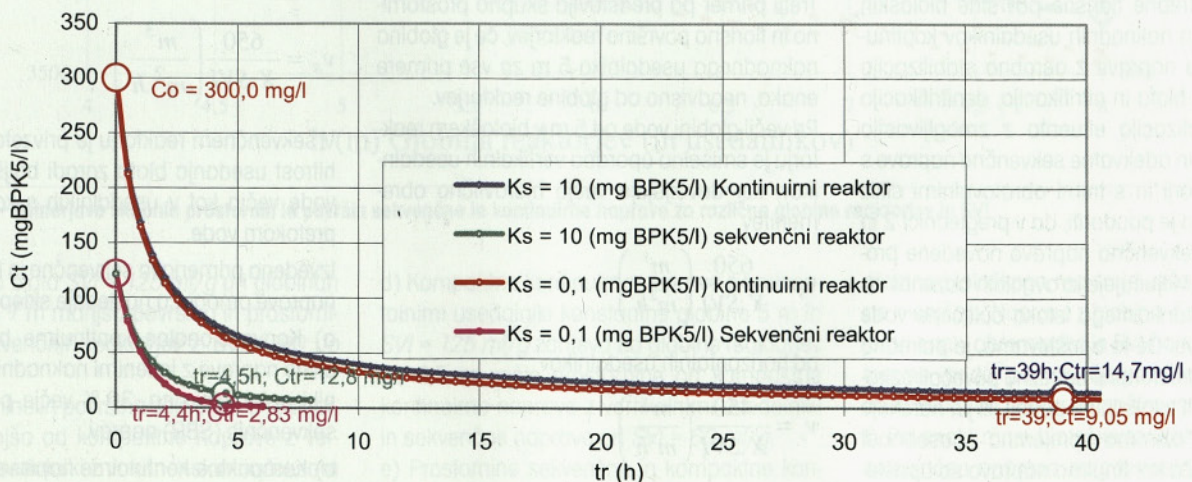
Preglednica 1 • Primerjava kakovosti efluenta sekvenčnih in kontinuirnih naprav

njenja reaktorjev v 24 urah. Iz slike 5 pa je vidna razlika v kinetiki biokemijskih procesov čiščenja med obema napravama.

Za obe napravi je prikazana odvisnost kakovosti efluenta C_e od reakcijskih časov t_R (h). Pri kontinuirni napravi je reakcijski čas podan s pretočnim časom $t_R = V_R/Q$ čiščene vode skozi reaktor. Pri sekvenčni čistilni napravi pa je $t_R = t_{cikla} - t_{polnjenja} - t_{defosvatacije} - t_{sedimentacije} - t_{praznjenja}$.

V sekvenčnem reaktorju poteka čiščenje zaradi nestacionarnega režima ($C_t \neq \text{konst.}$) mnogo hitreje kot pri stacionarnem režimu pri »konstantni« koncentraciji ($C_e \approx \text{konst.}$) v kontinuirni napravi. Slika 5 prikazuje hitrost razgradnje (biokemijskih reakcij) v kontinuirnem in v sekvenčnem reaktorju obravnavanih čistilnih naprav za dve različni vrednosti K_s , oziroma za različni lastnosti odpadne vode. Zaradi nizke koncentracije efluenta $C_e = 14,7$ mg/l poteka razgradnja BPK₅ pri kontinuirnem reaktorju 39 ur, mnogo počasneje od 4,4 ure v sekvenčnem reaktorju. Obe- nem pa je koncentracija BPK₅ v efluentu sekvenčnega reaktorja nižja od tiste v kontinuirnem reaktorju. Računski podatki o poteku in učinku čiščenja iz slike 5 se dobro ujemajo s podatki meritev, ki so prikazani v preglednici 1 (Kolarski, 1998).

V posameznem reaktorju sekvenčne naprave z reakcijskim časom $t_R = 4,4$ h se onesnaženje ene doze odpadne vode ΔV (m³) najprej razredči (glej enačbo (5)) od 300 mg/l na 121,1 mg/l, nato pa se v procesu biološkega čiščenja zniža na 12,8 mg/l oziroma na 2,83 mg/l. Pri kontinuirni napravi pa pade pri enaki starosti biološkega blata 25 dni in reakcijskem času 39 ur na 14,7 BPK₅ mg/l oziroma na 9,05 mg BPK₅/l. Iz istih razlogov kot za



Slika 5 • Primerjava hitrosti razgradnje BPK₅ v sekvenčnem in kontinuirnem reaktorju pri različnih K_s odpadne vode

BPK5 ima sekvenčna naprava tudi nekoliko boljše učinke pri nitrifikaciji amonija. Kar pa ne velja za denitrifikacijo, ki poteka praktično po kinetiki reakcij nultega reda. Pri treh reaktorjih sekvenčne naprave in treh ciklih pa je skupen reakcijski čas zaradi stacionarnega režima (pri konstantni koncentraciji BPK₅ (efluenta) devetkrat večji, 36 ur. Če upoštevamo še čas za polnjenje reaktorjev in za sedimentacijo biološkega blata pa se skupen reakcijski čas sekvenčne naprave bistveno ne razlikuje od kontinuirne naprave, kot je razvidno tudi iz preračunanih prostornin obravnavanih naprav v preglednici 1.

Za prikazani potek procesov čiščenja v obeh napravah so bile uporabljene enačbe od (5) do (11).

Za sekvenčni reaktor :

$$C_o = \frac{\Delta V \cdot C_i + V_{\min} \cdot C_e}{\Delta V + V_{\min}} \quad (5)$$

$$C_i = C_o \cdot e^{-k_r \cdot X_R} \quad (6)$$

$$K_{s1} = 0,1(\text{mg/l}) \quad (7)$$

$$\mu_t = \mu_{\max} \frac{C_{\text{tsr}}}{K_s + C_{\text{tsr}}} \quad (8)$$

$$C_{\text{tsr}} = \frac{C_{(t-1)} + C_t}{2} \quad (9)$$

in pri reaktorju kontinuirne naprave:

$$C_e = \frac{C_i}{1 + k_r X t} \quad (10) \quad k_r = \frac{\mu_{\max}}{Y} \cdot \frac{C_e}{K_s + C_e} \quad (11)$$

Pri enačbah od (5) do (11) so uporabljene naslednje vrednosti:

$C_i = 300(\text{mg/l})$ *koncentracija onesnaženja v odpadni vodi*

$C_o = 121,1(\text{mg/l})$ *začetna koncentracija onesnaženja v sekvenčnem reaktorju zaradi razredčenja začetne koncentracije v reaktorju po dozi odpadne vode $\Delta V(\text{m}^3)$ koncentracije $C_i = 300(\text{mg/l})$*

$C_t(\text{mg/l})$ *koncentracija onesnaženja med čiščenjem v času t*

$\Delta V = 591(\text{m}^3)$ *enkratna doza v sekvenčni reaktor*

$V_{\min} = 951(\text{m}^3)$ *minimalna količina vode v sekvenčnem reaktorju po izpustu očiščene vode*

$X_R(\text{kg/m}^3)$ *koncentracija biološkega blata v reaktorju*

$K_{s1} = 0,1(\text{mg/l})$

$K_{s2} = 10(\text{mg/l})$ *uporabljeni Monodovi konstanti*

$t_R(\text{h})$ *reakcijski čas*

$\mu = 0,1(1/\text{h})$ *uporabljena hitrost rasti biološkega blata*

$Y = 0,6(\text{kgSS/kgBPK}_5)$ *prirast biol. blata v pri eksogeni respiraciji*

$C_e(\text{mg/l})$ *koncentracija efluenta kontinuirne naprave*

3 • PRIMERJAVA POTREBNIH PROSTORNIN SEKVENČNE IN KONTINUIRNE NAPRAVE

V preglednici 2 in na sliki 6 so po v uvodu navedenih postopkih preračunane prostornine in potrebne tlorisne površine bioloških reaktorjev in naknadnih usedalnikov kontinuirne čistilne naprave z aerobno stabilizacijo biološkega blata in nitrifikacijo, denitrifikacijo ter defosfatizacijo efluenta z zmogljivostjo 10.000 PE in aдекватne sekvenčne naprave s tremi reaktorji in s tremi obratovalnimi cikli. Potrebno pa je poudariti, da v preglednici 2 in sliki 6 za sekvenčno napravo navedene prostornine ne vključujejo izravnalnih bazenov za izravnavo sunkovitega iztoka očiščene vode iz te naprave. Če to upoštevamo, je potrebno navedene prostornine ustrezno povečati oziroma uskladiti z lokalnimi pogoji, ki jih narekuje pretočnost oziroma sprejemna sposobnost recipienta. Za kontinuirno napravo so upoštevani trije primeri. Prva dva primera se nanašata na izvedbo kompaktne naprave z globlinami

vertikalnih in horizontalnih naknadnih usedalnikov enake globine z biološkimi reaktorji. Tretji primer pa predstavlja skupno prostornino in tlorisno površino reaktorjev, če je globina naknadnega usedalnika 5 m za vse primere enaka, neodvisno od globine reaktorjev. Pri večji globini vode od 5 m v biološkem reaktorju je smiselna uporaba vertikalnih usedalnikov, ker dovoljujejo večjo hidravlično obremenitev

$$v_s = \frac{650}{X \cdot \text{SVI}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \right)$$

od horizontalnih usedalnikov

$$v_s = \frac{450}{X \cdot \text{SVI}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \right)$$

in s tem manjšo skupno prostornino čistilne naprave.

Ker je skupna prostornina naprav odvisna tudi od volumenskega indeksa biološkega blata, je pri dimenzioniranju kontinuirne naprave upoštevan večji volumenski indeks $\text{SVI} = 125(\text{ml/g})$, pri sekvenčni napravi pa alternativno indeksi $\text{SVI} = 60 \text{ ml/g}, 80 \text{ ml/g}$ in 100 ml/g , hitrost usedanja pa

$$v_s = \frac{650}{X \cdot \text{SVI}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \right)$$

V sekvenčnem reaktorju je privzeta računsko hitrost usedanja blata zaradi boljše umiritve vode večja kot v usedalnikih s kontinuirnim pretokom vode.

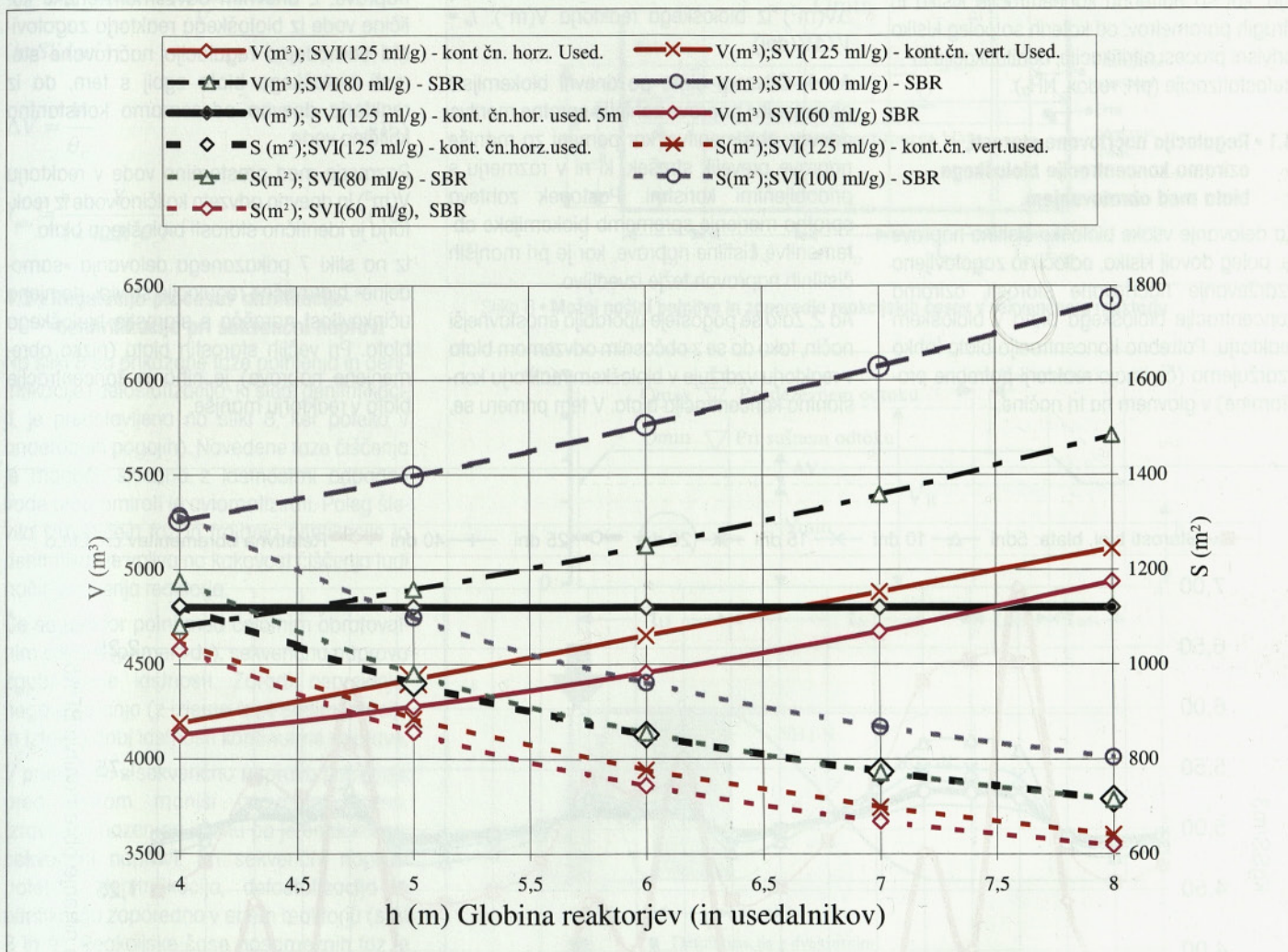
Izvedena primerjava sekvenčne in kontinuirne naprave omogoča naslednje sklepe:

a) Konvencionalne kontinuirne biološke čistilne naprave z ločenimi naknadnimi usedalniki potrebujejo ca. 30 % večje površine od sekvenčnih (SBR) naprav.

b) Kompaktne kontinuirne naprave z vertikalnimi usedalniki v istem bloku z biološkimi reaktorji potrebujejo pri volumenskem indeksu

Hreaktorja	kontinuirna č. naprava SVI = 125ml/g				sekvenčna (SBR) č. naprava			
	horizontalni usedalnik		vertikalni usedalnik		SVI = 80		SVI = 100	
	prostornina	površina	prostornina	površina	ml/g		ml/g	
(m)	V	S	V	S	V	S	V	S
	m ³	m ²	m ³	m ²	m ³	m ²	m ³	m ²
4	4492	1123	4184	1046	4283	1071	4793	1198
5	4800	960	4415	883	4444	889	4989	998
6	5108	851	4646	774	4631	772	5214	869
7	5416	774	4877	697	4850	693	5470	781
8	5724	715	5108	638	5107	638	5763	720

Razpredelnica 2 • Primerjava prostornin in površin reaktorjev kontinuirne in sekvenčne č. naprave



Slika 6 • Primerjava skupnih prostornin in površin sekvenčne in kontinuirne naprave za različne globine reaktorjev in SVI

biološkega blata $SVI = 125 \text{ ml/g}$ pri globinah od 4 m do 7 m manjšo površino in prostornino od sekvenčnih reaktorjev z $SVI = 80$ do 100 ml/g .

c) Prostornina in površina sekvenčnih reaktorjev je manjša od kompaktne naprave z vertikalnimi usedalniki z volumenskim indeksom $SVI = 125 \text{ ml/g}$ le pri volumskem indeksu blata $SVI = 60 \text{ ml/g}$.

d) Kompaktna kontinuirna naprava s horizontalnimi usedalniki konstantne globine 5 m in $SVI = 125 \text{ ml/g}$ zahteva do globine reaktorjev ca 6,5 m večje prostornine od kompaktne kontinuirne naprave z vertikalnimi usedalniki in sekvenčne naprave pri $SVI = 60 \text{ ml/g}$.

e) Prostornine sekvenčne in kompaktne kontinuirne naprave z vertikalnim usedalnikom (enake globine z biološkim reaktorjem) se z

globino biološkega reaktorja večajo, površine pa manjšajo. Naprave z globino 4 m potrebujejo pri enaki obremenitvi in SVI najmanjše prostornine vendar pa največje površine. Pri tem je za kontinuirno napravo upoštevan $SVI = 125$.

f) Pri enaki masi biološkega blata omogoča sekvenčna naprava zaradi nestacionarnega režima (slika 5, preglednica 1) nekoliko boljše eliminacijo BPK in N.

4 • REGULACIJA DELOVANJA OBRAVNAVANIH ČISTILNIH NAPRAV

Pri napravah tretje stopnje čiščenja z nitrifikacijo, denitrifikacijo in defosfatizacijo je mogoče nadzor nad delovanjem čistilne naprave ločiti na dva funkcionalna sklopa:

- Vzdrževanje potrebne starosti oziroma koncentracije biološkega blata v biološkem reaktorju.
- Vzdrževanje kemijskih parametrov čiščenja, kot so potrebna koncentracija kisika in drugih parametrov, od katerih so poleg kisika odvisni procesi nitrifikacije, denitrifikacije in defosfatizacije (pH, redox, NH₃).

4.1 • Regulacija načrtovane starosti, oziroma koncentracije biološkega blata med obratovanjem.

Za delovanje vsake biološke čistilne naprave je, poleg dovolj kisika, odločilno zagotovljeno vzdrževanje načrtovane starosti, oziroma koncentracije biološkega blata v biološkem reaktorju. Potrebno koncentracijo blata lahko vzdržujemo (če imajo reaktorji potrebne prostornine) v glavnem na tri načine:

1. Z dnevnim odvzemom odvečnega blata skladno z dnevnimi obremenitvami čistilne naprave
2. Vzdrževanje konstante koncentracije blata v reaktorju neodvisno od obremenitve čistilne naprave.
3. Vzdrževanja načrtovane starosti blata z dnevnim odvzemom enake količine vode $\Delta V(m^3)$ iz biološkega reaktorja $V(m^3)$: $t_b = V/\Delta V(\text{dni})$.

Ad 1. Odvzem blata po dnevni biokemijski obremenitvi naprave zahteva sprotne meritve dnevne obremenitve, kar pomeni za manjše naprave prevelik strošek, ki ni v razmerju s pridobljenimi koristmi. Postopek zahteva sprotne merjenje sprememb biokemijske obremenitve čistilne naprave, kar je pri manjših čistilnih napravah težje izvedljivo.

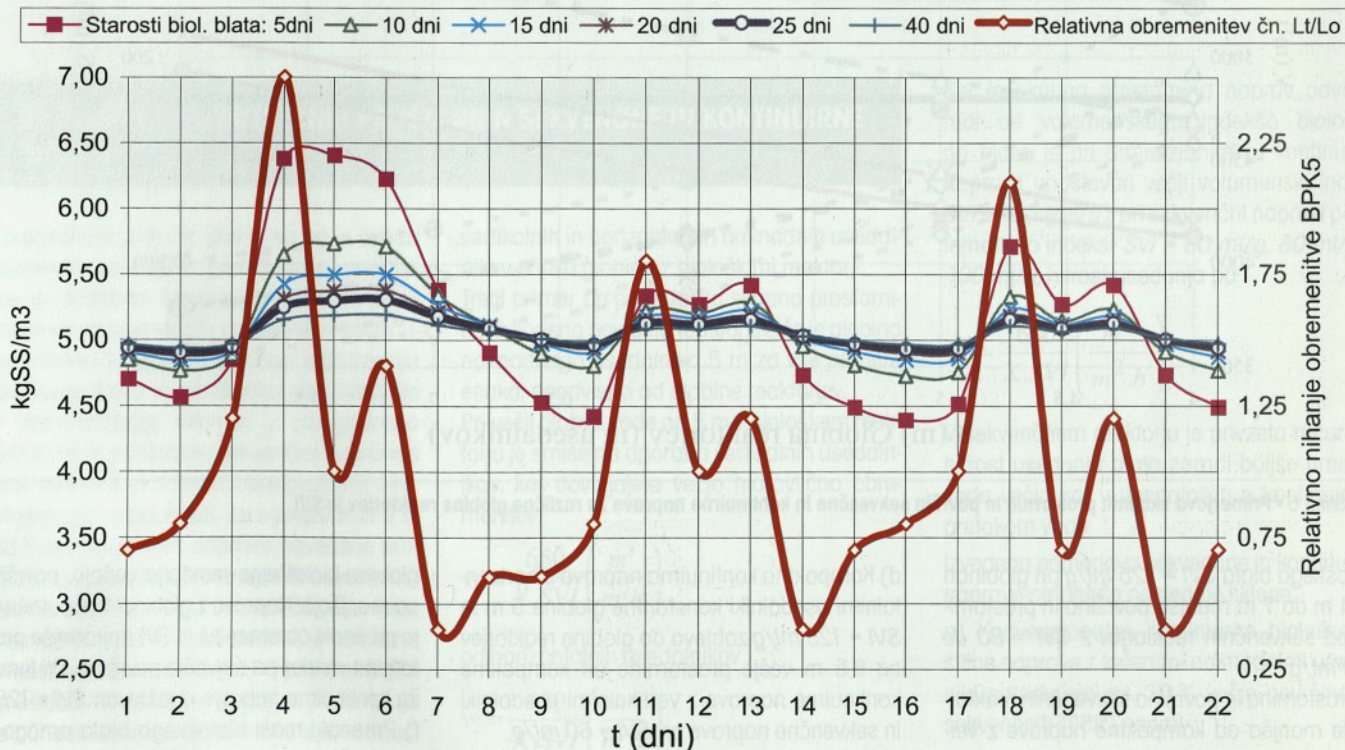
Ad 2. Zato se pogosteje uporablja enostavnejši način, tako da se z občasnim odvzemom blata v reaktorju vzdržuje v biološkem reaktorju konstantna koncentracija blata. V tem primeru se,

odvisno od vsakodnevne obremenitve čistilne naprave, menja obremenitev in starost blata.

Ad3. Srednjo pot med postopkoma 1 in 2 predstavlja »hidravlična« ali »volumenska« regulacija starosti in s tem tudi obremenitve blata v biološkem reaktorju, ki odpravlja potrebo po tekočih meritvah biokemijske obremenitve čistilne naprave in sprotne dnevne spreminjanju odvzetih količin odvečnega blata. Postopek je posebej primeren za obravnavane nizko obremenjene kontinuirne in sekvenčne čistilne naprave. Z dnevnim odvzemom enake količine vode iz biološkega reaktorja zagotovimo samodejno regulacijo načrtovane starosti biološkega blata zgolj s tem, da iz reaktorja dnevno odvezemamo konstantno količino vode.

Razmerje med prostornino vode v reaktorju $V(m^3)$ in dnevno odvzeto količino vode iz reaktorja je identično starosti biološkega blata.

Iz na sliki 7 prikazanega delovanja »samodejne« hidravlične regulacije se vidi, da njena učinkovitost narašča s starostjo biološkega blata. Pri večjih starostih blata (nizko obremenjene naprave) je nihanje koncentracije blata v reaktorju manjše.



Slika 7 • Samoregulacijska sposobnost kontinuirne čistilne naprave s simultano nitrifikacijo in denitrifikacijo

Podatki na sliki 7 so izračunani za $dX = 0,1\text{g/l}$, kar pomeni v efluentu čistilne naprave pri indeksu blata $SVI = 100\text{ ml/g } 10\text{ ml/l}$.

Delovanje takšne samoregulacije je opisano z enačbami:

$$X_o = \frac{W_o}{V} \rightarrow W_o = \frac{L_o}{L_{so}} \quad (12)$$

$$\Delta V = \frac{V}{\theta_c} (m^3/d) \quad (13)$$

$$X_{Tn} = X_o + \frac{Y_{obs} \cdot L_T - \Delta V \cdot X_{T(n-1)}}{V} \quad (14)$$

(kgSS / m³)

$$\Delta V = \frac{V}{\theta_c} \quad (15)$$

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + kdX_n/\theta_c F} \quad (16)$$

4.2 • Regulacija procesov nitrifikacije-denitrifikacije pri sekvenčni napravi

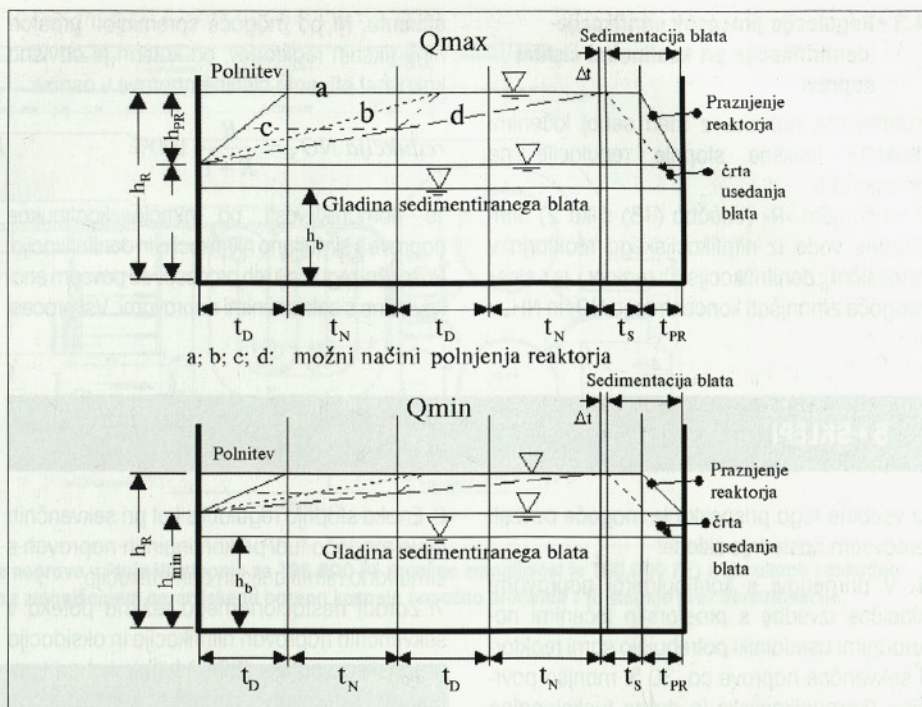
Na sliki 8 so prikazane faze polnjenja in denitrifikacije (defosfatizacija, ki sledi denitrifikaciji, je predstavljena na sliki 8, ker poteka v anaerobnih pogojih). Navedene faze čiščenja je mogoče skladno z lastnostmi odpadne vode programirati in avtomatizirati. Poleg števila izmeničnih faz in trajanja nitrifikacije in denitrifikacije vpliva na kakovost čiščenja tudi način polnjenja reaktorja.

Če se reaktor polni med celotnim obratovalnim ciklom (primer »d«), sekvenčna naprava zgubi svoje lastnosti. Zaradi neprekinjenega doziranja (z izjemo faze sedimentacije in iztoka) dobi lastnosti kontinuirne naprave.

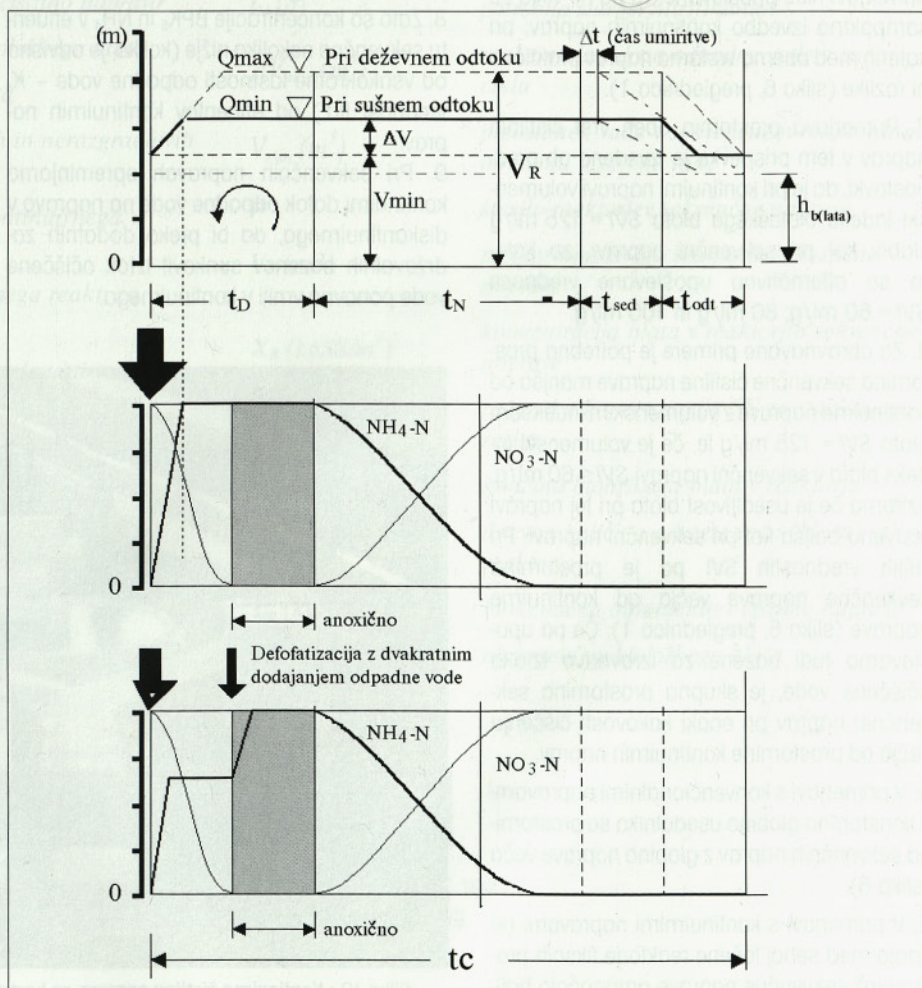
V primerjavi s sekvenčno napravo potrebuje pred vtokom manjši izravnalni bazen. Izravnalni bazen na iztoku pa je enak kot pri sekvenčni napravi. Pri sekvenčni napravi potekajo denitrifikacija, defosfatizacija in nitrifikacija zaporedno v enem reaktorju (sliki 8 in 9). Reakcijske čase posameznih faz je mogoče s krmilnim sistemom prilagajati spremembam razmerja N/BPK_5 in P/BPK_5 v odpadni vodi.

S spreminjanjem števila doz »D« odpadne vode (glej sliko 9) v posamezne reaktorje med enim obratovalnim ciklom pa lahko, kot kaže enačba (17) kakovost efluenta dodatno izboljšamo oziroma manjšamo koncentracijo NO_3 , NH_4 :

$$NO_{3-Ne} = NH_{4-N_{Nit}} \cdot \frac{fa}{"D"} \quad (17)$$



Slika 8 • Možni načini polnitve in zaporedje reakcijskih časov v sekvenčnem reaktorju



Slika 9 • Obratovalne faze sekvenčne čistilne naprave

4.3 • Regulacija procesov nitrifikacije-denitrifikacije pri kontinuirni čistilni napravi

Kontinuirne naprave z med seboj ločenimi reaktorji tolikšne stopnje regulacije ne omogočajo.

Z vračanjem »R« (enačba (18) slika 2) nitrificirane vode iz nitrifikacijskega reaktorja v anoksični denitrifikacijski reaktor je sicer mogoče zmanjšati koncentracijo NO_3 in NH_4 v

efluentu. Ni pa mogoče spreminjati prostornine fiksnih reaktorjev, od katerih je odvisna kakovost efluenta čistilne naprave v osnovi.

$$\text{redukcija } \text{NO}_3 = \frac{R}{R+1} \cdot 100\%$$

Te pomanjkljivosti pa nimajo kontinuirne naprave s simultano nitrifikacijo in denitrifikacijo. Po možni regulaciji teh procesov so povsem enakovredne s sekvenčnimi napravami. Vsi procesi

čiščenja, enako kot pri sekvenčnem reaktorju, potekajo v enem reaktorju. Enako kot pri sekvenčnem reaktorju prostornine za nitrifikaci-

$$R = \frac{Q_R + q_R}{Q} \quad (18)$$

jo, denitrifikacijo med sabo niso razmejene. Zaradi mnogo višjega razmerja $R > 10$ krožeče vode v reaktorju pa je mogoče koncentracijo NO_3 , NH_4 znižati na minimalnih vrednosti 1 mg/l.

5 • SKLEPI

Iz vsebine tega prispevka je mogoče povzeti predvsem naslednje sklepe:

1. V primerjavi s kontinuirnimi napravami klasične izvedbe s prostorsko ločenimi naknadnimi usedalniki potrebujejo sami reaktorji sekvenčne naprave ca. 30 % manjšo površino (komunikacijske in druge funkcionalne površine, ki jih vsaka naprava potrebuje v tej primerjavi niso upoštevane. To pa ne velja za kompaktno izvedbo kontinuirnih naprav, pri katerih med obema vrstama naprav praktično ni razlike (slika 6, preglednica 1).

2. Primerjava prostornin obeh vrst čistilnih naprav v tem prispevku je izvedena ob predpostavki, da je pri kontinuirni napravi volumenski indeks biološkega blata $SVI = 125 \text{ ml/g}$ slabši kot pri sekvenčni napravi, za katero so alternativno upoštevane vrednosti $SVI = 60 \text{ ml/g}$; 80 ml/g in 100 ml/g .

3. Za obravnavane primere je potrebna prostornina sekvenčne čistilne naprave manjša od kontinuirne naprave z volumenskim indeksom blata $SVI = 125 \text{ ml/g}$ le, če je volumenski indeks blata v sekvenčni napravi $SVI \leq 60 \text{ ml/g}$, oziroma če je usedljivost blata pri tej napravi bistveno boljša kot pri sekvenčni napravi. Pri višjih vrednostih SVI pa je prostornina sekvenčne naprave večja od kontinuirne naprave (slika 6, preglednica 1). Če pa upoštevamo tudi bazene za izravnavo iztoka očiščene vode, je skupna prostornina sekvenčnih naprav pri enaki kakovosti čiščenja večja od prostornine kontinuirnih naprav.

4. V primerjavi s konvencionalnimi napravami s konstantno globino usedalnika se prostornina sekvenčnih naprav z globino naprave večja (slika 6).

5. V primerjavi s kontinuirnimi napravami (ki imajo med seboj ločene reaktorje fiksnih prostornin) sekvenčne naprave omogočajo boljše regulacijo nitrifikacije in denitrifikacije.

6. Enaka stopnja regulacije kot pri sekvenčnih pa je mogoča tudi pri kontinuirnih napravah s simultano nitrifikacijo in denitrifikacijo.

7. Zaradi nestacionarnega režima poteka v sekvenčnih napravah nitrifikacija in oksidacija organskega ogljika (BPK_5) hitreje kot pri kontinuirnih napravah s simultano nitrifikacijo in denitrifikacijo. Procesi denitrifikacije pa zaradi praktično nultega reda reakcije enako hitro.

8. Zato so koncentracije BPK_5 in NH_4 v efluentu sekvenčne nekoliko nižje (koliko, je odvisno od vsakokratne lastnosti odpadne vode – K_s vrednost itd.) od efluentov kontinuirnih naprav.

9. Pri sekvenčnih napravah spreminjamo kontinuirni dotok odpadne vode na napravo v diskontinuirnega, da bi preko dodatnih zadrževalnih bazenov sunkovit iztok očiščene vode ponovno vrnili v kontinuirnega.

10. Diskontinuirni pogon in vzdrževanje sekvenčne čistilne naprave sta zahtevnejša od enostavnejšega pogona kontinuirne naprave.

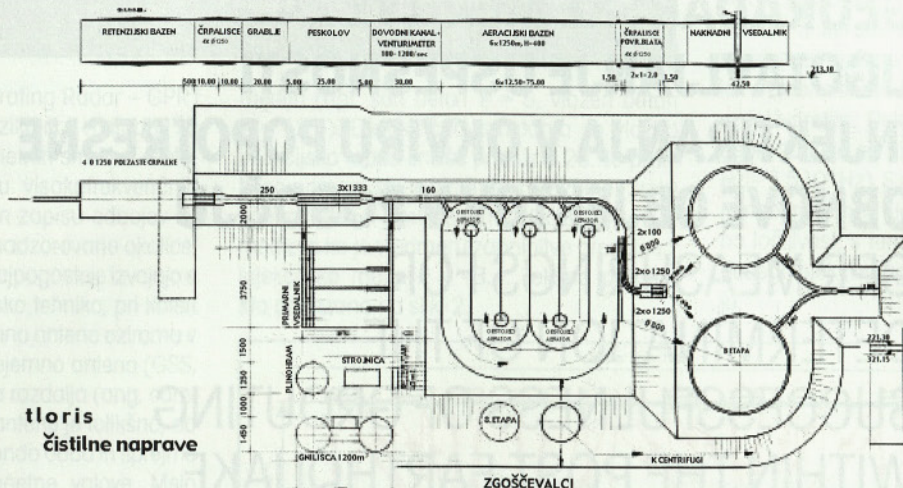
11. Opisana primerjava kaže, da so sekvenčne naprave primerne predvsem za čiščenje odpadnih voda z diskontinuirnim dotokom, največkrat v industriji s šaržnim izpuščanjem odpadnih voda.

12. Kontinuirne naprave s simultano stabilizacijo, nitrifikacijo in denitrifikacijo, ki so bile zgrajene v Sloveniji že pred več kot 20 leti (sliki 10 in 11), dokazujejo svojo učinkovitost in enostavnost v obratovanju.

Pri pred kratkim dograjenih največjih čistilnih napravah v Celju in Mariboru je uporabljena tehnologija kontinuirnih naprav s simultano nitrifikacijo in denitrifikacijo.



Slika 10 • Kontinuirna čistilna naprava za komunalne odpadne vode v Dobrni s simultano nitrifikacijo in denitrifikacijo (1983)



Slika 11 • Leta 1979 je bila zgrajena I. faza čistilne naprave v Ptujih III. stopnje za 105.000 PE (končna zmogljivost je 160.000 PE) s simultano kaskadno denitrifikacijo-denitrifikacijo. Napravo so z zmanjšanjem aeracijskega bazena kasneje napačno predelali v II. stopnjo brez denitrifikacije.

6 • POMEN OZNAK

Q_{max} (m^3/h)	maksimalni dotok na čistilno napravo	t_N (d)	potrebna starost nitrifikantov
ΔW (kgSS/d)	dnevna proizvodnja biološkega blata	ΔV_{max} (m^3)	maksimalna doza odpadne vode v enem ciklu
$F = 1,072 \cdot 10^{(T-15)}$	Arrheniusova konstanta	V_{min} (m^3)	preostanek vode v sekvenčnem reaktorju po odvzemu očiščene vode
SS_o (kgSSo/ m^3)	koncentracija netopnih in nerazgradljivih snovi v odpadni vodi	n	število reaktorjev sekvenčne naprave
V_{tot} (m^3)	skupna prostornina kontinuirnega biološkega reaktorja	V_R (m^3)	prostornina enega reaktorja sekvenčne naprave
V_D (m^3)	prostornina kontinuirnega reakt. za denitrifikacijo	X_R (kgSS/ m^3)	koncentracija blata v reaktorjih sekvenčne naprave
C_{BPK5} (mgBPK ₅ /l)	koncentracija BPK ₅ v odpadni vodi	X_o (kgSS/ m^3)	računska koncentracija SS za stacionarni režim
X_{BB} (kgSS/ m^3)	koncentracija biološkega blata v kontinuirni čistilni napravi	W (kgSS)	količina biološkega blata v reaktorju
OC (kgO ₂ /kgBPK ₅)	poraba kisika za oksidacijoBPK ₅	ΔV (m^3/d)	dnevna količina odvzete vode (blata) iz reaktorja
θ_c (d)	starost biološkega blata	L_o (kgBPK ₅ /dan)	biokemična obremenitev čistilne naprave
t_C (h)	trajanje cikla pri sekvenčni čistilni napravi	L_{so} (kgBPK ₅ /kgSS)	obremenitev biološkega blata
t_R (h)	reakcijski čas enega cikla sekvenčne čistilne naprave		

7 • LITERATURA

- ATV, Handbuch, Biologische und weitergehende Abwasserreinigung, 4. izdaja, Ernst und Sohn, 1997.
 Imhoff, Ka. in Kl. R., Taschenbuch der Stadtentwässerung, 29. izdaja, R. Oldenburg Verlag, 1999.
 Kolarski, R., Cyklar Abwassertechnik, Handbuch des SBR – Verfahrens, 3. izdaja, 1998.

GEORADARSKE MERITVE ZA UGOTAVLJANJE USPEŠNOSTI INJEKTIRANJA V OKVIRU POPOTRESNE OBNOVE OBJEKTOV V POSOČJU

GPR MEASUREMENTS FOR DETERMINATION OF THE SUCCESSFULNESS OF GROUTING WITHIN THE POST-EARTHQUAKE RECONSTRUCTION OF THE BUILDINGS IN THE POSOČJE REGION

**Milan Živanović, univ. dipl. inž. geofiz.,
dr. Blaž Dolinšek, univ. dipl. inž. grad.,**

Gradbeni Inštitut ZRMK d.o.o, Dimičeva 12,
1000 Ljubljana

Strokovni članek

UDK 624.131.55 : 550.83 : 699.841

Povzetek | Georadar predstavlja preverjeno nedestruktivno mersko tehniko za preiskave naravnih in umetnih medijev debeline od nekaj centimetrov do nekaj deset metrov. Z georadarjem se uspešno prodre v preiskovani medij (npr. konstrukcijski elementi objekta), prikažejo se lege in debeline plasti, položaji razpok in praznin v posameznih elementih. Georadarske meritve so učinkovit nedestruktivni postopek za izvajanje preiskav stanja konstrukcij ter usmerjanje destruktivnih posegov. Z njimi je možno ugotavljati tudi uspešnost sanacijskih ukrepov. V okviru popotresne obnove v Posočju smo s pomočjo georadarskih meritev ugotavljali uspešnost injektiranja kamnitih zidov. Na širšem območju Posočja je bilo izvedeno več kot 100 georadarskih meritev objektov z namenom, da se preveri uspešnost injektiranja saniranih kamnitih stavb. V prispevku so predstavljene teoretične osnove postopka ter rezultati meritev.

Summary | Ground Penetrating Radar (GPR) is a verified non-destructive measuring technique for the examination of natural and artificial mediums with a depth ranging from some centimetres to some ten metres. The GPR successfully penetrates into the examined medium (for example into constructional elements of a building) to detect and demonstrate the positions of layers, cracks, and voids. GPR is an effective non-destructive method for research of the actual conditions of constructions, and for directing and planning the destructive interventions. Using the GPR method, one can determine the successfulness of reconstruction measures. Within the scope of the post-earthquake reconstruction of the Posočje region, the GPR method was used to assess the successfulness of grouting of masonry stone walls. More than one hundred GPR measurement cycles were carried out on buildings in the wider Posočje area. The paper presents the theoretical basis of the method and the results of the field work.

1 • SPLOŠNO

Georadar (Ground Penetrating Radar – GPR) je nedestruktivna geofizikalna metoda za raziskavo naravnih in umetnih struktur. Metoda temelji na oddajanju visokofrekvenčnih elektromagnetnih valov in zapisu odbojev letih iz bližnje prostorsko nadzorovane okolice. Georadarske meritve se najpogosteje izvajajo s klasično refleksijsko mersko tehniko, pri kateri je med oddajno in sprejemno anteno oziroma v tem primeru oddajno-sprejemno anteno (GSS, 2001) kratka medsebojna razdalja (ang. common offset). Zmogljivost antene je tolikšna, da več kot dvestokrat na sekundo odda in sprejme nazaj odbite elektromagnetne valove. Mejo med dvema medijema, ki se razlikujeta po različni hitrosti širjenja elektromagnetnih valov ter po dielektrični konstanti, je možno ugotoviti s pomočjo zakonov valovne fizike. Ko oddani elektromagnetni signal doseže elektromagnetno mejo, se del energije odbije in registrira s sprejemno anteno, del pa nadaljuje širjenje skozi medij do naslednje elektromagnetne meje, kjer se ponovno del energije odbije in registrira (slika 1). Količina odbite energije je odvisna od elektromagnetnih lastnosti medijev in posredno številčno predstavlja EM Fresnelov koeficient refleksije (R). Koeficient refleksije (R) in koeficient transmisije (T) je možno izračunati po enačbah (Fisher, 1996):

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_1}} \quad (1a)$$

$$R = \frac{S_2 - S_1}{S_2 + S_1} \quad (1b)$$

$$T = \frac{2S_1}{S_1 + S_2} \quad (1c)$$

pri tem je:

ϵ_1 in ϵ_2 relativna dielektrična konstanta medijev,

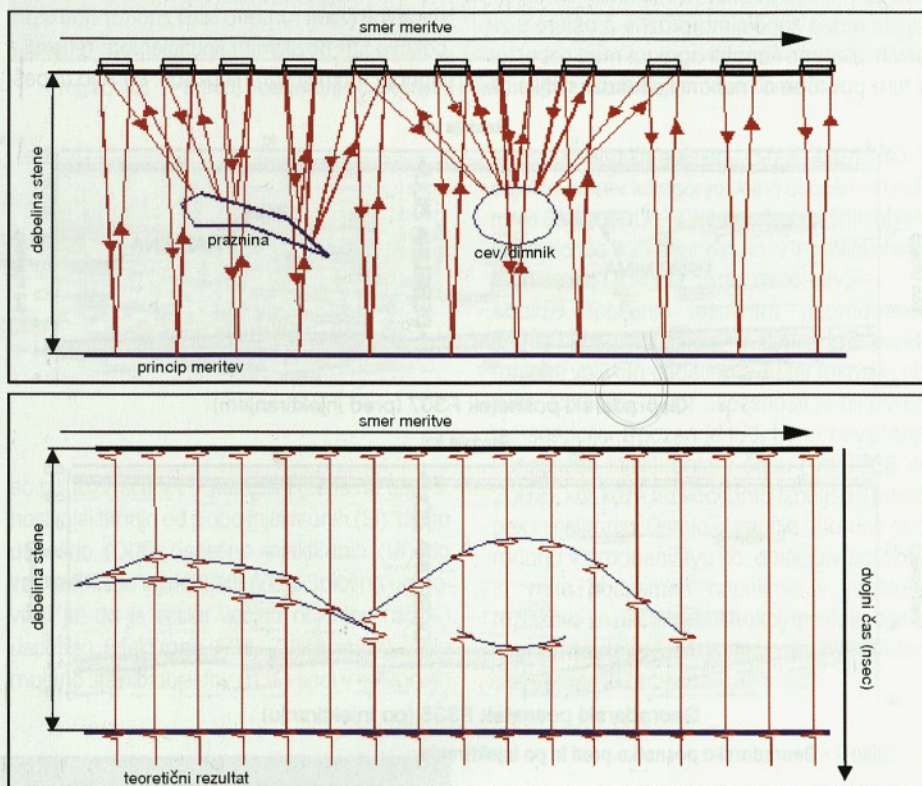
$S_1 + S_2$ pa "počasnost" oz. recipročna vrednost hitrosti valovanja (v) in je enaka (Annan, 2003), (Fisher, 1996):

$$v = S^{-1} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad (2)$$

Potrebno je poudariti, da se enačba (1) nekoliko razlikuje od enačbe za koeficient refleksije v optiki ali akustični fiziki. Enačba je namreč prilagojena georadarski metodi. Dielektrična konstanta za zrak znaša 1, za vodo 81, medtem ko je za večino gradbenega materiala (naravni kamen, beton, opeka) dielektrična konstanta v intervalu od 5 do 18. Pri tem je potrebno poudariti, da prisotnost vode zvišuje dielektrično konstanto v istem

mediju (npr. suh beton $\epsilon = 5$, vlažen beton $\epsilon = 12,5$). Dielektrična konstanta za vlažno injekcijsko maso znaša približno 25. To praktično pomeni, da je v primeru praznine (zrak) znotraj stene koeficient refleksije $R \approx +0,5$, medtem ko je v primeru zapolnitve praznine z injekcijsko maso $R \approx -3,4$. Takšna primera sta prikazana na sliki 2.

signal, kar povečuje zanesljivost merskih podatkov. S spreminjanjem položaja oddajno-sprejemne antene se zgradi zvezni profil s kontrolirano enako gostoto zapisanih signalov vzdolž profila. Delovno frekvenčno območje georadarja je od 25 MHz do 1,5 GHz ($25 \cdot 10^6$ Hz – $1,5 \cdot 10^9$ Hz). S povečanjem oddajno-sprejemne frekvence signala se povečuje vertikalna ločljivost, s tem pa se zmanjšuje globina dosega elektromagnetnih valov v istem mediju.



Slika 1 • Princip dela georadarja

Prazna votlina ali razpoka znotraj stene, zidu ali hribine predstavlja idealen elektromagnetni medij brez dušenja signala ($\epsilon = 1$, $v = 0,3$ m/nsec) v primerjavi s trdo kamnino ($\epsilon = 5-9$, $v \approx 0,13-0,10$ m/nsec). Zato se praznina ali razpoka (zrak) znotraj stene, zidu ali hribine izrazito elektromagnetno razlikuje od trde kamnine in predstavlja ostro elektromagnetno anomalijo, kar omogoča zanesljivo ugotovitev njene lege znotraj stene. Z injekcijsko maso zapolnjena votlina predstavlja po drugi strani ostro elektromagnetno anomalijo z močnim dušenjem elektromagnetnih valov in izraženim zmanjšanjem hitrosti širjenja elektromagnetnega valovanja ($\epsilon = 25$, $v \approx 0,06$ m/nsec).

S tehničnega vidika georadarski inštrument sešteje 4, 8 ali 16 zaporednih oddanih oziroma odbitih impulzov in jih zapiše kot en

Vertikalna ločljivost je najmanjša vertikalna oddaljenost, na kateri je možno dva georadarska odboja obravnavati kot dve ločeni georadarski meji. Merjeni parameter pri georadarskih meritvah je dvojni čas potovanja vala, izražen v nanosekundah (10^{-9} s). S poznavanjem in/ali s postopki obdelave podatkov pridobljenih hitrosti širjenja elektromagnetnega valovanja skozi medij ali medije se časovni merski profili pretvorijo v globinske sekcije. Georadarske raziskave se uporabljajo za reševanje različnih nalog. Značilnosti georadarske metode, ki so pripomogle k njeni uveljavitvi, so: nedestruktivnost, "in situ" meritve, neomejen pristop in ponovljivost meritev, primerjava merskih podatkov na istih merskih mestih (opazovanje), zveznost in prostornost zajema podatkov in sledenje spreminjanja elektromagnetnih (fizikalnih) parametrov v istem mediju.

2 • GEORADARSKI REZULTATI NA SANIRANIH OBJEKTIH V POSOČJU

V nadaljevanju so predstavljeni nekateri georadarski posnetki in razlage ugotovitev.

2.1 • Injektiranje konstrukcijskih elementov – usmerjanje in racionalizacija ter kontrola uspešnosti

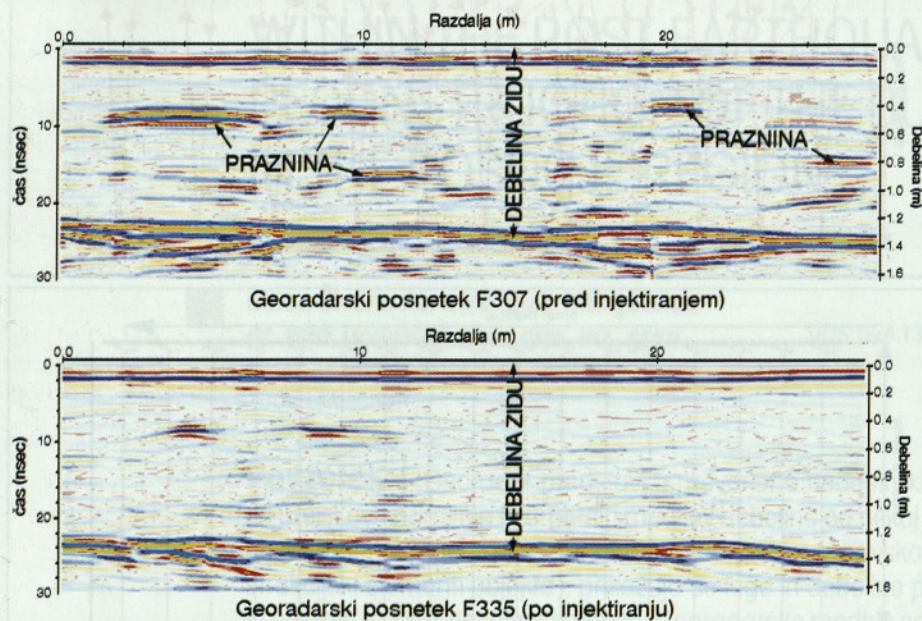
Injektiranje kamnitih zidov je učinkovit postopek za njihovo utrditev. Z vtiskavanjem injekcijske mase zapolnimo prazne prostore v zidovih, zlepimo kamniti agregat med seboj ter s tem povečamo mehanske karakteristike zi-

trala uspešnosti injektiranja je bila do sedaj otežena, saj je zahtevala destruktivne posege v zidove. Z georadarjem pa lahko zelo enostavno preverimo zapolnjenost zidov po injektiranju. Na sliki 2 so prikazane meritve pred in po injektiranju zida zvonika cerkve sv. Janeza Krstnika v Bohinju. Na georadarskem posnetku se pred injektiranjem jasno vidijo praznine (zrak-rumena lisa) znotraj zidu s pričakovanim pozitivnim koeficientom refleksije signala na meji kamnina-zrak. Po zelo uspeš-

nem injektiranju se na mestih večjih praznin vidijo modre lise, ki potrjujejo zapolnitev praznin z injekcijsko maso z negativnim koeficientom odboja na meji kamnina-injekcijska masa. Horizontalna elektromagnetna meja v globini 1,3 m predstavlja debelino zidu in je jasno vidna na obeh georadarskih posnetkih. Kadar elektromagnetni val prodre skozi celotno debelino zidu, doseže namreč ostro elektromagnetno mejo na zunanji strani (zid-zrak) in se na tej meji odbije ter registrira kot močan elektromagnetni odboj.

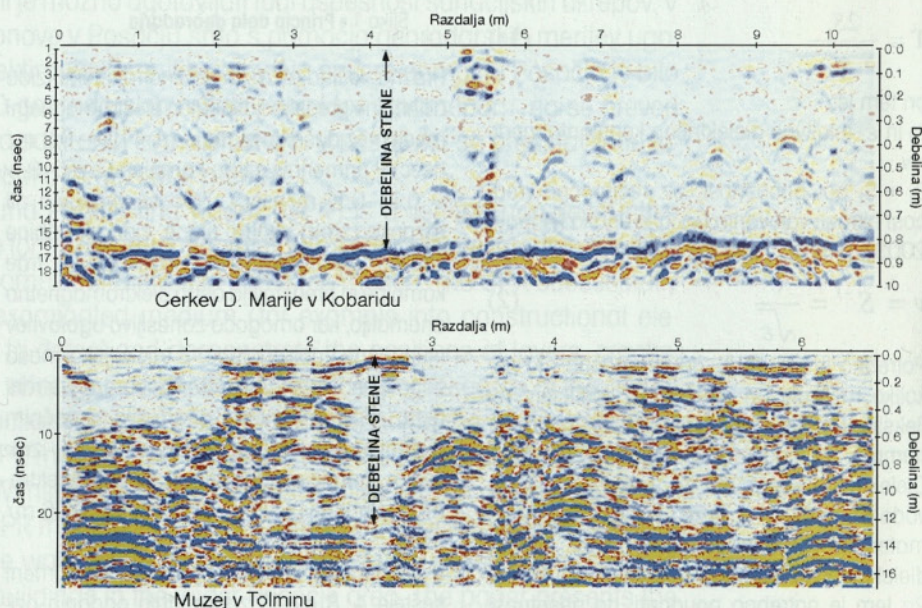
2.2 • Ocena stanja konstrukcijskih elementov

Z georadarskimi meritvami se hitro in zanesljivo presvetlijo konstrukcijski elementi in poda ocena njihovega stanja. Kot zglada sta na sliki 3 prikazana primer zelo uspešno injektirane stene in primer neinjektirane stene. Na zelo uspešno injektirani steni (cerkev M. Device v Kobaridu) elektromagnetnih odbojev skoraj ni, razen jasno vidne horizontalne meje, ki ustreza debelini stene 0,8 m (meja notranja stran stene-zrak). Georadarski posnetek, izmerjen na neinjektirani steni stavbe muzeja v Tolminu, pa nasprotno kaže na sem in tja (katično) razporejene elektromagnetne odboje (rumene lise) na celotni merski globini. Odboji, ki so plitvejši od debeline stene (1,2 m), predstavljajo praznine znotraj stene. Odboji, ki so navidezno globlji od dane debeline stene, predstavljajo kaotične odboje iz prostora objekta. Elektromagnetno valovanje namreč



Slika 2 • Georadarska posnetka pred in po injektiranju

dov. Injektiranje je tem bolj uspešno, čim bolj uspemo z injekcijsko maso zapolniti votline znotraj elementa. Pri idealnem injektiranju so vse votline zapolnjene z injekcijsko maso. Injektiranje je zahteven sanacijski postopek, ki zahteva precej izkušenj izvajalcev. Prilagoditi se je potrebno strukturi zidov in votline čim bolj zapolniti, hkrati pa paziti, da med injektiranjem ne nastane škoda. Lahko pride namreč do preboja injekcijske mase, zalitja instalacijskih in dimniških vodov, kanalizacij, odtekanja mase v zemljo, celo porušitve zidov zaradi prevelikega pritiska in v primeru kulturnih spomenikov do poškodb na freskah. Georadar predstavlja idealno orodje, s katerim se že pred posegom ugotovi stanje zapolnjenosti zidov in območja večjih votlin znotraj njih, s čimer se usmerja in racionalizira obseg injektiranja. Prav tako se z georadarjem lahko določijo položaji odprtih (npr. dimnika), ki se jim je pri posegu potrebno izogniti. Tudi kon-



Slika 3 • Ocena stanja konstrukcijskega elementa

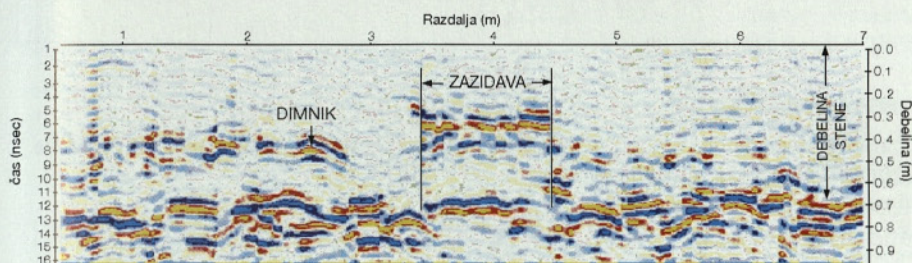
nadaljuje širjenje skozi notranje prostore, kadar doseže mejo notranja/zunanja stran stene-zrak. Zato pomenijo vsi odboji, ki so navidezno globlji od te meje, nepomembne motnje.

2.3 • Določitev položaja zazidav in/ali odprtin

Z georadarskimi meritvami se lahko hitro, učinkovito in dovolj natančno določijo položaji zazidav in/ali odprtin (dimnik, cev) znotraj stene. Na sliki 4 se jasno vidi lega dimnika znotraj stene ter položaj zazidave (niša z notranje stran stene).

Oznaka	Ocena	Kratek opis	Št. obj.	Izroč. (%)
SI-DUI	2-2.5	Veliko število odbojev na celotnem območju preiskane stene	4	4
DUI	3	Večje število odbojev ali območja uspešnega in neuspešnega injektiranja	8	8
DUI-UI	3.5	Posamezni odboji ali območja različne uspešnosti injektiranja	22	22
UI	4	Redki posamezni majhni odboji	33	34
UI-ZUI	4.5	Zelo redki, medsebojno nepovezani kratki odboji	17	17
ZUI	5	Odbojev (praznin) praktično ni	14	14
NI	-	Objekt NI injektiran		
DI	-	Delno injektiran objekt		

Preglednica 1 • Kriterij ocenjevanja uspešnosti injektiranja in rezultati georadarskih meritev



Slika 4 • Položaj odprtine in zazidave

2.4 • Ugotovitve na podlagi georadarskih meritev

Na podlagi rezultatov obdelave georadarskih meritev, izvedenih na vseh 98 injektiranih objektih, je bil narejen kriterij ocenjevanja uspešnosti (preglednica 1). Vsi obravnavani objekti

so bili razvrščeni v 7 kategorij glede na uspešnost injektiranja od slabo injektiranih (SI), delno uspešno (DUI), uspešno injektiranih (UI) do zelo uspešno injektiranih (ZUI). Splošna ugotovitev je, da je velika večina objektov (65 %) uspešno injektirana (ZUI, ZUI-UI in UI). Zelo majhno število objektov (5 %) sodi v kategorijo

slabo injektiranih objektov (SI). Približno 30 % objektov sodi v kategorijo delno uspešno injektiranje (DUI, UI-DUI). V veliki večini takšnih objektov je slabša zapolnjenost zidov v okolici obstoječih odprtin (dimnik, okno, vrata, cev).

Analiza dobljenih rezultatov georadarskih meritev je pokazala, da na uspešnost injektiranja ni vplivala debelina zidu ter lokacija objekta. Odločilni faktor uspešnosti je bil izvajalec sanacije. Opazen je tudi trend povečanja uspešnosti injektiranja v času (od 1998 do 2002), kar kaže na sčasoma izboljššan postopek injektiranja. Ostala območja uporabe georadarja v gradbeništvu so: določitev položaja in vrste podzemne napeljave v prostoru, raziskave voziščnih konstrukcij in intakne podlage na cestah ter raziskave v tunelih (betonske obloge in hribine okoli tunela).

3 • SKLEP

Injektiranje objektov po sistemu ZRMK (injektiranje pod nizkim pritiskom), ki je bilo implicirano na zidanih kamnitih objektih, se je po

rezultatih georadarskih preiskav pokazalo kot uspešen način zapolnitve zidov z injekcijsko maso. Jasno ugotovljene razlike na georadar-

skih posnetkih med uspešno injektiranimi in neinjektiranimi stenami ter meritve vzdolž iste merske črte pred in po injektiranju potrjujejo, da je s pravilnim injektiranjem možno dokaj dobro zapolniti praznine v kamnitih zidovih.

4 • REFERENCE

- Annan, A. P., Ground Penetrating Radar Principles, Procedures&Applications. Sensor & Software Inc., Mississauga, ON L4W 2X8, Canada, 2003.
 Fisher, S., Steward, R., Jol, H., Ground Penetrating Radar (GPR) Data Enhancement Using Seismic Technics, Journal of Enviromental and Engineering Geophysics., JEEG, letnik 1, št. 2, , str. 89-96, 1996.
 GSS, Geophysical Survey Systems, Inc., SIR System-2000, Operation Manual, North Salem, ZDA, 2001.

PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2004

SEMINAR		IZPIT		
Časovni termin		Osnovni in dopolnilni	Revidiranje	ZGO - C
september	13. - 16.		15.09.	
oktober	18. - 19. (za ZGO-C)	11.10.		Pisni: 02.10. Ustni: 14.10.
november	15. - 18.		29.11.	Pisni: 13.11. Ustni: 24.11.
december		13.12. 14.12.		

A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:

Pripravljalne seminarje organizira **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovska 3, 1000 Ljubljana**;

Telefon/fax: (01) 422-46-22;

e-naslov: gradb.zveza@siol.net.

Seminar vključuje **izpitne programe** za:

1. odgovorno projektiranje (osnovni in dopolnilni strok. izpit)
2. odgovorno vodenje del (osnovni in dopolnilni strok. izpit)
3. odgovorno vodenje posameznih del
4. tehnike in inženirje, ki so vpisani v posebni imenik odgovornih projektantov pri IZS po 100.e čl. ZGO - (**ZGO-C**).

(Vsi posamezni programi so dostopni na spletni strani IZS - MSG: <http://www.izs.si>, v rubriki »Strokovni izpiti«, pod naslovom »Gradiva«!)

K seminarju vabimo tudi kandidate drugih inženirskih strok, ki se lahko pridružijo predavanjem iz splošnega dela programa.

Cena za udeležence **seminarja** po izpitnih programih 1., 2. in 3. točke znaša 102.000,00 SIT z DDV, po izpitnem programu 4. točke pa 51.600,00 SIT z DDV.

Seminar ni obvezen, zato je izvedba seminarja odvisna od števila prijav (najmanj 20).

Udeleženca prijavi k seminarju plačnik (podjetje, družba, ustanova, sam udeleženc...). Prijavo v obliki dopisa je potrebno poslati organizatorju (ZDGITS) najkasneje 15 dni pred pričetkom določenega seminarja in zraven poslati kopijo dokazila o plačilu kotizacije.

Prijava mora vsebovati: priimek, ime, poklic (zadnja pridobljena izobrazba), izpitni program (1./2./3./4./ - Glej zgoraj!), naslov udeleženca ter natančni naslov in davčno številko plačnika.

Poslovni račun ZDGITS je 02017-0015398955; davčna številka 79748767.

B. STROKOVNI IZPITI

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS), Jarška 10-B, 1000 Ljubljana**. Informacije je mogoče dobiti na spletni strani IZS <http://www.izs.si> (kjer se nahajajo vse informacije o strokovnih izpiti, izpitni programi in prijavnimi obrazci!) in po telefonu (01) 547-33-15 vsak delavnik od 9.00 do 13.00 ure.

vabilo
na 26. zborovanje
gradbenih konstruktorjev
Slovenije

Bled, Festivalna dvorana
28.-29. oktober 2004



Slovensko društvo
gradbenih konstruktorjev

SDGK

Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev

🕒 **Priprava prispevkov**

Vabimo vas, da s področja svojega delovanja za zborovanje pripravite prispevek, ki ga boste lahko predstavili ustno ali s posterji, ki bodo nameščeni v preddverju dvorane. V publikaciji bomo objavili vse sprejete pisne prispevke ne glede na to ali bodo predstavljeni ustno ali s posterjem.

Avtorje prispevkov prosimo da nam do **15. avgusta 2004** sporočite naslov svojega prispevka s kratkim povzetkom predvidene vsebine in naslovom avtorja oziroma avtorjev, če jih je več. Povzetek naj ne presega 150 besed. O sprejemu predlaganega prispevka boste pisno obveščeni do konca avgusta 2004. Hkrati boste prejeli tudi navodila za pripravo prispevkov. Prispevke pošljite na naslov: **Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev, Jamova 2, 1000 Ljubljana.**

🕒 **Prijava**

Svojo udeležbo na zborovanju prijavite s tem, da nam pošljete izpolnjeno prijavo, ki jo odrežete od tega vabila in nakažete potrebno kotizacijo. Kotizacijo nakažite na tekoči račun Slovenskega društva gradbenih konstruktorjev **02085-0015319187** s pripisom za 26. zborovanje gradbenih konstruktorjev. Prijavi priložite potrdilo o plačani kotizaciji.

Za dodatne informacije lahko pokličete Franca Sajeta ali Jožeta Lopatiča po telefonu na št.: **01 476 8500** ali pošljete elektronsko pošto na naslov: **jlopatic@fgg.uni-lj.si.**

🕒 **Kotizacija**

Kotizacija za udeležbo na zborovanju, v kateri so zajeti stroški organizacije in publikacije zborovanja, kakor tudi stroški družabnega srečanja, znaša **34.000 SIT** na osebo v primeru plačila do **10. 10. 2004**, oziroma 39.000 SIT v primeru kasnejšega plačila. Za upokojence in študente znaša kotizacija 15.000 SIT. Kotizacija je prenosljiva na drugo osebo, ne bomo pa je vračali. Avtorji prispevkov pri kotizaciji nimajo popusta.

🕒 **Promocija dejavnosti**

Na podlagi dogovora z organizatorjem bo na zborovanju mogoča tudi promocija vaših izdelkov in storitev.

Prijava za 26. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije 28. in 29. oktobra 2004

Ime in priimek: _____

Davčna številka: _____

Podjetje oz. ustanova: _____

Podpis: _____

Naslov: _____

Kotizacija je bila nakazana na transakcijski račun Slovenskega društva gradbenih konstruktorjev, Jamova 2, Ljubljana, št. 02085-0015319187.

Telefon: _____

E-mail: _____

Potrdilo o plačani kotizaciji je priloženo.

GEOTEHNIČNA SIDRA FREYSSINET

**Andrej Košir, dipl. inž. geoteh.
in rud.**

PRIMORJE d. d.

Primorje je 16. aprila 2004 pridobilo *Certifikat o skladnosti* za trajna prednapeta geotehnična sidra Freyssinet. Na podlagi izpolnjenih zahtev ga je izdal neodvisni certifikacijski organ ZAG. Listina je pomembna zlasti zato, ker je meseca marca letos Primorje skupaj s francosko družbo Freyssinet ustanovilo mešano podjetje FREYSSINET ADRIA SI d.o.o. s sedežem v Ajdovščini.

Freyssinet je vodilna svetovna družba pri sistemih prednapenjanja betonskih konstrukcij stavb in vseh vrst inženjerskih objektov ter geotehničnih sider. Deluje v 50 državah in ima približno 1400 zaposlenih. Med mnogimi tehnikami, ki so se razvile na podlagi ideje prednapenjanja, so bila med prvimi v uporabi prav geotehnična sidra.

Podjetje Freyssinet SA je že leta 1939 izdelalo in vgradilo prva prednapeta geotehnična sidra za stabiliziranje pregradnega zidu v Beni Bahdelu (Alžirija). S prednapetimi sidri so nato ojačali jez Poses. Vse do danes so razvijali in zahvaljujoč ogromnemu tehničnemu napredku močno razširili uporabo geotehničnih sider.

V zadnjem desetletju so si geotehnična sidra v inženjerski praksi izborila svoje mesto predvsem v primerih, ko je uporaba ostalih geotehničnih ukrepov in rešitev bistveno neugodnejša oziroma dražja. Tako so prednapeta sidra prevzela vlogo ključnih konstrukcijskih elementov za zagotavljanje stabilnosti pobočij, vzpostavljanje stabilnosti odkopov, kot tudi za sidranje krajnih opornikov mostov. Najpomembnejša so danes prednapeta geotehnična sidra, ki s prameni iz visokovrednega jekla prenašajo sile s konstrukcije v temeljna tla. Takšno sidro predstavlja geostatični element, ki je sestavni del sklopa – objekt, sidro, tla.

Trajna prednapeta geotehnična sidra morajo biti dolgoročno varen konstrukcijski element, katerega življenjska doba mora biti vsaj enaka življenjski dobi sidranega objekta. Predpisi predvidevajo preizkuse, s katerimi se ugotovi, ali predvideni materiali in konstruktivni detajli sider izpolnjujejo predpisane zahteve. V času



med drugo polovico decembra 2003 in začetkom aprila 2004 smo zagotovili dve poskusni polji na dveh različnih lokacijah na AC odseku Razdrto – Vipava (Rebrnice) in MMP Gruškovje, kjer smo izvedli praktični prikaz oziroma preiskavo sider. Vsa vgrajena sidra so izpolnjevala zahteve celovite protikorozijske zaščite, s čimer smo dokazali, da smo osvojili tehnologijo za vgrajevanje in napenjanje sider.

Protikorozijska zaščita je ključni parameter v življenjski dobi sidra in sidranega objekta, saj vgrajenih sider praktično ni moč sanirati oziroma zamenjati. Trajnost sider zagotavljamo z uporabo visokovrednih jekel ter s popolno in trajno elektro in hidroizolacijo, ki je preverljiva v vsakem trenutku.

Metodo vrtnanja vrtnin za geotehnična sidra prilagajamo temeljnemu tlem na terenu in potrebnemu premeru vrtnine. Primorje razpolaga z vrtno garnituro Atlas Copco S52 CBD. Za ščitenje ostenja vrtnine med vrtnanjem uporabljamo obložne cevi premera 146 mm, premeri notranjih kladiv pa so od 105 mm do 140 mm. V primerih, ko material to dopušča (kompaktne hribine brez prisotnosti vode), vrtnamo samo z notranjim kladivom, kar poveča hitrost vrtnanja. Za injektiranje sider s cementno injekcijsko maso, ki je eden najpomembnejših segmentov za kakovostno vgradnjo sidra, uporabljamo najnovejši tip visokotlačne injekcijske postaje Atlas Copco Craelius. Cementno maso predhodno pripravimo v mešalni enoti in nato transportiramo z visokotlačno batno črpalko preko tlačnega voda do injekcijskih cevi na geotehničnem sidru. Za injektiranje veznega dela sidra (vmesnega prostora med sidrom in ostenjem vrtnine), ki prenaša sidrno silo iz sidra v temeljna tla, so sidra *Freyssinet* na zunanji strani zaščitne cevi opremljena z eno ali več injekcijskimi cevmi. Za poinjektiranje sider nudi sistem *Freyssinet* dva tipa injekcijskih cevi – z injekcijskimi manšetami in s sistemom povratnega izpiranja.

Po preteku določenega časa od injektiranja sidra napenjalno napnemo na predvideno delovno silo. Čas, ki preteče od injektiranja do napenjanja, je odvisen od geomehanskih in geoloških značilnosti hribine v veznem delu sidra, vendar ne sme biti krajši od 7 dni. Sidra napenjamo s posebno hidravlično napenjalno, s katero hkrati napenjamo vse pramene, ki so preko zagozd vpeti v sidrno ploščo. Za natančno kontrolo sile napenjanja se uporablja digitalna merilna naprava.



NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Luka Schrott, Raziskave z dilatometrom (DMT) in uporaba rezultatov v geomehanskih raziskavah, mentor doc. dr. Janko Logar, somentor mag. Ana – Marija Gaberc

Mina Grobelnik, Sodobni način urejanja prometa v mestih, mentor doc. dr. Tomaž Maher

Katja Slanc, Primerjava EUROCODE 2: slovenskega predstandarda SIST ENV 1992-1-1 (april 1999) in evropskega standarda prEN 1992-1-1 (april 2002), mentor prof. dr. Matej Fischinger

Vanja Voglar, Primerjava dimenzioniranja armiranobetonskih konstrukcij po različnih predpisih: PBAB, ENV 1992-1-1:1991 in prEN 1992-1-1:2002, mentor doc. dr. Jože Lopatič

Klemen Oblak, Cestne povezave v Borovnici, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc

Janko Jazbinšek, Primer izračuna značilnih armiranobetonskih nosilnih elementov štirietažnega objekta na potresnem območju s prikazom potrebnih teoretičnih osnov iz standardov EUROCODE, mentor prof. dr. Matej Fischinger

Boris Tkalec, Primerjava klasičnega in SBR postopka čiščenja odpadnih vod s praktičnim prikazom na ČN kapacitete 11000 PE, mentor doc. dr. Jože Panjan

Dora Rudolf, Projektantski predračun in obračun izvedenih del pri gradnji vodnogospodarskih objektov, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor mag. Leon Gosar

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Jurij Pregelj, Načrtovanje sistemov odvodnjavanja površinskih voda s cest, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc

Blažo Đurovič, Določanje podorne ogroženosti prostora, mentor izr. prof. dr. Matjaž Mikoš

Boris Brilly, Železniška proga Ljubljana – Jesenice za hitrost 160 km/h, mentor prof. dr. Bogdan Zgonc

Luka Bizjak, Presoja izkoriščenosti akumulacije in upravičenosti dodatne rabe vode, mentor doc. dr. Primož Banovec, somentor mag. Leon Gosar

Bor Guzej, Model delovanja modula "iPIS – KALKULACIJE" in njegove integracije v iPIS, mentor doc. dr. Marjan Žura, somentor asist. mag. Aleksander Srdić

Mihael Dirnbek, Analiza uporabe in primerjave parametrov pri presoji vplivov na okolje za ceste, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc, somentor asist. mag. Aleksander Srdić

Andrej Praček, Ciklična plastičnost pri dimenzioniranju rezervoarjev, mentor prof. dr. Darko Beg

Jure Klopčič, Grafični prikaz in analiza merjenih pomikov v predorogradnji, mentor doc. dr. Janko Logar

Bojan Orel, Vzpostavitev digitalne baze podatkov za hidravlični model vodovoda, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor Sašo Šantl

Simona Mrgole, Primerjava uspešnosti različnih tipov križišč glede na kriterij čakalnih časov vozil, mentor doc. dr. Tomaž Maher

David Perme, Profili vozne hitrosti in prometna varnost, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc

Boris Smodiš, Elektronsko poslovanje v gradbeništvu, mentor prof. dr. Žiga Turk

Marko Jelenc, Metodologija za analizo učinkovitosti krožnih križišč s stališča prometne prepustnosti, mentor doc. dr. Tomaž Maher

Tomaž Hozjan, Mehansko obnašanje linijskih jeklenih konstrukcij v požaru, mentor izr. prof. dr. Stanislav Srpič, somentor asist. dr. Sebastian Bratina

Uroš Bratina, Primerjava postopkov za določanje vlažnosti zidov, mentor izr. prof. dr. Roko Žarnič, somentor Gašper Vindišar

MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Karmen Poljanšek, Vpliv temeljnih tal na potresno obtežbo in odziv konstrukcije, mentor prof. dr. Peter Fajfar

Gašper Vindišar, Primerjalna analiza eksperimentalnih metod za zaznavanje vlage v zidanih zgradbah, mentor izr. prof. dr. Roko Žarnič, somentor dr. Marjana Šijanec-Zavrl

DOKTORSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Bojan Čas, Nelinearna analiza kompozitnih nosilcev z upoštevanjem zdrsa med sloji, mentor doc. dr. Igor Planinc

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Milan Caf, Ocenjevanje vrednosti zemljišč po metodi preostanka vrednosti, mentor doc. dr. Igor Pšunder

Damjan Karba, Sovprežni cestni most razpona 40 m, mentor izr. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor pred. Boris Visočnik

Uroš Kostanjšek, Statično dimenzioniranje cevovodnih konstrukcij po nemškem predpisu ATV – A127, mentor izr. prof. dr. Bojan Žlender, somentor dr. Uroš Krajnc

Tone Lovšin, Sovprežni cestni most razpona 30 m, mentor izr. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor pred. Boris Visočnik

Boštjan Mlakar, Kontrola kakovosti v proizvodnji separiranega agregata, mentor pred. Samo Lubej, somentor doc. dr. Andrej Štrukelj

Nataša Pevec, Zagotavljanje kakovosti v gradbeništvu – projektiranju, mentor pred. Meta Zajc Pogorelčnik, somentor red. prof. dr. Mirko Pšunder

Bojan Sukič, Prometna varnost na območju OŠ Sveti Jurij, mentor izr. prof. dr. Tomaž Tollazzi, somentor mag. Marko Renčelj

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Špela Arh Marinčič, Idejna zasnova odvajanja in čiščenja odpadnih voda iz naselja Raka in okoliških naselij, mentor izr. prof. dr. Eugen Petrešin, somentor doc. dr. Renata Jecl

Uroš Jarc, Računska analiza razglednega stolpa na Boču, mentor izr. prof. dr. Stojan Kravanja

Petra Kralj, Odvodnja in čiščenje odpadnih voda malih naselij za primer občine Metlika, mentor izr. prof. dr. Eugen Petrešin, somentor doc. dr. Renata Jecl

Andrej Rajh, Hidroelektrarna Kozjak, mentor izr. prof. dr. Eugen Petrešin, somentor doc. dr. Renata Jecl

Tomaž Žula, Viseči jekleni most za pešce razpona 66 m, mentor izr. prof. dr. Stojan Kravanja

MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Uroš Klanšek, Optimiranje in primerjava različnih tipov sovprežnih nosilcev, mentor izr. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor red. prof. dr. Branko Bedenik

Mitja Kovačec, Določitev kritične dolžine sidranja pri ojačitvi armiranobetonskih konstrukcij s trakovi z oglikovimi vlakni, mentor doc. dr. Andrej Štrukelj, somentor izr. prof. dr. Matjaž Skrinar

DOKTORSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Peter Dobrila, Analitična in eksperimentalna analiza ojačanih panelnih sten, mentorja red. prof. dr. Branko Bedenik, somentor izr. prof. dr. Miroslav Premrov

Bojana Dolinar, Fizikalne lastnosti zasičenih vezljivih zemljin v odvisnosti od mineralne sestave, mentor red. prof. dr. Ludvik Trauner, somentor izr. prof. dr. Darinka Battelino

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA

Marko Brič, Karakterizacija vezi med oglikovimi vlakni in cementno osnovo, mentorja red. prof. dr. Radomir Ilič in izr. prof. dr. Tanja Markovič Hribernik, somentor mag. Andrej Ivanič

Aleš Perjet, Lastnosti kompozitov iz oglikovih in steklenih vlaken v polimerni osnovi, mentorja red. prof. dr. Radomir Ilič in izr. prof. dr. Jožica Knez Riedl, somentor mag. Andrej Ivanič

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

KOLEDAR PRIREDITEV

7.9.2004

ITC@EDU WORKSHOP

Istanbul, Turčija
<http://2004.ecppm.org>

8.9.2004

**Simpozij o sovprežnih konstrukcijah
Gospodarska zbornica Slovenije**

Ljubljana, Slovenija

8.9. - 10.9.2004

**ECPPM Conference
European Conference on Product and
Process Modelling in the AEC Industry**

Istanbul, Turčija
<http://2004.ecppm.org>

12.9. - 16.9.2004

**8th Conference on Asphalt Pavements
for Southern Africa with the theme Roads- the Arteries of Africa**

Sun City, Južna Afrika
<http://asac.csir.co.za/capsa>
patloots@iafrica.com

19.9. - 24.9.2004

**Metropolitan Habitats and Infrastructure
IABSE Symposium**

Shanghai, Kitajska
www.iabse.ethz.ch/conferences/Shanghai/Shanghai_f.htm
secretariat@iabse.ethz.ch

20.9. - 22.9.2004

**6th RILEM Symposium on Fibre-Reinforced
Concretes BEFIB' 2004**

Varenna - Lecco, Italija
www.lecco.polimi.it/befib04.htm

29.9. - 1.10.2004

Interoute 2004 Congress and Trade Fair

Montpellier, Francija
www.exposium.fr

14.10.2004

4. Dan inženirjev in arhitektov

Maribor, Slovenija
www.izs.si
izs@izs.si

14.10. - 15.10.2004

B4E Building for European Future

Maastricht, Nizozemska
www.b4e.org
info@b4e.org

19.10. - 22.10.2004

**IABMAS Conference
Bridge Maintenance, Safety and Management**

Kyoto, Japonska

20.10. - 22.10.2004

7. Slovenski kongres o cestah in prometu

Portorož, Slovenija
DRC, Masarykova 14, Ljubljana

21.10. - 23.10.2004

Durability and Maintenance of Concrete Structures

Dubrovnik, Hrvaška
secon@grad.hr

28.10. - 31.10.2004

ISEAT 2004

4th International Symposium on Asphalt Emulsion Technology
Washington DC, ZDA
www.aema.org
krissoff@aema.org

25.11. - 26.11.2004

9. kolokvij o asfaltih in bitumnih ZAS, Združenje asfalterjev Slovenije

Hotel Larix, Kranjska gora, Slovenija
www.zdruzenje-zas.si

9.2. - 12.2.2005

**IABSE Conference
Role of Structural Engineers
Towards Reduction of Poverty**

New Delhi, Indija
www.iabse.org

8.6. - 13.6.2005

**Conference EUROSTEEL 2005
Research, Eurocodes, Design and
Construction of Steel Structures**

Maastricht, Nizozemska

13.6. - 16.6.2005

**11th Joint CIB International
Advantages for Real Estate and**

Construction Sector
Helsinki, Finska
www.ril.fi/cib205
kaisa.venalainen@ril.fi

27.6. - 30.6.2005

**ESREL 2005
European Safety and Reliability Conference**

Gdynia-Sopot-Gdansk, Poljska
esrel2005.am.gdynia.pl
esrel2005@am.gdynia.pl

5.7. - 7.7.2005

**6th International Congress Global
Construction: Ultimate Concrete
Opportunities**

Dundee, Škotska, VB
www.ctucongress.co.uk

19.7. - 21.7.2005

**Conference AESE 2005
Advances in Experimental Structural
Engineering**

Nagoya, Japonska

22.8. - 24.8.2005

**Construction Materials (ConMat'05):
Performance, Innovations and Structural Implications**

Vancouver, Kanada
www.civil.ubc.ca/conmat05

14.9. - 16.9.2005

**IABSE Annual Meetings and
IABSE Symposium Structures and Extrem Events**

Lisboa, Portugalska

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

SIMFONIJA

Vrhunska izvedba ideje.


MOST MILLENNIUM,
Podgorica, Crna Gora.



MOST MILLENNIUM

avtor idejnega projekta in revident projekta **prof. dr. MLADEN ULIČEVIĆ**, dipl. grad. inž. (Gradbena fakulteta Podgorica, Črna Gora);
odgovorni projektant **MARJAN PIPENBAHER**, univ. dipl. inž. grad. (Ponting d.o.o., Maribor)

 **primorje**

 NOVE DIMENZIJE PROSTORA