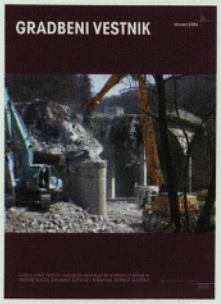
GRADBENI VESTNIK

oktober 2004

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE IN
MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKE ZBORNICE SLOVENIJE

Poštnina plačana pri pošti 1102 Ljubljana



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

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774

Ljubljana, oktober 2004, letnik 53, str. 233-260

Izdajatelj:
Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška 3, 1000 Ljubljana, telefon/faks 01 422 4622 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS),** ob podpori **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 Tomaževič**

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 številk. 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 vštet DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
02017-0015398955

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 dvojnim presledkom med vrsticami.

• Prispevki morajo imeti naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo prispevka.

• Besedilo člankov mora obvezno imeti: naslov članka v slovenščini(velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); oznako ali je članek strokoven ali znanstven; nazive, imena in priimke avtorjev ter njihove naslove; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY, in povzetek v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ..., naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so dodatki označeni še z A, B, C, itn.

• Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni.

• Slike, preglednice in fotografije morajo biti omenjene v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Vse slike in fotografije v elektronski obliki (slike v običajnih vektorskih grafičnih formatih, fotografije v formatih .tif ali .jpg visoke ločljivosti) morajo biti v posebnih datotekah, običajne fotografije pa priložene.

• Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.

• Kot decimalno ločilo je treba uporabiti vejico.

• Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki: (priimek prvega avtorja, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c, itn.

• V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime prvega avtorja (lahko okrajšano), priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.

• Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.

• Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: FGG, Jamova 2, 1000 LJUBLJANA oz. janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V spremnem dopisu mora avtor članka napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren. Prispevke je treba poslati v enem izvodu na papirju in v elektronski obliki v formatu MS WORD in v 8. točki določenih grafičnih formatih.

Uredništvo

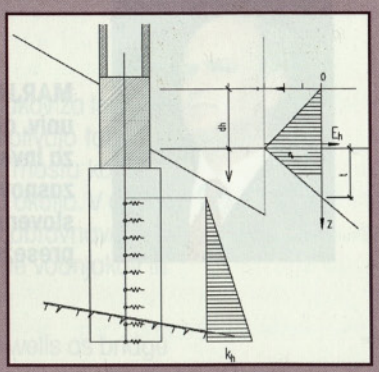
Vsebina • Contents

Nagrajeni gradbeniki

stran **234**

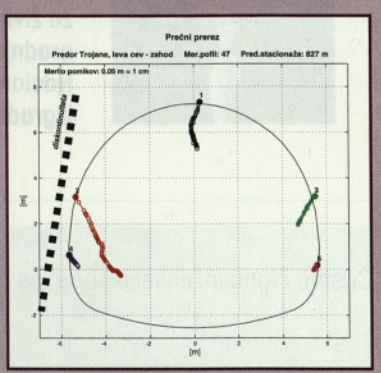
Članki • Papers

stran **235**
mag. Marko Završki, univ. dipl. inž. grad.
PROJEKTIRANJE VODNJAKOV PRI TEMELJENJU MOSTOV
STRUCTURAL DESIGN OF THE WELLS-FOUNDATION OF THE BRIDGES



stran **242**
Peter Šavnik, univ. dipl. inž. grad.
AKTIVNOSTI V EU ZA POVEČANJE VARNOSTI V CESTNIH PREDORIH
ACTIVITIES IN THE EU FOR THE ENCREASING OF THE SAFETY OF THE ROAD TUNNELS

stran **246**
Jure Klopčič, univ. dipl. inž. grad.,
Andrej Štimulak, univ. dipl. inž. rud.,
mag. Igor Ajdič, univ. dipl. inž. geol.,
doc. dr. Janko Logar, univ. dipl. inž. grad.
RAČUNALNIŠKO PODPRTA ANALIZA MERITEV V PREDORU
COMPUTER SUPPORTED ANALYSIS OF DISPLACEMENT MONITORING DATA IN TUNNELLING



Novi diplomanti gradbeništva

stran **256**
J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Koledar prireditev

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

Slika na naslovnici: Staro se umika novemu – Rušenje mostu čez Krko pri Čatežu, foto arhiv Gradis, Gradbeno podjetje Ljubljana, d. d.

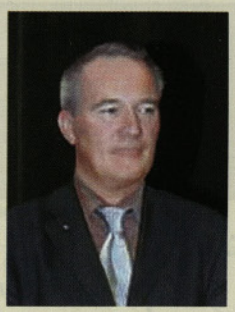
NAGRAJENI GRADBENIKI

Na dnevu inženirjev in arhitektov 14. 10. 2004 v Mariboru je bilo nagrajenih tudi več gradbenikov.

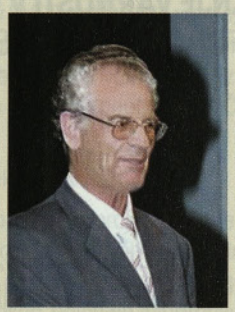
Nagrade IZS za inženirske dosežke so prejeli:

MARJAN PIPENBAHER, univ. dipl. inž. grad., za inventivno konstruktorsko zasnovo ter realizacijo slovenskega viadukta presežnikov Črni Kal.

KSENIJA MARC, univ. dipl. inž. grad., za visoko strokoven in izredno angažiran nadzor nad gradnjo najzahtevnejšega slovenskega viadukta Črni Kal.

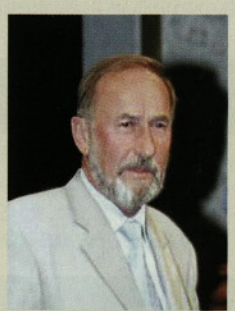


METOD DI BATISTA, univ. dipl. inž. grad., za življenjsko delo na področju gradnje cest in izvajanja Nacionalnega programa izgradnje avtocest.

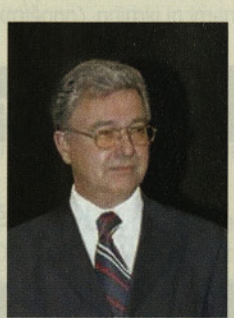


JOŽE MIKOLJ, univ. dipl. inž. grad., za življenjsko delo na področju projektiranja nizkih gradenj.

Častna člana Inženirske zbornice Slovenije sta postala:



doc. dr. JANEZ REFLAK, univ. dipl. inž. grad., za odgovorno delo na področju priprave in izvajanja strokovnih izpitov.



FRANC AVŠIČ, univ. dipl. inž. grad., za njegovo aktivno delo v zbornici.

Vsem nagrajencem iskreno čestitamo!

PROJEKTIRANJE VODNJAKOV PRI TEMELJENJU MOSTOV

STRUCTURAL DESIGN OF THE WELLS-FOUNDATION OF THE BRIDGES

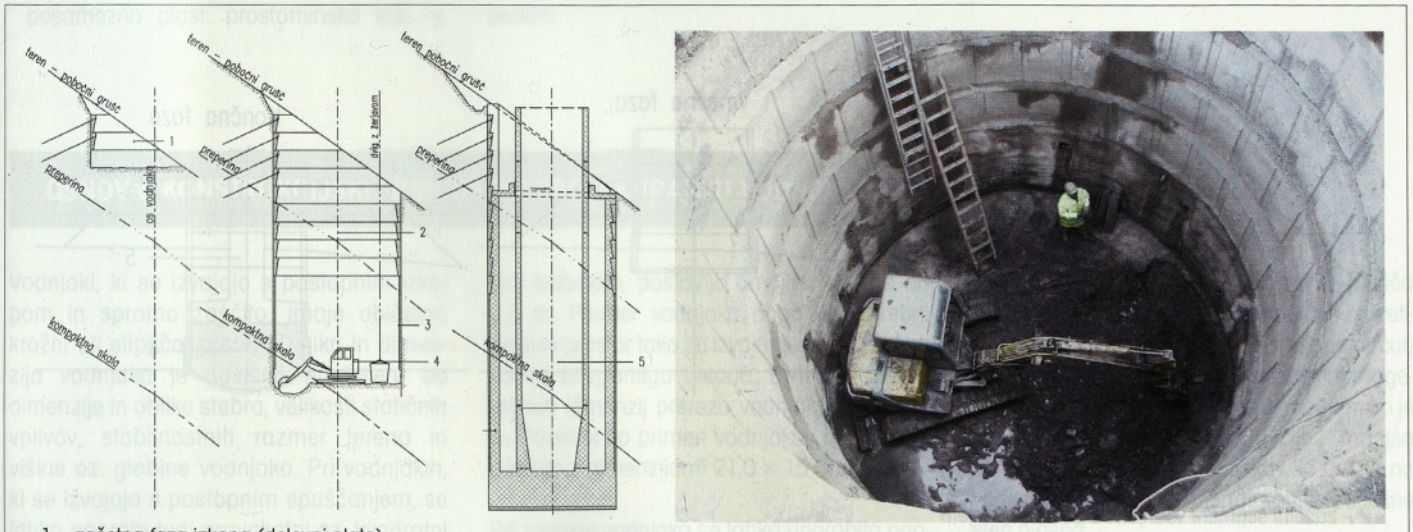
mag. Marko Završki, univ. dipl. inž. grad., GRADIS, Biro za projektiranje Maribor d.o.o.

Strokovni članek UDK 624.15:624.074.1

Povzetek | Članek podaja osnovne smernice za projektiranje vodnjakov za temelje mostov. Vodnjaki kot pomembni elementi nosilne konstrukcije mostu vplivajo tako na konstrukcijsko zasnovo, stroške in hitrost gradnje, stabilnost in trajnost mostu kot tudi na ustreznost načrtovanih posegov v prostor z vidika ekologije in varstva okolja. V uvodnem delu so podani splošni pojmi o temeljenju na vodnjakih, sledijo obravnava potrebnih podlog za projektiranje, splošnih konstruktivnih principov zasnove vodnjakov in geostatične analize vodnjakov.

Summary | In the paper, fundamental guidelines for the design of wells as bridge foundations are presented. Being essential elements of bridge load bearing structures, the wells influence the design, construction schedule and costs, stability and durability of a bridge as well as the suitability of the planned spatial interventions from the point of view of both ecology and environmental protection. In the introductory part, general information on well foundation is given, followed by the discussion of the required design bases, general constructive principles of the well design, as well as the geostatic analysis of wells.

SPLOŠNO O TEMELJENJU NA VODNJAKIH



1 – začetna faza izkopa (delovni plato)
2 – etapni izkop vodnjaka z izvajanjem zaščite z AB z delnimi ali polnimi obroči (v slabih tleh)
3 – zaščita izkopa z oblogo iz brizganega betona (v prepereli skali)
4 – izvajanje izkopa z bagrom in transport izkopanega materiala z žerjavom (avtodvigalom)
5 – izveden vodnjak in steber (primer votlega vodnjaka)

Slika 1. **Izvedba vodnjaka s postopnim izkopom in sprotno zaščito oboda jaška**

Načini temeljenja na vodnjakih

Temeljenje na vodnjakih je način temeljenja (Brandl, 1988), kjer se izkop navpičnega jaška izvaja na način, ki je poznan pri izvedbi vodnjakov v ožjem pomenu besede. Gre za izvajanje postopnega izkopa s sprotnim varovanjem oboda jaška. Med temeljenjem z vodnjaki in piloti v smislu obnašanja glede stanj nosilnosti in deformabilnosti ne obstajajo bistvene razlike. Pri globokem temeljenju bodisi z vodnjaki ali piloti v primerjavi s plitvim temeljenjem obstaja veliko večja interakcija med zemljino in temeljem. Razlika med obema načinoma globokega temeljenja je predvsem v načinu izvedbe.

Glede na postopek izvedbe izkopa za vodnjak obstajata v splošnem dva načina, in sicer:

- s postopnim izkopom s sprotno zaščito oboda jaška (slika 1);
- s postopnim spuščanjem predhodno zabetoniranega vodnjaka nad terenom (slika 2).

Pri prvem načinu se izkop izvaja postopoma v globino po etapah višine od 0,8 do 1,5 m z zaščito oboda izkopa, bodisi z armiranobetonskimi obroči, z brizganim betonom in po potrebi z jeklenimi obroči – odvisno od kakovosti tal in velikosti zemeljskih pritiskov. Pri drugem načinu se vodnjaki izvedejo na mestu izkopa nad terenom v višini od 2,0 do 4,0 m. Možna je izvedba z betoniranjem na mestu samem ali pa s prefabriciranimi elementi. Mehanizirani izkop v vodnjaku in spuščanje vodnjaka se izvajata istočasno. Po spuščanju prvega dela vodnjaka se betonira naslednji segment vodnjaka na zgornji strani ter ponovi postopek spuščanja s spodkopavanjem (slika 2).

Pogoji za temeljenje na vodnjakih

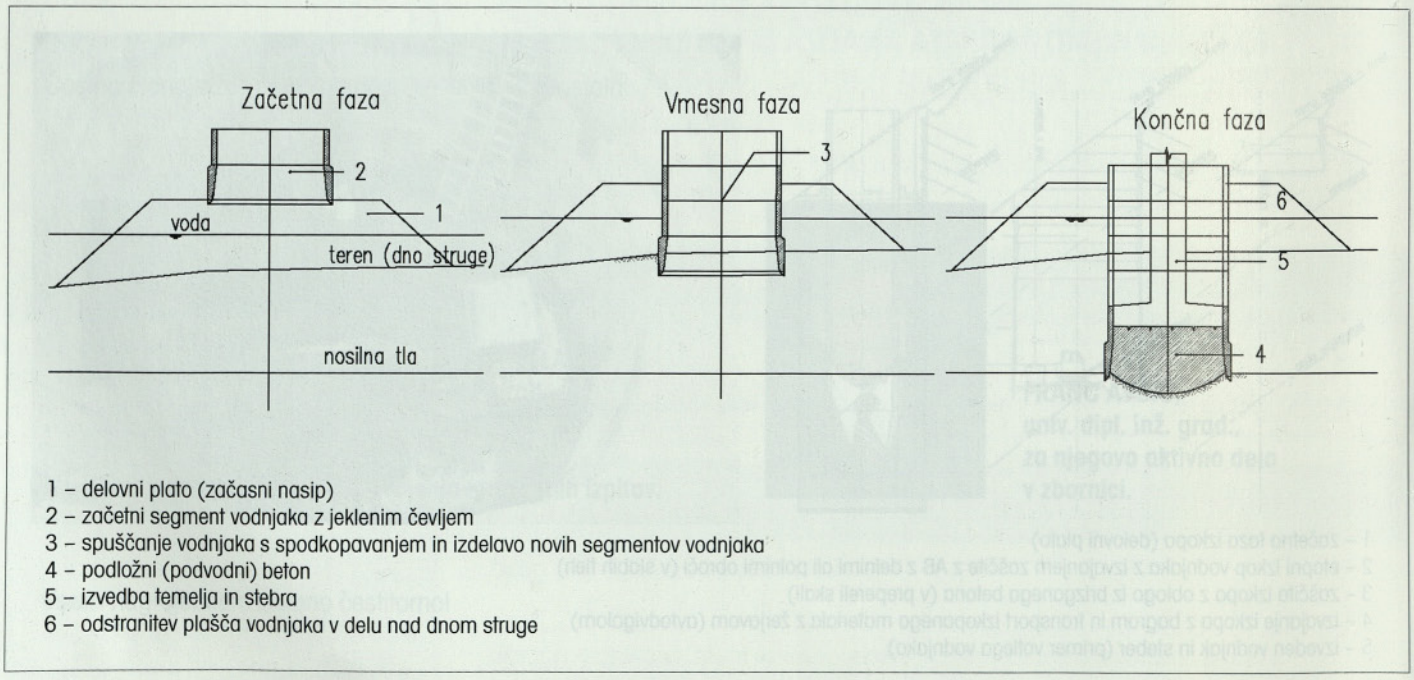
Temeljenje z vodnjaki kot način temeljenja mostov se uporablja zlasti v naslednjih primerih:

- pri prenosu velike obtežbe v stabilna temeljna tla v večji globini, kjer imajo zgornje plasti majhno nosilnost oz. zaradi nestabilnosti terena niso izpolnjeni pogoji za plitvo temeljenje;
- pri temeljenju podpor mostov v pobočju pri t.i. pobočnih viaduktih, ki potekajo vzdolž pobočja ali pri premoščanju dolin, kjer to narekuje geološka sestava tal, naklon pobočja in kjer so dostopi težke mehanizacije (vrtalne garniture za pilotiranja) oteženi ali sploh niso možni;
- pri temeljenju mostov z velikimi razpetinami, kjer bi veliko število pilotov pri posamezni podpori zahtevalo neekonomične velike dimenzije pilotne blazine;
- v primeru, ko je rešitev s temeljenjem na vodnjakih cenovno ugodnejša;
- kjer je treba zagotoviti stabilnosti temeljev in podpor tudi v primeru, ko pride do plazenja preperinskega dela terena v območju mostu;
- ko tla v fazi izkopa v kratkem času izgubijo trdnost oz. postanejo nestabilna;
- kjer je potrebna večja višina stebrov oz. zmanjšanje njihove togosti (uporabi se rešitev z votlimi vodnjaki).

Prednosti temeljenja z vodnjaki so predvsem naslednje:

- omogočen je direktni prenos obtežbe stebra v nosilna temeljna tla;
- temeljna tla so po celotni globini izkopa vidna in pod kontrolo;
- dejanska globina temeljnih tal se lahko določi med izvajanjem izkopa glede na dejanske lastnosti tal;
- vodnjak je zaščita gradbene jame, ki ne povzroča pomikov tal;
- poseg v okolje je minimalen.

V plazovitem področju se morajo pri vodnjakih ob upoštevanju morfoloških in geoloških pogojev izpolniti predvsem naslednje zahteve:



1 – delovni plato (začasni nasip)
2 – začetni segment vodnjaka z jeklenim čevljem
3 – spuščanje vodnjaka s spodkopavanjem in izdelavo novih segmentov vodnjaka
4 – podložni (podvodni) beton
5 – izvedba temelja in stebra
6 – odstranitev plašča vodnjaka v delu nad dnom struge

Slika 2. **Izvedba vodnjaka s postopnim spuščanjem in predhodnim zabetoniranjem vodnjaka**

- plašč vodnjaka mora primarno ščititi steber pred delovanjem zemeljskega pritiska;
- pri gradnji oboda (plašča) vodnjaka je potrebno zagotoviti odvodnjavanje površinske vode, da se s tem dodatno ne destabilizira plazeče se pobočje;
- plašč vodnjaka mora zagotavljati zaščito pri izkopu vodnjaka med gradnjo in kasnejšo zaščito stebra med uporabo objekta;
- plašč vodnjaka mora obtežbo zaradi zemeljskega pritiska in pritiske zaradi premikov pobočja, ki so pričakovani z razumno verjetnostjo, prenesti brez poškodb v nosilna tla.

Temeljenje z vodnjaki je primerno v relativno kohezivni zemljini in v primeru, ko je nivo podtalnice nižji od kote temeljenja. Kljub temu je možno izvesti zaščito oboda jaška tudi v nekohezivnih tleh (injekcijske zavese, torkret). V primeru, ko so tla relativno slabo prepustna, je možno nivo podtalnice znižati pod nivo temeljenja s črpanjem vode. Pri temeljenju podpor v vodi (npr. rekah, jezerih, ipd.) se uporabijo vodnjaki, ki se izvedejo po segmentih na začasno nasipanih polotokih ali otokih in postopno spuščajo s spodkopavanjem. Primerna globina temeljenja v vodi je 5 do 6 m oz. 6 do 8 m glede na nivo vode med gradnjo. Na suhem ravnem terenu je uporaba globokega temeljenja z vodnjaki smotrna pri globini, večji od 6 m, sicer izvedemo temelj kot plitev s širokim izkopom.

PROJEKTNE PODLOGE

Vodnjaki so sestavni del konstrukcije mostu, kjer so osnova za projektiranje geodetski, cestno-prometni, prostorsko-urbanistični, hidrološko-hidrotehnični, meteorološko-klimatski, seizmološki in geološko-geomehanski podatki v vplivnem območju objekta. Temeljni dokument, ki podaja geotehnične podatke za projektiranje temeljev-vodnjakov je geološko-geomehansko poročilo o sestavi tal in pogojih temeljenja. Obseg poročila je odvisen od faze projektiranja oz. stopnje obdelave temeljenja mostu. Geološke vrtine se izvedejo na lokaciji vsake podpore in morajo segati najmanj 7,0 m pod predvideno dno vodnjaka. Z geotehničnimi pogoji temeljenja mora biti podano predvsem naslednje:

- delitev hribine na trdnostno-deformacijske plasti s podanimi karakteristikami za posamezno plast: prostorninska teža γ, strižni kot φ, kohezija c, elastični in deformacijski modul in Poissonov koeficient (za analizo po metodi končnih elementov), moduli stisljivosti M_v, navpični in vodoravni koeficienti reakcije tal: k_v , k_h, po potrebi elastični moduli zemljine, kar je odvisno tudi od računskih modelov;
- dopustna obremenitev in posedki temeljnih tal;
- stabilnostne analize z izračuni zemeljskih pritiskov na obod vodnjaka (aktivni, pasivni, mirni pritiski, pritisk od plazu);
- splošna stabilnost pobočja za podpore na vodnjakih v pobočju.

Vrsta podatkov, ki jih potrebuje projektant, je odvisna od računskega modela vodnjaka oziroma interakcije vodnjak – zemeljski polprostor.

Pravilna ocena stabilnosti pobočja in velikosti zemeljskih pritiskov, ki delujejo s strani na obod vodnjaka, je odvisna predvsem od določitve ustreznih karakteristik tal oz. skale in veliko manjši meri od uporabljene metode geostatične analize. Zlasti v gorskih dolinah in področjih z geološkimi prelomnicami veljajo vrednostni parametri za skalo ali tla, ki so omejeni na ozko območje, tako da je smiselno izvesti različne izračune za določitev mejnih vrednosti. Upoštevati je treba tudi to, da se lahko lastnosti tal s časom spreminjajo, zlasti kohezija in zmanjšanje strižnega kota.

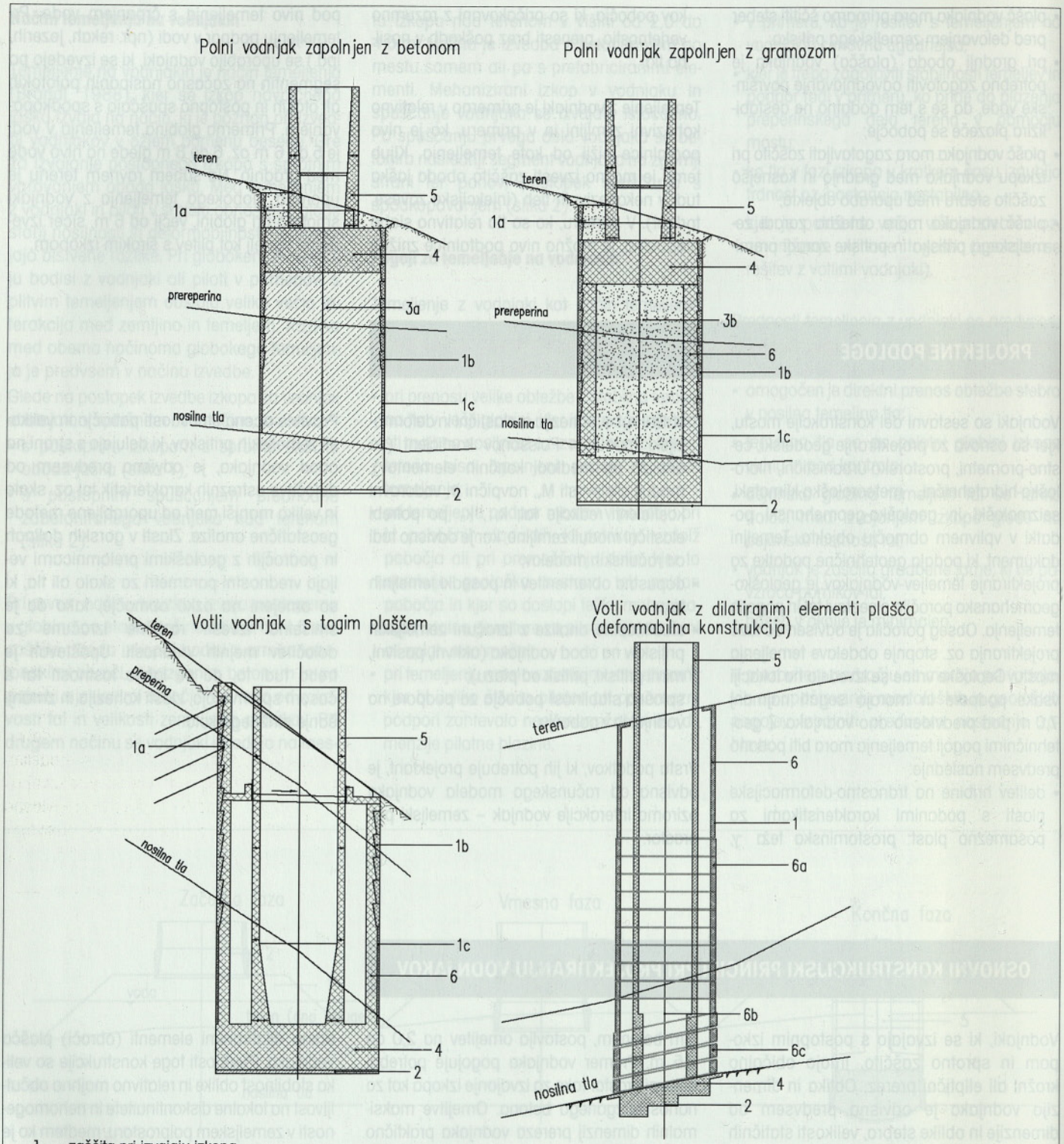
OSNOVNI KONSTRUKCIJSKI PRINCIPI PRI PROJEKTIRANJU VODNJAKOV

Vodnjaki, ki se izvajajo s postopnim izkopom in sprotno zaščito, imajo običajno krožni ali eliptični prerez. Oblika in dimenzija vodnjaka je odvisna predvsem od dimenzije in oblike stebra, velikosti statičnih vplivov, stabilnostnih razmer terena in višine oz. globine vodnjaka. Pri vodnjakih, ki se izvajajo s postopnim spuščanjem, se lahko uporabi tudi pravokotni oz. kvadratni prerez.

Glede dimenzij prereza vodnjaka ne obstajajo fiksne omejitve. V splošnem se za premer vodnjaka, kjer se zaščita izkopa izvaja z brizganim betonom, postavlja omejitev na 2,0 do 2,5 m. Premer vodnjaka pogojuje potrebni delovni prostor tako za izvajanje izkopa kot za nanos brizganega betona. Omejitve maksimalnih dimenzij prereza vodnjaka praktično ni. Poznani so primeri vodnjakov eliptičnega prereza z dimenzijami 21,0 × 15,0 m.

Pri zasnovi vodnjaka se lahko uporabita principa idealno toge ali idealno podajne konstrukcije (slika 3). Togi konstrukciji ustreza monolitni neprekinjeni armiranobetonski upogibno togi cilinder, medtem ko se podajno konstrukcijo vodnjaka ustvari z medseboj drsno dilatiranimi elementi (obroči) plašča vodnjaka. Prednosti toge konstrukcije so velika stabilnost oblike in relativno majhna občutljivost na lokalne diskontinuitete in nehomogenosti v zemeljskem polprostoru, medtem ko je prednost podajne konstrukcije manjša obtežba od zemeljskih pritiskov, ki deluje na vodnjak in s tem posledično manjše debeline sten plašča.

Pri relativno velikih premikih zaradi lezenja hribine in občasno močnih diskontinuirnih zdrsov je zasnova togega vodnjaka ekonomična do globine od 15 do 20 m. Pri večjih globinah je uporaba podajnega pla-



1 – zaščita pri izvajaju izkopa
1a – AB polobroči s ali brez pasivnih sider
1b – AB obroči (prstani) pri etapni izvedbi izkopa
1c – zaščita izkopa z brizganim betonom
2 – peta vodnjaka – kontakt med dnom vodnjaka in nosilnimi tlemi
3a – zapolnitev z delno armiranim betonom
3b – zapolnitev z gramoznim materialom
4 – temeljna blazina – vpetje stebra v vodnjak
5 – steber
6 – stena plašča vodnjaka
6a – dilatirani elementi plašča
6b – trapezni element plašča
6c – nagnjeni drsni obroči plašča

Slika 3. **Primeri zasnove vodnjaka za stebre viaduktov**

šča vodnjaka bolj ekonomična. Pogosto se uporabi mešani princip, ki upošteva tako vidik ekonomičnosti kot tudi statično in kinematično obnašanje plašča vodnjaka. Globina vodnjakov je odvisna predvsem od tega, kje se nahajajo nosilna temeljna tla, pri čemer je pomembno, da se vodnjak vpne v relativno trdno nosilno skalo. Tako imenovani »plavajoči« vodnjaki se uporabijo samo izjemoma takrat, ko je skala praktično nedosegljiva. V splošnem pride pri globini, večji od 15 do 18 m, do znatnega povečanja cene, predvsem zaradi oteženega navpičnega transporta odkopanega materiala. Do te globine se pri ustrezni velikosti prereza vodnjaka izkopana zemljina transportira navzgor s pomočjo hidravličnega bagra s podaljšano roko. Pri večjih globinah se prenos odkopanega materiala vrši s pomočjo mehanskega bagra. Največje globine vodnjakov segajo od 30 do 35 m.

GEOSTATIČNA ANALIZA VODNJAKOV

Dokaz stabilnosti vodnjakov je sestavni del dokaza stabilnosti konstrukcije mostu, pri čemer je potrebno upoštevati principe geotehničnega projektiranja v skladu z uveljavljenimi standardi (CEN, 2000).

Projektna stanja

Pri projektiranju vodnjakov se obravnavajo naslednja projektna stanja:

- začetno projektno stanje pobočja, obstoječih objektov in infrastrukture v vplivnem območju pred izvedbo del;
- stanja med gradnjo, ki obsegajo izgradnjo dostopnih poti, delovnih platojev, izkopov za jaške vodnjakov in druge delovne faze gradnje, kot so prednapenjanje geotehničnih sider, vzdrževanje in morebitna popravila ter posegi v pobočja zaradi vzdrževanja drenažnih sistemov;
- stanje med uporabo objekta v predvideni življenjski dobi;
- stanja ob nezgodah in potresu.

Računski modeli

Pri modeliranju konstrukcije in upoštevanju obtežb prihaja do nezanesljivosti pri modeliranju temeljev oz. delov konstrukcije pod spodnjim robom stebrov predvsem pri okvirnih konstrukcijah. Vzrok za to je v nezanesljivi oceni obnašanja tal zlasti v gorskih in hribovitih predelih, kjer se karakteristike tal menjavajo že na kratkih razdaljah. Pri statično nedoločenih konstrukcijah vsaka sprememba robnih pogojev vpliva na spremembo statičnih veličin, tako da se nezanesljivost ocene karakteristik temeljnih tal prenaša na celotni sistem. Sodobni računalniški programi omogočajo vedno natančnejše modeliranje konstrukcije, pri čemer pa je pravilnost interakcije med konstrukcijo in tlemi odvisna predvsem od vhodnih podatkov, ki odražajo dejanske razmere.

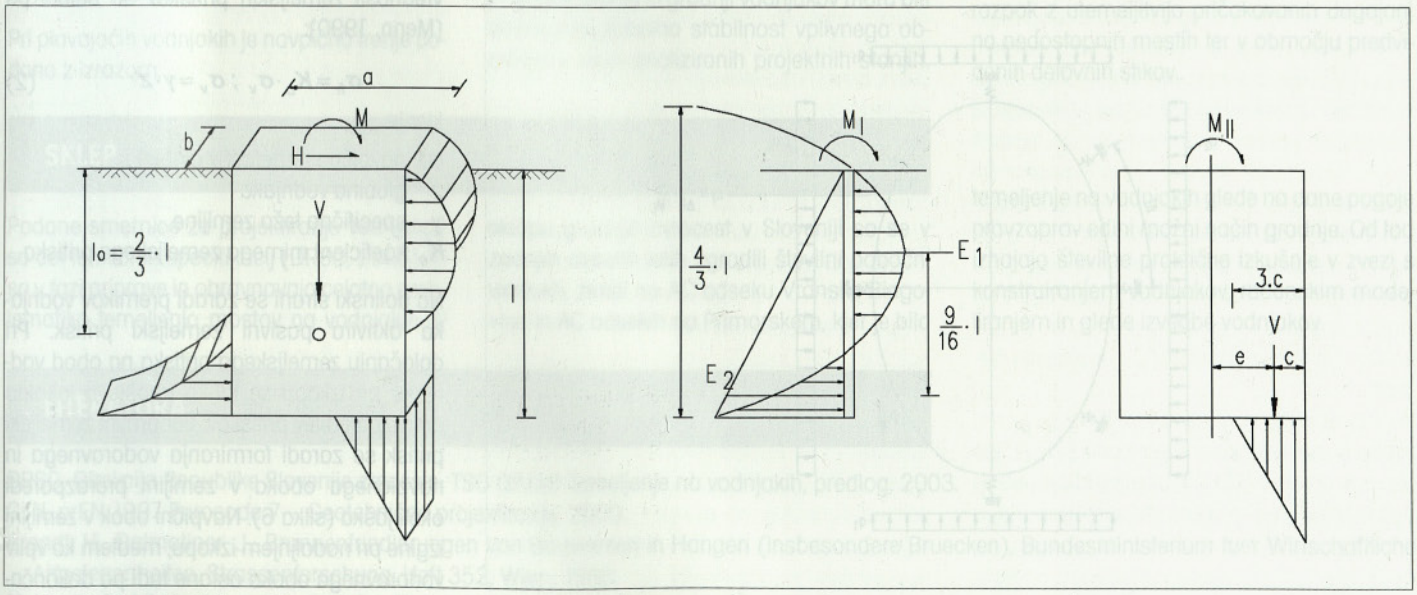
V praksi sta uveljavljena naslednja načina modeliranja:

- ločeno modeliranje nosilne konstrukcije in vodnjakov;
- skupni modeli nosilne konstrukcije in temeljev-vodnjakov.

Najenostavnejši model vodnjaka in zemeljskega polprostora ponazarja togo-plastični model (slika 4) z izbrano projektno strižno trdnostjo zemljine (s parametroma c' in φ') in togim modelom vodnjaka.

Osnova za ta model je vnaprej predpisana kinematika vodnjaka in mejno oz. predpisano projektno napetostno stanje v zemljini. Model omogoča sorazmerno natančno določanje mejnih vrednosti vplivov in odporov (aktivne in pasivne zemeljske tlake ter nosilnost temeljnih tal), medtem, ko je potrebno aktivirane deleže teh vrednosti oceniti glede na pričakovane oz. dopustne deformacije podporne konstrukcije in tal v vplivnem območju. Uporaba tega modela ne omogoča izračuna dejanskih pomikov.

V praksi se najpogosteje uporablja model na osnovi modula reakcije tal. Vodnjak modeliramo kot nosilni element (linijski, ploskovni ali prostorni), ki je od točke, kjer je predvidena nična razlika med aktivnimi in pasivnimi



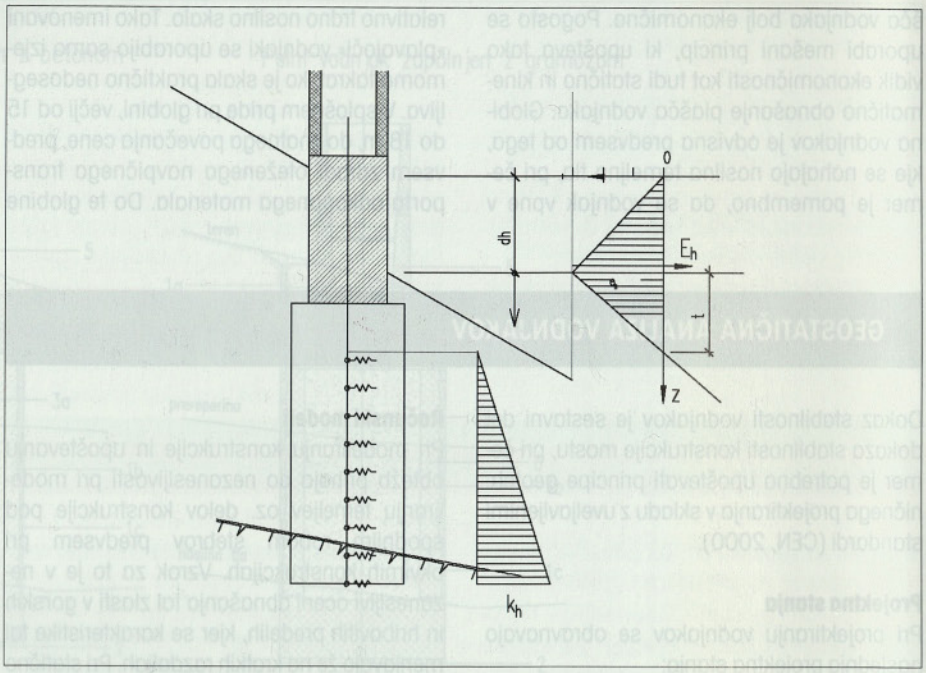
Slika 4. **Togo.plastični model vodnjaka**

zemeljskimi pritiski (slika 5), podprt z vzmetmi, katerih konstante se določijo na osnovi modula reakcije tal. Modul reakcije tal k (kN/m³) se določi na osnovi preiskav (horizontalni preizkus s ploščo, presiometrska preiskava, ipd.), pogosto pa je to ocenjena vrednost. Definiran je kot sorazmernostni faktor med normalno napetostjo in premikom te točke (s = k w). V poenostavljeni obliki ob upoštevanju teorije elastičnega izotropnega polprostora je modul reakcije tal pravokotno na vodnjak po Terzaghiju enak:

$$k_h = \chi \cdot M_s / b \qquad (1)$$

kjer je

χ korekcijski faktor (0.6 – 1.4, običajno 1.0),
M_s modul stisljivosti zemljine,
b širina vodnjaka.

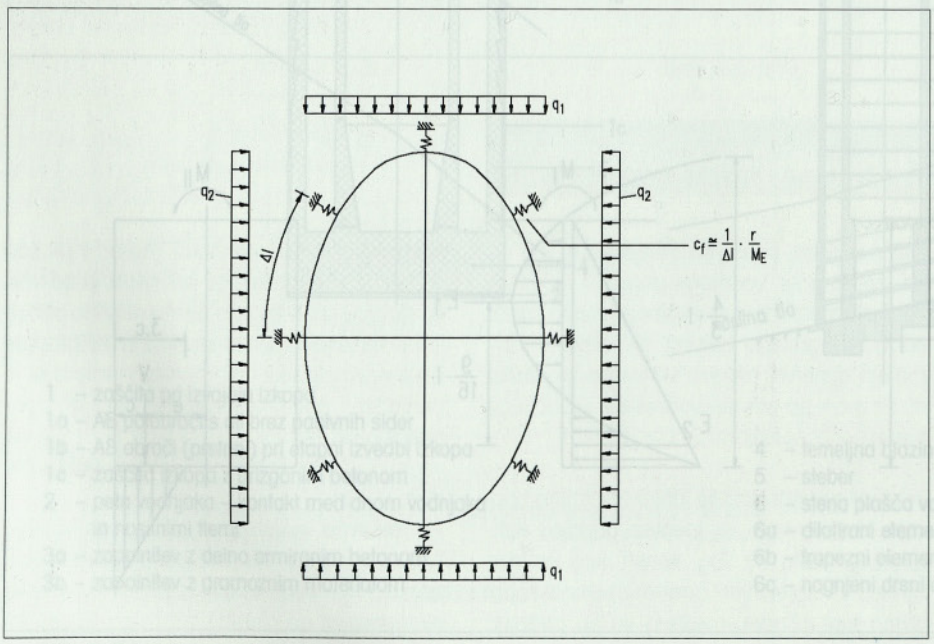


Slika 5. **Model vodnjaka v pobočju na osnovi modula reakcije tal**

Določitev vplivov na vodnjak

Za pravilno analizo mejnih stanj je potrebno določiti dejanske vplive in njihovo razporeditev z upoštevanjem interakcije med konstrukcijo vodnjaka in tlemi. Ti vplivi so naslednji:

- obtežbe in obtežne kombinacije na nosilno konstrukcijo mostu, ki se preko stebrov in krajnih opornikov prenašajo na vodnjake: stalne obtežbe, vplivi prednapenjanja, reologija betona, obtežba s prometom, enakomerna in neenakomerna temperaturna sprememba, vplivi vetra, zavorna sila, trenje v pomičnih ležiščih, potresna obtežba;
- obtežbe na vodnjak: lastna teža vodnjaka, zemeljski pritisk, premiki in pospeški zaradi potresa, pritiski podtalnice, filtracijski pritiski;
- reakcijske sile na vodnjak: trenje med zemljino in plaščem vodnjaka, pritiski na talno ploščo vodnjaka, trenje med talno ploščo in tlemi, reakcijske sile na plašču vodnjaka, odpor zemljine, vzgon;
- sile sider;
- premiki zaradi preperevanja, razpadanja, naravnega posedanja in raztapljanja zemljine,
- premiki zaradi lezenja ali drsenja ali posedanja mas v tleh;
- premiki zaradi drugih izkopov ali gradnje sosednjih vodnjakov.



Slika 6. **Linijski model plašča vodnjaka**

Obtežba z zemeljskim pritiskom

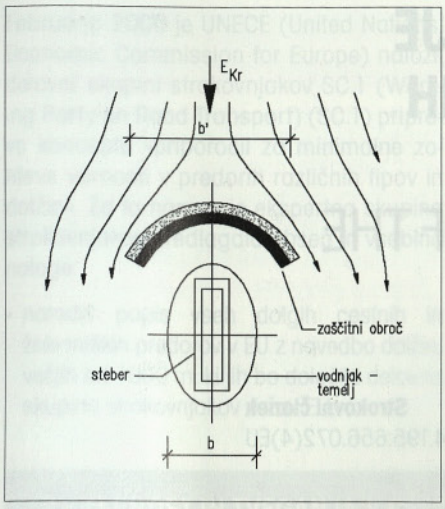
V stabilnih tleh v mirovanju je vodoravnini pritisk na pobočni strani enak mirnemu zemeljskemu pritisku. Izračun karakterističnih vrednosti zemeljskih pritiskov se določi po (Menn, 1990):

$$\sigma_h = K_0 \cdot \sigma_v \; ; \; \sigma_v = \gamma \cdot z \qquad (2)$$

kjer je

σ_v navpična napetost v globini z,
z globina vodnjaka
γ specifična teža zemljine
K_0 koeficient mirnega zemeljskega pritiska

Na dolinski strani se zaradi premikov vodnjaka aktivira pasivni zemeljski pritisk. Pri določanju zemeljskega pritiska na obod vodnjaka pri izkopu se lahko upošteva lokalna prerazporeditev pritiskov. Vodoravni zemeljski pritisk se zaradi formiranja vodoravnega in navpičnega oboka v zemljini prerazporedi okoli jaška (slika 6). Navpični obok v zemljini izgine pri nadaljnjem izkopu, medtem ko vpliv vodoravnega oboka ostane tudi po dokončanju vodnjaka:



Slika 7. **Določitev vplivne širine pobočja za določitev zemeljskih pritiskov**

$$\sigma^R = A \cdot \sigma_h \qquad (3)$$

Faktor zmanjšanja A je, če ne upoštevamo kohezije, enak:

$$A = \frac{1 - e^{-K_a \frac{z}{r} \tan\varphi}}{\frac{z}{r} \cdot \tan\varphi} \qquad (4)$$

kjer je K_a koeficient aktivnega zemeljskega pritiska:

$$K_a = \frac{\cos^2\varphi}{\left(1 + \sqrt{\frac{\sin\varphi \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos\beta}}\right)^2} \quad ; (5)$$

β nagib pobočja,
φ kot notranjega trenja v zemljini,
r polmer vodnjaka.

Pri plavajočih vodnjakih je navpično trenje podano z izrazom:

$$\tau^R = \frac{2}{3} \cdot \sigma^R \cdot \tan\varphi \qquad (6)$$

Pri vodnjakih večjih premerov in zaščitnih ukrivljenih stenah na pobočni strani vodnjaka se upošteva vplivna širina zemeljskih pritiskov:

$$b' = 1.2\ b \text{ do } 2.0\ B \qquad (7)$$

kjer je B širina vodnjaka.

Računska vplivna širina (slika 7) je odvisna od nagiba pobočja, karakteristik tal in geometrije vodnjaka. Pri vodnjakih, ki se nahajajo v plazovitem pobočju, zemeljski pritisk postopoma narašča od aktivnega preko t.i. zastojnega pritiska do pritiska pri tečenju zemljine (cona plastičnosti) do polnega zdrsnega pritiska pri formiranju drsne ploskve.

Mejna stanja nosilnosti in uporabnosti

Presoja oz. analiza projektnih stanj se izvede na računskih modelih konstrukcij in temeljnega polprostora. Z analizo posameznih projektnih stanj je potrebno dokazati, da v celotni življenjski dobi konstrukcije mostu ne bo preseženo nobeno mejno stanje nosilnosti in uporabnosti.

V smislu geotehničnega projektiranja je potrebno dokazati naslednja mejna stanja:

- globalna stabilnost,
- mejna stanja GEO
- mejna stanja STR

Mejno stanje globalne stabilnosti obravnava geomehanske pogoje izgube globalne stabilnosti ali prekomernih deformacij tal, pri katerih je za zagotavljanje odpornosti najpomembnejša trdnost zemljin in hribin.

Pri projektiranju in gradnji vodnjakov mora biti dokazana globalna stabilnost vplivnega območja v vseh analiziranih projektnih stanjih.

Dokazati je treba globalno stabilnost vodnjaka, zemeljskega pobočja nad in pod vodnjakom, dostopnih poti, izkopov in delovnih platojev, ki jih pogojuje tehnologija gradnje.

Pri izbiri primernih metod za dokazovanje mejnih stanj globalne stabilnosti se upoštevajo: plastovitost pobočij, pojavi in smeri diskontinuitet, pronicanje talne vode in porni tlaki, pogoji kratkoročne in dolgoročne stabilnosti, deformacije zaradi strižnih napetosti in primernost modela analize potencialne porušitve.

Z mejnim stanjem GEO se dokazuje zadostna varnost (geotehnično varnost) za mejna stanja nosilnosti pobočja in temeljnih tal v območju vodnjaka, kot so: porušitev temeljnih tal zaradi obtežb na vodnjake, porušitev zaradi zdrsa in porušitve zaradi odpovedi sidranja.

Z dokazi mejnega stanja STR za posamezna projektna stanja se dokazuje zadostna nosilnost posameznih konstruktivnih delov vodnjaka (stena za varovanje brežine nad vodnjakom, plašč vodnjaka, temeljna plošča, vpetje stebra v vodnjak, ipd.). Obremenitve v steni vodnjaka se običajno določijo z upoštevanjem elasto-plastičnega obnašanja obročev. Pri dimenzioniranju plašča vodnjaka je potrebno upoštevati tako kriterij nestabilnosti (uklon) stene kot tudi omejitev deformacij.

Za posamezne projektne primere je treba dokazati, da se pri mejnem stanju lahko vzpostavi mejno ravnotežno stanje projektnih učinkov in odpornosti ter da so deformacije pri mejnem stanju dovolj majhne. Pri izbiri projektnih vrednosti mejnih premikov se upošteva njihov vpliv na celotno konstrukcijo mostu. Za zahtevnejše betonske konstrukcijske elemente je potrebno dokazati mejna stanja razpok z utemeljitvijo pričakovanih dogajanj na nedostopnih mestih ter v območju predvidenih delovnih stikov.

SKLEP

Podane smernice za projektiranje vodnjakov so del tehničnih specifikacij (DRSC, 2003), ki so v fazi priprave in obravnavajo celotno problematiko temeljenja mostov na vodnjakih. V sklopu gradnje avtocest v Sloveniji so se v zadnjih desetih letih zgradili številni pobočni viadukti, zlasti na AC odseku Vransko-Blagovica in AC odsekih na Primorskem, kjer je bilo temeljenje na vodnjakih glede na dane pogoje pravzaprav edini možni način gradnje. Od tod izhajajo številne praktične izkušnje v zvezi s konstruiranjem vodnjakov, računskim modeliranjem in glede izvedbe vodnjakov.

LITERATURA

DRSC, Direkcija Republike Slovenije za ceste, TSC 07.120 Temeljenje na vodnjakih, predlog, 2003.
CEN, prEN 1997 Eurocode 7 – Geotehnično projektiranje, 2000.
Brandl, H., Dalmatiner, J., Brunnenfundierungen von Bauwerken in Hangen (insbesondere Bruecken), Bundesministerium fuer Wirtschaftliche Angelegenheiten, Strassenforschung, Heft 352, Wien, 1988.
Menn, C., Stahlbetonbruecken, Springer-Verlag, 1990.

AKTIVNOSTI V EU ZA POVEČANJE VARNOSTI V CESTNIH PREDORIH

ACTIVITIES IN THE EU FOR THE ENCREASING OF THE SAFETY OF THE ROAD TUNNELS

Peter Šavnik, univ. dipl. inž. grad.
Ministrstvo za promet, Langusova 4, 1535 Ljubljana

Strokovni članek
UDK 624.195:656.072(4)EU

Povzetek | V evropskih cestnih predorih se je v zadnjih letih pripetilo več hudih nesreč s katastrofalnimi posledicami, ki jim je sledilo daljše zaprtje nekaterih predorov in omejitev določenih vrst prometa. V članku so opisana prizadevanja v EU za povečanje varnosti prometa v cestnih predorih.

Summary | In the last few years, some accidents with catastrophic consequences occured in the European road tunnels. One of the consequences of these accidents was the closing of several tunnels for a large period of time and the limitation of traffic. The paper describes the endeavours in the EU for the encreasing of the safety of the road tunnels.

1 • UVOD

Cestni predori so nepogrešljivi objekti prometne infrastrukture, skozi katere se je po podatkih PIARC (The Worl Road Association) iz leta 1999 odvijalo ca. 85 % tovornega in ca. 93 % potniškega prometa v primerjavi z železnico, na katero je odpadlo ca. 15 % tovornega in ca. 7 % potniškega prometa. Predvsem v goratih deželah Evrope postajajo predori nepogrešljivi objekti in so zaradi naraščanja tako tovornega kot potniškega prometa vedno bolj obremenjeni in s tem izpostavljeni raznim tveganjem, ki se ne končajo samo z materialno škodo, ampak tudi s človeškimi žrtvami. Prav katastrofalni požari v predorih Francije, Italije (Mont Blanc, 24. marca 1999) in Avstrije (Tauern, 25. maja 1999), v katerih je izgubilo življenje skupaj 53 ljudi, je zbližalo strokovnjake alpskih držav na področju gradenj predorov z nalogo, da skupaj analizirajo vzroke za nesreče v omenjenih predorih.

Za ta namen sta se vključili dve krovni mednarodni organizaciji za ceste (PIARC) in gradnjo predorov ITA (International Tunnelling Association), v okviru katerih so strokovnjaki s področja gradnje in vzdrževanja predorov začeli pripravljati strokovne konference, na katerih so tekle aktivnosti v obliki razprav in strokovnih diskusij, katerih cilji so bili ugotavljanje vzrokov in odprava pomanjkljivosti pri predorih. Na teh mednarodnih konferencah so bili predstavljeni neenaki poostreni varnostni ukrepi za povečanje varnosti v cestnih predorih cestnega omrežja EU. Tako so bila merila, ki so jih sprejeli v Švici, različna od meril drugih alpskih držav EU (Francije, Italije, Avstrije, Nemčije).

Da bi dosegli poenotene ukrepe za varnost v predorih evropske cestne mreže, je Komisija EU sklicala sestanek predstavnikov članic EU, na katerem je UNECE (United Nations, Economic Commission for Europe) pod vodstvom koordinatorja ITC (Inland Transport Committee) predlagala konkretne usmeritve in merila za izboljšanje varnosti v predorih, ki jih je pripravila skupina ekspertov (Ad hoc Multidisciplinary Group of Expert on Safety in Tunnels v svojem končnem poročilu »Recommendations of The Group of Expert on Safety in Road Tunnels, Final Report«. Poročilo je ITC v februarju 2002 predložil UNECE kot priporočilo primerne oblike za oblikovanje in iskanje legalnega dokumenta, ki bi veljal za vseevropsko cestno mrežo TERN (Trans European Trafic Network).

Na svojem petem zasedanju je Komisija EU vključila v svoj program aktivnosti tudi varnost v predorih na področju razvojno-raziskovalnih projektov (Research and Technology Developement (RTD) programme. Za ta namen so tekli trije razvojno-raziskovalni projekti:

- projekt DARTS Durable and Reliable Tunnel Structury), ki naj bi obravnaval varnost in zanesljivost predorskih konstrukcij,
- projekt FIT (Fire in Tunnels), ki naj bi obravnaval požare in požarno varnost v predorih in
- projekt UPTUN (Upgrading Methods for Fire Safety in Existing Tunnels), ki naj bi raziskal stanje obstoječih predorov in možnost njihove nadgradnje zaradi izboljšanja njihove varnosti in konstrukcijske zanesljivosti.

Za dosego skupnih ciljev je Komisija EU poleg že omenjenih institucij PIATC in ITA vključila še delo strokovnjakov: AGR (European Agreement on Main International Traffic Arteries), (IRF) International Road Federation, IRU (International Transport Union, AIT&FIA (International Touring Alliance/International Automobil Federation) in TCS (Swiss Touring Club) kot opazovalca.

Februarja 2000 je UNECE (United Nations, Economic Commission for Europe) naložil delovni skupini strokovnjakov SC.1 (Working Party on Road Transport) (SC.1) pripravo koncepta »priporočil za minimalne zahteve varnosti v predorih različnih tipov in dolžin«. Za ta namen je ekspertna skupina strokovnjakov predlagala obseg in vsebino naloge:

- narediti popis vseh dolgih cestnih in železniških predorov v EU z navedbo dolžin, večjih od 1000 m, ki jih bo določila delovna skupina strokovnjakov držav EU,
- pripraviti seznam vseh resnih požarov in nesreč v EU predorih v zadnjih 40 letih, poiskati njihove vzroke in zbrati primerne rešitve za vse večje nesreče,
- pridobiti informacijo o varnostnih ukrepih in sistemih upravljanja predorov TERN,
- zbrati obstoječo dokumentacijo o varnosti predorov (zakonodaje držav EU, poročila, zaključke...), znotraj EU in ustreznih mednarodnih organizacij (PIARC; IRV; IRF; OECD...) in sestaviti seznam za aktivnosti teh organizacij,
- pripraviti priporočila za izboljšanje varnosti v predorih v bližnji prihodnosti,
- pripraviti način koordiniranja v obliki priporočil in predlogov obstoječih legalnih dokumentov, ki obravnavajo varnostne ukrepe v predorih med gradnjo, vzdrževanjem, obnovo in rekonstrukcijo predora; predlagati potrebno opremo za različne tipe in dolžine predorov (posodobljeno signalizacijo za težka vozila, prevoz nevarnih snovi...).

Našteta priporočila in dodatni predlogi bi morali zmanjšati tveganje nesreč v predorih in povečati istočasno ekonomski učinek gradnje ter obratovanje predora.

2 • VARNOST IN TVEGANJA V CESTNEM PROMETU

Glavni vzroki nesreč na cestah so: neprimerno prometno znanje uporabnikov cest, tj. voznikov, neustrezno instalirana oprema cest na cestni mreži, okvare težkih vozil in druge napake na vozilih (napake električnih instalacij vozil, zavore, pregretja motorjev ipd.) ter problemi glede tovora (npr. preobremenitev vozil, kemične reakcije blaga, ki se prevaža). V poročilu OECD (Organisation for Economic Cooperation and Developement) je navedeno, da je v 95 % obravnavanih primerov glavni vzrok nesreč neustrezno prometno znanje udeležencev v cestnem prometu.

2.1 Nesreče na cestah

Poročila raznih držav EU za avtoceste navajajo statistike različnih pogledov, ki se nanašajo na vpliv povprečnega dnevnega prometa in tipa ceste. Verjetnost nesreč je manjša na avtocestah z enosmernimi ločenimi vozišči kot na avtocestah z dvosmernim prometom in je večja pri križiščih, priključkih, priključnih rampah in blizu portalov predorov. Prikazi večine držav EU kažejo podobno sliko.

2.2 Nesreče v predorih

Običajno je število nesreč v predorih manjše od nesreč na odprti trasi, ker cesta ni izpostavljena vremenskim vplivom (sneg, led, veter in dež), še posebno v dolgih predorih. Nekatere statistike kažejo, da je število nesreč v dvosmernih predorih do 40 % večje od nesreč v enosmernih predorih. V mnogih predorih ima pomanjkanje varnostnega pasu za zaustavljanje negativen vpliv na promet. Če tovornjak ne more pripeljati do odstavne niše, povzroči prometni zamašek ali povzroči tvegane vzvratne manevre. Po podatkih PIARC je število pogostih okvar na motorjih vozil / 100 mio prevoženih km vozil:

- 1300, v predorih pod rekami in urbanimi površinami,
- 300–600, v predorih ravninskega sveta in
- 900–1000, v predorih goratega sveta.

Pogostost okvar motorja je večinoma odvisna od padca oz. vzpona trase. Do 5-krat se poveča število okvar na motorjih vozil v predorih z vzdolžnim sklonom trase, večjim od 2,5 %. Pogostost požarov je precej nizka v obeh primerih, tako na odprti trasi kot v predoru. Po mednarodni statistiki večina požarov ne nastane pri večjih trkih ali naletih, pač pa je vzrok požara samovžig tovornega vozila ali blaga, ki ga prevaža, za razliko od okvar na električnih napeljavah in motorjih vozil. Poseben primer je bil požar v predoru Mont Blanc, kjer je prišlo do samovžiga tovora na tovornjaku.
Izsledki raziskav cestnih predorov v veliki večini držav EU kažejo, da:

- nikjer ni povprečna pogostost požarov v predorih večja od 25 / 100 mio prevoženih km tovornjakov;
- je pogostost požarov večja v mestnih oz. primestnih predorih kot pri predorih zunaj urbanih območij;
- požara nikoli še ni bilo v 40 % obravnavanih predorih, ki so vključeni v TERN (trans evropska cestna mreža) in so inšpekcijsko nadzorovani;
- je v predorih, kot so Chamoise, Elbe, Frejus, Mont Blanc, Gotthard, pogostost požara mnogo večja pri tovornjakih, ki prevažajo nevarno vnetljivo blago, kot pri osebnih vozilih;
- je bila pogostost +/- enega požara na leto registrirana v tistih predorih, ki so bili zelo dolgi, ali so imeli zelo velik prometni tok. Zanimiv je podatek poročila PIARC iz leta 1995, v katerem piše, da je bila v obdobju od konca leta 1980 do začetka leta 1990 pogostnost požarov, ki so jo povzročila vozila v večini večjih predorov Francije, od 0 do 10 / 100 mio prevoženih km vozil.

Analiza, ki je bila narejena v Švici, je pokazala, da je bil vzrok požara za 8 izbranih predorov napaka na vozilih, ki je pripeljala do vžiga različega goriva na cestišču.

3 • OBSEG ŠKODE

Nesreče običajno povzročajo vozniki motornih vozil. Število primerov, v katerih ljudje niso izpostavljeni nevarnosti, je zelo majhno (sproščanje strupenih plinov nevarnega tovora, ki ga prevažajo tovornjaki). V primeru prometnih nesreč, kjer ne pride do požara, sta hitrost in število vključenih vozil tista dejavnika, ki primarno določata obseg škode uporabnikov prometnice. V nesrečah, kjer pride do požara zaradi prevoza nevarnih snovi, je za obseg škode odločujoča količina eksploziva, vnetljivih, strupenih in podtalnici škodljivih snovi. Pomemben dejavnik je tudi slaba vidljivost ob pojavu požara v predoru. Širitev dima in strupenih plinov ter hiter dvig visoke temperature zmanj-

šuje količino kisika v zraku. Obseg škode v primeru požara v predorih je v primerjavi z obsegom škode na odprti trasi veliko večji. Tudi omogočanje reševanja v nesrečah, ki se zgodijo na odprti trasi, in nesrečah, ki se zgodijo v predorih, je različno in pri predorih zahteva dosti več infrastrukturnih naprav, ki se aktivirajo ob nesreči, še posebno v dvosmernih predorih. Požari v predorih ne ogrožajo samo človeška življenja, ampak povzročajo tudi škodo konstrukciji in instalacijam predora. Konec koncev je predor, v katerem pride do požara, zaradi obnove obsojen na zaprtje za daljši čas, kot takrat, kadar gre za odpravo posledic nesreče na odprti trasi.

4 • OSNOVNI CILJI, KI VPLIVAJO NA VARNOST V CESTNIH PREDORIH

Za dosego ciljev na optimalni ravni varnosti v cestnih predorih je potrebno:

- preprečiti kritične dogodke, ki ogrožajo človeška življenja, okoljske in predorske naprave,
- v primeru nesreč in požarov v predorih ustvariti idealne pogoje za reševanje udeležencev tako, da se najprej lahko rešujejo sami,
- hitro posredovanje udeležencev nesreče oz. požara za preprečitev večjih posledic. Ogenj se lahko v glavnem laže pogasi, če pričnemo gasiti takoj; po 10 minutah se bo ogenj razširil v požar, ki ga udeleženci ne bodo obvladali,
- oskrbeti učinkovito reševalno akcijo,
- poskrbeti za zaščito okolja in omejitev materialne škode.

V primeru požara v predoru je prvih 10 minut odločilnih, da ljudje poskrbijo za samoreševanje in omejitev škode. Preprečitev kritičnih dogodkov je torej prioriteta, ki pomeni najvažnejše merilo za varnost v cestnih predorih.

Raven varnosti v predorih je odvisna od stopnje verjetnostnih faktorjev, ki so združeni v štiri glavne skupine:

- uporabnost,
- upravljanje predorov,
- infrastruktura in
- vozila.

Vse te faktorje je ekspertna skupina strokovnjakov za predore v svojem poročilu obdelala in posredovala ITC (Inland Transport Committee), ki je gradivo pregledal na svojem 64. zasedanju. Revidirano poročilo je bilo posredovano UNECE (Economic Commission for Europe, United Nations), ki ga je objavila 10. dec. 2001. Še pred tem datumom je Evropska komisija 12. sept. 2001 v dokumentu White Paper » European transport policy for 2010 : time to decide« napovedala potrebo po predlogu harmoniziranega evropskega dokumenta, ki naj bi veljal na cestah TERN (Trans European Road Network), tj. Direktive o minimalnih varnostnih zahtevah za predore TERN.

Predlog direktive je potem obdelovala in pripravljala posebna ekspertna skupina strokovnjakov za predore iz držav EU, ki so gradivo dobile v pregled in dajale nanjo svoje pripombe in predloge. Dokument je šel skozi mnoge procedure usklajevanj in pripomb predstavnikov članic EU, dokler ga Evropska komisija ni predložila Parlamentu in Svetu EU v potrditev in sprejem 29. aprila 2004. Direktiva je bila že naslednjega dne, tj. 30. aprila 2004, objavljena v Uradnem listu EU (OJ EU;L167/39).

5 • DIREKTIVA 2004/54/EC O MINIMALNIH VARNOSTNIH ZAHTEVAH V PREDORIH NA TRANSEVROPSKIH CESTAH

Dokument sestoji vsebinsko iz 20 členov meril in usmeritev in 3 dodatkov s preglednicami. Kratek povzetek direktive zajema:

- predore TERN, ki so v obratovanju, gradnji ali se projektirajo in so daljši od 500 m,
- definicije (termine) osnovnih pojmov strokovnih izrazov,
- merila varnosti,
- uvedbo odgovornega administrativnega organa in opredelitev njegove funkcije delovanja, spoštovanja njegovih kompetenc in odgovornosti,
- določitev odgovorne osebe za vodenje in upravljanje predora (Tunnel Manager),
- uvedbo odgovorne osebe za varnost predora (Safety Officer), s poudarkom na neodvisnem delokrogu njegovih opravil in pristojnosti,
- določitev nadzorne službe za predor (neodvisne od Tunnel Managerja),
- prijavo Administrativnega organa Komisiji EU,
- prijavo predora, katerega projekt še ni odobril odgovorni organ,
- prijavo predora, katerega projekt je odobril odgovorni organ, ni pa še odprt za promet,
- določila in roke potrebnih dokumentov, ki jih je potrebno pridobiti za delovanje predora,
- določitev periodičnih inšpekcijskih pregledov za predore in ukrepov, če so ti potrebni,
- izdelava analiz tveganja,
- določitev odstopanja od določil Direktive v primeru inovativnih tehnologij in opreme predora, ki zagotavljajo večjo varnost, kot je predvidena z določili direktive,
- izdelava poročil o stanju predora in njihovo posredovanje Komisiji EU,
- članice EU morajo svojo zakonodajo za predore prilagoditi Direktivi v roku 2 let po njeni uveljavitvi (objavi v Uradnem listu EU), tj. po 30. aprilu 2006.

Na podlagi sprejetega dokumenta bodo morale članice EU izdelati varnostne analize ocene tveganj za vse predore transevropskega cestnega omrežja (TERN). Izdelava analize tveganj cestnih predorov je izredno interdisciplinarna naloga, ki jo bodo morale članice EU obdelati v svojih obstoječih in novo planiranih predorih. V analizi tveganja v predoru bodo definirane verjetnosti nenormalnih dogodkov, ki se v predoru lahko zgodijo, ter podane posledice za te dogodke, ki so lahko neposredne ali potencialne. Razvite metodologije bodo omogočale kvantifikacijo tveganja pri prevozu skozi predor oziroma varnosti predora, ki ne bi temeljila le na opremljenosti in izvedbi predora, temveč na interakciji vseh dejavnikov, ki vplivajo na varnost oziroma tveganje v predoru.

6 • USKLAJEVANJE ENOTNIH NORMATIVNIH DOKUMENTOV EU NA PODROČJU IZBOLJŠANJA VARNOSTI PREDOROV V TERN

PIARC je za obravnavo problematike cestnih predorov v okviru posebne strateške teme »Safety and operation« ustanovil samostojen tehnični odbor PIARC TECHNICAL COMMITTEE 3.3 : ROAD TUNNEL OPERATION, v katerem deluje 6 delovnih skupin (WG-Working Groups).

WG-1, ki pokriva upravljanje in delovanje predorov, ima v svojem delovnem programu:
- izdelavo smernic za pomoč upravljavcem predorov pri uvajanju sistema upravljanja in ustreznih pripomočkov,
- razvoj navodil za organizacijo, izbor in usposabljanje operaterjev za predore,
- izdelavo priporočil operaterjem predorov za vzdrževanje in izbor opreme.

WG-2, ki deluje na področju upravljanja varnosti predorov, ima v svojem programu predvidene:
- raziskave na področju integriranega pristopa varnosti cestnih predorov s študijem aplikacij analiz tveganja v navezavi z novo EU direktivo.

WG-3 ima v svojem programu obdelavo in raziskavo vplivov:
- človeškega faktorja in varnost v predorih z namenom boljšega razumevanja obnašanja uporabnikov, izboljšanje njihovega obnašanja in izboljšanje posredovanja intervencijskih ekip.

WG-4, ki deluje na področju detekcije, komunikacije in evakuacije, ima v svojem programu za ciljno nalogo:
- uskladitev varnostne opreme in signalizacije na podlagi harmoniziranih mednarodnih standardov ter izboljšavo odkrivanja nenormalnih stanj, obveščanje in usmerjanje uporabnikov predorov.

WG-5, ki deluje na prevozu nevarnega tovora, ima v svojem programu:
- obdelavo in uvedbo kvantitativne analize tveganja (QRA-Quantative Risk Assessment) s spremljajočimi odločitvenimi modeli (DSM-Decisio Support Model) za prevoz nevarnih snovi skozi predore.

WG-6, ki deluje na področju prezračevanja in kontrole požara, si je za svoje cilje zadala:
- raziskavo pomena onesnaževanja znotraj predora in na portalih,
- študij strategije prezračevanja predorov med normalnim delovanjem in med požarom,
- izdelavo ocen in priporočil za fiksne gasilne sisteme v predorih.

7 • SKLEP

V Evropi je okrog 500 predorov, daljših od 500 m. Glede na nesreče, ki so se zgodile v preteklosti, ne gre zanemarjati prometne varnosti v predorih. Pri načrtovanju in organizaciji varnosti v predorih velja upoštevati varnostne rešitve iz drugih sorodnih sistemov, ki se v državah EU proučujejo in razvijajo in jih bo mogoče uporabiti pri gradnji in nadgradnji obstoječih predorov

V Sloveniji imamo okrog 20 km cestnih predorov različnih dolžin. Trenutno so v gradnji štirje dvocevni predori, in sicer: Trojane in Podmilj na AC odseku Trojane-Blagovica ter Kastelec in Dekani na AC odseku Klanec-Ankaran. Skupna dolžina teh štirih predorov v gradnji je 15.774 m (seštevek dolžin vseh predorskih cevi). V načrtovanju, projektiranju ali v pripravi je še sedem AC predorov, in sicer: Šentvid na AC odseku Šentvid-Koseze, Ljubno na AC odseku Peračica–Tabor, Barnica in Tabor na HC Razdrto-Vipava ter Markovec in Dobrava na odseku HC Koper-Lucija, katerih skupna dolžina bo presegala 10 km.

Na slovenskem avtocestnem omrežju je izvedenih in v uporabi 5 predorov, daljših od 500 m (Pletovarje, Golo rebro, Golovec, Ločica, Jasovnik). Vsi so dvocevni, z enosmernim prometom in opremljeni po avstrijskih oz. nemških predpisih (RVS, RABT), ki so veljali v času gradnje opreme. Za predora Ločica in Jasovnik, ki sta bila predana prometu junija 2002 in opremljena skladno s predlogi najnovejših avstrijskih predpisov (RVS 9.282), lahko ugotovimo, da gradbeni objekti v predoru (odstavne niše, prehodni-prevozni prečniki, niše za klic v sili, hidrantne niše, čistilne niše) povsem ustrezajo zahtevam direktive. Pri vgrajeni opremi pa bo potrebna dopolnilna oprema (dodatne oznake poti za reševanje, ozvočenje v predoru, talne oznake vozišča v LED izvedbi). V zadnjih dveh predorih, Kastelec in Dekani, ki bosta predana prometu v letošnjem letu (predvidoma v septembru 2004), bo vgrajena oprema predorov presegala določila direktive. Za povezavo obeh predorskih cevi so za potrebo intervencije v primeru nesreče v predoru zgrajeni prečniki na vsakih 350 m, Direktiva jih predvideva na 1500 m. Poleg tega so ti prečniki pokriti z video kamerami in radijskim signalom.

Predori postajajo neprecenljiva infrastruktura in predstavljajo nekatere pomembne izzive za prihodnje, saj navedene tematike še niso vse dorečene. Obstajajo še številna nerešena vprašanja na področju cestnih predorov, ki naj bi jih v okviru zastavljenih delovnih skupin reševali tudi s pomočjo rezultatov posameznih raziskovalnih skupin in njihovih izsledkov, ki delujejo po svetu.

8 • LITERATURA

UNECE, Economic and Social Council, Recommendations of the Group of Experts on Safety in Road Tunnels, Final Report, 2001.
EN, Directive 2004/54/EC, Official Journal of the European Union, L 167/39, 2004.
PIARC, Technical Committee 3.3: Road Tunnel Operation, Draft Work Programm, 2004.
ECE, Inland Transport Committee, Report of the Ad hoc Multidisciplinary Group of Experts on Safety in Tunnels on its Seventh Session, 2004.

RAČUNALNIŠKO PODPRTA ANALIZA MERITEV V PREDORU

COMPUTER SUPPORTED ANALYSIS OF DISPLACEMENT MONITORING DATA IN TUNNELLING

Jure KLOPČIČ, univ. dipl. inž. grad.
FGG, Jamova 2, 1000 Ljubljana, jklopcic@fgg.uni-lj.si
Andrej ŠTIMULAK, univ. dipl. inž. rud.
DDC Svetovanje inženiring, Kotnikova 40, 1000 Ljubljana, andrej.stimulak@dd-ceste.si
mag. Igor AJDIČ, univ. dipl. inž. geol.
DDC Svetovanje inženiring, Kotnikova 40, 1000 Ljubljana, igor.ajdic@dd-ceste.si
doc.dr. Janko LOGAR, univ. dipl. inž. grad.
FGG, Jamova 2, 1000 Ljubljana, jlogar@fgg.uni-lj.si

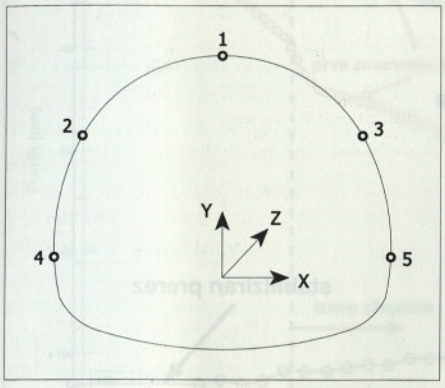
Znanstveni članek
UDK 624.19:681.3.06

Povzetek | Sistematično merjenje pomikov kot podlaga za določanje tipa in togosti podporja ter nadzor stabilnosti predora je pomemben del Nove avstrijske metode gradnje predorov (NATM). Grafi časovnih potekov pomikov, prirastkov pomikov, vektorjev pomikov v prečnem in vzdolžnem prerezu, vplivnic s trendnimi linijami, trendne črte orientacije vektorja pomikov in razmerij med pomiki dveh točk ter stereografske projekcije vektorja pomikov omogočajo, da lahko bolje razumemo geomehanske procese, ki potekajo med gradnjo predora. Z njihovo pomočjo lahko sklepamo na zgradbo hribine okrog izkopanega območja ter predvsem pred samim čelom predora. Primerjava merjenega odziva z analitičnimi izrazi za pomikovne funkcije pa tudi pove, ali sistem podporja in hribine varno prevzema dodatne obremenitve ali pa morebiti prihaja do odpovedi podpornega sistema. Za grafični prikaz ter analizo meritev pomikov v predoru smo razvili računalniški program Predor.

Summary | Systematic measurement of tunnel displacements is an important part of New Austrian Tunelling Method. The observed displacements together with geological survey form a basis for the determination of a support type. Graphs of displacements vs. time, displacement increments vs. time, displacement vectors in cross section and longitudinal section, displacement influence lines along the tunnel axis with trendlines, displacement vector orientation shown along the tunnel axis and/or in stereographic projection, all these plots give very usefull insight in mechanical processes that develop during the tunnel excavation. A carefull analysis of these graphs gives the information on geological ground composition in front the tunnel face and along the sidewalls. The comparison of the measured response with the analytical displacement functions can serve for the verification whether the installed support system together with the surrounding rock mass safely distribute the additional stresses or the system is approaching failure. For the graphical presentation of tunnel displacement measurement and relevant analyses a computer application Predor has been developed.

UVOD

Danes je ustaljena praksa, da v predoru vsakodnevno v izbranih merskih profilih, ki si sledijo na približno vsakih 10 m, merimo 3D premike petih točk v prečnem profilu (slika 1). Tako pridobljeni podatki so izjemno bogata in uporabna baza podatkov, a le če jih lahko ustrezno prikažemo in analiziramo. Program Predor (Klopčič, 2004) je enostavna, pregledna in uporabniku prijazna računalniška aplikacija, ki to omogoča. Koda programa je napisana v programskem okolju MATLAB®.



Slika 1: **Značilni položaj merskih točk v merskem profilu**

Program Predor omogoča naslednje izrise:

- graf časovnega poteka pomikov ter prirastkov pomikov,
- graf vektorjev pomikov v prečnem in vzdolžnem prerezu,
- graf vplivnic z možnostjo izrisa trendne črte na različnih razdaljah za čelom predora,
- trendna črta orientacije vektorja pomikov na različnih razdaljah za čelom predora,
- trendna črta razmerij med pomiki dveh točk,
- stereografska projekcija vektorja pomikov,
- posameznih faz gradnje,
- poročila za posamezni merski profil.

Analiza meritev temelji na uporabi metode EPM (Extrapolation Prediction Method). Osnova te metode je prilagajanje analitične pomikovne funkcije (Barlow, 1986) grafu časovnega poteka pomikov v navpični in vodoravni smeri. Tako lahko na podlagi nekaj meritev napovemo, kolikšen bo končni pomik posamezne merske točke v opazovanem prečnem prerezu. S številom izvedenih meritev se izboljšuje tudi ocena poteka meritev.

Program Predor je namenjen analizi izmerjenih pomikov v realnem času za potrebe čim bolj racionalne in varne gradnje predora. Da bi se posameznik izuril v prepoznavanju geoloških in mehanskih značilnosti okolice čela predora na osnovi merjenih pomikov, je potrebnega precej znanja, raznovrstnih analiz (Steindorfer, 1998) in izkušenj. A šele ustrezno programsko orodje za predstavitev meritev omogoča pridobivanje tovrstnih izkušenj.

PREDSTAVITEV GLAVNIH MOŽNOSTI PROGRAMA

Predstavitev možnosti programa meritev je izvedena na meritvah iz odseka predora Trojane na AC Ljubljana – Celje, kjer je prišlo do velikih pomikov in posledično do porušitve levega boka predorske cevi. Pokazali bomo, da bi se dalo z uporabo programa Predor tako dogajanje vnaprej predvideti in uporabiti ustrezne ukrepe, da bi se izognili zamudnim popravkom profila izkopa.

Graf časovnega poteka pomikov in prirastkov pomikov

Na grafu časovnega poteka pomikov so ločeno prikazane posamezne komponente vektorja pomikov (višinski, prečni ter vzdolžni pomiki) v odvisnosti od časa. Na njem lahko istočasno prikažemo več merskih točk. Običajno prikažemo vse aktivnosti gradnje (izkop kalote, stopnice in talnega oboka) na enem grafu, kar omogoča ugotavljanje korelacije med gradbenimi aktivnostmi ter razvojem pomikov. Prikaz časovnega poteka pomikov za isto smer in mersko točko, a za različne merske profile na enem grafu, omogoča do neke mere sklepati na lastnosti hribine pred izkopnim čelom kalote.

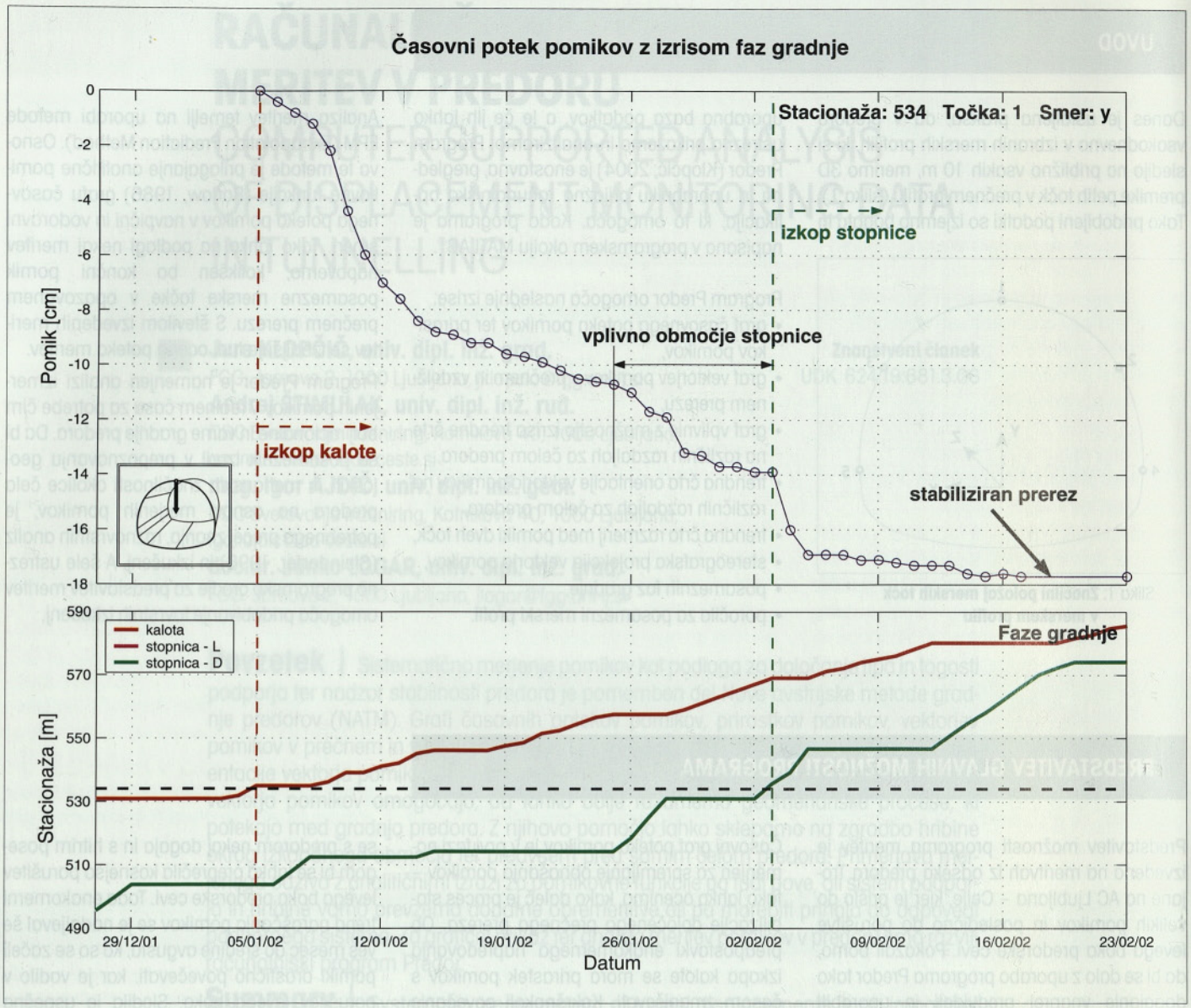
Časovni graf poteka pomikov je v prvi fazi namenjen za spremljanje obnašanja pomikov – tako lahko ocenimo, kako daleč je proces stabilizacije določenega prečnega prereza. Ob predpostavki enakomernega napredovanja izkopa kalote se mora prirastek pomikov s časom zmanjševati. Kakršnokoli povečanje prirastka pomikov pomeni destabilizacijo, razen če v bližini opazovanega prečnega prereza ne potekajo druge gradbene aktivnosti (izkop stopnice, talnega oboka). Običajno se po sklenitvi obroča, tj. izgradnji talnega oboka, opazovani prerez stabilizira in prirastek pomikov pade na ničelno raven. Normalno obnašanje merskega profila je prikazano na sliki 2.

Primer:

Prikaz destabilizacije prereza je prikazan na sliki 3. Ko je bila v začetku julija 2002 izkopana stopnica, so se pomiki sprva močno povečali, nato pa začeli zmanjševati. A stabiliziral se je le desni bok predorske cevi (točki 3 in 5), medtem ko so se pomiki na levem boku predora po dobrem tednu od izkopa stopnice začeli povečevati. To je bilo prvo opozorilo, da se s predorom nekaj dogaja in s hitrim posegom bi se lahko preprečila kasnejša porušitev levega boka predorske cevi. Toda enakomerni trend naraščanja pomikov se je nadaljeval še ves mesec do sredine avgusta, ko so se začeli pomiki drastično povečevati, kar je vodilo v porušitev levega boka. Sledila je uspešna sanacija, kar se odraža z mnogo manjšimi prirastki pomikov v začetku septembra. Nato se je prerez počasi le dokončno stabiliziral.

Podobno funkcijo kot graf časovnega poteka pomikov ima tudi graf prirastkov pomikov. Osnovni namen grafa prirastkov pomikov je spremljanje procesa stabilizacije ter zgodnje odkrivanje možnih nestabilnosti predorske cevi.

Stanje, ki ga prikazuje slika 3, je prikazano še z grafom prirastkov pomikov na sliki 4. Črtkana puščica nakazuje dalj časa trajajoči naraščajoči trend prirastkov pomikov. Predvsem za predore z nizkim nadkritjem, ki se gradijo v slabih geološko – geotehničnih pogojih, je treba naraščajoče trende pomikov vzeti kot resno opozorilo!



Slika 2: **Predor Trojane, leva cev – vzhod, stacionaža 534 m, časovni potek pomikov v višinski smeri, merska točka 1 ter faze gradnje**

Graf vektorjev pomikov v prečnem in vzdolžnem prerezu

Merjenje absolutnih pomikov omogoča, da si ustvarimo prostorsko sliko pomikov predorske cevi. Grafa vektorjev pomikov v opazovanem prečnem prerezu (pomiki v smeri y – višinsko ter v smeri x – prečno) in v vzdolžnem prerezu (pomiki v smeri y in smeri z – vzdolžno) dasta predstavo o orientaciji vektorja pomikov v prostoru ter njegov razvoj skozi čas.

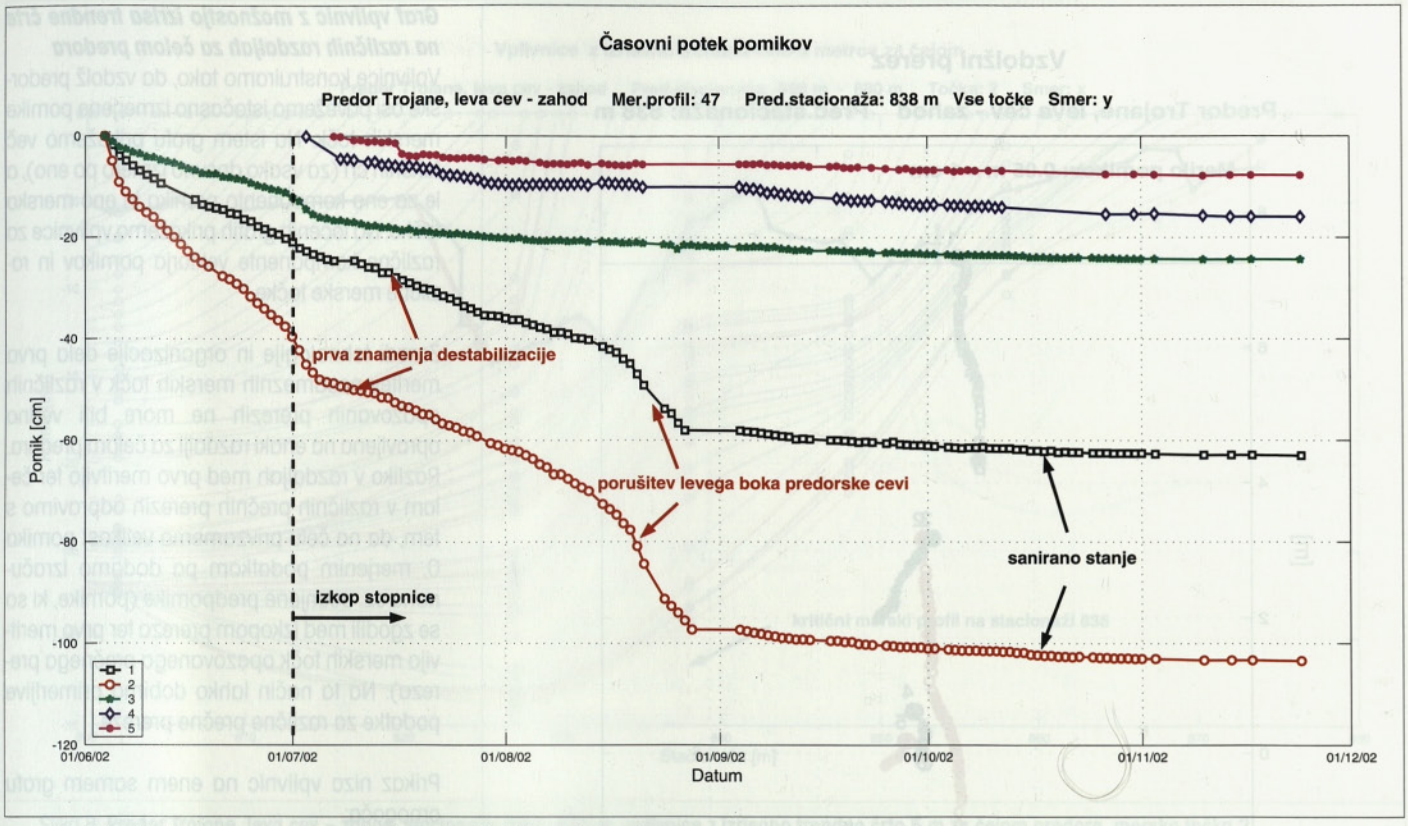
Graf vektorjev pomikov v prečnem prerezu omogoča, da sklepamo na območja geotehnično slabše hribine zunaj področja izkopa (levo in desno od predorske cevi) ter zagotavlja dodatne informacije o strukturi hribine ter deformacijskih fenomenih subparalelno s predorsko osjo.

Graf vektorjev pomikov v vzdolžnem prerezu posreduje informacijo o relativni togosti hribine pred izkopnim čelom kalote, kar je natančneje razloženo pri opisu trendne črte orientacije vektorja pomikov (slika 10).

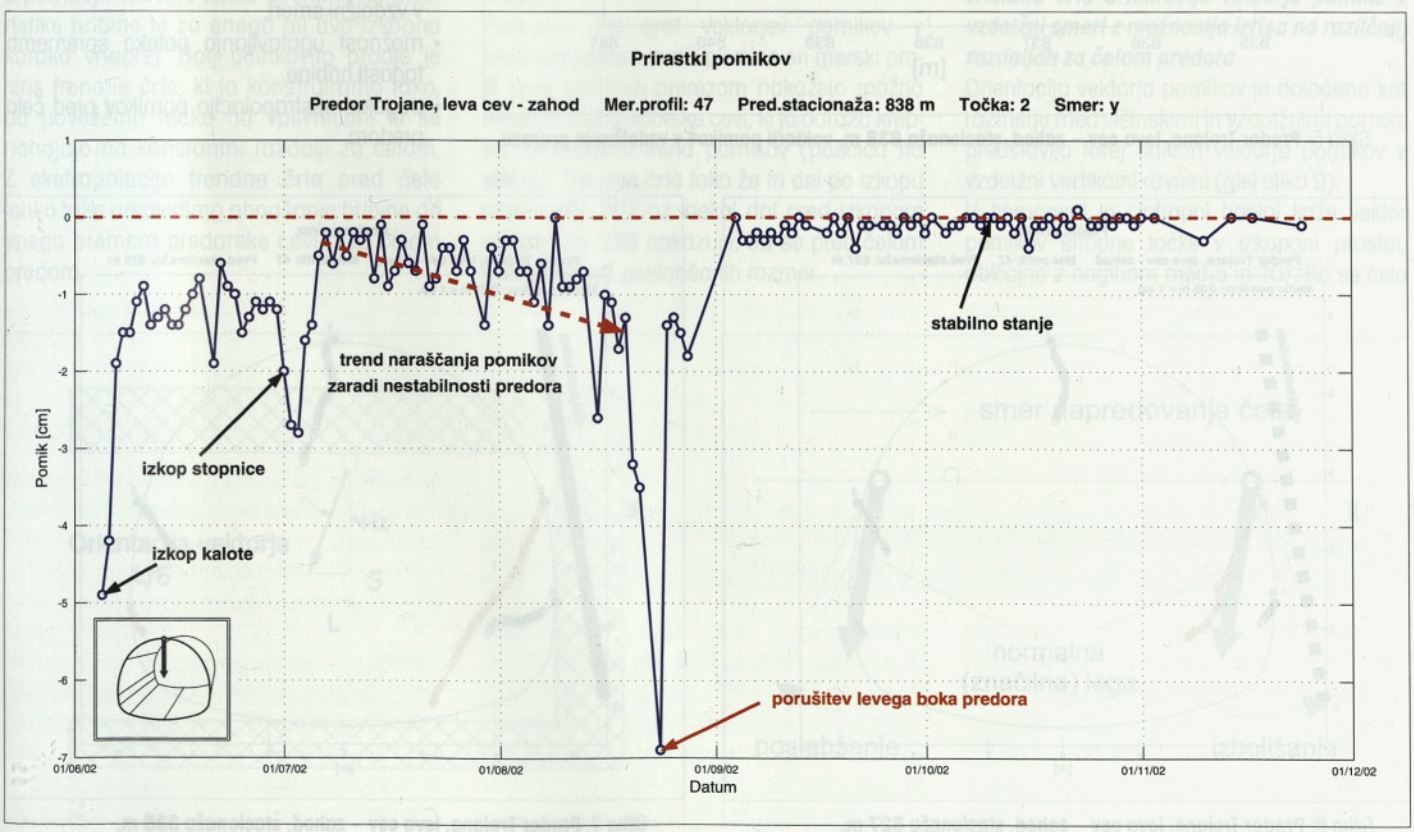
Primer:

Na sliki 6 je predstavljen merski profil – stacionaža 827, ki se nahaja neposredno pred merskim profilom na kritični stacionaži 838. V primerjavi z desnim bokom se na levem precej povečajo pomiki, kar naznanja možno preobremenitev hribine in podporja levega boka predorske cevi. Tak deformacijski vzorec pomeni opozorilo za nadaljnji izkop – potrebno je močno ojačiti podporje levega boka predora.

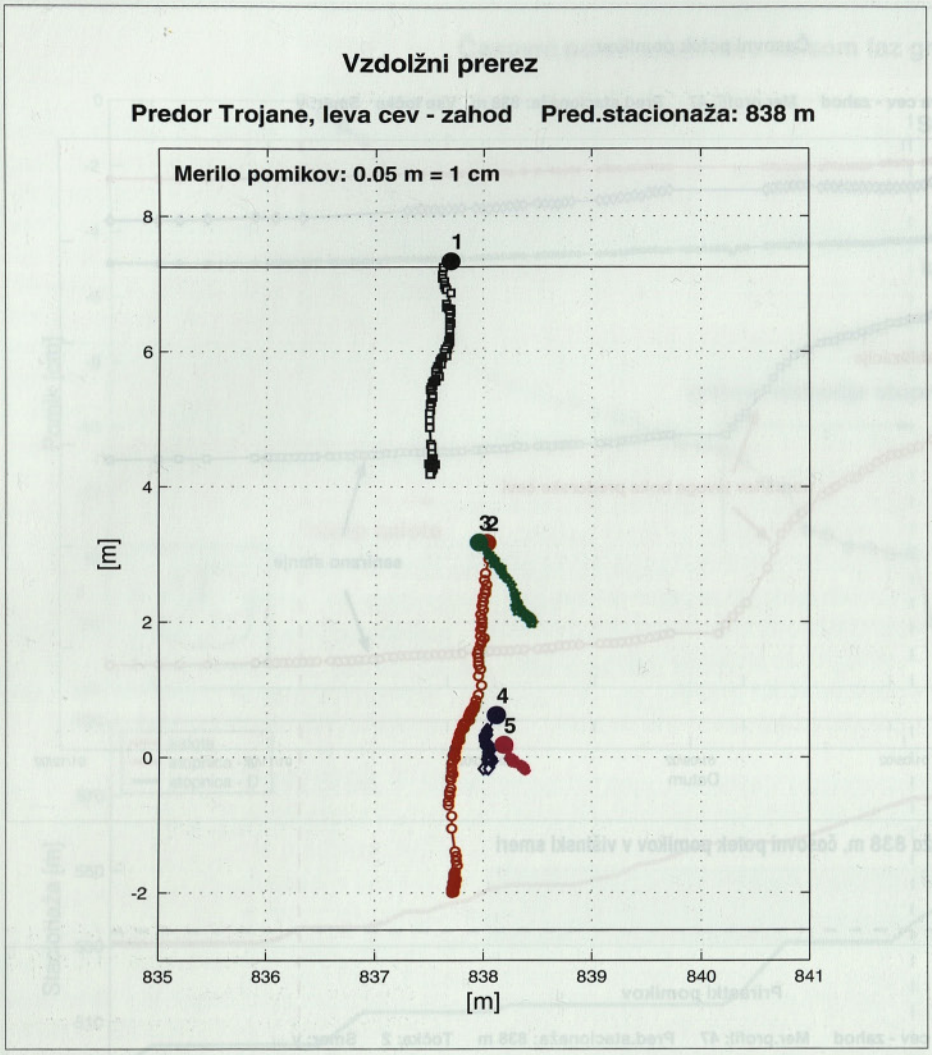
Graf vektorjev pomikov v prečnem prerezu merskega profila na kritični stacionaži 838 pa je prikazan na sliki 7. Ob levem boku predora se najverjetneje nahaja subvertikalno območje oslabljene hribine, zaradi katere je hribina ob levem boku preobremenjena (precej večji nivo pomikov kot na desnem boku). Graf vektorjev pomikov v vzdolžni smeri za ta merski profil je izrisan na sliki 5.



Slika 3: **Predor Trojane, leva cev – zahod, stacionaža 838 m, časovni potek pomikov v višinski smeri**



Slika 4: **Predor Trojane, leva cev – zahod, stacionaža 838 m, prirastki navpičnih pomikov, točka 2**



Slika 5: **Predor Trojane, leva cev – zahod, stacionaža 838 m, vektorji pomikov v vzdolžnem prerezu**

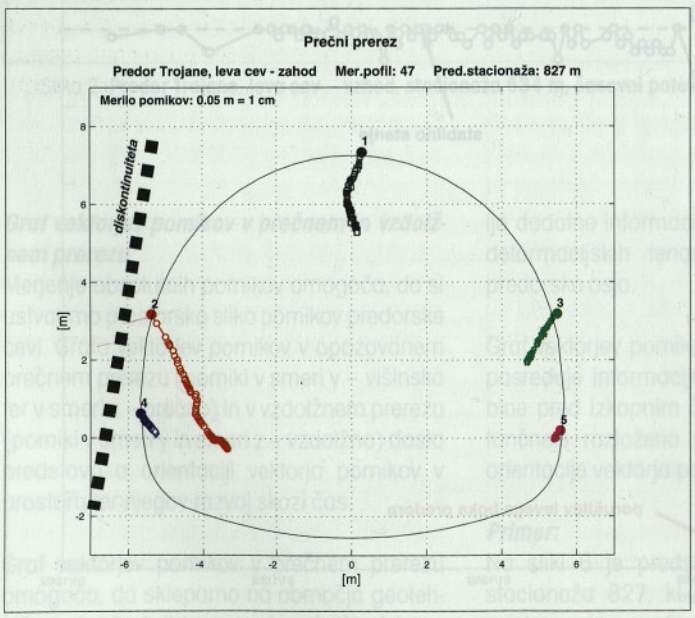
Graf vplivnic z možnostjo izrisa trendne črte na različnih razdaljah za čelom predora

Vplivnice konstruiramo tako, da vzdolž predorske osi povežemo istočasno izmerjene pomike merskih točk. Na istem grafu prikažemo več takšnih črt (za vsako dnevno izmero po eno), a le za eno komponento pomika in eno mersko točko. Na ločenih grafih prikažemo vplivnice za različne komponente vektorja pomikov in različne merske točke.

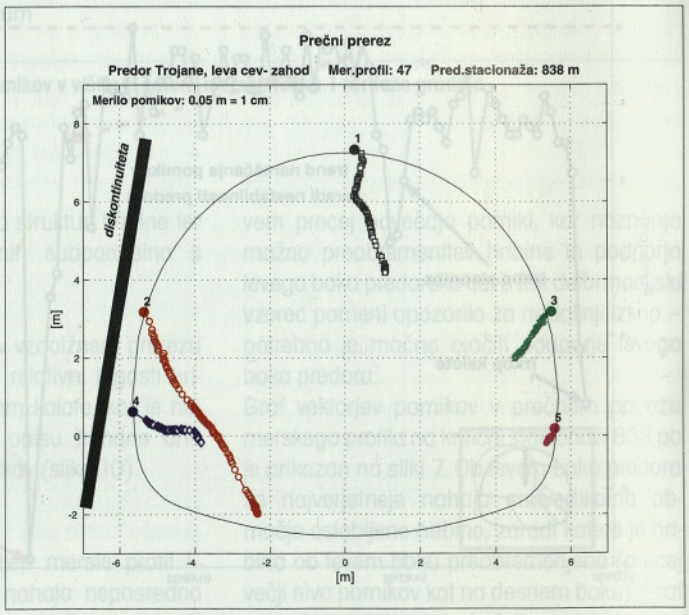
Zaradi tehnologije in organizacije dela prva meritev posameznih merskih točk v različnih opazovanih prerezih ne more biti vedno opravljena na enaki razdalji za čelom predora. Razliko v razdaljah med prvo meritvijo ter čelom v različnih prečnih prerezih odpravimo s tem, da na čelu privzamemo velikost pomika 0, merjenim podatkom pa dodamo izračunane oz. ocenjene predpomike (pomike, ki so se zgodili med izkopom prereza ter prvo meritvijo merskih točk opazovanega prečnega prereza). Na ta način lahko dobimo primerljive podatke za različne prečne prereze.

Prikaz niza vplivnic na enem samem grafu omogoča:

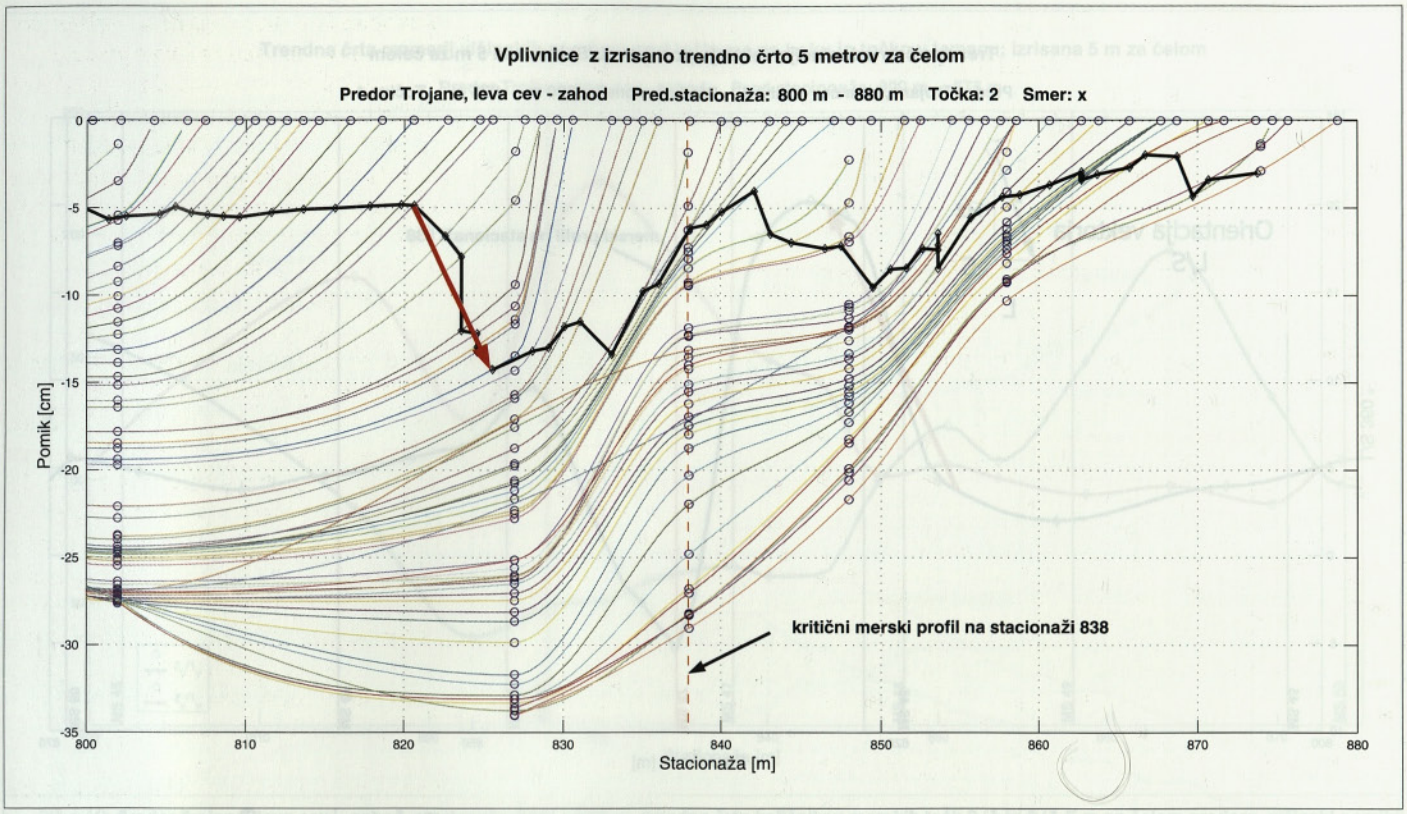
- dobro primerjavo pomikov vzdolž predorske osi,
- pridobitev informacije o obnašanju predora v vzdolžni smeri,
- možnost ugotavljanja poteka sprememb togosti hribine,
- pogojno ekstrapolacijo pomikov pred čelo predora.



Slika 6: **Predor Trojane, leva cev – zahod, stacionaža 827 m, vektorji pomikov v prečnem prerezu**



Slika 7: **Predor Trojane, leva cev – zahod, stacionaža 838 m, vektorji pomikov v prečnem prerezu**



Slika 8: **Predor Trojane, leva cev – zahod, stacionaže 800 - 880 m, vplivnice z izrisano trendno črto 5 m za čelom predora, merska točka 2, pomiki v prečni smeri**

S pomočjo vplivnic lahko ocenimo karakteristike hribine le za enega ali dva izkopna koraka vnaprej. Bolj učinkovito orodje je izris trendne črte, ki jo konstruiramo tako, da povežemo točke na vplivnicah, ki se nahajajo na konstantni razdalji za čelom. Z ekstrapolacijo trendne črte pred čelo lahko tako predvidimo obnašanje hribine do enega premera predorske cevi pred čelom predora.

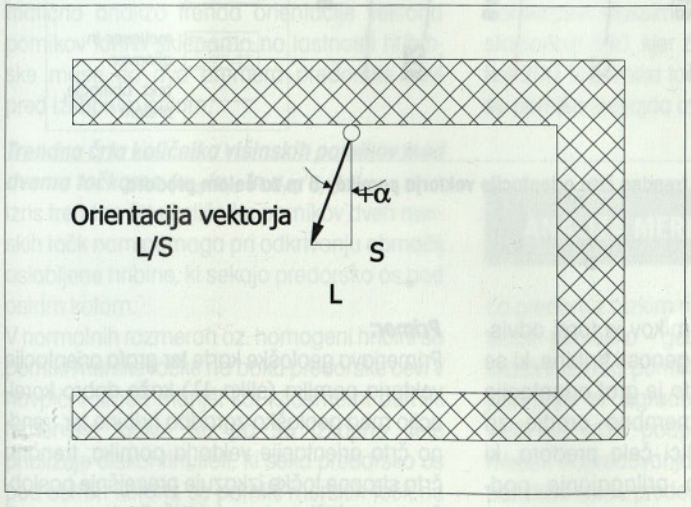
Primeri:

Podobno kot graf vektorjev pomikov v prečnem prerezu tudi vplivnice en merski profil pred kritičnim prerezom nakažejo možno nestabilnost predorske cevi, ki jo odraža krepko naraščajoči trend pomikov (puščica na sliki 8). Trendna črta tako že tri dni po izkopu stacionaže 827 oz. nekaj dni pred izkopom stacionaže 838 nakazuje, da se pred čelom nahaja odsek poslabšanih razmer.

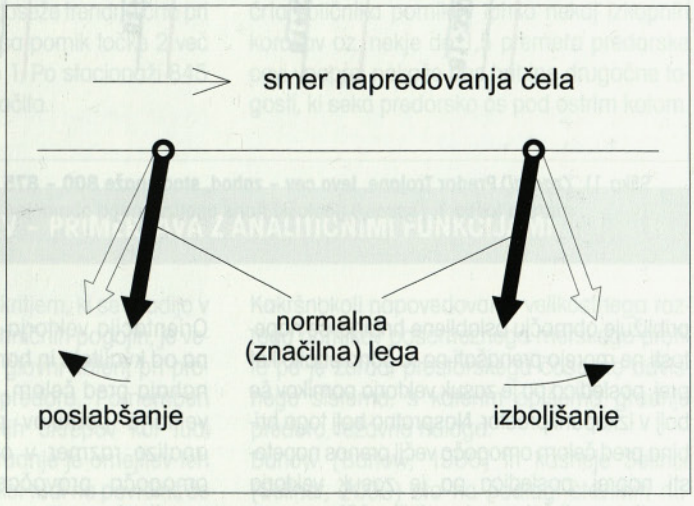
Trendna črta orientacije vektorja pomika v vzdolžni smeri z možnostjo izrisa na različnih razdaljah za čelom predora

Orientacija vektorja pomikov je določena kot razmerje med višinskimi in vzdolžnimi pomiki; predstavlja torej naklon vektorja pomikov v vzdolžni vertikalni ravnini (glej sliko 9).

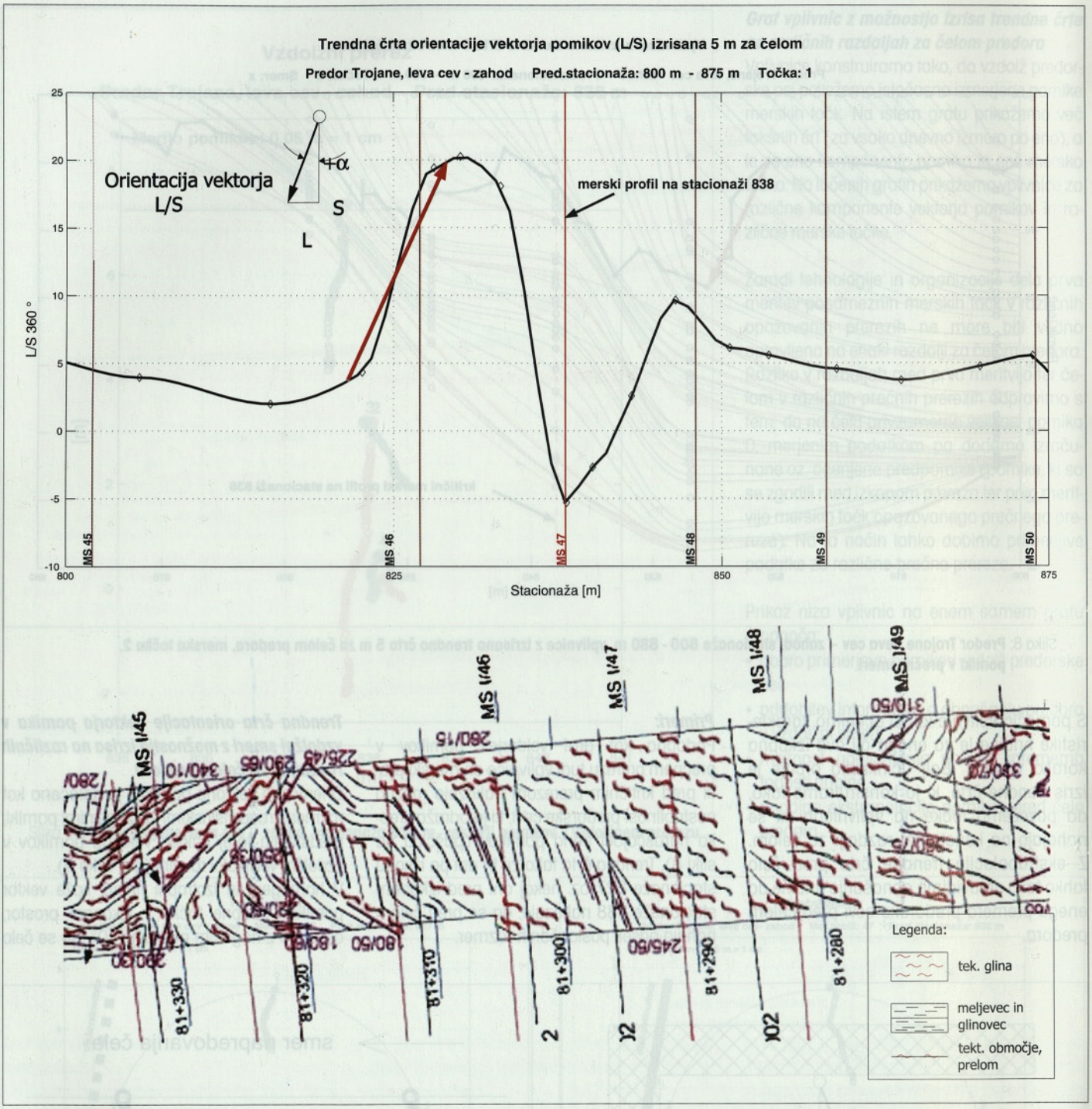
V homogeni in izotropni hribini kaže vektor pomikov stropne točke v izkopani prostor, običajno z nagibom med 5 in 10°. Ko se čelo



Slika 9: **Orientacija vektorja pomikov**



Slika 10: **Prikaz orientacije vektorja pomikov**



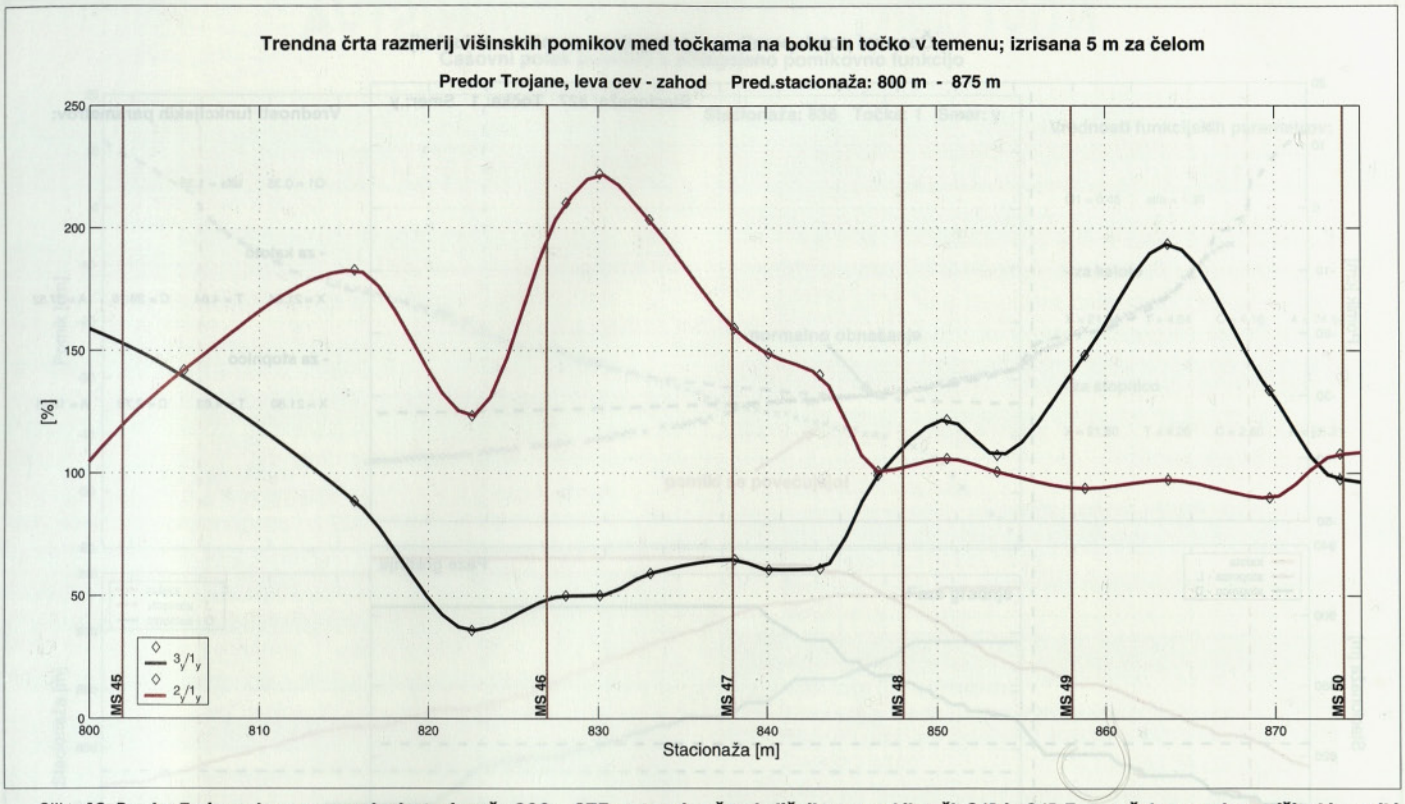
Slika 11: ***(zgoraj)* Predor Trojane, leva cev – zahod, stacionaže 800 – 875 m, trendna črta orientacije vektorja pomikov 5 m za čelom predora, merska točka 1, *(spodaj)* geološki tloris analiziranega območja**

približuje območju oslabljene hribine, se napetosti ne morejo prenašati na to cono enako kot prej, posledica pa je zasuk vektorja pomikov še bolj v izkopani prostor. Nasprotno bolj toga hribina pred čelom omogoča večji prenos napetosti naprej, posledica pa je zasuk vektorja pomikov proti čelu predora (slika 10).

Orientacija vektorja pomikov je torej odvisna od kvalitete in homogenosti hribine, ki se nahaja pred čelom. Zato je graf orientacije vektorja pomikov pomembno orodje za analizo razmer v okolici čela predora, ki omogoča pravočasno prilagajanje podpornih ukrepov.

Primer:

Primerjava geološke karte ter grafa orientacije vektorja pomika (slika 11) kaže dobro korelacijo med geološko zgradbo hribine ter trendno črto orientacije vektorja pomika; trendna črta stropne točke izkazuje precejšnje poslabšanje geološko – geotehničnih razmer pred



Slika 12: **Predor Trojane, leva cev – zahod, stacionaže 800 – 875 m, trendna črta količnikov merskih točk 3/1 in 2/1 5 m za čelom predora, višinski pomiki**

merskim profilom 46 na stacionaži 827 (čelo se bliža območju tektonizirane gline). Med merskima profiloma 46 ter 47 se trendna črta obrne in začne nakazovati nekoliko boljše razmere pred čelom, kar se uresniči nekje okrog stacionaže 855. Ko izkopno čelo preči merski profil 49 na stacionaži 858, trendna črta nakazuje normalizacijo razmer. Spodnja slika prikazuje značilen graf trendne črte orientacije vektorja pomikov, ko se čelo približuje in preči območje slabše hribine.

Na podlagi te analize ugotovimo, da s sistematično analizo trenda orientacije vektorja pomikov lahko sklepamo na lastnosti hribinske mase do dva premera predorske cevi pred izkopnim čelom.

Trendna črta količnika višinskih pomikov med dvema točkama (u_{y2}/u_{y1} in u_{y3}/u_{y1})

Izris trendne črte količnika pomikov dveh merskih točk nam pomaga pri odkrivanju območij oslabljene hribine, ki sekajo predorsko os pod ostrim kotom.

V normalnih razmerah oz. homogeni hribini so pomiki merske točke na boku predorske cevi v navpični smeri manjši kot istosmerni pomiki temenske točke. Ko pa se izkopno čelo približuje diskontinuiteti, ki seka predorsko os pod ostrim kotom, se pomiki merskih točk na obeh bokih povečajo; najprej na enem boku, ko izkopno čelo preči diskontinuiteto, pa še na drugem boku. Velikostni red pomikov boka lahko krepko preseže velikostni red pomikov temena, kar da značilno obliko trendne črte, kot je prikazana na sliki 12.

Primer:

Trendna črta količnika pomika v navpični smeri med točkama 2 (levi bok predora) in 1 (teme predora) – vijolična barva - že vse od merskega profila MS 45 na stacionaži 802 naznanja območje oslabljene hribine na levem boku predorske cevi. Maksimum doseže trendna črta pri stacionaži 830, kjer znaša pomik točke 2 več kot 200 % pomika točke 1. Po stacionaži 845 se pomika skorajda izenačita.

Tudi trendna črta količnika pomika v navpični smeri med točkama 3 (desni bok predorske cevi) in 1 (črna barva) kaže na spremembo togosti hribine, ki seka predorsko os pod ostrim kotom, saj se trend začne povečevat okrog stacionaže 845, doseže vrh pri stacionaži 864 (pomik točke 3 znaša skoraj 200 % pomika 1) ter se spusti na normalne vrednosti okrog stacionaže 875.

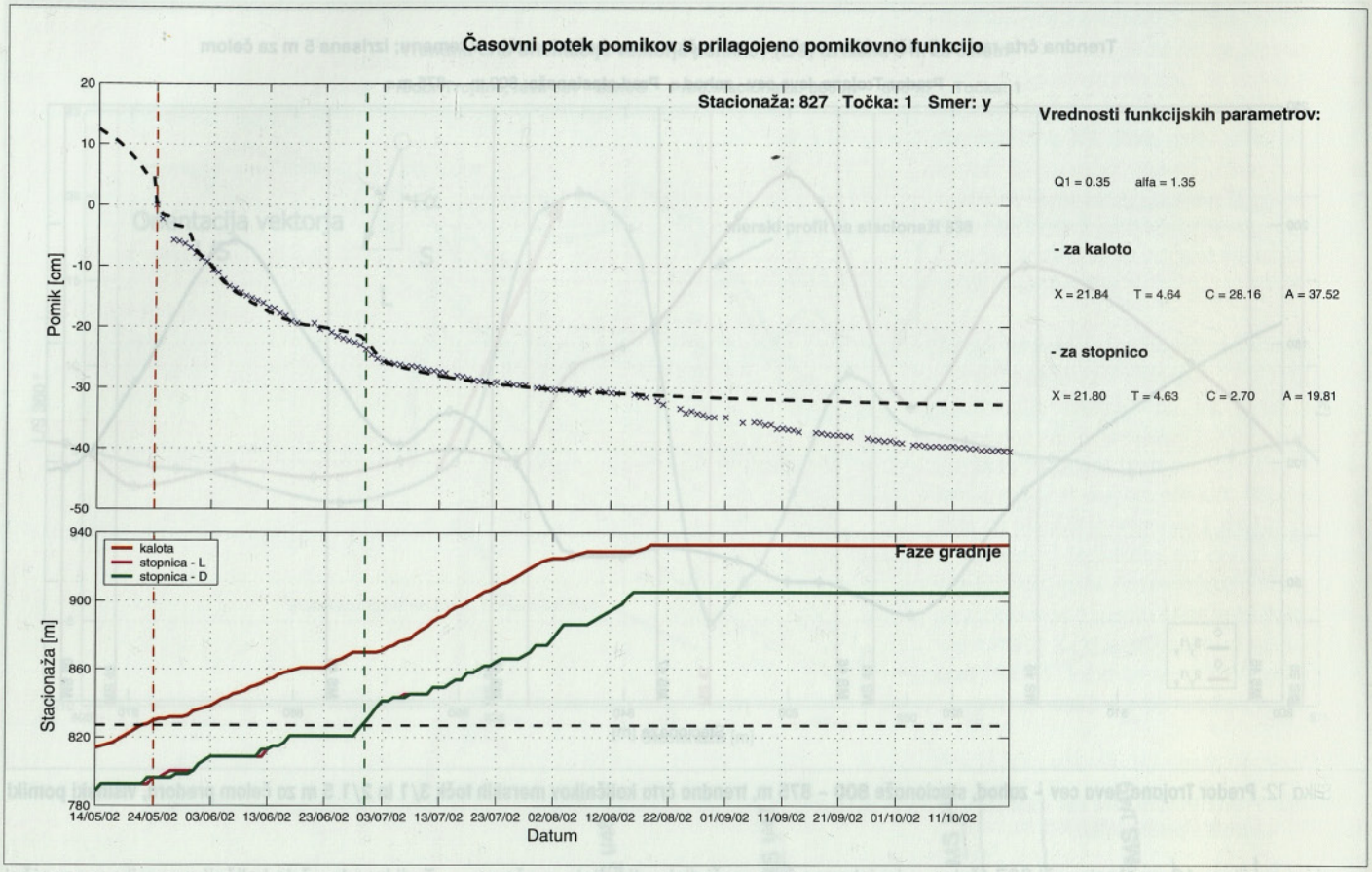
Primerjava grafa trendne črte količnika istosmernih pomikov dveh točk ter geološkega tlorisa (slika 10 – spodaj) pokaže, da trendna črta količnika pomikov lahko nekaj izkopnih korakov oz. nekje do 1,5 premera predorske cevi vnaprej nakaže pas hribine drugačne togosti, ki seka predorsko os pod ostrim kotom.

ANALIZA MERITEV – PRIMERJAVA Z ANALITIČNIMI FUNKCIJAMI

Za predore z nizkim nadkritjem, ki se gradijo v slabih geološko – geotehničnih pogojih, je velikostni razred pomikov glavni kriterij pri projektiranju in izgradnji predora. Pomemben vidik pri izbiri podpornih ukrepov kot tudi hitrosti napredovanja gradnje je omejitev teh pomikov tako v predoru kot tudi na površini, če je območje poseljeno.

Kakršnokoli napovedovanje velikostnega razreda pomikov posameznega merskega profila pa je zaradi prostorskega časovno odvisnega sistema, s katerim opišemo gradnjo predora, težavna naloga.

Barlow (Barlow, 1986) in kasneje Sellner (Sellner, 2000) sta na podlagi številnih numeričnih analiz zapisala pomikovno funkcijo,



Slika 13: **Predor Trojane, leva cev – zahod, stacionaža 827 m, analiza meritev z EPM, točka 1, pomiki v višinski smeri**

s katero je zajeta interakcija faznosti gradnje, lastnosti hribine ter podporja v tridimenzionalni časovno odvisni sistem. Pomikovna funkcija je sestavljena iz treh osnovnih delov:

- za čas pred izkopom čela kalote,
- za čas, ki poteče med izkopom kalote ter vgradnjo podporja,
- za čas od vgradnje podporja do stabilizacije opazovanega prečnega prereza.

Znotraj posameznega dela pomikovne funkcije pa se izračunani pomiki delijo še na dva dela, in sicer na pomike, ki so posledica vpliva napredovanja izkopnega čela kalote, ter na časovno odvisne pomike, ki so posledica lezenja hribine in betona.

Funkcija ima štiri proste parametre X, T, C in A (X in C sta časovno neodvisna parametra, T in A časovno odvisna) s katerimi prilagajamo pomikovno funkcijo izmerjenemu časovnemu poteku pomikov v navpični ali prečni smeri opazovanega prečnega prereza. Lastnosti hribine določimo na podlagi podatkov že izkopanih merskih profilov ter s pomočjo analize prej opisanih izrisov. Tako lahko s prilagoditvijo pomikovne funkcije na prvih nekaj meritev določimo končni nivo pomikov opazovanega prečnega prereza, s številom meritev pa se točnost izračuna in s tem napovedi še povečuje.

Če je obnašanje merskega profila »normalno«, pomiki sledijo pomikovni funkciji, ki smo jo določili po prvih nekaj meritvah. Če pride do večjih razlik med izračunanimi in izmerjenimi pomiki, je to opozorilo, da vgrajeni podporni ukrepi popuščajo.

Vrednosti funkcijskih parametrov X, T, C in A so odvisne od kvalitete hribine pred čelom. Nizke vrednosti časovno odvisnih parametrov (T in A) naznanjajo kakovostno hribino, visoke vrednosti pa slabe geotehnične razmere. Če poteka gradnja predora v relativno homogeni hribinski masi, se vrednosti X, T in A skorajda ne spreminjajo, končni nivo pomika določimo le s spreminjanjem parametra C.

Ta metoda napovedovanja obnašanja predora ter ocena končnega nivoja pomikov se imenuje EPM (Extrapolation Prediction Method).

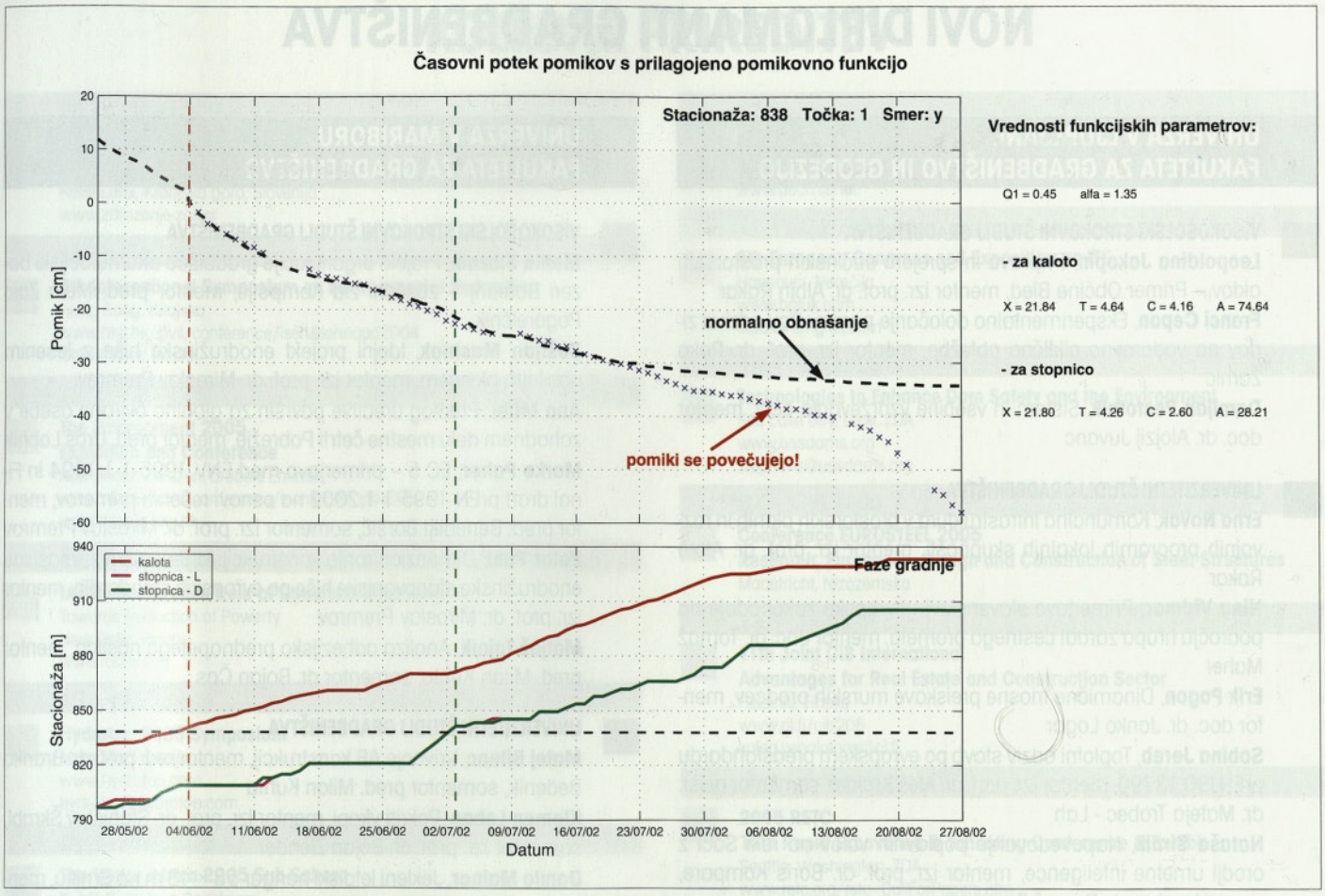
Primeri:

Na sliki 13 je prikazana prilagoditev pomikovne funkcije na merjene podatke merskega profila na stacionaži 827, ki se nahaja že v odseku predora, kjer so bile poslabšane geološko - geotehnične razmere. Trend naraščanja vrednosti parametrov T in A nakazuje slabšanje razmer, kar se je odrazilo v porušitvi levega boka na območju naslednjega merskega profila.

Na sliki lahko opazimo tudi neujemanje merjenih in izračunanih pomikov, trend naraščanja pomikov pa se je nadaljeval kljub temu, da so se ustavile vse gradbene aktivnosti v bližini opazovanega prečnega prereza. Prerez se torej še ni stabiliziral, čeprav lahko vidimo znamenja stabilizacije vse do sredine avgusta, ko se je sprožil porušitveni mehanizem v levem boku predorske cevi – zaradi povečanih pritiskov je počil talni obok.

Za razliko od stacionaže 827 pa merski profil na stacionaži 838 ni niti izkazoval znamenj stabilizacije (slika 14), saj bi se morali po izkopu stopnice prirastki pomikov zmanjšati, a so bili vseskozi konstantni. Posledica takšnega obnašanja so ekstremno visoke vrednosti parametra A.

S pomočjo analize meritev z EPM lahko tako sklepamo na lastnosti hribine nekaj premerov predorske cevi vnaprej. Omogoča oceno končnega nivoja pomikov v primerih »normalnega« obnašanja, opozori pa tudi na nenormalno obnašanje oz. destabilizacijo predora.



Slika 14: **Predor Trojane, leva cev – zahod, stacionaža 838 m, analiza meritev z EPM, točka 1, pomiki v višinski smeri**

SKLEP

Pri izgradnji avtocestnega križa v Sloveniji smo v zadnjih letih naredili kar nekaj kilometrov predorov v slabih geološko – geotehničnih pogojih oz. v pogojih zelo deformabilnih hribin.

Kljub znanju in izkušnjam, ki so bile pridobljene pri teh projektih, v nehomogenih geotehniških pogojih neprijetna presenečenja niso izključena. Zgodnje prepoznavanje poslabšanih geotehniških razmer gradnje je prvi pogoj za pravočasno in ustrezno ukrepanje. Meritve pomikov v predoru se že rutinsko izvajajo. Potreben je na videz le še droben korak, da iz merjenih diagramov razberemo, kar nam predor »pripoveduje«. Naš prispevek v obliki programskega orodja Predor je zastavljen prav v to smer. Razvojna skupina je sestavljena interdisciplinarno, v razvoj in načrtovanje programa se vključujejo tudi končni uporabniki, ki tako programsko orodje potrebujejo.

Program Predor je nastal in se razvija kot odziv na poročanje o uspešnih analizah geološko – geotehničnih razmer pri gradnji predorov v zelo deformabilnih hribinah v tujih strokovnih krogih. Brez podrobne analize, ki je mogoča le z ustreznim programskim orodjem, so sicer drage geotehnične meritve slabo izkoriščene. Zgodi se lahko, da pravilna interpretacija meritev pride prepozno. Geotehnične meritve so integralni del NATM in danes ni projekta, kjer se ne bi izvajale. Menimo pa, da tudi ne bi smelo biti več projekta predora, kjer izvedene meritve ne bi bile podrobno in ažurno analizirane.

LITERATURA

Barlow, J. P., Interpretation of Tunnel Convergence Measurments, Magistrska naloga, Department of Civil Engineering, The University of Alberta, Edmonton, Alberta, 1986.

Klopčič, J., Grafični prikaz in analiza merjenih pomikov v predorogradnji. Diplomska naloga. UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Ljubljana, 2004.

Seliner, P. J., Prediction of Displacements in Tunnelling. Doktorska disertacija, Technische Universität Graz, Graz, Austria, 2000.

Steindorfer, A., Short Term Prediction of Rock Mass Behaviour in Tunnelling by Advanced Analysis of Displacement Monitoring Data. Doktorska disertacija, Technische Universität Graz, Graz, Austria, 1998.

NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Leopoldina Jakopin, Priprava in sprejem občinskih prostorskih aktov – Primer Občine Bled, mentor izr. prof. dr. Albin Rakar

Franci Čepon, Eksperimentalno določanje parametrov odziva zidov na vodoravno ciklično obtežbo, mentor izr. prof. dr. Roko Žarnić

Damijan Pestotnik, Sistem in vsebine vzdrževanja cest, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Erna Novak, Komunalna infrastruktura v prostorskih planih in razvojnih programih lokalnih skupnosti, mentor izr. prof. dr. Albin Rakar

Nina Vidmar, Primerjava slovenske in evropske zakonodaje na področju hrupa zaradi cestnega prometa, mentor doc. dr. Tomaž Maher

Erik Pagon, Dinamične triosne preiskave murskih prodcev, mentor doc. dr. Janko Logar

Sabina Jereb, Toplotni odziv stavb po evropskem predstandardu prEN ISO 13790, mentor izr. prof. dr. Aleš Krainer, somentor asist. dr. Mateja Trobec - Lah

Nataša Sirnik, Napovedovanje poplavnih valov na reki Soči z orodji umetne inteligence, mentor izr. prof. dr. Boris Kompare, somentor doc. dr. Primož Banovec

Miha Zidarič, Zasnova in načrtovanje malih hidroelektrarn, mentor izr. prof. dr. Matjaž Mikoš

Mara Žerjal, Investiranje v pozidavo zemljišč, mentor doc. dr. Dušan Zupančič

Matjaž Rojc, Inventarizacija in optimizacija delovanja CČN Šaleška dolina, mentor izr. prof. dr. Boris Kompare

Miha Nartnik, Modeliranje podtalnice ljubljanskega polja, mentor prof. dr. Mitja Brilly, somentor asist. dr. Mojca Šraj

Špela Ložar, Analiza interesov prebivalcev Ljubljane pri urejanju vodotokov, mentor prof. dr. Mitja Brilly

Matej Padežnik, Podatkovna baza hidrometeoroloških parametrov, mentor prof. dr. Mitja Brilly, somentor mag. Andrej Vidmar

Daša Goršak, Primerjava programov za račun gladin nestalnega toka v rekah, mentor izr. prof. dr. Matjaž Četina, somentor doc. dr. Dušan Žagar

Urban Rodman, Nelinearna analiza armiranobetonskih okvirjev, mentor doc. dr. Dejan Zupan, somentor prof. dr. Miran Saje

Darja Šemrov, Vpliv hrupa železniškega prometa na okolje, mentor prof. dr. Bogdan Zgonc

Boris Macarol, Idejni projekt za čistilno napravo za 10.000 PE, mentor doc. dr. Jože Panjan

Luka Smrkolj, Terenske meritve erozij tal s sodobno merilno opremo LaserAce 300, mentor prof. dr. Mitja Brilly, somentor mag. Andrej Vidmar

Branko Bandelj, Sestavljeni nosilci iz lesa in betona, mentor izr. prof. dr. Franc Saje

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Metka Blaznik, Projekt organizacije gradbišča akumulacijski bazen Boštanj – zaščitni zid Kompolje, mentor pred. Meta Zajc Pogorelčnik

Boštjan Mastnak, Idejni projekt enodružinske hiše z lesenim nosilnim okvirjem, mentor izr. prof. dr. Miroslav Premrov

Ana Mubi, Predlog ureditve površin za gibalno ovirane osebe v zahodnem delu mestne četrti Pobrežje, mentor pred. Uroš Lobnik

Marko Paher, EC 5 – primerjava med ENV 1995-1-1:1994 in Final draft prEN 1995-1-1:2002 na osnovi rešenih primerov, mentor pred. Benedikt Boršič, somentor izr. prof. dr. Miroslav Premrov

Peter Pukl, Dimenzioniranje konstrukcijskih elementov masivne enodružinske stanovanjske hiše po evropskih standardih, mentor izr. prof. dr. Miroslav Premrov

Matjaž Tajnik, Analiza adhezijsko prednapetega nosilca, mentor pred. Milan Kuhta, somentor dr. Bojan Čas

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Matej Bitenc, Vrivanje AB konstrukcij, mentor red. prof. dr. Branko Bedenik, somentor pred. Milan Kuhta

Klemen Leban, Pokriti vkopi, mentor izr. prof. dr. Stanislav Škrabl, somentor izr. prof. dr. Bojan Žlender

Danilo Malnar, Jekleni letalski hangar 53 × 43 m na Brniku, mentor izr. prof. dr. Stojan Kravanja

Milan Rajh, Analiza mostne konstrukcije, mentor red. prof. dr. Branko Bedenik, somentor pred. Milan Kuhta

Matjaž Tajnšek, Odvisnost mehanskih lastnosti polimera CR-39 od temperature, mentor red. prof. dr. Radomir Ilič, somentor mag. Andrej Ivanič

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

KOLEDAR PRIREDITEV

25.11 - 26.11.2004

9. kolokvij o asfaltih in bitumnih
ZAS, Združenje asfalterjev Slovenije
Hotel Larix, Kranjska gora, Slovenija
www.zdruzenje-zas.si

15.12 - 18.12.2004

4th International Symposium on Environmental Hydraulics
Hong Kong, Kitajska
www.hku.hk/civil/conference/iseh&iahr-apd2004
iseh@hkucc.hku.hk

30.1 - 2.2.2005

The Environment 2005
Exhibition and Conference
Abu Dhabi, Združeni arabski Emirati
www.hku.hk/civil/conference/iseh&iahr-apd2004
iseh@hkucc.hku.hk

19.2 - 22.2.2005

IABSE Conference Role of Structural Engineers
Towards Reduction of Powerty
New Delhi, Indija
www.iabse.org

15.3 - 17.3.2005

Hydrotop 2005 Symposium
Marseille, Francija
www.hydrotop.com
hydrotop@hydrotop.com

16.3 - 18.3.2005

The Water Africa 2005 Sub-Sahara
Exhibition and Seminars
Dar es Salaam, Tanzanija
www.ace-events.com
info@ace-events.com

30.3 - 2.4.2005

The Third International Conference on Irrigation and Drainage
San Diego, California, ZDA
www.ucid.org
stephens@uscid.org

19.4 - 21.4.2005

Traffex, NEC
Birmingham, Anglija
www.traffex.com
traffex@hgluk.com

20.4 - 22.4.2005

Prago Traffic
Praga, Češka
www.pragotraffic.cz
wontrobova@abf.cz

2.5 - 5.5.2005

ITS America 15th Annual Meeting & Exposition
Phoenix, Arizona, ZDA
www.itsa.org/annualmeeting.html
editor@itsa.org

21.5 - 24.5.2005

International Parking Conference & Exposition 2005
Fort Lauderadale, Florida, ZDA
www.parking.org
ipi@parking.org

22.5 - 27.5.2005

WREC - World Renewable Energy Congress
Aberdeen, Škotska
www.aecc.co.uk

1.6 - 3.6.2005

5th European Congress and Exposition on ITS
Hannover, Nemčija
www.hgluk.com
b.butler@hgluk.com

6.6 - 10.6.2005

Technologies to Enhance Dam Safety and the Environment
Salt Lake City, Utah, ZDA
www.ussdams.org
stephens@ussdams.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 - 29.6.2005

2005 RETC
16th Rapid Excavation & Tunneling Conference & Exhibit
Seattle, Washington, ZDA
www.retc.org/retc_CallForPapers.cfm
davis@smenet.org

27.6 - 30.6.2005

ESREL 2005
European Safety and Reliability Conference
Gdynia-Sopot-Gdansk, Poljska
www.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

7.8 - 10.8.2005

2005 ITE Annual Meeting and Exhibit
Melbourne, Victoria, Avstralija
www.ite.org/meetcon/index.html
ite_staff@ite.org

14.9 - 16.9.2005

IABSE Annual Meetings and IABSE Symposium
Structures and Extreme Events
Lisbona, Portugalska

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

USTVARJAMO AVTOMOBILE.

RENAULT

Potem so kot nalašč za vas **Renault Master, Renault Trafic, Renault Kangoo Express** in **Renault Clio Serviser.**
Izbirate lahko med različnimi **PREDELAVAMI** in **NADGRADNJAMI,** ki zadostijo še tako specifičnim željam in potrebam.
Predlagamo vam nakup preko **finančnega lizinga** ali **poslovnega najema.** Začetni polog in trajanje financiranja bomo prilagodili vašim željam.
O izjemni ponudbi in **jesenskih ugodnostih ob nakupu** se prepričajte pri pooblaščenih prodajalcih Renault.

Renault – vodilna znamka lahkih gospodarskih vozil v Evropi.

Renault Financiranje

Potrebujete prevoz?

www.renault.si