

## Metoda opažanja i hrvatska iskustva

### Observational Method and Croatian Experience

A. Szavits Nossan, M. S. Kovačević & V. Szavits Nossan

*Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*

**SAŽETAK:** U ovom se članku daje kratki osvrt na razvoj Metode opažanja s posebnim naglaskom na pitanje inicijalnog geotehničkog projekta i postupka postupnog prilagođavanja prema prijedlogu Powderhama te se pokušava odrediti kriterije primjenjivosti metode u praksi. Kriteriji primjenjivosti vežu se na neizvjesnosti koje svoje izvorište imaju više u našem nedovoljnom znanju potrebnom za pouzdano predviđanje ponašanja geotehničkih konstrukcija nego u slučajnoj (prirodnoj) varijabilnosti parametara tla ili stijena. Pokazuje se da primjena ima smisla samo ako se procijeni da je opažanjem tijekom izgradnje moguće povećati stupanj pouzdanosti našeg predviđanja ponašanja geotehničke konstrukcije te ako se projektno rješenje tijekom izgradnje može pravodobno prilagoditi novim saznanjima. U tom slučaju izgradnja može početi inicijalnim projektnim rješenjem koje se bitno ne razlikuje od uobičajenog načina projektiranja, da bi se tijekom izgradnje, a uz pomoć opažanja, projekt postupno prilagođavao ekonomičnijem rješenju. U članku se kratko opisuje i primjena metode na nekoliko primjera iz hrvatske prakse. Prvi dio članaka temelji se na članku A. Szavits-Nossana (2006).

**Ključne riječi:** projektiranje, geotehnika, metoda opažanja

**ABSTRACT:** Paper comments on major developments of the observational design method with special emphasis on the progressive modification approach proposed by Powderham. Criteria for applicability of the method are discussed. These criteria are related to uncertainties which stem more from our insufficient knowledge of behaviour of real geotechnical structures than from natural randomness of soil or rock properties. It is shown that the Observational Method is applicable only if the knowledge of soil or rock behaviour can be improved by observations during construction and if there is sufficient time to adjust the design to actual soil conditions. In that case construction may start with a conventional design which should be adapted to actual soil conditions by observational feedback. Several references to Croatian practice, where elements of the Method were used, are cited. First part of the paper is based on a study by Szavits-Nossan (2006).

**Key words:** design, geotechnical engineering, observational method

#### 1 UVOD

Planiranje građevinskih zahvata u tlu i stijeni povezano je s neizvjesnostima uvjetovanim stupnjem poznavanja trenutnog stanja i mehaničkih svojstava tih materijala. Kako se radi o materijalima nastalim složenim prirodnim procesima i korištenim u njihovom prirodnom stanju,

opsežnijim je istražnim radovima neizvjesnosti, a s njima i povezane rizike, moguće smanjiti, ali nikad i potpuno ukloniti. Da bi pravilno odgovorio na te neizvjesnosti, geotehnički inženjer mora odrediti granice mogućeg ponašanja tla te u odnosu na njih dimenzionirati dovoljno sigurnu i ekonomičnu konstrukciju.

Proces odlučivanja o geometriji i prirodi buduće konstrukcije i načinu njene izgradnje naziva se projektiranjem. Danas se u geotehničkoj praksi općenito susreću dva pristupa projektiranju: prvi i daleko prevladavajući je uobičajeni pristup kojim je projektiranje uglavnom završeno prije početka izgradnje konstrukcije. Zbog neizvjesnosti o prirodnim uvjetima u tlu, ovaj se pristup projektiranju temelji na konzervativnoj, neki bi rekli pesimističnoj ili najnepovoljnijoj, interpretaciji postojećih podataka o tlu. Zbog heterogenosti prirodnog tla i stijena podaci dobiveni istražnim radovima u pravilu, osim rijetkih izuzetaka, nisu dobra podloga za ozbiljnije statističke analize kakve su uobičajene pri kontroli kvalitete gradiva kao što su beton i čelik. U uobičajenom pristupu projektiranju opažanja i monitoring tijekom izgradnje, ako su projektom predviđena, služe uglavnom kao provjera da se ponašanje konstrukcije kreće u okvirima proračunatim u projektu. Ako ponašanje konstrukcije izađe iz tih okvira nastupa izvanredna situacija koja može zahtijevati postupke koji uglavnom nisu određeni u projektu. Opažanja tijekom izvođenja služe, dakle, samo kao neka vrsta kontrole kvalitete. Da bi izbjegli takve nepoželjne izvanredne situacije, inženjeri uvode konzervativne pretpostavke u projektiranje.

Drugi i mnogo rjeđe korišteni pristup projektiranju je Metoda opažanja. Metoda se razvila iz potrebe izbjegavanja jako konzervativnih pretpostavki o svojstvima tla i stijena kao odgovor na neizbježne neizvjesnosti o stvarnoj prirodi terena. U prošlosti pa i danas ovaj pristup projektiranju koristili su ili koriste mnogi inženjeri intuitivno i bez pozivanja na neke formalne postupke. Prvi je metodu opažanja prepoznao i u praksi vrlo uspješno primjenjivao Terzaghi kao poseban pristup projektiranju te ju opisao u svojoj knjizi (Terzaghi i Peck 1967) kao postupak opažanja. Formalne sastavnice Metode opažanja postavio je Peck (1969) u svom Rankine predavanju. U tom pristupu izgradnja može početi s projektom temeljenim na pretpostavkama o prilikama u tlu koje su optimističnije od onih u klasičnom pristupu, ali uz uvjet, prvo, da se predvide mjere kojima će se pouzdano utvrditi moguće razlike između stvarnog ponašanja konstrukcija i tla od onog predviđenog inicijalnim projektnim rješenjem te, drugo, da se predvide mjere koje će se poduzeti ako ponašanje konstrukcije izađe iz predviđenih okvira. Ovim se pristupom proces projektiranja produžuje u fazu građenja. Pristup iskorištava opažanja i podatke mjerenja prikupljene tijekom gradnje kako bi prilagodio projekt stvarnom stanju na terenu na uredan i planiran način. Metoda se može okarakterizirati frazom uči-kako-napreduješ, za razliku od klasičnog pristupa nauči-pa-napreduj. Uspješno je primijenjena pri izgradnji mnogih tunela, građevnih jama, temelja, poboljšanja tla i stijena, odlagališta otpada itd. (za opsežniji prikaz vidi Nicholson i dr. 1999, Allagnat 2005).

Uspjeh Terzaghijevog uči-kako-napreduješ pristupa, a posebno Peckove formalizacije u Metodu opažanja privukla je veliku pažnju geotehničke javnosti. Objavljeno je mnogo opisa slučajeva primjene Metode kao i nekoliko važnih poboljšanja. Ali isto su se tako pojavila pitanja oko ograničenja Metode i njene ispravne primjene. Pojavio se širok raspon mišljenja, od onog da je Metoda dio sustava osiguranja kvalitete, preko mišljenja da metoda omogućuje uštedu u istražnim radovima pa do mišljenja da metoda, među ostalim, potiče inovativnost projektanta i da je jedno od najjačih oružja u rukama građevinskih inženjera. Posebno se prema Powderhamu (1998) pojavila bojazan da se početak građenje s projektom temeljenim na optimističnijoj interpretaciji postojećih podataka o tlu može dovesti u vezu s neugodno niskom marginom sigurnosti što sve može obeshrabriti širu primjenu Metode.

Pitanja oko ograničenja Metode i njene primjenjivosti zavrjeđuju detaljnija razjašnjenja. U članku Szavitsa-Nossana (2006) na njih se pokušalo odgovoriti razmatranjem prirode neizvjesnosti i njenog odnosa prema pripadnim vjerojatnostima. Ta će se pitanja pokušati razjasniti i u ovom članku. Prije nastavka, naglašava se da Metoda pretpostavlja da su promjene u projektu moguće tijekom izvođenja, da se Metoda bavi odgovorom na neizvjesnosti proizašle iz prirode i poznavanja prilika u tlu te da njena implementacija pretpostavlja dodatne troškove izgradnje. Naime, ako promjene u projektu nisu moguće ili zahtijevaju nedopustivo velike troškove Metoda nije primjenjiva. Također, ako u procjeni prilika u tlu ili njegovim svojstvima nema neizvjesnosti, ako takav slučaj uopće postoji, primjena metode je neekonomična.

## 2 DUALNOST NEIZVJESNOSTI

Vjerojatnost da neki parametar ne bude premašen je uobičajena mjera neizvjesne veličine tog parametra. Međutim, kako Beacher i Christian (2003) detaljno obrazlažu, izvor neizvjesnosti nekog parametra u geotecnici može biti dvojak: ili izvire iz slučajne (prirodne) varijabilnosti svojstava tla i stijene, koju oni nazivaju aleatornom<sup>1</sup> neizvjesnošću, ili izvire iz nepoznavanja ili nedovoljnog poznavanja svojstava tla ili prilika u tlu, koju oni nazivaju epistemnom<sup>2</sup> neizvjesnošću. Aleatorna neizvjesnost povezana je s prirodnom varijabilnošću nekog svojstva tla unutar jednog više ili manje homogenog sloja tla te je slučajnog karaktera. Epistemna neizvjesnost povezana je s nedovoljnim poznavanjem prilika u tlu ili s nedovoljno adekvatnim ili nedovoljno preciznim modelom kojim se opisuje ponašanje tla. Zato neki aleatornu neizvjesnost nazivaju objektivnom, a epistemnu subjektivnom. Dok se epistemna neizvjesnost može umanjiti proširenjem i intenziviranjem geotehničkih istražnih radova, to neće mnogo pomoći u smanjenju aleatorne neizvjesnosti. Ili obratno, na primjer, istraživanje prirodne varijabilnosti čvrstoće nekog homogenog sloja tla neće mnogo pomoći u otkrivanju postojanja tankog prosjeka male čvrstoće koji može bitno utjecati na slom geotehničke konstrukcije.

Obje vrste neizvjesnosti mogu se kvantificirati pomoću matematičkog pojma vjerojatnosti. Dok se aleatorna vjerojatnost može utvrditi istraživanjem frekvencija rezultata istražnih radova, epistemna se vjerojatnost obično određuje subjektivnom procjenom temeljenom na iskustvu. Također treba naglasiti da razlika među tim neizvjesnostima može biti zamučena i nejasna te može ovisiti o konceptualnom modelu koji opisuje profil tla. U ovom se članku skreće pažnja na dualni karakter neizvjesnosti svojstava tla i prilika u tlu. Prepoznavanje te dualnosti može pomoći pri razjašnjavanju nejasnoća koje se pojavljuju oko razmatranja i primjene Metode opažanja. U nastavku će se razmotriti glavni doprinosi razvoju Metode opažanja u svjetlu uočene dualnosti.

## 3 GLAVNI DOPRINOSI RAZVOJU METODE OPAŽANJA

### 3.1 *Peckov opis Metode opažanja*

Peck (1969) je u svom poznatom Rankine predavanju definirao slijedećih osam nužnih sastojaka Metode opažanja: (a) Istražni radovi dovoljni barem za utvrđivanja opće prirode i svojstva tla, ali ne nužno detaljni, (b) procjena najvjerojatnijih prilika u tlu kao i mogućih najnepovoljnijih odstupanja od tih prilika, (c) izrada projekta temeljena na radnoj hipotezi o najvjerojatnijim prilikama u tlu, (d) izbor veličina koje će se opažati tijekom izvođenja te njihov proračun na temelju radne hipoteze, (e) proračun tih veličina za najnepovoljnije prilike u tlu, (f) prethodni izbor akcija ili promjena u projektu za svako predvidivo znatnije odstupanje opaženih od predviđenih veličina utvrđenih temeljem radne hipoteze, (g) mjerenje veličina kojima će se opažati i vrednovati stvarno stanje, i (h) mijenjanje projekta radi prilagodbe stvarnom stanju.

U istom je predavanju Peck raspravljao o prednostima i manama Metode opažanja potkrepljujući argumente poučnim primjerima iz prakse. Temeljitiya analiza tih primjera ukazuje da su postojeće neizvjesnosti bile prvenstveno vezane na nedovoljno poznavanje prilika u tlu, tj. da su bile epistemne po karakteru. On je također naglašavao da se puna vrijednost metode ne može postići bez da je projektant potpuno uživljen u svoj problem te bez da ima ovlasti da djeluje brzo i učinkovito.

Od osam sastojaka Metode opažanja, ona koja se odnosi na izradu inicijalnog projekta temeljenog na radnoj hipotezi o najvjerojatnijim prilikama u tlu, tj. na hipotezi da vjerojatnost da će se u tlu pojaviti nepovoljnije prilike od najvjerojatnijih iznosi 0.5, izazvala je najviše zabrinutosti. To je razumljivo jer se inicijalni projekt temelji na hipotezi da će se u tlu, uz relativno veliku vjerojatnost od 1/2, naići na nepovoljnije prilike od onih koje su pretpostavljene inicijalnim projektom. To znači da postoji relativno velika vjerojatnost od 1/2 da će trebati koristiti korektivne mjere radi prilagođavanja projekta stvarnom stanju. Povećanje troškova i

<sup>1</sup> Prema lat. alea = kocka

<sup>2</sup> Prema grč. episteme = znanje

prekoračenje rokova zbog primjene korektivnih mjera uz istovremeno smanjenje sigurnosti, dok se korektivne mjere ne primjene, nije baš poželjna perspektiva za većinu sudionika u građenju.

### 3.2 Powderhamov pristup inicijalnom projektu i njegovoj postupnoj promjeni

Powderham (1994, 1998, 2002) je prepoznao da je su pitanja sigurnosti posebno važna te da se od odvijanja projekta u modernom graditeljstvu očekuje visok stupanj izvjesnosti. On predlaže primjenu konzervativnijeg inicijalnog projekta (čija bi vjerojatnost da bude zadovoljavajući bila veća od 1/2), s time da se promjene u projektu uvode postupno u malim koracima, koje je moguće lakše kontrolirati, kako pristižu nova saznanja prikupljena opažanjima i njihovom interpretacijom. Kako se prema Powderhamu kreće s konzervativnijim inicijalnim projektom, veća je vjerojatnost da će se malim promjenama ići prema uštedama u projektu, nego prema povećanju troškova zbog uvođenja korektivnih mjera. Ovakve prilike su sigurno znatno atraktivnije svim sudionicima u gradnji. Takvim se pristupom rizik tijekom napredovanja izgradnje može ili zadržavati na prihvatljivoj razini ili ponekad i smanjivati.

Powderhamov pristup, dakle, uključuje (a) početak izgradnje prema projektu koji osigurava svima prihvatljivu razinu rizika, (b) zadržavanje ili smanjenje tog rizika, (c) napredovanje izgradnje u jasno definiranim koracima, i (d) provođenje potrebnih promjena u projektu postupno u malim koracima uz potvrđivanje prihvatljivog ponašanja konstrukcije kroz povratno opažanje.

Mada je Powderhamovo početno projektno rješenje konzervativnije od Peckovog, to rješenje može biti manje konzervativno od klasičnog projekta. Powderham ne navodi eksplicitne kriterije te se poziva na pridržavanje svima prihvatljivog rizika, što god to značilo. Powderham i Nicholson (1996) ipak naglašavaju da je često prikladno kao početno projektno rješenje koristiti klasično, tj. ono koje bi se predložilo bez korištenja Metode opažanja. Primjeri iz prakse u Powderhamovim člancima vrlo slikovito potkrepljuju njegov pristup Metodi opažanja. Posebna se pažnja pridaje strukturi i hijerarhiji odlučivanja temeljenih na razlici opažanih i interpretiranih veličina s unaprijed određenim u projektnoj dokumentaciji, mehanizmima donošenja odluka o promjenama u projektu koji u mnogome liči na sustav semafora na cestovnom raskršću. Jaki se naglasak stavlja na suradnju projektanta i izvođača uz pedantno dokumentiranje promjena, dobru komunikaciju među sudionicima u gradnji, te prikladne ugovorne obveze između investitora, projektanta i izvođača.

Neizvjesnosti kojima se bavi Powderham u svojim radovima su vezane na poznavanje prilika u tlu te su epistemne po svom karakteru, što potkrepljuje i naslov jednog njegovog rada (Powderham 2002).

### 3.3 Muir Wood o tunelima i početnom projektom rješenju

U svom kritičkom članku o novoj austrijskoj metodi projektiranja tunela Muir Wood (1987) je predložio pojednostavljenu verziju Metode opažanja: (a) odrediti konceptijski model, (b) predvidjeti očekivane veličine koje će se opažati, (c) opažati i usporediti s (b), (d) odrediti da li su razlike između (b) i (c) objašnjive veličinama parametara ili neprikladnošću (a), (e) izabrati novi konceptualni model, (f) ponoviti (b), (c), (d) i (f) prema potrebi. U tom radu Muir Wood naglašava da primjena Metode opažanja u tunelogradnji pretpostavlja da se tunnelska podgrada može ojačati tijekom izgradnje bez povećanja rizika od rušenja. Također je nužno da postoji opće povjerenje u metodu koje se temelji na usporedivom iskustvu i na analizi konkretnih okolnosti. Iz opisanih pravila se može izvesti zaključak da se ona bave epistemnom neizvjesnošću više nego jednostavnom varijabilnošću parametara stijene ili tla.

U svojoj knjizi o tunelogradnji Muir Wood (2000) upozorava na moguće probleme ako se primjeni Peckova preporuka o izboru najvjerojatnijih parametara stijene ili tla za inicijalno projektno rješenje (kod nas u projektantskoj praksi nazivano prvom fazom projektiranja). Pomoću jako pojednostavljene analize on pokazuje da će se postići najmanji očekivani troškovi izgradnje tunela ako se inicijalno projektno rješenje temelji na parametrima stijene čija je vjerojatnost podbačaja  $p$  dana izrazom

$$p = 1 - \frac{1}{2k} \quad (1)$$

gdje je  $k$  odnos između jediničnih cijena dodatne tunelske podgrade, koju treba dodati u slučaju nepovoljnijih uvjeta u tlu, i jedinične cijene iste dodatne podgrade ako se ona ugradi unaprijed, tj. ako je predviđena inicijalnim projektnim rješenjem. Kako je redovito  $k > 1$ , to će biti i  $p > 0.5$ . Time jednostavnim proračunom rizika pokazuje da je slučaj  $p = 0.5$ , kako predlaže Peck, ne samo popraćen većim rizikom, nego i neekonomičan u primjeni.

### 3.4 Zahtjevi Eurokoda 7

Eurokod 7 (BSI 2004) omogućuje primjenu Metode opažanja kao pristup projektiranju kroz slijedeće odredbe u članku 2.7:

(1) Kada je predviđanje geotehničkog ponašanja konstrukcije otežano, moguće je primijeniti pristup poznat kao „Metoda opažanja“ u kojem se projekt može mijenjati tijekom izvođenja.

(2)P<sup>3</sup> Slijedeći uvjeti moraju biti zadovoljeni prije započinjanja izvođenja:

- moraju se utvrditi prihvatljive granice ponašanja;
- treba procijeniti raspon mogućeg ponašanja te treba pokazati da postoji prihvatljiva vjerojatnost da će stvarno ponašanje biti unutar prihvatljivih granica;
- mora se izraditi plan opažanja koji će pokazati da li se stvarno ponašanje kreće u okvirima prihvatljivih granica; opažanje mora omogućiti da se to utvrdi u dovoljno ranoj fazi i u dovoljno kratkim intervalima kako bi se omogućila pravodobna primjena korektivnih mjera;
- vrijeme odgovora instrumenata i postupaka analize rezultata mora biti dovoljno kratko u odnosu na moguću evoluciju sustava;
- mora se uspostaviti plan korektivnih mjera koje će se primijeniti ako opažanja upućuju na ponašanje izvan prihvatljivih granica.

(3)P Tijekom izvođenja plan opažanja treba provesti u potpunosti.

(4)P Rezultate opažanja treba ocjenjivati u prikladnim fazama, a planirane korektivne mjere treba provesti ako su granice ponašanja prekoračene.

(5)P Instrumenti za opažanja treba zamijeniti ili proširiti ako prestanu davati pouzdane podatke ili ih daju u premalom opsegu.

Točka (1) članka 2.7 Eurokoda izričito navodi da je Metoda opažanja mogući pristup projektiranju kad se projektant suoči s epistemnom neizvjesnošću. Međutim, kao što naglašavaju Frank i dr. (2004), otvoreno ostaje pitanje sigurnosti koje treba ugraditi u projektno rješenje. Ako se slijedi duh Eurokoda, treba potražiti takvo projektno rješenje koje će u svakom trenutku osiguravati barem jednaku razinu rizika kao i konvencionalni projekt na početku izvođenja (prije nego što pristignu prva opažanja o ponašanju konstrukcije tijekom izvođenja). Nadalje treba naglasiti da neki autori savjetuju da se Metoda opažanje ne koristi kad se slom može dogoditi bez prethodne najave kao što je slučaj s krtnim sustavom konstrukcija-tlo.

## 4 HRVATSKA ISKUSTVA

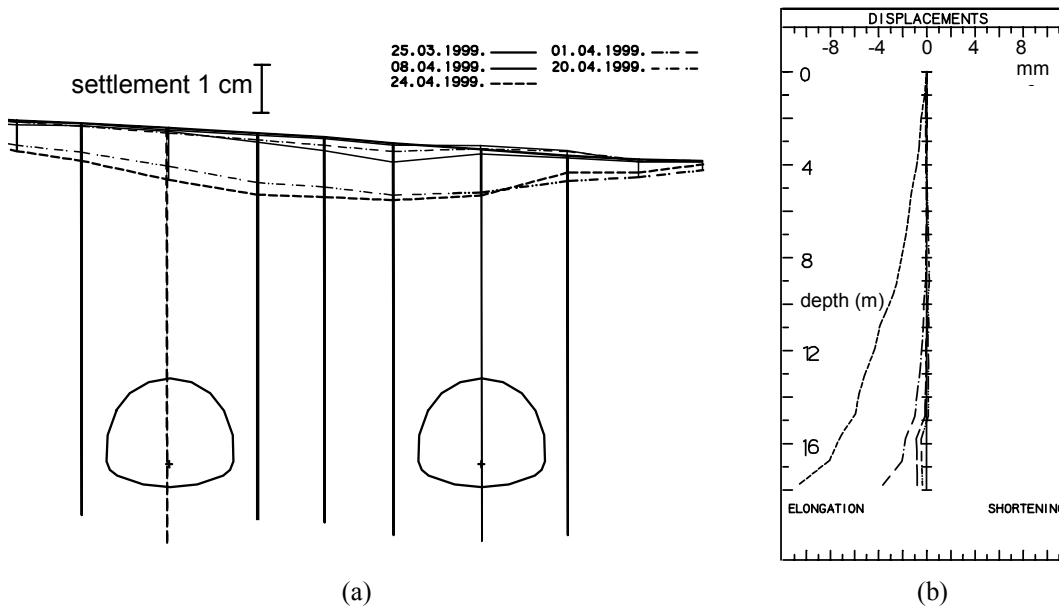
Elementi Metode opažanja korišteni su posljednjih godina i u Hrvatskoj, posebno potaknuti intenzivnom gradnjom autocesta u planinskim područjima kao i urbanom izgradnjom. Primjeri se nalaze kod projektiranja cestovnih tunela te velikih iskopa za usjeke i podzemne građevine.

Kao prvi tipični primjer navodi se projektiranje i izvođenje tunela Sv. Marko na autocesti Zagreb-Bosiljevo (Stojković i dr. 2001). Tunel prolazi kroz potpuno razlomljenu i dezintegrirani klastični sediment koji se sastoji iz gline, te mješavine glina, prahova, pijeska i fragmenata stijene. Projektom je bio predviđen složen sustav mjerenja koji je, među ostalim, uključivao sustav mjerenja vertikalnih deformacija i vodoravnih pomaka u nekoliko vertikalnih pravaca na jednom poprečnom presjeku kroz tunel (slika 1). Mjerenja su obavljana u više navrata tijekom napredovanja iskopa tunela, a poslužila su za baždarenje parametra modela konačnih elemenata za predviđanje deformacija i naprezanja. Uz pomoć tako baždarenog modela numerički su se simulirale potrebne promjene u primarnom podgradnom sklopu (raspored i dužina sidara) kako bi se osiguralo poštivanje kriterija stabilnosti i deformacija podgradnog sklopa.

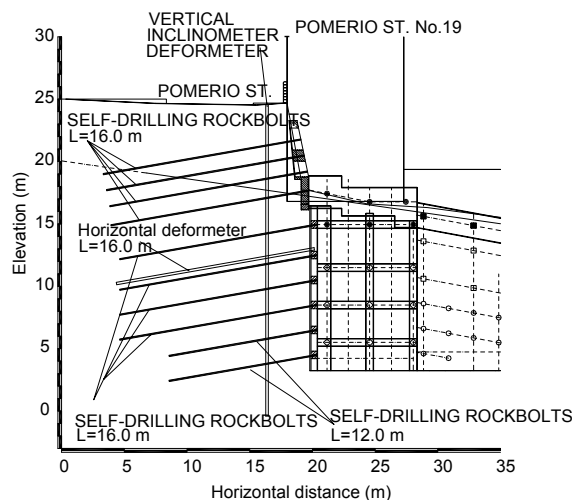
Kao drugi tipični primjer navodi se iskop za građevnu jamu Zagrad u Rijeci (Arbanas 2003, Arbanas i dr. 2003, Arbanas i dr. 2005). Kao i u prethodnom primjeru, korištena su mjerenja vodoravnih deformacija u stijeni tijekom izvođenja iskopa za baždarenje numeričkog modela

<sup>3</sup> Prema formatu Eurokoda, oznaka P uz neki stavak označava princip za koji Eurokod ne dopušta alternativu.

konačnih elemenata. Tako baždareni model poslužio je za prilagođavanje projektnog rješenja stvarnim prilikama u stijenskoj masi kako bi se osigurala stabilnost bokova građevne jame i zgrada u njenoj okolini.



Slika 1 Tunel Sv. Marko: karakteristični poprečni presjek s naznakom vertikala na kojima su vršena mjerenja uzdužnih deformacija i horizontalnih pomaka (a), te tipična mjerenja uzdužnih deformacija po vertikalama tijekom napredovanja iskopa tunelskih cijevi (b) (Stojković i dr. 2001).



Slika 2 Građevna jama Zagrad u Rijeci (Arbanas 2003, Arbanas i dr. 2003, Arbanas i dr. 2005): karakteristični presjek kroz podgradni sklop i položaj mjernih instrumenata

Metoda opažanja ne samo što omogućuje ekonomično rješenje geotehničkog zahvata kad ponašanja stijene nije potpuno poznato uz istovremeno zadržavanje rizika od nepoželjnih događaja na prihvatljivoj razini, već omogućuje i uvođenje inovativnih postupaka i rješenja. Tako su rezultati mjerenja na nekoliko većih usjeka u razlomljenim mekim stijenama, u kojima ne postoje neposredne metode određivanja krutosti prirodnog tla, omogućili korekciju postojeće korelacije krutosti i standardnih klasifikacijskih parametra stijeske mase (Kovačević i dr. 2005). Time primjena Metode opažanja pridonosi neposrednom razvoju struke.

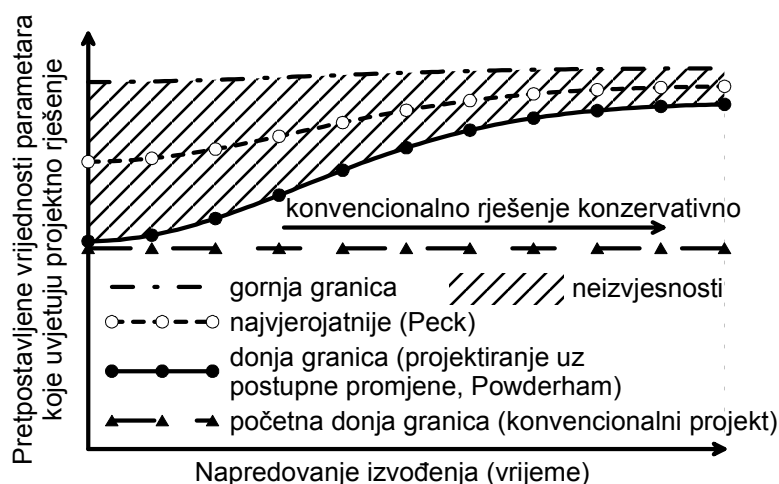
Iskustva iz tih kao i niza drugih primjera primjene metode opažanja upućuju i na ulogu regulative i ugovornih odnosa projektant-izvođač-investitor koji kod nas još nisu razriješeni na zadovoljavajući način.

## 5 RASPRAVA O PRIMIJENJIVOSTI METODE OPAŽANJA

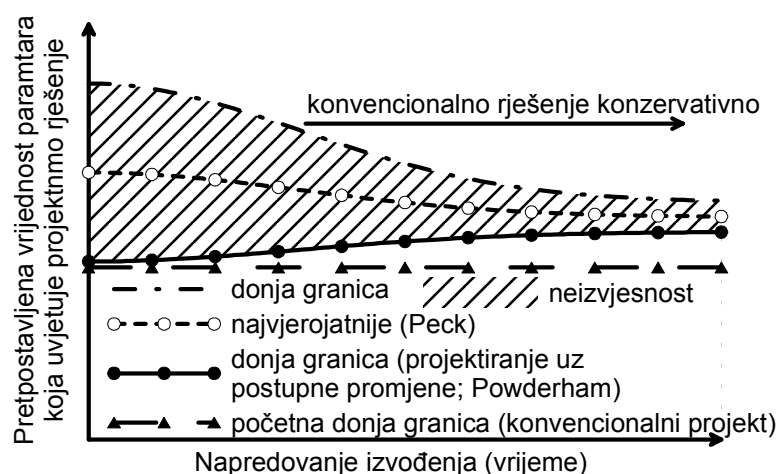
Kao što je već rečeno, osim velikog uspjeha, posebno u podržavanju inovativnosti u geotecnici, primjena Metode opažanja izazvala je i određena pitanja:

- Započinjanje izvođenja s projektnim rješenjem temeljenim na najvjerojatnijim prilikama u tlu može ugroziti sigurnost;
- Koju marginu sigurnosti treba primijeniti u projektu u odnosu na granična stanja uporabivosti i sloma kao i u odnosu na privremene radove pri izvođenju;
- Krto ponašanje tla i konstrukcije isključuje primjenu Metode opažanja;
- Da li je Metoda opažanja nadomjestak za kvalitetno izrađene geotecnike istražne radove;
- Zakonski i ugovorni aspekti kao i ograničenja koja nameće osiguranje kvalitete mogu ograničiti uporabu Metode.

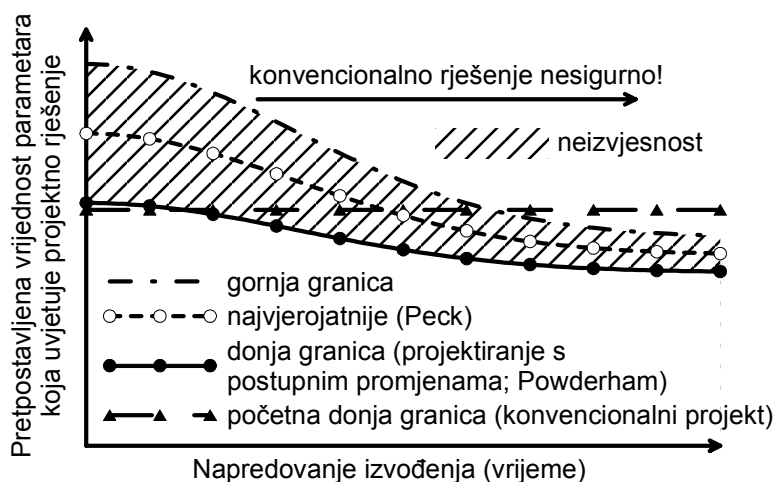
Odgovori na ova pitanja se mogu potražiti uz pomoć slika 3, 4 i 5. Ove slike oslikavaju tri moguća scenarija, A, B i C, koja se mogu javiti pri primjeni Metode opažanja (Szavits-Nossan 2006). U scenariju A i najvjerojatnija i donja granica parametara koji uvjetuju projektno rješenje rastu kako stižu rezultati opažanja tijekom izvođenja. U scenariju B najvjerojatnija vrijednost kritičnog parametra pada, ali mu donja granica raste, dok u scenariju C, i najvjerojatnija vrijednosti i donja granica padaju s tijekom izvođenja.



Slika 3 Slučaj A: I najvjerojatnija i donja granica pretpostavljene vrijednosti parametara koje uvjetuju projektno rješenje rastu kako dolaze nova opažanja tijekom izvođenja (Szavits-Nossan 2006)



Slika 4 Slučaj B: Najvjerojatnija vrijednost pada, a donja granica pretpostavljene vrijednosti parametara koje uvjetuju projektno rješenje rastu kako dolaze nova opažanja tijekom izvođenja (Szavits-Nossan 2006)



Slika 5 Slučaj C: Najvjerojatnija i donja granica pretpostavljene vrijednosti parametara koje uvjetuju projektno rješenje padaju kako dolaze nova opažanja tijekom izvođenja (Szavits-Nossan 2006)

Konvencionalno projektno rješenje, koje se ne mijenja tijekom izvođenja, temelji se na konzervativnoj procjeni (donjoj granici) kritičnih parametara tla dostupnih u trenutku projektiranja. Slično se može interpretirati i Powderhamov prijedlog s tom razlikom da se kod njega postupno mijenja projektno rješenje kako se šire saznanja o ponašanju tla temeljena na opažanjima tijekom izvođenja. U slučajevima A i B sa slika 3 i 4 opažanja (i njihova interpretacija) ukazuju da je početna pretpostavka o kritičnim parametrima tla bila konzervativna te da se konzervativnost može smanjivati pristizanjem novih podataka opažanja. Powderhamov pristup omogućuje da se postupnim promjenama u projektu slijede ta saznanja, uz postupne uštede, ali ne na račun smanjene sigurnosti (Powderhamov pristup slijedi donju granicu). Za slučaj A to se postiže i Peckovim pristupom uz manju sigurnost u početku (jer se stvarna vrijednost kritičnih parametara može kretati unutar čitave zone nesigurnosti) da bi se u kasnijim fazama projekta smanjilo područje neizvjesnosti, a time i sigurnost dovela na standardnu razinu.

Slučaj C je nepovoljan za klasičan način projektiranja jer će opažanja pokazati da se vrijednost kritičnih parametara spušta ispod one pretpostavljene u početku. I u tom se slučaju Powderhamov pristup izvlači iz teškoća postupnim promjenama, ali sada uz dodavanje korektivnih mjera. To će neminovno izazvati dodatne troškove, ali će osigurati stabilnost konstrukcije. Samo najkritičniji slučaju, u kojem opažanja, koja upućuju da je stvarno ponašanje tla lošije nego je pretpostavljeno u početku, stižu toliko naglo (donja granica u slučaju C počinje naglo padati u vremenu) da se korektivne akcije ne stignu primijeniti, neće biti povoljan ni za Powderhamov pristup (jasno, takav slučaj kao ni ostali slučajevi C nisu povoljni ni za klasičan pristup projektiranju). Takav slučaj može biti prisutan kada je ponašanje tla i konstrukcije krto (lom sa smanjenjem čvrstoće bez najave). U tim posebnim slučajevima pri klasičnom pristupu treba u procjenama biti vrlo konzervativan kako bi se slom izbjegao pod svaku cijenu.

Metoda opažanja, uključivo i Powderhamov pristup, neće biti od koristi u slučajevima kad opažanja ne mijenjaju saznanja o stvarnom ponašanju tla u odnosu na saznanja prije početka izvođenja. Tipičan primjer je izgradnja u krtim tlima ili stijenama kad praćenje deformacija ili pomaka neće ukazati na približavanje slomu. Ili drugim riječima, Metoda opažanja će biti barem potencijalno korisna u slučajevima u kojima se može očekivati smanjenje epistemne neizvjesnosti tijekom izgradnje i pritezanja novih podataka opažanja.

Poseban problem u primjeni metode opažanja čine zakonski okviri, ograničenja regulative i problemi primjene postupka osiguranja kvalitete. Muir Wood (1990) i Powderham (1996) se detaljnije osvrću na te probleme i pokazuju kako se oni mogu riješiti ako postoji zajednički interes sudionika u gradnji, glavni motiv primjene Metode opažanja. Ako sudionici u gradnji pronađu taj motiv, Metoda opažanja može postati snažno sredstvo za uvođenje inovacija u geotehničko inženjerstvo.



## 6 ZAKLJUČAK

Opisani su glavni doprinosi razvoju Metode opažanja te je pokazano da se moguće dileme mogu razriješiti ako se prepozna da se nesigurnosti u projektiranju geotehničkih zahvata, s čime se Metoda prvenstveno bavi, dijele na slučajne ili aleatorne te one uzrokovane nedostatnim znanjem o ponašanju tla i stijena ili epistemne. Pokazano je da Metodu ima smisla koristiti ako postoje dobri izgledi da će se opažanjem i pravodobnim promjenama u projektu epistemne neizvjesnosti moći smanjiti. U tom slučaju primjena Metode može dovesti do znatnih materijalnih ušteda uz zadržavanje rizika od šteta na prihvatljivo maloj razini, a ujedno se projektantu otvara mogućnost uvođenja inovacija u gradnju koje bi uz klasični način projektiranja teško našle put do primjene. Iz tih saznanja se nadalje može izvesti zaključak da će Metoda biti neprikladna u slučaju ako opažanja tijekom izgradnje ne doprinose boljem poznavanju ponašanja tla i stijena na način koji omogućuje pravodobnu intervenciju u projektu. Primjer takvog slučaja čine geotehnički zahvati gdje se može očekivati krto ponašanje tla ili konstrukcije gdje nenajavljeni lom i gubitak stabilnosti ne omogućuje pravodobnu primjenu mjera da bi se taj lom spriječio.

## ZAHVALA

Opća razmatranja o primjenjivosti Metode opažanja dijelom su rezultat diskusija koje su se vodile u okviru Tehničkog odbora 37 (TC 37) Međunarodnog društva za mehaniku tla i geotehničko inženjerstvo (ISSMGE) u periodu 1991-1995 u kojem je taj odbor radio pod vodstvom prvog autora i profesora H. Brandla te pod pokroviteljstvom Hrvatske udruge za mehaniku tla i geotehničko inženjerstvo (HUMTGI). Autori koriste priliku da se zahvale HUMTGI-u na ukazanom povjerenju, svim članovima Tehničkog odbora 37, posebno A. Powderhamu, M. Jamiolkowskom, F. Schlosseru i H. Brandlu kao i W. van Impeu, prošlom predsjedniku Međunarodnog društva koji je ukazao povjerenje HUMTGI-u i odobrio osnivanje tog Odbora.

## REFERENCE

- Allagnat, D. (2005). *La méthode observationnelle pour le dimensionnement interactif des ouvrages*. Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris.
- Arbanas, Ž. (2003). *Izvedba građevne jame Zagrad u Rijeci*, Građevinar 55, 10, 591-597.
- Arbanas, Ž., Jardas, B.; Kovačević, M.S. (2003). *Reinforcement Systems in Construction of Open Pit Zagrad in Rijeka, Croatia*, Proc. 13<sup>th</sup> European Conf. on Soil Mech. and Geotech. Eng., Geotechnical Problems with Man-made and Man Influenced Grounds, Prague, Czech Republic, (Eds. I. Vaniček, R. Barvinek, J. Boháč, J. Jettmar, D. Jirasko and J. Salak), August 25-28, 2, 23-28.
- Arbanas, Ž., Kovačević, M. S., Szavits-Nossan, V. (2005). Kontrola kvalitete štapnih sidara. *Građevinar*, 57, 11, 859-867.
- Beacher, G. B., Christian, J. T. (2003). *Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering*. John Wiley & Sons Ltd.
- BSI (2004). *Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules*. BS EN 1997-1:2004. British Standards Institution, London.
- Christian, J. T. (2004). Geotechnical Engineering Reliability: How Well Do We Know What We Are Doing? 39<sup>th</sup> Terzaghi Lecture. *Journal of Geotechnical and Environmental Engineering*. ASCE, 130 (10), 985-1003.
- Clayton, C. R. I. (2001). *Managing geotechnical risk: Improving productivity in UK building and construction*. Thomas Telford, London.
- Frank, R., Bauduin, C., Driscoll, R., Kavvas, M., Krebs Ovesen, N., Orr, T., Schuppener, B. (2004). *Designers' guide to EN 1997-1, Eurocode 7: Geotechnical design – General rules*. Thomas Telford, London.
- Kovačević, M.-S.; Skazlić, Ž.; Szavits-Nossan, V.: Case Histories of Very Hard Fissured Soils Stiffness Determination, *Geotechnology in Harmony with the Global Environment*, Adachi, T. (ed.), Osaka, Millpress Rotterdam, (2005), 703-706.
- Muir Wood, A. (1987). To NATM or not to NATM, *Felsbau*, 5 (1), 26-30.

- Muir Wood, A. (1990). The observational method revisited. U: *Proceedings of the 10<sup>th</sup> Southeast Asian Geotechnical Conference*, Taipei, 2, 37-42.
- Muir Wood, A. (2000). *Tunnelling: Management by design*. E & FN Spon, London.
- Nicholson, D., Tse C.-M., Penny, C. (1999). *The Observational Method in ground engineering: principles and applications*. CIRIA, London, Report 185.
- Peck, R. B. (1969). Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics. *Géotechnique*, 19 (2), 171-187.
- Powderham, A. J. (1994). An overview of the observational method: development in cut and cover bored tunnelling projects. *Géotechnique*, 44 (4), 619-636.
- Powderham, A. J. (1998). The observational method—application through progressive modification. *Civil Engineering Practice: Journal of the Boston Society of Civil Engineers Section/ASCE*, 13 (2), 87-110.
- Powderham, A. J. (2002). The observational method—learning from projects. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Geotechnical Engineering*, 155 (1), 59-69.
- Powderham, A. J., Nicholson, D. P. (1996). The way forward. U: *The observational method in geotechnical engineering* (D. P. Nicholson & A. J. Powderham ed.). Thomas Telford, London.
- Stojković, B., Stanić, B, Kovačević, M.S. (2001): Methodology of the geotechnical design of St. Marko tunnel. *Građevinar* 53, 8, 507-516
- Szavits-Nossan, A. (2006). Observations on the Observational Method. U: *Active Geotechnical Design in Infrastructure Development. Proceedings of the XIII Danube-European Conference on Geotechnical Engineering*, Ljubljana, Vol. 1: Special and keynote lectures, 171-178.
- Terzaghi, K., Peck, R. B. (1967). *Soil mechanics in Engineering Practice*. John Wiley, New York.