

UTJECAJ EUROKODA NA PRORAČUN NASIPA ZA OBRANU OD POPLAVA

Prof. emerita, dr. sc. Tanja ROJE-BONACCI, dipl. inž. građ.
Sveučilište u Splitu

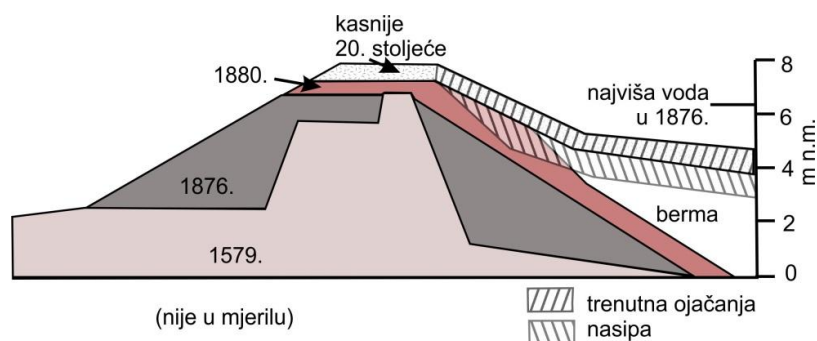
REZIME

Evropska Unija nastoji normirati što je moguće više proizvoda. Norme ponekad zakompliciraju njihovo projektiranje i izvedbu. U građevinarstvu je to Eurokod (Eurocode) koji se sastoji od 10 dijelova. Među njima se nalazi Eurokod 7 (EC7): Geotehničko projektiranje. Nasipi za obranu od poplava su geotehničke građevine, a propisi za njihovo projektiranje su raštrkani po poglavljima EC7. Bez obzira na to članice Europske Unije dužne su se pridržavati ovog propisa.

Ključne riječi: nasip, poplava, Eurokod 7, projektni pristup, parcijalni koeficijenti

1. UVOD

Nasipi za obranu od poplava su građevine koje prate sve sjedilačke narode ljudske civilizacije. Bez vode nisu mogli opstojati, ali su se, jednako tako, od njenog viška morali i braniti. Do danas se ništa nije promijenilo. Stalna borba s vodom iziskuje projektiranje i izgradnju novih i/ili rekonstrukciju i nadvišenje postojećih nasipa. Iako oni nisu jedina garancija obrane od poplava, predstavljaju glavne građevine u sustavu. Potvrda ove činjenice prikazana je na slici 1.



Slika 1. Nasipi na rijeci Rajni kroz stoljeća

2. OSNOVNE SMJERNICE PRORAČUNA PREMA EUROKOD-U OPĆENITO

Nasipi kao geotehničke građevine spadaju u područje propisa Eurokod 7. Propis se sastoji od dva dijela: Dio 1. Opća pravila i Dio 2. Istraživanje i ispitivanje tla. Dio 1. sadrži 12 poglavlja i dodatke od A do J šarolikog sadržaja. Dio 2. sadrži 6 poglavlja i dodatke od A do X. [1]

Osim Eurokoda 7, pri projektiranju nasipa (kao i svih ostalih konstrukcija) treba biti u suglasju s općim načelima iz EC 0: Osnove projektiranja konstrukcija – 1. dio: Osnove projektiranja i EN 1991 Eurokod 1:

Djelovanja na konstrukciju. Osnovna načela svode se na to da projektna (faktorizirana) djelovanja (E_d) ne prekorače vrijednosti odgovarajućeg projektnog (faktoriziranog) otpora (R_d):

$$E_d \leq R_d.$$

U ovom će se radu dati osvrt na Eurokod 7, Dio 1. Opća pravila, a koja vrijede za projektiranje hidrotehničkih nasipa posebno onih za obranu od poplava.

Eurokod 7 ne daje smjernice za projektiranje: velikih nasutih brana, tunela, klizišta i njihove sanacije i još ponekih tipičnih geotehničkih objekata.

Dio 1., Poglavlje 2. daje upute za geotehničko projektiranje. U tom se poglavlju javljaju pojmovi „proračunski zahtjevi i proračunske okolnosti“. Proračunski zahtjevi odnose se na određivanje graničnih stanja koje, za određenu građevinu, treba provjeriti. Proračunskim okolnostima treba utvrditi određene uvjete u kojima će se građevina naći za vrijeme svog vijeka trajanja (2.1 (2)).

Granična stanja mogu se provjeriti (2.1 (4)):

- uporabom proračuna,
 - primjenom propisanih mjera,
 - pomoću ispitivanja modela i pokusnog opterećenja,
 - pomoću opažanja,
- odnosno njihovim kombinacijama.

Nužno je utvrditi složenost svakog geotehničkog projekta. U tom smislu EC 7 predviđa dvije mogućnosti (2.1(8)):

- jednostavne, manje zahtjevne građevine za koje je moguće, na osnovi iskustva i kvalitativnih istražnih radova, osigurati osnovne zahtjeve uz zanemarivanje opasnosti za vlasništvo i živote;
- sve ostale geotehničke građevine.

EC 7 predviđa, da se prije pristupa projektiranju građevina, odrede geotehnički projektni zahtjevi. To se može učiniti tako da se buduća građevina svrsta u pripadnu „geotehničku kategoriju“ (točka 2.1(10-21)). Predviđene su tri geotehničke kategorije. Može se dogoditi da u kasnijim fazama projektiranja treba promijeniti početno odabranu kategoriju, a moguće je i

to da se pojedini dijelovi iste građevine svrstaju u različite kategorije.

Geotehnička kategorija 1

Uključuje samo male i jednostavne građevine sa zanemarivim rizikom. Uključuje iskope do dubine od 2,0 m.

Geotehnička kategorija 2

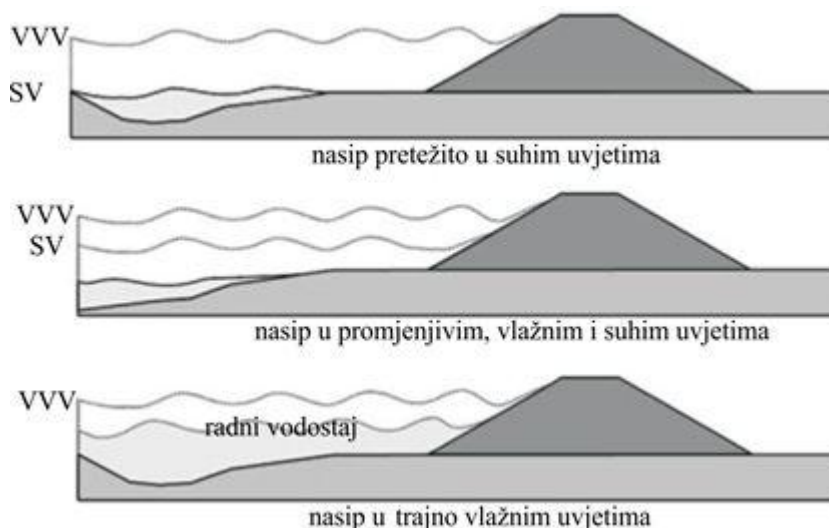
Uključuje uobičajene tipove građevina, plitke i druge temelje, zidove i druge potporne građevine, iskope, *nasipe* i druge zemljane građevine, koje zahtijevaju kvantificirane geotehničke podatke, ali ne zahtijevaju više od rutinskih postupaka u ispitivanju tla.

Geotehnička kategorija 3

U njega su svrstane sve građevine koje ne pripadaju u prvu i drugu kategoriju.

U poglavlju 2.2. Proračunske okolnosti, razlikuju se *trenutne i trajne* proračunske okolnosti. Ova odredba neobično je važna za projektiranje nasipa za obranu od poplava. Nasipi za obranu od poplava su *trajne građevine* koje imaju *trenutne funkcije*.

Na slici 2 prikazani su mogući odnosi nasipa i određenih razina vode koju nasip zadržava. Nasipi za obranu od poplava spadaju u kategoriju nasipa koji povremeno dolaze u situaciju da zadržavaju vodu, ali su stalno prisutni. Oni djeluju jedino i isključivo u trenutku pojave velikih voda (osim ako nemaju dvojaku namjenu). Pojava je periodična, nepravilna u vremenu i nepredvidiva, ali se na nju treba računati, jer u protivnom građevine gube svrhu postojanja.



Slika 2. Mogući uvjeti močenja nasipa uz vodotok

U poglavlju 2.2. je nabrojen niz proračunskih okolnosti koje treba uzeti pri projektiranju. Sve se one odnose na sve geotehničke građevine pa tako i na nasipe.

3. GEOTEHNIČKO PROJEKTIRANJE PODRŽANO PRORAČUNOM (2.4)

Proračun se osniva na pojmu *graničnih stanja* (**ultimate limit state - ULS**). Određenjem graničnih stanja, uvode se mjere pouzdanosti u inženjerstvo. Subjektivne se nesigurnosti mogu umanjiti osiguranjem kakvoće. Za objektivne se nesigurnosti, u postupku projektiranja određuju faktori, koji će osigurati tražene stupnjeve pouzdanosti građevine.

U ovaj proračun treba uključiti:

- djelovanja, koja mogu biti prisilna opterećenja ili prisilni pomaci,
- svojstva tla, stijena i ostalih materijala,
- geometrijske podatke,
- granične vrijednosti deformiranja, širine pukotina, vibracije itd.,
- proračunske obrasce.

Djelovanja mogu biti povoljna i/ili nepovoljna. Mogu djelovati kao opterećenja i kao otpori. O tome ovisi odabir parcijalnih koeficijenti kojima se faktoriziraju projektna djelovanja. U nekim slučajevima trajna stabilizirajuća (otpори), povoljna i trajna destabilizirajuća (opterećenja), nepovoljna djelovanja mogu dolaziti iz istog izvora. **U takvim se slučajevima isti izvor djelovanja faktorizira različitim parcijalnim koeficijentima.**

U točki 2.4.2. stoji „Napomena: Za nepovoljna (ili destabilizirajuća) i povoljna (ili stabilizirajuća) trajna djelovanja, u nekim se okolnostima smije smatrati da proizlaze iz jednog izvora. Ako se tako smatra, smije se primijeniti jedan parcijalni koeficijent na zbroj ovih djelovanja ili na zbroj njihovih učinaka.“ Ovo često zbunjuje projektante, ali je prema EC7 u potpunosti ispravno. Primjer će biti prikazan u nastavku.

Svi Eurokodovi, pa tako i EC7, primjenjuju proračune koji se temelje na **PARCIJALNIM KOEFICIJENTI SIGURNOSTI** za opterećenja i za sva svojstva materijala od kojih se predmetni objekt izvodi. Parcijalni se koeficijenti vežu uz određeno granično stanje.

Za proračun i dimenzioniranje nasipa bitno je odrediti vrijednosti geotehničkih parametara. Eurokod razlikuje *svojevne vrijednosti* i *proračunske vrijednosti* između ostalog i geotehničkih parametara.

Svojevne vrijednosti geotehničkih parametara odnose se na podatke dobivene terenskim i laboratorijskim ispitivanjima i njihovom statističkom obradom. To su mjerodavni, nefaktorizirani ulazni podaci.

Proračunske vrijednosti su one s kojima se vrši proračun i koje su faktorizirane parcijalnim koeficijentima na način:

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M}; \text{ gdje je } X_d \text{ proračunska vrijednost}$$

svojstva materijala, a X_k svojevna vrijednost svojstva materijala. Vrijednosti γ_M se biraju za trajne i privremene okolnosti, odnose se na gradivo (M-materijal), a dane su u tabeli 1.

Tabela 1(EN 1997-1, Tablica A.2): Parcijalni koeficijenti za parametre tla (γ_M) [1]

Parametar tla	Oznaka	Vrijednost
Kut unutarnjeg trenja ^a	$\gamma_{\phi'}$	1,25
Efektivna kohezija	$\gamma_{c'}$	1,25
Nedrenirana posmična čvrstoća	γ_{cu}	1,4
Jednoosna čvrstoća	γ_{qu}	1,4
Prostorna težina	γ_{γ}	1,0
^a s ovim se parcijalnim koeficijentom dijeli $\tan\phi'$		

U fazi projektiranja primjenjuju se odgovarajući proračunski modeli da bi se odredilo stanje građevine u odnosu na neko granično stanje. Osnovna podjela je na:

- **granična stanja nosivosti** (krajnja granična stanja) i
- **granična stanja uporabivosti**.

Granično stanje nosivosti (2.4.7) je stanje sloma ili nestabilnosti objekta (ili njegovih dijelova) u bilo kom obliku, koje može ugroziti sigurnost ljudi i/ili samo objekt. Granično stanje uporabivosti je ono pri kojem

objekt ne može više služiti predviđenoj svrsi iz bilo kojeg razloga.

Javlja se pet graničnih stanja nosivosti (ULS):

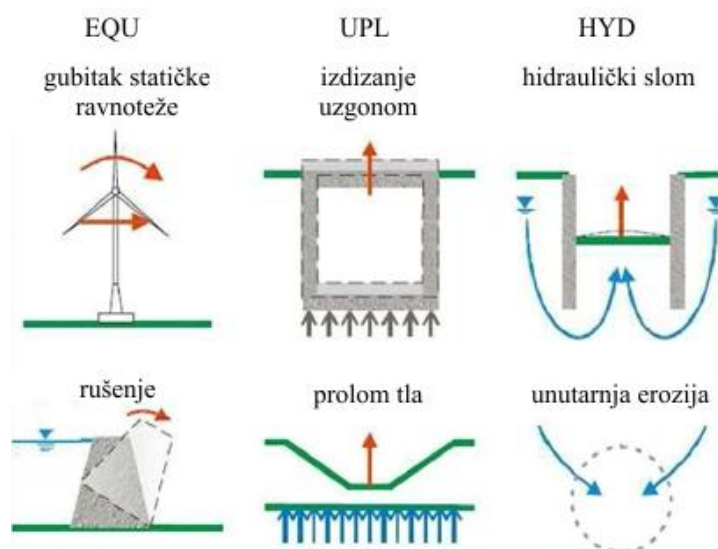
EQU, gubitak ravnoteže građevine ili tla, promatranih kao kruto tijelo, pri čemu čvrstoća materijala objekta ili tla ne može pružiti zadovoljavajući otpor; *uobičajeno se ne odnosi na nasipe.*

STR, unutarnji slom ili pretjerana deformacija objekta ili nekog njegovog dijela, kod kojih čvrstoća materijala značajno pridonosi otpornosti; *važno za nasipe.*

GEO, lom ili pretjerana deformacija temeljnog tla pri kojoj čvrstoća tla ili stijene značajno pridonosi otpornosti tj. općoj stabilnosti; *važno za nasipe.*

UPL, gubitak stabilnosti objekta ili tla uslijed djelovanja uzgona ili drugih sila smjera suprotnog gravitaciji;

HYD, hidraulički slom, unutarnja erozija i cijevljenje, uslijed djelovanja strujanja vode kroz nasute građevine i tlo.



Slika 3. Skica tri od pet graničnih stanja

Za proračun nasipa za obranu od poplava važna su sva granična stanja, te ih je stoga bitno provjeriti. Nešto manje značajno je granično stanje EQU, u kojem se razmatra gubitak stabilnosti objekta kao krutog tijela. Pri tom je čvrstoća materijala i temeljnog tla bez utjecaja na otpornost. Ovo je stanje rijetko u geotehničkom inženjerstvu. [2]

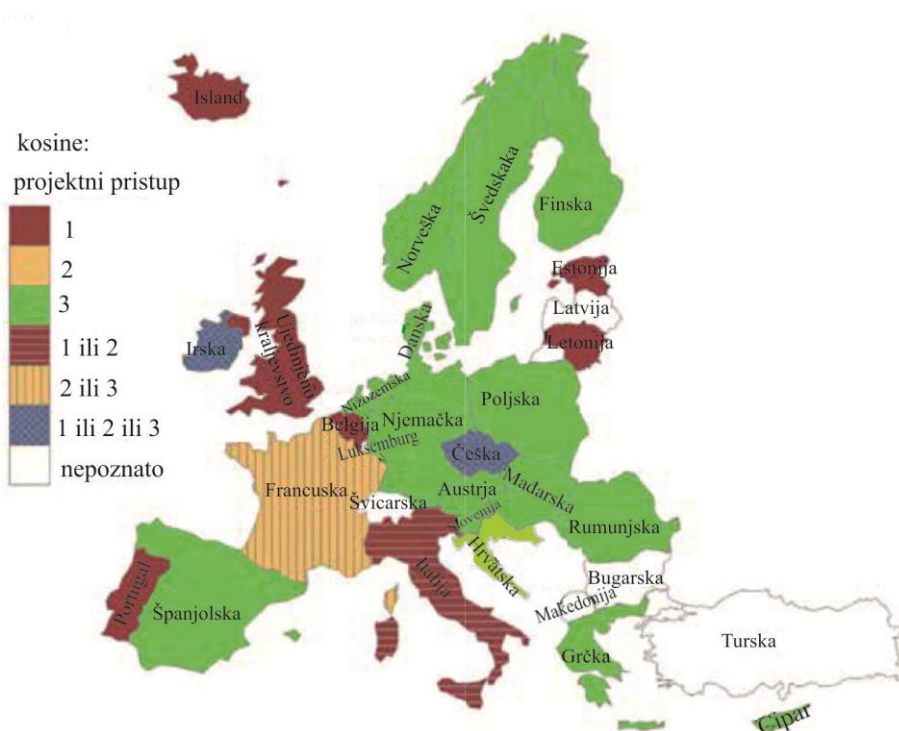
O nasipima, odnosno nasipavanju općenito i vrlo šturo, govori se u poglavlju 5: *Nasipavanje, odvodnja poboljšanje i ojačanje temeljnog tla*. Nedostatak detaljnijeg razmatranja utjecaja tečenja vode na geotehničke građevine općenito i posebni nasutih građevina kao takvih, uočen je, te je naknadno dodano poglavlje 10. *Hidraulički slom i poglavlje 12 Nasipi*. U poglavlje 10. je utrpiano sve što se tiče učinaka vode u i na geotehničke građevine.

Na nasipe se odnosi i dio *poglavljja 11. Opća stabilnost*, u kojem se između ostalog govori o stabilnostima kosina, a koje su sastavni dijelovi nasipa.

U točki 2.4.7.3.4 Proračunski pristupi [1], govori se o tri **proračunska pristupa** prilikom provjere otpornosti za granična stanja STR i GEO.

U zemljama Europske Unije primjena parcijalnih koeficijent za proračune koji se koriste u različitim jednadžbe nije jednoobrazna. Kako EC7 dozvoljava tri različita proračunska pristupa to primjena parcijalnih koeficijenata ovisi o odabranom proračunskom pristupu u pojedinoj državi. Proračunske pristupe svaka članica EU donosi u svom Nacionalnom dodatku.

Na slici 4 prikazan je odabir proračunskih pristupa u članicama Europske unije.



Slika 4. Odabir proračunskog pristupa u pojedinim članicama EU-a [2]

Ovi proračunski pristupi odnose se na primjenu parcijalnih koeficijenata na grupu djelovanja (A), grupu materijala uključujući i tlo (M) i grupu koja se odnosi na otpornost (R). U tablicama koje slijede prikazane su

kombinacije proračunskih pristupa i parcijalni koeficijenti za djelovanja (A), materijale (M) i otpore (R).

Tabela 2: Moguće kombinacije u projektnim pristupima

Proračunski pristup	Kombinacije
1	A1+M1+R1 A2+M2+R1
2	A1+M1+R2
3	(A1 ili A2)+M2+R3

Tabela 3: Parcijalni koeficijenti za djelovanja (γ_F);

Djelovanje (γ_F)	Simbol	A1	A2
TRAJNO			
Nepovoljno	γ_G	1,35	1,00
Povoljno	γ_G	1,00	1,00
POVREMENO			
Nepovoljno	γ_Q	1,50	1,30
Povoljno	γ_Q	0	0

Tabela 4: Parcijalni koeficijenti otpora (γ_R);

Otpor (γ_R)	Simbol	R1	R2	R3
Nosivost	γ_{Rv}	1,0	1,4	1,0
Klizanje	γ_{Rh}	1,0	1,1	1,0

Tabela 5: Parcijalni koeficijenti za parametre tla (γ_M); (dopunjena Tabela 1)

Parametar tla	Oznaka	M1	M2
Kut unutarnjeg trenja	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Efektivna kohezija	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Nedrenirana posmična čvrstoća	γ_{cu}	1,0	1,4
Jednoosna čvrstoća	γ_{qu}	1,0	1,4
Prostorna težina	γ_{γ}	1,0	1,0

Može se uočiti da su upute za projektiranje hidrotehničkih nasipa kao i nasipa općenito, prilično raštrkane po poglavljima [1].

**4. SMJERNICE PRORAČUNA PREMA EC7/1
POGLAVLJA 10. HIDRAULIČKI SLOM,
11. CJELOKUPNA STABILNOST I 12. NASIPI**

U geotehničkoj terminologiji „hidraulički slom“ je jednoznačno određen. Dijelovi poglavlja 10. Hidraulički slom, obuhvaćaju granična stanja UPL i HYD. Izravno su primjenjivi pri projektiranju nasipa za obranu od poplava. U poglavlju 10. pod ovim se pojmom podrazumijevaju četiri (negativna) utjecaja vode na geotehničke građevine:

- slom prouzročen djelovanjem uzgona;
- hidraulički slomom tla;
- slom prouzročen unutarnjom erozijom;
- slom prouzročen sufozijom, (cijevljenjem uslijed iznošenja čestica).

Sva ova djelovanja izazvana su pojavom hidrauličkog gradijenta u potencijalnom polju. U točki 2.4.7.5 opisan

je način provjere graničnog stanja sloma (HYD) obzirom na tečenje vode kroz temeljno tlo, ali se isto može primijeniti na proračun pri tečenju kroz nasipe.

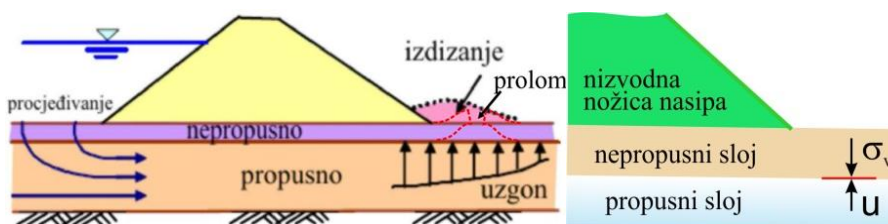
4.1 Djelovanje uzgona (10.2)

Točka 2.4.7.5(1)P glasi [1] “... za svaki se odgovarajući stupac tla mora provjeriti da je proračunska vrijednost destabilizirajućeg ukupnog tlaka vode ($u_{dst;d}$) na podnožju stupca ili proračunska vrijednost sile tečenja vode ($S_{dst;d}$) u stupcu, manja ili jednaka stabilizirajućem ukupnom uspravnom naprezanju ($\sigma_{stb;d}$) na podnožju stupca ili uronjenoj težini ($G'_{stb;d}$) istoga stupca:

$$u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d} \tag{2.9a}$$

$$S_{dst;d} \leq G'_{stb;d} \tag{2.9b}$$

Točka 2.4.7.5 (2)P kaže: [1] “U jednadžbama (2.9a) i (2.9b) moraju se za stalne i prolazne situacije upotrijebiti parcijalni koeficijenti za $u_{dst;d}$, $\sigma_{stb;d}$, $S_{dst;d}$ i $G'_{stb;d}$ koji su određeni u točki A.5(1)P ili su određeni Nacionalnim dodatkom.“



Slika 5. Model graničnog stanja sloma uslijed djelovanja uzgona

Dodatak A.5 (1) P kaže: „Za provjeru graničnoga stanja hidrauličkog izdizanja tla (HYD), djelovanja se moraju množiti sljedećim parcijalnim koeficijentima (γ_F):

- $\gamma_{G;dst}$ za destabilizirajuća nepovoljna, trajna djelovanja
- $\gamma_{G;stb}$ za stabilizirajuća povoljna, trajna djelovanja
- $\gamma_{Q;dst}$ za destabilizirajuća nepovoljna, promjenljiva djelovanja.

Tabela A.17 daje preporučene vrijednosti.“

Prethodno su ovi koeficijenti prikazani u Tabeli 3.

Bond i Harris [3] smatraju jednadžbu, koja uvažava strujnu silu za efektivno naprezanje (2.9b) iz [1], manje konzervativnom od jednadžbe koja uvažava pristup preko totalnog naprezanja (2.9a) iz [1]. Stoga, kada god je moguće, preporučuju koristiti jednadžbu 2.9a. Postoje međutim situacije kada to nije slučaj (na pr. potopljeni nepropusni sloj). Stoga napominju projektantima da

treba za proračun pažljivo odabrati odgovarajuću jednadžbu.[2]

4.2 Hidraulički slom (10.3)

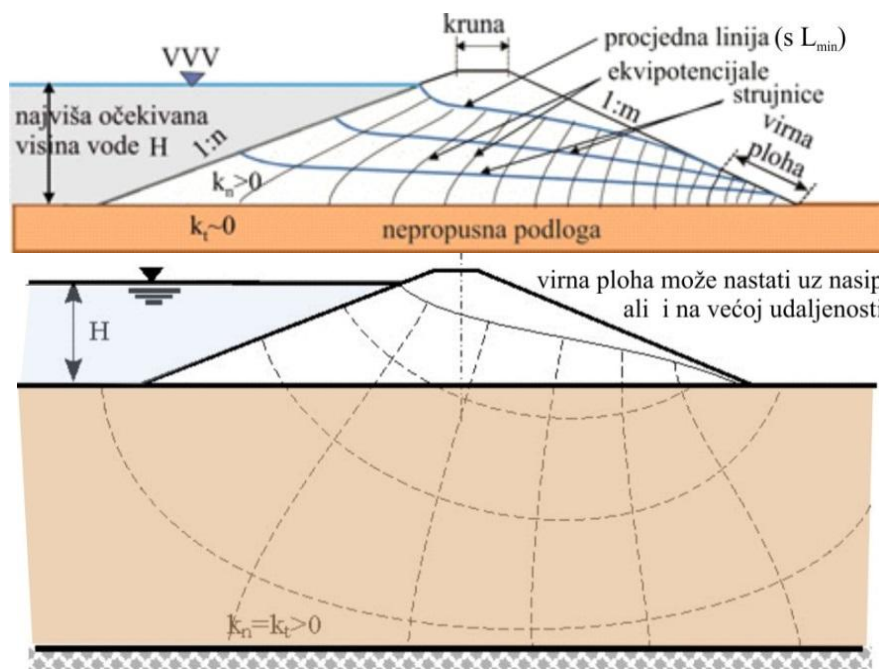
U [1] govori se o hidrauličkom slomu ilustriranom klasičnim primjerom, procjeđivanjem ispod zagatne stjenke (slika 10.2 [1]). Kod nasipa ono nastaje pri procjeđivanju vode kroz nasip ili, češće, kroz nasip i podlogu. Za nasipe za odbranu od poplave kritično je dugo trajanje vrlo visoke, poplavne vode, koja uvjetuje

stacionarno procjeđivanje kroz nasip i oblikovanje virne plohe na nizvodnom pokosu. Na nizvodnom pokosu nasipa javlja se izlazni hidraulički gradijent.

Proračun izlaznog hidrauličkog gradijenta može se izvesti iz podataka strujnog polja sa slike 6.

$$i_{\text{izl}} = \frac{H}{L_{\text{min}}} \quad (1)$$

Ovdje je H visinska razlika između gornje i donje vode, a L_{min} dužina procjedne linije kao najkraćeg puta čestice vode kroz nasip ili podlogu. Kritična točka na kojoj započinje hidraulički slom je u nožici nasipa, ali može biti i u nekoj geotehnički nepovoljnoj točki u zaobalju, na nizvodnoj strani nasipa [4].



Slika 6. Objasnjenje procjeđivanja kroz nasip i podlogu s elementima za proračun izlaznog hidrauličkog gradijenta

Dobiveni izlazni gradijent se uspoređuje s kritičnim izlaznim gradijentom pri kojem dolazi do iznošenja čestica. Pri tom mora biti zadovoljena nejednakost:

$$i_{\text{izl}} < i_{\text{krit}} \quad (2)$$

Izraz za kritični izlazni gradijent ovisi o prostornoj težini kako slijedi:

$$i_{\text{krit}} = \frac{\gamma_{\text{zas}} - \gamma_v}{\gamma_v} \quad (3)$$

što proizlazi iz uvjeta da je efektivno naprezanje, izraženo vektorski preko prostornih težina, na promatranoj plohi jednako nuli.

$$\bar{\gamma}'' = \bar{\gamma}' - \bar{i} * \gamma_v; \quad \bar{\gamma}'' = 0 \quad (4)$$

UNUTARNJA EROZIJA (10.4)

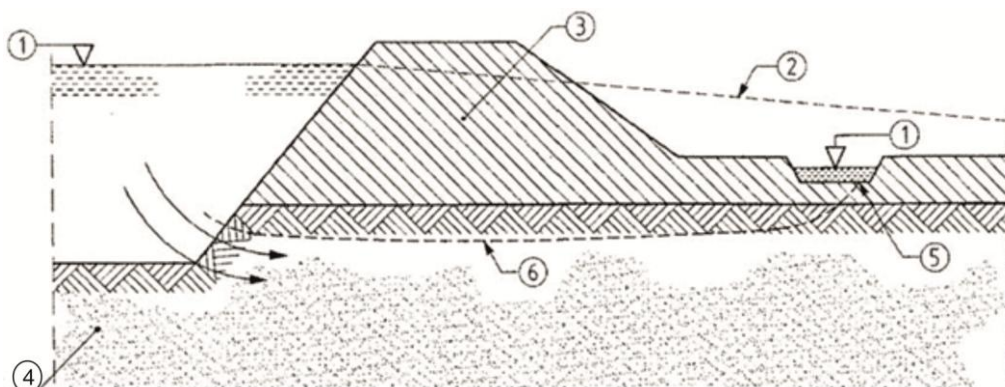
Unutarnja erozija nastaje u zoniranim nasipima na granici dvaju materijala, ako nisu odabrana ispravno prema filtarskom pravilu. Unutarnja se erozija može spriječiti ugradnjom filtarskih slojeva od prirodnih i/ili umjetnih (geotekstili) materijala.

SUFOZIJA ili CIJEVLJENJE (10.5)

To je pojava iznošenja čestica iz temeljnog tla nepovoljnog granulometrijskog sastava, pri određenim

hidromehaničkim uvjetima. Sufozija počinje na nizvodnoj strani nasipa i širi se u uzvodno kroz poprečni presjek nasipa. Naziva se još i cijevljenje jer u krajnjem

slučaju oblikuje cijev, kroz koju slobodno prolazi voda, širi cijev i dovodi do proloma nasipa. Učinak cijevljenja je prikazan na slici 4. Više o cijevljenju vidi u [4]



Slika 7. Primjer uvjeta koji mogu prouzročiti stvaranje kanala izazvanih sufozijom (slika 10.3) [1]
1 - slobodno vodno lice, 2 - pijezometarska razina u propusnom temeljnom tlu, 3 - tlo male propusnosti
4 - propusno temeljno tlo, 5 - mogući zdenac; početna točka za sufoziju, 6 - mogući kanal nastao sufozijom

4.3 Poglavlje 11. Opća stabilnost, odnosi se na granična stanja STR i GEO.

Za nasipe za obranu od poplave opća stabilnost je bitna u dijelu u kojem se govori o analizi stabilnosti. U točki 11.1 (1)P navodi se da se “odredbe ovog poglavlja moraju primijeniti između ostalog i na kosine (prirodne, nasipa i usjeka).“

Za dva gore navedena granična stanja (2.2) predviđa opterećenja u tri različite projektne situacije. To je situacija za **trajno** opterećenje, situacija za **povremeno** opterećenje i situacija za **slučajno** opterećenje. Kako je prethodno rečeno, nasipi za obranu od poplave su trajne građevine s povremenom funkcijom, ali bitnom i osnovnom u trenutku poplave. Kao i svaka druga građevina, mogu biti izložene slučajnim opterećenjima (požar, eksplozija). U slučaju nasipa za obranu od poplava slučajno opterećenje je i iznimno visoka voda, koja izlazi iz okvira proračuna za odabrano povratno razdoblje. U područjima visoke seizmičnosti treba izvršiti proračun na utjecaj potresa. U tom slučaju ne treba u proračun istovremeno uzeti utjecaj potresa i iznimno visoke vode. Pri proračunu na potres treba primijeniti pravila prema EC8.

Točka 11.3 detaljno govori o načinu odabira djelovanja slobodne i podzemne vode na građevine. Također navodi da je potrebno voditi računa na učinak naglog sniženja vanjske vode u kanalima i/ili akumulacijama, a što je rjeđe primjenjivo na nasipe za obranu od poplava.

U točki 11.4 (4) navode se „tipične građevine za koje je potrebno provesti proračun stabilnosti:

- potporne građevine
- usjeci, zasjeci, kosine ili nasipi
- temelji na nagnutom temeljnom tlu, prirodnim kosinama ili nasipima
- temelji u blizini usjeka, zasjeka, podzemnih građevina ili obale.“

Točka 11.5.1 Proračun stabilnosti kosina kaže: „(1)P Za granična stanja nosivosti (GEO i STR) mora se provjeriti opća stabilnost kosina, uključujući postojeće građevine, one na koje će se utjecati ili planirane, s onim proračunskim vrijednostima djelovanja, otpornosti i čvrstoća za koje se moraju upotrijebiti parcijalni koeficijenti određeni u dodacima A.3.1(1)P, A.3.2(1)P i A.3.3.6(1)P. NAPOMENA Vrijednosti parcijalnih koeficijenata smiju se zadati u Nacionalnom dodatku.“

Pri proračunu graničnog stanja stabilnosti kosine koji se provodi pri proračunu stabilnosti kosina nasipa za obranu od poplava, moment prevrtanja M_g je djelujući moment dok je povratni moment M_R , ima učinak momenta otpora. Pri proračunu prema EC7 projektant mora pokazati da veličina momenta otpora prelazi vrijednost djelujućeg momenta za svaki mogući mehanizam sloma.

$$\frac{E_d}{R_d} = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \Lambda_{GEO} \leq 1 \quad (5)$$

gdje je Λ_{GEO} stupanj uporabivosti pri raspoloživom otporu kod djelovanja ili učinka djelovanja. To je obrnuta vrijednost faktora sigurnosti. U primjeru koji slijedi pokazano je kako proračun pomoću parcijalnih koeficijenata primijeniti u analizi stabilnosti metodom Bishopa.

$$\Lambda_{GEO} = \frac{\sum_i \{(W_{d,i} + Q_{d,i}) \sin \alpha_i\}}{\sum_i \left\{ \frac{(c'_{d,i} b_i + (W_{d,i} + Q_{d,i} - u_{d,i} b_i) \tan \varphi_{d,i}) \sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \tan \varphi_{d,i}(\Lambda_{GEO})} \right\}} \leq 1 \quad (6)$$

U jednadžbi 6 oznaka „d“ obilježava projektnu vrijednost (vrijednost na koju je primijenjen parcijalni koeficijent). Treba naznačiti da vrijednost vlastite težine $W_{d,j}$ i djelujućeg, vanjskog opterećenja, $Q_{d,j}$ u gornjoj jednadžbi istovremeno predstavljaju i djelovanje i otpor. To usložnjava primjenu, kod izraza za analizu stabilnosti, kod kojih na pojedina (ista) svojstva treba primijeniti različite parcijalne faktore za povoljne i nepovoljne situacije. Upravo je to naprijed navedeni slučaj koji se spominje u EC7/1 2.4.2.

Bond i Harris [3], naznačili su poteškoće kod primjene parcijalnih koeficijenata kod analiza stabilnosti. Naglašavaju da primjena vrijednosti faktoriziranih parametara može kao „kritičnu“ kliznu plohu označiti različitu kliznu plohu od one koja bi se dobila da su se u proračun uvrstile svojstvene vrijednosti tih istih parametara, a što može biti različito i od stvarnosti. Oni predlažu da se najprije provede proračun sa *svojstvenim* (nefaktoriziranim) vrijednostima parametara djelovanja i otpora, kako bi se utvrdio kritični mehanizam sloma. Nakon toga treba provesti proračun prema EC7, koristeći parcijalne faktore za utvrđivanje graničnog stanja sloma pri vrednovanju stabilnosti istog proračunskog slučaja.

Sličan se problem javlja pri korištenju metode konačnih elemenata, kada se parcijalni koeficijenti koriste za otpornosti (R). To može utjecati na svojstva modela. Royet i Peyas [5], daju prijedlog za proračun analiza stabilnosti kosina metodom Bishopa prema EC7 za područje Francuske. Uvode tzv. faktor modela γ_b , koji je jednak recipročnoj vrijednosti veličine Λ_{GEO} iz jednadžbe (6). To samo govori o tome kako je proračun analiza stabilnosti kosina prema EC7, pomoću faktoriziranih parametara nedorečen te ga treba provoditi s velikom pažnjom.

Kada se nasip gradi na sloju mekih glina uobičajeno je proračun stabilnosti, za temeljno tlo, provesti s nedreniranim vrijednostima parametara. Ovaj se slučaj

dešava na završetku gradnje, kada su porni tlakovi uslijed nanesenog opterećenja novim nasipom, u podlozi najveći. (vidi: [2] pog. 9.10.3, [6], [7] i [8]).

5. POGLAVLJE 12 NASIPI

Ovo poglavlje odnosi se na nasipe za male brane i infrastrukturu. Daje detaljne upute o graničnim stanjima koja treba provjeravati prilikom proračuna nasipa (12.2). Upućuje na točke koje je potrebno razmotriti prilikom odabira djelovanja i proračunskih okolnosti. Tu navodi i posebne proračunske okolnosti koje se moraju uzeti u obzir, a koje su bitne pri izgradnji nasipa. (12.3). U točki 12.4 daje neke odrednice za projektiranje i izvođenje, a koje se odnose isključivo na nasipe i nisu prethodno navedene. U točkama 12.5 i 12.6 osvrće se na proračune graničnih stanja nosivosti i graničnih stanja uporabivosti karakterističnih za nasipe. Gdje je god moguće u ovom poglavlju se upućuje na zahtjeve iz prethodno opisanih poglavlja.

LITERATURA

- [1] Eurokod 7, Geotehničko projektiranje – Dio 1.: Opća pravila
- [2] CIRIA C731, (2013.), *The International levee Handbook*. CIRIA, London.
- [3] Bond, A., Harris, A. (2008), *Decoding Eurocode 7*, Taylor&Francis, Abingdon
- [4] Roje-Bonacci, T., (2015.) *Nasute građevine*. Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture geodezije
- [5] Royet, P., Peyas, L. (2010.) *New French guidelines for structural safety of embankmentdams in a semiprobabilistic format*. In: Proc IECS 2010, 8th ICOLD Europran Clubsymposium dam safety-sustainability in changing environment, Innsbruck, Autriche, pp 353-358
- [6] Ladd, C.C., Foott, R.;(1974.), New design procedure for stability of soft clays. Journal of Geotechnica Engineering Division, Proceeding of ASCE, vol 100, GT7 American Society of Engineers, str. 763-786, Roston VA, USA.
- [7] Jardine, R.J., Hight, D.W. (1987.), *The behaviour and analysis of embankments on soft clay*. Special Publication, Bulletin of the Public Works Research Centre, str 159-244. Ministry of Environment, Athens.
- [8] Ladd, C.C.(1991.), *Stability evaluation during staged construction*. Journal of Geotechnical Engineering, vol 117, 4, American Society of Engineers, str. 540-615, Roston VA, USA.

IMPACT OF EUROCODE ON CALCULATIONS FOR FLOOD DEFENCE EMBANKMENTS

by

Professor emerita DSc. Tanja ROJE - BONACCI
University of Split

Summary

The European Union endeavours to standardize as many products as possible. Standards sometimes complicate design and construction. The standard in civil engineering is Eurocode, consisting of 10 sections. Eurocode 7 refers to Geotechnical Design. Flood defence embankments are geotechnical structures and

regulations for their design are scattered in EC7 sections. Nonetheless, the EU Member States are obliged to comply with this regulation.

Keywords: embankment, flood, Eurocode 7, project approach, partial coefficients

Redigovano 25.10.2019.