

Bojan MAJES

prof.dr., dipl.gradb.inž., Univerza v Ljubljani, FGG, Katedra za mehaniko tal z laboratorijem

Boštjan PULKO

asist.mag., dipl.grad.inž., Univerza v Ljubljani, FGG, Katedra za mehaniko tal z laboratorijem

PRIMERJAVA MED VELJAVNIM PRAVILNIKOM IN EUROCODE PREDPISI ZA PODROČJE GEOTEHNIKE

POVZETEK: Predstavljena je primerjava med evropskim predstandardom s področja geotehnike EUROCODE 7 in še veljavnimi predpisi v Republiki Sloveniji. Podan je splošen pregled projektnih zahtev in novosti evropskega predstandarda "EUROCODE-7 - Geotehnično projektiranje". Posebej so izpostavljene glavne novosti in razlike, ki jih evropski predstandard prinaša v slovensko geotehnično prakso.

A COMPARISON BETWEEN VALID REGULATIONS AND EUROCODE STANDARD FOR GEOTECHNICAL ENGINEERING

SUMMARY: The comparison between the European prestandard on the field of geotechnical engineering EUROCODE 7 and the existing, still valid standards in the Republic of Slovenia is presented. A general overview and the basic design requirements and novelties in accordance with the European prestandard "EUROCODE 7 - Geotechnical design" are shown. The main emphasis is placed on the main novelties and differences, which are introduced to the Slovenian geotechnical practice by the European prestandard.

UVOD

Podobno kot na drugih področjih v gradbeništvu so trenutno na področju geotehnike v Sloveniji še vedno v veljavi stari jugoslovanski tehnični predpisi. Temeljni predpis s področja geotehnike predstavlja "Pravilnik o tehničnih normativih za temeljenje gradbenih objektov" iz leta 1990, ki ga dopolnjujejo posebej izdana strokovna pojasnila. Ta pravilnik dopolnjujejo JUS standardi, ki predpisujejo izvedbo geotehničnih laboratorijskih preiskav. Poseben standard iz leta 1980 predpisuje projektiranje nasutih zemeljskih pregrad in hidrotehničnih nasipov. V praksi se čedalje bolj izkazuje potreba po novih predpisih, saj ugotavljamo, da je stanje problematično predvsem na področju standardov za terenske in laboratorijske preiskave, ki jih ni ali pa so zastareli, prav tako pa so standardi pomanjkljivi tudi na področju projektiranja geotehničnih objektov. Glede na navedeno in zaradi integracijskih teženj v Evropi bo v Sloveniji potrebno sprejeti nove standarde za gradbeništvo, ki bodo prilagojeni evropskim standardom. Potrebo po novih standardih izraža tudi dejstvo, da so nekateri tehnični predpisi zaradi sprememb, ki so nastajale pri novelacijah, celo medsebojno neusklajeni in zato v praksi pogosto posegamo po tujih predpisih in standardih. Temeljno vodilo projekta evropskih standardov s področja gradbeništva "EUROCODE" je Evropi ponuditi enovite, usklajene in konsistentne tehnične standarde, ki bodo omogočili vame in ekonomične konstrukcije. V kompletu standardov "EUROCODE" tako zavzema svoje mesto tudi standard za geotehniko ENV 1997 EUROCODE 7, ki bo sestavljen iz 4 delov:

- 1 del: Splošna pravila,
- 2 del: Standardi za laboratorijske preiskave,
- 3 del: Standardi za terenske preiskave in jemanje vzorcev,
- 4 del: Pravila za posebne elemente in konstrukcije.

EUROCODE 7 - GEOTEHNIČNO PROJEKTIRANJE

EUROCODE 7 predstavlja temeljni geotehnični standard. Prvi del, ki je v Evropski uniji že sprejet kot predstandard, sestavlja 9 poglavij, ki pokrivajo osnovna geotehnična področja projektiranja in gradnje objektov:

1. Splošno
2. Osnove geotehničnega projektiranja
3. Geotehnični podatki
4. Nadzor, monitoring in vzdrževanje
5. Nasipavanje, odvodnjavanje in izboljšanje temeljnih tal
6. Plitvo temeljenje
7. Globoko temeljenje na kolih
8. Podpome konstrukcije
9. Nasipi in brežine

V primerjavi z veljavnim Pravilnikom o tehničnih normativih za temeljenje gradbenih objektov (1990), ki vsebuje naslednja področja:

- I. Splošne določbe
- II. Preiskave tal
- III. Klasifikacija in identifikacija zemljin
- IV. Opazovanje in posedanje gradbenih objektov
- V. Sile, ki delujejo na temelje
- VI. Temeljenje
- VII. Končne določbe

prinaša novi standard povsem nove koncepte in zahteve na področju geotehničnega projektiranja, nasipavanja, odvodnjavanja in izboljšanja temeljnih tal in pri projektiranju podpornih konstrukcij, nasipov in brežin.

SPLOŠNO

V uvodnem delu predstandarda EUROCODE 7 so predstavljena splošna določila in tehnični normativi, ki jih vzpostavlja predstandard. Podana je vsebina predstandarda in temeljne predpostavke. Pojasnjena je razlika med temeljnimi principi, ki so v bistvu določila, definicije, zahteve ali analitični modeli, za katere standard ne dopušča alternative in med aplikacijskimi pravili, ki predstavljajo splošna pravila za zagotovitev teh principov in zahtev.

Direktna primerjava z obstoječim pravilnikom ni mogoča. V splošnih določbah pravilnika so predpisani tehnični normativi, ki se uporabljajo pri projektiranju in izvajanju del pri temeljenju gradbenih objektov, predpisani so sestavni deli tehnične dokumentacije.

OSNOVE GEOTEHNIČNEGA PROJEKTIRANJA

V drugem delu evropskega predstandarda so podane temeljne zahteve glede:

- projektnih zahtev,
- projektnih situacij,
- trajnosti konstrukcij,
- geotehničnega projektiranja (izračunov),
- projektiranja s predpisanimi zahtevami,
- obremenilnih testov in eksperimentalnega modeliranja,
- metod opazovanja,
- geotehničnega projekta.

Glede na zahtevnost objektov in projektnih zahtev uvaja predstandard tri geotehnične kategorije, kamor razvrstimo objekte. V prvo geotehnično kategorijo sodijo majhne in preproste konstrukcije, ki se lahko projektirajo na osnovi izkušenj, geotehničnih ogledov in podobno. Po EUROCODU sodijo v to kategorijo naslednji objekti:

- preproste eno in dvonadstropne hiše in gospodarska poslopja z maksimalno obtežbo 100 kN/m za zidove in 250 kN na pilot, če je objekt temeljen globoko,
- podporne konstrukcije z višinsko razliko manjšo od 2 m,
- majhni izkopi (drenaže, polaganje cevi, itd.).

V drugo geotehnično kategorijo sodijo vsi konvencionalni tipi gradbenih konstrukcij in načinov temeljenja, ki ne predstavljajo velikega tveganja ali neobičajnih in izjemno zahtevnih obtežnih primerov ali primerov temeljenja. Te analize zahtevajo kvantitativne podatke in analize za zagotovitev temeljnih zahtev podanih s predstandardom. V tretjo geotehnično kategorijo so uvrščeni vsi objekti, ki ne spadajo v 1. in 2. kategorijo in predstavljajo objekte posebne zahtevnosti in tveganja.

Predstandard natančno določa projektne situacije, ki jih je potrebno preveriti v fazi projektiranja in podaja zahteve glede trajnosti konstrukcij in materialov, ki jih uporabimo pri gradnji. Bistveno novost prinaša podpoglavje, ki opredeljuje računske metode geotehničnega projektiranja. V geotehnično prakso uvaja uporabo delnih varnostnih količnikov. To se odraža tako na računskem modelu, obtežbi (sile ali vsiljeni pomiki), materialnih karakteristikah, geometrijskih podatkih, kot tudi na limitnih vrednostih deformacij, razpok ali vibracij. EUROCODE 7 uvaja v projektiranje oziroma preverbo konstrukcij popolnoma nov pristop, saj zahteva računsko preverbo treh različnih primerov:

- Primer A: Izguba stabilnosti konstrukcije v primeru, ko trdnost temeljnih tal ali konstrukcije ni pomembna (n.pr. izguba stabilnosti zaradi vzgona),
- Primer B: Porušitev konstrukcije ali njenih elementov (pilotov, zagatnic, sider, itd.), ki je pogojena s trdnostjo konstrukcijskega materiala,
- Primer C: Porušitev temeljnih tal, ko trdnost konstrukcije ni pomembna in v izračunu ne nastopa. Izračun po primeru C je relevanten pri stabilnostnih analizah, pri določitvi velikosti podpornega zidu ali pri določitvi potrebne globine vpetja pilotne stene v temeljna tla.

Za vsako izmed situacij so določeni varnostni količniki γ_m , s katerimi določimo projektne vrednosti obtežb in stopnjo mobilizacije strižne odpornosti zemljin (preglednica 1).

Preglednica 1 Delni količniki varnosti

Primer	Obtežba			Temeljna tla			
	Stalna obtežba		Občasna	$\tan \varphi$	c'	c_u	q_u
	Ugoden vpliv	Neugoden vpliv	Neugoden vpliv				
A	1.0	0.95	1.5	1.1	1.3	1.2	1.2
B	1.35	1.0	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.3	1.25	1.6	1.4	1.4

Projektne vrednosti obtežb dobimo z množenjem karakterističnih obtežb, projektne vrednosti strižnih parametrov temeljnih tal pa z redukcijo karakteristične strižne trdnosti. Za preverbo mejnega stanja uporabnosti (premiki, deformacije) so vse vrednosti varnostnih količnikov enake 1.0, mejne vrednosti rotacij in diferenčnih premikov pa so predpisane.

V obstoječem pravilniku ni določila, ki bi eksplicitno navajalo varnostne količnike, podana pa so priporočila oziroma običajne vrednosti količnikov varnosti za projektiranje posameznih vrst konstrukcij.

GEOTEHNIČNI PODATKI

EUROCODE 7 deli geotehnične preiskave v tri skupine:

- preliminarni preiskave,
- projektne preiskave,
- kontrolne preiskave.

Rutinska geotehnična preiskava naj bi vsebovala terenske raziskave in laboratorijske preiskave. Za projektne raziskave je predpisana minimalna količina preiskav v naslednjem obsegu:

- V primeru, da konstrukcija prekrije veliko območje, je potrebno sondirati v mreži s stranico 20-40 m odvisno od sestave temeljnih tal. V homogenih temeljnih tleh je del sondažnih jaškov in vrtin možno nadomestiti s CPT preiskavami ali geofizikalnimi preiskavami.
- Za pasovne temelje je potrebno izvršiti vrtine v minimalni globini enkratne do trikratne širine temelja pod koto temeljenja. V primeru možnih posedkov in težav s talno vodo je potrebno sondirati globlje.
- Za plošče je potrebno sondirati ali penetrirati vsaj za širino plošče globoko, če do te globine ni dosežena trdna osnova.
- Za deponije in cestne nasipe je potrebno sondirati vse sloje stisljivih zemljin, ki prispevajo k posedkom. Globina sondiranja se lahko omeji na globino, kjer je prispevek k posedku manjši od 10% celotnega posedka. Medsebojna razdalja vrtin naj bi znašala 100-200 m.
- Za temeljenje na kolesih se izvajajo vrtine in penetracijski ali drugi testi do globine, ki sega minimalno za pet premerov kola pod projektno globino noge kola.

Obstoječi pravilnik ravno tako podaja zahteve po minimalnem obsegu raziskav temeljnih tal:

- za idejni projekt; na 1000 m² površine 1 raziskovalna vrtina do projektirane globine in 3 terenske raziskave na intervalih po 2 m do projektirane globine,
- za glavni projekt; terenske raziskave v pravokotni mreži s stranico 20 do 30 m.

Kot minimalna globina preiskav je zahtevana globina 6 metrov, sicer je v splošnem globina sondiranja odvisna od širine objekta (širine temeljev in razstoja med njimi) ter od jakosti obtežbe.

NADZOR, MONITORING IN VZDRŽEVANJE

EUROCODE 7 predpisuje način in vrsto nadzora, monitoringa ter vzdrževanja za objekte različnih geotehničnih kategorij. Zanimivo je, da podaja le splošna navodila in ne precizira zahtev in minimalnega obsega teh dejavnosti. Za potrebe monitoringa zahteva izdelavo projekta, ki mora podati zahteve glede izvajanja in odgovoriti na naslednje: kaj, kdaj, kako pogosto in kako nadzirati oziroma opazovati. Vzdrževanje je predpisano v obsegu, ki je potreben za zagotovitev funkcionalnosti objekta.

Pravilnik o tehničnih normativih za temeljenje gradbenih objektov eksplicitno zahteva opazovanje objektov, kjer so izračunani posedki večji od pet centimetrov in pri objektih, ki so temeljeni na izboljšanih tleh.

NASIPAVANJE, ODVODNJAVAJE IN IZBOLJŠANJE TEMELJNIH TAL

EUROCODE 7 podaja temeljne zahteve, ki jih moramo upoštevati pri nasipavanju, odvodnjavanju in izboljšavi temeljnih tal. Pri nasipavanju moramo zagotoviti za materiale, ki so primerni za vgradnjo, minimalno zbitost 97% po Proctorju, navedeni pa so tudi postopki merjenja zbitosti. Pri odvodnjavanju so podane osnovne zahteve ter podani pogoji izvedbe. Pri izboljšanju temeljnih tal so prav tako podane osnovne zahteve, ki jih moramo upoštevati pri določitvi metode izboljšanja.

Pravilnik o tehničnih normativih za temeljenje gradbenih objektov ne navaja nikakršnih zahtev glede nasipavanja, odvodnjavanja ali izboljšanja temeljnih tal.

PLITVO TEMELJENJE

EUROCODE 7 predpisuje potrebne kontrole za naslednja mejna stanja pri plitvem temeljenju:

- globalna stabilnost,
- presežena nosilnost temeljnih tal,
- zdrs,
- kombinirana porušitev temeljnih tal in konstrukcijskih elementov temelja,
- porušitev temelja zaradi premikov temeljnih tal,
- preveliki posedki,
- preveliki dvižki,
- nesprejemljive vibracije.

Po EUROCODE 7 so zahtevane naslednje kontrole:

- a) Kontrola globalne stabilnosti (stabilnostna analiza)
- b) Kontrola nosilnosti temeljnih tal - dopustna obtežba

$$R_d \geq V_d \quad (1)$$

- c) Kontrola zdrsa

- drenirano stanje (kohezijo zanemarimo $c' = 0$)

$$S_d + E_{pd} \geq H_d \quad (2)$$

$$S_d = V'd \operatorname{tg} \delta'd \quad (3)$$

- nedrenirano stanje (pri pogoju $S_d \leq 0.4V_d$)

$$S_d = A' c_u \quad (4)$$

kjer je:

V_d	...	projektna vertikalna obtežba
R_d	...	projektna vrednost odpora
H_d	...	projektna vrednost horizontalne obtežbe
S_d	...	projektna vrednost sile trenja na stiku temelj - zemljina
E_{pd}	...	projektna vrednost odpora zemljine pred temeljem
δ_d	...	projektna vrednost trenjskega kota na stiku temelj - zemljina
A'	...	efektivna temeljna ploskev ob upoštevanju ekscentričnosti obtežbe
c_u	...	nedrenirana strižna trdnost (projektna)

d) Dopustna ekscentričnost:

Obtežbe z ekscentričnostjo večjo od 1/3 širine temelja (oziroma 0.6 polmera za krožne temelje) moramo obravnavati posebej pozorno. Obravnavati moramo 10 cm odstopanje projektnih mer zaradi napak pri izvajanju.

e) Posedki temeljev:

Diferenčni posedek je dopusten do velikosti 10 mm, a ne večji kot 50% celotnega posedka.

Pri izračunu je v vseh kontrolah potrebno upoštevati projektne vrednosti sil akcije in reakcije v skladu s preglednico 1.

V Pravilniku o tehničnih normativih za temeljenje gradbenih objektov pa so zahtevane naslednje kontrole s predpisanimi vrednostmi količnikov varnosti:

a) Dopustna obtežba:

Računa se po predpisanih obrazcih z upoštevanjem mobiliziranih efektivnih trdnostnih parametrov $c'_m = c' / F_c$ in $\text{tg } \varphi'_m = \text{tg } \varphi' / F_\varphi$ ali v začetnih pogojih z mobiliziranimi nedreniranimi trdnostnima parametroma c_{um} in φ_{um} . Količnika varnosti F_c in F_φ sta odvisna od homogenosti sestave temeljnih tal in znašata:

$$1.2 \leq F_\varphi \leq 1.8 \text{ (običajno 1.5)} \text{ in } 2.0 \leq F_c \leq 3.0 \text{ (običajno 2.5)} \quad (5)$$

Če se upošteva v analizah temeljenja samo glavna obtežba, se morajo dopustne obtežbe zmanjšati za 20%. Če se poleg glavne in dodatne obtežbe upošteva še posebna obtežba in če so upoštevane običajne vrednosti količnikov varnosti, se lahko dopustne obtežbe povečajo za 20%.

b) Kontrola zdrsa:

Pri horizontalni obtežbi je predpisano razmerje med horizontalno in vertikalno obtežbo. Predpisano je razmerje:

$$H / V \leq \text{tg } \delta / F, \quad (6)$$

kjer je δ trenjski kot med temeljem in zemljino, F pa količnik varnosti. Za nevezljive zemljine mora biti količnik varnosti večji od vrednosti 1.5 (1.8), za koherentne zemljine pa večji od 2 (2.5). Vrednosti v oklepaju veljajo za primer, če je upoštevana samo glavna obtežba.

c) Dopustna ekscentričnost:

V predpisih je predpisana lega rezultante obtežbe v dnu temelja. Če se upošteva samo glavna obtežba, rezultanta ne sme pasti iz jedra prereza. Ob upoštevanju glavne in dodatne obtežbe sme rezultanta pasti iz jedra prereza, vendar sme znašati največja ekscentričnost rezultante 30% širine temelja (60% tlačnega prereza). Pri objektih z visokim težiščem rezultanta ne sme pasti iz jedra prereza v nobenem primeru. Ekscentričnost rezultante je v takem primeru omejena na 1/12 ali celo 1/18 širine temelja.

d) Posedki temeljev:

V splošnem je potrebno pri dopustnih posedkih objekta upoštevati način prenosa obtežbe v tla, sestavo tal, statičen in funkcionalen značaj objekta. Dopustni posedki objekta so predpisani v velikosti 5 cm (nevezljiva tla) in 2.5 cm (vezljiva tla), če ni narejen detajlni izračun posedkov in njihovega časovnega razvoja. V primeru detajlnejših analiz posedanja objektov so omejeni diferenčni posedki, ki smejo znašati do 50% (nevezljiva tla) in do 25% (koherentna tla) absolutnih posedkov pri statično določenih konstrukcijah.

Neposredna primerjava izračunov po EUROCODE 7 in veljavnem pravilniku vodi k naslednjim zaključkom:

- Dopustne napetosti so ob rabi najpogosteje uporabljenih varnostnih količnikov po pravilniku $F_{\phi}=1.5$ in $F_c=2.5$ manjše od vrednosti, ki jih dobimo po EUROCODE 7, kjer je predpisana raba varnostnih količnikov $F_{\phi}=1.25$ in $F_c=1.6$, poleg tega pa je potrebno občasno obtežbo množiti s faktorjem 1.30 (primer C). Omeniti velja, da pravilnik dovoljuje vrednosti za varnostni količnik F_{ϕ} v razponu od 1.2 do 1.8 in za F_c v razponu 2.0 do 3.0 in je zato mogoče dobiti primerljive rezultate.
- Varnosti proti zdrs so odvisne predvsem od vrste tal in deleža stalne, lastne obtežbe proti koristni oziroma občasni obtežbi temelja. Za primer obtežbe temelja, ki ne izhaja iz pritiskov zaledne zemljine (n.pr. podporni zidovi), so zahtevane varnosti proti zdrs v smislu pravilnika in EUROCODE 7 podane v preglednici 2.

Preglednica 2. Primerjava zahtevane varnosti proti zdrs temeljev

	Vrsta obtežbe	PRAVILNIK	EUROCODE 7
nekoherentna tla	100% stalna, lastna	1.8	1.25
	100% koristna - občasna	1.8	1.625
koherentna tla	100% stalna, lastna	2.5	1.6
	100% koristna - občasna	2.5	2.08

GLOBALNO TEMELJENJE NA KOLIH

EUROCODE 7 zahteva pri globokem temeljenju preverbo naslednjih mejnih stanj:

- izguba globalne stabilnosti,
- presežena mejna obremenitev globokega temeljenja,
- dvig ali nezadostna natezna nosilnost kolov,
- porušitev temeljnih tal zaradi horizontalne obremenitve kolov,
- strukturna porušitev kolov (v tlaku, nategu, upogibu, strigu),
- kombinirana porušitev kolov in temeljnih tal,
- preveliki posedki,
- preveliki dvižki,
- nesprejemljive vibracije.

Kot projektne metode dovoljuje EUROCODE 7 naslednje pristope:

- izvedbo statičnega obremenilnega testa,
- empirične ali analitične metode izračuna, ki so bile potrjene s statičnim testom v primerljivih situacijah,
- rezultati dinamičnih testov, če je bila njihova veljavnost potrjena s statičnim obremenilnim testom v primerljivih situacijah.

Statična preizkušnja se lahko vrši na testnih ali delovnih kolih, ki se praviloma nahajajo na lokaciji, kjer pričakujemo najslabše pogoje. Praviloma se preizkušnja vrši po času v katerem doseže material kola polno trdnost in pomi tlaki v zemljini dosežejo prvotne vrednosti. EUROCODE 7 predpisuje tudi metodologijo izvajanja statičnega obremenilnega testa.

Preglednica 3. Vrednosti količnika ξ

število preizkušenj	1	2	>2
(a) ξ na povp. R_{am} (R_{tm})	1.5	1.35	1.3
(a) ξ na min. R_{am} (R_{tm})	1.5	1.25	1.1

Ker vse projektne metode temeljijo na statičnem obremenilnem testu, navaja EUROCODE 7 tudi količnike varnosti za račun karakterističnih mejnih obtežb iz rezultatov obremenilnih testov. Karakteristična mejna obtežba tlačno (R_{ck}) ali natezno obremenjenih kolov (R_{tm}) se določi iz dejanske mejne obremenitve pri statični obremenilni preizkušnji ob upoštevanju varnostnega količnika ξ :

$$R_{ak} = R_{am} / \xi \text{ oziroma } R_{tk} = R_{tm} / \xi \quad (7)$$

Karakteristična mejna nosilnost tlačno obremenjenega kola je sestavljena iz odpora po nogi kola (R_{bk}) in odpora po plašču (R_{sk}). V kolikor je mogoče določiti delež nosilnosti po nogi in po plašču, se projektna vrednost nosilnosti izračuna po enačbi:

$$R_{cd} = R_{bk} / \gamma_b + R_{sk} / \gamma_s \quad (8)$$

ob upoštevanju delnih količnikov varnosti iz preglednice 4. V kolikor je znana samo skupna karakteristična mejna nosilnost kola, se projektna vrednost nosilnosti izračuna po enačbi:

$$R_{cd} = R_{ck} / \gamma_i \quad (9)$$

Preglednica 4. Vrednosti γ_b , γ_s , γ_i

Varnostni količnik	γ_b	γ_s	γ_i
zabiti koli	1.3	1.3	1.3
uvrtani koli	1.6	1.3	1.5
CFA koli	1.45	1.3	1.4

Pri natezno obremenjenih kolih se projektna vrednost nosilnosti izračuna po enačbi:

$$R_{cd} = R_{ck} / \gamma_m \quad (10)$$

kjer je $\gamma_m = 1.6$.

EUROCODE 7 podaja tudi osnovne zahteve glede projektiranja in izvajanja globokega temeljenja.

Pravilnik o tehničnih normativih za temeljenje gradbenih objektov sicer ni direktno primerljiv z EUROCODE 7, vendar prav tako podaja in precizira zahteve, ki jih mora izpolnjevati projekt globokega temeljenja. Glede vsebine projekta so podane podobne zahteve v obeh predpisih, saj mora projekt vsebovati:

- analizo razporeditve obtežbe na posamezen kol,
- dokaz o dopustni obremenitvi posameznega kola za vertikalno obtežbo,
- dokaz o dopustni obremenitvi posameznega kola za horizontalno obtežbo,
- dokaz o kvaliteti materiala (kola),
- dimenzioniranje posameznega kola,
- dokaz o stabilnosti temelja kot celote,
- analizo posedanja temelja kot celote.

Pravilnik prav tako predpisuje minimalne in maksimalne razstoje med tlačno oziroma natezno obremenjenimi koli, medtem ko EUROCODE 7 teh razstojev ne precizira, zahteva pa upoštevanje medsebojnega vpliva.

PODPORNE KONSTRUKCIJE

EUROCODE 7 deli podpore konstrukcije v tri skupine:

- težnostne zidove,
- vkopane stene iz tanke pločevine, armiranega betona ali lesa, podprte s sidri ali pasivnim odporom temeljnih tal, kjer ima upogibna togost veliko vlogo proti teži konstrukcije,
- kombinirane konstrukcije.

Pri projektiranju podpornih konstrukcij so zahtevane računske preverbe naslednjih mejnih stanj:

- izguba globalne stabilnosti,

- porušitev strukturnih elementov (stena, sidro, povezava med elementi),
- kombinirana porušitev,
- premiki, ki lahko povzročijo porušitev ali ogrozijo varnost objektov ali naprav na zaledju,
- nesprejemljivo precejanje vode skozi konstrukcijo,
- nesprejemljiv transport drobnih frakcij skozi ali pod konstrukcijo,
- nesprejemljiva sprememba režima podtalnice.

Za težnostne zidove je dodatno potrebno izvesti še naslednje kontrole:

- kontrola nosilnosti temeljnih tal pod temeljem,
- kontrola zdrsa pod temeljem,
- kontrola prevrnitve konstrukcije,

medtem ko je za "vkopane" konstrukcije potrebno zagotoviti varnost proti:

- porušitvi zaradi rotacije ali translacije stene ali njenih konstrukcijskih elementov,
- porušitvi zaradi ogrožene vertikalne stabilnosti stene.

Novosti, ki jih prinaša EUROCODE 7, se najbolj odražajo ravno pri računu podpornih konstrukcij. Račun takšnih konstrukcij je ob upoštevanju zahtev predstandarda dvojen. V geostatični analizi, kjer določamo velikost podpome konstrukcije (n.pr. kontrola globalne stabilnosti, velikost podpomega zidu, potrebno globino vpetja pilotne stene v temeljna tla, itd.), upoštevamo delne količnike varnosti iz preglednice 1 za situacijo C, saj trdnost konstrukcijskega materiala ne nastopa v izračunu in ne pogojuje velikosti konstrukcije. Dodatno pomembno določilo zahteva, da v primerih, ko stabilnost podpome konstrukcije zavisi od pasivnega odpora zemljine pred konstrukcijo, znižamo koto temeljnih tal na pasivni strani konstrukcije za vrednost Δ_a pri računu mejnih stanj. Za konzolne stene je vrednost Δ_a enaka 10% svetle višine konstrukcije, pri sidranih pa 10% višine od tal do prvega sidra, vendar maksimalno 0.5 m.

Račun mejnega stanja v strukturnih elementih (notranje sile v podpomem zidu, pilotni steni ali sidru) se izvrši ponovno za računsko situacijo B z upoštevanjem ustreznih delnih varnostnih količnikov. Pri računu zemeljskih pritiskov za situacijo B se z delnimi količniki varnosti (preglednica 1) množi karakteristične zemeljske pritiske, ki vsebujejo tudi karakteristične hidrostatske pritiske in pritiske, ki izhajajo iz karakterističnih lastnosti temeljnih tal in karakterističnih obtežb na površini temeljnih tal. Vse stalne karakteristične zemeljske pritiske na obeh straneh konstrukcije množimo z vrednostjo 1.35, če rezultanta deluje neugodno, oziroma z vrednostjo 1.00, če je vpliv rezultante ugoden. Tako dobljene projektne vrednosti se lahko množi še z modelnim količnikom γ_{sd} , s katerim je zajeta nezanesljivost računskega modela. Računskih metod in modelnih količnikov EUROCODE 7 ne navaja, vrednost modelnega količnika pa izhaja iz probabilistične študije. V nekaterih primerih, ko uporaba delnih faktorjev vodi k nesmiselnim ali celo fizikalno nemogočim rezultatom, lahko delne količnike iz preglednice 1 uporabimo kot modelne količnike. Z modelnimi količniki potem direktno množimo vrednosti notranjih sil, ki jih dobimo z upoštevanjem karakterističnih vrednosti zemeljskih pritiskov.

Račun zemeljskih pritiskov naj bi praviloma upošteval interakcijo med zemljino in konstrukcijo. Glede na velikost premika podpome konstrukcije standard loči:

- mime zemeljske pritiske,
- limitne vrednosti zemeljskih pritiskov, ki nastopijo, ko je mobilizirana vsa razpoložljiva strižna trdnost (račun je podan v dodatku G, ki vsebuje informativne napotke za izračun),
- vmesne vrednosti zemeljskih pritiskov, ki nastopijo, ko je premik premajhen za mobilizacijo razpoložljive strižne trdnosti zemljine. Premik, potreben za mobilizacijo aktivnih pritiskov v vsaj srednje gostih nekohezivnih zemljinah, mora znašati:
 - 0.002 H pri rotaciji okoli vrha konstrukcije,
 - 0.005 H pri rotaciji okoli dna konstrukcije,
 - 0.001 H pri translacijskem premiku konstrukcije,

kjer je H višina konstrukcije.

EUROCODE 7 podaja tudi maksimalni naklon smernice zemeljskih pritiskov glede na normalo stene. Upošteva se lahko naklon $\delta = 0$ in adhezija $a = 0$ za gladko in $\delta = \varphi'$ in $a = c$ za hrapavo steno. Za jeklo in beton, ki ni betoniran direktno na zemljino, se upošteva $\delta = (2/3)\varphi$, za jekleno zagatno steno v nedreniranih pogojih v glini pa $a = 0$ in $\delta = 0$.

V Pravilniku o tehničnih normativih za temeljenje gradbenih objektov so podpore konstrukcije deloma obravnavane v poglavju VI. pri podpoglavju Plitvo temeljenje v odprti gradbeni jami, medtem ko je nekoliko večja pozornost podpomnim konstrukcijam namenjena v Pojasnilih za rabo pravilnika.

Dobršen del je v EUROCODE 7 namenjen projektiranju in izvajanju geotehničnih sider, za katere smo v Sloveniji uporabljali nemške ali švicarske tehnične predpise. EUROCODE 7 zahteva računsko preverbo naslednjih mejnih stanj:

- porušitev kabla ali glave sidra oziroma priključka sidra na konstrukcijo,
- porušitev sidra na stiku kabel - injekcijska masa in injekcijska masa - zemljina, pri čemer mora projektna sila odpora proti iztrganju sidra presegati projektno silo v sidru,
- zagotovljena mora biti globalna stabilnost konstrukcije in sidra.

Predpisana je korozijska zaščita celotnega sidra med transportom, vgrajevanjem, prednapetjem in med eksploatacijo. Standard predpisuje tudi testiranje sider. Loči ocenjevalni in odobritveni test.

Ocenjevalni testi so testi za določitev karakterističnega odpora sidra. Praviloma naj se izvede vsaj en ocenjevalni test na vsaki lokaciji, pri izgradnji večjih projektov pa naj se ocenjevalne teste napravi v obsegu vsaj 1% začasnih in 2% trajnih sider. Preizkus mora potekati tako, da se zagotovi umiritev deformacij zaradi lezenja in prednapetja. Karakteristični odpor sidra R_{ak} se določi glede na število testov, povprečno in minimalno vrednost odpora pri testu R_{am} , in glede na vrednost ξ navedeno v preglednici 3.

$$R_{ak} = R_{am} / \xi \quad (11)$$

Projektno vrednost odpora dobimo tako, da karakteristično vrednost (merodajna je manjša vrednost R_{ak}) delimo s faktorjem γ_m , ki znaša 1.25 za začasna in 1.5 za trajna sidra.

Odobritveni test se izvaja za vsa injektirana sidra. Lahko se izvede v fazi prednapenjanja geotehničnega sidra in s tem zmanjša vpliv relaksacije.

RAČUNSKI PRIMER - ANALIZA SIDRANE PILOTNE STENE

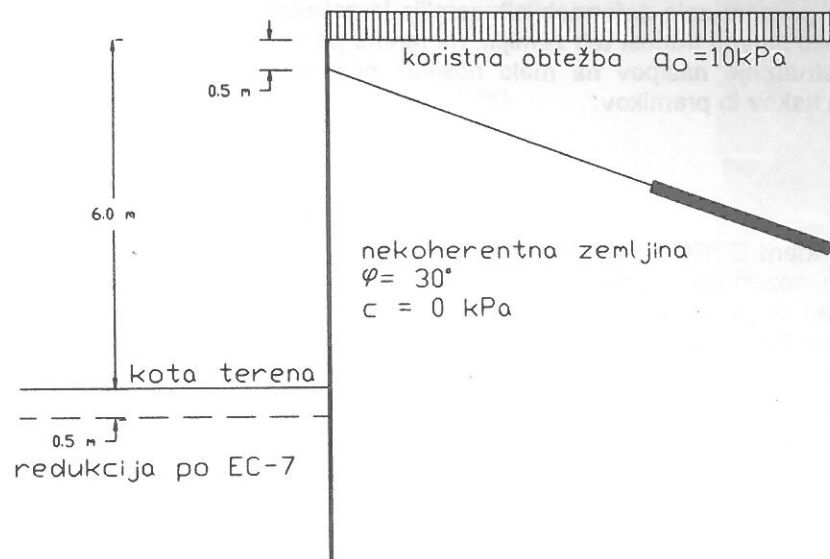
Za boljše ponazoritev sprememb, ki jih prinaša novi predstandard proti obstoječim tehničnim predpisom in postopkom, ki jih uporabljamo v geotehnični praksi, prikazujemo izračun enkrat sidrane pilotne stene v homogenih nekoherentnih tleh s koristno obtežbo na zaledju. Računski model s podatki je prikazan na sliki 1.

Geostatično analizo smo najprej izvršili ob upoštevanju karakterističnih vrednosti strižnih karakteristik (količnik varnosti $F = 1.0$). Račun smo ponovili po veljavnih predpisih in pri računu aktivnih zemeljskih pritiskov upoštevali količnik varnosti $F_{\varphi} = 1.3$, pasivni odpor, ki smo ga izračunali s karakterističnimi vrednostmi strižnih karakteristik, pa smo reducirali z vrednostjo $F_{\sigma} = 1.5$. Z geostatično analizo smo nato določili potrebno globino vpetja, jakost sidrne sile in vrednosti notranjih statičnih količin.

Dimenzioniranje po EUROCODE 7 je zahtevalo dvakratni izračun konstrukcije:

- določitev globine vpetja \Rightarrow primer C, ki zahteva rabo količnika $F_{\varphi} = 1.25$ ob upoštevanju povečanja občasne obtežbe na zaledju s količnikom $F_{obt} = 1.3$,
- določitev sidrne sile in notranjih sil \Rightarrow primer B, ki zahteva množenje karakterističnih vrednosti aktivnih zemeljskih pritiskov s količnikom $F_{\varphi} = 1.35$ in pasivnih z vrednostjo $F_{\sigma} = 1.0$.

Upoštevati je potrebno tudi znižanje kote terena pred steno za 10% višine od temeljnih tal do sidra, vendar maksimalno 0.5 m.



Slika 1. Računski model in podatki enkrat sidrane pilotne stene

Primerjava rezultatov je prikazana v preglednici 4. Projektne vrednosti dobljene z izračunom po veljavnih predpisih in po predstandardu EUROCODE 7 se v tem primeru le malo razlikujejo.

Preglednica 5. Primerjava rezultatov

Računski primer	L_{stene} (m)	L_{vpelja} (m)	F_{hs} (kN/m)	M_{max} (kNm/m)
$F = 1.0$	8.51	2.51	80.82	188.31
$F_{ge} = 1.3, F_g = 1.5$	10.26	4.26	125.97	337.93
EUROCODE 7	9.95	3.95	133.30	343.04

Pri dimenzioniranju sidra in pilotne stene je seveda potrebno upoštevati še predpise za materiale (beton, jeklo) in ustrezne količnike varnosti. Pri dimenzioniranju armiranobetonskih pilotov bi to v konkretnem primeru pomenilo množenje maksimalnega momenta z vrednostjo delnega faktorja 1.6 po veljavnem pravilniku za beton in armirani beton oziroma redukcijo materialnih karakteristik betona s faktorjem 1.5 in jekla z 1.15 po EUROCODE predpisih. V obeh primerih bi dobili podobne rezultate.

NASIPI IN BREŽINE

Pri projektiranju nasipov in brežin je potrebno preveriti naslednja mejna stanja:

- izguba globalne stabilnosti ali prekoračitev nosilnosti temeljnih tal,
- porušitev zaradi interne erozije,
- porušitev zaradi površinske erozije,
- porušitev zaradi hidravličnega dviga,
- možnost deformacij nasipa ali brežine, ki bi povzročile poškodbe konstrukcij na nasipu ali brežini,
- nevarnost padajočih skal,
- nedopustna površinska erozija.

Preverba stabilnosti se mora izvršiti v dreniranih in nedreniranih pogojih. Globalna stabilnost se preveri s stabilnostno analizo, pri čemer v homogenih tleh zadostuje analiza s krožno porušnico, medtem ko je v nehomogenih tleh potrebno uporabiti metode s poligonalno porušnico.

Deformacije ne smejo povzročiti škode na obstoječih vodih, cestah ali objektih, ki se nahajajo ob brežini ali nasipu. Posebno pozornost je potrebno nameniti diferenčnim posedkom, ki nastanejo zaradi gradnje. V primeru zelo deformabilnih zemljin je potrebno pri projektiranju (računu stabilnosti) zmanjšati vrhunsko strižno trdnost teh zemljin, na terenu pa redno opazovati premike v času gradnje in po njej. Konstruiranje nasipov na malo nosilnih neprepustnih tleh je potrebno nadzorovati z meritvami pomih tlakov in premikov.

ZAKLJUČEK

Evropski predstandard EUROCODE 7 je s strani geotehniških strokovnjakov v Sloveniji nedvomno naletel na veliko pozornost. Koncept standarda namreč potrjuje dejstvo, da je vsak geotehnični problem specifičen in ga je potrebno reševati z veliko inženirskega občutka ob upoštevanju vseh možnih dejavnikov, ki vplivajo na varnost in funkcionalnost konstrukcije. Tisti, ki so od predstandarda pričakovali jasne in natančne postopke projektiranja, kot jih prinašajo evropski standardi za materiale (beton, jeklo), bodo verjetno razočarani, ostali pa bodo predstandard sprejeli kot osnovne zahteve in vodilo pri projektiranju in izvajanju geotehničnih del in objektov. S tega vidika predstandard uveljavlja jasne in temeljite zahteve, ki jih je potrebno upoštevati, pri tem pa ne predpisuje računskih metod projektiranja in postopkov izvedbe. Ne moremo mimo dejstva, da je na nekaterih mestih predstandard izredno splošen in bo v fazi sprejemanja verjetno prišlo do nadaljnjih sprememb, tudi kot posledica izredno raznolikih obstoječih nacionalnih standardov s področja geotehnike. Koncept mejnih stanj in uvedba delnih količnikov varnosti je prirejen rabi v klasičnih konvencionalnih metodah, medtem ko se rabi sodobnejših metod (metoda končnih elementov, nelinearna analiza) ne namenja praktično nobene pozornosti. Računske metode projektiranja in postopki izvajanja so tako zaenkrat prepuščene stroki, katere naloga je, da jih, če je to potrebno, uveljavi oziroma predpiše z nacionalnimi dodatki, ali pa uporablja splošno znane in uveljavljene metode v svetu.

V primerjavi z obstoječimi tehničnimi predpisi s področja geotehnike novi evropski predstandard nedvomno prinaša precejšnje spremembe, ki jih bomo v procesu integracije v Evropo morali sprejeti in upoštevati pri našem delu.

LITERATURA.

1. Pravilnik o tehničnih normativih za temeljenje gradbenih objektov. Zvezni zavod za standardizacijo, Ur. list SFRJ št. 15 (1990).
2. Šuklje, L., (1979). Objašnjenje pravilnika o tehničkim normativima za projektovanje i izvođenje radova kod temeljenja građevinskih objekata, Časopis "Izgradnja", Beograd.
3. ENV 1997 - 1, Eurocode 7 Geotechnical design, Part 1: General Rules, CEN - European Committee for Standardization, 1994.
4. ENV 1991 - 1, Eurocode 1 Basis of design and actions on structures, Part 1: Basis of design, CEN - European Committee for Standardization, 1994.
5. Niskogradnja, Zbirka propisa sa kompletnim jugoslovenskim standardima, Poslovna politika, Beograd, 1988.