

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

## **PROJEKTIRANJE VODNJAKOV PRI TEMELJENJU PREMOSTITVENIH OBJEKTOV**

**POVZETEK:** Članek podaja osnovne smernice za projektiranje vodnjakov pri premostitvenih objektih. Vodnjaki kot pomembni elementi nosilne konstrukcije premostitvenega objekta vplivajo tako na konstrukcijsko zasnovo, stroške in hitrost gradnje, stabilnost in trajnost objekta kot tudi na ustreznost načrtovanih posegov v prostor z vidika ekologije in varstva okolja. V uvodnem delu so podani splošni pojmi o temeljenju na vodnjakih, sledijo obravnava potrebnih podlog za projektiranje, splošnih konstruktivnih principov zasnove vodnjakov in geostatična analiza vodnjakov.

## **STRUCTURAL DESIGN OF THE WELLS-FOUNDATION OF THE BRIDGES**

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

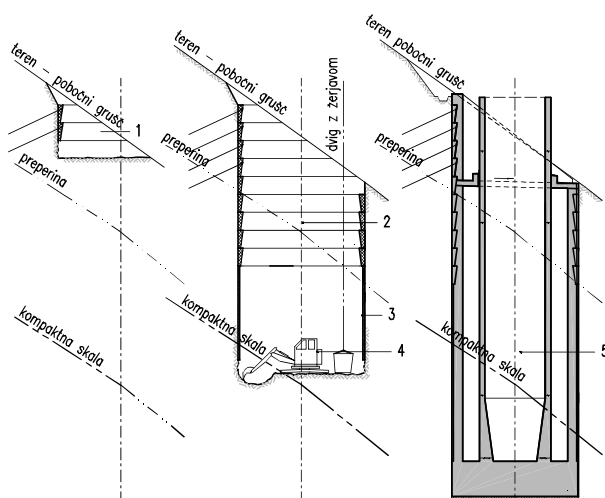
## SPLOŠNO O TEMELJENJU NA VODNJAKIH

### Načini temeljenja na vodnjakih

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

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

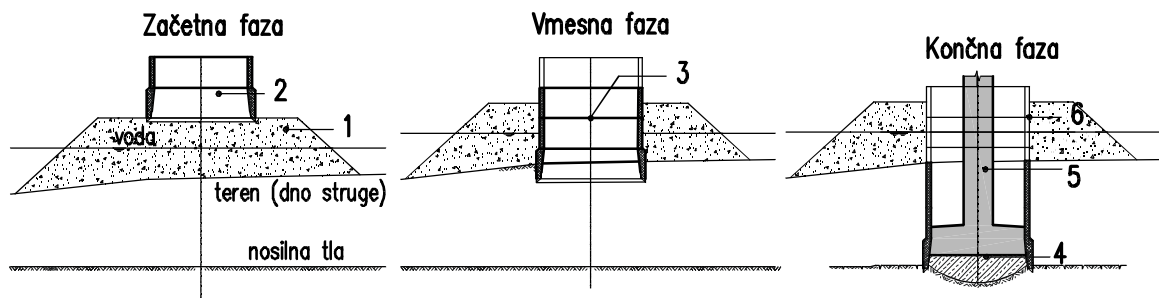
- s postopnim izkopom s sprotno zaščito oboda jaška (slika 1);
- s postopnim spuščanjem (potapljanjem) predhodno zabetoniranega vodnjaka nad terenom (slika 2).



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

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

Pri prvem načinu se izkop izvaja postopoma v globino po etapah višine od 0.8 do 1.5 m z zaščito oboda izkopa, bodisi z armiranobetonskimi obroči, z brizganim betonom in po potrebi z jeklenimi obroči v odvisnosti od kvalitete tal in velikosti zemeljskih pritiskov. Pri drugem načinu se vodnjaki izvedejo na mestu izkopa nad terenom v višini od 2.0 do 4.0 m. Možna je izvedba z betoniranjem na mestu samem ali pa s prefabriciranimi elementi. Mehanizirani izkop v vodnjaku in spuščanje vodnjaka se izvajata istočasno. Po spuščanju prvega dela vodnjaka se betonira naslednji segment vodnjaka na zgornji strani ter ponovi postopek spuščanja s spodkopavanjem (slika 2).



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

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

### Pogoji za temeljenje na vodnjakih

Temeljenje z vodnjaki kot način temeljenja premostitvenih objektov se uporabi zlasti v naslednjih primerih:

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

Prednosti temeljenja z vodnjaki so predvsem naslednje:

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

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

- plašč vodnjaka mora primarno ščititi stebra pred delovanjem zemeljskega pritiska;
- pri gradnji oboda (plašča) vodnjaka je potrebno zagotoviti odvodnjavanje površinske vode, da se s tem dodatno ne destabilizira plazeče se pobočje;
- plašč vodnjaka mora zagotavljati zaščito pri izkopu vodnjaka v fazi gradnje in kasnejšo zaščito stebra v fazi uporabe objekta;

- plašč vodnjaka mora obtežbo od zemeljskega pritiska in pritiske zaradi premikov pobočja, ki so pričakovani z razumno verjetnostjo, prenesti brez poškodb v nosilna tla.

Temeljenje z vodnjaki je primerno v relativno kohezivni zemljini in v primeru, ko je nivo podtalnice nižji od kote temeljenja. Kljub temu je možno izvesti zaščito oboda jaška tudi v nekohezivnih tleh (injekcijske zavese, torkret). V primeru, ko so tla relativno slabo prepustna, je možno nivo podtalnice znižati pod nivo temeljenja s črpanjem vode. Pri temeljenju podpor v vodi (npr. rekah, jezerih, ipd.) se uporabijo vodnjaki, ki se izvedejo po segmentih na začasno nasipanih polotokih ali otokih in postopno spuščajo s spodkopavanjem. Primerna globina temeljenja v vodi je 5-6.0 m oz. 6-8 m glede na delovni nivo vode. Na suhem ravnem terenu: je uporaba globokega temeljenja z vodnjaki smotrna pri globini večji od 6.0 m, sicer izvedemo temelj kot plitki s širokim izkopom.

## PROJEKTNE PODLOGE

Vodnjaki so sestavni del konstrukcije premostitvenega objekta, kjer so osnova za projektiranje geodetski, cestno-prometni, prostorsko-urbanistični, hidrološko-hidrotehnični, meteorološko-klimatski, seizmološki in geološko-geomehanski podatki v vplivnem območju objekta. Temeljni dokument, ki podaja geotehnične podatke za projektiranje temeljev-vodnjakov je geološko-geomehansko poročilo o sestavi tal in pogojih temeljenja. Obseg poročila je odvisen od faze projektiranja oz. stopnje obdelave temeljenja premostitvenega objekta. Geološke vrtime se izvedejo na lokaciji vsake podpore in morajo segati minimalno 7.0 m pod predvidenim dnom vodnjaka. Z geotehničnimi pogoji temeljenja mora biti podano predvsem naslednje:

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

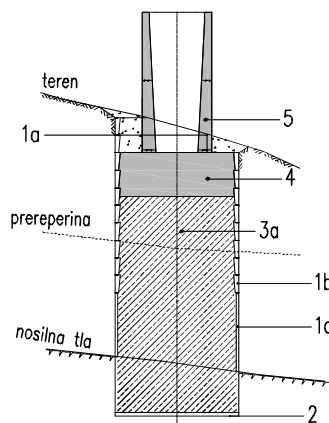
Vrsta podatkov, ki jih potrebuje projektant je odvisna od računskega modela vodnjaka odn. interakcije vodnjak – zemeljski polprostor.

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

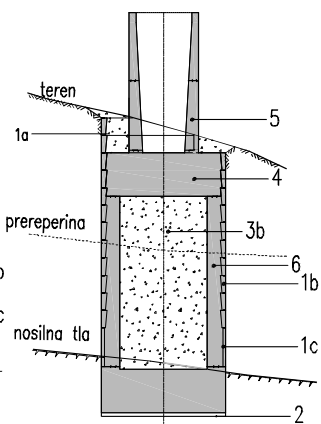
## OSNOVNI KONSTRUKCIJSKI PRINCIPI PRI PROJEKTIRANJU VODNJAKOV

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

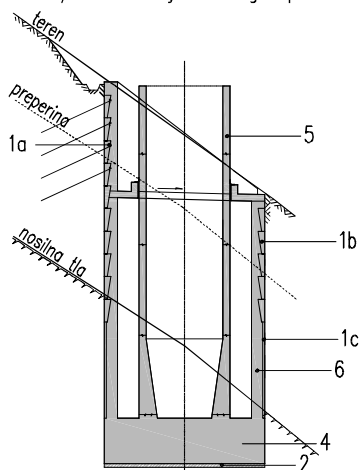
a/ Vodnjak, zapolnjen z betonom



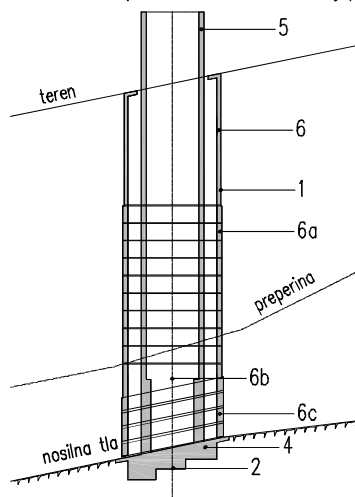
b/ Vodnjak zapolnjen z gramozom



c/ Votli vodnjak s togim plaščem



d/ Votli vodnjak z dilatiranimi elementi plašča (deformabilna konstrukcija)



- 1 – zaščita pri izvajanju izkopa
- 1a – AB polobroči s ali brez pasivnih sider
- 1b – AB obroči (prstani) pri etapni izvedbi izkopa
- 1c – zaščita izkopa z brizganim betonom
- 2 – peta vodnjaka – kontakt med dnom vodnjaka in nosilnimi tlemi
- 3a – zaplnitev z delno armiranim betonom
- 3b – zaplnitev z gramoznim materialom
- 4 – temeljna blazina -vpetje stebra v vodnjak

- 5 – steber
- 6 – stena plašča vodnjaka
- 6a – dilatirani elementi plašča
- 6b – trapezni element plašča
- 6c – nagnjeni drsni obroči plašča

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

Glede dimenzij prereza vodnjaka ne obstajajo fiksne omejitve. V splošnem se za premer vodnjaka, kjer se zaščita izkopa izvaja z brizganim betonom, postavlja omejitev na 2.0 do 2.5 m. Premer vodnjaka pogojuje potreben delovni prostor tako za izvajanje izkopa kot za nanos brizganega betona.

Omejitve maksimalnih dimenzij prereza vodnjaka praktično ni. Poznani so primeri vodnjakov eliptičnega prereza z dimenzijami 21.0 x 15.0 m.

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

Pri relativno velikih premikih zaradi lezenja hribine in občasno močnih diskontinuirnih zdrsov je zasnova togega vodnjaka ekonomična do globine od 15 do 20 m. Pri večjih globinah je uporaba deformabilnega plašča vodnjaka bolj ekonomična. Pogosto se uporabi mešani princip, ki upošteva tako vidik ekonomičnosti kot tudi statiko in kinematiko plašča vodnjaka. Globina (višina) vodnjakov je odvisna predvsem od globine, kjer se nahajajo nosilna temeljna tla, pri čemer je pomembno, da se vodnjak vpne v relativno zdravo nosilno skalo. Tako imenovani »plavajoči« vodnjaki se uporabijo samo izjemoma takrat, ko je skala praktično nedosegljiva. V splošnem pride pri globini večji od 15-18 m do znatnega povečanja cene, predvsem zaradi oteženega vertikalnega transporta odkopanega materiala. Do te globine se pri odgovarjajoči velikosti perezja vodnjaka izkopana zemljina transportira navzgor s pomočjo hidravličnega bagra s podaljšano roko. Pri večjih globinah se prenos odkopanega materiala vrši s pomočjo mehanskega bagra. maksimalne globine vodnjakov segajo od 30.0-35.0 m.

## **GEOSTATIČNA ANALIZA VODNJAKOV**

Dokaz stabilnosti (zanesljivosti) vodnjakov je sestavni del dokaza stabilnosti konstrukcije premostitvenega objekta, pri čemer je potrebno upoštevati principe geotehničnega projektiranja v skladu z veljavnimi predpisi (EC 7). Pojem zanesljivost vključuje varnost, uporabnost in trajnost konstrukcije.

### **Projektne situacije**

Pri projektiranju vodnjakov se obravnavajo naslednje projektne situacije:

- projektna situacija začetnega stanja pobočja, obstoječih objektov in infrastrukture v vplivnem območju pred izvedbo del;
- tehnološke projektne situacije, ki obsegajo izgradnjo dostopnih poti, delovnih platojev, izkopov za jaške vodnjakov in druge delovne faze gradnje kot so: prednapenjanje geotehničnih sider, vzdrževanje in morebitna popravila, posegi v pobočja zaradi vzdrževanja drenažnih sistemov;
- projektne situacije trajne eksploatacije objekta v predvideni življenjski dobi;
- nezagodne in seizmične projektne situacije.

### **Računski modeli**

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

V praksi sta uveljavljena naslednja načina modeliranja:

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

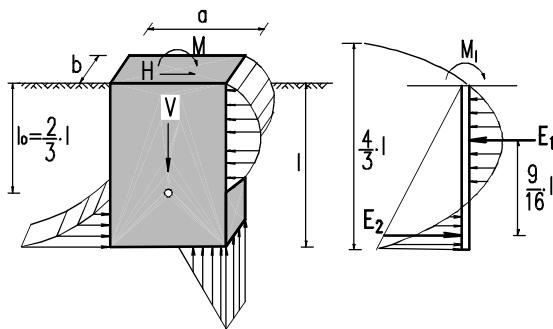
Najenostavnejši model vodnjaka in zemeljskega polprostora ponazarja togo-plastični model (slika 4) z izbrano projektno strižno trdnostjo zemljine (s parametroma  $c'$  in  $\varphi'$ ) in togim modelom vodnjaka.

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

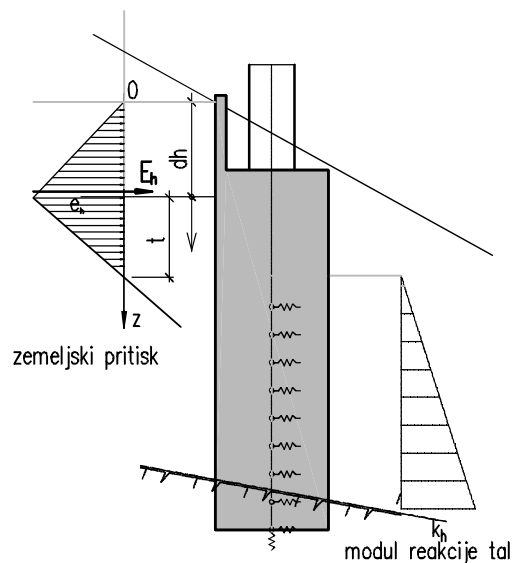
V praksi se najpogosteje uporablja model na osnovi modula reakcije tal. Vodnjak modeliramo kot nosilni element (linijski, lupinasti ali volumski), ki je od točke, kjer je predvidena nična razlika med aktivnimi in pasivnimi zemeljskimi pritiski (slika 5), podprt z vzmetmi, katerih konstante se določijo na osnovi modula reakcije tal. Modul reakcije tal  $k$  [ $\text{kN/m}^3$ ] se določi na osnovi preiskav (horizontalni preizkus s ploščo, presiometriška preiskava, ipd.), pogosto pa je to ocenjena vrednost. Definiran je kot sorazmernostni faktor med normalno napetostjo in premikom te točke ( $\sigma = k \cdot w$ ). V poenostavljeni obliki ob upoštevanju teorije elastičnega izotropnega polprostora je modul reakcije tal pravokotno na vodnjak enak (po Terzaghi-ju, enačba (1)):

$$k_h = \chi \cdot M_s / b, \text{ kjer so} \quad (1)$$

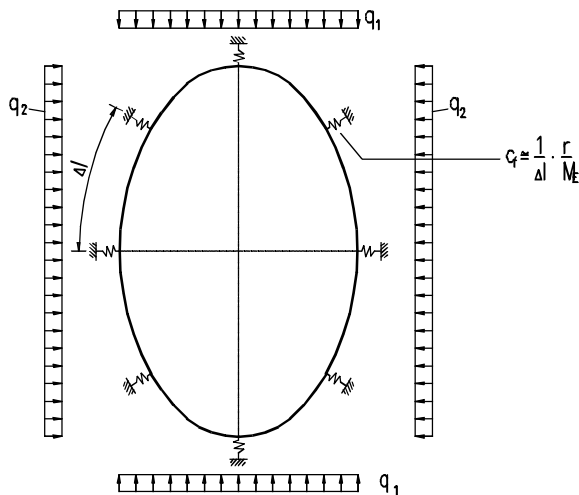
$\chi$  = korekcijski faktor (0.6 – 1.4, običajno 1.0),  
 $M_s$  = modul stisljivosti zemljine,  
 $b$  = širina vodnjaka.



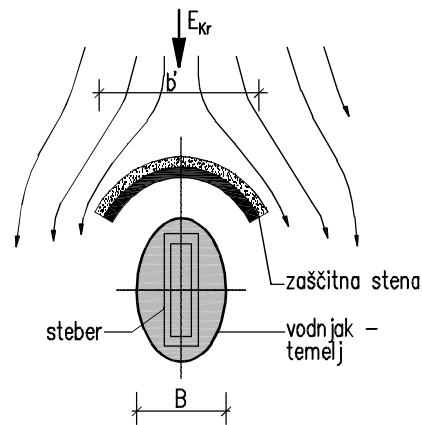
Slika 4. Togo-plastični model vodnjaka



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



**Slika 6.** Linijski model plašča vodnjaka



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

### Določitev vplivov na vodnjak

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

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

### Obtežba z zemeljskim pritiskom

V stabilnih tleh v mirovanju je horizontalni pritisk na pobočni strani enak mirnemu zemeljskemu pritisku. Izračun karakterističnih vrednosti zemeljskih pritiskov se določi s pomočjo enačbe [4] (2):

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

$\sigma_v$  ...vertikalna napetost v globini z,

z ....globina vodnjaka

$\gamma$  ....specifična teža zemljine

$K_0$  ...koeficient mirnega zemeljskega pritiska

$$K_0 = K_a \cdot K_0 (1 + \sin(\varphi - \beta))$$

Na dolinski strani se zaradi vzpostavitve ravnotežja aktivira pasivni zemeljski pritisk. Pri določevanju zemeljskega pritiska na obod vodnjaka v fazi izvedbe izkopa se lahko upošteva lokalna



prerazporeditev pritiskov. Horizontalni zemeljski pritisk se zaradi formiranja horizontalnega in vertikalnega oboka v zemljini prerazporedi okoli jaška (slika 6). Vertikalni obok v zemljini izgine z nadaljnimi fazami izkopa, medtem ko vpliv horizontalnega oboka ostane tudi po dokončanju jaška vodnjaka:

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

A = faktor zmanjšanja in pri neupoštevanju kohezije znaša:

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

$K_a$  = koeficient aktivnega zemeljskega pritiska:

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

$\beta$  = nagib pobočja,

$\varphi$  = kot notranjega trenja v zemljini,

r = polmer vodnjaka,

Pri plavajočih vodnjakih je vertikalno trenje podano z izrazom:

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

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

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

B = širina vodnjaka.

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

### Mejna stanja nosilnosti in uporabnosti

Presoja oz. analiza projektnih situacij se izvede s pomočjo računskih modelov konstrukcij in temeljnega polprostora. Z analizo posameznih projektnih situacij je potrebno dokazati, da v celotni življenjski dobi konstrukcije objekta (vodnjaka) ne bo preseženo nobeno mejno stanje nosilnosti, uporabnosti in trajnosti.

V smislu geotehničnega projektiranja je potrebno dokazati naslednja mejna stanja :

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

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

Pri projektiranju in gradnji vodnjakov mora biti dokazana globalna stabilnost vplivnega območja v vseh analiziranih projektnih situacijah. Dokazati je treba globalno stabilnost vodnjaka, zemeljskega pobočja nad in pod vodnjakom, dostopnih poti, izkopov, delovnih platojev, ki jih pogojuje tehnologija gradnje.

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

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

Z dokazi mejnega stanja STR za posamezne projektne situacije se dokazuje zadostna nosilnost posameznih konstruktivnih delov vodnjaka (stena za varovanje brežine nad vodnjakom, plašč vodnjaka, temeljna plošča, vpetje stebra v vodnjak. ipd.). Obremenitve v steni vodnjaka se običajno določijo po teoriji 2.reda z upoštevanjem elasto-plastičnega obnašanja .obročev. Pri dimenzioniranju plašča vodnjaka je potrebno upoštevati tako kriterij nestabilnosti (uklon) stene kot tudi omejitvev deformacij.

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

## **ZAKLJUČEK**

Podane smernice za projektiranje vodnjakov predstavljajo izseček iz tehničnih specifikacij TSC 07.120, ki so v fazi izdelave, in ki obravnavajo problematiko temeljenja premostitvenih objektov na vodnjakih v celoti tudi v smislu izvedbe in monitoringa. V sklopu AC programa so se v zadnjih 10-tih letih zgradili številni pobočni viadukti, zlasti na AC odseku Vranksko-Blagovica in AC odsekih na Primorskem, kjer je bilo temeljenje na vodnjakih glede na dane pogoje pravzaprav edini možni način. Od tod izhajajo številne praktične izkušnje v zvezi s konstruiranjem vodnjakov, računskim modeliranjem in glede izvedbe vodnjakov.

## **LITERATURA**

- (1) Tehnična specifikacija TSC 07.120 Temeljenje na vodnjakih, predlog 2003.
- (2) prEN 1997 Eurocode 7 – Geotehnično projektiranje;
- (3) H.Brandl, J. Dalmatiner, Brunnenfundierungen von Bauwerken in Hangen (insbesondere Brucken), Bundesministerium fur Wirtschaftliche Angelegenheiten, Strassenforschung, Heft 352, Wien 1988.
- (4) C.Menn, Stahlbeton-brucken, Springer-Verlag, Wien-New York 1990.