

PROJEKTIRANJE IN IZVEDBA SIDRANIH ZIDOV IN PILOTNIH STEN

POVZETEK: Z izgradnjo zahtevnih odsekov v okviru nacionalnega programa izgradnje avtocest je prišlo do pogoste uporabe opornih in podpornih konstrukcij v obliki pilotnih sten in sidranih zidov za varovanje nasipnih ali vkopnih brežin. Pri Tehničnem odboru za pripravo specifikacij za javne ceste (TO 07) sta v fazi sprejemanja tehnični specifikaciji TSC 07.204 Sidrani zidovi in TSC 07.205 Pilotne stene. Specifikaciji bosta v pomoč vsem udeležencem v procesih planiranja, projektiranja, gradnje in vzdrževanja novih sidranih zidov in pilotnih sten, pri obnovah in rekonstrukcijah že obstoječih, pri sanaciji plazišč, gradnjah hidrotehničnih in komunalnih objektov.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF ANCHORED RETAINING WALLS AND PILE WALLS

SUMMARY: During the construction of several difficult sections within the framework of the national programme of the motorway construction, different retaining structures such as pile walls and anchored walls have been executed to protect fill or cut slopes. For the moment, the Technical Committee for Preparation of Specifications for Public Roads (TO 07) is adopting the following technical specifications: TSC 07.204 Anchored walls and TSC 07.205 Pile walls. Both technical specifications will assist all the parties involved in planning, designing, constructing and maintaining of new anchored walls and pile walls, renewing and reconstructing the existing ones, repairing of landslides as well as constructing of hydro-technical and communal structures.

SPLOŠNO

Ob pospešeni izgradnji avtocestnega sistema je v okviru nacionalnega programa v Sloveniji na zahtevnih odsekih (predvsem čez Trojane) prišlo do pogoste uporabe opornih in podpornih konstrukcij v obliki pilotnih sten in sidranih zidov za varovanje nasipnih ali vkopnih brežin. V okviru Tehničnega odbora za pripravo specifikacij za javne ceste (TO 07) se izdelujejo tehnične specifikacije za sidrane zidove (TSC 07.204) in za pilotne stene (TSC 07.205). Specifikaciji sta namenjeni vsem udeležencem v procesih planiranja, projektiranja, gradnje in vzdrževanja novih sidranih zidov in pilotnih sten, vendar sta hkrati zasnovani dovolj splošno, da sta uporabni tudi pri obnovah, rekonstrukcijah in sanacijah obstoječih sidranih zidov in pilotnih sten. Obravnavali in analizirali bosta splošna geomehanska, konstruktorska, tehnološka in organizacijska spoznanja, ki bistveno vplivajo na potek investicijskega procesa, zasnovo, konstruiranje, gradnjo in vzdrževanje sidranih zidov in pilotnih sten. Vsebina tehničnih specifikacij zagotavlja povezovanje poglobljenih teoretičnih in strokovnih znanj, podatkov iz literature s praktičnimi izkušnjami v stroki, tehničnimi predpisi in standardi.

TEHNIČNA SPECIFIKACIJA TSC 07.204 SIDRANI ZIDOVI

Sidrani zidovi so vse oporne armiranobetonske konstrukcije, pri katerih je zagotovljena stabilnost in nosilnost objekta z natezno vezjo – geotehničnim sidrom (TSC 07.202), sidranim v nosilno osnovo. Sidrani zidovi so izključno oporne konstrukcije, ki se uporabljajo v vkopih, globljih od 6.0 m. Uporaba je odvisna od karakteristik zemljine, ki dovoljujejo kampadne izkope višine do 4 m brez dodatnih ukrepov varovanja pri izkopu. Obravnavani so tipi sidranih zidov, ki so se pokazali kot najustreznejši ter so v naši in tuji praksi največkrat uporabljeni. S tem ni omejena uporaba drugih vrst sidranih zidov, ki so pogojeni z morfologijo terena in geološko sestavo tal.

Izbira in zasnove sidranih zidov

Sidrani zidovi so oporne konstrukcije, ki jih sestavljajo betonski elementi in geotehnična sidra. Sidra prevzamejo celotno ali del sile za zagotavljanje varnosti in stabilnosti v vseh fazah gradnje in v fazi uporabe. Betonski del (bloki, slopi, grede, brana, zid) je potreben, da se sila iz sider prenese v tla in lokalno varuje brežino.

Projektant na osnovi predhodno pridobljenih geomehanskih in drugih karakteristik terena zasnuje konstrukcijo sidranega zidu. Pri zasnovi konstrukcije mora upoštevati:

- zanesljivost,
- uporabnost
- pogoje izvedbe
- ekonomičnost
- estetski izgled oziroma krajinske značilnosti lokacije.

V tehničnem poročilu za zasnovani sidrani zid je treba podati ustrezno obrazložitev danih podlog, izbire konstrukcije, dokazov stabilnosti in možne postopke izvedbe.

Izbira, zasnova in konstruktorska rešitev sidranih zidov sledi hidrogeološkim karakteristikam zemljine, obliki in velikosti vkopa ter razpoložljivi mehanizaciji in opremi izvajalca.

Gradnja sidranih zidov je mogoča na dva načina:

- v primeru kvalitetne zemljine se zidovi izdelujejo direktno na izkopano brežino.
- v primeru slabih tal pa se uporabi način gradnje od zgoraj navzdol. Tu je višina etape izkopa odvisna od karakteristik tal in izbire konstrukcije.

Zasnova in izbira konstruktorske rešitve sidranih zidov je v neposredni povezavi s kvaliteto oziroma karakteristikami zemljine na lokaciji objekta. Glede na to delimo sidrane zidove na naslednje skupine:

- sidrani bloki (slika 1)
- sidrani slopi (slika 2)
- sidrani slopi z vmesnimi polnili (slika 3)
- sidrane grede (slika 4)
- sidrani slopi in grede – branasta konstrukcija (slika 5)
- sidrani slopi in grede – branasta konstrukcija z vmesnim polnilom (slika 6)

- sidrani zidovi (slika 7)
- posebni sidrani zidovi, grajeni od zgoraj navzdol (slika 8)
- sidrane pilotne stene

Vrstni red naštetih zidov ustreza padanju geomehanskih karakteristik zemljine, kar pa narekuje uporabo zahtevnejših ukrepov pri varovanju vkopov. Vse naštete skupine so lahko izdelane v monolitni ali v montažno-monolitni izvedbi.

Faza, ki sledi izbiri konstrukcije, je preverjanje, ali je izbrano konstrukcijo realno možno izvesti na predvideni lokaciji. Projektant mora poleg ustreznih stabilnostnih analiz in načrtov izdelati in ustrezno preveriti okvirna tehnološka izhodišča za gradnjo zidu. Pri tehnoloških izhodiščih je potrebna analiza vseh postopkov, ki so potrebni za gradnjo določenega sidranega zidu. Predvideti je treba:

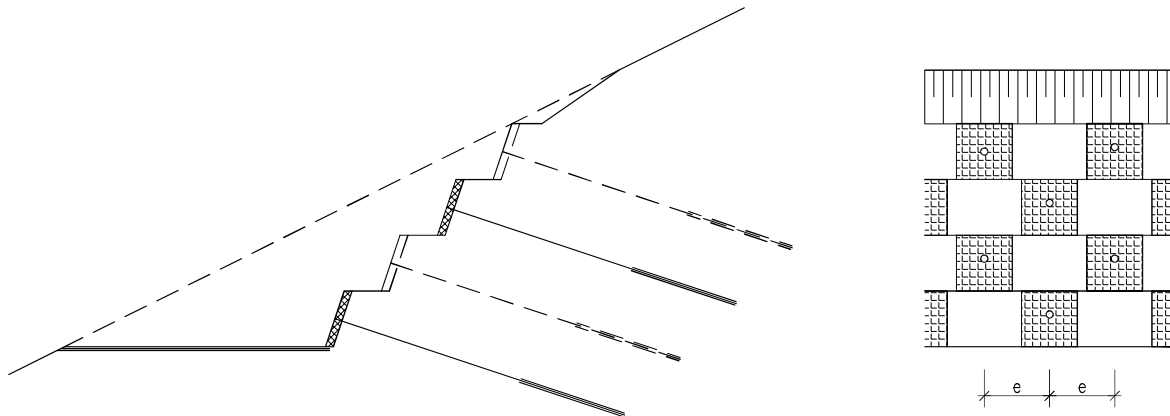
- možne pristopne poti,
- delovne platoje za gradnjo,
- tehnologijo izvajanja zemeljskih del z ustreznim varovanjem,
- zaščito pred dejavniki, ki ovirajo in otežkočajo gradnjo (dotoki zaledne vode, sipke plasti brežine, ...),
- zagotovitev odvijanja prometa in funkcioniranja ostalih infrastrukturnih tokov,
- faznost gradnje v smislu definicije pristopne točke in smeri napredovanja del,
- obvezne tehnološke postopke pri posameznih fazah gradnje,
- definicijo ustreznih detajlov in rešitve v zvezi z njimi,
- zahteve v zvezi s tekočim spremljanjem kvalitete materialov in vgradnje,
- zahteve za spremljanje geodetske kontrole.

Sidrani bloki

Sidrani armiranobetonski bloki različnih oblik, preko katerih se sidrna sila prenaša v tla, se uporabljajo v primeru razmeroma kvalitetnih hribin in polhribin.

Namen uporabe je zmanjšanje naravnega naklona brežine in zagotavljanje globalne stabilnosti brežine.

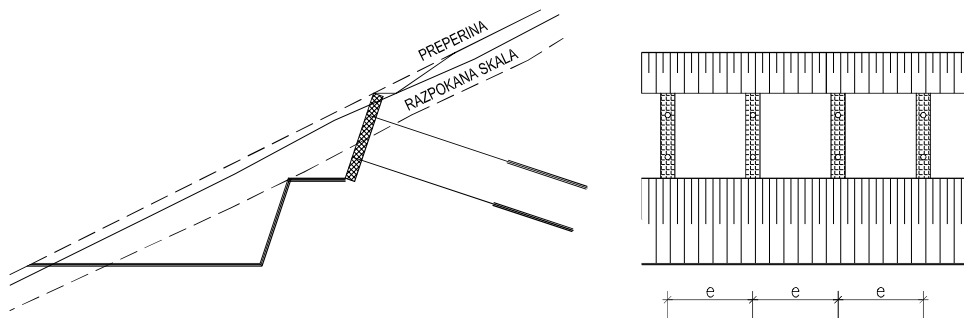
Vmesni prostor med bloki je zaščiten z vegetacijo.



Slika 1 Sidrani bloki

Sidrani slopi

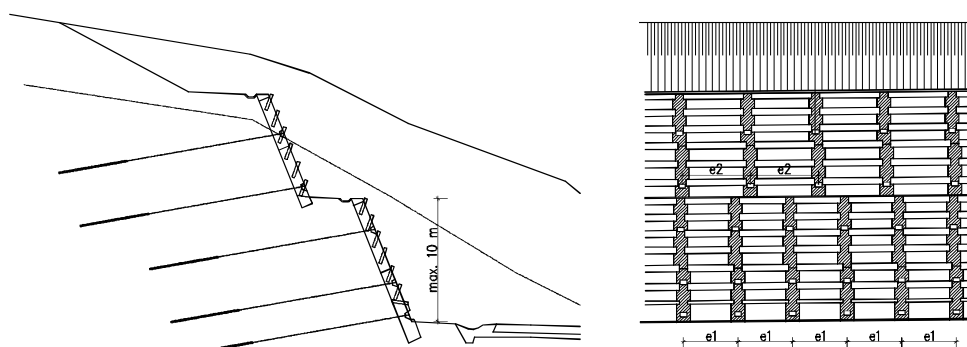
Sidrani armiranobetonski, približno v vertikalni smeri na teren "položeni" slopi različnih prerezov, preko katerih se sidrna sila prenaša v tla, se uporabljajo v primeru razpokanih skalnih brežin, kjer z zaščitnimi mrežami ni možno zagotoviti varnosti. S temi ukrepi se zagotovi globalna stabilnost in varnost. Lokalno varnost pa zagotovimo z zaščitnimi mrežami ali z brizganim betonom. To je odvisno od erozijskih karakteristik hribine in lokalne stabilnosti.



Slika 2 Sidrani slopi

Sidrani slopi z vmesnimi polnili

Sidrani armiranobetonski, v vertikalni smeri na brežino "položeni" slopi različnih prerezov z vmesnimi prostori, zapolnjenimi s polnili iz armiranobetonskih elementov, se uporabljajo v primeru razpokanih hribin, kjer z zaščitnimi mrežami ni možno zagotoviti varnosti in se želi zvečati naravni naklon brežine. S sidranimi slopi se zagotavlja nosilnost, globalna stabilnost in varnost. Lokalna varnost in zaščita pred erozijo brežine pa se zagotavljata z montažnimi armiranobetonskimi horizontalnimi elementi med slopi ali pa s kamnito zložbo med njimi. Višina sidranih slopov je do 10 m.



Slika 3 Sidrani slopi z vmesnimi polnili

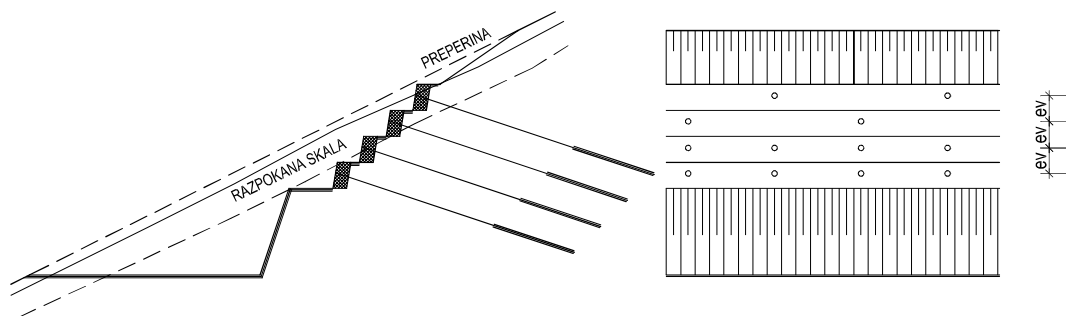
Sidrane grede

Sidrane armiranobetonske, približno v horizontalni smeri na teren "položene" grede različnih prerezov, preko katerih se sidrna sila prenaša v tla, se uporabljajo v primeru bolj razpokanih skalnih brežin, kjer z zaščitnimi mrežami ni možno zagotoviti varnosti.

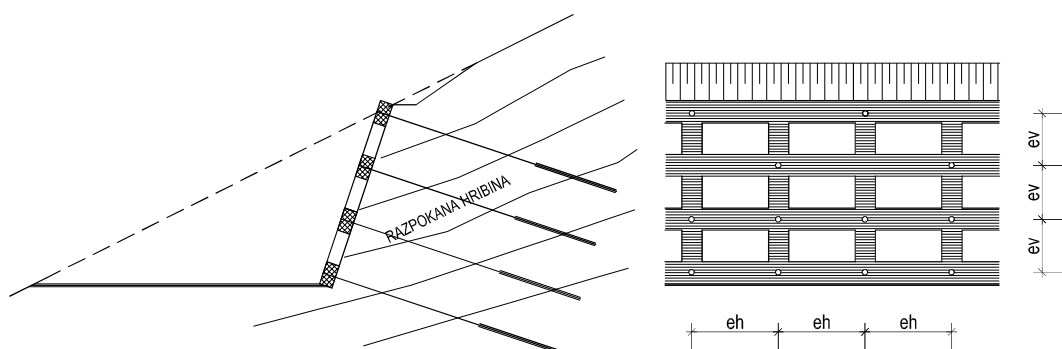
Glede na sidrane slope se sidrane grede uporabljajo v primerih, ko bi sidrani slopi postali pregosti in neučinkoviti. Uporabijo se v manj kvalitetni hribini, kjer zagotavljajo kontinuiran vnos sidrne sile. V razliko od sidranih zidov so grede višine 0,80 m – 1,50 m in brez temeljev. Služijo varovanju celotne brežine ali samo labilnega dela zaseka ali brežine (npr. portali predorov).

Sidrani slopi in grede – branasta konstrukcija

Armiranobetonski, približno v vertikalni smeri na teren "položeni" slopi in armiranobetonske, približno v horizontalni smeri na teren "položene" grede različnih prerezov, povezani v sidrano branasto konstrukcijo, se uporabljajo v primeru razpokanih hribin, kjer z zaščitnimi mrežami ni možno zagotoviti varnosti in se želi zmanjšati naravni naklon brežine. S sidrano branasto konstrukcijo se zagotavlja globalna stabilnost in varnost. Lokalna varnost pa se zagotovi ali z zaščitnimi mrežami ali pa z brizganim betonom na celotni površini, kar je odvisno od erozijskih karakteristik hribine in lokalne stabilnosti.



Slika 4 Sidrane grede

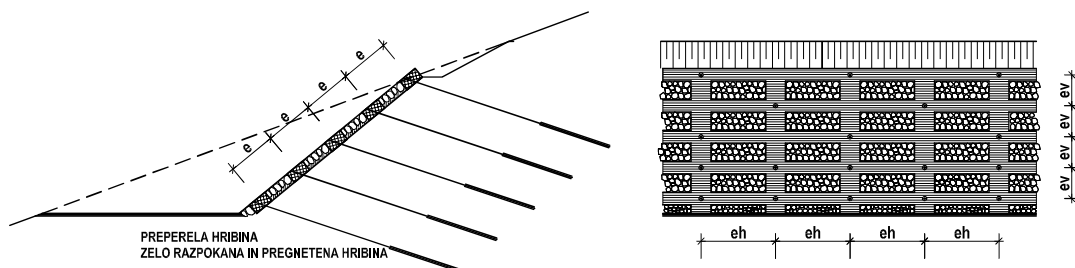


Slika 5 Sidrani slopi in grede – branasta konstrukcija

Sidrani slopi in grede – branasta konstrukcija z vmesnimi polnili

Armiranobetonski slopi in grede, povezani v sidrano branasto konstrukcijo z vmesnimi prostori, zapolnjenimi s polnilom, se uporabljajo v relativno dobrih geoloških zemljinah (preperela hribina), zelo razpokanih in pregnetenih hribinah ter v polhribinah (permokarbon, fliš, lapor), kjer je potrebno lokalno varovanje brežine. Te vrste sidranih zidov se uporabljajo, kjer je potrebno v vkopu povečati naravni naklon. S sidrano branasto konstrukcijo, ki jo sestavljajo grede in slopi, se zagotavlja globalna stabilnost. Z vmesnimi polnili med gredami in slopi pa se preprečuje erozija brežine, zagotavlja lokalna stabilnost in odvodnjavanje zaledja. Od karakteristik zemljine oziroma hribine je odvisen nagib celotne konstrukcije. V primeru preperine ta naj ne presega 45° , v primeru razpokanih, pregnetenih hribin in polhribin pa je naklon odvisen od nagiba, ki ga lahko izvedemo pri izkopu, ki je še varen. Izbira vrste in načina vgrajevanja polnila je prav tako odvisna od karakteristik zaledja in razpoložljivega materiala za polnilo. Zelo razpokano in pregneteno hribino je potrebno zaščititi s kamnitim zidom. V tem primeru je zaledje običajno prepustno in ga ni treba drenirati. V primeru preperine se kot polnilo uporabi kamnita zložba na drenažnem betonu.

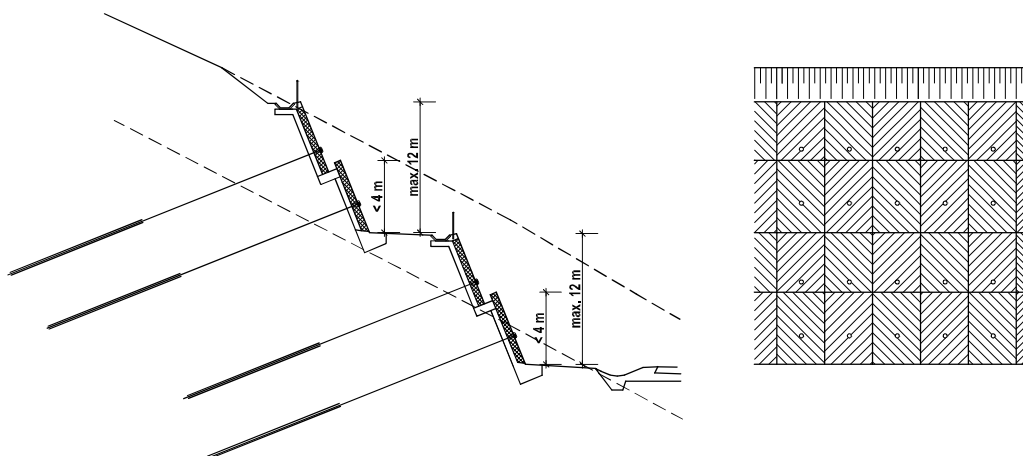
Razmak med slopi in gredami je odvisen od karakteristik zaledja in višine zidu. Vendar razmak med slopi naj ne bo večji od 6 m in med gredami ne več kot 4 m po vertikali. Maximalna višina posameznega zidu je 10 – 12 m odvisno od nagiba zidu. Če je za varovanje vkopa potrebna višja konstrukcija jo je treba izvesti v dveh delih z vmesno bermo zaradi pravilnega odvodnjavanja in vzdrževanja objekta. Širina berme naj bo vsaj 3 m.



Slika 6 Sidrani slopi in grede – branasta konstrukcija z vmesnimi polnili

Sidrani zidovi

Sidrani monolitni in/ali montažno-monolitni armiranobetonski zidovi se uporabijo v primeru nevezljivih (nekoherentnih) in vezljivih (koherentnih) zemljin. Zid je lahko po višini sestavljen iz več etap. Če je potrebna višina zidu do 6 m, se izvajajo v eni etapi. Zidovi, visoki več kot 6 m, se izvajajo v dveh ali treh etapah. Posamezna etapa je lahko višine max. 4 m, skupna maksimalna višina dela zidu pa je lahko največ 10 do 12 m. Skupna višina zidu je odvisna od višine potrebnega varovanja brežine. Med posameznimi etapami se predvidijo stopnice širine do 1 m. Te služijo gradnji, odvodnjavanju in vzdrževanju konstrukcije. Če je višina brežine večja kot 10 do 12 m, se med posameznimi deli zidu predvidi berma širine 3 m. Berma služi gradnji, odvodnjavanju in vzdrževanju konstrukcije. Debelina teh zidov je min. 40 cm zaradi vnosa sidrskih sil, in max. 60 cm. V primeru uporabe sidranih montažnih plošč je treba upoštevati njihovo težo, saj jih je potrebno pripeljati na mesto vgradnje in montirati. Zaradi transporta so omejene tudi dimenzije. Temelj pri tej vrsti sidranih zidov služi le za montažo v fazi gradnje.



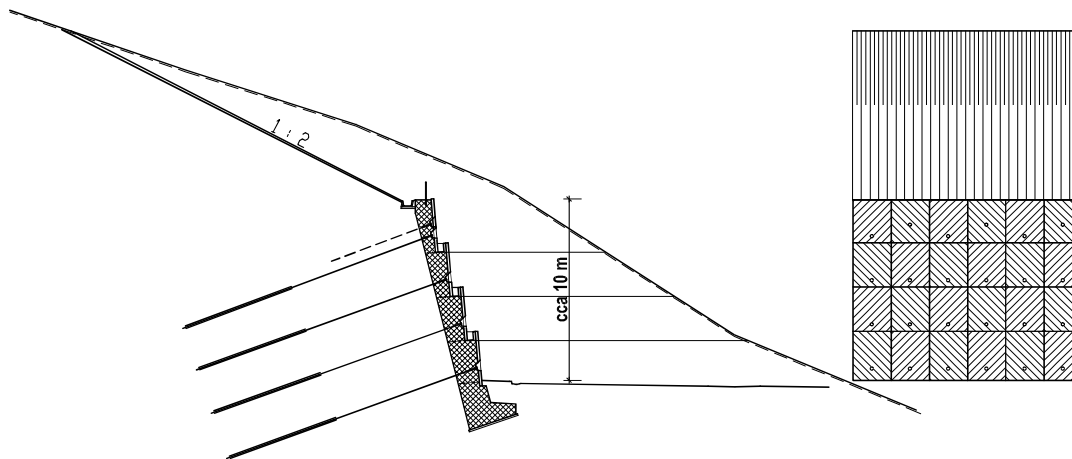
Slika 7 Sidran zid

Posebni sidrani zidovi, grajeni od zgoraj navzdol

Ta skupina sidranih zidov se uporablja v primeru varovanja brežine iz nevezljivih (nekoherentnih) in vezljivih (koherentnih) zemljin srednje kvalitete. Osnovna značilnost te skupine je, da je višina etape omejena na max. 3 m zaradi slabših karakteristik zemljine kot v primeru sidranih zidov in da se začnejo graditi na vrhu zidu, končajo pa s temeljem. Že na glavo obrnjen postopek izdelave govori o tem, da je izvedba takšnih zidov zelo zahtevna. Zidovi se izvajajo po etapah višine max. 3 m in odsekih maksimalne dolžine 6 do 7 m. V eni kampadi se lahko izvajajo dela na več odsekih po šahovskem sistemu. Višina teh zidov je zaradi estetskega in funkcionalnega videza omejena na ca. 10 m. Če je potrebna večja višina zidu za varovanje vkopa, je potrebno izvesti vmesno bermo in nadaljevati s kakšnim od naštetih zidov.

Konstruiranje sidranih zidov

Konstruktorska zasnova sidranih zidov izhaja iz dejstva, da geotehnična sidra prevzamejo horizontalno silo, betonska konstrukcija pa je osnova za realizacijo pritiskov in sil. Ena od značilnosti sidranih zidov je, da se betonirajo kontaktno. Zaradi tega ni mogoče izza zidu izdelati običajne drenaže iz filterskih slojev, kot je to v primeru težnostnih zidov. V ta namen se izza zidu izdelata enozrnatna drenažna beton ali pa se položi drenažni geotekstil. Drenažni geotekstil hkrati preprečuje mešanje zemljine in betona pri kontaktnem betoniranju. Če je v zaledju zidu veliko vode se v pobočje izdelajo horizontalne drenaže, ki se navežejo na sistem odvodnjavanja zidu. Brežine, varovane s sidranimi zidovi, je treba kvalitetno odvodnjavati. V ta namen je treba na vrhu zidu in na vrhu eventualnih kampad predvideti kanalete oziroma jarke. Vse odvodnjavanje je potrebno projektirati v skladu s hidrološkimi in hidrogeološkimi podatki. Predvsem je treba paziti na vodenje koritnic in jarkov po velikih strminah ob zaključkih zidov. Korita jarkov je treba izdelati iz gradiv in takšnih oblik, ki čim bolj umirjajo vodotok in razbijajo energijo vodne sile.



Slika 8 Zid grajen od zgoraj navzdol

Geostatična analiza sidranih zidov

Dokaz zanesljivosti sidranega zidu je samostojni vsebinski del idejnega projekta in projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja. Zid mora biti zasnovan na osnovi rezultatov geološko-geomehanskih raziskav in presoje geomehanskih lastnosti tal ter prostorsko-urbanističnih, prometnih, geodetskih, cestnih, hidrološko-hidrotehničnih, meteorološko-klimatskih in seizmoloških podatkov.

Pojem zanesljivost vključuje varnost, uporabnost in trajnost opornih konstrukcij.

Dokaz zanesljivosti je obvezni sestavni del projekta sidranega zidu in lahko v odvisnosti od geotehničnih pogojev obsega dokaze mejnih stanj nosilnosti, uporabnosti in trajnosti.

Potrebna zanesljivost sidranih zidov mora biti dokazana za občasne, stalne in izredne projektne situacije, ki nastanejo ob gradnji, uporabi, vzdrževanju ter v izrednih razmerah v celotni projektirani življenjski dobi oporne konstrukcije.

Pri geotehničnem projektiranju ni mogoče analizirati vseh dejanskih projektne primerov, ki so lahko mnogokrat naključni, vendar realno mogoči v življenjski dobi sidranega zidu. Zato je potrebno za vsako fazo gradnje in eksploatacije določiti kritične projektne primere, ki obravnavajo najbolj kritična stanja v življenjski dobi sidranega zidu.

Pri vsaki geostatični analizi sidranega zidu je potrebno obravnavati vsaj naslednje projektne situacije:

- projektne situacije začetnega stanja pobočja, obstoječih objektov in infrastrukture v vplivnem območju pred izvedbo gradbenih del;
- tehnološke projektne situacije, ki lahko obsegajo: izgradnjo dostopnih poti in delovnih platojev, izkope gradbenih jam in delovne faze izvajanja sidranega zidu;
- projektne situacije trajne eksploatacije objekta v predvideni življenjski dobi;
- seizmične in izredne projektne situacije.

Izvedba sidranih zidov

Projektant konstrukcije v tehničnem poročilu in geolog v geološko-geotehničnem poročilu morata opozoriti na posebnosti, na katere lahko naletijo izvajalci pri izvedbi (lokacije plazišč, dotoki talne vode, maksimalni lokalni nakloni začasnih vkopov). Izvedba sidranih zidov sestoji iz več faz, ki so med seboj povezane in si morajo slediti v pravilnem zaporedju. Izvedbo faz je treba uskladiti tudi z gradnjo morebitnih drugih objektov, v povezavi s katerimi se izvaja sidrani zid. Pri načrtovanju je treba posebej upoštevati posamično varnost izvedbe predmetnega in sosednjih objektov ter varnost in stabilnost celotnega območja v povezavi z možnostjo izvedbe vsake posamezne faze.

Za vsak zid se mora izdelati tehnološki elaborat, ki vsebuje definirane pristopne ceste, delovne platoje, način in potek odvajanja površinskih in zalednih voda, faze in etape izgradnje zidov z začasnim varovanjem in terminske plane napredovanja del. Gradnja zidu mora biti usklajena s kompletnim vrstnim redom izvajanja del na celotnem odseku ceste. Postopek gradnje posameznega zidu je relativno enostaven, medtem ko je gradnja več različnih sistemov zidov zelo komplicirano opravilo, pa ga je treba variantno obdelati. Pri tem gradnja enega zidu ne sme ogroziti varnosti že izgrajenega dela ali celotnega zidu.

TEHNIČNA SPECIFIKACIJA TSC 07.205 PILOTNE STENE

Pilotna stena je upogibna podporna konstrukcija iz armiranobetonskih pilotov okroglega prereza od ϕ 80 do ϕ 150 cm. Povezana je z gredami z geotehničnimi sidri ali brez njih. Pilotne stene spadajo v skupino konstrukcij, ki z upogibno odpornostjo in vpetostjo v tla izpolnjujejo svoj namen – varovanje nasipnih ali vkopnih brežin. V ta sklop konstrukcij spadajo tudi diafragme, zagatne stene in berlinske stene. Vse te konstrukcije so lahko, če ne morejo izključno z vpetostjo v tla in upogibno odpornostjo opravljati svoje funkcije, tudi sidrane z geotehničnimi sidri. Obravnavani so tisti tipi pilotnih sten, ki so se pokazali kot najustreznejši in so v naši in tuji praksi največkrat uporabljeni. Seveda pa se s tem ne omejujejo drugi tipi pilotnih sten, ki so pogojeni z morfologijo terena in geološko sestavo tal. V ta sklop konstrukcij med drugim spadajo tudi pilotne stene s podpornim zidom iznad vezne grede, ki podpirajo nasip.

Izbira in zasnove pilotnih sten

Pilotne stene so upogibne konstrukcije iz armiranobetonskih pilotov okroglega prereza premera od 80 do 150 cm. Uporabljajo se za varovanje vkopnih brežin, nasipnih brežin, globokih gradbenih jam in v primerih, ko je zaradi potencialne nestabilnosti terena potrebno v tla najprej vgraditi podporno konstrukcijo in šele nato izvršiti izkop. Pilotne stene so pogosto sidrane.

Pilotne stene so drage konstrukcije, zahtevne pri izvajanju in pri vzdrževanju zaradi omejene trajnosti geotehničnih sider. Zato mora biti odločitev o njihovi uporabi za varovanje nasipne ali vkopne brežine utemeljena in upravičena v prvih fazah projekta ceste in cestnih objektov. Izbira in utemeljitev uporabe pilotne stene morata nastati s sodelovanjem projektanta ceste, geomehanika in projektanta konstrukcije. Izbira nastane na zadostnih cestnih in geomorfoloških podlogah, na osnovi katerih se izdelata najmanj dve variantni rešitvi.

Zasnove pilotnih sten

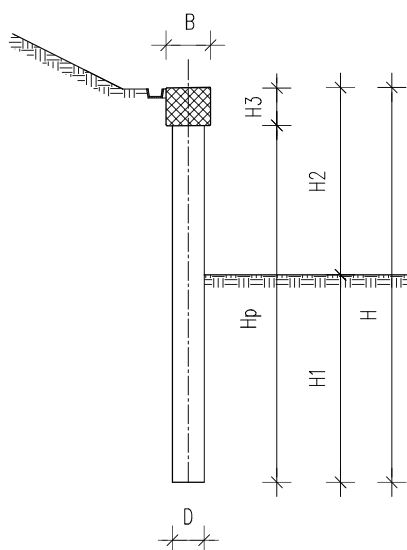
Zasnova glede na lego

Glede na lego, oziroma na kakšen način pilotne stene prevzamejo obtežbo nase, jih delimo na:

- podporne konstrukcije, ki varujejo oz. podpirajo nasip ali brežino pod cesto
- oporne konstrukcije, ki varujejo vkopno brežino nad cesto

Zasnova glede na prevzem horizontalnih sil

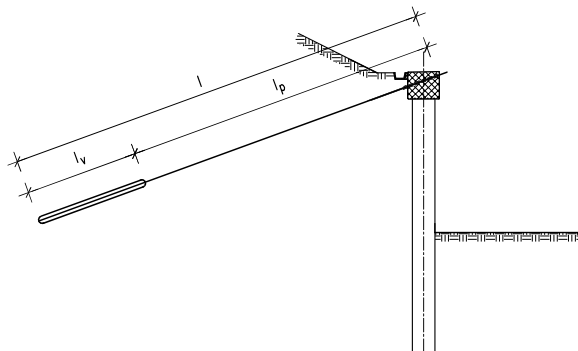
- **pilotne stene brez sidranja** so konstrukcije, ki samo s svojo vpetostjo v tla in upogibno odpornostjo varujejo vkopno ali nasipno brežino – konzolna stena



B	širina vezne grede
D	premer pilota
H	višina pilotne stene
H _p	dolžina pilota
H ₁	vkopna višina pilotne stene
	globina vpenjanja
H ₂	vidna višina pilotne stene
H ₃	višina vezne grede

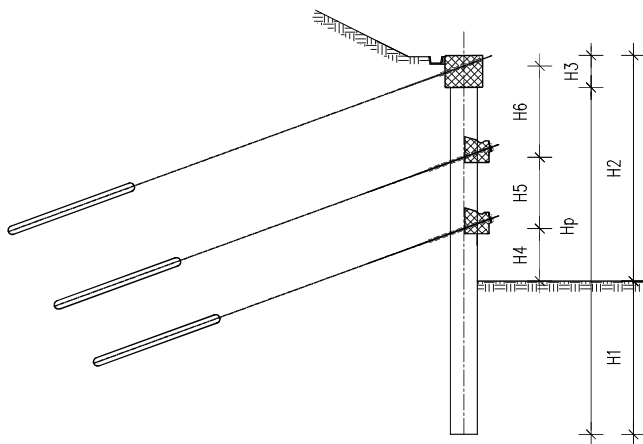
Slika 9 Konzolna pilotna stena

- **pilotne stene s sidri na vrhu** so konstrukcije, ki z vpetostjo v tla, z upogibno odpornostjo in z geotehničnimi sidri, sidranimi na vrhu pilotne stene, varujejo vkopno ali nasipno brežino
- **večkrat sidrana pilotna stena** je konstrukcija, ki z vpetostjo v tla, z upogibno odpornostjo in z geotehničnimi sidri v več vrstah varuje vkopno ali nasipno brežino



l_p prosta dolžina sidra
 l_v vezna dolžina sidra
 l skupna dolžina sidra

Slika 11 Pilotna stena s sidrom na vrhu



H_p dolžina pilota
 H_1 vkopna višina pilotne stene
 globina vpenjanja
 H_2 vidna višina pilotne stene
 H_3 višina vezne grede
 H_4 razdalja od tal do sidra
 H_5 razdalja med sidri
 H_6 razdalja med sidri

Slika 10 Večkrat sidrana pilotna stena

Konstruiranje pilotnih sten

Stabilnost in varnost pilotnih sten morata biti zagotovljeni z odporom zemljin, z geotehničnimi sidri v primeru sidranja in z upogibno togostjo, ki igra najpomembnejšo vlogo pri zagotavljanju zanesljivosti takšne konstrukcije. Da so vsi elementi pilotne stene optimalno vključeni v konstrukcijo in uporabljeni, je potrebno vsem konstrukcijskim delom in geološko-geotehničnim pogojem posvetiti izkušnje in znanje.

Pilotne stene so konstrukcijski objekti, ki so s svojo velikostjo in obliko tujek v okolju. Predstavljajo samostojne podporne konstrukcije in zato je prav, da poleg poudarjenega statičnega pomena vsebujejo tudi elemente arhitekturnega oblikovanja. Priporočljivo je, da se konstruktor pilotne stene kot nosilec projekta pri svojem delu posvetuje s strokovnjaki s področja krajinskega in arhitekturnega oblikovanja.

Premer pilotov

Za pilotne stene, pa naj bodo konzolne ali sidrane, je najbolje uporabljati pilote od ϕ 100 do ϕ 150 cm. Okrogel prerez pilotov v statičnem pogledu ni najustreznejši za upogibne obremenitve, saj je armatura v prerezu slabo izkoriščena. Zaradi izvedbe in morebitnih kasnejših dodatnih sider se priporoča simetrično armiranje pilotov. Pri izbiri premera pilotov se mora projektant odločiti, kateri premer pilotov bo izbral za konstrukcijo. V večini primerov je to odvisno od geološko geomehanskih karakteristik zemljine, hidroloških razmer in višine pilotne stene. Izbor premera pilotov je odvisen od obremenitev in dolžine pilotov.

Razmak med piloti

Razmak med piloti je odvisen od obremenitev stene in od karakteristik zemljine v zaledju stene, saj je potrebno vmesne prostore med piloti začasno "odpreti" in nato z vmesno oblogo zapolniti prostor med njimi. Izbranemu premeru se določi razmak med piloti. Najmanjši razmak je lahko teoretično enak premeru pilotov, vendar je priporočljivo, da je ta razdalja min. 10 cm zaradi problemov natančnosti pri vrtnanju. Največji dopustni razmak pa je odvisen od premera pilota in sicer:

- za pilot ϕ 100 cm: $e = 2,00$ m
- za pilot ϕ 125 cm: $e = 2,50$ m
- za pilot ϕ 150 cm: $e = 3,00$ m.

Vezna greda

Vezna greda povezuje vrhove pilotov in predstavlja zaključek in enega najbolj izpostavljenih delov konstrukcije. Ker je vidna, jo je treba kolikor se le da oblikovati (posneti robovi, beton ustrezne kvalitete, kvaliteten opaž).

Posebno pozornost na gredi je potrebno posvetiti namestitvi sidrnih glav geotehničnih sider, če je pilotna stena sidrana. V tem primeru se na določena mesta namestijo kontrolna in/ali merilna sidra, ki jih je potrebno ustrezno vzdrževati. Vezna greda mora imeti takšne dimenzije in togost, da prevzame posledice morebitnih poškodb nosilnih elementov pilotne stene (lokalno večji zemeljski pritisk, popuščanje pilota, popuščanje sidra, ...) in prenese obtežbo na sosednje pilote oz. sidra.

Vmesna sidrna greda

Vmesne sidrne grede se pojavijo samo takrat, ko gre za dvakrat ali večkrat sidrano pilotno steno. Te grede povezujejo pilote v celoto, predvsem pa so konstrukcijski element, kjer se namestijo sidrne glave geotehničnih sider. Razvrstitev sider se običajno opravi v vmesnem prostoru med piloti.

Razdalja med sidri

Razdalja med sidri je odvisna od nosilnosti posameznega sidra in obremenitve pilotne stene. Razdalja med sidri na vezni gredi ne sme biti v isti ravnini manjša od 50 cm. Pri razdalji med sidri manj kot 1.5 m je potrebno predvideti sidra dveh različnih dolžin, ki se vgrajujejo izmenično, in izmenično uporabo naklonskega kota sider. Razlika v dolžini mora biti enaka dolžini veznega dela plus 2 m, naklonski kot pa naj ima razliko 10° .

V primeru sidranja v kompaktno, kvalitetno hribino se omenjeni pogoji uporabijo pri razdalji med sidri manj kot 1 m.

Izvedba pilotnih sten

Izvedba pilotnih sten sestoji iz več delovnih faz, ki so med seboj povezane in sledijo ena drugi. Ker pa so pilotne stene običajno v povezavi z drugimi objekti, je treba izvedbo vseh faz skrbno načrtovati in uskladiti. Potrebna je časovna usklajenost delovnih faz s fazami izvedbe sosednjih objektov, saj je lahko izvedba neke faze praktično nemogoča, ali pa močno ogroža varnost in stabilnost pilotne stene, varnost sosednjega objekta ali celo varnost in stabilnost celotnega območja. Vsi postopki za izvedbo ter za varno in kvalitetno delo morajo biti opisani v tehnološkem projektu izvedbe pilotne stene in projektu organizacije gradbišča, ki ga morata izdelati projektant in izvajalec del. Projektant konstrukcije v tehničnem poročilu in geotehnik v geološkem poročilu morata opozoriti na posebnosti, na katere lahko naletijo izvajalci pri izvedbi (lokacije plazišč, lokacije dotokov vode, maksimalni lokalni nakloni začasnih vkopov, ...).

LITERATURA

- TSC 07.201 Smernice za projektiranje podpornih konstrukcij – predlog, 2003.
- TSC 07.204 Sidrani zidovi – predlog, 2003
- TSC 07.205 Pilotne stene – predlog, 2003
- prEN 1997: Eurocode 7 – Geotehnično projektiranje
- EN 1536: 1999 Execution of special geotechnical work – Bored piles