

Mojca RAVNIKAR TURK
univ.dipl.gradb.inž., ZAG Ljubljana, Dimičeva 12, Ljubljana

Pavel ŽVANUT
univ.dipl.gradb.inž., ZAG Ljubljana, Dimičeva 12, Ljubljana

UPORABA HIDROSTATSKEGA HORIZONTALNEGA INKLINOMETRA PRI KONTROLI POSEDANJA NASIPOV

POVZETEK

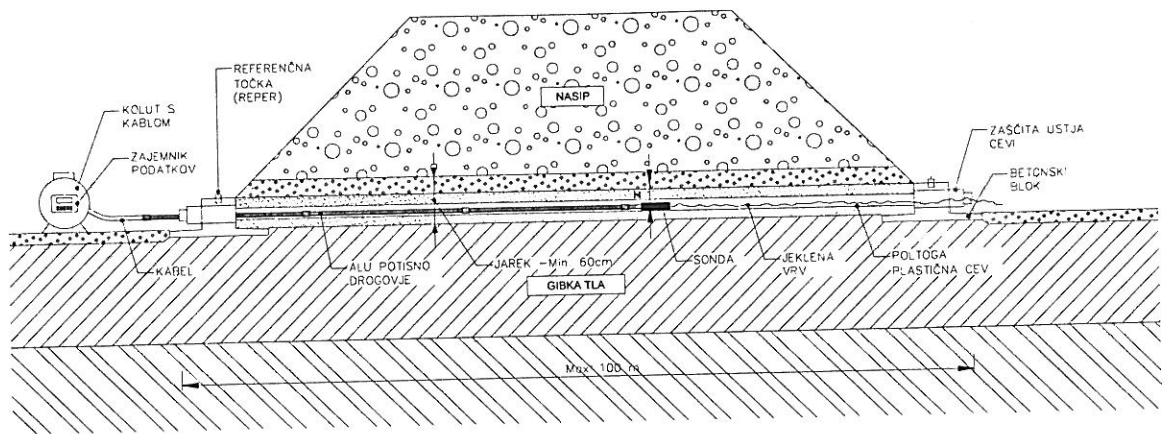
Hidrostatski horizontalni inklinometer je naprava za merjenje vertikalnih premikov gibkih konstrukcij (npr. zemljinskih pregrad ali nasipov) v izbranem profilu preko manjšega dela ali celotne širine objekta. V izbranem profilu nasipa se v horizontalni jarek položi poltogo plastično cev, katere ustje mora biti vsaj na eni strani dostopno. Z napravo merimo razliko vodnega tlaka v kablju, ki je odvisna od razlike višine med merilno sondo v plastični cevi in referenčno točko ob ustju cevi. Hidrostatski horizontalni inklinometer smo prvič uporabili pri kontroli posedanja zemljinske pregrade Drtjščica. V prispevku je opisan postopek meritve, analiza dobljenih rezultatov ter pridobljene izkušnje.

UVOD

Visoki nasipi na slabše nosilnih in stisljivih tleh ter zemljinske pregrade spadajo med zahtevnejše geotehnične objekte. Pri teh objektih je potrebno računsko prognozo obnašanja objekta primerjati z dejanskim stanjem. Zato se poleg tehnologije gradnje in kontrole kvalitete materialov, običajno predpiše tudi program opazovanja objekta med gradnjo in po njej. Program opazovanja zajema vizualne kontrole ter različne meritve. Običajno se meri nivo talne vode oziroma porne tlake, pomike na površini (reprne točke) in v telesu pregrade (vertikalni pomiki s pomočjo posedalnih plošč ter horizontalni pomiki s pomočjo vertikalnih inklinometrov). V letu 2001 pa smo prvič uporabili drugačno metodo za meritve posedanja v telesu pregrade in sicer s pomočjo hidrostatskega horizontalnega inklinometra.

METODA MERITEV

Hidrostatski horizontalni inklinometer je naprava za merjenje vertikalnih premikov gibkih konstrukcij (npr. nasipov) v izbranem profilu. Pri tem v jarek vgradimo poltogo plastično cev z notranjim premerom najmanj 80 mm in največ 200 mm. Vgradnji cevi je potrebno posvetiti posebno pozornost. Najprej se izdelata jarek širine 40 in višine 60 cm, nato se na peščeno posteljico položi cev, katero se zaščiti najprej s peskom, nato pa še s tamponom. Kadar je cev sestavljena iz večjega števila kosov, je le-te potrebno natančno stikovati. Pomembno je, da je cev po celotni dolžini vgrajena v jarku ter zasuta z ustreznim materialom. Ustje cevi mora biti vsaj na eni strani dostopno, zaščiteno s kapo ter opremljeno z reperjem za geodetske meritve vertikalnih pomikov, ki je hkrati referenčna točka za posamezne meritve. Naprava meri razliko tlaka v kablju, ki je odvisna od razlike višine med merilno sondo v plastični cevi in referenčno točko ob ustju. Kabel je sestavljen iz treh cevk, od katerih sta dve napolnjeni z vodo pod pritiskom. Z merilno sondo najprej izvedemo referenčni odčitek ob reperju, nato pa meritve na znanih dolžinah v cevi glede na njeno ustje. Meritve lahko izvajamo s poljubnim korakom dolžine (npr. pol metra, en meter, dva metra), vendar pa morajo biti koraki in začetna točka pri vsaki meritvi enaki. Kadar je merilna cev dostopna le z ene strani, se sondo premika s pomočjo potisnega drogovja, kadar pa je dostopna z obeh strani, se jo lahko vleče skozi cev tudi s pomočjo jeklene vrvi, zato je izvedba meritve manj zamudna. Vse izmerjene razlike v tlaku oziroma višinske razlike se nanašajo na referenčno točko izven cevi. Meritev se izvaja v različnih fazah gradnje in po njej, pri čemer dobimo vertikalne pomike znanih točk v cevi z natančnostjo ± 1 cm. Dobljene rezultate meritev korigiramo z geodetsko izmerjenim vertikalnim pomikom reperja in tako dobimo absolutne pomike izbranih točk v cevi.



Slika 1: Shematski prikaz meritve

IZVEDBA MERITEV

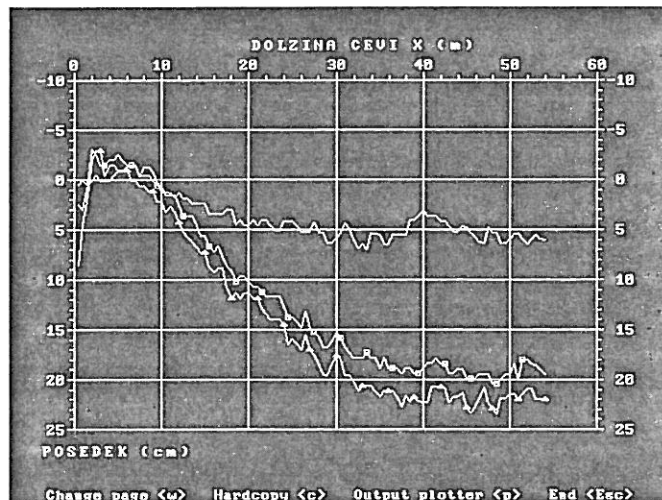
Za izvedbo meritev s hidrostatskim horizontalnim inklinometrom so potrebni trije ljudje in sledeča oprema: sonda s kablom dolžine 100 m in zračno tlačilko; potisno aluminijasto drogovje oziroma jeklena vrvi; naprava za zajemanje podatkov (zajemnik) ter računalniški program za obdelavo rezultatov meritev. Po prihodu na mesto meritve položimo kolut s kablom in sondo ter zajemnik podatkov okoli dva metra od ustja cevi, nato pa prosti konec merilnega kabla povežemo z zajemnikom podatkov. Zabož z aluminijastim drogovjem (dolžine palic so 2 m) položimo vzporedno z vgrajeno cevjo, med ustje in kolut. Pred začetkom meritve najprej preverimo tlak v cevi (predpisan delovni tlak je med 1,5 in 2,5 bara). Nato postavimo kolut na lokacijo, kjer mora ostati nepremaknjen do konca meritve. Sondo pritrldimo na začetno drogovje in jo postavimo najprej na referenčno (znano) točko zunaj cevi, nato pa na prvo točko v cevi (0,5 ali 1,0 m) in začnemo z meritvijo. Zaradi večje natančnosti običajno izvajamo meritev dvakrat (dvojna natančnost) in sicer od ustja do konca cevi ter nazaj (kadar izvajamo meritev s pomočjo jeklene vrvi, jo običajno izvedemo dvakrat od konca cevi proti ustju). Potisno drogovje sproti sestavljamo in fiksiramo (kabel vstavljamo v drogovje). Pri drugem delu meritve lahko pri vsakem koraku preverimo odstopanje od predhodnega odčitka, saj se razlika izpiše na zaslonu zajemnika. Po prihodu v pisarno se podatki iz zajemnika prenesejo v osebni računalnik in obdelajo (z računalniškim programom za obdelavo rezultatov meritev) ter analizirajo.



Slika 2: Izvedba meritve

REZULTATI MERITEV

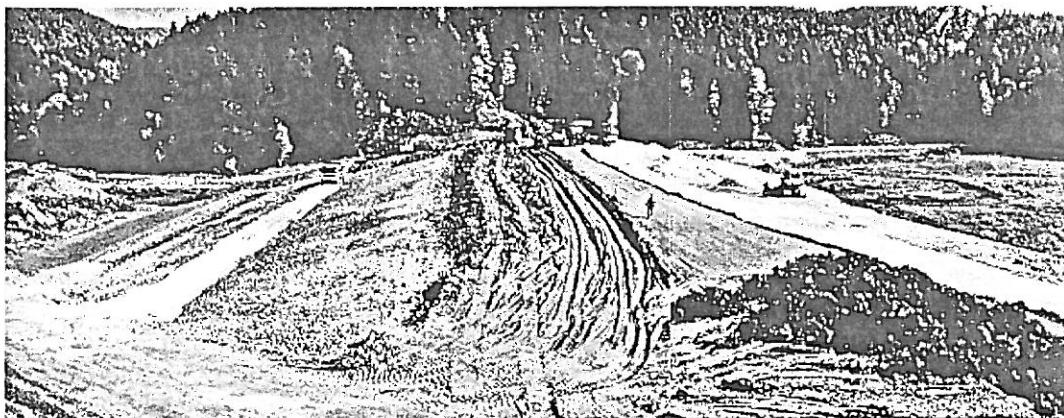
Rezultati meritev se shranijo v zajemniku ter se v pisarni prenesejo na osebni računalnik. Po meritvi se lahko vnese v datoteko z rezultati meritev še vertikalni pomik referenčne - geodetske točke ob ustju ter se rezultate stiska v obliki tabele ali diagramov. Lahko se izriše krivuljo vertikalnih pomikov vzdolž profila, ali pa relativne pomike glede na osnovno meritev. Na diagramu je možno prikazati največ šest krivulj. Primer prikaza rezultatov meritev na ekranu je na sliki 3. Na abscisi je podana dolžina cevi od ustja v metrih, na ordinati pa posedek v centimetrih. Če želimo izdelati časovne diagrame posedanja, je potrebno iz tabele ali diagramov odčitati posedke v izbrani točki ter te podatke vnesti v novo tabelo.



Slika 3: Posedki glede na osnovno meritev

OPAZOVANJE POSEDANJA PREGRADE DRTIJSČICA

Hidrostatski horizontalni inklinometer smo prvič uporabili leta 2001 pri kontroli posedanja zemeljske pregrade Drtijsčica. Projekt za izvedbo objekta je izdelal VGI, d.o.o, objekt je gradil SCT, d.d. Višina pregrade je 18,1m, kar jo po pravilniku o tehničnem opazovanju uvršča med velike pregrade. Dolžina po osi pregrade je 265m, širina po dnu doline pa 150 metrov. Brežine so izdelane z bermami, na zračni strani so v naklonu 1:4, na vodni pa 1:3. Kota vrha pregrade je 357,90 m.

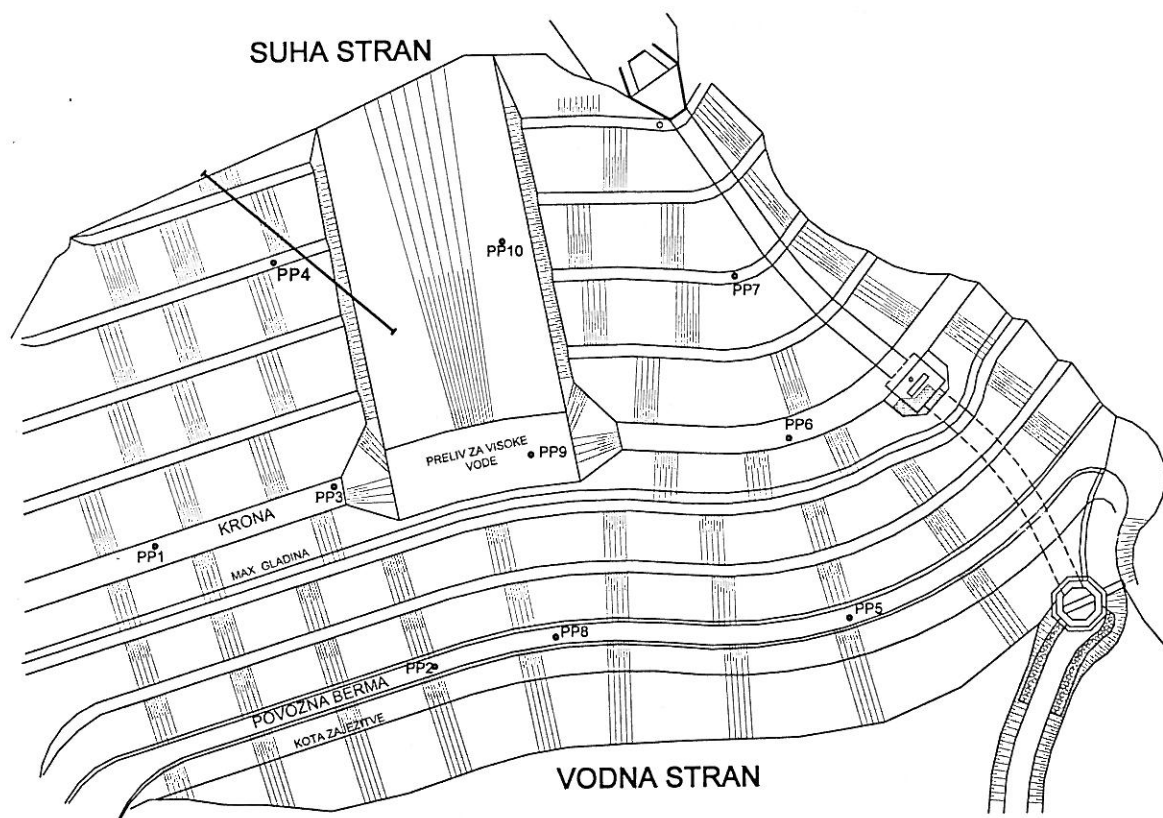


Slika 4: Pregrada (september 2001)

S projektom opazovanja je predvidena vzpostavitev sistema opazovanja, vendar se bo večina merskih mest vgradila po končani gradnji pregrade. V času gradnje so v sklopu opazovanja predvidene meritve vertikalnih posedkov na koti 341 m do 343 m s pomočjo posedalnih plošč. Višje v pregradi posedalne plošče niso bile vgrajene, tako da sesedanje samega telesa pregrade ni bilo opazovano. Vgrajeno je bilo devet posedalnih plošč, od tega so bile tri med gradnjo uničene.

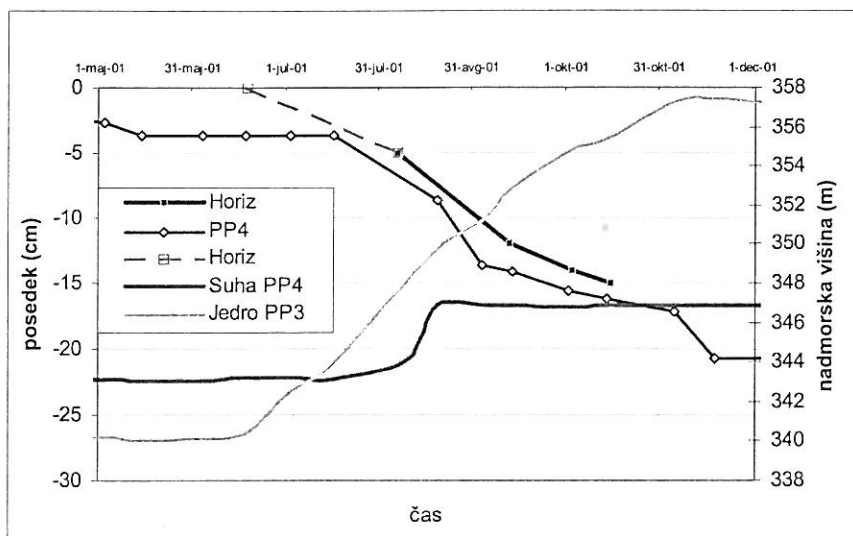
| lokacija | na suhi strani | | v jedru | | | | na vodni strani | | |
|-----------------|----------------|-------|---------|-------|-------|---------|-----------------|-------|---------|
| oznaka plošče | 2 kom | | 4 kom | | | | 3 kom | | |
| kota plošče (m) | PP4 | PP7 | PP1 | PP3 | PP9 | PP6 | PP2 | PP8 | PP5 |
| | 341,4 | 342,1 | 342,9 | 340,2 | 341,7 | 340,8 | 340,8 | 340,7 | 340,0 |
| stanje | | | | | | uničena | uničena | | uničena |

Plastično merilno cev za kontrolo posedanja s pomočjo hidrostatskega horizontalnega inklinometra smo vgradili na suhi strani pregrade v jarek na koti 342,4 m, kar je 15,5 metrov pod koto krone pregrade. Dolžina merilne cevi je 54 m, začne se ob vznožju nasipa in konča pod prelivom za visoke vode, kjer je končna višina nasutja nad merilno cevjo okoli osem metrov. Največja višina nasutja je približno na razdalji 35 m od ustja in sicer 8,5 m. Položaj in absolutna višina vgrajene merilne cevi je bila geodetsko izmerjena (julija 2001). Osnovna meritev s hidrostatskim horizontalnim inklinometrom je bila izvedena 7.8.2001. Vgradili smo še eno merilno cev dolžine 48 metrov na suhi strani pregrade, vendar pa ni bila položena v jarek, in je bila takoj uničena. Situacija pregrade z lokacijo posedalnih plošč in profila za meritve s hidrostatskim horizontalnim inklinometrom je prikazana na sliki 5.



Slika 5: Situacija pregrade z vrisanimi opazovalnimi mesti med gradnjo

Med gradnjo smo izvedli več meritev, iz katerih lahko določimo časovni potek in relativni posedek nasipa vzdolž cevi. Najbližje merilne cevi se nahaja posedalna plošča PP4 in sicer okoli 21 metrov od ustja cevi. Rezultate meritev s hidrostatskim horizontalnim inklinometrom smo primerjali z geodetsko izmerjenimi posedki te posedalne plošče. Višina cevi posedalnih plošč se meri z milimetrsko natančnostjo, vendar pa se napake v izmeri višine pojavijo pri nadviševanju oziroma stikovanju cevi, tako da tudi izmera teh posedkov ni v milimetrskem velikostnem redu. Primerjava dobljenih posedkov je prikazana na sliki 6. Na diagramu je prikazano posedanje posedalne plošče (PP4), posedanje izmerjeno s horizontalnim inklinometrom (Horiz), ter dinamika gradnje pregrade na območju PP4 (Suha PP4) in na območju jedra oziroma PP3 (Jedro PP3).



Slika 6: Časovni diagram posedanja in dinamike gradnje pregrade

Kljub temu, da meritve niso bile v enakih časovnih terminih, je iz primerjave rezultatov meritev razvidno, da je velikostni red in časovni razvoj posedkov približno enak.

Dobra stran meritev posedanja s hidrostatskim horizontalnim inklinometrom je, da ko je merilna cev vgrajena pod nivojem terena, ne moti gradnje in nato uporabe objekta, ni izpostavljena poškodbam, zato omogoča kontinuiteto pri meritvah posedanja. Meritev se izvaja v profilu s poljubnim korakom, tako da lahko vrednotimo diferenčne posedke vzdolž profila. Pri vsakem koraku (meritvi v eni točki) merimo višinsko razliko glede na reper ob ustju, tako da so izmerjeni posedki neodvisni drug od drugega.

Glavna pomanjkljivost uporabljene naprave je relativno majhna natančnost posameznega odčitka (± 1 cm), zato je naprava primerna le, kadar pričakujemo večje posedke objektov. Ker pa se posedki merijo v večjem številu točk, se napaka pri povprečenju krivulje posedkov dejansko zmanjša. Kadar repera ob ustju cevi ne moremo privzeti kot fiksno točko, je potrebno z geodetskimi meritvami izvrednotiti tudi vertikalne pomike te točke. S to metodo merimo vertikalne pomike pod površjem, ne moremo pa meriti horizontalnih pomikov. Pri lociranju same cevi je potrebno upoštevati, da votla cev nikoli ni izvedena popolnoma vodotesno, tako da lahko deluje kot drenaža.

ZAKLJUČEK

Posedanje zemljinskih pregrad in nasipov je parameter, ki se meri večinoma med gradnjo, pri zahtevnejših objektih pa tudi v celotni življenjski dobi objekta. Dejanski posedki so pomemben podatek za projektanta, da preveri računsko prognozo. Dejanski posedek celotnega nasipa je zaželen podatek za izvajalce in investitorja objekta zaradi obračuna dodatnih vgrajenih materialov. Posedanje posameznih elementov pregrade ali nasipa med gradnjo, ki se kontinuirano nadaljuje tudi v času uporabe objekta, potrebuje upravljavec objekta za vrednotenje stanja objekta, zlasti pa pri planiranju sanacijskih del ali izračunih v primeru konstrukcijske spremembe objekta.

Dobra stran meritev posedanja s hidrostatskim horizontalnim inklinometrom je, da ko je merilna cev vgrajena pod nivojem terena, ne moti gradnje in nato uporabe objekta, ni izpostavljena poškodbam, zato omogoča kontinuiteto pri meritvah posedanja. Potrebno pa je upoštevati omejitve te metode.