I. Tehnični opis in okvirni roki izvajanja gradbenih monitoringov pregradnih objektov v upravljanju Savskih elektrarn Ljubljana d.o.o.

1. Splošno

Družba Savske elektrarne Ljubljana d. o. o. upravlja s petimi pregradnimi objekti na reki Savi in njenih pritokih, kot so: pregrada HE Moste, pregrada Završnica, pregrada HE Mavčiče, pregrada HE Medvode in pregrada HE Vrhovo. Vse naštete pregrade so v koncesiji za energetsko izkoriščanje vodnega potenciala in spadajo po klasifikaciji IOCOLD (International Commission on Large Dams) ter Pravilniku o tehničnem opazovanju visokih jezov (Ur. list SFRJ, št. 7/66) med visoke pregrade. Za takšne vrste gradbeno inženirskih objektov, ki s svojo višino in količino akumulirane vode predstavljajo specifično tveganje za okolje, je lastniku oziroma upravljavcu predpisano zagotavljanje njihovega obveznega tehničnega opazovanja, s katerim se da ugotoviti stanje vsake velike pregrade ali posameznih njenih delov ter stanje njenih temeljnih tal in akumulacijskega prostora in sicer glede stabilnosti, prepustnosti za vodo ter učinkovanja kemičnih in drugih vplivov na korozijo in mehanske odpornosti materialov.

Navedeni pravilnik vsebino tehničnega opazovanja tovrstnih objektov podrobnejše ne opredeljuje, pač pa investitorju ali lastniku oziroma upravljavcu nalaga izdelavo Projekta tehničnega opazovanja za posamezni objekt, s katerim projektant (projektant PGD) predpiše vse tozadevne aktivnosti, ki morajo biti zagotovljene za čas pred in med gradnjo ter za čas njegovega obratovanja. Projektna dokumentacija je sestavni del PGD.

Koncesionar Savske elektrarne Ljubljana d. o. o. (SEL) je tovrstno dokumentacijo pri starejših objektih zagotovil že leta 1969 in od takrat dalje izvaja vse potrebne aktivnosti, ki so v njej predvidene. Z razvojem tehnike je v tem času prišlo tudi do znatnega napredka pri tovrstnih delih, zato je bilo tehnično opazovanje z leti na posameznih objektih že dopolnjevano ali spremenjeno (nekatero celo opuščeno), vendar tako, da kontinuiteta opazovanja ni bilo prekinjena.

Ker naročnik s potrebno tehnologijo opazovanja ne razpolaga in nima dovolj ustreznih kadrov, je že takrat zagotavljanje tovrstnih del s pogodbo zaupal zunanjemu izvajalcu.

Pri starejših obstoječih objektih so bili sistemi tehničnih opazovanj vzpostavljeni že leta 1970, kar je razvidno iz posameznih Poročil o vzpostavitvi tehničnih opazovanj, pri mlajših objektih pa na osnovi ustrezne razpoložljive dokumentacije kasneje (leta 1986 HE Mavčiče, leta 1996 HE Vrhovo). Sistemi tehničnih opazovanj so bili po letu 1996 na osnovi ustrezne dokumentacije tudi v precejšnji meri avtomatizirani z on-line meritvami določenih parametrov (pritiski, temperature, konduktivnost, pomiki razpok in dilatacij, rotacije), kar je razvidno iz posameznih letnih poročil o tehničnih opazovanjih. Rezultate teh meritev naročnik skladno s pogodbo po elektronski pošti v dogovorjeni obliki redno dostavlja izbranemu izvajalcu.

Sistem seizmičnega opazovanja obravnavanih pregradnih objektov ni predmet te razpisne dokumentacije, ker ga ob soglasju Urada za seizmologijo že izvaja drugi pogodbeni izvajalec.

V sistem tehničnega opazovanja je vključen tudi gradbeni monitoring stanja podzemne strojnice HE Moste, ki je zaradi aktiviranja zemeljskih pritiskov že med njeno gradnjo posebej obravnavana. Gradbeni monitoring strojnice je bil v okviru njene rekonstrukcije leta 2000 na novo vzpostavljen, kar je razvidno iz tozadevne projektne dokumentacije in letnih končnih poročil.

Tehnično opazovanje je v okviru Navodil za obratovanje in vzdrževanje predvideno tudi z izgradnjo nove mHE Borovlje (10 nivelmanskih reperjev z osnovnim reperjem na mostnem podporniku.

Gradbeni monitoring obravnavanih objektov obsega tudi strokovne vizualne preglede konstrukcijskih elementov objektov in instrumentalno merjenje parametrov (obtežbe in deformacije), s katerimi se zasleduje njihovo statično in dinamično obnašanje. Na tej osnovi se poda analizo stanja objekta in poda morebitne zahteve po nadaljnjem ukrepanju.

Strokovni vizualni pregledi in meritve so redni in izredni. Rezultate meritev, ki potekajo instrumentalno ročno ali avtomatsko, se ovrednoti v skladu z zahtevami projektne in druge dokumentacije. Zanje se izdela posebna poročila. V končnih letih poročilih se za posamezni objekt obravnava vse dotedanje rezultate meritev in pregledov ter poda analizo o stanju objekta. V končnih poročilih se poda predlog obsega in termina meritev in pregledov za naslednje leto, v njegovem zaključku pa se navede tudi morebitne potrebne sanacijske ukrepe in oceno nujnosti le-teh. V prilogah končnega poročila so zbrani vsi rezultati letnih meritev po posamezni vrsti in področju.

Končna letna poročila so osnova za planiranje gradbenih vzdrževalnih del na posameznih pregradnih in drugih objektih.

<u>Gradbeni monitoringi pregradnih objektov v splošnem obsegajo:</u>

1.0 Deformacije opazovanih objektov

1.1. Geodetske meritve,
1.1.1 Meritve vertikalnih pomikov repernih točk na pregradnem objektu in osnovnih reperjev (certificirani precizni digitalni nivelir),
1.1.2 Meritve horizontalnih pomikov repernih točk na pregradnem objektu in osnovne mreže (certificirani precizni elektronski tahimeter),
1.2 Meritve rotacij s pomočjo klinometra (na primer Huggenberger – 1.375°, ± 0,05 mm/m) in/ali koordimetra (na primer Huggenberger z vtičnicami, ± 0,2 mm) z vgrajenimi merskimi mesti na objektu,
1.3 Meritve delovanja razpok in dilatacij s pomočjo deformetra (na primer Huggenberger, baza 250,4 mm, ± 0.01 mm) z vgrajenimi merskimi mesti na objektu,
1.4 Meritve vertikalne inklinacije v opazovalnih vrtinah (± 0.01 mm na korak),
1.5 Meritve sidrnih sil (odčitavanje tlaka v podložnih ploščah s strani naročnika),
1.6 Avtomatske meritve na karakterističnih merskih mestih (pomiki na dilatacijah, 2D, 3D), rezultate dostavlja naročnik,
1.7 Strokovni vizualni pregledi

1.7.1 Geološko geomehanski pregled brežin akumulacije in podslapja,
1.7.2 Pregledi objekta z dopolnjevanjem katastra razpok in poškodb,
1.7.3 Pregledi kvalitete betonov objekta,
1.7.4 Potapljaški pregledi.

2.0 Filtracija podzemne vode na vplivnem območju pregradnega objekta

2.1 Instrumentalne ročne meritve dolžin vrtin in piezometričnih pritiskov oziroma vzgonskih tlakov v K, B, P itd. opazovalnih vrtinah,
2.2 Meritve iztokov iz K opazovalnih vrtin in piezometričnih kap,
2.3 Meritve specifične električne upornosti vzorcev vod (ugotavljanje izvora vode),
2.4 Avtomatske meritve na karakterističnih merskih mestih (piezometrični pritiski/vzgonski tlaki, temperature podtalnice, konduktivnosti podtalnice).

3.0 ***Izdelava končnega poročila*** *(2 ali 3 izvodi fasciklov)*

Seznam meritev in pregledov za posamezno leto je izdelan za vsak objekt posebej in je priloga letnih končnih poročil. Program del za leta 2027 do 2029 je razviden v predračunu.

Naročnik zagotavlja:

- Projekte tehničnih opazovanj objektov, Poročila o vzpostavitvi tehničnega opazovanja, Navodila za obratovanje in vzdrževanje, kjer so izdelana, in letna končna poročila za posamezne objekte. Ta dokumentacija je na ogled pri naročniku.
- Vzdrževanje opazovalnih sistemov na objektih.
- Naročnik bo sodeloval in omogočil izvajanje tehničnega opazovanja na terenu.

2. <u>Izvajanje gradbenih monitoringov na objektih družbe SEL</u>

Pogoji za zagotavljanje kakovostnega izvajanja naročila in način dokazovanja:

Izvajalec mora zagotavljati izvedbo tehničnega opazovanja v celoti, kvalitetno, skrbno in v skladu z zahtevami projektne dokumentacije in po pravilih stroke v skladu z RS veljavno zakonodajo in skladno z zahtevami EU standardov.

Merilna oprema

Tehnično opazovanje pregradnih objektov zajema spremljanje deformacij opazovanih objektov in parametrov podzemne vode na vplivnem območju pregradnih objektov. Karakteristike instrumentalne merilne opreme so podane v nadaljevanju, podrobnejše pa tudi v posameznih letnih poročilih.

Instrumentalno ročno se meri:

- Vertikalne pomike reperjev na vzvodnih in nizvodnih krilnih zidovih, turbinskih vtokih in iztokih, strojnici, stebrih prelivnih polj, mostovih, žerjavnih progah, nosilcih deponij zapornic,
- Horizontalne pomike repernih točk na vzvodnih in nizvodnih krilnih zidovih, turbinskih vtokih in iztokih, strojnici, stebrih prelivnih polj,

- Rotacije konstrukcijskih elementov objektov s klinometrom in koordimetrom na vgrajenih merilnih mestih,
- Delovanje razpok in dilatacijskih stikov z deformetrom na vgrajenih merilnih mestih,
- Hidrostatične in hidrodinamične parametre v opazovalnih vrtinah (piezometrični pritiski s tračnim nivometrom, vzgonski tlaki z manometrom na cevni instalaciji, iztoki z menzuro in štoparico, specifično električno upornost vode s konduktometrom).

Vizualno strokovno se spremlja:

- Spremembe na objektu (novonastale razpoke, povečanje obsega dosedanjih razpok, spremembe vodoprepustnosti na razpokah, spremembe ob dilatacijah, povečane nagibe in povese, stanje betonskih površin konstrukcij – korozija betonov) in
- Spremembe na brežinah akumulacije in podslapja (spremembe ob bokih pregrade, spremembe ob akumulacijah – pri tem so mišljene spremembe ob bližnji in daljni okolici, ki bi lahko povzročile zdrs večjih gmot ter znaki nestabilnosti terena manjšega obsega, ki bi lahko ogrozila ljudi in njihovo premoženje ter objekte naročnika).

Način in pogoji izvajanja posameznih meritev in pregledov so podrobnejše podani v projektni dokumentaciji oziroma posameznih poročilih.

Merilna oprema in vgrajena merska mesta na objektih morajo zagotavljati dolgoletno kontinuiteto spremljanja merjenih parametrov. Vso instrumentalno opremo je potrebno redno enkrat letno kalibrirati oziroma certificirati skladni z navodili proizvajalca. Ponudnik mora priložiti potrebna dokazila o lastništvu opreme, merski natančnosti in kalibracijah oziroma certifikatih.

Rezultate avtomatskih meritev parametrov naročnik v obliki grafov dostavlja izvajalcu do konca novembra tekočega leta v .DOC formatu.

Rezultate meritev piezometričnih pritiskov v opazovalnih vrtinah, vzgonskih tlakov, merjenih z manometrom in sidrnih sil (pregrada HE Moste), ki jih tedensko ali mesečno izvaja naročnik, le-ta dostavlja izvajalcu do konca novembra tekočega leta v .XLS formatu.

Zahteve za potrebno instrumentalno opremo

Merjenje vertikalnih komponent pomikov je potrebno obvezno izvajati s preciznim niveliranjem izbranih stabiliziranih reperjev na konstrukcijskih elementih objektov na način kot ga zagotavlja sodobna geodetska stroka. Precizni nivelman z zaključenim poligonom spada med najbolj točne metode za določanje višinskih razlik med posameznimi reperji, ki se lahko nahajajo na večjih medsebojnih razdaljah. S kontrolnimi meritvami se glede na osnovne reperje spremlja trende pomikanja reperjev na objektu. Za precizni nivelman je potrebno uporabiti nivelir, katerega srednji pogrešek dvakrat nivelirane razdalje enega kilometra mora znašati manj od ±1 mm (zahtevana točnost meritev je najmanj ±0,3 mm). Late

morajo biti opremljene s termično malo občutljivo razdelbo, odčitavanje pa se mora vršiti s planparalelno ploščo.

Merjenje horizontalnih komponent pomikov poteka s pomočjo preciznega elektronskega tahimetra, ki omogoča najnatančnejše merjenje kotov in dolžin glede na osnovne in opazovane reperne točke. Spremembe položajev opazovanih repernih točk se podaja v izbranem koordinatnem sistemu X, Y, kjer je X os orientirana v smeri toka vode. Za precizno merjenje paralaktičnih kotov je potrebno obvezno uporabiti precizni elektronski tahimeter (kolimacijski pogrešek /Hz kot/mora znašati največ 0,5''), katerega je potrebno centrirati na opazovalni steber z natančnostjo najmanj ±0,1 mm. Centriranje je potrebno izvršiti na centrirni plošči, ki je vgrajena v opazovalni steber osnovne mreže. Značke za opazovanje so izdelane iz eloksirane pločevine in so na izpostavljenih mestih zaščitene pred poškodbami.

Meritve rotacij konstrukcijskih elementov okoli dveh med sabo pravokotnih osi v horizontalni ravnini, od katerih je ena vzporedna s smerjo toka vode. Meritve rotacij se izvaja na vgrajenih merskih mestih s klinometrom ali koordimetrom.

Klinometri so precizne libele z mikrometerskimi vijaki za vrhunjenje libele in natančno odčitavanje sprememb kotov. Ležišče za klinometer predstavljata dva napravi prilagojena reperja na bazi 1 m. Klinometer mora imeti vrednost najmanjše razdelbe na bobnu 1”. Obvezno je potrebno uporabljati elektronski klinometer z natančnostjo najmanj ±13 μm/m. Za koordimeter glej zahteve v prejšnji točki.

Meritve delovanja razpok in dilatacij potekajo s pomočjo deformetra, s katerim se meri spremembo dolžin stranic deformetričnega trikotnika, ki ga tvorijo trije vgrajeni reperji z izvrtinami za vstavljanje konic deformetra. Dva reperja sta vgrajena na eni, tretji pa na drugi strani razpoke ali dilatacije, tako da se lahko spremlja vpliv spremembe temperature betona ter razmik ali zamik razpoke v ravnini trikotnika. V primerih, kjer je možno dva ‘deformetrična’ trikotnika namestiti na dveh pravokotnih ravninah, je potrebno določati tudi relativno prostorsko pomikanje konstrukcije ob razpoki. Za precizno merjenje sprememb dolžin je potrebno obvezno uporabiti deformeter s točnostjo merjenja najmanj ±0,05 mm. Razdalja konic tega instrumenta znaša 25,4 mm. Stabilnost instrumenta je potrebno kontrolirati z invarsko primerjalno bazo iste dolžine.

Meritve vertikalne inklinacije potekajo z inklinacijsko sondo, ki meri odklone glede na vertikalo v dveh med seboj pravokotnih oseh X in Y. Te so definirane z utori na profilirani cevi Φ 50 mm. Cev je vgrajena v predhodno izvedeno vrtino poljubne dolžine v hribino ali betonsko konstrukcijo. Cev je v vrtini stabilizirana z ustreznim zasipom ali injekcijsko suspenzijo. Pozitivna X os je orientirana v smeri pričakovane smeri pomikov. Za zagotovitev kontinuitete merjenja pomikov je potrebno obvezno uporabljati vertikalni inklinometer, dolžine 0,5 m (korak meritve je 0,5 m). Zahtevana natančnost naprave mora biti najmanj 0,02 mm na korak. Pri posameznem koraku je potrebno izmeriti odklon od vertikale dvakrat z obračanjem inklinacijske sonde. Če je vrednost pri obeh meritveh enaka, je napaka posameznega koraka zelo majhna oz. enaka natančnosti naprave.

Evidentiranje in popis poškodb betonov se izdela v 3D modelu. Oprema za pregled mora imeti RGB senzor resolucije minimalno 24 MP in 7 x optično povečavo. Minimalna resolucija IR senzorja je 640x512 in občutljivosti manjšo ali enako 5mK. Za preglede notranjosti pregrade mora imeti oprema minimalno ločljivost 12MP.

Zahteve za potrebno računalniško opremo za obdelavo in analizo rezultatov meritev

Za izvedbo predmetnih del zadošča uporaba programskih orodij, ki se uporabljajo za pripravo poročil in delo s preglednicami (Microsoft Office /Word, Excel/), za izdelavo načrtov (Autocad) ter obdelavo LiDAR podatkov, IR metričnih podatkov, fotogrametričnih podatkov in SLAM Lidar podatkov.

Posebne zahteve pri izvajanju gradbenih monitornigov objektov

Pri izdelavi letnih končnih poročil je obvezno upoštevati rezultate sistema avtomatsko izmerjenih parametrov, ki jih permanentno spremlja investitor.

Opazovalni sistemi morajo biti prilagojeni instrumentalni opremi izvajalca skladno s projektno dokumentacijo (Projekti tehničnega opazovanja, Poročila o vzpostavitvi sistemov tehničnega opazovanja, Letnih končnih poročil o tehničnem opazovanju objektov), sicer bo prihajalo do neskladja merskih sistemov in prekinjene kontinuitete meritev. Potrebno je zagotoviti kontinuiteto pri geodetskih meritvah vertikalnih in horizontalnih pomikov, pri meritvah vertikalne inklinacije in meritvah delovanja razpok in dilatacij konstrukcijskih elementov. Kontinuiteta je potrebna tudi pri rednih geološko-geotehničnih pregledih brežin akumulacij in podslapij, kjer je potrebna strokovna subjektivna ocena stanja. Enako velja tudi za ostale zahtevane redne in izredne strokovne preglede objektov.

Če ne bo možno skladno interpretirati rezultate preteklih in bodočih meritev ter pregledov, to posledično pomeni, da ne bo možno dovolj natančno oceniti obnašanja in varnosti pregradnih objektov vključno z njihovim vplivnim območjem.

3. Okvirni terminski plan izvajanja meritev in pregledov

Aktivnost	Terminsko	Stroški
Meritve in pregledi na območju pregradnih objektov z izdelavo delnih poročil	1.7. – 30.11. tekočega leta	60%
Obdelava rezultatov meritev v opazovalnih vrtinah in piezometričnih kapah (ročne meritve)	1.10. tekočega leta – 31.1. naslednjega leta	15%
Priprava letnih končnih poročil	1.1. – 31.1. naslednjega leta	25%