



PAISUTUSKÕRGUSE MÕÕTMISE JUHEND

Täitjad: Tallinna Tehnikaülikooli Keskkonnatehnika instituudi dots. Alvina Reihan, doktorant Rain Elken, prof. Enn Loigu

Töö finantseeriti SA Keskkonnainvesteeringute Keskuse „Veemajandus“ programmist

Tallinn 2012

Sisukord	
Sissejuhatus	3
1. Mõõtmiseseadmed	3
1.1 Nivelliir	3
1.2 Tahhümeeter.....	4
1.3 RTK GPS.....	4
1.4 Statsionaarsed mõõtmisviisid.....	5
1.4.1 Mõõdulatt	5
1.4.2 Ultraheli sensor	6
2. Erinevate paisutüüpide mõõtmiseärasused.....	6
3. Paisutuskõrguse mõõtmiseks sobilik aeg	8
4. Soovitused	8
5. Viidatud allikad	8

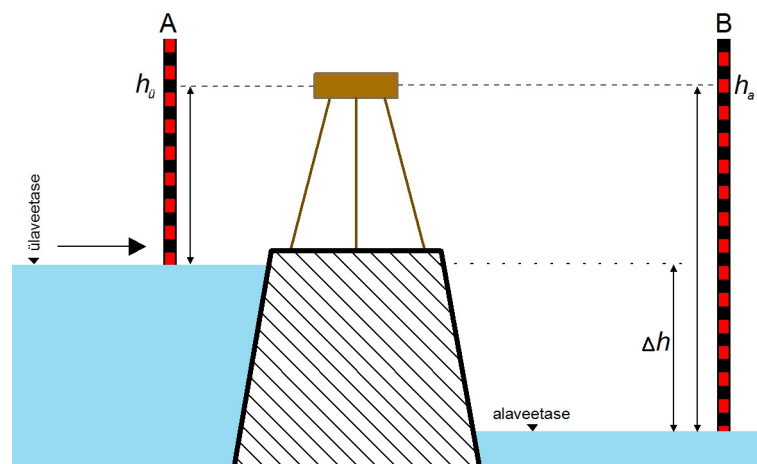
Sissejuhatus

Paisutus on veevoolu tõkestamisest põhjustatud veetaseme tõus ülalpool tõket. Veeseaduse § 17, lõike(1)^[1] järgi veekogu paisutamine on tegevus, millega tõstetakse looduslikku veetaset rohkem kui 0,3 meetrit ehk veetase vooluveekogus ülal- ja allpool paisu erineb rohkem kui 0,3 meetrit. Maapinnal paiknevate punktide kõrguskasvu määramist nimetatakse nivelleerimiseks, mis on üks põhilisi geodeetilisi töid. Sõltuvalt kõrguskasvude määramise vajalikkusest kasutatakse erinevaid nivelleerimise viise. Ülemaailmse Meteoroloogiaorganisatsioon WMO (*World Meteorological Organization*) soovitab veetasemete mõõtmisel piirduda täpsusega $\pm 1 \text{ cm}$ ^[2]. Käesolevas juhendis on vaadeldud seadmeid ja meetodeid, mille täpsusklass on lähedane WMO poolt soovitatule.

1. Mõõtmisseadmed

1.1 Nivelliir

Nivelliir^[3] on geodeesiainstrument, mida kasutatakse geomeetrilisel nivelleerimisel ning mis tagab ühtlasi kõige täpsema mõõtmistulemuse. Geomeetrilisel nivelleerimisel määratakse punktidevaheline kõrguskasv horisontaalse viseerimiskiire ja vertikaalsete lattide abil (joonis 1). Nivelleerimislattidele on peale kantud sentimeetrised või veelgi väiksemad jaotised. Tänapäeval on peaaegu kõik nivelliirid varustatud kompensaatoriga, mille abil viseerimiskiir võtab automaatselt horisontaalse asendi.



Joonis 1. Geomeetriline (liht)nivelleerimine

Paisutuskõrguse Δh saab joonise 1 järgi arvutada lati A lugemi h_b ja lati B lugemi h_a järgi: $\Delta h = \text{abs}(h_b - h_a)$.

Praegusel ajal on laialt levinud digitaalsed nivelliirid, mis võimaldavad automaatset lugemite tegemist koodlatilt, kõrguskasvu arvutust ja salvestamist. Neid on lihtsam kasutada ning minimeerivad inimliku eksimise võimaluse, kuid on samas kallimad.

Nivelliiriga mõõtmisel on suurimaks puuduseks suhteline ajakulu, kus mõõtmiseks läheb ka vaja kahte inimest – üks kes hoiab mõõdulatti ja teine samaaegselt mõõdab. Küllaltki ajamahukas on instrumendi ülesseadmine ja statiivi loodimine. Reeglina tuleb paisutuskõrguste mõõtmisel rakendada liitnivelleerimist, kus mõõdetav vahemaa jaotatakse väiksemateks lõikudeks ja mõõdetakse järjestikku iga lõigu kõrguskasv nn sidepunktide

vahel. Seda põhjusel, kuna paisutamise kaasnivad lühikese vahemaa kohta suhteliselt suured kõrguslikud erinevused. Selline sidepunktide kasutamine lisab ajakulu veelgi.

Täpsus: <1cm.

1.2 Tahhümeeter

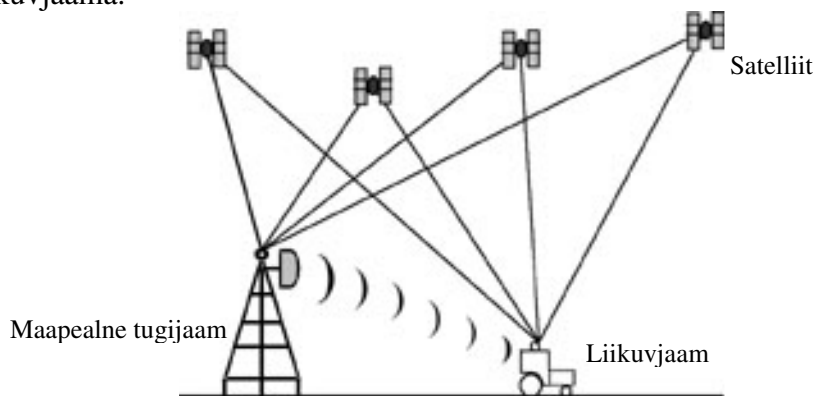
Tahhümeeter^[3] on kompleksne maamöödistustöödel kasutatav seade, mis ühendab endas teodoliidi, nivelliiri ja kaugusmõõtja. Suurima erinevusena võrreldes tavalise nivelliiriga määratakse tahhümeetril kõrguskasvud trigonomeetriliselt ehk kaldkiirega. See on võrreldes geomeetrilise nivelleerimisega oluliselt kiirem ja mugavam, kuid samas on täpsus mõnevõrra väiksem. Paisutustasemete mõõtmisel, kus on suhteliselt lühikesed vahemaad ning vajalik mõõtmine toimub sentimeetrites, ei avalda trigonomeetrilisest nivelleerimisest tulenev vähenenud täpsus samas mingit mõju.

Tänapäevaseks on võimalik kasutada ka nn robottahhümeetreid, kus instrumendi ning liikuvjaama (saua) vahel on raadioühendus, mis tagab automaatse viseerimise prismale. Sellega kaob vajadus teise inimese järgi, kes hoiab saua mõõdetavas punktis ning võimaldab olulist ajalist kokkuhoidu.

Veetaseme mõõtmistäpsus: <1cm.

1.3 RTK GPS

RTK (*real-time kinematic*) GPS^[4] (*global positioning system*) meetodil toimub maapinnal asukoha määramine satelliitide ja maapealsete tugijaamade abil (joonis 2). Tavapärasest laiatarbe GPS-ides määratakse asukoht ainult satelliitidega, kuid tulenevalt atmosfääri häiringutest ei võimalda selle täpsus (kuni 10m) teostada geodeetilisi töid. RTK GPS-i puhul arvutab tugijaam, mille asukoha koordinaadid on teada, GPS-i pakutud asukoha ja „õige“ asukoha vahe järgi välja satelliidiparandid, mis edastatakse kas raadiosaatja või telefoni teel reaajas liikuvjaama.



Joonis 2. RTK GPS-i tööpõhimõte

Tänu tugijaamalt saadud paranditele on RTK GPS-iga võimalik asukohta määrata sentimeetriste täpsustega. Kusjuures vertikaalne täpsus on üldjuhul mõnevõrra väiksem.

Viimasel ajal on hakatud üle maailma looma maapealsete tugijaamade püsivõrku, millega kaob vajadus ise tugijaama soetada ja püstitada ning võimaldab väga suurt ajalist kokkuhoidu. Reeglina on püsitugijaamade kasutamine litsentsi alusel tasuline. Eestis pakub püsijaamade abil positsioneerimisteenust OÜ Geosoft^[5], mille tarvis on üle Eesti rajatud 19 jaamast koosnev võrk.

Kuivõrd RTK GPS annab mõõtmistulemuseks vaadeldava punkti absoluutkõrguse, saab veekogu paisutuskõrguse arvutada üla- ja alavee absoluutkõrguste vahega.

Veetaseme mõõtmistäpsus: 1–5cm.

1.4 Statsionaarsed mõõtmisviisid

Eelmise kolme meetodi puhul oli tegemist mobiilsete instrumentidega, mis on mõõtmise tegemiseks vajalik kohale tuua. Olenemata seadmete aja jooksul täiustumisest tuleb nendega mõõtmisel ikkagi arvestada paratamatu ajakuluga.

Mõningatel juhtudel võib osutuda otstarbekaks kohapeale paisu juurde paigaldada statsionaarsed mõõteseadmed, mis võimaldavad edaspidi märkimisväärset ajalist kokkuhoidu.

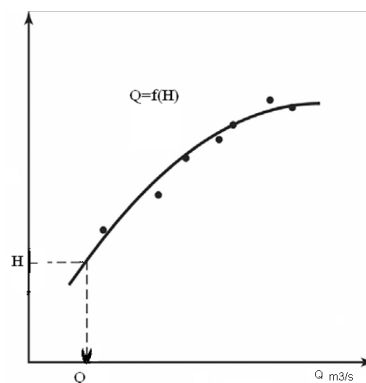
1.4.1 Mõõdulatt

Üks kõige lihtsam ja klassikalisem on statsionaarne mõõdulatt (joonis 3), mis kinnitatakse mingi kindla aluse, näiteks kaldseina külge ja millele on peale kantud sentimeetri jaotised. Üldjuhul paigaldatakse mõõdulatt ülaveetaseme jälgimiseks, kuid paisutuskõrguse mõõtmiseks tuleb mõõdulatt lisaks ka alavette monteerida. Veemõõdulati algkõrgus tuleb siduda mõne põhireeperiga, et saada veetasemete väärtused ühtses kõrgustesüsteemis. See annab võimaluse vahetult mõõdulatilt tehtud lugemi alusel määrata paisutuskõrgust erinevate vooluhulkade korral. Lugemi tegemine mõõdulatilt on iseenesest lihtne ja kiire, mõõtmisega seotud põhikulu on algne mõõdulattide paigaldamine. Arvestama peab paigaldamise juures, et kevadine jääminek ja muud välismõjud ei tohi lati asendit mõjutada.



Joonis 3. Statsionaarne mõõdulatt

Pealegi mõõdulati paigaldamine paisu alavee lävendisse annab võimaluse määrata erinevate veetasemete juures jõe lävendit läbivat vooluhulka. Selle jaoks on vaja 10-30 samaaegset veetaseme ja vooluhulga mõõtmist, mille alusel saab koostada nende vahelise sõltuvuse kõvera ($Q=f(H)$, (joonis 4)).



Joonis 4. Veetaseme ja vooluhulga sõltuvuse kõver $Q=f(H)$

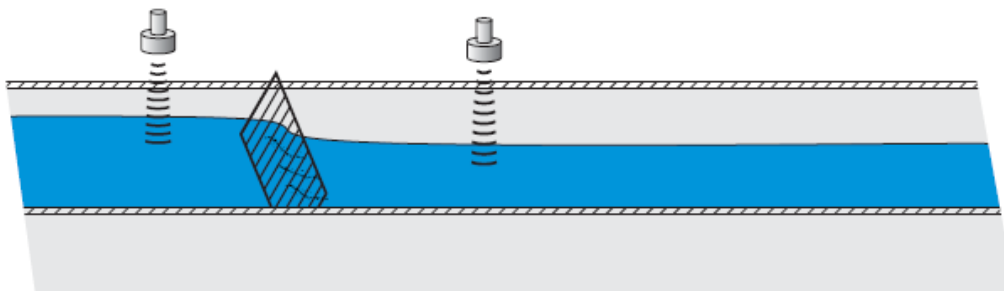
Kõveralt saab mõõdetud veetaseme(H) järgi määrata vooluhulga(Q) seda otseselt mõõtmata. See põhimõte annab kontrollorganitele võimaluse igal ajal kontrollida, kas veekasutaja tagab

allpool paisu nõutava ökoloogilise miinimumvooluhulga. Mõõtmiseks tuleb valida sobiv jõelävend.

Veetaseme mõõtmistäpsus: 1cm.

1.4.2 Ultraheli sensor

Teine võimalus statsionaarseks mõõtmiseks on paigaldada üla- ja alavette ISO sertifikaadile vastavad ultraheli sensorid ^[6,7] (joonis 5) või rõhuandurid, mis võimaldavad väga tihedate intervallidega automaatset veetasemete lugemist ja seega paisutuskõrguse arvutamist.



Joonis 5. Ultraheli sensoriga veetaseme mõõtmine

Suurim eelis võrreldes tavalise mõõdulatiga on sensori võimalus edastada andmed läbi telefoniside reaajas otse tarbijale. Samuti võimalik andmeid hilisema analüüsi jaoks salvestada. Sarnaselt mõõdulatile on sensoriga mõõdetud veetasemetest veetasemevooluhulga seose korral võimalik arvutada vooluhulki.

Puudusena esinevad sensoriga mõõtmisel komplikatsioonid talvisel mõõtmisel, kus täpseks mõõtmiseks peab mõõdetava koha veekogus hoidma jäävaba. Selleks sobivad mõõtmiskaevu paigaldatud elektrisoojenduskaablid.

Veetaseme mõõtmistäpsus: <1cm.

2. Erinevate paisutüüpide mõõtmisiseärasused

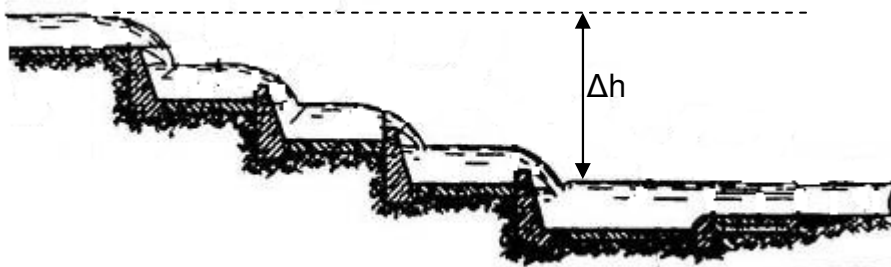
Paisutuskõrguse mõõtmisel erinevate paisude liikide lõikes ei esine mingeid olulisi iseärasusi, mida ühe konkreetse liigi puhul peaks arvestama. Üks oluline aspekt on paisu paiknemine kas avatud või tiheda võsaga kaetud maastikul. Viimast varianti esineb just vanadel mahajäetud veskipaisudel. Samuti on paljude kasutuses olevate paisude alavee ümbrus võsane. Sellest tulenevalt võib näiteks nivelliiri või tahhümeetriga paisutuskõrguse mõõtmine olla teinekord raskendatud. RTK GPS on seejuures vahend, millega mõõtmisel praktiliselt puuduvad kõik asukoha keerukusest tulenevad piirangud.

Väga oluline paisutustaseme mõõtmisel on arvestada, et paisust allalangeva vee toimel muutub teatud lõigus alavees veevool turbulentsseks (joonis 6), milles ei saa täpset veetaseme lugemist võtta. Seega tuleks valida jõesängis koht, kus vool on ühtlaseks rahunenud.



Joonis 6. Paisust allalangeva vee toimel tekkev turbulentne alavees

Kaskaadveelaskmetel paisutuskõrguse määramisel tuleb alaveetaseme lugem võtta kõige alumise astme alt (joonis 7) ehk kohas kus edasi järgneb juba looduslik veetase.



Joonis 7. Kaskaadveelaskmel veetaseme lugemite võtmine

Mõningatel juhtudel võib olla raskendatud alavees kõrguslugemi võtmiseks sobiva koha valik – peamiselt kui on tegemist kas osaliselt või täielikult karestikuks lagunenu vana veskipaisuga (joonis 8) ning pole võimalik üheselt eristada, kui kaugele piki jõge võttes ulatub inimtekkelise paisutuse osa.



Joonis 8. Pikaantsu paisu alavesi Laatre jõel

Selliste olukordade jaoks pole võimalik anda üldist juhendit ning ekspert peab kohapeal hindama ja otsuse vastu võtma sobivaima mõõtmiskoha valikul. Vajadusel on võimalik täiendavalt teostada paisu lähiümbruses jõe pikiprofiili detailmõõdistamine, mille alusel saab simuleerida seisundit, kui antud kohas paisu ei oleks.

3. Paisutuskõrguse mõõtmiseks sobilik aeg

Paisutuskõrgus lisaks paisu enda poolt tekitatud veetasemete erinevusele sõltub ka veekogu hüdroloogilisest režiimist. See avaldub looduslikul madalveeperioodil paisust allpool. Sobivaks paisutuskõrguse mõõtmise ajaks on periood mai–september (k.a.), mis ühtib madalveeperioodi sanitaar- või ökoloogilise vooluhulga määramise perioodiga. Õige ei ole veetaseme mõõtmine kevadise suurvee ja tulvade ajal, mil veetaseme kõikumine ei anna ülevaadet paisutuse mõjust madalveeperioodil, mis on oluline vee-elustikule. Paisutuskõrgust mõjutab vooluhulk voolusängis, kus suurem veekogus põhjustab suurema paisutuskõrguse. Samuti tuleb arvestada looduslikku paisutust, mida võib põhjustada veetaimede rohke kasv voolusängis suvel, talvel aga jääummistused. Inimtekkelise paisutusega sarnaneb ka kobraste põhjustatud looduslik veetaseme muutus.

4. Soovitused

Ühte head ja lihtsat igal pool rakendatavat meetodit paisutuskõrguse mõõtmiseks pole olemas. Paljuski aitab meetodi valikul teadmine, kas paisu näol tegemist ehitisega, mis on pikemalt planeeritud kestma või lühiajalisega, mis lähitulevikus võib eeldatavalt minna likvideerimisele.

Kaugemas perspektiivis oleks püsivatele paisudele edaspidise mõõtmise lihtsustamiseks soovitatav paigaldada statsionaarsed mõõteseadmed. Eriti nende paisudele, kus võib eeldada paisutustaseme kontrollmõõtmisi sagedusega vähemalt korra aastas ning esineb vajadus lisaks määrata ka vooluhulki. Siia hulka võiksid kuuluda kõik hüdroenergiat tootvad ning kaitsealustel lõhejõgedel^[8] asuvad paisud. Kas eelistada mõõdulatti või ultraheli sensoriga automaatjaama, sõltub mõõtmise operatiivsuse vajadusest. Automaatjaama paigaldamine on seejuures tunduvalt kulukam, kuid võimaldab tulevikus mõõtmiste pealt kokkuhoidu, kus ametnik ei pea ise tingimata kohale sõitma.

Mobiilsed instrumendid (nivelliir, tahhümeeter, RTK GPS) on oma seadmete kalliduse ning mõõtmiseks kuluva aja tõttu pigem sobilikud ühekordseks mõõdistamiseks ning sobilikud paisudele kus eeldatavalt tuleb paisutuskõrgust kontrollida kord mitme aasta järelt. Pealegi seadmed peavad vastama ISO sertifikaadi nõuetele. Nende seadmete kasutamine nõuab seejuures spetsiifilist väljaõpet ning et mõõdistus oleks juriidiliselt kehtiv, peab mõõtja olema registreeritud ehitusgeodeetilisi töid tegeva asutusena Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi majandustegevuse registris (MTR). Viimase eelduseks on erialane diplom või geodeedi kutsetunnistus.

Kokkuvõttes on otstarbekam mobiilsete seadmetega tehtavad mõõdistustööd tellida sisse mõnelt asjakohaselt ettevõttelt, kes omab ISO standardile vastavaid seadmeid ja vastava kogemusega erialaspetsialiste, mis tagab mõõdistamistulemuste nõutava täpsuse.

5. Viidatud allikad

1. Veeseadus - <https://www.riigiteataja.ee/akt/121122011019> (31.05.2012)

2. World Meteorological Organization (1994) „Guide to hydrological practices“ - <http://cwc.gov.in/main/downloads/WMOENG.pdf> (28.05.2012)
3. Geodeesia II osa. Randjärv, J., Ilves, E., Jürgenson, H. 1998
4. Understanding GPS: principles and applications. Kaplan, D. E., Hegarty, J. C. 2006
5. [www] <http://www.geosoft.ee/est/vrsnow> (28.05.2012)
6. [www] http://home.roboticlab.eu/et/examples/sensor/ultrasonic_distance (28.05.2012)
7. [www] <http://www.greyline.com/> (28.05.2012)
8. Keskkonnaministri määrus nr. 73 - <https://www.riigiteataja.ee/akt/898474> (28.05.2012)