

Tartu Ülikool  
Loodus- ja Tehnoloogiateaduskond  
Ökoloogia ja maateaduste Instituut  
Geoloogia osakond

Magistritöö keskkonnatehnoloogias  
Turbatootmise negatiivse hüdroloogilise mõju vähendamine  
Laura Jakobson

Juhendaja: Marko Kohv

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2015

# Sisukord

Sissejuhatus .....	3
1. Ülevaade turbatootmisest, selle negatiivsetest mõjudest ning nende vähendamise võimalustest.....	5
1.1 Turbatootmine maailmas .....	5
1.2 Turbatootmisest Eestis .....	7
1.3 Soo hüdroloogia ja veebilanssi võrrand .....	10
1.4 Turbaalade kuivendamise negatiivne mõju keskkonnale.....	11
1.5 Veemajanduse strateegiad .....	15
2. Materjalid ja meetodid .....	20
2.1 Modelleerimismeetodi kirjeldus.....	20
2.2 Mudeli alusandmed .....	21
2.3 Mudeli kontroll ja tundlikkuse analüüs .....	26
2.4 Mudeli variandid .....	27
3. Tulemused .....	29
3.1 Tundlikkuse analüüsi tulemused .....	29
3.2 Veetõkke lahenduste väljavoolu tulemused .....	33
Kokkuvõte .....	41
Tänuavaldused.....	43
Kasutatud kirjandus.....	44
Summary: Reducing the negative hydrological impact of peat production .....	50
Lisa 1 .....	52

## Sissejuhatus

Soostunud alad on olulised ökosüsteemid maastikul, sisaldades endas 1/3 kogu maailma tahkest süsinikust ja 10% kogu planeedi magevee varust (Holden *et al.*, 2005). Tänu inimtegevusele ja kliimatiliste tingimuste muutustele on alates 19. sajandist soode pindala vähenenud maailmas ligikaudu 10-20%. Soid on kasutatud peamiselt põllu- ja metsamajanduses ning hiljem turba kaevandamiseks (Joosten & Clarke, 2002). Tänapäeval on majanduslikult kõige tasuvam toota turvast energeetika ja aiandus valdkonda (Apodaca, 2013). Väiksemas mahus kasutatakse turvast meditsiinis (balneoteraapia), keskkonnatehnoloogias (filtrina) ning keemiatööstuses (Biancalani & Avagyan, 2014). 2012. aastal oli ülemaailma eeldatav turba tootmismahd 25,5 miljonit tonni (Apodaca, 2013).

Soode olulisus maastikul tuleb välja eelkõige nende hüdrooloogilist aspekti vaadeldes. Säilitades sademetest tulenevat vett ja vabastades seda järk-järgult, leevendavad sood ülemjooksul veetaseme tõusust tulenevaid järske vooluhulga tippe, mõjutades ümbruskonna jõgede ja järvede veevarustust ning sajuvee infiltreerumist põhjavee kihtidesse (Clarke & Rieley, 2010; Holden *et al.*, 2005).

Soode kuivendamine on toonud kaasa muudatusi ümbruskonna veerežiimis ja -kvaliteedis (Holden *et al.*, 2005). Veetaseme alandus turbalasundis käivitab turba mineraliseerumisprotsessi ja eralduvad kasvuhoonegaasid, mis mõjutavad maailma kliimat (Jauhiainen *et al.*, 2005; Holden *et al.*, 2004; Joosten & Clarke, 2002). Eraldi tähelepanu väärrib ka soode kuivenduse negatiivse mõju ulatus üle kuivendusobjekti piiride (Ilomets, 1998; Orru & Mikkelsaar, 2010; Kull, 2013), kus püütakse soode seisundit säilitada ja parendada. Näitena piirdekraavide mõjust looduslikule alale uuritakse antud magistritöös Umbusi raba Jõgevamaal, kus tootmisala piirdekraav ühtib Natura 2000 kaitseala piiriga. Umbusi raba sobib kasutamiseks seetõttu, et Eestis läbiviidud rakendusuringu Kulli (2013) projekti raames on antud soo kohta kogutud andmeid, mida kasutati hüdrogeoloogilise mudeli modelleerimisel. Umbusi raba näitel uuritakse turbalasundis veeliikumist ja turbalasundi parameetrite mõju veetasemele, et leida sobivaim lahendus piirdekraavide mõju vähendamiseks.

Maavarade kaevandamise tagajärjel tekkivate negatiivsete hüdrooloogiliste mõjude hindamiseks kasutavad insenerid hüdro(geoloogilisi) mudeleid, mis kirjeldavad reaalselt

voolusüsteemi looduses. Mudelistest saadud info abil kavandatakse võimalikud veemajanduse strateegiad, mis tagaksid joogivee kättesaadavust põhjavee kasutajatele ja ümbritsevatele ökosüsteemidele (Mercer & Fraust, 1980; Dietrich, *et al.*, 2007). Veemajanduse seisukohalt on oluline säilitada turbaalade unikaalne hüdroloogiline terviklikkus maastikul ja vähendada soode kuivendamisel veekvaliteedi halvenemist (Clarke & Rieley, 2010). Lisaks aitavad modelleeritud lahendused ja veemajandamise strateegiad turba tootmisaladel hinnata kasutatavate lahenduste tasuvust ja teostatavust.

Eestis vajavad kaitset eeskätt looduslikud sood ning inimtegevusest mõjutatud, kuid taastumisvõimelised turbaalad, mis mõjutaks kohalikku sotsiaal-majanduslikku olukorda positiivses suunas (Keskkonnaministeerium, 2010). Soodes oleva turba ja vee jätkusuutlik kasutamine vähendab keskkonnakahjusid ja tagab maavara olemasolu ka järeltulevatele põlvvedele (Clarke & Rieley, 2010).

Käesolev magistritöö koosneb neljast peatükist. Esimeses peatükis antakse ülevaade turbatootmisest, selle mõjudest ja mõjude vähendamise võimalustest. Teises peatükis kirjeldatakse modelleerimismeetodit ja mudeli alusandmeid. Kolmas peatükk on pühendatud tulemuste analüüsimisele ning neljandas peatükis pakub autor välja lahenduse, kuidas Umbusi raba näitel vähendada piirdekraavide poolt tekitatud veealanduse mõju looduslikele aladele.

Minu magistritöö eesmärkideks on:

- koostada turbatootmisalaga piirneva Umbusi raba näitel hüdrogeoloogiline mudel, mis jäljendaks vee liikumist turbapinnases;
- analüüsida erinevaid võimalusi turbatootmisalalt lähtuva negatiivse hüdroloogilise mõju vähendamiseks;

Käesolev magistritöö on seotud projektiga “Turba kaevandamise hüdroloogilise mõju vähendamine“, mille läbiviijaks on MTÜ Eesti Turbaliit ning mis on rahastatud Keskkonnainvesteeringu keskuse ja MTÜ Eesti Turbaliidu poolt.

# **1. Ülevaade turbatootmisest, selle negatiivsetest mõjudest ning nende vähendamise võimalustest**

## ***1.1 Turbatootmine maailmas***

Kirjanduses leiduvate andmete kohaselt katavad soostunud alad ligikaudu 4 miljoni ha suuruse ala, mis moodustab 3% kogu maismaa pindalast (Joosten & Clarke, 2002; WEC, 2013). Kõige turbarikkamad piirkonnad, seda eelkõige tänu sobivatele kliimaatilistele tingimustele, asuvad: Põhja-Ameerikas, Põhja-Aasias, Kesk- ja Põhja-Euroopas ning Indoneesias (WEC, 2013).

Läbi ajaloo on soid kogu maailmas kuivendatud selleks, et saada lisaks metsa- ja põllumaad, kuid aja jooksul on sellest loobutud seoses pinnase kõrge happesuse ja liigniiskusega (Biancalani & Avagyan, 2014). Seevastu on suurenenud turba kaevandamine energia ja soojuse tootmiseks, mistõttu on turvas oluline ressurss ülemaailmses energiamajanduses (Joosten & Clarke, 2002).

Uurides turbaalade kasutamise ajalugu on Taanis ja Inglismaal arheoloogilised leiud kinnitanud turba kasutamist juba enne Rooma perioodi (Biancalani & Avagyan, 2014), mil turvast kasutati kütteinena, peamiselt toidu valmistamiseks ja enda soojendamiseks (Trumm & Rozental, 2012). Tänu Rooma impeeriumi laienemisele hakati drenaaže ehitama ka roomlaste poolt vallutatud Põhja-Euroopa turbaaladel (Biancalani & Avagyan, 2014).

Soode kuivendamine põllumajanduslikul eesmärgil hakkas laialdasemalt arenema 11.–12. sajandil Hollandis ning levis edasi Inglismaale, Saksamaale, Rootsi, Iirimaale jm. Turba kasutuselevõttu Lääne-Euroopas soodustas metsade hävitamine ning sellest tulenev kütteinete puudus (Trumm & Rozental, 2012). Lisaks soovis ka kirik saada majanduslikku kasu ning oli oluliseks ajendiks soode taasväärtustamises erinevates Euroopa osades (Biancalani & Avagyan, 2014). Venemaal, hoogustus turbatootmine 19. sajandil kui Moskva ümbruses, tänu tööstuse arengule, hakkasid kaduma metsamassiivid (Trumm & Rozental, 2012).



**Joonis 1.** Turba kaevandamine Iirimaal aastal 1936 (BBC, 2011).

Enne 20. sajandi algust vähenes turbasaaduste tootmine ja turba kasutamine kütteinena seoses nafta pealetungile (Biancalani & Avagyan, 2014; Trumm & Rozental, 2012). Peale I maailmasõda, tekkis aga suuremõõtmeline küttekriis ning turvast hakati kasutama enim tehastes, soojus- ja elektrijaamades kütusena (joonis 1) (Trumm & Rozental, 2012; Biancalani & Avagyan, 2014).

Tööstuslinnade arenguga suurenes nõudlus kvaliteetsete puu- ja köögiviljade järele, mis tingis aiandustööstuse hüppelise arengu ning seda eelkõige arenenud riikides. 1930. a töötati Inglismaal välja esimene poodides kättesaadav standardiseeritud kasvusubstraat - rahvusvaheliselt tunnustatud "John Innes", mis sisaldas turba ja liiva segu (Biancalani & Avagyan, 2014). Vähelagunenud freesturvast või plokkturvast kasutatakse edukalt kasvusubstraadina tänini, sest on kindla koostisega, usaldusväärne ja madala turuhinnaga (Trumm & Rozental, 2012).

Peamiselt toimub Põhja-Ameerikas ja Euroopas turba kaevandamine kuivmeetodil ehk freesimisel, kus tootmispinnalt eemaldatakse kasvupind ja kuivendamiseks rajatakse kuivenduskraavide süsteem (Carpenter & Farmer, 1981; Biancalani & Avagyan, 2014). Suurema lagunemisastmega freesitud turvast või tükkturnast tarvitatakse kütteallikana koos teiste tahkete kütustega majapidamistes, väikekatlamajades või tööstustes (Biancalani & Avagyan, 2014; Trumm & Rozental, 2012).

Euroopas toodetakse hetkel aastas kokku ligikaudu 150 miljonit m<sup>3</sup> õhkuiva turvast. Umbes 30% sellest kasutatakse energia tootmiseks ning suurem osa, 70%, kasutatakse põllumajanduses ja aianduses (Lappalainen, 2009). Suurimad turbatootjad on Soome, Iirimaa, Rootsi, Valgevene, Saksamaa, Läti, Venemaa Kanada ning lisaks Eesti, Poola ja Ukraina (Apodaca, 2013). Majanduslikust vaatepunktist lähtudes on turba tootmine väga tasuv. Euroopa turba tööstusharu kasumiks on hinnatud 2-3 miljardit eurot aastas (Lappalainen, 2009).

Aktiivses kasutuses on turbamaardlaid hinnanguliselt 230 000 ha, mis moodustab 0,05% kogu Maa turbaaladest. Põhja-Ameerika tootmisalad on suurusjärgus 25 000 ha ja Aafrikas, Austraalias, Uus- Meremaal ning Aasias moodustavad aktiivsed maardlad kokku 5000 ha (Trinnaman & Clarke, 2004). Ülejäänud tootmine ongi enamjaolt koondunud Euroopasse, millest 1/3 kogu turbavarust on juba ammendunud (Ngo & Natowitz, 2009). Maailmas koguneb turvast juurde 55% olevatelt turbaaladelt. Inimtegevuse tõttu vähenevad turbavarud kiirusega 0,05% aastas (Clarke & Joosten, 2002).

Turba kaevandamine tänapäeval, eriti Euroopa Liidus ja Põhja-Ameerikas, on rangelt kontrollitud ning põhjalikult reguleeritud. Kaevandamine peab olema kooskõlas kohaliku ning riikliku planeerimiskavaga, maavarade kaevandamiseseaduste ja tegevusjuhenditega, mida kaevandajad peavad järgima, et turvast jätkusuutlikult ning ökonoomselt kaevanda (Biancalani & Avagyan, 2014).

## ***1.2 Turbatootmisest Eestis***

Eesti puhul võtavad turvastunud alad enda alla 22,3% maismaa territooriumist (Orru & Mikkelsaar, 2011) kuid enamus on sellest kuivendatud ning ainult 6 % soodest toimub tänini turba moodustumine (Paal & Leibak, 2013).

Turvas on Eesti jaoks väärtuslik maavara, olles puidu ja põlevkivi järel tähtsuselt kolmandal kohal (Paal & Leibak, 2013). Eesti turbavarude suuruseks on hinnatud 1,64 miljardit tonni, millest aktiivsed varud moodustavad 1,12 miljardit tonni (WEC, 2013; Paal & Leibak, 2013; Soosaar, 2005). Tähelepanu väärib asjaolu, et ~1/5 Eesti turbavarudest (481 miljonit tonni) asub Pärnu maakonnas. Sellele järgnevad Tartu-, Ida-Viru-, Jõgeva- ja Harjumaa. Kõik turbavõtukohtad on arvel keskkonnaregistri maardlate nimistus ning turbamaardlaks loetakse

vähemalt 10 ha suuruse pindalaga ja 0,9 m paksusega turbalasundit. Kokku on suurusjärgus 20 000 ha tegutsevaid maardlaid ja 10 000 ha korrastamist vajavaid endisi turba tootmisväljasid (Trumm & Rozental, 2012).

Eestis on turvast kasutatud kütteenaina juba sajandeid. Esimene kirjalik teos selle kohta on välja antud 1777. a pealkirjaga „Topographische Nachrichten von Lief- und Ehstland” August Wilhelm Hupeli poolt. 18 sajandil köeti turbaga mõisaid, viinakööke ja reheahjusid (Trumm & Rozental, 2012) ning hiljem kasutati kerget samblaturvast mõisates ja taludes kariloomadele allapanuks (Animägi, 1995).

19. sajandi lõpul propageeriti Baltimaades soometsade kuivendamist ja madalsoode kasutamist põllumaana ning esimene eestikeelne selleteemaline kuivendusprojektide ja metsamajanduslik teos ilmus 1896. a J. Lõggeli poolt. 1908. aastal asustati Soosaare mõisniku N. Siversi juhtimisel Balti Sooparanduse Selts, mis tegeles peamiselt soode uurimisega ning edendas soode põllumajanduslikku kasutamist (Kink jt., 1998). Juba 1960. a lõpus jõuti kindlale arusaamisele, et soode kuivendamine on ebaefektiivne ja metsakasv nendel aladel on kasin ning leiti, et kasulikum oleks kui soostunud aladel hakkaks turvas uuesti kasvama (Kink jt., 1998; Keskkonnaministeerium, 2010).

20. sajandi alguses kasutati Eestis turvast soojusallikana, seda eelkõige suurenenud kütteenaine puuduse tõttu. Meediakanalite kaudu kiideti turvast ja soovitati inimestel kasutada seda oma ahjudes, sest kütteväärtus oli turbal suurem ja hind odavam kui puidul (Trumm & Rozental, 2012). 1922. a loodi Riigi Turbatööstus, mille eesmärgiks oli siseriiklikult organiseerida turba kaevandamist ning mis ühendas omavahel erinevad turbatööstusi. Eraldi tähelepanu väärib 1921. a loodud Ulila turbatööstus, mille elektrijaam andis Tartu linnale esimest korda elektrivoolu ja 1923. a töötanud Ellamaa jõujaam Turba asulas, mille tegevus lõpetati 1960. a lõpus (Trumm & Rozental, 2012). 1938. a käivitus Tootsi briketitehas ja 1965. a toodeti briketti Oru briketitehases, mis suleti aga 1996. a (Kink jt., 1998). Väiksemad turbakaevandajad, kes kaevandasid turvast käsitsi, ühinesid ühistuteks ning nende arv ulatus 1939. a 916-ni (Juske, 1995).

Alates 1957. a toimus turba kaevandamine ainult masinatega ning järjest suureneva nafta pealetungiga suleti 1960ndatel paljud väikesed turbavõtukoerad. Teine põhjus, miks

väiksematel tootmisaladel turbatootmine lõppes, oli tootmismasinate puudumine nii väikeste tootmismahdade jaoks (Trumm & Rozental, 2012; Paal & Leibak, 2013).

Kuni NSV Liidu lagunemiseni oli Balti riikides toodetud turvas kasutusel vaid siseturul. Pärast riikide iseseisvumist ning majanduspoliitika ümberkorraldamist hääbus turba kasutamine katlamajades, majapidamistes ja ka loomade allapanuna (Keskkonnaministeerium, 2010). Peale Eesti taasiseseisvumist loodi 1992. aastal Turbaliit, mille põhiülesandeks algusaastatel oli võidelda kodumaise kapitali eest ja olla vahendajaks riigiasutuste ja turbatootjate vahel (Trumm & Rozental, 2012). 1990ndatel tootsid Eesti firmad ka turbatootmis masinaid, joonis 2 (Talleks, 2015).



**Joonis 2.** Eesti masinatootja Talleks дренаžiekskavaator ETZ-202B (Talleks, 2015)

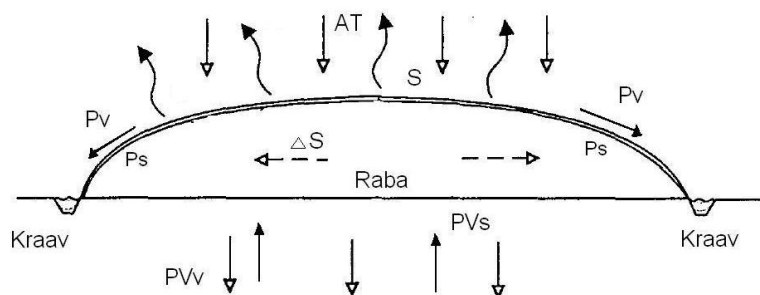
Tänaseks on Euroopas taas suurenenud nõudlus turba järele ning Balti riigid on tõusnud maailmapildis olulisteks turba eksportijateks (Keskkonnaministeerium, 2010; WEC, 2013; Soosaar, 2005). Siseriiklikult tarbitakse nüüd küttekütet kaugküttejaamades soojuseks (WEC, 2013), kuid ainult 2% kogu toodetud küteturbast kasutatakse Eestis ära energia tootmiseks elektrijaamas (Soosaar, 2005). Rohkem kui 2/3 kogu ekspordist läheb Eestist: Saksamaale, Rootsi, Hollandi ja Belgiasse (Soosaar, 2005).

Viimase 65 aasta jooksul on Eestis soid kuivendamise tõttu 2,8 korda vähem (Paal & Leibak, 2013). Tekkinud on ka suur hulk mahajäetuid turbaalaseid- 98 endist freesturba jääkala, pindalaga 9371 ha (Ramst & Orru, 2009). Need alad kujutavad endast probleeme eelkõige

kasvuhoonegaaside emissiooni tõttu, kus igal aastal paiskub õhku 10 miljonit tonni CO<sub>2</sub> (Ilomets, 2001). Väga väike osa soodest on looduslikult taastaimestunud. Vähene taastaimestumine on tingitud ebasoodsast veerežiimist (Orru & Mikkelsaar, 2011). Eestis on kaevandusalade korrastamine veel arenemisjärgus, kuid riik pöörab sellele üha enam tähelepanu ning on alustatud koostöös Euroopa Liiduga erinevaid pilootprojekte soolade taastamiseks (Trumm & Rozental, 2012). Selleks, et turba kaevandamine toimuks võimalikult ohutult ning turba kaevandamisest tulenevad spetsiifilised riskid oleksid maandatud, on ettevõtjal kohustus järgida kaevandamiseseaduses ja selle alamaktides sätestatud nõudeid. Olulisemad õigusaktid, mis Eestis reguleerivad soode kaitset ja majandamist sealhulgas turba kaevandamist, on veeseadus; säästva arengu seadus; maaparandusseadus; looduskaitseadus; maapõueseadus; keskkonnamõjude hindamise ja keskkonnajuhtimissüsteemi seadus; metsaseadus (Trumm & Rozental, 2012).

### 1.3 Soo hüdroloogia ja veebilanssi võrrand

Mõistmaks inimtegevuse mõju soo hüdroloogiale, tuleb kõigepealt vaadelda üldist veebilanssi (joonis 3) ja veeliikumist turbalasundi kihtide vahel, arvestades sealjuures soo teket ja arengustaadiumit (Brooks, 1988; Rydin & Jeglum, 2006). Veebilansi võrrand koosneb sisse- ja väljavoolust, sealhulgas põhjaveekihtide vahel olevast veevahetusest ja turbalasundi veemahtuvusest (Gregory, 1984).



**Joonis 3.** Raba veebilanss.  $S + Ps + PVs = AT + Pv + PVv + \Delta S$ , kus S on sademed, Ps on pindmine sissevool, PVs on põhjavee sissevool, AT on aurumine (aurumine maapinnalt ja taimedelt), Pv on pindmine äravool, PVv on põhjavee väljavool sügavamatesse kihtidesse,  $\Delta S$  on veemahtuvuse muutus (Rydin & Jeglum, 2006).

Ehkki kõikide näitajate suurused sõltuvad aastaajast ja meteoroloogilistest tingimustest, mängivad veebilansis aurumine ja transpiratsioon siiski suurimat rolli (Gilgman, 2002;

Dietrich *et al.*, 2006). Soo hüdroloogiat vaadates toimub enamus veeliikumisest turba ülemises kasvavas turbakihis ehk akrotelmis ning veejuhtivus turbalasuundi kihtide vahel on suurem horisontaalsuunas (Kull 2013; Brooks, 1988) ning halveneb sügavuse ja lagunemisastme suurenedes, sest poorid on väiksemad ja turvas on tihenenud (Joosten & Clarke, 2002; Carpenter & Farmer, 1981, Valk, 1988). Aurumise hulk jääb keskmiselt 60% juurde kogu maha sadanud sademete hulgast (Gilman 1993, 2002). Ülejäänud infiltreerub pinnasesse või voolab mööda ülemist kihti jõgedesse, kraavidesse. Eestis sajab aastas keskmiselt 600–800 mm, millest pindmine äravool moodustab 260 mm ehk 39% (Allikas, 2004).

Turbalasuundi veemahtuvus suureneb turba kasvuperioodil, mil turvas seob endaga vett (Carter, 1997) ning sõltub veetasemest (Dierich *et al.*, 2007). Raba on sesoonselt veetaseme kõikumistest enim mõjutatud (Valk, 2005). Sademeterohkel perioodil kui turbalasuundis endas on veetase madalal ja turba veemahtuvus suur, siis infiltreerub vett turbasse rohkem. Juhul kui veetase on maapinnale lähemale, siis vähem (Carter, 1997; Holden *et al.*, 2005). Soo horisontaalset veevahetust reguleerivad sood ümbritsevad pinnavormid ja nende setete lõimis ning on mõjutatud veevõrgu tihedusest (veesooned, laukad, älved). Mida tihedam on veevõrk, seda kergemini saab kuivenduskraavidega rikkuda kogu veesüsteemi (Kink jt, 1998; Brooks, 1988).

Soode ökosüsteemi säilimise ja taastamise puhul on peamiseks võtmeks hoida veerežiim tasakaalus. Selle saavutamiseks on oluline, et toimuks turbasambla kasvamine ja turba moodustumine ning säiliks vee jõudmine lasundisse nii, et turbakihid küllastuksid veega (Regan, 2013). Veetase peaks turbalasuundis ulatuma maapinna lähedale (0-25 cm) ja põuaperioodil ei tohiks langeda sügavamale kui 30 cm (Paal, 2007). Veetaseme püsiva alanemise ja turbatekkekihi kadumise tagajärjel suureneb pindmine äravool ja auramine (Joosten & Clarke, 2002; Rydin & Jeglum, 2006; Regan, 2013; Kull, 2013). Kuivendamisega kaasnevad ka mitmed teised negatiivsed keskkonnamõjud nii tootmisalal kui ka looduslikel soosaladel, mis tulevikus muudab nende alade vormi ja funktsiooni (Joosten & Clarke, 2002).

#### ***1.4 Turbaalade kuivendamise negatiivne mõju keskkonnale***

Jääksoode käsiraamatus (Paal, 2007) on välja toodud, et kuivenduskraavide mõju on 20–150% kuivendatava ala pindalast. Tabelis nr 1 on välja toodud vastavalt kirjandusest leiduvate

allikate järgi määratud kuivenduskraavide mõju ulatus akrotelmile ja katotelmile (Landry & Rochefort, 2012).

**Tabel 1.** Kuivenduskraavide mõju ulatus turbakihtidele (Landry & Rochefort, 2012).

Mõju akrotelmile e. moodustuv turbakiht	Mõju katotelmile e.veetasemest sügavamal asuv turbaasund	Allikas
	10 m	Van der Schaaf (1999)
	15 m	Prévost et al. (1997)
	25 m	Landry and Marcoux (2011)
	5 -50 m	Boelter (1972)
	60 m	Roy et al. (2000)
	40 m	Marcotte et al. (2008)
30-50 m		Rothwell et al. (1996)
30 m		Belleau et al. (1992)
60 m		Poulin et al. (1999)
110-135 m		St-Arnaud et al. (2009)
150-200 m		Trettin et al. (1991)

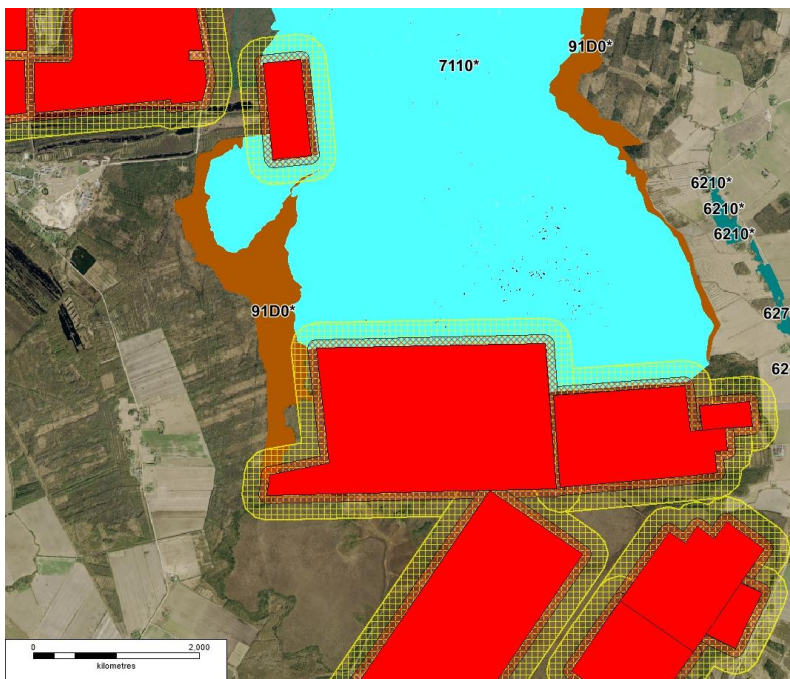
Eestis tehtud seire- ja rakendusuringud, Kulli (2013) projekti I etapi aruanne ja Orru ja Mikkelsaare (2011) poolt koostatud aruanne, on määranud kuivenduskraavide negatiivsed mõjud ja nende mõjude ulatuse looduslikele aladele. Aruannetes on toodud välja, et piirdekraavidest tingitud veealanduse mõju ulatub rabades vähemalt paarisaja meetrini (Kull, 2013; Orru & Mikkelsaar, 2010). Märkimisväärne fakt siinjuures on see, et peaaegu kõik Eesti sood on osaliselt või täielikult ümbritsetud kraavidega (Kohv & Salm, 2012; Kull, 2013) ning mitmed turba tootmisalad ja probleemsed jääksood asuvad kõrvuti looduskaitsealadega (joonis 4, 5). EL loodusdirektiivi (92/43/EMÜ) kohaselt on enamus Eesti looduslikus seisundis olevatest soodest väga suurt tähtsust omavate elupaikade nimistus (Keskkonnaministeerium, 2010). Natura 2000 hoiualade võrgustiku abil kaitstakse ja säilitatakse seal leiduvate haruldaste liikide looduslike levikualasid (LKS §70).

Natura 2000 alade pindala, mis on mõjutatud kuivenduse piirdekraavidest, on kokku ligikaudu 5000 ha (tabel 2 ja joonis 4), mida kuivendatakse tahtmatult samamoodi nagu turba tootmisalasid (andmed Marko Kohv, käimasolev KIK projekt „Turba kaevandamise

hüdroloogilise mõju vähendamine“). Suurusjärguna saab välja tuua, et Eestis kaevandatakse turvast hetkel 20 000 ha (Turbaliit, 2015; Trumm & Rozental, 2012). Probleem seisneb selles, et lisaks kuivendatakse tahtmatult ligikaudu 1/3 turbaalasi juurde, kus tegelikult soovitakse soode looduslikku seisundit säilitada ja parendada.

**Tabel 2.** Piirdekraavituse mõju pindala Natura 2000 aladele (andmed Marko Kohv, käimasolev KIK projekt „Turba kaevandamise hüdroloogilise mõju vähendamine“).

Kaugus mäeeraldisest (m)	Kuivendusest mõjutatud Natura 2000 alad (ha)
100	1568
300	4796



**Joonis 4.** Piirdekraavituse mõju pindala Natura 2000 aladele. Joonisel tähistavad Natura tüübid 7110 rabasid ja 91D0 rabametsasid. Lisamärge \* tähendab, et need Natura elupaigatüübid on prioriteetsed. Punane viirutus ümber tootmisala (punane ala) tähistab 100 m kuivendusemõju ja kollane viirutus 300 m (andmed Marko Kohv, käimasolev KIK projekt „Turba kaevandamise hüdroloogilise mõju vähendamine“).

Piirdekraavide kaugusest ja sügavusest sõltub veetase ning vee liikumine turbalasundis (Valk, 2005). Kulli (2013) aruandes leiti, et eriti tugevalt on mõjutatud sügavate kraavidega madalsoo-siirdesoo-raba üleminekuga sookompleksid, kus tootmisala piirdekraav on rajatud enamasti siirdesoo serva ning ulatub mineraalkihini. Tulemuseks on madalsoo täielik hävimine ning kuivenduskraavist tingitud turba mineraliseerumine ulatub vähemalt 100 meetri kauguseni. Mineraliseerumise protsessi tulemusena eralduvad kasvuhoonegaasid CO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> (Strack, 2008; Biancalani & Avagyan, 2014, Holden *et al* 2004, Kull, 2013). Veetaseme alandusest tulenevalt ulatub kõikjal naaberladel CO<sub>2</sub> gaaside emissioon vähemalt 90 m kaugusele; nõrk mõju ulatub 245 m kaugusele ja looduslik foon on saavutatud 440 m kaugusel kraavist (Kull, 2013).

Ehkki kasvuhoonegaaside emissiooni hulk sõltub sootüübist, veetaseme langusest (Kull, 2013; Hagberg 2008), sõltub see ka ajast kui kaua lastakse turba lagunemisel toimuda (Grönroos *et al.*, 2013). Eesti turbaaladel peetakse kaevandamise poolt rikutud soodes kasvuhoonegaaside eraldumist umbes 10 korda suuremaks kui samad alad oleksid kaevandamata olekus (Paal & Leibak, 2013).

Veealanduse ja sellest tuleneva turba mineraliseerumise tulemusena toimub ka turba tihenemine ja pinnase kokkuvajumine. Kulli (2013) aruandes on Umbusi rabas turbalasund kokku vajunud kraavi ääres 3,8 m ja Laukasoo 2,2 m. Probleemiks on maapinnalt suurenenud vee äravool (Holden *et al*, 2004) ning turbakihtide veejuhtivuse halvenemine ja pinnalt aurumise vähenemine seoses turbakihtide kokkuvajumisega (Joosten & Clarke, 2002; Carpenter & Farmer, 1981). Kokkuvajunud pinnasesse võivad tekkida pingelõhed, mis juhivad omakorda vett paremini ära ja aitavad kaasa erosioonile kraavi ääres (Kull, 2013).

Turbavee keemiline koostis ja pH oleneb suuresti kasvava taimestiku liigilisest koostisest, eriti turbasamblast (Holden *et al.*, 2004) ja on mõjutatud turbalasundi toitumistingimustest (Oru & Mikkelsaar, 2011). Rabavesi on toksiline teiste ökosüsteemi (järve või jõe) taimedele ja organismidele, seda eelkõige ebasoodsalt madala pH ja kõrge humiinainete, raskemetallide sisalduse tõttu (Holden *et al.*, 2005). Allavoolu asetsevates veekogudes võib suurenenud toitainete tõttu halveneda vee läbipaistvus ja alaneda organismidele vajalik hapnikusisalduse tase (Carpenter & Farmer, 1981, Biancalani & Avagyan, 2014). Järv või jõgi, kuhu kaevandusvesi suunatakse, suudab madalat pH väärtust puhverdada ning tõsta alles siis kui

sama suur hulk vett tuleb juurde, mis soost ökosüsteemi lisandus (Carpenter & Farmer, 1981, Joosten & Clarke, 2002). Orru ja Mikkelsaare (2010) ning Kull (2013) uuringutes on toodud välja muutused vee füüsikalises–keemilistes omadustes. Lisaks veele muutub ka pinnases endas kuivaine- ja toitainete sisaldus–alaneb orgaanilise aine sisaldus ning üldlämmastiku sisaldus muutub kõrgemaks (Kull, 2013).

Kraavide loomise tagajärjel on ohustatud maapinnalähedase põhjavee kaitstus ja suurenenud on põhjavee reostusohu (Kull, 2013). Peale selle võib mõjutada alanenud veetase maapinna lähedase põhjavee tasemest sõltuvaid elupaikasid ja ümbruskonna allikaid (Allikas, 2004).

Kaevandataval alal hävineb taimkate täielikult juba maapinna koorimise tõttu. Kraaviäärsetel looduslikel aladel on veetaseme alanduse tõttu hakanud paremini kasvama puud ja tunginud sisse võõrliigid, kes taluvad paremini kuivemat keskkonda (Orru & Mikkelksaar, 2011; Kull, 2013; Paal & Leibak, 2013). Sel viisil hävinevad kooslusetüübid, aga ka paljud taime- ja loomaliigid muutuvad turbaalade vähenemise tõttu haruldasteks või ohustatuks (Carpenter & Farmer, 1981; Biancalani & Avagyan, 2014; Landry & Rochefort, 2012).

Kõiki eelpoolnimetatud keskkonnamõjusid on võimalik vähendada kui kasutada sobivaid veemajandamise strateegiaid. Oluline on iga leevendamisevõtte juures jälgida kaevandusala koha spetsiifikat, topograafiat ning piirkonna vajadusi (Wheeler & Shaw, 1995).

### ***1.5 Veemajanduse strateegiad***

Turba tootmisala piires kasutatakse mitmeid veemajanduse strateegiaid. Odavaimaks ja efektiivsemaiks võtteks on ehitada kuivenduskraavide võrgustikke koos settebasseinide ja ülevoolu tammidega, et parendada väljuva kaevandusvee kvaliteeti ja vähendada puhastamist vajava kaevandusvee hulka (Ihmre *et al.*, 1991; Klove *et al.*, 1997, 2000; IWLERN, 2010). Kaevandusvee puhastamiseks kasutatakse edukalt tootmisala kõrval asuvaid tasaseid märgalasid, mis töötavad pinnasefiltrina ja neil kasvatakse energiavõsa nt pilliroog ja paju (Vayrynen, 2010; Carpenter & Farmer, 1981). Kõige kallim variant oleks tootmisala kõrvale veepuhastusjaama rajamine ja vee keemiline töötlemine, et alandada kaevandusvee pH-d ja toitainete sisaldust (IWLERN, 2010; Vayrynen, 2010).

Juba kaevandatud turbaväljade puhul oleks keskkonnamõjude vähendamiseks tarvilik need alad rekultiveerida märgaladeks – kaevandada turvas lõpuni, sulgeda kraavid ja dreanaatorud, langetada puud ning muuta tootmisala pind tasaseks, et turbaväljal taastuks veerežiim (Grönroos, 2013) Seejärel taastada vegetatsioonipind, istutades jääkaladele peamisi soos kasvavaid taimi – eelkõige turbasambraid, et turvas hakkaks uuesti moodustuma (Holden *et al.*, 2004; Paal, 2007; Schumann & Joosten, 2008).

Turbaalade taastamine on kallis nii Eestis kui ka teistes Euroopa riikides. Inglismaal, kus on soid kuivendatud üle 1 miljoni ha, hinnatakse turbaalade taastamiseks kuluvaks keskmiseks maksumuseks Rahvusvahelise Loodusvarade ja Looduskaitse Ühingu (IUCN) poolt 1 500 £ hektari kohta (FAO, 2013). Ehki majandusliku poole pealt vaadates on kulutused suured, tuleks sood siiski taastada, sest need alad on hinnatud palju suurema „ökosüsteemi teenuse“ tasuvusega, 6000 – 45 000 dollarit ha aastas<sup>-1</sup>, kui näiteks põllumaad, 200-300 dollarit ha aastas<sup>-1</sup> (Lamers *et al.*, 2015; Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Eestis läbi viidud seire- ja rakendusuringud on välja toodud, et kraavide sulgemisel või nende looduslikul kinnikasvamisel on algne veetase turbalasundis peaaegu taastunud (Kohv, 2013; Kull, 2013). Veetaseme ühtlustumine on kaasa aidanud äärealadel liigilise koostise taastumisele, peatub turba mineraliseerumine ja sellest tulenev turba kokkuvajumine (Kull, 2013). Tõstes veetaset väheneb CO<sub>2</sub> ja N<sub>2</sub>O eraldumine atmosfääri (Strack, 2008; Kull, 2013).

Veetaseme tõstmine turbaväljade puhvertsoonides aitab kokku hoida aega ja raha, mis kulub antud piirkonna taastamisele. Leidmaks lihtsat ja odavat viisi, kuidas vähendada piirikraavi mõju looduslikul alal, võib see tuua kasu ka kaevandajatele, kes saaks uutel kaevandusaladel arvestada oluliselt väiksemate puhveraladega ning saavad selle arvelt rohkem turvast kaevandada.

Selleks, et takistada ja kontrollida pinnalt äravoolu looduslikel aladel tuleks tekitada veeliikumise ette tõkkeid. Üks moodus on ehitada terve piirdekraavi ulatuses sein või tamm. Inglismaal, Irimaal ja Hollandis on tammide ehitamine soode taastamiseks või nende konserveerimiseks üks populaarsemaid lahendusi. Juhul kui turba kokkuvajumise tõttu on kraaviäärne kallak liiga suur, siis sellisel juhul on mõistlikum paigaldada mitu tammi järjest (Wheeler & Shaw 1995; O’Kelly *et al.*, 2008). Eesti puhul on mitme tammi rajamine soo

konserveerimiseks liiga kulukaks ning tihtilugu pole see ka vajalik. Tabelis 3 on toodud välja käimasoleva KIK projekti „Turba kaevandamise hüdroloogilise mõju vähendamine“ raames tammide rajamiseks sobivaimad kaugused piirdekraavist. Antud tabelist on näha, et Umbusi raba näol on tegu pigem erandiga. 3,8 m langu põhjuseks Umbusi soos on suur turbalasuundi paksus ja pikaajaline kuivenduse mõju, seoses mineraalkihini ulatuvate piirdekraavidega (Kulli, 2013). Enamasti on Eesti soodes kraavi äärne lang väiksem ning tammi saab rajada kraavile lähemale.

**Tabel 3.** Tammi kaugused piirdekraavist (andmed Marko Kohv, käimasolev KIK projekt „Turba kaevandamise hüdroloogilise mõju vähendamine“).

Koht	Tammi kaugus kraavist (m)	Tammi kõrgus (m)	Tammi pikkus (km)
Umbusi	30	1,2	2,3
Mõksi	25	1,2	2,3
Keressaare	5	1	3,5
Laukasoo	15	1,2	3,2
Lavassaare N S külg	5	1	3

Arvestada tuleks, et tammi ehituses kasutatava materjali toomine kaugemalt võib märkimisväärselt suurendada veetõkke maksumust. Veetaseme kontrollsüsteemi kavandamisel peab arvestama ka suurenenud veehulgaga kevadise suurvee ajal. Tamm peab olema piisavalt kõrge ning tammi peavad olema paigaldatud ka ülevoolutorud, et üleliigne vesi pääseks välja ega põhjustaks tammide/paisude purunemist. Tammi peab aegajalt hooldama ning jälgima, et tammid ei kuivaks läbi, et tammidesse ei tekiks pragusid, mis põhjustavad tammi purunemist (Wheeler & Shaw 1995; Streefkerk & Zandstra, 1994). Sõltuvalt asukohast ja materjali kättesaadavusest võib kasutada tammi ehituseks savi või hästi lagunenenud turvast (Carpenter & Farmer, 1981; Schumann & Joosten, 2008; Wheeler & Shaw 1995, Brooks, 2014). Enamjaolt on soovitatud kasutada märga ja suure lagunemisastmega kiulist turvast (von Post skaala H6-H8), mis oleks ühtlase koostisega ja ei sisaldaks puujuuri, mis võiks tammi lõhkuda. Oluline on, et veetõkke ulatuks halvasti vett läbilaskva pinnaseni. Juhul kui pinnast katab kuiv või väiksema lagunemisastmega turvas tuleb see eelnevalt eemaldada (Wheeler & Shaw 1995, Brooks, 2014). Tammi servad on soovitatav rajada 30-40

kraadise kaldega, ning tammi kõrgus ning ülejäänud parameetrid on välja toodud tabelis 4, (Streefkerk & Zandstra, 1994) Bargerveen raba näitel.

**Tabel 4.** Tammi dimensioonid (Streefkerk & Zandstra,1994).

Vee kõrgus tammi sisemisel poolel (m)	Tammi kõrgus (m)	Tammi laius ülevalt (m)
0,5-0,75	1,5	3
0,75-1	2	4
1-1,5	2,5	5

Savi on materjalina kasutatav pigem õhema turbakihiiga madalsoodes ja seda eelkõige mineraalkihi peal. Rabas asuv savist tehtud tamm võib olla liialt ebastabiilne ja raske. Lisaks võib tekkida probleem seoses savi läbikuivamisega, mistõttu tekivad praod ja lõhed, mis juhiks vett kiirelt ära. Savi muudab ka vee keemilist koostist, mõjutades nii taastuva turbasambla kasvamist (Brooks, 2014).

Veevoolu tõkestamiseks on kasutatud ka tehislikke materjale, mis on vettpidavad, näiteks plastik või metall, mis muudab veetõkke maksumuse väga kalliks (Carpenter & Farmer, 1981; Schumann & Joosten, 2008; Wheeler & Shaw 1995). Plastikust või metallist sein on arvesse võetav juhul kui suure lagunemisastmega turvast pole piisavalt saada (Brooks, 2014). Plastikmembraani kasutamisest ümber soo saab tuua näitena Wicken madal soo (Cambridgeshire) Inglismaal, Corlea raba Iirimaal ja Fochteloverveen raba Hollandis (Wheeler & Shaw, 1995; Falcorner & Goodwin, 1994). Streefkerk & Zandstra (1994) ja Wheeler & Shaw (1995) on arvamisel, et plastikmembraani sügavus peaks olema vähemalt 1 m ja soovitatavalt läbima ainult vett hästi läbilaskva turbakihi. Plastiksein peaks võimaldama ka sool kokku tõmbuda ja paisuda vastavalt soo veemahtuvuse muutustele. Plastikseina paigaldamiseks tuleb ka kasvav turbakiht eemaldada ja katta turbavalliga, mis aitab akrotelmi kihis vett kinni hoida (Streefkerk & Zandstra, 1994; Wheeler & Shaw, 1995; Brooks, 2014).

Alternatiivseks soo isoleerimise viisiks on väiksema lagunemisastmega turvas asendada suurema lagunemisastmega. Antud meetodit on kasutatud Saksamaal (Hahnenmoor), et tekitada looduslik, halvasti vett läbijuhtiv sein ja vähendada seeläbi veeliikumist läbi pinnase (Wheeler & Shaw, 1995; Brooks, 2014).

Soo konverseerimise ja seeläbi vee hoidmise asemel on võimalus vett juurde tuua pumpamise teel. Nagu iga veemajanduse strateegia puhul, tuleb vee pumpamisel kaaluda selle mõistlikkust ja tasuvust. Üldiselt peetakse pumpamist ajutiseks lahenduseks, sest nõuab inimesi, kes aegajalt vaataksid üle pumbad ja hooldaksid vajadusel süsteemi. Pumpamise puhul on probleemiks ka kulutatava energia maksumus ning kasutatava vee olemasolu ja kvaliteet. Isegi kui kasutatakse sademetest kogutud või settebasseinides olevat vett, võib pumpamise tagajärjel tekkinud liigne aereeritus kaasa aidata turba mineraliseerumisele. Suurenenud on oht erosiooniks, sest pumbatav vooluhulk võib olla liialt suur ja kujutada ohtu kraavi külgedele (Wheeler & Shaw, 1995; Brooks, 2014).

## 2. Materjalid ja meetodid

### 2.1 Modelleerimismeetodi kirjeldus

Hüdrogeoloogilisi mudeleid modelleeritakse, et leida lahendusi geotehnoliste ja keskkonna probleemidele. Mudelite abil saab uurida põhjaveekihi veevarustatust, saasteaine levimist ja kaevandustes kuivendamise mõju ulatusi (Lundin jt, 1999). Põhjavee simulatsioon peab võimalikult täpselt jälgendama ehituselt ja vooluvee liikumiselt reaalse veevoolu käitumist pinnases. Selleks, et jälgida põhjavee käitumist, kasutatakse peamiselt kahte liiki mudeleid: füüsilisi ja matemaatilisi mudeleid. Matemaatilisi mudeleid jagatakse omakorda: analüütilisteks, mis on lihtsustatud kujul võrrand vee voolamisest ning numbriliseks, kus veevoolu võrrand on lahendatud maatriksina (Mercer & Fraust, 1980; Geoslope, 2012). Numbriline mudel on kasulik, et võrrelda alternatiive - muutes mudelis vaid ühte parameetrit saab hinnata individuaalsete parameetrite muutuste olulisust (Geoslope, 2012).

Hüdrogeoloogilisi mudeleid saab jaotada vastavalt probleemidele. Peamine neist on põhjavee voolumudelit ehk vee voolamine läbi pinnase. Põhjavee voolumudel on veevarustuse probleem kirjeldatud ühe võrrandina - tavaliselt veetaseme väärtusena. Põhjavee voolumudelid on leidnud laialdast kasutust regionaalse põhjaveekihi uuringuteks, põhjavee vesikondade analüüsimiseks ja kaevude jõudluse hindamiseks.

Kui probleemid on seotud veekvaliteediga, siis lisandub lahustunud aine kontsentratsiooni võrrand põhjavee voolu võrrandile ja sellist mudelit nimetatakse lahustunud aine transpordi mudeliks. Mudeli eesmärk on ennustada tekkivate keskkonnaprobleemide mõju, mis kaasnevad ohtlike jäätmete ladustamise tõttu. Antud mudelit saab kasutada ka merevee sissetungi, maa-aluse radioaktiivsete jäätmete, nõrgvee jne liikumise jälgimiseks.

Probleemid, mis on seotud temperatuuriga, vajavad lisaks põhjavee voolu võrrandile temperatuuri võrrandit ja sellist mudelit nimetatakse temperatuuri transpordi mudeliks. Temperatuuri transpordi mudeleid kasutatakse seoses geotermilise energia, soojuse säilitamisega veekihi ja termiliste probleemide korral, mis on seotud reoaktiivse prügi ladustamise tõttu maaalustesse ladudesse.

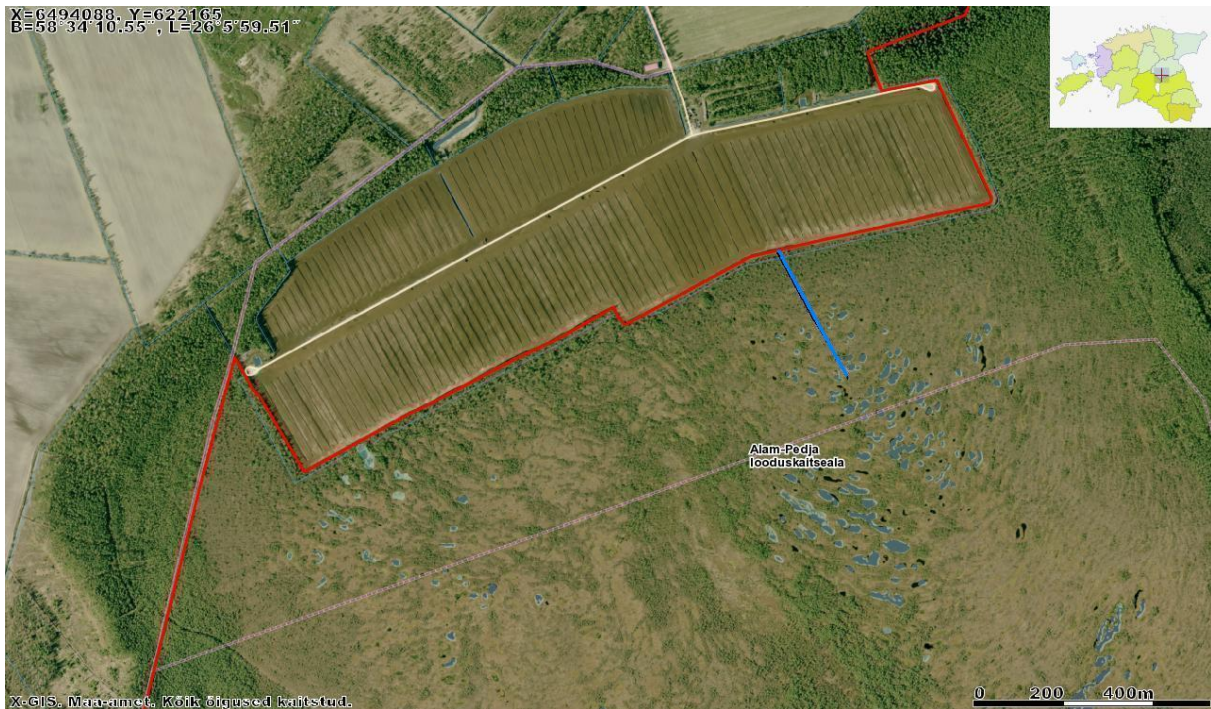
Deformatsioonimudelid, mis kirjeldavad vee liikumist ning põhjaveekihi deformatsiooni, kasutatakse, et uurida kuivendamise tagajärgi, mille tõttu tekib pinnase tasakaalu muutus ja toimub pinnase tihenemine (Mercer & Fraust, 1980).

Käesolevas magistritöös kasutati RocScience Slide 6 tarkvara, mille abil loodi 2D hüdrogeoloogilised mudelid. Tegu on numbrilise mudeliga, kus kasutati põhjavee tasakaalulise voolamise tingimuse meetodit küllastunud või küllastumata pinnases (Steady State FEA). Põhjavee liikumist määratakse modifitseeritud Darcy seadusest. Steady State FEA valiku puhul peab lisaks pinnase parameetritele määratlema mudeli piirtingimused (infiltratsioon, poorirõhk jne), et viia läbi poorirõhu analüüs mudeli sees.

## ***2.2 Mudeli alusandmed***

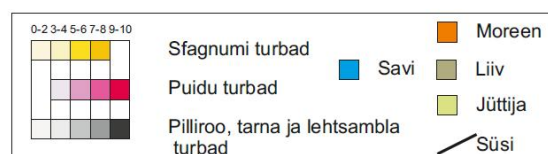
Umbusi raba näitel koostati lihtsustatud hüdrogeoloogilise voolumudeli, mis jäljendab klassikalise sookompleksi üleminekut: madal-soo-siirdesoo-raba. Umbusi raba valiti mudeli koostamiseks seetõttu, et turba tootmisala kõrval asub Natura 2000 kaitseala (joonisel 5) ja tootmisala piirneb kuivenduskraaviga, mille negatiivset mõju on uuritud rakendusuuringu Kulli (2013) I etapi projektis. Georadari läbilõige, puurimiste andmed on Kulli (2013) projektist saadavad ning lisaks saadi Marko Kohvi käest piesomeetrite mõõtetulemused ja turba filtratsioonikoefitsientide väärtuste vahemikud.

Umbusi rabas on uuritava transektil turba paksus 8 m ringis. Üldiselt jääb Eesti rabades lasundi paksused vahemikku 5-6 m. Ehki Kulli (2013) projektis oli uuritud ka Laukasoo madal-soo-siirdesoo-raba sookompleksi, mille turba tüsedus jäi Eesti keskmiste väärtuste juurde, siis Laukasoo ei osutunud sobivaks hüdrogeoloogilise mudel koostamiseks, sest turbalasundi all olev pinnakate ei olnud tasane, vaid tõusis kraavi suunas.

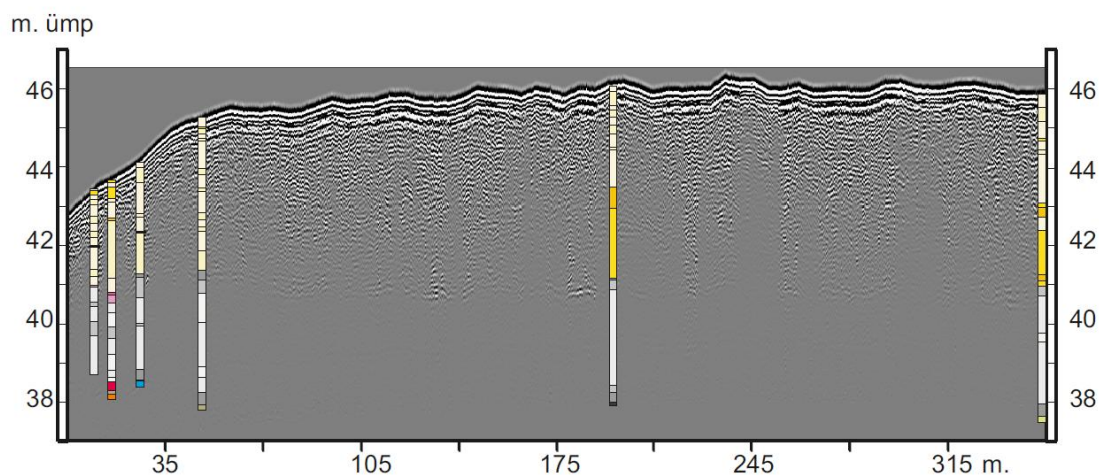


**Joonis 5.** Umbusi tootmisväli ja Natura 2000 kaitseala piir, mis on märgitud punase joonena (Maaameti geoportaal). Lisaks on joonisele kantud sinise joonena uuritava mudeli/transekti asukoht.

Lihtsustatud hüdrogeoloogiline mudel kopeerib uurimispiirkonna maapinna ja aluspõhja kuju, turbalasundi kokkuvajumist kraavi ääres ning vee liikumist turbalasundis ja piesomeetrite tulemusi. Mudeli pikkuseks on sisestatud 200 m, sest vastavalt Kulli (2013) aruandele võib veetaseme alanduse mõju ulatuda Umbusis kuni 200 m. Mudelile on peale kantud 6 piesomeetri asukohad, mis asuvad kraavi servast 10, 15, 25, 40, 196 ja 198 m kaugusel. Viimane piesomeetri punkt (piesomeetrite tähistus nr 7 ja 7.5) asus rabas 350 m kaugusel ja selle piesomeetri andmeid kasutati mudelis 198 m peal. Kõik piesomeetrid on maapinnast 1,3 m sügavusel ning lisaks nendele on veel esimeses (piesomeetri tähistus 1.5) ja viimases (piesomeetri tähistus 7.5) punktis piesomeetrid, mis ulatuvad mineraalkihini vastavalt 5,6 ja 8,91 meetrini.



### Umbusi transekt



**Joonis 6.** Umbusi transekti läbilõige puurimiste ning georadari andmete põhjal. Transekti asukoht on välja toodud joonisel 5 (Kull, 2013).

Umbusi transekti läbilõige (joonis 6) võeti aluseks mudeli koostamiseks. Läbilõikel on näha, et Umbusi raba kuivenduskraavi lähedal on turvas tihenened ning vajunud kuni 2 m. Mudeli modelleerimisel kasutati madalsoo ja raba kihtide eristamiseks georadaril väljajoonistunud madalsoo-siirdesoo piiri. Mudelist jäi välja siirdesoo faas, sest see turbakiht oli liiga õhuke, et seda eraldi kanda lihtsustatud mudelile.

Mudelis (joonis 7) on kokku 6 erinevat pinnasekihti, mille veejuhtivuse (K) väärtused on turba keskmiste filtratsioonikoefitsiendi väärtuste vahemikus ja esitatud tabelis 4. Kraavi lähedal, kus turvas on märkimisväärselt vajunud ja koosneb 2 kihist – madalsoo ja raba, on kihtide veejuhtivused halvenenud seoses turba kokkuvajumisega. Lisaks puudub seal ka akrotelm, sest veetaseme languse tõttu turba moodustumist selles tsoonis enam ei toimu. Piesomeeter nr 4 juurest edasi on turbalasundis kihte juba kolm – akrotelm, raba ja madalsoo ning need on paremate vett juhtivate omadustega. Alates neljandast piesomeetri mõõtmispunktist (40 m kraavist) paranevad turbalasundi filtratsioonimooduli näitajad, sest veetase tõuseb ühtlaselt maapinna lähedale.

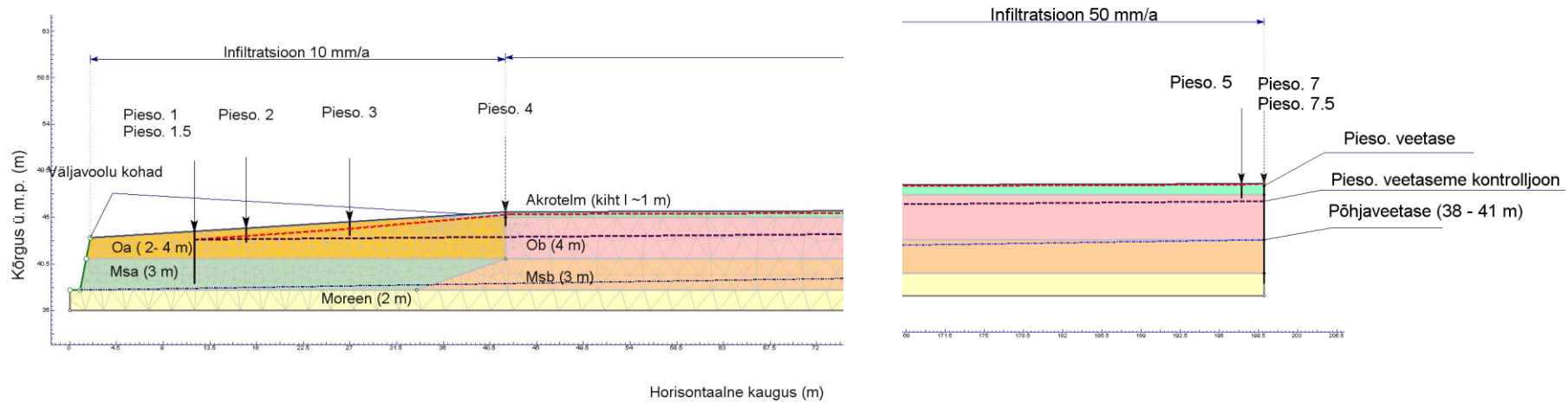
Ülemine kiht mudelis, ehk akrotelm, on ligikaudu 1 m paks ning seal toimub enamuse veeliikumise, sest turbasammal on kohev ja poorne ning vesi saab seal kiirelt liikuda. Alumistesse kihtidesse infiltreerub vett küllaltki vähe, sest veejuhtivus on seal halvem. Turbalasundi lamamiks on moreen.

Mudelisse sisestati ka pinnase kihtide anisotroopset veejuhtivust iseloomustav  $K_2/K_1$  koefitsient (vertikaalse veejuhtivuse ( $k_v$ ) ja horisontaalse veejuhtivuse ( $k_h$ ) jagatis), mis määrab vee liikumise ühest kihist teise. Vesi liigub horisontaalselt paremini väärtuse 100 juures ning halvemini 0,01 väärtuse juures. Mudelis kasutatud kihtide parameetrid on toodud välja tabelis 5, kus I tähistab akrotelmi, Ms tähistab madalsoo turvast plokis a ja b, O on rabaturvas plokis a ja b ning turbalasund asub moreenil.

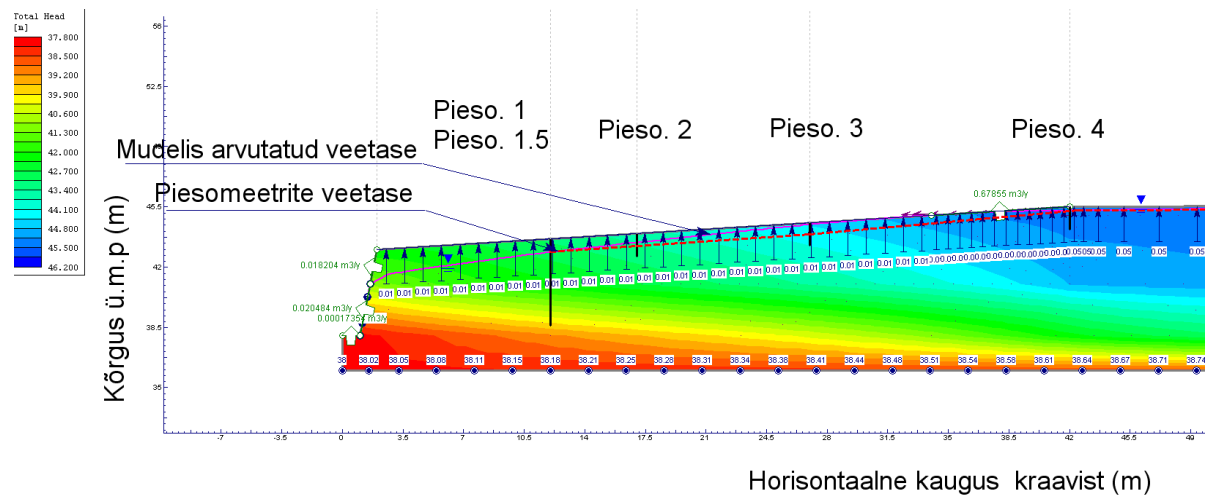
**Tabel 5.** Turbakihtide parameetrite väärtused

Kihi nimetus	K (m/d)	$K_2/K_1$
I	$2 \times 10^{-6}$	100
Oa	$7 \times 10^{-9}$	0,2
Ob	$7 \times 10^{-8}$	0,16
Msa	$2 \times 10^{-9}$	0,2
Msb	$1 \times 10^{-8}$	0,16
Moreen	$5 \times 10^{-8}$	0,01

Mudeli piirtingimusteks määrati infiltratsioon ja põhjaveetase. Maapinnalähedase põhjaveetase ulatub mudelis kraavi põhjani ehk mineraalini (38 m ü.m.p.) ning soo poole edasi liikudes tõuseb ühtlaselt madalsoo-siirdesoo piirini (41 m ü.m.p.). Madalsoo-siirdesoo piir jäljendab algset põhjavee survetaset, mille tõttu Umbusi soo hakkas tekkima. Mudelis liigub vesi looduslikult alalt kraavi suunas ning selleks loodud on 0,5 m gradient neljanda piesomeetri punktini.



**Joonis 7.** Umbusi raba hüdrogeoloogilise mudeli lõiked kraavi servast ja mudeli lõpust.



**Joonis 8.** Kalibreeritud hüdrogeoloogiline mudel kraavi servast

Eestis infiltreerunud sademete vahemik kõigub 0-250 mm vahel. Keskmise netoinfiltratsioon on 70 mm aastas (Allikas, 2004). Mudelis on kasutatud kokkuvajunud turbalasundi pinnal infiltreeruva sademete väärtusena 10 mm/a, sest koheva turbakihi puudumisel suureneb pindmine äravool ning enamuse veest ei infiltreeru turbalasundi halva veejuhtivuse tõttu pinnasesse, vaid voolab kraavi. Samuti soodustab pindmist äravoolu suurem nõlvakalle. Kraavist eemal, seal, kus veetase hakkab tõusma maapinna lähedale, on infiltratsiooni väärtuseks määratud 50 mm/a, sest seal on olemas akrotelm, mis võimaldab sademetel rohkem pinnasesse infiltreeruda.

Mudelis on turbalasundi küljed modelleeritud suletud süsteemina ja sealt vett lisaks juurde ei tule. Kraavi ääres on igale kihile lisatud väljavoolu lõigud/seksioonid, et vaadelda vooluhulkade väärtuste muutust, väljavoolu lõik on ka akrotelmi kihi piiril.

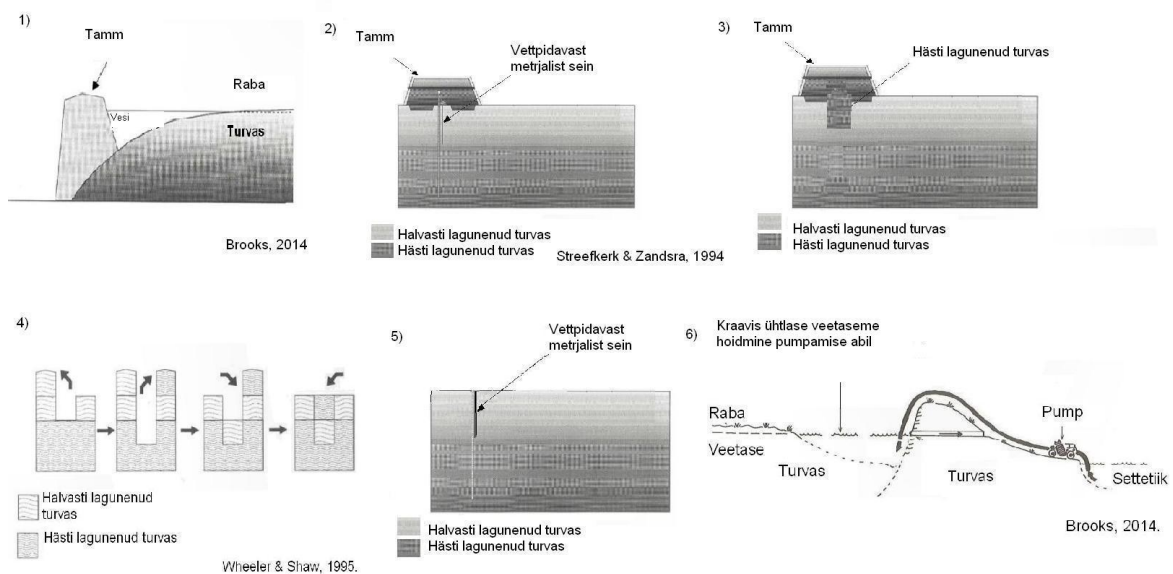
### ***2.3 Mudeli kontroll ja tundlikkuse analüüs***

Mudelit tuleb kalibreerida ja kontrollida selleks, et leida sobiv piirtingimuste komplekt, kus infiltratsioon, mõõdetud veetasemed ja materjali veejuhtivuse väärtused on vastavuses looduses mõõdetud tulemustega. Umbusi soo mudeli kalibreerimiseks kasutati 6 piesomeetri veetaseme andmeid (kogutud perioodil 22.10.2012-15.10.2013), mille jaotiste keskpunktid ehk mediaanid saadi MS Excelis ning kanti joonena mudelile ning võrreldi mudeli poolt arvutatud tulemustega. Mudel loeti hästi kalibreerituks juhul kui esinevad mõned juhuslikud ja väikesed kõrvalekalded välitööl mõõdetud ja mudelis arvutatud veetaseme tulemuse vahel. Väike kõrvalekalle esineb mudelis 2 ja 3 piesomeetri juures, kus mudelis arvutatud veetase asub kõrgemal kui välitööl mõõdetud tulemus ning seda saab põhjendada sellega, et looduses on 3 piesomeetri juures turbalasundis pingelõhed, mis võivad veetaset looduses alandada (joonis 8).

Tundlikkuse analüüs viiakse mudelis läbi ühe paremeetri muutuse kaupa. Eesmärgiks on leida uuritava parameetri (miinimum ja maksimum) väärtuste vahemik, mille raames mudel säilitab tasakaalu ja vastab looduses mõõdetud tulemustele (Kresic, 2007). Tundlikkuse analüüsi juures vaadeldi turba filtratsioonimooduli, pinnasekihi K2/K1 suhte, põhjaveetaseme ja infiltratsiooni muutuse mõju iga kihi väljavoolule. Tulemuseks saadud veetasemele ning mudeli poolt arvutatud suurenenud/vähenenud vooluhulgale, leiti need parameetrid, mis olid mudelis kõige tundlikumad.

## 2.4 Mudeli variandid

Kalibreeritud hüdrogeoloogiline voolumudel on aluseks kõigi veetõkkega voolumudelite lahenduste koostamisel ja nende tulemuste analüüsimisel. Erinevate veetõkke variantide puhul kasutati kõiki kirjandusest (Carpenter & Farmer, 1981; Streefkerk & Zandstra, 1994; Wheeler & Shaw, 1995; Brooks, 2014) leitud võimalikke lahendusi ja ideid ning kombineeriti neid omavahel (joonis 9).



**Joonis 9.** Mudelis kasutatud veetõkke lahenduste variandid vähendamaks kuivenduskraavide mõju looduslikele aladele (Carpenter & Farmer, 1981; Streefkerk & Zandstra, 1994; Wheeler & Shaw, 1995; Brooks, 2014).

Järgnevalt on lühidalt selgitatud modelleeritud (illustreeriv joonis 9) veetõkke lahendusi:

1. Esimeseks veetõkkeks on tamm, mis mudelis asub kraavi servast ligikaudu 30 m kaugusel. Tammi sisemisel küljel ulatub paisutatud veetase 0,7 meetrini ning ulatub 4 piesomeetrini. Materjaliks on turvas, mille parameetrite väärtuseks sisestati:  $K = 7 \times 10^{-8}$  m/d ja  $K_2/K_1 = 0,16$ . Selleks, et tamm viia lähemale kraavile tuleks tamm kõrgemaks ehitada või paigutada järjest ridamisi mitu väiksemat tammi. Antud mudelis ei ole seda võimalust kasutatud sellepärast, et kõrgem tamm võib raskuse tõttu pinnasesse vajuda ning mitme tammi loomine oleks mõeldamatu juba suurenenud materjalikulu tõttu.

2. Järgmise modelleeritud veetõkke puhul kombineeriti omavahel kaks lahendust-eelpool nimetatud tamm ja vettpidavast materjalist sein ( $K= 1 \times 10^{-30}$ ). Sein paigutati tammi alla ja 1 m sügavusele.
3. Samamoodi modelleeriti ka järgmine hüdrooloogiline barjäär, kus kasutati vettpidava materjali asemel 1 m sügavusele ulatuvat halvema veejuhtivusega turvast ( $K= 1 \times 10^{-8}$  ja  $K_2/K_1=0,16$ ). Veetõkke laius pinnases on ligikaudu meeter, üldjuhul võiks see olla kopa laius, millega tööd tehakse ja eeldatud on, et töö käigus vajutatakse ning tammitakse materjal tihedaks. Kõigi eelpool nimetatud mudelite puhul paigutati väljavoolu lõigud tammi alla, et võrrelda omavahel veetõkke lahenduste tõhusust.
4. Mudelis modelleeriti hüdrooloogilise barjäärina umbes 20 m kaugusele kraavist sein, mis ulatub 1 m sügavusele ja on 1 m laiune. Materjalina on kasutusel halvema veejuhtivusega turvas ( $K=1 \times 10^{-8}$  ja  $K_2/K_1=0,16$ ).
5. Sama kaugusele on modelleeritud ka järgmises mudelis järgmine veetõke, mis ulatub 1 m sügavuseni, takistades sellisel viisil vee liikumist kraavi. Materjalina on kasutusel vett mitteläbilaskvast materjalist ( $K= 1 \times 10^{-30}$ ) sein.
6. Viimane modelleeritud lahendus on veega täidetud kraav, mis jookseks paralleelselt piirdekraaviga. Antud ideed saab edukalt rakendada juba seetõttu, et enamasti on sellised madalad eelkuivenduseks kasutatud kraavid juba olemas looduslikel aladel. Mudelis asub selline kraav ligikaudu 20 m kaugusel piirdekraavist. Vesi saadakse pumpamise teel, kas piirdekraavist või settebasseinidest.

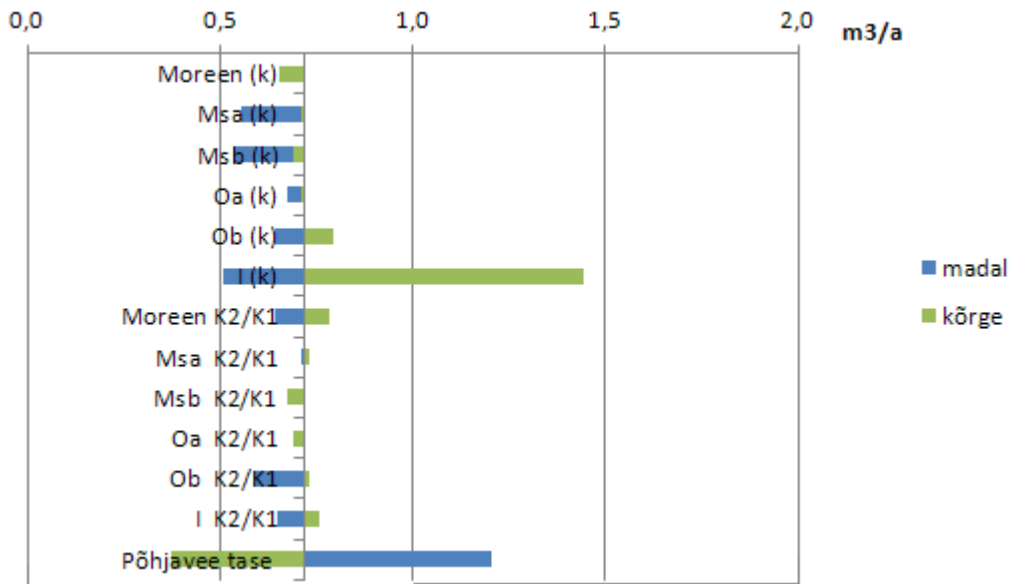
### 3. Tulemused

#### 3.1 Tundlikkuse analüüsi tulemused

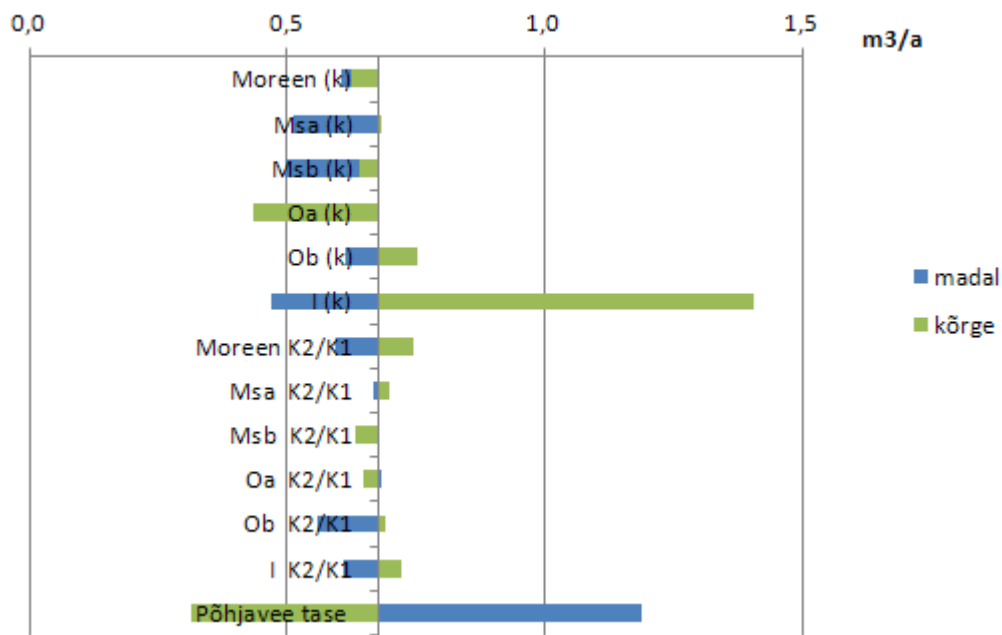
Tundlikkuse analüüsi läbi viimisel (tabel 6) selgub, et kihtide väljavoolu suurus sõltub selle kihi enda filtratsioonimoodulist ja K2/K1 koefitsiendist. Kogu väljavoolu joonist vaadates toimub enamuse vee liikumisest (95%) akrotelmi kihis (joonistel ja tabelis tähistatud I kihina). Akrotelmi kihist väljuva vooluhulga suurus on 1,41 m<sup>3</sup> aastas ning on võrreldes teiste kihtide väljavoolu hulkadega kõige suurem (joonisel 10, 11). Kõigi kihtide väljavoolu jooniseid kõrvuti vaadates loeb välja, et akrotelmi kihi filtratsioonimooduli ja K2/K1 koefitsiendi väärtus ei mõjuta alumiste kihtide vooluhulkasid (joonis 12, 13, 14).

**Tabel 6.** Tundlikkuse analüüsis läbi viidud parameetrite väärtuste vahemikud. Tähis baas\* tähendab kalibreeritud mudelit.

	madal	baas*	kõrge
Moreen K	3,00E-08	5,00E-08	8,00E-08
Msa K	2,00E-09	2,00E-09	2,30E-09
Msb K	9,00E-09	1,00E-08	9,00E-08
Oa K	5,00E-09	7,00E-09	5,00E-08
Ob K	7,00E-09	8,00E-08	1,00E-07
I K	1,50E-06	2,00E-06	4,00E-06
Moreen K2/K1	6,00E-03	1,00E-02	1,00E-02
Msa K2/K1	1,40E-01	1,60E-01	1,80E-01
Msb K2/K1	1,00E-01	2,00E-01	1,00E+00
Oa K2/K1	1,10E-01	1,60E-01	1,00E+00
Ob K2/K1	1,00E-02	2,00E-01	1,00E+01
I K2/K1	1,00E+02	1,00E+02	1,00E+03
Põhjavee tase	37-40	38-41	39-42



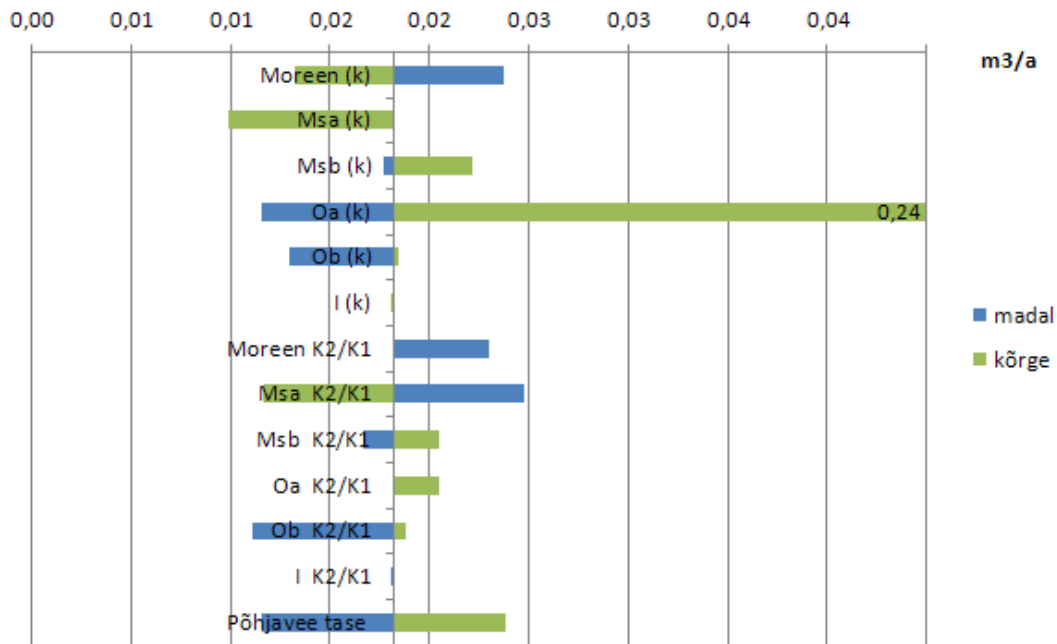
**Joonis 10.** Kõikide kihtide väljavool kokku



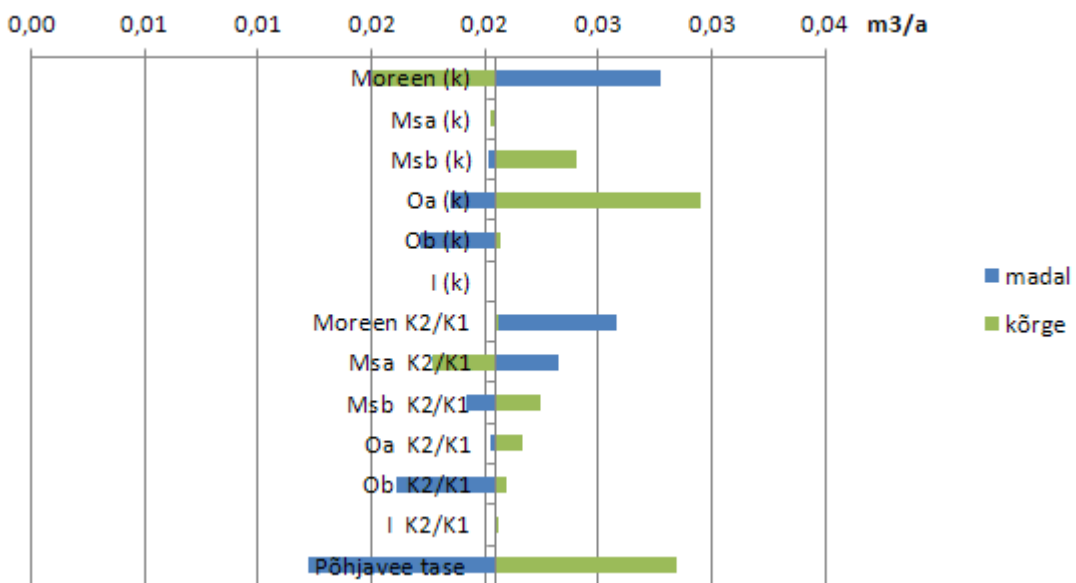
**Joonis 11.** Väljavoolu akrotelmi (I) kihist.

Turbalasundis muutub veetase hüppeliselt kui muuta tihenenud turbakihi plokis Oa või Msa kihi filtratsioonikoefitsiendi väärtusi. Siit järeldub, et kokkuvajunud turbakihid väga tundlikud veejuhtivusväärtuste suhtes ja mõjutavad veetaset turbalasundis märkimisväärselt. Rabaturba (Oa kihi) väljavool sõltub enim tema alla asuva madalsooturba (joonistel ja tabelites tähistatud Msa) filtratsioonikoefitsiendist ja madalsooturba (Msa kiht) ja rabaturba

(Oa kihti) K2/K1 koefitsiendist( joonis 12). Msa kihi väljavoolu suurus sõltub enim põhjavee tasemest, moreeni ja Oa kihi K väärtusest (joonis 13).

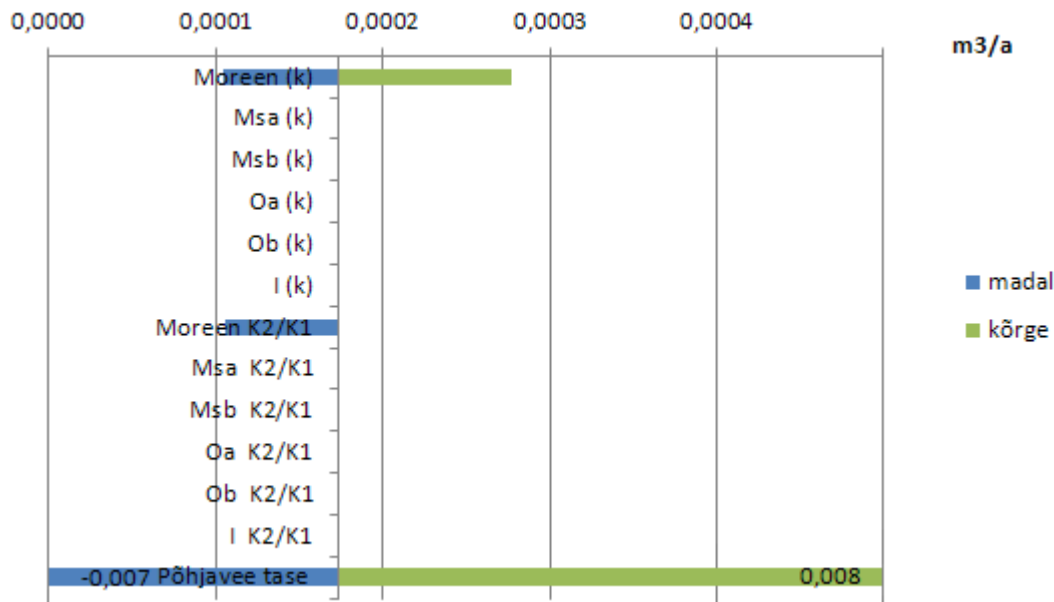


**Joonis 12.** Väljavool rabaturba kihist Oa. Joonisel on Oa filtratsioonikoefitsendi mõju kihi väljavoolule, võrreldes teiste parameetritega palju suurem (Oa kihi kõrge filtratsioonimooduli väärtuse puhul on vooluhulk 0,24 m³/a ja väikese filtratsioonikoefitsiendi puhul on väljavoolu väärtus 0,01 m³/a).



**Joonis 13.** Väljavool madal soo kihist Msa.

Tundlikkuse analüüsist selgub veel, et mineraalkihi veejuhtivuse parameetrite väärtused mõjutavad halvema veejuhtivusega turbalasundi kihtide vooluhulkasid, seda küll vähem kui turba enda veejuhtivuse väärtused. Muutes paremaks moreenkihi veejuhtivuse parameetreid väheneb väljavool halvema veejuhtivusega turbakihtidest ning vastupidi. Moreenkihi väljavoolu suurus sõltub kihi enda filtratsioonimoodulist ja kihi K2/K1 koefitsiendist ning põhjavee tasemest (joonis 14).



**Joonis 14.** Väljavool kihist moreen.

Põhjavee taseme alandamise korral 1 m võrra terve turbalasundi lõikes hakkab soo alune moreenkiht veest tühjaks jooksuma ning kraavi lähedal veetase ka veidike alaneb. Sügavamatest kihtidest hakkab turbalasundisse vett rohkem sisse jooksuma ning mudelis püüab soo kompenseerida tekkinud olukorda. Protsess toimub seni kuni aurumisest jääb vett üle. Sealjuures mudelis infiltratsiooni väärtuse tõstmine ei kompenseeri tekkivat olukorda piisavalt ning tekib nn „rippuv soo“, kus vett täis turbalasundi all on veega mitteküllastunud kiht. Põhjaveetaseme tõstmine meetri võrra suurendab moreenkihist ja halvema veejuhtivusega pinnastest väljavoolu (joonised 11, 12, 13) kuid akrotelmi kihist väheneb väljavool (joonis 14).

### 3.2 Veetõkke lahenduste väljavoolu tulemused

Käesolevas töös on piirdekraavide mõju vähendamiseks ja kõige efektiivsema lahenduse leidmiseks võrreldud omavahel kõigi veetõkke lahenduste (modelleeritud mudelid lisas 1) väljavoolu suurusi (tabel 7) iga kihi kaupa, võttes aluseks kalibreeritud mudeli (joonis 8) väljavoolu hulga.

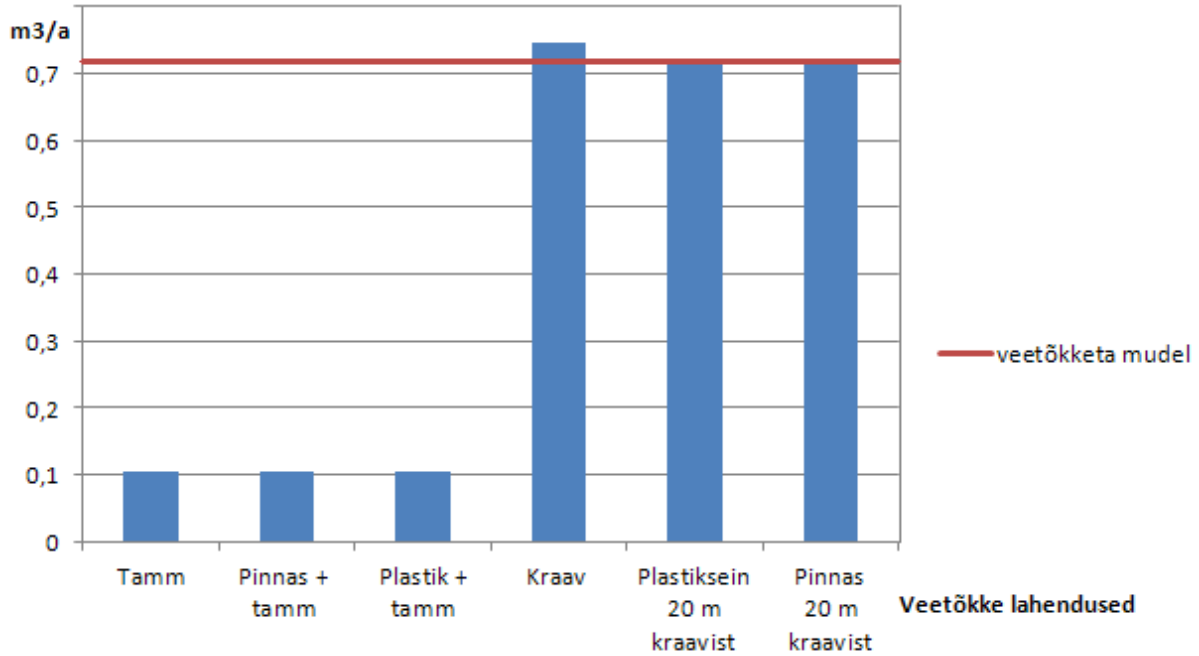
**Tabel 7.** Veetõkke lahenduste väljavoolu hulga.

<b>Mudeli tüübid/ väljavoolu kohad (m<sup>3</sup>/a)</b>	<b>Tamm</b>	<b>Pinnas + tamm</b>	<b>Plastik + tamm</b>	<b>Kraav</b>	<b>Plastiksein (20 m kraavist)</b>	<b>Pinnas (20 m kraavist)</b>	<b>Kalibreeritud mudel</b>
<b>Kiht I</b>	0,014	0,014	0,015	0,683	0,679	0,679	0,679
<b>Kiht Oa</b>	0,058	0,058	0,058	0,030	0,022	0,023	0,018
<b>Kiht Msa</b>	0,028	0,027	0,028	0,030	0,020	0,021	0,020
<b>Kiht Moreen</b>	0,005	0,005	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000
<b>Tammi põhi</b>	0,055	0,052	0,061	-	-	-	-
<b>Kraavi põhi+ küljed</b>	-	-	-	0,048	-	-	-

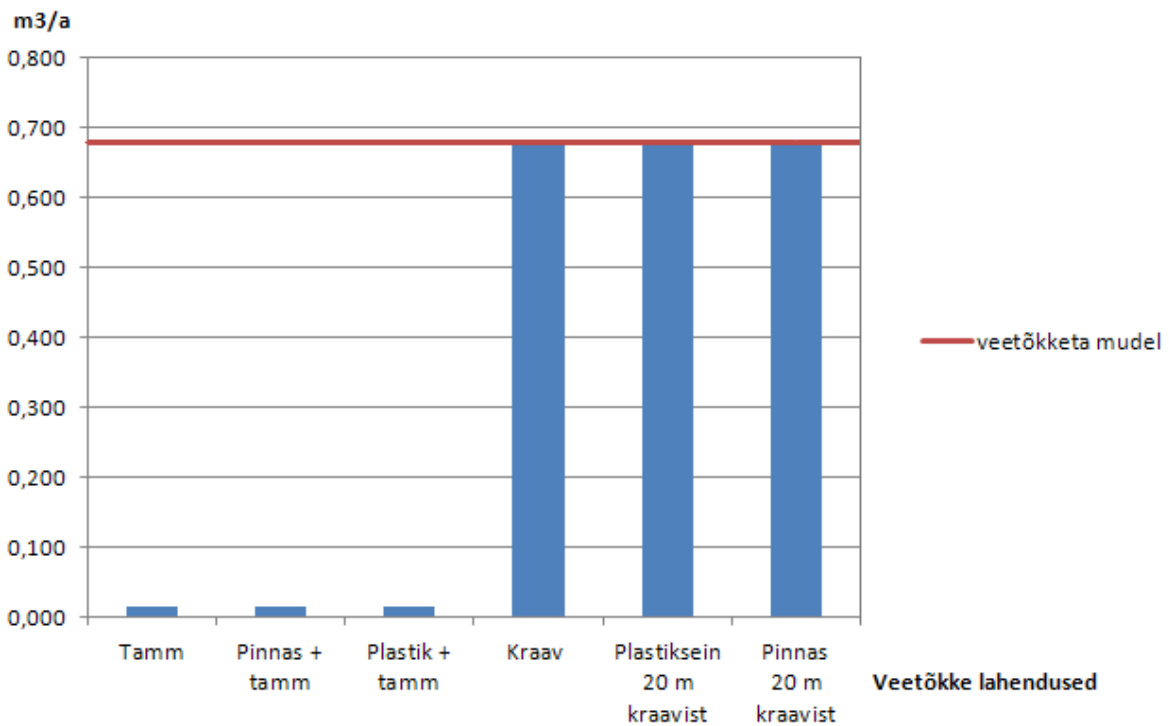
Veetaseme tõstmiseks turbalasundis ja kogu äravoolu vähendamiseks on kõige efektiivsemaks veetõkke lahenduseks tamm ja tammi variantidega kombineeritud lahendused (joonis 15), mis suudavad väljavoolu looduslikelt aladelt vähendada umbes 86% võrreldes ilma veetõkketa variandiga. Tammi kasutamise puhul ulatub paisutatud vesi üle akrotelmi väljakiilduva kihi ning jooniselt 16 on näha, et sellel on positiivne mõju pinnalt äravoolu takistamiseks. Alumistest kihtidest on tammi erinevate variantide puhul väljavool seevastu suurenenud umbes 0,05 m<sup>3</sup> võrra aastas. Põhjuseks on suurenenud rõhugradient tänu paisutatud veetaseme kõrgusele, mis on tekkinud tammi taha.

Teiste veetõkke lahenduste puhul, nagu vettpidava materjali (mudeli nimi plastiksein- ehk mudel ilma tammita) või halvema veejuhtivusega pinnase kasutamine (mudeli nimi pinnas-mudel ilma tammita) ja kraavi rajamine, on sarnane olemasolevale piirdekraavist mõjutatud olukorrale ning ei mõjuta märkimisväärselt kogu väljavoolu (joonis 15). Pinnasest või plastikseina rajamine kihti Oa ei mõjuta sügavamatest kihtide väljahulki piisavalt ning tulemused on sarnased veetõkketa mudelile (joonis 16,17, 18,19). Oa kihti rajatud sein tüüpi

lahendused, mis on ilma tammita, ei vähenda väljakiilduvast akrotelmist vee väljavoolu hulka, kus liigub 95% infiltreerunud veest. Kuivendamise mõju vältimiseks akrotelmi kihist on vaja rajada pais üle maapinna ulatuva kokkuvajunud turbakihi, et tõkestada pinnalt äravoolu.

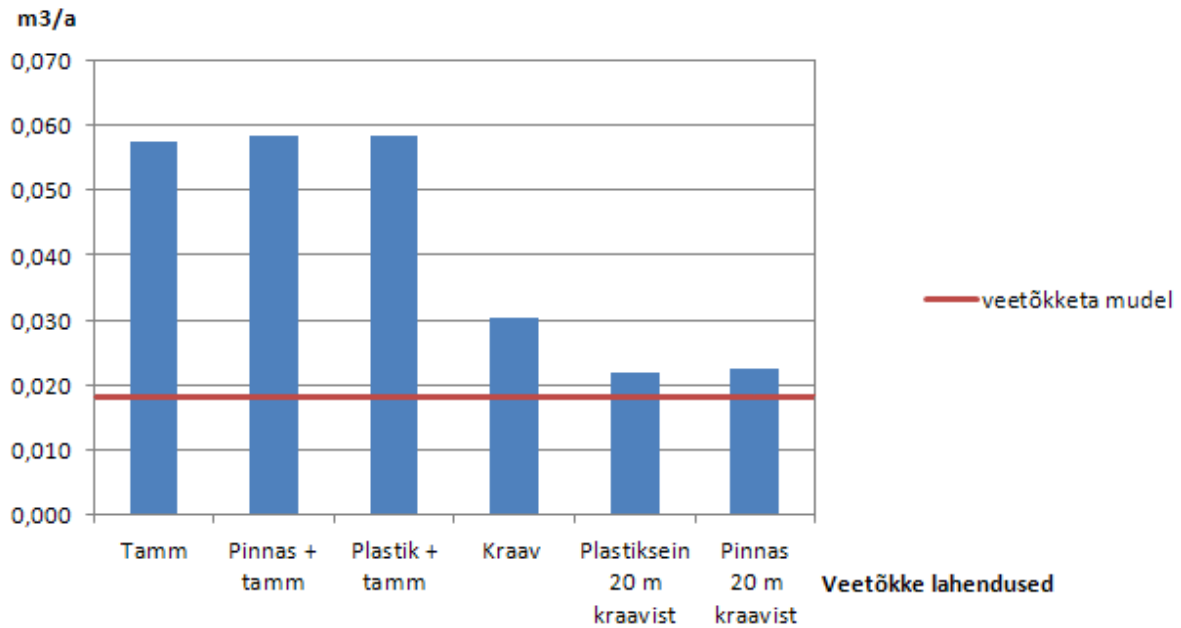


**Joonis 15.** Veetõkke lahenduste kogu väljavool



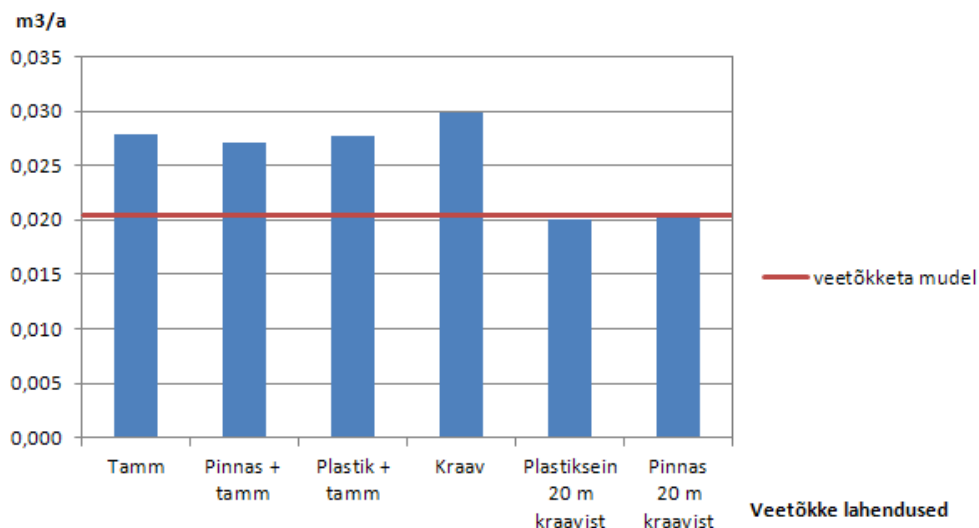
**Joonis 16.** Veetõkke lahenduste väljavool kihist I.

Vaadates tammi veetõkkega variantide väljavoolu tulemusi sügavamatest kihtidest on märgata väljavoolu suurenemist võrreldes kalibreeritud mudeli väljavooluga. Väljavool kihist Oa (joonis 17) on suurenenud pea 3 korda tammiga kombineeritud lahenduste puhul, sest paisutatud veehulk on suurenenud rõhugradienti. Vesi hakkab kombineeritud tammi lahenduste puhul jooksa rohkem läbi kihi Oa, sest akrotelmi kihist on väljavool tõkestatud. Vett täis kraav tõstab väljavoolu hulka võrreldes veetõkketa lahendusega 0,01 m<sup>3</sup>/a, sest pinnasesse on infiltreeruva vee hulk on Oa kihti suurenenud.



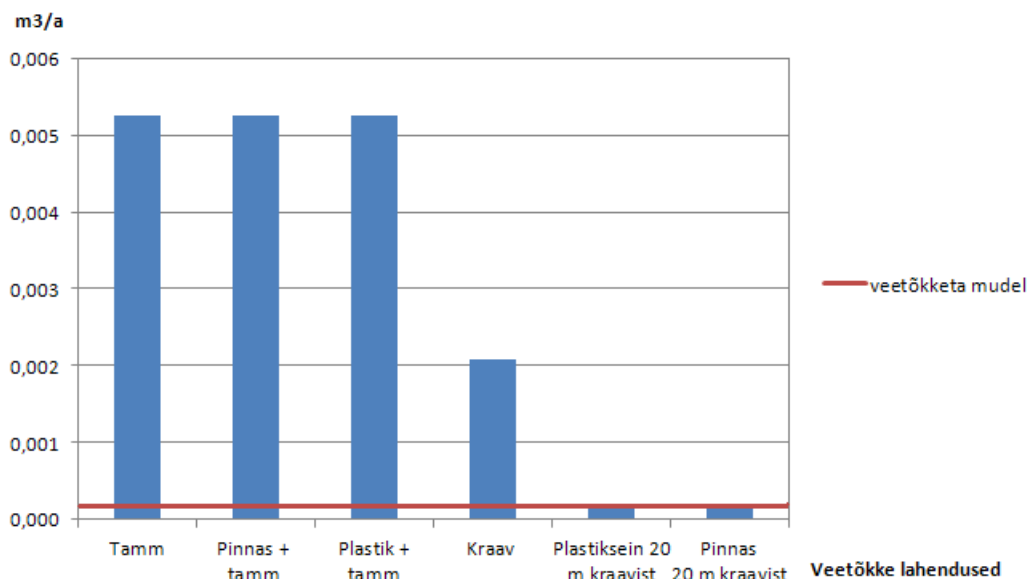
**Joonis 17.** Veetõkke lahenduste väljavool kihist Oa.

Väljavool madaloo (Msa) turbakihi (joonis 18) on suurenenud tammi kombineeritud lahenduste puhul ¼ võrra võrreldes olemasoleva olukorraga, sest väljavool akrotelmi kihist on tõkestatud ning vesi liigub seetõttu rohkem läbi alumiste kihtide. Veehulk sõltub siinjuures paisutatud veetasemest. Vett täis kraavi veetõkke lahenduse puhul on väljavool enim suurenenud Msa kihist ning seda seetõttu, et vett täis kraav on rajatud Oa kihti ning selle kihi kaudu infiltreerub pinnasesse ka rohkem vett. Plastikseina või halvema veejuhtivusega seinaga puhul ei erine väljavool veetõkketa mudelist ning väärtused jäävad 0,02 m<sup>3</sup>/a juurde.



**Joonis 18.** Veetökke lahenduste väljavool kihist Msa.

Moreen kihist (joonis 19) on tammi ja tammiga kombineeritud lahenduste puhul väljavool 5 korda suurem kui veetökketa lahendusega mudelil. Vett täis oleva kraaviga modelleeritud mudelis on muutus pea 2-kordne ning plastikust ja pinnasest seina kasutamise puhul on muutus märkamatu. Põhjenduseks võibki tuua juba eelpool nimetatud põhjuse, et akrotelmi kihist on tammide puhul vee väljavool tõkestatud ning veehulk läbi alumiste kihtide on seetõttu suurenenud. Läbi moreenikihi jookseb vett rohkem läbi sellepärast, et võrreldes Msa kihi veejuhtivuse väärtustega on moreenkihil parem filtratsioonikoefitsient.



**Joonis 19.** Veetökke lahenduste väljavool kihist Moreen.

## 4. Arutelu

Umbusi raba voolumudeli tundlikkuse analüüsi tulemusi uurides on selgelt näha, et pinnase filtratsioonimoodulil ja  $K_2/K_1$  koefitsiendil on suur mõju kihtide enda vooluhulga muutusele. Kõige enam vett eraldub akrotelmi kihist umbes 95% kogu äravoolust (joonis 10) ja alumised halvema veejuhtivusega turbakihid ei olnud mõjutatud akrotelmi kihi veejuhtivuse parameetritest (joonis 12, 13, 14). Siit järeldub, et turba ülemise poorse kihi kaudu (joonistel tähistatud kihina I) toimubki enamus veeliikumist ning vesi liigub kõige paremini horisontaalsuunas (Kull 2013; Brooks 1988; Joosten & Clarke, 2002), juhtides nii soost ära suuri veehulkasid. Arvestades tundlikkuse analüüsist saadud tulemusega on oluline tõkestada just pindmisest kihist vee äravoolu, et säilitada ja taastada turbalasundis hüdroloogiline tasakaal (joonis 15).

Kuivenduskraavi veealanduse mõjust tingitud pinnase kahanemine ja kokkuvajumine on loomulik negatiivne mõju turbakihtidele, mille tulemusena on ka turba veejuhtivus halvenenud. Samas pinnase kahanemise tagajärjel tekkinud pinnalang omakorda suurendab äravoolu mööda maapinda. Oa ja Msa ning Ob ja Msb kihtidest läbivoolava vee vooluhulgad olid märgatavalt väiksemad (5% kogu äravoolust) seoses kihtide enda väga halbade veejuhtivusväärtuste tõttu. Sellest järelduvalt pole vajalik antud voolumudeli järgi rajada veetõkkeks seinu kihti Oa või Msa, sest halvema veejuhtivusega pinnasesse rajatud voolutõkke mõju on peaaegu olematu ja ei mõjuta üksi soo hüdroloogiat piisavalt positiivses suunas (joonis 15). Majanduslikust seisukohas vaadates oleks sügavamasse kihti veetõkke rajamine oluliselt tõstnud selle maksumust.

Modelleeritud veetõkke lahenduste variandid kinnitasid omakorda tundlikkuse analüüsis saadud tulemusi, et kõige olulisem on soo pinnalt äravoolu vähendamine ning Oa kihti rajatud veetõkete puhul polnud näha piisavalt suurt mõju vooluhulga muutusele (joonis 15). Tammi rajamine oli veemajanduse strateegiatest kõige efektiivseim ja jätkusuutlikum. Tamm tõkestab akrotelmi kihist vee äravoolu ning tekitab tammi taha madala veekogu.

Teadagi on, et pikalt kuivendatud turbaalade taastamine on vaevaline protsess, sest kui turbas langeb veesisaldus alla 50%, siis seda keerukam on muutunud ja tihenenud struktuuriga turbal vett uuesti siduda (Fuchsman, 1986) ja mõnel juhul on kuivendatud turbaalade uuesti märgaladeks muuta peaaegu, et võimatu. Sellistel juhtudel tuleb need alad uuesti üle ujutada,

et tagada soodsad tingimused turba taas ladestumiseks ja turbasammalde levimiseks (Paal, 2007). Seniste paisutamiskogemuste põhjal (Marko Kohv, suulised andmed) tõusevad turbasamblad üleujutamise tagajärjel kuivendatud turbaaladel tihtilugu vee peale, ning madal veekogu peaks looma soodsad tingimused selleks, et üleujutatud ala mingis punktis on turbasammalde kasvuks soodsad tingimused ning madal veekogu kasvab turbasammalt üsna kiiresti täis.

Tammi eelis teiste veetõkete variantide ees on see, et pais hoiab sademeterohkel perioodil vett kinni ja laseb sellel aeglaselt imbuda pinnasesse ning seega tõstab suvist minimaalset veetaset, mis on üks peamisi turbasammalde kasvu kontrollivaid parameetreid. Tammi rajamisel on miinuseks suur materjali kulu. Mudelis kasutatud tammi ristlõike pindala on u 4m<sup>2</sup> ja eeldades, et materjal surutakse 2 korda kokku, siis vajaminev materjali kogus on 8m<sup>3</sup> tammi meetri peale.

Tammi rajamisel, nii kuivendusest mõjutatud turbakihile kui ka kuivendussüsteemidest mõjutamata aladel, peab meeles pidama kindlasti seda, et ehituseks kasutatud turvas peab olema ühtlase koostisega ning ei tohiks sisaldada puujuuri/kände. Samamoodi peab ka tammi aluspinda ette valmistama ning koorima pinnast seni, kuni on käes halvema veejuhtivusega turbakiht ning seal ei esine kuivamislõhesid ega puujuuri, mis tulevikus põhjustaks pinnase erosiooni ja seeläbi ka tammi purunemist. Seetõttu tuleks ilmselt praktikas rajada tammi alus ca 0,5 m maa sisse, et jõuda kindlasti pindmisest juurte ja lõhedega kihist läbi ühtlase pinnaseni. Tammi veejuhtivus, mida on soovitatav tammi rajamisel kasutada on  $K= 7 \times 10^{-8}$  m/d vastavalt mudelis kasutatud väärtusele. Tammi peab olema ülevoolutorud või -kanalid, mille abil üleliigne vesi pääseks soost välja. Soovitatav on tammi külge, kus üleliigne vesi alla jookseb ning ülevoolukanali põhjad kindlustatud erosioonikindla materjaliga – soovitatav on näiteks kasutada geotekstiili.

Eestis on AS Tootsi turbatootjad Lavassaare soos 2014. aasta sügisel ehitanud turbast tammi paralleelselt piirdekraaviga, selleks, et oleks võimalik kasutusele võtta Lavassaare II turbatootmisala (Postimees, 2014) ja kaitsta kõrval asuvat loodusala turba tootmisväljade jätkuvast kuivendavast mõjust. 2015. a kevadel, märtsi lõpus kui lumi oli sulanud, käis käesoleva magistritöö autor koos Jüri-Ott Salmi ning Marko Kohviga tammi vaatamas ning näha oli, et tamm töötas ning tammi taha oli tekkinud madal veekogu ning kohati oli vesi

peaaegu tammi servani. Kaevandajad rõhutasid tutvustaval ringkäigul, et oluline on kasutada ühtlase tihedusega materjali ning ette valmistada tammi alune pind, et tagada tammi purunemiskindlus. Tammi rajamine maksis neile ligikaudu 10 € jooksev meeter ning seda eelkõige tänu sellele, et materjali oli kohapeal olemas ja transpordikulud olid minimaalsed.

Umbusi raba näitel modelleeritud mudelis on tamm paigutatud kraavi servast küllaltki kaugele (umbes 30 m). Tammi asukoht sõltub soopinna sekundaarsest kallakust, mis on tekkinud turba kokkuvajumise tulemusena. Umbusi raba näite näol on tegu enamvähem „kõige halvema“ variandiga, mis puudutab tammi kaugust piirdekraavist, sest raba on pikaajalise kuivendusemõjuga, piirdekraav ulatub mineraalini ja turbalasund on väga paksu turbakihi. Tammi rajamise puhul oli kriteeriumiks ka tammi kõrgus– maksimaalselt -1,2 m võrreldes loodusliku pinnaga. Kõrgema tammi puhul muutub probleemiks tammi raskus ja materjali kulu. Väiksema kallakuga või uue tootmisala kasutusele võtmisega saab paisu, mis jookseb piirdekraaviga paralleelselt, paigutada kraavile palju lähemale. Rajades tammi piirdekraavile lähemale saab transportimise kulusid kokku hoida ja madalama paisu korral ka ehitusmaterjali mahtu säästa. Tammi rajamise puhul on väga tõenäoline, et soo hüdroloogiline seisund piirdekraavist mõjutatud alal taastub ning on seetõttu veemajanduse strateegiatest kõige odavam ja jätkusuutlikum.

Piirdekraavist mõjutamata aladel, kus turba tootmisalasid ja kuivendussüsteeme hakatakse alles rajama ja kus on tegu väiksema lagunemisastmega turbakihtidega, võib kombineeritud veetõkete (näiteks plastiksein koos tammiga) rajamine kuni halvema veejuhtivusega kihini olla õigustatud. Seda näitab ka väikese vooluhulga muutuse kaudu läbi viidud tundlikkuse analüüs rabaturba (joonisel Ob kiht) veejuhtivuse parameetrite kohta. Suurendades Ob kihi filtratsioonimoodulit on suurenenud väljavool läbi akrotelmi kihi (joonis 11) ning väiksema Ob kihi veejuhtivuse väärtuste puhul on halvenenud väljavool (joonisel 12) läbi tihenend rabaturba kihi (joonistel Oa kiht). Umbusi raba näitel koostatud voolumudelid ei tõestanud kombineeritud voolutõkkesid (tamm ja plastiksein või tamm ja halvema veejuhtivusega turbast sein) piisavalt suurt efektiivsust, mis parandaks soo hüdroloogilist seisundit kui ainult tammi kasutamine voolutõkkena. Siinjuures on oluline märkida, et praktikas tuleks arvatavasti tammi põhi rajada ikkagi ca 0.5 m sügavusele turbasse, sest looduses ei ole pindmise kihi parameetrid niivõrd ühtlased.

Vett täis kraavi kasutamine, kuivenduse mõju vähendamiseks, on mudeli järgi heaks viisiks tõsta ja hoida pinnases veetaset maapinna lähedal. Antud lahenduse miinus tuleb välja kui vaadata akrotelmi kihist väljavoolu, mis on samal tasemel nagu ka kalibreeritud mudelil. Pikalt kuivendatud aladel võib vett täis kraavi lahendus olla ebaefektiivne, sest pinnases ei pruugi vee hüdroloogiline tasakaal taastuda piisavalt hästi seoses tihenunud turbaga, mis ei pruugi olla võimeline vett endaga uuesti siduma. Samuti ei aita kraav kuidagi taastada kokkuvajanud aladel looduslikku väga väikest langust, mida tammi kasutamine mingis ulatuses lubab.

Vett täis kraav ei tõkesta ka akrotelmi kihist vee äravoolu ja ei aita kaasa turbasammalde taas levimisele nii nagu seda teeb madal veekogu tammi taga. Mudeli järgi tuleb välja, et tagamaks veetaseme püsimist kraavis maksimaalsel tasemel on aastas vaja ligikaudu juurde pumbata 0,5 m<sup>3</sup> (veepinnalt aurab aastas 400 mm ning kraavist imbub pinnasesse 0,048 m<sup>3</sup>/a) vett jooksva kraavi meetri kohta. Pumba töös hoidmisele kuluv maksumus ja piisava veevaru olemasolu on antud veetõkke variandi juures kõige suuremaks miinuseks, mis muudavad püsikulud ilmselt kõrgemaks kui passiivselt toimiva tammi puhul ning väga kuivadel suvedel, mis on ka kõige kriitilisemad taimestiku säilimise koha pealt, võib osutuda probleemiks ka pumpamiseks vajaliku vee olemasolu.

## Kokkuvõte

Eestis on turbatootmisväljad ümbritsetud piirdekraavidega, mille eesmärk on ära juhtida turba tootmisväljadele valguv vesi ja alandada turbalasundis veetaset. Veealanduse mõju ulatub ka looduslikele aladele, mis jäävad turba tootmisalast välja. Eestis tehtud rakendusuuringutest (Orru & Mikkelsaare, 2011; Kull, 2013) selgub, et piirdekraavide mõjutsooni laius võib ulatuda paarisaja meetrini. Nii kuivendatakse tahtmatult ka tootmisaladega piirnevaid Natura 2000 elupaiku, esialgse hinnangu kohaselt ulatub mõjutatud Natura 2000 elupaigatüüpide pindala kuni 48,5 km<sup>2</sup> (Marko Kohv, suulised andmed).

Käesolev magistritöö annab ülevaate soodes veealanduse negatiivsetest keskkonnamõjudest ja nende mõjude vähendamise võimalikest lahendustest. Eesmärgiks oli modelleerida Umbusi raba näitel hüdrogeoloogiline voolumudel, mille abil leida tõhus ja jätkusuutlik lahendus vähendamaks piirdekraavide poolt tekitatud veealanduse mõju looduslikele aladele. Veetõkke lahendused peavad pinnases veetaseme tõstma võimalikult maapinna lähedale, mis aitaks kaasa kuivendatud alal hüdrooloogilise režiimi taastumisele ja turbasammalde taaslevimisele. Veetõkke lahenduste tõhusust hinnati mudelis väljavoolu hulkadena.

Umbusi raba näitel loodud kalibreeritud voolumudeli tundlikkuse analüüsi tulemustest selgus, et turbalasundi ülemise akrotelmi kihi kaudu toimub enamuse veeliikumise (95% kogu väljavoolust). Sellest järelduvalt tuleb veetõkkena kasutada paisu või tammi, mis takistab pinnalt äravoolu. Tamm paisutab vee üles ja tekitab madala veekogu, mis on soodne eeltingimus turbasambla taaslevimiseks ja soopinna tõstmiseks samale kõrgusele nagu kuivendusest mitte mõjutatud aladel. Peale selle, et tammi/paisu loomine on efektiivne veemajanduslik lahendus, on see ka töös kasutatud veemajanduse strateegiatest kõige jätkusuutlikum. Negatiivse poole pealt võib tuua välja suure materjali mahu (u 8 m<sup>3</sup> meetri peale), mis on tammi ehitamiseks vajalik ning millega kaasneb ka tammi maksumuse tõus.

Mudelis kombineeritud voolutõkete kasutamine koos tammiga ei andnud vooluhulkade muutuse näol märkimisväärseid tulemusi, sest kokkuvajunud turbalasundi kihtide (Oa ja Msa) veejuhtivuse omadused olid nii halvad. Samamoodi ei anna mudelis efekti halvema veejuhtivusega pinnase asendamine või plastiksena kasutamine kihis Oa. Eelpool nimetatud meetodid ei tõkesta vee pindmist äravoolu kraavi ning seetõttu, ei parenda tekkinud olukorda. Siinjuures tuleb silmas pidada, et tegu on lihtsustatud mudeliga, mille tulemustest järeldus, et

ainult tammi ehitamine on piisav veetõke nii halbade turba veejuhtivus näitajate juures. Tammi realsel ehitamisel tuleb tammi aluspõhi korrastada ja rajada see halva veejuhtivusega pinnase sisse (0,5 m sügavusele), et ei tekiks tammi purunemisohtu.

Mudeli tulemuste järgi võib pidada vett täis kraavi kasutamist veetõkkena pinnases veetaseme tõstmiseks piisavalt efektiivseks. Vett täis kraav tõstis vooluhulki kõigis kokkuvajunud turbakihtides (Oa ja Msa), kuid ei tõkesta pinnalt äravoolu ja seeläbi ei soodusta uue akrotelmi kihi tekkimist. Antud meetodi miinuseks on ka elektrikulu, mis läheb pumba töös hoidmisele ning pumbatava vee hulk, mida läheb tarvis, et hoida kraavis veetaset maksimaalsel tasemel.

## **Tänuavaldused**

Suured tänud käesoleva töö juhendajale Marko Kohvile selgituste, abivalmiduse, kannatlikkuse ja mõistva suhtumise eest. Olen tänulik talle võimaluse eest osaleda projektis „Turba kaevandamise hüdroloogilise mõju vähendamine“, mis on seotud minu magistritööga.

Lisaks soovin tänada Jüri-Ott Salmi ja Kristjan Rooni, kellega koos käisin Umbusi rabas välitööl ning kes selgitasid mulle veejuhtivuskatsete meetodikat.

## **Kasutatud kirjandus**

- Allikas, L., 2004. Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse. Põhjaveekomisjon, lk 7, 42.
- Animägi, J. 1995. Development of peat industry. – In: M. Ilomets, J. Animägi, R. Kallas (eds) Estonian peatlands, a brief review of their development, state, conservation, peat resources and management. Ministry of Environment, Tallinn, lk 36-41.
- Apodaca, L.E., 2013. 2012 Minerals yearbook: Peat. United States Department of the Interior; United States Geological Survey.
- Biancalani, R., Avagyan, A., 2014. Towards climate-responsible peatlands management. Migration of climate change in agriculture series 9. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Brooks, K.N. 1988, Hydrologic impacts of peat mining. The Ecology and Management of Wetlands. Chapter 18, lk 180-189.
- Brooks, S., Stoneman, R., Hanlon, A., Thom, T., 2014. Conserving Bogs- The management handbook. 2nd edition. Saadaval Internetis: ([http://issuu.com/peat123/docs/conserving\\_bogs](http://issuu.com/peat123/docs/conserving_bogs)).
- Carpenter, J.M., Farmer, G.T., 1981. Peat Mining. An initial assessment of wetlands impacts and measures to mitigate adverse effects. Final Report. United States Environmental Protection Agency.
- Carter, V., 1997. Wetland Hydrology, Water Quality, and Associated Functions. Technical Aspects of Wetlands. National Water Summary on Wetland Resources. United States Geological Survey Water Supply Paper 2425.
- Clarke, D., Rieley, J., 2010. Strategy for responsible peatland management. International Peat Society.
- Dietrich O., Redetzky M., Schwärzel K., 2007. Wetlands with controlled drainage and sub-irrigation systems - modelling of the water balance. Hydrol.Process. 21, lk 1814-1828.
- Falcorner, R.A., Goodwin, P., 1994. Wetland management. Cromwell Press, Melksham, Wilts, lk 28-31.
- Fuchsman, C.H., 1986. Peat and Water. Aspects of Water Retention and Dewatering in Peat. Kluwer, lk 2.
- Gilgman, K. 2002. A review of evapotranspiration rates from wetland and wetland catchment plant communities. CCW Contract Science Report no. 504, lk 42.

- Gregory, J.D.R., Skaggs, W., Broadhead, R.G., Culbreath, R.H., Bailey, J.R., Foutz, T.L., 1984. Hydrology and water quality. Impacts of peat mining in North Carolina. Department of Forestry, Department of Biological and Agricultural Engineering-North Carolina State University. WRRRI Report No. 214.
- Grönroos, J., Seppälä, J., Koskela, S., Kilpeläinen, A., Leskinen, P., Holma, A., Tuovinen, J.P., Turunen, J., Lind, S., Maljanen, M., Martikainen P.J., 2013. Life-cycle climate impacts of peat fuel: calculation methods and methodological challenges. *Int J Life Cycle Assess* 18, lk 567–576.
- Hagberg, L., Holmgren, K., 2008. The climate impact of future energy peat production. Swedish Environmental Research Institute.
- Holden, J., Chapman P.J., Labadz, J.C., 2004. Artificial drainage of peatlands: hydrological and hydrochemical process and wetland restoration. *Progress in Physical Geography* 28,1, lk 95–123.
- Holden, J., 2005. Peatland hydrology and carbon release: why small-scale process matters. *Philosophical Transaction of the Royal Society* 363, lk 2891-2913.
- Ilomets, M. 1998. Sood – meie kaasvara Euroopa Liitu. *Eesti Loodus*, lk 5-6.
- Imhre, R., Heikkinen, K., Lakso, E., 1991. Peat filtration, field ditches and sedimentation basins for the purification of runoff water from peat mining areas. Water and Environment Research Institute, National Board of Waters and the Environment, Finland. No 9.
- Jauhiainen, J., Takahashi, H., Heikkinen, J.E.P., Martikainen, P.J., Vasander, H., 2005. Carbon fluxes from a tropical peat swamp forest floor. *Global Change Biology* 11, lk 1788–1797.
- Joosten, H., Clarke, D., 2002. Wise use of mires and peatlands. Background and principles including a framework for decision-making. International Mire Conservation Group, International Peat Society.
- Juske, 1995. Turbatootmisest Eestis. *Turbatootmine Eestis*. Eesti Turbaliit, Pärnu, lk. 26-31.
- Kink, H., Andresmaa, E., Orru, M., 1998. Eesti soode hüdrogeokoloogia. *Teaduste Akadeemia Kirjastus*, lk 20-21: 107-109.
- Klove, B., 1997. Comparison and development of ditch structures (bed pipe barriers) in reducing suspended solids concentration in waters flowing from peat mining sites. *Boreal Environment Research* 2, lk 275–286.

- Klove, B., 2000. Retention of suspended solids and sediment bound nutrients from peat harvesting sites with peak runoff control, constructed floodplains and sedimentation ponds. *Boreal Environment Research* 5, lk 81-94.
- Kohv, M., Salm, J.O., 2012. Soode taastamine Eestis. *Eesti Loodus*. Märgalad 2012/04.
- Kohv, M., 2013. Märgalade taastamiskavad. *Eestimaa Looduse Fond*.
- Kresic, N., 2007. Hydrology and groundwater modeling. CRC Press, Taylor Francis Group, lk 534-535.
- Landry, J., Rochefort, L., 2012. The drainage of peatlands: impact and rewetting techniques. Peatland Ecology Research Group. Universite Laval.
- Lamers, L.P.M., Vile, M.A., Grootjans, A.P., Acreman, M.C., van Diggelen R., Evans, M.G., Richardson, C.J., Rochefort, L., Kooijman, A.M., Roelofs, J.G.M., Smolders A.J.P., 2015 Ecological restoration of rich fens in Europe and North America: from trial and error to an evidence-based approach. *Biol. Rev* 90, doi: 10.1111/brv.12102, lk 182–203.
- Lappalainen, 2009. Coal, oil, shale, natural bitumen, heavy oil and peat 2 Edited by Gao Jinsheng. Cutting and processing of peat. Eolss Publishers Company Limited.
- Looduskaitseeadus – RT I, 08.07.2014, 20.
- Lundin, L.C., Bergström, S., Eriksson, E., Seibert J., 1999. Hydrological models and modelling. *Sustainable Water Management in the Baltic Basin, Part 1 Water in Nature, the Baltic*. Uppsala University, lk 129-140.
- Mercer, J.W., Faust, C.R., 1980. Ground Water Modeling: Mathematical Models. *Groundwater*, 18(3), lk 212-227.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and human well-being: wetlands and water Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.
- Ngo, C., Natowitz, J., 2009. Our energy future resources, alternatives and the environment: Peat. *Wiley Survival Guides in Engineering and Science*. Section Peat.
- O'Kelly B.C., 2008. On the geotechnical design and use of peat bunds in the conservation of bogs. In: *Proceedings of the First International Conference on Geotechnical Engineering*, Hammamet, Tunisia, 24th–26th March, edited by Bouassida M., Romdhane N.B. and Hamdi E., Sfax, Tunisie, Vol. 1, lk 259–267.
- Paal, J., 2007. Jääksoode käsiraamat. Keskkonnainvesteeringute keskus, lk. 21.
- Paal, J., Leibak, E., 2013. Eesti soode seisund ja kaitstus. *Eestimaa Looduse Fond*.

- Ramst, R., Orru, M., 2009. Eesti mahajäetud turbatootmisalade taastaimestumine. Eesti Põlevloodusvarad ja -jätmed lk 1–2: 6–7.
- Regan, S., Johnston, P., Mackin, F., Naughton, O., and Flynn, R., 2013. Scientific basis of raised bog conservation: The application of a hydrological management tool. National Hydrology Conference, lk 90-103.
- Rydin H., Jeglum J.K., 2006. The biology of peatlands. Oxford University Press.
- Soosaar, S., 2005. Fuel Peat Industry in EU. Project report. Fuel Peat Industry in Estonia. VTT Processes, lk 1-33.
- Strack, M., 2008. Peatlands and climate change. International Peat Society.
- Streefkerk, J.G., Zandsra, R.J., 1994. Irish-Dutch raised bog study geohydrology and ecology. Experimental management measures in the south-east corner of the Raheenmore raised bog reserve. National Parks and Wildlife Service of the Office of the Public Works, Dublin. Geological Survey of Ireland. Department of Nature Conservation, Environmental Protection and Wildlife Management, The Hague. National Forest Service, Driebergen.
- Trinnaman, J., Clarke, A., 2004. Survey of Energy Resources. World Energy Council, lk. 233.
- Trumm U., Rozental V., 2012. Eesti turbatööstuse ajalugu. 1. Osa: U. Trumm, 2. Osa: V. Rozental. In Nomine OÜ; KIK.
- Vayrynen, T., 2010. Water treatment methods in peat production. Peatlands International Vol 1. International Peatlands Society, lk 38-39.
- Valk, U., 1988. Eesti sood. Valgus, lk 178.
- Valk, U., 2005. Eesti rabad. OÜ Halo kirjastus, lk 89.
- Wheeler, B.D., Shaw, S.C., 1995. Restoration of damaged peatlands with particular reference to lowland raised bogs affected by peat extraction. London: Her Majesty's Stationary Office.

### **Käsikirjad**

- Kull, A. 2013. Soode ökoloogilise funktsionaalsuse tagamiseks vajalike puhvertsoonide määratlemine pikaajaliste häiringute leviku piiramiseks või leevendamiseks. Käsikiri Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste Instituudis.

## Internetiallikad

- BBC, 2011. Turf cutters battle over Irish peat bog ban. ([http://news.bbc.co.uk/2/hi/programmes/from\\_our\\_own\\_correspondent/9508788.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/programmes/from_our_own_correspondent/9508788.stm)), 16.05.2015.
- FAO, 2013. Workshop report summary. Towards sustainable land management practices for peatlands: special focus on drained areas. (<http://www.fao.org/climatechange/37903-0d591e99f320df276ad1e68fc8ce10fee.pdf>), 16.05.2015.
- Geoslope, 2012. Seepage modelling with SeepW. An Engineering Methodology. GEO-SLOPE International Ltd. (<http://downloads.geoslope.com/geostudioresources/8/0/6/books/seep%20modeling.pdf?v=8.0.7.6129>), 16.05.2015.
- Ilomets, M., 2001. Mis saab jääsoodest? Eesti Loodus. ([http://www.loodusajakiri.ee/eesti\\_loodus/EL/vanaweb/0106/mati.html](http://www.loodusajakiri.ee/eesti_loodus/EL/vanaweb/0106/mati.html)), 16.05.2015.
- International Waters Learning Exchange & Resource Network (IWLERN), 2010. Extraction of peat and the reduction of the concurrent impact on ground and surface water in the Viru-Peipsi sub-basin. (<http://iwlearn.net/iw-projects/1444/reports/extraction-of-peat-and-the-reduction-of-the-concurrent-impact-on-ground-and-surface-water-in-the-viru-peipsi-sub-basin/view>), 16.05.2015.
- Keskkonnaministeerium, 2010. Eesti turbaalade kaitse ja säästliku kasutamise viisid, eelnõu ([http://www.envir.ee/sites/default/files/turbakontseptsioon\\_kodulehele\\_taiendatud.pdf](http://www.envir.ee/sites/default/files/turbakontseptsioon_kodulehele_taiendatud.pdf)), 16.05.2015.
- Maaamet, 2013. Koondbilanss. (<http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Geoloogilised-andmed/Maardlad/Maavaravarude-koondbilansid-p193.html>), 16.05.2015.
- Orru, M., Mikkelsaar, K., 2011. Kuivenduse mõju ulatus turba kaevandamisel looduslikele sooladele. Kaevandamine ja vesi. Tallinn. ([http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/artiklid/2011/ems2011/Orru\\_Mikkelsaar\\_Kuivenduse\\_moju\\_ulatus\\_turba\\_kaevandamisel\\_looduslikele\\_sooladele.pdf](http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/artiklid/2011/ems2011/Orru_Mikkelsaar_Kuivenduse_moju_ulatus_turba_kaevandamisel_looduslikele_sooladele.pdf)) 16.05.2015.
- Postimees, 2014. <http://www.parnupostimees.ee/2821750/tootsi-turvas-sai-loa-kaevandada-lavassaare-turbamaardlas>. 16.05.2015.

- Talleks, 2015. Eesti masinatootja Talleks dreanaažiekskavaator. (<http://www.talleks.pri.ee/?action=text&cat=2&ID=290&leht=3>), 16.05.2015.
- Turbaliit, 2015. Kaevandamine (<http://www.turbaliit.ee/?go=Kaevandamine>), 16.05.2015.
- World Energy Council (WEC), 2013. World Energy Resources Survey: Peat. ([http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete\\_WER\\_2013\\_Survey.pdf](http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf)), 16.05.2015.

## **Summary: Reducing the negative hydrological impact of peat production**

Most of the raised bogs in Estonia are surrounded by bordering ditches, which are part of drainage system that lowers the water table in extracted peatlands. These ditches affect the natural bogs that remain out of the peat production area, consequently causing drying out and shrinkage of acrotelm. According to Orru & Mikkelsaar (2011) and Kull (2013) reports, it appears that the effect of the drainage can extend up to 200-250 meters. The area size in Estonia that is affected and drained is estimated to be the third of the size of the peat production area. These areas are part of Natura 2000 network, where the aim is to assure the long-term survival of Europe's most valuable and threatened species and habitats.

The aim of the study was to make a hydrogeological model that simulates Umbusi bog hydrology and to find an effective and sustainable water management system/method to reduce the negative hydrological impact to the Natura 2000 areas or to any natural bog area caused by the bordering ditches. Water management systems (for example water flow barriers) should raise the water level in the peat as close to the ground as possible (5-20 cm), which would make it possible to Sphagnum mosses to recolonize. Different water management methods were compared against the current (calibrated flow model of Umbusi bog) situation simulation and outflow quantities to determine efficacy of the water barriers.

Sensitivity analysis of calibrated hydrogeological model revealed that the majority of water movement (95% of total water movement), is through acrotelm layer that imports large quantities of water away from the bog. Peat layers have higher horizontal hydraulic conductivity and lower vertical conductivity, which means that water movement decreases with depth. Sensitivity analysis and different water management strategies that were used in hydrogeological model showed that lower peat layer (Oa and Msa) have a low hydraulic conductivities and blocking water movement from these layers does not have a significant effect to improve and to reduce the total outflow from the bog.

Based on the sensitivity analysis and on the different water management methods that were used in the model, it is clear that the best way to reduce water losses and to

increase water storage is sealing acrotelm layer using peat bunds/ dams. Peat bunds are the most sustainable water management strategy, because of its low maintenance cost and it is only method that expanded water, which would recreate suitable living conditions for sphagnum mosses. The negative side of this water management strategy is a large volume of material that is needed to build a peat dam/bund (8 m<sup>3</sup> of peat per meter- it is estimated calculation for Umbusi bog).

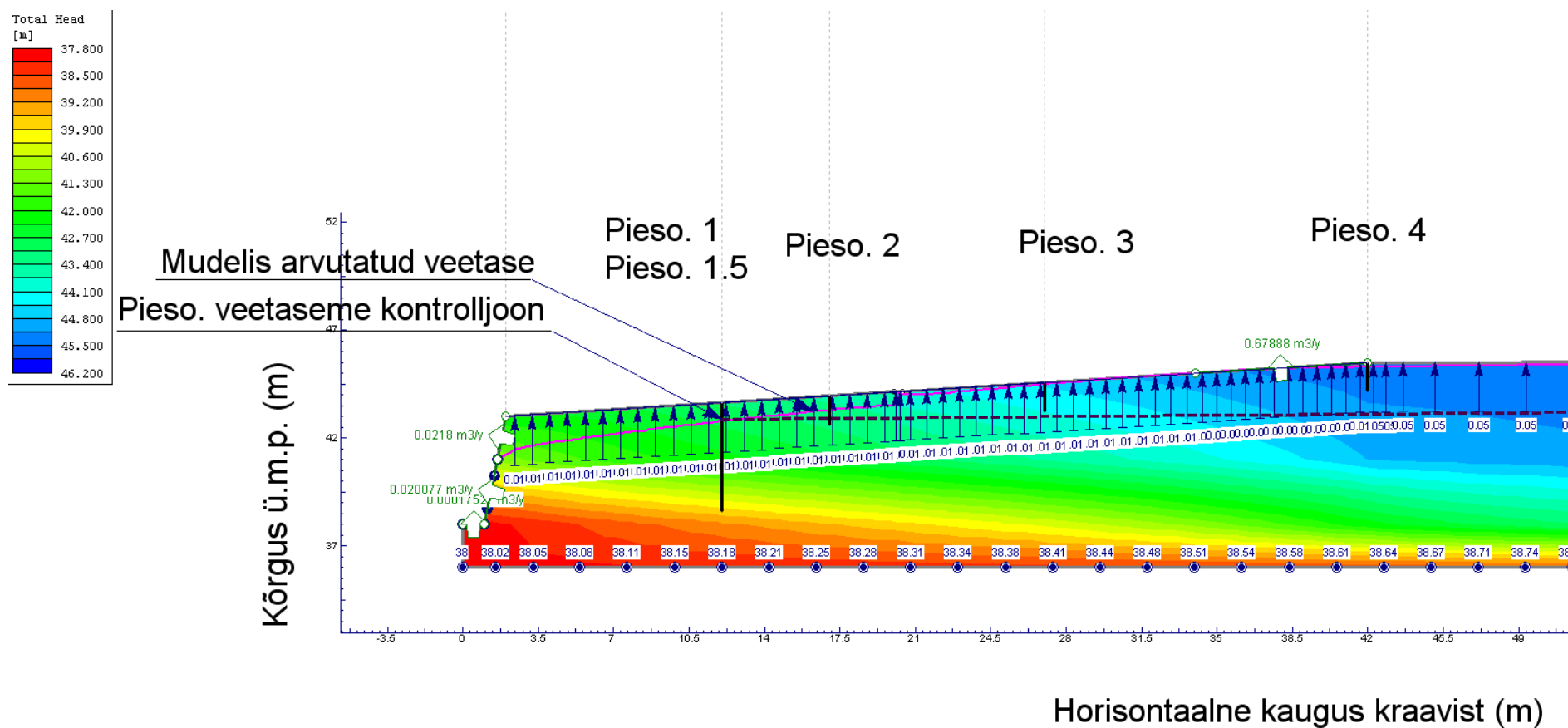
Water pumping, as a one of the water management methods that was used in modelling, was lifting a water table level in peat (outflow was increased from Oa and Msa layer), but because this method does not create most suitable conditions for sphagnum mosses (did not reduce outflow from acrotelm layer) and it is considered rather a short term solution for a bog where drainage system will be built in the future. For bogs that are drained for almost a decade it is not most suitable solution, because it is really hard to rewet the solids again after the content of peat is reduced to levels below 50%. The disadvantage of this method is the cost of electricity to keep the pump working and the amount of water that is needed to keep the water at the maximum level.





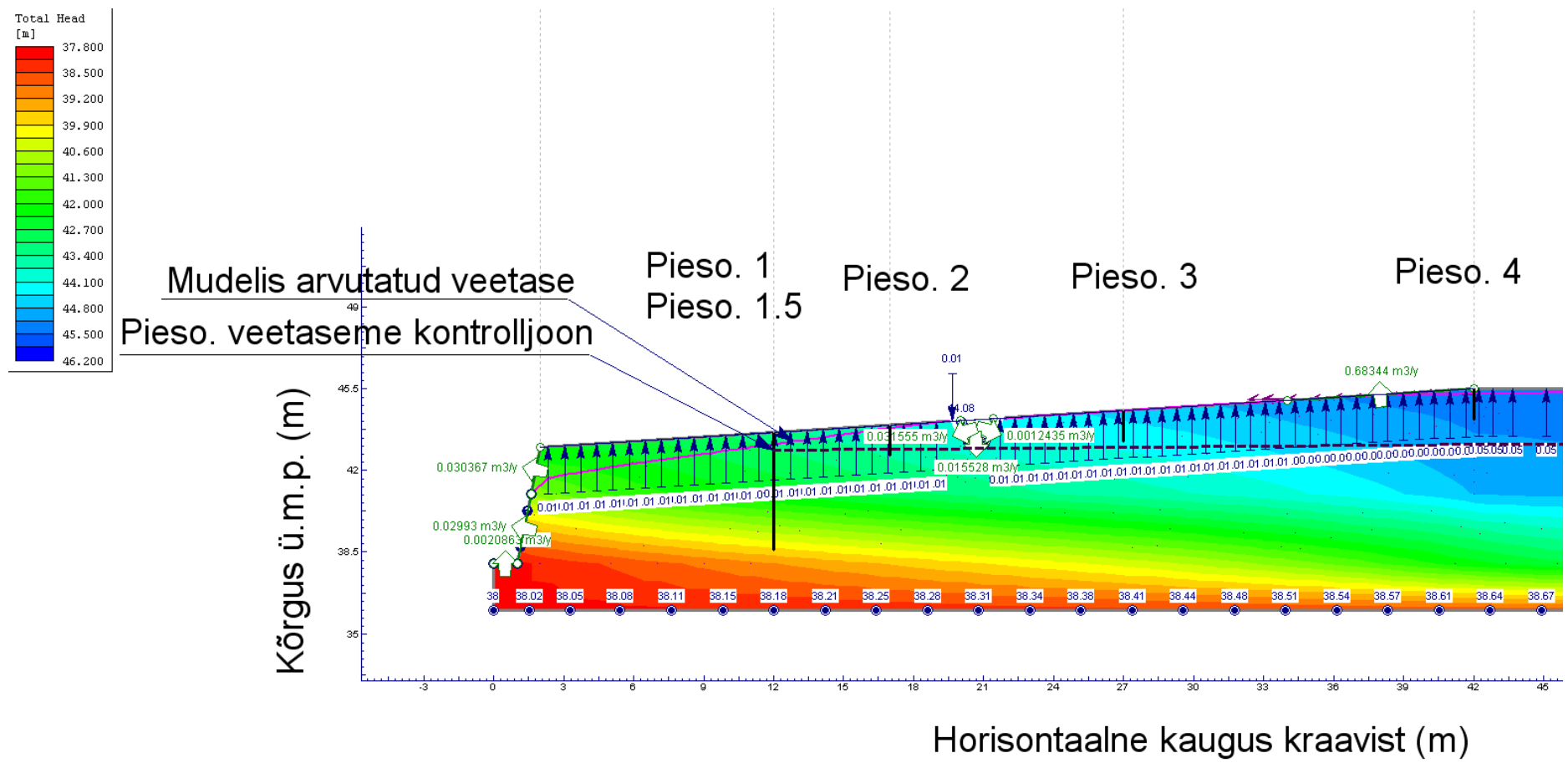


#### 4) Veetõkke lahendus- plastiksein 20m kraavist





6) Veetõkke lahendus- veetaseme hoidmine kraavis pumpamise abil



## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Laura Jakobson,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose, „Turbatootmise negatiivse hüdroloogilise mõju vähendamine“,

mille juhendaja on Marko Kohv,

- 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'is kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
  3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 19.05.2015