

Eesti Maaülikool

Metsandus- ja maaehitusinstituut

Maaparandussüsteemi täiendava vee juhtimisel maa-
parandushoiukulude jaotuse metoodika väljatöötamine

LÕPPARUANNE

Projekti täitjad:

Toomas Tamm

Toomas Timmusk

Egle Saaremäe

Tartu, 2015

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1. Metoodika ja materjalid.....	6
2. Äravoolu arvutamise alused.....	8
2.1. Normdokumendid eesvoolude ja nendel olevate rajatiste projekteerimise kohta	8
2.2. Nõuded normides ja standardites rajatiste projekteerimiseks	9
2.2.1. Arvutuslikud vooluhulgad ja ületustõenäosused	9
2.2.2. Arvutuslikud ületustõenäosused	10
2.2.3. Veetasemed	12
3. Äravoolu arvutamise metoodikad.....	13
3.1. Üldosa	13
3.2. Hüdromeetilised mõõtmised	13
3.3. SNiP 2.05.03-84 metoodika	17
3.4. Hommiku metoodika.....	19
3.5. Sademete intensiivsusel põhinevad metoodikad	21
3.5.1. Standard EVS 848:2013/AC:2013 Väliskanalisatsioon	21
3.5.2. Sademed arvutusmudelis.....	23
3.5.3. Valgala pindmise äravoolu kokkuvooluaeg.....	26
3.5.4. Karedustegurid	31
3.5.5. Lohkumahtuvus	32
3.5.6. Infiltratsioon	34

3.5.7.	Lumikate	35
3.5.8.	Veejuhtme mõõtmised	35
3.6.	Sademetes intensiivsusel põhinev meetodika - SWMM	37
3.7.	Arvutusvariandid mudeliga SWMM.....	40
3.8.	Heitvee juhtimine suublasse	42
3.8.1.	Heitvee kvaliteedist	42
3.8.2.	Heitvee kogused, vooluhulgad	44
3.8.3.	Täiendava vee juhtimise mõju eesvoolule	45
4.	Täiendava vee juhtimise mõju erinevates pinnastes asuvate ühiseesvoolude korral	46
5.	PMA tegevused taotluse koostamisel.....	48
5.1.	Rajatiste dimensioneerimine	48
5.2.	Maaparandushoiukulude jagunemine	50
5.2.1.	Üldosa.....	50
6.	Kokkuvõtte.....	53
7.	Vajalikud tegevused	54
	Viidatud kirjandus	55

LISA A

Sissejuhatus

Maakasutuse sihtotstarbe muutus, valglinnastumine, tööstusettevõtete rajamine, asulate tänavavõrgu rekonstrueerimise käigus sademeveekanaliseerimise rajamine toob kaasa vajaduse juhtida nendelt aladelt tulev vesi olemasolevatesse maaparandussüsteemide eesvooludesse. Esiteks võib suurened valgala pindala seoses üle pumpamisega või eesvoolu süvendamise tulemusel, kui veelahe kaevatakse läbi. Teiseks võib muutuda sama geograafilise valgala sees pinnakatte iseloom, mis toob kaasa vooluhulga suurenemise. Kokkuvõttes muutub äravoolu hüdrograaf – suureneb äravoolumaht või muutub selle jaotus aasta lõikes. Vooluhulga suurenemine, samuti selle aastasisese jaotuse ja maksimumide suurenemine võib tekitada vajaduse suurendada kraavi ristlõiget ja suurendada kraavil olevate rajatiste avasid.

Veeseadusest tulenev määrus ja maaparandusseaduse muudatus kehtestavad, et lisavee juhtimine maaparandussüsteemi eesvoolu kooskõlastatakse põllumajandusametiga. Kooskõlastus peab tuginema teaduslikult põhjendatud arvutusmetoodikal. Eestis on hüdroloogiliste arvutuste alused reguleerimata, normdokumentides viidatakse varem kasutusel olevatele valemitele või mudelitele. Nende kohta pole konkreetseid juhendeid, seetõttu tõlgendavad ametasutused ja projektbürood arvutusmetoodikaid praktikas erinevalt.

Projekti eesmärk on teaduspõhise sisendi andmine maaparanduse valdkonnas täiendava vee juhtimisel ja maaparandushoiukulude jaotuse metoodika väljatöötamiseks, mis tagab produktiivse põllumajandustootmise ja maakasutuse.

Uurimustöö ülesandeks on:

1. Analüüsida täiendava vee juhtimise mõjusid erinevates pinnastes asuvate ühiseesvoolude korral;
2. Töötada välja täiendava vee juhtija hoiukuludes osaluse suuruse määramise metoodika:
 - vooluhulkade alusel;
 - valgala, kus koondub täiendav vesi, alusel.

Andmed maaparandussüsteemi eesvoolu juhtava täiendava vee koguse kohta võimaldavad:

- kontrollida, kas olemasoleva voolusängi ja sellel olevad rajatiste mõõtmed võimaldavad suurenenud veekoguse vastu võtta;
- On võlaõigusseaduse alusel võõrast maast läbijuhitava vee osas kraavi talumise kompenseerimise aluseks;
- ühiseesvoolu korral maaparandusühistu hoiukulude jagamise alus.

Seega on käesoleva töö üheks ülesandeks analüüsida senises praktikas äravoolu arvutamismetoodikaid ja hinnata kriitiliselt nende kasutamist. Selle saavutamiseks peavad arvutuslikud ja tegelikud vooluhulgad olema leitud tuginedes Eesti kliimaatilistele andmetele (sademed, äravool), maakasutuspraktikale (nt tehiskatendite osakaalu suurenemine) ja kasutatavatele tehnilistele lahendustele (sh kasutatavad materjalid).

Ühiseesvoole on kõige ratsionaalsem korras hoida maaparandusühistute kaudu. Maaparandushoiu tegemisel on oluline, et selle kulude hüvitamisel osaleksid kõik ühiseesvoolu toimimisest kasusaajad, sh maaparandussüsteemi täiendava vee juhtijad. Arvestades nii maa kui linnapiirkondades toimuvate arenguid, nt valgla suuruse muutus seoses tehnilise infrastruktuuri muutuse tulemusena, tekib vajadus jaotada tekkivaid maaparandushoiu kulusid ka mittepõllumajandustootjatega.

Töös on pööratud tähelepanu äravoolu arvutamise metoodikate kasutamisel projekteerimispraktikas esinevatele probleemidele, juhendite kehtivusele ja tehtud ettepanekuid edasiseks uurimistööks.

1. Metoodika ja materjalid

Maaparandushoiu osaks on ühiseesvoolude nõuetekohane toimimine - tagama piisava veevastuvõtvõime ja minimiseerima hajureostuse leviku ohu. Selle tagamiseks peavad arvutuslikud ja tegelikud vooluhulgad nendesse olema leitud tuginedes Eesti kliimatilistele oludele (sademed, äravool), füüsikalise-geograafilistele oludele, maakasutuspraktikale (nt tehiskatendite osakaalu suurenemine) ja kasutatavatele tehnilistele lahendustele (sh kasutatavad materjalid).

Töö metoodikaks on analüüs. Aruandes analüüsiti äravoolu (vooluhulga) arvutuste aluseid ja nende kasutamiskiire ning praktikas esinevaid probleeme, sh maaparanduseesvoolude dimensioneerimiseks vajalike andmete olemasolu. Projektis käsitleti erinevaid äravoolu hindamise metoodikaid: Eesti olude jaoks kohandatud SNiP 2.01.11-83 põhinev metoodika, K. Hommiku empiiriline valem, EVS 848:2013 ja äravoolu hüdroloogilis-hüdrauliline matemaatiline modelleerimine (SWMM näitel).

Piisava täpsusega ja kogu Eestit iseloomustavaid meteoroloogilisi ja hüdrooloogilisi andmeid on käesoleva teema käsitlemiseks ebapiisavalt. Eestis on pikad vaatlusandmerekad ööpäevaste sademete hulga kohta, kuid väga vähesel määrasel on mõõdetud ja analüüsitud ööpäevaste sademete jaotust ja -intensiivsust. Näiteks Kamenik (2015) analüüsis ekstreemseid ööpäevaseid sademeid erinevates Eesti meteojaamades ja leidis et, ööpäevaste sademete ületustenaosused on $p_2=30$ mm/ööp, $p_5=41$ mm/ööp, $p_{10}=49$ mm/ööp (p - korduvus aastates), kuid maksimumide piirid varieeruvad väga laialt, näiteks Ruhnus 39 mm/ööp, Jõhvis 58 mm/ööp. Sademeteintensiivsusel põhinevad metoodikad vajavad aga ööpäevasiseste lühikese ajasammuga sademete statistilisi tõenäosuslikke arvvaartusi. Näiteks Soomes on selline statistika vähemalt teatud paikkondade jaoks olemas (Aaltonen jt, 2008).

Käesolevas töös kasutati Jõgeva meteojaama 1991-2003 aasta sademete lühiajaliste ööpäevasiseste intensiivsuste andmeid (Laas, 2008) äravoolu modelleerimiseks programmiga SWMM. Vihmade andmebaasist valiti välja tüüpilise tagatuse, iseloomuliku sademetehulga ja pikkusega tegelikud vihmad, mida kasutati näidisalade äravoolu modelleerimiseks.

Maaparandussüsteemide registri põhjal analüüsiti eesvoolude jaotust valgalade ja hoolduse tegija alusel ning analüüsiti maaparanduseesvooludel hüdromeetriaamade andmete kasutamise võimalust.

Maaparandussüsteemi võib tulla lisavett valgala suurenemisega, või muutuvad oluliselt valgala hüdrooloogilised karakteristikud, või juhitakse juurde tööstuses kasutatav tehnoloogiline vesi.

Skemaatiliselt võimalikud variandid on:

- 1) Valgala suurenemine:
 - a. maatulundusmaa arvelt
 - b. detailplaneeringuga katenditega alalt
- 2) Maakasutuse sihtotstarbe muutusest tingitud valgala hüdroloogiliste karakteristikute muutus
 - a. Metsamaa põllumajanduslikuks maaks
 - b. Maatulundusmaa tööstus- või elamumaaks

Mõlemal juhul on analüüsitud kolme varianti: väikesed valgala, mida hüdroloogiliselt ei arvutata, valgala kuni 10 km², valgala üle 10 km².

Lisaks käsitleti tehnoloogilise heitvee juhtimise probleeme maaparanduse eesvoolu.

Arvestades nii maa kui linnapiirkondades toimuvatele arenguid, nt valgla suuruse muutus seoses tehnilise infrastruktuuri muutuse tulemusena, tekib vajadus jaotada tekkivaid maaparandushoiu kulusid kasusaajate vahel kasutades selles väljatöötatud metoodikat või metoodikaid, mis sõltuvad analüüsi teostamiseks võimalike andmete hulgast ja iseloomust

2. Äravoolu arvutamise alused

2.1. Normdokumendid eesvoolude ja nendel olevate rajatiste projekteerimise kohta

Eestis sademete aastasisene jaotus on ebaühtlane ja aasta summana ületab aurumise 200...300 mm võrra. Liigvee ära juhtimine on oluline nii maatulundusmaal kui ka asulaterritooriumil ja erinevate rajatiste mõõtmestamisel. Intensiivselt kasutataval põllumajandusmaastikul ja asulates ei ole pikaajaline pinnavee esinemine lubatud. Sellest tulenevalt on asjakohastes normdokumentides puudutatud ka liigvee ärajuhtimise teemat, sealhulgas kraavide ja nendel olevate rajatiste (peamiselt truubid) dimensioneerimise aluseid.

Eesvoolud ja nendel olevate rajatiste projekteerimist puudutavad neli dokumenti:

- 1) Maatulundusmaal (mets, põllumaa) maaparandussüsteemi, kraavide ja nendel olevaid ehitiste rajamise aluseks on projekt, mille koostamine konstruktiivses osas tugineb põllumajandusministri määrusel „Maaparandussüsteemi projekteerimisnormid“, mille hetkel kehtiv redaktsioon on aastast 2011 (edaspidi MSPN).
- 2) Maanteedel olevate truupide projekteerimise aluseks on majandus- ja taristuministri määrusega nr 106 (5.08.2015) kehtestatud „Maanteede projekteerimisnormid“;
- 3) Asulates tänavate tehnovõrkude sh sademe ja sulavee ära juhtimiseks ettenähtud veejuhtmete projekteerimise aluseks on standard EVS 843:2003, Linnatänavad;
- 4) Linnatänavalt ja territooriumilt sademevee koguste ja torustike projekteerimiseks on aluseks standard EVS 848:2013/AC:2013. Väliskanaliseerimisvõrk.

Loetletud normid ja standardid käsitlevad kitsalt oma valdkonna konstruktsioonide projekteerimise aluseid. Valglinnastumisega, tööstusparkide rajamisega ning asulates sademekanalisatsioonisüsteemide arendamisega muutuvad varem ühe sihtotstarbega rajatud eesvoolud erinevate omadustega valgalalt tuleva vee vastuvõtjaks. Siit tekivad probleemid rajatiste mõõtmestamiseks vajalike maksimaalsete vooluhulkade määramisel, äravoolu mahu hindamisel ning valgala veemajandusliku tegevuse korraldamisel. Siia võib lisanduda keskkonnakaitselistel eesmärkidel saavutamise vajadus, nt taimetoitainete väljakande vähendamine.

Äravoolu mõõtmist, hüdroloogiliste arvutuste metoodikaid ei ole Eestis standardiseeritud. Arvutuslikku vooluhulga leidmise kohta on toodud juhised ainult maaparandussüsteemi projekteerimismis (MSPN).

2.2. Nõuded normides ja standardites rajatiste projekteerimiseks

2.2.1. Arvutuslikud vooluhulgad ja ületustõenäosused

Ülal nimetatud normid ja standardid kasutavad mõistet **arvutuslik vooluhulk**, mille kohta on toodud ehitisega kaasnevatest riskidest olenev ületustõenäosus. Maanteede projekteerimismis defineerib: arvutuslik vooluhulk on etteantud tõenäosusega esinev **maksimaalne vooluhulk** (Maanteede... 2015). Maaparanduses erinevusena maanteede projekteerimismist maksimaalsete vooluhulkade juures kasutatakse lisaks mõistet **päevakeskmise maksimaalne** (mitte hetkeline maksimaalne). Erinevus päevakeskmise maksimaalse ja hetkelise maksimaalse vahel ilmneb oluliselt väikeste (alla 100 km²) valgalade juures. K.Hommik on seda ka oma arvutusmudeli juures arvestanud andes valemid mõlema variandi jaoks (Kuivendussüsteemide... 1989).

MSPN järgi konstruktsioonid peavad tagama nõuded erinevatel taimekasvu ja koristustööperioodidel - kevadel, suvel ja sügisel. Seetõttu tuleb määrata/arvutada ka suve-sügise päevakeskmise maksimaalne ja sügisene (IX,X kuu) keskmine vooluhulk.

Ka suvekuude maksimumid ja selle arvutusmetoodika on oluline lisavee (valgala suurenemisest või katendite muutusest) juhtimisel olemasolevasse maaparandussüsteemi eesvoolu, sest enamus sademeid langeb suveperioodil.

Eesti Vabariigis ei ole ilmunud ametlikke juhendeid, standarte hüdroloogiliste arvutuste metoodikate kohta. Ainsana on määruses „Maaparandussüsteemi projekteerimismis“ märgitud, et hüdrooloogilised karakteristikud määratakse:

- 1) hüdromeetriliste vaatlusandmete alusel, nn pikk vaatlusrida;
- 2) ebapiisavate hüdromeetriliste vaatlusandmete korral vaatlusrea pikendamise teel analoogveejuhtme pika vaatlusrea andmete järgi;
- 3) vaatlusandmete puudumise korral seni kasutatud empiiriliste valemite ja asjakohaste kartogrammide abil ning tulemuste võrdlemise teel analoogveejuhtme vaatlusandmete järgi arvutatud karakteristikutega.

Eestis on hetkel 58 hüdromeetriaajaama, kus mõõtmised on automatiseeritud. Süstemaatilise vaatlus-read on alates 5 aastast, vaatlusrida loetakse pikaks, kui see on pikem kui 40 aastat (70 aastat, see arvestab pikemaajalist veevaeste-veerohkete perioodide tsüklilisust). Emajõel on esmased vaatlused alates aastast 1867, kui vaatlused ei ole olnud pidevad. Ka varasemal ajal on veeseise ja äravoolu mõõdetud erineva pikkusega perioodidel lisaks praegustele hüdromeetriaajaamadele veel kuni 40 postis (Ресурсы 1972).

Lühikese rea korral saab rida pikendada analoog-veejuhtme abil. Analoo-veejuhtmeks valitakse:

- 1) määratavale veejuhtmele võimalikult lähedal paiknev veejuhe;
- 2) võrreldavate äravoolu moodustumise tingimustega veejuhe;
- 3) veejuhe, mille valgala pindala ei erine määratava veejuhtme valgala pindalast üle kümne korra;
- 4) veejuhe, mille looduslikku äravoolu inimtegevuse mõju oluliselt ei moonuta.

Arvestades asjaolu, et maaparanduse valdkonna ametlik hüdroloogilisi arvutusi käsitlev juhend ilmus RPUI Eesti Maaparandusprojekt väljaandena 1989.aastal, siis aruandes (punkt 3) on käsitletud lühidalt nende kasutatavust ja juhitud tähelepanu mõnede erisustele terminite ja mudelite juures.

2.2.2. Arvutuslikud ületustõenäosused

Maaparanduse eesvoolude ristlõike suurus dimensioneeritakse kasutades kevadist ja suve-sügise päevakeskmist maksimaalset vooluhulka ületustõenäosustega 10%. Kevadine maksimum määrab maksimaalse voolukiiruse ja üleujutuspiirkonna, suvine kõrgveetase ei tohi paisutada dreene ja kivevenduskraave.

Rajatiste projekteerimise alused on praeguseks nii maaparanduse, maanteed kui ka tänavate projekteerimisnormides ühtlustunud. Alates 2009. aastast on ka MSPN truubi ja hüdrotehnilise ehitise dimensionimisel arvutusliku vooluhulga (aasta päevakeskmine maksimaalne) ületustõenäosuseks 3% (varem oli 5%).

Sademeveekanaliseerimise arvutusvihma korduvuseks võetakse suhteliselt suurte kruntidega väikeelamupiirkonnas (lahkvoolukanaliseerimise olemasolul) ja kus ajutine üleujutus ei põhjusta olulist kahju – 1 aasta, korruselamupiirkonnas 2 aastat (esinemise tõenäosused vastavalt 63% ja 39%). Tunnelites ja muudes rajatistes, kus sademeveeuputus võib põhjustada inimohvreid või ulatuslikku kahju, määratakse arvutusvihma korduvus nende rajatiste projekteerimisstandardite järgi, kuid see ei tohi olla sagedasem kui kord 10 aasta jooksul.

Linnatänavate projekteerimise standard ei täpsusta arvutusliku vooluhulga mõistet, kuid normeerib maanteedega samamoodi arvutusliku vooluhulga esinemise tõenäosused. Siin peab silmas pidama, et linnas veetakse lund ära ning kevadise lumeveevarude põhjal koostatud arvutusmodelid ei pruugi kehtida, vaid määravaks saavad suvised valingvihmad. Seega aasta maksimaalne vooluhulk ei võrdu kevadise maksimaalsega. Seda arvestab EVS Väliskanalisatsioon, kus märgitakse, et kui valgla haljastusprotsent on üle 50, tuleb kollektorite läbilaskevõimet kontrollida nii valingvihma kui ka kiire lumesulamise ajal.

Silla ja truubi arvutusliku kõrgvee esinemise tõenäosus ning sellele vastav vooluhulk tuleb määrata sõltuvalt rajatise tüübist ja maantee klassist (tabel 2.1).

Tabel 2.1. Arvutusliku vooluhulga esinemise tõenäosus

Rajatise tüüp	Maantee klass	Arvutusliku vooluhulga esinemise tõenäosus, %
Suur ja keskmine sild	Kiirtee, I–III	1,0
	IV–VI	2,0
Väike sild ja truup	Kiirtee, I	1,0
	II ja III	2,0
	IV–VI	3,0

Märkus: maantee-sildade puhul kehtib järgmine tinglik jaotus nende pikkuse järgi: väike sild – puhas ava pikkusega 3 kuni 25 m; keskmine sild – puhas ava pikkusega üle 25 kuni 100 m; suur sild – puhas ava pikkusega üle 100 m.

Truubi ava määramisel peab lisaks vooluhulgale arvestama tabelis 2.2. toodud nõudeid.

Tabel 2.2 Truubi pikkuse sõltuvus truubi läbimõõdust

Maantee klass	Truubi lubatud pikkus päiste või kaevude vahel, m	
	0,50-0,90	≥1,00
Maantee	kuni 30	ei piirata
Mahasõit	ei piirata	ei piirata

2.2.3. Veetasemed

Arvutuslik veetase on veetase, mis vastab arvutuslikule vooluhulgale. Üldjuhul on eelduseks, et nii asulates kui ka haritavaal maal vegetatsiooniperioodil üleujutused ei ole lubatud. Tänav pinnavee äravoolusüsteemi projekteerimisel veekihi sügavus rentsilis ei tohi ületada 3 cm, soovitatavalt 2 cm (linnatänav EVS). Standard Väliskanaliseerimine lubab väikeelamupiirkondades, kus tee ajutine üleujutus majanduslikku kahju ei tekita või kus on võimalik sademevett koguda maapinnalohkudesse või kraavidesse, torustiku dimensioonida sagedamini korduva arvutusvihma järgi tingimusel, et veekihi paksus tänaval või sillutatud õuealal ei ületa 10 cm.

Maaparanduse kohta käivas normis maksimaalsetele vooluhulkadele vastavate veeseisude kohta on märgitud, et see määrab ära üleujutuspiirkonna. MSPN-i § 6 lõige 2: viitab normi lisa tabelile 1, mis täpsustab erinevate ehitiste (voolusäng, truup) jaoks arvutusperioode (sügisene koristusperiood, vegetatsiooniperiood, kevadine suurveeperiood), annab ületustõenäosuse arvulised väärtused ja arvutuste eesmärgi või nõuded rajatistele. Nii näiteks kevadine maksimum veetase määrab ära üleujutuspiirkonna (kui see on lubatud), sügisene veeseis peab jääma allapoole kollektorite suudmeid jne.

Varem kasutatud kuivendussüsteemide projekteerimise juhendis (1989.aastast) kevadine üleujutus polnud lubatud ainult taliteraviljadel, metsas kraavi sängi kevadise maksimumi läbilaskmiseks üldse ei dimensioneeritud.

Vooluveekogudel on enamlevinumad sillad ja truubid. Nõuded nende projekteerimisele on erinevates normides ühtlustatud.

Maantee, tänav, eratee projekteerimisega seotud normide peatükid toovad välja maksimaalsed veetasemed seoses truupide ja sildade põhjustatud paisutusega. Truubid tuleb projekteerida rõhuta või osalise rõhu all töötavana, sisse- ja väljavoolu otsakutega ning kindlustatuna olenevalt voolurežiimist. Lubatava paisutuse kõrguse jaoks on järgmised kriteeriumid: tee serva kõrgus truubi peale sõidul projekteeritakse arvutuslikust veeseisust truubi rõhuta töörežiimi puhul vähemalt 0,5 m kõrgem; truubi rõhuga ja osalise rõhuga töörežiimi puhul vähemalt 1,0 m kõrgem.

3. Äravoolu arvutamise metoodikad

3.1.Üldosa

Äravool valgalalt on määratud kas vooluveekogudes mõõdetud andmete alusel või hinnatakse mõõdetud sademete põhjal.

Enamus juhtudel ei ole väikestel jõgedel pikaajalisi (üle 40 aasta) äravoolu mõõtmisandmeid, kraavidel ametlikud vaatusandmed puuduvad. Selliste juhtude jaoks (MSPN-i § 5) hüdroloogiliste karakteristikute määramine vaatusandmete puudumise korral toimub see seni kasutatud empiiriliste valemite ja asjakohaste kartogrammide abil (ja tulemuste võrdlemise teel analoog-veejuhtme vaatusandmete järgi arvutatud karakteristikutega). Seni kasutatud valemid kraavide ja nendel olevate rajatiste hüdroloogiliste arvutuste aluste kohta on Eestis ametliku dokumendina antud välja 1989.aastal „Kuivendussüsteemide projekteerimisjuhend“VEN-P-6-88.

Selles on toodud kaks metoodikat.

- 1) Kraavide ristlõike suuruse määramiseks kevadsuurvee läbilaskmisel, suviste valingvihmade korral ja sügisese koristusperioodi jaoks on toodud K.Hommiku poolt Eesti jaoks väljatöötatud metoodika, millega on võimalik arvutada hetke maksimaalset ja päevakeskmist äravoolu erinevate ületustõenäosustega;
- 2) Hüdromeetriliste vaatusandmete puudumisel tuleb kevadiste maksimaalsete vooluhulkade leidmiseks kasutada Eesti olude jaoks kohandatud SNiP 2.01.11-83 põhinevat metoodikat. Maksimaalset vooluhulka kasutatakse truupide ja vesiehitiste dimensioneerimiseks.

Nende alused on erinevad ja seega ka tulemused sama ala kohta mõnevõrra erinevad.

3.2.Hüdromeetrised mõõtmised

Eestis on hüdromeetrilisi vaatlusi tehtud alates 1867. aastast Emajõel. Praegu on viiekümnel jõel kokku 58 automaatjaama, uusim nendest aastast 2011. Enamus truupe ja sildu on ehitatud 80-ndatel aastatel. Kui on võimalik dimensioneerimiseks kasutada vaatusandmeid, siis rekonstrueeritava rajatise pikema vaatlusrea puhul tuleb teha uuesti ka hüdroloogilised arvutused. Viimased aastakümned ei ole olnud ekstreemsete ilmastikutingimustega ja pikema rea puhul tõenäosuslikud maksimaalsed vooluhulgad on väiksemad (välja arvatud 2010 aasta üleujutus Emajõel, mis tekitas umbes 4% ületustõenäosusega veetaseme).

Maaparandussüsteemide andmebaasi alusel on maaparandussüsteemi eesvooludel kokku 39 vaatlusjaama (tabelid 3.1 ja 3.2), enamus nendest jõe suudmeosas suure valgalaga. Kuues vaatlusjaamas on valgala alla 100 km², kuues 100...200 km², üheksal 200...300 km². Maaparanduse eesvoolud on valdavalt väiksed (tabel 3.2), puuduvad ka lühikesed vaatlusread ning vooluhulkade leidmine vaatlusandmete või nende rea pikendamise teel analoogveejuhet kasutades pole võimalik.

Tabel 3.1. Riigi poolt hooldatavad eesvoolud

Valgala pindala	Eesvoolude arv	Pikkus km	Hooldatavate lõikude arv	Tegutseva hüdromeetria postiga ojade/jõgede arv
Alla 10 km ²	1	4,09	1	0
10...25 km ²	317	1751,61	327	0
Üle 25 km ²	351	3686,86	448	32

Tabel 3.2. Maaparanduse eesvoolude jaotus (riigi poolt mittehooldatavad)

Valgala pindala	Eesvoolude arv	Pikkus km	Hooldatavate lõikude arv	Hüdromeetria postidega ojade/jõgede arv
Alla 10 km ²	10989	17224,23	11423	0
10...25 km ²	246	822,3	384	0
Üle 25 km ²	154	613,71	250	7

Peab silmas pidama ka asjaolu, et olemasolevaid andmeid ei saa mehaaniliselt kanda üle uuritud jõe väikese valgalaga ülemjooksule, kus sāngi lang, valgala metsasus ja soomulla pindala võib mõõtepositi andmetest oluliselt erineda. Väikese valgala puhul on äravoolumoodulid märgatavamalt suuremad – suure valgala pindala puhul on äravoolutingimused selle osades erinevad ja aga saadakse keskmine väärtus ning tuleb arvestada kokkuvoolu ajast tingitud hüdrograafi lamene mine. Näitena esitatud tabelis 3.3 võrdlused nelja jõe kohta.

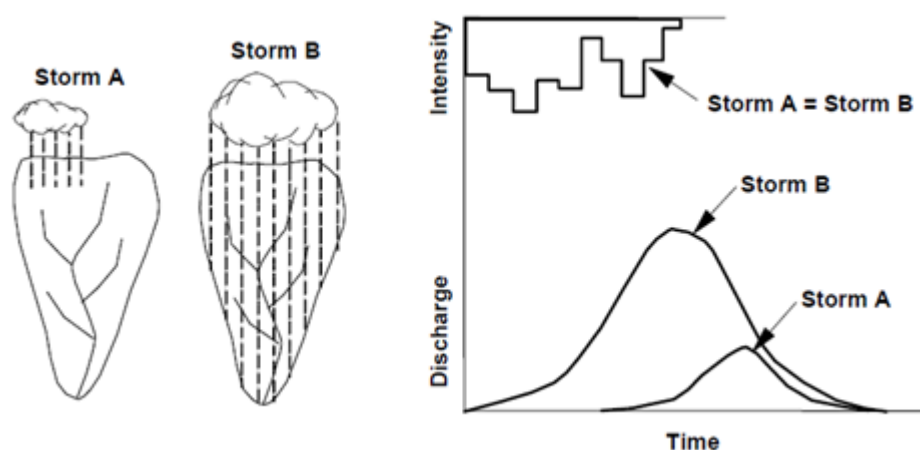
Tabel 3.3. Jõgede valgala, vooluhulk ja äravoolumoodul

Jõgi	Hüdromeetriaajaama valgala km ²	Q _{5%} m ³ /s	Q _{1%} m ³ /s	q _{5%} l/s km ²	q _{1%} l/s km ²
Piigaste oja	11,5	3,4	5,0	300	430
Tarvastu jõgi	95	12,5	14,9	130	160
Elva jõgi	238,6	31,9	41,0	130	170
Põltsamaa jõgi	1050,6	71,7	94,7	70	90

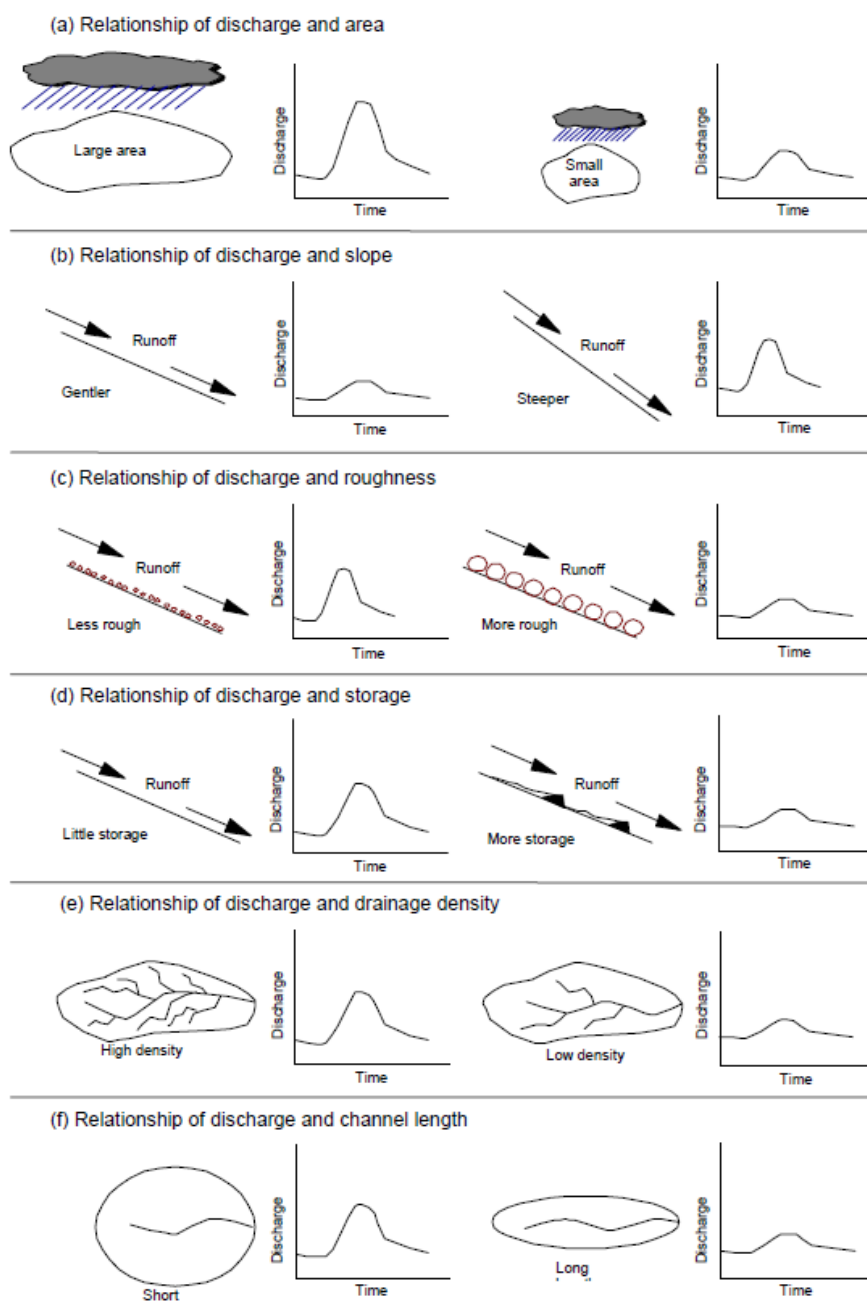
Maaparandussüsteemide registris eesvoolude summaarne pikkus on 2015.a. 31. mai seisuga 24567,5 km, sellest riigi poolt korrashoitavaid veejuhtmeid 5437,9 km. Riigi poolt korrashoitavate eesvoolude nimekirjas on üldjuhul üle 10 km² valgala veejuhtmed, mille hulgas on peamiselt osaliselt reguleeritud väikejõesid või suurte jõgede ülemjooksud. Kokku hooldatavaid lõike 775 tükki (tabel 3.1).

Registris ei saa päringuga hooldatavate lõikude asukohta (valgala). Selle olemasolu hõlbustaks projekteerimistööl andmete hankimist.

Hüdromeetriliste mõõtmiste ja meteoroloogiliste sademetemõõtmiste interpreteerimisel tuleb arvestada ajalis-ruumiliste aspektidega, millele lisanduvad füüsikalised-geograafilised parameetrid. Näiteks ei suuda sademetevõrgu tegelik tihedus tagada seda, et sademete järgi oleks võimalik alati väga täpselt ennustada äravoolu tippu ja ajalist jaotust (joonis 3.1). Mida suurem on valgala, seda ebatõenäolisem on hinnata ränkade hoogvihmade andmete alusel tegelikku äravoolulukorda väikese valgala kraavides (Joonis 3.1). Füüsikalised-geograafilised parameetrite mõju on joonisel 3.2.



Joonis 3.1. Äravooluhüdrograafi kuju olenevalt vihma ulatusest (McCuen 2002).



Joonis 3.2. Hüdrograafi kuju olenevalt valgala geograafilis-füüsikalistest parameetritest äravooluhüdrograafide, a) valgla suuruse mõju, b) valgla langu mõju, c) pinnakareduse mõju, d) äravoolupeetuse mõju, e) kuivendusvõrgu tiheduse mõju, f) geometriast tulenev mõju (McCuen 2002).

3.3. SNiP 2.05.03-84 metoodika

1989. aastal RPUI „Eesti Maaparandusprojekt“ poolt väljaantud juhendis on märgitud, et truubid ja sillad arvutatakse aasta maksimaalsete vooluhulkadega (täpsustamata selle mõiste sisu väikestes valgalades) ja hüdromeetriliste vaatlusandmete puudumisel kevadiste maksimaalsete (hetkeliste) vooluhulkade arvutamiseks kasutatakse SNiP 2.05.03-84 valemite :

$$Q_{p\%} = \frac{K_0 \cdot h_{p\%} \cdot \mu \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2}{(A+1)^n} A, \quad (3.1)$$

kus

$Q_{p\%}$ - kevadine maksimaalne äravool ületustõenäosusega $p\%$;

K_0 – kevadise suurvee moodustamise intensiivsust iseloomustav näitaja, mis varieerub sisemaal alates 0,006-st kuni 0,018 läänerrannikul (andmed kartogrammilt);

$h_{p\%}$ - kevadise suurvee äravoolukiht (mm) ületustõenäosusega $p\%$, mis arvutatakse valemiga 3.2;

μ - tegur, mis arvestab äravoolukihi statistiliste parameetrite ebaühtlust, so. 1 % korral 1,0 ja 5 % korral 0,96;

δ – tegur, mis arvestab veehoidlate ja läbivoolujärvede reguleerivat mõju äravoolule, leitakse valemiga 3.3;

δ_1 – tegur, mis arvestab metsade mõju maksimaalsele äravoolule, leitakse valemiga 3.5;

δ_2 – tegur, mis arvestab soode mõju äravoolule, leitakse valemiga 3.6;

A – valgala pindala km^2 .

Kevadise suurvee äravoolukiht ületustõenäosusega $p\%$ arvutatakse valemiga:

$$h_{p\%} = h_0 * (F_{\%} * C_v + 1), \quad (3.2)$$

kus

h_0 – kevadine suurveeaegne keskmine äravoolukiht (mm), mis saadakse kartogrammilt;

C_v – variatsioonikordaja, mis saadakse kartogrammilt;

$F_{\%}$ - ületustõenäosuskõvera ordinaat, mis on oleneb tõenäosusest ja assümmeetriategurist.

Tegur, mis arvestab veehoidlate ja läbivoolujärvede reguleerivat mõju äravoolule arvutatakse valemiga:

$$\delta = \frac{1}{1 + C * A_j}, \quad (3.3)$$

kus

C – sõltub kevadsuurvee keskmisest äravoolukihist h_0 , so. 0,2, tabelist [8],

A_j – valgala kaalutud keskmine järvisus, mis arvutatakse järgmise valemiga:

$$A_j = \sum_{i=1}^n \left(100 * S_j * \frac{A_i}{A^2} \right) \% \quad (3.4)$$

kus

S_j – järvepeegli pindala km^2 ,

A_i – järve valgala km^2 .

Kui veejuhtme läbivoolujärvi ei ole ning kui valgala järvisus on:

- alla 2%, siis $\delta=1,0$
- üle 2%, siis $\delta=0,8$.

Valemiga 3.5 leitakse tegur, mis arvestab metsade mõju maksimaalsele äravoolule:

$$\delta_1 = \frac{\alpha_1}{(A_m + 1)^{n_2}}, \quad (3.5)$$

kus

A_m – metsade pindala % valgala pindalast, $A_m=40\%$.

Valemiga 3.6 leitakse tegur, mis arvestab soode mõju äravoolule:

$$\delta_2 = 1 - 0,8 \cdot \lg(0,1 \cdot A_s + 1) \quad (3.6)$$

kus

A_s – soode pindala % valgala pindalast.

Metoodika on 60-ndatest aastatest. Kehtivuspiirid – kasutatav valgalale alates 1 kuni 20 000 km^2 .

Eesti kohta kehtivad andmed on esitatud kogumikus Ресурсы поверхностных вод СССР, mis on ilmunud 1972. aastal. Selles on andmed kevadise suurvee keskmise äravoolukihi, variatsioonikoefitsiendi ning kevadise äravoolu moodustumise intensiivsuse kohta ei pruugi arvestades vaatlusandme-

te vähesust olla tõesed. A. Maastik, tehes arvutused Tagajõe kohta, on leidnud, et viga sel juhul on 23% (Maastik 2008).

Äravoolu mõjutavad oluliselt maakasutus (mets, soo), valgala pindala ja muud asukohaga seotud tegurid. Ülalmainitud SNiP –i 2003 aasta versioonis on märgitud kirjeldusena sood iseloomustava koefitsiendi juurde „soo, soostunud metsade ja heinamaade ning ka soojärvede protsent valgalt“. Seega ei saa kasutada CORINE programmiga saadud maakasutuse andmebaasi, kus metsaga kaetud turbaga ala ei loeta sooks.

3.4. Hommiku metoodika

Karl Hommiku mudel kevadise maksimaalse äravoolumooduli määramiseks põhineb 1938. aastal avaldatud seosel, milles arvestatakse pikaajalist keskmist äravoolumoodulit, valgala suurust, minimaalset äravoolu ja valgala pinnakatet, pinnast ja reljeefi (Хоммик 1966). Praktiliselt kasutuseks avaldati tulemused 1960.aastal suures tiraažis (4000) ilmunud juhendis „Мапарандусе käsiraamat III. Nomogrammide ja kartogrammide“.

Kevadine maksimaalne äravoolumoodul arvutatakse seosest

$$q_{kev.max p\%} = \bar{q} \left[\frac{112 - 52 \lg(p+1)}{(A+1)^{0.14}} \right]^{1-K_{95\%}-r}, \quad (3.7)$$

kus

$\bar{q}$ – aasta äravoolunorm l/s*km²,

p – arvutuslik ületustõenäosus protsentides,

A – valgala pindala km².

K_{95%} – keskmise minimaalse äravoolumooduli ja äravoolunormi suhe, leitakse valemiga

$$K_{95\%} = \frac{q_{95\%}}{\bar{q}}, \quad (3.8)$$

kus

q_{95%} – keskmine aasta minimaalne äravoolumoodul, määratakse kartogrammilt.

Tegur r arvestab vesikonna soisuse, metsasuse ja kuivenduse mõju suurvee äravoolule. Edasise uurimistöö käigus on metoodika autor esialgseid tulemusi korrigeeritud ja viimane versioon on trükitud 1989.a „RPUI Eesti Maaparandusprojekt“ poolt väljaantud juhendis „Kuivendussüsteemide projekteerimisjuhend“.

$$r = 0,004 * [A_{ms} + 0,4 * (A_r + A_{km}) + B + 0,2 * C] - 0,20, \quad (3.9)$$

kus tähised näitavad erineva iseloomuga maade protsenti valgalal järgmiselt:

A_{ms} – madalsoode ja soometsade (%) valgalast,

A_r – rabade % valgalast,

A_{km} – intensiivselt kuivendatud madalsoode pindala % valgalast,

B – metsade pindala % mineraalmullal valgalast,

C – lageda mineraalmaa pindala protsent valgalast.

Metoodika tugineb kliimaatilisel äravoolunormil (pikaajaline sademete ja aurumise vahe). See ei ole saadud mõõtmisandmetel, vaid aurumine on arvutatud Oldekopi (1911) valemiga. Samuti on sademete mõõtmise metoodikas on toimunud muutused. Metoodika autor on oma mitmes töös esitanud uue versiooni, mis arvestavad täpsemalt vesikonna parameetreid, kuid ikkagi metoodika tugineb praeguseks vähemalt 35...40 aasta vanustel andmetel.

Mudeli kasutamisel on olulise täpsed andmed valgala kohta. Valemis 3.9 on antud valgala karakteristikute keskmised väärtused. Nii madalsoode intensiivse kuivenduse korral koefitsienti madalsoode protsendi ees tuleb vähendada 0,004...0,0016-ni; metsades raske lõimisega muldades ja lagedatel aladel raske lõimisega muldades kus maapinna kalle on üle 2%, tuleb teguri B ees kasutada koefitsienti kuni 0,0025, teguri C juures koefitsient 0. K.Hommik märgib ka oma 1966. aastal ilmunud monograafias, et viga ei ületa 25%, vaid järskude nõlvadega valgalades (Õhne jõgi) võib viga olla suurem.

Maaparandussüsteemide projekteerimisjuhendis järgi dimensioneeritakse eesvoolud ja truubid päevakeskmise maksimaalse vooluhulga alusel. Selleks valemis 3.7 valgaladel, mille pindala on alla 100 km², võetakse arvutustes $A=100$ km².

Normis toodud nõuet - vaatlusandmete puudumise korral seni kasutatud empiiriliste valemite ja asjakohaste kartogrammide kasutamisel tuleb tulemusi võrrelda analoog-veejuhtme vaatlusandmete järgi arvutatud karakteristikutega, on raske täita.

3.5. Sademete intensiivsusel põhinevad meetodikad

3.5.1. Standard EVS 848:2013/AC:2013 Väliskanaliseatsioon

Eestis linnatänavalt ja territooriumilt sademevee koguste ja ära juhtimise projekteerimiseks on aluseks standard EVS 848:2013/AC:2013. Selles toodud meetoodika on kasutusel paljudes maades ja kirjeldatud mitmetes käsiraamatutes. Enne 90-ndaid kasutati sademevee kanalisatsiooni projekteerimisel SNiP-il (ehitusnormid ja reeglid – NSVL-is kehtinud projekteerimisjuhendite süsteem) põhinevaid juhendeid, mida on kohandatud Eesti kliima tingimustele. Praegu kehtivas standardis olevad Eesti kohta toodud arvandmed ja arvutusvalemid on pärit 60-ndate aastate algusest, A.Kõivu dissertatsioon (1965), avaldatud laiemalt õpikus „Veevarustus ja kanalisatsioon“ 1968. aastal.

Kehtiva standardi EVS 848:2013 koostamise käigus ei ole sinna sisse viidud viimase 50 aasta sademete mõõtmise meetoodika muutusi ega andmeid, ei ole arvestatud toimunud kliimamuutustega.

Standardis on antud meetoodika pindmise äravooluvee vooluhulga arvutamiseks väikestelt valglatelt, mille suurus on kuni 200 ha ning millelt kokkuvooluaeg ei ületa 15 minutit. Erinevate allikate põhjal võib olla valgala olla isegi väiksem, kuni 80 ha, peamiselt kattega alad, kus infiltratsioon on olematu (Hormoz Pazwash, Larry W. Mays).

Pindmise äravooluvee vooluhulga arvutamiseks kasutatakse järgmist valemit:

$$Q = q \cdot k_{\psi} \cdot A, \quad (3.10)$$

kus

Q - pinnale langeva ja sealt ärajuhitava sademevee arvutusäravool (l/s),

q - arvutusvihma intensiivsus [l / (s x ha)],

k_{ψ} - tabelist katendi alusel määratav keskmine äravoolutegur,

A - valgla suurus (ha).

Arvutusvihma intensiivsus sõltub vihma kestusest. Andmete puudumisel leitakse see valemiga:

$$q = \frac{B}{T^n}, \quad (3.11)$$

kus

B - muutuja, mis arvutatakse allpool esitatud valemiga (3.12),

n - astendaja (standardis tabel),

T - vihma kestus (min).

$$B = 20^n * q_{20}(1 + c * \log p), \quad (3.12)$$

kus

q_{20} - 20 minutit kestva ja üks kord aastas sadava vihma intensiivsus (l/s ha),

n, c - empiirilised tegurid, mis sõltuvad geograafilisest asukohast (standardis tabel),

p - arvutusvihma korduvuse periood aastates.

Arvutusvihma parameetrid Eestis on antud standardis tabelina, milles väärtused olenevad asukohast.

Arvutusvihma intensiivsuse arvutamisel valemiga (3.11) võetakse vihma kestus T võrdseks sademevee kokku-vooluajaga valgla kaugeimast punktist arvutuspunktini. Kokkuvooluaeg moodustub vee voolamise ajast mööda maapinda ning voolamise ajast kollektoris arvutuspunktini.

Standardis on esitatud tabelina äravoolutegurid, mis varieeruvad olenevalt pinnakatte tüübist 0,9...0,05.

On märgitud, et äravoolutegur k_{ψ} sõltub pinnakatte iseloomust, samuti vihma intensiivsusest ja kestusest, kuid ei ole toodud täpsemat selgitust. Äravooluteguri väärtus (funktsioon intensiivsusest ja kestusest ja pinnategurist) arvutatakse seosega 3.13:

$$\psi = z_k q^{0,2} T^{0,1}, \quad (3.13)$$

kus

z_k – kaalutud keskmine pinnategur,

q – vihma intensiivsus l/s ha,

T – vihma kestus.

Samuti ei ole toodud üksikasjalisemaid juhendeid äravooluteguri arvutamiseks ega suuremate alade kohta arvutusmetoodikat. Märgitakse, et tuleb kasutada mudelit. Valemid kehtivad vesikondades, mille pindala on alla 200 ha. Juhul kui see on suurem, tuleb arvestada seda, et suurel maa-alal jaotub vihma intensiivsus ebaühtlaselt. Tabelis 3.4 on esitatud parandustegurid valemisse 3.11 (SNiP 2.04.03- 85).

Tabel 3.4. Parandustegur, mis arvestab sademete ebaühtlast jagunemist valgalal

Valgala pindala, ha	500	1000	2000	4000	6000	8000	10000
Koefitsiendi väärtus	0,95	0,90	0,85	0,8	0,7	0,6	0,55

Samuti on märgitud standardis, et kui valgla haljastusprotsent on üle 50, tuleb kollektorite läbilaskevõimet kontrollida nii valingvihma kui ka kiire lumesulamise ajal. Katendiga pinnalt koristatakse ja veetakse lumi harilikult ära.

Kokkuvõtvalt lihtsustatud meetodi kohta:

- EVS 848:2013 toodud arvutusmetoodikat saab kasutada vaid väikesel katendiga alal (kuni 200 ha, mõnede autorite arvates kuni 80 ha katendiga alal), hõreda kraavivõrguga metsas võivad vead olla väga suured.
- Äravoolutegur oleneb sademete intensiivsusest ja kestusest.
- Suuremate alade puhul tuleb kasutada mudeleid, mis arvestavad ala suurust, kokkuvoolu aega, torude ja kraavide mahutavust jne.
- Äravoolu üle 200 ha suurustelt valglatelt tuleb arvutada arvutiprogramme kasutades.
- Eesvoolu katendiga alalt tuleva maksimaalse vooluhulga arvutamisel ei saa lähtuda mehaaniliselt valgala pindalast ja katendi iseloomust vaid peab arvestama, et sademeveetorustiku kavandamisel on eesmärgiks alalt äravoolava vee koguse **vähendamine ja ühtlustamine**.

Kooskõlastuse andja peaks seega kaalutlema variantide vahel:

- Rekonstrueerida ühiseesvoolu (sängi ristlõike suurendamine, suuremate truupide rajamine)
- Mitte rekonstrueerida eesvoolu ning nõuda vooluhulka ühtlustavate rajatiste projekteerimist sademevee kogumisalal.

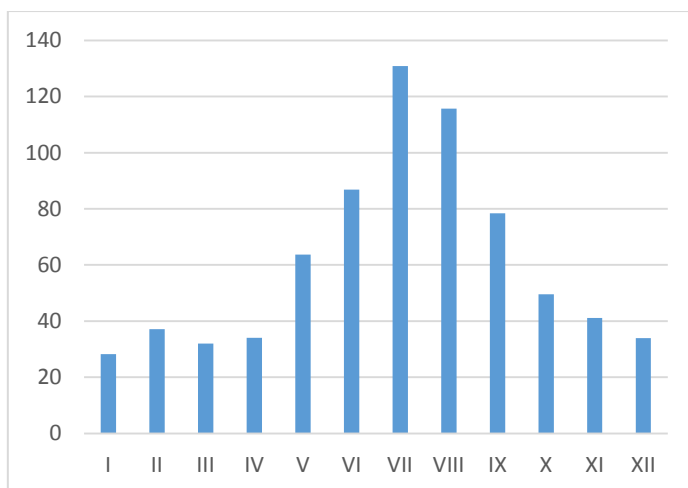
3.5.2. Sademed arvutusmudel

EVS toodud metoodika viitab sademete intensiivsuse valikul mõõtmisandmetele. Eestis on pikad sademete intensiivsuse read ainult kahe jaama kohta (Jõgeva ja Tõravere). Vihma (sademete) intensiiv-

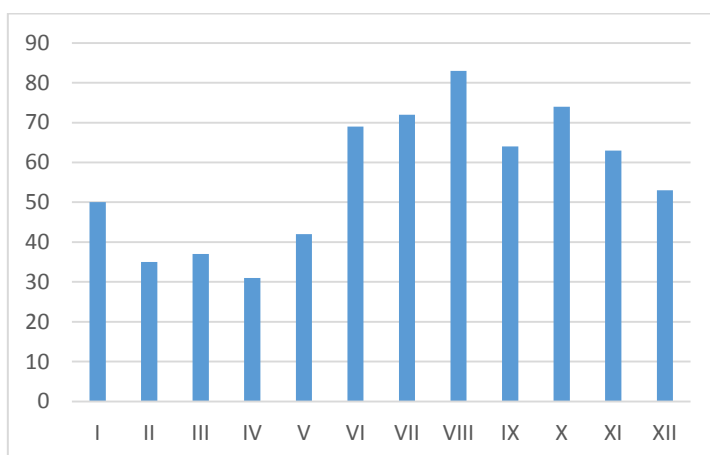
sus (*rainfall intensity*) on ajaühikus pinnaühikule sadanud vihma hulk. Väljendatakse kas kihi paksuse järgi $i = h/t$ [mm/min] või mahu järgi $q = 166,7 \cdot i$ [l/s*ha].

Eestis suurim sademete intensiivsus (mõõdetud kolme minuti jooksul on 3,6 mm/min) 1957. aastal Tooma vaatlusjaamas. Samas kohas 10 minuti jooksul keskmine intensiivsus 2,3 mm/min. Suurim ööpäevane sademete hulk on mõõdetud 148 mm, kuu maksimaalseks summaks 351 mm.

Suure intensiivsusega vihm kestab lühikest aega. Joonisel 3.3 on esitatud näitena Eestis perioodil 1981...2010 mõõdetud maksimaalsed ööpäevased sademete kogused, mis teeb juulikuus näiteks ööpäeva keskmiseks intensiivsuseks 0,1 mm/min. Enamus sademetest ja suure intensiivsusega sademetest tuleb suvekuudel, mitte lume sulamisperioodil (joonis 3.3 ja 3.4).



Joonis 3.3. Sademete ööpäevane maksimum (mm) 1981-2010



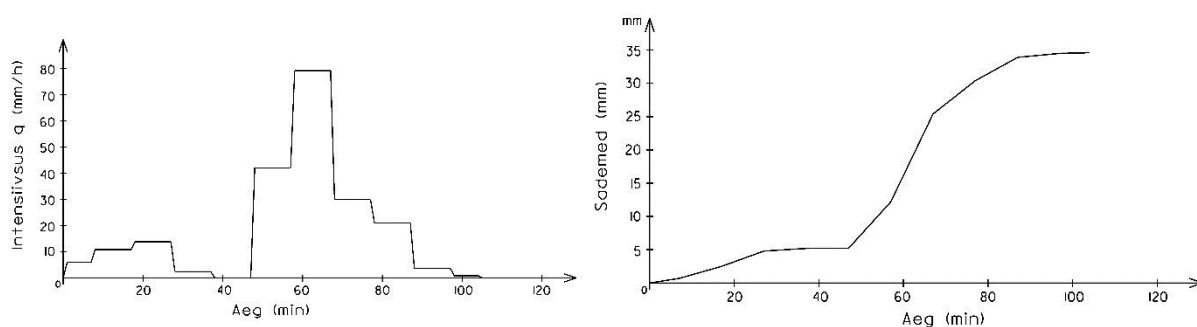
Joonis 3.4. Eesti keskmine kuu sademete kogus (aastad 1981-2010)

Kamenik (2015) refereeris Pfahl ja Wernli (2011) Saksamaa ja Šveitsi ilmaektreemumite autokorrelatsiooni ja leidsid, et see on sademete puhul madal, sest äärmusliku sajude on lokaalsed ega ulatu sageli naabermõõtjaamadeni. Samuti ei leitud ilmapuustri ega tsirkluatsioonitüüpi, millega äärmuslikud sademed seostuksid.

Tammets ja Jaagus (2007) uurisid äärmuslikult sajude päevade esinemissageduse territoriaalset ja ajalist jaotust Eestis perioodil 1957-2006 54 vaatlusjaama andmete alusel. Liigsademed olid defineeritud kui 10-päevase perioodi viimasest päevast alates, kui selle perioodi libisev keskmine sademete hulk oli vähemalt 10 mm. Nende töö tulemusena selgus, et selliselt defineeritud liigsademetega päevi esines ainult suvel ja sügisel, kõige rohkem juulis ja augustis.

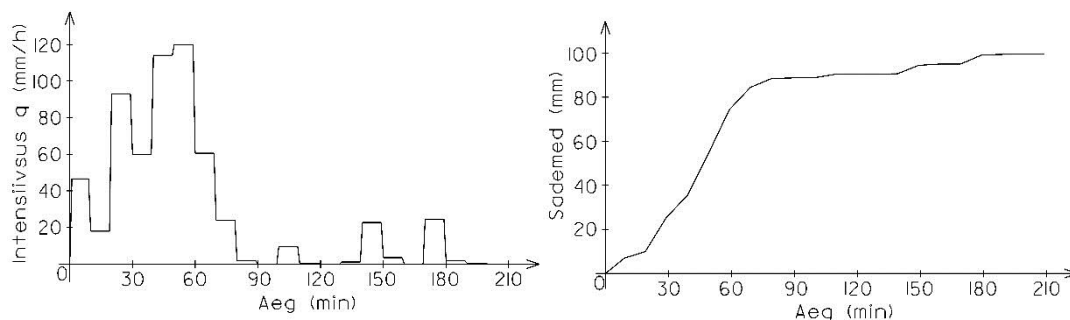
Vahur Laasi magistritöö (Laas 2008), analüüsis autor Jõgeva meteoroloogiajaama vihmade aegridasid aastatest 1991 kuni 2003 ja Tartu-Tõravere aegridasid maist oktoobrini aastatest 2002 kuni 2008, mis sisaldasid ööpäevase ajasammuga sajuintensiivsusi ja – koguseid. Ajasamm oli üldjuhul 10 minutit. Suurim ööpäevane sademetehulk oli 99,7 mm (2.08.1994, kestusega 3,5 tundi, keskmine intensiivsus 28,6 mm/h). Maksimaalne ühe vihma intensiivsus oli 67,2 mm/h. Tartu-Tõravere aegrida sisaldas väiksemaid väärtusi.

Ühe vihmajärgu jooksul on intensiivsus väga muutlik (joonis 3.5):



Joonis 3.5. Vihma intensiivsused (hyetogaaf) ja kumulatiivne kõver 20.06.2001 (Laas, 2008)

Jõgeva suurima sademetehulgaga vihma korral on vastav jaotus järgmine:



Joonis 3.6. Vihma intensiivsused (hyetogaaf) ja kumulatiivne kõver 2.08.1994 (Laas, 2008)

Äravoolu modelleerimisel kasutatakse pigem arvutusvihmasid, mis konstrueeritakse etteantud kestuse ja korduvuse jaoks. Arvutusvihm katab ära kõik normidega ettenähtud vihmaintensiivsused (5 min, 10 min, ..., 60 min). Tehniliste süsteemide puhul, mida mõjutavad juhuslikkus (nt kaks väga sademeterohket järjestikust päeva), võib siiski osutada oluliseks modelleerida pika rea vaatlusandmeid kasutades.

3.5.3. Valgala pindmise äravoolu kokkuvooluaeg

Valgala pindmise äravoolu kokkuvooluaeg on aeg, mis kulub pindmisel äravoolul kohalejõudmiseks valgala kaugemast punktist eesvoolu.

Summaarne kokkuvooluaeg moodustub ajast vee voolamisel veejuhtmes t_1 ja ajast valgala pindmise äravoolu kohalejõudmiseks valgala kaugemast punktist eesvoolu t_c .

Veejuhtmes vee voolamise aeg arvutatakse järgmise valemiga:

$$t_1 = \frac{L}{60V}, \quad (3.14)$$

kus

t_1 - kokkuvooluaeg min,

L - veejuhtme pikkus m,

v - voolukiirus m/s.

Empiirilisi arvutusmeetodeid valgla pindmise äravoolu kokkuvooluaja leidmiseks on kirjanduses palju vt tabelit 3.5. Valemite kasutamisel Eesti oludes tuleb olla ettevaatlik, sest igal meetodil on omad piirangud ja asukoha sobivused (Ming-Han Li, Paramjit Chibber 2008).

Valgla pindmise äravoolu kokkuvooluaja üldistuse empiiriline valem on järgmine:

$$t_c = kL^a n^b S^y i^z, \quad (3.15)$$

kus

L on valgala pindmise äravoolu teekonna pikkus,

n on valgala maapinna karedustegur, (Manningu karedustegur mööda maapinda voolamisel),

S - valgala lang,

i - vihma intensiivsus,

k - konstant,

a, b, y, z - eksponandid.

Tabel 3.5. Erinevad pindmise äravoolu kokkuvooluaja arvutamise valemid

TABLE 1 Summary of Time of Concentration Models

Publication and Year	Equation for Time of Concentration (min)	Remarks
Williams (1922) (6)	$t_c = 60L^{0.4} D^{-1} S^{-0.2}$ L = basin length, mi A = basin area, mi ² D = diameter (mi) of a circular basin of area S = basin slope, %	The basin area should be smaller than 50 mi ² (129.5 km ²).
Kirpich (1940) (7)	$t_c = KL^{0.77} S^{-y}$ L = length of channel/ditch from headwater to outlet, ft S = average watershed slope, ft/ft For Tennessee, $K = 0.0078$ and $y = -0.385$ For Pennsylvania, $K = 0.0013$ and $y = -0.5$	Developed for small drainage basins in Tennessee and Pennsylvania, with basin areas from 1 to 112 acres (0.40 to 45.3 ha).
Hathaway (1945) (8), Kerby (1959) (9)	$t_c = 0.8275 (LN)^{0.467} S^{-0.233}$ L = overland flow length, ft S = overland flow path slope, ft/ft N = flow retardance factor	Drainage basins with areas of less than 10 acres (4.05 ha) and slopes of less than 0.01.
Izzard (1946) (10)	$t_c = 41.025(0.0007i + c)L^{0.31} S^{-0.333} i^{-0.667}$ i = rainfall intensity, in./h c = retardance coefficient L = length of flow path, ft S = slope of flow path, ft/ft	Hydraulically derived formula; values of c range from 0.007 for very smooth pavement to 0.012 for concrete pavement to 0.06 for dense turf.
Johnstone and Cross (1949) (11)	$t_c = 300L^{0.5} S^{-0.5}$ L = basin length, mi S = basin slope, ft/mi	Developed for basins with areas between 25 and 1624 mi ² (64.7 and 4206.1 km ²).
California Culvert Practice (1955) (12)	$t_c = 60(11.9L^3/H)^{0.385}$ L = length of longest watercourse, mi H = elevation difference between divide and outlet, ft If expressed as $T_c = kL^n S^{-y} i^{-z}$ format: $t_c = KL^{0.77} S^{-0.385}$ K = conversion constant	Essentially the Kirpich (7) formula; developed for small mountainous basins in California.
Henderson and Wooding (1964) (13)	$t_c = 0.94(Ln)^{0.6} S^{-0.3} i^{-0.4}$ L = length of overland flow, ft n = Manning's roughness coefficient S = overland flow plane slope, ft/ft i = rainfall intensity, in./h	Based on kinematic wave theory for flow on an overland area.
Morgali and Linsley (1965) (14), Aron and Erborge (1973) (15)	$t_c = 0.94L^{0.6} n^{0.6} S^{-0.3} i^{-0.4}$ L = length of overland flow, ft n = Manning roughness coefficient S = average overland slope, ft/ft i = rainfall intensity, in./h	Overland flow equation from kinematic wave analysis of runoff from developed areas.
FAA (1970) (16)	$t_c = 1.8(1.1 - C)L^{0.5} S^{-0.333}$ C = rational method runoff coefficient L = length of overland flow, ft S = surface slope, ft/ft	Developed from airfield drainage data assembled by U.S. Corps of Engineers.
U.S. Soil Conservation Service (1975, 1986) (17, 18)	$t_c = (1/60)\Sigma(L/V)$ L = length of flow path, ft V = average velocity in ft/s for various surfaces (The exponent of S , if converted from Manning's equation, will be -0.5)	Developed as a sum of individual travel times. V can be calculated using Manning's equation.
Papadakis and Kazan (1986) (2)	$t_c = 0.66L^{0.5} n^{0.52} S^{-0.31} i^{-0.38}$ L = length of flow path, ft n = roughness coefficient S = average slope of flow path, ft/ft i = rainfall intensity, in./h	Developed from USDA Agricultural Research Service data of 84 small rural watersheds from 22 states.
Chen and Wong (1993) (19), Wong (2005) (20)	$t_c = 0.595(3.15)^{0.338} C^{0.33} L^{0.33(2-k)} S^{-0.33} i^{-0.33(1+k)}$ For water at 26°C C, k = constants (for smooth paved surfaces, $C = 3, k = 0.5$. For grass, $C = 1, k = 0$) L = length of overland plane, m S = slope of overland plane, m/m i = net rainfall intensity, mm/h	Overland flow on test plots of 1 m wide by 25 m long. Slopes of 2% and 5%.
TxDOT (1994) (21)	$t_c = 0.702(1.1 - C)L^{0.5} S^{-0.333}$ C = rational method runoff coefficient L = length of overland flow, m S = surface slope, m/m	Modified from FAA (16).
Natural Resources Conservation Service (1997) (22)	$t_c = 0.0526[(1000/CN) - 9]L^{0.8} S^{-0.5}$ CN = curve number L = flow length, ft S = average watershed slope, %	For small rural watersheds.

NOTE: 1 mi = 1.61 km; 1 ft = 0.3048 m; 1 in. = 25.4 mm.

Tuntuimatest valemities on siinkohal ära toodud mõned valemid.

Kirpich'i valem (1940) on välja töötatud uurimustööst Tennessee osariigis, kus uuriti väikesi metsamaa, põllumaa valgalasid (0,43 kuni 45,3 ha) (Ming-Han Li, Paramjit Chibber 2008).

Kirpich'i valem (1940) valem on järgmine:

$$T_c = \frac{KL^{0,77}}{S_0^m}, \quad (3.16)$$

kus

L – valgalal vee voolamise pikkus (m),

S – valgala keskmine kalle (m/m),

K ja m – asukoha koefitsiendid.

Kerby valemit kasutatakse 4 ha suuruste valgalade puhul, languga kuni 0,01. Valgala pindmise ära-voolu pikkus võib olla vähem kui 90 m (Larry W. Mays 2011, Ming-Han Li, Paramjit Chibber 2008).

Kerby valem on järgmine (1959):

$$T_c = 1,44 \left(\frac{Lr}{S^{1/2}} \right)^{0,467}, \quad (3.17)$$

kus

L – valgalal vee voolamise pikkus (m),

r – valgala tegur, vahemikus 0,02 kuni 0,6, olenevalt pinnakattest (Hormoz Pazwash, 2011),

S – valgala kalle (m/m).

Izzard'i valem põhineb laborikatsetustel erinevate pinnakatetega (Hormoz Pazwash, 2011).

Izzard'i valem on järgmine (1946):

$$T_c = \frac{527(2,8 \cdot 10^{-5} * I + C_r) * L^{1/3}}{S^{1/3} * I^{2/3}}, \quad (3.18)$$

kus

I – vihma intensiivsus (mm/h),

L – valgalal vee voolamise pikkus (m),

S – valgala kalle (m/m),

C_r – pinnakatte tegur; nt väga siledal asfaldil 0,007, murul 0,060 (Hormoz Pazwash,2011).

Kinemaatilisel laine meetodil põhinev kokkuvooluaja arvutus valem on järgmine:

$$T_c = 0.116 \frac{L^{0.6} n^{0.6}}{S^{0.3} i^{0.4}}, \quad (3.19)$$

kus

I – vihma intensiivsus (mm/h),

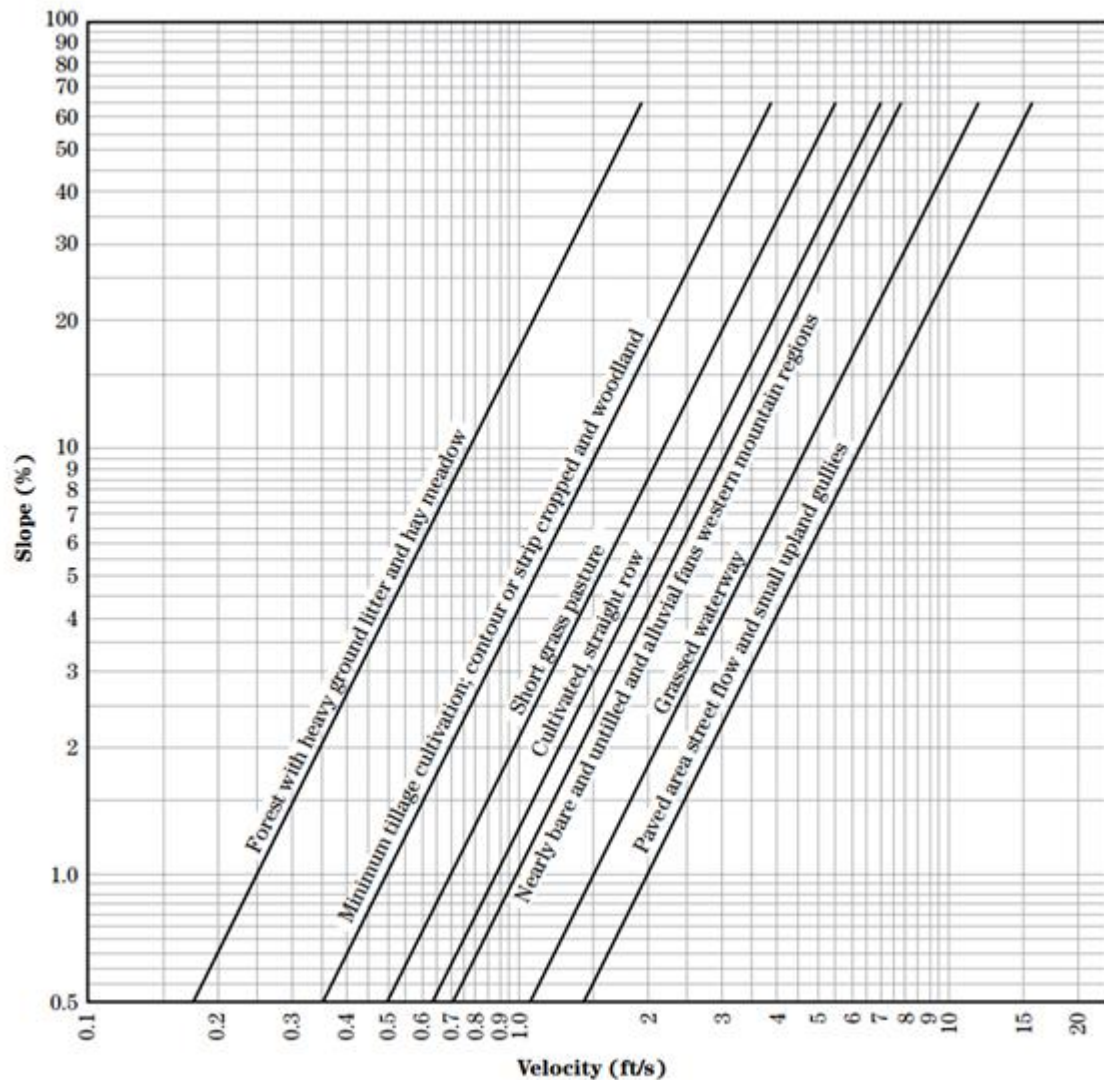
L – valgala vee voolamise pikkus (m),

S – valgala kalle (m/m),

n – Manningu karedustegur; nt siledal asfaldil 0,011; metsad 0,8 Hormoz Pazwash,2011).

Üheks meetodiks on nn pindmise äravoolu ligikaudne kiiruse meetod (*shallow cncentrated flow*).

Valgala pindmise äravoolu kokkuvooluaja arvutamisel kasutatakse nomogrammi (joonis 3.7), mille abil leitakse ligikaudne pindmise äravoolu voolukiirus olenevalt maapinna langust ja maakasutustüübist (Hydrology National....2010).



Joonis 3.7. Voolukiiruse nomogramm (Hydrology National 2010).

3.5.4. Karedustegurid

Manningu karedusarv n iseloomustab valgala pinnakatte karedust, mis on voolu takistav tegur ja omab otsest mõju pindmise äravoolu kiirusele. Karedusarvud valitakse mudelisse või arvutusvalemi-
tesse vastavalt pinnakattele (tabel 3.5).

Tabel 3.5. Manningu karedusarvud äravoolu arvutamiseks mööda maapinda (McCuen 2002).

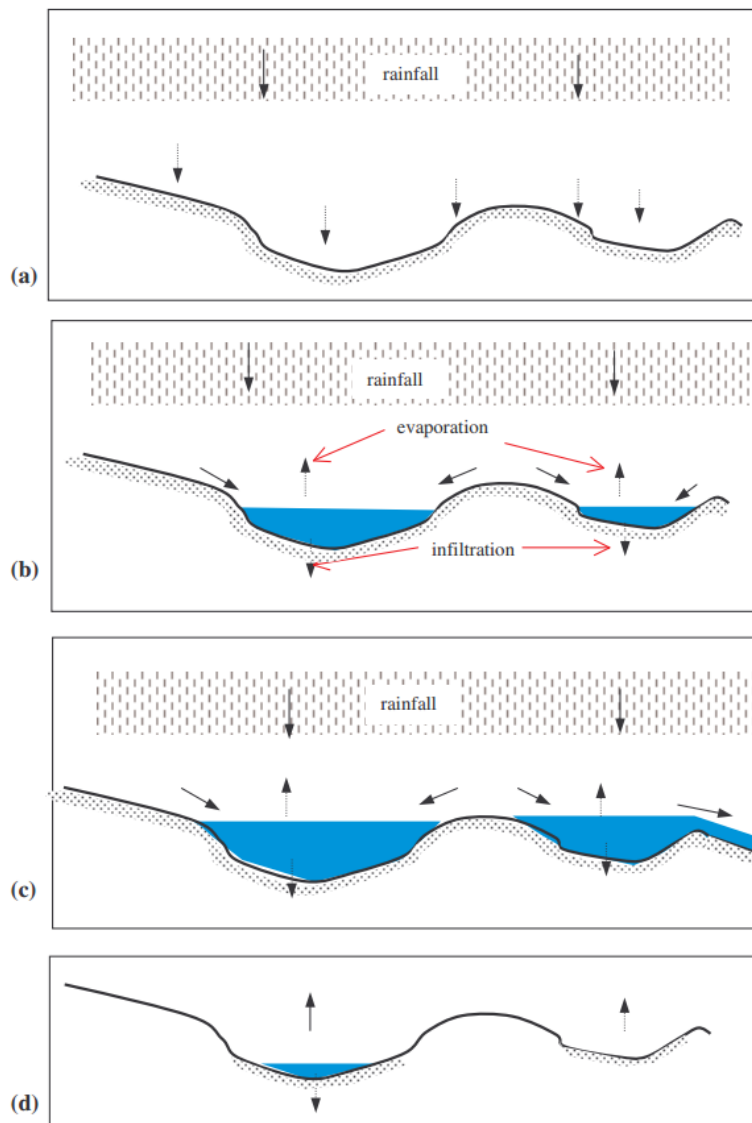
Pind	Karedusarv n
Sile asfalt	0,011
Sile betoon	0,012
Betoonkate	0,013
Sile puit	0,014
Tänavakivi	0,014
Kivistunud savi	0,015
Malm	0,015
Roostes metallist torud	0,024
Silumata betoon	0,024
Looduslikud mullad	0,05
Haritud mullad	0,06 – 0,17
Looduslik karjamaa	0,13
Muru	0,15
Lühike, preeria	0,24
Tihe	0,41
Bermuda muru	0,41
Mets	0,40
Kerge alustaimestik	0,80
Tihe alustaimestik	0,80

3.5.5. Lohkumahtuvus

Lohkumahtuvus on sademevee maapinna lohku kogunemisest tingitud peetus. Vihma algperioodil ei liigu vesi mööda maapinda selle ebataasuste tõttu, vaid alles lohku täitumisel. Seda protsessi illustreerib joonis 3.4. Mudelites kasutatakse lohkumahtuvuse tüüpvaartusi olenevalt pinnakattest, vt tabel 3.6. Need sõltuvad pinnasetüübist, langust ja asukoha iseärasustest (Hormoz Pazwash. 2011).

Tabel 3.6. Lohumahutavuse tüüpvaartused (ASCE... 1992)

Pind	Sügavus (mm)
Vettpidavad pinnad	1,27 – 2,54
Muru	2,54 – 5,08
Karjamaa	5,08
Mets	7,62



Joonis 3.8. Lohkumahtuvuse ja peetuse tekkeprotsess. a) maapinna märgumine b) maapinnanõgude täitumine sademeveega c) pindmise äravoolu edasi liikumine mööda maapinda d) vee infiltreerumine pinnasesse või aurustumine. (McCuen 2002).

3.5.6. Infiltratsioon

Infiltratsioon on sademe- või pinnavee imbumine pinnasesse raskus- ja kapillaarjõudude koosmõjul. Infiltratsioon sõltub kliimatilistest teguritest (sademed, temperatuur, niiskus) ja pinnase omadustest. Infiltratsiooni suurus sõltub pinnase veejuhtivusest, kapillaarsusest, pinnaseosakeste absorptsiooni-võimest. Infiltratsiooni kiirus sõltub pinnase füüsikalistest omadustest, mullaniiskusest, taimkattest, mulla kultiveeritusest jne.

Infiltratsiooni kirjeldatakse mudelites kas Horton'i või Green-Ampt'i valemiga.

Hortoni valem arvutab infiltratsiooni võimet ajast sõltuvalt kogu vihma vältel (Methods 2004).

Hortoni valem on järgmine:

$$f_p = f_\infty + (f_0 - f_\infty) \cdot e^{-\alpha t}, \quad (3.20)$$

kus

f_p – infiltratsioonivõime pinnasesse, ft/s,

f_∞ – minimaalne infiltratsioonivõime $f(p)$, ft/s,

f_0 – maksimaalne infiltratsioonivõime $f(p)$, ft/s,

t – aeg vihma algusest, s,

α – kahanemiskoeffitsient, s^{-1} .

Hortoni mudel on empiiriline ning see on rakendatav sündmuste puhul, mil vihma intensiivsus ületab infiltratsiooni võime (Urban water management). Hortoni valemi parameetrid on soovitatav määrata mõõtmistega, kuid selliste katsete tegemine praktikas osutub keerukaks. Kasutatakse keskmisi väärtuseid tabelist.

Green-Ampt'i meetod põhineb Darcy seadusel ning infiltratsiooni valem kirjeldab üksikasjalikult infiltratsiooni protsessi.

Green-Ampti valem on järgnev:

$$f = K_s \left[1 + \frac{\Delta\theta \cdot \psi_f}{F} \right], \quad (3.21)$$

kus

ψ_f – kapillaarlang (*wetting front soil suction head*),

K_s – filtratsioonimoodul (cm/h),

θ – vee sisaldus,

F – infiltreerunud vesi (cm).

Green-Ampti meetodi eelis võrreldes Hortoni meetodiga, on see, et infiltratsioonivõime pinnasesse kiirust saab arvutada mõõdetavatel pinnase parameetritel.

3.5.7. Lumikate

Lumesulamisvee vooluhulkade mõju valgala äravoolule võib ulatuda päevade pikkuseks. Lumesulamisvee arvutamiseks on mitmeid meetodeid: mudelid, mis põhinevad energiabilansil; mudelid, mis põhinevad nn temperatuurindeksil. Kevadised tippäravoolud on tingitud pigem hilisest lumesulamisest kui rohketest sademetest.

3.5.8. Veejuhtme mõõtmised

Veejuhtme dimensioneerimiseks on vaja teada temas voolavat vooluhulka.

Kraavi vooluhulga leidmiseks kasutatakse Manningu valemit:

$$Q = V \cdot A = \frac{1}{n} \cdot AR^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{S}, \quad (3.22)$$

kus

Q – vooluhulk (m^3/s),

V – voolukiirus (m/s),

A – voolu ristlõige (m^2),

n – Manningu karedusarv,

R – hüdrauliline raadius (m),

S – kraavi lang (m/m).

Voolusäingi karedusarv mõjutab voolukiirust, mis leitakse järgneva Manningu valemiga:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{S}, \quad (3.23)$$

kus

V – voolukiirus (m/s),

S – kraavi lang (m/m),

R – hüdrauliline raadius (m),

n – Manningu karedusarv.

Torustike vooluhulga arvutamiseks kasutatakse Hazen-Williamsi valemit:

$$Q = 0,85 \cdot C \cdot R^{0.633} \cdot S^{0.54}, \quad (3.24)$$

kus

C – Hazen-Williamsi karedustegur.

Torustike vooluhulga arvutamiseks kasutatakse Darcy-Weisbachi valemit:

$$Q = \sqrt{\frac{8g}{f}} AR^{1/2} S^{1/2}, \quad (3.25)$$

kus

f – Darcy Weisbachi tegur.

Truubis tekivad survekaod voolu sisenemisel ja väljumisel. Survekao arvutuses lähtutakse energia jäävuse seadusest: energia, mis kulub veel truubi läbimiseks peab olema võrdne väljavoolusurvekao, hõõrdsurvekao, sissevoolusurvekao ja teiste marginaalsete kadude summaga.

Survekao arvutamisel kasutab mudel järgmist valemit:

$$H_e = k_e \cdot \frac{V_p^2}{2g}, \quad (3.26)$$

kus

V_p – voolukiirus truubis (m/s),

g – raskuskiirendus (m/s²),

k_0 – truubi sisse- või väljavoolu kohtsurvekao tegur.

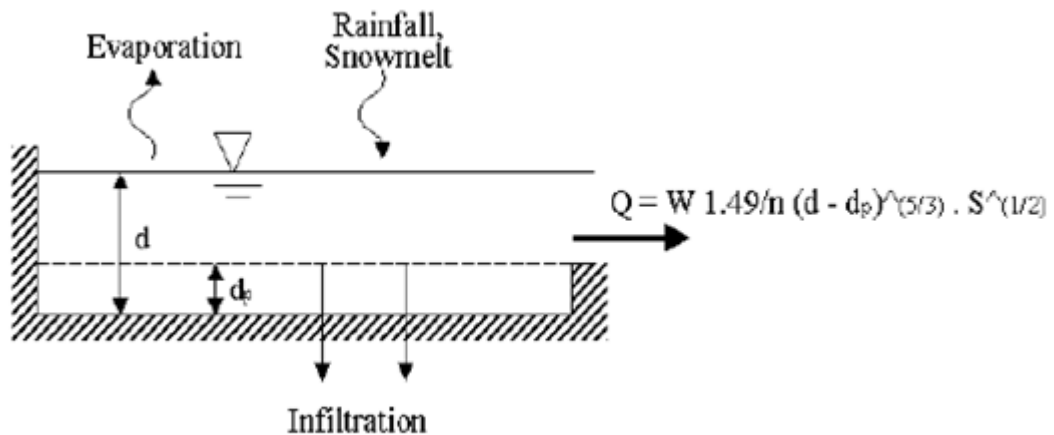
3.6. Sademete intensiivsusel põhinev metoodika - SWMM

SWMM (Storm Water Management Model) on *hüdroloogilis-hüdrauliline* arvutimudel, mis on arendatud USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) poolt. Sellega on võimalik modelleerida lahk- voolseid, ühisvoolseid ning looduslikke äravoolusüsteeme, hinnata veekvaliteeti ja reostuse hulka. Mudel arvestab mitmeid hüdraulilisi protsesse: sademete hulga muutust ajas, aurumist, lume sulamist, pindmise äravoolu kogunemist lohkudesse, infiltratsiooni, filtratsiooni põhjavette, põhjavee äravoolu. Maailmas on kasutusel mitmeid SWMM-ga analoogseid arutusmudeleid/programme.

Voolamise kirjeldamiseks mudelis on kolm meetodit: ühtlane/statsionaarne voolamine (*steady flow routing*), kinemaatiline laine (*kinematic wave*) ja dünaamiline laine (*dynamic wave*).

Ühtlane/statsionaarne voolamine on kõige lihtsam ajas muutumatu stimulatsioon. Ühtlase voolamise ja kinemaatilise laine meetoditel on ka omad kitsaskohad, nt ei arvestata truupide sisse- ja väljavoolu kohtsurvekadudega, probleemiks on vastuvoolu voolamine, surveine voolamine, jms.

Dünaamiline laine meetod annab täpsema teoreetilise tulemuse, lahendades ühe-dimensioonilise Saint-Venanti võrrandi. Dünaamiline meetod kirjeldab nii vabapinnalist kui surveist voolamist. Lisaks meetod lahendab ka negatiivse languga lõikusid ning arvestab truupide sisenemise ja väljumise survekadudega.



Joonis 3.9. Matemaatilise mudeli valgala vooluhulkade kirjeldus.

Joonis 3.9 kirjeldab skemaatiliselt vee liikumise protsesse valgala. Mudelis arvestatakse sademeid, lume sulamisprotsesse, aurumist ja infiltratsiooni. Vastavalt sellele leitakse SWMM-ist valgala väljavooluhulk, mis arvutatakse järgmise valemiga:

$$Q = W \frac{1.49}{n} (d - d_p)^{5/3} \cdot S^{1/2} , \quad (3.27)$$

kus

Q – valgala väljavoolu vooluhulk (m^3/s),

W – valgala laius (m),

n – Manning'i kareduskoefitsient,

d – vee sügavus, (m),

d_p – lohkumahtuvuse sügavus (m),

S – maapinna kalle, (m/m).

Manning'i kareduskoefitsient on vastavalt mööda maapinda voolamise kareduskoefitsient, mis võetakse vastavast Manning'i kareduskoefitsientide tabelist (Methods 2004).

Swmm mudelis määratakse valgala laius. Kokkuvoolutee pikkus arvutatakse valgala pindala ja laiuse järgi. Valgala pindmise äravoolu kokkuvooluaeg arvutatakse kinemaatilise laine põhimõttest (Egleson 1970, viidatud James 2010 vahendusel).

Valgala pindmise äravoolu kokkuvooluaeg leitakse järgmise valemiga:

$$t_c = \left(\frac{L}{a \cdot i^{*m-1}} \right)^{1/m} , \quad (3.28)$$

kus

t_c – valgala pindmise äravoolu kokkuvooluaeg (s),

L – kokkuvoolutee pikkus, (ft),

i^* – vihma liig (vihm miinus kaod), (ft/s).

Parameetrid a ja m sõltuvad voolamisest:

$$a = \left(\frac{1.49}{n} \right) \cdot S^{1/2}, \quad (3.29)$$

$$m = 5/3 \quad (3.30)$$

Kinemaatilise laine leitakse järgmise valemiga:

$$q_L = a \cdot d^m, \quad (3.31)$$

kus

q_L – vooluhulk laiuse kohta ft^2/s ,

d – voolu sügavus, ft.

SWMM mudelis on olulise mõjuga pinnase parameetrid, mis mõjutavad mudelis vooluhulkasid ja põhjaveetaset (vt joonis 3.10). Mudelis osa sademevett voolab pindmise äravooluna kraavi, osa infiltreerub pinnasesse, osa aurub ja ülejäänud infiltreerub põhjavette ning liigub läbi pinnase kraavi. SWMM mudel arvutab põhjavee vooluhulka järgmise valemiga:

$$Q_{gw} = A1(H_{gw} - H)^{B1} - A2(H_{sw} - H)^{B2} + A3 \cdot H_{gw} \cdot H_{sw} \quad (3.32)$$

kus

Q_{gw} – põhjaveevool (m^3/ha),

H_{gw} – põhjaveetase (m),

H_{sw} – veetase kraavis (m),

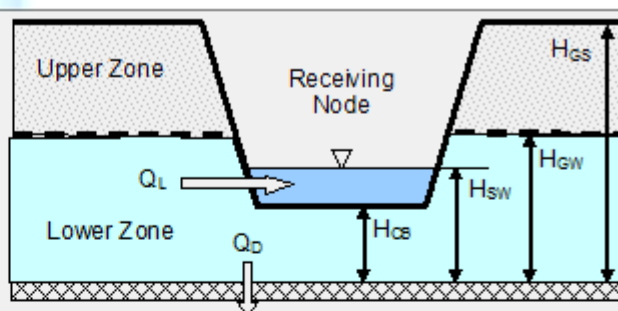
H – kraavi põhja kõrgus (m),

$A1, B1, A2, B2, A3$ – tegurid.

Groundwater Flow Editor

Property	Value
Aquifer Name	test
Receiving Node	49
Surface Elevation	51.9
A1 Coefficient	0.01
B1 Exponent	2
A2 Coefficient	0
B2 Exponent	1
A3 Coefficient	0
Surface Water Depth	0
Threshold Water Table Elev.	50.45
Aquifer Bottom Elevation	
Initial Water Table Elev.	50.65
Unsat. Zone Moisture	
Custom Lateral Flow Equation	No
Custom Deep Flow Equation	No

Click to supply a custom equation for lateral GW flow.



The standard equation for lateral groundwater flow is:

$$Q_L = A_1 * (H_{gw} - H_{cb})^{B_1} - A_2 * (H_{sw} - H_{cb})^{B_2} + A_3 * H_{gw} * H_{sw}$$

where Q_L has units of cfs/ac (or cms/ha).

The standard equation for deep groundwater flow is:

$$Q_D = LGLR * H_{gw} / H_{gs}$$

where LGLR is the aquifer lower GW loss rate (in/hr or mm/hr).

OK

Cancel

Help

Joonis 3.10. Põhjaveelise äravoolu arvutuskeem SWMM mudelis

3.7. Arvutusvariandid mudeliga SWMM

SWMM mudelis modelleeriti näidisalasid, mis on esitatud lisa A joonistel 1, 2, 3 ja 4. Näidisala kraavi ja vooluristlõike parameetrid on esitatud lisa 1, tabelis 1 ja 2. Näidisala modelleerimise tulemuste graafikud on lisa 1 joonistel 5 kuni 13. Modelleeriti erinevaid variante, sh valgala suuremine ja valgla maakasutuse sihtotstarbe muutus.

Joonisel 1 on näidisala, mille põllumaa valgala on 192 ha ning kraavi pikkus 2,2 km, lisaks kraavi pikkus 1,5 km. Joonisel 2 on esitatud põllumaa valgala 192 ha, millele lisandub 70 ha põllumaad. Joonisel 3 on näidisala, mis koosneb 192 põllumaast ja 70 ha metsast. Joonisel 4 on põllumaa valgala 213 ha ning 49 ha katendiga ala, millest 70% on vettläbilaskmatu (nt asfaltipind, jms). Mudel koostati ka olukorrale, kus valgala suurus ei muutu, kuid muutub maakasutus. Joonis 1 esitatud näidisalas muudeti katendiga ala protsente: 1%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% ja 35%.

Modelleerimisel on kasutatud Jõgeva kahe vihma: 11.06.1998, mil sadas 20,1 mm 183 minutiga ning 23.06.2001, mil sadas 34,3 mm 104 minutiga.

Näidisalasid on modelleeritud nelja erineva pinnasega: liivsavi (clay loam) filtratsioonimooduliga 2 mm/h, liivsavi (sandy clay loam) filtratsioonimooduliga 3 mm/h, saviliiv (silt loam) filtratsioonimooduliga 6,8 mm/h, saviliiv (loam) filtratsioonimooduliga 13,2 mm/h. Mudelisse sisestati mullaparaameetrid, mis valiti SWMM juhendist ja teadusartiklitest. Siinjuures tuleb arvestada, et SWMM juhendi ja kirjanduse põhjal valitud paraameetrid arvestavad USA ja teiste maade olusid, Eesti muldade klassifikatsioon aga erineb, ning seetõttu on vajalik luua Eestile vastav andmestik.

Tulemused on esitatud joonistel 5 kuni 13. Tulemustest on näha, et kraavi eesvoolu vooluhulka mõjutavad nii valgala suurenemine, maakasutuse muutus tööstusmaaks (nt asfaltkattega alaks) ning ka pinnase paraameetrid (filtratsioonimoodul, poorsus, väliveemahutavus jne). Eraldi peab arvestama seda, et arvutused tuleb teha mingile kindlaksmääratud algolukorrale, milleks on valgla veelademe täituvus (sh ülemise horisondi veesisaldus) ja veetase kraavis. Käesolevas töös vastavalt väliveemahutavus ja veetase kraavis 20cm, eeldades, et tegemist pole ei väga kuiva ega väga veerohke perioodiga.

Katendiga ala tippvooluhulgad on mõjutatud eelkõige sademetest. Joonistelt on näha, et tippvooluhulgad katendiga ala puhul on kordades suuremad, kui põllumaa ja metsa puhul. Äravooluhüdrograafi tipu põhjustab pindmine äravool, mis on oluliselt suurem katendi puhul. Infiltratsiooni ja põhjaveelise äravoolumõju on väga oluliselt aeglasem.

Põllumaa kraavi eesvoolu tippvooluhulgad erinesid ca 2-4 korda erinevates pinnastes konkreetse vihma puhul. Kui aga valglasse lisandus katendiga ala, siis selle variandi korral tippvooluhulgad suurenesid oluliselt.

Näidisala kraavi eesvoolu tippvooluhulgad Jõgeva vihmaga 23.06.2001 (sademeid 34,3 mm) on tunduvalt suuremad ning kraavi vesi ära ei mahtunud s.t et kraavi mõõtmeid (sügavust, põhja laiust jne) peab vajadusel suurendama, olukordades, kus suureneb valgala, kas põllumaa või katendiga ala arvelt, või muutub maakasutus. Näidisala variantides on muudetud vooluristlõike paraameetreid: põhja laiust ja vee sügavust ning kraavi eesvoolu vooluhulgad on esitatud joonistel 9 kuni 12. Katendi ala lisandumisega kraavi ristlõike on liiga väike ning vesi tõuseb maapinnani ning tekib üleujutus

Tulemustest on näha, et kraavi eesvoolu tippvooluhulkasid ja nende esinemist ajas mõjutavad oluliselt sademed ja vihma kestvus. Näiteks sademetega 34,3 mm kestvusega 104 minutit liivsavi pinna-

ses filtratsioonimooduliga 2 mm/h olid tippvooluhulgad vahemikus 1134-2725 l/s olenevalt valgala suurusest ja maakasutusest, vt joonis 9. Suured vooluhulgad on tingitud sellest, et vihm kestis lühikest aega ning oli suure intensiivsusega ning vesi ei jõudnud infiltreeruda, vaid voolas pindmise äravooluna kraavi. Seevastu Jõgeva vihmaga 11.06.1998, 20 mm sademetega kestvusega 183 minutit, liivsavi pinnases filtratsioonimooduliga 2 mm/h olid tippvooluhulgad vahemikus 112 – 955 l/s olenevalt valgala suurusest ja maakasutusest, sest vihm kestis kolm tundi ning oli väiksema intensiivsusega vt joonis 5. Põllumaalt jõudis vesi infiltreeruda pinnasesse ning suurt tippvooluhulka ei esinenud võrreldes Jõgeva vihmaga 23.06.2001 (sademeid 34,3mm).

Katendiga ala mõjutab oluliselt kraavi eesvoolu tippvooluhulka. Joonisel 13 on esitatud tulemused erineva suurusega katendi ala protsentide kohta. Selle variandi korral olid tippvooluhulgad vahemikus 112 kuni 1475 l/s.

3.8. Heitvee juhtimine suublasse

3.8.1. Heitvee kvaliteedist

Väikeasulate ja –linnade heitvesi (sademevesi, reoveepuhastist tulev vesi) juhitakse väikejõgedesse sh ka maaparanduse eesvooludeks olevatesse looduslike vooluveekogudesse või tehislike peakraavidesse. Suubumiskoht võib olla eesvoolu ülemjooksul (alguses) või ka kesk- või alamjooksul, kus loodusmaastikult pärinev äravool (vooluhulk ja selle turbulentsus) on erinev ja seega on erinevad ka heitvee segunemistingimused. Üldine põhimõte on, et heit- ja sademevee suublasse juhtimisel tuleb tagada, et vee- ja veega seotud maismaaökosüsteemide seisund ei halveneks.

Keskonnaregistri avaliku teenuse järgi on Eestis registris 1110 kirjet reoveepuhastite kohta, 1455 kirjet heitvee väljalaskmete kohta ja 1007 vee erikasutusluba, mis puudutavad veevõttu ja veeheidet.

Aruandes ei analüüsitud kui palju ülal loetletud heitvee laskmeid on juhitud maaparandussüsteemi eesvooludesse, milline on nende valgala pindala üleval- ja allpool veelaskmet.

Veeseaduse ja sellest tuleneva Vabariigi Valitsus määrusega on määratletud heit- ja sademevee suublasse juhtimise nõuded ja piirmäärad ning nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed. Kehtestatud nõuded sõltuvad reoveekogumisalal tekkivast reostuskoormusest/ reoveepuhasti reostuskoormusest ning veekogu seisundiklassist. Reovesi tuleb enne suublasse juhtimist puhastada määrusega kehtestatud piirmääradeni või puhastusastmeteni. Kui sademevee reostusnäitajad ei vasta määruks toodud kvaliteedinäitajatele, käsitletakse sademevett saastatud sademeveena, mis vajab enne suublasse juhtimist puhastamist. Märkus: paljudes asulates on ühisvoolne kanalisatsioon ning sellest luba-

takse sademeveett vihmavalingu ajal ülevoolude kaudu suublasse juhtida koos reoveega vahekorras vähemalt neli ühele ja siin ei kohaldata nõudeid veekvaliteedile (Reovee ... 2013).

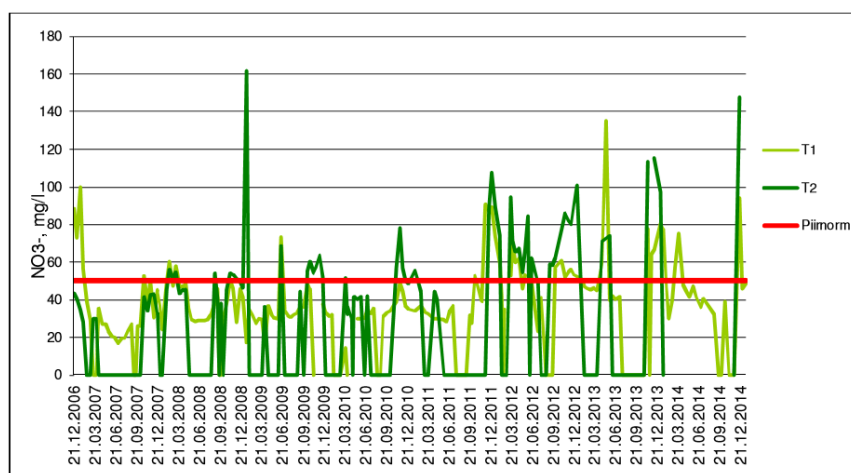
Sademevee lubatavad reostusnäitajate piirväärtused on: BHT7 – 15 mg/l; KHT 125; üldfosfor 1; üldlämmastik 45; heljuvaine 40. Reoveepuhastist tulevate heitvee reostusnäitajate piirväärtused reovee liigist, reoveekogumisala reostuskoormusest ja suubla seisundist. Seadusandja peab seega loetletud kvaliteedinõudeid (Reovee ... 2013) eesvoolu seisundit mittehalvendavaks. Loetletud näitajad on märgatavalt kõrgemad võrreldes keskkonnaseire ja suublaseire programmide aruannetes heaks tasemeks loetud väärtustega: < 3 mg/l lämmastiku ja < 0,08 mg/l fosforit.

Heitveele rakendatakse saastetasu, mida ei nõuta, kui määruks loetletud aineid (orgaanika, N, P, heljum jm) heidetakse veekogusse sademeveega sademeveekanaliseerimise kaudu ning see vesi vastab veeseaduse alusel sademevee ja muu heitvee kohta kehtestatud keskmistele piirväärtustele. Kui sademevee kvaliteedinäitajad ei vasta veeseaduse alusel sademevee ja muu heitvee kohta kehtestatud keskmistele piirväärtustele tasutakse saastetasu saasteainete piirväärtusi ületava koguse eest keskkonnatasude seaduses sätestatu järgi.

Vee erikasutusloa omanik peab tegema seiret - mõõtma puurkaevust pumbatavaid veekoguseid, võtma veeproove ja mõõtma veekoguseid määruks toodud meetoodika järgi. Riiklikult on organiseeritud vaatlused keskkonnaseire hüdrokeemilise seire ja Heitvee ja suublaseire programmide alusel.

Tegelikkuses kõik puhastusseadmed ei tööta nõuetekohaselt ja keskkonnaameti korraldatud seireaurande põhjal 2013-2014 a. analüüsitud heitvee proovidest vastas vee-erikasutusloa nõuetele 634 ja ei vastanud 517 reostusobjekti. Märgitakse, et suuremad muutused füüsikalise-keemilise üldseisundi väärtustes ülal- ja allpool suublat on eelkõige väikestes jõgedes ja ojades (Heitvee ... 2014). Riikliku keskkonnaseire programmi jõgede hüdrokeemilise seire käigus on hinnatud üldlämmastiku järgi kesikesse veekvaliteedi klassi 8 ning halba üks seirelävend (kokku 14% kõikidest seirelävenditest). Vooluveekogu süngis toimub heitveelasust tulevate vee lahustumine ja looduslik isepuhastumine.

Maaparandussüsteemi eesvoolud paiknevad valdavalt põllumajandusmaastikul. Drenaažist tulevate vee kvaliteet on võrreldav sademevee lubatud kvaliteedinäitajatega. Maaelu arengukava raames tehtud 2. telje püsihindamisel on uuritud ka drenivee kvaliteeti (joonis 3.11).



Joonis 3.11 Nitraatiooni sisaldus Tartumaa KSM seirepõldude (T1, T2) drenivees perioodil 2007-2014 (Eesti... 2015).

Kokkuvõttes puudub usaldusväärne andmestik heitveega väljakantavate taimetoitainete, orgaanika ja heljumi koguste kohta. On üksikud (kord kvartalis, kord kuus) mõõdetud väärtused. Samuti puudub andmestik haritavalt maalt дренаaziga väljakantud taimetoitainete koguse kohta.

3.8.2. Heitvee kogused, vooluhulgad

Heitvee vooluhulga mõõtmise pidevad andmed praktiliselt puuduvad. Puhastusseadmetel, sademevee kollektoritel puuduvad pidevalt vooluhulka registreerivad seadmed. Lubatud vee kogused määratakse arvutuslikult – pumba võimsuse ja töötundide järgi, puurkaevust võetud vee koguse järgi või hinnatud kokku aastast mahtu.

Näitena Jõgeva linnas maaparandussüsteemi eesvooluks olevasse Painküla peakraavi juhitava Pae sademevee kollektori puhul lubatud vooluhulk aastas on 600300 m³, Toominga sademevee väljalask 760524 m³, mõõtmise viis arvutuslik. Keskmine vooluhulk oleks siis 44 l/s. Tegelikuses varieerub suurtes piirides.

Näitena osaühing Estover Piimatööstus võib tarbida põhjavett kuni 400 m³/ööp, AS Valio Laeva meierei veetarve kuni 300 m³/ööp. Siit tuleneb ka heitvee kogus.

Ka heitvee kvaliteedinõuded on erikasutusloas: näitena osaühing Estover Piimatööstus (Rannu vallas, mille heitvesi juhitakse Tamme peakraavi) võib tarbida põhjavett kuni 400 m³/ööpäevas. Lubatud

saasteainete kogused on BHT7 15 mg/l; heljum 15 mg/l, Püld 2 mg/l, Nüld 15 mg/l, KHT 250. Proovid võetakse 12 korda aastas.

Veekoguse ja selle ebaühtluse määrab tehnoloogia, või puhasti tüüp – läbivoolupuhasti, annuspuhasti. Ettevõtte ei tööta kolmes vahetuses, mille veekasutus võrreldes samas oleva asulaga on kordades suurem, tootmisprotsess on tsükliline. Rannu meierei näitel kompenseeritakse ebaühtlane veetarve puhasti järel olevate biotiikidega. Rannu meierei arvutuslik keskmine vooluhulk 4,6 l/s. Juustu tootmine ei toimu ühtlaselt 24 tundi ööpäevas, kuid antud juhul leevendab ebaühtlust rõngaspuhasti järel olev 600 m² biotiikide süsteem. Annuspuhasti tühjendatakse kiiresti (näitena hinnanguliselt 10...15 l/s). Aga ka sealt võib vesi minna ühtlustusbasseini.

3.8.3. Täiendava vee juhtimise mõju eesvoolule

Täiendava vee juhtimisel suurenevad vooluhulgad, siit ka veesügavus ja mõningal määral ka voolu kiirus. Seda teemat on analüüsitud punktis 4.

Heitvee suurem toitainesisaldus soodustab veekogus väikese voolukiiruse korral veetaimestiku kasvu. Suure kiiruse ja veesügavuse korral taimed põhjas ei kasva.

Heljumist tuleneva sette tekkemahtu on võimatu prognoosida. Kevadise suurveega on kraavi heljumisisaldused lubatud piirarvudest suuremad.

Kuna puuduvad andmed vooluhulkade ja sellega proportsionaalselt võetud taimetoitainete kontsentratsiooni kohta nii heitvees kui ka põllumajandusmaastikul, siis ei ole teoreetilist alust koormata heitvee juhtijat taimetoitainete alusel täiendavate rahaliste kohustustega.

4. Täiendava vee juhtimise mõju erinevates pinnastes asuvate ühisees- voolude korral

Pinnas mõjutab ühelt poolt äravoolu formeerumist, teiselt poolt eesvool on kaevatud loodusliku pinnasesse ja suurem vooluhulk toob kaasa ka kraavi täite ja voolukiiruse suurenemise.

Kerges pinnases on suurema infiltratsiooni, turbas mikroreljeefi, reljeefi ja turba suure veemahutavuse tõttu väiksem äravoolutegur. Äravoolu empiirilised arvutusmudelid kaudselt seda ka arvestavad: K.Hommiku ja SNIp põhinev meetoodika arvestab soomuldade osakaaluga valgalas. Siin tuleb rõhutada sõna „muld“. Eesti kohta on kasutatav mõõtkavas 1:10 000 koostatud digitaalne mullakaart.

Projekteerimispraktikas kasutatakse sageli projekti „CORINE Land Cover“ käigus ühtse Euroopa meetoodika alusel koostatud kogu Eestit hõlmavat digitaalset maakatte andmebaasi. See annab ülevaate 20 saj. lõpu maakasutuse ja taimkatte levikust Eesti alal. Tulenevalt CORINE maakattetüüpide definitsioonist ei ole metsaga kaetud sügava turbaga alad klassifitseeritud kui sood ja seetõttu klass märgalad moodustavad vähem kui 5% Eesti alast, mis on tegelikult mitu korda väiksem. Seega saab CORINE andmebaasist metsade ja lageda ala suuruse valgalal, kuid ei saa soomuldade osakaalu. Sood ehk turvasmulla kaetud alad vähendavad oluliselt äravoolu ja selle mitteamestamine toob kaasa üledimensioneerimise.

Arvutusmeetoodikad, mille aluseks on sademete intensiivsus, arvestavad pinnase infiltratsiooni ja mikroreljeefist tingitud vee peetust äravooluteguriga (detailsemalt kirjeldatud punktis 3.5) või äravoolu hüdroloogilis-hüdraulilise modelleerimisega (punk 3.6).

Täiendava vee juhtimisel võib osutuda probleemiks olemasoleva veejuhtme ja sellel olevate rajatiste olemasolevad mõõtmised, st ebapiisav läbilaskevõime lisanduva vee korral. Väikesel valgalal katendiga alade osakaalu suurenemisel võib tippvooluhulk oluliselt suurened.

Vooluhulga suurenemine või selle aastasisese jaotuse ja maksimumide suurenemine võib põhjustada liiga kõrge veetaseme kraavis (sh tekitada üleujutuse), mille vältimiseks tekib vajadusvajadus suurendada kraavi ristlõiget ja kraavil olevate rajatiste vooluavasid. Kooskõlastuse andja peab otsustama, kui kõrget maksimaalset veetaset saab lubada ja milline on veetasemest sõltuvate rajatiste või nende osade toimivus (nt drenaažikollektorid, truubid). Truubi rekonstrueerimise vajadus hinnatakse lubatava paisutuskõrguse ja lisaveekogust arvestava vooluhulga järgi. Kui truubi läbimõõtu ei suurenda, siis suureneb paisutus (sh ülaveepoolse ala üleujutus) ja truubi väljavoolukiirus, mis võib tingida alaveepoolse kindlustuse pikendamise vajaduse.

Suurem voolu ristlõige võib kaasa tuua kraavi süvendamise vajaduse ja sellega koos ka nõlvusteguri suurenemise. Kui suubla ei võimalda süvendamist, siis on valikuks kraavi põhja laiemaks kaevamise (selle käigus ka nõlva kaevamine).

Vooluhulga suurenemine toob kaasa ka voolukiiruse kasvu. Näitena nõlvuse puhul 1,75, lang 0,1%, vooluhulga kahekordistumine ($0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, koos lisaveega $1 \text{ m}^3/\text{s}$) suurendab voolukiirust 1,2 korda. See võib olla probleemiks liivapinnastes stabiliseerumata nõlvade korral. Võimalikud lahendused: langu vähendamine, põhja ja nõlvade kindlustamine. Igal konkreetsel juhul peab leidma sobivaima lahenduse.

Hooldusvajaduse suurenemine kohta puuduvad vaatlusandmed. Vooluhulga suurenemine võib suurendada vooluvees olevat toitainete kontsentratsiooni ja kogust, võimalik on ka lahjendav efekt. On hinnangud, et täiendava vee juhtimisel kraav mudastub ja vajab tihedamini puhastamist ning niitmist.

5. PMA tegevused taotluse koostamisel

5.1. Rajatiste dimensioneerimine

Täiendava vee juhtimine maaparandussüsteemi eesvoolu tuleb eelnevalt koostada Põllumajandusametiga. See nõue on fikseeritud määruses „Reovee puhastamise...” punkt 8 sätestab, et „Heit- ja sademevee juhtimiseks maaparandussüsteemi on vajalik Põllumajandusameti koostatud vastavalt maaparandusseadusele“ ning muudetava Maaparandusseadusega ja sellest tulenevate määrustega.

Koostamiseks on vaja andmeid:

- 1) heitvee koguste ja selle ajalise jaotumise kohta (puhastusseadmed ja muud tööstusobjektid, kus veekasutus on fikseeritud vee erikasutusloaga). Andmed peavad võimaldama hüdrauliliste arvutuste sooritamist (näiteks Q_{max} l/s, m³/s). Dimensioneerimiseks ei sobi andmetena kumulatiivsed mahulised ühikud (näiteks m³/aasta jms).
- 2) kui täiendav vesi juhitakse eesvoolu sademevee kollektorist, siis andmed valgala suuruse, planeeritava hoonestusala pindala ja katendite tüüpide kohta.

PMA seisukohast vaadates on koostamisel mitu tegevusetappi. Täiendavat vooluhulka arvestades:

- 1) kontrollitakse kui suur on üleujutus, kui see on lubatud;
- 2) hinnatakse kas lisaveest tingitud veetaseme suurenemine tekitab paisutust drenides, vajadusel valida meetmed selle vältimiseks, nt kraavi süvendamine (kui see pole otstarbekas, nõuda sademevee äravoolu ühtlustamist valgalal).
- 3) kontrollitakse rajatiste (truubid, sillad, regulaatorid vm) avade läbilaskevõimet ja nendest tekitatud paisutust. Hinnatakse rajatiste kindlustusvajaduse muutust.

Rajatiste rekonstrueerimise või nende avade suurendamisega seotud kulud korvab arendaja.

Kui tegevus toimub eramaal, siis peab olema maaomaniku koostatud. Edasine rajatiste hoiukulude katmisel tuleks esmajärjekorras eelistada maaparandusühistut.

Valgala alusel ja sellest tuleneva äravoolu arvutusmetoodika valiku põhjal on eesvoolud jaotatud tinglikult kolme gruppi (tabel 5.1).

Tabel 5.1. Arvutusmetoodika valik rajatiste ja voolusäangi dimensioneerimisel.

	Eesvoolu valgala pindala		
	< 2km ²	2...10 km ²	>10 km ²
Valgala suurenemine maatulundusmaa arvelt	Konstruktiivne dimensioneerimine, SWMM mudel*	K.Hommiku metoodika, SWMM mudel	Vaatlusandmed, K.Hommiku metoodika, SWMM mudel,
Valgala suurenemine katendiga ala arvelt	EVS 848:2013	SWMM mudel	SWMM mudel, K.Hommiku metoodika (olenevalt lisanduva katendiga ala suuruselt),
Täiendav heitvesi (väikepuhasti)	Konstruktiivne dimensioneerimine, arvutuslik vooluhulk	K.Hommiku metoodika,	K.Hommiku metoodika,

**Märkus: SWMM mudel või analoogiline hüdroloogilis-hüdrauliline mudel*

Valgala suurenemine maatulundusmaa arvelt saab toimuda kas poldri rajamisega ja ülepumpamisega või olemasoleva eesvoolu süvendamise ja kõrval oleva ala piirava veelahkme läbikaevamisega, selleks et juhtida teise valgala vesi olemasolevasse eesvoolu.

Lahendus:

- 1) Osavalgalade määramine olemasolevate ja kavandatavate kraavide mõjupiirkonna (nt drenaažisüsteemid) ning neid ümbritseva maa-ala reljeefi põhjal.
- 2) Kui summaarne valgala on alla 2 km², siis rajatiste mõõtmed määratakse konstruktiivselt. Projekteerimisnormiga on reguleeritud kraavi sügavused ja truubi läbimõõt olenevalt toru pikkusest.
- 3) Kui summaarne valgala haritava maa osas on üle 2 km², siis tuleb teha olemasolevate rajatiste jaoks erinevates lävendites (valgala suurenemisel 20% võrra) hüdroloogilised arvutused ning dimensioneerida rajatised kasutades eelkõige vaatlusandmeid, nende puudumisel K.Hommiku metoodikat (arvestades punktis 3 toodud märkusi).
- 4) Hüdroloogilis-hüdraulilise mudeli (nt SWMM) kasutamiseks on vajalik mudeli parameteriseerimiseks vajalike algandmete olemasolu, vajadusel kalibreerimine mõõdetud äravooludega.

Tuleb arvestada, et erinevad metoodikad annavad erineva tulemuse.

Valgala suurenemine detailplaneeringuga katenditega alalt.

Kui valgala pindala alla 2 km², siis maaparanduse projekteerimisnormi järgi eesvoolu kohta hüdroloogilisi arvutusi ei tehta. Rajatiste dimensioneerimiseks valingvihmale tehakse kogu valgala kohta EVS Väliskanaliseerimise meetodika järgi sademete maksimaalse äravoolu määramine, mille põhjal dimensioneeritakse rajatiste avad. Kui valgala haljastusprotsent on 50 (sh ka asulat arvestades), siis tuleb vee äravooluvõrk arvutada ka kevadisele sulaveele.

Suuremal alal tuleb kasutada hüdroloogilis-hüdraulilist mudelit (näiteks SWMM), mille jaoks on vaja usaldusväärseid algandmeid sademete intensiivsuse, maapinna langu, katendi, pinnase veejuhtivuse ja –mahutavuse kohta, vajaduse kalibreerida mõõdetud äravooludega.

5.2. Maaparandushoiukulude jagunemine

5.2.1. Üldosa

Maaparandushoiukulude jagunemiseks on eri maades kasutatud mitmeid põhimõtteid. On kasutusel skeemid, kus hoiukuludes osalevad vaid need, kelle kinnistul on eesvool või see kinnistu paikneb eesvoolu tulupiirkonnas (Äga 2014).

Soomes jagatakse eesvoolu valgala osavalgaladeks kas selle kuju, suubuva kraavi, teostusraskuse, lisanõuetega kuivendussügavusele jm järgi. Eesvoolu ehitus- ja hoiukulude jaotuse juures arvestatakse kraavi tulupiirkonda ja nn suubumiskõrgust. Ülesvoolu paiknev kinnistu osaleb allpool paikneva osa rajamis- ja hoolduskuludes niivõrd kui ta vajab sellest suuremat sügavust. Jälgitakse, et ühistu liikme kulud rajamisel ei saa olla suuremad, kui temale eraldi eesvoolu rajamine. Märgitakse, et eesvoolu hoolduskulud jagunevad samas proportsioonis kui ehituskulud. Sademevee juhtimisel kuivenduvõrku arvestatakse sademevee kanalisatsiooniga hõlmatud ala kuivendatud ala osavalgalaks ja sellest kasusaajaks on vee-ettevõtte. (Maankuivatuseks... 2015, Opas... 2014, Vesilaki 2011, Valtionneuvoston ... 2011).

Eestis on kasutatud skeemi, kus ühistu põhiliikme ühiseesvoolu hoiukohustuse osa suuruse arvutamisel arvestatakse ühe hektari süsteemi maa-ala osakaal võrdseks ühe kilomeetri ühiseesvoolu pikkusega.

Liikmete osaluse arvutamiseks ühiseesvoolude hoiukulude katmisel on välja töötatud valemid 5.1 ja 5.2:

$$oi = \frac{(li + fi) * L}{L + F} \quad 5.1$$

$$oi\% = \frac{100 * oi}{L} \quad 5.2$$

L - ühiseesvoolude kogupikkus ühistu tööpiirkonnas

F - reguleeriva võrgu pindala ühistu tööpiirkonnas

li - liikme ühiseesvoolu pikkus

fi - liikme reguleeriva võrgu pindala

oi - liikme osa suurus ühiseesvoolu hoiukohustuses väljendatuna ühiseesvoolu pikkusena kilomeetrites

oi% - liikme osa suurus ühiseesvoolu hoiukohustuses väljendatuna protsentides kogu hoiukohustuse suurusest

5.2.2. Soovitused Eestis kasutatava maaparandushoiukulude jagunemise jaoks lisavee juhtimisel ühiseesvoolu

Maaparandusühistu on moodustatud olemasoleva süsteemi sh ühiseesvoolude hooldamiseks. Eesvoolud on rajatud aastaid tagasi ja praegused ühistu liikmed ei ole enamusjuhtudel kandnud ühiseesvoolu rajamiskulusid.

Maaparandusseaduse eelnõus on fikseeritud, et kui eesvoolu sängi ristlõike suurus ja eesvoolul paikneva rajatise ava suurus ei vasta nõuetele, rekonstrueeritakse eesvool ja eesvoolul paiknev rajatis lisavett juhtiva isiku kulul.

Maaparandushoiukulude jagunemise aluseks on otstarbekas võtta seni kasutusel olnud metoodika, mis arvestab maaomaniku eesvoolu osa pikkust ja kuivendatud maa pinna suurust.

- 1) Maatulundusmaa arvelt nii pinna juurdekasvu või olemasoleva metsa raadamise tulemusel muutub lageda ja metsamaa osakaal, millelt äravool on K. Hommiku mudeliga arvutatav. Seega suureneb maaparandusühistu kuivendatud ala pind ja liitunule rakendatakse seni kasutusel olnud metoodikat (punkt 5.1 ja 5.2). Üldpindala muutudes muutub ka ühistu liikmete kulude proportsioon.

- 2) Reoveepuhastist, kogumisbasseinist tuleva ühtlase vooluhulgaga heitvee korral on teada selle vooluhulk või ööpäeva maksimaalsed väärtused. See on aasta lõikes vähemuutuv suurus. Üle 10 km² valgalaga eesvoolud on riigi hooldada, maaparandusühistu ühiseesvoolu valgala pindala on sel juhul alla selle ja suvisel ajal võib vooluhulk olla pärit ainult heitveelaskmest või suuremates eesvooludes teatava lahjendusastmega. Vaatamata sellele, et vee erikasutusloaga etteantud reostusnäitajate piirväärtused on täidetud, on siiski väikepuhastite puhul need looduslikust foonist kõrgemad ja hinnanguliselt on kraavides taimestiku kasv ja mudastumine intensiivsem. Sellest ka suurem karedus ja mõningane veetaseme tõus. Eestis võrdlavad kvantitatiivsed andmed selle kohta puuduvad.

Kui ühiseesvoolu suubub drenaaž, siis sügisene keskmine 1% ületustõenäosusega veetase eesvoolus peab jääma 10 cm allapoole suudmeid. Hinnanguliselt on selle perioodi arvutuslik äravoolumoodul 20-30 l/s km².

Kuna ühiseesvoolu hoolduskulude arvestamisel võetakse arvesse nii kinnistul oleva kraavi pikkust kui ka reguleeriva võrgu pindala, on ka siin ettepanek üleminekuks vooluhulgalt pindalale kasutades seost:

$$f_i = \frac{Q_{heitveelask}}{q_{süg.keskm. 1\%}}$$

Kus

f_i - arvutuslik pindala km² heitvee juhtija osaluse jaoks hoolduskuludes;

$Q_{heitveelask}$ – vee erikasutusloas puhastusseadme arvutuslik vooluhulk l/s;

$q_{süg.keskm. 1\%}$ - sügisene keskmine 1% äravoolumoodul l/s km²

- 3) Asulatest sademeveekanaliseerimisega alalt täiendava vee juhtimine maaparandussüsteemi eesvoolu. SWMM mudeliga tehtud analüüsist ilmneb, et suviste valingvihmadega äravoolu tipud on suured. Ebaühtlane voolamine tekitab pinnase erosiooni, setete ja taimestikuprahi liikumist. Hinnanguliselt mõju oleneb nii kollektorist tuleva valingvihma vooluhulgast kui ka suubumiskohas eesvoolu valgalast. Eestis võrdlavad kvantitatiivsed andmed selle kohta puuduvad.

Ettepanek hoolduskulude korvamiseks - kanaliseeritud valgala pindala alusel: 1 ha linnateritiooriumi võrdub 1 ha maaparandussüsteemi reguleeriva võrgu pindalaga.

6. Kokkuvõte

Maaparandussüsteemi täiendava vee juhtimisel suurenevad vooluhulgad (sealhulgas tippvooluhulgad), voolusügavus, voolukiirus ja äravoolumaht. Maaparandussüsteemid on dimensioneeritud kindlatele vooluhulga jms väärtustele, mistõttu on vajalik kontrollida muutunud vooluhulga vooluveekogu ja sellel paiknevate rajatiste toimimisvõimet suurenenud vooluhulga korral (nt truubiavade mõõtmel, vooluveekogu mõõtmel ja nende läbilaskevõime), suurenenud veetaseme korral (nt drenaažisüsteemi kollektorid) ja hinnata suurenenud äravoolumahu mõju kraavi mudastumisele ja taimestiku kasvule.

Käesolev töö andis ülevaate äravoolu Eestis enamkasutatavatest arvutusmetoodikatest. Töös tehtud analüüs näitab, et Eestis puuduvad usaldusväärsed andmed väikestes valgalades äravoolu arvutusmetoodikate hindamiseks. Empiiriliste meetodite väljatöötamise ajal olid äravoolu vaatlusread oluliselt lühemad praegu kasutatavatest andmeridast. Äravoolu modelleerimisel hüdroloogilis-hüdraulilise mudeliga (näiteks SWMM) on vaja aga oluliselt detailsemaid sisendandmeid:

- mudeli sisendis on vaja tegelike vihmade intensiivsuste lühikese ajasammuga andmeid, mis oleksid representatiivsed antud piirkonna jaoks, või,
- teoreetiliselt konstrueeritud arvutusvihm, mis arvestab tegelikke aegridade statistilist iseloomu,
- looduslike pinnaste hüdro-füüsikalised parameetrid,
- tehispindade hüdro-füüsikalised parameetrid,
- maakasutuse kaardiandmed,
- soovitatav on mudel kalibreerida tegelike (mõõdetud) äravooluandmetega ja valideerida tegelike (mõõdetud) andmetega.

Kui valgala pindala on alla 2 km, siis saab äravoolutegurite muutumisel rakendada EVS 848 toodud lihtsustatud metoodikat. Praktikas selliseid kraave hüdrauliliselt ei dimensioneerita.

Metoodikaid ja perioode segada ei saa, st arvutada ühte osa valgalast EVS väliskanalisatsioon põhjal sademete intensiivsuse ja teist K.Hommiku järgi.

Täiendava vee juhtimisega eesvoolu paraneb sängi hüdroloogiline režiim (v.a. veerohke periood), paraneb sellega ka ökoloogiline seisund, mis on oluline näitaja üle 10 km² valgala pindalaga eesvooludel.

Valgala äravoolu ja vooluhulka eesvoolu arvutuspunktis saab arvutada ühe valitud meetoodika järgi.

7. Vajalikud tegevused

- Eesvoolude andmebaaside täiendamine.
- Eri ametkondade vahel mõiste *arvutuslik äravool* (jt mõistete) täpsustamine
- Äravoolu modelleerimiseks on vaja sademete andmete analüüsi, mille aluseks on ööpäevasiseste lühikese ajasammuga (10 min) sademete intensiivsused – ja kogused. Analüüs on vaja teha Eesti erinevate alade kohta (nt mereline-kontinentaalne mõju jms).
- Äravoolumudelite kalibreerimiseks on vaja luua mõõtevõrgustik, mis tegeleb väikese ja suhteliselt homogeense valgala äravoolu mõõtmisega. Selle töö tulemusena on võimalik kalibreerida ja valideerida äravoolumudeleid, samuti välja töötada lihtsustatud arvutusalgoritme (empiirilisi mudeleid). Samasugune andmestik võimaldab erinevaid mudeleid ja meetodeid ka valideerida.
- Hüdroloogilis-hüdrauliliste mudelite kasutamisega või jääda mulje, et jõuti tulemuseni, mis on väga täpsed ja absoluutselt õiged, kuid tegelikult on „*precisely wrong*“, seda juhul, kui mudeli sisendandmed on puudulikud, hinnatud (mitte mõõdetud); kui mudelit ei ole kalibreeritud ja valideeritud antud piirkonna andmetega või lähedase analoogi andmetega. Seetõttu võib osutuda õigustatuks kasutada empiirilisi meetodeid, mis annavad tulemus, mille tulemus on „*approximately right*“.
- Selge vajadus uuringute järele, mis tegeleks kontrollitud tingimustes äravoolu ja selle tekkimist mõjuvate tegurite mõõtmise, modelleerimise ja kontrollimisega.
- Vajadus muldade/pinnaste hüdrofüüsikaliste omaduste määramiseks. Neid vajavad arvutusmudelid.
- Vajadus samuti uuendada senikasutatud empiirilisi meetodeid, sest aegread on muutunud oluliselt pikemaks, mis võimaldab täpsustada empiiriliste parameetrite väärtusi.
- Detailsema maakasutuskardi ja hüdro-füüsikaliste andmetega mullakaardi loomine/andmine hüdrotehnika kutset omavatele inseneridele.

Viidatud kirjandus

Aaltonen jt 2008, Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU). Suomen Ympäristö 31.2008.SYKE

ASCE (American Society of Civil Engineers). 1992. Design & Construction of Urban Stormwater Management Systems, New York: ASCE Publications.

Eesti maaelu arengukava 2004-2006 põllumajandusliku keskkonnatoetuse järelhindamisaruanne. Saku, 2008.

Eesti maaelu arengukava 2007-2013 2.telje püsihindamisaruanne 2014.aasta kohta Saku, 2015.

EVS 843:2003, Linnatänavad

EVS 848:2013/AC:2013. Väliskanaliseerimine

Heitvee- ja suublaste 2013- 2014. Lõpparuanne. Tallinn 2014

[http://www.keskkonnaamet.ee/public/images/Heitvee-_ja_suublaste_2013-2014_aruanne.pdf]

Hommik, K. Vesikonna füüsikalise-geograafiliste tegurite mõju aastaaravoolule Eesti vesikondades. — EMMTUI teaduslike tööde kogumik XXIX. Tallinn, 1973, lk. 3...20.

Hormoz Pazwash. 2011. Urban Storm water management. CRC Press Taylor & Francis

Hydrology National Engineering Handbook. Part 630. Time of concentration. 2010. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. [<http://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=27002.wba>]

James, W. Rossman, L. E.. James, W.R. User's guide to SWMM5 13 th edition. 2010 USA: CHI Press.

Keskkonnatasude seadus. 2013. eRT [<https://www.riigiteataja.ee/akt/103122015004>]

Kuivendussüsteemide projekteerimise juhend. VEN-P-6-88. II Arvutuste alused. Tallinn, 1989.

Laas, V. 2008. Tartu Riia tänava sademeveetorustiku hüdrauliline modelleerimine. Magistritöö, Eesti Maaülikool

Larry W. Mays. 2001. Stormwater collection systems design handbook. The McGraw-Hill Companies, Inc.

Maankuivatuse ja kastelun suunnettlu. Ympäristöhallinon ohjeita. 4/ 2015

Maanteede projekteerimisnormid. 2015. eRT [<https://www.riigiteataja.ee/akt/107082015014>]

Maaparandussüsteemi projekteerimisnormid. 2011. eRT
[<https://www.riigiteataja.ee/akt/128052011005>]

Maastik, A. Hüdrolöögia ja hüdromeetria. Tartu, 2008.

McCuen, R. et al. 2002. Highway Hydrology. FHWA-NHI-02-001. U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

Ming-Han Li and Paramjit Chibber. 2008. **Overland Flow Time of Concentration on Very Flat
Terrains**. the Transportation Research Board: 2060-15

Oldekop, E. M. (1911), On the evaporation from the surface of river basins, Trans. Meteorol. Obs.
Univ. Tartu, 4, 200.

Opas ojitusyhteisölle uoman kunnossapito- ja peruskorjaushankkeeseen. ELY keskus. Opas 3. 2014.

Pfahl, S. and Wernli, H. (2012), Spatial coherency of extreme weather events in Germany and Switzerland. Int. J. Climatol., 32: 1863–1874. doi: 10.1002/joc.2401

Raid, R. 2014. Valgala pindmiseäravoolu arvutusmeetodite võrdlus Jänese kraavi näitel. Magistritöö, Eesti Maaülikool

Reovee puhastamise ning heit- ja sademevee suublasse juhtimise kohta esitatavad nõuded, heit- ja sademevee reostusnäitajate piirmäärad ning nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed¹. Vabariigi valitsuse määrus nr 99. 2013. eRT [<https://www.riigiteataja.ee/akt/113062013013>]

Rossman L. A. 2008. Storm water management model user's manual version 5.0.

Storm Water Management Model (SWMM) [<http://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>]

Storm Water Management Model Reference Manual Volume I – Hydrology
[<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P100MX13.txt>]

Tammets, T. ja Jaagus, J., 2013. Climatology of precipitation extremes in Estonia using the method of moving precipitation totals. Theoretical and Applied Climatology 111(3-4), 623 - 639.

User's guide to SWMM. 2005. / W. James, W. C. Huber, L. A. Rossman, R. E. Dickinson, R. E. Pitt, W. R. C. James, L. A. Roesner, J. A Aldrich. USA: CHI.

Valtioneuvoston asetus vesitalousasioista

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20111560#Pidm1938512>

Wastewater collection system modeling and design. 2004. / H. Methods, T. M. Walski, T. E. Bernard, E. Harold, L.B. Merritt, N. Walker, B. E. Whitman. USA: Haestad press.

Veeseadus. 2015. eRT [<https://www.riigiteataja.ee/akt/106112015003>]

Vesilaki. [<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587#L5>]

Äga och förvalta diken och andra vattenanläggningar i jordbrukslandskapet. 2014

Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 4. Прибалтийский район Выпуск 1. Эстония. Ленинград, 1972. 421 с.

СНиП 2.01.14-83 Определение основных расчетных гидрологических характеристик

СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик

Хоммик, К.Т. Основы расчета осушительных систем. Таллинн, 1966. 280 с.

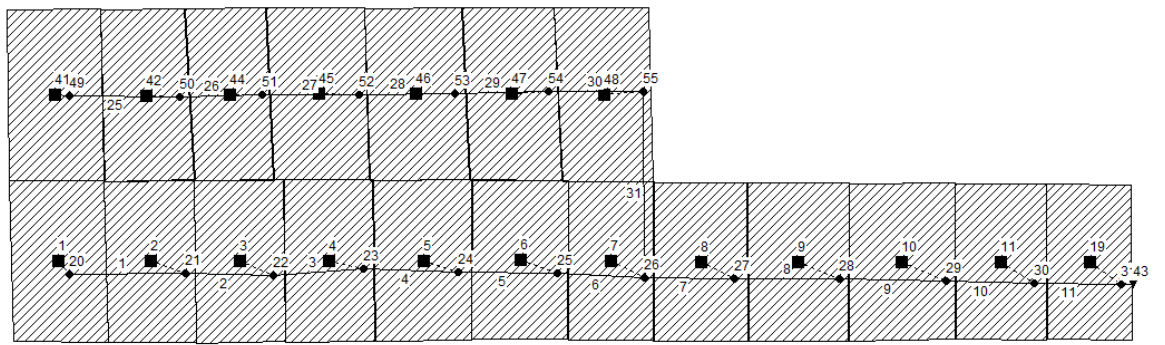
Näidisala modelleerimine erinevatele olukordadele.

Tabel 1. Vooluristlõike parameetrid arvutuspunktis

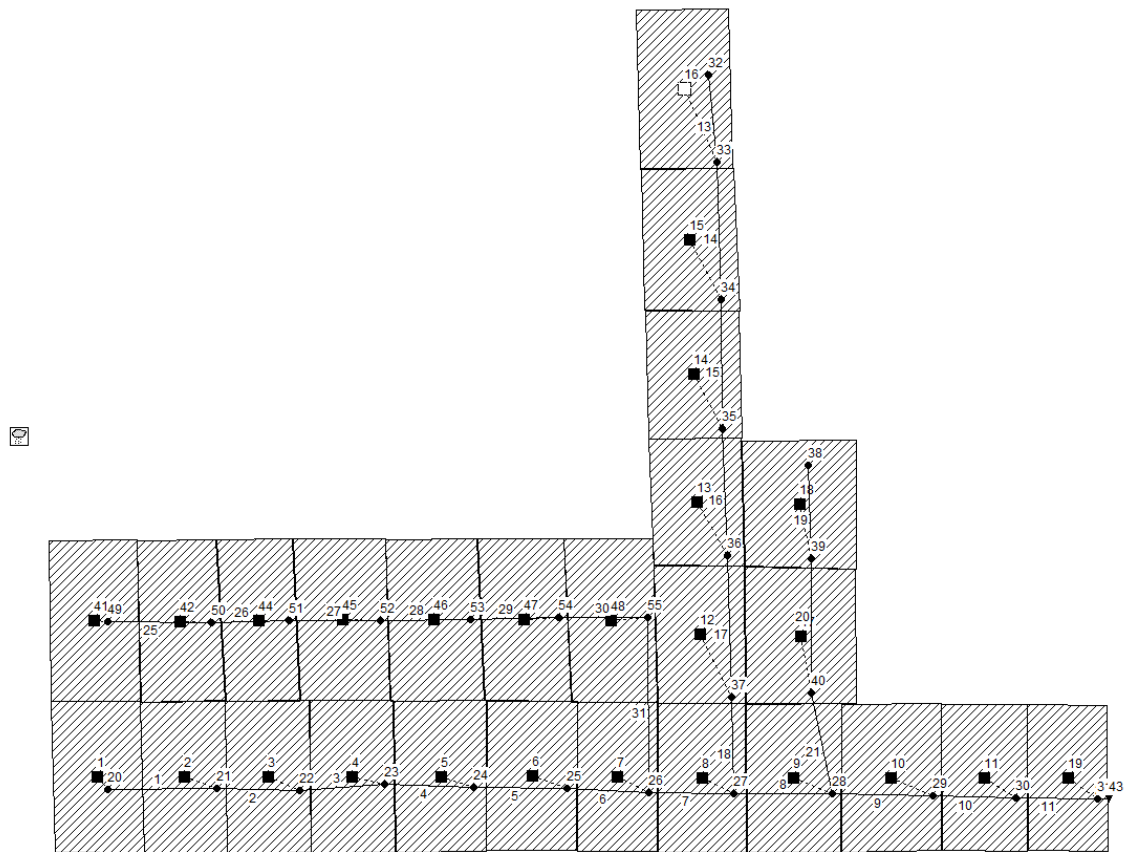
Kraavi lõik	Max veesügavus (m)	Pindala	Hüdrauliline raadius	Pealtlaius (m)
1	0,5	0,64	0,26	2,15
2	0,5	0,64	0,26	2,15
3	0,5	0,64	0,26	2,15
4	0,5	0,64	0,26	2,15
5	0,5	0,64	0,26	2,15
6	0,8	1,44	0,4	3,2
7	0,8	1,76	0,44	3,6
8	1	2,55	0,53	4,3
9	1	2,55	0,53	4,3
10	1	2,55	0,53	4,3
11	1	2,55	0,53	4,3
13	0,5	0,64	0,26	2,15
14	0,5	0,64	0,26	2,15
15	0,5	0,64	0,26	2,15
16	0,5	0,64	0,26	2,15
17	0,5	0,64	0,26	2,15
18	0,8	1,92	0,45	3,8
19	0,5	0,64	0,26	2,15
20	0,5	0,64	0,26	2,15
21	0,8	1,92	0,45	3,8
24	1	2,55	0,53	4,3
25	0,5	0,64	0,26	2,15
26	0,5	0,64	0,26	2,15
27	0,5	0,64	0,26	2,15
28	0,5	0,64	0,26	2,15
29	0,5	0,64	0,26	2,15
30	0,5	0,64	0,26	2,15
31	0,5	0,64	0,26	2,15

Tabel 2. Kraavi parameetrid

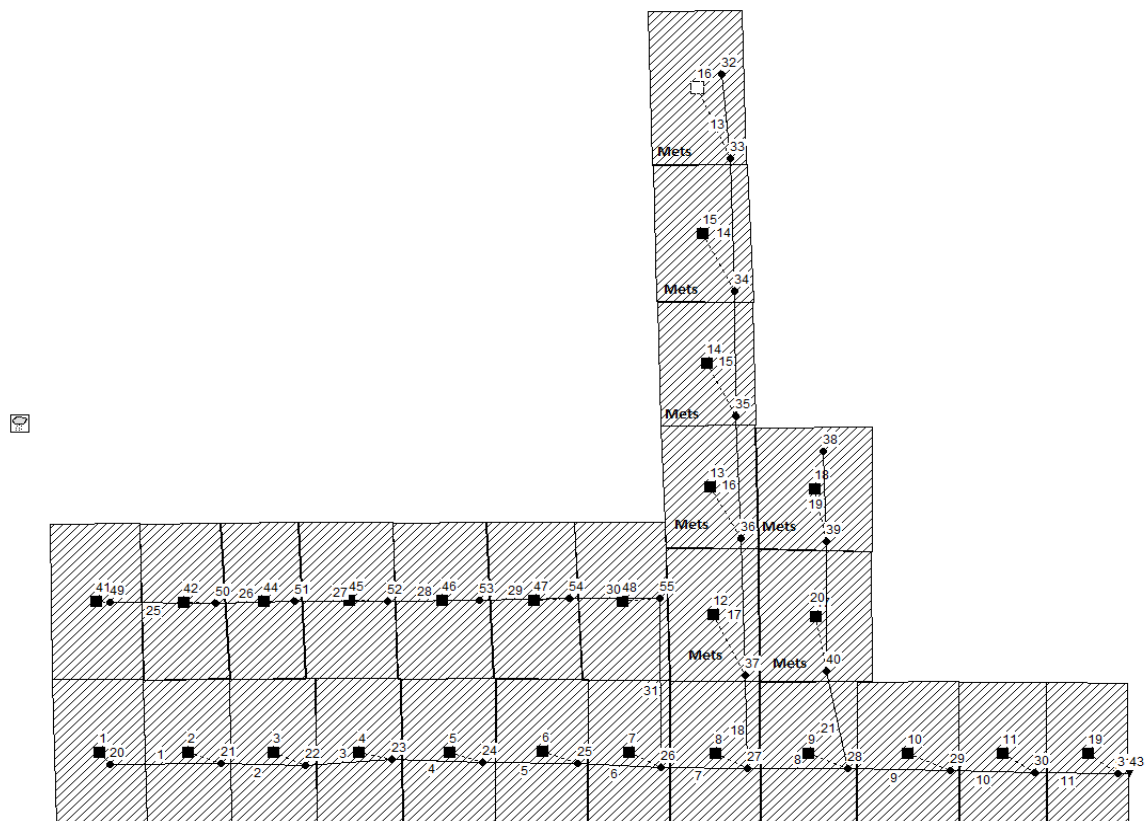
Arvutuspunkt	Kraavi põhja absoluutkõrgus	Kraavi põhja sügavus arvutuspunktis
20	50,3	1,45
21	50	1,45
22	49,77	1,48
23	49,54	1,51
24	49,3	1,5
25	49,04	1,61
26	48,82	1,63
27	48,58	1,67
28	48,31	1,69
29	48,04	1,76
30	47,81	1,79
31	47,58	1,82
32	50,16	1,44
33	49,97	1,53
34	49,66	1,54
35	49,38	1,52
36	49,1	1,6
37	48,79	1,61
38	49,04	1,51
39	48,83	1,57
40	48,54	1,66
49	50,45	1,45
50	50,22	1,48
51	50,05	1,45
52	49,85	1,45
53	49,65	1,5
54	49,46	1,54
55	49,26	1,54
43	47,55	1



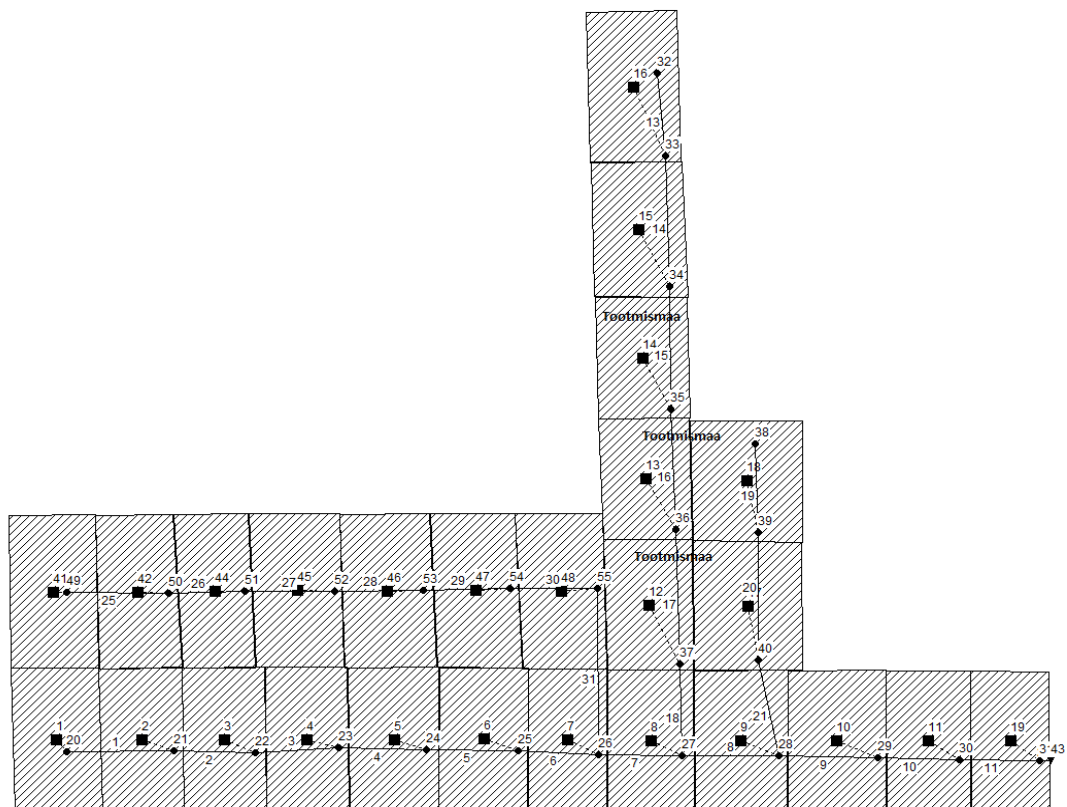
Joonis 1. SWMM mudeli näidisala: põllumaa 192 ha



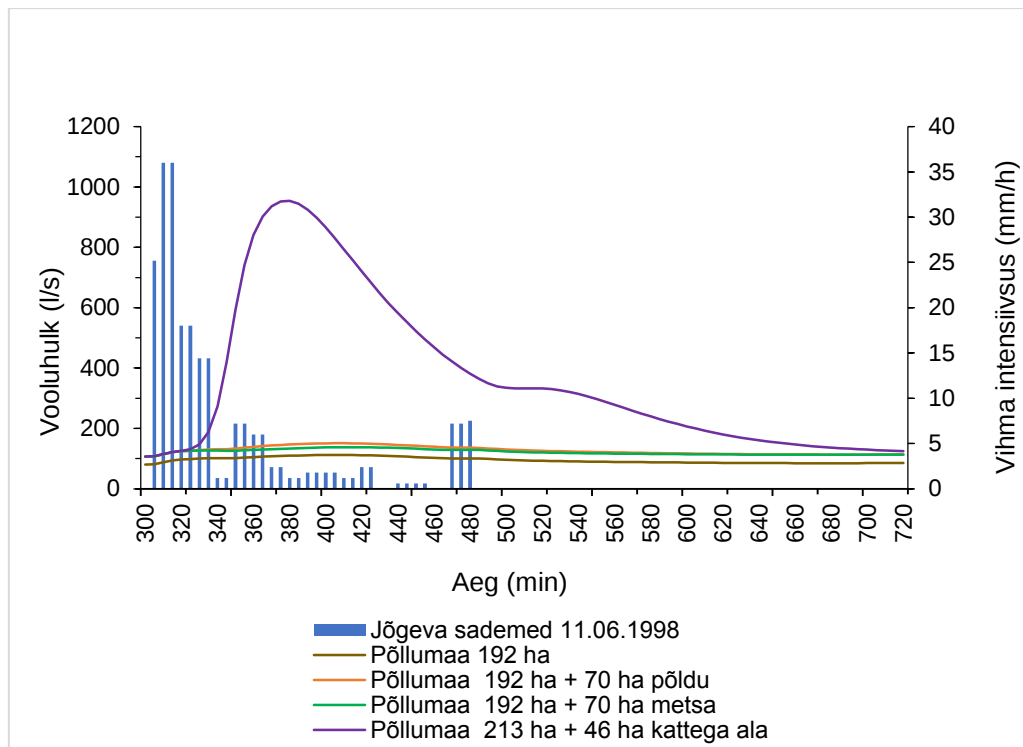
Joonis 2. SWMM mudeli näidisala: põllumaa 192 ha + 70 ha põllumaad



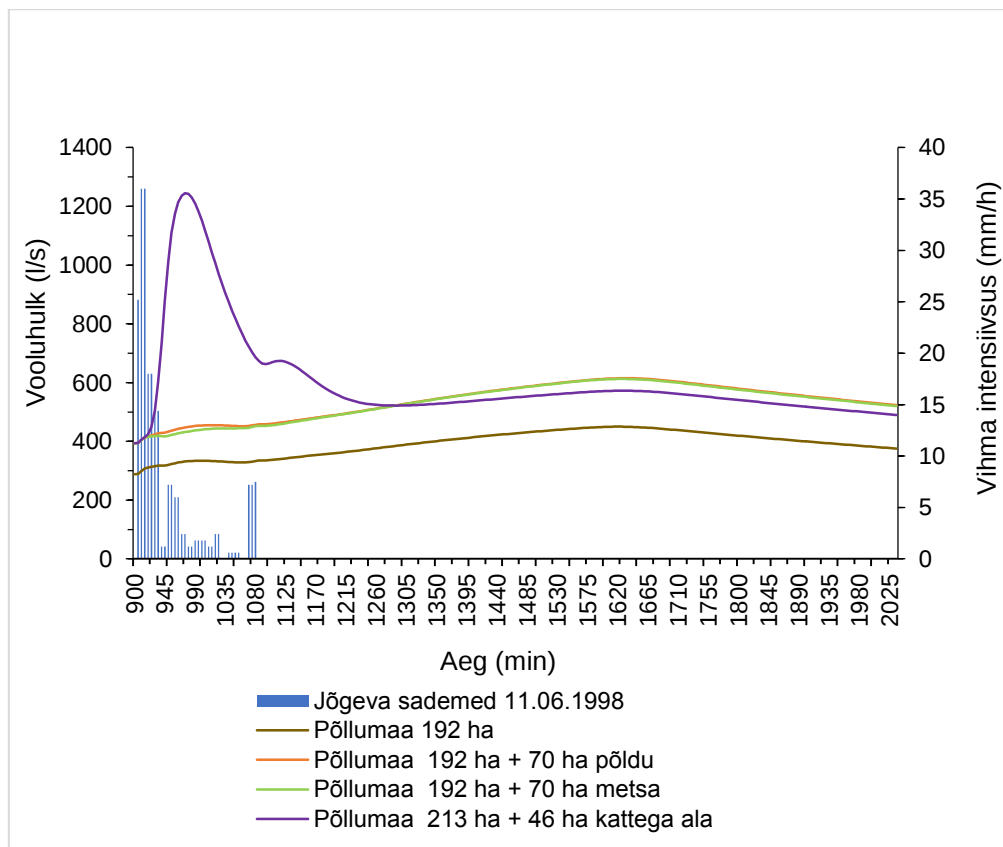
Joonis 3. SWMM mudeli näidisala: põllumaa 192 ha + 70 ha metsa



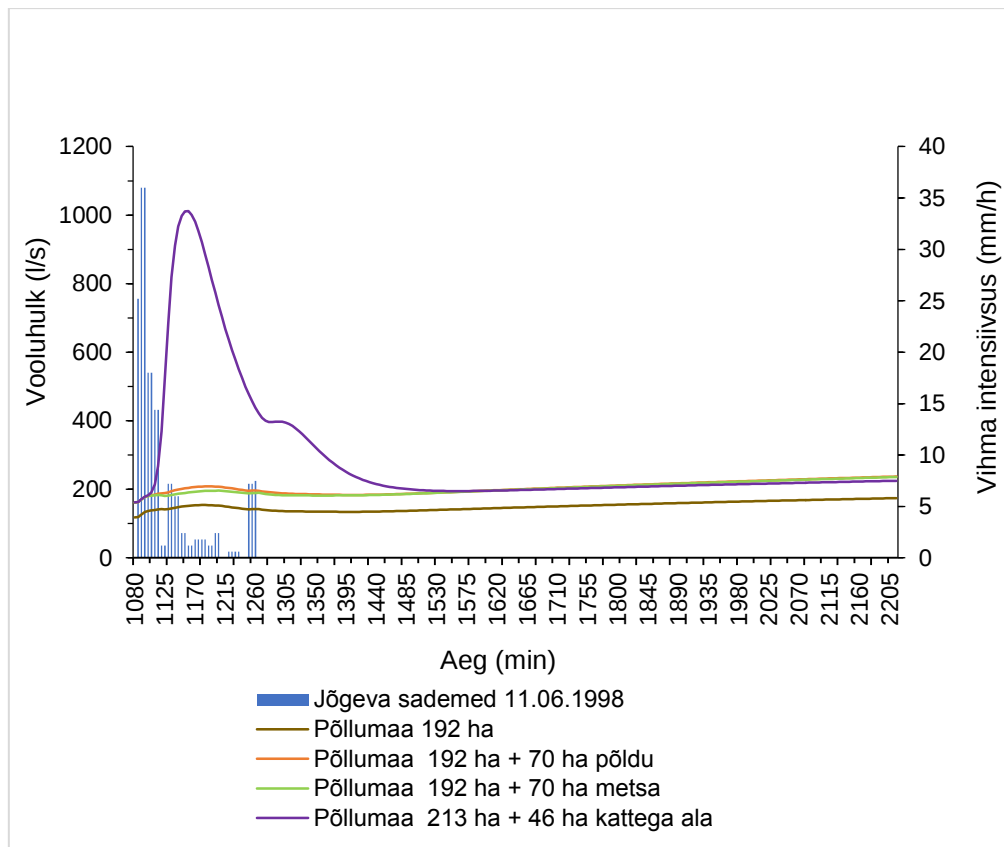
Joonis 4. SWMM mudeli näidisala: põllumaa 213 ha ning 49 ha kattega ala.



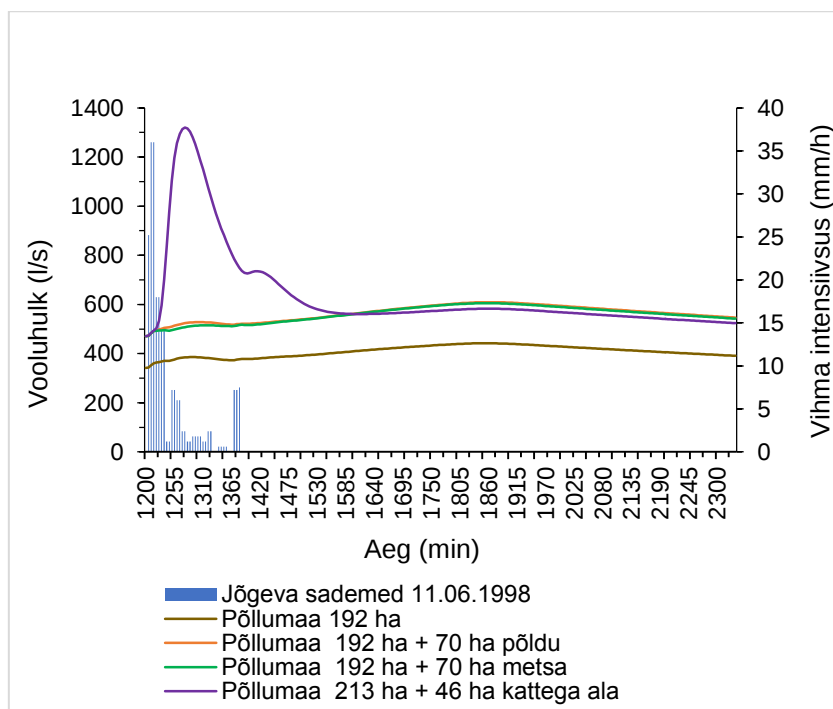
Joonis 5. Kraavi eesvoolu vooluhulk, Jõgeva sademetega 20,1 mm, liivsavi pinnases filtratsioonimooduliga 2 mm/h.



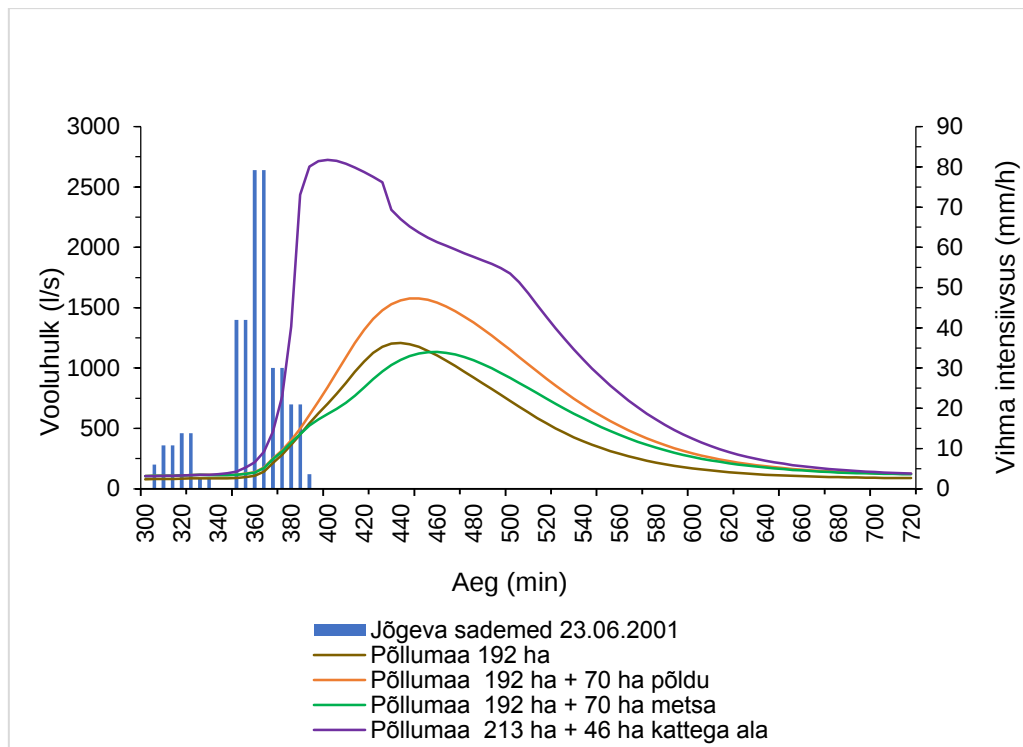
Joonis 6. Kraavi eesvoolu vooluhulk, Jõgeva sademetega 20,1 mm, liivsavi pinnases filtratsioonimooduliga 3 mm/h.



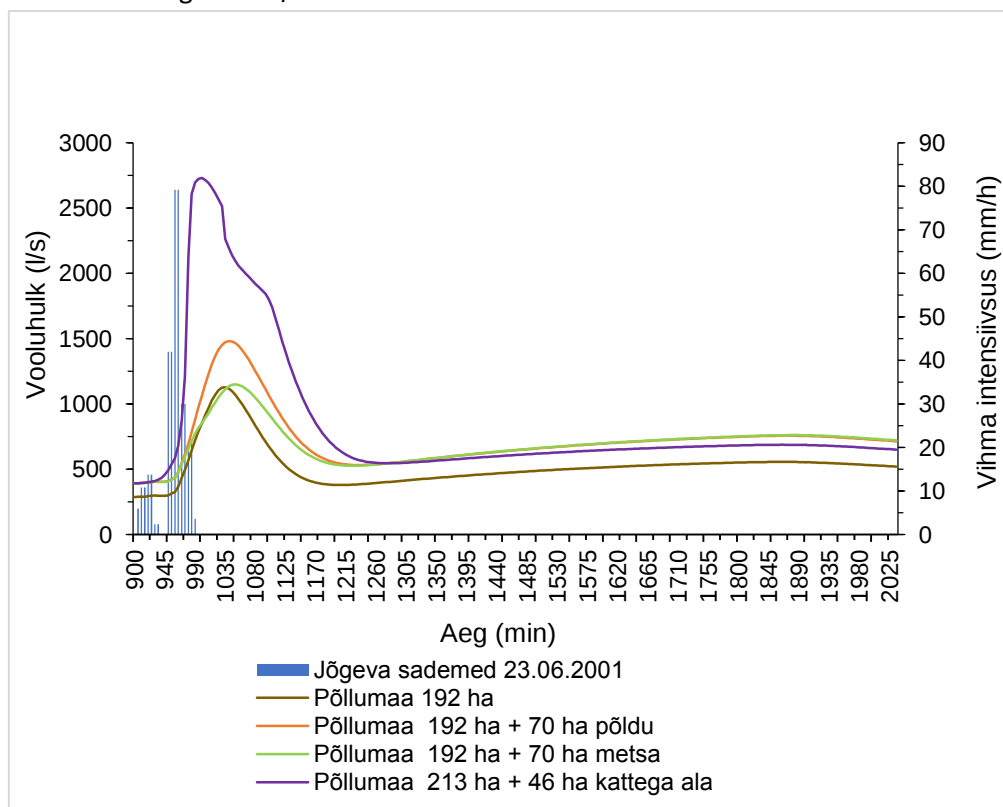
Joonis 7. Kraavi eesvoolu vooluhulk, Jõgeva sademetega 20,1 mm, saviliiv pinnases filtratsioonimooduliga 6,8 mm/h.



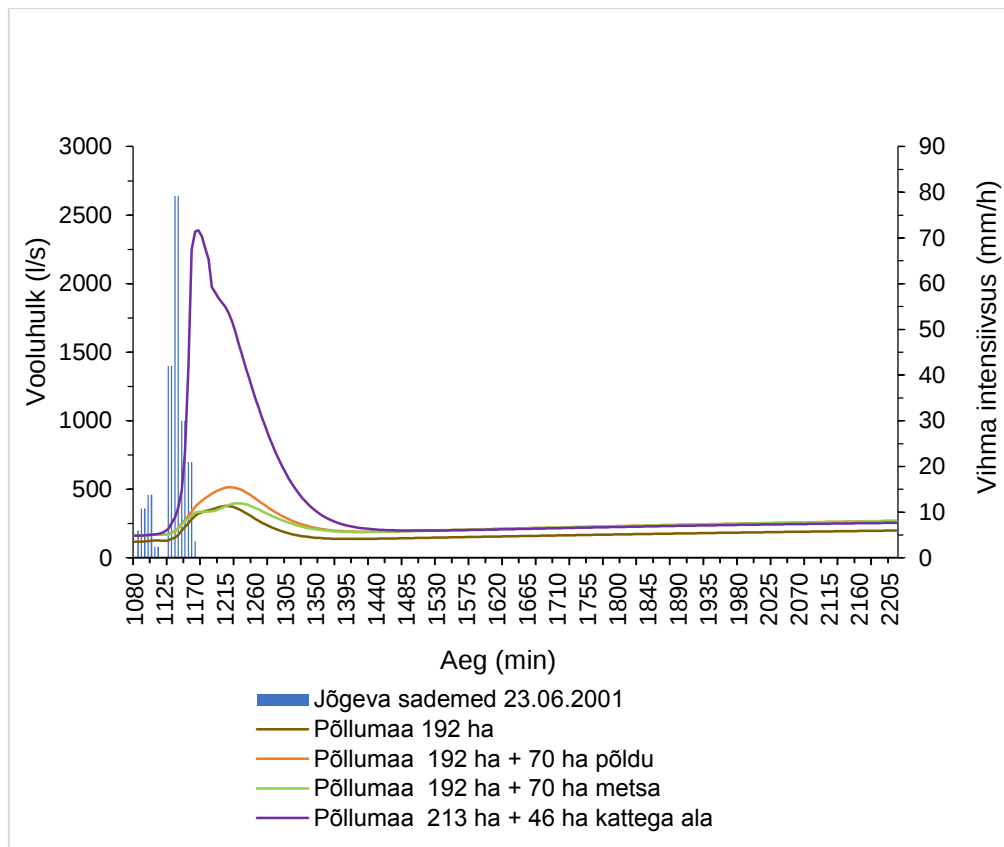
Joonis 8. Kraavi eesvoolu vooluhulk, Jõgeva sademetega 20,1 mm, saviliiv pinnases filtratsioonimooduliga 13,2 mm/h.



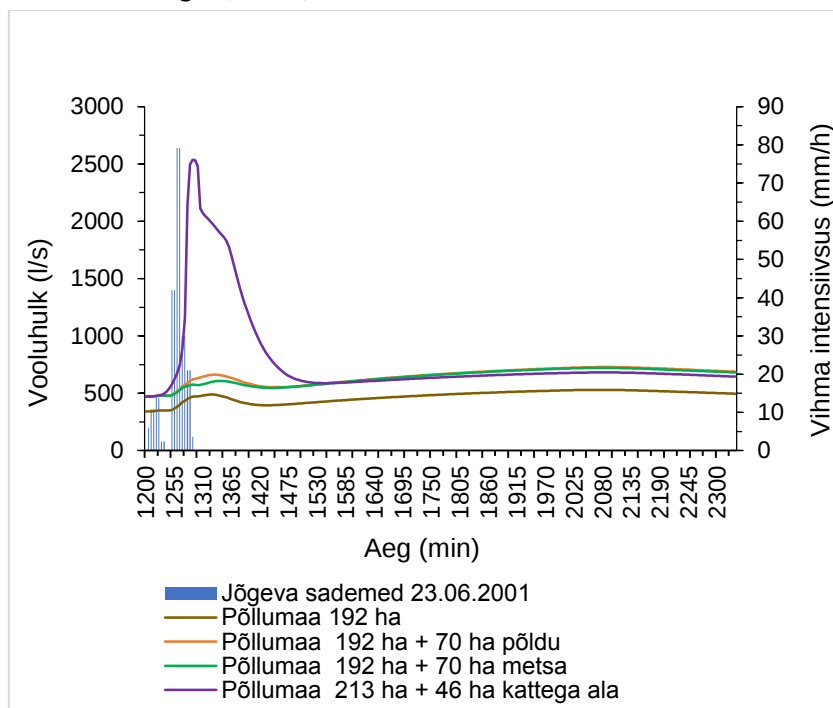
Joonis 9. Kraavi eesvoolu vooluhulk, Jõgeva sademetega 34,3 mm, liivsavi pinnases filtratsioonimooduliga 2 mm/h.



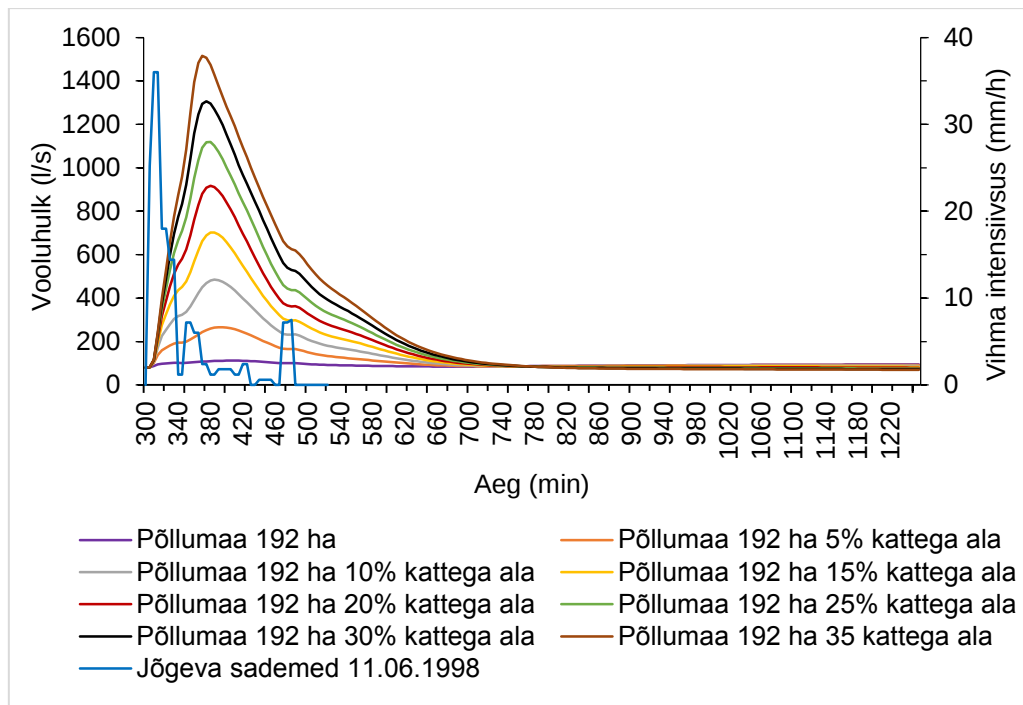
Joonis 10. Kraavi eesvoolu vooluhulk, Jõgeva sademetega 34,3 mm, liivsavi pinnases filtratsioonimooduliga 3 mm/h.



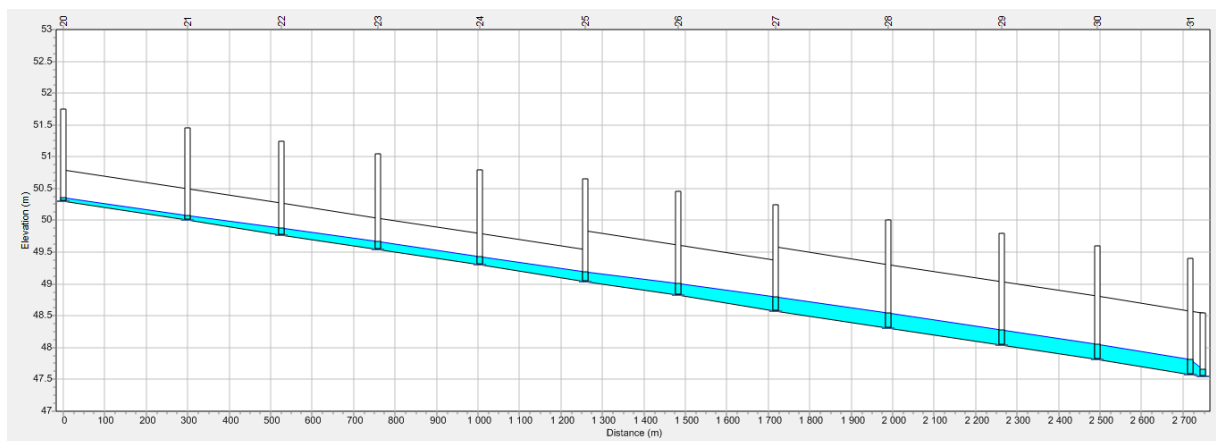
Joonis 11. Kraavi eesvoolu vooluhulk, Jõgeva sademetega 34,3 mm, saviliiv pinnases filtratsioonimooduliga 6,8 mm/h.



Joonis 12. Kraavi eesvoolu vooluhulk, Jõgeva sademetega 34,3 mm, saviliiv pinnases filtratsioonimooduliga 13,2 mm/h



Joonis 13. Kraavi eesvoolu vooluhulk, Jõgeva sademetega 20,1 mm, liivsavi pinnases filtratsiooni-mooduliga 2 mm/h erinevate katendi ala protsentidega.



Joonis 14. Kraavi pikiprofiili näidisskeem SWMM-ga

Tabel 3. Kraavi eesvoolu vooluhulga arvutus EVS 848:2013 meetodiga

Valgala kirjeldus	EVS 848:2013			
	Arvutusvihma korduvus p1; q20=81,2 l/s ha	Arvutusvihma korduvus p2; q20=81,2 l/s ha	Arvutusvihma korduvus p5; q20=81,2 l/s ha	Arvutusvihma korduvus p10; q20=81,2 l/s ha
	l/s			
Põllumaa 192 ha	573	731	941	1100
Põllumaa 192 ha + 70 ha põldu	783	1000	1287	1504
Põllumaa 192 ha + 70 ha metsa	682	870	1120	1309
Põllumaa 213 ha + 49 ha kattega ala	1489	1901	2446	2825

Tabel 4. Kraavi eesvoolu vooluhulga arvutus SWMM mudeliga (Jõgeva vihmaga 11.06.1998; sade-meid 20 mm), kohandatud EVS 848:2013 metoodikaga ja Hommiku meetodiga

Valgala kirjeldus	Vihm 20 mm					K.Hommiku metoodika Vegetatsiooniperioodi maksimum vooluhulk 10%,
	EVS 848:2013	SWMM mudel				
	Arvutusvihma korduvus p1; q=90,2 l/s ha	liivsavi filtratsioonimooduliga 2 mm/h	liivsavi filtratsioonimooduliga 3 mm/h	saviliiv filtratsioonimooduliga 6,8 mm/h	saviliiv filtratsioonimooduliga 13,2 mm/h	
	l/s					
Põllumaa 192 ha	635	112	450	182	442	330
Põllumaa 192 ha + 70 ha põldu	869	151	615	249	609	434
Põllumaa 192 ha + 70 ha metsa	756	138	612	245	605	370
Põllumaa 213 ha + 49 ha kattega ala	1650	955	1245	1013	1321	-

Tabel 5. Kraavi eesvoolu vooluhulga arvutus SWMM mudeliga (Jõgeva vihmaga 23.06.2001, sademeid 34,3 mm)

	Vihm 34 mm			
	SWMM mudel			
	liivsavi filtrat-siooni-mooduliga 2 mm/h	liivsavi filtrat-siooni-mooduliga 3 mm/h	saviliiv filtrat-siooni-mooduliga 6,8 mm/h	saviliiv filtrat-siooni-mooduliga 13,2 mm/h
Valgala kirjeldus				
Põllumaa 192 ha	1209	1128	378	530
Põllumaa 192 ha + 70 ha põldu	1578	1482	515	729
Põllumaa 192 ha + 70 ha metsa	1134	1150	398	722
Põllumaa 213 ha + 49 ha kattega ala	2725	2730	2399	2537