

KIK projekt nr. 15589

**Sademeveesüsteemide projekteerimise aluste kaasajastamine**

**SA Keskkonnainvesteeringute Keskuse ja Eesti Maaülikooli vahel  
28.05.2019 sõlmitud lepingu nr. 3-2\_3/8691-6/2018 lõpparuanne.**

Vastutav täitja: Toomas Tamm  
Täitjad: Ottar Tamm, Egle Saaremäe

Eesti Maaülikool

Tartu 2020

## SISUKORD

Sissejuhatus .....	3
2 Metoodika .....	5
2.1 Algandmed .....	5
2.1.1 Pluviograafi mõõdetud vihmaandmestik.....	6
2.1.2 Automaatjaamade vihmaandmestik .....	9
2.2 Sademete korduvusperiood.....	10
2.2.1 Korduvusperiood („ <i>return period</i> “).....	11
2.2.2 Sagedustõenäosus („ <i>exceedance probability</i> “) .....	11
2.2.3 Hüdroloogiline risk („ <i>hydrologic risk</i> “).....	12
2.3 Andmete analüüs.....	13
2.4 Arvutusvihma koostamine.....	14
2.5 Arvutusvihma meetodikad .....	18
2.6 Kliimamuutuse analüüs.....	19
3 Tulemused.....	21
3.1 Vihma andmete analüüs .....	21
3.2 Kliimamuutus lähitulevikus.....	23
3.3 Arvutusvihmad Eestis .....	29
3.4 Võrdlusanalüüs EVS'iga 848:2013 "Väliskanalisatsioonivõrk" .....	34
3.5 Tulemuste rakendatavus Eestis.....	38
3.6 Tulemuste levitamine .....	38
4 Kokkuvõte .....	39
5 Kasutatud kirjandus .....	42
LISAD .....	43
Lisa 1. Meteoroloogiajaamades esinenud vihamade arv .....	44
Lisa 2 . Asukohaparametrite tabel Eesti suurematele linnadele ja alevikele .....	48

## Sissejuhatus

Läänemere äärsetes riikides on eelmisel sajandil tuvastatud statistiliselt oluline kliima soojenemine. Aasta keskmine õhutemperatuur on tõusnud nii Eestis (Jaagus 2006; Kont jt. 2007) kui ka naaberriikides: Lätis (Lizuma 2007), Soomes (Tietäväinen jt. 2009), Venemaal (Anisimov jt. 2011), Rootsis (Alexandersson 2002). Õhutemperatuuri tõusuga seonduvalt on suurenenud valingvihmade intensiivsused ja lühialalisi sademehulkasid, mis omakorda on põhjustamas üha enam lokaalseid uputusi Eestis. Mida kõrgem on õhutemperatuur, seda rohkem veeauru õhku mahub. Seega saab atmosfääris veeauru kondenseerumisel tekkida näiteks suuri rohkelt sademetevett sisaldavaid rünkasajupilvi, mis võivad suhteliselt kokaalselt intensiivsete sademetena maha sadada. Mida intensiivsemad on sademed ja lühiajaliselt allasadava valingvihma hulk, selle suurenemine näiteks tulevikus, seda suurem on ka koormus sademeveesüsteemidele.

Kliimamuutusest tuleneva mõjudega kohanemine on Eestis üks tähtsamaid keskkonna probleeme, millega riik on viimastel aastatel tegelema. Kuigi kliimamuutusest tingitud valingvihmade suurenemine on vähemalt lailadase meediakajastuse tõttu ilmne, puudub hetkel Eestis arusaam, kui palju ja kas valingvihmad on intensiivsemaks läinud. Sademeveesüsteemi projekteerimisel lähtutakse senini Eesti Vabariigi standardist 848:2013 «Väliskanaliseerimisvõrk». Standardi arvutusvihmade koostamisel on kasutatud meteoroloogiajaamade andmeid, mis on pärit eelmise sajandi esimesest poolest. Mõõdetud andmed lõppevad aastal 1961, seega on arvutusvihmad ligi 60 aastat vananenud ja arvutusvihmade koostamise meetodika ei vasta tänapäevasele meetodikale. Kehtiv standard ei arvesta kliimamuutuste mõjuga.

Lisaks kliimamuutusele on suurenenud sademeveesüsteemide hüdrauliline koormus tänu kõvakattega pindade ehitamisele sademeveesüsteemi valgaladele. Eestis algas linnastumine 19. saj teisel poolel, intensiivistus alates 1950ndatest, mille põhjuseks oli industrialiseerimine. Viimastel aastakümnetel on linnastumine jätkunud, mille tulemusena on aina rohkem rohealad asendunud hoonetega ja neid teenindatavate teedega ning platsidega, mis on kõvakattega (asfalt või kivisillutis). See kõik on tinginud olukorra, kus enamuse Eesti linnades välja ehitatud sademeveesüsteemide on suure tõenäosusega aladimensioneeritud. Selle tulemusena on sagenemas uputused Eesti linnade sademeveesüsteemides, kus sademeveesüsteem ei suuda vastu võtta kogu sademeveevett. Eestis saab esile tõsta Tartus ja Tallinnas aastatel

2016 ja 2017 aset leidnud valingvihmasid, mis põhjustasid varalist kahju. 03.07.2016 hoovihm põhjustas Tallinnas mitmel pool suuri üleujutusi, kui ühe tunniga sadas maha 40 mm. Samal päeva Tartus oli lühialaine uputus Lõunakeskuse parklates (Joonis I), ametlikult mõõdeti sademetehulgaks 25 minutiga 21 mm.



Joonis I. Uputus Tartu Lõunakeskuse parklates 3.07.2016, kaadrid videost (autor T.Tamm)

Järgmisel aastal 17. augustil põhjustas tugev vihmasedu Rocca al Mare keskuses ja parklas uputuse, mis sai ka suure vastukaja meedias. Selliseid näiteid leiab palju, sh 2020.a.

Antud uuringus käsitletakse kliimamuutuse ühte komponenti – lühiajalisi sademeid. Sademeveesüsteemid projekteeritakse enamasti elueaga 30–50 aastat. Seega on lisaks kaasajastatud arvutusvihmadele vajalik teada ka võimaliku kliimamuutuste mõju tulevikus. Töös tehakse trendianalüüs kõikidele meteoroloogiajaamadele, analüüsides muutuseid arvutusvihmade intensiivsustes. Analüüsi tulemuste põhjal uuritakse kas ja kuidas võtta arvesse võimalikku kliimamuutuste mõju tulevikus.

Projekti põhieesmärgiks on statistiliselt analüüsida mõõdetud lühiajalisi sademeid, mille põhjal pakutakse välja uus arvutusvihmade meetodika sademeveesüsteemide projekteerimiseks. Antud meetodika peab olema rakendatav Eesti territooriumil mis tahes asukohas. Teiseks eesmärgiks on välja selgitada võimaliku kliimamuutuse mõju suurus ja trend Eesti

arvutusvihmades ning välja pakkuda lahendus, kuidas projekteerimisel arvestada kliimamuutuse mõju ka tulevikus. Kolmandaks koostatakse võrdlusanalüüs hetkel kehtiva Eesti Vabariigi standardi 848:2013 «Väliskanalisatsioonivõrk» ja töö käigus saadud tulemuste vahel.

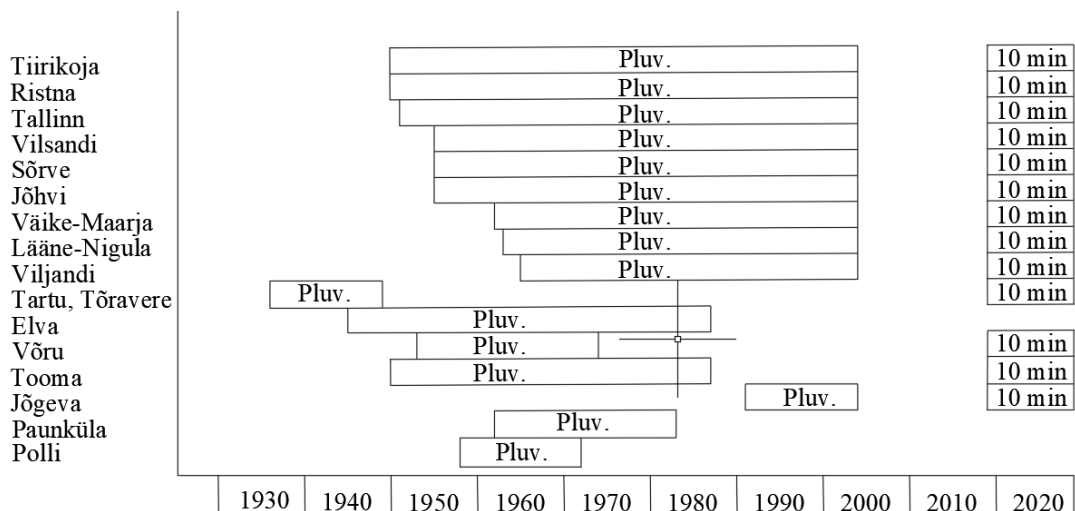
## 2 Metoodika

### 2.1 Algandmed

Töö käigus kaardistati, koguti ja täpsustati meteoroloogiajaamade vihmaandmestik.

Andmeanalüüsi aluseks on Riigi Ilmateenistuse jaamades mõõdetud vihmade andmed, mis on kogutud aastatel 1936–2019. Aegridade pikkus on varieeruv, sõltudes jaama tööle hakkamisest: mõnes jaamas algab vaatlusrida 1936 aastast, teises jällegi on vaatlusrea algus aastast 1964 (**Joonis 1**).

Vihma intensiivsuste mõõtmiseks kasutati pluviograafi kuni 2003 aastani. Pluviograaf on vihma isekirjutaja. Sademevee nõus oleva veetaseme muutus kirjutati pluviograafi lindile, millelt leiti konkreetsele ajavahemikule vastav veetaseme tõus ja arvutati vihma keskmine intensiivsus, mis kirjutati vaatlusvihikusse (Tammets 2012). Alates 2003. aastast hakati meteoroloogiajaamu automatiseerima. Seoses sademete mõõtmismetoodika muutusega aja jooksul on muutunud andmete formaat ja mõõtmise ajasamm. Metoodika, ajaskaala ja meteoroloogiajaamade asukoha muutus põhjustab andmeridade mittehomogeensust.



**Joonis 1.** Meteoroloogiajaamades mõõdetud andmed. Pluv. - pluviograafiga mõõdetud andmed ja 10 min - automaatjaamade andmed kümneminutilise ajasammuga. (Märkus:2004–2010 automaatjaamad 1h)

### 2.1.1 Pluviograafi mõõdetud vihmaandmestik

Meteoroloogiajaamade pluviograafi poolt mõõdetud vihmaandmestik on esitatud paber kandjal oleva andmekoguna aastast 1945 EMHI arhiivis (**Joonis 2**). Paber kandjal olevad andmed on tutvumiseks ja lugemiseks EMHI arhiivis kohapeal.

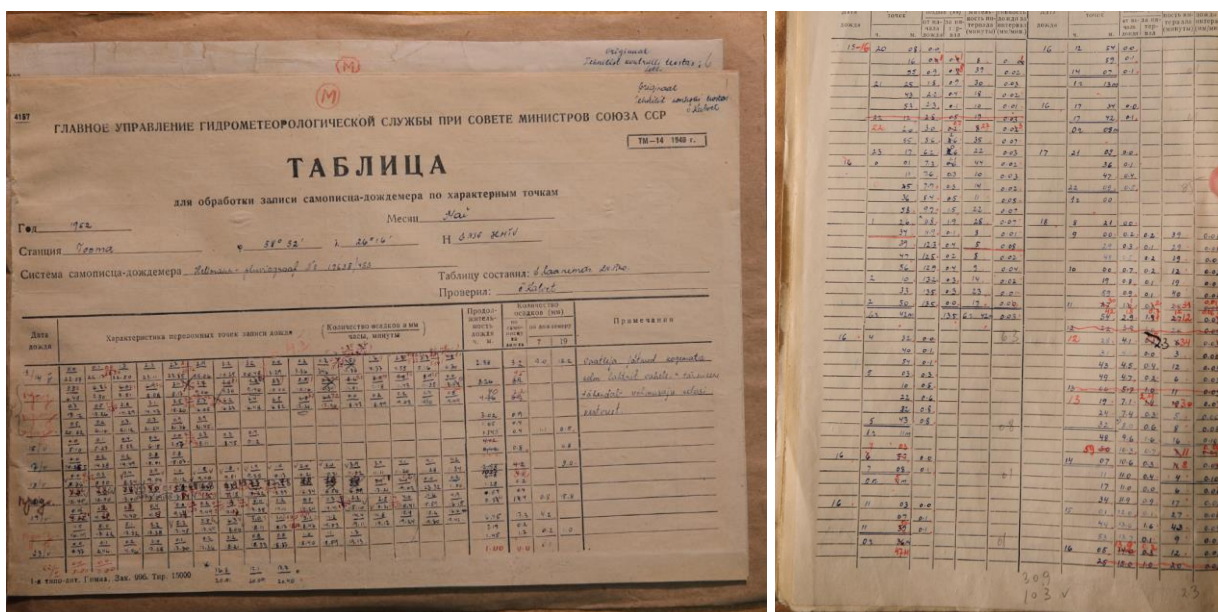


**Joonis 2.** Andmekogu EMHI arhiivis.

Uuringu raames pildistati vihmaandmed ning arhiivi materjalide fotokoopiatest loodi andmekogu. Fotod on kataloogiseeritud meteoroloogiajaamade ja aastate kaupa.

Vihmaandmete olemasolu kontrolliti jaamade, aastate ja kuude lõikes vastavalt EMHI väljastatud inventuuri tabelile, eesmärgiga pildistada kõik mõõdetud vihmaandmed.

Paber kandjal olevad vihmaandmed on käsitsi kirjutatud vaatlusvihikutesse ning mitmed andmed on raskesti loetavad või parandatud. Lisaks on vaatlusvihikud erinevalt vormindatud (**Joonis 3**). 1950ndate aastate alguses kasutati andmete vormingut, milles esitati sajusündmuse kuupäev, akumul eeruvad kogused varieeruvale ajasammule ridadena. Fikseeritud on nii saju algus kui ka lõpp minuti täpsusega. Andmeid kirjutati vaatlusvihikutesse ka tulpadena, märkides kuupäeva, kellaaja, vihma koguse ja vastava intensiivsuse. Vihma akumul eeruvad kogused esitati varieeruvale ajasammule. Alates 1970 aastast on ajasammuks võetud üldjuhul 10 minutit. Andmeridades võib olla ka ajasammuks 20 minutit või rohkem, olenevalt vihma intensiivsuse muutusest.



**Joonis 3.** Elva meteoroloogijaama vaatlusvihiku näited aastast 1951 ja 1957.

Aastast 1984 on pluviograafi andmed trükitud aastaraamatutesse (**Joonis 4**), mis asuvad EMHI arhiivis. Kasutatud on formaati, milles on vihma andmed esitatud tulpadena. Märgitud on saju kuupäev, saju kuupäev, vihma akumul eeriv kogus, vihmaintensiivsus.

СТАНЦИЯ ВИЛЬЯНДИ N СТАНЦИИ 5842560 ПОД 1990 МЕСЯЦ 5 ДАННЫЕ ПЛЮВИОГРАФА СТР. 17

ЧИСЛО	И ОТ И ЗА	И ДОЖДЯ, I ВЛД,	I мм	И мм/мин	ЧИСЛО	И ОТ И ЗА	И ДОЖДЯ, I ВЛД,	I мм	И мм/мин
11 05 03		0,0			28 14 38		0,0		
05 10		0,3	0,04		14 40		0,2	0,10	
05 30		0,5	0,01		15 00		1,2	0,05	
08 00		1,3	0,03		15 10		2,1	0,09	
06 10		1,4	0,01		15 20		2,4	0,03	
06 20		2,1	0,07		15 30		3,2	0,08	
06 30		2,5	0,04		15 40		3,7	0,05	
01 27		2,5	0,03		01 02		3,7	0,06	
11 07 50		0,0			28-29 18 27		0,0		
08 40		0,2	0,00		18 40		0,3	0,02	
09 00		1,0	0,04		19 00		0,3	0,00	
09 30		3,0	0,07		19 20		1,9	0,08	
09 40		3,2	0,02		20 20		2,9	0,02	
10 00		4,0	0,04		21 00		3,1	0,01	
10 30		4,4	0,01		02 33		3,1	0,02	
02 40		4,4	0,03		29 23 00		0,0		
15 03 30		0,0			23 50		0,5	0,01	
05 20		1,4	0,01		00 30		1,5	0,02	
05 30		2,8	0,14		01 40		2,0	0,01	
05 40		3,2	0,04		02 00		2,6	0,03	
02 10		3,2	0,02		02 10		3,1	0,05	
17 04 40		0,0			02 20		4,0	0,09	
04 50		0,2	0,02		04 40		4,9	0,01	
05 00		0,8	0,06		05 40		4,9	0,01	
05 10		1,1	0,03						
05 20		1,8	0,07						
05 40		2,6	0,04						
09 10		3,6	0,00						
04 30		3,6	0,01						
27 01 10		0,0							
03 50		0,6	0,00						
04 00		1,5	0,09						
04 10		2,9	0,14						
04 20		3,9	0,10						
04 40		4,8	0,05						
05 50		5,0	0,00						
06 10		5,5	0,03						
05 00		5,5	0,02						

Joonis 4. Viljandi aastaraamatu näide aasta 1990 andmete kohta.

Meteoroloogiajaamade vihmaandmed vaatlusvihikutes ja aastaraamatutes digitaliseeriti, tulemusena saadi andmed meteoroloogiajaamades erinevates ajavahemikest (Tabel 1).

Tabel 1. Pluviograafi andmestik meteoroloogiajaamades.

Meteoroloogiajaam	Ajavahemik
Elva	1945–1987
Tartu	1936–1949
Tooma	1950–1987
Jõhvi	1955–1990
Sõrve	1955–1990
Võru	1953–1974
Vilsandi	1955–1989
Viljandi	1965–1990
Lääne-Nigula	1964–1990
Väike-Maarja	1962–1990
Tiirikoja	1950–1990
Ristna	1949–1990
Tallinn-Harku	1936–1990
Polli	1958–1972
Paunküla	1964–1983

Pluviograafi andmestik on aastast 1991 kuni 2003 digitaliseeritult olemas EMHI järgmistes meteoroloogiajaamades: Jõgeva, Lääne - Nigula, Ristna, Sõrve, Tiirikoja, Vilsandi, Väike-



Maarja, Jõhvi, Tallinn-Harku, Viljandi. **Joonis 5** on esitatud näide pluviograafi andmestiku vormingust.

Jaama nimi	Aasta	Kuu	Päev	Tund	Algus minut	Kestus minut	Lõpp minut	Hulk (mm)	Intensiivsus (mm/min)
Jõgeva	1991	05	01	10	25				
Jõgeva	1991	05	01	10		30		0.1	0.02
Jõgeva	1991	05	01	12		40		1.4	0.01
Jõgeva	1991	05	01	12		50		1.4	0.00
Jõgeva	1991	05	01	13		00		1.5	0.01
Jõgeva	1991	05	01	13		10		1.5	0.00
Jõgeva	1991	05	01	13		20		1.9	0.04
Jõgeva	1991	05	01	13		30		2.2	0.03
Jõgeva	1991	05	01	14		00		2.2	0.00
Jõgeva	1991	05	01	14		10		2.3	0.01
Jõgeva	1991	05	01	14		30		2.3	0.00
Jõgeva	1991	05	01	14		40		2.4	0.01
Jõgeva	1991	05	01	14		50		2.4	0.00
Jõgeva	1991	05	01	15		10		2.6	0.01
Jõgeva	1991	05	01	15		20		2.6	0.00
Jõgeva	1991	05	01	15		30		2.7	0.01
Jõgeva	1991	05	01	15		50		2.7	0.00
Jõgeva	1991	05	01	16		00		2.8	0.01
Jõgeva	1991	05	01	16		10		2.8	0.00
Jõgeva	1991	05	01	16		20		2.9	0.01
Jõgeva	1991	05	01	16		50		4.1	0.04
Jõgeva	1991	05	01	17		00		4.4	0.03
Jõgeva	1991	05	01	17			5	4.4	0.00
Jõgeva	1991	05	--	--	--	--	--	-----	-----
Jõgeva	1991	05	01	6	40			4.4	0.01

**Joonis 5.** EMHI digitaliseeritud pluviograafiandmed.

### 2.1.2 Automaatjaamade vihmaandmestik

2002. aastal alustati automaatjaamade paigaldamisega meteoroloogiajaamadesse. Automaatjaam edastas andmeid igal täistunnil. 2004–2010 on saadaval meteoroloogiajaamade vihmaandmed ühe tunnise sammuga, mis ei ole sobilikud arvutusvihmade koostamiseks.

Aastast 2011 on vihmade andmed 10 minutilise ajasammuga, vt joonis 6, järgmistes meteoroloogiajaamades: Haapsalu, Harku, Heltermaa, Jõgeva, Jõhvi, Kihnu, Kunda, Kuusiku, Narva-Jõesuu, Nigula, Pakri, Ristna, Roomassaare, Ruhnu, Pärnu-Sauga, Sõrve, Tartu, Tiirikoja, Tooma, Türi, Valga, Viljandi, Vilsandi, Virtsu, Väike-Maarja, Võru, Pajusi, Piigaste, Vihterpalu, Koodu, Tõlliste, Massumõisa, Tudu, Tuulemäe. Hiljem lisandusid Narva, Pärnu, Korea, Pajupea, Rannu, Riisa, Sämi, Tõrva, Otepää, Vanaküla vaatlusjaamad, kus mõõdeti sademeid.

Aasta	Kuu	Päev	Kell (UTC)	AJHAAP01	AJHARK01	AJHELT01	AJJOGE01
2015	1	1	0:00	0	0	0	0
2015	1	1	0:10	0	0	0	0
2015	1	1	0:20	0	0	0	0
2015	1	1	0:30	0	0	0	0
2015	1	1	0:40	0	0	0	0
2015	1	1	0:50	0	0	0	0
2015	1	1	1:00	0	0	0	0
2015	1	1	1:10	0	0	0	0
2015	1	1	1:20	0	0	0	0
2015	1	1	1:30	0	0	0	0
2015	1	1	1:40	0	0	0	0
2015	1	1	1:50	0	0	0	0
2015	1	1	2:00	0	0	0	0
2015	1	1	2:10	0	0	0	0
2015	1	1	2:20	0	0	0	0
2015	1	1	2:30	0	0	0	0
2015	1	1	2:40	0	0	0	0
2015	1	1	2:50	0	0	0	0
2015	1	1	3:00	0	0	0	0
2015	1	1	3:10	0	0	0	0
2015	1	1	3:20	0	0	0	0
2015	1	1	3:30	0	0	0	0
2015	1	1	3:40	0	0	0	0
2015	1	1	3:50	0	0	0	0
2015	1	1	4:00	0	0	0	0
2015	1	1	4:10	0	0	0	0
2015	1	1	4:20	0	0	0	0
2015	1	1	4:30	0	0	0	0
2015	1	1	4:40	0	0	0	0
2015	1	1	4:50	0	0	0	0
2015	1	1	5:00	0	0	0	0
2015	1	1	5:10	0	0	0	0
2015	1	1	5:20	0	0	0	0
2015	1	1	5:30	0	0	0	0
2015	1	1	5:40	0	0	0	0

**Joonis 6.** EMHI vihmaandmestiku näide 10 minutilise ajasammuga.

Uuringusse valiti jaamad, millele on võimalikult pikk mõõtmiste andmerida. Töös kasutati Tallinn-Harku, Jõhvi, Ristna, Sõrve, Vilsandi, Lääne-Nigula, Väike-Maarja, Tiirikoja, Jõgeva, Tooma, Elva, Tõravere Viljandi ja Võru meteoroloogiajaamade vihma andmeid aastast 1950.

## 2.2 Sademete korduvusperiood

Sademed näivad olevat juhuslikud ja samas on teada, et aastas keskmiselt tuleb Eestis ca 700 mm sademeid ja et suure intensiivsusega valingvihmasid esinevad meil peamiselt suvekuudel. Juhuslikkus on nii ajaline kui ruumiline. Valingvihmad on lühiajalised ja võivad olla väga lokaalsed. See tähendab, et juhuslikel sündmustel, antud juhul sajasündmustel, on teatud statistilised tõenäosuslikud omadused, mis piisavalt pika vaatlusrea olemasolul on matemaatiliste tõenäosuslike seostena leitavad.

Statistiliselt kõige lihtsam tõenäosuse kirjeldus on mündi või täringu mäng. Sündmuse tõenäosus on arv, mis iseloomustab sündmuse toimumise võimalikkust kindlatel tingimustel:

$$p = \frac{m}{N}, \quad 1$$

kus  $m$  on soodsate võimaluste arv ja  $N$  on kõikide võimaluste arv. Juhuslik sündmus, selline mis võib toimuda või mitte (nt. täringumängus 6 silma), kindel sündmus on selline, mis toimub kindlasti ( $p=1$ ).

Sademetel korral puudub otseses mõttes sisuline sarnasus mänguteooriaga, sest „soodsad võimalused“ omavad mänguteoorias kindlat tähendust, mis hüdroloogias võivad seostuda eelneva perioodi oludega, näiteks põuaperioodi sademed on „soodsad“, väga sademete rohke lisanduvad sademed „ebasoodsad“. Analoogiliselt täringuga aga huvitab suure väärtuse (6 silma täringul, ränk sadu) esinemissagedus ja –tõenäosus.

Insenerajajate puhul kitseneb huvipakkuvate sademete temaatika enamasti suure sajuhulga ja/või väga intensiivsete sademetega sajuündmustele, mis tekitavad suure või väga suure hüdraulilise koormuse äravoolusüsteemidele, lokaalseid üleujutusi ja erinevat liiki kahjustusi (nt erosioon, logistilised takistused jms).

Rakendushüdroloogias on kasutusel mitmeid statistilisi parameetreid, mis annavad vajaliku sisendi projekteerimiseks. Sademete korral on huvipakkuvaks seosed sademete intensiivsuse, kestuse ja korduvuse vahel. Alljärgnevalt on esitatud nende lühikirjeldus.

### 2.2.1 Korduvusperiood („*return period*“)

Korduvusperioodi ( $P$ ) defineeritakse kui perioodi pikkust (nt keskmine aastate arvu), mille jooksul toimub kindlate väärtustega hüdroloogiline sündmus. Sajusündmuste puhul on vaja korduvusperioodi arvutamiseks ette anda nii saju kestus kui sademete hulka. Näiteks sajuündmus, kus teatud geograafilises punktis sajab tunnis 30 mm 100 aasta jooksul 4 korda, siis korduvusperiood  $P = 100/4 = 25$  aastat. Ümbersõnastatult 25-aasta korduvusega tunnine sademete hulk on 30 mm.

### 2.2.2 Sagedustõenäosus („*exceedance probability*“)

Sagedustõenäosus  $p$  on tõenäosus, mis näitab mingi kindla kestuse ja hulgaga saju toimumist teatud etteantud ajaperioodi korral (näiteks aastas, näiteks saja aasta jooksul):

$$p = \frac{1}{P}, \quad 2$$

kus  $P$  on korduvusperiood aastates ja  $p$  on ületustõenäosus  $<1$  või protsentides korrutades 100-ga. Näiteks, kui 25 aasta jooksul on tunni suurim sademete hulk 30 mm, siis sündmuse sagedustõenäosus  $p$  on  $1/25=0,04$  (või 4%). Seega eksisteerib 4%-ne iga-aastane tõenäosus, et tunni sademed on 30 mm. Tuleb rõhutada, et kui selline sajuündmus leiabki aset, siis see ei tähenda, et järgmised 24 aastat sama sadu ei ole oodata, vaid ka igal järgneval aastal on tõenäosus  $p$   $1/25$ , et selline sadu esineb. Samuti on võimalik, et vaadeldava 25 aasta jooksul sellist sadu ei esinegi, st peab hindama hüdroloogilist riski.

### 2.2.3 Hüdrololoogiline risk („hydrologic risk“)

Looduses eksisteeriv juhuslikkus tähendab, et alati on mingi tõenäosus, et teatud kestuse ja sajuhulgaga sündmus toimub või ületatakse, mida peab arvesse võtma vesiehitiste sh sajuveesüsteemide projekteerimisel ja rajamisel. See tähendab, et esineb hüdrololoogiline risk, et teatud väärtus ületatakse. Hüdrololoogilist riski arvutatakse valemiga:

$$J = 1 - \left(1 - \frac{1}{P}\right)^N, \quad 3$$

kus J on hüdrololoogiline risk, P on korduvusperiood, mida kasutatakse antud rajatise projekteerimiseks, N on rajatise planeeritav eluiga aastates.

#### NÄIDE:

Kui suur on hüdrololoogiline risk truubil, mille planeeritud eluiga on **30 aastat**. Truup on dimensioneeritud **arvutusvihmale korduvusega 25 aastat (P25)**?

Kasutades valemit 3, on hüdrololoogiline risk leitav järgnevalt:

$$J = 1 - \left(1 - \frac{1}{25}\right)^{30} = 0,71 = 71\%$$

Saadud tulemusest lähtuvalt esineb antud tingimustel 71 protsendiline tõenäosus, et truubi eluea jooksul esineb **arvutusvihmale vastav sündmus**. Analoogiliselt, P10 arvutusvihmale vastav olukord esineb tõenäosusega 96%.

Linna sademeveesüsteem kavandatakse üldjuhul 50-ne aastase elueaga. Kasutades hüdrololoogilise riski valemit, on võimalik välja arvutada kui suure tõenäosusega on linnas 50 aasta jooksul uputusi oodata. Elamupiirkonnas (projekteeritud arvutusvihma korduvusperioodile P2) on hüdrololoogiline risk 100% s.t. 50 aasta jooksul esineb kindlasti uputusi.

Soovides hüdrololoogilist riski vähendada 10 protsendini (50 aasta jooksul tekib uputus 10% tõenäosusega), tuleks sademeveesüsteem projekteerida arvutusvihma korduvusperioodile P=475 aastat, mis praktikas on ebamõistlik. Seega – ajutised uputused sademeveesüsteemi eluea jooksul on paratamatud, samas tuleb arvestada võimaliku kahju ulatust. Seetõttu, lähtudes majanduslikest kaalutlustest, kasutatakse sademeveesüsteemide projekteerimiseks arvutusvihmade korduvusperioode vahemikus 2 kuni 50 aastat, sõltuvalt sellest kui suur on sajuvähenduse poolt tekitatud võimalik majanduslik või muu kahju.

## 2.3 Andmete analüüs

Vihmade vaatlusvihikute ja aastaraamatute sademete andmete (andmed kuni aastani 1990) digitaliseerimise käigus viidi kõik andmed ühtsesse formaati. Läbivaks formaadiks valiti Riigi Ilmateenistuse poolt edastatud 1991–2003 aasta MS Excel andmetabelid (**Joonis 7**).

Aasta	Kuu	Paev	Kellaaeg	Aku. kogus	Kogus	Intesniivsus	Intervall (min)
1992	8	4	3:23	0	0		
			3:30	0.2	0.2	0.03	7
			3:40	1.2	1	0.1	10
			4:00	1.6	0.4	0.02	20
			4:30	1.6	0	0	30
			4:40	2.6	1	0.1	10
			4:50	4.8	2.2	0.22	10
			5:00	6	1.2	0.12	10
			5:10	6.6	0.6	0.06	10
			5:20	10.1	3.5	0.35	10
			5:30	10.6	0.5	0.05	10
			...	...	...	...	...

**Joonis 7.** MS Excel andmetabeli formaat.

Alates aastast 2011 on Riigi Ilmateenistuse andmed saadaval automaatjaamadest, kus maha sadanud vihmakogus on antud iga 10 minuti järel ühe rea kirjena. Seega on iga ilmajaama kohta ligikaudu 0,5 miljonit rida andmeid, mida andmete analüüsis kasutati. Antud perioodil defineeriti uueks vihmäsündmuseks olukord, kus vähemalt **3 tunni** jooksul ei ole vihmasadu mõõdetud (kogus=0mm). Antud kriteeriumit on kasutatud Riigi Ilmateenistuse poolt ka varasemalt, seega jäljendatakse ühtset andmete ülesehituse loogikat ka edaspidiselt. Mida ühtlasemad on andmed ja nende mõõtmisloogika, seda väiksemad on ebamäärasused tulemuste tõlgendamisel.

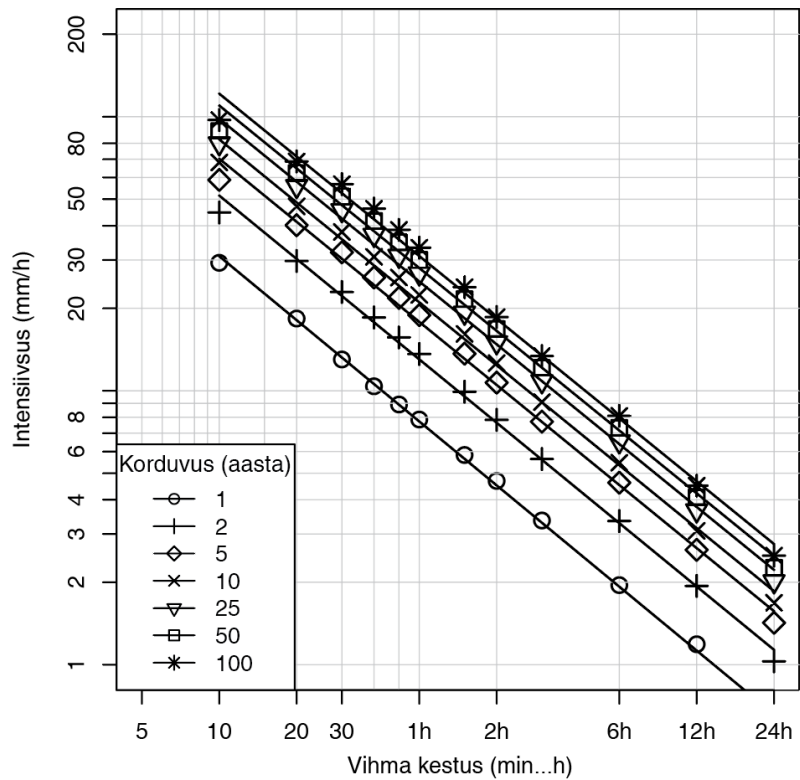
Ühtlustatud andmetabelite edaspidiseks töötamiseks koostati skript R-i keskkonnas. Koostatud skript võtab sisendina sisse andmetabeli .csv formaadis. Skript arvutab välja iga vihma kogused ajasammuga **1 minut**, kasutades lineaarset aja interpoleerimist. Skriptis defineeritakse soovitud arvutusvihmade kestused (20, 30, 40, 60, 90, 120, 180, 360 min). Järgnevalt otsib skript suurima iga vihmäsündmuse seast võimalikult suurima arvutusvihma väärtuse igale eelnevat defineeritud arvutusvihma kestusele.

Tulemusena väljastab skript iga vihmäsündmuse kohta valitud arvutusvihma kestustele vastavad maksimaalsed vihmakogused (mm). Antud andmete analüüsis saadud tulemuste põhjal moodustati andmetabel, kus igal andmereal on vihma kuupäev ja defineeritud arvutusvihma kestustele vastavad vihmakogused (mm).

Asukohapõhise arvutusvihma koostamiseks on vaja teada iga aasta suurimat vihmakogust erinevate arvutusvihma kestuste korral antud jaamas. Selleks töödeldi eelnevalt skripti poolt väljastatud andmetabeleid edasi MS Exceli keskkonnas, kus filtreeriti välja iga-aastased suurimad vihmakogused defineeritud vihmakestustele. Arvutusvihma koostamisel on vaja teada andmete statistikuid (keskmine, standardhälve), seega jäeti edasisest arvutusvihma koostamisest välja jaamades aastad, kus mõõtmisi ei ole (s.h. 2004–2010). Tulemusena tekkisid andmetabelid iga jaama kohta, mida kasutatakse sisendina asukohapõhiste arvutusvihmade graafikute koostamiseks R keskkonnas.

## 2.4 Arvutusvihma koostamine

Enamus riikides on sademeveesüsteemide aluseks asukohapõhised arvutusvihmade graafikud (*“intensity-duration-frequency curve”*). Arvutusvihma graafikul on näidatud funktsionaalne seos (vastavalt valitud regressioonimudelile) vihma intensiivsuse (mm/h), kestuse (min) ja korduvusperioodi (aasta) vahel. **Joonisel 8** on näidatud tüüpiline arvutusvihma graafik. Kuna antud joonisel on mõlemad graafiku teljed logaritmilised, ei ole visuaalselt tegu mitte kõveraga (*IDF curve*), vaid sirge joonega. Muutes vertikaaltelje (arvutusvihma intensiivsus) lineaarseks, tekiksid sademete funktsionaalse seose kirjeldamiseks kõverad.

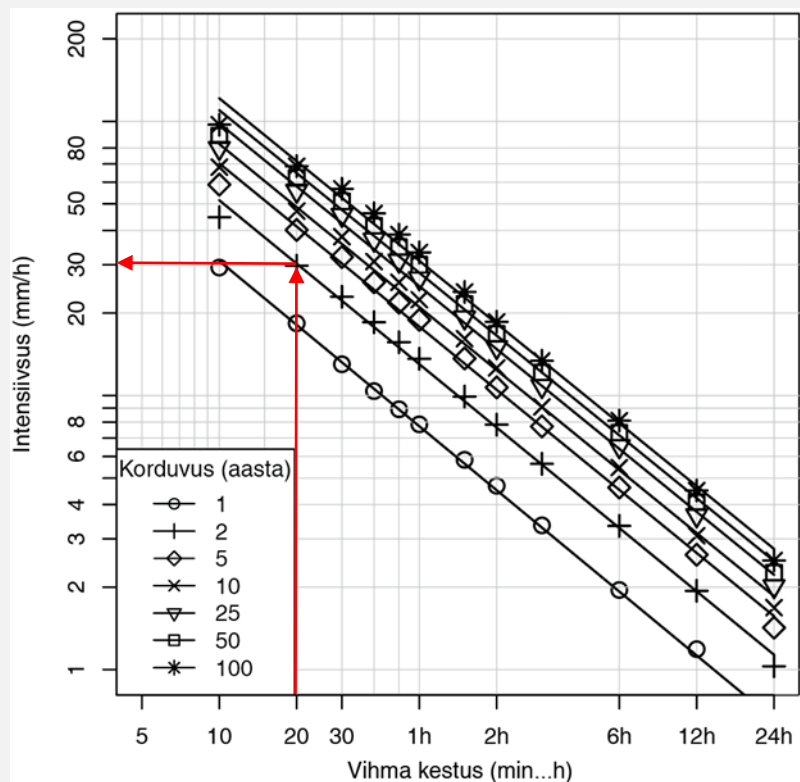


**Joonis 8.** Arvutusvihma graafiku näide.

Projekteerimisel on hetkel kehtivas standardis aluseks vihma kestus ja korduvusperiood (vastavalt võimalikule majanduslikule kahju suurusele) - seega teades nii vihma kestust kui ka korduvusperioodi, on võimalik arvutusvihma graafikult leida vastav arvutusvihma keskmine intensiivsus. Korrutades keskmise intensiivsuse (mm/h) vihmakestusega (h), saadakse vihmakogus (mm). Arvutusvihmade koostamiseks on vajalik mõõtmisandmed piisavalt pikal perioodil, kus esindatud oleks kogu looduslik varieeruvus.

## NÄIDE:

Kaustades **Joonis 8** olevat arvutusvihma graafikut, on võimalik määrata, milline on **20 minutit** ( $t=20\text{min}$ ) kestva arvutusvihma keskmine intensiivsus korduvusperioodiga **2 aastat (P2)**?



Joonistades vertikaalse joone 20 minutit kestva arvutusvihma kohalt korduvusperioodi **2** teoreetilisele joonele, saame arvutusvihma keskmiseks intensiivsuseks 30 mm/h ehk **0,5 mm/min**.

Asukohapõhiseks arvutusvihma graafiku koostamiseks on vaja arvutada iga jaama aasta suurim vihma intensiivsus defineeritud kestuste jaoks. Arvutusvihmade koostamisel valiti järgmised arvutusvihma kestused: 20, 30, 40, 60, 90, 120, 180, ja 360 minutit. Koostatakse jaamapõhised andmetabelid, kus on arvutatud maksimaalsed sademete kogused (ümbär arvutatud keskmistest intensiivsustest) erinevatel vihma kestustel vt **Joonis 9**.



Kehtivas standardis EVS 848:2013 on arvutusvihma intensiivsus esitatud ühikuna l/s hektari kohta. Käesolevas uuringus on kasutatud arvutusvihma intensiivsuse ühikuna mm/h. Ühikutevaheline teisendusvalem intensiivsuste arvutamisel on järgnev:

$$1 \frac{mm}{min} = \frac{1}{60} \frac{mm}{h} = 166,7 \frac{l}{s \cdot ha} \quad 4$$

#### NÄIDE:

Milline on vihma intensiivsus l/s hektari kohta, kui vihma intensiivsus on 30 mm/h? Kasutades intensiivsuste teisendamise valemit (4), on arvutuskäik järgmine:

$$q = 30 \frac{mm}{h} \times \frac{1}{60} \times 166,7 = 83,35 \frac{l}{s \cdot ha}$$

Andmete kvalitatiivseks kontrolliks võrreldi maksimaalsed vihmakogused kestusega 20, 30, 40, 60, 90, 120, 180 ja 360 minutit ööpäevaste vihma andmetega. Ööpäeva vihma kogused (Ilmateenistuse andmebaasis) peavad olema suuremad kui arvutatud vihmakogused defineeritud kestustel.

Töös kasutatakse arvutusvihma koostamiseks teoreetilist ekstreemväärtuse Gumbeli (Tüüp I) jaotusfunktsiooni (edaspidi GEV).

Aasta	20min	30min	40min	1h	1.5h	2h	3h	6h
1991	16.4	17.5	17.7	18.3	18.5	19.3	19.3	19.3
1992	6.4	6.8	7.3	8.6	10.1	10.2	10.2	10.2
1993	4.0	4.4	4.4	5.4	8.0	9.8	12.6	24.2
1994	23.9	33.2	40.9	45.0	46.2	46.5	46.5	46.5
1995	11.9	13.4	14.2	15.0	16.7	16.8	16.8	17.2
1996	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4
1997	13.0	15.3	15.3	18.8	21.1	21.2	24.9	24.9
1998	14.8	16.7	17.1	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
1999	10.3	10.5	10.5	10.5	11.2	11.5	12.7	20.9
2000	7.8	8.5	8.7	9.1	9.1	9.1	11.3	14.9
2001	6.4	8.1	9.7	12.0	14.1	16.8	20.7	27.6
2002	7.8	9.0	9.6	10.6	11.6	12.4	13.9	14.1
2003	20.1	23.4	23.6	24.9	35.8	42.3	43.6	43.6
2011	15.7	18.1	18.3	18.6	21.7	25.3	37.3	58.8
2012	11.0	11.8	12.7	15.6	17.8	23.4	29.5	30.4
2013	12.3	18.6	21.1	26.6	31.1	32.0	32.0	32.0
2014	10.1	11.1	11.4	12.6	14.8	16.2	17.8	18.3
2015	8.0	9.3	10.1	10.8	14.2	14.5	14.5	17.4
2016	15.9	16.7	18.3	21.5	26.8	29.7	30.4	34.6
2017	16.3	21.1	22.7	25.2	27.7	27.7	27.7	27.7
2018	12.5	13.4	17.2	22.8	24.0	24.1	24.1	24.1
2019	12.0	12.0	14.9	15.2	15.3	15.3	16.8	19.4

**Joonis 9.** Tallinn-Harku suurimad vihmad perioodil 1991–2019.

Andmeanalüüsiks kasutati vabavara R, mis on vabavaraline avatud lähtekoodiga statistiliste arvutuste ja graafika keskkond (R Core team 2018). GEV jaotusfunktsioon sobitatakse

arvutatud väärtustega. Sobitatud teoreetilise jaotusfunktsiooni kaudu on võimalik hinnata vihmade intensiivsuseid korduvusperioodide ja sajukestuste korral. **GEV** jaotuse üldvalem on järgneval kujul:

$$G(x; \mu, \beta) = \frac{1}{\beta} e^{\frac{x-\mu}{\beta}} e^{-e^{\frac{x-\mu}{\beta}}}, \quad 5$$

kus  $\mu$  on asukoha parameeter (näitab jaotuse asukohta horisontaal teljel) ja  $\beta$  on ulatuse parameeter (näitab jaotuse dispersiooni horisontaalteljel). Kasutades GEV jaotusfunktsiooni on võimalik leida juhusliku muutuja väärtust  $X_T$ , mis vastab korduvusperioodile  $P$ . Selleks kasutatakse järgmist valemit:

$$X_T = \bar{X} + K_T S, \quad 6$$

kus  $\bar{X}$  on mõõtmiste aritmeetiline keskmine,  $S$  on mõõtmiste standardhälve ja  $K_T$  sagedustegur, mis sõltub korduvusperioodist  $P$ :

$$K_T = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[ 0.5772 + \ln\left(\ln\left(\frac{P}{P-1}\right)\right) \right]. \quad 7$$

Sagedustegur  $K_T$  sõltub ainult ühest muutujast, milleks on korduvusperiood  $P$  (aastat). Proovides arvutada sagedusteguri valemist  $K_T$  väärtust korduvusperioodile 1 aasta, on tulemuseks arvutusviga, kuna naturaallogaritm peab olema positiivse väärtusega. Seega on **GEV** jaotusfunktsioonis võimalik arvutada suurema kui ühe aasta pikkuse korduvusperioodile vastavaid väärtuseid. Arvutused viiakse läbi järgmistele projekteerimises enamlevinud korduvusperioodidele: 2, 3, 4, 5, ja 10 aastat.

Arvutusvihmade arvutamine toimus R-s. Sisendiks andmetabel .csv formaadis (**Joonis 9**). R-i keskkonnas arvutatakse skriptidega etteantud korduvusperioodidele vihma intensiivsused kasutades GEV funktsiooni. Koostatud arvutusvihmasid kasutatakse Eesti territooriumile tulemuste ülekandmiseks.

## 2.5 Arvutusvihma meetodikad

Arvutusvihma intensiivsuse, kestuse ja korduvuse vahel on funktsionaalne seos. Seega otsitakse järgnevalt iga jaama arvutusvihmade vahelist seost matemaatiliste võrranditega. Erialakirjanduses enamlevinud arvutusvihma valemid on esitatud alljärgnevalt:

Talbot'i valem:

$$q = \frac{a}{t+d}, \quad q = \frac{aP^b}{t+d}, \quad 8$$

Bernard'i valem:

$$q = \frac{a}{t^c}, \quad q = \frac{aP^b}{t^c}, \quad 9$$

Kimijima'i valem:

$$q = \frac{a}{t^{c+d}}, \quad q = \frac{aP^b}{t^{c+d}}, \quad 10$$

Sherman'i valem:

$$q = \frac{a}{(t+d)^c}, \quad q = \frac{aP^b}{(t+d)^c}, \quad 11$$

kus  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  on empiirilised tegurid (ühikuta), mis sõltuvad geograafilisest asukohast,  $t$  on arvutusvihma kestus (min),  $P$  on arvutusvihma kordvusperiood. Kolmel viimasel valemil on näha, et kui empiiriline tegur  $d$  on nulli lähedane, siis võrrandid taanuvad Bernard'i valemile ja on mõislik sellisest lisategurist loobuda.

## 2.6 Kliimamuutuse analüüs

Kliimamuutuse poolt põhjustatud võimalikku valingvihmade intensiivistumise uurimiseks viiakse läbi statistiline trendianalüüs. Trendianalüüsiks kasutatakse Mann-Kendalli (**MK**) (Mann, 1945; Kendall, 1975) mitteparameetrilist testi. MK testi on teadusmaailmas laialdaselt kasutatud just erinevate klimatoloogiliste näitajate trendianalüüsiks. Lisaks ei eelda MK test ühtegi kindlat andmete jaotust (nt normaaljaotust), olles universaalne meetod, millega trende analüüsida. MK test ei vaja ka ajas pidevat andmerida, väljastades võimaliku trendi statistilise olulisuse ka mõningate puuduvate andmete korral. Statistilise olulise piiriks seati antud analüüsis  $p < 0,05$ . Seega kui arvutatud  $p$  väärtus on alla 0,05 võib 95 protsendilise tõenäosusega väita, et trend on statistiliselt oluline.

MK test väljastab binaarse väärtuse trendi statistilise olulise kohta, kasutades etteantud kriteeriumina soovivat tõenäosust. Lisaks statistilisele olulisele on vajalik teada ka trendi suunda ja tõusu suurust. Trendi tõusukordaja ehk mediaanmuutus ühe aasta kohta leiti kasutades Sen'i langu meetodikat (Sen, 1968). Antud meetod arvutab kõigi võimalike

andmerea paarikombinatsiooni langu, tagastades lõpptulemina iga andmerea mediaanlangu. Seega arvutatud Sen'i väärtus näitab andmerea trendi suunda ja ka suurust (positiivne ehk suurenev/ negatiivne ehk vähenev).

### 3 Tulemused

#### 3.1 Vihma andmete analüüs

Kõige suurema intensiivsusega vihmad tekivad Eestis just soojal aastaajal, seda just seetõttu, et soojas õhku mahub kordades rohkem vett kui külma, seega tekivad reeglina sademeveesüsteemides uputused ainult soojal perioodil. Meteoroloogiajaamadest on olemas pluviograafi andmed kuni 2003 aastani ainult soojal aastaajal, enamasti maist oktoobrini. Alates 2010 aasta lõpust on sademete andmed mõõdetud automaatjaamades aasta lõikes. Meteoroloogiajaamade vihma andmestik on ajavahemikul 1950–2003 ja 2011–2019 analüüsiti üle 55000 vihma sündmuse (**Tabel 2**). Paratamatult on mõned meteoroloogiajaamad enda asukohta vahetanud, seega antud töös käsitleti analüüsis Elva ja Tartu-Tõravere ühtse jaamaks. Sama tehti Jõgeva ja Tooma vihmaandmetega.

**Tabel 2.** Vihmad analüüsitud jaamades.

Meteoroloogiajaam	Vaatlusaastaid	Vihmade arv	Keskmine vihmade arv aasta kohta
Elva/Tõravere	48	4258	89
Jõgeva /Tooma	64	6943	108
Jõhvi	59	4279	73
Sõrve	59	3585	61
Võru	32	3952	124
Vilsandi	59	3679	62
Viljandi	49	3416	70
Lääne-Nigula	50	3426	69
Väike-Maarja	52	3817	73
Tiirikoja	64	5356	84
Ristna	64	5918	92
Tallinn-Harku	63	5129	81
Polli	15	583	39
Paunküla	20	1272	64

Detailne ülevaade kasutatud andmetest aastate lõikes Elva/Tõravere, Jõgeva /Tooma, Jõhvi, Sõrve, Võru, Vilsandi, Viljandi, Lääne-Nigula, Väike-Maarja, Tiirikoja, Ristna, Tallinn-Harku, Polli, Paunküla meteoroloogiajaamades on esitatud **Lisa 1**. Analüüsist selgub, et enim on vihmäsündmuseid registreeritud Jõgeva/Tooma meteoroloogiajaamas 6934 sündmust, millele järgneb Ristna ja Tiirikoja, vastavalt 5918 ja 5356 sündmusega. Analüüsis kasutatud meteoroloogiajaamadest on Lääne-Nigula ja Väike-Maarja jaamas vähim hulk vihmaseid, vastavalt 3426 ja 3817 sündmus. Vaadates keskmist vihmade arvu on Võrus enim vihmaseid

aasta kohta, ca 124. Pika andmeregaga jaamades keskmine vihmade arv ühe aasta kohta jääb vahemikku 61 kuni 108.

Lisaks on uuringus huvi pakkunud maksimaalsed vihma intensiivsused. Tiirikojal 20.06.1980 aastal mõõdeti maksimaalseks intensiivsuseks 5,4 mm/min, mis kestis ainult ühe minuti (**Tabel 3**). Teadaolevalt on see suurim sademete intensiivsus, mis Eestis mõõdetud on. Ilmateenistuse andmete järgi on suurim sademete intensiivsus mõõdetud Toomal, 1957 aastal, mil suurim sademete intensiivsus oli 3,6 mm/min, mis kestis 3 minutit.

**Tabel 3.** Maksimaalsete intensiivsustega vihmad.

Meteoroloogiajaam	Kuupäev	Max intensiivsus	Intensiivsuse kestus	Vihma pikkus	Kogus
		mm/min	min	min	mm
Tiirikoja	20.06.1980	5.4	1	5	6.2
Tooma	23.08.1969	4.8	1	103	11.6
Tallinn	21.06.1972	3.6	1	76	15.7
Tooma	22.07.1957	3.57	3	91	38.7
Jõhvi	25.07.1957	3.37	3	192	43.8
Elva	02.07.1965	3.4	1	18	4.5

Jõhvi meteoroloogiajaamas on mõõdetud maksimaalseks intensiivsuseks 3,37 mm/min, mis kestis 3 minutit. Võrreldes 3 minutiga maha sadanud vihma kogust 10.1 mm kehtiva standardi EVS 848:2013 arvutusvihma korduvusega üks ja 20 minutit kestva vihma kogust 9.3 mm, on maha sadanud vihma kogus suurem, kuid selle korduvus on oluliselt haruldasem.

Igale meteoroloogiajaamale on arvutatud iga-aastased maksimaalsed vihma kogused vastavalt 10, 20, 30, 40, 60, 90, 120, 180 ja 240 minutilisele kestusele. Ajasamm on valitud 10 minutit, sest vihmaandmed on aastast 2011 kümneminutilise ajasammuga. Tabelis 4 on esitatud meteoroloogiajaamade vihma maksimaalsed kogused.

Automaatjaamade 10 min fikseeritud ajasammuga on 10 min maksimum Jõhvi 2016 aasta vihm 20,5 mm, so 2,05 mm/min, libiseva ajasammuga mõõtes oleks see võinud see olla ka suurem. 26-ndal juunil 2000 a. mõõdeti 20 minutiline vihma hulgaks oli 40.4 mm, mis on andmestikus maksimaalne sellise kestusega. Vihma sadas 66.2 mm 166 minutiga. Maksimaalne intensiivsus oli 2.04 mm/min ja sellise intensiivsusega sadas 10 minutit. Jõgeva meteoroloogiajaamas 2. augustil 1994 a. mõõdeti vihma hulgaks 99,7 mm, mis sadas 209 minutiga. Maksimaalne 60 minutiline vihma hulk oli 78.6 mm. Selle vihma maksimaalne

intensiivsus oli 2 mm/min ja nii sadas 10 minutit. Sõrves sadas 240 minutiga 105 mm 18.ndal mail 2013. aastal.

**Tabel 4.** Suurimad vihmad meteoroloogiajaamades erinevate kestuste korral (sulgudes aasta).

Jaam	10 min	20 min	30 min	40 min	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min
Vilsandi	16.1 (1967)	27.6 (1979)	37.0 (1979)	39.1 (1979)	39.8 (1979)	42.5 (2000)	43.4 (2000)	44.9 (2000)	50.4 (2000)
Sõrve	18.9 (2019)	28.1 (2019)	36.4 (2019)	39.6 (2019)	48.8 (2019)	52.8 (2019)	64.7 (2013)	79.6 (2013)	105.0 (2013)
Ristna	16.0 (2001)	28.8 (2001)	41.6 (2001)	44.9 (2001)	51.4 (2001)	51.6 (2001)	51.7 (2001)	52.9 (2001)	52.9 (2001)
Lääne-Nigula	19.0 (1998)	26.6 (2016)	30.1 (2016)	32.3 (2016)	35.7 (2016)	38.9 (1996)	47.0 (1996)	50.7 (1996)	56.4 (1996)
Viljandi	24.6 (2012)	30.2 (2003)	37.4 (1966)	42.0 (1966)	46.9 (1966)	49.1 (1966)	57.7 (1966)	59.8 (1966)	59.8 (1966)
Väike-Maarja	20.3 (2014)	26.3 (1994)	34.7 (1994)	41.7 (1994)	43.3 (1994)	45.0 (1994)	48.8 (1994)	54.2 (1994)	64.6 (1986)
Jõhvi	20.5 (2016)	40.4 (2000)	50.4 (2000)	52.6 (2000)	54.6 (2000)	58.9 (2000)	63.1 (2000)	66.2 (2000)	66.2 (2000)
Tallinn	19.3 (1983)	26.8 (1983)	33.2 (1994)	40.9 (1994)	45.0 (1994)	46.2 (1954)	46.5 (1954)	55.7 (1954)	57.6 (1954)
Elva-Tõravere	16.2 (1986)	21.0 (1986)	27.2 (1970)	34.6 (1970)	40.6 (1970)	41.6 (1970)	51.1 (2016)	67.4 (2016)	73.6 (2016)
Tiirikoja	14.4 (1999)	21.4 (1975)	28.7 (1975)	32.1 (1975)	37.5 (2011)	48.1 (2011)	50.6 (2011)	54.2 (2011)	57.8 (2011)
Jõgeva - Tooma	25.6 (1957)	39.0 (1994)	49.1 (1994)	64.5 (1994)	78.6 (1994)	88.9 (1994)	90.6 (1994)	99.4 (1994)	99.7 (1994)

Uuringus kontrolliti meteoroloogiajaamade iga-aastaseid maksimaalseid vihma andmeid, võrreldes neid ööpäevaste andmetega. Kontrollides selgus, et Lääne-Nigula jaamas on 03.07.2016 ööpäevases vihma andmetes viga. Vihma kogus 4.2 mm võib olla vale ja õige väärtus peaks olema 42 mm.

### 3.2 Kliimamuutus lähitulevikus

Ülemaailmse kliimamuutuste ja linnastumise tulemusena on suurenenas koormus sademeveesüsteemidele, sagedenenud on ka uputused linnapildis. Teadlaskond on seisukohal, et kliimamuutus on jätkuv nähtus vähemalt selle sajandi lõpuni. Seetõttu tuleks juba sademeveesüsteemide planeerimisel arvestada, et sademeveesüsteem oleks kliimakindel –

suudaks vastu võtta tulevikus oodatavaid valingvihmasid projekteeritud lähteandmetele vastavalt (vihma kestus ja korduvusperiood). Kliimamuutusega arvutamiseks on kaks põhimõttelist lähteseisukohta: kasutada olemasolevaid mõõtmisandmeid või rakendades kliimamudeleid.

Keskkonnaagentuuri poolt tellitud aruandes „Eesti tuleviku kliimastsenaariumid aastani 2100“ ongi lähtunud kliimamudelitest ja nende tulemuste interpreteerimises Eesti kohta. Analüüsis on kasutatud EURO-CORDEX projekti mudelid, millel on 12 km lahutusega mudelprojektsioonid kolmest keskusest, milleks on Rootsi Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi (SMHI) (mudel RCA4, ääreväljad CNRM), Taani Meteoroloogia Instituudi (DMI) (mudel DMI-HIRHAM5, ääreväljad ECEARTH) ja Hollandi Kuningliku Meteoroloogia Instituudi (KNMI) (mudel KNMIRACMO22, ääreväljad EC-EARTH) mudelite projektsioonid. Nimetatud miniansambel on moodustatud nii RCP4.5 (mõõdukas kasvuhoonegaasi kontsentratsioonipaiskamine atmosfääri) kui ka RCP8.5 (pessimistlik kasvuhoonegaasi kontsentratsiooni paiskamine atmosfääri) stsenaariumi jaoks.

Miniansambli kohaselt aasta keskmine sademete hulga kasv RCP8.5 korral 19 %, mis on väga heas kooskõlas IPCC viienda hindamisraporti sademete prognoosiga, milles Eesti ala jääb vahemikku 10–20 %. Seega kui mingis Eesti punktis on kontrollperioodi (1971–2000) pikaajaline aasta keskmine sademete hulk 700 mm, on see vastavalt kliima modelleerimisele sajandi lõpuks (2071–2100) kuni 20% suurem, seega 840 mm. Ükski mudel ei näita sesoonset sademete alanemist, kuid mudelite vaheline erinevus demonstreerib siiski sademete mudeldamise keerukust ja kaootilist iseloomu.

**Tabel 5.** Ööpäevas 30 mm ületavate sademete projitseeritud esinemise sagedused aastaegade, stsenaariumite ja prognoositud perioodide kaupa (ümararvutatud raportist „Eesti tuleviku kliimastsenaariumid aastani 2100“).

Periood	1971 – 2000	2041–2070	2071–2100	2041-2070	2071–2100
Stsenaarium	kontroll	RCP 4.5		RCP 8.5	
SON	18	33	32	31	43
DJV	1	2	2	3	5
MAM	9	14	18	18	21
<b>JJA</b>	<b>59</b>	<b>73</b>	<b>81</b>	<b>82</b>	<b>98</b>

Lisaks on antud raportis ka uuritud kliimamuutuse poolt põhjustatud muutuseid ekstreemsetes



nähtustest nagu sademete äärmusväärtused. EURO-CORDEX ansambli alusel analüüsiti ööpäevas 30 mm ületavate sademete esinemise tõenäosust kindlas punktis terve ala keskmisena. Mudelid prognoosivad mõlema perioodi ja kõigi aastaaegade kohta suurte sadude esinemise suhtelist kasvu (**Tabel 5**). Suvel on kontrollperioodil (1971–2000) selliseid sündmuseid olnud 59, tulevikus on oodata 30 mm ületavate sademete suurenemist 14 kuni 39 sündmuse võrra. Võimalikke muutuseid lühiajalistes intensiivsetes vihmades antud raportis uuritud ei ole.

Seega lähtuti praeguses uuringus olemasolevatele mõõtmisandmetel ja nende trendide analüüsi. Aasta suurimate intensiivsete vihmade trendianalüüsiks kasutati kõikide sademejaamade võimalikult pikkasid andmeridasid alates aastast 1950. Trendianalüüsi tulemused on näidatud **Tabel 6**. Loetavuse huvides ei ole näidatud trende kõikide vihmakestuste korral, vaid välja on toodud enim huvipakkuvad kestused. Lihtsustatult võib eeldada, et muutused erinevate vihmakestuste vahel on lineaarsed. Keskmise Sen'i lang on mittenegatiivne kõikides jaamades kõikide vihmakestuste korral. See viitab üleüldisele tõusvale trendile valingvihmade intensiivustes. Kuigi selge positiivne trend on olemas, on trendisuuruse vahemik üsnagi varieeruv. Statistiliselt oluline trend on kahes maismaa ilmajaamas, Tiirikojal ja Jõhvis. Trendi suurus on Jõhvis ja Tiirikojal vastavalt 10 ja 7 protsenti kümnendis (**Tabel 6**). MK testi järgi tuvastati väikene ja statistiliselt ebaoluline positiivne trend Jõgeval ja Väike-Maarjas, olles vahemikus 1–2 protsenti kümnendis, sõltuvalt vihma kestusest.

**Tabel 6.** Mann-Kendall'i trenditesti ja Sen'i langu tulemused.

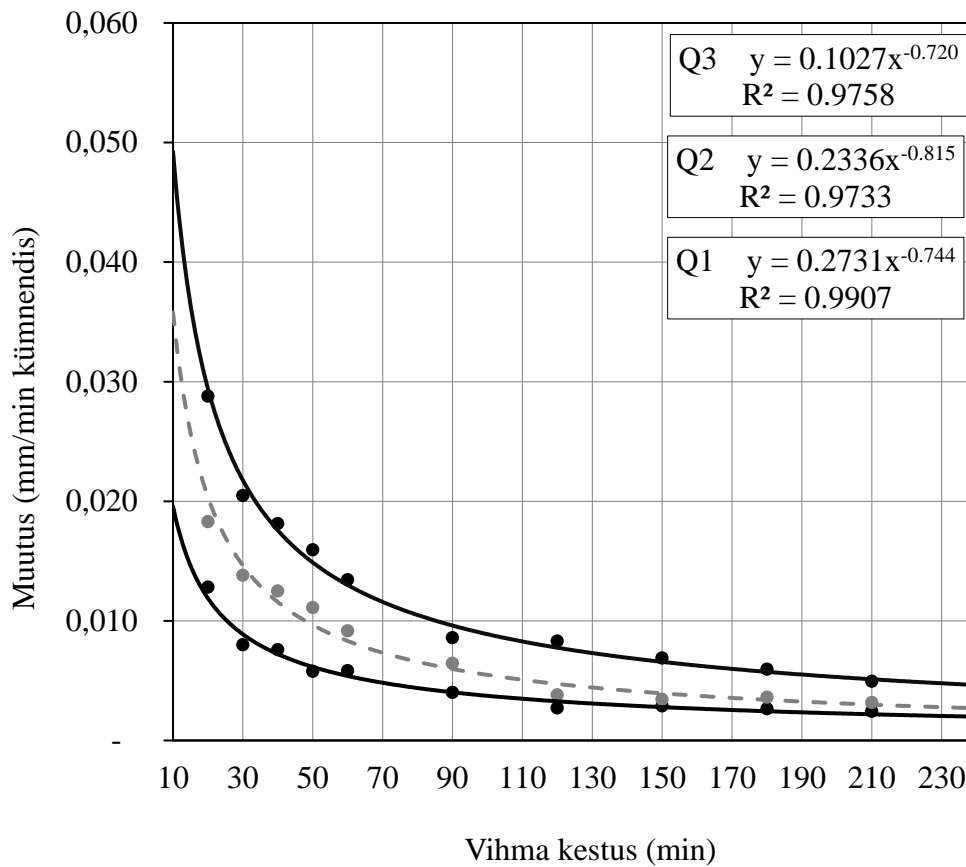
Jaam	20 minutit			60 minutit			90 minutit			180 minutit		
	$\bar{X}$	p	Sen	$\bar{X}$	p	Sen	$\bar{X}$	p	Sen	$\bar{X}$	p	Sen
Jõgeva	12.4	0.98	0.00	18.0	0.93	0.00	19.8	0.78	0.02	22.9	0.80	0.02
Jõhvi	12.1	<b>0.01*</b>	0.11	17.8	<b>0.00*</b>	0.17	20.2	<b>0.02*</b>	0.19	24.2	<b>0.01*</b>	0.22
Lääne-Nigula	10.1	0.12	0.06	14.4	0.14	0.08	16.5	0.27	0.06	19.9	0.44	0.04
Ristna	9.1	0.18	0.04	13.2	0.19	0.04	15.0	0.29	0.04	18.8	0.20	0.06
Sõrve	9.6	0.19	0.04	14.7	0.17	0.06	17.0	0.16	0.08	21.4	<b>0.02*</b>	0.10
Tallinn	11.0	0.12	0.06	15.2	0.05	0.08	17.1	0.14	0.08	20.1	0.20	0.07
Tartu	10.9	0.45	0.03	16.3	0.39	0.07	18.1	0.47	0.05	21.6	0.51	0.05
Tiirikoja	11.4	<b>0.00*</b>	0.09	16.0	<b>0.01*</b>	0.11	17.4	<b>0.02*</b>	0.11	19.5	<b>0.02*</b>	0.12
Väike-Maarja	11.7	0.9	0.01	15.9	0.98	0.00	17.9	0.81	0.02	22.2	0.76	0.04
Viljandi	13.1	0.54	0.04	17.5	0.7	0.04	18.7	0.29	0.07	21.3	0.13	0.12

Vilsandi	9.2	0.43	0.03	13.2	0.46	0.03	14.5	0.36	0.03	17.5	0.17	0.07
----------	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

\*tärn näitab olulist trendi 95% usalduspiiril

Lisaks näitas **MK** test statistiliselt olulist trendi ka Sõrve rannikujaamas 180 minuti kestusega arvutusvihma intensiivsustes. Ülejäänud rannikujaamades ja vihmakestuste korral statistiliselt olulist trendi ei leitud, kasutades 95% usalduspiiri. Trendi suuruse ja sademete kestuse vahel on suurepärase funktsionaalne seos, kus determinatsioonikordaja  $R^2$  mõõdetud ja funktsioonijoone vahel on üle 0.97, näidates väga tugevat funktsionaalset seost (**Joonis 10**). Antud joonise koostamisel on kasutatud kõikide jaamade trendisuuruseid (Sen'i väärtuseid) defineeritud vihmakestuste korral. Teostatud on trendi ümberarvutus ühe minuti peale, kus iga vihmakestuse korral on arvatud trendi kvartiilid. Q2 on mediaantrendi suurus üle kõikide jaamade Eestis. Vahemik Q1–Q3 on kvartiilhaare, kus paikneb 50% trendi väärtustest (seega ka jaamade trendidest). Joonisel vaadeldakse tõenäolisemaid muutuseid, eemaldades analüüsist ekstreemumid (nii minimaalsed kui ka maksimaalsed). Arvutades trendide muutuste suurused relatiivseteks, võib väita, et Eestis on arvutusvihmad (iga aasta intensiivseimad vihmad erinevate vihmakestuste korral) intensiivistumas, **keskmiselt kuni 4% kümnendis**. Huvitava tulemusena võib välja tuua, et trendi suurus ei sõltunud oluliselt

uuritud vihmakestusest, jäädes vahemikku 3,5 (pikema vihmakestus korral) kuni 4 (lühikese kestuse korral) protsenti kümnenädi kohta.



**Joonis 10.** Arvutuvihmade trendide suurus Eestis erinevate vihmakestuste korral koos kvartiilihaardega (Q1–Q3).

Sademeveesüsteem peab töötama kogu selle eluea vältel. Sademeveesüsteemi planeeritud eluea pikkus sõltub sademeveesüsteemi olulisusest ja ka näiteks torustiku enda elueast. Lähtudes eelnevast, on tungivalt soovitatav sademeveesüsteeme projekteerides arvesse võtta kliimamuutuse mõju, kasutades kliimategurit väärtusega 4% kümnenädi kohta. Kliimakindla süsteemi projekteerimise valem on järgmine:

$$q_k = q_a * (N * \Delta k) + q_a, \quad (12)$$

kus  $q_k$  on kliimakindla arvutusvihma keskmine intensiivsus (mm/h),  $q_a$  on arvutusvihma keskmine intensiivsus (mm/h), N on rajatise plaanitav eluiga **kümnenädes**,  $\Delta k$  on kliimakindluse tegur (ühikuta).

## NÄIDE:

Kui suur on kliimamuutuse mõju sademeveesüsteemile, mille planeeritud eluiga on **50 aastat (5 kümnendit)** ? Eeldame, et olemasoleva arvutusvihma keskmine intensiivsus ( $q_a$ ) on **0,5 mm/min**.

Kasutades **valemit 11**, on kliimakindla sademeveesüsteemi arvutus järgnev:

$$q_k = 0,5 * (5 * 0,04) + 0,5 = 0,6 \text{ mm/min}$$

Saadud tulemusest lähtuvalt on kliimakindla arvutusvihma keskmine intensiivsus 20% suurem kui olemasoleva arvutusvihma keskmine intensiivsus, olles **0,6 mm/min**.

Võttes arvesse saadud tulemusi, on selge, et kliimamuutust mõjutab ühtlasi ka arvutusvihmade koostamist. Arvutusvihma arvutamise eelduseks on andmete statsionaarsus st eeldatakse, et esindatud on ainult loomulik varieeruvus. Kliimamuutus ei kuulu loomuliku varieeruvuse alla, antud uuringu tulemustest lähtuvalt on selge, et valingvihmade intensiivsused näitavad positiivset trendi. Seega ei ole mõistlik arvutusvihmade koostamisel kasutada koguperioodi.

Probleemi näitlikustamiseks võrdleme kahte arvutusolukorda. Esimeses olukorras (**I**) kasutatakse arvutusvihmade koostamisel kogu mõõdetud perioodi ajavahemikus 1950–2019 s.t. kuni 70 aastat mõõdetud andmeid. Teises olukorras (**II**) jällegi kasutatakse andmeid viimasest 30 aastast (1990–2019), kus muutuvast kliimast tingitud mõju on väiksem. Kasutades olukorras **I** saadud arvutusvihmasid projekteerimisel, saadakse väiksemad arvutusvihmade intensiivsused, mis omakorda tähendab ka sagedasemat uputust. Seda eriti sagedamini esinevatele lühiajalistele arvutusvihmade korduvusperioodidele nagu P2 kuni P5. Selle tingib mõõtmisperioodi alguses ja keskel aset leidnud (1950–1990) väiksema intensiivsusega vihma sündmused.

Samas olukorras **II** kliima muutuse mõju sisuliselt ei ole. Koostades arvutusvihmad olukorrale **II** on saadud arvutusvihmade väärtused täpsemad, kirjeldades olevikku paremini. Sademeveesüsteemide projekteerimisel kasutatakse Eestis korduvusperioodi kuni P10. Seega perioodil 1990–2019 on piisavalt mõõdetud andmeid, et kirjeldada korduvusperioodi P10 keskmisi intensiivsuseid tõeselt. Tulenevalt ülal kirjeldatud temaatikast, kasutatakse antud töös arvutusvihmade koostamiseks perioodi **1990–2019**.

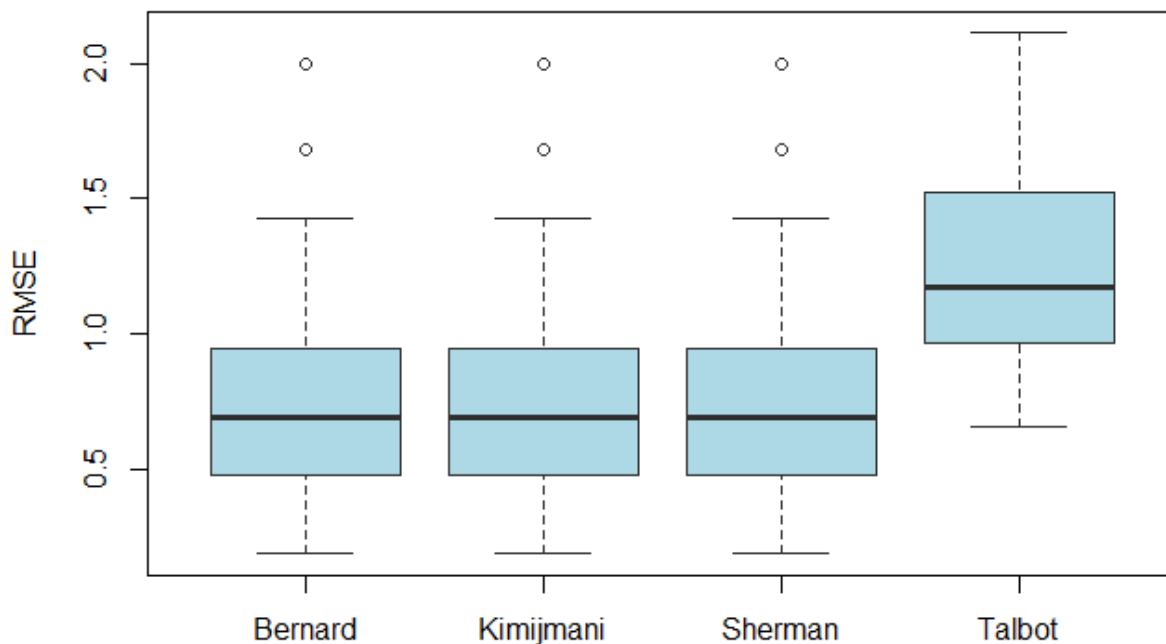
### 3.3 Arvutusvihmad Eestis

Asukohapõhiseid arvutusvihmade graafikuid (*“Intensity-Duration-Frequency curve”*) kasutatakse laialdaselt sademeveesüsteemide projekteerimiseks, näiteks Euroopas. Arvutusvihma graafikul on näidatud seos vihma intensiivsuse (mm/h), kestuse (min) ja korduvusperioodi (aasta) vahel. Seega valides soovitud vihma kestuse ja korduvusperioodi, on võimalik leida soovitud vihmakestuse korral keskmine intensiivsus st vihmakogus (mm). Arvutusvihmade graafikute koostamiseks on vaja kasutada piisavalt pika perioodi vältel pidevalt mõõdetud sademete andmeid, et kirjeldatud oleks valingvihmade kogu looduslik varieeruvus läbi aastate. **Joonis 11** on näidatud analüüsis kasutatud meteoroloogiajaamade ruumiline jaotus. Sisendiks kasutati iga aastaseid suurimaid vihmasid mõõtmisperioodi 1990–2019 järgnevatel arvutuskestustel: **20, 30, 40, 60, 90, 120, 180 ja 360** minutit.



**Joonis 11.** Analüüsis kasutatavad meteoroloogiajaamad.

Eestis asub mandrilise ja merelise kliima vahelises üleminekulises paraskliimas. Mere mõju tõttu on saartel ja rannikualadel talviti soojem kui sisemaa ning suviti seevastu jahedam. Seega on intensiivsete valingvihmade sagedus ja suurus Eestis territoriaalselt varieeruv. Igale mõõtmisjaamale koostati jaamapõhised arvutusvihmade graafikud. Töö eesmärgiks on välja pakkuda terviklahendus Eesti territooriumile. Jaamapõhised arvutusvihmade graafikutele vastavad intensiivsused sobitati kõigepealt vähemruutude meetodil (MSE) eraldi Bernard'i,



**Joonis 12.** RMSE väärtuste karp-vurr diagrammid Bernard, Kimijman, Sherman ja Talbot valemi kohta.

GEV ekstreemjaotuse ja matemaatiliste valemite (Talbot, Sherman, Kimijman ja Bernard) vaheline veamäär kvartiilhaare on tunduvalt suurem Talbot'i valemil, võrreldes ülejäänutega. Talbot'i valemi mediaan veamäär on 1.17, olles tunduvalt suurem kui Sherman'i (0.69), Kimijman'i (0.69) ja Bernard'i (0.69) valemitel. Kõikidel uuritud valemis on murru lugeja sama, valemite vaheline erinevus tuleneb hoopis murru nimetajas. Talbot valemis on murru nimetajas vihmakesustuse ja asukohapõhise parameeter  $d$  summa, samas kui ülejäänud kolmes valemis on vihmakesustus võetud astmesse. Arvatavasti on seetõttu ka veamäär Talbot'i valemis suurem kui ülejäänutel.

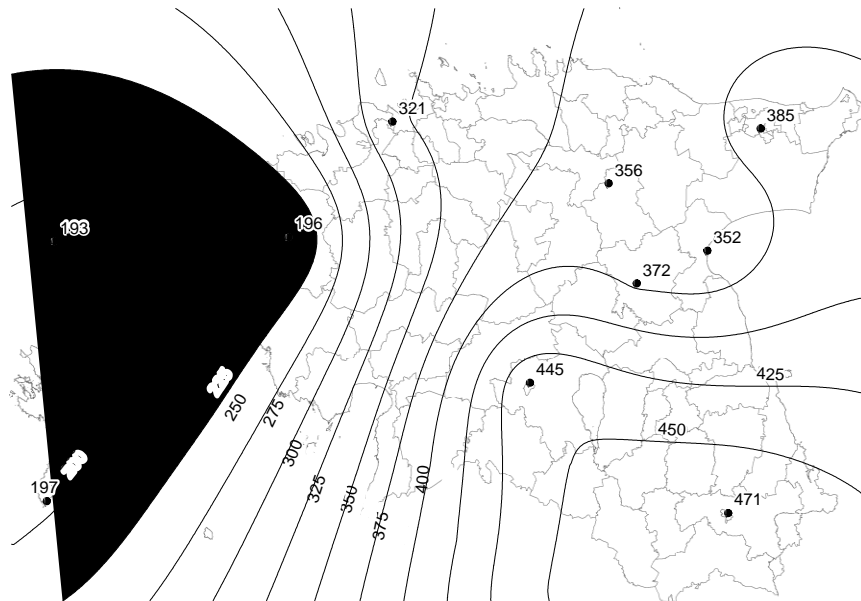
Sherman'i, Kimijman'i ja Bernard'i valemid kirjeldavad arvutusvihmasid peaaegu identselt (Joonis 12). Bernard'i valemi kasutamiseks on vaja kõige vähem parameetreid, seega otsustati arvutusvihmade kirjeldamiseks Eestis kasutada just lihtsamat Bernard'i valemit, kus keskmine arvutusvihma intensiivsuse leidmiseks kasutatakse kolme asukohapõhist parameetrit  $a$ ,  $b$  ja  $c$ :

$$q = \frac{aP^b}{t^c},$$

Teades arvutuspunktis parameetreid  $a$ ,  $b$  ja  $c$  on võimalik välja arvutada keskmine arvutusvihma intensiivsus huvipakkuvas paigas. Andmetöötluse aluseks olnud andmete tõttu saab sea teha vihmadele alates kestusest 10 minutit. Asukohapõhiste parameetritele väärtuste arvutamiseks kasutati geostatistilist interpoleerimismeetodit kriging, mis on üks enimkasutatavaid interpoleerimismeetodeid sademekaartide loomisel. Nimetatud meetod eeldab, et kõik sademete mõõtmisjaamad on omavahel seotud, kus üksteisele lähedal olevate jaamade arvutusvihmad on sarnasemad kaugemal olevatest. Kriging tugineb varieeruvuse mudelile. Interpoleeritav väärtus arvutatakse vastavalt läheduses olevatele väärtustele ja varieeruvuse mudelist saadud kaaludele.

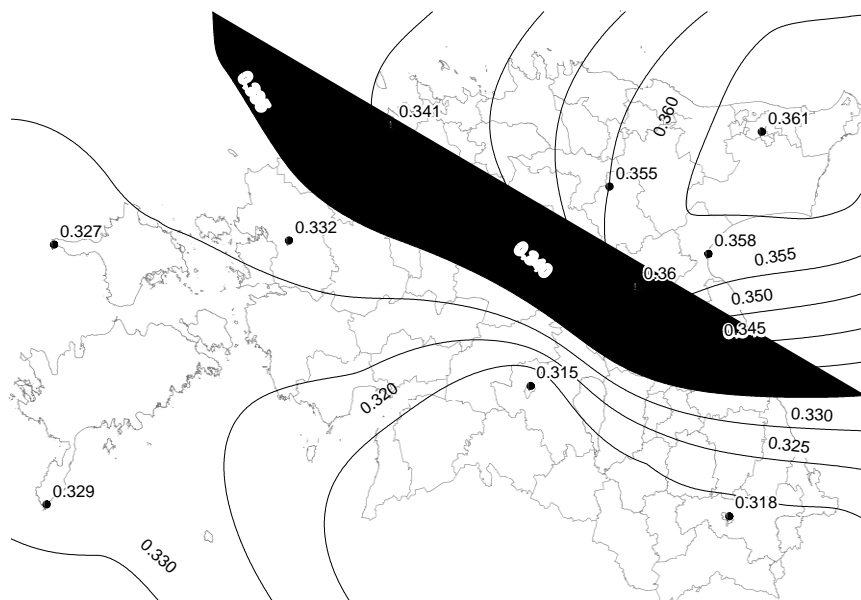
Sõltuvalt pika vaatlusrea meteoroloogiajaamade vähesusest, kasutati interpoleerimiseks kõigest kümne jaama andmeid s.t. üks jaam kirjeldab keskmiselt 4500 km<sup>2</sup> suurust ala. Alates 2010 aastas lõpust mõõdab Ilmateenistus sademete andmeid aasta ringi fikseeritud 10 minutilise mõõtmisammuga rohkem kui kolmekümnes automaatjaamas. Seega on tungivalt soovitatav hiljemalt 10 aasta pärast koostada uued asukohapõhised arvutusvihmade graafikud, tuginedes ainult nendele jaamadele ja nendes mõõdetud andmetele.

Kriging interpoleerimist kasutades koostati iga asukohapõhilise parameetri jaoks eraldi kaart. Kuna tegu on tehnilise arvutusega, võivad tekkida kvalitatiivsed ebakõlad. Seetõttu viidi läbi ka kvalitatiivne kontroll, kus vajadusel kohendati parameetrite samajooni, et need oleksid loogilisemad. **Joonis 13** on näidatud asukohapõhilise parameetri  $a$  samajooni ja jaamade arväärtuste paiknemine Eesti territooriumil. Parameetri  $a$  väärtuste vahemik on 193 (Ristna) kuni 471 (Võru).



**Joonis 13.** Parameeter *a* samajooned ja väärtused Eestis.

Liikudes merelisest kliimast aina rohkem mandrilise suunas, parameetri *a* väärus suureneb. Mis tähendab ka ühtlasi, et maismaa suunas suurenevad arvutuslikud valingvihmade intensiivsused. Parameetri *a* vääruste kõikumine suurtes piirides näitab otseselt ka antud parameetri tähtsust Bernard'i valemis.

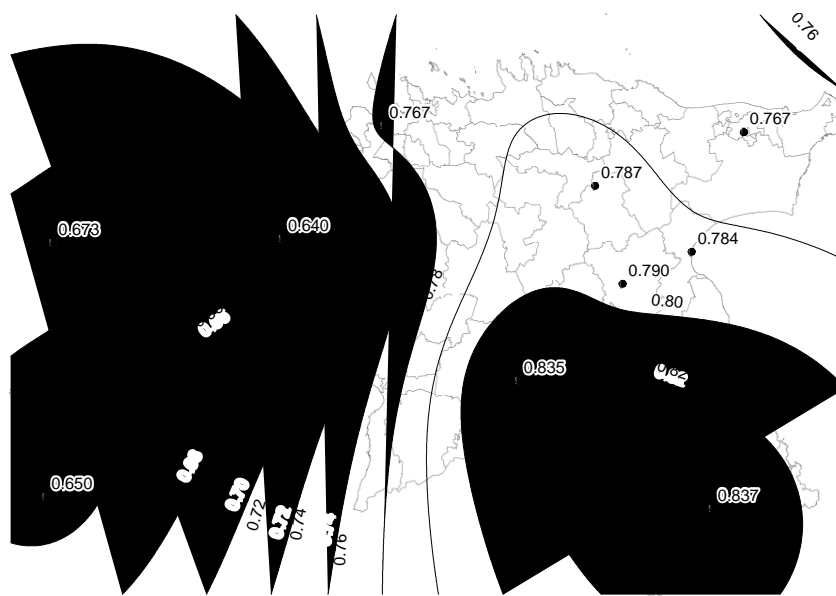


**Joonis 14.** Parameeter *b* samajooned ja väärtused Eestis.

Teine asukohapõhine parameeter, parameeter *b* murru lugejas, on korduvusperioodi astendaja. Seega muutub antud parameetri väärtus üha tähtsamaks (tundlikumaks), mida



väärtuslikult suuremaks läheb korduvusperiood ehk tõenäosuslikult esineb harvem. Parameetri  $b$  väärtuste vahemik on võrreldes  $a$  väärtustega relatiivselt oluliselt kitsam. Väikseim väärtus (0.315) on Viljandi meteoroloogiajaamas, samas kui suurim väärtus (0.361) on Jõhvi jaamas. Suuremad väärtused on just Kirde-Eestis (**Joonis 14**), mis tähendab et suuremate korduvusperioodide korral suurenevad Kirde-Eestis arvutusvihma intensiivsused teistest Eesti regioonidest keskmisest kiiremini.



**Joonis 15.** Parameeter  $c$  samajooned ja väärtused Eestis.

Kolmandaks asukohapõhiseks parameetriks on  $c$ , mis on arvutusvihma kestuse astendaja. Lähtudes Bernard'i valemist, muutub antud parameetri väärtus üha tähtsamaks (tundlikumaks), mida pikem on arvutusvihma kestus. Väikseim väärtus (0.640) on Lääne-Nigula meteoroloogiajaamas, samas kui suurim väärtus on Võru meteoroloogiajaamas (0.837) (**Joonis 15**). Kuna kõigi kolme asukohaparameetrite täpsed väärtused on olulised ja nende lugemine kaartidelt võrdlemisi tülikas, koostati asukohaparameetrite väärtuste tabel Eesti suuremate linnadele ja alevikele (**Lisa 2**). Kasutades nimetatud tabelit on arvutusvihma keskmise intensiivsuse leidmine võrdlemisi lihtne.

#### NÄIDE:

Milline on arvutusvihma keskmine intensiivsus **Viljandis**, kui vihma kestus  $t$  on **15 minutit** arvutusvihma **korduvusega 2 (P=2)**?

Kasutades valemit 12 ja Lisa 2 on arvutusvihma intensiivsus leitav järgnevalt:

a= 443.1, b= 0.315 ja c=0.833.

$$i = \frac{aP^b}{t^c} = \frac{443.1 \times 2^{0.315}}{15^{0.833}} = 57.76 \frac{\text{mm}}{\text{h}} = 160.48 \frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{ha}} = 14.44 \text{ mm}$$

Arvutusvihma keskmine intensiivsus kestusega 15 minutit on 57.76 mm/h ehk 0.96 mm/min ehk 160.6 l/s hektari kohta.

### 3.4 Võrdlusanalüüs EVS'iga 848:2013 "Väliskanaliseerimisvõrk"

Saamaks teada, kuidas erinevad analüüsis saadud arväärtused hetkel kehtivas standardis (EVS 848:2013 "Väliskanaliseerimisvõrk") olevate arvutuslike intensiivustega, võrreldi neid omavahel. Analüüsis võrreldi omavahale seitsme linna arvutuslike keskmisi intensiivsuseid (Tallinn, Tartu, Pärnu, Kuressaare, Võru, Paide, Ida-Virumaa). Analüüsi arvutusvihmasid järgnevatel kestustel: 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120 ja 180 minutit. **Tabelis 7–13** on näitena esitatud võrdlusanalüüs arvutusvihma korduvusperioodidele 2 ja 5.

**Tabel 7.** Tallinna arvutusvihma keskmiste intensiivsuste võrdlus.

Kestus	P=2					P=5				
	Uuring		EVS			Uuring		EVS		
	l/s ha	mm	l/s ha	mm	%	l/s ha	mm	l/s ha	mm	%
10	194.8	11.7	142.0	8.5	37%	266.5	16.0	178.5	10.7	49%
15	142.6	12.8	106.1	9.6	34%	195.0	17.6	133.3	12.0	46%
20	114.2	13.7	86.2	10.4	32%	156.3	18.8	108.4	13.0	44%
30	83.6	15.0	64.4	11.6	30%	114.4	20.6	80.9	14.6	41%
40	67.0	16.1	52.4	12.6	28%	91.6	22.0	65.8	15.8	39%
50	56.4	16.9	44.6	13.4	27%	77.2	23.2	56.0	16.8	38%
60	49.0	17.6	39.1	14.1	25%	67.1	24.1	49.1	17.7	36%
90	35.9	19.4	28.6	15.5	25%	49.1	26.5	36.0	19.4	37%
120	28.8	20.7	22.9	16.5	25%	39.3	28.3	28.8	20.7	37%
180	21.0	22.7	16.8	18.1	25%	28.8	31.1	21.1	22.8	37%

**Tabel 8.** Jõhvi arvutusvihma keskmiste intensiivsuste võrdlus.

Kestus	P=2					P=5				
	Uuring		EVS			Uuring		EVS		
	l/s ha	mm	l/s ha	mm	%	l/s ha	mm	l/s ha	mm	%
10	235.0	14.1	156.3	9.4	50%	327.2	19.6	198.0	11.9	65%
15	172.3	15.5	118.1	10.6	46%	239.8	21.6	149.6	13.5	60%
20	138.2	16.6	96.6	11.6	43%	192.4	23.1	122.7	14.7	57%
30	101.3	18.2	73.2	13.2	38%	141.0	25.4	92.7	16.7	52%
40	81.3	19.5	60.0	14.4	35%	113.1	27.2	76.1	18.3	49%

50	68.5	20.6	51.5	15.4	33%	95.4	28.6	65.2	19.6	46%
60	59.6	21.4	45.4	16.3	31%	82.9	29.9	57.5	20.7	44%
90	43.7	23.6	31.8	17.2	37%	60.8	32.8	40.2	21.7	51%
120	35.0	25.2	24.7	17.8	42%	48.8	35.1	31.2	22.6	56%
180	25.7	27.7	17.3	18.6	49%	35.8	38.6	21.9	23.6	64%

**Tabel 9.** Paide arvutusvihma intensiivsuste võrdlus.

Kestus	P=2					P=5				
	Uuring		EVS		%	Uuring		EVS		%
	l/s ha	mm	l/s ha	mm		l/s ha	mm	l/s ha	mm	
10	209.3	12.6	162.2	9.7	29%	286.4	17.2	207.1	12.4	38%
15	152.1	13.7	123.1	11.1	24%	208.1	18.7	157.1	14.1	32%
20	121.3	14.6	101.2	12.1	20%	166.0	19.9	129.2	15.5	28%
30	88.2	15.9	76.8	13.8	15%	120.6	21.7	98.1	17.7	23%
40	70.3	16.9	63.2	15.2	11%	96.2	23.1	80.7	19.4	19%
50	59.0	17.7	54.3	16.3	9%	80.7	24.2	69.3	20.8	16%
60	51.1	18.4	47.9	17.3	7%	69.9	25.2	61.2	22.0	14%
90	37.1	20.1	33.7	18.2	10%	50.8	27.4	43.0	23.2	18%
120	29.6	21.3	26.2	18.9	13%	40.5	29.2	33.5	24.1	21%
180	21.5	23.2	18.4	19.9	17%	29.6	31.8	23.5	25.42	25%

**Tabel 10.** Pärnu arvutusvihma intensiivsuste võrdlus.

Kestus	P=2					P=5				
	Uuring		EVS		%	Uuring		EVS		%
	l/s ha	mm	l/s ha	mm		l/s ha	mm	l/s ha	mm	
10	203.0	12.2	156.4	9.4	30%	272.9	16.4	194.9	11.7	40%
15	150.3	13.5	119.2	10.7	26%	202.1	18.2	148.5	13.4	36%
20	121.5	14.6	98.3	11.8	24%	163.3	19.6	122.5	14.7	33%
30	89.9	16.2	74.9	13.5	20%	120.9	21.8	93.4	16.8	30%
40	72.7	17.4	61.8	14.8	18%	97.7	23.4	77.0	18.5	27%
50	61.6	18.5	53.2	16.0	16%	82.8	24.8	66.3	19.9	25%
60	53.8	19.4	47.1	17.0	14%	72.3	26.0	58.7	21.1	23%
90	39.6	21.5	33.0	17.8	21%	53.6	28.9	41.1	22.2	30%
120	32.2	23.2	25.6	18.4	26%	43.3	31.2	31.9	23.0	36%
180	23.8	25.7	17.9	19.3	33%	32.1	34.6	22.3	24.1	44%

**Tabel 11.** Tartu (Tõravere) arvutusvihma intensiivsuste võrdlus.

Kestus	P=2					P=5				
	Uuring		EVS		%	Uuring		EVS		%
	l/s ha	mm	l/s ha	mm		l/s ha	mm	l/s ha	mm	
10	225.7	13.5	161.6	9.7	40%	307.1	18.4	201.3	12.1	53%
15	162.0	14.6	123.4	11.1	31%	220.4	19.8	153.7	13.8	43%
20	128.0	15.4	101.7	12.2	26%	174.2	20.9	126.8	15.2	37%
30	91.9	16.5	77.5	14.0	19%	125.0	22.5	96.6	17.4	29%
40	72.6	17.4	64.0	15.3	14%	98.8	23.7	79.7	19.1	24%
50	60.5	18.2	55.1	16.5	10%	82.3	24.7	68.6	20.6	20%
60	52.1	18.8	48.7	17.5	7%	70.9	25.5	60.7	21.9	17%
90	37.4	20.2	34.1	18.4	10%	50.9	27.5	42.5	22.9	20%
120	29.6	21.3	26.5	19.1	12%	40.2	29.0	33.0	23.7	22%
180	21.2	22.9	18.5	20.0	15%	28.9	31.2	23.1	24.9	25%

**Tabel 12.** Kuressaare arvutusvihma intensiivsuste võrdlus

Kestus	P=2					P=5				
	Uuring		EVS		%	Uuring		EVS		%
	l/s ha	mm	l/s ha	mm		l/s ha	mm	l/s ha	mm	
10	151.2	9.0	121.5	7.3	24%	204.2	12.3	148.5	8.9	38%
15	115.9	10.4	94.7	8.5	22%	156.5	14.1	115.7	10.4	35%
20	95.9	11.5	78.1	9.4	23%	129.6	15.5	95.4	11.6	36%
30	73.5	13.2	59.5	10.7	24%	99.3	17.9	72.7	13.1	37%
40	60.9	14.6	49.1	11.8	24%	82.2	19.7	60.0	14.4	37%
50	52.6	15.8	42.3	12.7	24%	71.0	21.3	51.7	15.5	38%
60	46.7	16.8	37.4	13.5	25%	63.0	22.7	45.7	16.5	38%
90	35.8	19.3	26.6	14.4	34%	48.3	26.1	32.5	17.6	49%
120	29.6	21.3	21.5	15.5	38%	40.0	28.8	26.3	18.9	52%
180	22.7	24.5	15.9	17.2	42%	30.7	33.1	19.5	21.0	57%

**Tabel 13.** Võru arvutusvihma intensiivsuste võrdlus.

Kestus	P=2					P=5				
	Uuring		EVS		%	Uuring		EVS		%
	l/s ha	mm	l/s ha	mm		l/s ha	mm	l/s ha	mm	
10	237.5	14.3	158.9	9.5	49%	317.8	19.1	197.2	11.8	61%
15	169.1	15.2	121.1	10.9	40%	226.4	20.4	150.3	13.5	51%
20	132.9	16.0	99.9	12.0	33%	177.9	21.4	124.0	14.9	44%
30	94.7	17.0	76.1	13.7	24%	126.7	22.8	94.5	17.0	34%
40	74.4	17.9	62.8	15.1	19%	99.6	23.9	77.9	18.7	28%
50	61.7	18.5	54.1	16.2	14%	82.6	24.8	67.1	20.1	23%
60	53.0	19.1	47.9	17.2	11%	70.9	25.5	59.4	21.4	19%
90	37.8	20.4	35.2	19.0	7%	50.5	27.3	43.6	23.6	16%
120	29.7	21.4	28.3	20.4	5%	39.7	28.6	35.1	25.3	13%
180	21.1	22.8	20.8	22.4	2%	28.3	30.5	25.8	27.8	10%

Arvutusvihma keskmised intensiivsused korduvusega P1 on suuremad võrreldes kehtiva standardi EVS 848:2013 põhjal arvutatuga: Tallinnas 23–34%, Jõhvis 28–47%, Paides 6–29%, Pärnus 12–31%, Kuressaares 17–36%, Tartus 4–36% ja Võrus 3–47%.

Arvutusvihma keskmised intensiivsused korduvusega (P2) on suuremad võrreldes kehtiva standardi EVS 848:2013 alusel arvutatuga: Tallinnas 25–37%, Jõhvis 31–50%, Paides 7–29%, Pärnus 14–33%, Kuressaares 22–42%, Tartus 7–40 % ja Võrus 2–49%. 5 aastase korduvusega (P5) arvutusvihma keskmised intensiivsused on oluliselt suuremad: Tallinnas 36–49%, Jõhvis 44–65%, Paides 14–38%, Pärnus 23–44%, Kuressaares 35–57%, Tartus 17–53% ja Võrus 10–61%.

10 aastase korduvusega (P10) arvutusvihma keskmised intensiivsused on 17–83% suuremad võrreldes kehtiva standardi EVS 848:2013 arvutatuga.

Võrdlusest on näha, et arvutusvihma keskmiste intensiivsuste erinevus EVS 848:2013 arvutatuga on suuremad lühema kestvusega arvutusvihmadel. Samuti suureneb erinevus arvutusvihma korduvusega. Suurem erinevus on tingitud ka sellest, et standardi EVS 848:2013 arvutusvihma arvandmed pärinevad eelmise sajandi esimesest poolest ning arvandmeid uuendatud ei ole kuni tänaseni. Seega oleks vajalik standardi EVS 848:2013 arvutusvihmade arvandmeid uuendada.

### 3.5 Tulemuste rakendatavus Eestis

Uuringuga koostatud arvutusvihma keskmiste intensiivsuste kõverate ja väljapakutud arvutusvihma intensiivsuste arvutamise meetodika rakendamist insenertehnoloogilistele lahendustele hindas Eesti Veevarustuse ja Kanalisatsiooni Inseneride Selts (EVKIS). Tulemusi võrreldi ka kehtivas standardis EVS 848:2013 "Väliskanalisatsioonivõrk" toodud meetodikaga. Töö tulemusena valmis aruanne, mis on esitatud lisas 3.

*Aruandest selgub, et käesoleva uuringuga välja pakutud arvutusvihma keskmiste intensiivsuste arvutamise meetodika on matemaatiliselt kasutatav. Analüüsi koostamisel kasutatavad vihma andmed on oluliselt ajakohasemad kui olemasoleva standardi meetodika aluseks olevad vihmaandmed, siis EVKIS`e arvates võib eeldada, et need peegeldavad paremini ka tegelikku olukorda.*

*EVKIS`e insenerid on seisukohal, et Eestis valingvihmade intensiivistumine 4% kümnendi kohta toob kaasa kohese projekteeritavate sademeveesüsteemide võimaliku üledimensioneerimise ning ehitushinna kallinemise, kuigi torustiku elueaks on 50 aastat.*

### 3.6 Tulemuste levitamine

Projekti tulemuste levitamiseks eriala spetsialistidele korraldas 6. novembril Eesti Vee-ettevõtete Liit (EVEL) veebikoolituse, kus osales 175 inimest. Koolituse ettekanded olid järgmised:

- 1) Tugevad hoovihmad ja riski hindamine linnahüdroloogias – Toomas Tamm, EMÜ
- 2) Andmed, andmetöötlus ja analüüs - Ottar Tamm, Egle Saaremäe, EMÜ
- 3) Arvutusvihma meetodika ja tulemused - Egle Saaremäe, EMÜ
- 4) Kliimamuutused ja nende arvestamine projekteerimises - Ottar Tamm, EMÜ
- 5) Projekteerimine EVS ja uue meetodika järgi, näited - Sirle Punka, OÜ Keskkonnaekspert

Koolituse läbimisel väljastas EVEL osalejatele tunnistuse, mis kinnitas täiendõppe punktide (4.8 TP, inseneri täiendõppe punkti) omandamist Eesti Ehitusinseneride Liidult.

#### 4 Kokkuvõte

Töö käigus kaardistati, koguti ja täpsustati meteoroloogiajaamade vihmaandmestik Eestis. Kogutud andmetele teostati ka kvaliteedikontroll. Uuringusse valiti jaamad, millele on võimalikult pikk (vähemalt 30 aastat andmeid) ja pidev mõõtmiste andmerida. Antud tingimustele vastas 11 meteoroloogiajaama, mida kasutati edaspidises analüüsi: uuringus kasutati Tallinn/Harku, Jõhvi, Ristna, Sõrve, Lääne-Nigula, Väike-Maarja, Tiirikoja, Jõgeva/Tooma, Elva/Tõravere, Viljandi ja Võru meteoroloogiajaamade vihma andmeid aastast 1950 kuni 2019. Arvutusvihmade koostamiseks valiti järgmised arvutusvihma kestused: 20, 30, 40, 60, 90, 120, 180, ja 360 minutit. Igale analüüsis kasutatud meteoroloogiajaamale arvutati välja seega iga vaatlusaasta suurim väärtus eelnevalt defineeritud arvutusvihmade kestustele. Seega koostati igale meteoroloogiajaamale vaatlusandmete põhjal andmetabel, mida kasutati jaamapõhiste arvutusvihma graafikute koostamisel.

Kasutades GEV'i teoreetilist ekstreemjaotust koostati igale jaamale jaamapõhised arvutusvihma graafikud. Üle-eestiliseks tulemuste laiendamiseks töötati läbi teaduskirjandus, leidmaks võimalikke funktsionaalseid seoseid jaamade vahel, mille abil kirjeldada arvutusvihmasid igas Eesti punktis. Analüüsis uuriti nelja teaduskirjanduses laialdaselt kasutatavat arvutusvihma valemit: Talbot, Bernard, Kimijiman ja Sherman. Kõige paremini kirjeldas Eestis arvutusvihmasid Bernard'i valem, mis kasutab tundmatu sisendina kolme asukohapõhist parameetrit  $a$ ,  $b$  (korduvusperioodi astendaja) ja  $c$  (arvutusvihma kestuse

astendaja). Igale asukohapõhilise parameetri kohta koostati Eesti territooriumile kaart, kasutades kriging interpoleerimismeetodit. Kaartide kasutamine võib osutuda tülikaks, seega arvutati asukohapõhised parameetrid iga Eesti linna kohta eraldi ja koostati parameetrite tabel (**Lisa 2**).

Saadud arvutusvihmade väärtuseid võrreldi hetkel kehtiva standardiga EVS 848:2013 "Väliskanalisatsioonivõrk". Arvutuslikud erinevused jäid vahemikku 3–83% olenevalt arvutusvihma kestusest ja korduvuseperioodist.

Analüüsi trendi selle suurst Eesti arvutusvihmade (aasta suurimaid intensiivsuseid jaamades erinevate vihmakestuste korral) intensiivisustes kasutades teadusmaailmas laialt levinud MK ja Sen'i meetodit. Järeldusena leiti, et Eestis on valingvihmad intensiivistumas, **keskmiselt 4% kümnendis** olenemata vihma kestusest. Kuigi trend oli statistiliselt oluline kahes meteoroloogiajaamas, näitasid kõik jaamad valingvihmade intensiivistumist ajas, kuigi variatsioon oli suur (0 kuni 10% kümnendi kohta). Kuna kliimamudelid prognoosivad Eestis õhutemperatuuri jätkuvat suurenemist tuleviks, jätkub ka eeldatavasti valingvihmade intensiivistumine. Eelnevast tulenevalt pakuti välja kliimakindluse tegur  $q_k$ , mida tuleks arvestada projekteerides sademeveesüsteeme. Pakuti välja arvutusvalem, kuidas projekteerida kliimakindlat sademeveesüsteemi sõltuvalt plaanitava rajatise elueast.

Saamaks teada, kuidas selliseid muutused mõjutavad olemasolevaid sademeveesüsteeme, analüüsi arvutusvihma keskmiste intensiivsuste kõverate sobivust insenertehnilistele lahendustele ning hinnati arvutusvihma keskmiste intensiivsuste meetodika kasutatavust sademeveesüsteemide projekteerimiseks EVKIS`e volitatud veevarustuse- ja kanalisatsiooniinseneride poolt. EVKIS`e inseneride arvates on välja pakutud arvutusvihma keskmiste intensiivsuste arvutamise meetodika matemaatiliselt kasutatav. Samuti leiavad nad, et analüüsis kasutatavad vihma andmed on ajakohasemad ning peegeldavad paremini ka tegelikku olukorda, kui hetkel kehtiva EVS 848:2013 olevad andmed. EVKIS`e insenerid on seisukohal, et Eestis valingvihmade intensiivistumine 4% kümnendi kohta toob kaasa kohese projekteeritavate sademeveesüsteemide võimaliku üledimensioneerimise ning ehitushinna kallinemise, kuigi torustiku elueaks on 50 aastat.

Uuringu tulemuste tutvustamiseks laiemale ringkonnale nagu omavalitsused, veevärgid ja projekteerijad, viidi läbi tasuta veebikoolitus „Sademeveesüsteemide projekteerimise aluste



kaasajastamine”. Koolitusel anti ülevaade sademeveesüsteemide projekteerimise metoodikast ja kliimamuutuse mõju arvestamisest Eesti arvutusvihmades. Lisaks tutvustati hüdroloogilise riski kontseptsiooni ja arvutust. Toodi ka näiteid projekteerija seisukohast, kuidas projekteerimine EVS ja uue metoodika järgi erineb ja kuidas mõjutab uus arvutusmetoodika olemasolevaid sademesüsteeme. Läbiviidud koolitusel osales 170 kuulajat, kellele väljastati ka tunnistused täiendõppe punktide mahus 4.8 TP.

Lisaks on antud uuringu täitjad EVS 846 uuendamise töögrupis. Koosolekutel osaledes on arvutusmetoodikat ja tulemusi analüüsitud koos töögrupiga.

## 5 Kasutatud kirjandus

Alexandersson H (2002) Temperature and precipitation in Sweden 1860-2001. SMHI Meteorologi 104. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden

Anisimov OA, Zhiltsova EL, Kokorev VA (2011) Spatial and temporal patterns of air temperature changes in Russia in the 20th century and early 21st century. *Probl Ecol Monit Ecosyst Model* 24:83–98, vene keeles, kokkuvõtte inglise keeles

BACC Author Team (2008) Assessment of climate change for the Baltic Sea basin. Springer, Berlin, p 473pp

Keskkonnaagentuur, 2014. Eesti tuleviku kliimastsenaariumid aastani 2100. Projekti „Eesti riikliku kliimamuutuste mõjuga kohanemise strateegia ja rakenduskava ettepaneku väljatöötamine“ lisa.

Jaagus J (2006) Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. *Theor Appl Climatol* 83:77–88

Kendall, M. G., Rank Correlation Methods, 4th ed., Charles Griffin: London, 1975

Kont A, Endjärv E, Jaagus J, Lode E, Orviku K, Ratas U, Rivis R, Suursaar Ü, Tõnisson H (2007) Impact of climate change on Estonian coastal and inland wetlands—a summary with new results. *Boreal Env Res* 12:653–671

Lizuma L, Kļaviņš M, Briede A, Rodinovs V (2007) Long-term changes of air temperature in Latvia. In: Kļaviņš M (ed) *Climate change in Latvia*, University of Latvia Press, Riga, pp 11–20

Mann, H. B., Non-parametric test against trend, *Econometrica*, 13, 245-259, 1945

R Core Team (2018) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>

Sen, P. K., Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau, *J. Am. Stat. Assoc.*, 63, 1379-1389, 1968

Tammets, T., Mätlik, O. (2012) Suured sajud. Eesti ilma riskid. Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut.

Tietäväinen H, Tuomenvirta H, Venäläinen A (2009) Annual and seasonal mean temperature in Finland during the last 160 years based on gridded temperature data. *Int J Climatol* 30:2247–2256

## LISAD

## Lisa 1. Meteoroloogiajaamades esinenud vihamade arv

Aastad	Elva/Tartu/Tõravere	Tooma/Jõgeva	Jõhvi	Sõrve	Võru	Vilsandi	Viljandi
1936	8						
1937	15						
1938	11						
1939	0						
1940	7						
1941	6						
1942	7						
1943	7						
1944	6						
1945	9						
1946	15						
1947	114						
1948	167						
1949	91						
1950	91	43					
1951	102	98					
1952	160	169					
1953	135	160			154		
1954	0	182			175		
1955	119	119	4	4	141	1	
1956	142	0	7	6	168	4	
1957	144	198	12	7	157	2	
1958	149	163	102	69	157	85	
1959	58	114	113	74	131	99	
1960	99	117	112	102	112	107	
1961	145	139	131	127	137	155	
1962	181	167	147	134	195	130	
1963	88	131	107	105	134	124	
1964	89	128	124	80	123	103	
1965	85	145	118	109	136	132	167
1966	139	139	137	122	161	118	140
1967	94	156	114	122	156	172	159
1968	105	115	110	127	127	112	113
1969	123	117	106	104	120	139	110
1970	37	25	32	34	31	25	20
1971	34	25	24	29	31	31	34
1972	30	33	39	40	42	37	26
1973	28	42	38	33	38	32	39
1974	40	51	60	52	16	51	50

## Lisa 1. järg

Aastad	Elva/Tartu/Tõravere	Tooma/Jõgeva	Jõhvi	Sõrve	Võru	Vilsandi	Viljandi
1975	26	32	34	18		26	23
1976	12	26	31	17		17	22
1977	25	28	39	34		35	29
1978	37	51	48	41		44	49
1979	35	42	44	29		24	27
1980	36	32	40	45		34	32
1981	27	73	54	51		38	52
1982	27	39	31	20		24	22
1983	27	39	31	36		32	35
1984	42	32	44	42		43	58
1985	53	36	48	29		29	45
1986	30	32	41	36		38	33
1987	9	41	29	23		36	57
1988		0	47	26		25	34
1989		0	27	28		31	32
1990		0	39	28		0	47
1991		52	52	22		0	50
1992		19	28	22		17	25
1993		36	37	0		31	43
1994		34	31	0		25	34
1995		38	33	18		20	35
1996		21	26	38		14	22
1997		36	29	28		15	35
1998		41	45	36		26	40
1999		39	26	32		33	32
2000		47	32	37		22	28
2001		44	42	39		29	33
2002		16	27	23		15	17
2003		35	41	23		18	36
2010	42	67	26	27	38	29	18
2011	149	388	160	120	142	131	176
2012	190	470	198	172	185	169	200
2013	145	366	183	126	196	166	163
2014	147	300	139	120	128	114	143
2015	163	326	167	142	159	140	166
2016	163	335	173	124	164	114	167
2017	185	366	202	178	187	171	190
2018	146	273	161	128	149	123	169

2019	125	315	157	147	0	122	139
------	-----	-----	-----	-----	---	-----	-----

## Lisa 1. järg

Aastad	Lääne-Nigula	Väike-Maarja	Tiirik-oja	Ristna	Tallinn	Polli	Paun-küla
1936					10		
1937					12		
1938					8		
1939					4		
1940							
1941					4		
1942							
1943							
1944							
1945							
1946							
1947							
1948							
1949							
1950			65	12			
1951			97	82	82		
1952			188	125	134		
1953			165	138	157		
1954			184	151	149		
1955			143	104	111		
1956			166	130	101		
1957			205	168	189		
1958			0	125	139	81	
1959			70	105	64	115	
1960			109	123	127	116	
1961			153	141	158	136	
1962		56	159	118	179	77	
1963		161	134	111	150	0	
1964	81	123	107	108	124	0	99
1965	134	128	146	140	158	0	177
1966	174	160	142	110	175	0	167
1967	175	174	159	148	148	0	146
1968	133	128	127	115	137	0	149
1969	81	83	116	125	104	0	113
1970	32	29	31	31	33	0	23

1971	30	28	28	30	41	28	33
1972	40	36	27	34	54	30	40
1973	44	40	37	28	50		40
1974	43	41	47	48	46		41

## Lisa 1. järg

Aastad	Lääne-Nigula	Väike-Maarja	Tiirik-oja	Ristna	Tallinn	Polli	Paun-küla
1975	28	34	27	18	34		31
1976	25	16	16	20	26		23
1977	33	38	34	35	22		46
1978	50	43	43	53	50		37
1979	36	44	35	29	36		30
1980	26	40	31	44	27		18
1981	47	60	51	46	0		32
1982	24	27	33	21	0		0
1983	37	32	34	29	32		27
1984	52	52	47	29	20		
1985	41	49	43	26	25		
1986	31	46	50	32	17		
1987	28	53	48	32	5		
1988	40	35	38	34	36		
1989	19	41	40	33	30		
1990	32	51	47	36	27		
1991	39	45	33	31	36		
1992	33	30	16	28	24		
1993	29	34	28	23	22		
1994	31	38	28	30	29		
1995	37	40	32	29	44		
1996	32	28	25	23	26		
1997	21	35	40	35	31		
1998	38	49	48	42	40		
1999	23	35	37	41	21		
2000	26	35	32	43	28		
2001	39	45	42	40	40		
2002	24	26	18	19	23		
2003	19	46	40	27	26		
2010	20	15	15	55	54		
2011	161	156	158	266	166		
2012	187	201	186	338	215		

2013	144	179	170	260	150		
2014	149	141	144	230	139		
2015	172	151	166	272	164		
2016	181	172	175	240	154		
2017	202	176	191	344	200		
2018	149	141	148	254	135		
2019	154	151	162	181	165		

## Lisa 2 . Asukohaparameetrite tabel Eesti suurematele linnadele ja alevikele

Nr	Linn	a	b	c
1	Tallinn	325.7	0.342	0.770
2	Narva	380.6	0.361	0.763
3	Kohtla-Järve	378.5	0.361	0.768
4	Maardu	331.6	0.342	0.773
5	Rakvere	357.5	0.356	0.780
6	Sillamäe	382.0	0.362	0.764
7	Jõhvi	384.3	0.361	0.766
8	Haapsalu	194.8	0.331	0.645
9	Keila	292.4	0.339	0.739
10	Paide	364.0	0.342	0.787
11	Türi	365.3	0.337	0.786
12	Tapa	353.0	0.352	0.784
13	Kiviõli	370.0	0.360	0.773
14	Saue	309.8	0.340	0.755
15	Jõgeva	373.1	0.359	0.791
16	Rapla	314.9	0.337	0.748
17	Põltsamaa	396.7	0.341	0.807
18	Paldiski	265.9	0.337	0.715
19	Kunda	360.3	0.355	0.775
20	Kärdla	193.2	0.330	0.661
21	Kehra	340.8	0.345	0.777
22	Loksa	346.1	0.347	0.777
23	Narva-Jõesuu	379.3	0.362	0.761
24	Tamsalu	355.5	0.353	0.786
25	Lihula	227.3	0.329	0.668
26	Mustvee	354.6	0.358	0.785
27	Püssi	372.2	0.360	0.772
28	Kallaste	383.4	0.352	0.795
29	Tartu	423.3	0.336	0.818
30	Pärnu	321.7	0.323	0.741
31	Viljandi	443.1	0.315	0.833
32	Võru	471.1	0.318	0.837
33	Kuressaare	196.3	0.328	0.656
34	Valga	459.6	0.316	0.825
35	Põlva	454.3	0.324	0.829



36	Elva	442.6	0.326	0.828
----	------	-------	-------	-------

## Lisa 2. järg

Nr	Linn	a	b	c
37	Sindi	335.8	0.322	0.752
38	Räpina	446.9	0.327	0.821
39	Tõrva	452.2	0.316	0.828
40	Otepää	455.4	0.321	0.832
41	Klingi-Nõmme	383.4	0.316	0.784
42	Karksi-Nuia	436.4	0.314	0.821
43	Võhma	395.5	0.331	0.805
44	Antsla	466.3	0.318	0.833
45	Abja-Paluoja	422.9	0.314	0.812
46	Suure-Jaani	407.2	0.324	0.810
47	Mõisaküla	407.3	0.315	0.800