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 4
2 Metoodika 6
2.1 Algandmed 6
2.1.1 Pluviograafi mõõdetud vihmaandmestik 7
2.1.2 Automaatjaamade vihmaandmestik 9
2.2 Sademete korduvusperiood 10
2.2.1 Korduvusperiood („*return period*“) 11
2.2.2 Sagedustõenäosus („*exceedance probability“)* 11
2.2.3 Hüdroloogiline risk („*hydrologic risk*“) 12
2.3 Andmete analüüs 13
2.4 Arvutusvihma koostamine 14
2.5 Arvutusvihma metoodikad 18
2.6 Kliimamuutuse analüüs 19
3 Tulemused 20
3.1 Vihma andmete analüüs 20
3.2 Kliimamuutus lähitulevikus 22
3.3 Arvutusvihmad Eestis 27
3.4 Võrdlusanalüüs EVS'iga 848:2013 "Väliskanalisatsioonivõrk" 32
3.5 Tulemuste rakendatavus Eestis 36
3.6 Tulemuste levitamine 36
4 Kokkuvõte 37
5 Kasutatud kirjandus 39
LISAD 40
Lisa 1. Meteoroloogiajaamades esinenud vihamade arv 41
Lisa 2 . Asukohaparameetrite tabel Eesti suurematele linnadele ja alevikele 45
Lisa 3 . Eesti Veevarustuse ja Kanalisatsiooni Inseneride Selts`i MTÜ aruanne 47
Sademeveesüsteemide projekteerimise aluste kaasajastamine, KIK projekt nr. 15589 47
Projekti eesmärk 47
Algandmed 47
Vihma andmete analüüs 50
Kliimamuutuste mõjuga arvestamine 51

Andmete analüüs ja arvutusvihma koostamise metoodika 52
Pakutud metoodika põhiste arvutustulemuste võrdlus EVS standardiga 848:2013 52
Pakutud metoodika rakendatavus Eestis 54
Kokkuvõte 55
Kasutatud kirjandus 56

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 sademethulkasid, 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 klokaalselt 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 tegelenud. 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 «Väliskanalisatsioonivõrk». 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 metoodika ei vasta tänapäevasele metoodikale. 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 enamus Eesti linnades välja ehitatud sademeveesüsteeme 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 vihmasadu 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 metoodika sademeveesüsteemide projekteerimiseks. Antud metoodika 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.

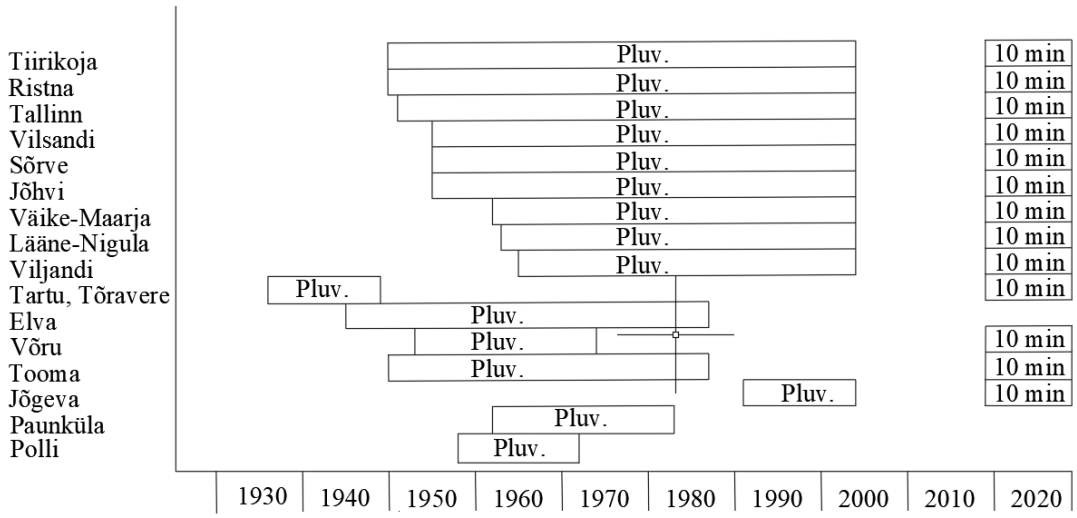
2 Metoodika

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)

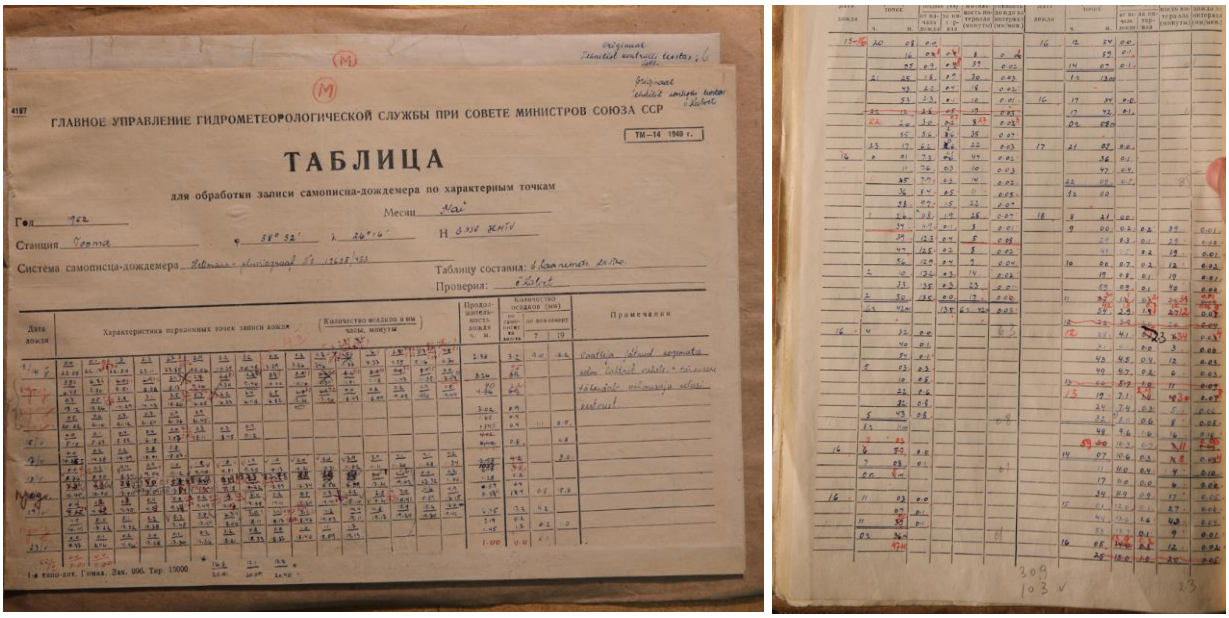
2.1.1 Pluviograafi mõõdetud vihmaandmestik

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

Joonis 2. Andmekogu EMHI arhiivis.

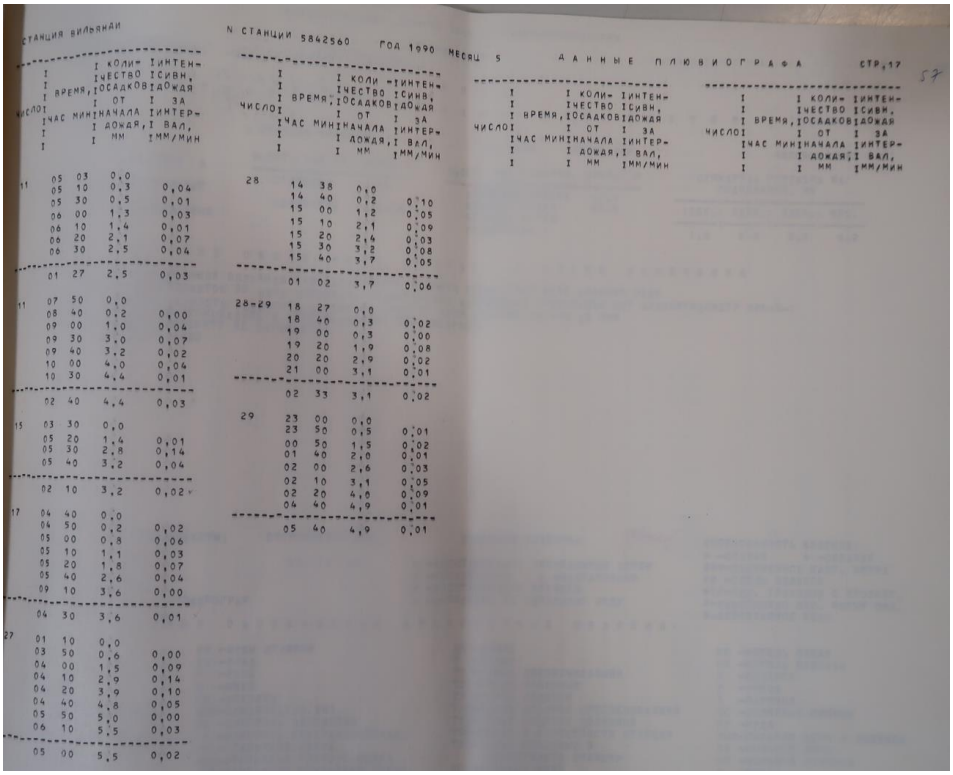
Uuringu raames pildistati vihmaandmed ning arhiivi materjalide fotokoopiatest loodi andmekogu. Fotod on kataloogiseeritud meteoroloogiajaamade ja aastate kaupa. Vihmaandmete olemasolu kontrolliti jaamade, aastate ja kuude lõikes vastavalt EMHI väljastatud inventuuri tabelile, eesmärgiga pildistada kõik mõõdetud vihmaandmed.

Paberkandjal 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, akumuleeruvad 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 akumuleeruvad 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 meteoroloogiajaama 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 akumuleeriv kogus, vihmaintensiivsus.



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	0	0	0	0
2015	1	1	0:10	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	0:20	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	0:30	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	0:40	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	0:50	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	1:10	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	1:20	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	1:30	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	1:40	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	1:50	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	2:10	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	2:20	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	2:30	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	2:40	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	2:50	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	3:10	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	3:20	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	3:30	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	3:40	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	3:50	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	4:10	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	4:20	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	4:30	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	4:40	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	4:50	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	5:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	5:10	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	5:20	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	5:30	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	1	5:40	0	0	0	0	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 sajusündmustel, 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).

Sademete 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.

Insenerrajatiste puhult kitseneb huvipakkuvate sademete temaatika enamasti suure sajuhulga ja/või väga intensiivsete sademetega sajusündmustele, 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 intesiivsuse, 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 sajusündmus, 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 sajusündmus 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 Hüdroloogiline 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 hüdroloogiline risk, et teatud väärtus ületatakse. Hüdroloogilist riski arvutatakse valemiga:

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

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

NÄIDE:

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

Kasutades valemit 3, on hüdroloogiline risk leitav järgnevalt:

J=1-(1-1/25)^30=0,71=71%

Saadudud 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 hüdroloogilise riski valemit, on võimalik välja arvutada kui suure tõenäosusega on linnas 50 aasta jooksul uputusi oodata. Elamupiirkonnas (projekteeritud arvutusvihma korduvusperioodile P2) on hüdroloogiline risk 100% s.t. 50 aasta jooksul esineb kindlasti uputusi.

Soovides hüdroloogilist 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 sajusündmuse 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 vihmasündmuseks 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.

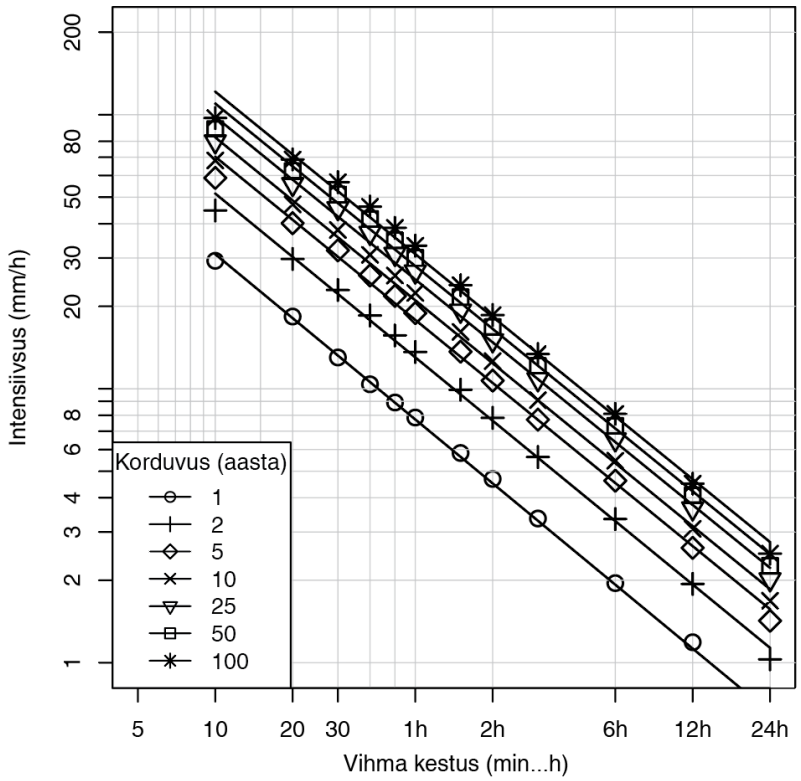
Ühtlustatud andmetabelite edaspidiseks töötluseks koostati skript R-i keskkonnas. Koostatud skript võtab sisendina sisse andmetabeli .csv formaadis. Skript arvutab välja iga vihma kogused ajasammuga **1 minut**, kasutades lineaarset aja interpoleerimist. Skriptis defineeritakse soovitud arvutusvihmade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

Tulemusena väljastab skript iga vihmasündmuse 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 arvusuvihma 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.

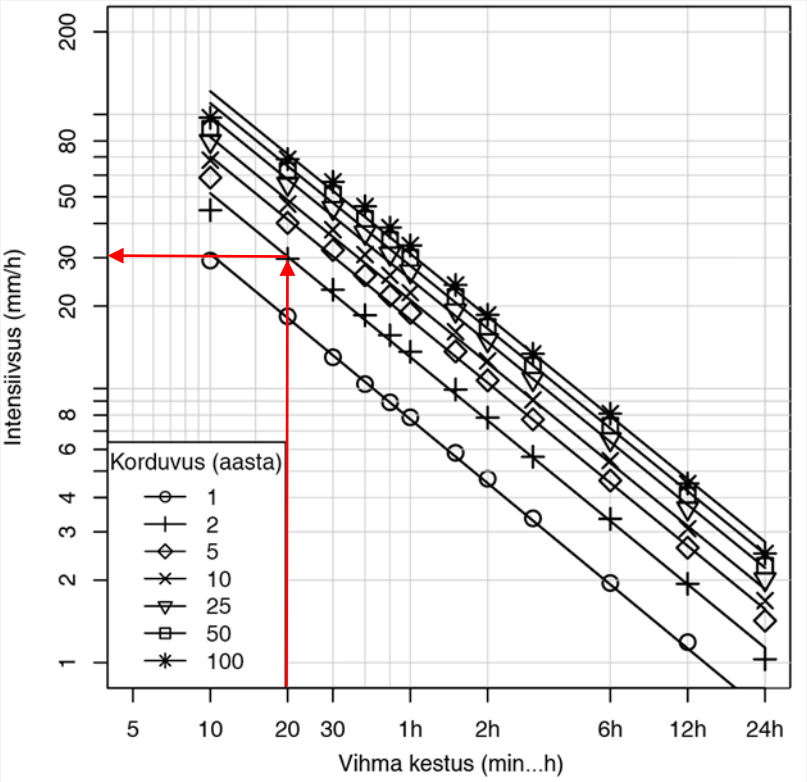


Joonis 8. Arvutusvihma graafiku näide.

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=20min)** 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 (ümber 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:

$$1\ \frac{mm}{min} = \frac{1}{60}\frac{mm}{h} = 166{,}7\frac{\mathrm{l}}{s \cdot ha} \qquad (4)$$

NÄIDE:

Milline on vihma intensiivsus l/s hektari kohta, kui vihma intensiivsus on 30 mm/h? Kasutades intensiivsute teisendamisvalemit (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:

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

kus μ on asukoha parameeter (näitab jaotuse asukohta horisontaal teljel) ja β on ulatuse parameeter (näitab jaotuse dispersiooni horisontaaltaljel). 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 aritmeetine keskmine, S on mõõtmiste standardhälve ja K_T sagedustegur, mis sõltub korduvusperioodist P:

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

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 metoodikad

Arvutusvihma intensiivsuse, kestuse ja korduvuse vahel on funktsionaalne seos. Seega otsitakse järgnevalt iga jaama arvutusvihmade vahelist seost matemaatiliste võrranditega. Erialakirjanduses enamlevinumad 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:

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

kus *a*, *b*, *c*, *d* on empiirilised tegurid (ühikuta), mis sõltuvad geograafilisest asukohast, t on arvutusvihma kestus (min), P on arvutusvihma korduvusperiood. 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 soovitavat 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 andmestikus 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 vihmasündmuseid 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 vihmasid, vastavalt 3426 ja 3817 sündmus. Vaadates keskmist vihmade arvu on Võrus enim vihmasid aasta kohta, ca 124. Pika andmereaga 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 suurenemas koormus sademeveesüsteemidele, sagenenud 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 lähtutud kliimamudelitest ja nende tulemuste interpreteerimises Eesti kohta. Analüüsis on kasutatud EURO-CORDEX projekti mudelid, milledel 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 kontsentratsioon paiskamine 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 aastaaegade, stsenaariumite ja prognoositud perioodide kaupa (ümberarvutatud rapordist „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
JJA	**59**	**73**	**81**	**82**	**98**

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. Keskmine 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.

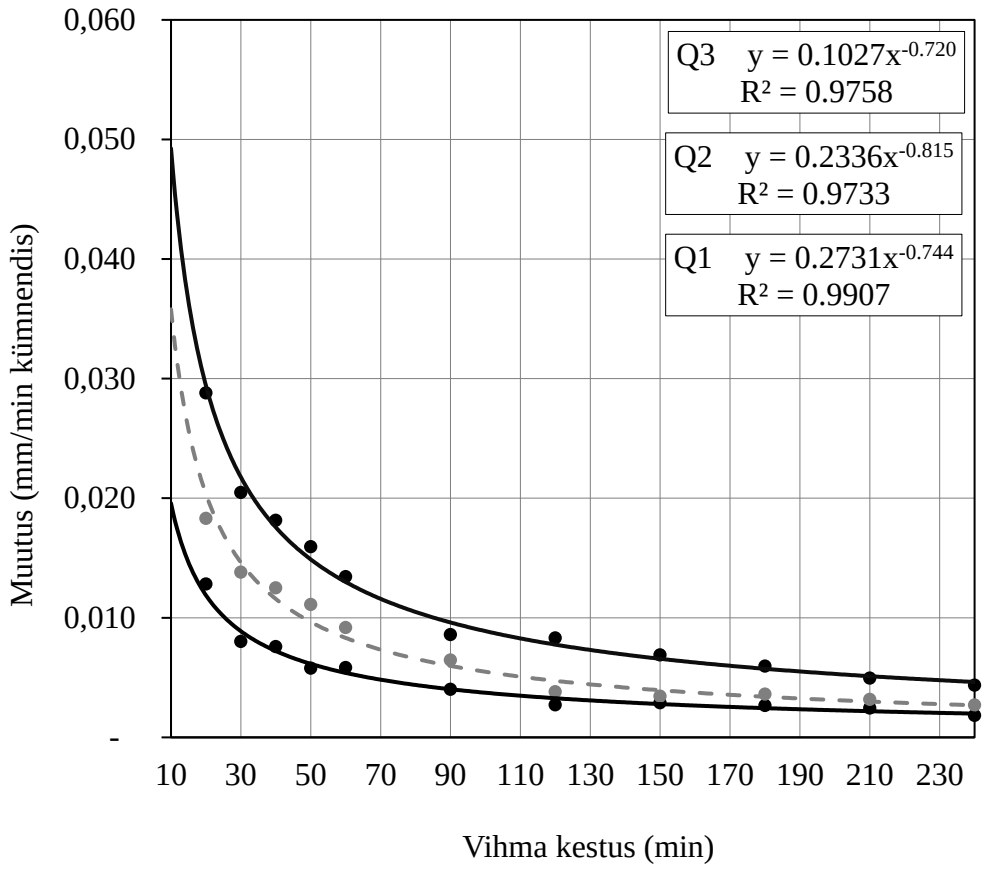
Tabel 6. Mann-Kendall'i trenditesti ja Sen'i langu tulemused.

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	**0.01***	0.11	17.8	**0.00***	0.17	20.2	**0.02***	0.19	24.2	**0.01***	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	**0.02***	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	**0.00***	0.09	16.0	**0.01***	0.11	17.4	**0.02***	0.11	19.5	**0.02***	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 suurepärane 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 arvutatud 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 kümnendi kohta.



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

Sademeveesüsteem peab töötama kogu selle eluea väitel. Sademeveesüsteemi planeeritud eluea pikkus sõltub sademeveesüsteemi olulisusest ja ka näiteks torustiku enda elueast. Lähtudes eelnevast, on tungivalt soovitav sademeveesüsteeme projekteerides arvesse võtta kliimamuutuse mõju, kasutades kliimategurit väärtusega 4% kümnendi 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 **kümnendites**, Δk 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 sademeveesüteemi arvutus järgnev:

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

Saadudud 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 arvutusvihamade 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 kastutatakse 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**.

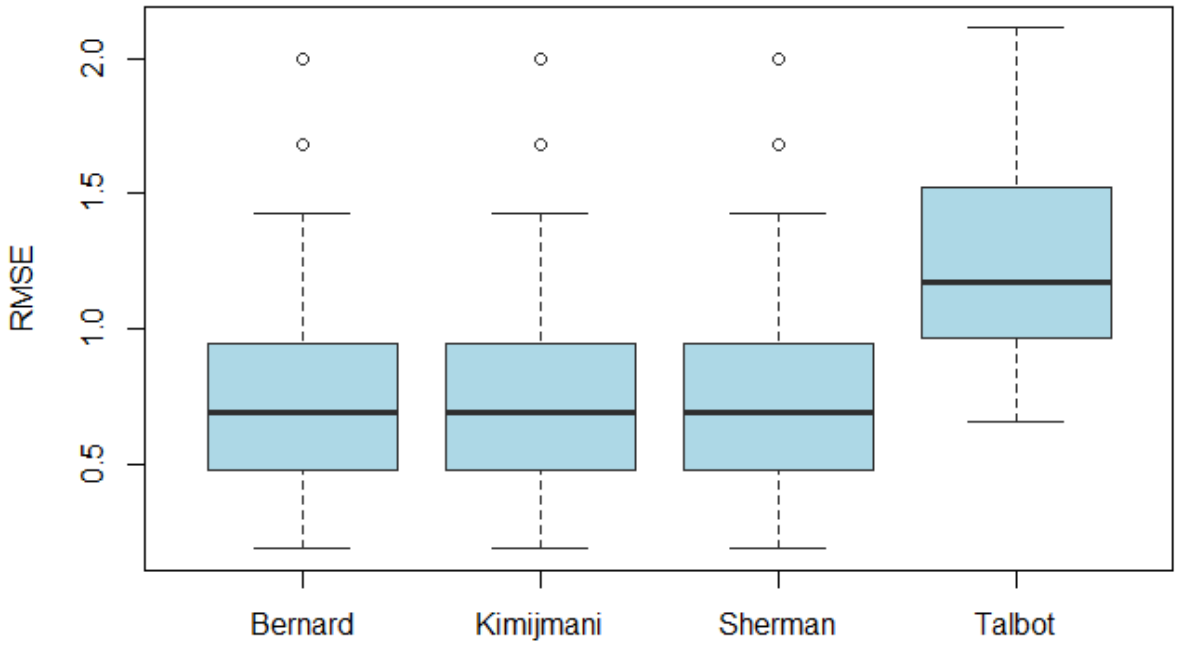
3.3 **Arvutusvihmad Eestis**

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 arvutuvihmade graafikutele

vastavad intensiivsused sobitati kõigepealt vähemruutude meetodil (MSE) eraldi Bernard'i, Talbot'i, Kimijman'i ja Sherman'i valemitega (**Joonis 12**).



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

GEV ekstreemjaotuse ja matemaatiliste valemite (Talbot, Sherman, Kimijiman ja Bernard) vaheline veamäära 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), Kimijiman'i (0.69) ja Bernard'i (0.69) valemitel. Kõikidel uuritud valmites on murru lugeja sama, valemite vaheline erinevus tuleneb hoopis murru nimetajas. Talbot valemis on murru nimetajas vihmakestuse ja asukohapõhise parameeter d summa, samas kui ülejäänud kolmes valemis on vihmakestus võetud astmesse. Arvatavasti on seetõttu ka veamäär Talbot'i valemis suurem kui ülejäänutel.

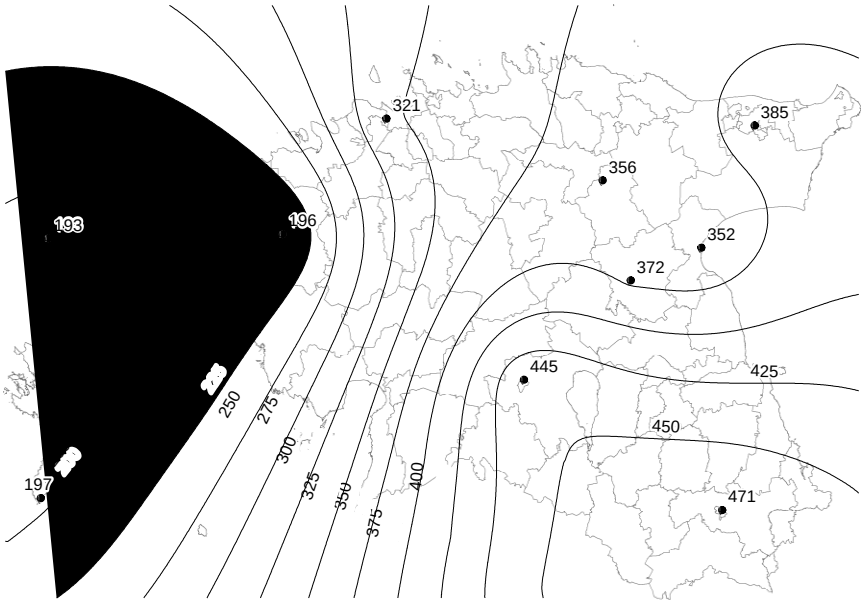
Sherman'i, Kimijiman'i ja Bernard'i valemid kirjeldavad arvutusvihmasid peaaegu identselt (**Joonis 12**). Bernard'i valemi kasutamiseks on vaja kõige vähem parameetreid, seega otsustati arvutusvihmade kirjeldamiseks Eestis kasutada just lihtsamat Bernard'i valemit, kus keskmine arvutusvihma intensiivsuse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

$$q = \frac{aP^b}{t^c}, \quad (12)$$

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. Asukohapõhistele parameetritele vääruste 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.

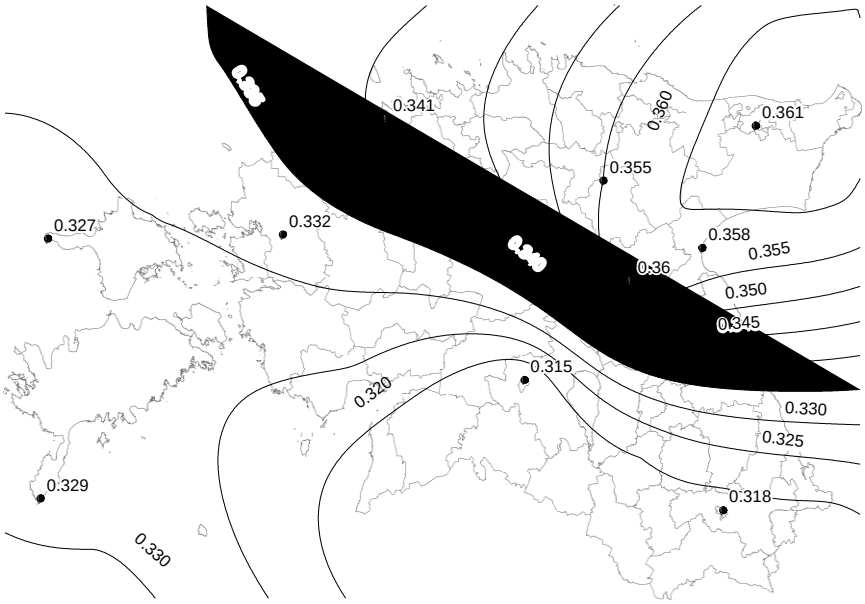
Sõltuvalt pika vaatlusrea meteoroloogiajaamade vähesusest, kasutati interpoleerimiseks kõigest kümne jaama andmeid s.t. üks jaam kirjeldab keskmiselt 4500 km^2 suurust ala. Alates 2010 aastas lõpust mõõdab Ilmateenistus sademete andmeid aasta ringi fikseeritud 10 minutilise mõõtmissammuga rohkem kui kolmekümnes automaatjaamas. Seega on tungivalt soovitatav hiljemalt 10 aasta pärast koostada uued asukohapõhised arvutusvihamade 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 samajoonte ja jaamade arvväärtuste paiknemine Eesti territooriumil. Parameetri *a* väärtuste vahemik on 193 (Ristna) kuni 471 (Võru).



Joonis 13. Parameeter a samajooned ja väärtused Eestis.

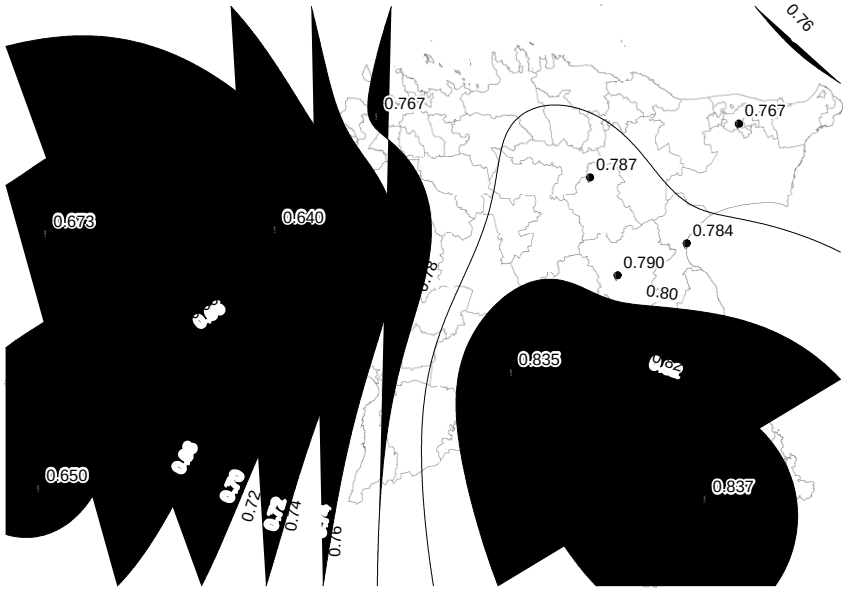
Liikudes merelisest kliimast aina rohkem mandrilise suunas, parameetri *a* väärus suureneb. Mis tähendab ka ühtlasi, et maismaa suunas suurenevad arvutuslikud valingvihmade intensiivsused. Parameetri *a* vääruste kõikumine suurtes piirides näitab otseselt ka antud parameetri tähtsust Bernard'i valemis.



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 suurematele 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.

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

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 "Väliskanalisatsioonivõrk"

Saamaks teada, kuidas erinevad analüüsis saadud arvväärtused hetkel kehtivas standardis (EVS 848:2013 "Väliskanalisatsioonivõrk") olevate arvutuslike intensiivustega, võrreldi neid omavahel. Analüüsis võrreldi omavahale seitsme linna arvutuslike keskmisi intensiivsuseid (Tallinn, Tartu, Pärnu, Kuressaare, Võru, Paide, Ida-Virumaa). Analüüsiti 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.

	P=2					P=5				
	Uuring		EVS			Uuring		EVS		
Kestus	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.

	P=2					P=5				
	Uuring		EVS			Uuring		EVS		
Kestus	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.

	P=2					P=5				
	Uuring		EVS			Uuring		EVS		
Kestus	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

	P=2					P=5				
	Uuring		EVS			Uuring		EVS		
Kestus	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.

	P=2					P=5				
	Uuring		EVS			Uuring		EVS		
Kestus	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 Võrus10–61%.

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 standard`i EVS 848:2013 arvutusvihmade arvandmeid uuendada.

3.5 Tulemuste rakendatavus Eestis

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

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

EVKIS`e inseneride 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 metoodika ja tulemused - Egle Saaremäe, EMÜ

4) Kliimamuutused ja nende arvestamine projekteerimises - Ottar Tamm, EMÜ

5) Projekteerimine EVS ja uue metoodika 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.

Analüüsiti trendi selle suurust 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, analüüsiti arvutusvihma keskmiste intensiivsuste kõverate sobivust insenertehnilistele lahendustele ning hinnati arvutusvihma keskmiste intensiivsuste metoodika kasutatavust sademeveesüsteemide projekteerimiseks EVKIS`e volitatud veevarustuse- ja kanalisatsiooniinseneride poolt. EVKIS`e inseneride arvates on välja pakutud arvutusvihma keskmiste intensiivsuste arvutamise metoodika 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 arvutusvmetoodika 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

Lisa 3 . Eesti Veevarustuse ja Kanalisatsiooni Inseneride Selts`i MTÜ aruanne

EVKIS
EESTI VEEVARUSTUSE JA KANALISATSIOONI INSENERIDE SELTS

Sademeveesüsteemide projekteerimise aluste kaasajastamine, KIK projekt nr. 15589

Vastavalt sõlmitud lepingule analüüsisid Eesti Veevarustuse ja Kanalisatsiooni Inseneride Selts MTÜ (edaspidi EVKIS) spetsialistid Eesti Maaülikooli (edaspidi EMÜ) poolt koostatud vihma esinemissageduse tõenäosuskõverate sobivust insenertehnilistele lahendustele ning hindasid pakutud metoodika kasutatavust sademeveesüsteemide projekteerimiseks ja võrdlesid tulemusi täna kehtivas standardis EVS 848:2013 "Väliskanalisatsioonivõrk" toodud metoodikaga.

Projekti eesmärk

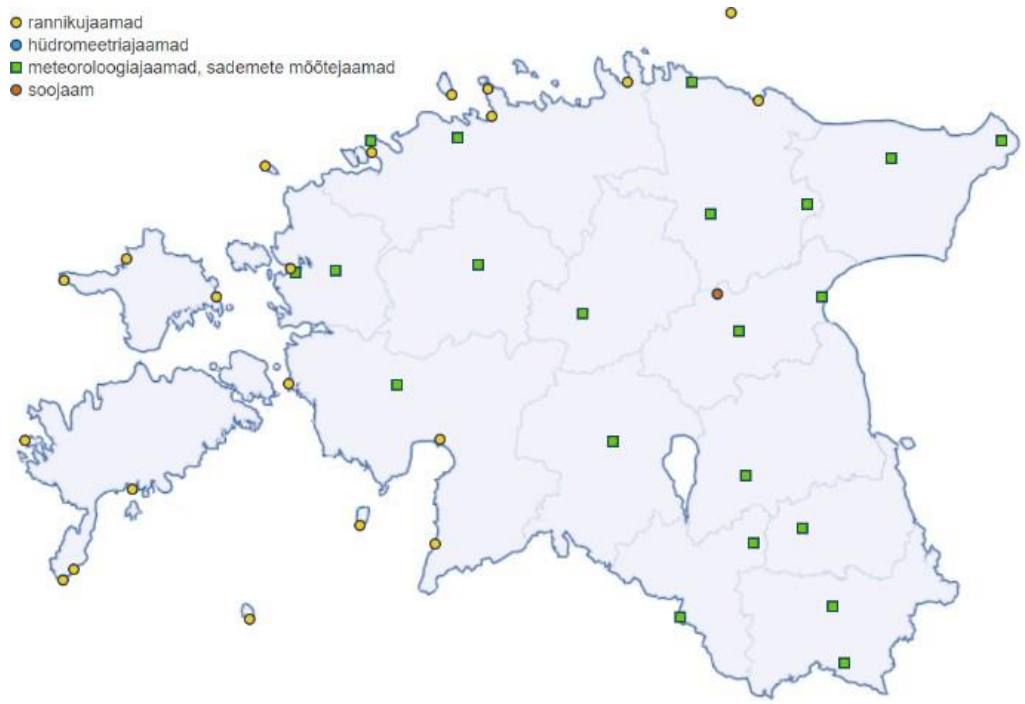
Projekti „Sademeveesüsteemide projekteerimise aluste kaasajastamine“[1] põhieesmärgiks oli statistiliselt analüüsida seirejaamades üle Eesti mõõdetud lühiajalisi sademeid ning välja pakkuda Eesti territooriumil rakendatav uus arvutusvihmade metoodika sademeveesüsteemide projekteerimiseks, mida saaks rakendada üheselt kogu Eesti territooriumil. Teiseks eesmärgiks on välja selgitada võimaliku kliimamuutuse mõju suurus ja trend Eesti arvutusvihmades ning välja pakkuda kuidas projekteerimisel arvestada kliimamuutuse mõjuga ka tulevikus. Kolmandaks eesmärgiks oli EVKIS abiga võrdlusanalüüsi koostamine hetkel kehtiva Eesti Vabariigi standardiga 848:2013 «Väliskanalisatsioonivõrk» ning hinnata tulemuste rakendatavust.

Algandmed

EMÜ poolt on tehtud ära suur töö andmete digitaliseerimisel kuna suurem osa vanemaid vihmaandmeid olid saadaval vaid paberkandjal. Andmeanalüüsi aluseks on võetud Riigi Ilmateenistuse jaamades mõõdetud vihmade andmed mis on kogutud aastatel 1936–2019. EMÜ analüüsis on kirjeldatud, et aegridade pikkus on varieeruv (10-20min), mõõtmismetoodika, meteoroloogiajaamade asukohad, andmete formaat ja mõõtmise ajasamm on aegade jooksul muutunud. Seetõttu pole andmeread homogeensed. Kuni aastani 2003 on sademete andmeid mõõdetud vaid soojal ajal, reeglina maist – oktoobrini ning alates aastast 2010 on vihma andmed olemas aasta lõikes. Joonis 1 näitab ja p.2.1.2 kirjutatakse, et puuduvad kasutatavad andmed perioodi 2004-2010 kohta kuna siis mõõdeti vihma andmeid automaatjaamadega ühe tunnise sammuga. Seega on andmete analüüsis selle alusel 6 aastane “tühimik”.

Joonis 10 on toodud EMÜ analüüsis kasutatud meteoroloogiajaamade kaart. Samas on Eesti meteoroloogiline seirevõrk oluliselt laiem kui kasutatud 10 jaama. Kokkuvõttes on küll lisatud, et valiti jaamad, mille andmerida oli võimalikult pikk (1950 –2019) aga samas on arvutusvihmade koostamisel võetud aluseks andmed alates aastast 1990 kuni 2019. Analüüsi oleks vajalik lisada täiendav selgitus miks valiti just need jaamad edasiste andmete töötlemisel.

[1] KIK projekt nr 15589, SA Keskkonnainvesteeringute Keskuse ja Eesti Maaülikooli vahel 28.05.2019 sõlmitud lepingu nr. 3-2_3/8691-6/2018



Riigi Ilmateenistuse vaatlusvõrk [http://www.ilmateenistus.ee/ilmateenistus/vaatlusvork/#meteo]

Analüüsis ptk 2.1 väidetakse, et automaatjaamade ajasamm on 10 minutit. Hiljutises andmepäringus Väike-Maarja jaamast esitati andmed 1 minutilise sammuga, samas Haapsalu kohta ei ole paremat infot kui mm/tunnis. Seega on Eestis jaamu, mis mõõdavad sagedamini ja ka harvemini kui 10 minutit. Seda võiks töös käsitleda. Analüüsida tuleks, mis jaamad, mis sagedusega mõõdavad ning esitada Riigi Ilmateenistusele ettepanek millised on võtme tähtsusega jaamad Eestis, mille ajasammu tuleks ühtlustada ühele minutile. Tehniliselt ei ole ilmselt keeruline EMHI poolt mõõtesammu vähendada ning sellest oleks oluline abi tulevaste analüüside koostamisel.

Arusaadavalt ei ole esitatud selgitust miks on välja toodud Tabel 2 Vihmade arv meteoroloogiajaamade kaupa kui seda infot ei kasutata arvutusvihma koostamisel.

Elva ja Tõravere ning Jõgeva ja Tooma andmed on võetud ühtse jaama andmetena. Nimetatud asjaolu vajab põhjendamist.

AS Tallinna Vesi (edaspidi ASTV) edastas EMÜ-le analüüsimiseks ASTV poolt 2013-2019 aastate jooksul Tallinnas ja Sauel kogutud vihmade andmed. Andmeanalüüsis ei ole siiski kasutatud ASTV poolt alates 2013. aastast 1- minutilise sammuga kogutud 10 seirejaama andmeid. Ei ole põhjendatud miks, ning ei selgu, kas antud andmete kohta teostati kontrollarvutusi ja analüüsi, ning mis olid tulemused. Kogu Tallinn on üldistatud Harku mõõtejaama põhiselt mis asub kesklinnast mitmeid kilomeetreid eemal.

AS Tallinna Vesi seirejaamade paiknemine Tallinnas ja Sauel

EVKIS spetsialistid on seisukohal, et kuigi Tallinna andmete aegrida on vaid 7 aastat, annaks nende andmete analüüs olulist infot just vihmade kohta, mille kestvus on alla 20 minuti. Kui võtta arvesse veel, et EMHI poolt 10 minutilise sammuga kogutud andmed algavad aastast 2011 ja ASTV andmed aastast 2013. Eelnevat arvestades on EMHI ja ASTV täpsema sammuga andmete aegridade ajaline vahe 2 aastat, mis ei ole väga suur. Kuigi EMHI ja ASTV sademete mõõtmise metoodikad on erinevad (Keskkonnaagentuur Riigi Ilmateenistus kasutab *weighing bucket* ehk kaalumis meetodit ning ASTV kasutab *tipping bucket* ehk kallutamis meetodit) võivad erinevused olla märkimisväärsed, aga Tallinna andmeid võiks lühikeses perspektiivis siiski kasutada. Linnakeskkonnas võivad kõrguslikud tingimused olla erinevad, mis mõjutab oluliselt ka vihma ja pilvede liikumist. Näiteks analüüsis kasutatav Harku seirejaam asub kõrgendikul ja linnakeskkonnast eemal, lagedal hajaasustusalal ning ei pruugi seetõttu tõeselt peegeldada kogu Tallinna klimaatilisi tingimusi. ASTV vihmamõõtjate näitel võib järeldada, et paduvihmad võivad olla väga lokaalsed ning lühiajalised.

2020. aastal kaitses Riin Uus Tallinna Tehnikaülikoolis magistritöö teemal „Tallinna sademete intensiivsuse analüüs aastatel 2013-2019 ASTV seirejaamade andmetel“. Vaatamata lühikesele vaatlusreale näitasid uuringu tulemused kuidas jaotuvad sademed Tallinna linnas, missugused on valdavad vihmad, nende kestvus ja intensiivsus. Kui lugeda Riin Uus magistritööd, siis perioodil 2013-2019 oli Tallinnas vihmade arv 3775 vihma. Nendest vihmade arv, mis kestsid 5, 10 ja 15 min oli 2774 vihma ehk 73 %. Tuvastatud vihmade suure arvu tingis vihma alguse ja lõpu väga kitsas määratlemine ja vihmade vahe 15 min. Tallinna vihmad on üks osa Eesti vihmadest millega võiks EMÜ uurimistöös siiski arvestada ja näiteks hinnata kas aruandes välja pakutud valem ühtib 5 ja 10 minutiliste vihmade korral mõõdetud vihmadega.

2020. aastal kaitses Inga Tennokese Tallinna Tehnikaülikoolis magistritöö teemal „Tallinna sademete intensiivsuste analüüs aastatel 2010-2018 riigi ilmateenistuse Tallinn-Harku aeroloogiajaama andmetel“. Töös analüüsiti põhjalikumalt 10 minutilise sammuga kogutud Harku jaama andmeid ning teostati ka maksimaalsete intensiivsuste võrdlus ASTV andmetega. ASTV ja EMHI sademete maksimaalsete intensiivuste võrdlemisel nähtus, et graafikute kujud on vaatamata arvude mõningale erinevusele sarnased aga lühemate vihmade maksimaalsed intensiivsused on ASTV andmete põhiselt suuremad ning pikemate vihmade maksimaalsed intensiivsused madalamad. EMHI 60 minuti vihmade maksimaalsete intensiivuste väärtused aga peaaegu ühtisid ASTV-ga, siis mida lühemaks läks vihma kestvuse periood, seda suuremaks läks väärtuste erinevus.

Mõlemas eelpool mainitud magistritöös on vihma algus ja lõpp defineeritud metoodiliselt teisel alusel - vihmaks on loetud sündmust, kus vähemalt 10 minuti jooksul on esinenud sademeid alates kogusest 0,1 mm ja vihmade vahe on olnud vähemalt 15 minutit. Sellega haaratakse valimisse ka oluliselt lühemad vihmad, mis on toimunud vähem kui 3 tunni jooksul. Mõistame, et mõlemad tööd on Tallinna kesksed, aga siiski annavad teatud pildi alla 20 minutilistest vihmadest.

2017. aastal analüüsis Tea Tõnts Tallinna Tehnikaülikoolis oma magistritöös „Sademete vooluhulkade dimensioneerimisel ning teedelt ärajuhtimise probleemid“ Riigi Ilmateenistuse sademeveemõõturite 1h sammuga andmeid perioodil 2007-2016.a. Selgus, et vihmad mis normide kohaselt peaks esinema iga kümne aasta järel või harvemini, on esinenud perioodil 2007-2016 igal aastal, mis on ohu märgiks sademevee dimensioneerimisel. Töös on jõutud samuti järeldusele, et vajalik on sademete intensiivsuse mõõtmine minutilise sammuga, eelkõige aladel, kus juba üleujutused toimuvad. Tunni kaupa mõõtmised ei anna vajaliku täpsusega andmeid analüüsiks ja projekteerimiseks. Oluline on minuti kaupa vihmaveehulkade mõõtmine ka Pärnus ja Tartus.

EMÜ aruandes ei ole defineeritud, mille alusel on antud 3 tunnist põhimõtet kasutatud ning kuidas on see kooskõlas teiste varem koostatud uuringutega. Kui palju statistiliselt mõjutab vihmade vahelise perioodi lühendamine väiksemaks kui 3 tundi.

Leiame, et mõistlik oleks arvestada maksimaalselt kõiki Eestis tehtud sademevee teemalisi teadustöid ja uuringuid.

Vihma andmete analüüs

Ptk 3.1 tabel 3 vajaks üle vaatamist ja selgitusi. Tabelis on esitatud maksimaalsed vihmade intensiivsused, mis kõik on aastakümnete tagused juhtumid (1965 – 1980). Nt Tallinna maksimaalne vihm on mõõdetud 1972.a. Kas hilisemad vihmad olid kõik väiksema intensiivsusega? Samas sissejuhatuses on toodud näitena Tallinna paduvihm aastast 2017 ning üldise kliimamuutuse suundumuse kirjeldus - mida aeg edasi seda intensiivsemaks vihmad muutuvad. Seega võiks eeldada, et maksimaalsed vihmade intensiivsused on mõõdetud just viimastel aastatel?

Ptk 3.2 Kliimamuutus lähitulevikus. Vt märkus ptk 4 all. See peatükk tuleks kokku siduda (viidata) RCP stsenaariumitega ja „Eesti tuleviku kliimastsenaariumid aastani 2100“ tööga. RCP kohta on olemas juhised, kuidas soovitud korduvusega vihma intensiivsuse kõverat soovitud RCP stsenaariumis luua. See võiks olla midagi, millest inseneridel on hea lähtuda. Eelis on see, et arvutusmetoodika on kogu Euroopas sama (arvestades muidugi kohalikke tingimusi), seega saame kogemusi vahetada kõigi naaberriikidega. Eelnevalt lähtudes ei ole töös pakutud juhis suurendada arvutusvihmasid kümnendi kohta 4% (näiteks aastaks 2100 32%) hetkel kooskõlas RCP-dega, mis on sajandi lõpuks 19%. Töös vajab see osa selgitust ja võrdlust kuna protsentuaalne vahe on oluline. Ka Soome sademevee juhises on sajandi lõpuks +20% soovitus sees.

Ptk 3.3 Arvutusvihmad Eestis. Miks on alumiseks kestvuse piiriks võetud 20 min? Kas seda võiks vähendada arvestades kliimamuutuste mõju – nt alustada 10 min, 15 min jne? Olles analüüsinud ASTVi mõõtetulemusi, nt 2017. aasta paduvihma kohta Tallinnas, siis selle kestvus oli ca 15 minutit. Vihma kestvus võetakse

võrdseks kokkuvooluajaga. Linna tingimustes on kinnistutel sademevee kokkuvooluajad reeglina lühemad kui 20 minutit (5-10 min). Kinnistute osas on õigete sademeveekoguste leidmine oluline just selleks, et linna tingimustes dimensioneerida korrektselt sademevee rajatisi (k.a. ühtlustusmahuteid).

Kliimamuutuste mõjuga arvestamine

EMÜ analüüsis on kliimamuutuste osas kasutatud Man-Kendalli statistilise trendianalüüsi mitmeparameetilist testi. Trendi tõusukordaja ehk mediaanmuutus ühe aasta kohta leiti kasutades Sen´i langu meetodikat.

Töös jääb arusaamatuks, kas kliimamuutuste mõjuanalüüsis on võetud aluseks andmed alates aastast 1936 või alates aastast 1990.

Kliimamuutuse ja Eesti valingvihma intensiivistumise kirjeldamise lõpp-tulemust tuleks parema mõistmise huvides dekaadi ja kvartiilhaarde asemel presenteerida lihtsamalt näiteks aasta põhiselt. EMÜ töös kasutav mõiste “dekaad” võib jääda ebaselgeks kuna üldiselt mõistetakse selle all EKI alusel mõistet kümmepäevak, kümme päeva. Arusaadavam oleks kasutada terminit kümnend.

EMÜ analüüsi tulemusena on tehtud ettepanek kasutada varutegurina 4% kümnendi kohta ehk arvestades süsteemi elu iga 50 aastat oleks see 20%.

Keskkonnaagentuuri poolt on koostatud töö „Eesti tuleviku kliimastsenaariumid aastani 2100“ millega antakse ülevaade nii Eestis möödunud sajandi jooksul toimunud kliimamuutustest kui ka projektsioonidest ja hinnangutest tuleviku kliimale Eestis kuni aastani 2100. Tabel 10 võtab kokku sademete suhtelise muutuse, mida täiendavad joonised 15 ja 16. Väärtus 0,1 vastab 10 % kasvule, -0.1 vastavalt 10 % kahanemisele. Tabelist on näha, et kõigi arvutatud ajaperioodide ja stsenaariumite puhul on täheldatav sademete hulga kasv. Kasv on suurem sajandi lõpuks ja suurema KHG kontsentratsiooni korral. Sajandi lõpuks esinevad suuremad sademete hulgad kevadkuudel, perioodil 2041-2070 pigem suvekuudel. Väikseim sademete muutlikkus esineb sügiskuudel. Joonistel 15 ja 16 esitatud geograafiline jaotus näitab selgelt, et talve- ja kevadkuudel on sademete suurenemist oodata pigem maismaal ning suve- ja sügiskuudel pigem mere kohal.

Kuigi kõigi mudelite keskmisena on oodata sademete kasvu, on üksikute mudelite ja kuude vahelised erinevused suured ning esineb ka kuid, mille jaoks üksikud mudelid prognoosivad sademete vähenemist. Näiteks KNMI puhul RCP8.5 jaanuaris 2041-2070 (joonis 39g) ning SMHI ja KNMI puhul RCP4.5 oktoober 2071-2100 (joonised 38f ja 38g). Ükski mudel ei näita siiski sesoonset sademete alanemist, kuid mudelite vaheline erinevus demonstreerib siiski sademete modelleeritavuse keerukust ja kaootilist iseloomu.

RCP Representative Concentration Pathway, IPCC AR5-s välja toodud stsenaarium, mis on koostatud olemasoleva teaduskirjanduse ja metoodikate põhjal sõltumatute uurimiskeskuste poolt sõltumatute meetoditega. Erinevalt varasematest stsenaariumitest püütakse arvesse võtta ka kliimamuutuste tagasisidet ühiskonna arengule (sh, aga mitte ainult, leevendavate meetmete kasutuselevõttu, tehnoloogiate arengut, maakasutust jne). Eesti riikliku kliimamuutuste mõjuga kohanemise strateegia ja rakenduskava ettepaneku väljatöötamisel on soovitatav lähtuda stsenaariumist RCP4.5 kui igal juhul kätte jõudvast minimaalsest kliimamuutuse tasemest ning lisastsenaariumina kasutada RCP8.5 ekstreemsete kliimamuutuse kirjeldamiseks. Aasta keskmine sademete hulga kasv 19 % RCP8.5 korral on väga heas kooskõlas AR5 sademete prognoosiga, milles Eesti ala jääb vahemikku 10-20 %.

Lätis koostatud kliimamuutuste uuringu kohaselt ennustatakse sajandi lõpuks Lätis sademete kasvu 13-16% aastaks 2100 vastavalt stsenaariumitele RCP4.5 ja RCP8.5.

Sellest lähtuvalt tuleb arvestada ka Keskkonnaagentuuri poolt koostatud tööga „Eesti tuleviku kliimastsenaariumid aastani 2100“ning viia töö tulemused kokku kliima stsenaariumitega (RCP4.5, RCP8.5). Tallinna Tehnikaülikoolis on käimas projekt NOAH (Protecting Baltic Sea from untreated wastewater spillages during flood events in urban areas) kus muuhulgas modelleeritakse kuue pilootlinna, mis paiknevad ümber

Läänemere, sademevee süsteeme. Selleks, et valitud kliima stsenaariumid oleks ühestel alustel ja võrreldavad, kasutatakse seal justnimelt RCP stsenaariume. Seega oleks oluline luua selge seos nende stsenaariumite ja EMÜ poolt pakutud metoodika vahel.

Andmete analüüs ja arvutusvihma koostamise metoodika

EMÜ analüüsi p 3.2 lõpus toodud põhjenduste alusel koostatakse arvutusvihmad mõõteperioodi 1990-2019 kohta ehk viimase 29 aasta andmete alusel. EMÜ uuringus P.2.4 kirjeldatakse arvutusvihma koostamist, aga kestvus hakkab alates 20 minutist, mis on selgelt liiga pikk. Arvutusvihma minimaalne kestvus võiks olla vähemalt 10 min. Samas on tabelis 4 toodud ka 10 minuti maksimaalsed vihmad. EMÜ väitel saab tehniliselt Bernardi valemit kasutada ka 5 minutise vihma korral ning lisada joonisele 9 ka 10 minutilise vihma, aga 5 minutilise osas seda algandmete puudumise tõttu teha ei saa. Analüüs kirjeldab, et vähimruutude meetodil hinnatud Bernard`i, Talbot`i, Kimijima`i ja Sherman`i valemite sobivust Eesti tingimustesse. Ei ole analüüsitud Bernardi valemi kasutamist ega võrreldud kehtiva standardipõhise metoodikaga, mis näitab, et Bernardi valem on parem. Bernhardi valem on toodud analüüs punktis 2.4 valemina 8. Kirjeldatud on kahte valemit. Ei selgu, kumba valemit kasutatakse ning milline on arvutatava väärtuse ühik. Eelduslikult on see mm/h aga see on vaja välja tuua ning ka teisendus tavapärasemale ühikule l/s*ha kohta. Samuti oleks selgem kui valem tuuakse välja ka punktis 3.3 kus vähimruutude meetodil on valem juba välja valitud.

Analüüsis tuleks täpsemalt selgitada kasutatud analüüsi metoodikat ning põhimõtteid. Hetkel on viidatud, et kasutatakse skripti R-i keskkonda, kus lineaarse ajainterpoleerimisega arvutatakse välja vihma kogused 1 mm sammuga. Igale vihmale leiti maksimaalne vihmakogus (mm). Peale seda teostati vihmade filtreerimine Exceli keskkonnas. Kas mingid vihmad ka analüüsist kõrvale jäeti? Näiteks kasutades 95% usalduspiiri? Kas lineaarse ajainterpoleerimisega ei oleks saanud kasutada ka EMHI 2004-2010 andmeid arvestades, et ka eelnevalt on erinevate jaamade mõõtesamm olnud erinev? Töös kasutatakse arvutusvihma koostamiseks teoreetilist ekstreemväärtuse Gumbeli jaotusfunktsiooni. Vajalik on lahti selgitada, mille alusel valiti Gumbel ning kas kaaluti ka alternatiivseid meetodeid. Eraldi on välja toodud, et Gumbeli jaotusfunktsioonis on võimalik arvutada suurema kui ühe aasta pikkuse korduvusperioodile vastavaid väärtuseid.

Pakutud metoodika põhiste arvutustulemuste võrdlus EVS standardiga 848:2013 «Väliskanalisatsioonivõrk»

EVKIS spetsialistide poolt on teostatud kontrollarvutused, milles võrreldi vihmade intensiivsusi arvutatud EVS 848:2013 standardi põhjal arvutusvihma parameetritega ja EMÜ pakutud metoodika põhise arvutusvihma parameetritega, arvutusvihma kestvus 5, 10, 20, 40 ja 60 minutit ning 1, 2, 3 ja 5 aasta korduvusega. Kontrollarvutuse mõte oli välja selgitada kas ja kui palju erinevad arvutatud intensiivsused.

Allpool esitame 20 minuti kestvusega vihma intensiivsuse arvutuse tulemused, kuna lühema kestvusega vihmasid EMÜ metoodika ei käsitle.

Intensiivsuse arvutuse tulemused vastavalt EVS 848:2013 standardile

kestvus\korduvus	1a	2a	3a	5a
20 min	Intensiivsus *q, l/(s*ha)*			
Tallinn	69,5	86,2	96,0	108,4
Tartu	81,2	103,7	116,8	133,4
Pärnu	80,0	98,3	109,0	122,5
Kuressaare	65,0	78,1	85,8	95,4
Võru	81,7	99,9	110,5	124,0
Paide	80,0	101,2	113,6	129,2
Ida-Virumaa	77,3	96,8	108,3	122,7

Intensiivsuse arvutuse tulemused vastavalt EMÜ pakutud metoodikale

kestvus\korduvus	1a	2a	3a	5a
20 min	Intensiivsus *q, l/(s*ha)*			
Tallinn	90,1	114,2	131,2	156,2
Tartu	101,4	128,0	146,7	174,2
Pärnu	97,1	121,4	138,4	163,2
Kuressaare	76,4	95,9	109,6	129,5
Võru	106,6	132,9	151,2	177,9
Paide	95,7	121,3	139,3	165,9
Ida-Virumaa	105,3	135,3	156,6	188,3

EVS 848:2013 standardi ja EMÜ metoodika põhine intensiivsuste vahe l/(s*ha)

kestvus\korduvus	1a	2a	3a	5a
20 min	Intensiivsuste vahe l/(s*ha)			
Tallinn	20,6	28,0	35,2	47,9
Tartu	20,2	24,3	29,9	40,7
Pärnu	17,1	23,1	29,4	40,8
Kuressaare	11,4	17,8	23,8	34,1
Võru	24,9	33,0	40,7	53,9
Paide	15,7	20,1	25,7	36,7
Ida-Virumaa	28,0	38,4	48,3	65,6

EVS 848:2013 standardi ja EMÜ metoodika põhine intensiivsuste vahe %-des

kestvus\korduvus	1a	2a	3a	5a
20 min	Intensiivsuste vahe %-des			
Tallinn	29,6%	32,4%	36,6%	44,2%
Tartu	24,9%	23,5%	25,5%	30,5%
Pärnu	21,3%	23,5%	27,0%	33,3%
Kuressaare	17,6%	22,8%	27,7%	35,7%
Võru	30,5%	33,0%	36,8%	43,5%
Paide	19,6%	19,9%	22,7%	28,4%
Ida-Virumaa	36,3%	39,7%	44,6%	53,5%

Võrdlusest selgub, et arvestades erinevate linnade andmeid, annab EMÜ metoodika keskmiselt 26% kuni 38% suurema intensiivsuse sõltuvalt millise korduvusega vihma arvutatakse. EMÜ metoodika kohaselt on Eestis valingvihmad intensiivistumas 4% 10 aasta jooksul. Kui arvestada torustiku elueaks 50 aastat, tuleks arvutatud intensiivsusele veel lisada 20%. Tekib kahtlus, kas on tõenäoline nii drastiline sademete intensiivsuse tõus kui Keskkonnaagentuuri poolt on koostatud töö „Eesti tuleviku kliimastsenaariumid aastani 2100“ prognoosib väiksemat kasvu. See tooks koheselt kaasa projekteeritavate sademeveesüsteemide võimaliku üledimensioneerimise ning ehitushinna kallinemise.

Selguse huvides oleks EMÜ metoodikale tuginedes hea tulevikus standardis kasutada ühtset valemit kõigi intensiivuste kohta.

Pakutud metoodika rakendatavus Eestis

EMÜ poolt välja pakutud metoodika on matemaatiliselt kasutatav. Samas tekitab küsimusi asukohapõhiste parameetrite a, b ja c uuendamine tuginedes ainult osadele valitud jaamadele ja nendes mõõdetud andmetele mida tuleb EMÜ metoodika kohaselt tungivalt teha 10 aasta pärast.

Võrreldes olemasoleva metoodikaga teeb kaartidelt parameetrite leidmise lihtsamaks see, et töö lõppu on lisatud tabel kus kõik parameetrid on välja toodud suuremate asulate kaupa. Innovaatiline oleks lisada veel link digitaalsetele kaartidele, kus hiire liigutamisel või koordinaatide sisestamisel saab leida õige väärtuse.

Kuna analüüsi koostamisel kasutatavad andmed on oluliselt ajakohasemad kui olemasoleva standardi metoodika aluseks olevad vihmaandmed, siis võib eeldada, et need peegeldavad paremini ka tegelikku olukorda.

Kokkuvõte

1. Antud metoodika on rakendatav olukorras, kus on pikad kokkuvoolu ajad (pikemad kui 20 minutit). Linnatingimustes, kus on valdavalt kõvakattega pinnad ja kokkuvooluaeg on lühike, EMÜ poolt välja pakutud metoodika rakendamise osas ei ole tänasel hetkel võimalik hinnangut anda.
2. Teadustöö mõttes oleks tänuväärt siiski põhjalikumalt uurida milline on vahe EMHI 10 minuti sammuga keskendatud ja ASTV poolt 1 min sammuga kogutud mõõtmisandmete põhise analüüsi korral.
3. Vajalik on kasutatav terminoloogia töö alguses täpselt fikseerida - valingvihm, paduvihm, vihm, lühiajaline vihm, vihma intensiivsus, mõõtühikud, dekaad jne.
4. Vaja on täpselt välja tuua millist Bernhardi valemit kasutatakse ning milline on mõõteühik ja kuidas toimub teisendus levinumale mõõteühikule l/s*ha.
5. p.3.2 lõigu tekst „ Lisaks näitas MK test statistiliselt olulist trendi ka Sõrve rannikujaamas, 180 minuti kestusega valingvihmale.“ Tavamõistes valingvihm aga reeglina ei kesta 3 tundi.
6. Joonisel 10 on näidatud meteoroloogiajaamade plaaniline jaotus Eestis, mida arvutusvihmade koostamisel kasutati. Sisendiks kasutati mõõtmisperioodi 1990-2019 iga aastaseid suurimaid vihmasid järgnevatel kestvustel: 20, 30, 40, 60, 90, 120, 180 ja 360 minutit. Intensiivsemate vihmade kestvus jääb aga reeglina alla 20 min.
7. Aruande p.2.3 kirjutatakse, et „Alates aastast 2011 on Riigi Ilmateenistuse andmed saadaval automaatjaamadest, kus maha sadanud vihmakogus on antud iga 10 minuti järel ühe rea kirjena. Iga ilmajaama kohta on ligikaudu 0,5 miljonit rida andmeid, mida analüüsis kasutati. Sellel perioodil defineeriti uueks vihmajuhtumiks olukord, kus vähemalt 3 tunni jooksul ei ole vihmsadu mõõdetud. Antud reeglit/kriteeriumit on kasutatud Riigi Ilmateenistuse poolt ka varasemalt, seega jäljendatakse ühtset andmete ülesehituse loogikat ka edaspidiselt.“ EMHI koolitusel kõlas aastal 2011 Külli Loodla poolt selgitus, et 1 vihmasadu on vihm, millel pole pikemaid pause kui 15 minutit. Kui EMHI seisukoht vihma alguse ja lõpu definitsiooni osas on vahepeal muutunud, on mõistlik see üle täpsustada. Võttes vihmade vaheks 3 tundi, jäävad paratamatult lühemad ja intensiivsemad vihmad tähelepanuta, ning tipud keskenduvad.
8. Töös pakutud juhis suurendada arvutusvihmasid kümnendi kohta 4% (näiteks aastaks 2100 32%) ei ole hetkel kooskõlas RCP-dega, mis on sajandi lõpuks 19%. Töös vajab see osa selgitust ja võrdlust kuna protsentuaalne vahe on oluline.
9. Ei ole üheselt arusaadav mis hetkest ja kuidas rakendada klimaatilise mõju tegurit.
10. Metoodika kasutamist hõlbustaks kui töö lõpus on toodud mõned arvutusnäited kuidas rakendada pakutud metoodikat kinnistute, planeeringute, linna tänavate puhul.
11. Arvestades kui suurt mõju avaldab valingvihmade iga-aastane intensiivistumine ja sademete muutus ajas, vajaks täpsemat võrdlemist teiste uurimustöödega EMÜ metoodikas toodud vihma intensiivsuse suurenemise %.
12. Sademeveekanalisatsiooni praegused arvutusalused ja nende kasutamine projekteerimisel vajab omaette täiendavat analüüsi. Standard oma metoodikaga on küll olemas aga tihti tehakse arvutused lihtsalt q20 alusel ja ei enamat. Katuste puhul samamoodi. EVKIS spetsialistid on seisukohal, et tekkinud probleemid uputustega ei ole ainult kliimamuutuse vaid ka kehtiva metoodika tõlgendamise viga. EVS Standardit 848 tuleb kindlasti uuendada, näiteks vesikonna pealiinide asukoha reljeefist tulenev P valik aga mitte ainult seda.
13. Selgitada välja pakutud hüdroloogilise riski valemi kasutamist metoodikas ja vihmade korduvust.

Eesti Veevarustuse ja Kanalisatsiooniinseneride Selts MTÜ poolt osalesid järgnevad spetsialistid kes omavad volitatud veevarustuse- ja kanalisatsiooniinsener tase 8 välisveevarustus ja kanalisatsioon alleriala kutset:

Raivo Aidlo
Anne Altpere
Karin Pachel
Nils Kändler
Margus Koor
Marti Vaksmann
Malle Ütt
Joonas Vaabel

Kasutatud kirjandus

- Riin Uus Tallinna Tehnikaülikoolis magistritöö teemal „Tallinna sademete intensiivsuse analüüs
  aastatel 2013-2019 ASTV seirejaamade andmetel“.
- Inga Tennokese Tallinna Tehnikaülikoolis magistritöö teemal „Tallinna sademete intensiivsuste
  analüüs aastatel 2010-2018 riigi ilmateenistuse Tallinn-Harku aeroloogiajaama andmetel“
- Tea Tõnts Tallinna Tehnikaülikoolis magistritöö teemal „Sademete vooluhulkade dimensioneerimisel ning teedelt ärajuhtimise probleemid“
- Keskkonnaagentuuri poolt on koostatud töö „Eesti tuleviku kliimastsenaariumid aastani 2100“
- Soome sademevee arvutamise juhised “Hulevesiopas”.
- Läti kliima muutuste uuring “CLIMATE CHANGE SCENARIOS FOR LATVIA”: https://www4.meteo.lv/klimatariks/files/summary.pdf