



Kliimamuutustega kaasneva üleujutusohu prognoosimine Emajõe vesikonnas ning leevendavate meetmete määramine Tartu linna üleujutusriskiga aladel

Töö teostatud projekti iWater raames

Tellijaja: Tartu Linnavalitsus, linnaplaneerimise ja
maakorralduse osakond, üldplaneeringu- ja arenguteenistus

Tööde koordineerija: Alkranel OÜ, Elar Põldvere

2018



Publitseerimise üldandmed:

- Töö koostatud - 04.04.2018. a.
- Tööd täiendatud - 12.04.2018. a.
- Töö tellija - Tartu Linnavalitsus, linnaplaneerimise ja maakorralduse osakond, üldplaneeringu- ja arenguteenistus.
- Töö koostajad;
 - Elar Põldvere (Alkranel OÜ), sh tööde koordineerija.
 - Kaari Susi (Alkranel OÜ).
 - Toomas Tamm (Alkranel OÜ, töövõtulepingu alusel; Eesti Maaülikool (www.emu.ee)).
 - Ottar Tamm (Alkranel OÜ, töövõtulepingu alusel; Eesti Maaülikool (www.emu.ee)).
 - Urmas Nugin (Inseneribüroo Urmas Nugin OÜ).
- Alkranel OÜ (www.alkranel.ee) - keskkonnavalased konsultatsioonid, aastast 1999.
- Inseneribüroo Urmas Nugin OÜ (www.ibun.ee) - projekteerimisteenused, aastast 2000.

Sisukord

Sisukord.....	3
Sissejuhatus.....	5
1. Töö piirkonnast ning alusandmetest, lühidalt.....	6
2. Paikkonna ehk Tartu sademetest	7
2.1 Sisendandmed ja temaatika tausta tutvustus	7
2.2 Sademete režiim - sademeveehulgad	8
2.3 Sademete režiim - sajuperioodi aeg ja pikkus	11
2.4 Sademete režiim - ekstreemsademed	12
2.5 Sademete režiim - koondhinnang.....	13
3. Emajõe üleujutuste hüdroloogiline analüüs Tartu aladel.....	14
3.1 Sisendandmete ja temaatika tausta tutvustus	14
3.2 Ajaloolised kõrgeimad veetasemed	14
3.3 Millistes olukordades tekivad üleujutused?.....	17
3.4 Emajõe lang Tartu piires.....	24
3.5 Emajõe veetasemest ja ületustõenäosustest tingitud piirkonnad.....	27
3.6 Tartu üleujutusi teoreetiliselt vähendavad nõuanded ning veetasemete seiresoovitused (Emajões).....	28
4. Emajõe üleujutusriskid Tartus ja nendega seotud meetmed.....	30
4.1 Sisendandmed ja temaatika tausta tutvustus	30
4.2 Emajõe üleujutusriskide teemakaardid Tartus, sh nende teostuspõhimõtted.....	31
4.3 Emajõe üleujutusriskidega seotud põhimeetmed Tartus	34
5. Automaatilmajaamade asukohaettepanekud ilmastiku jälgimiseks.....	37
Kokkuvõte	39
Kasutatud kirjandus	41

Lisad:

Lisa 1. Teemakaart - Tartu üleujutuspiirkond I lõunaosa tsoonidega, kõrgussüsteemis EH2000 (jpg; alus Maa-amet, 2018).

Lisa 2. Teemakaart - Tartu üleujutuspiirkond I põhjaosa tsoonidega, kõrgussüsteemis EH2000 (jpg; alus Maa-amet, 2018).

Lisa 3. Teemakaart - Tartu üleujutuspiirkonnad II kuni IV tsoonidega, kõrgussüsteemis EH2000 (jpg; alus Maa-amet, 2018).

Lisa 4. Teemakaart - Tartu üleujutuspiirkonnad V kuni VI tsoonidega, kõrgussüsteemis EH2000 (jpg; alus Maa-amet, 2018).

Lisa 5. Teemakaart - Tartu üleujutuspiirkond VII tsoonidega, kõrgussüsteemis EH2000 (jpg; alus Maa-amet, 2018).

Lisa 6. Teemakaart - Tartu üleujutuspiirkonnad I kuni VII tsoonidega, kõrgussüsteemis EH2000 (pdf; alus Maa-amet, 2018).

Lisa 7. Tartu üleujutuspiirkond I (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).

Lisa 8. Tartu üleujutuspiirkond II (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).

Lisa 9. Tartu üleujutuspiirkond III (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).

Lisa 10. Tartu üleujutuspiirkond IV (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).

Lisa 11. Tartu üleujutuspiirkond V (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).

Lisa 12. Tartu üleujutuspiirkond VI (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).

Lisa 13. Tartu üleujutuspiirkond VII (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).

- Lisa 14.** Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII ja tsoonide nimetused (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).
- Lisa 15.** Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 25% tõenäosuse tsooni põhijoon Emajõe paremkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).
- Lisa 16.** Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 25% tõenäosuse tsooni põhijoon Emajõe vasakkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).
- Lisa 17.** Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 5% tõenäosuse tsooni põhijoon Emajõe paremkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).
- Lisa 18.** Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 5% tõenäosuse tsooni põhijoon Emajõe vasakkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).
- Lisa 19.** Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 1% tõenäosuse tsooni põhijoon Emajõe paremkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).
- Lisa 20.** Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 1% tõenäosuse tsooni põhijoon Emajõe vasakkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).
- Lisa 21.** Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 1% tõenäosuse + 0,5 m tsooni põhijoon Emajõe paremkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).
- Lisa 22.** Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 1% tõenäosuse + 0,5 m tsooni põhijoon Emajõe vasakkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).
- Lisa 23.** Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 1% tõenäosuse + 0,8 m tsooni põhijoon Emajõe paremkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).
- Lisa 24.** Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 1% tõenäosuse + 0,8 m tsooni põhijoon Emajõe vasakkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).
- Lisa 25.** Tartu üleujutuspiirkondade esitlus (ppt; ei lisata paberil paberkõitele).



Sissejuhatus

Käesoleva töö „Kliimamuutustega kaasneva üleujutusohu prognoosimine Emajõe vesikonnas ning leevendavate meetmete määramine Tartu linna üleujutusriskiga aladel” on tellinud Tartu Linnavalitsus, linnaplaneerimise ja maakorralduse osakond, üldplaneeringu- ja arenguteenistus. Töö on teostatud projekti iWater raames.

Töö teostamise koordineerimise eest vastutab asjakohase ja Tartu linnaga sõlmitud leppe alusel Alkranel OÜ. Töödega seotud Alkranel OÜ põhimeeskond:

- Elar Põldvere (Alkranel OÜ), sh tööde koordineerija.
- Kaari Susi (Alkranel OÜ).
- Toomas Tamm (Alkranel OÜ, töövõtulepingu alusel; Eesti Maaülikool).
- Ottar Tamm (Alkranel OÜ, töövõtulepingu alusel; Eesti Maaülikool).
- Urmas Nugin (Inseneribüroo Urmas Nugin OÜ).

Töö viidi läbi peale 2017. a haldusreformi ehk Tartu linna koosseisu kuulub ka endine Tähtvere vald, millega töö koostamisel arvestati. Töös keskendutakse Emajõest tulenevatele üleujutusriskidele.

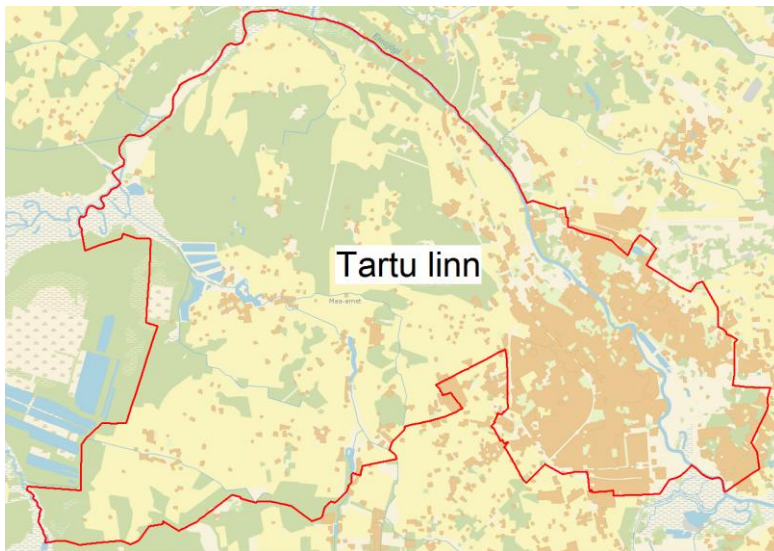
Töö põhieesmärkideks:

1. Kirjeldada viimaste aastakümnete andmetele tuginedes prognoositavaid ilmastiku muutusi Tartus. Mh anda ülevaade sademete režiimi muutustest (sademeveehulgad, sajuperioodide aeg ja pikkus, äkktulvade sagedus) aastani 2050+. Näidata ilmastiku võimalike muutuste seoseid jõe veerežiimiga.
2. Esitada erineva tõenäosusega esinevaid üleujutusriske kajastav kaart. Kaardil anda tulevikku suunatud, erineva tõenäosusega üleujutusriskiga alad, mille osas tuleb rakendada ehitamisel leevendavaid meetmeid, eraldi tuua välja alad, kus tuleb rakendada punktis 3 nimetatud tingimusi.
3. Anda üleujutusriskiga uushoonestusalade ja juba hoonestatud alade ning rajatiste ehitamise (sh sademeveetorstike) minimaalsed kõrgusmärgid ruumimudeliga prognoositud võimalikel üleujutusosaladel.
4. Esitada ilmastiku jälgimiseks automaatilmajaamade asukohavalikud. Kirjeldada mõõdetavaid karakteristikuid ja pakkuda välja automaatilmajaama mudel.
5. Esitada tööd tutvustav esitlus.

Töö põhieesmärkide täitmiseks toimusid mh töö tellijaga töökoosolekud ning töö teostamisest teavitati ka Keskkonnaametit ja Keskkonnaministeeriumit (e-kirjade adressaadid - Ivo.Ojamae@keskkonnaamet.ee, kaili.viilma@keskkonnaamet.ee, triin.magi@keskkonnaamet.ee, silja.jakobi@keskkonnaamet.ee, agne.aruvali@envir.ee).

1. Töö piirkonnast ning alusandmetest, lühidalt

Töö „Kliimamuutustega kaasneva üleujutusohu prognoosimine Emajõe vesikonnas ning leevendavate meetmete määramine Tartu linna üleujutusriskiga aladel” piirkonda ehk Tartu linna ala iseloomustab joonis 1.1. Töös keskendutakse Emajõest tulenevatele üleujutusriskidele.



Joonis 1.1. Tartu linna territoorium. Alus: Maa-amet, 2018.

Peamised töö „Kliimamuutustega kaasneva üleujutusohu prognoosimine Emajõe vesikonnas ning leevendavate meetmete määramine Tartu linna üleujutusriskiga aladel” alusandmed pärinevad:

- Tartu Linnavalitsuselt (mh erinevad kaardiandmed ja muu alusandmestik töö eesmärkide täitmiseks).
- Eesti Maaülikoolilt (mh erinevad ajaloolised alusandmed töö eesmärkide täitmiseks).
- Veeteede Ametilt (mh erinevad ajaloolised alusandmed töö eesmärkide täitmiseks).
- Keskkonnaagentuurilt (sh erinevate veekogumite ajaloolised mõõteandmed, vooluhulkade ja veetasemete tõenäosusarvutused ning Tartuga seonduvad sademete andmed).
- Keskkonnaministeeriumi interneti kodulehelt - <http://www.envir.ee/et/uleujutused>.
- Maa-ametilt (mh LIDAR (<http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Topograafilised-andmed/Korgusandmed/Aerolaserskanerimise-korguspunktid-p499.html>) kõrgusandmete (kõrgussüsteem EH2000) toorandmed - tava- ja madallend (andmed edastatud Alkranel OÜ-le 01.02, 02.02 ning 12.03 ja 14.03.2018. a)).

Vastavaid alusandmeid kasutati edasises töös, projekti eesmärkide täitmiseks. Töö lõpptulemused arvestavad ka 2018. a alguses toimunud ja riikliku kõrgussüsteemi reformi (<https://www.maaamet.ee/et/uudised/eestis-arvestatakse-sellest-aastast-korgusi-ja-sugavusi-euroopa-korgussusteemi-suhtes>). Ehk varasemast absoluutkõrguse alusväärtusest - Kroonlinna nullist (BK77) loobuti ja üle mindi Euroopa ehk rahvakeeli Amsterdami nulli kõrgussüsteemi (EH2000).



2. Paikkonna ehk Tartu sademetest

Ptk on koostatud, arvestades tööde eesmärgi ning jaotatud alampeatükkideks, parema arusaadavuse tagamiseks.

2.1 Sisendandmed ja temaatika tausta tutvustus

Sademetest režiimi muutuste analüüsi aluseks kasutatakse Riigi Ilmateenistuse Tartu-Tõravere meteoroloogiajaamas mõõdetud sademetest andmeid. Antud jaam asub umbes 20 km kaugusel Tartu linnast, olles lähim tegutsev meteoroloogiajaam, mida antud analüüsis võimalik kasutada. Nimetatud jaama mõõtmisandmetest on analüüsis kasutatud perioodi aastast 1981 kuni 2010, seega kokku 30 aastast perioodi.

Sademetest režiimi võimaliku muutuste ülevaate andmiseks aastani 2050+ kasutati kahte regionaalse kliimamudeli väljundit, mida käsitletakse ühtlasi ka kui riiklikult soovitatavate mudelitenä (Eesti tuleviku kliimastenaariumid aastani 2100). Mõlemad baseeruvad globaalsel kliimamudeli ECHAM5. Esimene on regionaalne kliimamudel DMI-HIRHAM5 (DMI; Christensen jt, 2007) ja teine on KNMI-RACMO (KNMI; van Meijgaard jt, 2008). Mõlemas kliimamudelis on kasutatud RCP 4.5 (optimistlik) kliimamuutuste stsenaariumit, mis on riiklikult soovitatav põhistsenaarium Eestis (Eesti tuleviku kliimastenaariumid aastani 2100).

Kliima on muutumas ja sellest tingituna on muutumas ka üleujutuste iseloom ja põhjused. Nähtavalt on tõusnud linnasiseste üleujutuste arv Tartu linnatänavatel, mille üheks põhjustajaks on olnud intensiivsed hoogvihmad. Samas jällegi Emajõe poolt põhjustatud kevadised üleujutused ei ole viimastel aastakümnetel olnud nii ulatuslikud, kui eelmise sajandi alguses mõõdetud.

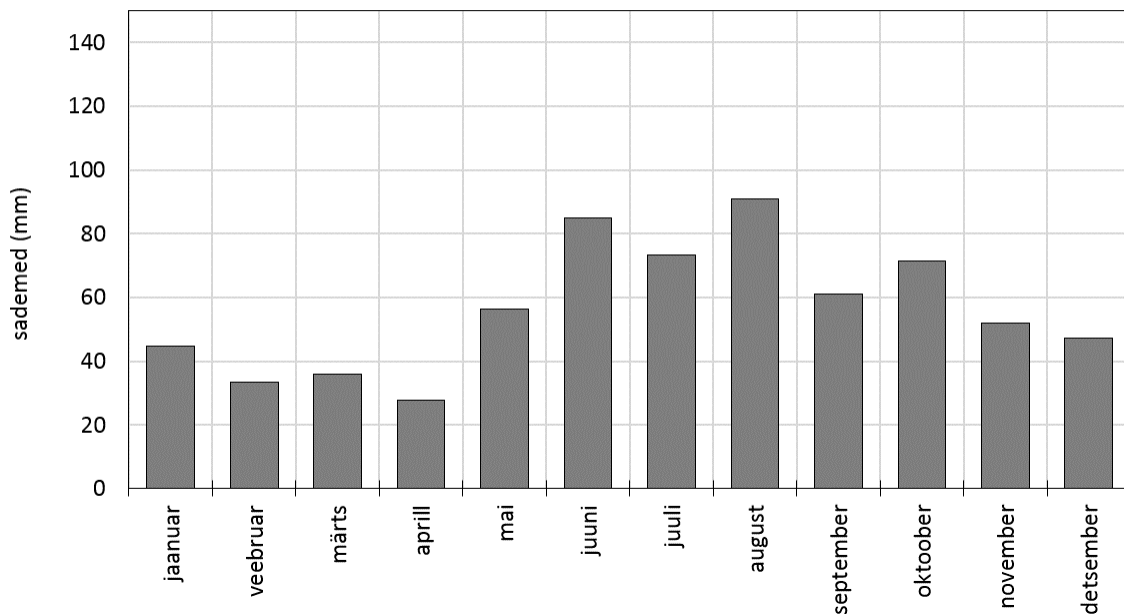
Aastatel 1951-2000 on Eestis aasta keskmine temperatuur klimatoloog Jaak Jaaguse andmetel olnud tõusvas trendis, mis on jätkumas. Antud perioodil on Eestis keskmine temperatuur tõusnud kuni 1,7 °C. Soojem atmosfäär suudab hoida endas rohkem vett, suurendades intensiivsete (ekstreemsete) sademetest ohtu, mis võivad omakorda põhjustada üleujutusi linnades. Ekstreemse nähtuse mõju inimestele on otseselt mõõdetav, kahju tekitatakse inimeste varale ja samas võib kahjustada saada ka keskkond. See kahju võib olla oht inimelule, infrastruktuuri hävinemine/kahjustumine jne. Mõistes paremini erinevaid faktoreid, mis mõjutavad üleujutuste ulatust, on võimalik üleujutusi ennetada ja olla nendeks paremini valmis.

Üheks selliseks faktoriks võib olla sademetest võimalik muutus tulevikus. Sademetest muutus mõjutab otseselt jõe vooluhulkasid, ja seega ka jõe režiimi. Teadmata on sademetest mõju suurus jõe režiimile erinevatel aastaaegadel. Antud uuringus hinnatakse sademetest mõju jõe režiimile viimastel kümnendikel. Lisaks analüüsitakse võimalikku sademetest muutust tulevikus ja selle mõju Emajõe veerežiimile.

2.2 Sademete režiim - sademeveehulgad

Eesti sademete režiimi võib pidada üsna muutlikuks. Kuivad ja märjad aastad vahelduvad ning keskmisele lähedast sademete hulka esineb suhteliselt harva. Lisaks on sademetes selgesti eristatavad 25-30 aastased perioodid. Seetõttu on analüüsiks valitud 30 aastat. Seega kasutatakse mineviku analüüsis ajavahemikku 1981-2010. Joonisel 2.1 on näidatud kuu keskmised mõõdetud sademed Tartu-Tõravere meteoroloogiajaamas, perioodil 1981-2010.

Kuu keskmised sademed Tartu-Tõravere meteoroloogiajaamas perioodil 1981-2010



Joonis 2.1. Kuu keskmised sademete summad Tartu-Tõravere meteoroloogiajaamas 1981-2010.

Kõige sademetevaesem kuu perioodil 1981-2010 Tartu-Tõravere meteoroloogiajaamas on aprill, kus kuu keskmised sademed antud perioodil on kõigest 28 mm. Sellele järgnevad veebruar ja märts, kus pikaajaline keskmine sademete kogus on vastavalt 33 mm ja 36 mm. Seega on talvel ja varakevadel sademeid võrdlemisi vähe. Kõige sademeterikkam kuu on aga august, kus keskmiselt sajab 91 mm. Sellele järgnevad juuni (85 mm) ja juuli (73 mm). Sademete jaotusest on selgelt näha, et keskmiselt sajab rohkem just suvekuudel. Aasta keskmine sademete hulk Tartu-Tõravere jaamas on 679 mm. Uuritud perioodil oli kõige sademeterikkam aasta 1981, mil sadas maha 963 mm. Samas kui sademetevaesem aasta oli 1992, mil aastane sademe hulk oli kõigest 503 mm. Kliimamudelid prognoosivad Eestis sademete üleüldist kasvu (joonis 2.2).

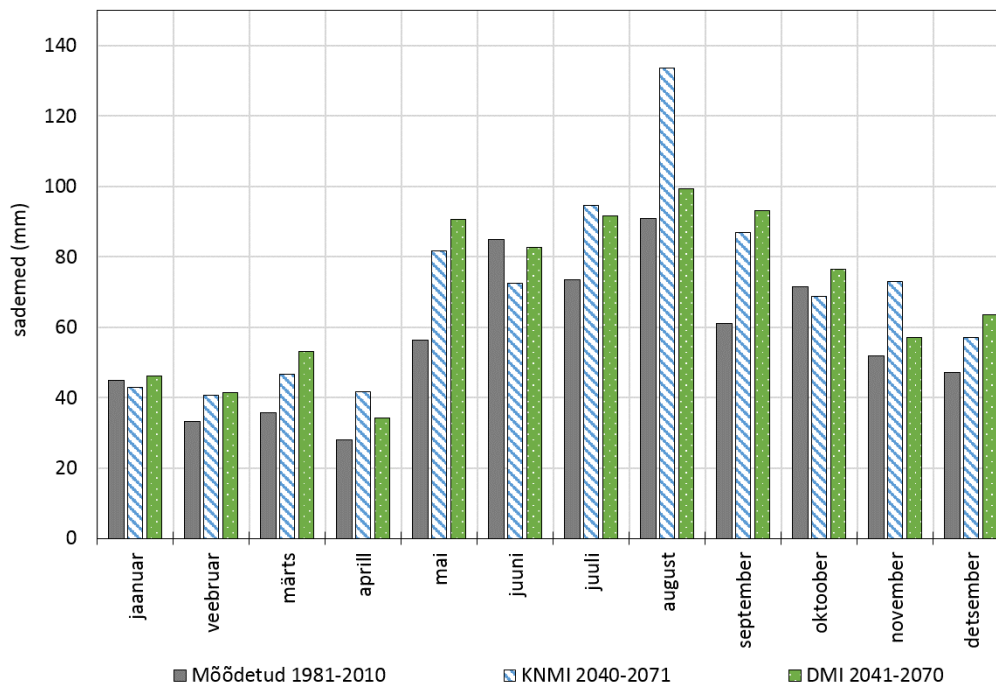
Perioodil 2041-2070 näitavad mõlemad kasutatud kliimamudelid aasta keskmise sademete hulga tõusu (joonis 2.3). KNMI mudeli järgi on selleks 840 mm, samas kui DMI järgi on see 829 mm. Seega on muutus 22-24%. Kuigi mõlema kliimamudeli järgi on muutused aasta lõikes sarnased, on kuude lõikes ka mõningaid erinevusi, nii muutuse võimaliku suuna kui ulatuse kohta. Tulevikus jääb kõige sajurikkamaks kuuks august, samas on ebaselge kui palju sademeid on juurde oodata. KNMI mudeli järgi on antud tulevikuperioodil keskmine augusti kuu sademete hulk 134 mm, samas kui DMI järgi on see „kõigest“ 99 mm. Sarnane erinevus

on täheldatav ka novembri kuus, kus KNMI mudel näitab novembri kuu keskmisteks sademete hulgaks 73 mm, samas kui DMI näitab uueks väärtuseks 57 mm.

Märgatavat kuu keskmiste sademete kasvu näitavad mudelid ka mai ja septembri kuus. Antud kuudel on oodata sademete suurenemist umbes 50% võtta, võrreldes minevikus mõõdetuga. Seega soojal perioodil pigem suureneb keskmine sademete hulk. Ainsa erandina võib välja tuua juuni, kus on oodata väikest (kuni 15%) sademete vähenemist, sõltuvalt kliimamudelitest. Üleüldine sademete suurenemine mõjutab kindlasti ka mingil määral jõgede vooluhulkasid. Suvised miinimumid võivad selle foonil suureneda, kuna Emajõe valgale on oodata rohkem sademeid. Samas pole need sademed piisavalt suured, et see põhjustaks märkimisväärseid suvised või sügiseid üleujutusi, mis tekitaksid varalist kahju ja oleksid seega tähtsad.

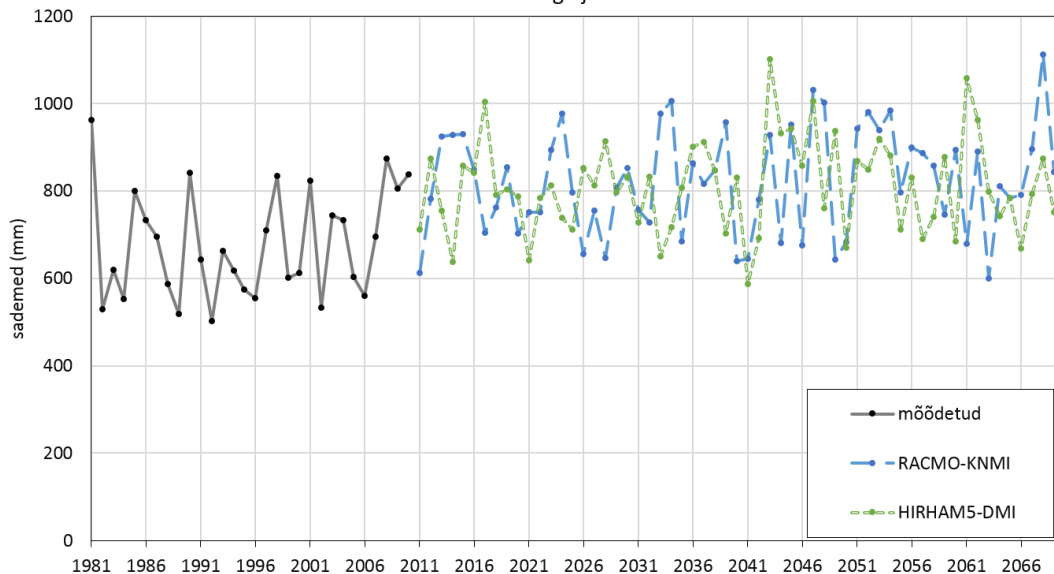
Võimalik kliima muutus mõjutab Emajõe veerežiimi pigem hoopis talvel ja kevadel. Üheks põhjuseks on rohkem sademeid tulevikus. Lisaks ka üleüldine keskmine õhutemperatuuri suurenemine, mis tähendab lumekattega päevade arvu vähenemist ja ka lumekihi vähenemist talvisel perioodil. Seetõttu võib tulla rohkem ette olukordasid, kus lumi sulab ära juba märtsi, või isegi veebruaris. Lisaks, kuna lumeveevaru on tulevikus pigem väiksem, ei põhjusta väiksem veehulk enam sellised suuri üleujutusi, nagu seda 20 sajandi algusel on mõõdetud. Antud arusaam võimalikest hüdroloogilistest muutustes on antud piirkonnas (Põhja-Euroopa) teadlaste seas üsna laialt levinud. Võimalikku kliimamuutuse mõju Eesti jõgedele on uuritud ka hüdroloogilise modelleerimisega, seda küll suurematele Lääne-Eesti vesikonna jõgedele (joonis 2.4).

Kuu keskmised sademed Tartus, mineviku perioodil (1981-2010) ja tuleviku prognoos perioodile 2041-2070

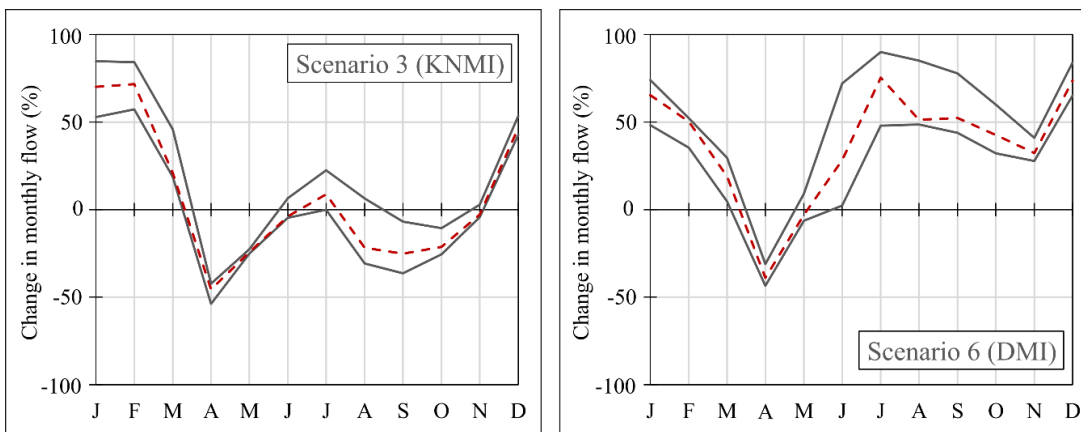


Joonis 2.2. Kuu keskmised mõõdetud sademed perioodil 1981-2010 Tartu-Tõravere meteoroloogiajaamas ja tulevikus prognoos vastavalt HIRLAM5-DMI ja RACMO-KNMI kliimamudelitele perioodil 2041-2070.

Aasta sademete summa minevikus ja tuleviku prognoos Tartu-Tõravere meteoroloogiajaamas aastani 2070



Joonis 2.3. Aasta keskmised sademed perioodil 1981-2010 Tartu-Tõravere meteoroloogiajaamas ja tuleviku prognoos vastavalt HIRLAM5-DMI ja RACMO-KNMI kliimamudelitele aastani 2070.



Joonis 2.4. Võimalikud muutused tulevikus Lääne-Eesti vesikonna jõgede vooluhulkades 21 sajandi lõpuks, kasutades mudeldamisel kahte regionaalset kliimamudelit (KNMI ja DMI).

Joonisel 2.4 on punasega joonega kujutatud võimalikku kuus keskmise vooluhulga mediaanmuutust, kaheksal suuremal jõel Lääne-Eesti vesikonnas. Hallide joontega on näidatud võimalik muutuste vahemik. On selgelt näha, kuidas mõlemad kliimamudelid prognoosivad talviste keskmiste vooluhulkade tõusu ja kevadiste vooluhulkade vähenemist. Samas ei ühti prognoos aga suvisele ja sügisele perioodile, kus KNMI mudel ennustab väikest vähenemist, DMI ennustab aga hoopis keskmiste vooluhulkade suurenemist suvel ja sügisel. Isegi kui suvised ja sügisesed kuu keskmised vooluhulgad suurenevad, ei tähenda see aastase tippvooluhulga tõusu, mis toimub siiski kevadel. Selle põhjuseks on asjaolu, et sajupäevade pikkus pigem väheneb ja kui vihma sajab, on sadu intensiivsem. Seega ei suurene jõe poolt põhjustatud üleujutused. Külla aga kasvab intensiivsemate sadudega tippkoormus sademevee kogumissüsteemidele ning ebapiisava äravoolu tagajärjel võivad sagedana just linnasised uputused.

2.3 Sademete režiim - sajuperioodi aeg ja pikkus

Antud analüüsis uuriti sajuperioode pikkust ja aega perioodil 1981-2010, pikemad sajuperioodid ja nendele vastav aeg on välja toodud tabelis 2.1.

Sajuperioodi pikkuse analüüsis loeti sajupäevaks olukord, kus ööpäevas sadas maha üle 1 mm sademeid. Kõige pikem sajuperiood Tartu-Tõravere jaamas on olnud ajavahemikul 07.01.2007 kuni 22.01.2007. Antud sajuperioodi pikkus on 16 päeva, mil kokku sadas maha 72 mm sademeid (jaanuari kuu pikaajaline keskmine 45 mm). Sajuperioodi alguses tuli maha vihma/lörtsi, samas kui sajuperiood lõpus oli tegu juba lumega. Mõõdetud lumekihi paksus sajuperioodi lõpuks oli umbes 170 mm, kus üldine veevaru oli hinnanguliselt 20 mm (lume keskmine tihedus hinnanguliselt 0,11 g/cm³). Nimetatud aasta kevadine maksimaalne vooluhulk mõõdeti märtsi kuu kolmandal dekaadil, olles kõigest 105 m³/s. Seega isegi 16 päevane sajuperiood ei tekitanud üleujutusi. Selle põhjuseks on võrdlemisi madal veetase, enne lumesula (vooluhulk umbes 50 m³/s).

Tabel 2.1. Sajupikkused Tartu-Tõravere jaamas perioodil 1981-2010 (olukorrad, kus sadudest põhjustatud vooluhulga muutust ei ole võimalik otseselt hinnata, on läbikriipsutatud).

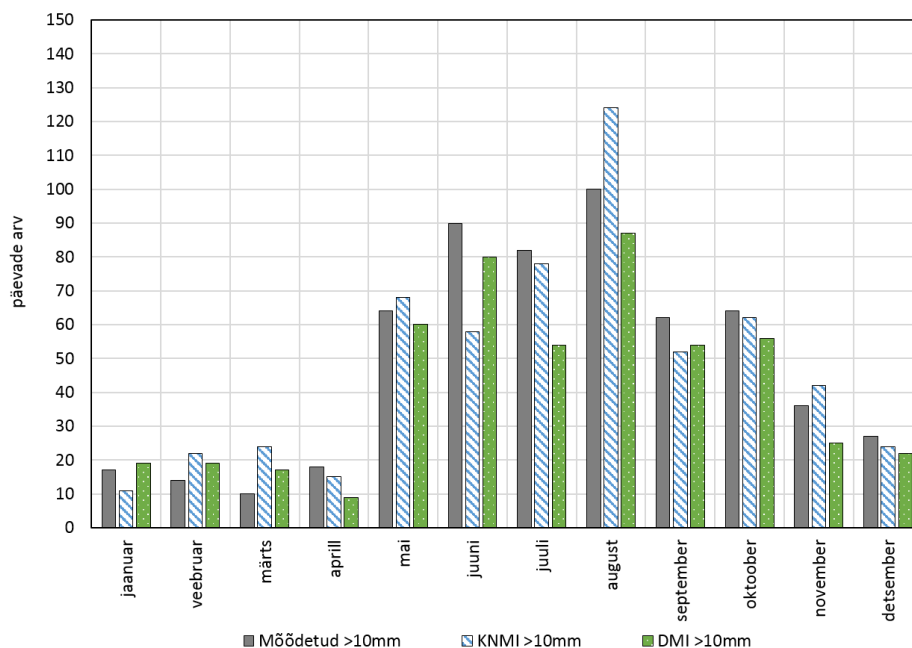
Jrk.	Saju lõpu kuupäev	Sajuperiood (päeva)	Sademed (mm)	Vooluhulga muutus (m ³ /s)
1	1/22/2007	16	72	31.6
2	1/29/2002	12	41	13.4
3	4/3/1986	11	30	57
4	7/13/1978	9	61	9
5	8/13/1978	9	134	49.9
6	9/18/1978	9	43	31
7	7/24/1984	9	35	5.6
8	1/11/1991	9	31	6
9	1/15/1992	9	48	5.5
10	6/28/2004	9	84	29.8
11	3/30/1983	8	44	14.4
12	11/15/2000	8	38	16.5
13	4/16/2001	8	46	14.1
14	12/20/2006	8	46	5.5
15	11/25/2010	8	56	28.7

Sajupikkuse mõju jõe vooluhulkadele on talvisel ajal üsna keeruline hinnata, kuna see sajab maha lumena, mis võib enne kevadist tippvooluhulka ära sulada. Seetõttu on läbi kriipsutatud olukord järjekorranumbriga 1, 2, 3, 8, 9, 11 ja ka 14. Huvitavaks võib pidada just aastat 1978, kus kolme kuu vältel (juuli, august ja september) oli kolm korda pikk sajuperiood, kestvusega 9 päeva. Eriti huvipakkuv on augusti sadu, kus 9 päevaga sadas maha 134 mm sademeid (augusti kuu pikaajaline keskmine on 91 mm). Selle tulemusel tõusis saju lõpuks Emajõe vooluhulk „kõigest“ ligikaudu 50 m³/s. Kuna suvine vooluhulk oli väike, ei tekitanud see mingeid üleujutusi (maksimaalne sügisene vooluhulk 136 m³/s). Suvine ja ka sügisene vooluhulk Emajões on pigem alla keskmise, seega suvised ja sügisesed sajuhulgad ei ole piisavalt suured (ajavahemikus 1981-2010 on suurim suvine/sügisene mõõdetud vooluhulk Emajões vastavalt 120 m³/s ja 118 m³/s), et põhjustada Emajõe vooluhulga märkimisväärset tõusu, mis põhjustaks omakorda üleujutusi.

2.4 Sademete režiim - ekstreemsademed

Töös defineeriti sajupäevaks sündmus, mil ööpäevane sajuhulk on üle 0,1 mm. Sellist sündmust, kui ööpäevas sajab üle 10 mm sademeid, nimetatakse tugevate sademetega (>10 mm ööpäevas) päevaks. Samas kui ööpäevas ületab sademete kogus 30 mm (>30 mm ööpäevas), on tegu juba ekstreemsademetega, mis võivad põhjustada eelkõige just linnasiseseid lühiajalisi üleujutusi, olenevalt saju intensiivsusest. Käesolevas töös uuritakse sademete režiimi võimalikku muutust eelnimetatud olukordadele (tugevate sademetega päev ja ekstreemsademed), kasutades kliimamudeleid.

Ööpäevaste sademete (>10 mm) võimalik muutus tulevikus, Tartus

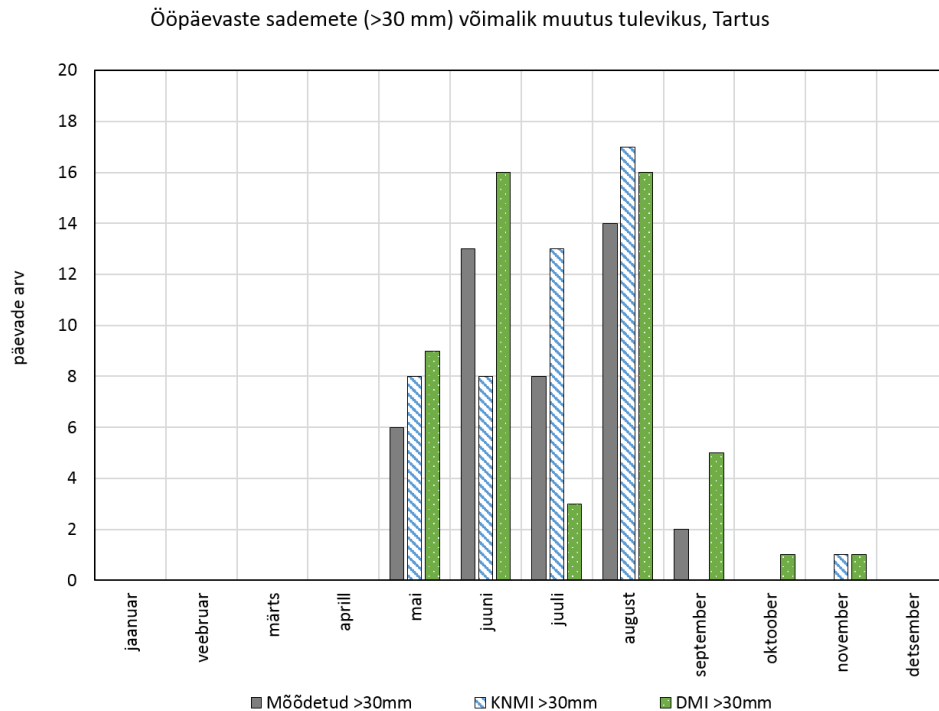


Joonis 2.5. Tugevate sademetega päevade võimalik muutus tulevikus, Tartus.

Uuritaval perioodil 1981-2010, oli tugevate sademetega päevade arv 584 (joonis 2.5). Seega on sellise tugeva sajupäeva esinemise võimalus kõikidest sademetest umbes 5% - keskmiselt igal kahekümnendal sajul on tegu tugevate sademetega päevaga. Siinkohal on selgelt eristatav soe ja külm periood – ligikaudu 80% tugevate sademetega päevadest toimuvad just soojal ajal (mai kuni oktoober). Soojal ajal on oodata pigem selliste sademete vähenemist, sõltuvalt mudelist kuni 15%. Samas on võimalik muutuste suund ja suurus kuude lõikes üsna varieeruv ja selget tugevat trendi ühe või teise kuu suhtes ei ole nähtav. Sarnaselt soojale perioodile, ei ole mõlema kliimamudeli järgi selget kooskõla, mis juhtub tulevikus külmal perioodil tugevate sajupäevade esinemissagedusega. KNMI mudel näitab selliste päevade üleüldist tõusu (13%), samas kui DMI mudel näitab hoopis langust (10%). Üldjuhul ei põhjusta sellised sademed linnasiseselt üleujutusi soojal ajal. Lisaks saab kevadise tippvooluhulga juures määravaks pigem talviste õhutemperatuuride muutused (üleüldine soojenemine ja seega lumevaru muutus) kui sajupäevade muutus (sh ekstreemsademetete muutus).

Tartu-Tõravere meteoroloogiajaamas perioodil 1981-2010 on ööpäevas 30 mm või suurem sajuhulk keskmiselt kaks korda aastas. Selliseid sündmusi, kui ööpäevas sajab üle 30 mm, tuleb tulevikus pigem sagedamini ette (joonis 2.6). Erinevalt üle 10 mm ööpäevasest sademetete

esinemise muutusest tulevikus, prognoosivad mõlemad kliimamudelid tulevikus selliste sadade üleüldist sagenemist. Esile tuleks tuua just augusti kuud, kus mõlemad kliimamudelid prognoosivad tulevikuks ekstreemsademetete korduvuse. Kliimamudelite järgi suureneb ekstreemsademetete korduvus 10-20%, sõltuvalt mudelist.



Joonis 2.6. Ekstreemsademetega päevade võimalik muutus tulevikus, Tartus.

Kuigi kliimamudelid annavad ka väljundina hoogvihmade andmeid, ei ole mõistlik neid tuleviku prognoosiks kasutada, sest nende usaldusväärsust hinnatakse teadlaste seas madalaks. Kuna enamus kliimamudeleid on seisukohal, et õhutemperatuur Eestis (sh Tartu) tulevikus tõuseb, on võimalik antud eelduse põhjal teha järeldusi ka just hoogvihmade sageduse muutuse kohta. Sooja õhku mahub rohkem vett, seega saab korraga ka rohkem vett alla sadada. Seega on oodata just intensiivsete lühiajaliste vihmade esinemissageduse suurenemist koos saju intensiivsuse suurenemisega. Selline hoogvihm ei põhjusta muutuseid jõe veerežiimis, kuna tegu on lühiajalise nähtusega. Küll võib aga tulevikus suurenda linnasisese uputuse arv ja mõjuala.

2.5 Sademetete režiim - koondhinnang

Kokkuvõtvalt võib väita, et suvised ja ka sügisesed sajud ei põhjusta märkimisväärseid ja tulevase muutuseid jõe veerežiimis. Arvatavasti tõuseb mingil määral Emajõe suvine miinimum, kuid antud muutus jääb võrdlemisi väikseks. Üleüldine õhutemperatuuri suurenemine suvel ja sügisel tähendab ka aurumise suurenemist, mis omakorda mõjutab veebilanssi negatiivselt, vähendades veekogust, mis jõkke jõuab. Võimalik kliimamuutus mõjutab kõige rohkem pigem kevadist tippvooluhulka, mida põhjustab lume sulamine. Kuna lund on tulevikus pigem vähem, on ka suure tippvooluhulga esinemise tõenäosus kevadel väiksem. Seega Emajõe veetasemete ületustõenäosuste arvutamisel ei pea arvestama võimalikku sademetete muutust tulevikus.

3. Emajõe üleujutuste hüdroloogiline analüüs Tartu aladel

Ptk on koostatud, arvestades tööde eesmäärke ja ptk 1-2 esitatud teavet. Vastav ptk on jaotatud alampeatükkideks, parema arusaadavuse tagamiseks. Ptk koostamisel on kasutatud alusandmeid kõrgussüsteemis, mis lähtus BK77 ehk Kroonlinna nullist.

3.1 Sisendandmete ja temaatika tausta tutvustus

Emajõe suurvesi Tartu linna piires on olnud viimase 150ne aasta jooksul korduvalt linna elu häirivaks probleemiks. Sellel on looduslik põhjendus – kevadised ja sügised äravoolu tipud, kuid ka linna enda poolt tekitatud mõjud – Emajõe voolamine linnasüdame lähedal sisuliselt kanalis. Järgnev analüüs lähtub mitmetel andmeallikatel, mis olid analüüsi tegemise ajal kättesaadavad, kuid mille kvaliteet ja usaldusväärsus võib olla mõjutatud mitmetest teadaolevatest, näiteks Tartu mõõtmised lähedastes kui erinevates lävendites (Kvissentali, Kroonuaia sild, Atlantis) ja mitteteadaolevates asjaoludest, näiteks veetaseme ja vooluhulga mõõtmise täpsuse muutused viimase 150 aasta jooksul, kirjeldamata või halvasti kirjeldatud olud, milledes mõõtmisi teostati või milliseid sidekõveraid veetasemetelt vooluhulkadele üleminekuks kasutati.

Peamised kasutatud sisendandmeallikad olid:

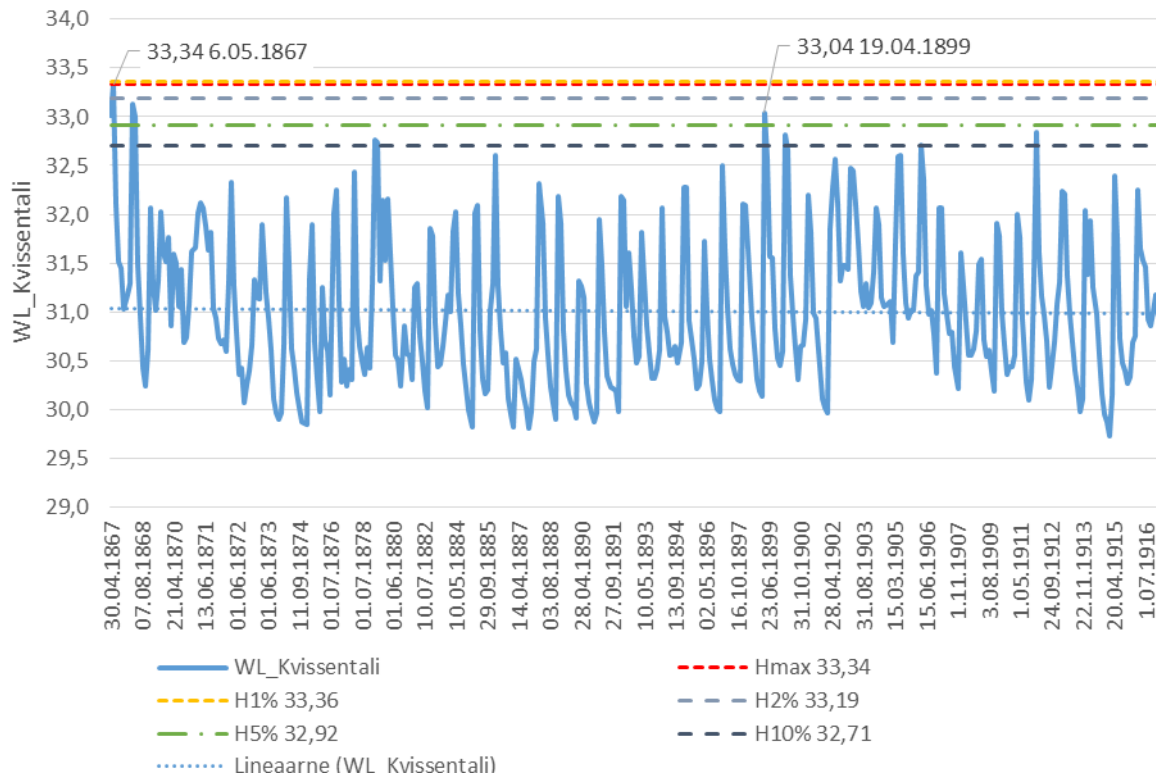
1. Keskkonnaagentuur. Ööpäevased keskmised vooluhulgad (osaliselt) ja veetasemed alates 1922 (osaliselt 1925) Rannu-Jõesuu, Pedja-Tõrve, Tartu-Kvissentali, Praaga.
2. Keskkonnaagentuur. Veetaseme kuu maksimumid Tartus alates 1867.
3. Keskkonnaagentuur. Hüdroloogilised andmed veetaseme ületustõenäosused Tartus ja Tartu piiridel.
4. Mitteametlikud veetasemete mõõtmised 5% ja 10% veetaseme juures.
5. Veeteede Amet (mitteametlik). Foto Emajõe pikiprofiili kujutavast joonisest (vt ka ptk 3.4).

3.2 Ajaloolised kõrgeimad veetasemed

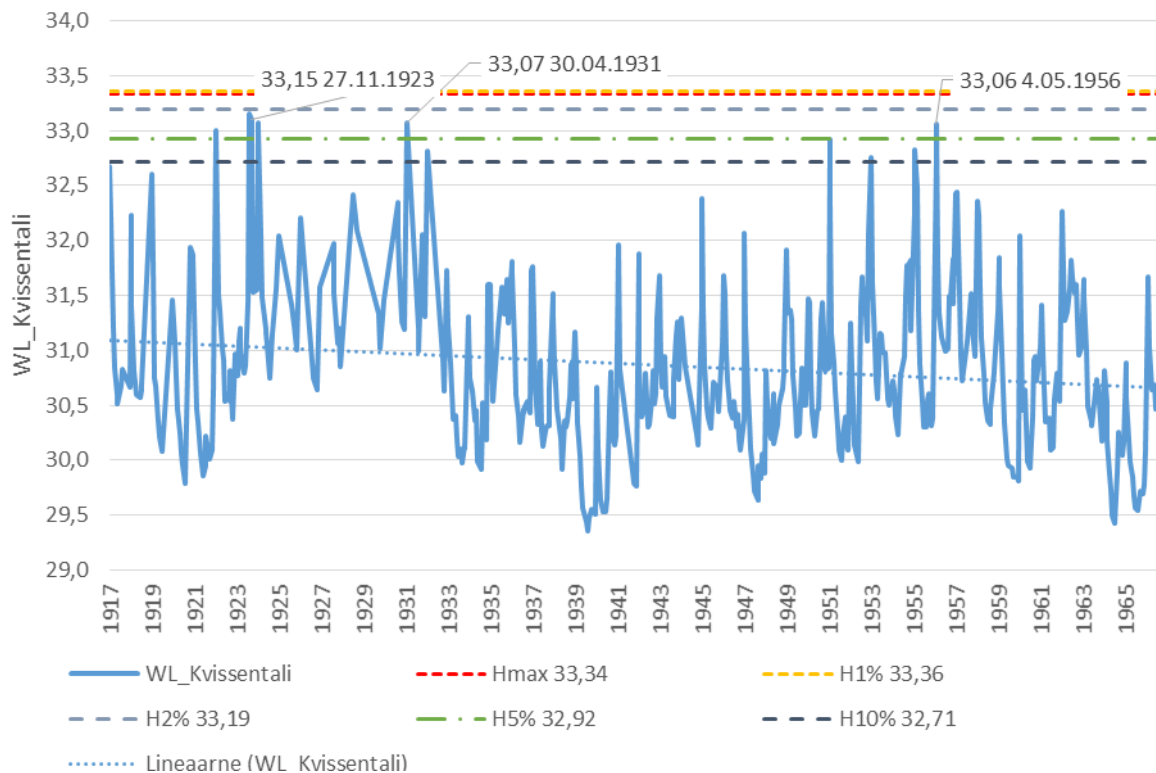
Emajõel on pikk veetasemete vaatlusrida, milles esineb mõningaid pause ja mõningaid küsitavaid mõõtmisi, mille analüüs ei olnud käesoleva töö sisuks. Andmeterida on pikem kui 100 aastat, mis annab võimaluse hinnata ka teoreetilise ületustõenäosuse sobivust ajalooliste andmetega. Kuu maksimaalse veetasemete pikk rida võrdluses teoreetilise ületustõenäosuse väärtustega (joonis 3.1-3.3 ning tabel 3.1) näitab mittekorrapärasust tsüklilisust, kus esineb veevaesemaid ja veerohkemaid perioode ning et vaheldusid ka perioodid, kui toimus või ei toimunud üldse 10% ja harvemini esinevate ületustõenäosusega veetasemeid (näiteks ca 1960 kuni 2000 algusaastad).

Ajaloolise maksimumini 1867. aastal võib lugeda 1%-le vastavaks, sest see jääb mõõtmisvea sisse. Ületustõenäosustele 2%, tinglikult empiirilise ületustõenäosuse järgi kaks korda saja aasta jooksul esinenud veetaset esines kahel korral 1923. aasta novembris, aga selle perioodi mõõtmiste osas on kahtlusi ja 1868. aasta aprillis. Ületustõenäosusele 5%, tinglikult viis korda saja aasta jooksul esinevale veetasemele ja suuremaid aga esines kokku 7 aastal, kuid kui lugeda kokku esinemised ka samal aastal, kuid erinevatel, näiteks järgnevatel kuudel esinemised, siis isegi rohkem. Statistiline meetod ületustõenäosuste arvutamiseks ei arvesta

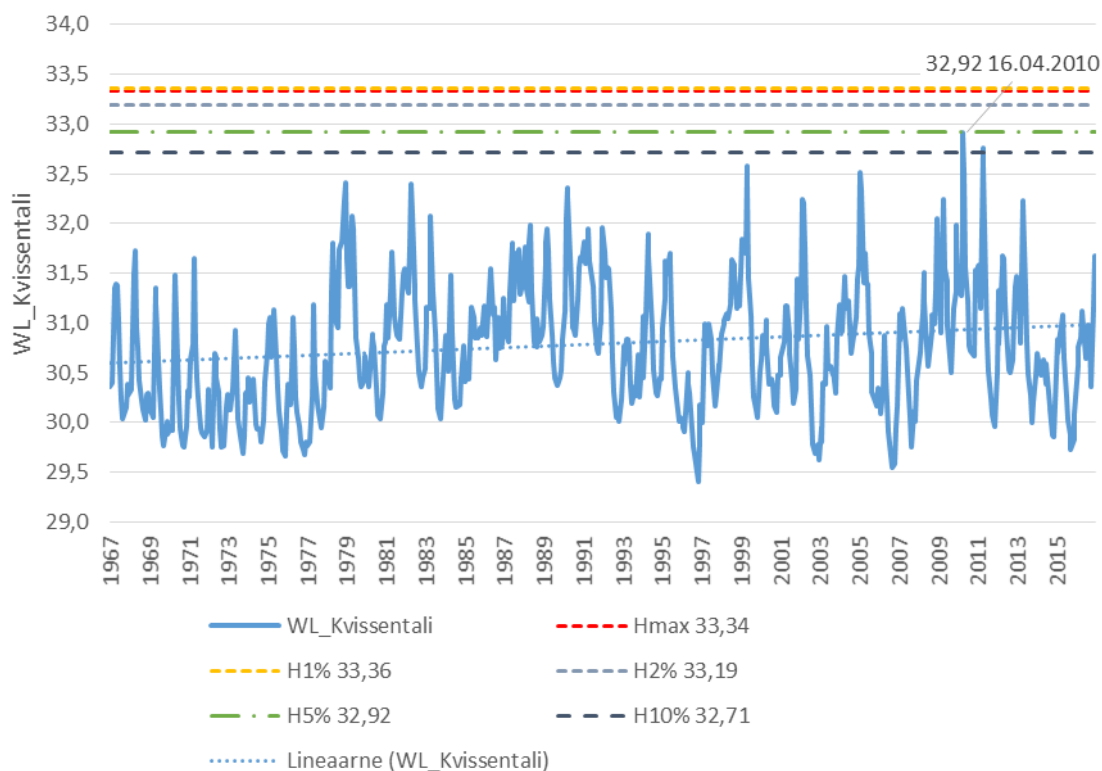
sellise võimalusega. Seega võib öelda, et kõrgust 32,92 mBS (BK77) ja seda ületavaid, kuni järgmisesse klassi (see on 2%) kuuluvaid olukord esineb arvestataval määral.



Joonis 3.1. Kuu maksimaalsed veetasemed Tartu-Kvissentali 1867-1916 (kõrgussüsteem BK77).



Joonis 3.2. Kuu maksimaalsed veetasemed Tartu-Kvissentali 1917-1966 (kõrgussüsteem BK77).

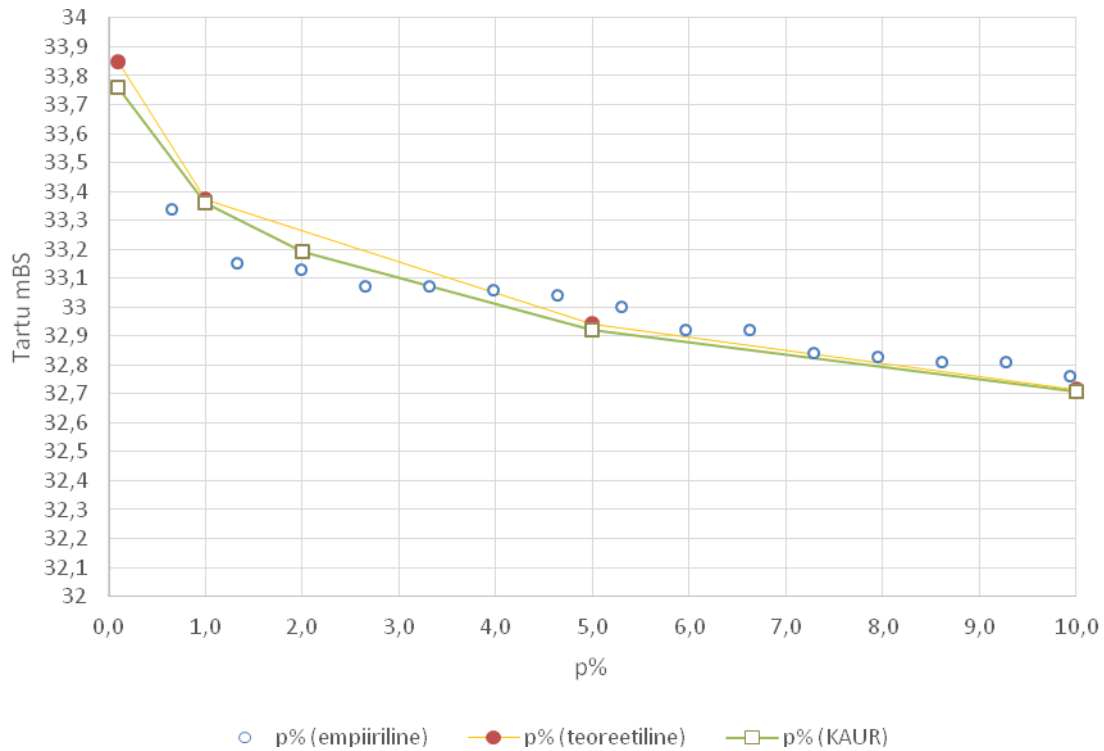


Joonis 3.3. Kuu maksimaalse veetasemed Tartu-Kvissentali 1967-2017 (kõrgussüsteem BK77).

Tabel 3.1. Etteantud ületustõenäosuste ületamised 150ne aasta jooksul (kõrgussüsteem BK77).

Ületus-tõenäosus	Ületus-tõenäosusele vastav kõrgus mBS	Esinemise ja ületamiste arv aastates	Kumuleeruv aastates	Märkused
1%	33,36*	1	1	*Teoreetilisele väga lähedane väärtus 6.05.1867 oli 33,34 mBS
2%	33,19*	2	3	*Empiirilise ületustõenäosuse järgi, teoreetilise järgi mitte
5%	32,92	7	10	-
10%	32,71	8	18	-

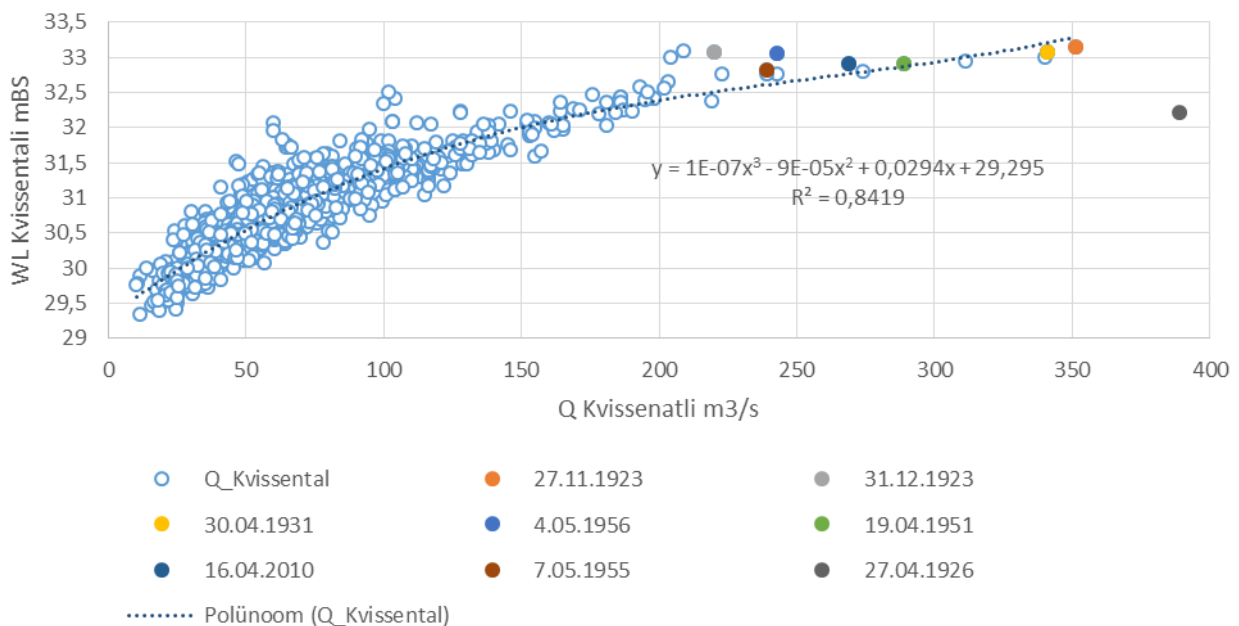
Ületuskordade hindamisel peab arvestama aga ka meetodika omapära, sest 2% empiirilise ületustõenäosuse ületamisi oli vaadeldaval perioodil kahel korral (joonis 3.4), kuid teoreetilisi mitte ühtegi.



Joonis 3.4. Tippvooluhulkade ületustõenäosused Tartu lävendis (empiirilised väärtused, käesolevas töös arvutatud teoreetilised kontrollväärtused, KAUR-i teoreetilised väärtused), kõrgussüsteem BK77.

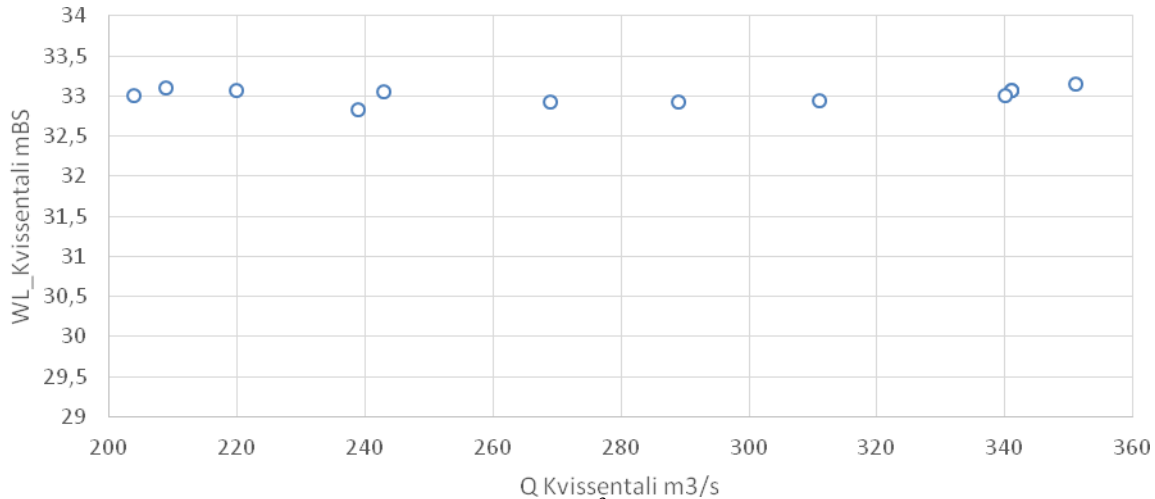
3.3 Millistes olukordades tekivad üleujutused?

Suur vooluhulk peaks põhjustama kõrge veetaseme, kuid andmetereast langeb välja 1926. aasta aprilli tulemus, mida ei arvestatud kuu maksimumide Q-H sidekövera koostamisel (joonis 3.5).



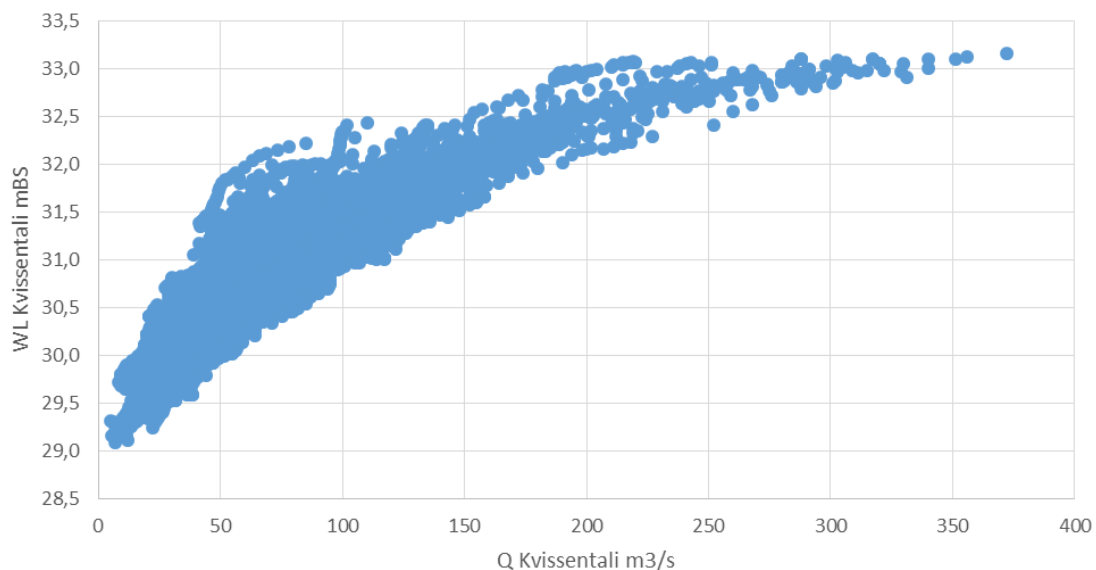
Joonis 3.5. Vooluhulkade ja veetasemete kuu maksimumide vaheline seos Tartu lävendis (kõrgussüsteem BK77).

Kvissentali vooluhulga ja veetaseme sidekõveralt nähtub, et 5% ületavaid olukordi esineb üle 200 m³/s vooluhulkade juures, kuid sellest alates seos vooluhulga ja veetaseme juures puudub (joonis 3.6). Kuna käesoleva töö ajaraamidesse ei mahtunud KAUR-ist jäänähtuste (jäaminek, jääummistused jms) detailandmerea saamine, siis jääb ainult oletuseks, et 200-le m³/s lähedaste, kuid kõrgete veeseisude põhjus võis olla seotud jäänähtustega, väga suured, üle 300 m³/s vooluhulkade puhul aga ei mänginud jäänähtused olulist rolli.



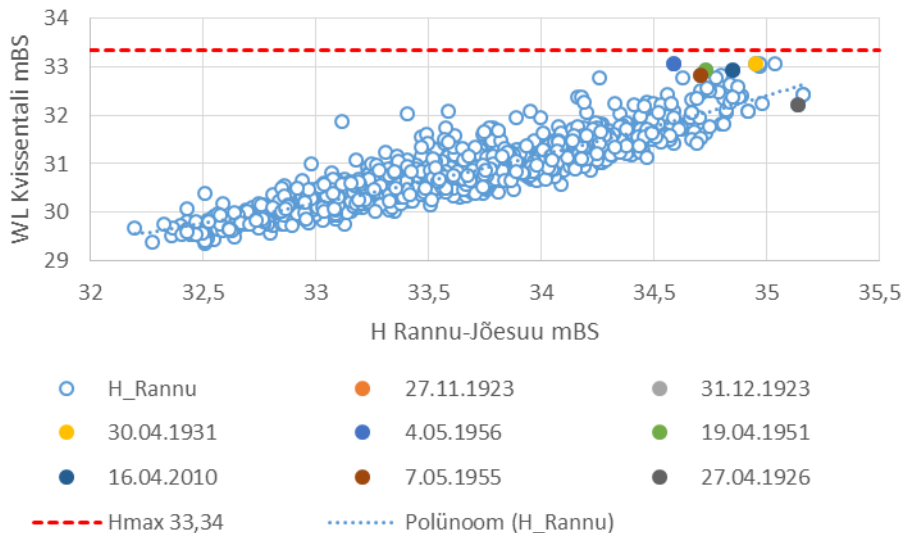
Joonis 3.6. Kvissentali lävendis üle 200 m³/s vooluhulkade ja veetasemete vaheline seos (kõrgussüsteem BK77).

Ööpäeva keskmiste vooluhulkade ja veetasemetega tehtud analüüs näitab, et kuigi sama vooluhulga puhul võivad veetaset mõjutada ka jäänähtused või muud tegurid, siis suurimate vooluhulkade puhul kaob see lisamõju ära ja joonistub välja suhteliselt selge seos, st sama vooluhulga juures võimalike veetasemete ulatus väheneb (vt joonis 3.7, vooluhulga üle 300 m³/s).



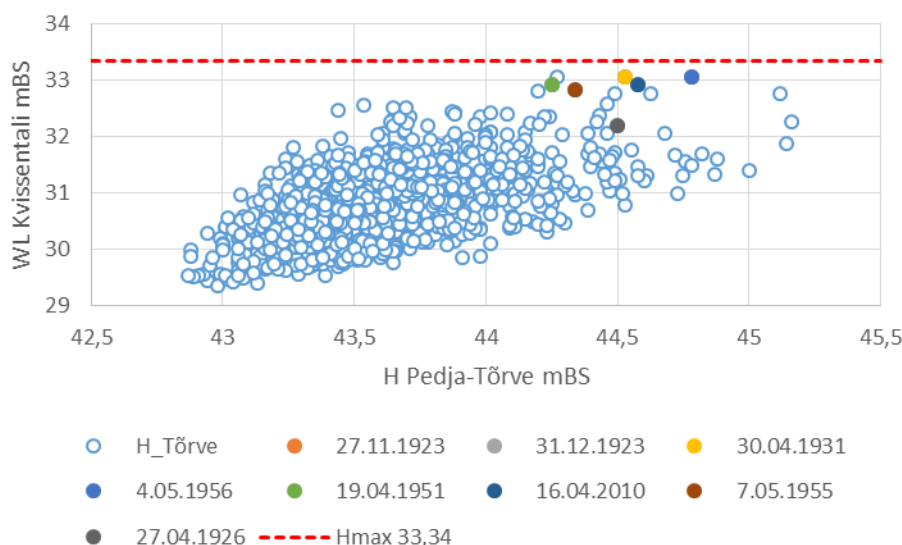
Joonis 3.7. Kõigil ööpäevastel keskmistel vaatlusandmetel (alates 1967) põhinev vooluhulga ja veetaseme vaheline seos (kõrgussüsteem BK77).

Tartu linna uputusi võivad mõjutada Võrtsjärve kõrge veeseis ja üldise arvamuse järgi ka Peipsi kõrge veeseis. Tõepoolest, 5% vastavaid veetasemeid Tartus on esinenud enamasti Võrtsjärve kõrge veetaseme puhul, kusjuures seos on suhteliselt lineaarne (joonis 3.8).



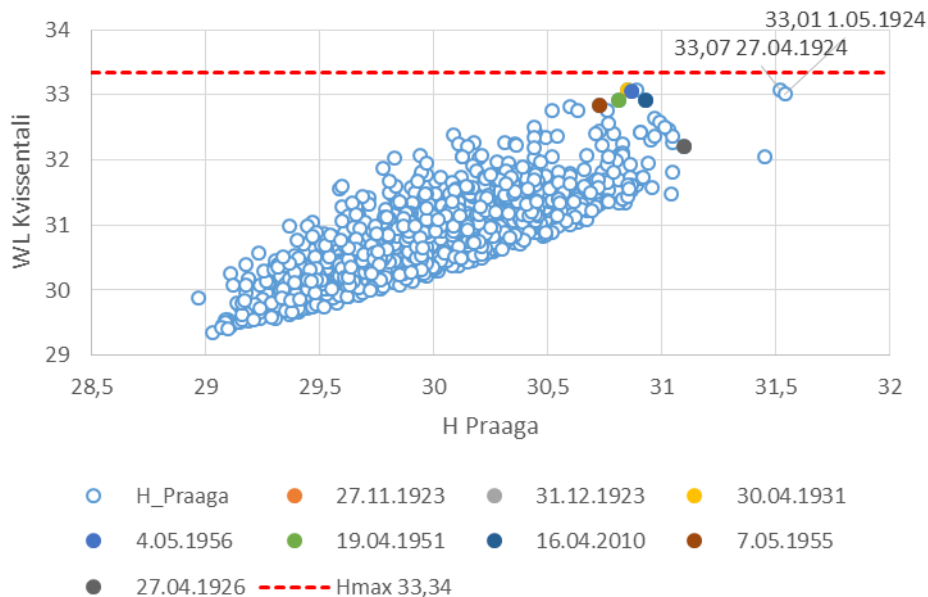
Joonis 3.8. Kuu maksimaalsete veetasemete ja vooluhulkade vaheline seos Emajõe Rannu-Jõesuu ja Tartu-Kvissentali lävendis (kõrgussüsteem BK77).

Pedja (Emajõkke suubumisel Pedja jõgi; joonis 3.9) vooluhulk ja kõrge veetaseme põhjustavad teadaolevalt olukordi, kus tekib Emajõe ca 7 km pikkusel lõigul esineb tagasivool Võrtsjärve. Tõepoolest, Tartu kõrge veeseisuga olukorrad on esinenud Pedja-Tõrve kõrge veesisu korral. Pedja-Tõrve hüdromeetriaam asub aga ca 50 km kaugusel suubumiskohast, seetõttu ei ole veetaseme andmete puudumisel suudmesse lihtviisil üleviidav ja seos on pigem indikatiivne, mis peegeldab ka olukordi, kus ongi väga veerohke aeg ja ka jõgede sissevool Võrtsjärve on intensiivne.



Joonis 3.9. Pedja-Tõrve ja Tartu-Kvissentali veetasemete vaheline seos (kõrgussüsteem BK77).

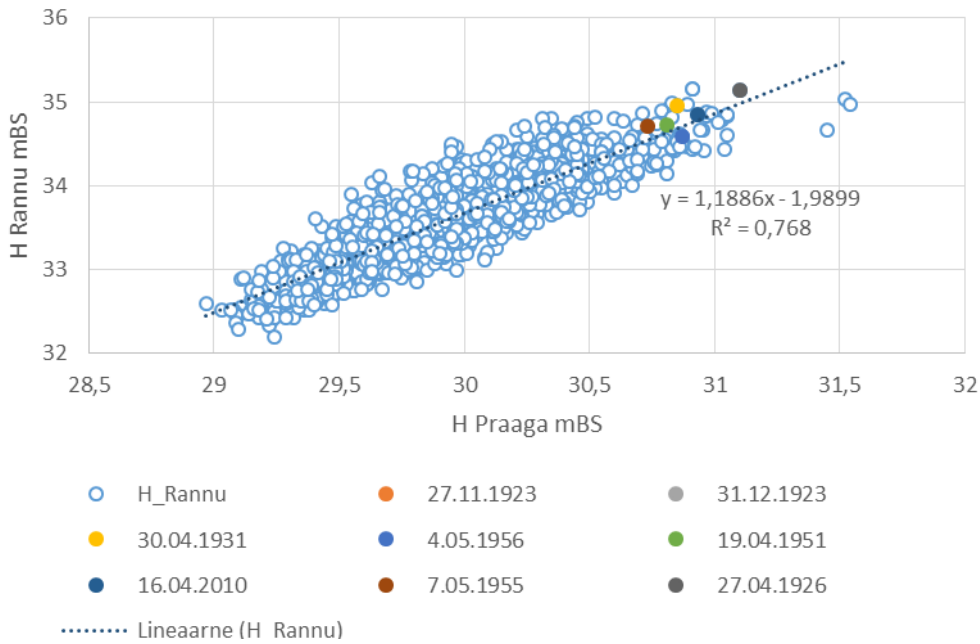
Üldlevinud arusaama järgi mõjutab Peipsi veeseis Tartus tekkivaid üleujutusi. Järgnev analüüs näitab, et otsene põhjuslik seos puudub. Jooniselt 3.10 nähtub, et enamasti on Tartu üleujutused toimunud mitte suurte Praaga mõõdetud väärtuste korral (erandiks on 1924 aasta kevadine tippvooluhulk, aga kuna need andmed eristuvad selgelt ülejäänud andmestikust, siis on nende usaldusväärsus väiksem). Praaga veetasemetel 30,8 –30,9 mBS (BK77) esinesid nii suuremad Tartu üleujutused, kuid veetase Tartus võis olla ka meetri võrra madalamal sama Peipsi veetaseme korral.



Joonis 3.10. Kvissentali ja Praaga hüdromeetrijaamades mõõdetud veetasemete vaheline seos (kõrgussüsteem BK77).

Veel on huvipakkuv leida nii Võrtsjärve kui Peipsi veetasemete ja Tartu uputuste vaheline seos (joonis 3.11, valik kõrgeid veeseise Tartus). Jooniselt 3.11 nähtub, et kahe järve veetasemete vahel on tugev seos ja et Tartu uputused on toimunud olukordades, kus mõlema järve veetasemed on olnud kõrged, aga mitte suurimate väärtuste korral.

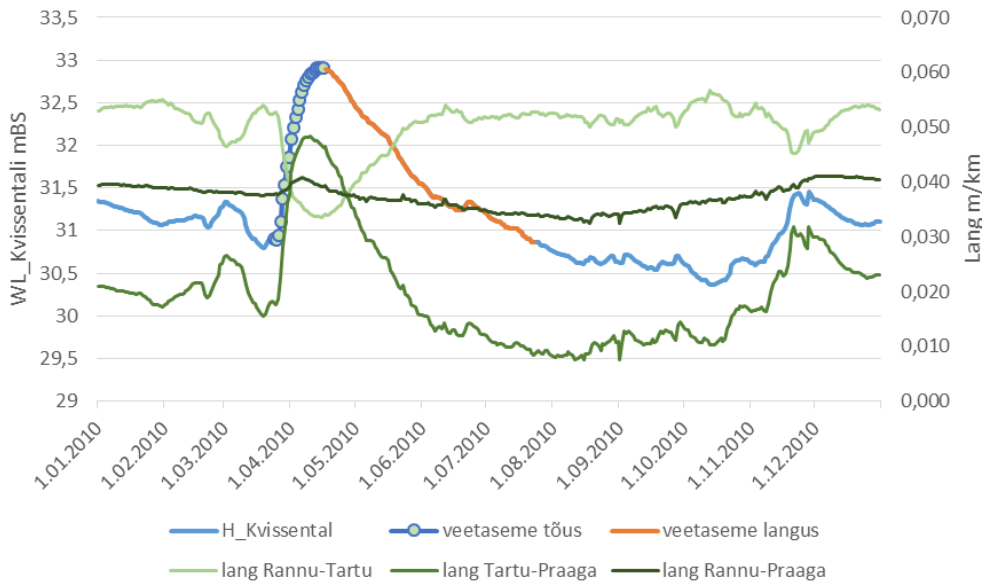
Tippvooluhulkade tekkimisel ja Emajõe Tartu lävendi läbimisel saab täheldada huvitavat nähtust, et vooluhulga suurenemise faasis (veetaseme hüdrograafi tõus) väheneb jõe keskmine lang lõigul Rannu-Jõesuu-Tartu ja samal ajal suureneb lõigul Tartu-Praaga. Seega Tartu üleujutusi põhjustab Tartu! Linna vahel on jõgi surutud kitsamasse sängi, mis tekitab voolu kitsenduse ja hüdrauliliselt tekitab see ülesvoolu paisjoone. Seda on näha nii näidisaastateks valitud 1956 kui 2010 aasta tippvooluhulga ajal (joonised 3.12 - 3.14). 2010 aasta kohta on eraldi välja toodud ka tippvooluhulga Tartust läbimineku tõusu ja languse aegsed Tartust üles- ja allavoolu jäävad jõe langude väärtused. Tuleb rõhutada, et tegemist on arvutusliku keskmise languga vastavatel lõikudel, mis ei arvesta lokaalseid takistusi (nt sillad).



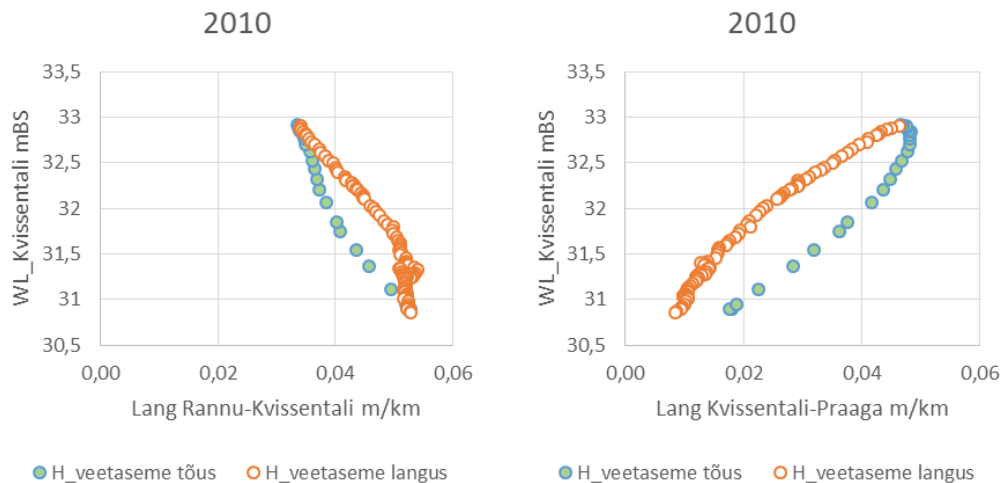
Joonis 3.11. Praaga ja Rannu-Jõesuu veetasemete vaheline seos (kõrgussüsteem BK77).



Joonis 3.12. Veetaseme aastahüdrograaf Tartu lävendis ja langud jõe lõikudel ning kahe järve vahel 1956. aastal (kõrgussüsteem BK77).



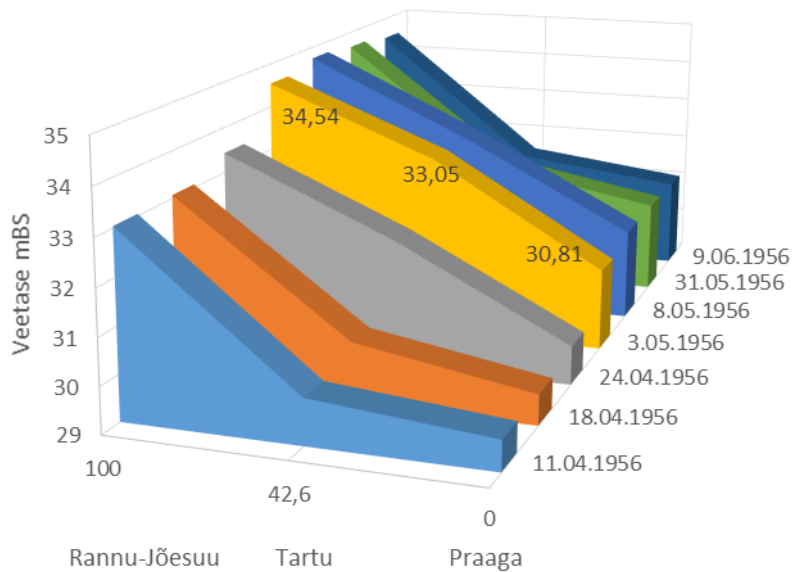
Joonis 3.13. Veetaseme aastahüdrograaf Tartu Kvissentali lävendis ja langud jõe lõikudel ning kahe järve vahel 2010. aastal (eraldi on välja toodud veetaseme hüdrograafi tõus ja langus), kõrgussüsteem BK77.



Joonis 3.14. Langu muutus Tartu Kvissentalist ülesvoolu ja allavoolu sõltuvalt tippvooluhulga tõusu või languse faasist (kõrgussüsteem BK77).

Samadele aastatele on koostatud jõelangude dünaamika visualiseerimiseks eraldi joonised 3.15 ja 3.16, millal on valitud kuupäevadel esinenud lõigu arvutuslik keskmine lang. Tuleb veelkord rõhutada, et tegelikud langud võivad erineda selliselt arvatud jõelõigu otste vahel olevast keskmisest langust. Näiteks võib 7 km lõigul Pede jõe suudmest Võrtsjärveni esineda 0-lang või tagasilang järve suunas. Samuti ei ole joonistel 3.15 ja 3.16 Tartu linna siseseid langumuutusi (näiteks enne ja pärast sildasid), sest usaldusväärseid mõõtmisi kas pole või on neid napilt. Mõlemad joonised aga kinnitavad eeltoodud väidet, et Tartu linn ise põhjustab lisapaisutuse, mis esineb äravoolu tipu läbiminekul Tartu lävendist. Seega ei saa Tartu uputuste põhjustajaks pidada Peipsi kõrget veetaset ja sealt Tartuni ulatuvat olulist järve veetaseme mõju.

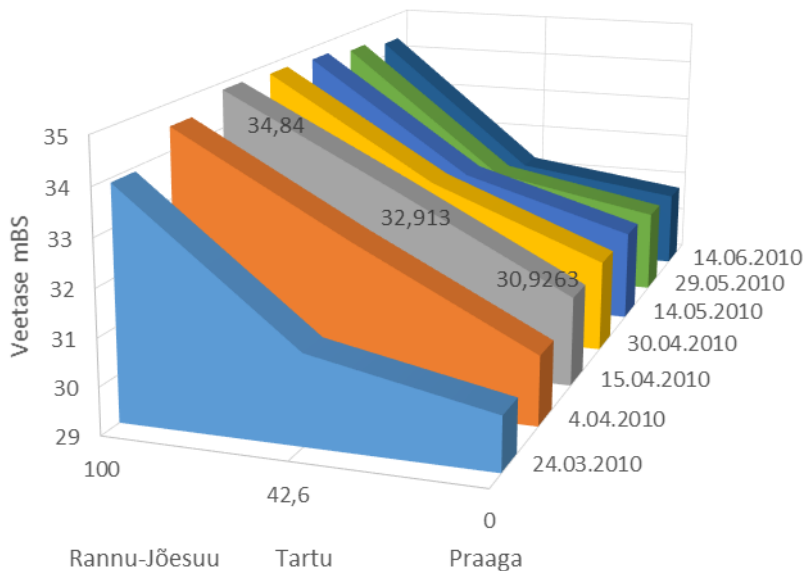
Kevadine tippvooluhulk 1956



■ 11.04.1956 ■ 18.04.1956 ■ 24.04.1956 ■ 3.05.1956 ■ 8.05.1956 ■ 31.05.1956 ■ 9.06.1956

Joonis 3.15. Emajõe langud Rannu-Jõesuu ja Tartu ning Tartu ja Praaga vahel valitud päevadel tippvoolu läbiminekul 1956. aastal (kõrgussüsteem BK77).

Kevadine tippvooluhulk 2010



■ 24.03.2010 ■ 4.04.2010 ■ 15.04.2010 ■ 30.04.2010 ■ 14.05.2010 ■ 29.05.2010 ■ 14.06.2010

Joonis 3.16. Emajõe langud Rannu-Jõesuu ja Tartu ning Tartu ja Praaga vahel valitud päevadel tippvoolu läbiminekul 2010. aastal (kõrgussüsteem BK77).

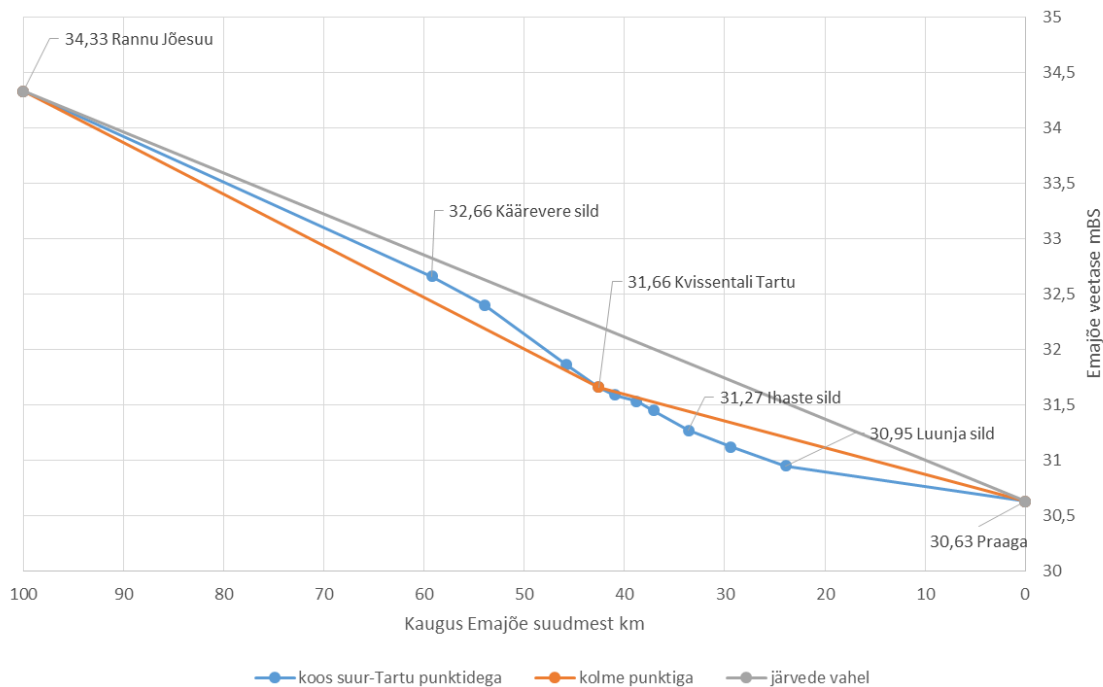
3.4 Emajõe lang Tartu piires

Keskkonnaagentuuri (KAUR) veetasemete ületustõenäosused on esmaseks aluseks kindla ületustõenäosusega veetasemete (nt 1% jne) määramiseks Tartus ja Tartu piiridel. Andmete kogumine ja lisamõõtmised 2018 aasta jaanuaris aga näitasid, et Tartu piirides esineb erinevates jõe lõikudes veetaseme olulisi erinevusi. Takistused, Emajõe voolamine nõ kanalil ja sillad, tekitavad suurematel vooluhulkadel takistusest ülesvoolu paisjooi, millega on vaja korrigeerida KAUR-i poolt leitud veetasemete ületustõenäosusi, sest KAUR ei oma vastavat andmestikku.

Võrtsjärve (Rannu-Jõesuu) ja Peipsi (Praaga) vahele saab tõmmata ühtlase langu, ca 0,04m/km. Kui arvestada Taru veetaset, siis tekib suurema languga lõik Tartu suunas ja väiksema languga on Tartu-Praaga lõik. Kui teha veetasemete mõõdistus Tartu piirides (vt ptk 1), siis selgub, et ka sellel lõigul on erinevate langudega lõike (joonis 3.17).

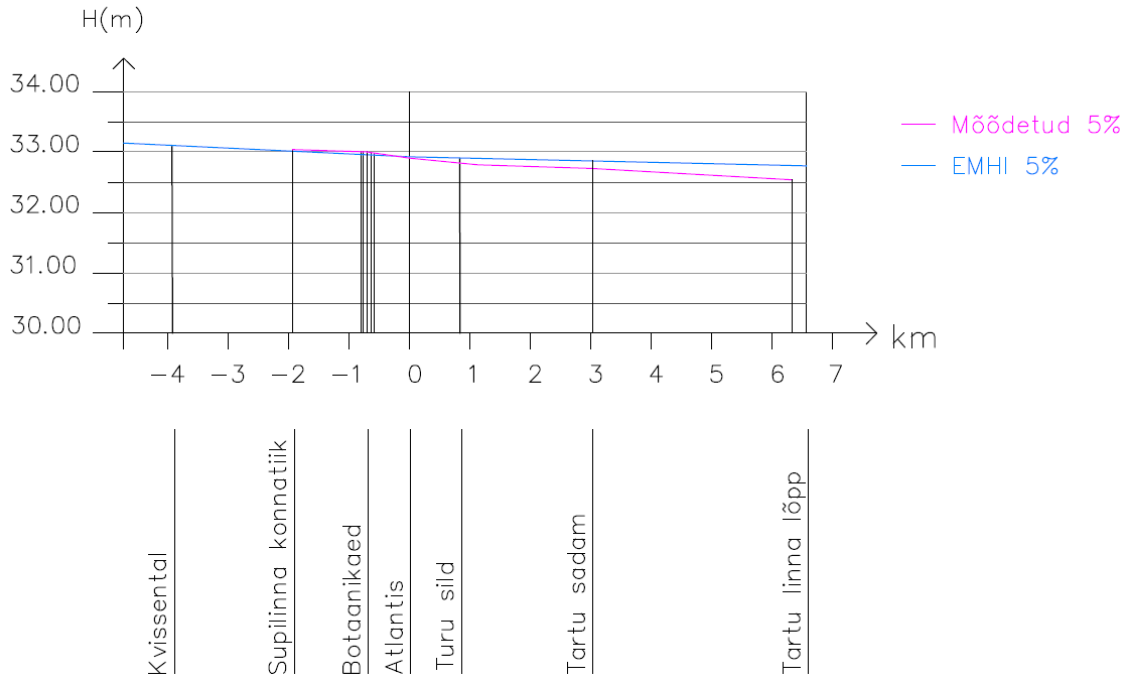
Mitteametlikud andmed Emajõe 5% vooluhulga korral kinnitavad seda (joonis 3.18). Emajõel Kaarsillast ja Atlantisest ülesvoolu (Emajõgi-Tartu lävend) on näha paisjooi, mis on suure tõenäosusega tingitud Emajõe kitsendusest Kaarsillast ülesvoolu. Selle põhjuseks võivad olla nii voolamine „kanalis“ kui Kivisilla jäänused (joonised 3.19 ja 3.20). Jõe põhja olulist muutust kinnitab ka Veeteede Ameti sügavuste kaart (joonis 3.21).

Paisjooi tekitamises on oma osa nii voolu kitsendusel Tartu kesklinnas kui ka jõe põhja profiilis, milles on näha kaks voolutakistust (joonis 3.20), milledest ülemine on Tartu Kivisilla jäänused Kaarsilla all Emajõe põhjas.



Joonis 3.17. Emajõe veetaseme langud erinevaid andmekogumeid arvestades, joonisel sinise joonega 20. jaanuari 2018 veetase (umbes 75% ületustõenäosusega vooluhulga juures), kõrgussüsteem BK77. NB! Horisontaalne ja vertikaalne skaala on erinevad.

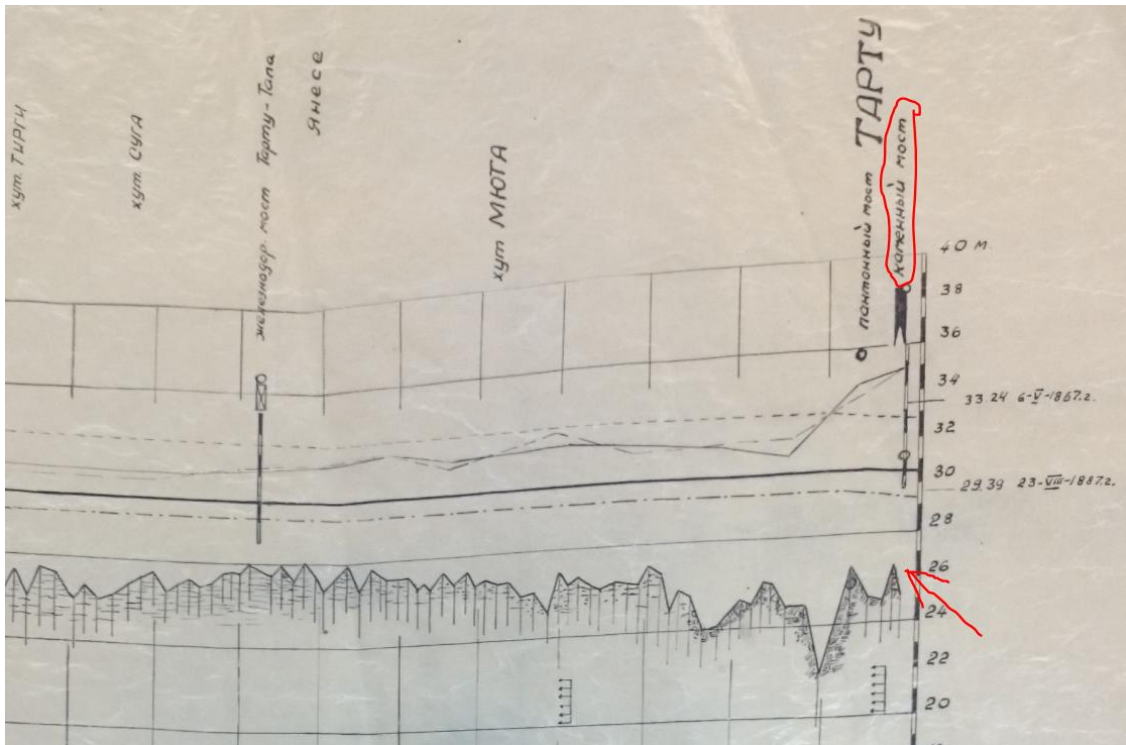
Emajõe veetasemete pikiprofiil Tartu linnas (mBS), H5%



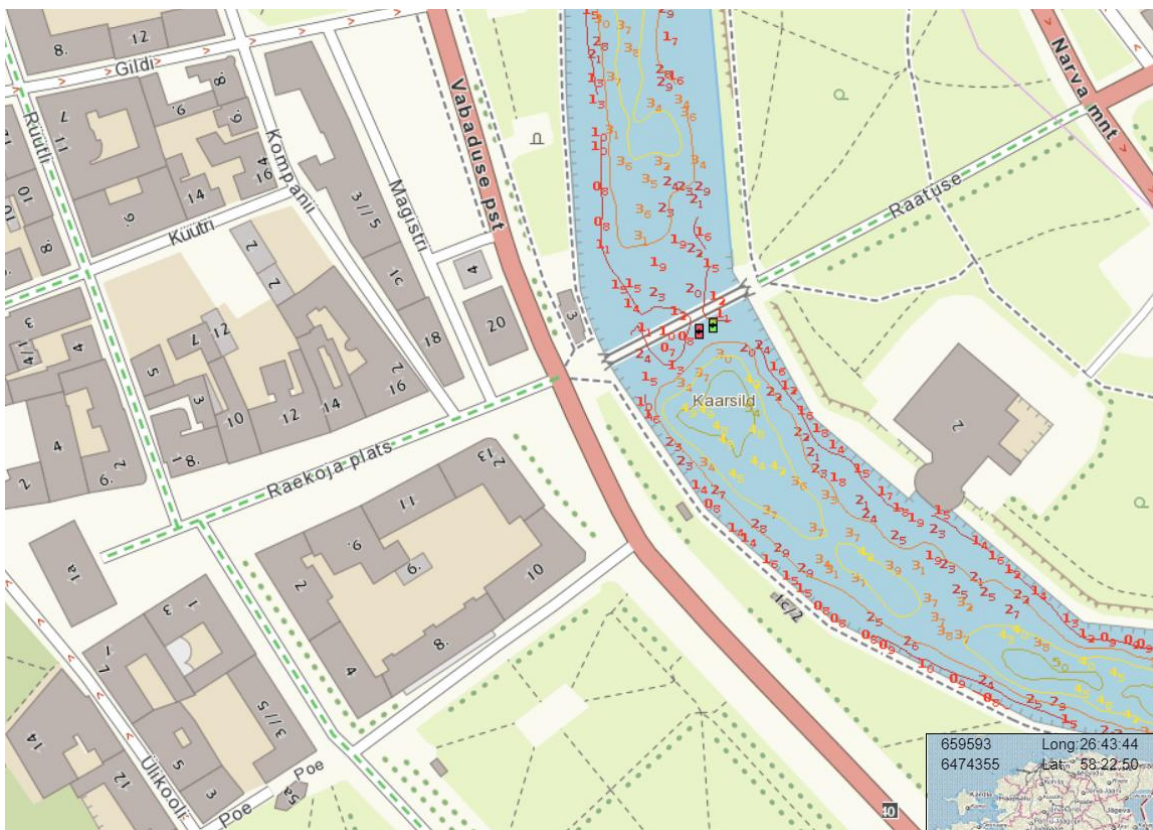
Joonis 3.18. Mitteametlikud Emaõe veetaseme mõõtmised 2010. aasta suurvee ajal (kõrgussüsteem BK77).



Joonis 3.19. Kivisilla varemud Kaarsilla all madala veeseisu korral (foto P.Keskküla).

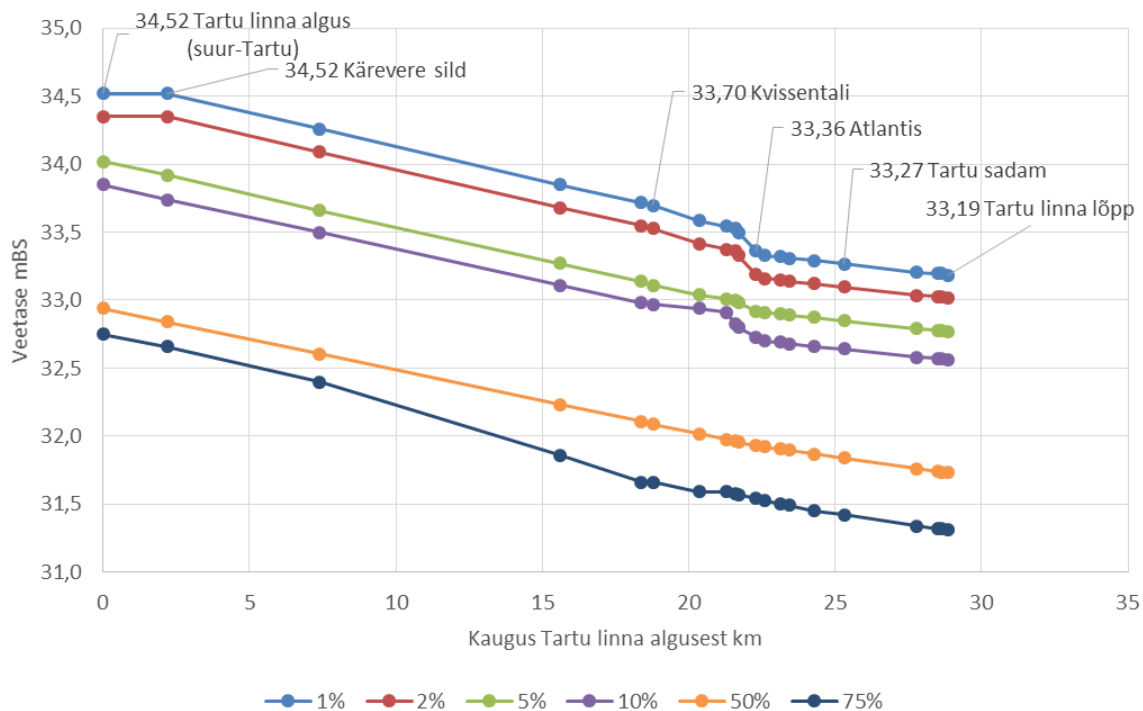


Joonis 3.20. Emajõe põhjaprofiil Tartus Kivisillast (Kaarsillast) ülesvoolu (foto P. Keskküla), punase noolega on näidatud arvatavad Kivisilla jäänused praeguse Kaarsilla all. Kõrgussüsteem BK77.



Joonis 3.21. Emajõe veesügavuste üldvisualiseering Kaarsilla juures (Veeteede Amet, 2018).

Lähtuvalt eeltoodud andmetest ja kaalutlustest korrigeeriti KAUR-i poolt väljastatud Emajõe erinevate ületustõenäosuste veetasemeid Tartu piires ja anti paisjooonest tulenev parand (jõelangutegur), vt joonis 3.22. Vastavate veetasemetega Tartu reljeefikaarti lõigates saab leida etteantud ületustõenäosusele vastava veetaseme ja selle vastava ehituskõrguse (näiteks konstruktiivne parand 1% suurveeaegse ületustõenäosuse kohta).



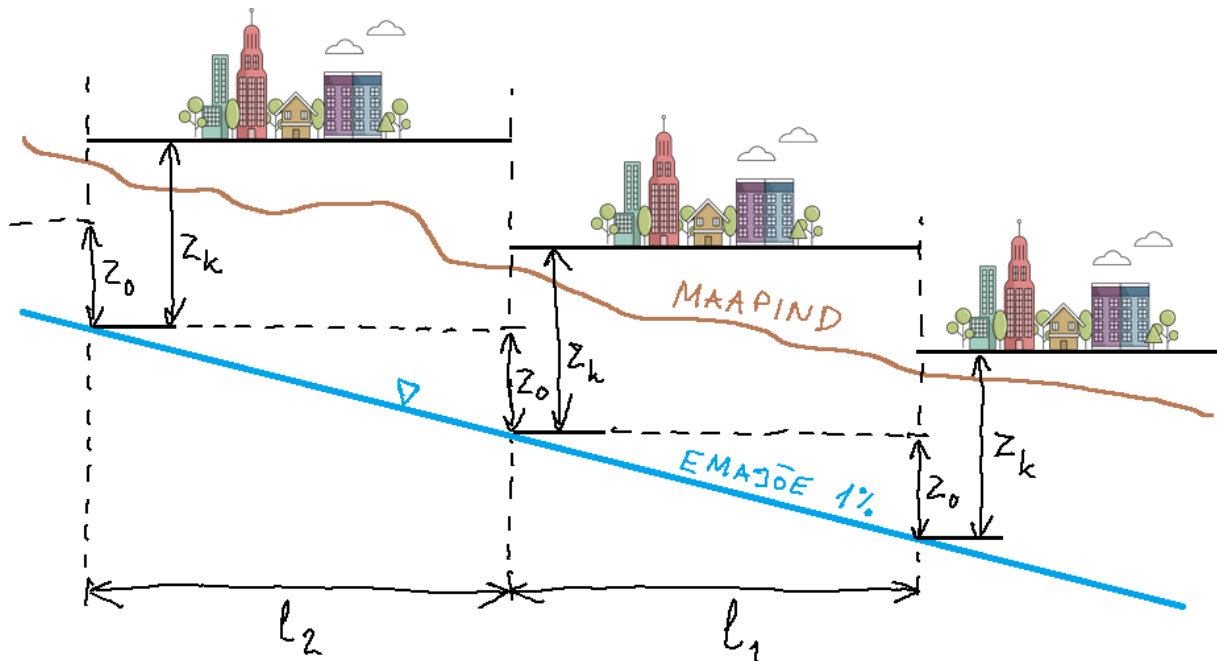
Joonis 3.22. Emajõe parandatud veetasemed erinevate ületustõenäosuste korral (kõrgussüsteem BK77).

3.5 Emajõe veetasemest ja ületustõenäosustest tingitud piirkonnad

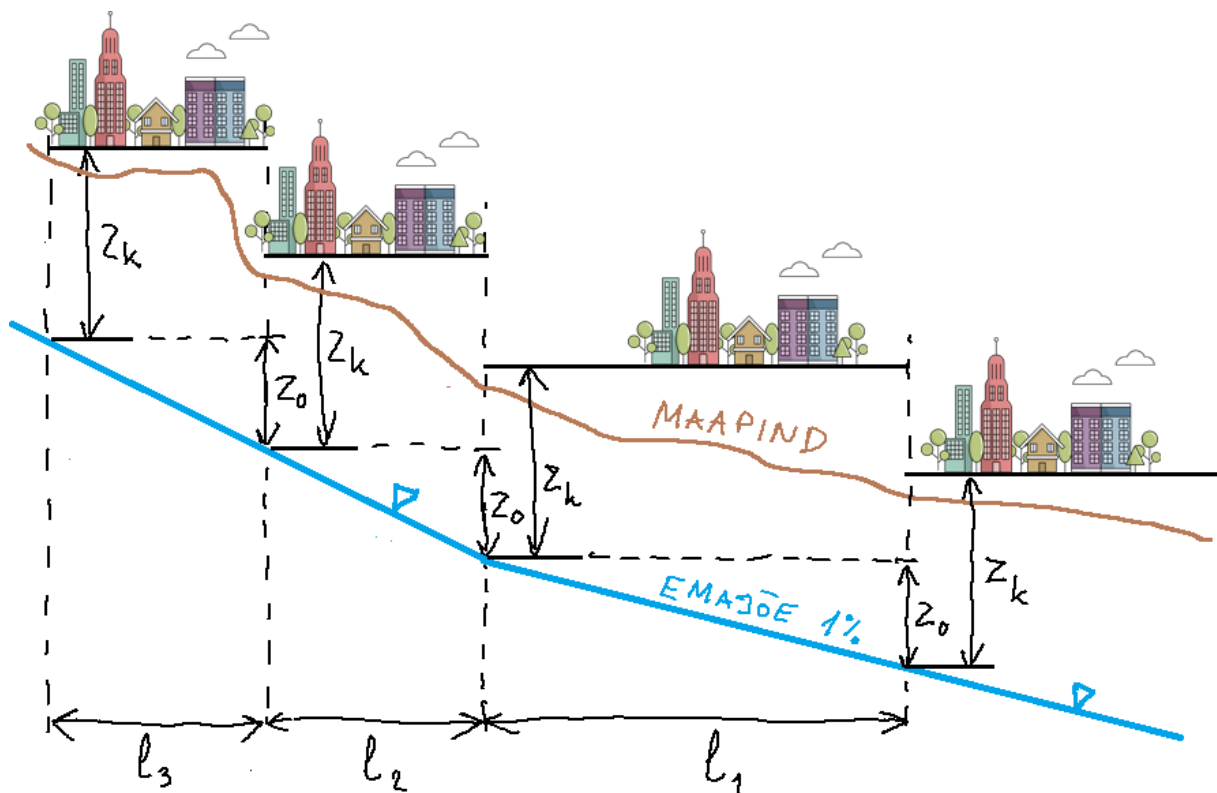
Emajõe äärde üleujutuste vältimiseks konstantse ehitiste nõ puhta põranda nulljoone kinnistamine ühele kindlale absoluutkõrgusele pole Tartu piirides mõeldav, sest arvestades Emajõe langu lõikab Tartu kesklinna jaoks sobiv absoluutkõrgus ülesvoolu Emajõe veetasel ja allavoolu tekiks ebamõistlik ja kallis nõ varu. Seda väärtust on vaja korrigeerida Emajõe languga (ptk 3.4).

Piirkondade jaoks on vaja fikseerida geomeetiline joon, mis määrab ära tsoonide piirid (põhimõtteskeemid joonistel 3.23 ja 3.24). Geomeetrilise eelis on see, et tsoonide piiridele ei teki erinevaid ja suuri „hüppeid“. Hüpete vähendamiseks peaksid tsoonide vahelised kõrgused (z_0) olema mõistlikud väikesed (nt 0,2 m), arvestades ka tsoonide mõistetavust ning mitte liiga suurt arvu.

Ehitusliku nn puhta põranda nulljoone määramiseks on soovitatav kasutada 1% ületustõenäosusega veetasel, millele lisandub konstruktiivne kõrgus (põhimõtteliselt on tegemist varuga uputuse olukorras) z_k .



Joonis 3.23. Piirkonnad ühtlase languga jões, põhimõtteline skeem (st pole mõõtkavas).



Joonis 3.24. Piirkonnad muutuva languga jões, põhimõtteline skeem (st pole mõõtkavas).

3.6 Tartu üleujutusi teoreetiliselt vähendavad nõuanded ning veetasemete seiresoovitused (Emajões)

Käesolev analüüs tõi välja, et Tartu kesklinna osas on Emajõgi surutud kitsasse kanalisse, kus lisaks endise Kivisilla jäänustele on Emajõe põhjas veel teinegi tõke Kaarsillast ülesvoolu



(joonis 3.20, ptk 3.4). Nende tõkete kõrvaldamine või vähendamine suurendaks Emajõe läbilaskvust Tartu kesklinna piirkonnas eriti suurvee ajal ja vähendades potentsiaalset ülesvoolu (Tartu Supilinn) tekkivat paisjoont, ühtlasi parandades Emajõe laevatavaust veevaesel ajal. Seega tuleks vastava teemaga tulevikus tegeleda, kui on soov üleujutusohu vähendamiseks. Kui erinevaid töid selles suunas tulevikus tehakse, siis tuleb saavutatav tulem erinevate mõõtmistega kinnitada. Viimane võimaldab tulevikus ja vajadusel üle vaadata ka selle ehk käesoleva töö lõpptulemusi (positiivsete andmete fikseerimisel).

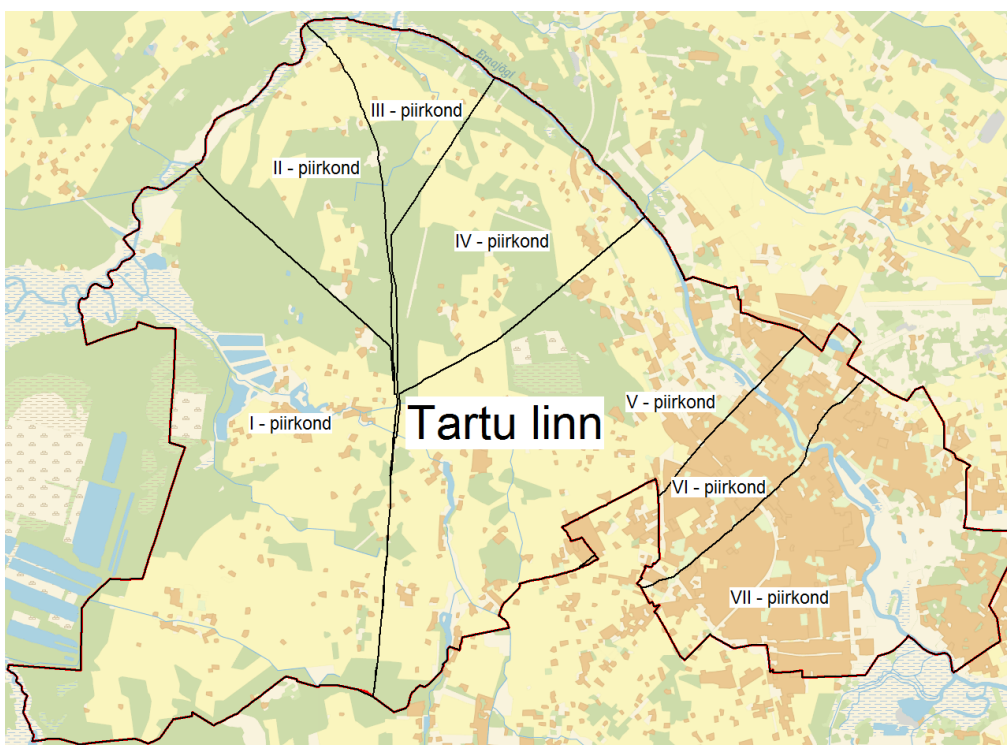
Vajalik oleks ka suurveeaegse (10% ja sellest harvemini esinevad veetasemed) veetaseme mõõtmiste korraldamine või tellimine Tartu Linnavalitsuse poolt, et täpsustada sildade paisutava mõju ulatust. Tartu Linnavalitsus peaks seega koondama ka vahendid, et suurvete ajal (10% ja harvem esinev veetase) saaks tellida Tartu linna veetasemete mõõtmised Emajõel, et hinnata nt erinevate sildade paisutuse mõju ja dünaamikat. Mõõttalad võiksid asuda vähemalt 50 meetrit üles- ja allavoolu Tartu igast sillast arvestatuna. Mõõtmiste skeemi võib tellida nt Eesti Maaülikoolist või mujalt vajalikku kompetentsi omavast asutusest. Sellised mõõtmised aitavad veelgi täpsustada uputuste aegset veeseisu ning ehitiste ja rajatiste jaoks vajalikku kõrgusvaru.

4. Emajõe üleujutusriskid Tartus ja nendega seotud meetmed

Ptk on koostatud, arvestades tööde eesmärgi ja ptk 1-3 koondunud infot. Vastav ptk on jaotatud alampeatükkideks, parema arusaadavuse tagamiseks. Ptk koostamisel on kasutatud alusandmeid kõrgussüsteemis, mis lähtub Euroopa süsteemist (EH2000).

4.1 Sisendandmed ja temaatika tausta tutvustus

Võttes aluseks mh ptk 3 koondunud teavet, siis jaotati Tartu linn seitsmesse piirkonda (vt joonis 4.1). Iga piirkonna kohta määrati Emajõe jõelangutegur, mida arvestades saab tuletada vastavasse piirkonda sobivaid absoluutkõrgusi (vt tabel 4.1 ja 4.2).



Joonis 4.1. Tartu linna ja Emajõe üleujutuspiirkonnad. Alus: Maa-amet, 2018.

Tabel 4.1. Tartu linna ja Emajõe üleujutuspiirkondade (vt joonis 4.1) kohta käivate absoluutkõrguste kujunemispõhimõtted.

Muutujad	Jõelangutegur (m)	Jõelangutegur liitub
I - piirkond	1,2	Tartu (Kvissentali) hüdromeetriaamale ⁽¹⁾ määratud veetasemete tõenäosustele (nt 1% tõenäosus (vt tabel 4.2)), mille on väljastanud Keskkonnaagentuur ⁽²⁾ ja vastava asutuse haldusalas Riigi Ilmateenistus ⁽¹⁾
II - piirkond	1,0	
III - piirkond	0,8	
IV - piirkond	0,6	
V - piirkond	0,4	
VI - piirkond	0,2	
VII - piirkond	0,0	

(1) - <http://www.ilmateenistus.ee/ilmateenistus/vaatlusvork/tartu-kvissentali-hudromeetriaaam/>

(2) - <http://www.keskkonnaagentuur.ee/>

Tabel 4.2. Tartu (Kvissentali) hüdromeetriaajaamale⁽¹⁾ määratud veetasemete (mAS) tõenäosuste valikuline (esitatud olulisemad, tulenevalt töö eesmärkidest) väljavõte. Baasalus: Keskkonnaagentuur, 19.02.2018. a (kõrgussüsteem EH2000).

Muutujad	Abs kõrgus (mAS)
1% veetaseme tõenäosus	33,5
5% veetaseme tõenäosus	33,1
25% veetaseme tõenäosus	32,5

(1) - <http://www.ilmateenistus.ee/ilmateenistus/vaatlusvork/tartu-kvissentali-hudrometriaajaam/>

Käesoleva töö käigus koondatud teabe alusel tuleb kinnise sajuveesüsteemiga uusarenduste planeerimisel arvestada 1% veetaseme tõenäosusele (vt tabel 4.1 ja 4.2) juurde vähemalt 0,5 m (sh maapealsed rajatised) ning hoonete null-tasandile vähemalt 0,8 m ehk 0,5 m, millele lisatakse veel 0,3 m (soklik kõrgus), mis teeb kokku 0,8 m. Vt täpsemalt ka ptk 4.2 ja 4.3.

4.2 Emajõe üleujutusriskide teemakaardid Tartus, sh nende teostuspõhimõtted

Toetudes ptk 4.1 esitatud teabele koostati Emajõe üleujutusriskide teemakaardid Tartu kohta, mis on leitavad lisadest:

- **Lisa 1.** Teemakaart - Tartu üleujutuspiirkond I lõuna osa tsoonidega, kõrgussüsteemis EH2000 (jpg; alus Maa-amet, 2018).
- **Lisa 2.** Teemakaart - Tartu üleujutuspiirkond I põhja osa tsoonidega, kõrgussüsteemis EH2000 (jpg; alus Maa-amet, 2018).
- **Lisa 3.** Teemakaart - Tartu üleujutuspiirkonnad II kuni IV tsoonidega, kõrgussüsteemis EH2000 (jpg; alus Maa-amet, 2018).
- **Lisa 4.** Teemakaart - Tartu üleujutuspiirkonnad V kuni VI tsoonidega, kõrgussüsteemis EH2000 (jpg; alus Maa-amet, 2018).
- **Lisa 5.** Teemakaart - Tartu üleujutuspiirkond VII tsoonidega, kõrgussüsteemis EH2000 (jpg; alus Maa-amet, 2018).
- **Lisa 6.** Teemakaart - Tartu üleujutuspiirkonnad I kuni VII tsoonidega, kõrgussüsteemis EH2000 (pdf; alus Maa-amet, 2018).

Eelnevalt loetletud teemakaartide koostamisel on kasutatud mh Maa-ameti andmeid (vt ka ptk 1), kõrgussüsteem EH2000. Teemakaartidel esitatud põhijoontega (esitatud olulisemad, tulenevalt töö eesmärkidest) seonduv taustteave on leitav tabelist 4.3. **Tabelis 4.3 esitatud tsoonid „1% tõenäosus + 0,5 m (roosa põhijoon)” ja „1% tõenäosus + 0,8 m (must põhijoon)” annavad indikatsiooni, kus paikkondades täpsemalt tuleb kindlasti järgida ptk 4.3 esitatud tingimusi. Vastavate tsoonide sisse jäävad siis juba tabelis 4.3 toodud ehk ülejäänud tsoonid „25% tõenäosus (sinine põhijoon)”, „5% tõenäosus (roheline põhijoon)” ja „1% tõenäosus (punane põhijoon)”. Eeltoodu tõttu neile aladele muid eritingimusi siinkohal ei seata, võttes arvesse mh töö käigus kogutud teavet ning saadud tulemusi.**

Täiendavalt toome välja, et ka käesoleva töö lisade 15 - 24 (vt ka tabel 4.4) teostamisel on kasutatud sh Maa-ameti andmeid (mh LIDAR (<http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Topograafilised-andmed/Korgusandmed/Aerolaserskaneerimise-korguspunktid-p499.html>)) kõrgusandmete (kõrgussüsteem EH2000) toorandmed - tava- ja madallend (andmed edastatud Alkranel OÜ-le 01.02, 02.02 ning 12.03 ja 14.03.2018. a)).

Tabel 4.3. Emajõe üleujutusriskide teemakaartide (vt lisad 1-6) info - Tartu seitsmes piirkonnas (vt ptk 4.1), kõrgussüsteem EH2000.

Muutujad	Tsoonid (nimetused ja abs kõrgused (kõrgussüsteem EH2000)) - vt jooniseid lisadest 1-6.				
	25% tõenäosus (sinine põhijoon ⁽¹⁾)	5% tõenäosus (roheline põhijoon ⁽¹⁾)	1% tõenäosus (punane põhijoon ⁽¹⁾)	1% tõenäosus + 0,5 m (roosa põhijoon ⁽¹⁾)	1% tõenäosus + 0,8 m (must põhijoon ⁽¹⁾)
I - piirkond	33,7	34,3	34,7	35,2	35,5
II - piirkond	33,5	34,1	34,5	35,0	35,3
III - piirkond	33,3	33,9	34,3	34,8	35,1
IV - piirkond	33,1	33,7	34,1	34,6	34,9
V - piirkond	32,9	33,5	33,9	34,4	34,7
VI - piirkond	32,7	33,3	33,7	34,2	34,5
VII - piirkond	32,5	33,1	33,5	34,0	34,3

(1) - vt jooniseid lisadest 1-6.

Töö raames valminud kaardikihid ja nende failinimed on esitatud tabelis 4.4.

Tabel 4.4. Valminud kaardikihid ja nende failinimed.

Viide lisade nimekirja alusel	Failide nimetus (dwg lõpuga)
Lisa 7. Tartu üleujutuspiirkond I (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_7_Tartu_yleujutuspiirkond_I
Lisa 8. Tartu üleujutuspiirkond II (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_8_Tartu_yleujutuspiirkond_II
Lisa 9. Tartu üleujutuspiirkond III (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_9_Tartu_yleujutuspiirkond_III
Lisa 10. Tartu üleujutuspiirkond IV (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_10_Tartu_yleujutuspiirkond_IV
Lisa 11. Tartu üleujutuspiirkond V (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_11_Tartu_yleujutuspiirkond_V
Lisa 12. Tartu üleujutuspiirkond VI (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_12_Tartu_yleujutuspiirkond_VI
Lisa 13. Tartu üleujutuspiirkond VII (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_13_Tartu_yleujutuspiirkond_VII
Lisa 14. Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII ja tsoonide nimetused (dwg; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_14_Tartu_yleujutuspiirkondade_I_kuni_VII_ja_tsoonide_nimetused
Lisa 15. Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 25% tõenäosuse tsooni põhijoon Emajõe paremkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_15_Tartu_yleujutuspiirkondade_I_kuni_VII_25pt_tpjoon_E_PK_EH2000
Lisa 16. Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 25% tõenäosuse tsooni põhijoon Emajõe vasakkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_16_Tartu_yleujutuspiirkondade_I_kuni_VII_25pt_tpjoon_E_VK_EH2000
Lisa 17. Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 5% tõenäosuse tsooni põhijoon Emajõe paremkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_17_Tartu_yleujutuspiirkondade_I_kuni_VII_5pt_tpjoon_E_PK_EH2000
Lisa 18. Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 5% tõenäosuse tsooni põhijoon Emajõe vasakkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_18_Tartu_yleujutuspiirkondade_I_kuni_VII_5pt_tpjoon_E_VK_EH2000
Lisa 19. Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 1% tõenäosuse tsooni põhijoon Emajõe paremkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_19_Tartu_yleujutuspiirkondade_I_kuni_VII_1pt_tpjoon_E_PK_EH2000
Lisa 20. Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 1% tõenäosuse tsooni põhijoon Emajõe vasakkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_20_Tartu_yleujutuspiirkondade_I_kuni_VII_1pt_tpjoon_E_VK_EH2000
Lisa 21. Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 1% tõenäosuse + 0,5 m tsooni põhijoon Emajõe paremkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_21_Tartu_yleujutuspiirkondade_I_kuni_VII_1pt_0_5_tpjoon_E_PK_EH2000
Lisa 22. Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 1% tõenäosuse + 0,5 m tsooni põhijoon Emajõe vasakkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_22_Tartu_yleujutuspiirkondade_I_kuni_VII_1pt_0_5_tpjoon_E_VK_EH2000
Lisa 23. Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 1% tõenäosuse + 0,8 m tsooni põhijoon Emajõe paremkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_23_Tartu_yleujutuspiirkondade_I_kuni_VII_1pt_0_8_tpjoon_E_PK_EH2000
Lisa 24. Tartu üleujutuspiirkondade I kuni VII 1% tõenäosuse + 0,8 m tsooni põhijoon Emajõe vasakkaldal (dwg; kõrgussüsteem EH2000; ei lisata paberil paberkõitele).	Lisa_24_Tartu_yleujutuspiirkondade_I_kuni_VII_1pt_0_8_tpjoon_E_VK_EH2000

4.3 Emajõe üleujutusriskidega seotud põhimeetmed Tartus

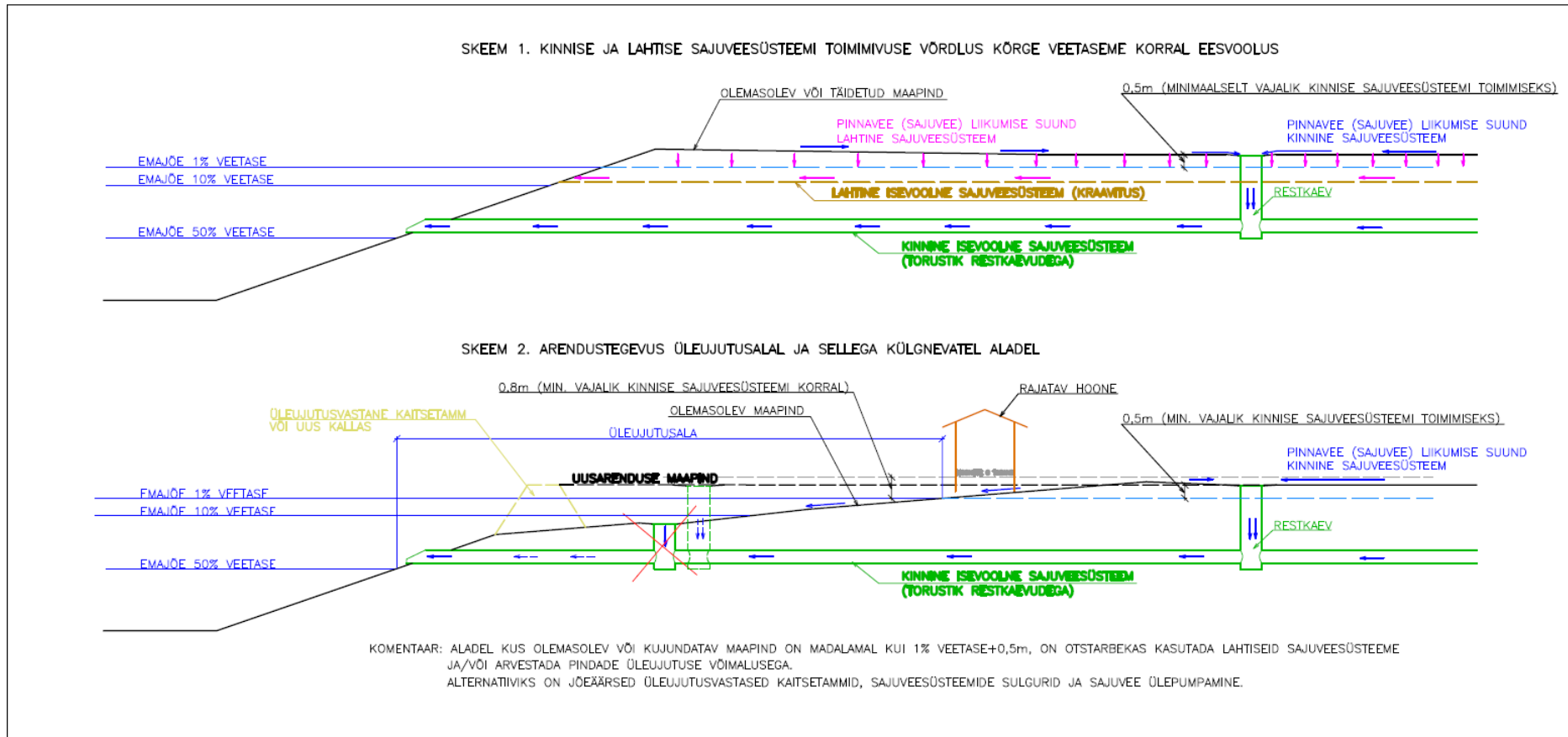
Ptk 4.1 ja 4.2 alusel määratud seitsmes Tartu piirkonnas tuleb käesoleva töö alusel jälgida järgnevat põhimeetmeid, mis on määratud (mh kõrgussüsteemis EH2000) arvestades käesoleva töö eesmärke.

Alljärgnevad meetmed on saadud arvestades mh ehitiste pikaajalise püsivuse tagamise eesmärke ning nii loodus- kui ka inimkeskkonna ohutuse ja kvaliteedi aspekte. **Ehitiste rajamiskõrgused üleujutussoonis (vt ptk 4.2 - kõrgeimaks indikaatorjooneks „1% tõenäosus + 0,8 m (must põhijoon)“ ning joonis 4.2):**

- Kui kavandatav tegevus jääb kahe üleujutusala piirile (nt elamuala), siis ehitiste kõrguste valikul lähtuda kõrgemast piirkonnast.
- Sajuvee juhtimine Tartu piires Emajõkke saab toimuda kas kinnise sajuveesüsteemiga (restkaevud, torustikud), lahtise sajuveesüsteemiga (lahtised kraavid, restidega kaetud rennid, vertikaalplaneerimisega tagatud pindmine äravool) või pumpamise teel. Siinkohal tuleb rõhutada, et kinnine drenaaž ei ole sajuveesüsteem.
- **Kinnise sajuveesüsteemiga (suubub Emajõkke) uusarenduste kavandamisel tuleb arvestada minimaalse maapinna kõrgusega, mis vastab ptk 4.2 esitatud põhijoonele - „1% tõenäosus + 0,5 m (roosa põhijoon)“ - ning asjakohasele kõrgusele (vastavalt üleujutuspiirkonnale). Hoonete null-tasandi minimaalne kõrgus - lähtuda kõrgusest ehk ka põhijoonest (vt ptk 4.2) „1% tõenäosus + 0,8 m (must põhijoon)“ - vastavalt üleujutuspiirkonnale. Seega käesoleva töö käigus koondatud teabe alusel tuleb kinnise sajuveesüsteemiga uusarenduste planeerimisel arvestada 1% veetaseme tõenäosusele (vt tabel 4.1 ja 4.2) juurde vähemalt 0,5 m (sh maapealsed rajatised) ning hoonete null-tasandile vähemalt 0,8 m ehk 0,5 m, millele lisatakse veel 0,3 m (soklik kõrgus), mis teeb kokku 0,8 m. Lisaks - kui sajuveesüsteemi projekteerimise/planeerimise kontrollarvutused näitavad, et nimetatud kõrgustega ei ole võimalik toimivat sajuveesüsteemi rajada (nt suur sajuvee vooluhulk), siis tuleb maapinna kõrgust suurendada maapinna täitmise teel või muuta tegevuse lahendust / asetust. Samuti tuleb suurendada hoonete sokli kõrgust kui see on vajalik arhitektuursetel või konstruktiivsetel kaalutlustel.**
- Eelnevas punktis kirjeldatust väiksemate maapinna kõrguste korral, kinniste sajuveesüsteemide kasutamisel ja suubumisel Emajõkke, arvestada pindade üleujutusvõimalustega (tõenäosused ja tsoonid vt ka ptk 4.2). Sellistes oludes pigem kasutada lahtiseid sajuvee ärajuhtimise lahendusi. Täiendavad erisused;
 - Madalamate rajamiskõrguste korral, üleujutuspiirkondades, kui selline valik on vältimatu (nt olemasolev olukord), saab alternatiiviks olla üleujutusvastaste kaitsetammide rajamine, sajuveesüsteemide sulgurid ja sajuvete ülepumpamine. Konkreetsete lahenduse sõltuvad alast ehk anda vastavates projektides / kavades.
 - Madalamad rajamiskõrgused on lubatud ka erandjuhtudel, kui üleujutuste võimalusi on teadvustatud aja aktsepteeritud. Võimalikud näidisobjektid;
 - Emajõe äärde viivad tupikteed, mis ei ole juurdepääsuks elamutele, ühiskondlikele- või tootmishoonetele ning laoplatsidele.
 - Looduslähedase kattega kergliiklusteed. Spordi- ja loodusrajad, loodusliku katendiga puhkealad ja neid teenindavad ning vett läbilaskva katendiga parklad.



- Ujuvvahendeid teenindavad rajatised: kaid, slipid, teenindusplatsid (mitte laoplatsid).
- Uusarenduste kavandamisel arvestada olemasolevate, eelkõige kõrgematelt aladelt lähtuvate vooluteedega ja hoiduda nende kinni ehitamisest.

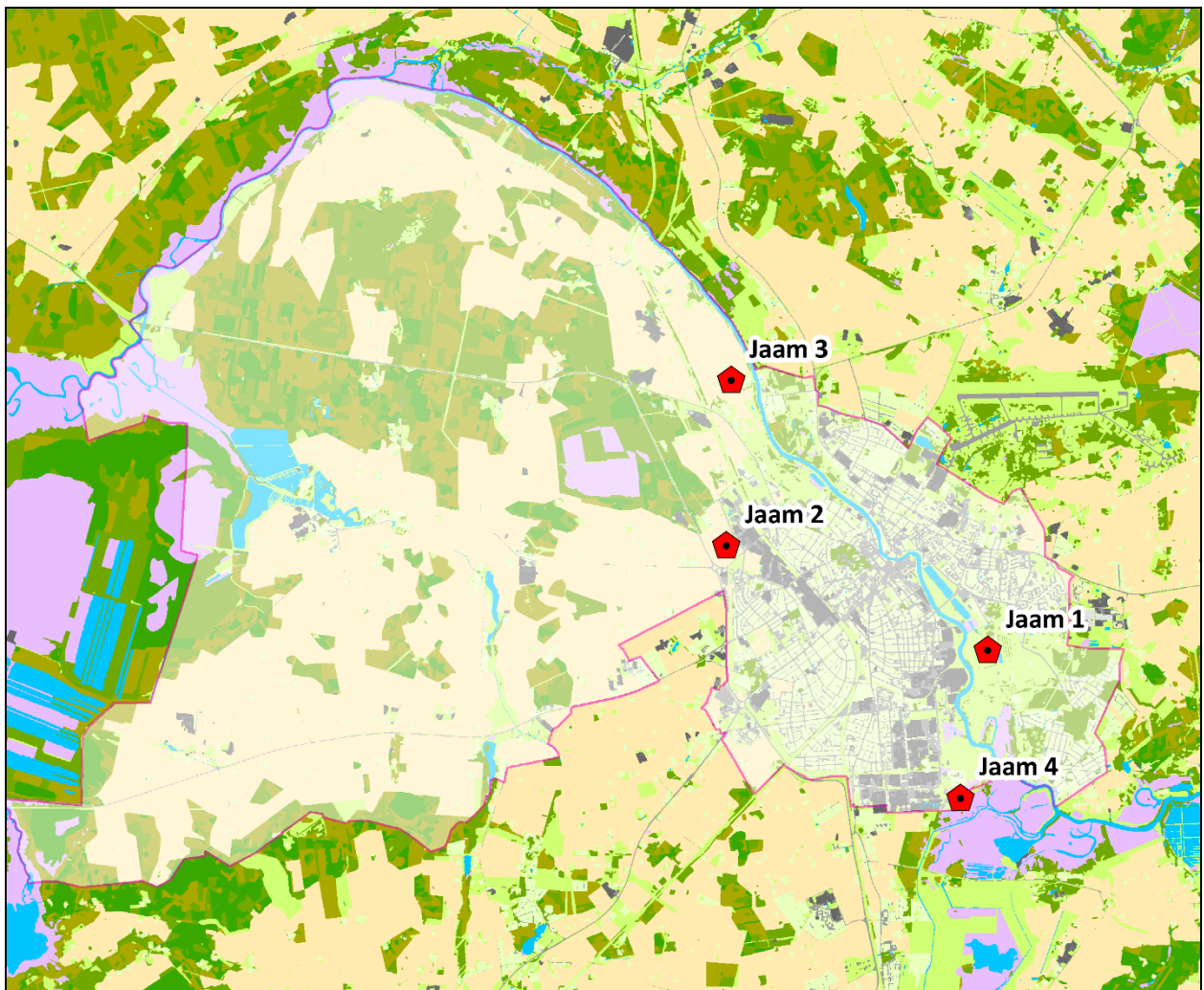


Joonis 4.2. Ehitiste rajamiskõrgused üleujutussoonis - informatiivsed skeemid (vt ka ptk 4.2 - kõrgeimaks indikaatorjooneks hoonetel „1% tõenäosus + 0,8 m (must põhijoon)”). Tartu (Kvissentali) hüdromeetriaajaamale (<http://www.ilmateenistus.ee/ilmateenistus/vaatlusvork/tartu-kvissentali-hudromeetriaajaam/>) määratud veetasemete (mAS; kõrgussüsteem EH2000) tõenäosuste valikinfo (baasalus: Keskkonnaagentuur, 19.02.2018. a) - 1% (33,5 m), 10% (32,9 m), 50% (32,1 m).

5. Automaatilmajaamade asukohaettepanekud ilmastiku jälgimiseks

Ptk on koostatud, arvestades tööde eesmärke ja ptk 1-4 koondunud infot.

Automaatilmajaama asukoha valikul tuleb lähtuda seisukohast, et antud asukoht vastab kindlatele standarditele, olles seega võrreldav ülejäänud jaamadega. Sademete mõõtmise juures on tähtis, et jaama ligidal ei oleks hooneid ega puid, mis võivad segada õhuliikumist ja seega ka korrektse sademete mõõdu saamist. Ideaalis võiks kaugus automaatjaamast ja segavatest faktoritest vähemalt 100 meetrit. Lisaks seati üheks kriteeriumiks ka krundi/maala atraktiivsus. Kriteeriumitele vastavate asukohtade leidmine Tartu linnas on üsna keeruline. Joonisel 5.1 on näidatud väljapakutud automaatjaamade asukohad, võttes arvesse nimetatud kriteeriume.



Joonis 5.1. Väljapakutud automaatjaamade asukohad Tartus (vt ka tabel 5.1).

Selline jaamade paiknemine on piisavalt tihe, mõõtmaks Tartu linnas paduvihmasid, mis võivad põhjustada linnasiseseid üleujutusi. Tihedam jaamade paiknemine ei annaks



märkimisväärselt paremat tulemust, kuna alati jääb võimalus, et jaamad ei saa nõ „sademetele pihta“. Täpsed L-EST XY koordinaadid on antud tabelis 5.1.

Tabel 5.1. Automaatjaamade L-EST XY koordinaadid (vt ka joonis 5.1), mida käesolevas töös soovitatatakse.

Automaatjaam	X	Y
1	6473033.4000	661155.6000
2	6474500.2352	656692.8176
3	6477418.4446	656780.8673
4	6470039.1939	660835.2751

Välja pakutud asukohaga automaatjaamad peavad võimaldama mõõta piisava täpsusega (nii kvalitatiivselt kui kvantitatiivselt) järgmisi parameetreid: sademed, tuule kiirus ja suund, välisõhu temperatuur ja suhteline õhuniiskus, päikesekiirgus.

Meteoroloogiliste andmete mõõtmiseks oleks ühest paljudest variantidest sobilik kasutada ettevõtte Davis Instruments Corp. meteoroloogiajaama „Vantage Pro2/ Vantage Pro2 Plus“, mis on piisavalt suure täpsusklassiga. Nimetatud ettevõtte meteoroloogiajaamad on laialt kasutatavad üle maailma, seda just kasutajasõbralikkuse ja –mugavuse tõttu. Lisaks tuleb välja tuua võrdlemisi lihtne andmete edastus „Weatherlink“ kaudu. Antud ettevõtte automaatjaama kasutab ka Tartu Veevõrk AS, kellel on seega olemas jaama ülesseadmise ja kasutamise kogemus.



Kokkuvõte

Käesoleva töö „Kliimamuutustega kaasneva üleujutusohu prognoosimine Emajõe vesikonnas ning leevendavate meetmete määramine Tartu linna üleujutusriskiga aladel” tellis Tartu Linnavalitsus, linnaplaneerimise ja maakorralduse osakond, üldplaneeringu- ja arenguteenistus. Töö on teostatud projekti iWater raames.

Töö teostamise koordineerimise eest vastutas asjakohase ja Tartu linnaga sõlmitud leppe alusel Alkranel OÜ. Töödega seotud Alkranel OÜ põhimeeskond:

- Elar Põldvere (Alkranel OÜ), sh tööde koordineerija.
- Kaari Susi (Alkranel OÜ).
- Toomas Tamm (Alkranel OÜ, töövõtulepingu alusel; Eesti Maaülikool).
- Ottar Tamm (Alkranel OÜ, töövõtulepingu alusel; Eesti Maaülikool).
- Urmas Nugin (Inseneribüroo Urmas Nugin OÜ).

Töö viidi läbi peale 2017. a haldusreformi ehk Tartu linna koosseisu kuulub ka endine Tähtvere vald, millega töö koostamisel arvestati. Töös keskenduti Emajõest tulenevatele üleujutusriskidele.

Töö põhieesmärkide täitmiseks toimusid mh töö tellijaga töökoosolekud ning töö teostamisest teavitati ka Keskkonnaametit ja Keskkonnaministeeriumit (e-kirjade adressaadid - Ivo.Ojamae@keskkonnaamet.ee, kaili.viilma@keskkonnaamet.ee, triin.magi@keskkonnaamet.ee, silja.jakobi@keskkonnaamet.ee, agne.aruvali@envir.ee).

Töö põhieesmärkideks olid ja tulemused:

1. Kirjeldada viimaste aastakümnete andmetele tuginedes prognoositavaid ilmastiku muutusi Tartus. Mh anda ülevaade sademete režiimi muutustest (sademeveehulgad, sajuperioodide aeg ja pikkus, äkktulvade sagedus) aastani 2050+. Näidata ilmastiku võimalike muutuste seoseid jõe veerežiimiga. **Tulemused esitatud ptk 1 - 3. Eraldi tuleb välja tuua ptk 3.6, kus on antud kogutud andmete põhjal nõuandeid, kuidas teoreetiliselt vähendada üleujutuste riski, mis tuleneb Emajõest ning samuti esitatud veetasemete seire korralduse osas soovitusi.**
2. Esitada erineva tõenäosusega esinevaid üleujutusriske kajastav kaart. Kaardil anda tulevikku suunatud, erineva tõenäosusega üleujutusriskiga alad, mille osas tuleb rakendada ehitamisel leevendavaid meetmeid, eraldi tuua välja alad, kus tuleb rakendada punktis 3 nimetatud tingimusi. **Tulemused (mh kõrgussüsteemis EH2000) esitatud ptk 4 ja seal viidatud lisades.**
3. Anda üleujutusriskiga uushoonestusalade ja juba hoonestatud alade ning rajatiste ehitamise (sh sademeveetorstike) minimaalsed kõrgusmärgid ruumimudeliga prognoositud võimalikel üleujutusosaladel. **Tulemused (mh kõrgussüsteemis EH2000) esitatud ptk 4 (täpsemalt ptk 4.2 ja 4.3).**
4. Esitada ilmastiku jälgimiseks automaatilmajaamade asukohavalikud. Kirjeldada mõõdetavaid karakteristikuid ja pakkuda välja automaatilmajaama mudel. **Tulemused esitatud ptk 5.**
5. Esitada tööd tutvustav esitlus. **Tulemused esitatud lisa 25.**



Käesoleva töö töögrupp soovib sarnase uuringu kordamist kaaluda minimaalselt 10 a pärast, vahepeelsel ajal järgides ka ptk 3.6 esitatud suuniseid. Vastav ajaskaala ja tervikkäsitlus võimaldab mh paremini mõista nõ Tartu paisjoone muutusi ajas ning sellega seonduvaid tingimusi siis vajadusel muuta / ümber sõnastada.



Kasutatud kirjandus

Loetletud olulisim - arvestades ka juba põhitekstis esitatud muid üldviiteid jms:

- Eesti tuleviku kliimastenaariumid aastani 2100 (A. Luhamaa jt, 2014) - https://www.envir.ee/sites/default/files/kliimastenaariumid_kaur_aruanne_ver190815.pdf
- Christensen JH, Christensen OB (2007). *A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century*. Clim Chang 81:7–30. doi:10.1007/s10584-006-9210-7.
- van Meijgaard, E., L. H. van Ulft, W. J. van de Berg, F. C. Bosvelt, B. J. J. M. van den Hurk, G. Lenderink, and A. P. Siebesma (2008). *The KNMI regional atmospheric model RACMO version 2.1*. Tech. Rep. 302, R. Neth. Meteorol. Inst., De Bilt, Netherlands.