



Merenduskeskus

Kristina Levina

Eesti jõgede aastase äravoolu pikaajaline hooajaline muutlikkus

Lõputöö

Juhendaja: Alvina Reihan

Kaasjuhendaja : Anna Põrh

Tallinn 2022

Olen koostanud töö iseseisvalt.

Töö koostamisel kasutatud kõigile teiste autorite töödele,
olulistele seisukohtadele ja andmetele on viidatud.

Kristina Levina

(allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

Üliõpilase kood: 183516

Üliõpilase e-posti aadress: kristina.levina7@gmail.com

Juhendaja Alvina Reihan:

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

(allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

Kaitsmiskomisjoni esimees Inga Zaitseva-Pärnaste, programmijuht, merenduskeskuse dotsent.

Lubatud kaitsmisele

(allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

Sisukord

Tabelite loetelu.....	5
Jooniste loetelu.....	7
Annotatsioon.....	8
Kasutatud lühendid	9
Sissejuhatus.....	10
1 Eesti jõgede ja hüdromeetriavõrgu kirjeldus	13
2 Uurimisala kirjeldus ja kasutatud andmed.....	20
3 Jõgede äravoolu aastasisese jaotuse arvutusmeetod	22
4 Jõgede äravoolu aastasisese jaotuse arvutamine.....	26
4.1 Jõgede äravoolu aastasisese jaotuse arvutamine kuude ja aastaegade lõikes perioodil 1965-2020.....	26
4.2 Jõgede äravoolu aastasisese jaotuse võrdlusanalüüs vaatluste algusest kuni 1965, kuni 2020 ning 1965-2020	29
4.3 Jõgede igakuise äravoolu suundumuste/trendide tulemused	38
4.4 Jõgede hooajaliste äravoolu trendide tulemused.....	42
5 Õhutemperatuur muutus.....	45
5.1 Sademete muutus	46
6 Analüüsi tulemused.....	48

Kokkuvõte.....	52
Summary.....	54
Viidatud allikad.....	56
Lisa 1. Mann-Kendall trendihooegade tulemused Narva jõgi, Vasknarva vooluhulgad	58
Lisa 2. Mann-Kendall trendihooegade tulemused Kunda jõgi, Sämi vooluhulgad	59
Lisa 3. Mann-Kendall trendihooegade tulemused Leivajõgi, Pajupea vooluhulgad	60
Lisa 4. Mann-Kendall trendihooegade tulemused Keila jõgi, Keila vooluhulgad	61
Lisa 5. Mann-Kendall trendihooegade tulemused Vihterpalu jõgi, Vihterpalu vooluhulgad	62
Lisa 6. Mann-Kendall trendihooegade tulemused Pärnu jõgi, Oore vooluhulgad	63
Lisa 7. Mann-Kendall trendihooegade tulemused Navesti jõgi, Aesoo vooluhulgad.....	64

Tabelite loetelu

Tabel 1 Kasutatud hüdromeetria seirejaamade loetelu koos	20
Tabel 2. Kuu keskmine äravool (mm) Narva jões Vasknarva seirejaama andmetel 1965-2020..	26
Tabel 3. Kuu keskmine äravool (mm) Emajõe seirejaama Tartu andmetel, 1965-2020.....	27
Tabel 4. Kuu keskmine äravool Keila jões seirejaama Keila andmetel (mm).....	27
Tabel 5. Kuu keskmine äravool mm Ahja jões Ahja seirejaama andmetel	28
Tabel 6. Kuu keskmine vooluhulk Purtse jões seirejaama Lügánuse andmetel (mm)	28
Tabel 7. Kuu keskmine vooluhulk Keila jões seirejaama Keila andmetel (mm).....	28
Tabel 8. Kuu keskmine vooluhulk Kasari jões seirejaama Kasari andmetel (või Teenuse) (mm)	28
Tabel 9. Kuu keskmine vooluhulk Vihterpalu jões seirejaama Vihterpalu andmetel (mm).....	28
Tabel 10. Kuu keskmine vooluhulk Oore jões seirejaama Pürnu andmetel (mm)	29
Tabel 11. Kuu keskmine vooluhulk Navesti jões seirejaama Aesoo andmetel (mm)	29
Tabel 12. Kuu keskmine äravool kõikide seirejaama andmetel (mm) 1922-1965 ja 1965-2020 aasta	31
Tabel 13. Hooaja keskmine õhutemperatuur ja sademed perioodidel Narva meteoroloogiajaamal 1965-2020 aasta	32
Tabel 14. Hooajalise äravoolu jaotus aastatel 1922-1965 millimeetrites ja protsentides	32
Tabel 15. Hooajalise äravoolu keskmine jaotus aastatel 1965-2020 millimeetrites ja protsentides	34
Tabel 16. Kuu keskmine õhutemperatuur ja sademed Tartu meteoroloogia jaamal perioodidel 1922-1965 ja 1965-2003	35
Tabel 17. Hooaja keskmine õhutemperatuur ja sademed Tartu meteojaamal perioodidel 1922-1965 ja 1965-2003	35
Tabel 18. Mann-Kendall vee veehulkade trendi tulemused, Narva jõgi -Vasknarva hüdroloogia seirejaam, periood 1960-2020.....	38
Tabel 19. Mann-Kendall sademete trendi tulemused Narva meteoroloogiajaama andmetel, periood 1960-2004	38
Tabel 20. Mann-Kendall trendi tulemused Emajõgi, Kvissental veeluhulgad	39
Tabel 21. Mann-Kendall sademete trendi tulemused Tartu meteoroloogiajaama andmetel, 1960-2003.....	39

Tabel 22. Mann-Kendall äravoolu trendi tulemused Ahja jõgi, Ahja vooluhulgad.....	40
Tabel 23. Mann-Kendall trendi tulemused Jägala, Kehra vooluhulgad.....	40
Tabel 24. Mann-Kendall hooegade trendide tulemused Emajõgi, Kvissental vooluhulgad.....	42
Tabel 25. Mann-Kendall hooegade trendide tulemused Ahja , Ahja vooluhulgad.....	42
Tabel 26. Mann-Kendall hooegade trende tulemused Jägala jõgi, Kehra vooluhulgad.....	42
Tabel 27. Mann-Kendall hooegade trendide tulemused Kasari, Kasari vooluhulgad.....	43
Tabel 28. Mann-Kendall hooegade trendide tulemused Purtse jõgi, Lüganuse vooluhulgad....	43
Tabel 29. Kevadine äravoolu kiht kahe perioodi jooksul (mm)	49
Tabel 30. Suve-sügise äravoolu kiht kahe perioodi jooksul (mm)	49
Tabel 31. Talvine äravoolu kiht kahe perioodi jooksul (mm).....	50
Tabel 32. Aastane äravoolu kiht kahe perioodi jooksul (mm).....	50
Tabel 33. Hooaja keskmine temperatuur ja sademet perioodidel Narva, Kunda, Tallinn, Pärnu, Tartu meterejaamadel 1965-2003 millimeetrites.....	50
Tabel 34. Temperatuuri ja sademete statistikaTartu ja Pärnu seirejaamadel (1922-1965 ja 1965- 2003)	51

Jooniste loetelu

Joonis 1 Eesti vesikonnad ja alamvesikonnad. (Järvet, http://entsyklopeedia.ee/artikkel/eesti_vesikonnad , 2011)	13
Joonis 2 Kasutatud seirejaamade kaart	21

Annotatsioon

Uuring viiakse läbi eesmärgiga välja selgitada kuidas on muutunud Eesti jõgede vooluhulk ning õhutemperatuur ja sademed (kliima faktorid), et vastata küsimusele "miks jõgede talvine ja suvine äravool ajas nihkusid?" Jõgede äravoolu hulk on oluline, sest väga suur vooluhulk võib põhjustada mulla erosiooni ja hävitavaid üleujutusi, samas kui vooluhulk on väga väike, võib see halvendada vee kvaliteeti, kahjustada kalu ja vähendada inimeste jaoks kasutatava vee hulka. Lisaks sõltuvad mõned taimed ja loomad oma elutsükli osana teatud jõevoolurežiimist. Ka majandust mõjutab aastase äravooluhulga muutus, näiteks kui veetase jões langeb, ei saa laevad sõita (Agency, 2021).

Sellest lähtuvalt on käesoleva lõputöö põhieesmärk:

Vastata küsimusele «Kas Eesti jõgede talvine ja suvine äravool ajas nihkusid?». Järgmine eesmärk on leida Eesti jõgede äravoolu aastajaotuse muutused, selleks teha jõgede pikaajaliste vooluhulkade võrdlus analüüs kuni 1965 aastani ning praeguse ajani.

Eesmärgi täitmiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

1. Määrata hüdroloogilised hooajad: talv, kevad, suvi-sügis (hüdroloogiliste vaatluste algusest kuni 1965 ning 1965 kuni 2020);
2. Arvutada kuukeskmise vooluhulk järgmiste seirejaamade vaatlusandmetel perioodil 1965-2020: Vasknarva (Narva jõgi), Tartu (Emajõgi), Ahja (Ahja jõgi), Lüganuse (Purtse jõgi), Sämi (Kunda jõgi), Kehra (Jägala jõgi), Pajupea (Leiva jõgi), Keila (Keila jõgi), Kasari (Kasari jõgi), Vihterpalu (Vihterpalu jõgi), Oore (Pärnu jõgi), Aesoo (Navesti jõgi);
3. Arvutada äravoolu kiht mm-tes hooajati;
4. Äravoolukihi võrdlus 2 perioodi jooksul;
5. Mann-Kendall trendtesti kasutamine vaatlusandmetes trendide tuvastamiseks;
6. Meteoroloogiliste andmete analüüs uurimise perioodil.

Minu arvutused kinnitavad, et hooajalised äravoolu muutused on tõepoolest toimunud. Äravoolu trendianalüüs ja kõik arvutused kinnitavad, et talvine äravool on suurenenud, aga kevadine äravool on vähenenud, mis näitab äravoolu ümberjaotumist kevadise ja talvise äravoolu vahel. Kevad tuleb varem sest talved on soojemad. Suvine-sügisene äravool olenevalt piirkondadest kas väheneb või suureneb.

Kasutatud lühendid

WMO	World Meteorological Organization
mm	Millimeetrid
m ³ /s	Kuub meeter sekundis
m	Meeter
km ²	Ruut kilomeeter
cm	Sentimeeter
km/h.	Kilomeeter tunnis
m ²	Ruut meeter
kW	Kilovatt
ca	Circa
%	Protsent
°C	Kraad Celsiuse järgi
v.a,	Välja arvatud

Sissejuhatus

Äravool on vee kandmise kiiruse mõõt jõgedes ja ojaes ning see on inimeste ja keskkonna jaoks oluline ressurss. Jõgede vooluhulga muutused võivad otseselt mõjutada joogiveevarustust ning põllukultuuride niisutamiseks, elektritootmiseks ja muudeks vajadusteks saadaolevat vee hulka. Lisaks sõltub paljude taimede ja loomade elupaik ja ellujäämine jõevoolest (Agency, 2021).

Loomulikult, muutub äravool aastaringselt. Näiteks, jõgede ja ojaes vooluhulk on mitmel pool riigis suurim kevadel, kui talvel kogunenud lumi sulab ning madalaim hilissuvel. Jõgede äravoolu hulk on oluline, sest väga suur vooluhulk võib põhjustada mulla erosiooni ja hävitavaid üleujutusi, samas kui vooluhulk on väga väike, võib see halvendada vee kvaliteeti, kahjustada kalu ja vähendada inimeste jaoks kasutatava vee hulka. Suure vooluhulga ajastus on oluline, kuna see mõjutab veehoidlate haldajate võimet säilitada vett hilisemate aastate vajadusteks. Lisaks sõltuvad mõned taimed ja loomad (nt rändkalad) oma elutsükli osana teatud jõevooležiimist. Ka majandust mõjutab aastase äravoolu hulga muutus näiteks veetaseme langemisega ei saa laevad sõita. (Agency, 2021)

Viimasel ajal üha rohkem leidub artikleid, kust selgub, et aasta äravoolu jaotuses toimuvad muutused. Mägede lumekott on väga tundlik õhutemperatuuri suhtes, mis mõjutab sademete faasi. Vaatlustega dokumenteeritud õhutemperatuuri tõusu tulemusena väheneb lumesajuosa, lumesajuvee osakaal, mis on ekvivalentne antud perioodi sademete koguhulgast (N. Knowles, 2006). See vähenemine toob kaasa üldiselt väheneva lumekogu, hilisema lume kuhjumise ja varasema lumesulamise (J.C. Fyfe, 2017); (C. Marty, 2017). On hästi teada, et muutused kliimaindeksites, eelkõige lumesadu ja lume ladestumine, mõjutavad oluliselt hooajalist veebilanssi ja sademete-äravoolu protsessi (J. Langhammer, 2020). Kõrgematespiirkondades need protsessid käituvad keeruka süsteemina, kus valgala kogu äravool on segu erinevatest sisendkomponentidest, nimelt sademetest, lumesulamisest ja potentsiaalselt liustike sulamisest.

See segunemine mõjutab oluliselt äravoolu hooajalist jaotumist aasta jooksul. Paljudes uuringutes on arvutatud lume suhteline tähtsus äravoolule võrreldes sademetega (W.R. Berghuijs, 2014); (M. Jenicek, 2020); (L. Meriö, 2019), mille tulemuseks on asjaolu, et valgalalt lahkub suurem osa

lumest tekkinud äravoolust, kui see, mis vastaks lumesajuosale (D. Li, 2017). Seda võib seletada näiteks väiksema talvise aurustumisega, mis põhjustab talveperioodiga võrreldes kõrgemaid äravoolukoefitsiente, taimestiku väiksemat veenõudlust ning mulla niiskuse ja äravoolu tekke erinevusi lume sulamisel võrreldes sademetega (T.B. Barnhart, 2016). Sellegipoolest võib lumesaju vähenemist ja seega ka lumesulamisest tulenevat väiksemat äravooluhulka kompenseerida talvise vihmakoguse suurenemisega (J.C. Hammond, 2020).

Eestis aastasisene äravoolu jaotuse analüüs oli tehtud 1960-ndate aastatel (M.S. Protasjev, 1972), seetõttu on jõgede äravoolu muutustest praeguses olukorras vähe teada.

Sellest lähtuvalt on käesoleva lõputöö põhieesmärk:

Vastata küsimusele «Kas Eesti jõgede talvine ja suvine äravool ajas on nihkunud?». Järgmine eesmärk on leida Eesti jõgede äravoolu aastajaotuse muutused, selleks teha jõgede pikaajaliste vooluhulkade võrdlusanalüüs kuni 1965. aastani ning praeguse ajani.

▪ Eesmärgi täitmiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

1. Määrata hüdroloogilised hooajad: talv, kevad, suvi-sügis (hüdroloogiliste vaatluste algusest kuni 1965 ning 1965 kuni 2020);
2. Arvutada kuukeskmise vooluhulk järgmiste seirejaamade vaatlusandmetel perioodil 1965-2020: Vasknarva (Narva jõgi), Tartu (Emajõgi), Ahja (Ahja jõgi), Lüganuse (Purtse jõgi), Sämi (Kunda jõgi), Kehra (Jägala jõgi), Pajupea (Leiva jõgi), Keila (Keila jõgi), Kasari (Kasari jõgi), Vihterpalu (Vihterpalu jõgi), Oore (Pärnu jõgi), Aesoo (Navesti jõgi),
3. Arvutada äravoolu kiht mm-tes hooajati. Selleks, et äravoolukiht oleks ühes mõõtühikus kogu ajavahemikul 1922-2020 aastani mugavuse huvides, kuna hilisemad vooluhulgad võeti KAURi kodulehelt ja need olid m^3/s ;
4. Äravoolukihi võrdlus 2 perioodi jooksul;
5. Kasutada ARCGIS töövahend, et visualiseerida seirejaamade asukoht kaardil;
6. Võimalusel vaatlusandmetes trendide välja selgitamiseks kasutada Mann-Kendal trendtesti;
7. Võimalusel meteoroloogiliste andme analüüs uurimise perioodil.

Lõputöös võrdlesin äravoolukihi muutused 2 perioodi jooksul. Esimesel perioodi andmed võtsin allikast „Eesti Pinnavee Ressursid“ (M.S.Protasjev, 1972) ja teisel perioodi andmed analüüsisin ise. Selleks kasutasin kuukeskmist vooluhulga järgmiste seirejaamade vaatlusandmetest perioodil 1965-2020: Vasknarva (Narva jõgi), Tartu (Emajõgi), Ahja (Ahja jõgi), Lüganuse (Purtse jõgi), Sämi (Kunda jõgi), Kehra (Jägala jõgi), Pajupea (Leiva jõgi), Keila (Keila jõgi), Kasari (Kasari jõgi), Vihterpalu (Vihterpalu jõgi), Oore (Pärnu jõgi), Aesoo (Navesti jõgi). Arvutasin äravoolu kihte mm-tes hooajati, analüüsisin muutusi pikaajalistes kuu keskmistes ja hooajalistes vooluhulgades ning kuukeskmistes sademetes ja õhutemperatuurides. Et leida trendi jõgede äravoolu andmetes, kasutasin Mann-Kendalli trendtesti ja tegin esimese ja teise uuringu perioodi võrdlusanalüüsi.

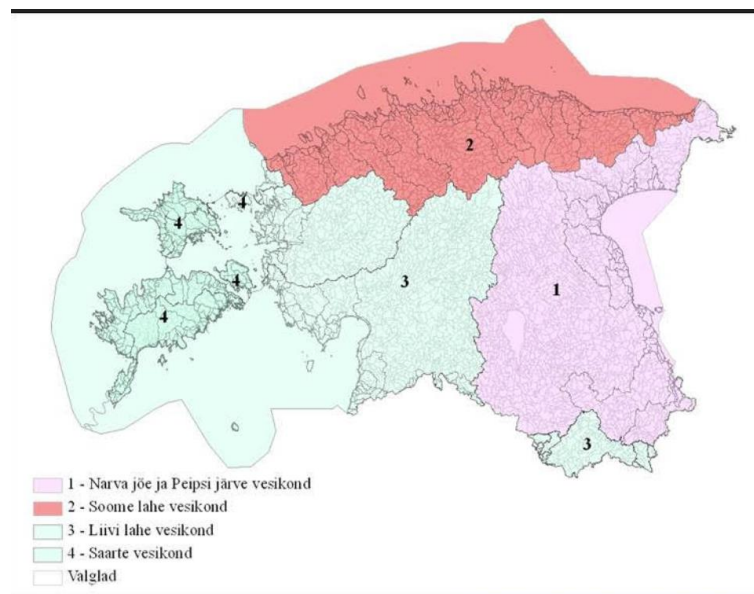
Lõputöö on jaotatud viieks peatükiks. Töös esimeses peatükis tutvustatakse Eesti jõgede ja hüdromeetriavõrgu. Teises peatükis on esitatud uurimisala kirjeldus ja kasutatud andmed. Kolmandas peatükis kirjeldatud jõgede äravoolu aastasisese jaotuse arvutusmeetod. Neljandas peatükis analüüsitakse jõgede äravoolu aastasisese jaotuse arvutamine pikaajalise perioodi jaoks (1965-2020), jõgede äravoolu aastasisese jaotuse võrdlusanalüüs vaatluste algusest kuni 1965, kuni 2020 ning 1965-2020 ja tehtud äravoolu muutuste statistiline analüüs Mann-Kendall trend testi kasutamisel. Viiendas peatükis on toodud õhutemperatuuri ja sademete muutused.

Analüüsi jaoks kasutasin EXCELI tarkvara ja ARCGIS töövahendit. Kasutasin EXCELI tarkvara, et jagada aastaid aastaegadeks ja aastate keskmiseks. Igal aastal määrasin kuukeskmist. Kasutati ARCGIS töövahendit, et visualiseerida seirejaamade asukohti kaardil. Veemajanduse aasta alguseks valisin hindamiseks aasta perioodi, alustades kõige rikkalikumast hooajast ehk kevadest, mis algab käesoleva aasta märtsis ja lõpeb järgmise aasta talvel ehk veebruaris, tähendab, et talv algab jooksva aasta detsembris ja lõpeb järgmise aasta veebruaris. Sel põhjusel veemajanduse 2020. aasta talve minu töös ei uuritud, kuna 2021. aasta kohta hetkel andmed puuduvad ja talvehooaega pole võimalik arvutada.

1 Eesti jõgede ja hüdromeetriavõrgu kirjeldus

Eesti vesikonnad

Tervikuna asub kogu Eesti Läänemere vesikonnas. Eestit läbib Soome lahe ja Väinamere – Liivi lahe veelahe. Eesti piiresse jääb ka ligi pool Euroopa suurimate järvede hulka kuuluvast Peipsi järvest ning 34,1% selle vesikonnast (kogu vesikond 47 800 km²). Et Peipsil on Narva jõe kaudu väljavool merre, siis on mõeldav käsitleda Narva jõge ja Peipsit ühise Peipsi järve – Narva jõe vesikonnana. Samal ajal on Narva jõgi nii hüdroloogiliselt kui ka bioloogiliselt režiimilt Peipsi järve suubuvatest jõgedest üsna erinev ja vaadeldav Soome lahe vesikonna osana. Johtuvalt eeltoodust võib Eesti mandriosa jaotada kolmeks – Narva jõe vesikond, Soome lahe ning Liivi lahe vesikonnaks (käsitletakse ka Väinamere – Liivi lahe vesikonnana). Neljanda, saarte vesikonna moodustab Lääne-Eesti saarestik, kuigi sealt on äravool nii Väinamerre, Liivi lahte kui ka Läänemere avaossa (Järvet, 2011).



Joonis 1 Eesti vesikonnad ja alamvesikonnad. (Järvet, http://entsyklopeedia.ee/artikkel/eesti_vesikonnad, 2011)

Narva Jõgi

Narva jõgi, Eesti ning Venemaa Leningradi oblasti piirijõgi; pikkus Eesti baaskaardi põhjal 72,5 km (varasemal andmel 77 km), Peipsi järve – Narva jõe valgala 56 200 km² (sellest Eestis 17 100 km²), keskmine vooluhulk suudmes 380–400, lähtes 330 m³/s. Soome lahte suubuvatest jõgedest jääb Narva jõgi veerohkusele maha vaid Neevast. Laius 250–650 m, sügavus 4–6 m, langus 30 m. Jões on kümmekond saart (Jaama, Permisküla ja Kuningaküla juures ning Narva linnas Kreenholm). Kui ehitati Narva hüdroelektrijaama, juhiti jõgi Kreenholmist ülemale ehitatud paisuga Ivangorodis 2,3 km pikkusesse derivatsioonikanalisse, paisu taha tekkinud Narva veehoidla ujutas jõesängi 35 km pikkuselt üle ja Narva juga jäi kuivale.

Ülemjooksul, Permisküla (Verhovski) saare ja Gorodenka küla vahel, on jõesäng paene ja vool kärestikuline (Omuti kärestik), teine kärestikuline jõelõik on Narva joast alamal Joaorus. Jõgi on laevatatav Kuningakülast Kulguni ja Narvast suudmeni. Tähtsaimad vasakpoolsed lisajõed on Jaama (16 km), Poruni (11 km), Musta- (23 km), Kulgu (19 km) ja Tõrvajõgi (16 km) ning Gorodenka (21 km) ja Kudruküla (Pruuka) oja (6 km), paremalt suubuvad Vtroja, Tšerjomuhha ja Kriusa ning Narva veehoidlasse Pljussa jõgi. Lauga (Luuga) alamjooksu ja Narva jõe suudmeala ühendab muutliku voolusuunaga Rosona (Rossoni) jõgi.

Narva jõe ääres asuvad Narva ja Ivangorod. Eesti ja Venemaa vaheline piir kulgeb mööda Narva jõe voolunõva. (Järvet, Eesti Entsüklopeedia, 2012)

Emajõgi

Emajõgi, ka Suur-Emajõgi, Eesti suurimaid jõgesid; pikkus 101 km, jõgikond koos Võrtsjärve vesikonnaga 9960 km² (sellest 98 km² Lätis), vooluhulk keskmiselt 71,8 m³/s. Jõe laius on 20–145 m, suurim sügavus 11 m, kogulang 3,5 m, voolukiirus keskmiselt 3,7 km/h. Algab Võrtsjärve kirdenurgast Rannu-Jõesuust, suubub Praagal Peipsisse.

Võrtsjärvest Kärevere sillani (40 km) on jõgi looklev ja soodirikas (vanajõed), Peipsi veeseisu paisutatav mõju ulatub Tartuni. Rannu-Jõesuu ja Pede suudme vahel võib mõnikord suurvee ajal voolusuund muutuda vastupidiseks. Ülem- ja alamjooksul voolab jõgi soistel madalikel, keskjooksul lookleb ürgorus (laius Tartu kohal üks kilomeeter, mujal enamgi, sügavus kuni 20 m),

kevaditi on suuri üleujutusi. Emajõel on üle 20 lisajõe. Hüdroloogilisi vaatlusi on Tartus tehtud aastast 1867 samas kohas – Kivisilla, nüüd jalgsilla juures. Kõrgeim mõõdetud veetase on olnud 373 cm üle graafiku nulli (6. V 1867), madalaim 47 cm alla nulli (13. XI 1939).

Emajõgi on Eestis ainuke kogu ulatusesblaevatatav jõgi. Tähtsamad kalad on haug, latikas, ahven, särg ja säinas (üldse on Emajõest püütud üle 40 liigi kalu).

Emajõge on esimest korda mainitud 1224 (Emaioga). Mõnikord on Suurt ja Väikest Emajõge peetud üheks jõeks (Emajõeks). Emajõeks on nimetatud ka Pärnu jõge. (Entsüklopeedia)

Ahja jõgi

Ahja jõgi, Emajõe suurim parempoolne lisajõgi; pikkus 95 km, jõgikond 1073 km². Algab Erastvere järvest (madala veeseisu korral väljavool katkeb), suubub Peipsist 8,8 km kaugusel. Alamjooksul laevatatav, keskjooksul asub Saesaare hüdrelektrijaam. Eesti looduskauneimaid jõgesid; ülemjooksul Tilleoru kaitseala, keskjooksul Ahja jõe ürgoru maastikukaitseala (18 km piki jõge). Ürgorus paljanduvad Valgemetsal, Kiidjärvel ja Taevaskojas 12–20 m kõrgused liivakivikaljud (nn. taevaskojad). Kanuuturism. (Entsüklopeedia)

Purtse jõgi

Purtse jõgi, ülemjooksul ka Koolma, keskjooksul Oandu jõgi, algab Tudu lähedalt Punasoo idaservast, voolab läbi Püssi ja Lüganuse ning suubub Purtses Soome lahte; pikkus 51 km, jõgikond 810 km², vooluhulk keskmiselt 6,7 m³/s.

Püssist alamal voolab kärestikulisena sügavas orus (seal paljanduvad aluspõhjakivimid). Suurimad vasakpoolsed lisajõed on Hirmuse (ka Sirtsu ja Soonurme, mõnikord käsitletud ka Purtsu jõe ülemjooksuna, 22 km) ja Erra (Koljala, 21 km) ning parempoolsed Ojamaa (29 km) ja Kohtla jõgi (29 km). Nõukogude ajal oli Purtsu jõgi Eesti reostatuim jõgi (naftasüivesinikud, fenoolid). (Entsüklopeedia)

Kunda jõgi

Kunda jõgi, ülemjooksul ka Võhu jõgi, keskjooksul Põlula jõgi ja Sämi jõgi, asub Põhja-Eestis; pikkus 64 km, jõgikond 530 km², vooluhulk keskmiselt 5–6 m³/s. Algab Pandivere kõrgustiku idaservalt, voolab Viru lavamaal, läbib sügavas orus Põhja-Eesti paekalda ja suubub Soome lahte. Kunda linnas on jõel kaks jõujaama (võimsus 200 ja 336 kW). (Entsüklopeedia)

Jägala jõgi

Jägala jõgi voolab Põhja-Eestis; pikkus 97 km, jõgikond 1570 km², keskmine vooluhulk 10–12 m³/s. Algab Pandivere kõrgustiku läänenõlvalt Järva-Jaanist loodes, suubub Ihasalu lahte. Jõe lang (82 m) on suurim alamjooksul, 4,3 km kaugusel suudmest asub Jägala juga. Jägala jõe kesk- ja alamjooksul on mitu paisu, kõrgeim neist jõe suudmest 1,3 km kaugusel asuva Linnamäe hüdroelektrijaama pais (kõrgus 11 m). 1975. aastast on Jägala jõgi ühendatud Tallinna veevarustussüsteemiga, ta saab kanali kaudu vett ka Pärnu jõest ja annab seda Sae–Paunküla kanali kaudu Pirita jõele. 1984 valminud Kaunissaare veehoidlasse juhitakse Soodla jõe, Aavoja ja Raudoja vett, veehoidlast lähtub Jägala–Pirita kanal. (Entsüklopeedia)

Keila jõgi,

Keila jõgi, Soome lahe vesikonna Eesti ala pikim jõgi; pikkus 116 km, jõgikond 682 km², vooluhulk keskmiselt 5,5–6,5 m³/aastas. Algab Viirika soo lääneservast, saab vett Kaiu ümbruse allikaist, suudmest 1,7 km on jõel Keila juga (selle energiat kasutab 2005. aastal restaureeritud veejõujaam; 365 kw/h võimsusega generaator). Keila-Joa kohal suubub Lohusalu lahte. Tähtsaimad lisajõed on Atla (33 km) ja Maidla (22 km). Keila jõe ääres asuvad Kohila, Kurtna, Kiisa ja Keila. (Entsüklopeedia)

Kasari jõgi

Kasari jõgi, kesk- ja ülemjooksul ka Teenuse jõgi, asub Lääne-Eestis; pikkus 112 km, jõgikond 3210 km², vooluhulk keskmiselt 25 m³/s. Algab Rabivere küla läänepiirilt Kelba soo servalt, voolab valdavalt soistel aladel (Sipast alamal on jõel ka kõrgeid kaldaid). Risti–Virtsu maanteest alamal voolab Kasari jõgi Matsalu looduskaitsealal Kasari luhal. Jaguneb Kelu küla kohal kaheks suudmeharuks: peaharu (Kasari jõgi) suubub Matsalu lahte kanalina, kõrvalharu

(Rõude jõgi) lahe kirdesoppi. Kesk- ja alamjooksul on suuri üleujutusi. Risti–Virtsu maanteel on Kasari jõel kaks silda: osaliselt kasutatav vana raudbetoonsild (ehitusmälestis oli valmimise ajal 1904 omalaadsete seas Euroopa pikim, 308 m) ja 1990 valminud uus sild (273 m). (Entsüklopeedia)

Vihterpalu jõgi

Vihterpalu jõgi, ka Änglema jõgi, asub Loode-Eestis; pikkus 48 km, jõgikond 479 km², vooluhulk keskmiselt 3–4 m³/s. Algab Risti alevikust läänes, läbib Suursoo, suubub Vihterpalus Kurkse väina. Suurim lisajõgi on Piirsalu jõgi (21 km). Vihterpalu jõgi on valdavalt süvendatud ja õgvendatud. Jõge on mainitud juba 13. sajandi ürikuis (1234 Altus rivulus, 1284 Callamecky-Fluss).

Navesti jõgi

Navesti jõgi, Pärnu jõe suurim, vasakpoolne lisajõgi; pikkus 100 km, jõgikond 3000 km² (43,3% Pärnu jõgikonnast), vooluhulk keskmiselt 27,9 m³/s. Algab Kesk-Eesti lavamaalt, läbib Võrtsjärve madaliku loodenurga ja laskub Võhma juures Lääne-Eesti madalikule. Jõesäng on suures osas õgvendatud ja süvendatud. Aesoo lähedal (13 km suudmest) ühineb Navesti jõega tema suurim lisajõgi Halliste jõgi (jõgikond 63% Navesti jõe omast); et selle voolusuund on Navesti jõe suhtes peaaegu vastupidine, tekib kõrge veeseisu korral seal voolusulu põhjustatud suuri üleujutusi. Suured vasakpoolsed lisajõed on ka Räsna (19 km), Parika (17 km), Tääksi (12 km), Lõhavere (18 km) ja Arjadi oja (16 km), parempoolsed Retla (18 km) ja Räpu jõgi (21 km) ning Saarjõgi (38 km) ja Siberi oja (14 km). (Entsüklopeedia)

Pärnu jõgi

Pärnu jõgi, Eesti suurimaid jõgesid; pikkus 144 km, jõgikond 6920 km² (mõlema poolest Eestis 2. kohal), langus 78 m, vooluhulk keskmiselt 50–65 m³/s.

Algab Pandivere kõrgustiku läänejalamiilt Roosna-Alliku allikajärvest (2,5 ha), annab Purdis suure osa oma veest paisregulaatori ja kanali kaudu Jägala jõkke, läbib Tarbjas paisjärve ning Paide ja Türi idaserva, suubub Pärnu lahte.

Jändjas, Kurgjal ja Sindis on jõel pais, Toris vasakul kaldal liivakivipaljand (Tori põrgu). Suudmest ulatuvad rohkem kui 2 km kaugusele merre kivimuulid (ehitatud 1859–64). Mere otsene mõju ulatub Reiu jõe suudmeni, jõgi on selles lõigus valdavalt üle 8 m sügav ja laevatatav ka merelaevadele.

Kalastiku liigirikkuselt (30 kalaliiki) ja kalarohkuselt on Pärnu jõgi Eestis üks esimesi. Kalastiku koosseis on jõeositi erinev, väga suur on Sindi paisu mõju. Paisust alamal on jõesilmu, meri-, jõe- ja vikerforelli, merisiiga, meritinti, haugi, angerjat, vimma, ahvenat jmt kala, paisust ülemal jõe- ja vikerforelli, haugi, särge, turba, latikat, kokre, lutsu, ahvenat, kiiska jm.

Jõe veejõudu on kasutatud vesi- ja saeveskite ning Sindi tekstiilivabriku seadmete käitamiseks ja elektrienergia tootmiseks (1904–63 Sindi hüdroelektrijaam, 1927–41 Särevere hüdroelektrijaam, vastavalt 560 ja 44 kW). Veel 20. sajandi algul parvetati Pärnu jõel palke. Keskajal nimetati Pärnu jõge Emajõeks (Embecke).

Kiviajal oli Pärnu jõgikond Eesti tihedaima asustusega piirkondi. Eriti rohkesti luu- ja sarvesemeid on leitud alamjooksult jõe põhjast liiva kaevandamisel alates 1904. aastast; neid on kogunud loomaarst Ernst Glück jt muinsuseharrastajad. Pulli küla juures paikneb Eesti vanim teada olev asulakoht (Pulli mesoliitikumi asulakoht); neoliitikumi asulakohti on avastatud Reiu jõe suudme lähedalt. Pärnu jõe kaldailt on leitud palju peamiselt neoliitikumi kivikirveid ja -talbu. (Entsüklopeedia)

Hüdromeetriavõrgu kirjeldus

Eestis on hüdromeetritelistel vaatlustel pikaajalised traditsioonid ja suur kogemus nende teostamisel. Riigi hüdromeetriavõrku kuulub ca 100 püsiseirejaama, mis paiknevad jõgedel, järvedel, soos ja rannikumeres. Automaatjaamad mõõdavad veetaset, veetemperatuuri, sademeid ja õhutemperatuuri. Seirejaamad edastavad andmeid üle mobiilsidevõrgu ilmteenistuse kodulehele (www.ilmateenistus.ee). Jõgede hüdromeetriaajaamades mõõdetakse vooluhulkasid 2-3 vooluhulka ühes kuus.

Eesti riigi hüdromeetriavõrk edastab operatiivhüdrooloogilist Info
trahvusvahelisse andmevahetusvõrku. Eesti Keskkonnaagentuuri Hüdroloogia osakond esindab
Eestit WMO Hüdroloogia Komisjoni töös ning Põhjamaade Hüdroloogia Assotsiatsiooni töös.

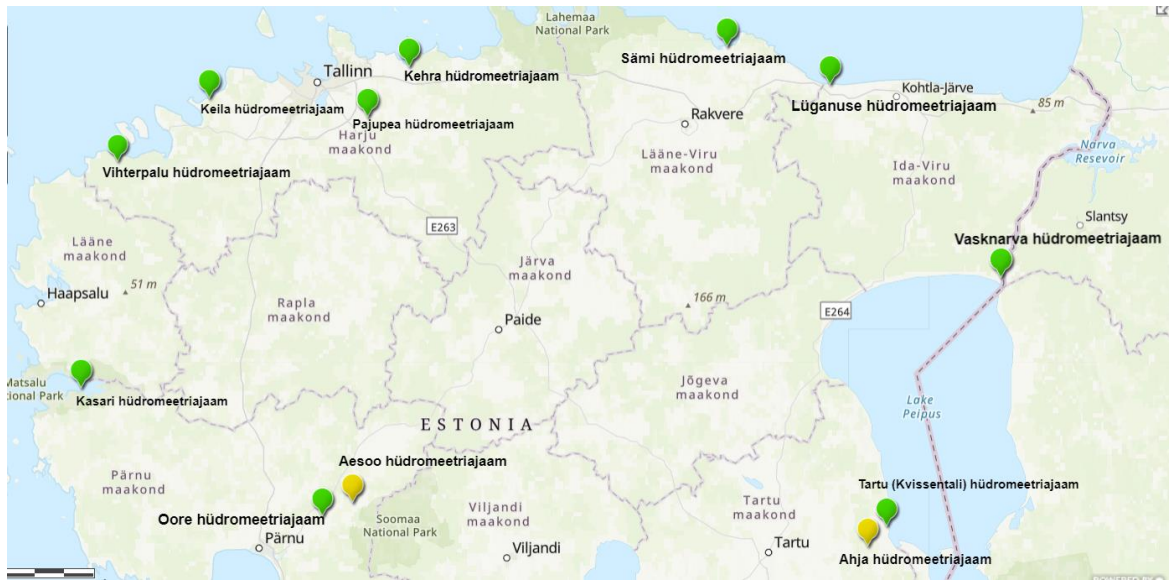
(keskkonnaagentuur, 2021)

2 Uurimisala kirjeldus ja kasutatud andmed

Oma töös analüüsisin 12 hüdromeetria-seirejaama andmeid: Vasknarva, Tartu (Kvissental), Ahja, Lüganuse, Sämi, Kehra, Pajupea, Keila, Kasari, Vihterpalu, Oore, Aesoo pikaajalisel perioodil (Tabel 1). Vasknarva hüdromeetria-jaam on avatud 1902. aastast, mis võimaldab analüüsida andmeid üle 100 aasta pikkusega. Olles kogunud vajalikud andmed, hakkasin arvutama iga aastaaja keskmist äravoolu ja aastast vooluhulka vaatlusperioodi algusest kuni 1965. aastani ja pärast 1965. aastat kuni 2020. ning kogu perioodi. Algandmed võetud Eesti ilmateenistuse kodulehelt (www.ilmateenistus.ee). Joonisel 2. on esitatud seirejaamade asukohad ARCGIS rakenduse kasutamisel.

Tabel 1 Kasutatud hüdromeetria-seirejaamade loetelu koos

Jõgi	Seirejaam	Valgla pindala (km ²)	Kasutatud seireandmete periood
Narva	Vasknarva	47800	1902-2020
Emajõgi	Tartu (Kvissental)	7840	1867-2020
Ahja	Ahja	896	1959-2020
Purtse	Lüganuse	792	1922-2020
Kunda	Sämi	390	1929-2020
Jägala	Kehra	903	1937-2020
Leivajõgi	Pajupea	101	1927-2020
Keila	Keila	663	1923-2020
Kasari	Kasari	2640	1924-2020
Vihterpalu	Vihterpalu	469	1929-2020
Pärnu	Oore	5160	1922-2020
Navesti	Aesoo	1030	1928-2020



Joonis 2 Kasutatud seirejaamade kaart

3 Jõgede äravoolu aastasisese jaotuse arvutusmeetod

Vaatlusandmereal ei ole peaaegu kunagi nii pikad, et nendest saaks otse, ilma statistiliste arvutusteta leida vajalikke suurusi. Staatistilise töötlusega leitakse uuritava suuruse (nt vooluhulga) selliseid väärtusi, mille ületamine on teatava tõenäosusega võimalik. Sealjuures võivad sellised väärtused seni ette tulnud olla või ka mitte. (Maastik, Hüdroloogia ja Hüdroomeetria, 2006)

Selle lõputöö teema oli probleemi uurimine «Kas Eesti jõgede talvine ja suvine äravool ajas on muutunud?» Eeldatakse, et jõgede vooluhulkade aasta jaotuses on toimunud muutused. Viimane analüüs tehti 1960-ndatel aastatel. Muutuste demonstreerimiseks analüüsitakse pikaajalisi kuukeskmisi vooluhulki kuni aastani 1965. ja 2020-ni. Võimalusel vaatlusandmetes trendide välja selgitamiseks kasutada Mann-Kendall testi.

Uuring viiakse läbi eesmärgiga selgitada välja kuidas on muutunud õhutemperatuur ja sademed (kliimafaktorid), vooluhulk ning võimalusel veetemperatuur ja jäänähted, et vastata küsimusele "Miks jõgede talvine ja suvine äravool ajas on nihkunud?" Peamiseks allikaks on Eesti keskkonnaagentuuri hüdrooloogilised ja meteoroloogilised vaatlusandmed ning Eesti Pinnavee Ressursid (1972), viide kust leiab eelmise analüüsi tulemused.

Arvutatud hooaja andmed 1922. aastast kuni 1965. aastani võtsin allikast „Eesti Pinnavee Ressursid“ (M.S.Protasjev, 1972). Selleks, et äravoolukiht oleks ühes mõõtühikus kogu ajavahemikul 1922-2020 aastani mugavuse huvides arvutasin äravoolu kiht mm-tes, kuna hilisemad andmed võeti ja arvutati m^3/s . Äravoolukihi saamiseks mm, tuleb hooaja keskmine vooluhulk korrutada sekundite arvuga ööpäevas, päevade arvuga hooajal ja saadud väärtus jagada valgala pindalaga (m^2) - näiteks kevadel perioodil:

86400- Ööpäeva sekundite arvu arvutamine ($60*60*24$)

92- päevade arv kevadel perioodil (märts, aprill ja mai), 183 päevade arv suvi-sügisel perioodil (juunist-novembreni) ja 90 päevade arv talvel perioodil (detsembrist-veebruari)

Ajaloolised jõgede igapäevased vooluhulgad perioodil 1965-2020 olid võetud Eesti ilmteenistuse kodulehelt (www.ilmateenistus.ee). Analüüsi jaoks kasutasin EXCELi tarkvara, jagades aasta aastaegadeks ja aasta keskmiseks. Igal aastal määrati kuukeskmisi. Veemajanduse aasta alguseks valisin hindamiseks aastane periood, alustades kõige rikkalikumast hooajast ehk kevadest, mis algab käesoleva aasta märtsis ja lõpeb järgmise aasta talvel ehk veebruaris, tähendab, et talv algab jooksva aasta detsembris ja lõpeb järgmise aasta veebruaris. Sel põhjusel veemajanduse 2020. aasta talve minu töös ei uuritud, kuna 2021. aasta kohta hetkel andmed puuduvad ja talvehooaega pole võimalik arvutada.

Analüüsiks jaotasin seirejaamad hüdrooloogilisteks vesikondadeks. Eesti jõed on jaotunud veelahkmete järgi nelja vesikonda: 1) Narva jõe ja Peipsi järve vesikond, 2) Soome lahe vesikond, 3) Liivi ehk Riia lahe vesikond, 4) saarte vesikond (joonis. 1). Narva jõe ja Peipsi järve ning Soome lahe ja Liivi lahe vesikonna jõed saavad alguse Pandivere kõrgustiku laialdase karstiala nõlvalt. (Järvet, http://entsyklopeedia.ee/artikkel/eesti_vesikonnad, 2011). Nende nelja hüdrograafilise peavesikonna siseveekogude valglate pindalad on Eesti territooriumi piires järgmised: Eesti vesikonnad ja alamvesikonnad.

Narva jõe ja Peipsi järve vesikond 15 620 km², Soome lahe vesikond 9942 km², Liivi lahe vesikond 14 468 km² ja saarte veekogud 4140 km² (Joonis 1.).

Tavaliselt kasutatakse hooajad, mis on tähtsad veemajandusele. Veemajanduse aastaegade piirid jaotati järgmisel viisil: kevad: märts-mai; suvisügis:juuni-november; talv:detsember-veebruar. Ainult Peipsi järvega reguleeritud Narva jõe äravoolu sesoonne jaotus on valinud teistsuguste aastaajapiiridele: kevad: aprill-juuni; suvi-sügis: juuni-novembrini-talv: detsember-märts. Kevad on Eesti oludes kõige veerikkaim aastaeg. Jõgede majanduslikku kasutamist piirav periood on suvine-sügis ja talvine madalvesi. Talvel jõed saavad oma vett peamiselt põhjaveest. Kõige madalam aastaeg vabariigi lääneosas on suvi-sügis, idaosas -talv. Erinevate aastaegadega jõgede vaheline piir kulgeb põhjast lõunasse mõnevõrra ida pool Tallinnast ja Pärnu linnast. (M.S.Protasjev, 1972)

Aasta sesonaalsed äravoolu muutused on mm. Aastaseks äravooluks võeti 100% ja sesoonsed väärtused arvestati nende osakaaluna aasta sees. Näiteks, Kasari j. -Kasari seirejaama äravoolu kiht aastane on 307 mm (100%) nii selgub, et kevadsesooni vooluhulk oli 42,1%.

Mann-Kendalli trendtest

Mann-Kendalli test on mitteparameetiline test, mis hindab aegridade trendide tõusu ja olulisust. Andmete analüüsi käigus kasutati Soome Meteoroloogia Instituudis Exceli jaoks välja töötatud makrot MAKESENS. (T. Salmi, 2002)

Testis aastate väärtuste arv väljendatakse n tähega. Puudulikud väärtused või andmed on aksepteeritavad, sest n -arv võib olla väiksem kui aastate arv uuritavas töös. Statistiliselt olulise trendi olemasolu (M_1), või puudumist (M_0), hinnatakse Z -statistiku abil. Selleks, et leida trendi olulisust ja suunda on vaja arvutada S -statistik. Statistik leidakse valemi 1 abil:

Valem
$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k). \quad (1)$$

Kus x_j, x_k – aastased väärtused j ja k aastate jaoks, kusjuures $j > k$,

$\text{sgn}(x_j - x_k)$ – funktsiooni indikaator.

$\text{sgn}(x_j - x_k)$ arvutatakse valemiga 2 abil.

Valem
$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{kui } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{kui } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{kui } x_j - x_k < 0. \end{cases} \quad (2)$$

Järgmisen arvutatakse S -statistiku dispersiooni kasutades valemi 3.

Valem
$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)], \quad (3)$$

Kus q – seotud gruppide arv,

t_p – andmete arv p grupis.

Seejärel arvutatakse Z -statistik, millega hinnatakse statistiliselt olulise trendi olemasolu. Seda tehakse valemi 4 abil.

$$\text{Valem} \quad Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} kui S > 0 \\ 0 kui S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} kui S < 0. \end{cases} \quad (4)$$

(T. Salmi, 2002)

Positiivne Z väärtus näitab tõusvat trendi ja negatiivne Z langevat trendi. Z -statistik on normaaljaotuega. Et testida monotoonset trendi olulisuse nivool α , heidetakse M_0 kõrvale kui Z -i absoluutne väärtus on suurem kui $Z_{1-\alpha/2}$, kusjuures $Z_{1-\alpha/2}$ on saadud standardsest normaal-kumulatiivsest jaotustabelist. Käesoleva magistritöös kasutatud olulisuse nivood (α) on 0,001, 0,01, 0,05 ja 0,1.

Antud magistritöös Mann-Kendalli testi trendide olulisuste määramisel on märgistatud järgmisena:

- * trend statistiliselt oluline, α väärtus on 0.05
- ** trendi statistiline olulisus nõrk, α väärtus on 0.01
- *** trendi statistiline olulisus väga nõrk, α väärtus on 0.001
- + trend pole statistiliselt kuigi oluline, α väärtus on 0.1

Kui märk puudub siis trendi olulisus α on suurem kui 0.1 ja/või trend ei ole mõjukas.

4 Jõgede äravoolu aastasisese jaotuse arvutamine

Jõe vooluhulga mõõtmine on töö- ja ajamahukas ning füüsiliselt raske töö. Uued mõõteriistad võimaldavad mõõta kiiremini ja täpsemini ning nad on töökindlamad. Erinevates hüdroloogilistes tingimustes uusi mõõteriistu kombineerides on võimalik jõuda usaldusväärse tulemuseni ka kõige keerulisematel jõelõikudel.

Tänapäevased tiivikud on valmistatud roostevabast terasest. Impulsiandur registreerib pöörded, arvutab voolukiiruse ja salvestab andmed.

Akustilise mõõteriistaga on võimalik mõõta nii punktmeetodil kui ka seda paadil risti üle jõe vedades. Akustiline vooluhulgamõõtja on Doppleri efektil põhinev seade, millega mõõdetakse voolukiirust vees leiduvatelt osakestelt peegeldunud ultraheliimpulsside kaudu.

Uued mõõteriistad soetati Keskkonnainvesteeringute Keskuse projekti nr 5161 „Hüdromeetriliste mõõteriistade ja tarvikute soetamine” toel. Eesti jõgedel mõõdetakse vooluhulka ja arvutatakse äravool 56 hüdromeetriaajas. Kogutud andmeid on vaja veevarude kasutamise planeerimisel, hüdrotehniliste ehitiste projekteerimisel ja ekspluateerimisel ning vee-erikasutuslubade väljastamisel. (Keskkonnaagentuur, Uuendati vooluhulga mõõtmise seadmeid riigi hüdromeetriavõrgus, 2014)

4.1 Jõgede äravoolu aastasisese jaotuse arvutamine kuude ja aastaegade lõikes perioodil 1965-2020

Narva jõel Vasknarva seirejaama andmetel arvutatud kuude kaupa äravool on esitatud tabelis 5. Kuna jõe äravool on Peipsi järve reguleerimise mõjul, siis äravoolu aastane jaotus kuude lõikes on ühtlane. Kevadine vooluhulga suurenemine algab hiljem kui teistes jõgedes, alles aprilli alguses. Kevadise suurvesi lõpeb keskmiselt 11.07, pärast seda algab suvine-sügisene madalvesi. Septembris-novembris muutub vooluhulk vähe või suureneb perioodi lõpu poole. Talvine äravool väheneb, sest vedelsademetest sissevool puudub ja jõgi saab oma vett peamiselt põhjaveest.

Tabel 2. Kuu keskmine äravool (mm) Narva jões Vasknarva seirejaama andmetel 1965-2020

	Jaauuar	Februar	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	Setember	Oktober	November	December
Keskmine mm	14,93	14,43	17,86	21,75	24,84	21,31	18,57	16,49	15,22	16,03	16,01	15,22

Emajõel Tartu (Kvissental) seirejaama andmete analüüs näitab, et suurvee tõusu algus on märtsi viimasel dekaadil, suurvee tipp on aprillis keskel ja langus jätkub juuni keskeni. Juulist oktoobrini on veevaene periood. Talvine äravool väheneb järsemalt võrreldes Narva jõe - Vasknarva seirejaama äravooluga.

Tabel 3. Kuu keskmine äravool (mm) Emajões seirejaama Tartu andmetel, 1965-2020

	Jaauuar	Februar	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	Setember	Oktober	November	December
Keskmine mm	17,96	16,93	22,66	33,38	27,20	19,29	16,50	14,52	14,01	15,16	17,20	18,14

Keila jõgi

Keila jõgi asub Eesti loodeosas. Kevadise suurvee tõus algab märtsis, selle haripunkt on aprillis. Varakevadel on suurveed külmade ilmade tagasituleku tõttu mitmekordsed. Aasta kevadise suurvee veesisalduse määravad peaaegu kõik suve- ja sügiskuud läbivad tulvad. Talvekuudel on täheldatud märkimisväärsed tulvad, mida põhjustavad sademed ja lume sulamine sulade ajal.

Tabel 4. Kuu keskmine äravool Keila jões seirejaama Keila andmetel (mm)

	Jaauuar	Februar	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	Setember	Oktober	November	December
Keskmine mm	32,03	22,63	32,93	58,68	24,79	11,04	9,34	10,02	12,69	23,31	32,17	32,22

Nagu statistikast nähtub (Tabelid 5-11), peaaegu kõikides analüüsiks valitud seirejaamade jõgedes, jätkuvad tulvad oktoobrist veebruarini, mille põhjuseks on vihm või tugev lume sulamine sulade ajal. Aasta kevadise suurvee veesisalduse määravad peaaegu kõik suve- ja sügiskuud läbivad tulvad. Talvekuudel on täheldatud märkimisväärsed tulvaid, mida põhjustavad sademed ja lume sulamine sulade ajal. Talviste sulade ajal põhjustab lume sulamine kiiret ja lühiajalist veetõusu. Suurvee haripunkt on aprillis (Narva jões mais). Suvine madalvesi algab tavaliselt juunis ja kestab septembri-oktoobrini.

Suvine madalvesi esineb enamikul jõgedel tavaliselt juuni keskpaigas ja läänerannikul (Pärnu-Oore, Navesti-Aesoo) mai lõpus ja lõpeb septembri lõpus või oktoobri alguses. Madalveeperioodi kestus on 90 kuni 120 päeva (olenevalt maa-aluse toitumise tingimustest), keskmiselt 100 päeva.

Talvine madalvesi algab detsembri lõpus – jaanuari alguses ja lõpeb märtsis. Talvise madalvee keskmine kestvus on 60–80 päeva, keskmiselt 20 päeva vähem kui suvine madalvesi. Suvise ja talvise madalvee äravool on kõikide jõgede puhul peaaegu sama. Järelikult on suvise madalvee veesisaldus tunduvalt väiksem kui talvisel. Suvine äravool piirab veemajandust. Kuivamine ja külmumine ainult mõnedel alla 100 km² pindalaga väikejõgedel ja ojadel.

Tulvasid täheldatakse Eesti jõgedel aastaringset. Talvekuudel tekivad need tavaliselt vihmadest sulade ajal, põhjustades intensiivset lumesulamist. Kevadel sageli kihistuvad omavahel vihmast ja lumest tingitud suurveed. Maksimaalsete vooluhulkade poolest on need kevadistest suurveedest väiksemad, kuid mõnel aastal võivad nende kõrgused ja maht ületada kevadise suurvee. Aasta suurvee veesisalduse määrab reeglina just tulvade äravool, mitte suurvesi. Tulvade äravoolu osakaal suureneb idast läände ja ulatub läänerannikul 50%ni aastas.

Tabel 5. Kuu keskmine äravool mm Ahja jões Ahja seirejaama andmetel

	Jaanuar	Februar	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	Septembe	Oktober	November	Detsember
Keskmine mm	54	47	72	108	61	45	45	44	44	48	53	53

Tabel 6. Kuu keskmine vooluhulk Purtse jões seirejaama Lügänuuse andmetel (mm)

	Jaanuar	Februar	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	Septembe	Oktober	November	Detsember
Keskmine mm	20	16	24	68	28	13	10	13	15	20	28	23

Tabel 7. Kuu keskmine vooluhulk Keila jões seirejaama Keila andmetel (mm)

	Jaanuar	Februar	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	Septembe	Oktober	November	Detsember
Keskmine mm	32	23	33	59	25	11	9	10	13	23	32	32

Tabel 8. Kuu keskmine vooluhulk Kasari jões seirejaama Kasari andmetel (või Teenuse) (mm)

	Jaanuar	Februar	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	September	Oktober	November	Detsember
Keskmine mm	35	22	34	64	21	8	7	8	12	25	37	38

Tabel 9. Kuu keskmine vooluhulk Vihterpalu jões seirejaama Vihterpalu andmetel (mm)

	Jaanuar	Februar	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	Septembe	Oktober	November	Detsember
Keskmine mm	32	30	32	63	27	7	7	8	11	27	38	36

Tabel 10. Kuu keskmine vooluhulk Oore jões seirejaama Pürnu andmetel (mm)

	Jaanuar	Februar	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	September	Oktober	November	Detsember
Keskmine mm	32	22	34	61	24	11	9	10	14	24	33	29

Tabel 11. Kuu keskmine vooluhulk Navesti jões seirejaama Aesoo andmetel (mm)

	Jaanuar	Februar	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	September	Oktober	November	Detsember
Keskmine mm	31	21	34	62	23	10	8	10	13	22	32	31

4.2 Jõgede äravoolu aastasisese jaotuse võrdlusanalüüs vaatluste algusest kuni 1965, kuni 2020 ning 1965-2020

Äravool sõltub kahest tegurist, õhutemperatuurist ja sademetest. Kogu vesi voolab madalamates lahtedes ookeani. Ja jões voolab vesi alati just sademete tõttu. Ja kui vesi sisse voolab ja temperatuur on kõrge (kuum), siis on vesi aurustunud, see vool pole sügiseni jõudnud, nii et suvel on vooluhulk väike. Ja kui vesi sisse voolab ja temperatuur on madal (külm), see kõik on jõesuu jõudnud, siis on äravool suur.

Ka sademete hulk ja nende aurustumine mõjutavad äravoolu. Kui sademete hulk on suur ja aurumine väike, siis on äravoolukiht suur. Kui sademeid on palju ja aurumine on suur, siis suvel ja kevadel on kuum ilm ning vastavalt sellele on äravoolukiht väike. Kui õhutemperatuur oli madal ja isegi vihma sadas vähem, on äravool suurem. Kui sademeid on palju ja aurumine on suur, siis on äravool väike. Kui sademete hulk on suur ja aurumine madal (madala temperatuuri tõttu), on äravool suur.

Niiske õhk on alati väga kerge, veeaur on isegi hapnikust kergem. Veeaur tõuseb ja jahtub ning muutub veeks (veepiiskadeks). Veepiisad ühinevad ja langevad maapinnale. See tähendab, et sademed koos temperatuuri ja niiskusega. Seega, mida kõrgem on temperatuur, seda suurem on aurumine, seda rohkem pilvi. Kuid need sademed võivad sadada näiteks mõnes teises piirkonnas, kuna tuul kannab need minema (see ei pruugi langeda üle selle jõe, kust need aurused). Kuid igal juhul sõltub vooluhulk vee saabumisest ja selle tarbimisest. Vee saabumine toimub sademete kujul

ja vee tarbimine on aurumine. Veel üks äravoolu mõjutav tegur on sissevool. Kui selle jõe lisajõed on vett täis, siis on sellel jõel suur vooluhulk.

Suur osa sadanud veest ei jõua siiski kohe pinnaveekogudesse, vaid imbub maasse. Osa maasseimbunud veest jääb maapinnalähedastesse pinnasekihtidesse ning võib sealt maasisese äravooluna üsna ruttu pinnaveekogudesse pääseda või maapinna ja taimede kaudu auruda (evapotranspiratsioon). Vett aurub ka veekogude pinnalt. Osa maasseimbunud veest vajub sügavamale maasse ning täiendab põhjaveekihtide (veega küllastunud kivimite) mageveevaru pikaks ajaks. Ka see vesi liigub ja võib leida mageveeallikatena tee maapinnale ning lõpuks tagasi ookeani jõuda, kus suur veeringe "lõpeb" .. ja algab uuesti. Enamik ookeanidest aurunud veest sajab sinna tagasi, seda nimetatakse väikeseks veeringeks.

Paljud täheldatud kliimamuutused on tingitud inimtegevusest tingitud süsinikdioksiidi ja muude kasvuhoonegaaside sisalduse suurenemisest meie atmosfääris (Maastik, Hüdroloogia ja hüdromeetria, 2006).

Inimtegevus aitab kaasa kliimamuutustele, põhjustades muutusi kasvuhoonegaaside, aerosoolide (peenosakeste) ja pilvede kontsentratsioonis atmosfääris. Suurim teadaolev panus tuleneb fossiilkütuste põletamisest, mis paiskab atmosfääri süsinikdioksiidi, ja metsade hävitamisest. Kasvuhoonegaasid ja aerosoolid mõjutavad kliimat, muutes sissetulevat päikesekiirgust ja väljuvat infrapuna- (soojus)kiirgust, mis on osa Maa energiabilansist. Nende gaaside või osakeste arvukuse või nende omaduste muutmine atmosfääris võib viia kliimasüsteemi soojenemiseni või jahenemiseni. (Change, 2007)

Uuritud 12 hüdroloogiajaamade puhul võrreldakse iga aasta kohta 2 perioodi, kus eristatakse talvist ja suvist madalvett, üleujutuste ja sula perioodide piire ning saadakse kätte nende keskuse tulemusi. Esimeseks perioodiks on aastad 1922-1965 ja teiseks 1965-2020. Nagu on statistikast näha siis enamikus teise perioodi valitud jaamades (1965-2020) suurenes talvine äravoolukiht võrreldes esimesega perioodiga. Kuna selle perioodi (1922-1965) kohta oli võimalik leida andmeid ainult kahe seirejaama kohta: Tartu ja Pärnu. Kuna paljude valitud analüüsiks jaamade õhutemperatuuri ja sademete kohta andmed puuduvad 2 perioodi jooksul, siis kasutati meteoroloogilisi andmeid mitmete ilmajaamade kohta. Oore ja Navesti seirejaamadele Pärnu

ilmajaam, Vasknarva ja Lüganuse seirejaamadele Narva ilmajaam, Tartu seirejaamale (Kvissentali) Tartu ilmajaam.

Vastavalt esimesele perioodile on talvine äravoolukiht on kõikides seirejaamades väiksem, ainult Ahja jaamas talvine äravoolukiht kahe perioodi jooksul ei muutu.

Tabel 12. Kuu keskmine äravool kõikide seirejaama andmetel (mm) 1922-1965 ja 1965-2020 aasta

Jõgi	Seirejaam	Valgla pindala, km ²	Algus	Lõpp	kevad(III-V) (mm)	suvi-sügis(VI-XI) (mm)	talv(XII-II) (mm)	Aasta äravoolu kiht, mm
Purtse jõgi	Lüganuse	792	1922	1965	124	94	37	255
Purtse jõgi	Lüganuse	792	1965	2020	121	99	59	279
Narva jõgi	Vasknarva	47800	1922	1965	73	87	58	218
Narva jõgi	Vasknarva	47800	1965	2020	64	104	45	213
Emajõgi	Tartu	7830	1922	1965	83	101	46	230
Emajõgi	Tartu	7830	1965	2020	83	97	53	234
Ahja jõgi	Ahja	286	1946	1965	100	109	49	258
Ahja jõgi	Ahja	286	1965	2020	77	89	50	215
Navesti jõgi	Aesoo	990	1922	1965	122	116	52	290
Navesti jõgi	Aesoo	990	1965	2020	120	96	83	299
Pärnu jõgi	Oore	5180	1922	1965	122	117	54	293
Pärnu jõgi	Oore	5180	1965	2020	119	100	87	307
Kasari jõgi	Kasari	2660	1922	1965	121	105	60	286
Kasari jõgi	Kasari	2660	1965	2020	120	98	94	312
Keila jõgi	Keila	663	1922	1965	129	107	62	298
Keila jõgi	Keila	663	1965	2020	117	99	85	301
Jägala jõgi	Kehra	904	1942	1965	91	104	46	241
Jägala jõgi	Kehra	904	1982	2020	103	88	79	269
Vihterpalu jõgi	Vihterpalu	469	1922	1965	120	106	56	282
Vihterpalu jõgi	Vihterpalu	469	1965	2020	123	98	98	320
Kunda jõgi	Sämi	390	1922	1965	136	159	74	369
Kunda jõgi	Sämi	390	1965	2020	129	142	84	356
Leivajõgi	Pajupea	101	1943	1965	92	78	68	238
Leivajõgi	Pajupea	101	1965	2020	132	80	68	280

Purtse jõgi Lüganuse seirejaam

Nagu võib näha tabelist 12. on Lüganuse seiejaamas Purtsse jõel kevadine äravoolu kiht 3mm võrra vähenenud. Nagu võib oletada (kuna esimese perioodi sademete ja temperatuuri kohta andmed puuduvad), on suvine-sügisene äravool kiht suurenenud suurte sademete ja temperatuuri tõttu 5 mm võrra. Ja talvine äravool kiht suurenes 22 mm (6,5%) ja seetõttu suurenes aastane äravoolu kiht 22 mm võrra.

Narva jõgi Vasknarva seirejaam

Nagu näha tabelist 13, oli kevadel vähe sademeid ja madal õhutemperatuur, mistõttu on ka äravoolu kiht perioodil 1965–2020 väiksem. Ja suve-sügisperiood on suure sademete hulga tõttu pikem, kuna temperatuur ei ole kõrge, aurustumist ei toimu ja äravoolu kiht on

suurenenud. Talvel on äravoolu kiht 5,5% väiksem kui talveperioodil 1922-1965, mille põhjuseks võib olla madal sademete hulk ja temperatuur (tabel 13).

Tabel 13. Hooaja keskmine õhutemperatuur ja sademed perioodidel Narva meteoroloogiajaamal 1965-2020 aasta

Talv		Kevad		suvi		sügis	
Sademed	temperatuur	Sademed	temperatuur	Sademed	temperatuur	Sademed	temperatuur
36	-4	37	4	73	15	67	6

Tabel 14. Hooajalise äravoolu jaotus aastatel 1922-1965 millimeetrites ja protsentides

Jõgi	Seirejaam	Valgla pindala, km ²	Perioodi algus	Perioodi lõpp	Kevad(III -V) (mm/%)	Sügis(VI -XI) (mm/%)	Talv(XII -II) (mm/%)	Aastaravoolu kiht, mm/%
Purtse jõgi	Lüganuse	792	1922	1965	$\frac{124}{48,7}$	$\frac{94}{36,7}$	$\frac{37}{14,6}$	$\frac{255}{100}$
Narva jõgi	Vasknarva	47800	1922	1965	$\frac{73}{33,7}$	$\frac{87}{39,8}$	$\frac{58}{26,5}$	$\frac{218}{100}$
Emajõgi	Tartu	7830	1922	1965	$\frac{83}{36,2}$	$\frac{101}{43,7}$	$\frac{46}{20,1}$	$\frac{230}{100}$
Ahja jõgi	Ahja	286	1946	1965	$\frac{100}{38,8}$	$\frac{109}{42,4}$	$\frac{49}{18,8}$	$\frac{258}{100}$
Navesti jõgi	Aesoo	990	1922	1965	$\frac{122}{42,1}$	$\frac{116}{40,1}$	$\frac{52}{17,8}$	$\frac{290}{100}$
Pärnu jõgi	Oore	5180	1922	1965	$\frac{122}{41,6}$	$\frac{117}{40}$	$\frac{54}{18,4}$	$\frac{293}{100}$
Kasari jõgi	Kasari	2660	1922	1965	$\frac{121}{42,4}$	$\frac{105}{36,8}$	$\frac{60}{20,8}$	$\frac{286}{100}$
Keila jõgi	Keila	663	1922	1965	$\frac{129}{41,5}$	$\frac{107}{37,1}$	$\frac{62}{21,4}$	$\frac{298}{100}$
Jägala jõgi	Kehra	904	1942	1965	$\frac{91}{37,9}$	$\frac{104}{42,9}$	$\frac{46}{19,2}$	$\frac{241}{100}$
Vihterpalu	Vihterpalu	469	1922	1965	$\frac{120}{42,6}$	$\frac{106}{37,4}$	$\frac{56}{20}$	$\frac{282}{100}$
Kunda	Sämi	390	1922	1965	$\frac{136}{36,8}$	$\frac{159}{43,1}$	$\frac{74}{20,1}$	$\frac{369}{100}$
Leivajõgi	Pajupea	101	1943	1965	$\frac{92}{38,8}$	$\frac{78}{32,7}$	$\frac{68}{28,5}$	$\frac{238}{100}$

Tabel 15. Hooajalise äravoolu keskmine jaotus aastatel 1965-2020 millimeetrites ja protsentides

Jõgi	Seirejaam	Valgla pindala, km ²	Perioodi algus	Perioodi lõpp	Kevad(III -V) (mm/%)	Suvisügis(VI -XI) (mm/%)	Talv(XII -II) (mm/%)	Aasta äravoolu kiht, mm/%
Purtse jõgi	Lüganuse	792	1965	2020	$\frac{121}{43,4}$	$\frac{99}{35,5}$	$\frac{59}{21,1}$	$\frac{279}{100}$
Narva jõgi	Vasknarva	47800	1965	2020	$\frac{64}{30,3}$	$\frac{104}{48,6}$	$\frac{45}{21,1}$	$\frac{213}{100}$
Emajõgi	Tartu	7830	1965	2020	$\frac{83}{35,7}$	$\frac{97}{41,4}$	$\frac{53}{22,8}$	$\frac{233}{100}$
Ahja jõgi	Ahja	286	1965	2020	$\frac{77}{35,8}$	$\frac{89}{41,2}$	$\frac{50}{23}$	$\frac{216}{100}$
Navesti jõgi	Aesoo	990	1965	2020	$\frac{120}{40,1}$	$\frac{96}{32}$	$\frac{83}{27,9}$	$\frac{299}{100}$
Pärnu jõgi	Oore	5180	1965	2020	$\frac{119}{38,9}$	$\frac{101}{32,7}$	$\frac{87}{28,4}$	$\frac{307}{100}$
Kasari jõgi	Kasari	2660	1965	2020	$\frac{120}{38,4}$	$\frac{98}{31,5}$	$\frac{94}{30,1}$	$\frac{312}{100}$
Keila jõgi	Keila	663	1965	2020	$\frac{117}{38,9}$	$\frac{99}{32,8}$	$\frac{85}{28,3}$	$\frac{301}{100}$
Jägala jõgi	Kehra	904	1982	2020	$\frac{103}{38,1}$	$\frac{88}{32,6}$	$\frac{79}{29,2}$	$\frac{269}{100}$
Vihterpalu	Vihterpalu	469	1965	2020	$\frac{123}{38,6}$	$\frac{98}{30,6}$	$\frac{98}{30,7}$	$\frac{319}{100}$
Kunda	Sämi	390	1965	2020	$\frac{129}{36,4}$	$\frac{142}{40}$	$\frac{84}{23,7}$	$\frac{355}{100}$
Leivajõgi	Pajupea	101	1965	2020	$\frac{132}{47,3}$	$\frac{80}{28,5}$	$\frac{68}{24,2}$	$\frac{280}{100}$

Suurimad muutused aasta äravoolu kihis on toimunud Vihterpalu jõe - Vihterpalu seirejaamas ja Leivajões Pajupea seirejaamas. Leivajõel Pajupea seirejaamas suurenes kevadel äravoolu kiht perioodil 1965-2020 võrreldes 1943-1965 perioodiga 8,5% (40 mm). Samal ajal muutused suvisügis perioodil olid 4,2%, ning talveperioodi äravool jäi kahel perioodil muutumatuks. Vihterpalu jões Vihterpalu seirejaamas, erinevalt Leivajõel Pajupea seirejaamas, suurenes perioodil 1965-2020 äravoolu kiht 4%, suve-sügisperioodil äravoolu kiht vähenes ligi 7% ja talveperioodil suurenes 10,7%. Kuna 2. perioodi kohta meteoroloogilised andmed pole analüüsitud, ei saa me kindlaks teha äravoolu kihi kõikumise täpset põhjust sellel perioodil.

Tartu meteojaam

Tartus on üldiselt külm ja parasvöötme, Tartu on olulise sajuhulgaga linn. Isegi kõige kuivemal kuul sajab palju vihma. Siinne kliima on Köppen-Geigeri süsteemi järgi liigitatud Dfb-ks. Keskmine temperatuur on siin 6,4 °C. Aastas sajab umbes 727 mm sademeid.

(CLIMATE-DATA.ORG, Kimat Tartu, kuupäev puudub)

Tabel 16. Kuu keskmine õhutemperatuur ja sademed Tartu meteoroloogia jaamal perioodidel 1922-1965 ja 1965-2003

	Jaanu	Veebru	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	September	Oktoober	November	Detsember
Temperatura 1965-2020	-6,5	-6,9	-3,6	3,9	10,9	15,0	17,6	16,0	11,1	5,6	0,5	-3,7
Sademed 1965-2020	36,6	29,7	28,8	36,3	56,0	69,1	72,0	78,8	61,9	59,1	50,8	41,2
Temperatura 1922-1966	-6,0	-5,9	-1,5	4,7	11,0	15,1	17,0	15,7	10,6	5,5	0,1	-3,9
Sademed 1922-1965	29,4	27,5	27,6	32,5	46,9	63,9	73,1	79,6	63,5	50,5	44,3	33,6

Tabel 17. Hooaja keskmine õhutemperatuur ja sademed Tartu meteojaamal perioodidel 1922-1965 ja 1965-2003

	Talv		Kevad		suvi		sügis	
	Sademed	temperatuur	Sademed	temperatuur	Sademed	temperatuur	Sademed	temperatuur
1922-1965	36	-5	40	5	72	16	57	5
1965-2003	30	-6	36	4	72	16	53	6

Kuna talvel teisel perioodil äravoolu kiht suurenes, siis ainult kevadise äravoolu kihti arvelt. See tähendab, et osa kevadisest äravoolu kihist on läinud üle talviseks äravooluks.

Pärnu jõgi Oore seirejaam ja Navesti jõgi Aesoo seirejaam

Tabel 18. Hooaja keskmine temperatuur ja sademed Pärnu metereojaamal perioodidel 1922-1965 ja 1965-2020 aasta

	Talv		Kevad		suvi		sügis	
	Sademet	temperatuur	Sademet	temperatuur	Sademet	temperatuur	Sademet	temperatuur
1922-1965	31	-5	33	3	43	16	55	7
1965-2003	50	-4	40	6	46	16	58	7

Kahe perioodi äravoolu kihi tulemused on väga sarnased. Näiteks, kevadised äravoolu kihid (tab.14 ja 15) suurenesid esimesel perioodil (1922-1965) Navesti jõel 2% ja Pärnu jõel 2,7%. Samuti suve-sügisperioodide äravoolu kiht esimesel perioodil on oluliselt kõrgem 8% (Navesti jõgi) ja 8,3% (Pärnu jõgi). Kuna suvine hooaeg oli vihmase ja soe siis teisel perioodil 1965-2020 vähenenud äravoolu kiht võib olla seletatud suurema aujumisega suvel. Äravool on üksi veeringe etappideks. Nagu näha tabelist tabelist 15, on talvine äravoolu kiht teisel perioodil mõlemas jões 10% suurem, sest sademete hulk 19 mm rohkem ja õhutemperatuur on kõrgem, mis soodustab äravoolu suurenemist (Tabel 18.). Kuna talvel on õhutemperatuur muutunud soojemaks, kevad saabub varem. Suvel ja sügisel sademete hulk suurenes, kuigi temperatuur jäi praktiliselt muutumatuks. Talvise temperatuuri tõustes ja sademete hulga suurenedes suurenes talvine äravoolu kiht.

Analüüsi käigus sain sellised andmed, et talvine äravoolu kiht suurenes enamikus valitud seirejaamades perioodil 1965-2020, kevadine äravoolu kiht vähenes 5 seirejaamas ka sel perioodil. Talvised õhutemperatuurid on tõusnud ja sademete hulk on talvel suurem, mistõttu talvine äravoolu kiht on suurenenud. Kevadine äravool on nihkunud talvele. Põhivool langeb talvekuudel ja kevadeks jääb voolu vähemaks. Talvel lumi sulab ja vesi voolab kevadisse äravoolu.

Kevad on edasi nihkunud. Kui esimesel perioodil algas kevad aprilli keskel, siis nüüd märtsis (tabel 18). Varem olid suured vooluhulgad aprillis ja mais ning nüüd märtsis ja aprillis ning mais algab üleminek suvisele madalveele, kui esimesel perioodil algab madalvesi juunis (tabel 19). Suve-sügisene äravoolu kiht olenevalt piirkondadest kas väheneb või suureneb.

Tabel 19.Kuu keskmine äravoolu (mm) kõikide seirejaama andmetel 1965-2020

Jõgi	Seirejaam	Valgla km ²	Algus	Lõpp	Jaauuar	Februar	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	Septembe	Oktober	Novembe	Detsember
Narva jõgi	Vasknarva	47800	1965	2020	15	14	18	22	25	21	19	16	15	16	16	15
Emajõgi	Tartu	7840	1965	2020	18	17	23	33	27	19	16	15	14	15	17	18
Alhja jõgi	Alhja	896	1965	2020	54	47	72	108	61	45	45	44	44	48	53	53
Purtse jõgi	Lüganuse	792	1965	2020	20	16	24	68	28	13	10	13	15	20	28	23
Kunda jõgi	Sämi	390	1965	2020	29	23	29	59	40	23	20	20	20	25	33	32
Jägala jõgi	Kehra	903	1982	2020	28	23	29	49	24	11	10	10	13	19	24	27
Leivajõgi	Pajupea	101	1965	2020	24	17	25	81	21	8	7	8	12	19	26	25
Keila jõgi	Keila	663	1965	2020	32	23	33	59	25	11	9	10	13	23	32	32
Kasari jõgi	Kasari	2640	1965	2020	35	22	34	64	21	8	7	8	12	25	37	38
Vihterpalu	Vihterpalu	469	1965	2020	32	30	32	63	27	7	7	8	11	27	38	36
Pärnu jõgi	Oore	5160	1965	2020	32	22	34	61	24	11	9	10	14	24	33	29
Navesti jõgi	Aesoo	1030	1965	2020	31	21	34	62	23	10	8	10	13	22	32	31

4.3 Jõgede igakuise äravoolu suundumuste/trendide tulemused

Eesti jõgede äravoolu muutuste väljaselgitamiseks kasutati Mann-Kendall trendtesti .

Selles töös analüüsin muutusi pikaajalistes kuu keskmistes ja hooajalistes vooluhulgades ning kuukeskmistes sademetes, selleks kasutan Mann-Kendalli trendtesti. Mann-Kendalli test on mitteparameetiline test, mis hindab aegriidade trendide tõusu ja olulisust. Kui trend on statistilises reas positiivne, siis vooluhulk/sademed suureneb, kui negatiivne – siis vooluhulk/sademed väheneb. Sademete trendide määramisel kasutati kuu keskmisi sademeid kahest ilmajaamast: Narva ja Tartu, perioodil 1960-2004.

Narva jõe -Vasknarva seirejaama vooluhulkade ja sademete trendide tulemused on esitatud tabelites 19 ja 20. Tabelis on lisatud järgmised andmed: seirejaam, analüüsitud parameeter, periood, kuu, uuritava rea algus ja lõpp, aastate arv n , Z -statistiku väärtus, olulisus ja hinnang Q , ehk muutus ajaühikus (antud juhul kuu), kusjuures positiivne Q tähendab, et trend on kasvav ja miinus selle ees, tähendab, et trend on kahanev.

Tabel 18. Mann-Kendall veeo veehulkade trendi tulemused, Narva jõgi -Vasknarva hüdroloogia seirejaam, periood 1960-2020

TREND STATISTICS								
Vasknarva, vooluhulk, 1960-2020								
Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	
April	1960	2020	61		1,75	+	1,456	
May	1960	2020	61		0,23		0,155	
June	1960	2020	61		-0,01		-0,010	
July	1960	2020	61		0,11		0,062	
August	1960	2020	61		0,22		0,185	
September	1960	2020	61		0,52		0,347	
October	1960	2020	61		0,79		0,480	
November	1960	2020	61		1,21		0,991	
December	1960	2020	61		2,97	**	2,146	
Januar	1960	2020	61		3,06	**	2,230	
Februar	1960	2020	61		2,91	**	2,226	
Mart	1960	2020	61		2,74	**	2,281	

Tabel 19. Mann-Kendall sademete trendi tulemused Narva meteoroloogiajaama andmetel, periood 1960-2004

TREND STATISTICS

Narva, sademed, 1960-2004

Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	
April	1960	2004	45		-0,93		-0,200	
May	1960	2004	45		0,71		0,180	
June	1960	2004	45		2,78	**	1,000	
July	1960	2004	45		-0,10		-0,049	
August	1960	2004	45		1,29		0,688	
September	1960	2004	45		-0,49		-0,206	
October	1960	2004	45		1,11		0,443	
November	1960	2004	45		0,81		0,156	
December	1960	2004	44		0,81		0,137	
Januar	1960	2004	45		2,61	**	0,500	
Februar	1960	2004	45		3,08	**	0,500	
Mart	1960	2004	45		2,04	*	0,400	

Pikaajaliste vaatlusriidade analüüs näitab, et nii vooluhulkade kui sademete trend on talvekuudel ning varakevadel positiivne ja statistiliselt oluline. Sademete hulk suureneb jaanuarist-märtsini ja vastavalt sellele suureneb jõe äravool detsembrist märtsini. Ainult juunis suurenev sademete hulk ei mõjutanud äravoolu suurenemist. Ülejäänud kuude nii äravoolu kui sademete trendid ei ole statistiliselt olulised, kuid positiivse tendentsiga, välja arvatud juuni äravoolu ja aprilli, juuli ja septembri sademeid, millal tendents oli negatiivne.

Tabel 20. Mann-Kendall trendi tulemused Emajõgi, Kvissental veeluhulgad

TREND STATISTICS

Emajõgi, vooluhulk, 1960-2020

Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate									
				Test S	Test Z	Signific.	Q									
April	1960	2020	61		0,19		0,063	-0,569	0,705	-0,394	0,517	90,83	135,96	50,76	123,89	64,94
May	1960	2020	61		0,04		0,013	-0,453	0,413	-0,335	0,308	73,14	108,78	46,74	99,41	53,59
June	1960	2020	61		1,14		0,122	-0,144	0,421	-0,076	0,341	47,63	64,90	29,62	61,21	35,01
July	1960	2020	61		1,61		0,148	-0,097	0,395	-0,038	0,340	35,55	52,37	18,95	47,96	22,37
August	1960	2020	61		1,15		0,105	-0,132	0,340	-0,070	0,270	30,88	47,70	16,16	43,33	21,08
September	1960	2020	61		1,03		0,101	-0,176	0,406	-0,107	0,324	29,09	49,02	9,11	44,29	14,27
October	1960	2020	61		1,00		0,128	-0,184	0,483	-0,112	0,381	29,02	50,85	7,44	45,15	12,89
November	1960	2020	61		1,61		0,252	-0,199	0,705	-0,072	0,591	31,96	59,02	4,22	52,34	11,60
December	1960	2020	61		2,59	**	0,304	0,010	0,721	0,084	0,599	26,78	47,06	0,80	39,90	8,75
Januar	1960	2020	61		3,53	***	0,533	0,158	0,856	0,275	0,764	12,81	39,21	-7,21305	30,492	-1,4541
Februar	1960	2020	61		4,15	***	0,607	0,251	0,932	0,344	0,845	9,4147	33,2875	-10,8885	25,095	-4,4973
Mart	1960	2020	61		4,42	***	0,813	0,421	1,141	0,516	1,051	3,9781	31,958	-17,5795	25,07	-12,667

Tabel 21. Mann-Kendall sademete trendi tulemused Tartu meteoroloogiajaama andmetel, 1960-2003

TREND STATISTICS								
Tartu ,sademed, 1960-2003								
Time series	First ye	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	
April	1960	2003	44		0,09		0,029	
May	1960	2003	44		0,84		0,261	
June	1960	2003	44		2,19	*	0,978	
July	1960	2003	44		0,38		0,210	
August	1960	2003	44		0,12		0,052	
September	1960	2003	44		-0,11		-0,035	
October	1960	2003	44		2,04	*	0,585	
November	1960	2003	44		1,30		0,303	
December	1960	2003	44		0,88		0,147	
Januar	1960	2003	44		3,66	***	0,703	
Februar	1960	2003	44		3,04	**	0,545	
Mart	1960	2003	44		1,69	+	0,275	

Mann-Kendalli trend test näitas, et kuu keskmine äravool Emajõel Kvissentali seirejaama andmetel detsembrist märtsini oluliselt positiivne, ülejäänud kuudel statistiliselt olulisi trende ei leitud. Samuti on tabelist näha, et Tartu ilmajaama sademete hulk suureneb jaanuarist märtsini, juunis ja oktoobris, mis suurendab äravooluhulka.

Tabel 22. Mann-Kendall äravoolu trendi tulemused Ahja jõgi, Ahja vooluhulgad

TREND STATISTICS								
Ahja, vooluhulk, 1960-2020								
Time series	First ye	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	
April	1960	2020	61		-1,59		-0,055	
May	1960	2020	61		0,35		0,005	
June	1960	2020	61		3,03	**	0,035	
July	1960	2020	61		1,85	+	0,019	
August	1960	2020	61		1,52		0,016	
September	1960	2020	61		1,74	+	0,015	
October	1960	2020	61		2,45	*	0,027	
November	1960	2020	61		2,94	**	0,037	
December	1960	2020	61		3,48	***	0,050	
Januar	1960	2020	61		3,91	***	0,055	
Februar	1960	2020	61		4,26	***	0,049	
Mart	1960	2020	61		2,87	**	0,064	

Ahja seirejaama andmete analüüs näitab, et statistiliselt olulisi positiivseid trende on täheldatud juunist märtsini (v.a august), mis tähendab, et veehulk neil kuudel pidevalt suureneb. Ainuke kuu, kus äravool väheneb on aprill. Kuid sellel kuu trend ei ole statiistiliselt oluline.

Tabel 23. Mann-Kendall trendi tulemused Jägala, Kehra vooluhulgad

TREND STATISTICS

Jägala, vooluhulk, 1982-2020

Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	
April	1982	2020	39		-1,38		-0,142	
May	1982	2020	39		-1,67	+	-0,087	
June	1982	2020	39		-0,85		-0,018	
July	1982	2020	39		-0,07		-0,001	
August	1982	2020	39		0,36		0,008	
September	1982	2020	39		-0,11		-0,003	
October	1982	2020	39		-0,80		-0,042	
November	1982	2020	39		-0,48		-0,033	
December	1982	2020	39		0,77		0,058	
Januar	1982	2020	39		0,29		0,026	
Februar	1982	2020	39		0,90		0,062	
Mart	1982	2020	39		1,06		0,102	

Jägala jõe Kehra seirejaama andmete statistika analüüs näitab, et vaatlusperioodil 1960-2020 statistiliselt oluliselt trendid puuduvad. Ainukene kuu, kus see täheldatud - mai kuu. Teiste kevad- ja suvekuude äravoolu tendentsid on negatiivsed. Talvekuudel trendi suund on vooluhukade suurenemisele. Selline kirju pilt vooluhukade varieerumisel võib olla seotud Jägala jõe äravoolu reguleerimisega inimtegevusega. Kehra tselüloostehase töö tagamiseks võetakse vett jõest.

4.4 Jõgede hooajaliste äravoolu trendide tulemused

Tabel 24. Mann-Kendall hooaegade trendide tulemused Emajõgi, Kvissental vooluhulgal

TREND STATISTICS																
Emajõgi, vooluhulk, 1960-2020																
Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate									
				Test S	Test Z	Signific.	Q									
<i>kevad(III-V)</i>	1960	2020	61		2,12	*	0,347	-0,091	0,762	0,021	0,646	51,97	82,98	28,24	76,00	34,50
<i>suvi-sügis(VI-XI)</i>	1960	2020	61		1,44		0,134	-0,118	0,434	-0,046	0,365	35,28	51,36	16,15	47,20	19,80
<i>talv(XII-II)</i>	1960	2020	60		3,44	***	0,498	0,154	0,842	0,257	0,748	16,61	41,87	-4,72	34,11	0,97

Mann Kendalli trenditest näitas, et keskmine hooajaline vooluhulk Emajões seirejaama Kvissental andmetel kevadest talveni oluliselt positiivne. Suve-sügishooajal pole statistilised olulised trendid, kuid äravool kasvab jätkuvalt. Nagu tabelist näha, on kõrgeim trend talvel, kus trendiindeks on peaaegu 0,5-ni.

Tabel 25. Mann-Kendall hooaegade trendide tulemused Ahja , Ahja vooluhulgal

TREND STATISTICS									
Ahja, vooluhulk, 1960-2020									
Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate		
				Test S	Test Z	Signific.	Q		
<i>kevad(III-V)</i>	1960	2020	61		0,26		0,004		
<i>suvi-sügis(VI-XI)</i>	1960	2020	61		2,73	**	0,026		
<i>talv(XII-II)</i>	1960	2020	60		4,02	***	0,055		

Ahja seirejaama andmed: statistiliselt olulised positiivsed trendid algavad suvi-sügis hooajast talveni, täpsemalt veebruarini (Tabel 26). Kevadel ei ole statistiliselt olulisi trende, aga tendents on positiivne, sest märts oli ainukene kuu, kus trend on statistiliselt oluline ja positiivne.

Tabel 26. Mann-Kendall hooaegade trendide tulemused Jägala jõgi, Kehra vooluhulgal

TREND STATISTICS

Jägala, vooluhulk, 1982-2020

Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate		
				Test S	Test Z	Signific.	Q		
<i>kevad(III-V)</i>	1982	2020	39		-0,80		-0,043		
<i>suvi-sügis(VI-XI)</i>	1982	2020	39		-0,87		-0,029		
<i>talv(XII-II)</i>	1982	2020	38		1,01		0,051		

Jägala jõe Kehra seirejaama andmete statistika analüüs näitab, et vaatlusperioodil 1982-2020 (39 aastat) statistiliselt olulised trendid puuduvad. Kevadel ja suvi-sügisel aastaajal tendents on negatiivne, aga olulisi trende pole.

Tabel 27. Mann-Kendall hooegade trendide tulemused Kasari, Kasari vooluhulgad

TREND STATISTICS

Kasari, vooluhulk, 1960-2020

Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate		
				Test S	Test Z	Signific.	Q		
<i>kevad(III-V)</i>	1960	2020	61		-1,69	+	-0,166		
<i>suvi-sügis(VI-XI)</i>	1960	2020	61		-0,03		-0,003		
<i>talv(XII-II)</i>	1960	2020	60		3,16	**	0,439		

Kasari j. -Kasari seirejaama ja Purtse j. Lüganuse seirejaama andmete analüüs näitab sarnast statistikat (Tabel 28. ja Tabel 29.), et talvel on statistiline positiivne oluline trend. Lüganuse seirejaamal trendide indeks on suurem, kui Kasari seirejaamal. Kevadel samuti trend on oluline ja tendents on negatiivne, mis tähendab et äravool väheneb. Suvi-sügisel perioodil trendid puuduvad nii Kasari, kui ka Lüganuse seirejaamade äravoolul.

Tabel 28. Mann-Kendall hooegade trendide tulemused Purtse jõgi, Lüganuse vooluhulgad

TREND STATISTICS

Lüganuse, vooluhulk, 1960-2020

Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	
<i>kevad(III-V)</i>	1960	2020	61		-1,87	+	-0,061	
<i>suvi-sügis(VI-XI)</i>	1960	2020	61		1,21		0,024	
<i>talv(XII-II)</i>	1960	2020	60		2,88	**	0,060	

Perioodi 1960–2020 hooajalised trendid on toodud tabelis. Nagu selgesti näha, enamikus jaamades kevadel äravoolul pole staatiliselt olulisi trende. Ainult Kasari, Lüganuse ja Kvissentali seirejaamades on trendid statistiliselt olulised.

Teiste seirejaamade hooajaliste trendide tulemused on lisatud LISADES

5 Õhutamperatuuri muutus

Kliima roll äravoolu jaotuses aasta jooksul.

Eesti jõgede äravoolu aastasisene enamikul jõgedest ühel ajal märtsist aprillini, välja arvatud tugevasti reguleeritud äravooluga Narva jõgi ja Emajõgi. Suvine miinimum algab tavaliselt juuni keskel ja lõpeb septembri keskel või oktoobri alguses (v.a Narva ja Emajõgi). Sügisese äravoolu tipp langeb novembrikuusse. Talvine madalveeperiood kestab jaanuarist märtsini. Talvise ja suvise miinimumäravoolu suurus on peaaegu võrdne. (keskkonnaagentuur, 2021)

Eesti meteoroloogia situatsiooni kliima analüüsimiseks kasutasin andmed 1922-1965 ja 1965-2003, kuna rohkem andmeid ei saanud leida. Kasutasin õhutamperatuuri ja sademeid mõõdetud 4 ilmajaamast: Kunda, Narva, Tartu, Pärnu.

Eesti kliimat mõjutab tugevalt Läänemere lähedus ja seetõttu valitseb siin merelise ja kontinentaalse kliima vaheline üleminekuline paraskliima. Ida poole suureneb mandriline kliima ning eriti selle kaguosas. Aasta keskmine õhutamperatuur on Narvas 4,9°C, Kundas 5,2°C, Tartus 5,2°C, Pärnus 6°C.

Külmem kuu on Eestis jaanuar. Analüüsitud ilmajaamades, jaanuaris kõigub kuukeskmine õhutamperatuur Narvas -1,2° kuni -14,4°, Pärnus 0,4° kuni -14,5° ja Tartus -0,7° kuni -16,9° ning ainult Kundas veebruaris on kuukeskmine õhutamperatuur madalam kui jaanuaris (-15,6°). Üldiselt, jaanuari kuukeskmine õhutamperatuur on Kesk- ja Ida-Eestis -6...-7 °C, aga Lääne-Eesti saarestikul -2...-4 °C, mis ei erine mandris veebruari kuu temperatuuridest.

Viimase 47 aasta üks madalamaid kuukeskmist õhu temperatuure on olnud Ida-Eestis Tartus -16,9° ja Kundas -15,6°. Nii madalaid temperatuure täheldati 1985. ja 1987. aastal. Kogu Eestis saabub kevad aprilli esimestel kuupäevadel (M.S.Protasjev, 1972), kuid minu analüüs näitab, et viimasel analüüsitud perioodil kevadine suurvesi võib alata varem, sest märtsil õhutamperatuur on tõusnud. Mõnevõrra varem märtsi viimastel päevadel saabub kevad läänesaarte läänerannikul ja Lõuna-Eestis. Kevadperioodi iseloomustavad sagedased külmad ilmad. Õhutamperatuuri tõus toimub aeglaselt, kuna suur osa sissetulevasest soojusest kulub lume sulamisprotsessile ja seejärel

rohke niiskuse aurustamisele mullapinnalt. Õhu kiiret kuumenemist takistab mere ja Peipsi järve mõju. (M.S.Protasjev, 1972)

Ööpäeva keskmise õhutemperatuuri üleminek 5° ülespoole tähendab kevade kõige soojema osa algust; see toimub aprilli lõpus (M.S.Protasjev, 1972). Sellel ajal on seatud kõige kuivem ja selge ilm ning sademetega päevi on aasta väikseim, kuid isegi sellel perioodil on külm ilm võimalik. Öökülmad korduvad kogu kevadhooaja vältel. Suve algus langeb ligikaudu kokku ööpäeva keskmise õhutemperatuuri üleminekuga 13 kraadini, mida Eesti keskpriirkondades täheldatakse juuni alguses, rannikul ja saartel juuni keskel. Sel perioodil seatakse kõrgeimad suvehooajale omased temperatuurid. Kõige soojem kuu on juuli, mille keskmine temperatuur on $16,3-17,6^{\circ}$. Suvel on õhutemperatuuri jaotumine territooriumil sujuvam kui talvel.

Ööpäevaste keskmiste õhutemperatuuride üleminekuga $12-13^{\circ}$ allapoole algab sügis. (M.S.Protasjev, 1972). Sügise algust täheldatakse enamikul territooriumil septembri alguses ning rannikul ja saartel septembri keskel. Sügis on Eestis suhteliselt soe, kuid valitseb pilvine ja sajuta ilm koos sagedaste ududega. Pärast sügiskuude vihmaseid jahedaid ilmasid on aga märgata soojuste tagasitulekut ning seejärel saabub üheks kuni kaheks nädalaks kuiv, soe ja päikesepaisteline ilm. Sügisperiood on reeglina pikk.

Talve kõige külmema perioodi algus langeb suuremal osal territooriumist detsembri keskpaigale, läänerannikul, kus asuvad Vihterpalu, Pärnu ja Navesti jõgi, nihkub see jaanuari algusesse või keskpaika. Alla -5° temperatuure registreeritakse detsembri lõpus riigi idaosas, läänerannikul kuu aega hiljem. Talve jooksul esineb sulasid, mis soodsate atmosfääriringluse tingimustes korduvad väga sageli. Keskmiselt on valitud linnades kõige külmemal jaanuarikuul 1-2 päeva sula, kui temperatuur on plusskraadides ja veebruaris 2 päeva stabiilset sula ($0,5-1,8^{\circ}$) (M.S.Protasjev, 1972). Veebruari kõrgeim temperatuur on Narvas, nagu näitab tabel ($1,8^{\circ}$). Jaanuaris ei tõuse õhutemperatuur üle $0,8^{\circ}$ (Kundas), 1983. aastal jaanuaris Narvas sula pole.

5.1 Sademete muutus

Aastatel 1961-2003 on aastane sademete hulk varieerub Pärnus 467-953 mm, Tartus 360-823 mm, Narvas 436-818 mm ja Kundas 433-863 mm aastas.

Sademed jagunevad aastaringselt ebahühtlaselt. Suurem osa neist langeb aasta soojal perioodil, mis kestab 3 kuud: 3. juunist 5. septembrini, ööpäevase maksimaalse keskmise temperatuuriga üle 17°C (M.S.Protasjev, 1972): Kundas 81% (538 mm) aastasest kogusest, aprillist oktoobrini Narvas 73% (429 mm), Pärnus 62% (429 mm) ja Tartus (433,1 mm) aastasest summast. Külmal perioodil novembrist märtsini varieerub sademete hulk vahemikus 183,5–213 mm. Külmhooaeg kestab 3,9 kuud: 24. novembrist 19. märtsini, ööpäevase minimaalse temperatuuriga alla 3 °C. (M.S.Protasjev, 1972)

Kõige vähem sajab märtsis ja aprillis 23-39 mm. Eesti valitud linnades on sademete maksimum augustis (Pärnus juulis). Kõige suuremat sademetehulka iseloomustab aasta-aastalt märkimisväärne varieeruvus. Suurim kuu ja aasta sademete kõikumine on Narvas ja Pärnus, kus aasta keskmine sademete hulk on 632,4 mm ja 633,6 mm. Üksikute aastate sademete hulga muutused on olulised nii soojal kui ka külmal perioodil. (MERRA-2., 2022)

6 Analüüsi tulemused

Grafikutes on esitatud valitud seirejaamadest pärineva äravoolu hooajalise jaotuse analüüs. Aastatel 1922 - 1965 ja 1965 - 2020 statistikast on selgelt näha, et talvine äravool suurenes perioodil 1965-2020 83% seirejaamadest (12-st kümnes) (Tabel. 31), vaatamata sellele, et 12-st seirejaamast seitsmes (58%) kevadine suurvesi aastatel 1922 - 1965 suurenes (Tabel 29). Aga tabelis. 20 selgelt näha, et suve-sügise äravool suurenes perioodil 1925-1965 75% seirejaamadest (12-st üheksas). Nägu näha (tabelist. 32) aastane äravoolu kiht suureneb teisel perioodil 75% (12-st üheksas) sellepärast, et suurenes talvine äravool, vaatamata sellele, et Ahja ja Sämi seirejaamades suuremad talvised äravoolukihid sellel perioodil aga aastane äravoolu kiht teisel perioodil on väiksem. Ahja ja Sämi seirejaama statistika näitab (tabel. 12), et kevadine ja suve-sügise äravoolukihid suurenevad esimesel perioodi kuni 4,2%, selle tõttu aastane äravoolu kiht Ahja seirejaamal väiksem 42 mm ja Sämi seirejaamal väiksem 14 mm teisel perioodil (1965-2020).

Kõige suurim kasv aasta äravoolu kihi on Kehra, Ahja, Vihterpalu ja Pajupea seirejaamadel. Teisel perioodil aastane äravoolu kiht suurenes Kehra seirejaamal 26 mm, Vihterpalu seirejaamal 38 mm ja Pajupea seirejaamal 43mm, aga esimesel perioodil suurim kasv on Ahja seirejaamal 43 mm (tabel 12).

Sademe ja temperatuuri analüüsi tulemuste järgi näitab tabel 33, et sademeid langeb rohkem talvel ja sügisel Tallinna ilmajaamal, kuid temperatuur on sama, mis teistes ilmajaamades. Aga suvel ja kevadel sademede hulk langeb Narva ilmajaamal vaatamata sellele, et temperatuur väiksem 1 kraadi ainult suvel. Kunda ilmajaamal on kõige vähem sademeid, kui teistel ilmajaamadel aga temperatuur ka ei muutu (v.a. suvel)

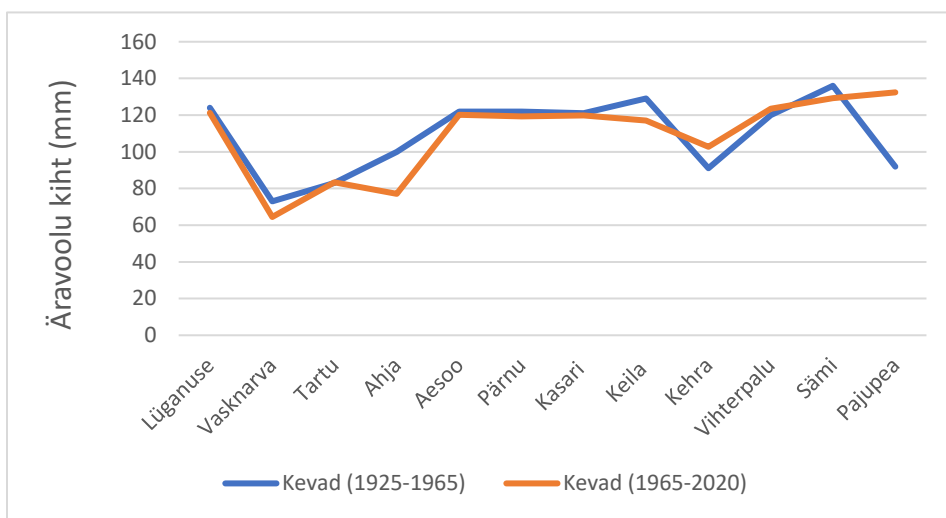
Nagu tabelist 34 näha, esimesel perioodil Tartu ilmajaamas rohkem sademeid kui Pärnu ilmajaamas, vaatamata sellele, et talvine ja suvine õhutemperatuur on sama, kevadel on Tartu ilmajaamas 2 kraadi kõrgem temperatuur ja sügisel. Pärnus on õhutemperatuur samuti kraadi võrra kõrgem.

Teist perioodi (1965-2003) on Pärnu ilmajaamas suurem sademete hulk kui Tartus, välja arvatud suvi. Suvel oli 30 mm rohkem kui Pärnus, kuigi sel hooajal on sama temperatuur.

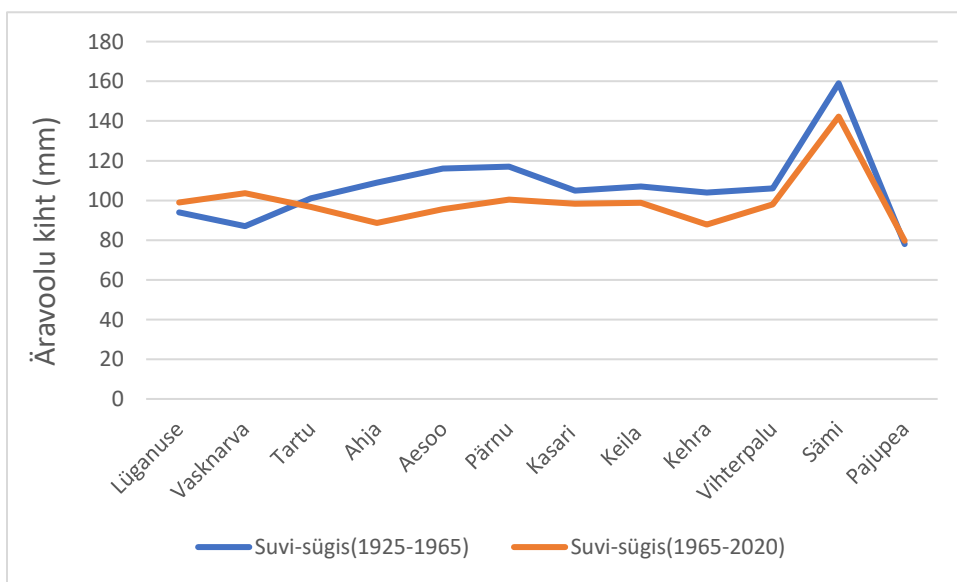
Võrreldes Pärnu ilmajaamat 2 perioodi lõikes, võib öelda, et teisel perioodil sademete hulk suurenes ning õhutemperatuur tõusis talvel 1 kraadi võrra, kevadel 3 kraadi võrra ja teistel aastaegadel ei muutunud, selle tõttu suurendades aasta äravoolu kiht (tabel 12).

Tabeli 34 järgi teisel perioodil sademete hulk vähenes, kuid sama hulgad on suvel. Vaatamata sellele, et talvel ja kevadel õhutemperatuur langes, suvel see ei muutunud, sügisel tõusis 1 kraadi võrra.

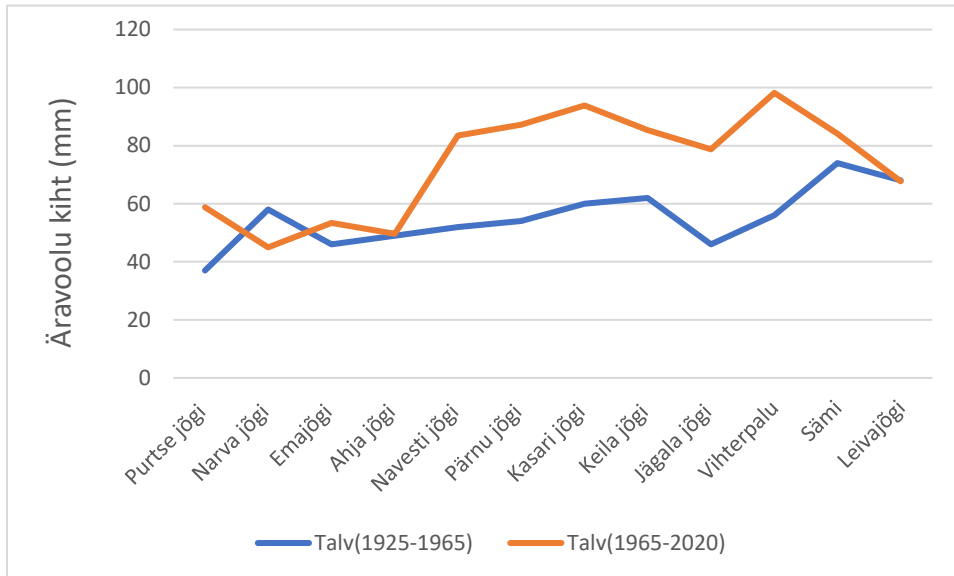
Tabel 29. Kevadine äravoolu kiht kahe perioodi jooksul (mm)



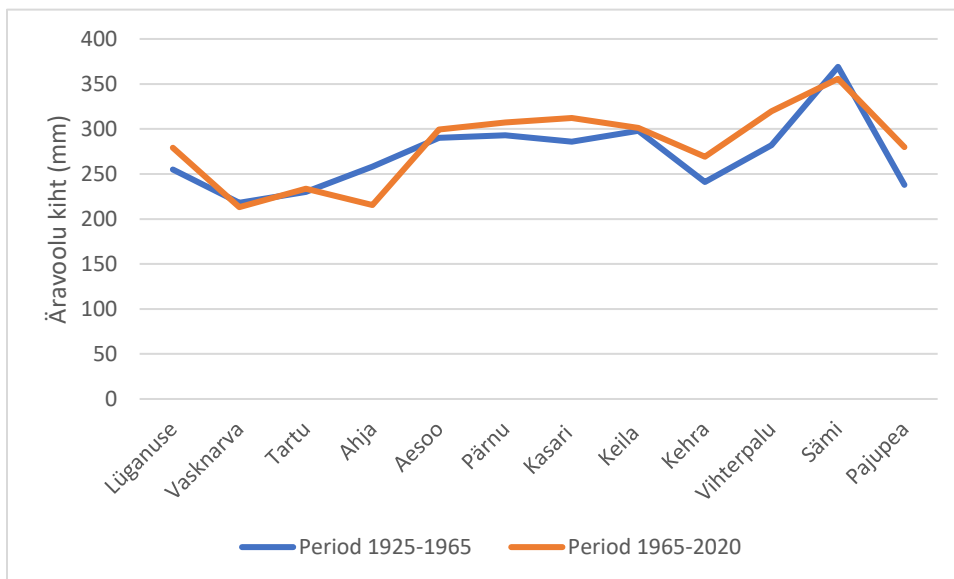
Tabel 30. Suve-sügisel äravoolu kiht kahe perioodi jooksul (mm)



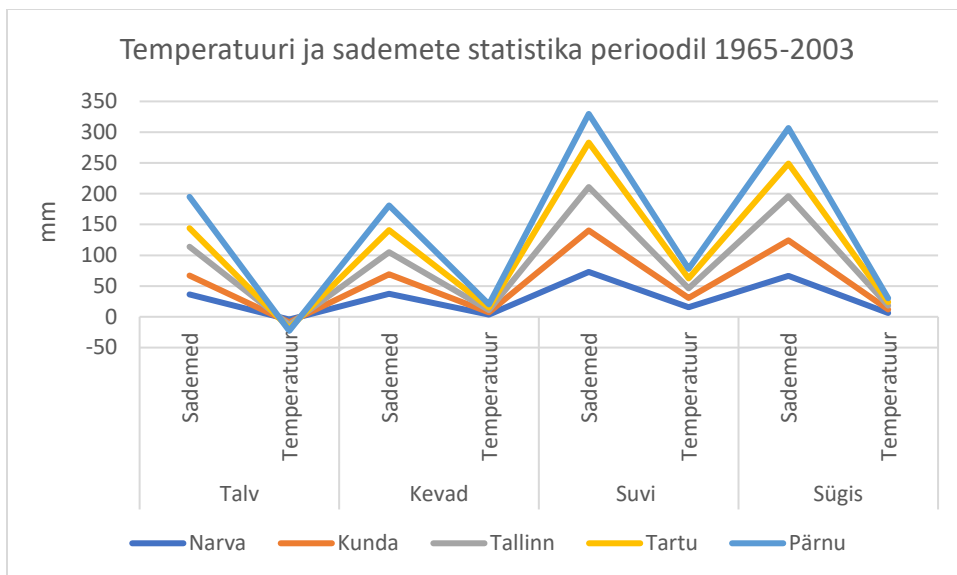
Tabel 31. Talvine äravoolu kiht kahe perioodi jooksul (mm)



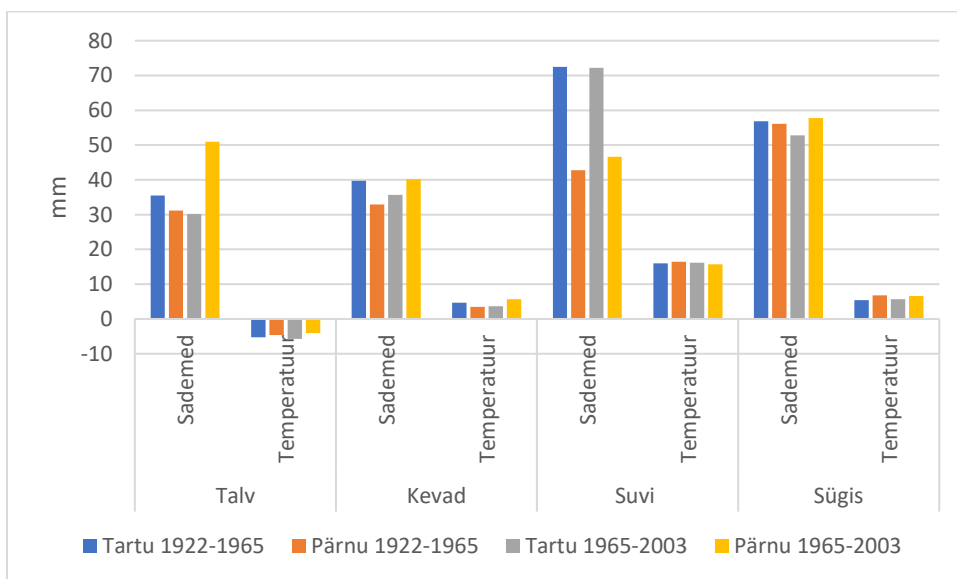
Tabel 32. Aastane äravoolu kiht kahe perioodi jooksul (mm)



Tabel 33. Hooaja keskmine temperatuur ja sademet perioodidel Narva, Kunda, Tallinn, Pärnu, Tartu meteorajaamadel 1965-2003 millimeetrites



Tabel 34. Temperatuuri ja sademete statistika Tartu ja Pärnu seirejaamadel (1922-1965 ja 1965-2003)



Kokkuvõte

Antud lõputöö uurimisobjektiks oli 12 hüdromeetriaseirejaama. Seirejaamade valikul lähtusin sellest, et nende andmed iseloomustavad hüdroloogilise režiimi muutusi enam-vähem ühtlaselt Eesti territooriumil. Selleks ma analüüsisin järgmiste seirejaamade andmeid : Vasknarva, Tartu, Ahja, Lügánuse, Sämi, Kehra, Pajupea, Keila, Kasari, Vihterpalu, Oore, Aesoo pikaajalisel perioodil. Nende seirejaamade igapäevased vooluhulgad olid võetud aluseks kuukeskmiste, aasta keskmiste ja hooajaliste äravoolu väärtuste arvutamiseks vaatlusperioodi algusest kuni 1965. aastani ja pärast 1965. aastat kuni 2020. aastani ning kogu perioodi jooksul. Algandmed on võetud Eesti ilmateenistuse kodulehelt (www.ilmateenistus.ee). Arvutatud hooaja andmed 1922. aastast kuni 1965. aastani võtsin allikast „Eesti Pinnavee Ressursid“ (M.S.Protasjev, 1972). Selleks, et äravoolukiht oleks ühes mõõtühikus kogu ajavahemikul 1922-2020 aastani mugavuse huvides arvutasin äravoolu kiht mm-tes, kuna hilisemad andmed võeti ja arvutati m³/s. Äravoolukihi saamiseks mm, tuleb hooaja keskmine vooluhulk korrutada sekundite arvuga ööpäevas, päevade arvuga hooajal ja saadud väärtus jagada seirejaama valgala pindalaga (m²). Samuti veemajanduse aastaegade piirid oli jaotatud järgmisel viisil: kevad: märts-mai; suvisügis: juuni-november; talv: detsember-veebbruar.

Teatud analüüsi kohaselt on ajavahemikul 1960-2020 aasta täheldatud vooluhulga statistiliselt olulised muutused. Aastatel 1922 - 1965 ja 1965 - 2020 statistikast on selgelt näha, et talvine äravool suurenes perioodil 1965-2020 83% seirejaamadest (12-st kümnes) (Tabel. 31), vaatamata sellele, et 12-st seirejaamast seitsmes (58%) kevadine suurvesi aastatel 1922 - 1965 suurenes (Tabel 29). Aga tabelis. 20 selgelt näha, et suve-sügisese äravool suurenes perioodil 1925-1965 75% seirejaamadest (12-st üheksas).

Peaaegu kogu Eestis suureneb talvine äravool, millest annavad tunnistust positiivsed ja usaldusväärsed trendid (3 täрни), mis tähendab vooluhulka suurenemist, mis pole meie jõgede puhul tavaline, sest tavaliselt on talvel meie jõgedes vett vähe, kuna on madalveehooaeg ja vesi jõkke tuleb peamiselt põhjaveest, mis talve lõpul langeb. Talvise äravooluhulka mõjutab asjaolu, et kevadine lumesulamine algab nüüd varem. See tähendab, et kevadise ja talvise äravoolu vahel toimub äravoolu ümberjaotumine. Perioodi 1960–2020 hooajalised trendid on toodud tabelis (peatükis 4.4).

Üleujutuse kõrgeim on kevadel, kui lumi sulab, tihti sajab vihma ja seega tõuseb kevadel veetase jões. Nagu selgesti näha, enamikus seirejaamades kevadel pole statistiliselt olulisi trende. Ainult Kasari, Lüganeuse ja Kvissentali seirejaamades on trendid negatiivsed ja statistiliselt olulised.

Suvel võrdsustub aurutamise tugev vihmasedu, mistõttu on sel hooajal vesi madal. Sügis on tavaliselt vihmarohke, mistõttu see põhjustab üleujutusi, kuid mitte nii tugevaid kui kevadel. Suvel ei ole üheski jaamas (v.a Ahja) statistiliselt olulisi trende, see tähendab, et muutusi võib olla täheldatud, aga seoses trendiindeksi suure hajuvusega ei saa rääkida selgetest trendidest.

Minu eesmärgiks oli määrata hooajalise äravoolu muutust. Minu arvutused kinnitavad, et hooajalised äravoolu muutused on tõepoolest toimunud. Äravoolu trendianalüüsi tehti nii kuude kui ka hooajaegade kohta. Kõik arvutused kinnitavad, et talvine äravoolu kiht on suurenenud, aga kevadine äravoolu kiht vähenenud, suvine-sügisene äravool olenevalt piirkondadest kas väheneb või suureneb. Kevad tuleb varem, talved on soojemad.

Esimese perioodi mittepiisavad andmed sademete ja õhu temperatuuri kohta raskendasid võrdlusanalüüsi, et leida seos meteoroloogiliste parameetrite muutustega. Samuti selgemaks võrdluseks 2 perioodi lõikes on vaja teada õhutemperatuuri ja sademete hulga muutust kõigis valitud seirejaamades kogu perioodi kohta, aga ka need andmed olid võimalikud ainult piiratud seirejaamadel ning ainult 2004. või 2007. aastani. Seda uuringut peaks kindlasti jätkama ka tulevikus, et jälgida hooajalise äravoolu trende ja muutuste sõltuvust meteoroloogilistest faktoritest.

Summary

The object of research of this thesis was 12 hydrometry monitoring stations. When selecting the monitoring stations, I proceeded from the fact that their data characterize the changes in the hydrological regime more or less evenly in the territory of Estonia. For this purpose, I analyzed the data of the following monitoring stations: Vasknarva, Tartu, Ahja, Lügänu, Sämi, Kehra, Pajupea, Keila, Kasari, Vihterpalu, Oore, Aesoo in the long term. The daily flows of these monitoring stations were used to calculate monthly, annual average, and seasonal runoff values from the beginning of the reference period until 1965 and after 1965 until 2020 and for the whole period. The original data are taken from the website of the Estonian Weather Service (www.ilmateenistus.ee). Calculated seasonal data from 1922 to 1965 were taken from the source "Estonian Surface Water Resources" (M.S. Protasjev, 1972). To keep the drainage layer in one unit for the whole period from 1922 to 2020, for convenience, I calculated the drainage layer in mm, as later data were taken and calculated in m³ / s. To obtain the drainage layer in mm, the seasonal average flow must be multiplied by the number of seconds per day, the number of days in the season, and the value obtained divided by the catchment area of the monitoring station (m²). Also, the boundaries of the water management seasons were distributed as follows: spring: March-May; summer-autumn: June-November; winter: December-February. According to some analysis, statistically significant changes in flow have been observed between 1960 and 2020. Almost all of Estonia's winter runoff is increasing, as evidenced by positive and reliable trends (3 stars), which means an increase in flow, which is not common in our rivers, as there is usually little water in our rivers in winter due to the low water season and water coming mainly from groundwater. which falls at the end of winter. The amount of winter runoff is affected by the fact that spring snowmelt begins earlier. This means that there is a redistribution of a runoff between the spring and winter runoff. Seasonal trends for the period 1960–2020 are presented in the table (Chapter 4.4). The peak of a flood is in the spring, when the snow melts, it often rains and thus the water level in the river rises in the spring. As can be seen, there are no statistically significant trends in most monitoring stations in the spring. Only at Kasari, Lügänu and Kvissental monitoring stations are the trends negative and statistically significant. In summer, steaming equates to heavy rainfall, so the water is low this season. Autumn is usually rainy, so it causes floods, but not as severe as spring. In summer, there are no statistically significant trends at any station (except Ahja), which means that

changes can be observed, but due to the high dispersion of the trend index, no clear trends can be said. My goal was to determine the change in a seasonal runoff. My calculations confirm that the seasonal changes in run-off have indeed taken place. The outflow trend analysis was performed for both months and seasons. All calculations confirm that the winter runoff layer has increased, but the spring runoff layer has decreased, and the summer-autumn runoff is either decreasing or increasing depending on the regions. Spring comes earlier, winters are warmer. Insufficient data on precipitation and air temperature in the first period made comparative analysis difficult to find a link with changes in meteorological parameters. Also, for a clearer comparison over 2 periods, it is necessary to know the change in air temperature and precipitation in all selected monitoring stations for the whole period, but also these data were available only for limited monitoring stations and only until 2004 or 2007. This study should be continued in the future to monitor seasonal runoff trends and the dependence of changes on meteorological factors.

Viidatud allikad

.G. Ljubuškina, K. P., & Tšernov., E. A. (2004). "Geograafia".

Change, I. F. (2007). https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/faq-2-1.html.

Allikas: Publications and Data:
https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/faq-2-1.html

CLIMATE-DATA.ORG, C.-M. B. (kuupäev puudub). *Kimat Tartu*. Allikas: Climate-Data.org:
<https://ru.climate-data.org>

CLIMATE-DATA.ORG, C.-M. B. (kuupäev puudub). *Kimat Tartu*. Allikas: Climate-Data.org:
<https://ru.climate-data.org/>

energetika: istoriya, n. i. (2013). energetika: istoriya, nastoyashcheye i budushcheye.

Entsüklopeedia, E. (kuupäev puudub). 2003.

Jaanits, L. (1977). Eesti Entsüklopeedia.

Järvet, A. (2011). http://entsyklopeedia.ee/artikkel/eesti_vesikonnad. Allikas:
<http://entsyklopeedia.ee>: entsyklopeedia.ee

Järvet, A. (2012). Eesti Entsüklopeedia.

keskkonnaagentuur. (2021). <https://keskkonnaagentuur.ee/keskkonnaagentuuri-tegevusvaldkonnad/vesi/hidroloogia>. Allikas: <https://keskkonnaagentuur.ee/>:
keskkonnaagentuur.ee

Keskkonnaagentuur. (5. Juny 2014. a.). *Uuendati vooluhulga mõõtmise seadmeid riigi hüdromeetriavõrgus*. Allikas: [ilmateenistus.ee](https://www.ilmateenistus.ee): <https://www.ilmateenistus.ee/>

Keskkonnaagentuur. (kuupäev puudub). *ilmatarkus*. Allikas: Hüdrololoogilised mõõtmised:
<https://www.ilmateenistus.ee/>

- Koshlyakov, V. N. (1972). *entsiklopediya krugosvet* . Allikas:
[https://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/tehnologiya_i_promyshlennost/GIROKO
MPAS.html](https://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/tehnologiya_i_promyshlennost/GIROKO_MPAS.html): krugosvet.ru
- M.S.Protasjev, T. (1972). *resursy poverkhnostnykh vod_sssr tom_04 pribaltiyskiy rayon*.
Leningrad.
- Maastik, A. (2006). Hüdrolöogia ja hüdromeetria. rmt: A. Maastik, *Veeringe*. Tartu.
- Maastik, A. (2006). *Hüdrolöogia ja Hüdromeetria*. Tartu .
- MERRA-2. (2022). *Climate and Average Weather Year Round in Tallinn*. Allikas:
[weatherspark.com: https://weatherspark.com/y/91604/Average-Weather-in-Tallinn-
Estonia-Year-Round](https://weatherspark.com/y/91604/Average-Weather-in-Tallinn-Estonia-Year-Round)
- Organizatsiya, V. M. (2012). *Rukovodstvo po gidrologicheskoy praktike Tom II Upravleniye
vodnymi resursami i praktika primeneniya gidrologicheskikh metodov*.
- T. Salmi, A. M.-A. (2002). Excel template for the calculation of trend statistics of annual time
series. Soome.

**Lisa 1. Mann-Kendall trendihooaegade tulemused Vasknarva jõgi,
Narva vooluhulga**

TREND STATISTICS							
Vasknarva, vooluhulk, 1960-2020							
Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope
				Test S	Test Z	Signific.	Q
<i>kevad(III-V)</i>	1960	2020	61		1,57		1,276
<i>suvi-sügis(VI-XI)</i>	1960	2020	61		0,49		0,363
<i>talv(XII-II)</i>	1960	2020	60		2,84	**	2,160

Lisa 2. Mann-Kendall trendihooaegade tulemused Kunda jõgi, Sämi vooluhulgad

TREND STATISTICS							
Sämi, vooluhulk, 1960-2020							
Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope
				Test S	Test Z	Signific.	Q
<i>kevad(III-V)</i>	1960	2020	61		-0,60		-0,009
<i>suvi-sügis(VI-XI)</i>	1960	2020	61		1,01		0,010
<i>talv(XII-II)</i>	1960	2020	60		3,04	**	0,036

Lisa 3. Mann-Kendall trendihooaegade tulemused Leivajõgi, Pajupea vooluhulgal

TREND STATISTICS							
Leivajõgi, vooluhulk, 1960-2020							
Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope
				Test S	Test Z	Signific.	Q
<i>kevad(III-V)</i>	1960	2020	61		-1,36		-0,005
<i>suvi-sügis(VI-XI)</i>	1960	2020	61		-0,72		-0,002
<i>talv(XII-II)</i>	1960	2020	60		3,57	***	0,013

**Lisa 4. Mann-Kendall trendihooaegade tulemused Keila jõgi,
Keila vooluhulgad**

TREND STATISTICS							
Keila, vooluhulk, 1960-2020							
Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope
				Test S	Test Z	Signific.	Q
<i>kevad(III-V)</i>	1960	2020	61		0,02		0,001
<i>suvi-sügis(VI-XI)</i>	1960	2020	61		-0,14		-0,002
<i>talv(XII-II)</i>	1960	2020	60		3,53	***	0,084

**Lisa 5. Mann-Kendall trendihooaegade tulemused Vihterpalu jõgi,
Vihterpalu vooluhulgad**

TREND STATISTICS							
Vihterpalu, vooluhulk, 1960-2020							
Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope
				Test S	Test Z	Signific.	Q
<i>kevad(III-V)</i>	1960	2020	61		-0,37		-0,007
<i>suvi-sügis(VI-XI)</i>	1960	2020	61		-0,79		-0,009
<i>talv(XII-II)</i>	1960	2020	60		3,39	***	0,079

Lisa 6. Mann-Kendall trendihooaegade tulemused Oore jõgi, Pärnu vooluhulgad

TREND STATISTICS							
Oore, vooluhulk, 1960-2020							
Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope
				Test S	Test Z	Signific.	Q
<i>kevad(III-V)</i>	1960	2020	61		-0,65		-0,124
<i>suvi-sügis(VI-XI)</i>	1960	2020	61		0,08		0,013
<i>talv(XII-II)</i>	1960	2020	60		4,05	***	0,925

Lisa 7. Mann-Kendall trendihooaegade tulemused Navesti jõgi, Aesoo vooluhulgad

TREND STATISTICS							
Navesti, vooluhulk, 1960-2020							
Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope
				Test S	Test Z	Signific.	Q
<i>kevad(III-V)</i>	1960	2020	61		-0,50		-0,017
<i>suvi-sügis(VI-XI)</i>	1960	2020	61		-0,13		-0,004
<i>talv(XII-II)</i>	1960	2020	60		4,14	***	0,175

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Kristina Levina:

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Eesti jõgede aastase äravoolu pikaajaline hooajaline muutlikkus“, mille juhendaja on Alvina Reihan, Anna Põrh:

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

20.05.2022

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.