

# **Tenojoen virtaaman ja virtausolosuhteiden muutokset vuosina 1991–2020**

Aino Saarinen

Maantieteen linja  
Pro gradu -tutkielma  
Laajuus: 30 op

Ohjaajat:  
Petteri Alho  
Mikel Calle Navarro

8.12.2022  
Turku

Pro gradu -tutkielma

**Pääaine:** Maantiede

**Tekijä:** Aino Saarinen

**Otsikko:** Tenojoen virtaaman ja virtausolosuhteiden muutokset vuosina 1991–2020

**Ohjaajat:** Petteri Alho, Mikel Calle Navarro

**Sivumäärä:** 63 sivua + liitteet 6 sivua

**Päivämäärä:** 8.12.2022

---

Ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät monissa luonnonympäristöissä, myös jokiympäristöissä. Arktisella alueella muutos on jopa neljä kertaa nopeampaa muihin alueisiin verrattuna. Arktiset ympäristöt ovat ainutlaatuisia, ja ilmastonmuutoksen edetessä siten erittäin haavoittuvassa asemassa olevia alueita. Arktiset joet, jotka sijaitsevat kokonaan tai osittain arktisella alueella ja laskevat Jäämereen, ovat erityisiä, sillä niiden hydrologista vuodenkiertoa hallitsevat pitkä kylmä talvi, routa, lumipeite, jokijää ja kevättulva. Viimeiseksi mainitut aiheuttavat eniten muutoksia joen geometriaan koko vuoden aikana. Ilmastonmuutoksen aiheuttama keskilämpötilan nousu uhkaa näiden ilmasto-olosuhteiden olemassaoloa. Jo nyt lumipeitteen ja jään keston on havaittu vähenneen edellisten vuosikymmenten aikana. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan pohjoisessa Fennoskandiassa arktisella alueella sijaitsevan Tenojoen valuma-alueen virtaaman ja virtausolosuhteiden muutoksia viimeisen ilmastojakson (1991–2020) aikana. Tutkimusaineistona käytettiin avointa virtaama- ja sääaineistoa. Muutosten perusteella arvioidaan virtaaman muutosten ja ilmastonmuutoksen mahdollisia yhteyksiä.

Ilmastonmuutoksen etenemistä arvioitiin käyttäen vuosittaisten keskilämpötilojen, pakkaspäivien, sademäärän, sadepäivien, lumensyvyuden ja lumipeitteisten päivien määrän havaittuja arvoja. Monotonisten trendien selvittämiseksi keskilämpötiloille, maksimi- ja minimilämpötiloille, sademäärälle sekä lumensyvyydelle tehtiin modifioitu Mann-Kendallin trenditesti. Tuloksia verrattiin arktisen ilmastonmuutoksen ja Suomessa havaittujen muutosten trendeihin. Virtaaman muutoksia havainnoitiin vuosikeskiarvoista, vuosittaisista yli- ja alivirtaamista, vuosittaisista kuukausikeskiarvoista, kevättulvan viikoittaisesta etenemisestä ja tulvaviikkojen virtaamakeskiarvojen anomalioiden muutoksesta. Kaikki virtaamahavainnot ja 30 vuoden keskiarvot testattiin Mann-Kendallin trenditestillä.

Keskilämpötilassa, sadannassa ja lumensyvyydessä oli tapahtunut muutoksia. Trenditesti osoittivat lievää nousua keski-, maksimi- ja minimilämpötiloissa. Alueen ilmastollinen muutos vastaa lämpötilojen muutoksen osalta muissa tutkimuksissa havaittua kehityssuuntaa. Sadannan ja lumensyvyyden osalta tulokset ovat osin ristiriitaisia aikaisempien tutkimusten kanssa. Vuosittaisissa virtaamakeskiarvoissa on yhteyksiä sääkeskiarvoihin, erityisesti sadesummaan. Vuosikierron tarkastelussa näkyy kevättulvan siirtyminen, sen merkityksen väheneminen vuodenkierrossa ja syksyn virtaamavaihtelun lisääntyminen. Kevättulva on siirtynyt tarkastelujaksolla noin kahdella viikolla eteenpäin. Virtaamien nouseva trendi havaittiin kaikilla muilla asemilla lukuun ottamatta Veahkkavan asemaa. Vuosittaisissa virtaamakeskiarvoissa, ylivirtaamisissa tai alivirtaamisissa ei havaittu trendejä.

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että ilmastonmuutoksen trendit ovat nähtävissä myös Tenojoen valuma-alueella. Tutkimus osoittaa, että virtaaman muutokset ovat todennäköisesti yhteydessä sademäärän ja keskilämpötilan muutoksiin. Ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät arktisissa jokiympäristöissä 30 vuoden ilmastojaksolla. Ilmastonmuutos muuttaakin arktisten jokiympäristöjen virtausolosuhteita ratkaisevasti, ja tulevaisuuden kannalta on tärkeää tunnistaa arktisten jokien ainutlaatuiset piirteet ja prosessit, jotta ilmastonmuutoksen etenemistä ja vaikutuksia pystytään arvioimaan tulevaisuudessa paremmin.

---

**Avainsanat:** virtaama, valuma-alue, virtavesiympäristöt, ilmastonmuutos, arktiset alueet, arktinen amplifikaatio

Master's thesis

**Subject:** Geography

**Author(s):** Aino Saarinen

**Title:** Discharge changes and changes in flow conditions in Tana river in years 1991–2020

**Supervisor(s):** Petteri Alho, Mikel Calle Navarro

**Number of pages:** 69 pages

**Date:** 8.12.2022

---

The effects of climate change are already visible in many natural environments, including river environments. In the Arctic region, the change is up to four times faster compared to other regions. Arctic environments are unique and in a very vulnerable position as climate change progresses. Arctic rivers, located wholly or partly in the Arctic region and draining into the Arctic Ocean, are special, as their hydrological annual cycle is dominated by a long cold winter, frost, snow cover, river ice and a spring flood, which causes the most changes in river geometry throughout the year. The rise in average temperature caused by climate change threatens the existence of these climatic conditions. It has already been observed that the duration of snow cover and river ice has decreased during the previous decades. This study examines the changes in the discharge and flow conditions of the Tenojoki, which flows in northern Fennoscandia and drains into the Arctic Ocean, and its watershed from openly available discharge and weather data during the last climate period (1991–2020). Connections between discharge and climate change are evaluated based on the changes.

The progress of climate change was observed in terms of changes in annual average temperatures, frost days, precipitation, rainy days, snow depth, and the number of snow-covered days. A modified Mann-Kendall trend test was performed for average temperatures, maximum and minimum temperatures, precipitation and snow depth to find out monotonic trends. The results were compared to the trends of Arctic climate change and the changes observed in Finland. Changes in discharge were observed from annual averages, annual maximum and minimum discharges, annual monthly averages, the weekly progress of the spring flood and the change in anomalies of the average discharge values of the flood weeks. All discharge observations and 30-year averages were tested with the Mann-Kendall trend test.

There had been changes in the average temperature, precipitation and snow depth. Trend tests showed a slight increase in average, maximum and minimum temperatures. The climatic change in the area corresponds to the trend observed in other studies in terms of the change in average, maximum and minimum temperatures. In precipitation, there was no trend in the upper reaches and a growing trend in the lower reaches. A decreasing trend was observed in the snow depth. Regarding precipitation and snow depth, the results are partly contradictory. The annual discharge averages have connections to the weather averages, especially to the precipitation totals. An examination of the annual cycle shows the shift of the spring flood, the decrease in importance and the increase of autumn variability. The spring flood has moved forward by about two weeks during the review period. The increasing trend of discharges was observed at all other stations, except Veahhkava station. No trends were observed in annual flow averages, maximum or minimum discharges.

The results of the study show that climate change trends can also be seen in the Tenojoki watershed. The study shows that the changes in discharge are probably connected to changes in precipitation and average temperature. The effects of climate change can be seen in arctic river environments in a 30-year climate period. Climate change will decisively change the flow conditions of arctic river environments, and for the future it is important to identify features and processes unique to arctic rivers, so that the progress and effects of climate change can be better assessed in the future.

---

**Key words:** Discharge, Watershed, Fluvial Environments, Climate Change, Arctic Environments, Arctic Amplification

# Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Teoreettinen viitekehys</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Valuma-alueen prosessit ja hydrologinen kierto</b> .....	<b>9</b>
2.1.1	Hydrologinen kierto .....	9
2.1.2	Valuma-alueen ominaisuudet .....	11
2.1.3	Virtaama .....	12
2.1.4	Tulvat .....	14
<b>2.2</b>	<b>Ilmastonmuutos ja arktiset jokiympäristöt</b> .....	<b>15</b>
2.2.1	Arktisen alueen määrittely ja piirteet .....	15
2.2.2	Ilmastonmuutos Suomessa ja arktisella alueella .....	15
2.2.3	Ilmastonmuutoksen vaikutus arktisiin jokiympäristöihin .....	17
<b>3</b>	<b>Tutkimusalueen kuvaus</b> .....	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>Aineisto ja menetelmät</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Työnkulku</b> .....	<b>24</b>
<b>4.2</b>	<b>Aineistot</b> .....	<b>25</b>
4.2.1	Sääaineistot .....	25
4.2.2	Virtaama-aineistot .....	27
<b>4.3</b>	<b>Menetelmät</b> .....	<b>29</b>
4.3.1	Sääaineistojen muutostarkastelu .....	29
4.3.2	Virtaama-aineistojen muutostarkastelu .....	30
4.3.3	Trendianalyysit .....	32
<b>5</b>	<b>Tulokset</b> .....	<b>34</b>
<b>5.1</b>	<b>Sääaineistojen havainnointi ja trendit</b> .....	<b>34</b>
5.1.1	Sääkuvaajat .....	34
5.1.2	Sääaineistojen trendit .....	37
<b>5.2</b>	<b>Virtaaman muutokset ja trendit</b> .....	<b>38</b>
5.2.1	Vuosi-, kuukausi- ja tulvaviikkojen keskiarvot .....	38
5.2.2	Virtaamatrendit .....	50
<b>6</b>	<b>Keskustelu</b> .....	<b>51</b>
<b>6.1</b>	<b>Sääaineistojen trendit ja yhteydet ilmastonmuutokseen</b> .....	<b>51</b>
<b>6.2</b>	<b>Tenojoen virtaamanmuutokset arktisten jokisysteemien ja ilmastonmuutoksen kontekstissa</b> .....	<b>52</b>

<b>7 Johtopäätökset .....</b>	<b>57</b>
<b>Kiitokset .....</b>	<b>58</b>
<b>Lähteet.....</b>	<b>59</b>
<b>Liitteet.....</b>	<b>64</b>
<b>Liite 1 Tulvahuippujen päivämäärät vuosittain.....</b>	<b>64</b>
<b>Liite 2 Vuosittaisten virtaamakeskiarvojen trendit mittauspisteittäin .....</b>	<b>65</b>
<b>Liite 3 Vuosittaisten kuukausikeskiarvojen muutostrendit mittauspisteittäin .....</b>	<b>66</b>
<b>Liite 4 Tulvaviikkojen viikkokeskiarvojen muutostrendit mittauspisteittäin.....</b>	<b>68</b>



# 1 Johdanto

Ilmastonmuutoksen on ennustettu aiheuttavan muutoksia jokiympäristöjen prosesseissa ja toiminnassa (Lotsari ym. 2010). Valuma-alueiden vesitalous on riippuvainen hydrologisen kierron ominaisuuksista. Muutokset vuodenaikaisvaihtelussa ja hydrologisen kierron ominaisuuksissa, kuten sateen määrässä, intensiteetissä ja haihdunnassa, muuttavat veden kulkeutumista valuma-alueella sekä muuttavat valuntaa ja virtaamaa (Knighton 2015 s. 302). Virtaaman ja valunnan muutokset taas johtavat fluviaaliprosessien muutokseen uoma- ja valuma-alueella. Arktisen alueen ilmasto muuttuu muita alueita nopeammin. Arktinen amplifikaatio, eli arktisen alueen nopeampi lämpeneminen muihin alueisiin verrattuna, johtuu suurimmaksi osaksi arktisen jääpeitteen vähenemisestä (Dai ym. 2019).

Jokiympäristöt ovat jatkuvan muutoksen ympäristöjä. Virtaava vesi muovaa ympäristöään siirtämällä maa-ainesta ja kovertamalla uomia. Näitä veden kineettisen energian aikaan saamia muutosprosesseja kutsutaan fluviaaliprosesseiksi (Mayhew 2015 s. 186). Veden virtausta ja sen aikaansaamia eroosion ja kasautumisen prosesseja on tutkittu jo vuosikymmenien ajan. On huomattu, että jokiympäristöt ovat herkkiä sekä ulko-, että sisäsyntyisille muutoksille ja häiriöille (Hooke 2008). Arktiset joet ovat erityisen haavoittuvassa asemassa ilmastonmuutoksen edetessä, koska muutokset vuodenaikaisissa olosuhteissa johtavat merkittäviin muutoksiin jokien käyttäytymisessä (Feng ym. 2021). Arktisten jokien ominaisuudet, kuten jääkansi, lumi, routa ja säännölliset kevättulvat vaikuttavat erityisesti valuntaan ja virtaamaan perustavanlaatuisesti, mikä puolestaan vaikuttaa eroosio- ja kasautumisprosesseihin (Lotsari ym. 2010).

Jokiympäristöjen muutostutkimus on tärkeää jokiympäristöjen resistanssin ja resilienssin ymmärtämiseksi. Resistanssi tarkoittaa jokiympäristön kykyä vastustaa muutosta. Ilmiöstä puhutaan myös jokiympäristön herkkyytenä (Fryirs 2017). Resilienssi tarkoittaa jokiympäristön kykyä palautua muutoksesta tasapainotilaan. Näiden ilmiöiden entistä parempi ymmärtäminen auttaa samalla ymmärtämään jokiympäristöjen muutoksia ja niiden hallinnan keinoja. Mitä enemmän tiedämme jokiympäristöjen käyttäytymisestä ja toiminnasta, sitä paremmin pystymme ennakoimaan muutoksia ja ihmistoiminnan vaikutuksia. Lisäksi ilmastonmuutoksen etenemisen seuraaminen muutosherkillä, arktisilla alueilla, tarvitsee tuekseen lisää havaintopohjaisia analyysyjä. Myös muutosten syiden tunnistaminen on tärkeää. Virtaamassa on huomattu olevan 25–30 vuoden syklistä vaihtelua (Leopold ym. 2020 s. 62). Aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet ristiriitaisuutta siitä, voidaanko näitä muutoksia pitää

todisteena ilmastonmuutoksen vaikutuksista. Lisätutkimukset ilmastonmuutoksen, virtaamatrendien ja fluviaaliprosessien yhteyksistä ovatkin tarpeen.

Tenojoki (engl. Tana river) virtaa pohjoisessa Fennoskandiassa ja laskee Tanavuonon kautta Jäämereen. Arktisen luonteensa vuoksi Tenojoki valuma-alueineen ovat herkkiä ilmaston ja ympäristön muutoksille. Tenojoki on arktisten jokien joukossa melko ainutlaatuinen, sillä sitä seurataan ahkerasti, ja siitä on olemassa kattavia aikasarjoja. Tenojoen virtausolosuhteiden muutostutkimus auttaa ymmärtämään valuma-alueella tapahtuvia pidemmän ajan muutoksia. Muuttuvan ilmastollisen ja ympäristöllisen tilanteen takia on tärkeää tunnistaa yhteyksiä ja suhteita muutosten välillä. Näin pystytään paremmin arvioimaan jokisysteemin stabiiliutta sekä ennustamaan ja ennakoimaan tulevia muutoksia niin lyhyellä kuin pidemmälläkin aikavälillä. Tutkimuksen tavoitteena on tarkastella ilmastonmuutoksen etenemistä ja virtaaman muutoksia avoimista sää- ja virtaama-aineistoista. Muutoksia tarkastellaan 30 vuoden ajanjaksolla, 1991–2020, joka on myös viimeisin virallinen ilmastollinen vertailukausi. Virtaaman ja virtausolosuhteiden muutoksiin pyritään vastaamaan seuraavien tutkimuskysymysten avulla:

- Miten virtaama vaihtelee spatiaalisesti ja ajallisesti tutkimusajanjakson aikana?
- Miten ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät virtaamissa tutkimusajanjaksolla ja tulevaisuudessa?



## 2 Teoreettinen viitekehys

### 2.1 Valuma-alueen prosessit ja hydrologinen kierto

#### 2.1.1 Hydrologinen kierto

Vesi on jatkuvassa kierrossa maapallolla. Auringon lämpö saa veden haihtumaan ilmakehään, jossa se tiivistyy ja sataa takaisin maanpinnalle painovoiman vaikutuksesta. Valuma-alueen vesitalous on osa alueellista ja samalla myös globaalia hydrologista kiertoa. Hydrologisella kierrolla tarkoitetaan veden kiertoa maa-alueiden, meren ja ilmakehän välillä (Leopold ym. 2020 s. 49). Yksinkertaistettuna kierto koostuu haihdunnasta, sadannasta ja valunnasta. Nämä vaiheet voidaan jakaa vielä yksityiskohtaisempiin vaiheisiin. Haihdunta voidaan jakaa sen mukaan, miltä pinnalta se tapahtuu, esimerkiksi vesistöistä, maan pinnalta tai kasveista (Davie 2008 s. 37). Osa vedestä on myös aina varastoituneena vesivarastoihin, kuten meriin ja pohjaveteen.

Vaikka kierron perusvaiheet ovat samat kaikkialla maapallolla, niiden suhde vaihtelee alueellisesti. Alueellinen vaihtelu on seurausta ilmasto-olosuhteista (Leopold ym. 2020). Ilmastollinen vaihtelu saa aikaan erilaisia hydrologisia olosuhteita, joissa veden osuudet vaihtelevat kierron vaiheissa. Esimerkiksi lauhkeissa kosteissa ilmastoissa haihduntaa, valuntaa ja varastoitumista tapahtuu suunnilleen samassa suhteessa (Davie 2008 s. 8). Aroilmastossa suurin osa sadannasta palautuu ilmakehään haihduntana, noin yksi kolmasosa jää valunnaksi ja noin yksi kuudesosa varastoituu. Kuivissa ilmastoissa suurin osa, noin kaksi kolmasosaa sadannasta, haihtuu takaisin ilmakehään, noin yksi kolmasosa jää valunnaksi ja pieni murto-osa varastoituu. Polaari-ilmastoissa ja kylmätalvisissa ilmastoissa lumiseen aikaan suuri osa sateesta varastoituu lumena ja jäänä, osa haihtuu lumen ja jään pinnasta takaisin ja vain pieni osa jää valunnaksi. Suomen oloissa keskimäärin puolet sadannasta muodostuu virtaamaksi ja puolet haihtuu ilmakehään (Korhonen 2007).

Suurin osa valuma-alueiden vedestä on suoraan peräisin sadannasta, joten sen huomioiminen jokiympäristöjen tutkimuksessa on tärkeää. Sadanta tarkoittaa kosteuden siirtymistä ilmakehästä takaisin maan pinnalle sateen eri olomuodoissa (Mayhew 2015). Sademäärä (myös sadanta), mittaa alueelle tietyssä ajassa sataneen veden määrää (Brutsaert 2005). Sadanta mitataan yleensä millimetreinä neliometriä kohden. Jos sade on tullut lumena, se sulatetaan tai punnitaan sademäärän laskemiseksi. Vaikka sademäärän mittaaminen on itsessään melko yksinkertaista, tutkimuksellisia haasteita aiheuttaa mittausvirheiden suuri vaikutus ja

kerrannaisvaikutus, sekä sadannan paikallinen vaihtelu (Davie 2008 s. 14, 35). Valuma-alueen sisällä vaihtelua voi olla sateen tyypissä, intensiteetissä ja alueellisessa jakautumisessa. Sademäärä ja sateen laatu ovat erittäin riippuvaisia ilmasto-olosuhteista.

Haihdunta tarkoittaa veden muutosta kaasumaiseen olomuotoon ja siirtymistä ilmakehään (Davie 2008 s. 36). Haihdunnan osuus hydrologisessa kierrossa vaihtelee alueellisesti (Davie 2008 s. 8–9). Haihdunnan edellytyksenä ovat nestemäisessä muodossa oleva vesi ja tarvittava energia, joka on peräisin auringon säteilystä. Nestemäisen veden määrä ja auringon säteily vaihtelevat alueen sijainnin ilmaston mukaisesti.

Jokien vesi muodostuu joen ympäristöön sataneesta vedestä. Vesi valuu jokeen useita reittejä pitkin. Valunta (R) on se osa sadannasta, joka valuu maan pinnalla tai maaperässä kohti uomaa (Leopold ym. 2020 s. 58). Valunta voidaan laskea vesitaseyhtälön avulla. Yhtälössä R on valunta, P sadanta, E haihdunta ja  $\Delta V$  vesivarannon muutos.

$$R = P - E - \Delta V \quad (\text{kaava 2})$$

Yksinkertaisemmin alueelta poistuva vesimäärä voidaan laskea sadannan ja haihdunnan erotuksena. Valunta voidaan jakaa pintavaluntaan, pintakerrosvaluntaan ja pohjavesivaluntaan (Davie 2008 s. 80). Pintavalunta, jossa vesi kulkeutuu jokeen maanpintaa pitkin, voi syntyä kahdentyyppisesti. Ensinnäkin, pintavaluntaa voi syntyä niin että maaperä on kuiva, mutta maaperä tai maanpeite estävät veden imeytymisen, tai se syntyy kun sademäärä ylittää imeytymisnopeuden (*infiltration excess overland flow, Horton overland flow*) (Knighton 2015 s. 68–69). Toinen vaihtoehto on, että maaperä on jo vedestä kylläinen, eikä vesi siten voi enää imeytyä, joten ylimääräinen vesi valuu maan pintaa pitkin (*saturation overland flow*). Maaperän suodatuskykyä kuvaa suodatuskerroin (*infiltration rate*) ja suodatuskapasiteetti (*infiltration capacity*). Suodatuskerroin on veden määrä, joka läpäisee maaperän tietyssä ajassa pinta-alayksikköä kohti. Suodatuskapasiteetti taas on maaperäkohtainen suodatuskerroimen maksimi, eli maaperän suurin mahdollinen suodatuskerroin. Suodatuskapasiteetti saa aikaan pintakerrosvalunnan ja erilaisten pintavaluntatyyppeiden vaihtelun (Knighton 2015 s. 26–27). Pintakerrosvalunnassa vesi imeytyy maaperän pintakerrokseen, ja kulkeutuu pintakerroksissa kohti poistouomaa. Pintavalunta ja pintakerrosvalunta saavat yleensä aikaan nopean vasteen joen virtaamassa (*direct runoff, stormflow, quick flow*) (Davie 2008 s. 78; Knighton 2015 s. 68). Pohjavalunta (*baseflow*) muodostuu pohjavesivalunnasta ja muista pidemmän ajan vesivarastojen aiheuttamasta valunnasta, sekä viivästyneestä pintakerrosvalunnasta (Charlton 2008 s. 26; Knighton 2015 s. 71). Osa vedestä ei aina ole aktiivisesti mukana hydrologisessa

kierrossa, vaan se on varastoituneena. Veden varastoitumispaikkoja ovat esimerkiksi järvet, meret, lumi, jää, pohjavesivarastot ja maaperä. Varastoitunut vesi ei kuitenkaan ole täysin irrallaan kierrosta, vaan sisään- ja ulosvirtausta tapahtuu koko ajan vähäisessä määrin.

Valuntaan vaikuttavat alueelliset ilmastotekijät. Ilmasto vaikuttaa sateiden määrään, intensiteettiin, kestoon ja alueelliseen jakautumiseen sekä liikesuuntaan ja sitä kautta valuntaan (Leopold ym. 2020 s. 49). Myös sateisuuden vaihtelu valuma-alueen sisällä vaikuttaa. Epätasainen vaste sateeseen, eli se miten sateen vaikutus näkyy alueen vesitaloudessa, johtuu esimerkiksi hydrologisten ominaisuuksien vaihtelusta ja alueellisesti vaihtelevasta sadannasta.

### 2.1.2 Valuma-alueen ominaisuudet

Hydrologisten tutkimusten tutkimuskohteena on usein valuma-alue. Se on tarkkarajainen ympäristön alue, joka muodostuu ympäristön ominaisuuksista (Knighton 2015). Valuma-alueella tarkoitetaan maanpinnan muotojen rajaamaa aluetta, jolta satanut vesi kerääntyy lopulta yhteen lasku-uomaan, jota pitkin se virtaa pois, esimerkiksi merenlahteen (Charlton 2008 s. 3). Mereen laskevaa valuma-aluetta kutsutaan vesistöksi (Suomen ympäristökeskus 2013b). Valuma-aluetta rajaavia kohtia kutsutaan vedenjakajiksi ja ne jakavat alueelle satavan veden valumaan jakokohdasta eri suuntiin (Charlton 2008 s. 3). Vedenjakajia ovat maaston korkeimmat kohdat ja suoalueet. Jokaisella joella on valuma-alueensa ja näistä osavaluma-alueista muodostuu hierarkkinen järjestelmä, jossa valuma-alueet muodostavat lopulta suuremman vesistöalueen, joka laskee mereen (Ekholm 1993). Sateen spatiaalinen vaihtelu ja veden virtauksen aikaansaama rapautuminen yhdessä valuma-alueen rinteiden ja uomaverkoston kanssa vievät veden ja rapautuneen maa-aineksen yhteen purkautumispisteeseen (Knighton 2015 s. 65).

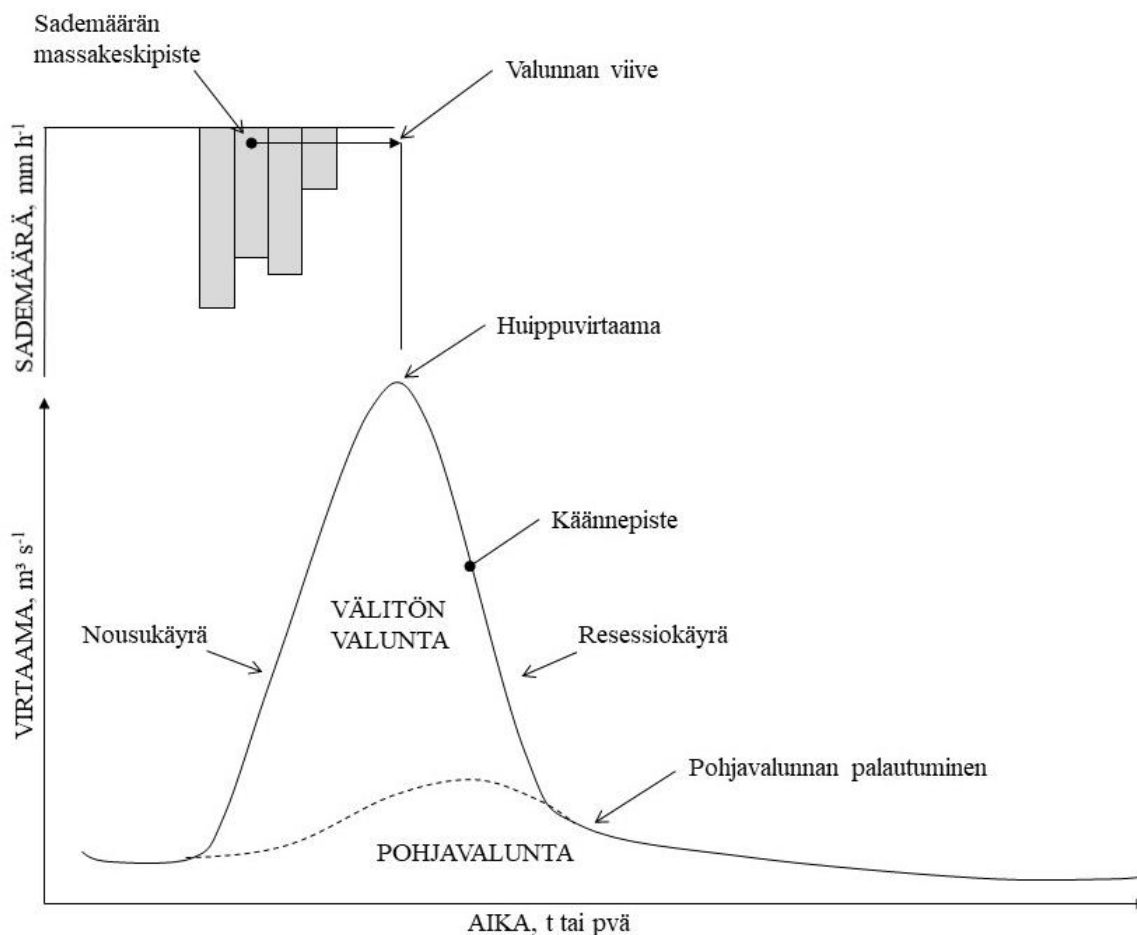
Valuma-alueen ominaisuudet riippuvat ympäristöstä. Valuma-alueen muoto määräytyy ympäristön korkeuserojen mukaan (Charlton 2008 s. 3–4). Korkeuserot määräävät vedenjakajien paikat, mikä johtaa valuma-alueen lopulliseen muotoon. Valuma-alueen korkeuserot ja maaperä vaikuttavat taas uomaverkoston muotoon. On huomattu, että alueelle, jolla on suuret korkeuserot, syntyy useimmiten kapea, pitkänmallinen uomaverkosto, kun taas tasaiselle maalle syntyy pyöreän muotoinen uomaverkosto. Maanpeite ja maaperän hydrologiset ominaisuudet, kuten läpäisevyys ja koostumus ja paksuus, vaikuttavat valuntaan ja siihen, missä suhteessa eri valuntatyyppisiä esiintyy (Brutsaert 2005 s. 307–356; Charlton 2008 s. 28). Edellä mainittu sekä rinteisyys ja uomaverkoston muoto vaikuttavat siihen, mikä on alueen reaktiivisuus eli virtaamapiikkien viive ja suuruus.

### 2.1.3 Virtaama

Virtaavan veden mittaaminen on tärkeää joen prosessien, valuma-alueen ominaisuuksien ja hydrologisen kierron ymmärtämiseksi (Knighton 2015 s. 68). Jokiympäristön vesimäärää ja veden kulkeutumista voidaan arvioida mittaamalla virtausnopeus ja uoman poikkileikkaus ja laskemalla näiden perusteella virtaama. Virtaama ( $Q$ ) tarkoittaa joen poikkileikkauksen ( $A$ ) läpi kulkevan nestemäärän tilavuutta aikayksikköä kohden, yleensä kuutiometriä sekunnissa ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) (Korhonen 2007; Suomen ympäristökeskus 2013b). Virtaama riippuu myös virtausnopeudesta ( $v(A)$ ).

$$Q = \int_A v(A) dA \quad (\text{kaava 1})$$

Virtaaman muutos esitetään usein hydrografina eli valuntakäyränä (Knighton 2015 s. 66). Valuntakäyrä kuvaa virtaaman määrän muutosta ajan suhteen (Kuva 1. Yhden sadetapahtuman jälkeinen valuntakäyrä. Sateen aikainen virtaaman kasvu näkyy virtaaman nousuna ja saa aikaan lyhytaikaisen piikin virtaamassa. Sateen jälkeen virtaama laskee pienellä viiveellä ja palautuu sadetta edeltäneelle tasolle (Knighton 2015 mukailen). Kuva 1). Yläakselilla on kuvattuna sademäärä sadekuuron aikana. Välitön valunta (quick response runoff) on yleensä pintavalunnasta ja pintakerrosvalunnasta koostuva nopea valunnan vaste sateeseen. Aluksi virtaama lähtee nousuun. Nousukäyrä kuvaa virtaaman kasvua sateen aikana. Virtaaman kasvu jatkuu vielä sadekuuron jälkeen, kunnes saavutetaan virtaamahuippu. Tämän jälkeen virtaama lähtee laskuun. Virtaaman laskua kuvaa resessiokäyrä. Käännepisteessä pintavalunta loppuu. Myös pohjavalunta reagoi sateeseen. Pohjavalunnassa nähdään loiva kasvu pienellä viiveellä välittömään valuntaan. Valuntakäyrä kuvaa koko samalla valuma-alueen virtaamaa mittauspisteeltä yläjuoksulle (Knighton 2015 s. 65).



Kuva 1. Yhden sadetapahtuman jälkeinen valuntakäyrä. Sateen aikainen virtaaman kasvu näkyy virtaaman nousuna ja saa aikaan lyhytaikaisen piikin virtaamassa. Sateen jälkeen virtaama laskee pienellä viiveellä ja palautuu sadetta edeltäneelle tasolle (Knighton 2015 mukailten).

Valuma-alueiden ja jokien kannalta kiinnostavia havaintoja ovat erimittaisten havaintojaksojen vaihtelut, keskiarvot, maksimit ja minimi (Heinonen 1974). Virtaaman vuosittaisten vaihteluiden tilastointiin on vakiintunut muutamia yleisiä reuna-arvoja. Reuna-arvot kertovat yleensä enemmän pidemmän ajan kehityksestä, kuin pistemäiset yksittäiset mittaukset. Lisäksi ne vähentävät yksittäisiin mittauksiin liittyvien epävarmuustekijöiden ja virheiden vaikutusta. Ylivirtaama (HQ) tarkoittaa suurinta vuoden aikana mitattua virtaama-arvoa (Korhonen 2007). Alivirtaama (NQ) on vastaavasti vuoden aikana mitattu alin virtaama. Lisäksi voidaan laskea esimerkiksi kalenterivuoden aikaisten kuukausittaisten ylivirtaamien keskiarvo (MHQ) ja alivirtaamien keskiarvo (MNQ). Keskiarvoja voidaan laskea myös esimerkiksi 10, 30 tai 50 vuoden vuosittaisten yli- ja alivirtaamien perusteella. Keskivirtaama (MQ) tarkoittaa yksinkertaisesti jonkin aikavälin virtaama-arvojen, esimerkiksi vuorokauden tai vuoden, kaikkien mitattujen arvojen keskiarvoa (Hyvärinen 1977).

Usein käytettyjä virtaaman mittausmenetelmiä ovat virtaamamittarit, mittapadot ja akustinen virtaamamittaus (Korhonen 2007). Monesti virtaamia voidaan laskea myös takautuvasti purkautumiskäyristä. Päivittäisistä virtaamamittauksista voidaan johtaa hydrografi esimerkiksi koko vuodelle. Virtaaman mittauksissa on tärkeää ilmoittaa mittausväli, sillä virtaama saattaa vaihdella paljon vuodenaikojen välillä.

#### 2.1.4 Tulvat

Tulviminen kuuluu usein ympäristön luonnolliseen vuodenaikaiskiertoon. Tulva voidaan määritellä monella eri tavalla. Usein sillä tarkoitetaan normaalista virtaamasta poikkeavaa tilaa, jossa vedenpinta nousee normaalia tasoa korkeammalle ja peittää tilapäisesti ympäröiviä alueita veden alle (Davie 2008 s. 93). Usein tulvimisesta puhutaan myös siinä yhteydessä, kun vesi aiheuttaa tuhoja infrastruktuurille. Tulvakorkeus on vedenkorkeuden taso, jolloin vesistö alkaa tulvia, eli kun vesi nousee jokiuoman reunan yli tulvatasangolle (Suomen ympäristökeskus 2013b). Tällöin vedenkorkeus ylittää täyden uoman vedenkorkeuden (*bankfull*). Se on vedenkorkeus, jolloin uoma on kokonaan täynnä, mutta vesi ei vielä nouse uoman reunan yli (Knighton 2015 s. 77). Vedenkorkeuden perusteella voidaan myös arvioida tulvan vaihetta (Charlton 2008 s. 30). Tulvakorkeus voidaan ilmoittaa myös tulvan toistuvuutena (Leopold ym. 2020 s. 63). Yleisiä käytettyjä tulvan toistuvuusvälejä ovat kerran 20 vuodessa, kerran 50 vuodessa ja kerran 100 vuodessa. Esimerkiksi kerran 20 vuodessa tulva tarkoittaa, että vesi nousee tiettyyn tulvakorkeuteen keskimäärin kerran 20:ssa vuodessa.

Tulvat saavat usein aikaan vuodenaikaisesti suurimmat muutokset jokiuoman geometriassa, koska ne aiheuttavat eroosiota ja kuljettavat mukanaan paljon maa-ainesta (Charlton 2008 s. 30; Knighton 2015 s. 295; Vesakoski ym. 2017). Eroosion ja kuljetuksen määrä riippuvat tulvatilanteen kestosta, virtaamasta ja virtausnopeudesta tulvan aikana (Leopold ym. 2020 s. 74–77, 80).

Suomessa tulvat ovat usein melko vähäisiä ja aiheuttavat vain vähän vahinkoa (Suomen ympäristökeskus 2013a). Suurimmat tulvat esiintyvät usein keväisin ja ne johtuvat lumen sulamisesta ja jäidenlähdön aiheuttamista jääpadoista. Yleisesti tulvat voivat myös aiheutua merenpinnan noususta, hulevedestä, eli rakennetulle alueelle kertyvästä sateesta tai vesistön pinnannoususta kasvaneen sadannan seurauksena (Suomen ympäristökeskus 2013b). Tulvariski määritellään sen mukaan, millaista haittaa tulva voi aiheuttaa. Yleensä tulvariskin perusteena ovat yhteiskunnalliset haitat, kuten infrastruktuurille, taloudelliselle toiminnalle tai

ihmisten terveydelle aiheutuneet haitat. Tulvariskialueita ovat sellaiset maantieteelliset alueet, joilla tulvat voivat potentiaalisesti aiheuttaa tulvavahinkoja.

## 2.2 Ilmastonmuutos ja arktiset jokiympäristöt

### 2.2.1 Arktisen alueen määritelmä ja piirteet

Arktinen alue on pohjoisnavan ympärillä oleva maantieteellinen alue (*Arktinen alue s. a.*). Alueen määritelmä ei kuitenkaan ole tarkkarajainen, vaan alueen eteläraja vaihtelee määrittelytavan mukaisesti. Jos alue määritellään valon määrän mukaan, pidetään rajana pohjoista napapiiriä (66° 33' N) (Arctic Council 1998). Napapiiristä pohjoiseen on maapallolla vähintään yksi kaamosvuorokausi, jolloin aurinko ei nouse horisontin yläpuolelle ja vähintään yksi yöttömän yön vuorokausi, jolloin aurinko ei laske horisontin alapuolelle. Mitä pohjoisemmaksi mennään, sitä enemmän vuodessa on kaamosvuorokausia ja yöttömän yön vuorokausia. Määriteltäessä arktinen alue lämpötilan mukaan tarkoitetaan aluetta, jolla jokaisen kuukauden keskilämpötila on alle +10 °C. Maa-alueilla arktinen alue voidaan määritellä myös metsärajan tai ikiroudan mukaan ja merialueilla jääpeitteen mukaan (*Arktinen alue s. a.*). Kulttuurinen ja poliittinen määritelmä eroavat vielä maantieteellisistä ja ekologiaan perustuvista määritelmistä. Ne vaihtelevat rajaajan ja tarkoituksen mukaan. Suomen kansainvälisessä yhteistyössä arktisen alueen raja on napapiirin pohjoispuolinen osa, vaikka luonnontieteellisesti alue on subarktista aluetta (*Arktisen alueen määritelmät s. a.*).

Arktisille alueille on tyypillistä voimakas vuodenaikaisuus ja pitkä kylmä talvi (Arctic Council 1998). Talviajan kaamos ja kesäajan yötön yö hallitsevat kaikkia arktisen alueen prosesseja. Talven aikana sade tulee lumena ja sademäärä varastoituu lumipeitteenä maanpinnalle. Alhaiset lämpötilat pitävät maan roudassa suuren osan vuodesta tai vuoden ympäri (*Arktinen alue s. a.*). Monista määrittelytavoista johtuen myös arktisen alueen ominaisuudet vaihtelevat määrittelytavan mukaan, sillä esimerkiksi kasvillisuuden monimuotoisuus kasvaa sen mukaan, mitä etelämmäksi arktisen raja vedetään.

### 2.2.2 Ilmastonmuutos Suomessa ja arktisella alueella

Ilmastonmuutos on ilmiö, jossa ilmasto muuttuu ajan myötä erilaisten prosessien seurauksena (IPCC 2021). Ilmastonmuutos voi tapahtua täysin luonnollisista syistä, yleensä kasvihuonekaasukonsentraation nousun seurauksena. On kuitenkin huomattu, että ihmisen toimien seurauksena ilmakehän kasvihuonekaasujen määrä on kasvanut, mikä on kiihdyttänyt

ilmaston muuttumista. Ilmastonmuutos aiheuttaa monenlaisia muutoksia maapallolla. Vaikutukset eivät rajoitu pelkästään ympäristön ominaisuuksiin. Ihmiset, eläinkunta ja kokonaiset ekosysteemit joutuvat sopeutumaan muuttuviin olosuhteisiin sekä yhä yleistyviin sään ääri-ilmiöihin. Ääri-ilmiöiden lisääntymistä voidaankin pitää lyhyellä aikavälillä yhteiskunnallisesti suurempana uhkana, kuin pidemmän aikavälin lämpötilakeskiarvojen nousua (Arctic Council 2021).

Ilmastonmuutoksen vaikutukset ulottuvat eri puolille maailmaa. Tutkimuksissa on kuitenkin huomattu, ettei lämpeneminen tapahdu kaikkialla yhtä nopeasti (Rantanen ym. 2022). Arktisen alueen muutokset ovat olleet viimeisen 50 vuoden aikana nopeita, ja joidenkin tutkimusten mukaan jopa nopeampia kuin osattiin odottaa (Arctic Council 2021). Muutokset ilmastollisissa olosuhteissa ovat jo saaneet aikaan muutoksia vuodenaikaisuudessa ja arktisissa ekosysteemeissä. Ilmaston muutos näkyy arktisella alueella nousseina ääri- ja keskilämpötiloina, sadannan muutoksena, lumipeitteen, jään ja roudan vähentymisenä. Arktinen amplifikaatio, eli arktisten alueiden nopeampi lämpeneminen muihin alueisiin verrattuna, on osa globaalia ilmastosysteemiä (Serreze & Barry 2011). On ennustettu, että keskilämpötilat nousevat edelleen ja arktinen amplifikaatio jatkaa voimistumistaan seuraavien vuosikymmenten aikana (Serreze & Barry 2011; Arctic Council 2021). Arktiselle amplifikaatiolle on ehdotettu monia syitä. Jääpeitteen vähentymisen on kuitenkin todettu olevan arktisen alueen nopean lämpenemisen todennäköisin aiheuttaja (Dai ym. 2019). Arktisen jääpeitteen pinta-ala on jo nyt pienentynyt huomattavasti. Arktisen amplifikaation voimakkuus on välillisesti seurausta keskilämpötilojen ja ääriämpötilojen noususta, paikallisesta vaihtelusta ja valtamerien lämpötilan noususta (Serreze & Barry 2011; Dai ym. 2019).

Arktisen alueen muutokset vaikuttavat myös globaalisti. Esimerkiksi jään sulaminen nostaa valtamerien pintaa (IPCC 2021). Arktisten ympäristöjen ääri-ilmiöt, kuten arktisen alueen kasvava metsäpalariski, (iki)roudan sulaminen sekä jäättömät ja lumettomat jaksot, ovat suuri uhka niin paikallisesti kuin globaalistikin (Arctic Council 2021). Arktiset metsäpalot ja roudan sulaminen vapauttavat ilmakehään lisää kasvihuonekaasuja, mikä vaikeuttaa arktisen alueen tilannetta ja globaalia tilannetta entisestään. Arktisen alueen vesitalouden muutokset ja muutokset jokien vuodenkierrossa vaikuttavat Jäämereen makean veden pulseihin, mikä taas vaikuttaa Jäämeren termohaliinikiertoon, eli meriveden tiheyseroista johtuvaan syvä- ja pintavesien kiertoon. Termohaliinikierron muutoksilla on globaaleja vaikutuksia (Feng ym. 2021).



Ennusteista ja mallinnoista huolimatta emme voi tietää tarkasti, miten arktisen alueen tilanne tulee kehittymään. Arktisen amplifikaation voimakkuudesta on erilaisia mallinnustuloksia. Viimeisimpien ilmastomallien mukaan arktinen alue on lämmennyt kolme kertaa nopeammin muuhun maailmaan verrattuna. Tuoreimmat tutkimukset kuitenkin osoittavat, että arktinen alue on lämmennyt viimeisen noin viiden kymmenen vuoden aikana jopa neljä kertaa nopeammin kuin maapallo keskimäärin (Rantanen ym. 2022). Epävarmuuksia aiheuttavat esimerkiksi tarkastelujaksojen erilaiset pituudet, arktisen alueen erilaiset määrittelyt ja se etteivät nykyiset ilmastomallit pysty mallintamaan jääpeitteen vaikutusta tarpeeksi tarkasti. Erityisesti jääpeitteen mallintamisen haastavuus on vaikeuttanut arktisen amplifikaation ennustettavuutta (Serreze & Barry 2011; Dai ym. 2019). Arktisen amplifikaation voimakkuudesta ja muutosten nopeudesta ei siis olla päästy vielä yhteisymmärrykseen.

Suomessa ilmastomuutosvuoden keskilämpötila on noussut edellisen vuosisadan aikana noin 0,7 °C (Jylhä ym. 2004). Muutoksessa on ollut vuodenaikaista eroavaisuutta ja suurin muutos on ollut kevään lämpötiloissa (Tuomenvirta 2004). Ilmastomuutoksen edetessä veden määrän on ennustettu lisääntyvän kasvavan sadannan vaikutuksesta (Silander ym. 2006). Muutokset sateiden määrässä ovat suurempia talvella kuin kesällä. Pohjois-Lapissa lumimäärät voivat lisääntyä kasvavan sadannan vaikutuksesta (Veijalainen ym. 2012). Toisaalta myös haihdunta kasvaa, joka voi aiheuttaa kuivuutta muina vuodenaikoina.

### 2.2.3 Ilmastomuutoksen vaikutus arktisiin jokiympäristöihin

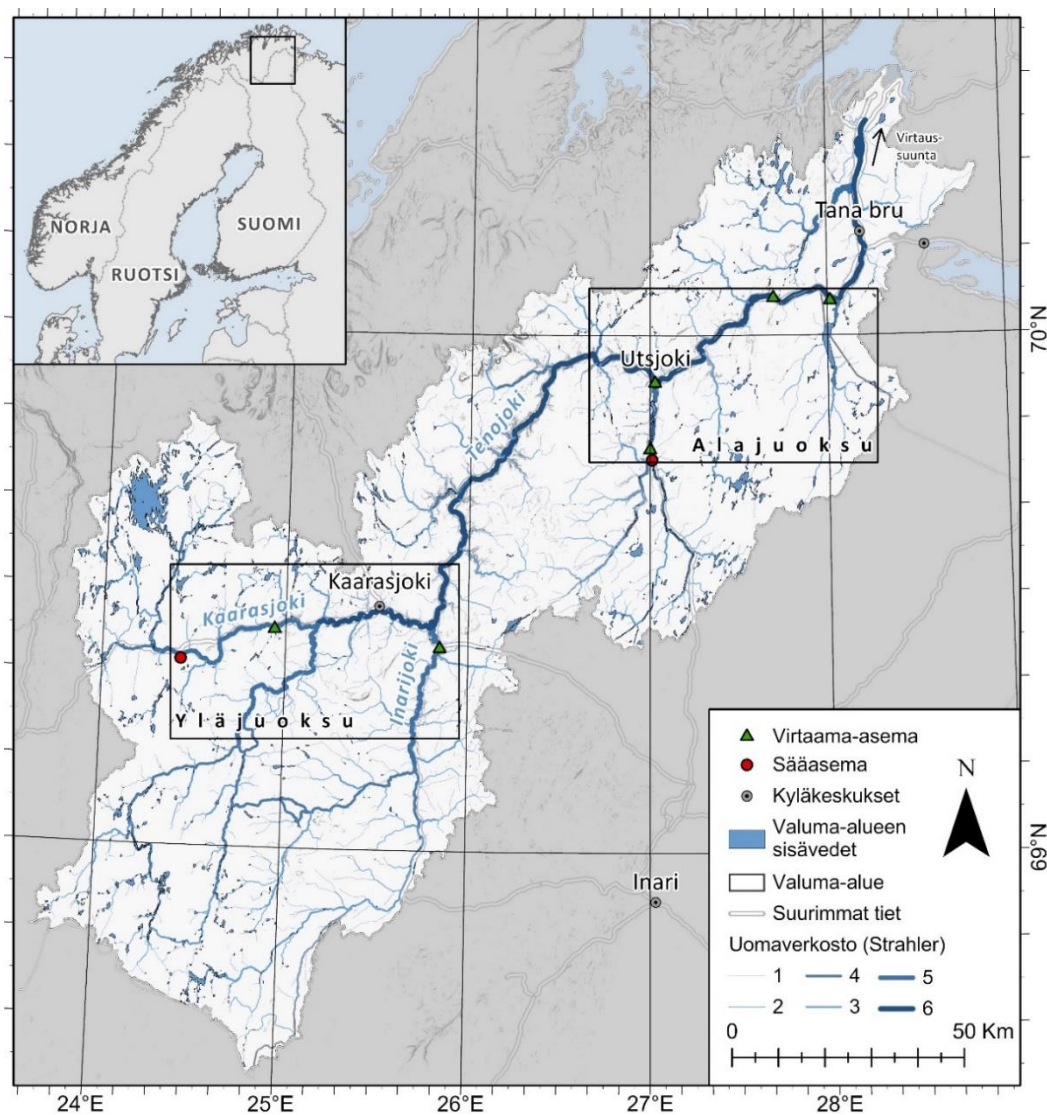
Arktisilla joilla tarkoitetaan Jäämereen laskevia jokia. (Feng ym. 2021). Ilmastomuutos on ajankohtainen ilmiö myös jokisysteemien muutoksen kannalta. Hydrologisen kierron ominaisuudet ovat kytköksissä ilmasto-olosuhteisiin (Korhonen & Kuusisto 2010). Muutoksen seurauksena vesivarojen määrä ja ajallinen ja alueellinen jakautuminen muuttuvat, sillä sadannan, valunnan, haihdunnan suhde riippuvat ilmastollisista tekijöistä (Knighton 2015 s. 302–303). Näiden muutosten seurauksena alueellinen vesitalous muuttuu ratkaisevasti. Arktisella alueella erityisesti muutokset talviolosuhteissa vaikuttavat vesitalouteen. Arktisissa joissa vuoden kiertoa hallitsee lumen ja jään sulamisesta johtuva kevättulva. Koska kevättulva saa aikaan suurimmat muutokset, talviolosuhteiden muutosten aiheuttamat muutokset kevättulvassa vaikuttavat arktisten jokiympäristöjen kehitykseen (Vesakoski ym. 2017). Virtaaman kannalta veden määrän muutokset tarkoittavat myös virtaaman muutoksia. Sateiden lisääntyminen, lumimäärän kasvaminen ja lumen sulamisen aikaistuminen, saavat virtaamat kasvuun talvella ja kevättalvella. Tulvan aikaistuminen voi puolestaan vähentää virtaamia

keväällä ja kesällä. Haihdunnan lisääntyminen voi vähentää virtaamaa kaikkina vuodenaikoina. Rankkasateet ja sateiden lisääntyminen voivat taas kasvattaa virtaamia ja saada aikaan tulvia epätyypillisinä vuodenaikoina (Veijalainen ym. 2010).

Arktisen alueen jokien vesitaloudessa on huomattu muutoksia viime vuosikymmenten aikana. Ilmastonmuutoksen seurannassa on nähty kasvua arktisen alueen sadannassa (Arctic Council 2021). Virtaamien nouseva trendi on nähtävissä 50 vuoden tarkastelujaksolla (Feng ym. 2021). Lämpötilan noustessa lumipeitteen ja roudan on ennustettu vähenevän ja sadannan kasvavan (Lotsari ym. 2010; Arctic Council 2021). Joet jäätyvät myöhemmin syksyllä ja jäät lähtevät aikaisemmin keväällä. Muutokset talviolosuhteissa ovat saaneet aikaan muutoksia kevättulvassa (Irannezhad ym. 2022). Myös syystulvien on ennustettu yleistyvän (Veijalainen ym. 2010). Tämä on jo nyt saanut aikaan muutoksia arktisten jokien virtaamissa. Virtaamat ovat vähentyneet niin Pohjois-Amerikan, kuin Euraasiankin arktisilla valuma-alueilla (Vesakoski ym. 2017; Arctic Council 2021; Feng ym. 2021).

### 3 Tutkimusalueen kuvaus

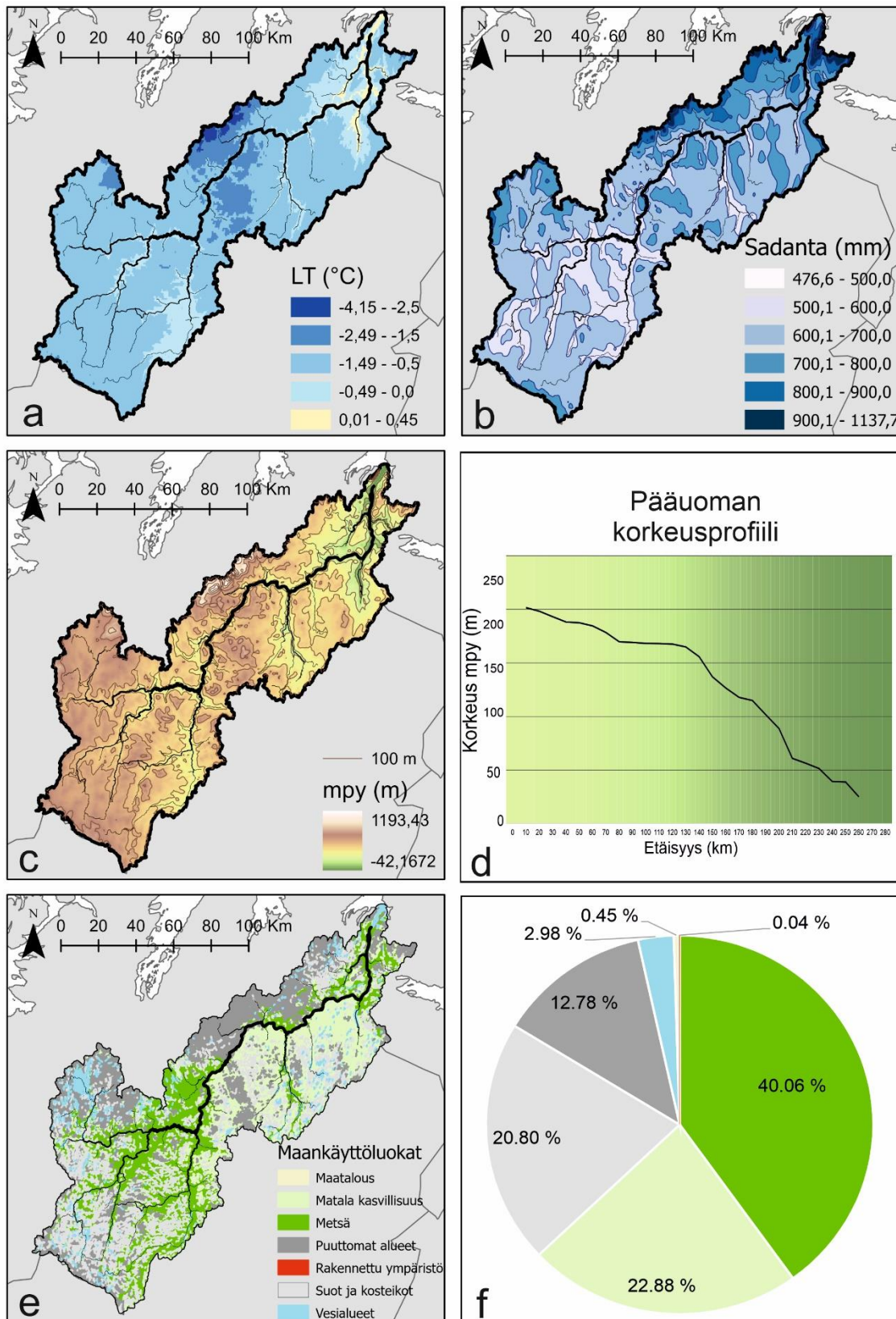
Tenojoen (Norjaksi Tanaelva) valuma-alue sijaitsee Suomen Pohjois-Lapin ja Norjan Finnmarkin läänin alueella pohjoisessa Fennoskandiassa. Valuma-alueen poikki kulkevat leveyspiirit 69 °N ja 70 °N (Kuva 2). Valuma-alueen koko on noin 16000 km<sup>2</sup>. Valuma-alue on muodoltaan pitkänmallinen ja uomaverkoston pääuoma, Tenojoki, on helposti tunnistettavissa (Kuva 2). Se virtaa valuma-alueen halki pitkältä matkalta. Tenojoki (engl. Tana river) laskee Tana -vuonon kautta Pohjoiseen jäämereen kuuluvaan Barentsinmereen. Joen pituus on 360 kilometriä ja se on alueelle tyypillisesti kirkas ja vähähumuksinen. Tenojoen kaksi latvajokea ovat nimeltään Inarijoki (153 km) ja Kaarasjoki (166 km). Tenojoki toimii osittain Suomen ja Norjan välisenä valtakunnanrajana. Noin 68 % alueesta on Norjan ja 32 % Suomen puolella.



Kuva 2. Tutkimusalueen sijainti Suomen ja Norjan rajalla pohjoisessa Fennoskandiassa.

Koko Tenojoen valuma-alue sijaitsee pohjoisborealisella ilmastovyöhykkeellä. Tyypillistä tälle ilmastovyöhykkeelle ovat pitkät talvet ja lyhyet, viileät kesät. Kasvukausi on lyhyt ja kasvillisuus on harvaa ja hidaskasvuista metsää, tunturikoivikkoa ja tundrakasvillisuutta. Suurin osa Tenojoen valuma-alueen maanpeitteestä on luonnontilaista. Maanpeitteestä suurin osa on metsää, matalaa kasvillisuutta, suota ja puutonta aluetta (Kuva 3e). Sisävesiä on noin 3 %. Maatalousvaltaista aluetta ja rakennettua ympäristöä on yhteensä alle 1 % alueen pinta-alasta (kuva 3f).

Valuma-alueen sisällä on vaihtelua ilmastollisissa piirteissä. Pohjoisosissa, lähellä Jäämerta, vallitsee mereiset olosuhteet, kun taas eteläisissä osissa olosuhteet ovat lähempänä mantereisia olosuhteita. Yleisesti olosuhteet ovat sijaintiin nähden tavallista mantereisemmat meren ja Golfvirran yhteisvaikutuksesta (Lotsari ym. 2010). Eroja on myös Tenonjokilaakson ja ympäröivien tunturimaastojen välillä. Vuotuinen sademäärä on jokilaaksossa 470–600 mm luokka ja ympäröivillä tuntureilla alueesta riippuen 700 mm jopa yli 1000 mm vuodessa (kuva 3b). Mitä lähempänä alue on jäämerta, sitä enemmän on vuotuinen sademäärä. Myös vuoden keskilämpötiloissa on eroja valuma-alueen sisällä. Pääosin keskilämpötila vaihtelee -0,5 ja -1,5 välillä. Laaksoissa keskilämpötila on lähempänä nollaa (kuva 3a). Yläjuoksulla keskilämpötilä vaihtelee jokilaaksossa 0 ja -0,5 asteen välillä. Keskilämpötilat nousevat meren läheisyydessä. Valuma-alueen suurimmat uomat virtaavat syvissä laaksoissa (kuva 3c). Pääuoma saa alkunsa noin 200 metrin korkeudesta (kuva 3d).



Kuva 3 Valuma-alueen ominaisuuksia. a) vuoden keskilämpötila, b) vuoden keskimääräinen sadanta, c) korkeus merenpinnasta, d) Pääuoman korkeusprofiili yläjuoksulta alajuoksulle (260 km), e) maanpeite, d) maanpeitteen prosenttiosuudet (Karger ym. 2017; CORINE Land Cover 2018 (uudelleen luokiteltu); Karger ym. 2018; Porter ym. 2018; Brun ym. 2022; Brun ym. koevedos)



Yleisesti pitkänmallinen, jyrkkärinteinen ja vähäjärvinen Tenojoen valuma-alue reagoi herkästi olosuhteiden muutoksiin. Valuma-alueen järvisyysprosentti on vain 3,1 % (Ekholm 1993). Virtaamat ovatkin hyvin riippuvaisia sateista ja toisaalta kuivista kausista, sillä veden varastoitumispaikkoja on vähän. Pääjoet virtaavat pääosin syvissä laaksomuodostumissa (kKuva 4). Laaksot ovat yläjuoksulla kapeampia ja jokivarsien kasvillisuus on pusikkoista tunturikasvillisuutta. Alajuoksulla jokilaakso on leveä ja jokivarret ovat maatalouskäytössä.

**Kaarasjoki, Kaarasjoki (Karasjok)**



**Inarijoki, Karigasniemi**



**Utsjoki, Patoniva**



**Tenojoki, Nuorgam**



Kuva 4. Tenojoen valuma-alueen vaihtelevaa ympäristöä. Kuvissa a) ja b) ovat Tenojoen kaksi latvajokea Kaarasjoki ja Inarijoki. Kuvassa c) on Utsjoki Patonivan kohdalta. Joki koostuu monesta kapeasta järvestä. Kuvassa d) on Tenojoki Nuorgamin kohdalta (kuvat Mikel Calle Navarro).

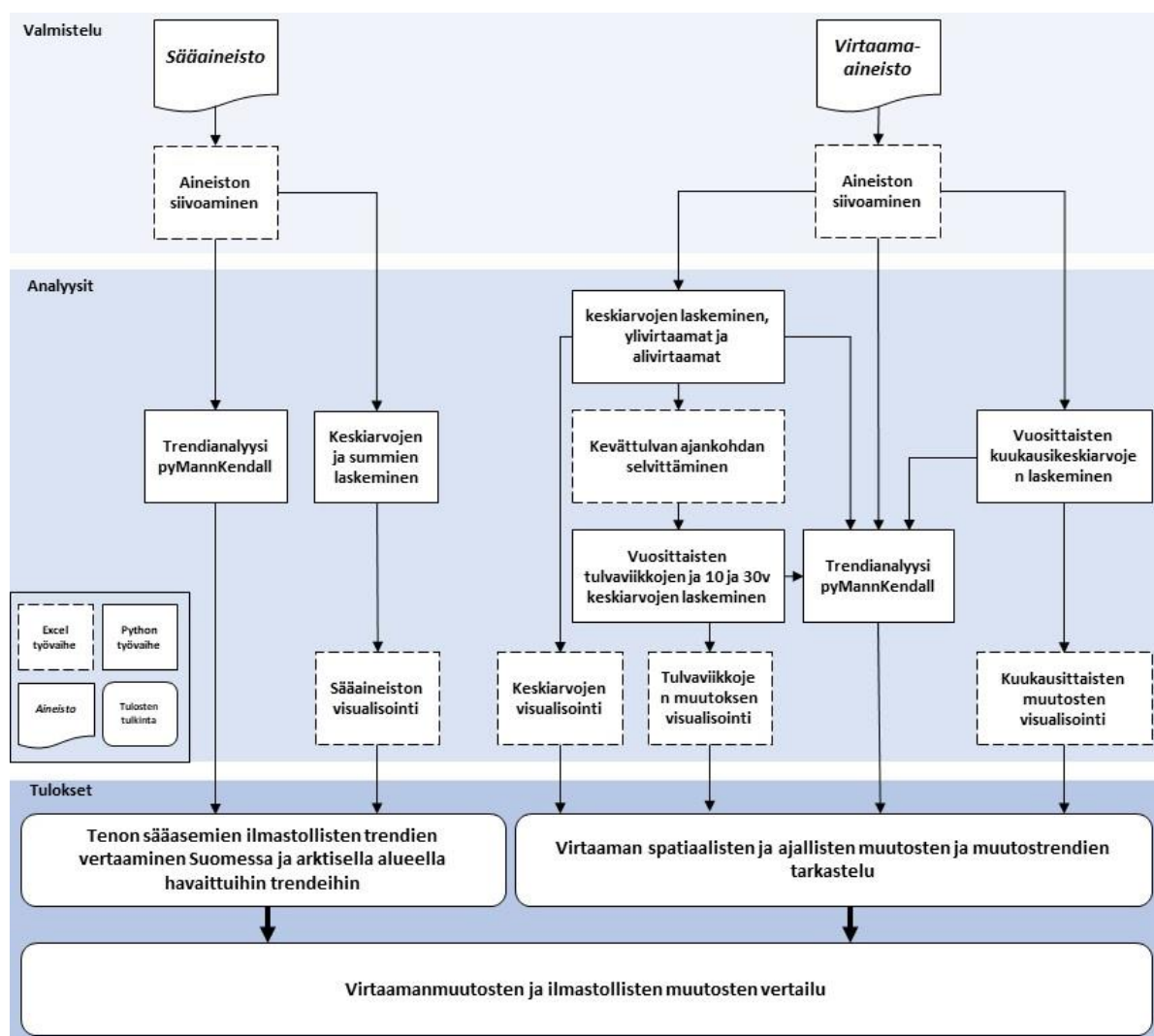
Tenojoen vesistöalue on harvaan asuttua seutua. Asutus on keskittynyt vesistöjen ja suurempien teiden varsille. Koko Tenojoen alue on kuitenkin tärkeä alueen asukkaille, sillä se tarjoaa monelle elinkeinon. Tenojoki on tärkeä joki erityisesti kalatalouden kannalta, sillä se on tärkeä lohijoki. Tämä houkuttelee kalastusturisteja. Tenojoki on valjastamaton ja kestävän käytön varmistamiseksi Suomen ja Norjan viranomaiset ovat sopineet rajavesistöjen ja niiden luonnonolosuhteiden säilyttämisestä (Suomalais-norjalaisesta rajavesistökomissiossa Suomen ja Norjan välillä tehty SOPIMUS 32/1981). Suomen puolella myös sivuhaarat on suojeltu koskiensuojelulailla, joka kieltää voimalarakentamisen (Koskiensuojelulaki 1987/ 35 1§).

Tenojoen valuma-alue on monilla tavoin ainutlaatuinen vesistöalue. Harvinaisen luonnontilainen ja ihmisen aiheuttamalta kuormitukselta vähäinen Tenojoen alue on pohjoisten jokien tutkimuksen kannalta tärkeä, sillä alueen koskemattomuus mahdollistaa jokien ja valuma-alueen luonnollisen käyttäytymisen tutkimuksen. Tenojokea seurataan ahkerasti ja siitä on olemassa kattavia aikasarjoja.

## 4 Aineisto ja menetelmät

### 4.1 Työnkulku

Virtaaman ja virtausolosuhteiden muutoksia tarkastellaan avoimista sää- ja virtaama-aineistoista. Työn vaiheet etenevät alla kuvatun työnkulun mukaisesti (kuva 5). Aineiston valmisteluun, analyysiin ja tulosten visualisointiin käytetään Excel taulukkolaskentaohjelmaa ja Python 3 ohjelmointikieltä. Sääaineistoja ja virtaama-aineistoja käsitellään samanaikaisesti ja analyysit tehdään niin, että tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia.



Kuva 5 Vuokaavio tutkimuksen vaiheista.



Analyysien tuloksena saadaan selville alueen ilmastolliset trendit ja virtaamatrendit ja muutokset. Näitä muutoksia ja trendejä verrataan keskenään ja etsitään yhteneväisyyksiä niiden välillä.

## 4.2 Aineistot

### 4.2.1 Sääaineistot

Säätilan muutoksia tarkastellaan Ilmatieteenlaitoksen ja Norjan Norsk klimatservicesenter:in (KSS) säähavaintoaineistoista. Aineistot ovat kaikille avoimia ja ladattavissa molempien organisaatioiden omilta nettisivuilta. Tutkimuksessa käytetään Ilmatieteenlaitoksen aineistoista Utsjoki Kevon asemaa ja Norjan asemista Cuovddatmohkkin asemaa. Utsjoki Kevon sääasema on lähimpänä Utsjoki Kevon, Onnelansuvannon, Alakönkään, Polmakin ja virtaama-asemia Cuovddatmohkkin asema lähimpänä Inarijoki Karigasniemen ja Veahkkavan asemia (Kuva 6 s. 28).

Utsjoki Kevon asema sijaitsee Utsjoen kanjonissa. Asema on noin 75 metrin korkeudessa merenpinnasta, tunturimaastossa, jonka kasvillisuus on tunturikoivikko ja männikköä. Ympäröivät tunturit nousevat noin 400 metrin korkeuteen. Cuovddatmohkkin sijaitsee 286 m merenpinnasta samankaltaisessa kasvillisuusvyöhykkeessä kuin Utsjoki Kevo.

Suomen aineistojen kohdalla tutkittaviksi suureiksi valittiin vuorokauden ylin lämpötila, alin lämpötila, keskilämpötila, lumensyvyys ja sademäärä. Ylimmän lämpötilan arvo tarkoittaa edeltävän illan kello 20 ja kuluvan illan kello 20 (kesäaikaan 21–21) mitattua ylintä lämpötilaa. Alin lämpötila on saman ajanjakson aikana mitattu alin lämpötila. Ilman lämpötila tarkoittaa vuorokauden keskilämpötilaa ja se on laskettu tyypillisesti neljän tai kahdeksan havainnon perusteella per vuorokausi. Utsjoki Kevon aineisto vaikuttaa tarkastelussa kattavalta kaikkien muuttujien osalta (Taulukko 1). Maksimi- ja minimilämpötilahavainto puuttui yhdeltä päivältä. Lumensyvyyden ja sademäärän puuttuvat havainnot tarkoittavat lumettomia ja sateettomia päiviä.

Taulukko 1 Utsjoki Kevon sääaineiston perustunnuslukuja. Aineisto on melko kattava. Lumensyvyys ja sademäärän tyhjät solut tarkoittavat lumettomia ja sateettomia päiviä.

<b>Utsjoki Kevo</b>					
	<b>Maksimi LT</b>	<b>Mininimi LT</b>	<b>Keskilämpötila</b>	<b>Lumensyvyys</b>	<b>Sademäärä</b>
<b>Havaintojen lukumäärä</b>	10957	10957	10958	6319	7990
<b>Tyhjien solujen määrä</b>	1	1	0	4738	5807
<b>Keskiarvo</b>	3.76	-5.10	-0.69	43.88	2.02
<b>Keskihajonta</b>	10.99	11.71	11.04	23.53	3.53
<b>Pienin arvo</b>	-44.80	-48.20	-46.00	1.00	0.10
<b>25 %</b>	-3.10	-12.60	-7.30	25.00	0.20
<b>50 %</b>	3.20	-2.50	0.40	44.00	0.70
<b>75 %</b>	12.00	3.80	7.80	60.00	2.30
<b>Suurin arvo</b>	33.40	18.80	25.70	114.00	57.40

Norjan asemien tutkittaviksi suureiksi valittiin Suomen asemien suureita mahdollisimman hyvin vastaavat suureet. Suureiksi valittiin 24 tunnin maksimilämpötila, 24 tunnin minimilämpötila, 24 tunnin lämpötilakeskiarvo, lumensyvyys ja 24 tunnin sademäärä. Sääaineistojen arvoista tai prosessoinnista ei löytynyt muuta tietoa. Cuovddatmohkkin aineistossa puutteita on vuosien 1991, 1992, 1993 ja 1994 lämpötilahavainnoissa. Yhteensä maksimilämpötilahavainnoita puuttuu 158, minimilämpötiloja 159 ja keskilämpötiloja 162. Katkokset ovat niin pitkiä, että ne vääristävät vuosikeskiarvoja, joten kyseisille vuosille ei voida laskea keskiarvoja. Katkokset voidaan kuitenkin kompensoida Utsjoki Kevon aineiston avulla. Lumensyvyyksissä ja sademäärissä katkoksia ei ole, tai ne eivät ole yhtä pitkiä. Lumensyvyys ja sademäärä aineistoista ei ole metatietoa saatavilla, joten ei ole varmuutta, tarkoittavatko viivalla (-) merkityt puuttuvia vai lumettomia ja sateettomia päiviä.

Taulukko 2 Cuovddatmohkkin aineiston perustunnuslukuja. Lämpötila-aineistoissa on puutteita. Lumensyvyyyden ja sademäärän tyhjät solut tarkoittavat sateettomia ja lumettomia päiviä.

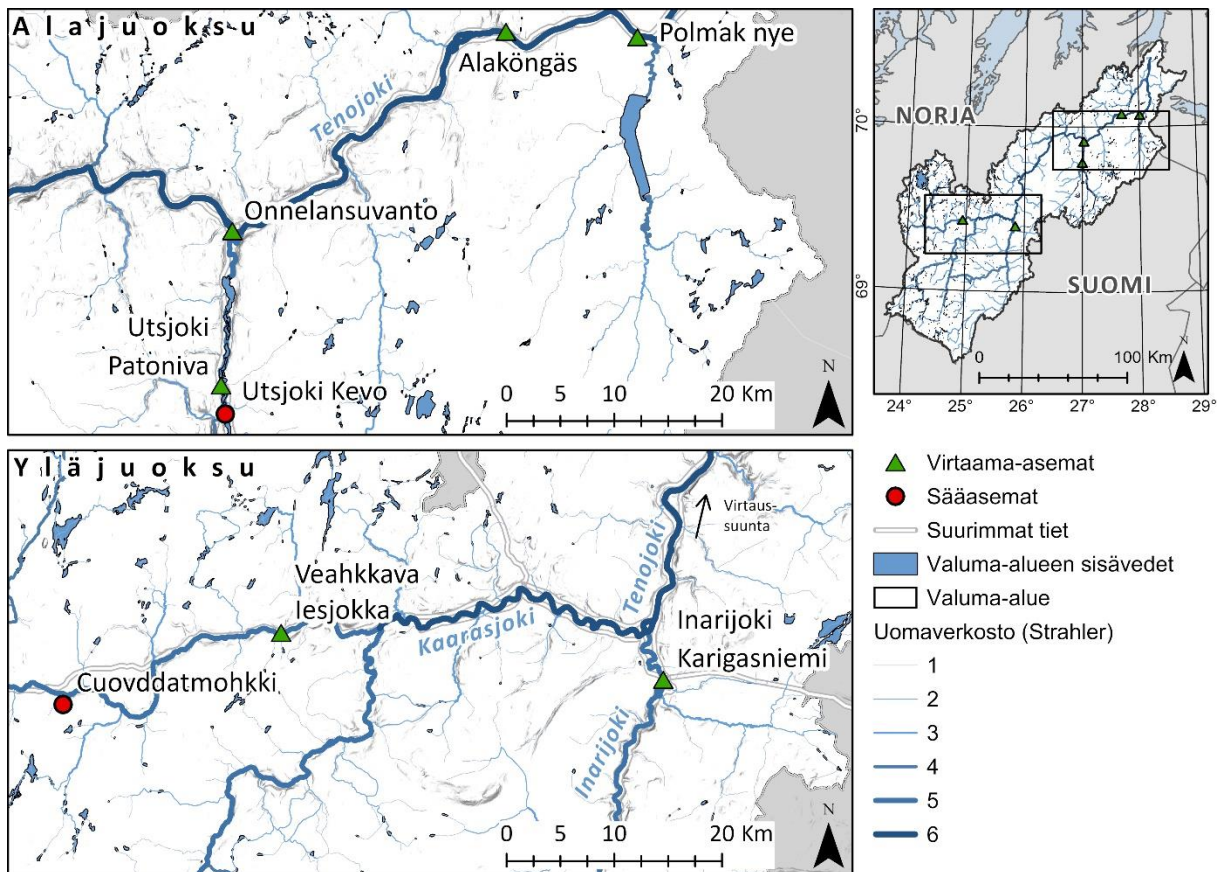
#### Cuovddatmohkki

b)	Maksimi LT	Mininimi LT	Keskilämpötila	Lumensyvyys	Sademäärä
<b>Havaintojen lukumäärä</b>	10736	10735	10732	6156	5087
<b>Tyhjien solujen määrä</b>	158	159	162	4738	5807
<b>Keskiarvo</b>	3.256669	-6.550862	-1.228578	35.455491	2.490132
<b>Keskihajonta</b>	10.605775	12.334725	11.23334	19.680374	3.80537
<b>Pienin arvo</b>	-46	-49.8	-48.2	1	0.1
<b>25 %</b>	-3.6	-14.8	-7.9	20	0.3
<b>50 %</b>	2.6	-3.6	-0.2	33	1.1
<b>75 %</b>	11.4	2.8	7.4	50	3
<b>Suurin arvo</b>	30.7	18.1	25.2	103	44.9

#### 4.2.2 Virtaama-aineistot

Virtaaman muutoksia tarkastellaan Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ja Norjan polttoaine- ja energiaviraston vesiresurssi- ja energiayksikön (NVE) Tenojoen varressa ja valuma-alueella sijaitsevien mittausasemien virtaama-aineistoista. Aineistot ovat avoimesti saatavilla. Suomen puolella sijaitsevien asemien aineistot ovat ladattavissa Suomen ympäristökeskuksen Hertta - latauspalvelusta. Norjan aineistot on ladattavissa NVE:n Sildre -latauspalvelusta.

Varsinaisen Tenojoki-uoman varrella sijaitsevat mittausasemat ovat yläjuoksulta alajuoksulle lueteltuna, Onnelansuvanto, Alaköngäs ja Polmak (kuva 6). Lisäksi mittausdataa on Kaarasjoen varrella sijaitsevalta Veahkkavan asemalta, Inarijoen varrella sijaitsevalta Inarijoki Karigasniemen asemalta ja Utsjoen varrelta Utsjoki Patonivan mittausasemilta.



Kuva 6. Tenojoen, sen latvajokien ja sivujoki Utsjoen virtaama-asemien sijainnit ja sääasemien sijainnit Tenojoen valuma-alueella.

Kaikki SYKE:n virtaamamittaukset perustuvat purkautumiskäyrään. Mittauspisteet ovat ympäristöhallinnon omistamia ja hallinnoimia. Alaköngään mittausasema sijaitsee Utsjoen kunnassa Njallavarrin osavaluma-alueella. Asema on ollut käytössä vuodesta 1962 ja on käytössä edelleen. Onnelansuvannon mittausasema sijaitsee Utsjoen kunnan alueella ja Koahppeloainin osavaluma-alueella. Mittausasemalla mitataan ainoastaan virtaamaa. Asema on ollut toiminnassa vuodesta 1959 se on edelleen toiminnassa. Inarijoki Karigasniemen asema sijaitsee Inarijoen alaosan osavaluma-alueella ja Utsjoen kunnan alueella. Virtaamamittaukset on aloitettu vuonna 1975. Onnelansuvannon ja Inarijoki Karigasniemen aineistot kattavat hyvin tutkimusajanjakson, eikä niistä löytynyt suuria puutteita (taulukko 3). Utsjoki Patonivan aineistoista löytyi joitakin puutteita. Pisin katkos aikasarjassa on noin kuukauden mittainen. Yhteensä havaintoja puuttui 159. Alaköngään aineistossa on muutamia muutaman päivän mittaisia katkoksia ja yhteensä puuttuvia havaintoja oli 159. Näiden lyhyiden katkosten voidaan olettaa vaikuttavan vain vähän analyysiin. Vaehkkavan aineisto on kattava. Aineistosta ei löytynyt puuttuvia arvoja. Polmakin aineistosta puuttuu 1.1.1991-30.11.1991 välinen jakso. Vuoden 1991 osalta aineisto on siis huomattavan puutteellinen, joten vuotta 1991 ei huomioida

tutkimuksessa. Havainnot puuttuvat koko tutkimusajanjakson ajalla yhteensä 334 päivältä. Kaikki puuttuvat havainnot ovat vuodelta 1991, eli aineisto on muuten kattava.

Taulukko 3 Virtaama-aineistojen perustunnuslukuja

	<b>Inarijoki</b>	<b>Utsjoki</b>	<b>Onnelan-</b>	<b>Alaköngäs</b>	<b>Polmak</b>	
	<b>Veahkkava</b>	<b>Karigasniemi</b>	<b>Patoniva</b>	<b>suvanto</b>		
<b>Havaintojen lukumäärä</b>	10958	10958	10799	10958	10799	10624
<b>Tyhjien solujen määrä</b>	0	0	159	0	159	334
<b>Keskiarvo</b>	28.17	35.94	18.32	141.60	179.61	177.46
<b>Keskihajonta</b>	35.95	53.44	27.72	195.63	251.30	244.79
<b>Pienin arvo</b>	2.01	5.98	2.20	14.00	20.68	25.71
<b>25 %</b>	8.48	12.27	4.99	34.31	44.71	49.99
<b>50 %</b>	15.85	20.00	10.00	73.00	93.22	96.64
<b>75 %</b>	30.89	35.00	20.00	158.00	197.85	191.71
<b>Suurin arvo</b>	424.70	655.00	357.63	1859.99	2505.91	2345.30

## 4.3 Menetelmät

### 4.3.1 Sääaineistojen muutostarkastelu

Suomen sääasemien sääaineistot ladattiin ilmatieteenlaitoksen säähavaintojen latauspalvelusta CSV-muotoisina taulukoina. Tallennettaviksi suureiksi valittiin ylin lämpötila, alin lämpötila, ilman lämpötila, lumensyvyys ja sademäärä. Taulukoiden rivien otsikot muutettiin sopivammiksi. Taulukoihin lisättiin sarake päivämäärälle, sillä ladatussa taulukossa vuosi, kuukausi ja päivä olivat eri sarakkeissa. Nämä sarakkeet jätettiin kuitenkin taulukkoon analyysivaihetta varten. Muut ylimääräiset sarakkeet poistettiin. Sateettomille ja lumettomille päiville oli annettu arvoksi -1 ja alle 0,1 cm lumensyvyydelle ja alle 0,1 mm sademäärälle arvoksi 0. Sateettomien ja lumettomien päivien -1 arvot poistettiin ja solut jätettiin tyhjiksi. Muutetut taulukot tallennettiin omiksi taulukoikseen.

Norjan sääaineistoissa ladattaviksi suureiksi valittiin Suomen aineistoja vastaavat suureet ja ne ladattiin KSS:n latauspalvelusta CSV-taulukoina. Taulukko siivottiin kaikesta ylimääräisestä aineistosta. Norjan aineistoihin ei löytynyt selitteitä. Tutkimalla aineistoja pystyi kuitenkin päättelemään, että puuttuvat arvot oli merkitty viivalla (-). Sademäärissä nolla (0) tarkoittanee vain vähäistä, alle 0,1 mm sadetta ja viiva arvon puuttumista tai sateetonta. Lumensyvyyksissä

0 arvon voidaan olettaa tarkoittavan alle 0,1 lumikerrosta ja viivan lumetonta tai arvon puuttumista. Lämpötiloissa puuttuvat arvot oli merkitty viivalla. Viivat poistettiin ja solut jätettiin tyhjiksi.

Sääaineistojen tilastollisessa tarkastelussa käytetään Python 3 -ohjelmointikieltä (versio 3.9.12) ja JupyterLab-ohjelmointiympäristöä ja muutostulkinnassa, sekä tulosten visualisoinnissa Excel taulukkolaskentaohjelmaa. Sääaineistot luettiin erillisiin muuttujiin *pandas* data-analyysi työkalukirjaston *pandas*-taulukoina. Lämpötiloista laskettiin vuosittaiset keskiarvot, maksimit ja minimi. Lisäksi laskettiin vuosittaisten pakkaspäivien määrä. Sadannalle laskettiin vuosittaiset sadesummat ja sadepäivien määrät. Lumensyvyydelle laskettiin keskilumensyvyudet sekä lumisten päivien määrä vuosittain. Kaikista näistä yllä mainituista muuttujista tehtiin kuvaajat. Cuovddatmohhkin aineistossa havaittiin puutteita vuosien 1991–1994 lämpötilamittauksissa. Visuaalisessa tarkastelussa huomattiin Cuovddatmohhkin aineiston noudattelevan hyvin samanlaista linjaa Utsjoki Kevon aineiston kanssa. Aineistojen keskinäinen korrelaatio testattiin Excelissä ja korrelaatio oli erittäin hyvä ( $R^2 = 0,9827$ ). Puuttuvat vuodet päätettiin täydentää ekstrapoloimalla hyödyntäen Utsjoki Kevon aineistoa.

#### 4.3.2 Virtaama-aineistojen muutostarkastelu

Suomen virtaama-asemien päivittäisen keskivirtaaman virtaama-aineistot ladattiin Hertta -latauspalvelusta CSV-taulukoina. Taulukoista poistettiin turhat sarakkeet. Lopuksi kaikki tiedot vietiin peräkkäin yhteen taulukkoon. Norjan virtaama-aineistot ladattiin CSV-taulukoina Sildre -latauspalvelusta. Taulukot tarkastettiin ylimääräisten sarakkeiden ja rivien varalta ja tallennettiin lopuksi Suomen virtaama-aineistojen kanssa samaan CSV-taulukkoon. Lopputuloksena virtaama-aineistot koottiin yhteen taulukkoon, jossa oli sarakkeet päivämäärälle, mittausasemalle ja virtaamalle.

Myös virtaama-aineistojen muutostulkinnassa ja tilastollisessa tarkastelussa käytettiin Python 3 -ohjelmointikieltä ja JupyterLab-ohjelmointiympäristöä ja tulosten visualisoinnissa Excel-taulukkolaskentaohjelmaa. Valmis virtaamataulukko luettiin *pandas*-taulukoksi muuttujaan. Päivämäärät muutettiin *date-time*-muotoon ja päivämäärästä eroteltiin myös vuosi, kuukausi ja päivä omiin sarakkeisiinsa analyysin helpottamiseksi. Lopuksi eri mittauspisteiden aineistot eroteltiin omiin muuttujiinsa mittauspisteen nimen perusteella.

Virtaaman muutosta kuvattiin erilaisten kuvaajien avulla. Muutostulkinnan tarkoituksena on tarkastella vuosittaisia eroja ja muutoksia eri mittauspisteillä sekä niiden välillä. Virtaamista laskettiin vuosikeskiarvot mittauspisteittäin ja nämä esitettiin kuvaajina. Vuosittaisista keskiarvotarkasteluista jätettiin pois sellaisia vuosia, joilta ei pystynyt laskemaan keskiarvoa luotettavasti. Polmakin aineistosta jätettiin pois vuosi 1991. Vuosikeskiarvojen lisäksi etsittiin vuosimaksimit ja minimi. Myös näistä arvoista tehtiin kuvaajat mittauspisteittäin. Aineistoista laskettiin myös kuukausikeskiarvot ja nämä esitettiin kuvaajina mittauspisteittäin. Kuukausikeskiarvojen laskeminen ei vaatinut vuosien poistamista, vaan kaikkien vuosien kaikkea saatavilla olevaa dataa käytettiin keskiarvojen laskemiseen.

Mittauspisteen aineistoista tunnistettiin jokaisen vuoden kevättulvan huippuvirtaaman päivämäärä. Nämä kerättiin yhteiseen taulukkoon ja visualisoitiin tulvan ajankohdan yleisyyden mukaan. Lisäksi aineistoista eroteltiin 30 vuoden keskimääräisen ylivirtaaman (MHQ) ylittäneet päivät ja arvot. Arvot ja päivämäärät taulukoitiin ja ylityksien määrät laskettiin yhteensä koko ajalta ja kymmenen vuoden aikajaksoissa.

Tulva-aikojen ja niiden muutosten selvittämiseksi laskettiin jokaiselle vuodelle ensin kuukausittaiset keskiarvot. Lisäksi laskettiin kuukausittain kolmenkymmenen vuoden keskiarvot. Näistä tehtiin kuvaajat kymmenen vuoden jaksoissa. Kuukausille laskettiin myös kymmenen vuoden keskiarvot. Tämän jälkeen valittiin tarkasteluun kevätkuukaudet, joiden aikana kevättulva useimmiten esiintyi. Aineistosta eroteltiin näiden perusteella todennäköisimmät tulvaviikot. Viikot numeroitiin niin, että samat päivät osuivat joka vuosi samalle viikolle. Ensin kaikki vuodet tehtiin saman pituisiksi poistamalla aineistosta karkauspäivät. Karkauspäivien poiston ansiosta kaikki vuodet saatiin keskenään saman pituisiksi, jolloin vuosien päivät voitiin jakaa viikon mittaisiin jaksoihin niin, että päivät osuivat joka vuosi samalle viikolle. Nämä jaksot numeroitiin vuoden alusta numeroin 1–53.

Tämän jälkeen aineistosta eroteltiin todennäköisimmät tulvaviikot. Viikoiksi valikoituivat aineistojen ja keskiarvokuvaajien visuaalisen tarkastelun sekä tulvahuippujen esiintymisen perusteella viikot 13–31 (päivät 26.3.–5.8.). Näille viikoille laskettiin viikoittaiset keskiarvot vuosittain. Keskiarvojen tarkastelu paljasti todelliset tulvaviikot ja viikkojen valintaa rajattiin edelleen viikkoihin 17–26 (päivät 23.4.–1.7.). Näiden viikkojen keskiarvoista tehtiin kolme kuvaajaa, joissa viikoittaiset keskiarvot on esitetty vuosittain käyrinä kymmenen vuoden jaksoissa. Lisäksi kuvaajissa näkyvät kymmenen vuoden keskiarvot.

### 4.3.3 Trendianalyysit

Aineistoina olevista virtaaman ja sääaineistojen aikasarjoista etsitään trendejä trendianalyysillä. Trendeillä tarkoitetaan pitkän aikavälin, tässä tapauksessa 30 vuoden kehityssuuntaa. Trendianalyysillä voidaan selvittää pidemmän ajan trendit, mutta myös lyhyemmän, kausivaihtelun trendit. On huomioitava, että trendi on riippuvainen valittavan aikasarjan pituudesta ja ajankohdasta ja se kuvastaa vain kyseisen ajankohdan aikaista trendiä. Trendin löytyminen tietyistä ajanjaksosta ei siis kerro pidemmän tai lyhyemmän ajan kehityksestä, eikä se ole myöskään yleistettävissä toiseen ajankohtaan.

Ennen tilastollisten analyysien tekemistä kaikki aineistot testattiin autokorrelaation varalta. Autokorrelaatio tarkoittaa, että aineiston sisällä on aineiston arvojen välistä keskinäistä korrelaatiota. Pitkissä aikasarjoissa voidaan olettaa esiintyvän autokorrelaatiota aikasarjan jatkuvan luonteen vuoksi. Voidaankin olettaa, että virtaama-aineistoissa esiintyy autokorrelaatiota, sillä edellisen päivän virtaama on riippuvainen edeltävien päivien virtaamasta. Autokorrelaatio vaikuttaa siihen, mitä tilastollisia analyysejä aineistoille voidaan tehdä. Tässä tutkimuksessa autokorrelaatio on huomioitava trenditestin valinnassa.

Virtaama-aineiston, lämpötilan ja sademäärän trendien havaitsemiseksi käytetään Mann-Kendallin testiä (Mann 1945). Mann-Kendallin testi (MK-testi) on ei-parametrinen testi, jota käytetään aikasarjan trendien tunnistamiseen. Testistä on olemassa muunneltuja versioita, jotka huomioivat autokorrelaation ja vuodenaikaisuuden. Menetelmää käytetään laajasti meteorologian ja hydrologian tieteenaloilla, sillä testi mahdollistaa pitkien vuodenaikaisuutta sisältävien aikasarjojen tarkastelun. (Klavins & Rodinov 2008; Korhonen & Kuusisto 2010; Fiorillo ym. 2021; Irannezhad ym. 2022) Testin nollahypoteesi olettaa, että aineistossa ei ole monotonista trendiä. Vaihtoehtoinen hypoteesi on, että aineistosta löytyy trendi. Trendi voi olla positiivinen eli nouseva (*increasing*) tai negatiivinen eli laskeva (*decreasing*). Testi on ei-parametrinen, joten sitä voi käyttää aineistolle, joka ei ole normaalisti jakautunut. Puuttuvat tai ääriarvot (*outliers*) eivät haittaa testaamista, mutta on kuitenkin varmistettava, että otos on tarpeeksi suuri. MK-testi ei kuitenkaan tarvitse toimiakseen suurta otoskokoja. Pienimmillään havaintojen määrä voi olla neljä, mutta suositeltava vähimmäismäärä on 8–10 havaintoa. Suurempi otoskoko antaa kuitenkin varmemman tuloksen. Pienen otoskoon perusteella voi olla haastavaa havaita trendejä. MK-testi havaitsee ainoastaan trendin olemassaolon ja suunnan, mutta se ei ota kantaa muutoksen suuruuteen. Muutoksen suuruuden arvioimiseksi käytetään yleensä *Sen's Slope* -testiä, jolla voidaan arvioida trendiviivan kulmakerroin (Sen 1968).



Normaalia Mann-Kendallin testiä voi käyttää jatkuvalle säännöllisiä mittauksia sisältävälle aikasarjalle. Jos aikasarja on vain tiettyinä aikoina kerättyä dataa, esimerkiksi vain kesäisin tai talvisin, on käytettävä vuodenaikais-/kausittais-Kendallin testiä (*seasonal Kendall test*). Jos aineistossa, esiintyy vuodenaikaisuutta, on suositeltavaa, että vuodenaikaisuuden vaikutus minimoidaan ennen testausta. Autokorreloituneelle aineistolle on käytettävä modifioitua testiä, joka ottaa huomioon autokorrelaation (Yue ym. 2002).

Pääperiaatteissaan testit toimivat seuraavien vaiheiden mukaisesti. Ensin aikasarjalle  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , pituudeltaan  $n$ , tulee laskea indikaattori funktio  $\text{sgn}(x_i - x_j)$ , jolloin:

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1, & x_i - x_j > 0 \\ 0, & x_i - x_j = 0 \\ -1, & x_i - x_j < 0 \end{cases} \quad (\text{kaava 3})$$

Funktio kertoo, onko ajan  $i$  ja  $j$  välinen erotus positiivinen, negatiivinen vai nolla. Seuraavaksi testi käyttää alla esitettyjä kaavoja edellä laskettujen erotusten keskiarvon ja varianssin laskemiseen:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (\text{kaava 4})$$

$$\text{var}(S) = [n(n-1)(2n+5) - \sum_t f_t(f_t-1)(2f_t+5)] \quad (\text{kaava 5})$$

Jos keskiarvoa laskiessa saadaan tulos  $S > 0$ , aikasarjassa myöhemmin esiintyvät havaintoarvot ovat suurempia, kuin aikasarjassa aikaisemmin esiintyvät arvot ja päinvastoin, jos saadaan tulos  $S < 0$ . Varianssia laskiessa  $t$  on saman tuloksen saaneiden arvoparien määrä.

Testien tekemiseen käytettiin *pyMannKendall* Python-paketin testejä (Hussain & Mahmud 2019). Paketti sisältää funktioita ei-parametrisille Mann-Kendallin trenditesteille. Aineistoissa on autokorrelaatiota, joten testiksi valittiin modifioitu testi, johon on yhdistetty aineisto Pre-Whitening vaihe ja Sen's Slope (Yue & Wang 2002). Aineisto testattiin sekä koko tutkimusajanjakson osalta ja lisäksi testattiin trendit vuosikeskiarvoille, kuukausikeskiarvoille ja tulvaviikkojen vuosittaisille keskiarvoille. Vastaavat testit tehtiin myös koko sääaineistolle. Keskiarvoille käytettiin perinteistä MK testiä. Testit arvioivat löytyykö aineistosta monotonista trendiä, onko se nouseva vai laskeva, onko tämä trendi tilastollisesti merkitsevä.

## 5 Tulokset

### 5.1 Sääaineistojen havainnointi ja trendit

#### 5.1.1 Sääkuvaajat

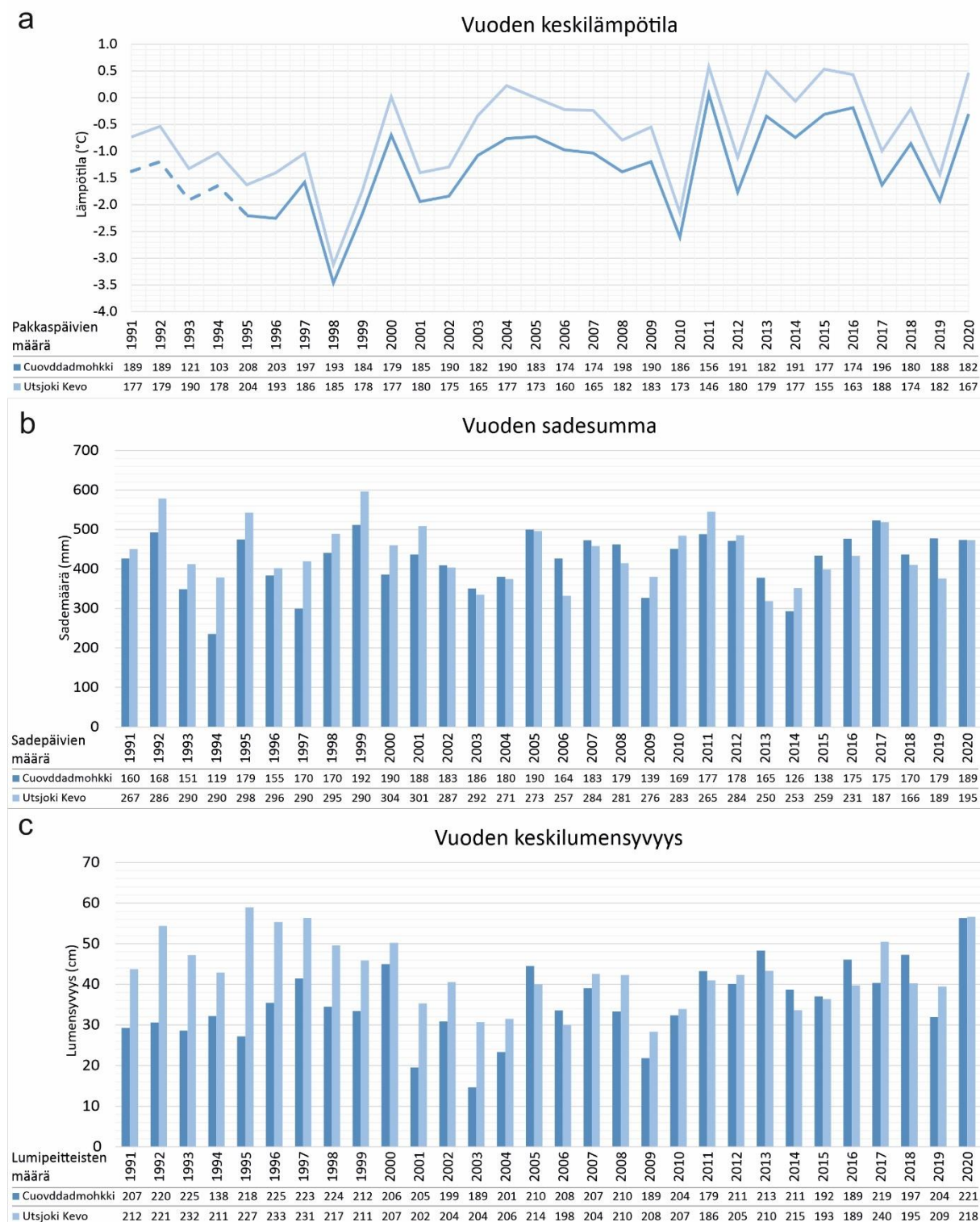
Säässä on ollut tutkimusajanjaksolla alueellista vaihtelua. Cuovddatmohkkissa keskilämpötila on vaihdellut -3,5 asteen ja + 0,1 asteen välillä. 30 vuoden keskiarvo on -1,0 astetta (kuva 7). Utsjoki Kevolla keskilämpötila on vaihdellut -3,1 ja + 0,6 asteen välillä. 30 vuoden keskiarvo on -0,3 astetta. Pohjoisempaan ja lähempänä Jäämeren rannikkoa on ollut 0,3–1 astetta lämpimämpää. Asemien lämpötilat muuttuvat keskenään samassa suhteessa. Vuosi 1998 on ollut keskilämpötilaltaan tutkimusjakson kylmin. Tällöin keskilämpötila on ollut Cuovddatmohkkissa -3,5 °C ja Utsjoki Kevolla -3,1 °C. Vuosi 2011 on ollut jakson lämpimin ja keskilämpötilat ovat olleet Cuovddatmohkkissa 0,1 °C ja Utsjoki Kevolla 0,6 °C.

Utsjoella ensimmäisen 10 vuoden aikana 30 vuoden keskilämpötila on ylittynyt vain kerran. Seuraavan 10 vuoden aikana keskiarvo on ylittynyt 3 kertaa ja kolmannen vuosikymmenen aikana 6 kertaa. Cuovddatmohkkissa ensimmäisen vuosikymmenen aikana keskiarvo on ylittynyt 3 kertaa, toisen vuosikymmenen aikana 2 kertaa ja kolmannen vuosikymmenen aikana 7 kertaa. Käyriä tulkitsemalla on havaittavissa lievää kasvua.

Pakkaspäivien määrässä ei ole keskiarvoista havaittavaa trendiä. Kevolla ensimmäisen vuosikymmenen aikana pakkaspäiviä on ollut kaikkina vuosina keskimääräistä enemmän, toisen vuosikymmenen aikana yhteensä kuutena vuonna pakkaspäiviä on ollut keskimääräistä vähemmän, viimeisenä vuosikymmenenä viitenä vuonna on ollut keskimääräistä vähemmän pakkaspäiviä (kuva 7a). Cuovddatmohkkissa ensimmäisen vuosikymmenen aikana kolmena vuonna on ollut keskimääräistä vähemmän pakkaspäiviä, toisena vuosikymmenenä kahtena vuonna keskimääräistä vähemmän pakkaspäiviä ja kolmantena vuosikymmenenä neljänä vuonna keskimääräistä vähemmän pakkaspäiviä. Pakkaspäivien määrä on vaihdellut melko tasaisesti eikä ole juurikaan erittäin poikkeavia ääri vuosia. Eniten pakkaspäiviä on ollut vuonna 1995, jolloin Cuovddatmohkkin asemalla on mitattu pakkasasteita 208 päivänä ja Utsjoki Kevon asemalla 204 päivänä vuodesta.

Sadesummissa mittauspisteiden välillä on yhteneväisyyttä, mutta myös eroja. Näyttäisi, että ensimmäiset 10 vuotta Utsjoki Kevon asemalla on satanut poikkeuksetta enemmän, kuin Cuovddatmohkkin asemalla (kuva 7b). Kahtena seuraavana vuosikymmenenä tilanne on muuttunut ja Cuovddatmohkkin asemalla on satanut useimpina vuosina enemmän kuin Kevon asemalla. Sadepäiviä on kuitenkin ollut useimpina vuosina enemmän Utsjoki Kevon asemalla kuin Cuovddatmohkkin asemalla. Cuovddatmohkkissa sademäärältään suurin vuosi on ollut 2017 jolloin sadetta kertyi yhteensä 523 mm. Utsjoki Kevolla suurin yhteenlaskettu sademäärä mitattiin tutkimusjaksolla vuonna 1998 jolloin yhteenlaskettu sademäärä oli 596,7 mm.

Myös lumensyvyudessa on tapahtunut muutosta. Ensimmäiset 10 vuotta Utsjoki Kevon asemalla on ollut selvästi enemmän lunta, kuin Cuovddatmohkkin asemalla (kuva 7c). Kahden seuraavan vuosikymmenen aikana ero on kuitenkin tasoittunut ja Cuovddatmohkkin asemalla on useina vuosina ollut keskimäärin enemmän lunta kuin Utsjoki Kevon asemalla. Suurin keskilumensyvyys on ollut Cuovddatmohkkissa 56,3 cm vuonna 2020 ja Utsjoki Kevolla 58,9 cm vuonna 1995. Lumipäivien määrä on pysynyt melko samanlaisena. Viimeisen vuosikymmenen aikana on ollut hieman vähemmän lumipäiviä, kuin kahden ensimmäisen aikana.



Kuva 7. Säavaihteluita vuosittain Cuovdatmohkkin ja Utsjoki Kevon sääasemilla. Kuvassa a) esitettyä keskilämpötila ja taulukoituna pakkaspäivien määrä vuosittain, kuvassa b) vuosittaiset sadesummat ja sadeisten päivien määrä vuosittain ja kuvassa c) vuosittainen keskilumensyvyys ja lumipeitteisten päivien määrä. Cuovdatmohkkin aseman sää kuvastaa yläjuoksun olosuhteita ja Utsjoki Kevon asema kuvastaa alajuoksun sääolosuhteita.

### 5.1.2 Sääaineistojen trendit

Sääaineistojen trendianalyysistä on nähtävissä tilastollisesti merkitseviä trendejä. Vuorokauden keskilämpötila on lievässä kasvussa (taulukko 4). Myös vuorokausimaksimien arvoissa on nouseva trendi. Nuorgamin mittausasemalla minimilämpötilan suhteen ei ole havaittavissa trendiä. Cuovddatmohkin vuorokauden minimilämpötiloissa sen sijaan on havaittavissa tilastollisesti merkitsevää nouseva trendi. Sen's slope -testi kuitenkin osoittaa trendin olevan vain lievästi nouseva. Sadannan ja lumensyvyuden osalta trendit eivät ole yhteneviä. Yläjuoksulla Cuovddatmohkin asemalla sadannassa ei ole havaittavissa tilastollisesti merkitsevää trendiä. Lumensyvyys sen sijaan on pienentynyt. Tulos on tilastollisesti merkitsevää. Alajuoksulla sadanta on ollut kasvussa, mutta lumensyvyys on vähentynyt. Tilastollisessa tarkastelussa trendi ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää 95 % merkitsevyystasolla.

Taulukko 4. 30 vuoden säätrendit tutkimusajanjaksolla ( $p=0,05$ ).

<b>Utsjoki Kevo</b>					
	<b>LT keskiarvo</b>	<b>LT Maksimi</b>	<b>LT Minimi</b>	<b>Sadanta</b>	<b>Lumensyvyys</b>
<b>trendin suunta</b>	nouseva	nouseva	nouseva	nouseva	laskeva
<b>trendi</b>	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä
<b>p-arvo</b>	0,00	0,00	0,00	3,31E-05	0,00
<b>z</b>	13,63	10,98	12,43	4,15	-61,99
<b>Kendall Tau</b>	0,088	0,07	0,08	0,03	-0,52
<b>s</b>	5209864	4198104	4753026	987897	-10378839
<b>var_s</b>	1,46E+11	1,46E+11	1,46E+11	5,66E+10	2,80E+10
<b>Sen's Slope</b>	0,0001	0,0001	0,0002	0,00	-0,001
<b>intercept</b>	-0,39	2,56	-3,44	0,40	48,49

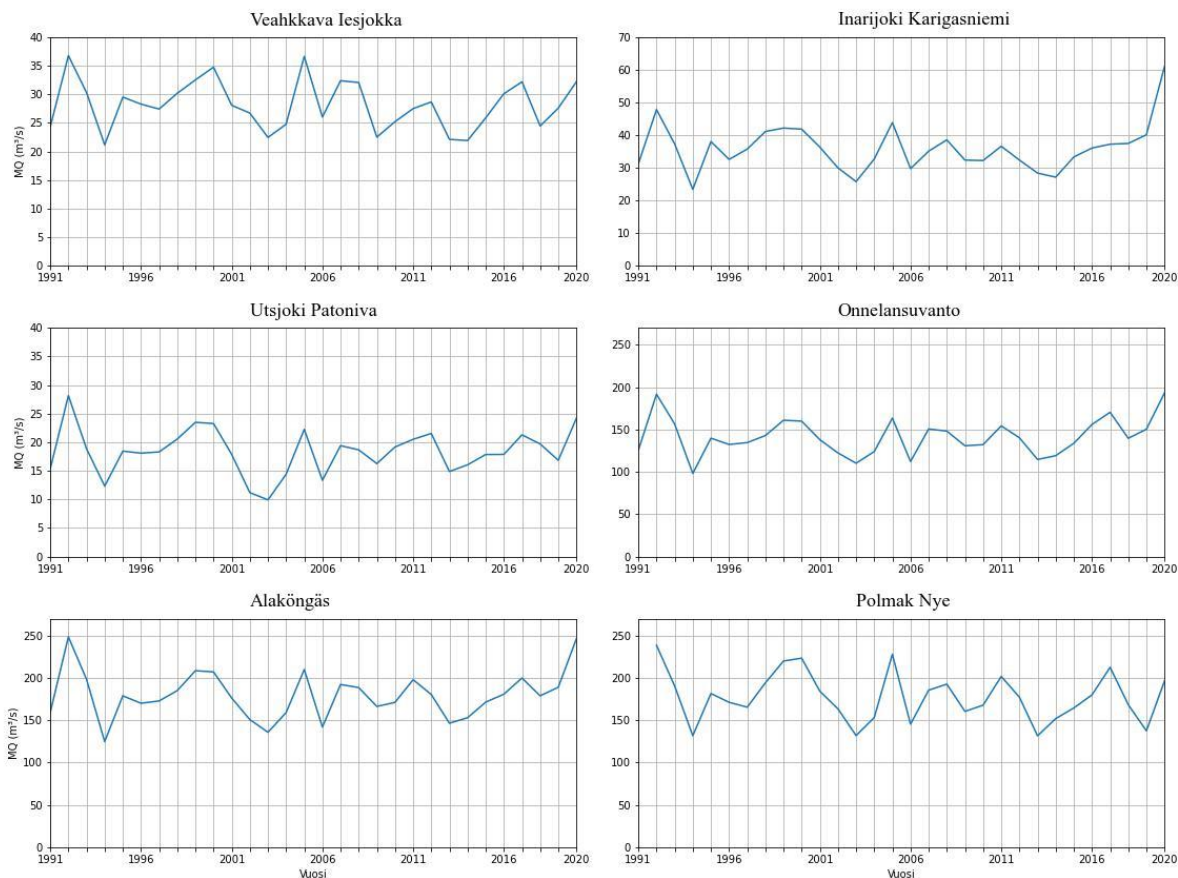
<b>Cuovddatmohki</b>					
	<b>LT keskiarvo</b>	<b>LT Maksimi</b>	<b>LT Minimi</b>	<b>Sadanta</b>	<b>Lumensyvyys</b>
<b>trendin suunta</b>	nouseva	nouseva	nouseva	ei trendiä	laskeva
<b>trendi</b>	kyllä	kyllä	kyllä	ei	kyllä
<b>p-arvo</b>	0,00	0,00	1,43E-09	0,26	0,03
<b>z</b>	9,39	12,00	6,05	1,14	-2,12
<b>Kendall Tau</b>	0,06	0,08	0,039	0,01	-0,01
<b>s</b>	3479897	4451047	2243843	406272	-756089
<b>var_s</b>	1,34E+11	1,37E+11	1,37E+11	1,28E+11	1,27E+11
<b>Sen's Slope</b>	0,0001	0,0001	9,91E-05	0,00	0,00
<b>intercept</b>	-0,78	1,97	-4,15	0,00	14,00

## 5.2 Virtaaman muutokset ja trendit

### 5.2.1 Vuosi-, kuukausi- ja tulvaviikkojen keskiarvot

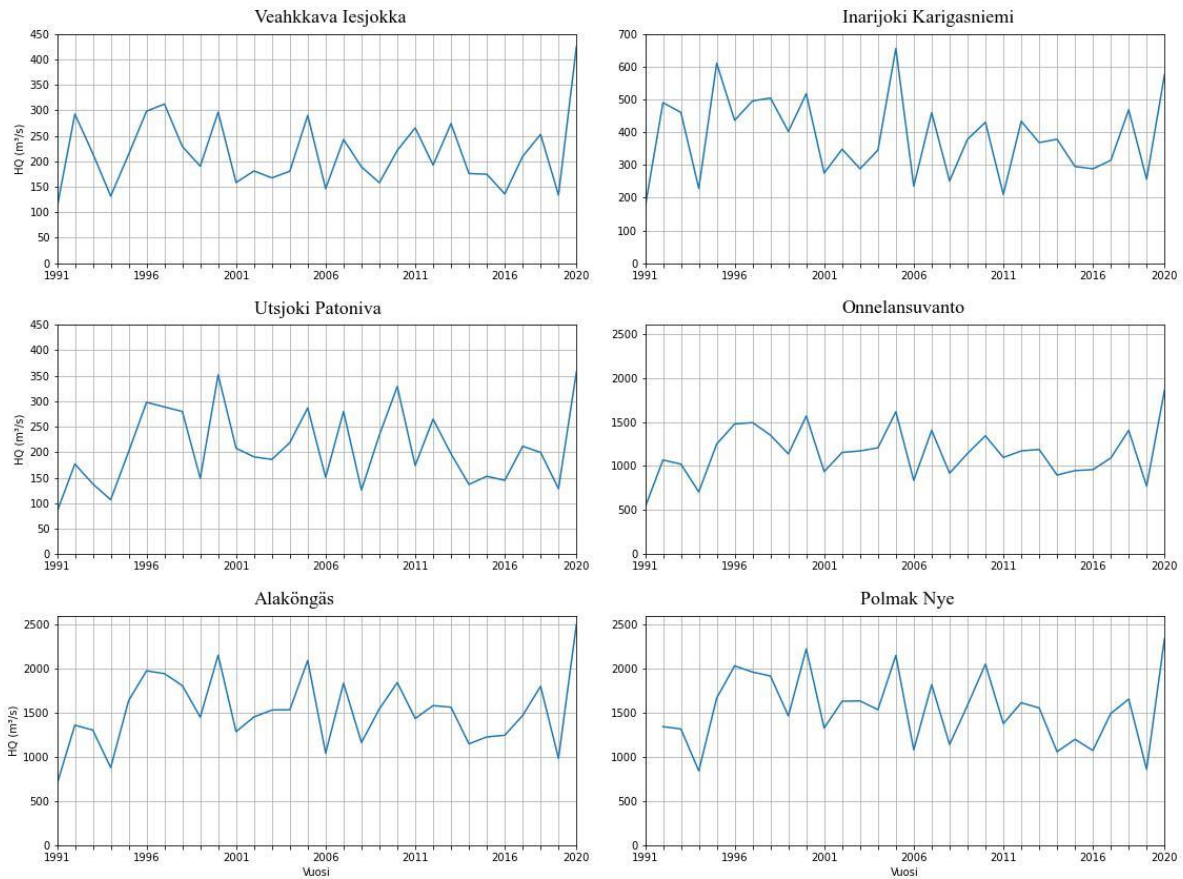
Vuosittaiset keskivirtaamat vaihtelivat eri mittauspisteiden välillä. Suurimmasta osasta on kuitenkin havaittavissa yhteneväisyyksiä. Tenojoen mittauspisteissä Polmakissa, Alakönkällä ja Onnelansuvannossa vuosittainen virtaamakeskiarvo on vaihdellut noin 100,0 m<sup>3</sup>/s ja 250,0 m<sup>3</sup>/s (kuva 8). Keskivirtaamat nousevat vähäisesti alajuoksulle päin. Yläjuoksulla Inarijoessa sijaitsevalla Inarijoki Karigasniemen asemalla virtaamat muuttuvat samassa suhteessa muiden mittauspisteiden keskiarvojen kanssa. Myös Vaehkkava virtaamat noudattelevat Inarijoki Karigasniemen ja Tenojoen keskiarvojen kanssa samanlaista kaavaa. Inarijoki Karigasniemen mittauspisteessä vuosikeskiarvot ovat vaihdelleet 23,4 m<sup>3</sup>/s ja 61,1 m<sup>3</sup>/s välillä. Suurin keskivirtaama on vuodelta 2020. Utsjoki Patonivan asemalla virtaamat ovat olleet 9,9 m<sup>3</sup>/s ja 28,2 m<sup>3</sup>/s välillä ja Vaehkkavan asemalla 21,2 m<sup>3</sup>/s ja 36,8 m<sup>3</sup>/s välillä.

Keskimäärin runsasvetisemmät vuodet ovat olleet runsasvetisiä sekä yläjuoksulla että alajuoksulla, samoin vähävetisemmät vuodet ovat olleet vähävetisiä sekä ylä- että alajuoksulla. Vaihteluiden suuruudet ovat kuvaajien perusteella keskenään samaa luokkaa. Polmakin virtaamissa on hieman eroavaisuutta muihin alajuoksun mittausasemiin verrattuna.



Kuva 8. Vuosittaiset keskivirtaamat Tenojoen valuma-alueen mittausasemilla.

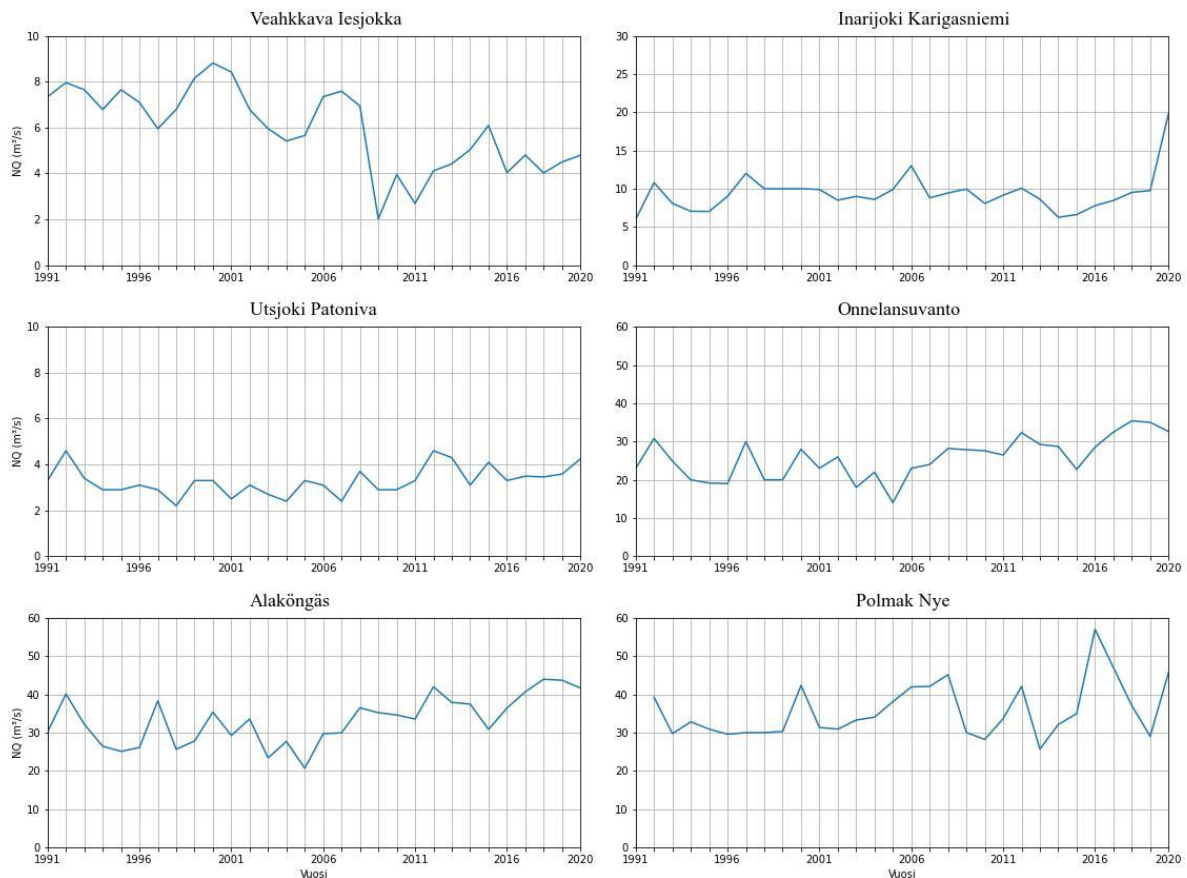
Myös ylivirtaamien vaihtelut vuodesta toiseen ovat mittausasemien kesken jokseenkin linjassa yläjuoksulta alajuoksulle asti (kuva 9). Tässä on kuitenkin havaittavissa hieman enemmän asemien keskinäistä vaihtelua, kuin vuosikeskiarvoissa. Polmakissa ylivirtaamat ovat olleet  $843,9 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $2345,3 \text{ m}^3/\text{s}$  välillä. Alaköngäällä vaihtelu on ollut  $692,7 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $2505,9 \text{ m}^3/\text{s}$  välillä. Onnelansuvannossa ylivirtaamat ovat vaihdelleet  $530 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $1860 \text{ m}^3/\text{s}$  välillä. Utsjoki Patonivan asemalla  $83,0 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $358,0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Inarijoki Karigasniemen asemalla ylivirtaamat ovat vaihdelleet  $170,0 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $655,0 \text{ m}^3/\text{s}$  välillä ja Veahkkavan asemalla vaihtelu on ollut  $108,4 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $424,7 \text{ m}^3/\text{s}$  välillä.



Kuva 9. Vuosittaiset ylivirtaamat Tenojoen valuma-alueen mittausasemilla.

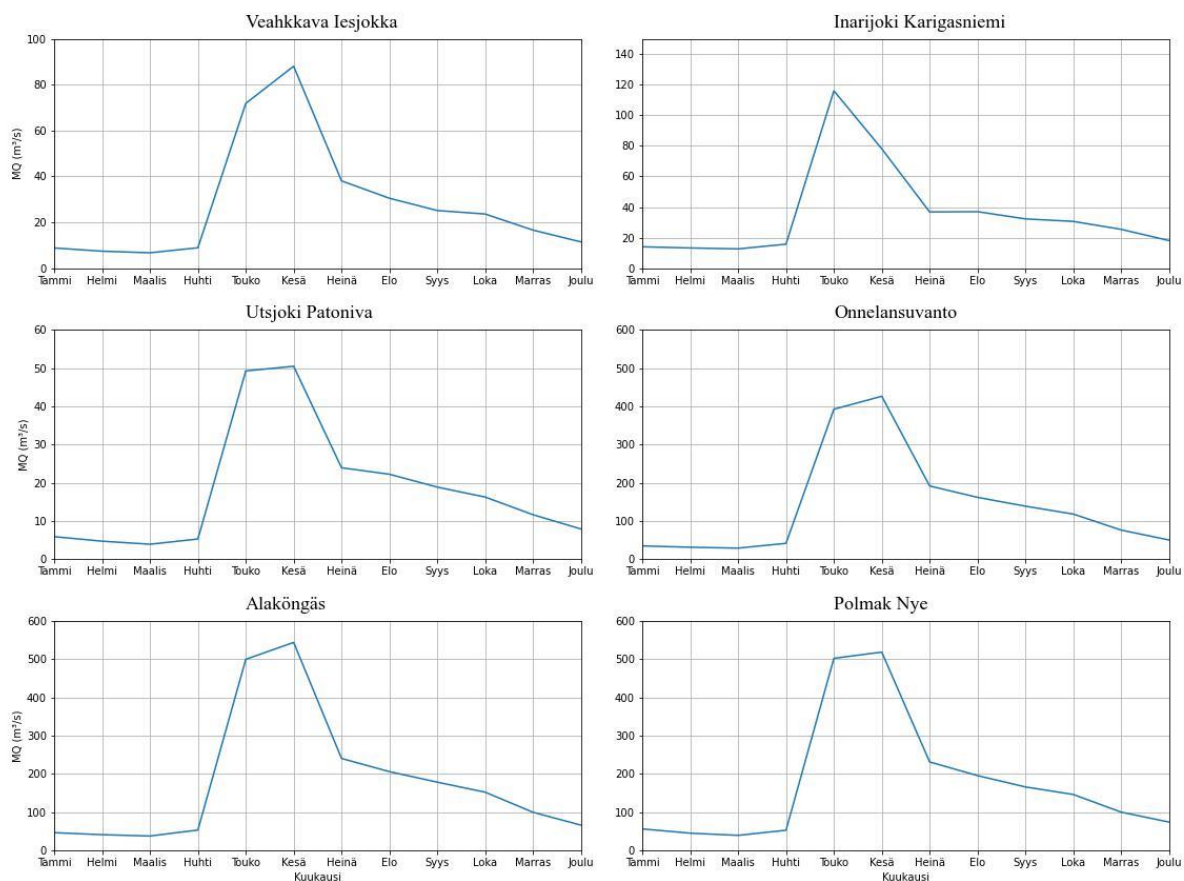
Vuosittaisissa alivirtaamissa asemien väliset yhteydet eivät ole niin selviä. Veahkkavan alivirtaamat ovat vaihdelleet  $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $8,8 \text{ m}^3/\text{s}$  välillä (kuva 10). Inarijoki Karigasniemen asemalla alivirtaama on ollut tutkimusvuosina  $5,98 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $19,83 \text{ m}^3/\text{s}$  välillä. Utsjoki Patonivan alivirtaamat ovat olleet  $2,2 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $4,6 \text{ m}^3/\text{s}$  välillä. Önnelansuvannon alivirtaamat ovat vaihdelleet  $14 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $35,42 \text{ m}^3/\text{s}$  välillä ja Alaköngään alivirtaamat  $20,68 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $43,93 \text{ m}^3/\text{s}$  välillä. Polmakissa alivirtaamat ovat olleet  $25,7 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $57,0 \text{ m}^3/\text{s}$  välillä. Erityisesti on huomioitava Polmakin aseman erilaisuuteen ja yläjuoksun asemien erilaisuudet verrattuna alajuoksun asemiin. Polmakin alivirtaamat ovat olleet kasvussa ja ne poikkeavat huomattavasti muista Tenon pääuoman alivirtaamista. Yläjuoksun virtaamat poikkeavat myös huomattavasti alajuoksun virtaamista.





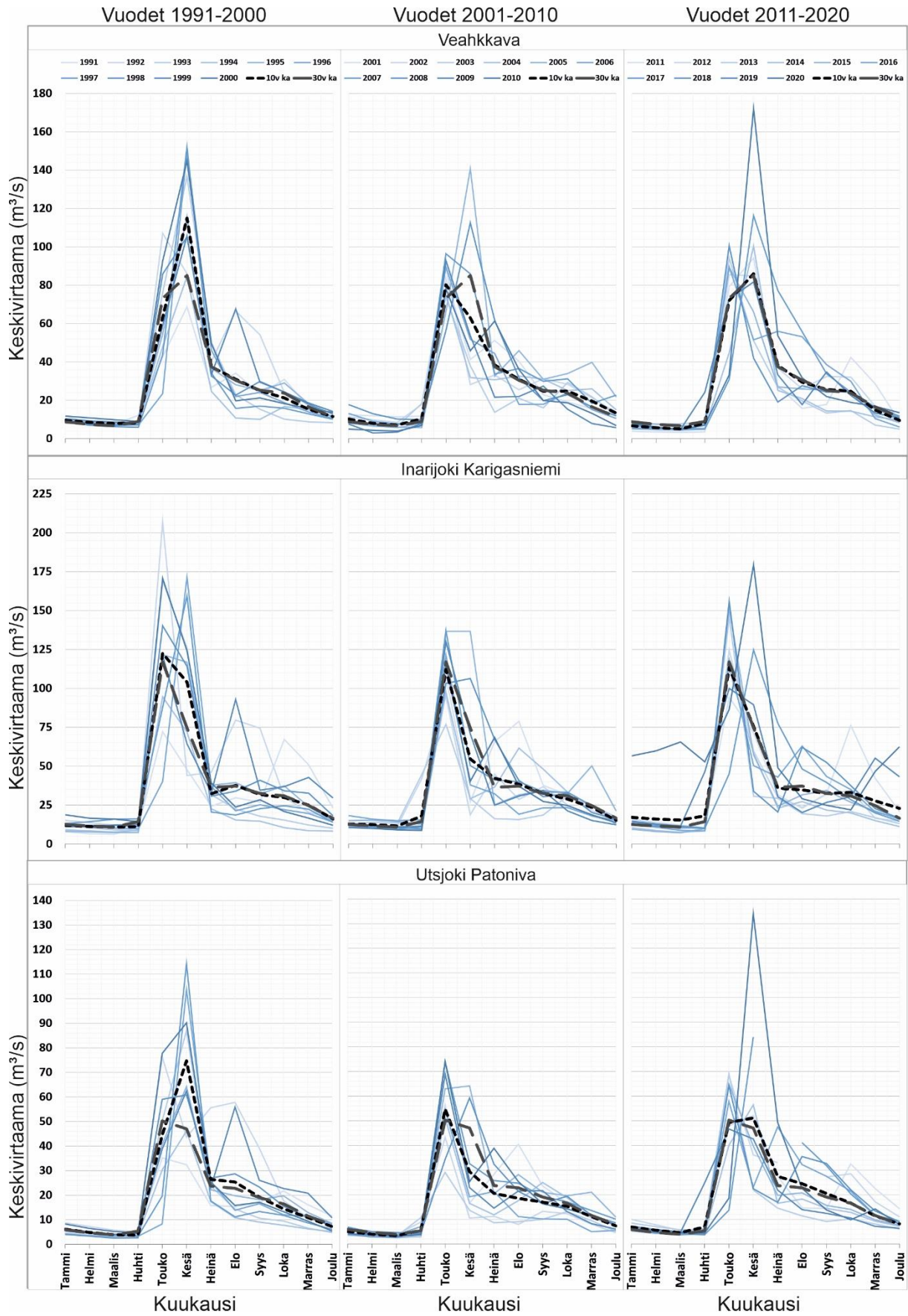
Kuva 10. Vuosittaiset alivirtaamat Tenojoen valuma-alueen mittausasemilla.

Kuukausikeskiarvot vaihtelivat mittauspisteittäin. Tenojoessa Tammi–Maaliskuun keskiarvot olivat noin 30–60 m<sup>3</sup>/s mittauspisteestä riippuen (kuva 11). Kaikissa mittauspisteissä virtaamat ovat alhaisimmillan Tammi–Maaliskuussa. Kevättulva on keskimäärin Touko–Kesäkuussa ja Heinäkuusta-Joulukuuhun virtaamakeskiarvot laskevat tasaisesti talvea kohden. Inarijoki Karigasniemellä toukokuu on kuukausista keskimäärin runsasvetisin. Kevättulvan aiheuttamat suuret virtaamat mitataan osuvat siis keskimäärin toukokuulle. Muilla asemilla runsasvetisin kuukausi on ollut keskimäärin kesäkuu, mutta myös toukokuu näyttäytyy runsasvetisenä muihin kuukausiin verrattuna. Kevättulvan suuret virtaamat ajoittuvat kuukausien vaihteeseen.

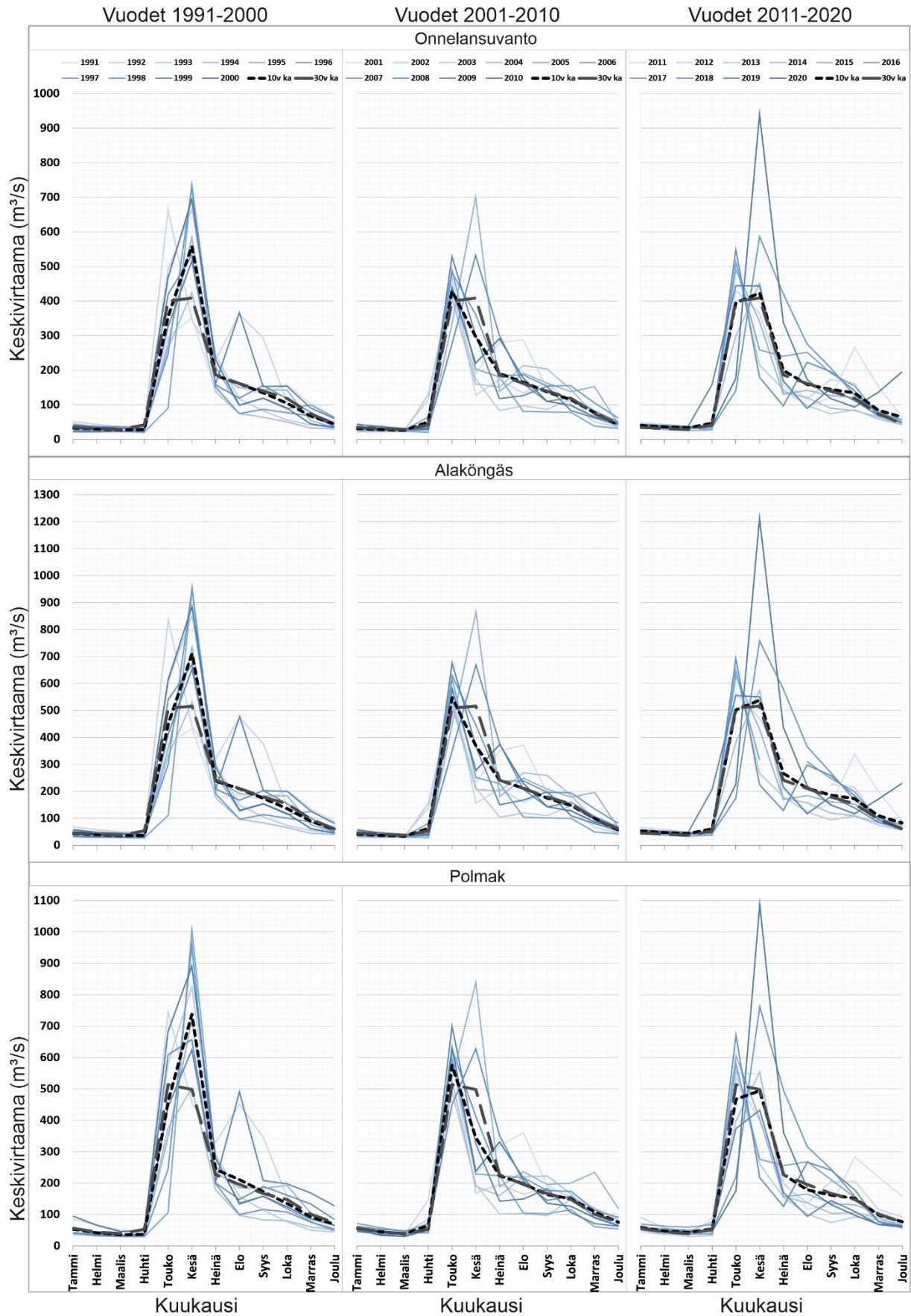


Kuva 11. 30 vuoden virtaaman kuukausikeskiarvot Tenojoen valuma-alueen mittausasemilla

Vuodenkierrat ovat vaihdelleet tutkimusajanjakson aikana. Vaihtelu on ollut melko samanlaista kaikilla mittausasemilla (kuva 12; kuva 13). Alkuvuosi (tam–huh) on ollut koko tutkimusajanjaksolla melko samanlainen. Myös virtaamien nousu on alkanut kaikkien vuosikymmeninä tasaisesti vasta huhtikuun jälkeen. Toukokuun ja kesäkuun virtaamakeskiarvoissa on enemmän vaihtelua ja keskiarvoissa näkyy kevättulvan siirtyminen kesäkuulta toukokuulle. Loppuvuotta (hei–jou) kohti keskivirtaamat laskevat tasaisesti. Vaihtelu keskiarvoissa on kuitenkin kasvanut kahden viimeisen vuosikymmenen aikana ensimmäiseen vuosikymmeneen verrattuna. Vuoden 2020 poikkeuksellisen runsas tulva näkyy kaikilla mittauspisteillä. Inarijoki Karigasniemen asemalla vuoden 2020 tulva ei kuitenkaan ole ollut koko tutkimusjakson suurin. Kaikilla muilla mittausasemilla 2020 tulvahuippu on ollut koko tutkimusajanjakson suurin ja se näkyy myös 10 vuoden keskiarvossa.



Kuva 12. Tenojoen latvajokien Kaarasjoen ja Inarijoen sekä sivujoki Utsjoen vuosittainen virtaamavaihtelu 10 vuoden sarjoissa 30 vuoden ajalta.



Kuva 13. Tenojoen alajuoksun mittausasemien virtaamavaihtelu 10 vuoden sarjoissa 30 vuoden ajalta.



Kevättulvan viikoittaisen etenemisen seurannassa näkyy hyvin vuosittaiset ja vuosikymmenten väliset erot. Tulvat ovat edenneet melko samanaikaisesti kaikilla mittausasemilla (kuva 14; kuva 15). Myös muutokset 10 vuoden keskiarvoissa noudattelevat samanlaista kaavaa. Ensimmäiset 10 vuotta tulvat ovat keskimäärin olleet huipussaan jaksolla 4.–10.6. ja sitä edeltävällä viikon mittaisella jaksolla. 30 vuoden keskiarvoon verrattuna tulvat ovat silloin tulleet keskimääräistä myöhemmin. Ensimmäiset 10 vuotta kevättulva on siis tullut keskimäärin myöhemmin kuin kahtena seuraavana vuosikymmenenä.

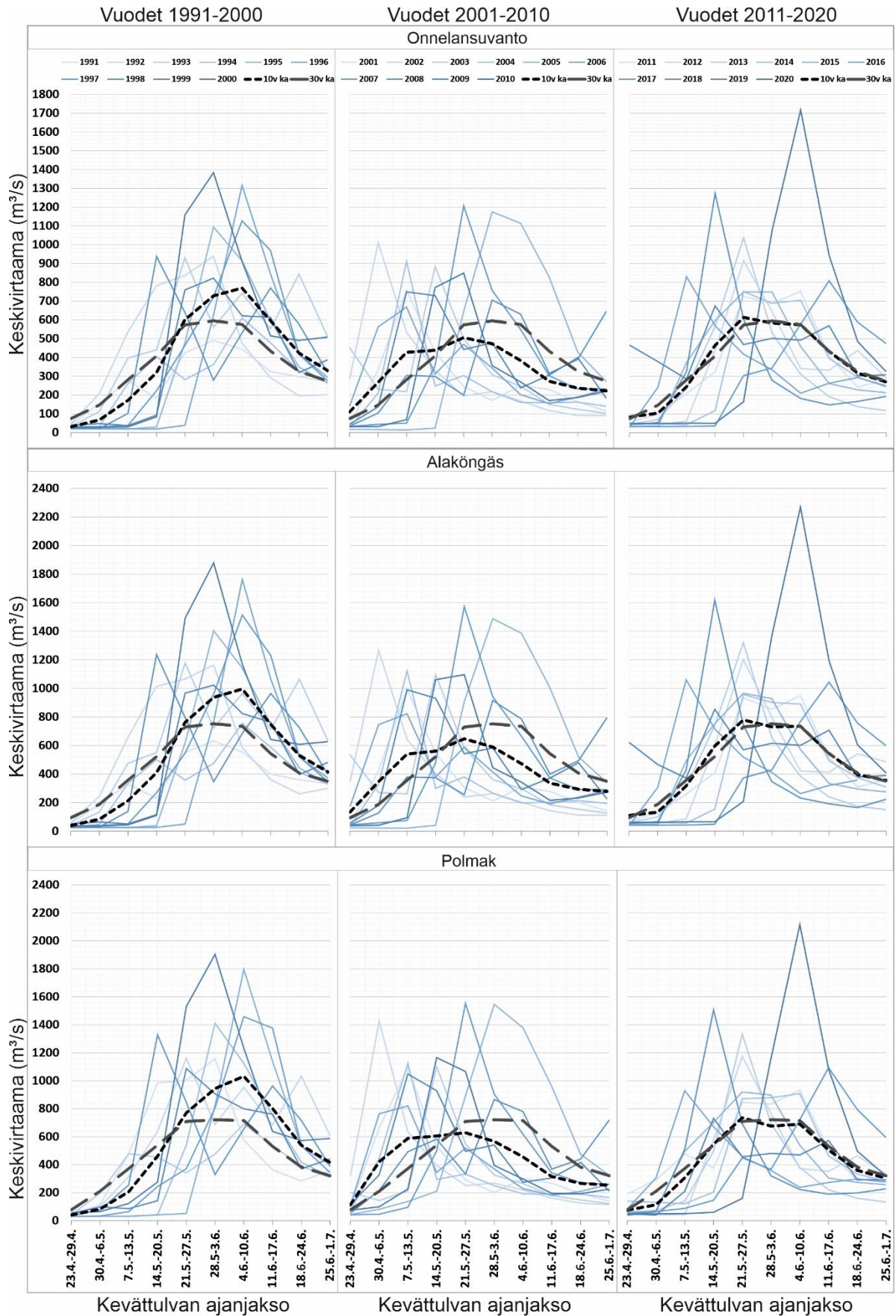
Toisen ja kolmannen vuosikymmenen aikana tulvat ovat tulleet keskimäärin jaksolla 21.–27.5. (kuva 14; kuva 15). Kun verrataan 10 vuoden keskiarvoa 30 vuoden keskiarvoon, näkyy tulvan painopisteen siirtyminen aiemmille viikoille. Erityisesti toisen vuosikymmenen kuvaajista näkyy, kuinka 10 vuoden keskiarvokäyrä on 30 vuoden keskiarvoon nähden selvästi edellä. Kolmannen vuosikymmenen keskiarvoon vaikuttaa selvästi vuoden 2020 poikkeuksellinen tulvapiikki. Tulvapiikki siirtää 10 vuoden keskiarvoa myöhemmäksi, sillä 2020 vuoden tulvahuippu on ajoittunut jaksolle 4.–10.6. Vuosien 2011–2020 keskiarvo on hyvin lähellä koko tutkimusajanjakson keskiarvoa.

Virtaamissa on vain vähän spatiaalista vaihtelua. Ainoastaan Inarijoki Karigasniemen asemalla tulvan siirtyminen ei näy 10 vuoden kuvaajista niin selkeästi, kuin muiden mittausasemien kuvaajista (kuva 14). Ensimmäisen tutkimusvuosikymmenen aikana tulvahuiput ovat painottuneet jaksolle 21.–27.5. . 10 vuoden keskiarvokäyrä painottuu kuitenkin 30 vuoden keskiarvoon nähden myöhemmäksi. Veahkkavan asemalla vuosittaiset keskivirtaamat ovat vaihdelleet vuosittain, mutta kuvaajan perusteella ei ole havaittavissa nousevaa tai laskevaa trendiä.

Virtaamakuvaajien perusteella kevättulva on siirtynyt Tenojoessa ja sen sivuhaaroissa keskimäärin kahdella viikolla eteenpäin. Tulvan siirtyminen on nähtävissä 10 vuoden keskiarvojen muutoksena (kuva 14; kuva 15). Muutosta on tapahtunut erityisesti ensimmäiseen 10 vuoden jaksoon nähden, jolloin tulva on esiintynyt 30 vuoden keskiarvoon ja kahden seuraavan vuosikymmenen keskiarvoihin nähden selvästi myöhemmin. Tulvahuippujen ajankohdat ovat vaihdelleet tutkimusajanjakson aikana (Liite 1 Tulvahuippujen päivämäärät vuosittain. Huomionarvoista on, että vuosina 1999 ja 2001 tulvahuiput ovat olleet osalla asemista kevään sijasta syksyllä.



Kuva 14. Tenojoen latvajokien Kaarasjoen ja Inarjoen, sekä sivujoki Utsjoen kevättulvan viikoittainen eteneminen vuosittain 30 vuoden ajalta 10 vuoden jaksoihin jaettuna.



Kuva 15. Kevättulvan viikoittainen eteneminen Tenojoen alajuoksulla vuosittain 30 vuoden ajalta 10 vuoden jaksoihin jaettuna.

Kun tarkastellaan viikoittaista kehitystä, on mittauspisteiden välillä hieman enemmän eroavaisuuksia. Kuvassa 16 on viikoittainen virtaamakeskiarvon kehitys valituilla tulvaviikoilla. Virtaamat on esitetty anomaliana, eli erotuksena 30 vuoden keskiarvoon verrattuna. Trendiviivoja tarkastellessa Veahkkavan asemalla kolmella ensimmäisellä kevättulvan viikonmittaista jaksolla ei ole tapahtunut huomattavaa muutosta ( $k < 0,5$ ,  $k > -0,5$ ) (Kuva 16). Jaksoilla 14.–20.5. ja 21.–27.5. keskiarvot ovat olleet lievässä nousussa ( $k > 0,5$ ). Neljällä seuraavalla jaksolla keskiarvot ovat laskeneet ( $k < -0,5$ ). Jaksolla 25.6.–1.7. keskiarvoissa on ollut hienoista laskua, mutta trendiviivan mukaan lasku on ollut kuitenkin todella pientä ( $k = -0,2268$ ). Suurin nousu

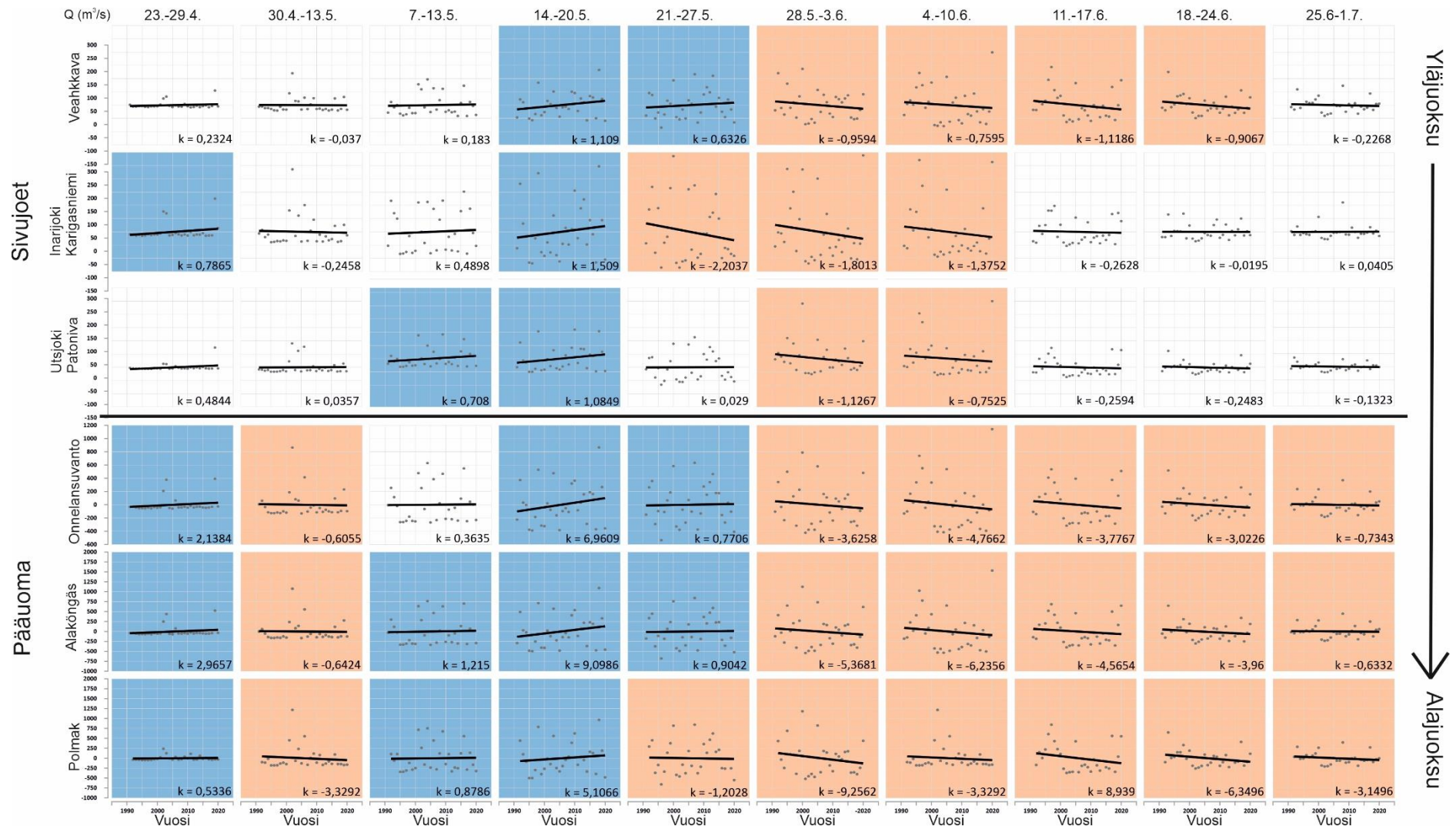
Inarijoki Karigasniemen asemalla jaksolla 23.–29.4. on keskiarvoissa havaittavissa lievää nousua ( $k = 0,7865$ ) (kuva 16). Keskiarvoja tarkasteltaessa nousu selittyy kuitenkin vuoden 2020 korkealla keskiarvolla. Seuraavat kaksi jaksoa ovat olleet tasaisempia. Jakson 14.–20.5. virtaamakeskiarvoissa on ollut selkeää nousua. Kolmella seuraavalla jaksolla keskiarvot ovat selvästi laskeneet. Kolmella viimeisellä jaksolla keskiarvoissa ei ole ollut huomattavaa muutosta.

Utsjoki Patonivan asemalla kahden ensimmäisen jakson aikana ei virtaamakeskiarvoissa ole tapahtunut huomattavaa muutosta (kuva 16). Kahdella seuraavalla jaksolla on taas ollut selvää nousua. 21.–27.5. virtaamissa ei ole tapahtunut huomattavaa muutosta. Kahdella seuraavalla jaksolla virtaamat ovat olleet laskussa ja kolmella seuraavalla jaksolla ei ole tapahtunut huomattavaa muutosta.

Alajuoksulla Onnelansuvannon, Alakönkään ja Polmakin asemilla viikoittainen kehitys on ollut asemien kesken melko samanlaista ja kaikilla valituilla jaksoilla on tapahtunut huomattavaa muutosta ( $k > 0,5$ ,  $k < -0,5$ ) (kuva 16). Ensimmäisellä jaksolla on keskiarvoissa ollut nousua, toisella taas laskua. Kolmannella jaksolla Onnelansuvannon virtaamakeskiarvon muutos ei ole ollut huomattavaa, mutta Alakönkään ja Polmakin asemalla keskiarvot ovat nousseet.

Kaikilla asemilla keskiarvoissa näkyy selvää nousua jaksolla 14.–20.5. Selvää keskiarvojen laskua on taas jaksoilla 28.5.–3.6. ja 4.–10.6 (kuva 16). Alajuoksulla pääuoman asemilla muutostrendit ovat koko tulvajaksolla selkeämpiä kuin sivujoissa.





Kuva 16. Virtaaman viikkokeskiarvon 30 vuoden muutos valittujen tulvaviikkojen aikana. Yhdellä rivillä on yhden aseman tulvaviikkojen kehitys viikoittain. Asemat on lueteltu järjestyksessä yläjuoksulta alajuoksulle. Sininen väri tarkoittaa, että virtaamatrendi on nouseva ( $k > 0,5$ ) ja oranssi väri tarkoittaa, että trendi on laskeva ( $k < -0,5$ )

## 5.2.2 Virtaamatrendit

Koko ajanjakson trenditesteissä virtaamissa oli havaittavissa tilastollisesti merkitseviä trendejä (taulukko 5). Veahkkavan asemalla virtaamissa on ollut laskua (slope = -0,0001). Muilla asemilla virtaamat ovat kasvaneet hieman. Kasvu on ollut vähäistä, mutta tilastollisesti merkitsevää.

Taulukko 5. Virtaamatrendit Tenojoen valuma-alueen mittausasemilla (p=0,05)

	<b>Veakkava</b>	<b>Inarijoki Karigas- niemi</b>	<b>Utsjoki Patoniva</b>	<b>Onnelan- suvanto</b>	<b>Alaköngäs</b>	<b>Polmak</b>
<b>trendin suunta</b>	laskeva	nouseva	nouseva	nouseva	nouseva	nouseva
<b>trendi</b>	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä
<b>p-arvo</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>z</b>	-64,86	47,26	56,58	72,50	72,78	67,75
<b>Kendall Tau</b>	-0,41	0,30	0,36	0,46	0,46	0,43
<b>s</b>	-2,47E+7	1,76E+7	2,07E+7	27719818,0	27827048,0	25342551,0
<b>var_s</b>	1,46E+11	1,40E+11	1,33E+11	1,46E+11	1,46E+11	1,40E+11
<b>Sen's Slope</b>	-0,0001	0,00009	0,0008	0,001	0,0004	0,001
<b>intercept</b>	16,90	9,51	92,14	65,58	17,88	85,58

Koko aineiston lisäksi trenditestit tehtiin vuosikeskiarvoille ja kuukausikeskiarvojen muutokselle ja kevättulvan viikkojen keskiarvon muutokselle. Vuosikeskiarvoista ei löytynyt trendejä (Liite 2 Vuosittaisten virtaamakeskiarvojen trendit mittauspisteittäin). Kuukausikeskiarvojen muutoksista sen sijaan havaittiin tilastollisesti merkitseviä trendejä (Liite 3 Vuosittaisten kuukausikeskiarvojen muutostrendit mittauspisteittäin). Veahkkavan asemalla virtaamissa oli laskeva trendi tammi-, helmi ja maaliskuussa. Inarijoki Karigasniemen ja Utsjoki Patonivan asemalla trendejä ei havaittu. Onnelansuvannossa nouseva trendi havaittiin tammi-huhtikuussa ja joulukuussa, Alakönkällä taas helmi-huhtikuussa ja joulukuussa. Polmakissa virtaamakeskiarvoissa oli nouseva trendi helmikuussa ja maaliskuussa. Tulvaviikkojen keskiarvoista ei löytynyt trendejä tutkimusajanjaksolla (Liite 4 Tulvaviikkojen viikkokeskiarvojen muutostrendit mittauspisteittäin).

## 6 Keskustelu

### 6.1 Sääaineistojen trendit ja yhteydet ilmastonmuutokseen

Sääaineistosta voidaan havaita trendejä kaikista tutkittavista muuttujista. Keskilämpötilan nouseva trendi on tutkimusasemien kesken yhtenevä ja se on tilastollisen testin mukaan merkitsevä. Tutkimustulos on samansuuntainen Suomessa havaittujen ja arktisen alueen trendien kanssa. Keskilämpötilan on havaittu kasvaneen Suomen olosuhteissa viimeisen vuosisadan aikana (Jylhä ym. 2004). Lämpötilan nousu ei ole yhtä voimakasta, kuin arktisen alueen lämpeneminen voimakkaimmillaan, mutta samalla se vastaa arktisen alueen alueellista vaihtelua (Isaksen ym. 2022; Rantanen ym. 2022).

Yläjuoksulla sademäärässä ei havaittu trendiä ja alajuoksulla taas nouseva trendi. Tulos on osin ristiriitainen, sillä sadannan on ennustettu kasvavan niin Suomen olosuhteissa kuin arktisella alueellakin (Arctic Council 2021; Jylhä ym. 2004). Toisaalta aiemminkin tilastollisesti merkitsevien yhtenäisten trendien havaitseminen on ollut haastavaa voimakkaan alueellinen vaihtelun vuoksi (Tuomenvirta 2004). Erisuuntaiset trendit voivat myös johtua ilmasto-olosuhteiden erilaisuudesta. Alajuoksulle päin mentäessä meren vaikutus kasvaa. Meren läheisyys lisää ilmankosteutta ja sademäärää. Lumensyvyuden laskeva trendi eroaa muista tutkimustuloksista ja ennusteista. Lähitulevaisuudessa lumensyvyuden on ennustettu kasvavan sadannan vuoksi, mutta vähenevän pidemmällä aikavälillä ilmaston lämpenemisen vuoksi (Silander ym. 2006). Lumensyvyyttä tosin koskee sama alueellinen vaihtelu, kuin sadantaakin. Tämän vuoksi yhteneviä trendejä voi olla vaikeaa havaita. Ylipäätään lumensyvyuden muutosta on tutkittu ja ennustettu vähemmän, kuin lämpötilan ja sademäärän muutoksia.

Säähavaintojen perusteella Tenojoen valuma-alueen muutokset eivät vastaa täysin Suomen keskimääräisiä muutostrendejä, mutta ne eivät noudattele myöskään täysin arktisia trendejä. Tämän tutkimuksen perusteella todelliset olosuhteet ovat jotain näiden kahden väliltä. Lämpötilan kasvun, sademäärän osalta havainnot ja trendit vastaavat Suomessa havaittuja trendejä. Keski- maksimi- ja minimilämpötiloissa on huomattu kasvava trendi ja sademäärässä ei ole havaittu maanlaajuista yhtenevää trendiä (Tuomenvirta 2004). Suomen ja arktisen alueen ilmastoskenaarioissa samanlaisten trendien on ennustettu jatkuvan (Jylhä ym. 2004; Veijalainen ym. 2012).

## 6.2 Tenojoen virtaamanmuutokset arktisten jokisysteemien ja ilmastonmuutoksen kontekstissa

Virtaamat ovat olleet hienoisessa nousussa Tenojoella vuosien 1991–2020 välisellä ajanjaksolla. Kaikilla muilla mittausasemilla, paitsi Veahkkavan asemalla virtaamat ovat nousseet hieman. Virtaamien nouseva trendi on linjassa aiempien tutkimusten kanssa. Virtaamissa on havaittu kasvua sekä arktisissa että Suomen olosuhteissa. Suomessa virtaamien kasvua on havaittu koko maassa, myös Jäämereen laskevissa joissa eri pituisilla tarkastelujaksoilla (Korhonen 2007). Pidemmän ajanjakson tutkimuksissa virtaamatrendeissä on huomattu kasvua arktisissa joissa (Feng ym. 2021). Tulokset osoittavat, että muutos on nähtävissä myös lyhyemmällä 30 vuoden tutkimusajanjaksolla. Toisaalta vaikka koko tutkimusaineistossa näkyi virtaamien kasvu, vuosikeskiarvojen perusteella ei havaittu tilastollisesti merkitsevää muutosta. Samanlaisia tuloksia on saatu myös pidemmällä aikavälillä (Korhonen & Kuusisto 2010).

Visuaalisen tarkastelun perusteella vuositason vaihtelu on jokseenkin riippuvainen sääaineistosta, sillä säähavainnoissa on havaittavissa samankaltaisuuksia virtaama-analyysien tuloksiin. Erityisesti havaitut vuosittaisen virtaamasyklin muutokset ovat selitettävissä säähavainnoilla ja ne ovat linjassa ilmastollisten trendien kanssa. Nousevat keskilämpötilat ja sademäärät vaikuttavat hydrologiseen kiertoon ja erot vuodenaikaisissa muutoksissa saavat aikaan muutoksia virtaamasyklissä. (Feng ym. 2021; Rantanen ym. 2022). Nousevan lämpötilan aiheuttama lumipeitteen väheneminen on vaikuttanut kevättulvan ajankohtaan ja intensiteettiin. Toisaalta lisääntynyt sadanta on nostanut virtaamia koko ajanjaksolla. Virtaaman kasvun trendi on samansuuntainen keskilämpötilan, maksimilämpötilojen ja sadannan trendin kanssa joen alajuoksulla. Aiemmat tutkimukset tukevat näitä löydöksiä. Virtaaman kannalta tärkein muuttuja on aiempien tutkimusten mukaan sadanta (Korhonen & Kuusisto 2010). Yläjuoksulla sadannan ja virtaaman yhteys ei ole niin selkeä. Sadannassa ei havaittu muutostrendiä tutkimusajanjaksolla. Veahkkavan asemalla, joka on lähimpänä yläjuoksun sääasemaa, havaittiin laskeva trendi ja toisessa Yläjuoksun sivuhaarassa taas nouseva trendi. Veahkkavan aseman eriävä trendi ja selkeä muutos minimivirtaamissa voi viitata esimerkiksi säännöstelyn aloittamiseen.

Vuosikeskiarvojen perusteella mikään tutkituista mittausasemista ei juurikaan erotu erilaisuudellaan, vaan kaikki tutkituista asemista noudattelevat samanlaisia vuosien välisiä vaihteluita. Huippuvirtaamien väliset erot ovat selitettävissä sillä, että huippuvirtaamat riippuvat todennäköisesti enemmän alueellisista tekijöistä ja lähialueen vallitsevasta säätilasta (Leopold ym. 2020). Huippuvirtaamien väliset erot voivat johtua edellisen talven alueellisesta lumitilanteesta ja sadannan määrästä (Veijalainen ym. 2012). Esimerkiksi vuosi 1994 on ollut vähäsateinen ja lumensyvyyskin on ollut keskiarvoa alhaisemmalla tasolla. Kyseisen vuoden ylivirtaama on jokaisella mittauspisteellä muihin vuosiin verrattuna alhainen.

Alivirtaamissa on myös enemmän vaihtelua, eikä asemien välillä ole selkeitä yhteyksiä. Alakönkään ja Onnelansuvannon asemien alivirtaamat näyttävät noudattelevan samanlaista vuosittaista vaihtelua, mutta Polmakin alivirtaamissa on näihin verrattuna enemmän vaihtelua. Tämä on mielenkiintoista sillä Alakönkään asema on verraten lähellä Polmakin asemaa. Erot voivat johtua mittausteknisistä seikoista tai aineiston laadusta. Toisaalta myös mittauskohdan virtausolosuhteet, ympäristölliset seikat, kuten paikallinen säätila, osavaluma-alueen ominaisuudet voivat vaikuttaa virtaaman suuruuteen (Charlton 2008 ss. 25–30). Ylä- ja alajuoksun alivirtaamien erot voivat riippua siitä, onko alivirtaama mitattu kesällä vai talvella. Jos kevättulva on tullut aikaisin, voivat sitä seuraavat kevät ja kesä olla erityisen vähävetisiä (Korhonen & Kuusisto 2010). Myös haihdunnan lisääntyminen lisää kuivan kesän mahdollisuutta (Veijalainen ym. 2012).

Vuosittaisten yli- tai alivirtaamien välillä ei näytä olevan selkeää keskinäistä yhteyttä. Joidenkin vuosien, kohdalla näkyy pientä yhteneväisyyttä, mutta aineistojen perusteella tätä ei voida todentaa. Toisaalta myös yli- ja alivirtaamien välillä voi olla yhteys, jos talvi on ollut runsasluminen, mutta kevät tulee aikaisin ja on lämmin ja kuiva. Tällöin huippuvirtaamat voivat olla korkeita ja kevät ja kesä erityisen vähävetisiä (Silander ym. 2006). Kyse voi kuitenkin olla myös pelkästä sattumasta. On myös huomioitava, että puutteet virtaama-aineistoissa voivat joidenkin vuosien osalta vääristää keskiarvojen, maksimien ja minimien suhdetta. Muutamankin päivän katkokset voivat vaikuttaa maksimi ja minimiarvoihin, jos katkos sattuu osumaan huippuvirtaaman tai alimman virtaaman ajankohtaan.

Kuukausivertailussa näkyy kevättulvan merkityksen väheneminen Tenojoen vuosisyklissä. Virtaamakuvaajien välillä on havaittavissa selvää vuosikymmenten välistä eroavaisuutta. Samalla kun kevättulvat ovat siirtyneet aikaisemmaksi tulvahuiput ovat pienentyneet. Näiden huippuarvojen pienentyminen ei suoraan kerro vesimäärän virtaamien vähentymisestä, mutta se voi olla merkki muutoksesta. Samanlaisia trendejä on huomattu myös aiemmissa tutkimuksissa. Suomen jokien virtaama- ja tulvakehityksen ennusteissa on myös ennustettu samanlaista trendiä tulevaisuudessa. Aiemmin on huomattu, että kevättulvien huiput ovat pienentyneet Pohjois-Suomen joissa (Irannezhad ym. 2022). Lumien sulamisesta ja jäiden lähdöstä johtuva kevättulva on vielä tällä hetkellä arktisten jokien vuodenaikaiskierron hallitsevin piirre ja sen aikana tapahtuu suurin osa joen geometrian vuotuisesta muutoksesta (Lotsari ym. 2010). Kevättulvan väheneminen saattaa vähentää alueellista tulvariskiä, mutta samalla, kun virtaamat lisääntyvät kokonaisuudessaan, eroosion ja kuljetuksen määrän on ennustettu kasvavan. Kevättulvan siirtymisen merkitys ei rajoitu pelkästään paikallisiin vaikutuksiin. Arktisen alueen näkökulmasta kevättulvan aiheuttama makeanveden pulssi näkyy keväisin pohjoisella Jäämerellä ja sillä on vaikutuksia Jäämeren termohaliinikiertoon. Jäämeren kautta arktisen alueen vesitalous on yhteydessä globaaliin veden kiertokulkuun. Makean veden pulssin siirtyminen ja vesimäärän väheneminen voivat muuttaa veden kiertoa myös Jäämerellä ja globaalisti (Feng ym. 2021).

Virtaamien vaihtelu on lisääntynyt syksyisin. Kahden viimeisen vuosikymmenen aikana syksyissä on ollut enemmän vaihtelua, verrattuna tutkimuksen ensimmäiseen vuosikymmeneen. Näiden tulosten perusteella ei kuitenkaan voida puhua varsinaisesta muutostrendistä. Syksyn virtaamissa ei ole havaittu muutostrendiä myöskään pidemmällä tutkimusjaksolla (Korhonen & Kuusisto 2010). Syksyn virtaamien on ennustettu kuitenkin kasvavan tulevaisuudessa (Veijalainen ym. 2012). On ennustettu, että erityisesti pienemmissä joissa koko vuoden kierto saattaa muuttua niin, että huippuvirtaamat mitataan syksyllä (Korhonen 2007). Tämä on todennäköisempää Etelä-Suomen olosuhteissa, mutta kun otetaan huomioon ilmastolliset erot Tenojoen ylä- ja alajuoksun välillä, voi olla mahdollista, että yläjuoksun pienemmissä joissa syksyllä esiintyvät tulvahuiput yleistyvät. Tutkimusajanjaksolla kahtena vuonna tulvahuippu on kevään sijaan ollut syksyllä.

Vuosittaisesta kevättulvatarkastelusta on nähtävissä kevättulvan siirtyminen aikaisemmaksi noin 2 viikolla. Aikaisemmissa tutkimuksissa on huomattu samansuuntaisia trendejä. Tulvahuippu on pidemmän ajanjakson seurannassa siirtynyt noin 1-8 päivää vuosikymmenessä (Korhonen & Kuusisto 2010). Kevättulvan siirtymistä selittävät keskilämpötilan nousu,

pakkaspäivien vähentyminen, lumipeitteen vähentyminen ja jäidenlähdön aikaistuminen (Veijalainen ym. 2012). Viikoittaisessa trenditarkastelussa kuvaajista on nähtävissä viikot, joina virtaama on keskimäärin noussut tai laskenut. Tilastollinen testi ei kuitenkaan havainnut tilastollisesti merkitseviä trendejä. Testituloksessa epävarmuutta aiheuttavat kuitenkin, että aikasarjat ovat lyhyitä ja niissä on vain vähän havaintoja. Tilastollisesti merkitsevien trendien havaitseminen on ollut haastavaa myös muissa tutkimuksissa. Arktisen alueen jokien virtaamisessa on havaittu kasvua, mutta se ei ole ollut tilastollisesti merkitsevää (Arctic Council 2021). Kun huomioidaan ilmastollisten olosuhteiden aiheuttamat muutokset hydrologisessa kierrossa viimeisen ilmastokauden aikana, on kevättulvan siirtymisen trendi kuitenkin erittäin todennäköinen.

Viikoittaisissa muutoksissa on myös ylä- ja alajuoksun välistä eroavaisuutta. Eroavaisuus voi olla yhteydessä alueen sisäisiin ilmastollisiin eroihin. Tämä voi näkyä tulevaisuudessa suurempina muutoksina ja eroina valuma-alueen sisällä. Tenojoen alajuoksulla virtaamien kasvu voi tulevaisuudessa näkyä voimakkaammin kuin yläjuoksulla. Koska ilmastolliset muutokset ovat erilaisia joen ylä- ja alajuoksulla, voi tämä myöhemmin näkyä Tenojoen ja koko valuma-alueen toiminnassa. Valuma-alueen sisäisten suhteiden muutokset voivat aiheuttaa eroja muuallakin. Muutostrendejä voi olla vaikeampi tunnistaa ja ne eivät välttämättä ole linjassa yleisten trendien kanssa. Aiemmin on huomattu, etteivät arktisten jokien muutostrendit ole aina linjassa keskenään (Feng ym. 2021). Valuma-alueen ominaisuudet voivatkin vaikuttaa siihen, millaisina yleiset trendit näyttäytyvät.

Vuoden 2020 tulva on ollut poikkeuksellinen 30 vuoden tutkimusajanjakson aikana. Tulva on ollut niin suuri, että se vaikuttaa 10 vuoden keskiarvoon. Vuoden 2020 tulva voi olla esimerkki yleistyvistä ääri-ilmiöistä (Arctic Council 2021). Vaikka yleinen trendi kevättulvien osalta olisikin aikaistuva ja virtaamiltaan laskeva, voivat vuoden 2020 kaltaiset tulvat hankaloittaa ennustettavuutta. Lisäksi virtaaman vaihteluita tarkasteltaessa on huomioitava, että osa vaihtelusta voi johtua syklisyydestä. Virtaamanvaihteluissa on huomattu lyhyemmän ajan, noin 2–6 vuoden ja pidemmän ajan, noin 25–30 vuoden syklisyyttä (Leopold ym. 2020 s. 62). Mahdollisuutta siihen, että tässä tutkimuksessa havaitut virtaaman muutostrendit olisivat yhteydessä tähän lyhyen ajan syklisyyteen, ei voida tämän tutkimuksen perusteella täysin poissulkea. Toisaalta, kun huomioidaan yleiset trendit, ja se, että aikaisempien ilmastojaksojen trendit ovat olleet saman suuntaisia, voidaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia pitää erittäin todennäköisenä.

Arktisten jokien näkökulmasta Tenojoen valuma-alueen muutokset ovat voimakkuudeltaan keskiluokkaa. Esimerkiksi Euraasiassa sijaitsevien Lenan ja Kolyman, sekä Pohjois-Amerikassa sijaitsevan Yukon virtaamat ovat kasvaneet enemmän, kuin Tenon (Arctic Council 2021). Sen sijaan esimerkiksi lähellä sijaitsevan Pechoran ja Pohjois-Amerikan Mackeinzien valuma-alueen virtaamat ovat kasvaneet vähemmän (Arctic Council 2021; Vesakoski ym. 2017). Euraasian suurilla arktisilla valuma-alueilla virtaamat ovat kasvaneet hieman enemmän, kuin Pohjois-Amerikan valuma-alueilla (Feng ym. 2021).

Arktisten jokien tulevaisuuden suunnan määrittää ilmastonmuutoksen eteneminen. Tutkimukset ovat antaneet viitteitä siitä, että ilmastonmuutos ja arktinen amplifikaatio ovat jo saaneet aikaan muutoksia arktisen alueen vesitaloudessa (Arctic Council 2021; Feng ym. 2021). Pitkien pakkasjaksojen väheneminen ja arktiselle alueelle epätyypilliset lämpöjaksot ovat saaneet aikaan lumisen ajan lyhentymistä, sadannan lisääntymistä, virtaamien kasvua ja kevättulvan siirtymistä Tenojoen valuma-alueella. Ennusteiden mukaan keskilämpötilat jatkavat kasvuaan, mikä tarkoittaa arktisten jokiympäristöjen näkökulmasta yhä suurempia muutoksia alueen vesitaloudessa. Virtaamat jatkavat kasvuaan ja tulvat muuttuvat. Arktisten jokisysteemien muutokset vaikuttavat paikallisesti ympäristöllisiin piirteisiin ja toisaalta myös paikallisten asukkaiden elämiseen, elinkeinoin ja infrastruktuuriin. Lisäksi virtaamasyklin muutokset voivat vaikuttaa globaaliin vesitalouteen.

Tenojoen virtausolosuhteiden muutostutkimusta tulisi sitoa vahvemmin arktiseen kontekstiin. Useat aiemmat tutkimukset ovat keskittyneet vertailemaan ja ennustamaan muutoksia Suomen olosuhteissa. Muutosten alueelliset erot on tunnistettu, mutta niitä on harvoin pohdittu osana laajempaa arktisen alueen kokonaisuutta. Yleistykset koko Suomen mittakaavassa eivät välttämättä aina kuvaa kovinkaan hyvin arktisen Tenojoen muutoksia. Lisäksi Tenojoen muutosten vaikutukset näkyvät koko arktisen alueen vesitaloudessa. Vaikka Tenojoen valuma-alue on arktisten jokien näkökulmasta pieni, eikä sen muutokset ole kaikkein suurimpia, on sen muutosten arviointi tärkeää arktisen vesitalouden kokonaisuutoksen arvioimiseksi. Arktisten jokisysteemien tulevaisuuden suuntaan vaikuttaa ilmastonmuutoksen eteneminen ja arktisen amplifikaation alueellinen voimakkuus. Tarvitaan kuitenkin vielä lisää tutkimusta virtausolosuhteiden vaikutuksista, niiden muutoksista, jotta jokiympäristöjen muutosnopeutta, resistanssia ja resilienssiä voidaan ymmärtää paremmin ilmastonmuutoksen kontekstissa. Arktisen alueen ilmastonmuutoksen etenemisen ennustaminen on osoittautunut vaikeaksi ja ilmastomalleissa on vielä paljon epävarmuuksia. Epävarmuuksien minimointi ja mallien kehittyminen auttavat tulevaisuudessa muutosten ennustamisessa.



## 7 Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa tutkittiin Tenojoen virtaaman ja virtausolosuhteiden muutoksia vuosina 1991–2020. Tutkimuksen tuloksista voidaan todeta seuraavaa:

30 vuoden tarkastelussa virtaamissa on havaittavissa vuosittaista vaihtelua. Vuosikeskiarvojen tai yli- ja alivirtaamien perusteella ei ole havaittavissa tilastollisia trendejä. Koko 30 vuoden aikasarjan tilastollisen tarkastelun perusteella virtaamat ovat kuitenkin kasvaneet kaikilla muilla asemilla, paitsi Veahkkavan mittausasemalla. Tulos on tilastollisesti merkitsevä. Kevättulva on siirtynyt tarkasteluajanjakson aikana keskimäärin 1–2 viikolla aikaisemmaksi mittausasemasta riippuen. Tilastollinen tarkastelu ei osoittanut tilastollisesti merkitsevää muutosta, mutta kuvaajatarkastelussa havaittu virtaamien muutostrendi on linjassa aikaisempien tutkimusten tulosten kanssa.

Säähavaintojen ja virtaamien välillä on havaittavissa mahdollisia yhteyksiä. Tämän tutkimuksen perusteella virtaaman muutokset ovat todennäköisesti yhteydessä sademäärän muutoksiin ja keskilämpötilan nousuun. Erityisesti kokoaineiston trenditestit paljastavat samansuuntaiset trendit keskilämpötilojen nousun, vuosimaksimien nousun ja virtaamien kasvun välillä. Tutkielman tulokset osoittavat, että ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät arktisten alueen jokien virtaamissa myös lyhyemmällä 30 vuoden tarkastelujaksolla. Joen virtaamaolosuhteet voivat muuttua hydrologisen kierron muutosten seurauksena 30 vuoden ilmastojaksolla niin paljon, että sen näkyä virtaamatrendeissä ja keskiarvotarkasteluissa.

Olettaen, että edellisen ilmastojakson muutokset heijastelevat tulevaisuuden suuntaa, tulevat arktiset jokisysteemit muuttumaan nopeasti ja ratkaisevasti. Tenojoen vuodenaikaiskierto muuttuu niin, että kevättulvan merkitys vähenee ja muiden tulvien merkitys kasvaa. Kevättulva siirtyy aikaisemmaksi noin 1,5 viikkoa vuosikymmenessä. Vuodet runsasvetistyvät lisääntyvän sadannan myötä. Ylä- ja alavirran suhde saattaa muuttua, sillä arktiset muutokset eroavat alempien leveyspiirien muutoksista. Ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät kuitenkin eniten virtaaman vuodenaikaisen jakauman muutoksena. Nämä ratkaisevat muutokset vesitaloudessa tulevat todennäköisesti muuttamaan myös valuma-alueen ja joen sisäisiä prosesseja. Tarvitaan kuitenkin vielä tarkempia ilmastomallinnuksia ja lisätutkimusta virtausolosuhteiden vaikutuksista ja muutoksista sekä jokiympäristöjen resistanssista ja resilienssistä, jotta arktisen alueen ilmastonmuutoksen vaikutuksia jokiympäristöihin voidaan ymmärtää paremmin.

## Kiitokset

Suuret kiitokset ohjaajilleni Petterille ja Mikelille kannustavasta ohjauksesta ja rakentavista kommentteista ja siitä, että johdattelitte minut virtavesitutkimuksen äärelle. Kiitokset äidilleni, vankkumattomasta tuesta ja tekstin kommentoinnista. Autoit minut näkemään tekstini uusin silmin. Kiitokset Villelle, kun autoit minua välttämään hermoromahduksen, ja pidit jalkani maassa koko graduprosessin ajan. Erityiskiitokset vielä Jokimimmeille työhuoneen railakkaasta tunnelmasta ja siitä, että sain vuodattaa teille tuntojani koko graduprosessin ajan.

## Lähteet

- Arctic Council (1998) *Chapter 2: Physical/Geographical Characteristics of the Arctic*. AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues 9–24.
- Arctic Council (2021a) *AMAP Arctic Climate Change Update 2021: Key Trends and Impacts, Summary for Policymakers*. Arctic Monitoring Assessment Programme (AMAP).
- Arctic Council (2021b) *AMAP Arctic Climate Change Update 2021: Key trends and Impacts*. Arctic Monitoring Assessment Programme (AMAP).
- Arktinen alue* (s. a.) Mikä ja missä on arktinen alue? 22.10.2022.  
<<https://www.arcticcentre.org/FI/arktinenalue#perus>>
- Arktisen alueen määritelmät* (s. a.) Arktisen alueen määritelmät. 4.12.2022.  
<<https://www.arcticcentre.org/FI/arktinenalue/maaritelma>>
- Brun, P., Zimmermann, N.E., Hari, C., Pellissier, L., Karger, D. (2022) Data from: CHELSA-BIOCLIM+ A novel set of global climate-related predictors at kilometre-resolution. *EnviDat*. <https://doi.org/10.16904/envidat.332>
- Brun, P., Zimmermann, N.E., Hari, C., Pellissier, L., Karger, D.N. (koevedos) Global climate-related predictors at kilometre resolution for the past and future. *Earth Syst. Sci. Data Discuss*. <https://doi.org/10.5194/essd-2022-212>
- Brutsaert, W. (2005) *Hydrology: an introduction*. Cambridge University Press, New York.
- Charlton, R. (2008) *Fundamentals of fluvial geomorphology*. Routledge, New York.
- CORINE Land Cover 2018. < <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=download>>
- Dai, A., Luo, D., Song, M., & Liu, J. (2019) Arctic amplification is caused by sea-ice loss under increasing CO<sub>2</sub>. *Nature Communications* 10(1) 121.  
<https://doi.org/10.1038/s41467-018-07954-9>
- Davie, T. (2008) *Fundamentals of hydrology*. 2. p. Routledge, New York.
- Ekholm, M. (1993) Suomen vesistöalueet. *Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisusarja — sarja A* 126.

- Feng, D., Gleason, C. J., Lin, P., Yang, X., Pan, M., & Ishitsuka, Y. (2021) Recent changes to Arctic river discharge. *Nature Communications* 12(1) 6917–6917.  
<https://doi.org/10.1038/s41467-021-27228-1>
- Fiorillo, F., Leone, G., Pagnozzi, M., & Esposito, L. (2021) Long-term trends in karst spring discharge and relation to climate factors and changes. *Hydrogeology Journal* 29(1) 347–377. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02265-0>
- Fryirs, K. A. (2017) River sensitivity: a lost foundation concept in fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms* 42(1) 55–70. <https://doi.org/10.1002/ESP.3940>
- Heinonen, P. (1974) *Vesiensuojelun ja vesistötutkimuksen perusteita*. Kunnallinen terveydenhoitoyhdistys, Helsinki.
- Hooke, J. M. (2008) Temporal variations in fluvial processes on an active meandering river over a 20-year period. *Geomorphology* 100(1) 3–13.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.04.034>
- Hussain, M., & Mahmud, I. (2019) pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of tests. *Journal of Open Source Software* 4(39) 1556.  
<https://doi.org/10.21105/joss.01556>
- Hyvärinen, V. (1977) Virtaama-aineiston tilastollinen analyysi, Statistical analysis of discharge data. Teoksessa Hyvärinen, V. (toim.) *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 22*. Valtion painatuskeskus, Helsinki.
- Irannezhad, M., Ahmadian, S., Sadeqi, A., Minaei, M., Ahmadi, B., & Marttila, H. (2022) Peak Spring Flood Discharge Magnitude and Timing in Natural Rivers across Northern Finland: Long-Term Variability, Trends, and Links to Climate Teleconnections. *Water* 14(8) 1312. <https://doi.org/10.3390/w14081312>
- IPCC (2021) Climate Change 2021: The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, New York. doi:10.1017/9781009157896.001.

- Isaksen, K., Nordli, Ø., Ivanov, B., Køltzow, M. A. Ø., Aaboe, S., Gjelten, H. M., Mezghani, A., Eastwood, S., Førland, E., Benestad, R. E., Hanssen-Bauer, I., Brækkan, R., Sviashchennikov, P., Demin, V., Revina, A., & Karandasheva, T. (2022) Exceptional warming over the Barents area. *Scientific Reports* 12(1) 9371. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13568-5>
- Jylhä, K., Tuomenvirta, H., & Ruosteenoja, K. (2004) Climate change projections for Finland during the 21st century. *Boreal Environment Research* 9(2) 127–152.
- Karger D.N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R.W., Zimmermann, N.E, Linder, H.P., Kessler, M. (2018) Data from: Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *EnviDat*. <https://doi.org/10.16904/envidat.228.v2.1>
- Karger, D.N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R.W., Zimmermann, N.E., Linder, P., Kessler, M. (2017) Climatologies at high resolution for the Earth land surface areas. *Scientific Data* 4(1) 170122. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- Klavins, M., & Rodinov, V. (2008) Long-term changes of river discharge regime in Latvia. *Hydrology Research* 39(2) 133–141. <https://doi.org/10.2166/nh.2008.033>
- Knighton, D. (2015) *Fluvial forms and processes : a new perspective* Routledge, New York.
- Korhonen, J. (2007) Suomen vesistöjen virtaaman ja vedenkorkeuden vaihtelut. *Suomen Ympäristö* 45.
- Korhonen, J., & Kuusisto, E. (2010) Long-term changes in the discharge regime in Finland. *Hydrology Research* 41(3–4) 253–268. <https://doi.org/10.2166/nh.2010.112>
- Koskiensuojelulaki 1987/35 1§
- Leopold, L. B., Wolman, M. G., Miller, J. P., & Wohl, E. E. (2020) *Fluvial Processes in Geomorphology*. 2. p. Courier Dover Publications.
- Lotsari, E., Veijalainen, N., Alho, P., & Käyhkö, J. (2010) Impact of climate change on future discharges and flow characteristics of the tana river, sub-arctic northern fennoscandia. *Geografiska Annaler, Series A: Physical Geography* 92(2) 263–284. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0459.2010.00394.x>
- Mann, H. B. (1945) Non-Parametric Test Against Trend. *Econometrica* 13(3) 245–259.

- Mayhew, S. (2015) *Oxford Dictionary of Geography*. 5. p. Oxford University Press,.
- Porter, C. ym. (2018) ArcticDEM, Version 3. Harvard Dataverse, V1. 2.12.2021.  
<https://doi.org/10.7910/DVN/OHHUKH>,
- Rantanen, M., Karpechko, A. Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T., & Laaksonen, A. (2022) The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth & Environment* 3(1) 1–10.  
<https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>
- Sen, P. K. (1968) Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association* 63(324) 1379–1389.  
<https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Serreze, M. C., & Barry, R. G. (2011) Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis. *Global and Planetary Change* 77(1) 85–96.  
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.03.004>
- Silander, J., Vehviläinen, B., Niemi, J., Arosilta, A., Dubrovin, T., Jormola, J., Keskisarja, V., Keto, A., Lepistö, A., Mäkinen, R., Ollila, M., Pajula, H., Pitkänen, H., Sammalkorpi, I., Suomalainen, M., & Veijalainen, N. (2006) Climate change adaptation for hydrology and water resources. FINADAPT Working Paper 6. *Finnish Environment Institute Mimeographs* 336.
- Suomalais-norjalaisesta rajavesistökomissiossa Suomen ja Norjan välillä tehty SOPIMUS 32/1981.
- Suomen ympäristökeskus (2013a) Tulvien esiintyminen. 16.11.2022.  
 <[https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin\\_varautuminen/Olenko\\_tulvariskialueella/Tulvien\\_esiintyminen?f=Lapin\\_ELYkeskus](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Olenko_tulvariskialueella/Tulvien_esiintyminen?f=Lapin_ELYkeskus)>
- Suomen ympäristökeskus (2013b) Tulvasanasto. 16.11.2022. <[https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/tulviin\\_varautuminen/Tulvasanasto](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/tulviin_varautuminen/Tulvasanasto)>
- Tuomenvirta, H. (2004) Reliable estimation of climatic variations. Väitöskirja. *Finnish Meteorological institute Contributions* 43.
- Veijalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen, M., & Aaltonen, J. (2012) Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos-vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. *Suomen*

*Ympäristö 16.*

- Veijalainen, N., Lotsari, E., Alho, P., Vehviläinen, B., & Käyhkö, J. (2010) National scale assessment of climate change impacts on flooding in Finland. *Journal of Hydrology* 391(3) 333–350. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.035>
- Vesakoski, J.-M. M., Nylén, T., Arheimer, B., Gustafsson, D., Isberg, K., Holopainen, M., Hyypä, J., & Alho, P. (2017) Arctic Mackenzie Delta channel planform evolution during 1983–2013 utilising Landsat data and hydrological time series. *Hydrological Processes* 31(22) 3979–3995. <https://doi.org/10.1002/hyp.11315>
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., & Cavadias, G. (2002) The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes* 16(9) 1807–1829. <https://doi.org/10.1002/hyp.1095>
- Yue, S., & Wang, C. Y. (2002) Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test. *Water Resources Research* 38(6) 4–1–4–7. <https://doi.org/10.1029/2001wr000861>

## Liitteet

### Liite 1 Tulvahuippujen päivämäärät vuosittain

	Tulvahuipun päivät					
	Vaehkkava	Inarijoki Karigasniemi	Utsjoki Patoniva	Onnelan- suvanto	Alaköngäs	Polmak
<b>1991</b>	30.5.	23.5.	29.5.	24.5.	24.5.	
<b>1992</b>	30.5.	17.5.	17.5.	29.5.	17.5.	30.5.
<b>1993</b>	20.6.	21.5.	4.6.	24.5.	24.5.	22.5.
<b>1994</b>	4.6.	12.5.	2.6.	5.6.	5.6.	4.6.
<b>1995</b>	31.5.	27.5.	29.5.	29.5.	29.5.	29.5.
<b>1996</b>	10.6.	7.6.	7.6.	8.6.	7.6.	8.6.
<b>1997</b>	11.6.	3.6.	3.6.	11.6.	11.6.	12.6.
<b>1998</b>	19.5.	18.5.	18.5.	19.5.	19.5.	19.5.
<b>1999</b>	15.8.	24.5.	15.8.	27.5./15.8.	15.8.	15.8.
<b>2000</b>	1.6.	22.5.	31.5.	1.6.	1.6.	1.6.
<b>2001</b>	10.5.	20.8.	9.5.	10.5.	10.5.	10.5.
<b>2002</b>	5.5.	30.4.	3.5.	1.5.	3.5.	1.5.
<b>2003</b>	17.5.	16.5.	16.5.	16.5.	16.5.	16.5.
<b>2004</b>	10.5.	7.5.	6.5.	8.5.	7.5.	7.5.
<b>2005</b>	7.6.	26.5.	26.5.	28.5.	28.5.	28.5.
<b>2006</b>	26.5.	8.5.	5.5.	8.5.	8.5.	6.5.
<b>2007</b>	22.5.	22.5.	21.5.	23.5.	22.5.	22.5.
<b>2008</b>	4.6.	30.5.	1.6.	3.6.	3.6.	3.6.
<b>2009</b>	13.5.	11.5.	11.5.	12.5.	12.5.	12.5.
<b>2010</b>	20.5.	18.5.	19.5.	20.5.	19.5.	19.5.
<b>2011</b>	26.5.	25.5.	26.5.	26.5.	26.5.	26.5.
<b>2012</b>	28.5.	20.5.	20.5.	21.5.	21.5.	21.5.
<b>2013</b>	23.5.	19.5.	23.5.	23.5.	23.5.	24.5.
<b>2014</b>	2.6.	23.5.	2.6.	25.5.	25.5.	25.5.
<b>2015</b>	30.5.	25.5.	24.5.	25.5.	25.5.	25.5.
<b>2016</b>	11.5.	9.5.	10.5.	10.5.	10.5.	11.5.
<b>2017</b>	11.6.	9.6.	10.6.	10.6.	10.6.	10.6.
<b>2018</b>	18.5.	14.5.	15.5.	17.5.	17.5.	17.5.
<b>2019</b>	2.6.	14.5.	14.5.	15.5.	15.5.	15.5.
<b>2020</b>	9.6.	3.6.	8.6.	8.6.	8.6.	8.6.



## Liite 2 Vuosittaisten virtaamakeskiarvojen trendit mittauspisteittäin

	<b>Veahkka-va</b>	<b>Inarijoki Karigasniemi</b>	<b>Utsjoki Patoniva</b>	<b>Onnelan- suvanto</b>	<b>Alaköngäs</b>	<b>Polmak</b>
<b>trendin suunta</b>	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä
<b>trendi</b>	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>p-arvo</b>	0,50	0,80	0,72	0,45	0,57	0,40
<b>z</b>	-0,68	0,25	0,36	0,75	0,57	-0,84
<b>Kendall Tau</b>	-0,09	0,03	0,05	0,10	0,08	-0,11
<b>s</b>	-39	15	21	43	33	-46
<b>var. s</b>	3141,66	3141,66	3141,66	3141,66	3141,66	2842
<b>Sen's Slope</b>	-0,06	0,05	0,05	0,50	0,38	-0,65
<b>intercept</b>	28,68	35,16	17,70	132,58	173,41	186,45

### Liite 3 Vuosittaisten kuukausikeskiarvojen muutostrendit mittauspisteittäin

#### Veahkkava

	tam	hel	maa	huh	tou	kes	hei	elo	syy	lok	mar	jou
<b>trendi suunta</b>	laskeva	laskeva	laskeva	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä
<b>trendi</b>	kyllä	kyllä	kyllä	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>p-arvo</b>	0,02	0,00	0,00	0,09	0,37	0,43	1,00	1,00	0,41	0,78	0,67	0,34
<b>z</b>	-2,39	-2,82	-3,14	-1,68	0,89	-0,79	0,00	0,00	0,82	0,29	-0,43	-0,96
<b>Kendall Tau</b>	-0,31	-0,37	-0,41	-0,22	0,12	-0,10	0,00	0,00	0,11	0,04	-0,06	-0,13
<b>s</b>	-	-	-	-95,00	51,00	-45,00	-1,00	1,00	47,00	17,00	-25,00	-55,00
<b>var. s</b>	135,00 3141,6 7	159,00 3141,6 7	177,00 3141,6 7	3141,6 3141,6 7	3141,6 3141,6 7	3141,6 3141,6 7	3141,6 3141,6 7	3141,6 3141,6 7	3141,67 3141,67 7	3141,6 3141,6 7	3141,6 3141,6 7	3141,6 3141,6 7
<b>Sen's Slope</b>	-0,10	-0,12	-0,13	-0,06	0,54	-0,84	-0,01	0,00	0,18	0,02	-0,05	-0,07
<b>intercept</b>	9,99	9,29	8,64	8,79	69,24	97,53	33,67	25,95	21,62	23,62	16,49	12,29

#### Inarijoki Karigasniemi

	tam	hel	maa	huh	tou	kes	hei	elo	syy	lok	mar	jou
<b>trendi suunta</b>	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä
<b>trendi</b>	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>p-arvo</b>	0,16	0,33	0,91	0,86	1,00	0,75	0,82	0,67	0,63	0,89	0,69	0,32
<b>z</b>	1,39	0,98	0,11	0,18	0,00	-0,32	0,23	0,43	0,48	0,14	0,39	1,00
<b>Kendall Tau</b>	0,18	0,13	0,02	0,03	0,00	-0,04	0,03	0,06	0,06	0,02	0,05	0,13
<b>s</b>	79,00	56,00	7,00	11,00	-1,00	-19,00	14,00	25,00	28,00	9,00	23,00	57,00
<b>var. s</b>	3141,6 7	3140,6 7	3141,6 7	3141,6 7	3141,6 7	3141,6 7	3140,6 7	3141,6 7	3140,67 3140,67 7	3141,6 7	3141,6 7	3141,6 7
<b>Sen's Slope</b>	0,09	0,05	0,00	0,02	-0,02	-0,40	0,07	0,08	0,15	0,03	0,06	0,09
<b>intercept</b>	11,30	10,83	10,82	10,62	116,98	67,91	30,96	29,09	29,93	29,69	19,98	13,72

#### Utsjoki Patoniva

	tam	hel	maa	huh	tou	kes	hei	elo	syy	lok	mar	jou
<b>trendi suunta</b>	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä
<b>trendi</b>	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>p-arvo</b>	0,37	0,25	0,10	0,17	0,57	0,62	0,40	0,30	0,78	0,62	0,43	0,32
<b>z</b>	0,89	1,14	1,62	1,37	0,57	-0,50	0,84	1,03	0,29	0,50	0,79	1,00
<b>Kendall Tau</b>	0,12	0,15	0,21	0,18	0,08	-0,07	0,11	0,14	0,04	0,07	0,10	0,13
<b>s</b>	51,00	65,00	92,00	78,00	33,00	-29,00	46,00	56,00	17,00	29,00	45,00	57,00
<b>var. s</b>	3141,6 7	3141,6 7	3140,6 7	3140,6 7	3141,6 7	3141,6 7	2842,0 0	2842,0 0	3141,67 3141,67 7	3141,6 7	3141,6 7	3141,6 7
<b>Sen's Slope</b>	0,03	0,03	0,03	0,03	0,34	-0,37	0,25	0,22	0,07	0,07	0,04	0,04
<b>intercept</b>	5,43	4,16	3,27	3,83	45,78	48,42	18,72	16,68	15,88	13,93	10,52	7,14

## Onnelansuvanto

	tam	hel	maa	huh	tou	kes	hei	elo	syy	lok	mar	jou
<b>trendi suunta</b>	nouseva	nouseva	nouseva	nouseva	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	nouseva
<b>trendi</b>	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	kyllä
<b>p-arvo</b>	0,03	0,02	0,00	0,03	0,27	0,50	1,00	0,67	0,37	0,34	0,23	0,03
<b>z</b>	2,21	2,39	3,18	2,14	1,11	-0,68	0,00	0,43	0,89	0,96	1,21	2,12
<b>Kendall Tau</b>	0,29	0,31	0,41	0,28	0,14	-0,09	0,00	0,06	0,12	0,13	0,16	0,28
<b>s</b>	125,00	135,00	179,00	121,00	63,00	-39,00	-1,00	25,00	51,00	55,00	69,00	120,00
<b>var. s</b>	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3140,67
<b>Sen's Slope</b>	0,50	0,42	0,38	0,38	2,53	-4,03	-0,02	0,66	1,24	0,69	0,60	0,62
<b>intercept</b>	27,59	24,89	24,01	26,19	387,87	453,33	167,99	128,41	119,53	104,93	60,55	36,30

## Alaköngäs

	tam	hel	maa	huh	tou	kes	hei	elo	syy	lok	mar	jou
<b>trendi suunta</b>	ei trendiä	nouseva	nouseva	nouseva	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	nouseva
<b>trendi</b>	ei	kyllä	kyllä	kyllä	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	kyllä
<b>p-arvo</b>	0,06	0,01	0,00	0,03	0,28	0,54	0,84	0,64	0,43	0,41	0,28	0,04
<b>z</b>	1,86	2,68	2,93	2,14	1,07	-0,61	-0,21	0,47	0,79	0,82	1,07	2,03
<b>Kendall Tau</b>	0,24	0,35	0,38	0,28	0,14	-0,08	-0,03	0,06	0,10	0,11	0,14	0,26
<b>s</b>	105,00	15,00	165,00	121,00	61,00	-35,00	-12,00	26,00	45,00	47,00	61,00	115,00
<b>var. s</b>	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	2842,00	2842,00	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67
<b>Sen's Slope</b>	0,60	0,49	0,48	0,47	3,93	-5,13	-0,15	1,14	1,40	0,93	0,72	0,78
<b>intercept</b>	37,22	32,41	30,32	33,25	481,24	576,09	210,94	167,98	153,92	133,39	79,76	51,27

## Polmak

	tam	hel	maa	huh	tou	kes	hei	elo	syy	lok	mar	jou
<b>trendi suunta</b>	ei trendiä	nouseva	nouseva	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä	ei trendiä
<b>trendi</b>	ei	kyllä	kyllä	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>p-arvo</b>	0,07	0,04	0,03	0,07	0,84	0,36	0,34	0,93	0,93	0,81	0,72	0,40
<b>z</b>	1,82	2,04	2,16	1,78	-0,21	-0,92	-0,96	0,09	0,09	0,24	-0,36	0,84
<b>Kendall Tau</b>	0,24	0,27	0,29	0,24	-0,03	-0,12	-0,13	0,01	0,01	0,03	-0,05	0,11
<b>s</b>	98,00	110,00	116,00	96,00	-12,00	-50,00	-52,00	6,00	6,00	14,00	-20,00	46,00
<b>var. s</b>	2842,00	2842,00	2842,00	2842,00	2842,00	2842,00	2842,00	2842,00	284,00	2842,00	2842,00	2842,00
<b>Sen's Slope</b>	0,47	0,46	0,43	0,47	-0,91	-8,07	-1,54	0,11	0,23	0,14	-0,27	0,37
<b>intercept</b>	45,30	36,40	31,23	42,10	564,41	568,67	224,26	163,46	155,23	151,14	92,84	59,22

## Liite 4 Tulvaviikkojen viikkokeskiarvojen muutostrendit mittauspisteittäin

	Veahkkava									
	23.–29.4.	30.4.–6.5.	7.–13.5.	14.–20.5.	21.–27.5.	28.5.–3.6.	4.–10.6.	11.–17.6.	18.–24.6.	25.6.–1.7.
<b>trendi</b>	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>suunta</b>	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä
<b>trendi</b>	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>p-arvo</b>	1,00	0,45	0,91	0,37	0,62	0,80	0,50	0,39	0,39	0,83
<b>z</b>	0,00	-0,75	0,11	0,89	0,50	-0,25	-0,68	-0,86	-0,86	-0,21
<b>Kendall Tau</b>	0,00	-0,10	0,02	0,12	0,07	-0,03	-0,09	-0,11	-0,11	-0,03
<b>s</b>	1,00	-43,00	7,00	51,00	29,00	-15,00	-39,00	-49,00	-49,00	-13,00
<b>var. s</b>	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67
<b>Sen's Slope</b>	0,00	-0,13	0,07	1,18	0,55	-0,33	-1,10	-1,01	-0,38	-0,14
<b>intercept</b>	8,78	14,78	33,75	49,38	87,13	111,02	120,05	94,91	63,91	55,51

	Inarijoki Karigasniemi									
	23.–29.4.	30.4.–6.5.	7.–13.5.	14.–20.5.	21.–27.5.	28.5.–3.6.	4.–10.6.	11.–17.6.	18.–24.6.	25.6.–1.7.
<b>trendi</b>	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>suunta</b>	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	ei trendiä
<b>trendi</b>	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>p-arvo</b>	0,43	0,96	0,57	0,37	0,68	0,41	0,48	0,91	0,54	0,72
<b>z</b>	0,79	0,05	0,57	0,89	-0,41	-0,82	-0,71	0,11	0,61	0,36
<b>Kendall Tau</b>	0,10	0,01	0,08	0,12	-0,06	-0,11	-0,09	0,02	0,08	0,05
<b>s</b>	45,00	4,00	33,00	51,00	-24,00	-47,00	-41,00	7,00	35,00	21,00
<b>var. s</b>	3141,67	3140,67	3141,67	3141,67	3140,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67
<b>Sen's Slope</b>	0,07	0,02	0,56	2,20	-0,81	-1,50	-0,90	0,10	0,24	0,07
<b>intercept</b>	11,90	28,39	65,19	72,53	135,60	124,41	80,98	52,29	37,79	38,34

	Utsjoki Patoniva									
	23.–29.4.	30.4.–6.5.	7.–13.5.	14.–20.5.	21.–27.5.	28.5.–3.6.	4.–10.6.	11.–17.6.	18.–24.6.	25.6.–1.7.
<b>trendi</b>	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>suunta</b>	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	ei trendiä
<b>trendi</b>	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>p-arvo</b>	0,15	0,75	0,35	0,23	0,91	0,45	0,48	0,62	0,89	1,00
<b>z</b>	1,45	0,32	0,93	1,21	-0,11	-0,75	-0,71	-0,50	-0,14	0,00
<b>Kendall Tau</b>	0,19	0,04	0,12	0,16	-0,02	-0,10	-0,09	-0,07	-0,02	0,00
<b>s</b>	82,00	19,00	53,00	69,00	-7,00	-43,00	-41,00	-29,00	-9,00	-1,00
<b>var. s</b>	3140,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67
<b>Sen's Slope</b>	0,05	0,04	0,46	1,22	-0,07	-0,84	-0,84	-0,30	-0,07	0,00
<b>intercept</b>	3,99	8,51	13,97	21,03	59,66	71,39	58,75	40,63	33,50	29,16

Onnelansuvanto										
	23.– 29.4.	30.4.– 6.5.	7.–13.5.	14.– 20.5.	21.– 27.5.	28.5.– 3.6.	4.–10.6.	11.– 17.6.	18.– 24.6.	25.6.–1.7.
<b>trendi</b>	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>suunta</b>	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	ei trendiä
<b>trendi</b>	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>p-arvo</b>	0,07	0,64	0,78	0,32	0,97	0,69	0,37	0,57	0,75	0,97
<b>z</b>	1,82	0,46	0,29	1,00	0,04	-0,39	-0,89	-0,57	-0,32	0,04
<b>Kendall Tau</b>	0,24	0,06	0,04	0,13	0,01	-0,05	-0,12	-0,08	-0,04	0,01
<b>s</b>	103,00	27,00	17,00	57,00	3,00	-23,00	-51,00	-33,00	-19,00	3,00
<b>var. s</b>	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67
<b>Sen's Slope</b>	0,58	0,40	0,66	7,46	0,28	-1,53	-6,44	-2,65	-0,87	0,21
<b>intercept</b>	25,59	46,26	217,11	235,74	484,69	568,72	605,14	367,26	312,49	262,76

Alaköngäs										
	23.– 29.4.	30.4.– 6.5.	7.–13.5.	14.– 20.5.	21.– 27.5.	28.5.– 3.6.	4.–10.6.	11.– 17.6.	18.– 24.6.	25.6.–1.7.
<b>trendi</b>	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>suunta</b>	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	ei trendiä
<b>trendi</b>	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>p-arvo</b>	0,09	0,69	0,75	0,27	1,00	0,64	0,35	0,57	0,72	0,96
<b>z</b>	1,68	0,39	0,32	1,11	0,00	-0,46	-0,93	-0,57	-0,36	-0,06
<b>Kendall Tau</b>	0,22	0,05	0,04	0,14	0,00	-0,06	-0,12	-0,08	-0,05	-0,01
<b>s</b>	95,00	23,00	19,00	63,00	1,00	-27,00	-53,00	-33,00	-21,00	-4,00
<b>var. s</b>	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	3141,67	2842,00
<b>Sen's Slope</b>	0,71	0,55	0,82	9,69	0,64	-2,90	-8,20	-4,38	-1,97	-0,27
<b>intercept</b>	35,31	57,46	273,25	303,76	594,46	730,26	752,28	470,29	406,50	335,24

Polmak										
	23.– 29.4.	30.4.– 6.5.	7.–13.5.	14.– 20.5.	21.– 27.5.	28.5.– 3.6.	4.–10.6.	11.– 17.6.	18.– 24.6.	25.6.–1.7.
<b>trendi</b>	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>suunta</b>	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	trendiä	ei trendiä
<b>trendi</b>	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
<b>p-arvo</b>	0,16	0,59	0,81	0,40	0,90	0,61	0,25	0,38	0,46	0,34
<b>z</b>	1,41	-0,54	0,24	0,84	-0,13	-0,51	-1,14	-0,88	-0,73	-0,96
<b>Kendall Tau</b>	0,19	-0,07	0,03	0,11	-0,02	-0,07	-0,15	-0,12	-0,10	-0,13
<b>s</b>	76,00	-30,00	14,00	46,00	-8,00	-28,00	-62,00	-48,00	-40,00	-52,00
<b>var. s</b>	2842,00	2842,00	2842,00	2842,00	2842,00	2842,00	2842,00	2842,00	2842,00	2842,00
<b>Sen's Slope</b>	0,69	-1,23	0,75	9,15	-0,79	-4,32	-10,16	-6,70	-4,14	-2,58
<b>intercept</b>	42,05	115,67	215,98	367,59	558,72	754,75	761,21	462,99	391,92	343,52