

Arvio Terrafamen kaivosalueen sademäärien todennäköisyyksistä

Arvion laatija

Hydrologi Juho Jakkila, Suomen ympäristökeskus 17.7.2018

Tehtävänanto

Selvittää todennäköisyys seuraaville vuosisadannoille Terrafamen kaivosalueella:

701 mm
910 mm
1024 mm

Lisäksi suurimman sateen (1024 mm) mahdollisuus toistua kahtena tai kolmena vuonna peräkkäin.

Aineisto

Vuosisadantojen toistuvuuden arvioinnissa käytetään Suomen ympäristökeskuksen Vesistömallijärjestelmällä (WSFS) laskettuja aluesateita 56 vuoden jaksolta 1962-2017. Aluesateet on laskettu kaivosalueen läheisille Vuoksen ja Oulujoen vesistöalueilla sijaitseville 3. jakovaiheen alueille 4.645 (Kivijoen valuma-alue) ja 59.885 (Tuhkajoen valuma-alue). Aluesateiden laskennassa on käytetty lähimpiä Ilmatieteen laitoksen sadehavaintoja. Sateen mittaamiseen liittyvät havaintovirheet on korjattu sademittarityypikohtaisesti huomioiden tuulen nopeuden, tartunnan ja haihdunnan vaikutukset (Taskinen ja Söderholm, 2016).

Ilmastonmuutoksella on merkittävä vaikutus vuosisademäärien suuruuteen ja sademäärien todennäköisyyksiin. Sadehavaintojen lisäksi tässä tarkastelussa on käytetty viittä alueellista ilmastoskenaariota. Skenaarioiden tuottamiin aluesateisiin on tehty niin sanottu harhankorjaus (bias correction), jotta sademäärien jakaumat vastaisivat historiajaksolla havaittua jakaumaa. Tarkastelussa on käytetty samoja viittä ilmastoskenaariota ja kahta sademäärän harhankorjausmenetelmää kuin artikkelissa Olsson ym. (2015).

Vuosisadannan todennäköisyyden arvioinnissa oletetaan, että vuosisadannat ovat normaalisti jakautuneita. Näin ollen sadannan todennäköisyyden arviointi voidaan tehdä normaalijakauman kertymäfunktion avulla.

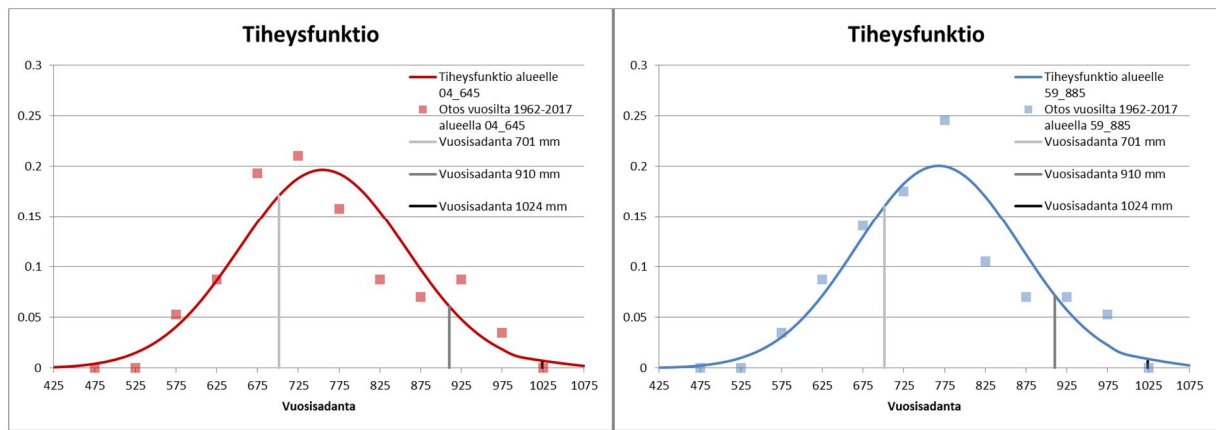
Tulokset

Aineiston perusteella kyseisille alueille lasketut vuosisadannan keskiarvo ja -hajonta sekä ääriarvot jaksolla 1962-2017 ovat seuraavat:

Taulukko 1. Terrafamen kaivoksen läheisten alueiden vuosisadantojen keskiarvot, -hajonnat ja ääriarvot jaksolla 1962-2017

Alue	4.645	59.885
Keskiarvo	755 mm	768 mm
Keskihajonta	101 mm	99 mm
Maksimi	967 mm (1974)	985 mm (1974)
Minimi	570 mm (1969)	594 mm (1966)

Tarkastellun 56 vuoden jakson vuosisadannoista on alla esitetty normaalijakauman tiheysfunktiot (Kuva 1). Jakson vuosisadannat jaettiin 50 mm suuruisiin luokkiin (450-500 mm, 500-550 mm,...) ja tiheysfunktion perusteella nähdään, että vuosisadannat jakaantuvat kohtuullisen hyvin normaalijakauman mukaisesti. Kuvaajien pystypalkit esittävät tarkasteltavia sademääriä 701 mm, 910 mm ja 1024 mm. Pystypalkkien oikealle puolelle jäävä osuus tiheysfunktioista kuvaa todennäköisyyttä kyseistä sademäärää suuremmalle vuosisadannalle.



Kuva 1. Normaalijakauman mukaiset tiheysfunktiot vuosisadannoille alueilla 4.645 ja 59.885

Normaalijakauman perusteella todennäköisyydet tehtävänannossa esitettyjen vuosisadantojen ylittymiselle tarkasteltavilla 3. jakovaiheen alueilla on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Todennäköisyydet annettujen vuosisateiden ylittymiselle Terrafamen kaivoksen läheisillä valuma-alueilla.

Todennäköisyydet	4.645	59.885
Vuosisadanta 701 mm	70 %	75 %
Vuosisadanta 910 mm	6,3 %	7,6 %
Vuosisadanta 1024 mm	0,4 %	0,5 %

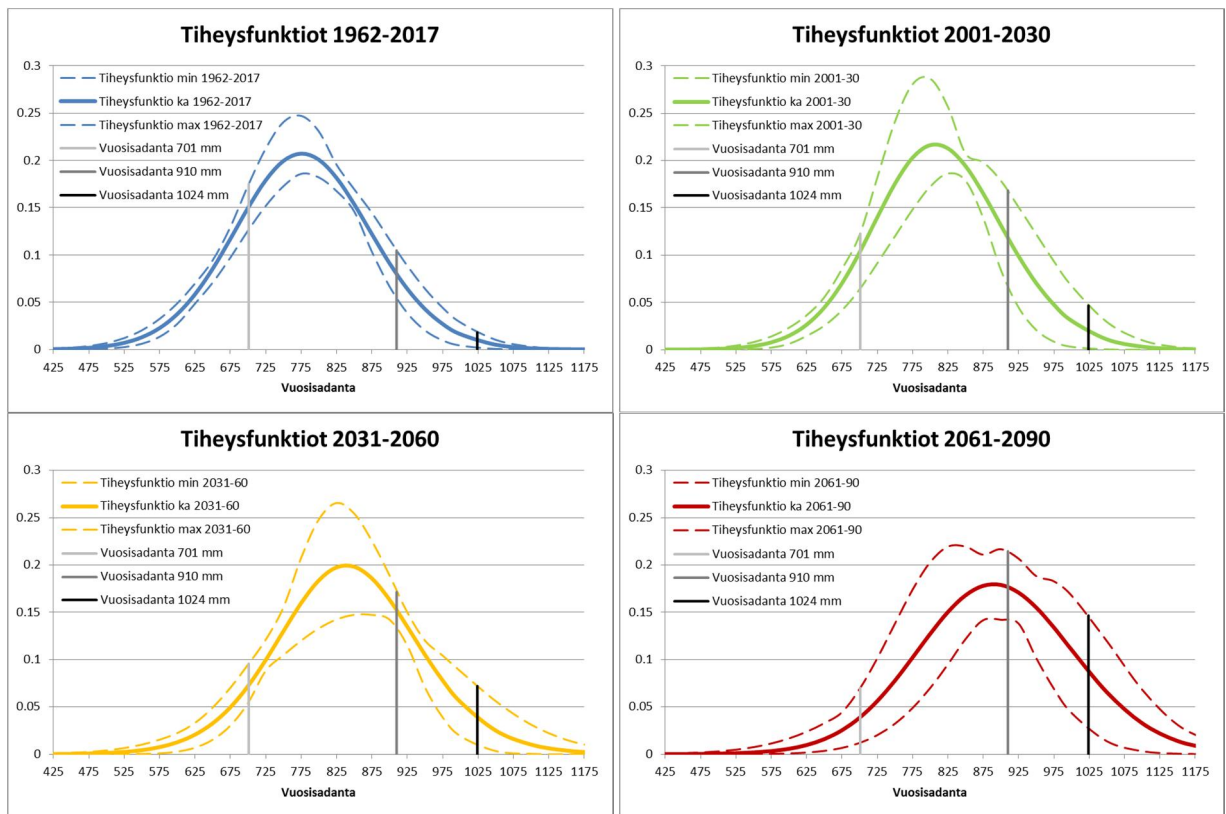
Suurimman sademäärän (1024 mm) toistuminen useampana vuonna peräkkäin olisi huomattavasti epätodennäköisempää. Jos oletetaan, että vuosisadannat noudattaisivat täsmälleen normaalijakaumaa ja 56 vuoden otos olisi riittävän suuri, niin todennäköisyys sille, että vähintään 1024 mm sademäärä toistuisi kahtena vuonna peräkkäin alueella 4.645 on $0,004^2 = 0,000016 = 0,0016 \%$ ja alueella 59.885 vastaavasti $0,0025 \%$. Jotta näin suuri sademäärä toistuisi kolmena vuonna peräkkäin todennäköisyys pienenesi edelleen arvoihin $0,0000064 \%$ ja $0,0000125 \%$. Toisaalta, jos tänä vuonna olisi satanut 1024 mm, niin ensi vuonna vähintään yhtä suuren sadannan todennäköisyys näillä alueilla olisi edelleen $0,4-0,5 \%$.

Voidaan myös tarkastella todennäköisyyttä sille, että kahden vuoden aikana sataisi vähintään $2 \cdot 1024$ mm. Silloin toisena vuonna voisi siis sataa vähemmän kuin 1024 mm, jos toisena vuonna sataa tätä enemmän. Havaintoaineiston perusteella normaalijakauman mukainen todennäköisyys yli 2048 mm kahden vuoden sadesummalle alueella 4.645 on $0,002 \%$ ja alueella 59.885 $0,008 \%$. Vastaavasti yli 3072 mm sadesumma kolmen vuoden jaksolla ylittyisi $0,00001 \%$ todennäköisyydellä alueella 4.645 ja $0,0002 \%$ todennäköisyydellä alueella 59.885. Nämä todennäköisyydet kahden ja kolmen vuoden sadesummille ovat kuitenkin niin pieniä, ettei normaalijakaumalla tehtyä ekstrapolointia vain 56 vuoden havaintojakson perusteella voida pitää luotettavana.

Ilmastomuutoksen vaikutus

Ilmastomuutoksen vaikutusta vuosisateisiin tarkastellaan viiden alueellisen ilmastoskenaariion avulla. Käytetyistä ilmastoskenaarioista on poistettu skenaarioissa tyypillisesti esiintyvää harhaa (Olsson ym., 2015), jotta ilmastoskenaarioiden historiajakson sademäärän jakauma vastaisi riittävän hyvin havaittua sademäärän jakaumaa tarkasteltavalla alueella.

Kuvassa 2 on esitetty näiden viiden ilmastoskenaariion tuottamat tulokset vuosisadannan tiheysfunktioiden minimeistä, maksimeistä ja keskiarvoista havaintojaksolla 1962-2017 sekä jaksoilla 2001-30, 2031-60 ja 2061-90. Tuloksista nähdään, että vuosisadannat kasvavat ilmastomuutoksen vaikutuksesta ja tarkasteltavien vuosisadanta-arvojen todennäköisyydet yleistyvät, mitä pidemmälle tämän vuosisadan loppua kohti edetään. Toisaalta myös ilmastoskenaarioihin liittyvä epävarmuus kasvaa ja minimiskenaarion perusteella harvinaisimmat sateet yleistyisivät vasta vuosisadan lopulla.



Kuva 2. Viiden alueellisten ilmastoskenaarioiden mukaisten tiheysfunktioiden keski- ja ääriarvot eri jaksoille.

Taulukossa 3 on esitetty tarkasteltavien vuosisadantojen todennäköisyydet viiden ilmastoskenaarioiden keski- ja ääriarvoista. Taulukosta nähdään, että tarkastelujaksolla 1962-2017 ilmastoskenaariot antavat keskimäärin hieman suurempia todennäköisyyksiä vuosisadannoille kuin havainnoista lasketut aluesateet (Taulukko 2), mutta erot ovat kuitenkin kohtuullisen pieniä aluesateen laskentaan liittyviin epävarmuuksiin verrattuna.

Eri jaksoille lasketuista todennäköisyyksistä voidaan todeta, että verrattain usein toistuva 701 mm vuosisadanta yleistyy (tai on jo yleistynyt) ilmastoskenaarioiden perusteella huomattavasti jaksolla 2001-2030 ja harvinaisemmat 910 mm ja 1024 mm sademäärät yleistyvät hitaammin vuosisadan loppua kohden. Esimerkiksi 1024 mm vuosisadannan todennäköisyys on ilmastoskenaarioiden perusteella jaksolla 1962-2017 keskimäärin 0,72 %, mikä vastaa harvinaisempaa kuin 1/100 vuodessa toistuvaa vuosisadantaa. Jaksolla 2001-2030 vastaavan sademäärän toistumisaika olisi edelleen harvinaisempi kuin 1/60 vuodessa, mutta jaksolla 2031-60 se olisi jo yleisempi kuin 1/25 vuodessa ja vuosisadan lopulla jaksolla 2061-90 yleisempi kuin 1/10 vuodessa toistuva vuosisadanta.

Taulukko 3. Viiden alueellisen ilmastoskenaarioiden mukaiset todennäköisyydet eri vuosisadannoille Terrafamen kaivosalueella

	minimi	keskiarvo	maksimi
Jakso 1962-2017			
Vuosisadanta 701 mm	75.6 %	78.7 %	82.3 %
Vuosisadanta 910 mm	4.1 %	8.9 %	13.8 %
Vuosisadanta 1024 mm	0.08 %	0.72 %	1.5 %
Jakso 2001-2030			
Vuosisadanta 701 mm	86.4 %	88.9 %	93.6 %
Vuosisadanta 910 mm	4.3 %	15.1 %	28.2 %
Vuosisadanta 1024 mm	0.04 %	1.6 %	4.5 %
Jakso 2031-2060			
Vuosisadanta 701 mm	87.6 %	91.5 %	95.8 %
Vuosisadanta 910 mm	13.7 %	24.7 %	36.1 %
Vuosisadanta 1024 mm	0.45 %	4.3 %	11.5 %
Jakso 2061-2090			
Vuosisadanta 701 mm	91.2 %	95.8 %	99.0 %
Vuosisadanta 910 mm	21.1 %	43.9 %	64.4 %
Vuosisadanta 1024 mm	1.9 %	12.3 %	24.0 %

Ilmastoskenaarioidenkin perusteella kahden vuoden sadesummat, jotka ylittäisivät $2 \cdot 1024 \text{ mm} = 2084 \text{ mm}$, olisivat nykyilmastossa erittäin harvinaisia. Vasta jaksolla 2031-60 niiden toistuvuus skenaarioiden mukaan olisi keskimäärin noin 1/100 vuodessa ja vuosisadan lopulla toistuvuus olisi jo lähellä 1/25 vuodessa toistuvaa vuosisadantaa, mutta skenaarioiden väliset erot ovat erittäin suuria. Vastaavasti yli 3000 mm vuosisadannan toistuvuus kolmen vuoden jaksolla olisi maksimiskenaarion perusteella noin 1/100 vuodessa vuosisadan puolivälissä ja viiden skenaarion keskiarvon perusteella vasta vuosisadan lopulla.

Epävarmuudet

Sateen mittaamiseen liittyvät virheet on Vesistömallijärjestelmässä pyritty korjaamaan huomioimalla tuulen nopeuden, haihdunnan ja tartunnan vaikutukset eri mittarityypeillä (Taskinen ja Söderholm, 2016). Sateen havainnointiin liittyy kuitenkin huomattava määrä epävarmuutta ja erityisesti lumisateiden havainnointi 1960-70 luvuilla käytössä olleilla mittarityypeillä oli epätarkkaa. Myös sateen aluearvon laskentaan liittyy epävarmuutta, koska sadeasemaverkosto ei koskaan pysty kattamaan kaikkea sademäärään liittyvää alueellista vaihtelua. Lisäksi suurten sademäärien todennäköisyydet 3. jakovaiheen alueita ($\sim 50 \text{ km}^2$) pienemmille alueille voivat olla suurempia kuin tarkastelussa käytetyille verrattain suurille alueille.

Taulukko 4. Vuosisadantojen todennäköisyyksien minimi-, maksimi- ja keskiarvot kymmeneltä lähimmältä 3. jakovaiheen alueelta käyttämällä eri jaksojen sadehavaintoja normaalijakauman sovittamiseen.

	minimi	keskiarvo	maksimi
Jakso 1962-2017			
Vuosisadanta 701 mm	63.0 %	68.3 %	75.7 %
Vuosisadanta 910 mm	2.2 %	5.4 %	12.0 %
Vuosisadanta 1024 mm	0.05 %	0.36 %	1.40 %
Jakso 1962-1986			
Vuosisadanta 701 mm	55.8 %	63.9 %	72.4 %
Vuosisadanta 910 mm	2.9 %	5.2 %	11.7 %
Vuosisadanta 1024 mm	0.10 %	0.39 %	1.58 %
Jakso 1993-2017			
Vuosisadanta 701 mm	65.6 %	72.4 %	80.0 %
Vuosisadanta 910 mm	2.3 %	6.6 %	12.0 %
Vuosisadanta 1024 mm	0.05 %	0.47 %	1.35 %

Taulukossa 3 on pyritty kuvaamaan sateen aluearvoihin liittyvää epävarmuutta laskemalla sademäärien todennäköisyydet kymmenen lähimmän 3. jakovaiheen alueelle ja esittämällä näiden todennäköisyyksien minimi-, maksimi- ja keskiarvot. Tässä tarkastelussa täytyy kuitenkin huomioida, että eri alueiden sademäärät eivät ole täysin toisistaan riippumattomia, koska useimmilla alueilla aluearvojen laskentaan käytetyt kolme lähintä sadeasemaa ovat kuitenkin samoja.

Tuloksista näkyy, että epävarmuudet sadannan todennäköisyyksien arvioimisessa ovat samaa luokkaa kuin epävarmuudet eri ilmastoskenaarioiden välillä vastaavalla jaksolla (Taulukko 3). Lisäksi taulukossa on laskettu todennäköisyydet sadesummille käyttämällä kolmea eri jaksoa: koko 56 vuoden havaintojaksoa 1962-2017, havaintojakson ensimmäistä 25 vuoden jaksoa 1962-1986 sekä havaintojakson viimeistä 25 vuoden jaksoa 1993-2017. Tuloksiin eri havaintojaksojen välillä vaikuttavat mittarityyppien vaihtumisen lisäksi sadeasemien havaintoverkossa tapahtuneet muutokset, havaintojakson pituus sekä ilmastomuutoksen vaikutukset sademääriin. Havaintojen perusteella lasketut muutokset sademäärien todennäköisyyksissä antavat samoja viitteitä kuin ilmastoskenaarioiden antamat tulokset: Verrattain usein toistuva 701 mm vuosisadanta olisi yleistynyt jo viime vuosikymmenten aikana, mutta harvinaisempien 910 mm ja 1024 mm vuosisadantojen todennäköisyyksissä ei näy vielä merkittävää muutosta.

Sademäärän todennäköisyyksien arvioimisessa epävarmuutta tulee erityisesti harvinaisten sateiden kohdalla, kun aluesadesummiin sovitettua normaalijakaumaa täytyy ekstrapoloida yli 100 vuoden toistuvuuksille. Esimerkiksi 1024 mm vuosisadannalle arvioitu noin 0.04 % todennäköisyys vastaisi noin 1/250 vuodessa toistuvaa sademäärää. Tuloksissa esitetyt arvot erittäin suurille kahden ja kolmen vuoden sadesummille ovat jo niin harvinaisia, ettei tällä menetelmällä pysty arvioimaan näin suurten sademäärien todennäköisyyksiä riittävällä tarkkuudella.

Viitteet

Olsson, T., J. Jakkila, N. Veijalainen, L. Backman, J. Kaurola, ja B. Vehviläinen, 2015: Impacts of climate change on temperature, precipitation and hydrology in Finland—Studies using bias corrected regional climate model data. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 3217–3238, doi:10.5194/hess-19-3217-2015.

Taskinen, A., ja K. Söderholm, 2016: Operational correction of daily precipitation measurements in Finland. *Boreal Environ. Res.*, 21, 1–24.