

Lumen latvusinterseption ajallinen vaihtelu
metsätyypeittäin Suomessa

Joni Broström

791619S
Pro gradu -tutkielma
Oulun yliopisto
Maantieteen tutkimusyksikkö
Kesäkuu 2020

Yksikkö: Maantieteen tutkimusyksikkö	Pääaine: Maantiede	
Tekijä (Sukunimi ja etunimet, myös entinen sukunimi): Broström, Joni Petteri	Opiskelija-numero: 2429582	Tutkielman sivumäärä: 55 + XV liit.
Tutkielman nimi (suomeksi; muun kielinen nimi ilmoitetaan vain jos se on tutkielman kieli): Lumen latvusinterseption ajallinen vaihtelu metsätyypeittäin Suomessa		
Asiasanat: Latvusinterseptio, Lumi, Ilmastonmuutos, Trendit, Mann-Kendall trenditesti		
Tiivistelmä (kirjoitetaan vapaamuotoisesti, selväsanaisesti ja lyhyin lauserakentein, ks. ohje seuraavalla sivulla): <p>Lumen latvusinterseptiolla tarkoitetaan kasvillisuuden, erityisesti puuston kykyä siepata satavaa lunta latvustoonsa. Puuston lumen latvusinterseptiota on tutkittu paljon, mutta tutkimuksia niiden trendeistä on vain vähän. Tämän tutkielman päätarkoituksena on selvittää, onko lumen latvusinterseption määrässä havaittavissa muutoksia viimeisen 70 vuoden aikana Suomessa. Lisäksi tutkielmassa tarkastellaan mahdollisia eroja lumen latvusinterseption määrässä metsätyyppien (kuusi-, mänty- ja lehtipuuvaltainen metsä) välillä sekä kolmen ympäristömuuttujan (ilman lämpötila, kokonaissadanta ja lumen määrä) suhteen.</p> <p>Tutkielman aineisto on kerätty 23:sta lumilinjasta eri puolilta Suomea vapaaehtoisten mittaajien toimesta ja se on saatu käyttöön Suomen ympäristökeskuksesta. Tämän tutkielman analyysit tehtiin R-ohjelmistolla. Lumen latvusinterseption muutosten tarkastelussa käytetään Mann-Kendallin trenditestiä. Metsätyyppien välisessä lumen latvusinterseption erojen tarkastelussa on käytetty Kruskal-Wallis ja Dunnin post-hoc testejä. Lisäksi ympäristömuuttujien vaikutusta lumen latvusinterseption tarkasteltiin yksinkertaisen lineaarisen regressioanalyysin avulla.</p> <p>Etelä-Suomessa havaittiin lumen latvusinterseption määrien pääosin kasvaneen. Vastaavasti Pohjois-Suomessa lumen latvusinterseption määrässä ei havaittu tapahtuneen muutoksia. Metsätyypeistä kuusivaltaisessa metsässä lumen latvusinterseptio oli kaikkein suurinta ja lehtipuuvaltaisessa metsässä pienintä. Ympäristömuuttujista lämpötila näytti vaikuttavan lumen latvusinterseption määrään kaikkein eniten. Sen vaikutus kuitenkin heikkenee kylmemmille ilmastoalueille siirryttäessä. Kokonaissadanta ja lumen määrä näyttivät vaikuttavan lumen latvusinterseption määrään pelkästään Pohjois-Suomessa. Lämpötilamuuttujan huomattiin mahdollisesti jopa kontrolloivan muiden ympäristömuuttujien merkitystä lumen latvusinterseption suhteen.</p>		
Muita tietoja:		
Päiväys:	9.6.2020	

Sisällys

1. Johdanto.....	5
2. Hydrologinen kierto ja lumi	8
3. Lumi ja ilmasto.....	10
3.1 Lumen fysikaaliset ominaisuudet	10
3.2 Lumen vesiarvo	11
3.3 Lumipeitteen paksuuteen vaikuttavat tekijät	12
3.4 Energiatase sekä lyhyt- ja pitkäaaltoinen säteily	14
3.5 Ilmastonmuutos.....	16
4. Puuston lumen latvusinterseptio ja interseptiohävikki	18
4.1 Ilmastonmuutoksen vaikutukset latvusinterseptioon.....	21
5. Tutkimusalue	22
6. Aineisto ja tutkimusmenetelmät	24
6.1 Aineiston käsittely	25
6.2 Aineiston alkutarkastelu	26
6.3 Kruskal-Wallisin analyysi ja Dunnin post-hoc testi	26
6.4 Mann-Kendallin trenditesti	27
6.5 Yksinkertainen lineaarinen regressioanalyysi	28
7. Tulokset	30
7.1 Alkutarkastelu.....	30
7.2 Kruskal-Wallisin analyysi sekä Dunnin post-hoc testi	31
7.3 Mann-Kendallin trenditesti	31
7.4 Yksinkertainen lineaarinen regressioanalyysi	39
8. Tulosten tarkastelu ja pohdinta.....	43
8.1 Erot lumen latvusinterseption määrissä	43

8.2 Lumen latvusinterseption trendit	43
8.3 Ympäristömuuttujien vaikutukset lumen latvusinterseptioon	45
9. Yhteenveto ja johtopäätökset	48
Kiitokset	49
Lähteet	50
Liitteet	56

1. Johdanto

Euroopan Unionin ilmastotietopalvelu Copernicus tiedotti tänä vuonna ilmastokatsauksessaan viime vuosikymmenen olleen Euroopan mittaushistorian lämpimin (European state of the climate 2019). Ilmastonmuutoksen seurauksena lämpötila on noussut maailmanlaajuisesti noin 1 °C:n verran verrattuna vuosien 1850–1900 ajanjaksoon nähden (Allen ym. 2018: 51). Allenin ym. (2018: 51) laatimassa IPCC:n (Intergovernmenta Panel on Climate Change) raportissa tarkennetaan lämpötilan nousseen todennäköisesti noin 0.8 – 1.2 °C:sta vuoteen 2017 mennessä. Lämpötilan odotetaan nousevan yhä enemmän, erityisesti pohjoisilla leveysasteilla (Dorbyshv ym. 2013: 231), missä lumi on tärkeä osa paikallista ilmastoa. Paikallisen ilmaston lisäksi lumella on merkittävä rooli myös maailmanlaajuisessa ilmastossa (Larson ym. 2009: 1–2) sekä alueilla, jotka ovat korkealla suhteessa merenpinnan tasoon nähden. Lumen on todettu vaikuttavan merkittävästi sekä hydrologisiin että ilmastoon liittyviin prosesseihin (Sicart ym. 2004: 774). Lumella on suuri merkitys myös esimerkiksi matkailun (Kietäväinen ym. 2011; Töglhofer ym. 2011), ekologian (Jones 1999) sekä sähköntuotannon (vesivoiman) (Winther & Hall 1999: 2993) näkökulmista.

Ekologian näkökulmasta tarkasteltuna lumi vaikuttaa eläimiin, kasveihin sekä ravinteiden kiertoon (Jones 1999: 2136–2138). Selkärankaisten ja selkärangattomien eläinten on pitänyt sopeutua fysiologisesti lumisiin elinympäristöihin selvitäkseen niissä. Hyönteissyöjät selviävät esimerkiksi kylmistä olosuhteista nopean aineenvaihduntansa ansiosta, minkä takia niiden tulee syödä lähes koko ajan (Jones 1999: 2136–2137). Suuremmat eläimet elävät lumipeitteen päällä, joten niiden pitää muuttaa käyttäytymistään, ruokatottumuksiaan sekä morfologiaansa olosuhteiden mukaan. Vastaavasti pienemmät eläimet voivat liikkua lumipeitteen alla, sisällä tai sen päällä (Aitchison 2001: 229). Jonesin (1999: 2137) mukaan esimerkiksi boreaalisten metsien ja tundran kasvillisuuden muodostama kokonaisuus on riippuvainen lumen ja kasvien välisestä vuorovaikutuksesta. Lumen nähdään toimivan varastona ravinteille, joita se kuljettaa pois ekosysteemeistä lumen sulassa keväisin (Jones 1999: 2138). Lumella on myös suuri merkitys sähköntuotannossa (vesivoima) (Winther & Hall 1999) ja matkailussa (Töglhofer 2011), esimerkiksi Norjassa vesivoima käsitti lähes 100 % maan sähköntuotannosta vuonna 1999 julkaistun Wintherin ja Hallin (1999: 2993) artikkelin

mukaan. Vesivoimalla tuotettava sähkö vaatii sulaneesta lumesta syntyvää valumaa (Winther & Hall 1999: 2993). Vastaavasti matkailuun lumi vaikuttaa siten, että suurin osa talvella tapahtuvasta matkailusta suuntautuu hiihtokohteisiin. Lumiolosuhteiden on esimerkiksi havaittu vaikuttavan hiihtokohteiden kysyntään Itävallassa (Töglhofer ym. 2011: 1, 7).

Lumen latvusinterseptiota eli kasvillisuuden, erityisesti puuston kykyä siepata satavaa lunta latvustoihinsa (DeWalle & Rango 2008: 36) on tärkeää tutkia, sillä ilmaston lämpeneminen vaikuttaa pohjoisten alueiden talvisiin olosuhteisiin. Se myös vaikuttaa boreaalisiin metsiin ja niiden toimintaan, mikä vaikuttaa paikalliseen vesitaseeseen, kun muutoksia tapahtuu puiden latvuksiin siepatun (interseptio) lumen haihdunnassa (Lundberg & Halldin 2001: 117). Ilmastomuutoksen vaikutuksesta lumiolosuhteet ovat osittain jo muuttuneet ja tulevat muuttumaan entisestään pohjoisella pallonpuoliskolla (Armstrong & Brun 2008: 7). Näillä muutoksilla on lisäksi vaikutuksia suoraan vesienenergian tuotantoon ja maatalouteen alueilla, joiden vesivarannot ovat riippuvaisia lumen ja jään sulamisesta (Barnett ym. 2005: 307).

Metsätalous on tänäkin päivänä yksi tärkeimmistä taloudellista hyvinvointia luovista toimialoista Suomessa. EU:n tavoitteena oleva kasvihuonepäästöjen vähentäminen edistää puutuotteiden käyttöä. Tämä mahdollisesti kasvattaa puutuotteiden kysyntää ja sitä kautta kiihdyttää metsien käyttöä (Hänninen ym. 2013: 675–676). Metsien käytön kiihtyminen vaikuttaa esimerkiksi valuma-alueilla, joissa puuston poisto (hakkuut) aiheuttaa muutoksia valunnassa (Jones & Post 2004: 7–11; Ide ym. 2013: 482). Hakkuut vaikuttavat lisäksi lumen latvusinterseption määrään sekä haihduntaan puista, mikä aiheuttaa muutoksia veden määrässä ja valuntahuipuissa (Martin ym. 2000: 25).

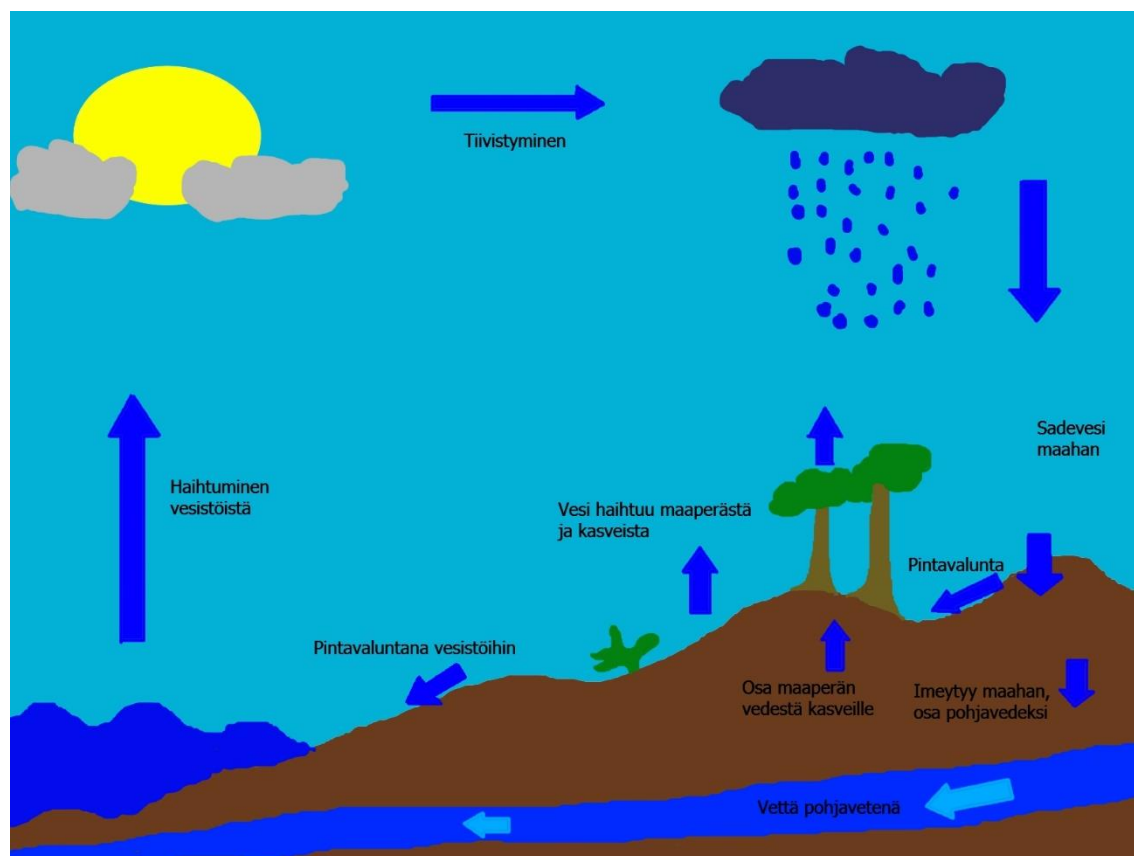
Lumen latvusinterseptiota on tutkittu ympäri maailmaa, erityisesti pohjoisella pallonpuoliskolla. Pääosin lumen latvusinterseption tutkimuksissa on pyritty luomaan luotettavia malleja lumen latvusinterseption mittaamiseen (Essery ym. 2003; Mahat & Tarboton 2014). Lumen latvusinterseption trendeistä tehtyjä tutkimuksia on tiedossani hyvin vähän, näistä yhdessä tutkitaan lumen latvusinterseption trendejä (Kozii ym. 2017). Kaksi muuta tutkimusta (Gregow ym. 2008; Lehtonen ym. 2014) keskittyvät enemmän tykkylumen määrän trendeihin sekä sen mahdollisiin metsätaloudellisiin vaikutuksiin. Myöskään vertailuja metsätyyppien välisistä eroista lumen latvusinterseptiossa ei ole tiedossani kuin kaksi tutkimusta (Lundberg & Koivusalo 2003; Mahat & Tarboton 2014).

Näiden lisäksi on olemassa myös muutama tutkimus, joissa on tarkasteltu sadannan ja ilman lämpötilan vaikutusta lumen latvusinterseption (Kozii ym. 2017; Roth & Nolin 2019). Tutkielman tekeminen lumen latvusinterseption trendeistä sekä metsätyyppien välisistä eroista lumen latvusinterseptiossa on hyödyllistä, sillä tutkimuksia aiheesta on vähän. En ole esimerkiksi löytänyt yhtäkään aiempaa tutkimusta, jossa tarkasteltaisiin lumen latvusinterseption trendejä metsätyyppikohtaisesti, joten tämä tutkielma täyttää kyseistä aukkoa tieteellisessä kirjallisuudessa.

Tämän tutkielman tavoitteena on tarkastella mahdollisia muutoksia lumen latvusinterseptiossa viimeisen 70 vuoden aikana sekä latvusinterseption määrän vaihtelua metsätyypeittäin Suomessa. Tutkimuskysymykset ovat seuraavat: 1. Onko eri metsätyyppien välillä havaittavissa eroja lumen latvusinterseption määrässä? 2. Onko puuston lumen latvusinterseptiossa nähtävissä yleisellä tasolla tai metsätyypeittäin ajallista vaihtelua viimeisen 70 vuoden aikana? 3. Miten ympäristömuuttajat vaikuttavat lumen latvusinterseption määrään? Kirjallisuuteen pohjautuen oletuksena on, että lumen latvusinterseptiossa on eroja eri puustotyyppien välillä. Lisäksi kirjallisuudessa on mainittu havupuiden (kuusi ja mänty) sieppaavan latvustoihinsa enemmän lunta verrattuna lehtipuihin. Toiseen tutkimuskysymykseen liittyen oletuksena on, että lumen latvusinterseptiossa on havaittavissa muutoksia, jotka johtuvat ilmastonmuutoksesta. Ympäristömuuttajien tarkastelussa oletettavaa on, että kaikilla ympäristömuuttajilla on tilastollisesti merkitsevää vaikutusta lumen latvusinterseption määrään. Ilman lämpötila on mahdollisesti hallitsevin tarkasteltavista ympäristömuuttajista.

2. Hydrologinen kierto ja lumi

Hydrologisella kierrolla eli veden kiertokululla tarkoitetaan kaikkien veden eri olomuotojen (kaasu, neste, kiinteä) jatkuvaa liikettä maapallolla. Hydrologinen kierto koostuu sadannasta, pinta- ja pohjavalunnasta, haihdunnasta sekä vesihöyryn tiivistymisestä ilmakehässä (kuva 1) (Ward & Robinson 1990: 3–4). Dingman (1993: 40–41) mainitsee kolme pääpiirrettä globaalissa hydrologisessa kierrossa. Ensimmäiseksi meret menettävät enemmän vettä haihdunnan kautta kuin saavat sitä verrattuna meriin satavaan veden määrään. Toiseksi maanpinnalle sataa enemmän vettä verrattuna sen hävikkiin kokonaishaihdunnassa. Kolmanneksi maanpinnalle satanut ylimääräinen vesi palautuu meriin valunnan seurauksena, mikä tasapainottaa veden kiertoa ilmakehän ja meren välillä. Ilmakehässä vesihöyry tiivistyy, mikä mahdollistaa sateen syntymisen. Kaikki satanut vesi ei päädy maanpinnalle, sillä kasvillisuus ja esimerkiksi rakennukset kaupungeissa sieppaavat osan sateesta. Kasveista sekä rakennuksista vesi pääsee haihtumaan takaisin ilmakehään (Ward & Robinson 1990: 3).



Kuva 1. Veden kiertokulku ja sen päävaiheet luonnossa.

Lumen vaikutus hydrologiseen kiertoon on suuri (Rasmus 2005: 184; Armstrong & Brun 2008: 6). Se toimii veden lähteenä (lumen sulaminen) (DeWalle & Rango 2008: 243) ja kykenee myös ohjaamaan veden lävitseen nopeasti maahan, josta se päätyy myöhemmin vesistöihin valunnan seurauksena (Armstrong & Brun 2008: 40). Lumi vaikuttaa myös haihdunnan (Ward & Robinson 1990: 87), kokonaishaihdunnan (Barnett ym. 2005: 305) ja sulamisen ajoittumisen (Pavlovskii (2019: 1800) kautta hydrologiseen kiertoon. Wardin ja Robinsonin (1990: 44) mukaan tärkein asia hydrologista kiertoa ajatellen ei ole kuitenkaan lumen määrä, vaan sen vesiarvo. Lumi vaikuttaa maaperän kosteuteen, mikä ilmenee veden päättymisenä maaperään lumen sulaessa. Tällä tavoin lumi vaikuttaa kokonaishaihduntaan (Barnett ym. 2005: 305). Sulaessaan lumi täydentää esimerkiksi pohjavesivarastoja veden suodattuessa maaperän läpi (Pavlovskii ym. 2019: 1867). Lumen sulamisella on vaikutuksia kausittaiseen veden virtaamaan ja sen määrään veden päätyessä vesistöihin. Sulamisella on iso merkitys Barnettin ym. (2005: 303–304) mukaan varsinkin suurilla leveysasteilla (yli 45°N ja 45°S) sekä suurimmassa osassa maapallon vuoristoja (Barnett ym. 2005: 304; Armstrong & Brun 2008: 6). Lumesta sulaneen veden virtaamareitit eroavat hieman vesisateen muodostamista virtaamareiteistä (DeWalle & Rango 2008: 243). Lumessa oleva vesi päätyy DeWallen ja Rangon (2008: 243–244) mukaan neljää reittiä pitkin vesistöihin: 1. lumen sataminen uomaan, 2. pintavalunta lumen sulaessa, 3. maanpinnanalainen valunta ja 4. pohjavedestä tapahtuva valunta.

Lumen sulamisen ajoituksella on vaikutuksia niin haihduntaan, maaperän kosteuteen kuin myös valuntaan. Lumen sulaminen talvella johtaa lumessa olevan veden määrän vähenemiseen, mikä puolestaan näkyy keväällä pienempänä valuntana, vaikkakin kokonaisvalunta voi olla yhtä suuri normaalivuoden kanssa. Talven aikana tapahtunut lumen sulaminen vaikuttaa myös tulviin luoden monta valumasykäystä (*pulses*) yhden kevättulvan sijaan (Pavlovskii ym. 2019: 1800). Tavallista aikaisempi lumen sulaminen mahdollistaa veden haihtumisen aiemmin sekä maaperän kosteuden lisääntymisen. Myöhemmin samana vuonna haihdunta on kuitenkin pienempää normaalivuoteen verrattuna. Tämä johtuu siitä, että maaperä on tavallista kuivempi, mikä on seurausta lumen tavanomaista aiemmasta sulamisesta (Barnett ym. 2005: 305).

3. Lumi ja ilmasto

Lumipeite vaikuttaa ilmastoon eri tavoin, kuten mahdollistamalla kaasujen vaihdon ilmakehän ja maanpinnan välillä. Lisäksi lumi on hyvin tehokas katkaisemaan lämmön sekä kosteuden siirtymisen maanpinnalta ilmakehään (Armstrong & Brun 2008: 4–5, 6–7). Erilaisia vaikuttamistapoja lumella on esimerkiksi sen heijastavuuden kautta. Lumipeitteen heijastaessa auringon säteilyä se lämmittää ilmaa ja ilman lämpeneminen puolestaan aiheuttaa lumipeitteen sulamista. Lumipeitettä sekä ilman lämpötilaa hallitsee mekanismi, jota kutsutaan lumen heijastavuuskierroksi (*snow-albedo feedback*) (Armstrong & Brun 2008: 4–5). Lumipeite peittää talvikauden aikana yli 50 % pohjoisen pallonpuoliskon maa-alueesta. Monilla alueilla lumipeite pysyy yli 6 kuukautta vuodesta, joten se on elintärkeä kasveille ja eläimille. Talven aikana lumipeite helpottaa kasveja sekä eläimiä selviämään kylmästä sekä kuivuudesta. Tämä johtuu siitä, että lumipeitteen alla ilmankosteus ja lämpötila muuttuvat vähän sekä ovat suhteellisen korkeissa lukemissa verrattuna lumipeitteen yläpuolella olevaan tilanteeseen. Vastaavasti osalle lajeista lumipeite toimii esteenä lisääntymiselle, kun taas toisille lajeille (saimaannorppa) lumi on elintärkeä lisääntymisen kannalta (Rasmus 2005: 9–10).

3.1 Lumen fysikaaliset ominaisuudet

Lumi on huokoista materiaalia (Armstrong & Brun 2008: 19–20) ja sen huokoset ovat ilman ja veden täyttämiä (Rasmus 2005: 9). Lumipeite toimii talvella hyvänä eristeenä kylmän ilman ja suhteellisen lämpimän maanpinnan välillä, sillä sen huokosissa on enemmän ilmaa kuin vettä (Rasmus 2005: 9). Lumi poikkeaa Armstrongin ja Brunin (2008:19–20) mukaan monista muista huokoisista materiaaleista, sillä lumihiuksia ovat toisiinsa kiinnittyneitä. Ominaisuuksiltaan lumi on monimutkainen, sillä veden nestemäinen, kaasumainen sekä kiinteä olomuoto voivat esiintyä yhtä aikaa lumipeitteessä. Armstrong ja Brun (2008: 13) toteavat lumipeitteen mikrorakenteen vaikuttavan suuresti sen käyttäytymiseen eri mittakaavoissa, kuten lumivyöryissä.

Lumipeitettä kuvailtaessa tarkastellaan sen kolmea perusominaisuutta, jotka ovat lumipeitteen paksuus (cm), tiheys (kg/m^3) ja lumen vesiarvo (kg/m^2 tai mm) (Armstrong & Brun 2008: 4; Derksen ym. 2014). Nämä perusominaisuudet ovat tärkeitä lämmön sekä veden siirtymisessä (Armstrong & Brun 2008: 4). Erityyppisillä lumipeitteillä tiheys on erilainen. Meløysund ym. (2007: 414) ovat jaotelleet lumipeitteen neljään erilaiseen

tyyppiin (tuore, vakiintunut, vanha ja märkä), joille he ovat määritelleet oletustiheyden. Esimerkiksi tuoreen lumen tiheys on 100 kg/m^3 , kun taas märän lumen tiheys on 400 kg/m^3 . Armstrong & Brun (2008: 4) pitävät tärkeänä lumipeitteen ominaisuuksia, jotka vaikuttavat maanpinnan ja ilmakehän energianvaihtoon. Näistä ominaisuuksista tärkeimpiä ovat heijastavuus, lämpöominaisuudet (esimerkiksi piilevä lämpö (*latent heat*)), lumen eristyskyky ja lumikiteiden rakenne sekä koko (Derksen ym. 2014: 7257) jo aiemmin mainittujen perusominaisuuksien lisäksi (Armstrong & Brun 2008: 4). Piilevä lämpö tarkoittaa kondensaation (tiivistymisen) aikana tapahtuvaa, höyrystymisestä johtuvaa ilman jäähtymistä tai lämpenemistä (Harding ja Pomeroy 1996: 2779).

Tuore lumi heijastaa jopa 80-90 % tulevasta auringon säteilystä (Vehviläinen 1992: 36; Rasmus 2005: 9; Armstrong & Brun 2008: 4–5). Sen heijastavuus heikentyy lumipeitteen vanhetessa, likaantuessa (Armstrong & Brun 2008: 4–5) sekä kiteiden kasvaessa (Hardy ym. 1997: 2939; Armstrong & Brun 2008: 12–13). Heijastavuus (albedo) on riippuvainen myös tulevan säteilyn spektraalisesta jakautumisesta (Armstrong & Brun 2008: 55). Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi lumen heijastavuuteen vaikuttavat myös sen perusominaisuudet (Vehviläinen 1992) sekä kasvillisuus (Armstrong & Brun 2008: 4). Kasvillisuus sekä lumipeitteen päällä oleva lika sitovat itseensä auringon säteilyä heikentäen lumen heijastavuussuhdetta (Armstrong & Brun 2008: 4–5).

3.2 Lumen vesiarvo

Lumen vesiarvolla tarkoitetaan vesimäärää, jonka jokin tietty lumimassa sisältää. Sitä voidaan siis ajatella vesimääränä, joka syntyy teoriassa tietyn lumimassan sulassa (What is Snow Water Equivalent 2020; Armstrong & Brun 2008: 4; DeWalle & Rango (2008: 17). Toisin sanoen lumen vesiarvo määrittää lumipeitteen hydrologisen arvon (Jonas ym. 2009: 161). Dewalle & Rango (2008: 18) toteavat lumipeitteen vesiarvon käsittävän kaiken nestemäisen veden, joka voi olla varastoituneena lumipeitteeseen yhdessä jääkiteiden kanssa. Lumen vesiarvo on mahdollista laskea Jonaksen ym. (2009: 161) mukaan, mikäli lumen tiheys on tiedossa. Bulygina ym. (2011: 5) lisäävät, että lumipeitteen tiheyden lisäksi sen syvyys määrittää kausittaisen lumen vesiarvoa. DeWalle ja Rango (2008: 17) ovat käyttäneet seuraavaa yhtälöä (1) lumen vesiarvon laskuun:

$$SWE=d(P_s/P_w) \quad (1)$$

Kaavassa SWE (*snow water equivalent*) on lumen vesi-arvo, d kuvaa lumipeitteen syvyyttä. P_s tarkoittaa lumipeitteen tiheyttä, ja P_w nestemäisen veden tiheyttä (DeWalle & Rango 2008:17).

3.3 Lumipeitteen paksuuteen vaikuttavat tekijät

Lumipeitteen paksuuteen ja lumitilanteeseen vaikuttavia tekijöitä on monia. Tärkeimmät niistä ovat Brownin ja Moten (2009) mukaan lämpötila sekä sadanta. Tuulella (Rasmus 2005: 16; Armstrong & Brun 2008: 83; Derksen ym. 2014: 7258), pinnanmuodoilla (McKay & Gray 1981: 160; Armstrong & Brun 2008: 83; Derksen ym. 2014: 7255, 7258) ja kasvillisuuden määrällä (Derksen ym. 2014: 7255) on myös suuri rooli lumipeitteen paksuuden määräytymisessä.

Sadanta määrittelee lumipeitteen kokonaismäärän, mutta ilman lämpötila määrittelee, tuleeeko sade vetenä vai lumena (Eamer ym. 2007: 41). McKayn ja Grayn (1981: 154) sekä Rasmusen (2005: 16) mukaan lämpötilalla on vaikutusta myös uuden lumen kovuuteen, kuivuuteen sekä sen kiteisyyteen. Tämä vaikuttaa puolestaan siihen, kuinka helposti tuuli kuljettaa lunta (McKay & Gray 1981: 154). Muutokset lämpötilassa ja sadannassa, tai vain toisessa näistä tekijöistä aiheuttavat muutoksia lumipeitteessä. Nämä muutokset ilmenevät erityisesti niillä alueilla ja vuodenaikoina, joina lämpötila on lähellä 0 °C:ta (Luomaranta ym. 2019: 2).

Tuuli vaikuttaa lumipeitteen paksuuteen liikuttaen sekä levittäen jo satanutta lunta paikasta toiseen (Rasmus 2005: 16; Derksen ym. 2014: 7258). Armstrongin & Brunin (2008: 83) mukaan tuulen merkitys lumen kulkeutumisessa on suurta avarilla, vähäisen kasvillisuuden alueilla, kuten vuoristoissa, tundralla sekä aroilla. Tuuli liikuttaa lumikiteitä eri tavoin. Lumikiteet liikkuvat tuulen mukana pyörien tai pomppien lumipeitteen päällä (saltaatio) (Armstrong & Brun 2008: 87). DeWalle ja Rango (2008: 30) kuitenkin erottelevat kiteiden pomppimisen (saltaatio) ja pyörimisen (creep) vielä omiksi kulkeutumismuodoikseen suspension lisäksi. Suspensiolla tarkoitetaan lumikiteiden liikkumista korkealla ilmassa tuulen puhaltaessa riittävän voimakkaasti (Rasmus 2005: 16; Armstrong & Brun 2008: 86–87; DeWalle & Rangon 2008: 30). Tuulen voimakkuuden ollessa pieni, saltaatio on pääasiallinen lumikiteiden

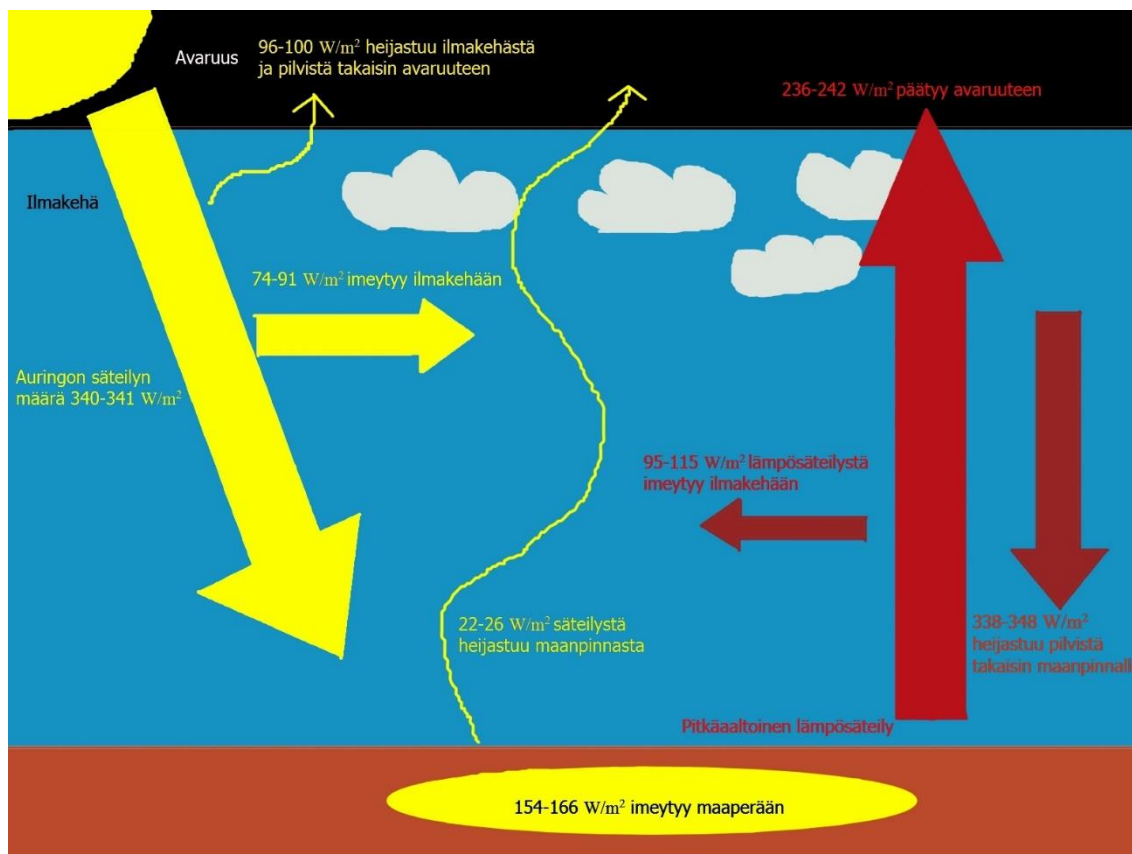
kulkeutumismuoto. Vastaavasti voimakkailla tuulilla suspensio on suurimmassa roolissa lumikiteiden kulkeutumisessa (Armstrong & Brun 86–87). Yleisimmin tuuli kuitenkin kuljettaa lumikiteitä DeWallen ja Rangon (2008: 30) mukaan suspensiona. Tuuli kasaa lunta kinoksiksi tai penkoiksi, aiheuttaen samalla lumipeitteen tiheyden kasvua ja kiteiden muodon sekä ominaisuuksien muuttumista (Rasmus 2005: 16; Armstrong & Brun 2008: 4). Lumipeitteen tiheyden kasvaminen johtuu Kuusiston (1973) mukaan tuulen kyvystä lajitella materiaalia, tässä tapauksessa lumikiteitä niiden koon mukaan.

Pinnanmuodot (Derksen ym. 2014: 7255, 7258) yhdessä tuulen kanssa vaikuttavat lumipeitteen kerrostuneisuuteen. Tunturit ja muut puuttomat sekä vähäisen kasvillisuuden alueet voivat olla ilman lunta, tai sitä on keskimäärin vähemmän kuin alueilla, joilla on kasvillisuutta (Derksen ym. 2014: 7258 – 7259). Derksen ym. (2014: 2759) toteavat pinnanmuotojen olevan ainut syy sille, miksi lumipeite on vähäisen kasvillisuuden alueella keskiarvoa paksumpi joissain kohdissa. Lunta kerrostuu tavallisesti eniten tuulelta suojassa oleville jyrkille rinteille sekä rotkoihin, joissa tuuli ei pääse vaikuttamaan yhtä helposti, kuin esimerkiksi tunturien tai vuorien laella (McKay & Gray 1981: 163–164).

Kasvillisuus vaikuttaa lumipeitteen kerrostumiseen, sillä se vaikuttaa lumipeitteen pinnan kovuuteen, sulamiseen keväisin sekä tuulen voimakkuuteen. Tuulen voimakkuus puolestaan vaikuttaa lumipeitteen eroosioon (lumikiteiden kuljetus ja kasaus) (McKay & Gray 1981: 165). Vehviläinen (1992: 23–24, 26) toteaa teoksessaan lumipeitteen sulavan keväisin hitaammin metsäisillä alueilla verrattuna aukeisiin alueisiin. Tämä johtuu hänen mukaansa kasvillisuuden ja erityisesti puuston latvuskerroksen suojaavasta vaikutuksesta auringon säteilyltä ja tuulelta. Kasvillisuus vaikuttaa myös lumipeitteen tiheyteen. Lumipeite on useimmiten tiheämpi metsäisellä alueella verrattuna aukeisiin alueisiin. Tämä johtuu lumen pakkaantumisesta sen pudotessa puiden oksilta maahan (Lundberg & Halldin 2001: 118; Lundberg & Koivusalo 2003: 1481).

3.4 Energiatase sekä lyhyt- ja pitkäaaltoinen säteily

Energiataseella tarkoitetaan maan ja ilmakehän välistä energiatasapainoa (National Oceanic Atmospheric Administration 2020). Se käsittää maapallolle tulevan energian (lyhytaaltoinen säteily) sekä maapallolta poistuvan energian (pitkäaaltoinen säteily) (kuva 2) (National Oceanic Atmospheric Administration 2020; Armstrong & Brun 2008: 53).



Kuva 2. Kaaviokuva maapallon energiataasesta ja kasvihuoneilmiöstä kesällä. Eri heijastuneisuuden osuudet sekä absorboitumisen määrät esitetään watteina neliömetrillä (W/m²). (Muokattu Wild ym. 2013 pohjalta)

Lumen tärkein piirre lyhytaaltoisen säteilyn spektrin alueella (0.3-2.8 μm) on sen suuri heijastavuus (Armstrong & Brun 2008: 53). Armstrongin ja Brunin (2008: 55) mukaan heijastussuhteeseen vaikuttaa suuresti kasvillisuuden, etenkin puuston kyky siepata maahan tulevaa säteilyä. Puuston vaikutuksen heijastavuussuhteen heikkenemisessä määrittävät kasvillisuuden tyyppi ja tiheys, lumen kasautuminen latvustoon ja oksille sekä saapuvan säteilyn määrä (Armstrong & Brun 2008: 55). Lumen suuri lämmönluovutuskyky yhdessä lyhytaaltoisen säteilyn suuren heijastavuuden kanssa

vaikuttaa Armstrongin & Brunin (2008: 58) mukaan suuresti maapallon ilmastoon, esimerkiksi jäädyttäen nopeasti mantereisia alueita talvisin. Pitkäaaltoista säteilyä ajatellen lumi käyttäytyy lähes täydellisenä mustana kappaleena. Tämän takia se kykenee imemään lähestulkoon kaiken pitkäaaltoisen säteilyn, joka saapuu ilmakehästä tai lunta ympäröivistä esteistä, kuten kasvillisuudesta. Lumi kuitenkin luovuttaa suurimman mahdollisen määrän imemäänsä lämpösäteilyä ilmaan. Luovutettavan lämpösäteilyn määrää hallitsee lumen pintalämpötila (Armstrong & Brun 2008: 58).

Puiden latvustot vaikuttavat latvuserrosten alapuolelle päätyvän säteilyn määrään (Essery ym. 2008: 2788). Tämä johtuu muun muassa siitä, että puut imevät itseensä (absorb) suuren osan maahan tulevasta lyhytaaltoisesta säteilystä (Rouse 1984: Sicart ym. 2004: 774 mukaan). Myös metsien varjoisuuden on todettu vähentävän maan pinnalle päätyvän lyhytaaltoisen säteilyn määrää (Gryning ym. 2001: 465; Essery ym. 2008: 2788). Lumipeitteeseen asti päätyvästä säteilystä osa heijastuu pois kohti puiden latvustoa ja oksia. Tämän heijastumisen takia puiden oksistot saavat imettyä vielä osan heijastuneestakin säteilystä itseensä (Gryning ym. 2001: 469).

Pitkäaaltoisen säteilyn määrä nousee latvuston alla johtuen puiden latvuston sekä oksien lämpenemisestä, niiden imiessä auringon lyhytaaltoista säteilyä itseensä (Sicart ym. 2004: 774; Essery ym. 2008: 2788). Puut ja niiden latvustot rajoittavat pitkäaaltoisen säteilyn hävikkiä lumen pinnasta, minkä vuoksi lumen lämpötila pysyy lähellä jäätympistettä tiheissä metsissä (Höller 2001: 222). Lumen sulamiseen liittyen hallitseva tapahtuma on Sicartin ym. (2004: 774) mielestä lyhytaaltoisen säteilyn väheneminen kasvillisuuden vaikutuksesta. Pitkäaaltoisen säteilyn lisääntyminen voi kompensoida lyhytaaltoisen säteilyn vähenemisen vaikutuksia (Sicart ym. 2004: 774). Lumipeitteen pinnan saavuttavan säteilyn määrä ei kuitenkaan ole suuresti riippuvainen puuston latvustojen tiheydestä metsässä, mikäli lumi on puhdasta ja sen heijastussuhde on yli 50 %. Tämä johtuu edellä mainitusta pitkäaaltoisen säteilyn kyvystä kompensoida lyhytaaltoisen säteilyn vähenemistä puuston latvuston tiheyden kasvaessa (Sicart ym. 2004: 774, 783). Puuston latvustojen alapuolisen alueen energiataseeseen vaikuttavat suuresti Hardyn ym. (2004: 257) mukaan auringon säteilyn sekä pyörteisten virtausten (turbulent flow) suuri spatiaalinen vaihtelu. Varsinkin latvustojen alle päätyvässä auringon säteilyn määrässä on suuria eroja (Hardy ym. 2004: 257).

3.5 Ilmastonmuutos

Ilmasto ja sitä kautta myös ilmastonmuutosta on tarkkailtu vuodesta 1850 lähtien erilaisten laitteiden (instrumental observations) avulla. Viimeisten vuosikymmenten aikana ilmaston tarkastelukykymme on parantunut johtuen kehitysaskeleista maailmanlaajuisessa ilmaston tarkkailujärjestelmässä (Stocker ym. 2013: 164). Stocker ym. (2013: 164) nostavat erityisesti esiin satelliittien suuren merkityksen ilmastonmuutoksen tarkastelussa ja havainnoinnissa, yhdessä perinteisten maanpinnalta (*ground-based*) otettujen mittausten sekä radiosondi-mittausten (radiosonde) kanssa.

Yhtenä ilmastonmuutoksen syynä pidetään auringon säteilyä, joka kulkeutuu maapallon pinnalle sen ilmakehän läpi, imeytyen maahan lämpönä. Kuitenkin osa säteilystä heijastuu maan pinnasta takaisin ilmakehään. Maapallolta poistuvan säteilyenergian osuessa ilmakehään, ilmakehä toimii kaasumaisena linssinä, heijastaen suuren osan tästä säteilyenergiasta takaisin maanpinnalle. Tämän seurauksena maapallolle jää ylimääräistä säteilyenergiaa (Wong 2016: 33), mikä lämmittää sitä (Schneider 1989:771). Edellä mainitussa ilmiössä tärkeä rooli on ilmakehässä olevilla kaasuilla ja hiukkasilla, jotka estävät maapallon pinnasta heijastuneen säteilyenergian poistumisen maapallolta. Tätä ilmiötä kutsutaan Schneiderin (1989: 771) mukaan kasvihuoneilmiöksi.

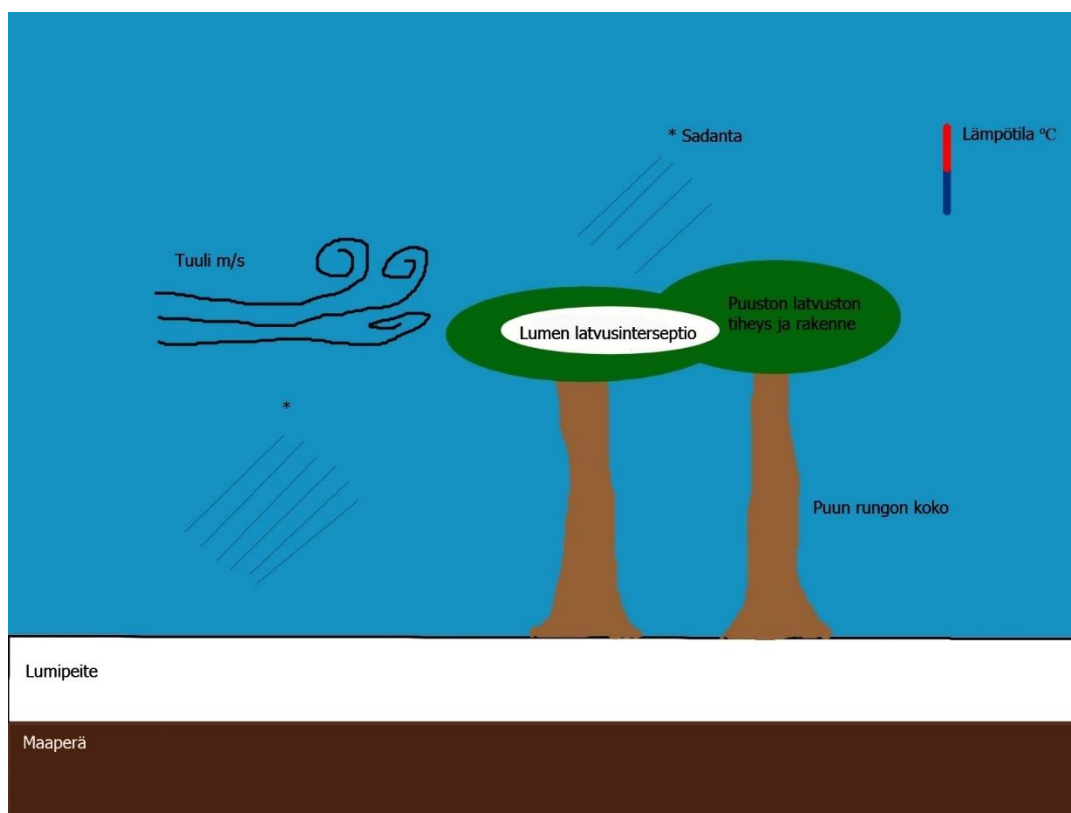
Ilmakehän kaasuista tehokkaimpia auringon lämpösäteilyn pidättäjiä ovat kasvihuonekaasuiksi kutsutut hiilidioksidi, metaani sekä typen oksidit (Gryning ym. 2001: 477; Asikainen ym. 2012: 12). Nämä ilmakehän kaasut ovat Wongin (2016: 41) mukaan tehokkaimpia, sillä ne pysyvät ilmakehässä pitkän aikaa sinne päädyttyään. Toimet, jotka lisäävät kasvihuonekaasujen pitoisuutta ilmakehässä, muuttavat samalla ilmastoja. Ihmiset tuottavat kasvihuonekaasuista selvästi eniten hiilidioksidia, polttamalla tapahtuvan energiantuotannon yhteydessä (Asikainen ym. 2012: 12). Milanković (1941: Asikainen ym. 2012 :41 mukaan) toteaa auringon säteilyn, maan akselin kallistelun, hyrrämäisen vaappumisen sekä kiertoradassa tapahtuvien jaksollisten muutosten yhteisvaikutuksen määräävän ilmaston pitkän aikavälin vaihteluita. Alfsen ym. (1998: 7) kertovat lisäksi maanosien muodon ja sijainnin, vulkaanisen aktiivisuuden sekä ilmakehän ja maanpinnan heijastavuuden muutoksien vaikuttavan muutoksiin ilmastossa edellä mainittujen tekijöiden ohella. Auringon aktiivisuuden vaihtelu, erityisesti sen syklinen vaihtelu ovat tärkeimpiä ilmastotekijöitä maapallolla (Ogurtsov 2005: 186).

Ilmaston lämpeneminen on vain yksi osa ilmastonmuutosta (Wong 2016: 42). Kovats ym. (2014: 1275–1276) toteavat ilmaston lämpenemisen olleen kaikkein voimakkainta 1980-luvulta lähtien Skandinaviassa, erityisesti talvella. Lämpötilat ovat heidän mukaansa nousseet maa-alueilla Euroopassa vuoteen 2011 mennessä keskimäärin noin 1,3 °C:ta verrattuna vuosien 1850-1899 keskiarvoihin. Mikkosen ym. (2015: 1528) mukaan ilman lämpötila on noussut ilmastonmuutoksen myötä Suomessa vähintään 2 °C:ta vuodesta 1847 (0,14 °C:ta vuosikymmenessä). Maailmanlaajuiseen ilmaston lämpenemiseen verrattuna lämpötilat ovat nousseet Suomessa lähes kaksi kertaa enemmän. Suomessa ilmaston lämpeneminen on kiihtynyt 1960-luvun loppupuolelta lähtien (0,2–0,4 °C:ta vuosikymmenessä) (Mikkonen ym. 2015: 1528). Ilmaston lämpenemisen lisäksi vuotuisen sadannan on havaittu kasvaneen Keski- ja Pohjois-Suomessa vuosien 1911–2011 aikana (0,92 mm:ä ± 0,50 mm:ä vuodessa) (Irannezhad ym. 2014: 3143, 3150). Irannezhad ym. (2014: 3143) huomasi talvikauden sadannan kasvaneen eniten muihin vuodenaikoihin verrattuna. Se on heidän mukaansa voimakkainta Pohjois-Suomessa (Irannezhad ym. 2014: 3150).

Ilmaston lämpenemisen ja sadannan määrän kasvamisen lisäksi ilmastonmuutos on aiheuttanut 1950-luvulta lähtien sään ääri-ilmiöiden yleistymistä. Myös jäätiköt ovat alkaneet sulaa niin arktisilla alueilla kuin merialueillakin (Wong 2016: 42–43). Ilmaston lämpenemisen aiheuttamilla muutoksilla lumipeitteeseen tulee olemaan vaikutuksia sekä luonnon että ihmisten järjestelmiin (Rasmus 2005: 10), kuten käytettävissä olevan veden määrään kesäisin (Armstrong & Brun 2008: 7–8). Muita tällaisia muutoksia ovat esimerkiksi lumen sulaminen keväisin aikaisemmin, lumen vähäisempi kasaantuminen talvisin (Mellander ym. 2007: 188), yhä useammin tapahtuva lumen sulaminen talvisin ja sadannan tuleminen lumen sijaan vetenä (Niemeyer ym. 2016: 3058). Pulliainen ym. (2020: 295) toteavat lumen määrän kasvaneen Pohjois-Amerikassa, mutta muutoksen olleen mitätön Euraasian mantereella. Samalla he kuitenkin huomauttavat Euraasian mantereen alueellisista eroista lumen määrän trendeissä. Siperiassa lumen määrän on havaittu kasvaneen, kun taas Euroopassa sen on havaittu vähentyneen huomattavasti (Pulliainen ym. 2020: 297).

4. Puuston lumen latvusinterseptio ja interseptionhävikki

Lumen latvusinterseptiolla tarkoitetaan puiden ja muun kasvillisuuden kykyä siepata satavaa lunta latvustoonsa (kuva 3) (DeWalle & Rango 2008: 36). Tämä on tyypillistä ikivihreissä, boreaalisen alueen metsissä (Armstrong & Brun 2008: 83). Lumesta, joka jää kiinni puiden latvustoihin käytetään nimitystä siepattu lumi (*intercepted snow*) (DeWalle & Rango 2008: 36). Tutkimuksissa mitataan yleensä lumen latvusinterseptiota epäsuorasti vertaamalla eroja lumen määrässä maanpinnalla metsän sekä aukean alueen välillä (Lundberg & Halldin 2001: 129; Lv & Pomeroy 2020: 2230). Tavallisesti lunta on varastoituna eniten puiden latvustossa keskitalvella (Lundberg & Koivusalo 2003: 1481). Sublimaatio, lumen putoaminen maahan sekä sulaminen (Essery ym. 2003: 1861) poistavat lunta puuston latvuksista, minkä vuoksi sieppaus määritellään latvuksen lumikuormasta (lumen määrä puuston latvuksissa jonain tiettyinä aikana) (Armstrong & Brun 2008: 83). Sublimaatiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa jokin aine muuttaa olomuotoaan kiinteästä suoraan kaasuksi siirtymällä nestemäisen välivaiheen yli (Ward & Robinson 1990: 87; Robards ym. 1994).



Kuva 3. Latvusinterseptio lumen sadannasta ja lumen latvusinterseptioon vaikuttavia tekijöitä. (Muokattu Armstrong & Brun 2008 pohjalta).

Puuston latvusinterseptioon ja lumen kasautumiseen maahan vaikuttaa suuresti puuston latvuston tiheys (Lundberg & Koivunsalo 2003: 1491; Kozii ym. 2017: 3558). Mitä suurempi latvuston tiheys on, sitä suuremman määrän satavasta lumesta puun latvusto sieppaa (Lundberg & Koivunsalo 2003: 1491; Varhola ym. 2010; Kozii ym. 2017: 3558). Tämä puolestaan johtaa suurempaan sublimaatioon sekä haihduntaan latvustosta (Kozii ym. 2017: 3558). Suurin osa latvuston sieppaamasta vettä sisältävästä lumesta palautuu takaisin ilmakehään sublimaation ja haihdunnan (DeWalle & Rango 2008: 36) vaikutuksesta, ennen kuin se päätyy maahan asti (Essery ym. 2003: 1855). Tästä sublimaatioon sekä haihduntaan liittyvästä lumen massan menetyksestä (*mass loss*) käytetään termiä interseptiohävikki (*interception loss*).

Interseptiohävikkiä voi tapahtua myös tuulen vaikutuksesta (DeWalle & Rangon 2008: 36), kun tuuli sieppaa lunta mukaansa latvuksesta ja osa tuulen mukana kulkeutuvista jääkiteistä sublimoituu ilmakehään (Armstrong & Brun 86–87). Loput tuulen sieppaamista lumikiteistä leviävät uusiin paikkoihin (DeWalle & Rango 2008: 36). Yli 9 m/s puhaltavan tuulen nopeuden on todettu olevan tarpeeksi voimakas pudottaakseen lunta puiden latvustoista (Solantie 1994: 203). Latvuston vaikutus maan pinnalla olevaan lumen syvyyteen on Esseryn ym. (2003: 1859) mukaan kiistaton. Latvuston peittävyuden lisäksi myös neulasten ominaispiirteiden ja suuruuden (Armstrong & Brun 2008:83), oksien kulman ja taipuisuuden (DeWalle & Rangon 2008: 37), latvuston rakenteen, rungon koon (Armstrong & Brun 2008:83) sekä geometrian (Dunford & Niederhof 1944 Varholan ym. 2010: 224 mukaan) on huomattu vaikuttavan latvustojen lumensieppaamistehokkuuteen. Havupuilla neulasmaiset lehdet mahdollistavat lumikiteiden pidättäytymisen neulasnippuun, kuin myös niiden tarttumisen toisiinsa neulasten yli, ja kasaantumisen, kunnes kasaantunut lumi tippuu oksalta maahan. Oksien taipuisuus määrittää, milloin kasautunut lumi putoaa oksilta maahan (DeWalle & Rangon 2008: 37–39). Erilaisilla metsätyypeillä on havaittu olevan eroja niiden lumensieppaamiskyvyssä (Lundberg & Koivusalo (2003: 1490; Mahat & Tarboton 2014: 6329). Lundberg & Koivusalo (2003: 1490) sekä Mahat & Tarboton (2014: 6329) toteavat havupuiden kykenevän varastoimaan latvuksiinsa enemmän lunta verrattuna lehtipuiden latvustoihin. Tämä johtuu Mahatin ja Tarbotonin (2014: 6329) mukaan havupuiden tiheimmästä latvustosta. Kuz'minin (1960 Gelfan ym. 2004: 785 mukaan) mukaan lehtipuuvältaisten metsien alle kertyy lunta vesiarvollisesti

lähestulkoon saman verran kuin aukealle alueelle. Vastaavasti mäntymetsiin lunta kertyy 5 – 35 % vähemmän ja kuusimetsiin 10 – 60 % vähemmän kuin aukeille alueille (Kuz'minin 1960 Gelfan ym. 2004: 785 mukaan).

Sadannan määrä vaikuttaa latvuston lumen sieppaamiseen, sillä latvustot eivät voi siepata lunta loputtomasti (Armstrong & Brun 2008: 83; Boon 2009: 2608). Sadannan lisäksi aiemmin siepatun lumen määrä sekä latvuston altistuminen tuulelle vaikuttavat lumen sieppaustehokkuuteen (Lundberg & Koivusalo 2003: 1490). Lumen sadannan määrän saavuttaessa tietyn pisteen, puuston latvusto ei kykene enää sieppaamaan lunta yhtä tehokkaasti sadannan jatkuessa (Boon 2009: 2608; Lv & Pomeroy 2020: 2236). Puun latvustot kykenevät sieppaamaan enemmän lunta vuoden aikana, mikäli sadanta on pientä sadetapahtuman aikana (Brooks ym. 2003 Varhola ym. 2010: 221 mukaan). Storck ym. (2002: 8) huomasivat puuston sieppaavan jopa 60 % sataneesta lumesta alle 50 mm:n (lumen vesiärvollisesti) sadantatapahtumissa. Heidän mukaansa lumen latvusinterseption maksimimäärä, minkä puut voivat siepata, olisi vähintään 40 mm:ä lumen vesiärvona mitattuna (Storck ym. 2002: 8).

Lämpötilalla on suuri merkitys siinä, kuinka paljon puuston latvusto sieppaa lunta. Se onkin yksi tärkeimmistä mikrometeorologisista muuttujista, jotka vaikuttavat lumen latvusinterseption tehokkuuteen ja määrään (Roth & Nolin 2019: 4578). Tämä johtuu Rothin & Nolinin (2019: 4565) mukaan muutoksista lumihiutaleen rakenteessa sekä hiutaleiden yhdessä pysymisessä eli koheesiossa. Koziin ym. (2017: 3562) mukaan alle -3°C:n lämpötilassa tapahtuva lumisade vaikuttaa negatiivisesti lumen latvusinterseptioon. Vastaavasti ilman lämmitessä lumen sieppaaminen puuston latvuksiin on tehokkaampaa aina siihen asti, kunnes sulamispiste saavutetaan. Tämä johtuu siitä, että korkeammassa lämpötilassa lumihiutaleiden koheesio kasvaa (Roth & Nolin 2019: 4565). Kaikkein tehokkainta lumen latvusinterseptio on Solantien (1994: 203) mukaan ilman lämpötilan ollessa sadannan aikana yli 0°C:ta. Tämä johtaa oksilla olevan lumen muuttumiseen kosteammaksi, mikä puolestaan saa lumen tarttumaan oksille entistä paremmin (Solantie 1994: 203).

Latvuston tiheyden, aerodynaamisen vastuksen ja ilmankosteuden alijäämän (*vapour pressure deficit*) määrän tiedetään olevan tärkeimpiä lumen haihduntaan puiden latvuksista vaikuttavia tekijöitä. Lumen haihdunta puuston latvustosta voi yltyä jopa 1,3 – 3,9 mm:iin päivässä (Lundberg & Halldin 2001: 117, 123). Lumen latvushaihdunnan

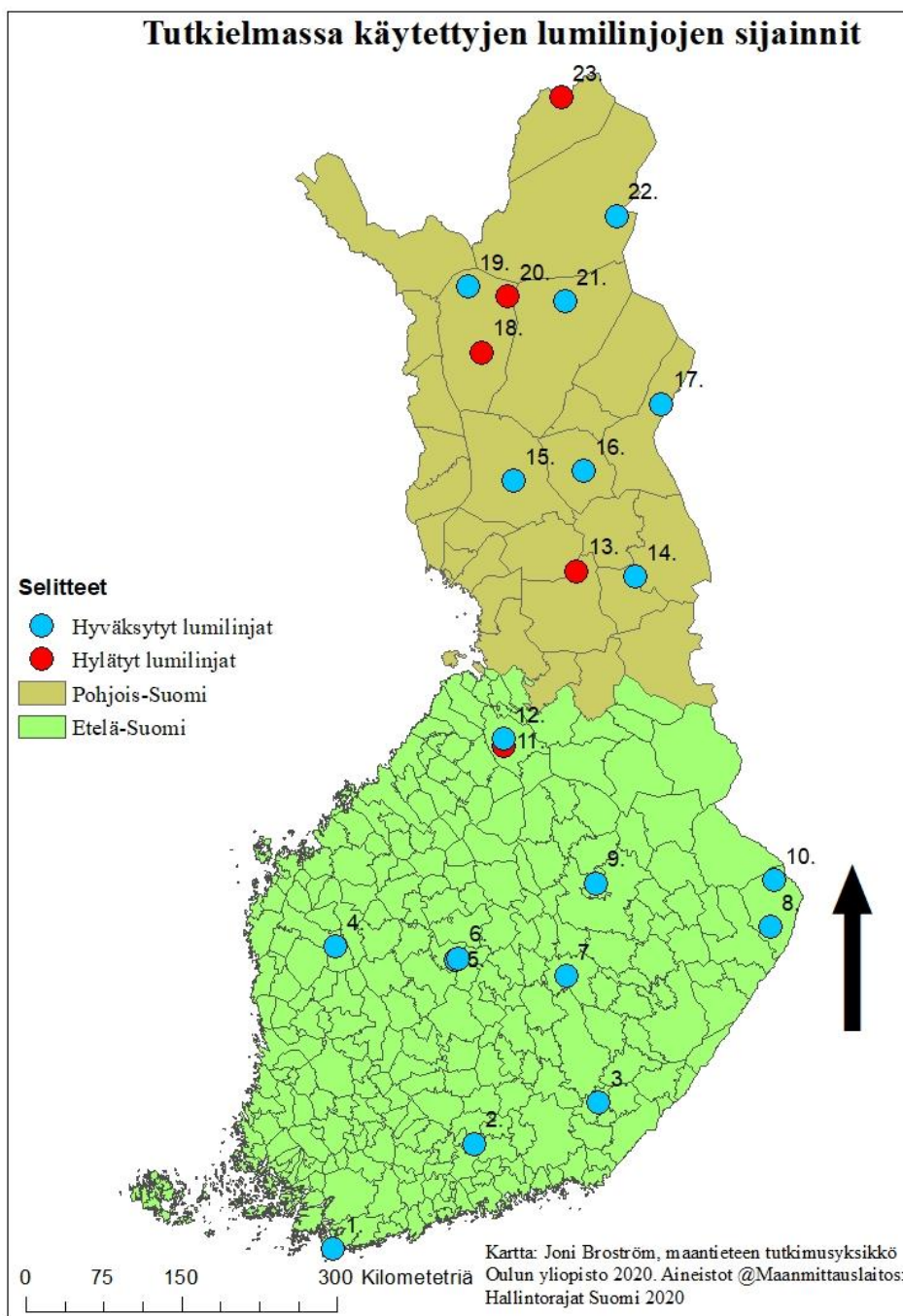
on huomattu olevan jopa 40 % vähäisempää latvuston alimmilta oksilta verrattuna latvuston ylimpiin osiin (Lundberg & Halland 2001: 125). Tämä johtuu siitä, että ylimmissä latvuskerroksissa oleva lumi on alttiina erilaisille haihduntaan vaikuttaville tekijöille, kuten auringon säteilylle, verrattuna esimerkiksi maanpintaan metsässä (Lundberg & Koivusalo 2003: 1490).

4.1 Ilmastonmuutoksen vaikutukset latvusinterseptioon

Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa korkeilla leveysasteilla pääosin talviolosuhteisiin ja mahdollisesti myös havumetsävyöhykkeeseen sekä sen toimintaan (Lundberg & Halldin 2001: 117). Lähestulkoon kaikkialla Pohjois-Euroopassa lumen sadannan määrä tulee vähenemään ilmaston lämpenemisen seurauksena. Kuitenkin kaikkein kylmimmillä alueilla lumen sadannan määrän oletetaan kasvavan. Raja-arvona lumen sadannan lisääntymisessä pidetään -11°C :n kuukausittaista keskilämpötilaa. Ilmaston lämpenemisen ei kuitenkaan nähdä vaikuttavan todella suurten lumisadetahtumien määrään (Räisänen 2016: 340, 351). Lehtonen ym. (2016) ovat tehneet ennusteita ilmastonmuutoksen vaikutuksista puiden kykyyn siepata lunta latvustoihinsa Suomessa. Kyseisen ennusteen mukaan sekä Pohjois- että Itä-Suomessa yhä suurempi osa lumesta tulee päätymään puiden latvustoihin maan sijaan, tämän vuosisadan aikana. Vastaavasti Etelä- ja Länsi-Suomessa puut tulisivat sieppaamaan ennusteiden mukaan vähemmän lunta, kuin mitä ne tällä hetkellä sieppaavat latvustoihinsa. Kuitenkin aluksi lumen latvusinterseption määrän Etelä- ja Länsi-Suomessa ennustetaan kasvavan (Lehtonen ym. 2016: 2265–2268). Gregowin ym. (2008: 530) mukaan tykkylumen määrä puissa on kasvanut ajanjaksolla 1961–2000. He pitävät nousevan trendin syynä mahdollisesti ilmastonmuutoksesta johtuvaa ilmaston lämpenemistä. Kozii ym. (2017: 3558) kuitenkin muistuttavat, että ilmastonmuutoksen mahdolliset vaikutukset lumen latvusinterseptioon tunnetaan vielä hyvin huonosti.

5. Tutkimusalue

Tutkimusalueena on Suomen valtion alue ja siellä sijaitsevat lumilinjat (kuva 4). Suomen sijainti pohjoisilla leveysasteilla Euraasian mantereen ja Pohjois-Atlantin välillä luo mahdollisuudet nopeille säävaihteluille sekä ilmaston ajalliselle, kuin paikallisellekin vaihtelulle. Maakuntien sisäiseen eli paikalliseen ilmaston vaihteluun vaikuttavat pääasiassa maastonmuodot (korkeuserot) sekä vesistöt (Kersalo & Pirinen 2009: 3). Suomen eteläisissä osissa vallitsee leudompi meri-ilmast. Vastaavasti Pohjois- Suomen ilmastossa on arktisia piirteitä (Luomaranta ym. 2019: 3150). Itä-Suomessa on puolestaan havaittavissa mannerilmaston piirteitä (Kersalo & Pirinen 2009: 12–13). Kersalon ja Pirisen (2009: 9) mukaan Suomi jakaantuu viiteen ilmastovyöhykkeeseen, jotka ovat: hemiboreaalin, eteläboreaalin, keskiboreaalin, pohjoisboreaalin ja hemiarktinen vyöhyke. Jaossa Kersalo ja Pirinen (2009) ovat käyttäneet lämpötilan lisäksi hyödyksi Suomen kasvillisuusvyöhykkeitä ilmastovyöhykkeiden laatimisessa.



Kuva 4. Tutkielmassa käytettyjen lumilinjojen sijainti sekä alueen jako Pohjois- ja Etelä-Suomeen. Selitteissä olevat hylätyt ja hyväksytyt lumilinjat viittaavat trendianalyyseihin ja ympäristömuuttujien tarkasteluun. Hylätyjen lumilinjojen havainnoista ei pystynyt muodostamaan aikasarjoja, minkä takia niitä ei otettu mukaan analyysihin. Numeroidut lumilinjat ovat seuraavanlaiset: 1. Hanko 2. Orimattila, Keituri 3. Savitaipale, Peltoinlahti 4. Jalasjärvi 5. Multia, Sahrajärvi 6. Multia, Sahrajärvi, Karhumäki 7. Pieksämäki 8. Ilomantsi 9. Siilinjärvi 10. Ilomantsi, Naarva 11. Pulkkila, Jylhänranta 12. Pulkkila 13. Pudasjärvi 14. Taivaalkoski, Inget 15. Rovaniemi, Olkkajärvi 16. Kemijärvi, Halosenranta 17. Salla, Naruska 18. Kittilä, Hornakumpu 19. Kittilä, Pulju 20. Kittilä, Pokka 21. Sodankylä, Vuotso 22. Inari, Nellim 23. Utsjoki.

6. Aineisto ja tutkimusmenetelmät

Tutkielmassa käytin aineistona Suomen Ympäristökeskuksen (SYKE) koostamaa lumilinjamittausaineistoa eri puolilta Suomea. Lumilinjoja on kaikkiaan 23 kappaletta (kuva 4). Mittaukset on tehty vuosien 1947–2019 välisenä aikana. Jokaisessa lumilinjamittauksessa on 80 mittasauvalla tehtyä lumensyvyysmittausta. Lisäksi lumen vesiaron selvittämistä varten on suoritettu vähintään 8 tiheysmittausta (punnitusta, (yhtälö 1)). Jokaisesta metsä- ja maastotyyppistä on tehty vähintään 8 syvyysmittausta ja ainakin yksi tiheysmittaus. Lumen vesiaron mittauksiin liittyvät ohjeistukset löytyvät SYKE:n hydrologisten havaintojen toimintakäsikirjasta (Vesivarat ryhmä 2020). Lumen tiheys on mitattu peltierion, lumipuntarin sekä lumilapion avulla. Mittaukset on tehty pääsääntöisesti marras-huhtikuun välisenä aikana kerran kuukaudessa. Tässä tutkielmassa keskityn metsätyypeittäin mitattuihin lumen syvyyteen, lumen tiheydestä laskettuun vesiarvoon ja lumen latvusinterseption (taulukko 1). Jaoin tutkimusalueen Pohjois- ja Etelä-Suomeen (kuva 4), jotta näiden alueiden välisiä eroja lumen latvusinterseption trendeissä sekä ympäristömuuttujien vaikutuksessa voidaan tarkastella. Suoritin kahtiajaon siten, että Pohjois-Suomen eteläisimmät kunnat ovat Oulu, Utajärvi, Puolanka ja Suomussalmi. Päätökseni tutkimusalueen jakamisesta tästä kohdasta perustuu siihen, että ne sijaitsevat maantieteellisesti noin Suomen puolivälissä etelä-pohjoissuunnassa tarkasteltuna.

Taulukko 1. Metsätyypit, joita tutkielmassa tarkastellaan sekä tutkielman kannalta tärkeimmät muuttujat latvusinterseption tarkastelussa.

Tutkimuksessa tarkasteltavat maastotyypit	Muuttujat
Lehtipuuvaltainen metsä	Lumen vesiarvo
Mäntyvaltainen metsä	Lumen syvyys (sauvalla ja lieriön asteikosta mitattuna)
Kuusivaltainen metsä	Latvusinterseptio (%)

6.1 Aineiston käsittely

Aluksi erottelin lumilinjat omiksi Excel-taulukoikseen. Tarkoituksena oli poimia metsätyyppien lumen vesiärvon maksimikeskiarvot sekä maksimit jokaiselle vuodelle Pivot-taulukon avulla. Maksimikeskiarvoilla tarkoitetaan talvikauden suurinta lumen vesiärvollista keskiarvoa. Se siis sisältää yhden mittauskerran kaikki mittaukset, joista on muodostettu keskiarvot metsä- ja maastotyypeittäin. Talvikauden mittauskerroista valitaan se, missä keskiarvo on suurin eli se on kyseisen talvikauden maksimikeskiarvo. Poimin myös samalla mittauskerran lumen syvyyden sekä sauvalla mitattuna että lieriön asteikolla mitattuna. Tämä sen vuoksi, että mahdolliset mittausvirheet saadaan selville. Lumen vesiärvon vuosittaiset maksimikeskiarvot poimin Excel-taulukosta tarkastelemalla aineistoa Pivot-taulukossa. Maksimikeskiarvoja käytetään tarkasteltaessa lumen latvusinterseption eroja metsätyyppien välillä. Vuosittaiset lumen syvyyden ja lumen vesiärvon maksimien poiminnan tein samalla tavalla kuin maksimikeskiarvojen poimimisen. Tässä tapauksessa valittiin koko talvikauden mittauksista yksittäinen mittauskerta, jossa lumen vesiärvon oli kaikkein suurin talvikauden aikana. Kyseiseltä mittauskerralta poimin jokaiselle metsätyypille sekä aukealle alueelle korkeimman lumen vesiärvon eli maksimin. Näitä arvoja käytetään trendianalyyseissä sekä ympäristömuuttujien tarkastelussa.

Laskin lumen latvusinterseption määrän prosentteina lumen vesiärvosta seuraavalla yhtälöllä (2).

$$\frac{(M-A)}{A} \times 100 \quad (2)$$

Kaavassa M on metsätyypin lumen vesiärvon (mm) ja A on aukean alueen lumen vesiärvon (mm). Mikäli tällä yhtälöllä (2) saatu prosenttiluku on negatiivinen, tarkoittaa se sitä, että tarkastellulla metsätyypillä lunta on vesiärvolla tarkasteltuna vähemmän kuin aukealla alueella. Negatiivisen prosenttiluvun tapauksessa lumen latvusinterseptiota ei olisi ollenkaan tapahtunut. Vastaavasti positiivinen prosenttiluku kertoo lumen latvusinterseption määrän tarkastelussa metsätyypissä. Se myös tarkoittaa sitä, että lunta on vesiärvollisesti tarkasteltuna metsätyypissä vähemmän kuin aukealla alueella.

Ympäristömuuttujien vaikutuksen tarkastelemista varten laskin talvikauden lämpötilan keskiarvon sekä kokonaissadannan jokaiselle vuodelle. Kokonaissadannan

osalta ennen laskuja poimin arvot niiltä päiviltä, jolloin oli todennäköistä, että sade on tullut lumena. Määrittävänä tekijänä tässä poiminnassa oli ilman lämpötila. Lämpötilan osalta asetin 0°C:n lumisateen rajaksi. Lämpötilan ollessa alle 0°C:ta oletuksena on, että sade tulee lumena ja vastaavasti lämpötilan ollessa yli 0°C:n oletus on, että sade tulee vetenä.

6.2 Aineiston alkutarkastelu

Aineiston alkutarkastelut ja tilastolliset analyysit tehtiin R-ohjelmalla (R 3.6.3). Alkutarkastelussa testasin aineiston normaalijakautuneisuutta Kolmogorov-Smirnovin testin avulla. Kolmogorov-Smirnovin yhden otoksen testi vertaa muuttujan jakaumaa johonkin toiseen määrättyyn jakaumaan, kuten nollahypoteesiin (H₀) eli normaalijakaumaan. Se siis kertoo, noudattaako muuttuja normaalijakaumaa (Shaw & Wheeler 1997: 148). Nollahypoteesia testatessa oletuksena on, että aineisto noudattaa normaalijakaumaa (H₀). P-arvon ollessa suurempi kuin ennalta määritetty p-arvon raja (tässä tutkielmassa 0,05 yleisten käytäntöjen pohjalta), aineiston voidaan todeta noudattavan normaalijakaumaa. Vastaavasti muuttuja ei noudata normaalijakaumaa tilanteessa, jossa p-arvo alittaa ennalta määritetyn rajan (p<0,05). Tässä tapauksessa H₁ on tosi (Ahadin ym. 2011: 637). Aineiston muuttujat eivät noudattaneet normaalijakaumaa (p<0,001). Tämä asetti rajoituksia testien käyttöön siten, että analyyseissä tuli käyttää ei-parametrisiä testejä (Shaw & Wheeler 1997: 102). Vielä ennen varsinaisia analyysejä poistin aineistosta muutamia poikkeavia arvoja, joissa oli havaittavissa mittausvirheitä.

6.3 Kruskal-Wallis analyysi ja Dunnin post-hoc testi

Kruskal-Wallis testi on ei-parametrinen vaihtoehto yksisuuntaiselle varianssianalyysille (ANOVA) (Elliot & Hynan 2011), joka edellyttää aineiston normaalijakautuneisuutta (Shaw & Wheeler 1997: 172). Kruskal-Wallis testissä nollahypoteesia tarkastellaan p-arvon avulla. Nollahypoteesi (H₀) viittaa siihen, ettei tarkasteltavien ryhmien välillä ole eroa, lukuun ottamatta satunnaista vaihtelua. Vastaavasti H₁ tarkoittaa, että ainakin kahden tarkasteltavan ryhmän välillä on eroja, muutenkin kuin satunnaisen vaihtelun osalta (Shaw & Wheeler 1997: 168). Kruskal-Wallis testi kertoo, onko analyyseissä käytettävien ryhmien välillä tilastollisesti

merkitsevää eroa, mutta se ei kerro, minkä ryhmien välillä mahdolliset tilastollisesti merkitsevät erot ovat (Shaw & Wheeler 1997: 168, Elliott & Hynan 2011: 75, Pohlert 2014: 3). Sitä varten tutkielmassa käytettiin Dunnin post-hoc testiä. Sen avulla saadaan selville, minkä ryhmien (metsätyyppien) välillä mahdolliset tilastollisesti merkitsevät erot ovat. Päätin käyttää Dunnin post-hoc testiä, sillä Elliott & Hynan (2011: 80) suosittavat Dunnin testiä käytettäväksi silloin, kun testattavat ryhmät ovat erikokoisia. Dunnin testissä todennäköisyys tilastolliselle merkitsevyydelle kasvaa hypoteesitestien määrän kasvaessa. Ongelmaa ehkäistäkseni säädin p-arvoa Bonferronin korjauksella, joka korjaa ensimmäisen tyypin virheinflaation Dunnin testissä (Stephanie 2015). Ensimmäisen tyypin virheellä tarkoitetaan virhettä, jossa nollahypoteesi hylätään, vaikka se olisi tosi (Yue ym. 2001: 255). Dunnin post hoc testissä p-arvo lasketaan Bonferronin korjauksen mukaan (α/n), missä α = p-arvo ja n viittaa hypoteesitestien määrään (Elliott & Hynan 2011: 76). Tässä tapauksessa hypoteesitestejä on kolme, sillä keskenään verrattavia ryhmiä on kolme (taulukko 1). P-arvon rajana käytettiin 0,0167 (0,05/3).

6.4 Mann-Kendallin trenditesti

Trendianalyysit ovat yksi yleisimmistä käytetyistä työkaluista muutoksen havaitsemisessa ilmastollisissa sekä hydrologisissa aikasarjoissa (Hamed & Rao 1997, Yue ym. 2001, Gocic & Trajkovic 2012: 174). Yleensä aineistojen aikasarjoista tapahtuvassa trendien tarkastelussa käytetään ei-parametrisiä testejä parametristen testien sijaan. Tämä johtuu siitä, että niiden ajatellaan sopivan paremmin aineistoille, jotka eivät noudata normaalijakaumaa (Yue ym. 2001: 254). Ei-parametrisistä trenditesteistä yleensä käytetään Mann-Kendallin trendianalyysiä (Hamed & Rao 1997, Yue ym. 2001: 254). Sen avulla saadaan selville, onko aikasarjassa havaittavissa monotonista trendiä (positiivinen tai negatiivinen trendi) tutkittavan ilmiön suhteen. Mann-Kendallin trenditestien tuloksia tarkastellessa oleellista on tulosten p-arvo. Nollahypoteesissa ($p>0.05$) aikasarjasta ei ole havaittavissa positiivista tai negatiivista monotonista trendiä. Vastaavasti tilanteessa, jossa nollahypoteesi hylätään ($p<0,05$ ja H_1 on tosi), aikasarjasta on havaittavissa joko positiivinen tai negatiivinen monotoninen trendi (Hamed & Rao 1997: 183, Ghariani & Molinari 2009: 2). Mann-Kendallin trenditesti ei kuitenkaan arvioi havaitun muutoksen voimakkuutta (Juhnke 2018). Analyysissä käytetyt muuttujat (metsätyypit) löytyvät määritelmiseen taulukosta 2.

Taulukko 2. Trendianalyyssissä käytettyjen muuttujien nimet sekä niiden määritelmät. Latvusinterseption määrä esitetty prosentteina suhteessa aukeaan alueeseen.

Muuttujat	Muuttujan määritelmä
li_lehti	Lehtipuuvaltaisen metsän latvusinterseption määrä (%) vuosittain laskettuna.
li_mänty	Mäntyvaltaisen metsän latvusinterseption määrä (%) vuosittain laskettuna.
li_kuusi	Kuusivaltaisen metsän latvusinterseption määrä (%) vuosittain laskettuna.
li_kaikki	Kaikista metsätyypeistä keskiarvoistettu latvusinterseption määrä (%) vuosittain laskettuna.

6.5 Yksinkertainen lineaarinen regressioanalyysi

Tutkielmassa tarkasteltiin kolmen ympäristömuuttujan (sadanta (mm), lämpötila (°C) ja lumen määrä (m)) (taulukko 3) vaikutusta lumen latvusinterseption yksinkertaisen lineaarisen regressiomallin avulla. Käytin mallin muodostamisessa trendianalyysijä varten luotua aineistoa. Valitsin mallien selittäviksi muuttujiksi lumilinjamittauksissa mitatun aukean maastotyypin lumen syvyyden, vuoden keskilämpötilan ja kokonaissadannan. Yksinkertaisen lineaarisen regressiomallin, kuten muidenkin regressiomallien avulla pyritään selvittämään kahden muuttujan (vastemuuttujan ja selittävän muuttujan) välistä suhdetta tekemällä päätelmiä vastemuuttujan keskiarvojen sekä selittävien muuttujien välisestä suhteesta. Regressiomalli onkin lineaarisen mallin sovellutus, jossa vastemuuttuja tunnustetaan riippumattomien muuttujien (selittävien muuttujien) numeeristen arvojen avulla (Freund ym. 2006: 36–37). Yksinkertainen lineaarinen regressiomalli olettaa, että malli kuvaa riittävästi aineiston käyttäytymistä. Se olettaa myös satunnaisvirheen olevan itsenäinen sekä normaalisti jakautunut satunnainen muuttuja, jonka keskiarvo sekä varianssi ovat 0 (Freund ym. 2006: 62). Regressiomalleista yksinkertaisin on yksinkertainen lineaarinen regressiomalli, joka kirjoitetaan seuraavasti:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (3)$$

Kaavassa x kuvaa riippumattoman muuttujan arvoja, β_0 on vastemuuttujan arvojen keskiarvo, kun x on nolla. β_1 eli kulmakerroin kuvaa vastemuuttujan keskiarvon muutosta x :n muuttuessa. Näistä muuttujista käytetään nimitystä regressiokerroin. Kaavassa merkki ε (residuaalit) kuvaa vasteen vaihtelua. Regressioanalyysi muodostuu sarjoista menetelmiä, jotka perustuvat näytteisiin, jossa n järjestetään pareiksi (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$. Näiden menetelmien avulla ennustetaan ja tehdään päätelmiä muuttujille β_0 ja β_1 (Freund ym. 2006: 38).

Tässä tutkielmassa yksinkertaisen lineaarisen regressiomallin vastemuuttujana on kaikista maastotyypeistä keskiarvoistettu lumen latvusinterseptio. Vastaavasti ympäristömuuttujat (taulukko 3) ovat edellä mainitun regressiomallin selittäviä muuttujia. Ympäristömuuttujia verrattiin yksi kerrallaan keskiarvoistettuun puuston latvusinterseptioon. Monimuuttujamalleja ei käytetty tässä työssä, sillä tarkoituksena oli tarkastella vain selittävän muuttujan ja vastemuuttujan yhteyden suuntaa (+ vai -), yhteyden voimakkuutta sekä tilastollista merkitsevyyttä. Testasin myös, vaikuttavatko ympäristötekijät lumen latvusinterseptioon eri tavoin Pohjois- ja Etelä-Suomessa.

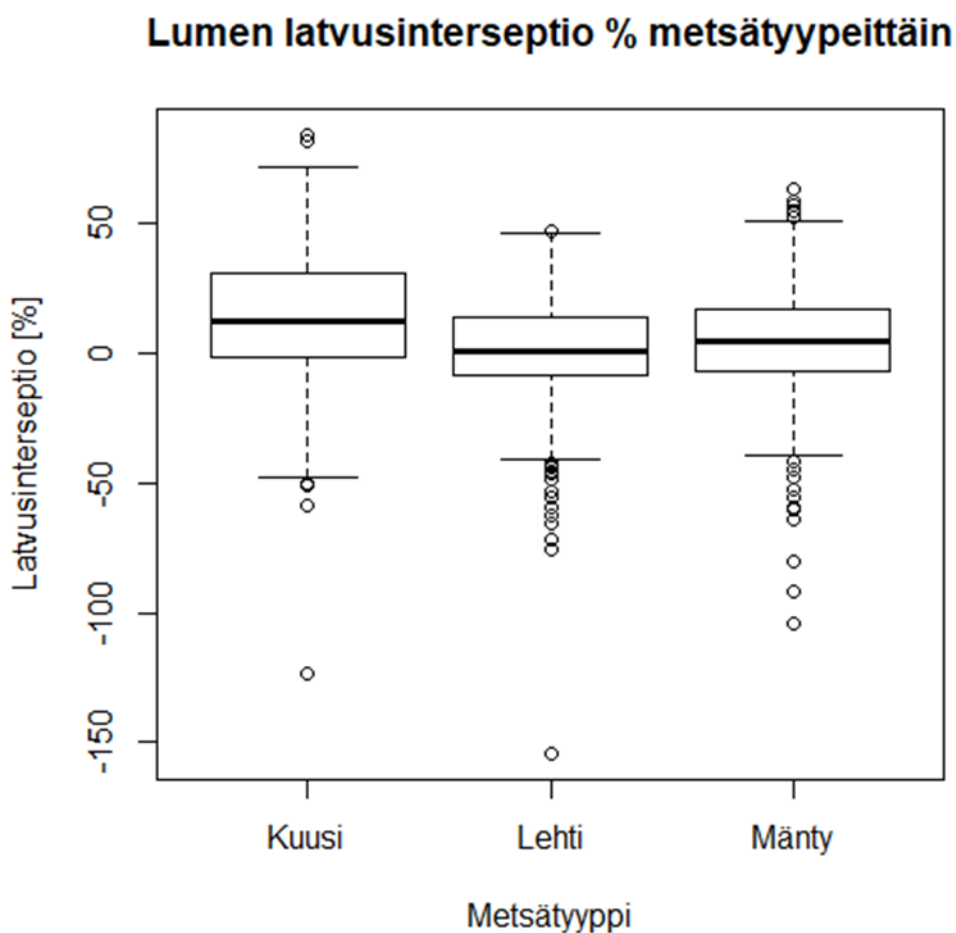
Taulukko 3. Regressioanalyysissä käytetyt ympäristömuuttujat sekä ympäristömuuttujien määritelmät. Lumen määrä mittauspaikalla viittaa kaikkien lumilinjojen aukean maastotyyppien keskiarvoistettuun lumen maksimisyvyyteen vuosittain laskettuna.

Muuttujan lyhenne	Muuttujan määritelmä
Sadanta_s	Talvikauden laskettu kokonaissadanta lumena (mm)
Lämpötila_k	Talvikauden laskettu keskilämpötila (°C)
Lumen.määrä_m	Lumen määrä mittauspaikalla (m) vuosittain laskettuna.

7. Tulokset

7.1 Alkutarkastelu

Aluksi ennen varsinaisia analyysejä tarkastelin lumen latvusinterseption määriä metsätyypeittäin laatikkojanakuvaajan (kuva 5) ja latvusinterseption mediaanilukujen (% ja mm) avulla (taulukko 4).



Kuva 5. Laatikkojanakuvaaja lumen latvusinterseptiosta prosentteina metsätyypeittäin.

Taulukko 4. Metsätyyppien n määrät sekä niiden latvusinterseption mediaanit (% ja mm).

Metsätyyppi	n määrä	Latvusinterseption mediaani (%)	Latvusinterseption mediaani (mm)
Kuusivaltainen metsä	523	12.568	13.67
Lehtipuuvaltainen metsä	548	1.1377	1.208
Mäntyvaltainen metsä	736	4.609	4.708

Laatikkojanakuvaajan (kuva 5) avulla tarkastelin alustavasti lumen latvusinterseptiossa havaittavia mahdollisia eroja metsätyyppien välillä. Laatikkojanakuvaajasta huomataan,

että aineistoon on jäänyt muutamia poikkeavia arvoja. Metsätyypeistä suurin vaihteluväli näyttää olevan lehtipuuvaltaisessa metsässä. Lehtipuuvaltaisen metsän vaihteluväli on noin -150 %:sta 50 %:iin. Vastaavasti pienin vaihteluväli vaikuttaisi olevan mäntyvaltaisessa metsässä. Taulukosta 4 nähdään, että lumen latvusinterseption mediaani näyttäisi olevan suurin kuusivaltaisessa metsässä. Vastaavasti lehtipuuvaltaisen metsän lumen latvusinterseption mediaani on hieman pienempi verrattuna mäntyvaltaiseen metsään. Lisäksi kuusivaltaisella metsällä näyttäisi olevan suurin keskiarvo lumen latvusinterseption suhteen (kuva 5). Vastaavasti lehtipuuvaltaisen metsän lumen latvusinterseption näyttäisi olevan keskimäärin hieman pienempi verrattuna mäntyvaltaisen metsän keskimääräiseen lumen latvusinterseption (kuva 5).

7.2 Kruskal-Wallis analyysi sekä Dunnin post-hoc testi

Kruskal-Wallis testissä p-arvo alitti tilastollisen merkitsevyyden rajan ($p < 0,05$) (taulukko 5). Se viittaa tilastollisesti merkitseviin eroihin lumen latvusinterseption metsätyyppien välillä. Dunnin post-hoc testi osoittaa (taulukko 6), että kaikkien metsätyyppien välillä on tilastollisesti merkitsevää eroa lumen latvusinterseption määrässä ($p < 0,0167$). Suurin ero näyttää olevan kuusivaltaisen- ja lehtipuuvaltaisen metsän välillä ($p < 2e-16$). Vastaavasti lehtipuuvaltaisen metsän ja mäntyvaltaisen metsän välillä ero on pienin ($p = 0,008$).

Taulukko 5. Kruskal-Wallis testin tulos.

Kruskal-Wallis testi		
Kruskal-Wallis chi-squared	df	p-arvo
95.684	2	< 0,001

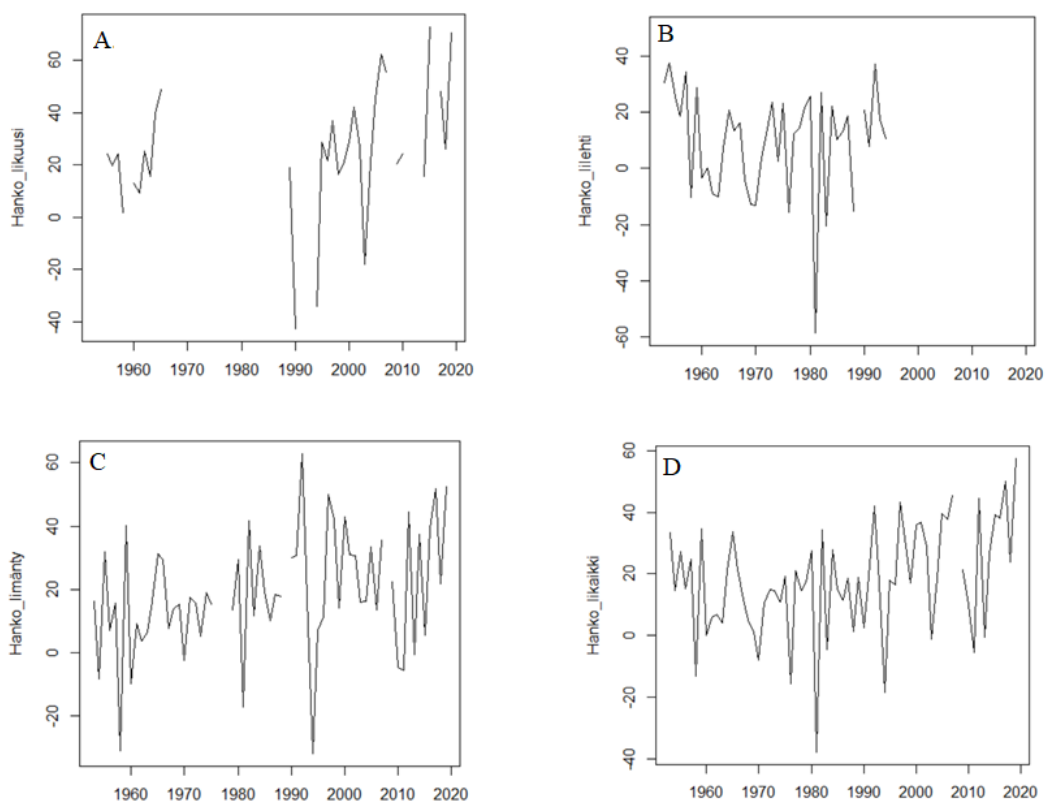
Taulukko 6. Dunnin post-hoc testin tulosten arvot.

Dunnin post-hoc testin tulosten p-arvot		
Metsätyypit	Kuusivaltainen metsä	lehtipuuvaltainen metsä
lehtipuuvaltainen metsä	<2e-16	-
Mäntyvaltainen metsä	2,1e-12	0,0082

7.3 Mann-Kendallin trenditesti

Kuten aineistokappaleessa esitettiin, lumilinjoja on kaikkiaan 23 kappaletta. Mann-Kendallin trenditestiin en kuitenkaan ottanut kaikkia lumilinjoja mukaan, koska kaikista lumilinjoista ei ollut mahdollista muodostaa aikasarjaa. Tämä johtuu aukean

maastotyyppin vesiaron havaintojen vähäisestä määrästä, minkä takia lumen latvusinterseption määrää ei ollut mahdollista laskea, kuin muutamalle yksittäiselle vuodelle. Lumilinjaja lopulliseen analyysiin otettiin mukaan 18, joista osassa on myös havaittavissa puutteita havaintojen määrässä. Seuraavaksi perehdytään tarkemmin neljän lumilinjajan aikasarjaan sekä testin tulosten kannalta tärkeisiin arvoihin Hangosta (kuva 6 & taulukko 7), Ilomantsin Naarvasta (kuva 7 & taulukko 8), Pieksämäeltä (kuva 8 & taulukko 9) ja Sallasta (kuva 9 & taulukko 10). Kyseiset lumilinjat on valittu esimerkeiksi johtuen niiden erilaisista sijainneista Suomessa (mahdollisesti erilaiset ympäristötekijät) ja eroista niiden trendeissä. Muiden lumilinjajen aikasarjat ja niiden tulosteet löytyvät liitteistä (liitteet 1–14).

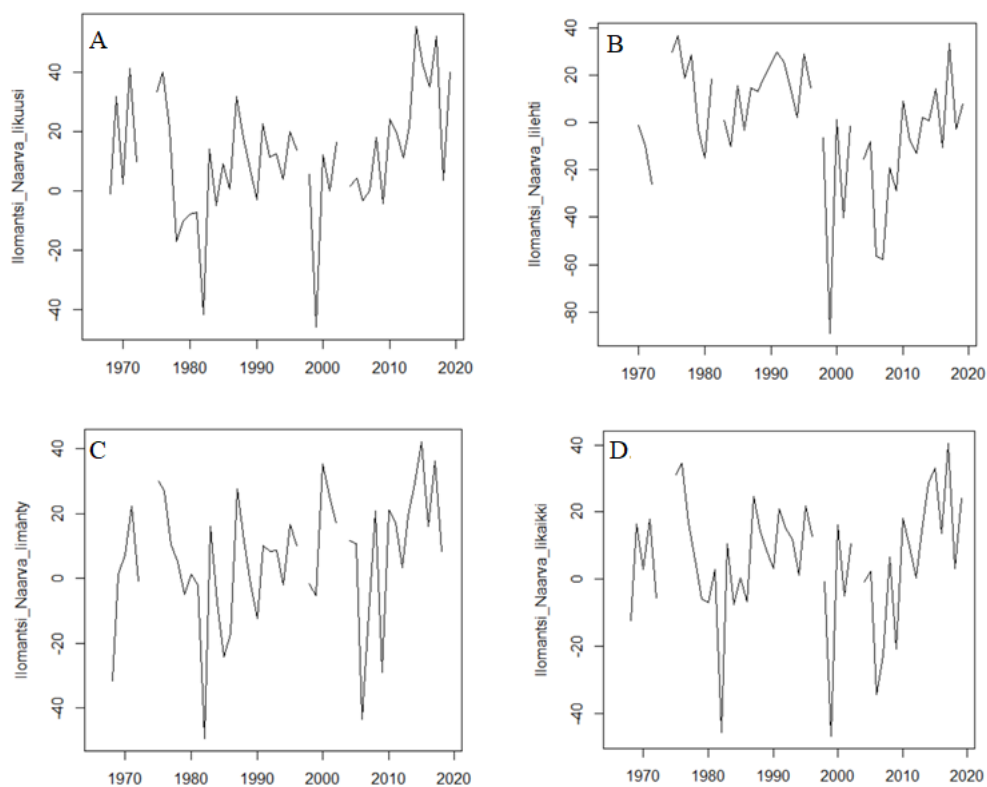


Kuva 6. Mann-Kendallin trenditestin aikasarjat Hangon lumilinjalta. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.

Taulukko 7. Mann-Kendallin trenditestin tulosten tärkeimmät arvot Hangon lumilinjalta.

Mann-Kendallin trenditesti		
Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	154	0,030
Lehtipuuvaltainen metsä	27	0,786
Mäntyvaltainen metsä	469	0,006
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	548	0,003

Hangon lumilinjan aikasarjaa (kuva 6) sekä Mann-Kendallin trenditestin tulosten tärkeimpiä arvoja (taulukko 7) tarkasteltaessa huomataan, että kuusivaltaisen metsän, mäntyvaltaisen metsän sekä metsätyyppien keskiarvoistetusta tulosteesta on löydettävissä monotoninen trendi latvusinterseption suhteen ($p < 0,05$). Vastaavasti lehtipuuvaltaisesta metsästä ei näyttänyt löytyvän trendejä lumen latvusinterseption suhteen ($p < 0,05$). Havaituista trendeistä kaikki näyttäisivät olevan nousevia.

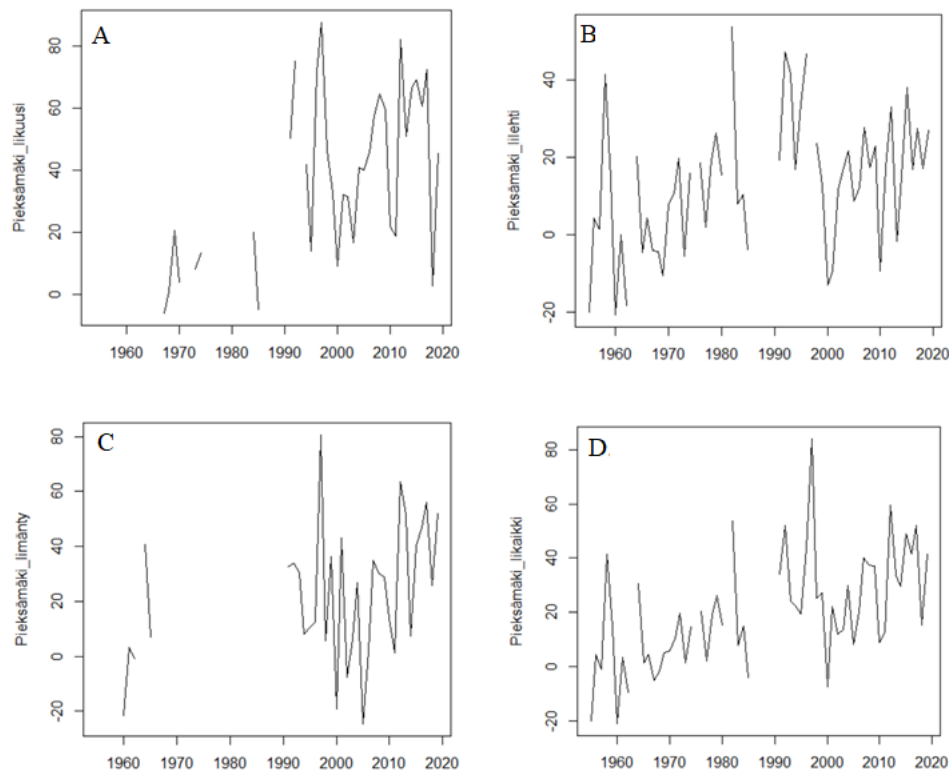


Kuva 7. Mann-Kendallin trenditestin aikasarjat Ilomantsi, Naarvan lumilinjalta. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.

Taulukko 8. Mann-Kendallin trenditestin tärkeimmät arvot Ilomantsi, Naarvan lumilinjalta.

Mann-Kendallin trenditesti		
Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	152	0,193
Lehtipuuvaltainen metsä	-161	0,130
Mäntyvaltainen metsä	178	0,116
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	58	0,623

Ilomantsi, Naarvan lumilinjan metsätyyppejä sekä niiden keskiarvoistettuja tuloksia tarkasteltaessa (taulukko 8) nähdään, ettei yhdessäkään metsätyyppissä ole havaittavissa monotonista trendiä Mann-Kendallin trenditestin tulosten mukaan ($p > 0,05$). Myöskään kuvaajista (kuva 7) ei ole havaittavissa selkeää trendiä, joskin mäntyvaltaisen metsän kohdalla aikasarjan loppupuolella latvusinterseption trendi on heikosti nouseva.

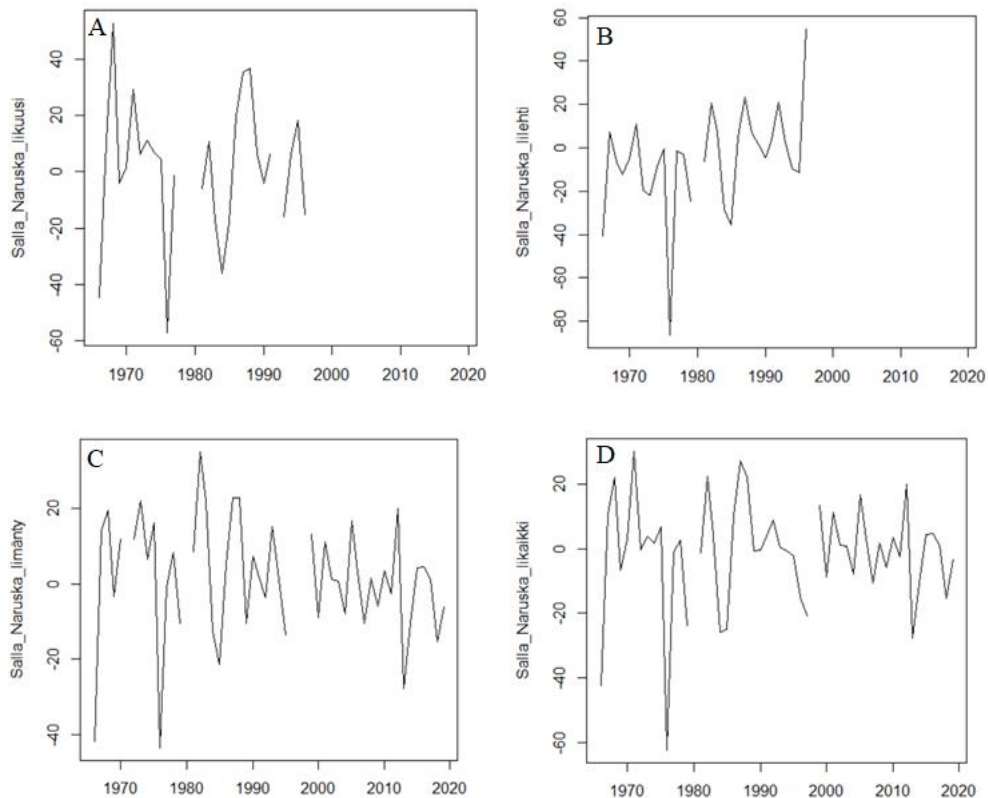


Kuva 8. Mann-Kendall trenditestin aikasarjat Pieksämäen lumilinjalta. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.

Taulukko 9. Mann-Kendallin trenditestin tärkeimmät arvot Pieksämäen lumilinjalta.

Mann-Kendallin trenditesti		
Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	260	0,001
Lehtipuuvaltainen metsä	428	0,003
Mäntyvaltainen metsä	182	0,018
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	678	<0,001

Pieksämäellä sijaitsevan lumilinjan kaikista metsätyypeistä sekä keskiarvoistetusta aikasarjasta (kuva 8) löytyy Mann-Kendallin testin tulosten (taulukko 9) mukaan monotoninen trendi ($p < 0,05$). Kaikki trendit ovat nousevia, vaikkakin kuusi- ja mäntyvaltaisen metsän aikasarjoissa on huomattavia aukkoja, on aikasarjasta silti erotettavissa positiivinen trendi lumen latvusinterseption määrässä. Keskiarvoistetusta aikasarjasta (kuva 8D) on selkeästi nähtävissä nouseva trendi lumen latvusinterseption määrässä.



Kuva 9. Mann-Kendall trenditestin kuvaaja Salla, Naruskan lumilinjalta. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyypin keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.

Taulukko 10. Mann-Kendallin trenditestin tulosten tärkeimmät arvot Sallan Naruskan lumilinjalta.

Mann-Kendallin trenditesti		
Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	-6	0,921
Lehtipuuvaltainen metsä	95	0,110
Mäntyvaltainen metsä	-210	0,080
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	-108	0,399

Sallan Naruskan lumilinjan tärkeitä arvoja (taulukko 10) tarkasteltaessa huomataan, ettei Mann-Kendallin trenditestin perusteella yhdessäkään metsätyypissä näytä olevan monotonista trendiä ($p > 0,05$).

Taulukkoon 11 (Etelä-Suomi) ja 12 (Pohjois-Suomi) on koottu Mann-Kendallin trenditestin osalta tärkeimmät arvot. Niitä tarkastelemalla nähdään lumilinjat ja metsätyypit, joissa on havaittavissa joko laskeva tai nouseva monotoninen trendi ($p < 0,05$) lumen latvusinterseption suhteen. Tilastollisesti merkitsevät tulokset on kirjattu taulukoihin 11 ja 12 vahvennetulla fontilla.

Taulukko 11. Mann-Kendall trenditestin tulokset Etelä-Suomessa

Mann-Kendallin trenditesti Etelä-Suomi			
Lumilinjan sijainti	Metsätyyppi	Score	p-arvo
Hanko	Kuusivaltainen metsä	154	0,030
	Lehtipuuvaltainen metsä	27	0,786
	Mäntyvaltainen metsä	469	0,006
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	548	0,003
Ilomantsi, Naarva	Kuusivaltainen metsä	152	0,193
	Lehtipuuvaltainen metsä	-161	0,130
	Mäntyvaltainen metsä	178	0,116
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	58	0,623
Pieksämäki	Kuusivaltainen metsä	260	0,001
	Lehtipuuvaltainen metsä	428	0,003
	Mäntyvaltainen metsä	182	0,018
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	678	<0,001
Orimattila, Keituri	Kuusivaltainen metsä	136	0,066
	Lehtipuuvaltainen metsä	-1	1
	Mäntyvaltainen metsä	194	0,025
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	277	0,017
Multia, Sahrajärvi, Karhumäki	Kuusivaltainen metsä	107	0,003
	Lehtipuuvaltainen metsä	-20	0,392
	Mäntyvaltainen metsä	-44	0,396
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	-15	0,793
Multia, Sahrajärvi	Kuusivaltainen metsä	155	0,001
	Lehtipuuvaltainen metsä	-88	0,009
	Mäntyvaltainen metsä	-59	0,410
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	-61	0,433
Ilomantsi	Kuusivaltainen metsä	-65	0,581
	Lehtipuuvaltainen metsä	133	0,270
	Mäntyvaltainen metsä	-138	0,110
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	-234	0,996
Pulkkila, Jylhärranta	Kuusivaltainen metsä	52	0,234
	Lehtipuuvaltainen metsä	-35	0,427
	Mäntyvaltainen metsä	-94	0,030
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	-38	0,388
Jalasjärvi	Kuusivaltainen metsä	216	0,001
	Lehtipuuvaltainen metsä	248	<0,001
	Mäntyvaltainen metsä	103	0,147
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	268	0,001
Siilinjärvi	Kuusivaltainen metsä	192	0,032
	Lehtipuuvaltainen metsä	129	0,165
	Mäntyvaltainen metsä	153	0,100
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	282	0,027

Etelä-Suomen lumilinjoista (Taulukko 11) kahdeksassa oli havaittavissa monotoninen trendi vähintään yhdessä metsätyypissä. Savitaipaleen lumilinja (Liite 6) jätettiin taulukon 11 ulkopuolelle johtuen puutteista havaintojen määrässä ja aikasarjan suuresta rikkonaisuudesta. Kuusivaltaisen metsän latvusinterseption havaituista trendeistä (6kpl) kaikki ovat nousevia. Vastaavasti lehtipuuvaltaisesta metsästä löytyi kolme trendiä, joista kaksi on nousevia ja yksi on laskeva. Mäntyvaltaisen metsän trendejä löytyi Etelä-Suomesta kaikkiaan neljä, joista kolme on nousevia ja yksi laskeva.

Taulukko 12. Mann-Kendall trenditestin tulokset Pohjois-Suomessa.

Mann-Kendallin trenditesti Pohjois-Suomi			
Lumilinjan sijainti	Metsätyyppi	Score	p-arvo
Salla, Naruska	Kuusivaltainen metsä	-6	0,921
	Lehtipuuvaltainen metsä	95	0,110
	Mäntyvaltaainen metsä	-210	0,080
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	-108	0,399
Rovaniemi, Olkkajärvi	Kuusivaltainen metsä	-	-
	Lehtipuuvaltainen metsä	30	0,472
	Mäntyvaltaainen metsä	97	0,173
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	114	0,124
Inari	Kuusivaltainen metsä	-	-
	Lehtipuuvaltainen metsä	-25	0,062
	Mäntyvaltaainen metsä	-60	0,660
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	-88	0,516
Sodankylä, Vuotso	Kuusivaltainen metsä	33	0,367
	Lehtipuuvaltainen metsä	56	0,074
	Mäntyvaltaainen metsä	42	0,442
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	63	0,269
Kemijärvi	Kuusivaltainen metsä	-	-
	Lehtipuuvaltainen metsä	109	0,017
	Mäntyvaltaainen metsä	143	0,193
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	236	0,031
Kittilä, Pulju	Kuusivaltainen metsä	17	0,867
	Lehtipuuvaltainen metsä	5	0,815
	Mäntyvaltaainen metsä	41	0,696
	Keskiarvoistettu latvusinterseptio	6	0,963

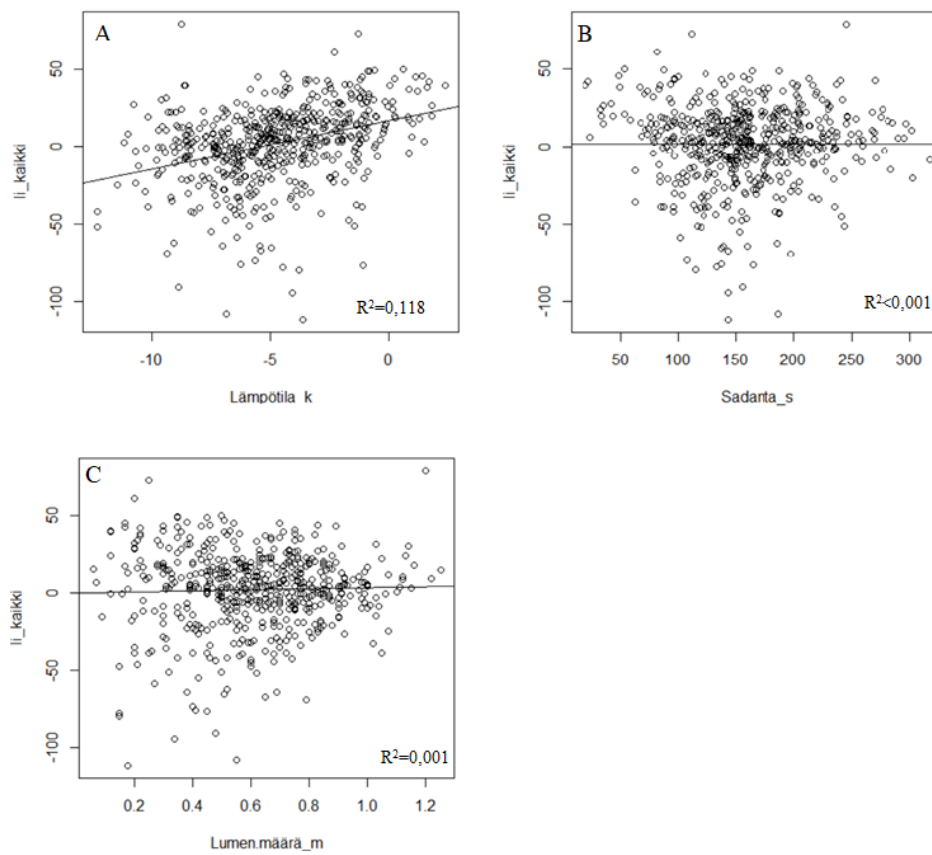
Pohjois-Suomen analysoiduista lumilinjoista (taulukko 12) ei löytynyt monotonisia trendejä lumen latvusinterseption suhteen muualta kuin Kemijärveltä. Kemijärveltä löytyneet monotoniset trendit ovat lehtipuuvaltaisessa metsässä sekä keskiarvoistetussa lumen latvusinterseptiossa. Molemmat trendit ovat nousevia. Taivalkosken lumilinja

(liite 9) jätettiin pois Pohjois-Suomen trendianalyyseistä havaintojen määrissä olleiden puutteiden ja aikasarjassa esiintyneiden suurten aukkojen takia.

Yhteensä taulukoissa 11 ja 12 on 16 lumilinjaa, sillä Savitaipaleen ja Taivalkosken lumilinjat poistettiin näistä taulukoista, kuten jo aiemmin mainittiin. Lumen latvusinterseption trendejä tarkasteltaessa metsätyyppikohtaisesti taulukoista 11 ja 12 huomataan, että kuusivaltaisessa metsässä on havaittavissa eniten monotonisia trendejä (6 kpl eli 46 % kaikista analyyseissä mukana olleista lumilinjoista) verrattuna muihin metsätyypeihin. Kaiken kaikkiaan lehtipuuvaltaisesta sekä mäntyvaltaisesta metsästä löytyi molemmista neljä monotonista trendiä (25 %:ssa kaikista lumilinjoista). Molemmista metsätyypeistä löydetyt trendit ovat pääosin nousevia. Kuusivaltaisista metsistä on vähemmän havaintoja (13/16 taulukoiden 11 & 12 lumilinjoista) verrattuna muihin metsätyypeihin (16/16). Metsätyyppien lisäksi keskiarvoistetusta lumen latvusinterseptiosta löytyi kuusi monotonista trendiä, joista kaikki ovat nousevia. Selkeästi suurin osa löytyneistä lumen latvusinterseption monotonisista trendeistä sijaitsee Etelä-Suomessa.

7.4 Yksinkertainen lineaarinen regressioanalyysi

Kuvien 10–12 kuvaajista voidaan tarkastella ympäristömuuttujien sekä vastemuuttujan (metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio) välistä lineaarista suhdetta kaikissa lumilinjoissa (kuva 10), Etelä-Suomessa (kuva 11) ja Pohjois-Suomessa (kuva 12). Taulukot 13–15 puolestaan esittävät yksinkertaisen lineaarisen regressioanalyysin kannalta tärkeimmät arvot.

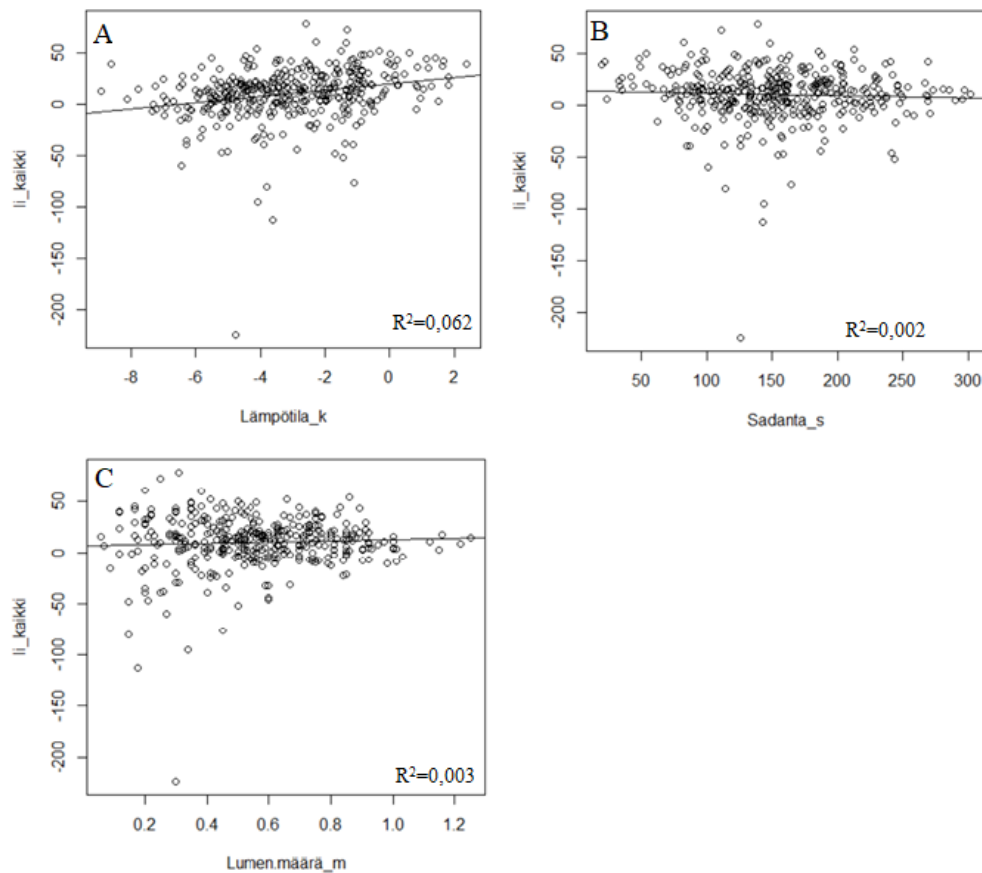


Kuva 10. XY-kuvaaja, joka sisältää aineiston kaikki lumilinjat. Y-akselilla metsätyypeistä keskiarvoistettu latvusinterseptio prosentteina (li_kaikki) ja X-akselilla ympäristömuuttujia. A ympäristömuuttujana talvikauden keskilämpötila (°C), B ympäristömuuttujana talvikauden kokonaissadanta (mm) ja C ympäristömuuttujana lumen määrä eli syvyys (m).

Taulukko 13. Kaikki Suomen lumilinjat sisältävä taulukko yksinkertaisen lineaarisen regressioanalyysin tärkeimmistä arvoista. Tulokset esitetty malli kerrallaan, vakiona metsätyypeistä keskiarvoistettu lumen latvusinterseptio.

Yksinkertainen lineaarinen regressioanalyysi							
	Regressiokerroin	Keskivirhe	t-arvo	p-arvo	Residuaalit	R ²	F
Vakiotermi	16,432	2,021	8,13	<0,001	-	-	-
Lämpötila_k	3,120	0,367	8,511	<0,001	23,87	0,118	72,44
Vakiotermi	1,632	3,466	0,471	0,638	-	-	-
Sadanta_s	<0,001	0,021	-0,008	0,993	25,42	<0,001	<0,001
Vakiotermi	-0,395	3,089	-0,128	0,898	-	-	-
Lumen,määrä_m	3,284	4,748	0,692	0,489	25,41	0,001	0,478

Ympäristömuuttujien vaikutusta lumen latvusinterseptioon yleisellä tasolla (koko Suomi) tarkasteltaessa, näyttää XY-kuvaajien (kuva 10) sekä yksinkertaisen lineaarisen regressioanalyysin (taulukko 13) perusteella siltä, että lämpötilamuuttuja olisi ainoa ympäristömuuttujista, jolla on tilastollisesti merkitsevä lineaarinen suhde lumen latvusinterseption kanssa. Kaikkien mallien residuaalit taulukossa 13 ovat melko suuret.



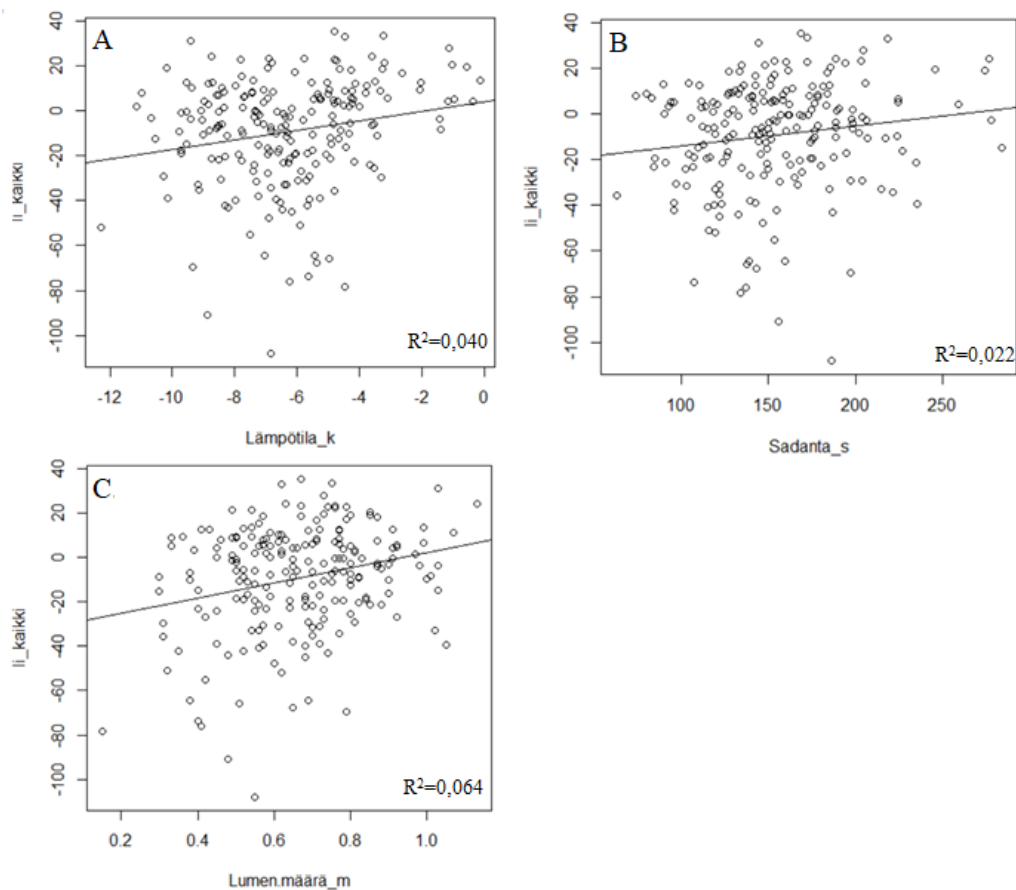
Kuva 11. XY-kuvaaja Etelä-Suomen lumilinjoista. Y-akselilla metsätyypeistä keskiarvoistettu lumen latvusinterseptio prosentteina (li_kaikki) ja X-akselilla ympäristömuuttuja. A ympäristömuuttujana talvikauden keskilämpötila (°C), B ympäristömuuttujana talvikauden kokonaissadanta (mm) ja C lumen määrä (m).

Taulukko 14. Etelä-Suomen lumilinjojen yksinkertaisen lineaarisen regressioanalyysin tärkeimmät arvot. Tulokset on esitetty malli kerrallaan, vakiona keskiarvoistettu lumen latvusinterseptio.

Yksinkertainen lineaarinen regressioanalyysi							
	Regressiokerroin	Keskivirhe	t-arvo	p-arvo	Residuaalit	R ²	F
Vakiotermi	19,806	2,32	8,539	<0,001	-	-	-
Lämpötila_k	3,069	0,619	4,955	<0,001	25,16	0,062	24,55
Vakiotermi	13,812	3,989	3,462	0,001	-	-	-
Sadanta_s	-0,023	0,025	-0,940	0,448	25,94	0,002	0,884
Vakiotermi	6,602	3,510	1,881	0,061	-	-	-
Lumen,määrä_m	6,646	5,866	1,133	0,258	25,92	0,003	0,258

Etelä-Suomen lumilinjoista saatujen tulosten perusteella (kuva 11 ja taulukko 14) tilanne näyttää olevan samanlainen kuin koko Suomen kattavassa yksinkertaisessa lineaarisessa regressioanalyysissä (kuva 11 ja taulukko 13). Lämpötilamuuttuja on siis Etelä-Suomessa ympäristömuuttujista ainut, jolla on tilastollisesti merkitsevä lineaarinen suhde lumen latvusinterseption kanssa. Tilastollinen merkitsevyys ja mallin selitysaste eivät ole

kuitenkaan yhtä vahvoja, kuin koko Suomen kattavassa aineistossa. Kokonaissadanta ja lumen määrä eivät näytä vaikuttavan Etelä-Suomessa lumen latvusinterseption tilastollisesti merkitsevästi. Myös Etelä-Suomen aineiston (taulukko 14) residuaalit ovat suuret.



Kuva 12. XY-kuvaaja Pohjois-Suomen lumilinjoista. Y-akselilla keskiarvoistettu lumen latvusinterseption prosentteina (li_kaikki) ja X-akselilla ympäristömuuttujia. A ympäristömuuttujana talvikauden keskilämpötila (°C), B ympäristömuuttujana talvikauden kokonaissadanta (mm) ja C ympäristömuuttujana lumen määrä (m).

Taulukko 15. Pohjois-Suomen lumilinjojen yksinkertaisen lineaarisen regressioanalyysin tärkeimmät arvot. Tulokset on esitetty malli kerrallaan, vakiona keskiarvoistettu lumen latvusinterseption.

Yksinkertainen lineaarinen regressioanalyysi							
	Regressiokerroin	Keskivirhe	t-arvo	p-arvo	Residuaalit	R ²	F
Vakiotermi	4,098	4,933	0,831	0,407	-	-	-
Lämpötila_k	2,126	0,736	2,89	0,004	23,8	0,040	8,353
Vakiotermi	-23,007	6,644	-3,463	0,001	-	-	-
Sadanta_s	0,089	0,042	2,129	0,035	24,02	0,022	4,531
Vakiotermi	-31,976	6,308	-5,069	<0,001	-	-	-
Lumen,määrä_m	34,176	9,189	3,719	<0,001	23,5	0,064	13,83

Pohjois-Suomessa (kuva 12 ja taulukko 15) kaikki muuttujat näyttäsivät vaikuttavan lumen latvusinterseptioon. Kaikkien ympäristömuuttujien ja latvusinterseption välillä vaikuttaisi vallitsevan tilastollisesti merkitsevä positiivinen, lineaarinen suhde. Heikoimmin lumen latvusinterseptioon näyttäisi vaikuttavan sadanta, sen jälkeen lämpötila ja suurin vaikutus näyttäisi olevan lumen määrällä. Pohjois-Suomen (taulukko 15) aineistossa residuaalit ovat suuret, kuten ne olivat myös koko Suomen ja Etelä-Suomen aineistoissa (taulukko 13 & 14). Lisäksi Pohjois-Suomessa (kuva 12) lumen latvusinterseption hajonta on suurta.

8. Tulosten tarkastelu ja pohdinta

8.1 Erot lumen latvusinterseption määrissä

Dunnin testin tulosten (taulukko 6) perusteella, laatikkojanakuvaajan (kuva 5) sekä lumen latvusinterseption mediaanien (taulukko 4) avulla voidaan tehdä johtopäätös, jonka mukaan eri metsätyyppien välillä on eroja lumen latvusinterseption määrissä. Kuusivaltaisen metsän lumen latvusinterseptio (mediaani 12,7 %:a) on suurempaa kuin mäntyvaltaisen metsän (4,6 %:a) ja vastaavasti mäntyvaltaisen metsän lumen latvusinterseptio on suurempaa kuin lehtipuuvaltaisen metsän lumen latvusinterseptio (1,1 %:a). Tulokset ovat yhteneväisiä Lundbergin ja Koivusalon (2003: 1490) sekä Mahatin ja Tarbotonin (2014: 6329) tutkimusten tulosten kanssa, joissa he toteavat havupuiden lumen latvusinterseption olevan suurempaa verrattuna lehtipuihin. Kuz'min (1960 Gelfan ym. 2004: 785 mukaan) sekä Lundberg ja Koivusalo (2003: 1490) päätyivät myös johtopäätökseen, jonka mukaan kuusivaltaisen metsän lumen latvusinterseptio on muita metsätyyppejä suurempaa. Havupuiden suurempi lumen latvusinterseption määrä verrattuna lehtipuihin johtuu niiden tiheämmästä latvustosta (Mahat & Tarboton 2014: 6329).

8.2 Lumen latvusinterseption trendit

Aikasarjoja sekä Mann-Kendallin trenditestin tuloksia tarkastellessa (taulukko 11 & 12), huomataan, että testatuista lumilinjoista 50 %:lla oli havaittavissa trendi vähintään yhdessä metsätyypissä. Kuitenkin vain Pieksämäen lumilinjalla oli havaittavissa kaikissa metsätyypeissä tilastollisesti merkitsevä trendi. Tulosten pohjalta voidaan todeta, että lumen latvusinterseptiossa on tapahtunut jonkin verran muutoksia, mutta näitä muutoksia

ei kuitenkaan voi yleistää koko tutkimusalueelle, huolimatta lämpötilan (Mikkonen ym. 2015) ja sadannan määrän (Irannezhad ym. 2014: 3150) kasvusta Suomessa. Tuloksiin täytyy suhtautua pienellä varauksella, sillä kaikkia lumilinjoja ei testattu. Lisäksi analyyseissä ei ole huomioitu tuulen vaikutusta lunta latvuksista poistavana tekijänä, mikä mahdollisesti voi vaikuttaa trendien esiintyvyyteen. Tulokset ovat sikäli yhteneväisiä Gregowin ym. (2008: 530) sekä Koziin ym. (2017) tutkimusten tulosten kanssa, että osassa tämän tutkielman lumilinjoista löytyi trendejä jossain metsätyypissä. Molempien tutkimusten trenditarkastelun tulos viittaa lumen latvusinterseption määrän kasvuun, sillä tutkimuksissa havaittiin nouseva trendi tykkylumen määrässä puissa (Gregow ym. 2008: 530) ja lumen latvusinterseptiossa (Kozii ym. 2017: 3562). Tämän tutkielman tulos kuitenkin poikkeaa kahden edellä mainitun tutkimuksen tuloksista siinä, ettei tutkielman tuloksia voi kuitenkaan yleistää koko tutkimusalueelle. Lisäksi tämän tutkielman tulokset poikkesivat Lehtosen ym. (2014) tutkimuksen tuloksista, sillä he eivät havainneet trendejä puiden latvuksissa olevan lumen määrässä tarkastellulla ajanjaksolla 1961–2010.

Etelä- ja Pohjois-Suomen lumilinjojen tuloksia (Taulukko 10) tarkasteltaessa huomataan, että lähestulkoon kaikissa Etelä-Suomen lumilinjoissa lumen latvusinterseptiossa on tapahtunut muutoksia vähintään yhdessä metsätyypissä. Tulos poikkeaa edellä mainitusta Lehtosen ym. (2014) tutkimuksen tuloksista, joissa trendianalyysiin mukaan otetut asemat sijaitsivat pääosin Etelä- ja Länsi-Suomessa. Kuitenkin vastaavasti Pohjois-Suomessa tilanne näyttäisi olevan päinvastainen. Tämä tarkoittaa, ettei Pohjois-Suomen lumilinjoissa ole tapahtunut muutoksia lumen latvusinterseption määrässä Kemijärven lumilinjaa lukuun ottamatta. Pohjois-Suomen alueen trenditarkasteluista ei ole tiedossa yhtään aiempaa tutkimusta, joten tutkielman tuloksia ei voi vertailla tarkemmin Pohjois-Suomen osalta. Pohjois-Suomen tilanteen tarkastelussa täytyy kuitenkin ottaa huomioon jo aiemmin mainittu lumilinjojen poijättäminen analyysistä, sillä suurin osa puutteellisista lumilinjoista sijoittui nimenomaan Pohjois-Suomeen. Kaiken kaikkiaan kolmasosa Pohjois-Suomen lumilinjoista jäi analysoimatta, kuten kartasta (kuva 4) nähdään. Tästä huolimatta lumilinjat kattavat Pohjois-Suomen melko hyvin, lukuun ottamatta aivan pohjoisinta Suomea. Tulokset antavatkin todennäköisesti realistisen kuvan Pohjois-Suomen lumen latvusinterseption tilanteesta.

Tuloksista on havaittavissa eroja metsätyyppien välillä lumen latvusinterseption muutosten suhteen. Kuusivaltaisessa metsässä muutoksia lumen latvusinterseption suhteen on määrällisesti useammassa lumilinjassa verrattuna mäntyvaltaiseen- ja lehtipuuvallaiseen metsään. Tässä tuloksessa huomioitavaa on kuusivaltaisten metsien vähäisempi määrä verrattuna muihin metsätyyppeihin. Tämä voi tarkoittaa, että kuusivaltainen metsätyyppi reagoi mahdollisesti lumen latvusinterseption vaikuttaviin ilmastollisiin sekä paikallisiin tekijöihin ja niiden muutoksiin muita metsätyyppejä herkemmin. Tuloksissa huomioitavaa on se, ettei lumen latvusinterseption määrissä ole havaittavissa muutoksia muualla kuin Etelä-Suomessa, vaikka sadannan määrän ja ilman lämpötilan tiedetään nousseen Suomessa. Se johtuu mahdollisesti sadannan ja lämpötilan sekä muiden ympäristömuuttujien yhteisvaikutuksesta, joka on todennäköisesti erilainen Etelä- ja Pohjois-Suomessa. Toisaalta sadannan ja ilman lämpötilan määrän kasvu selittäisi ainakin osittain Etelä-Suomen lumilinjoissa tapahtuneen lumen latvusinterseption lisääntymisen. Tämä voi tarkoittaa lämpötilan nousun ja sadannan kasvun olleen mahdollisesti suurempaa Etelä-Suomessa. Tulosten kannalta olennaista on poikkeavien arvojen esiintyminen osassa aikasarjoista. Tämä on mahdollisesti voinut vaikuttaa lumen latvusinterseption trendien tarkasteluun joko trendejä korostaen tai siten, ettei metsätyypistä löydetä trendiä sen vuoksi. Lisäksi eri lumilinjojen aikasarjojen pituudet vaihtelevat, mikä tekee lumilinjojen aikasarjojen vertailun haastavammaksi.

8.3 Ympäristömuuttujien vaikutukset lumen latvusinterseption

Yksinkertaisen lineaarisen regressioanalyysin tuloksia tarkastellessa (kuvat 10–12 & taulukot 13–15) huomataan, että lämpötilamuuttuja vaikuttaa lumen latvusinterseption määrään koko Suomen alueella, Etelä-Suomessa ja myös Pohjois-Suomessa. Lämpötilamuuttuja näyttäisi olevan mahdollisesti ympäristömuuttujista kaikkein merkittävin. Tulokset ovat yhteneväisiä jo taustateoriassa mainitun Rothin ja Nolinin (2019: 4578) tutkimuksen kanssa, jonka mukaan lämpötila on yksi merkittävimmistä mikroklimatologisista muuttujista, joka vaikuttaa lumen latvusinterseption. Myös Koziin ym. (2017: 3562) tutkimuksen mukaan ilman lämpötila sadantatapahtuman aikana vaikuttaa merkittävästi lumen latvusinterseption. Huomionarvoista on se, että lämpötilamuuttujan merkitys latvusinterseption määrän suhteen on pienempi Pohjois-Suomessa verrattuna Etelä-Suomeen (taulukko 14 & 15). Yksi vaikuttava tekijä on

mahdollisesti Pohjois-Suomen matalammat lämpötilat Etelä-Suomeen verrattuna. Tätä näkemystä tukevat Rothin ja Nolinin (2019: 4572) tutkimuksen tulokset, joiden mukaan kylmempi ilman lämpötila vähentää lämpötilamuuttujan merkitystä suhteessa lumen latvusinterseption.

Tulosten perusteella näyttää siltä, ettei lumen määrällä ja sadannalla ole yhtä merkittävää roolia lumen latvusinterseption määrässä, ainakaan koko Suomen tasolla ja Etelä-Suomessa. Vastaavasti Pohjois-Suomessa lumen määrä sekä sadanta näyttävät vaikuttavan lumen latvusinterseption määrään. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, jonka mukaan lämpötilamuuttuja on lumen latvusinterseption kannalta merkittävin näistä kolmesta ympäristömuuttujasta. Tämän voi perustella lämpötilamuuttujan merkityksen heikkenemisellä Pohjois-Suomessa verrattuna Etelä-Suomeen, jossa lumen määrä ja kokonaissadanta näyttävät vaikuttavan tilastollisesti merkitsevästi lumen latvusinterseption määrään. Tulokset ovat osittain ristiriidassa Armstrongin ja Brunin (2008: 83) sekä Boonin (2009: 2608) esittämien näkemysten kanssa, joiden mukaan sadannan pitäisi vaikuttaa kaikkialla merkittävästi lumen latvusinterseption. Myös Rothin ja Nolinin (2019: 4578) tutkimuksen tulokset näyttävät, että sadannan määrällä on lämpötilaa suurempi merkitys lumen latvusinterseption määrässä. Poikkeavat tulokset tutkielmassa verrattuna aiempiin tutkimuksiin ja kirjallisuuteen voivat selittyä kahdella tekijällä: Ensimmäiseksi satanut lumi ehtii lämpötilan vaikutuksesta sulaa ainakin osittain ennen seuraavaa lumilinjamittausta Etelä-Suomen lumilinjoilla, minkä vuoksi sadannan vaikutus ei näkyisi lumen latvusinterseption määrässä kyseisellä alueella. Toiseksi on haastavaa tietää, milloin sade tulee lumena ja milloin vetenä. On siis todennäköistä, ettei aineiston lumen kokonaissadanta vastaa täysin todellista talvikauden lumen kokonaissadantaa.

Tuloksissa huomionarvoista on myös se, että lämpötilan kasvaessa lumen latvusinterseption määrä myös kasvaa. Tämä tulos on yhtenäinen Rothin ja Nolinin (2019) tutkimuksen tulosten kanssa. Pohjois-Suomen tuloksista huomataan (kuva 12 & taulukko 15), että lumen määrän kasvaessa sekä sadannan ollessa suurempi, lumen latvusinterseption määrä kasvaa. Pohjois-Suomessa lumen määrä näyttäisi vaikuttavan ympäristömuuttujista eniten lumen latvusinterseption. Huomioitavaa yleisellä tasolla ympäristömuuttujien vaikutuksia lumen latvusinterseption tarkasteltaessa on se, että tulokseen voi vaikuttaa Etelä-Suomen lumilinjojen suurempi määrä (noin 2/3 kaikista

lumilinjoista). Tämä saattaa ylikorostaa tuloksia lämpötilamuuttujasta hallitsevana ympäristömuuttujana lumen latvusinterseption suhteen. Lisäksi kaikkien mallien residuaalit olivat korkeat, minkä takia niiden ennustearvot ovat heikot. Tämä tulee ottaa huomioon tuloksia tarkasteltaessa, sillä ei ole varmaa, että mallit kuvaisivat luotettavasti näiden muuttujien suhdetta lumen latvusinterseption kanssa.

Yleisesti tuloksia tarkasteltaessa on hyvä ottaa huomioon edellä mainittujen asioiden lisäksi se, ettei tuulen ja latvuston tiheyden vaikutusta ole otettu huomioon tässä tutkielmassa, minkä takia tulokset eivät välttämättä vastaa täysin todellista tilannetta. Tämä pohjautuu taustateoriaan, jossa useammassa tutkimuksessa todetaan, että tuulella (Rasmus 2005; Armstrong & Brun 2008; Derksen ym. 2014) ja puuston latvuston tiheydellä (Lundberg & Koivunsalo 2003: 1491; Varhola ym. 2010; Kozii ym. 2017: 3558) on suuri vaikutus lumen kasautumisessa. Tuuli on esimerkiksi voinut kuljettaa osan lumesta pois aukeilta alueilta. Toisaalta havaintojen määrä on suuri, joten satunnaisvaihtelun ja virheen määrän ei pitäisi olla merkittävä. Tuuliolosuhteet ja metsän latvuston tiheys voivat kuitenkin vaihdella paljon lumilinjojen välillä. Derksenin ym. (2014) tutkimuksessa todettiin, että lunta kerrostuu vähäisen kasvillisuuden alueelle keskimäärin vähemmän kuin alueille, joilla on enemmän kasvillisuutta. Tämä tulos selittää mahdollisesti aikasarjoissa havaittuja negatiivisia arvoja lumen latvusinterseption prosentuaalisessa määrässä. Se myös kyseenalaistaa tämän työn aineistoanalyysien perusoletusta siitä, että lunta olisi aukeilla alueilla enemmän verrattuna metsiin. Pohjois- ja Etelä-Suomen kuvaajia (kuva 11 & 12) tarkastellessa on hyvä huomioida myös lumen latvusinterseption erilainen hajonta, mikä näyttää olevan Pohjois-Suomessa huomattavasti suurempaa verrattuna Etelä-Suomeen. Pohjois-Suomen havaittu suuri hajonta on osaltaan voinut vaikuttaa alueen trendianalyysien tuloksiin. Se voi lisäksi selittää osittain Pohjois- ja Etelä-Suomen välillä havaittuja eroja ympäristömuuttujien vaikutuksesta lumen latvusinterseption. Myös mittaajien tekemät virheet lumilinjamittauksissa ovat mahdollisia. Virheitä pyrittiin karsimaan pois, mutta saattaa olla, ettei kaikkia tällaisia virheitä ole huomattu. Armstrong & Brun (2008: 32) nostavatkin esiin maastosta tehtyjen lumen vesiaron mittauksien epätarkkuuden, joiden he toteavat olevan yleisiä.

9. Yhteenveto ja johtopäätökset

Työn pääasiallisena tarkoituksena oli tarkastella trendianalyysin avulla, onko Suomessa tapahtunut muutoksia lumen latvusinterseption määrässä viimeisen noin 70 vuoden aikana. Tutkielmassa oli tarkoituksena selvittää, eroavatko lumen latvusinterseption määrät eri metsätyyppien välillä toisistaan. Lisäksi tarkasteltiin vielä kolmen ympäristömuuttujan vaikutuksia lumen latvusinterseption määrään. Työssä käytettävänä aineistona oli Suomen ympäristökeskukselle kerättyä aineistoa lumen syvyys- ja tiheysmittauksista eri lumilinjoilta Suomessa. Kruskal-Wallis-analyysin ja Dunnin post-hoc testin avulla tarkasteltiin, löytyykö lumen latvusinterseption määrässä eroa eri metsätyyppien välillä. Trendien löytämiseen käytettiin tässä tutkielmassa puolestaan Mann-Kendallin trendianalyysiä. Lisäksi yksinkertaisen lineaarisen regressioanalyysin avulla selvitettiin kolmen ympäristömuuttujan vaikutusta lumen latvusinterseption määrään.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että yleisellä tasolla lumen latvusinterseption määrä on pääosin kasvanut Etelä-Suomessa, mutta Pohjois-Suomen lumilinjoissa ei ole tapahtunut muutoksia lumen latvusinterseption määrässä viimeisen noin 70 vuoden aikana. On mahdollista, että tulevaisuudessa myös Pohjois-Suomen lumilinjoissa havaitaan muutoksia lumen latvusinterseption määrässä. Lumen latvusinterseption trendeissä oli määrällisesti eroja metsätyyppien välillä, sillä kuusivaltaisista metsistä havaittiin suhteellisesti enemmän trendejä verrattuna muihin metsätyyppeihin. Tästä voi tehdä varovaisen oletuksen, jonka mukaan kuusivaltainen metsätyyppi reagoi mahdollisesti herkemmin ilmastollisiin muutoksiin lumen latvusinterseption suhteen verrattuna muihin metsätyyppeihin. Lumen latvusinterseption määrässä havaittiin eroja metsätyyppien välillä. Kuusivaltainen metsä sieppaa eniten lunta latvustoihinsa, seuraavaksi eniten lunta sieppaa mäntyvaltainen metsä ja vähiten lehtipuuvaltainen metsä.

Ympäristömuuttujista lämpötilamuuttuja näyttäisi vaikuttavan eniten lumen latvusinterseption ja mahdollisesti jopa kontrolloivan muiden muuttujien merkitystä lumen latvusinterseption määrään. Ilman lämpötilan merkitys vähenee pohjoisemmille leveysasteille siirryttäessä, missä ilman lämpötila on keskimäärin alhaisempi. Tämän vuoksi kylmemmillä alueilla kokonaissadannan ja lumen määrän vaikutus lumen

latvusinterseption on selvimmin havaittavissa. Lumen latvusinterseption määrä kasvaa ilman lämpötilan noustessa koko Suomen alueella. Kokonaissadannan ja lumen määrän kasvaminen Pohjois-Suomessa vaikuttaa myös lumen latvusinterseption määrään sitä kasvattaen. Vastaavasti Etelä-Suomessa lumen määrän ja kokonaissadannan ei nähty vaikuttavan lumen latvusinterseption määrään. Tämä mahdollisesti johtuu ilman lämpötilan hallitsevasta vaikutuksesta.

Jatkotutkimuksia ajatellen voisi olla järkevää tarkastella useampien ympäristömuuttujien yksittäisiä vaikutuksia sekä yhteisvaikutusta lumen latvusinterseption Suomessa. Tulevaisuudessa olisi mielekästä tarkastella, ilmeneekö lumen latvusinterseption trendejä lukumäärällisesti enemmän Etelä-Suomessa sekä onko tilanne muuttunut Pohjois-Suomessa tämän tutkielman tuloksista. Lisäksi mahdollinen tutkimuskohde voisi olla havaittujen trendien voimakkuuksien tarkastelu metsätyyppien välillä, jota ei tässä työssä otettu huomioon. Lumen latvusinterseption itsessään on hyvin tutkittu aihe, mutta sen trendejä ei ole tarkasteltu kovin paljoa, joten tämä tutkimus mahdollisesti antaa suuntaa lumen latvusinterseption tilanteesta ilmastollisesti vastaavanlaisilla alueilla.

Kiitokset

Haluaisin esittää erityiset kiitokset ohjaajilleni tutkijatohtori Pertti Ala-Aholle sekä apulaisprofessori Hannu Marttilalle mielenkiintoisesta aiheesta, neuvoista, kommentteista, ideoista ja ohjaamiseen käytetystä ajasta. Kiitos myös Suomen ympäristökeskukselle tutkielman aineistosta sekä Maa- ja vesitekniikan tuki ry:lle ja heidän hankkeelleen ”HydArk – Arkistojen unohdetut hydrologiset aarteet”, josta tuli rahoitus aineiston keruulle ja tälle työlle. Haluan kiittää myös ohjaajaani professori Jan Hjortia Oulun Yliopiston maantieteen tutkimusyksiköstä työhön liittyvistä kommentteista ja ohjeista. Lopuksi kiitän vielä perhettäni, läheisiäni ja ystäviäni heidän antamastaan tuesta ja neuvoista tämän tutkielman tekemisen sekä opintojeni aikana.

Lähteet

- Ahad, N. A., T. S. Yin, A. R. Othman & C. R. Yaacob. (2011). Sensitivity of normality tests to non-normal data. *Sains Malaysiana*, 40(6), 637–641 s.
- Aitchison, C. W. (2001). The effect of snow cover on small animals. *Snow Ecology: An Interdisciplinary Examination of Snow-Covered Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, 229–265 s.
- Alfsen, K. H., J. S. Fuglestedt & T. Skodvin. (1998). *Climate change: Some elements from the scientific background and the scientific process*. CICERO Working Paper. 33 s.
- Allen, M. R., O. P. Dube, W. Solecki, F. Aragon-Durand, W. Cramer & S. Humphreys. (2018). *Framing and Context in Global Warming of 1.5 C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*.
- Armstrong, R. L. & E. Brun. (2008). *Snow and climate: Physical processes, surface energy exchange and modeling*. Cambridge university press. 222 s.
- Asikainen, A., H. Ilvesniemi, R. Sievänen, E. Vapaavuori & T. Muhonen. (2012). *Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät*. 211 s.
- Barnett, T. P., J. C. Adam & D. P. Lettenmaier. (2005). Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438(7066), 303–310 s.
- Boon, S. (2009). Snow ablation energy balance in a dead forest stand. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(18), 2600–2610 s.
- Brooks, K. N., P. F. Ffolliott, H. M. Gregersen & L. F. DeBano. (2003). *Hydrology and the Management of Watersheds*. Iowa State University Press. 3.p. 533 s.
- Brown, R. D., & P. W. Mote. (2009). The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate. *Journal of Climate*, 22(8), 2124–2145 s.
- Bulygina, O. N., P. Y. Groisman, V. N. Razuvaev & N. N. Korshunova. (2011). *Changes in snow cover characteristics over Northern Eurasia since 1966*. Environmental Research Letters, 6(4), 045204.
- Derksen, C., J. Lemmetyinen, P. Toose, A. Silis, J. Pulliainen & M. Sturm. (2014). Physical properties of Arctic versus subarctic snow: Implications for high latitude passive microwave snow water equivalent retrievals. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(12), 7254–7270 s.
- DeWalle, D. R., & A. Rango. (2008). *Principles of snow hydrology*. Cambridge University Press. 410 s.
- Dingman, S. L. (2015). *Physical hydrology*. Waveland press. 28–86 s.
- Dorbyshev, I., S. Gewehr, F. Berninger & Y. Bergeron. (2013). Species specific growth responses of black spruce and trembling aspen may enhance resilience of boreal forest to climate change. *Journal of Ecology*, 101(1), 231–242 s.
- Dunford, E. G., & C. H. Niederhof. (1944). Influence of aspen, young lodgepole pine, and open grassland types upon factors affecting water yield. *Journal of Forestry*, 42(9), 673–677 s.
- Eamer, J., H. Ahlenius & P. Prestrud. (2007). *Global outlook for ice & snow*. Division of Early Warning

- and Assessment (DEWA), United Nations Environmental Programme. 235 s.
- Elliott, A. C., & L. S. Hynan. (2011). A SAS® macro implementation of a multiple comparison post hoc test for a Kruskal–Wallis analysis. *Computer methods and programs in biomedicine*, 102(1), 75–80 s.
- Essery, R., J. Pomeroy, J. Parviainen & P. Storck. (2003). Sublimation of snow from coniferous forests in a climate model. *Journal of Climate*, 16(11), 1855–1864 s.
- Essery, R., J. Pomeroy, C. Ellis, & T. Link. (2008). Modelling longwave radiation to snow beneath forest canopies using hemispherical photography or linear regression. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(15), 2788–2800 s.
- European state of the climate 2019 summary. <https://climate.copernicus.eu/sites/default/files/2020-04/ESOTC2019_summary.pdf> luettu 16.5.2020.
- Freund, R. J., W. J. Wilson & P. Sa. (2006). *Regression analysis*. Elsevier. 2.p. 459 s.
- Gelfan, A. N., J. W. Pomeroy & L. S. Kuchment. (2004). Modeling forest cover influences on snow accumulation, sublimation, and melt. *Journal of Hydrometeorology*, 5(5), 785–803 s.
- Ghariani, C. & N. Molinari. (2009). *Mann-Kendall test with missing data*. 11 s.
- Gocic, M. & S. Trajkovic. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100, 172–182 s.
- Gregow, H., U. Puranen, A. Venäläinen, H. Peltola, S. Kellomäki & D. Schultz. (2008). Temporal and spatial occurrence of strong winds and large snow load amounts in Finland during 1961–2000. *Silva Fennica*, 42(4), 515–534 s.
- Gryning, S. E., E. Batchvarova & H. A. R. De Bruin. (2001). Energy balance of a sparse coniferous high-latitude forest under winter conditions. *Boundary-Layer Meteorology*, 99(3), 465–488 s.
- Hamed, K. H. & A. R. Rao. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of hydrology*, 204(1-4), 182–196 s.
- Harding, R. J. & J. W. Pomeroy. (1996). *The energy balance of the winter boreal landscape*. *Journal of Climate*, 9(11), 2778–2787 s.
- Hardy, J. P., R. E. Davis, R. Jordan, X. Li, C. Woodcock, W. Ni & J. C. McKenzie. (1997). "Snow ablation modeling at the stand scale in a boreal jack pine forest." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 102.D24 (1997): 29397–29405 s.
- Hardy, J. P., R. Melloh, G. Koenig, D. Marks, A. Winstal, J. W. Pomeroy & T. Link. (2004). Solar radiation transmission through conifer canopies. *Agricultural and forest meteorology*, 126(3-4), 257–270 s.
- Hänninen, R., P. Katila, & S. Västilä. (2013). Megatrendit muuttavat Suomen metsäalaa. *Metsätieteen aikakauskirja 4/2013*, 675–678 s.
- Höllner, P. (2001). The influence of the forest on night-time snow surface temperature. *Annals of Glaciology*, 32, 217–222 s.
- Ide, J. I., L. Finér, A. Laurén, S. Piirainen & S. Launiainen. (2013). Effects of clear-cutting on annual and seasonal runoff from a boreal forest catchment in eastern Finland. *Forest Ecology and*

- Management*, 304, 482–491 s.
- Irannezhad, M., H. Marttila & B. Kløve. (2014). Long-term variations and trends in precipitation in Finland. *International Journal of Climatology*, 34(10), 3139–3153 s.
- Jonas, T., C. Marty & J. Magnusson. (2009). Estimating the snow water equivalent from snow depth measurements in the Swiss Alps. *Journal of Hydrology*, 378(1-2), 161–167 s.
- Jones, H. G. (1999). The ecology of snow-covered systems: a brief overview of nutrient cycling and life in the cold. *Hydrological processes*, 13(14-15), 2135–2147 s.
- Jones, J. A., & D. A. Post. (2004). Seasonal and successional streamflow response to forest cutting and regrowth in the northwest and eastern United States. *Water Resources Research*, 40(5). 19 s.
- Juhnke, A. (2018). Conduent Healthy Communities Institute. *Mann-Kendall test for trend overview*. <<https://help.healthycities.org/hc/en-us/articles/233420187-Mann-Kendall-Test-for-Trend-Overview>> luettu 22.5.2020.
- Kersalo, J. & P. Pirinen. (2009). *Suomen maakuntien ilmasto*, raportteja 2009:8, ilmatieteen laitos. 192 s.
- Kietäväinen, A., S. Tuulentie & S. Rovander. (2011). Lapin matkailun sopeutuminen ilmastonmuutokseen-Clim-ATIC-hankkeen työraportti.
- Kovats, R.S., R. Valentini, L.M. Bouwer, E. Georgopoulou, D. Jacob, E. Martin, M. Rounsevell & J.-F. Soussana. (2014) 2014: Europe. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1267–1326 s.
- Kozii, N., H. Laudon, M. Ottosson-Löfvenius & N. J. Hasselquist. (2017). Increasing water losses from snow captured in the canopy of boreal forests: A case study using a 30 year data set. *Hydrological Processes*, 31(20), 3558–3567 s.
- Kuusisto, E. (1973). *Lumen sulamisesta ja sulamiskauden vesitaseesta Lammin Pääjärvellä 1970-72*. Vesihallitus.
- Kuz'min, P. P. (1960). Snow accumulation and methods of estimating snow water equivalents.
- Larson, K. M., E. D. Gutmann, V. U. Zavorotny, J. J. Braun, M. W. Williams & F. G. Nievinski. (2009). Can we measure snow depth with GPS receivers? *Geophysical Research Letters*, 36(17). 5 s.
- Lehtonen, I., P. Hoppula, P. Pirinen & H. Gregow. (2014). Modelling crown snow loads in Finland: a comparison of two methods. *Silva Fennica*, 48(3), 1–30 s.
- Lehtonen, I., M. Kämäräinen, H. Gregow, A. Venäläinen & H. Peltola. (2016). Heavy snow loads in Finnish forests respond regionally asymmetrically to projected climate change. *Natural Hazards and Earth System Sciences (Online)*, 16(10). 2259–2271 s.
- Lundberg, A. & S. Halldin. (2001). Snow interception evaporation. Review of measurement techniques, processes, and models. *Theoretical and Applied Climatology*, 70(1-4), 117–133 s.
- Lundberg, A. & H. Koivusalo. (2003). Estimating winter evaporation in boreal forests with operational snow course data. *Hydrological Processes*, 17(8), 1479–1493 s.
- Luomaranta, A., J. Aalto & K. Jylhä. (2019). Snow cover trends in Finland over 1961–2014 based on

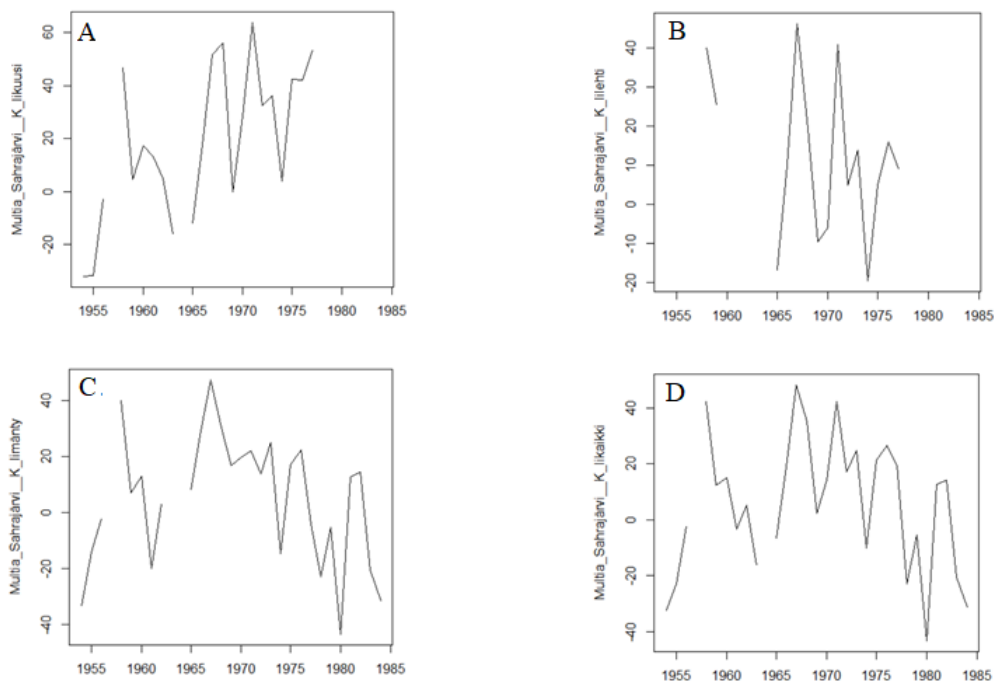
- gridded snow depth observations. *International Journal of Climatology*. 3147–3157 s.
- Lv, Z. & J. W. Pomeroy. (2020) Assimilating snow observations to snow interception process simulations. *Hydrological Processes*. 2229–2246 s.
- Mahat, V. & D. G. Tarboton. (2014). Representation of canopy snow interception, unloading and melt in a parsimonious snowmelt model. *Hydrological processes*, 28(26), 6320–6336 s.
- Martin, C. W., J. W. Hornbeck, G. E. Likens & D. C. Buso. (2000). Impacts of intensive harvesting on hydrology and nutrient dynamics of northern hardwood forests. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57(S2), 19–29 s.
- McKay, G. A. & D. M. Gray. (1981). The distribution of snow cover. In 'Handbook of Snow: Principles, Process, Management, and Use'. (Eds D. M. Gray and D. H. Male) 153–190 s.
- Mellander, P. E., M. O. Löfvenius & H. Laudon. (2007). Climate change impact on snow and soil temperature in boreal Scots pine stands. *Climatic Change*, 85(1-2), 179–193 s.
- Meløysund, V., B. Leira, K. V. Høiseth & K. R. Lisø. (2007). Predicting snow density using meteorological data. *Meteorological Applications: A journal of forecasting, practical applications, training techniques and modelling*, 14(4), 413–423 s.
- Mikkonen, S., M. Laine, H. M. Mäkelä, H. Gregow, H. Tuomenvirta, M. Lahtinen & A. Laaksonen. (2015). Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(6), 1521–1529 s.
- Milanković, M. (1941). Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem.
- Niemeyer, R. J., T. E. Link, M. S. Seyfried & G. N. Flerchinger. (2016). Surface water input from snowmelt and rain throughfall in western juniper: potential impacts of climate change and shifts in semi-arid vegetation. *Hydrological Processes*, 30(17), 3046–3060 s.
- Ogurtsov, M., S. Helama, M. Eronen & M. Lindholm. (2005). Centennial-to-millennial fluctuations in July temperatures in North Finland as recorded by timberline tree rings of Scots pine. *Quaternary Research*, 63(2), 182–188 s.
- Pavlovskii, I., M. Hayashi & D. Itenfisu. (2019). Midwinter melts in the Canadian prairies: energy balance and hydrological effects. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(4), 1867–1883 s.
- Pohlert, T. (2014). The pairwise multiple comparison of mean ranks package (PMCMR). *R package*, 27(2019), 9. 1–27 s.
- Pulliainen, J., K. Luojus, C. Derksen, L. Mudryk, J. Lemmetyinen, M. Salminen, J. Ikonen, M. Takala, J. Cohen, T. Smolander & J. Norberg. (2020). Patterns and trends of Northern Hemisphere snow mass from 1980 to 2018. *Nature*, 581(7808), 294–298 s.
- Rasmus, S. (2005). *Snow pack structure characteristics in Finland —Measurements and Modelling*, University of Helsinki, division of Geophysics, Report series in Geophysics: 48. 238 s.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <<https://www.R-project.org/>>

- Robards, K., P. R. Haddad & P. E. Jackson. (1994). *Principles and practice of modern chromatographic methods*. Academic Press. 495 s.
- Roth, T. R. & A. W. Nolin. (2019). Characterizing maritime snow canopy interception in forested mountains. *Water Resources Research*, 55(6), 4564–4581 s.
- Rouse, W. R. (1984). Microclimate at arctic tree line 1. radiation balance of tundra and forest. *Water Resources Research*, 20(1), 57–66 s.
- Räisänen, J. (2016). Twenty-first century changes in snowfall climate in Northern Europe in ENSEMBLES regional climate models. *Climate dynamics*, 46(1-2), 339–353 s.
- Schneider, S. H. (1989). The greenhouse effect: science and policy. *Science*, 243(4892), 771–781 s.
- Shaw, G. & D. Wheeler. (1997). *Statistical techniques in geographical analysis* (Repr.). London: Fulton, 2.p. 355 s.
- Sicart, J. E., R. L. Essery, J. W. Pomeroy, J. Hardy, T. Link & D. Marks. (2004). A sensitivity study of daytime net radiation during snowmelt to forest canopy and atmospheric conditions. *Journal of Hydrometeorology*, 5(5), 774–784 s.
- Solantie, R. (1994). Effect of weather and climatological background on snow damage of forests in Southern Finland in November 1991. *Silva Fennica (Finland)*. 203–211 s.
- Stephanie. (2015). Statistics how to: Post-Hoc Definition and Types of Post Hoc Tests <<https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/post-hoc/>> luettu 30.4.2020.
- Storck, P., D. P. Lettenmaier & S. M. Bolton. (2002). Measurement of snow interception and canopy effects on snow accumulation and melt in a mountainous maritime climate, Oregon, United States. *Water Resources Research*, 38(11), 1–16 s.
- The earth-atmosphere energy balance*. National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) & National Weather Service. <<https://www.weather.gov/jetstream/energy>> luettu 4.12.2019.
- Töglhofer, C., F. Eigner & F. Prettenhaler. (2011). Impacts of snow conditions on tourism demand in Austrian ski areas. *Climate Research*, 46(1), 1–14 s.
- Varhola, A., N. C. Coops, M. Weiler & R. D. Moore. (2010). Forest canopy effects on snow accumulation and ablation: An integrative review of empirical results. *Journal of Hydrology*, 392(3-4), 219–233 s.
- Vehviläinen, B. (1992). Snow cover models in operational watershed forecasting. *National Board of Waters and the Environment. Vesi-ja ympäristöhallitus*. 112 s.
- Vesivarat ryhmä, SYKE 2020. *Hydrologisen seurannan toimintakäsikirja*, versio 1.4.
- Ward, R. C. & M. Robinson. (1990) *Principles of hydrology*. London McGraw-Hill 3.p. 363 s.
- What is Snow water Equivalent?* 2020 USDA, Natural Resource Conservation Service Oregon. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/or/snow/?cid=nrcs142p2_046155> luettu 2.9.2019.
- Wild, M., D. Folini, C. Schär, N. Loeb, E. G. Dutton & G. König-Langlo. (2013). The global energy balance from a surface perspective. *Climate dynamics*, 40(11-12), 3107–3134 s.
- Winther, J. G. & D. K. Hall. (1999). Satellite-derived snow coverage related to hydropower production in

- Norway: Present and future. *International Journal of Remote Sensing*, 20(15-16), 2991–3008 s.
- Wong, K. V. (2016) *Climate change*. Environmental engineering collection 195 s.
- Yue, S., P. Pilon & G. Cavadias. (2002). Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of hydrology*, 259(1-4), 254–271 s.

Liitteet

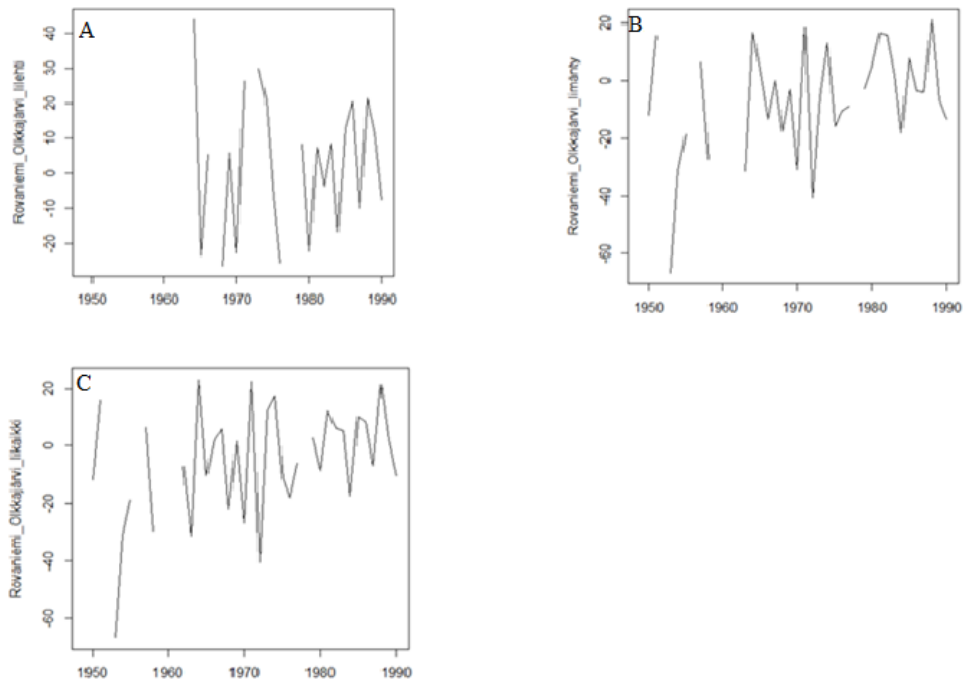
Liite 1. Multia, Sahrajärvi, Karhumäki Mann-Kendall trenditestin tuloste ja aikasarja. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.



Mann-Kendallin trenditesti

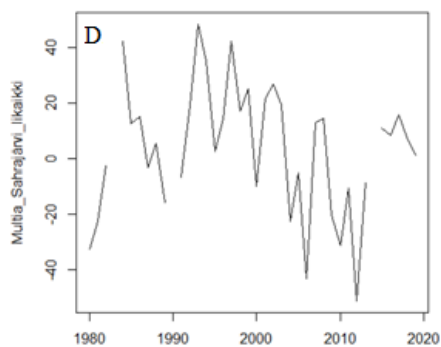
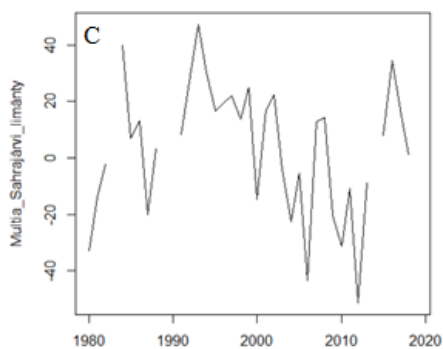
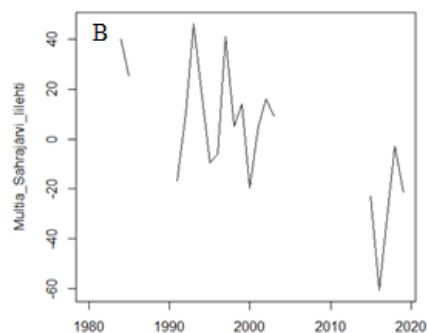
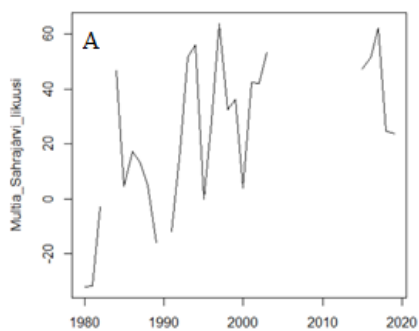
Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	107	0,003
Lehtipuuvaltainen metsä	-20	0,392
Mäntyvaltainen metsä	-44	0,396
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	-15	0,793

Liite 2. Rovaniemi, Olkkajärvi Mann-Kendall trenditestin tuloste ja aikasarja. A lehtipuuvaltainen metsä, B mäntyvaltainen metsä ja C metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.



Mann-Kendallin trenditesti		
Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	-	-
Lehtipuuvaltainen metsä	30	0,472
Mäntyvaltainen metsä	97	0,173
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	114	0,124

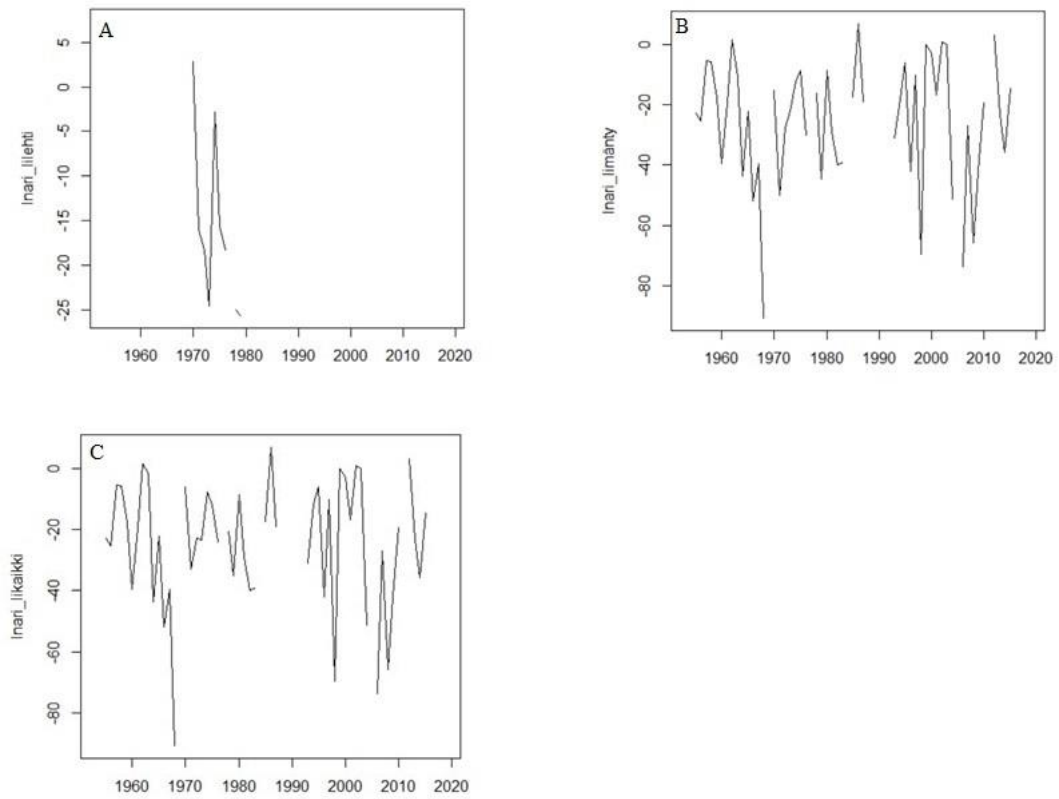
Liite 3. Multia, Sahrajärvi Mann-Kendall trenditestin tuloste ja aikasarja. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.



Mann-Kendallin trenditesti

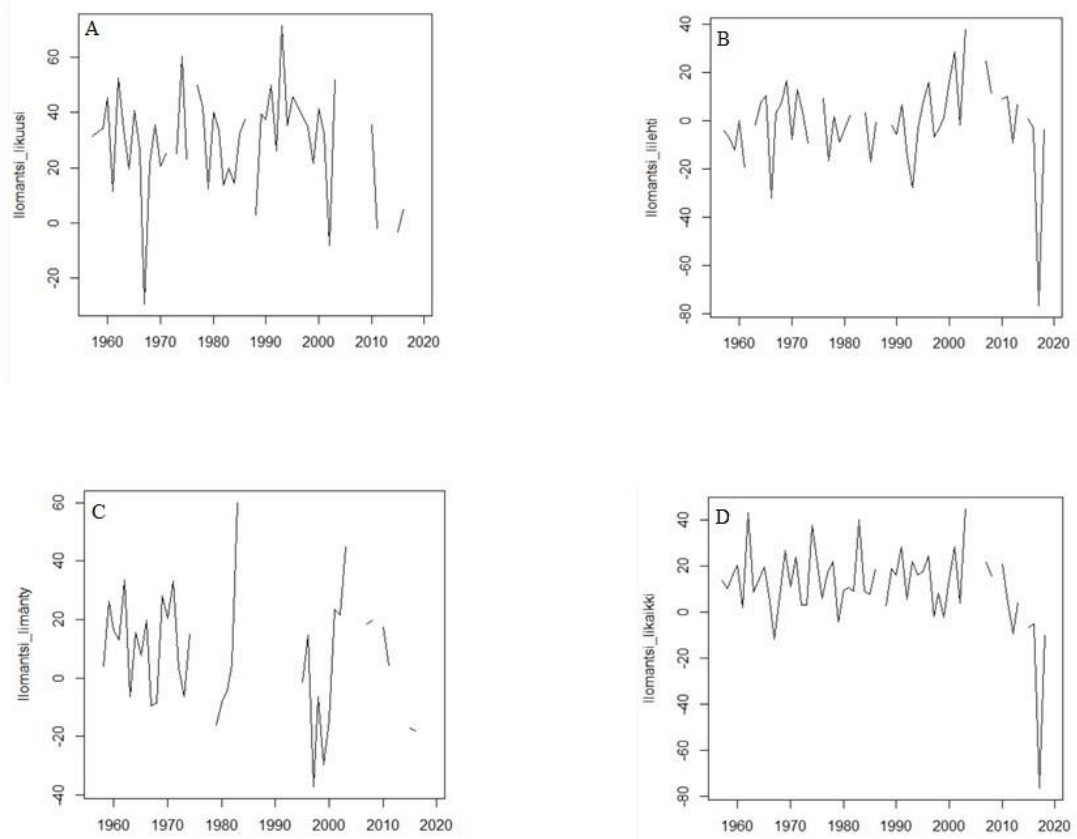
Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	155	0,001
Lehtipuuvaltainen metsä	-88	0,009
Mäntyvaltainen metsä	-59	0,410
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	-61	0,433

Liite 4. Inari, Nelliin Mann-Kendall trenditestin tuloste ja aikasarja. A lehtipuuvaltainen metsä, B mäntyvaltainen metsä, C metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.



Mann-Kendallin trenditesti		
Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	-	-
Lehtipuuvaltainen metsä	-25	0,062
Mäntyvaltainen metsä	-60	0,660
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	-88	0,516

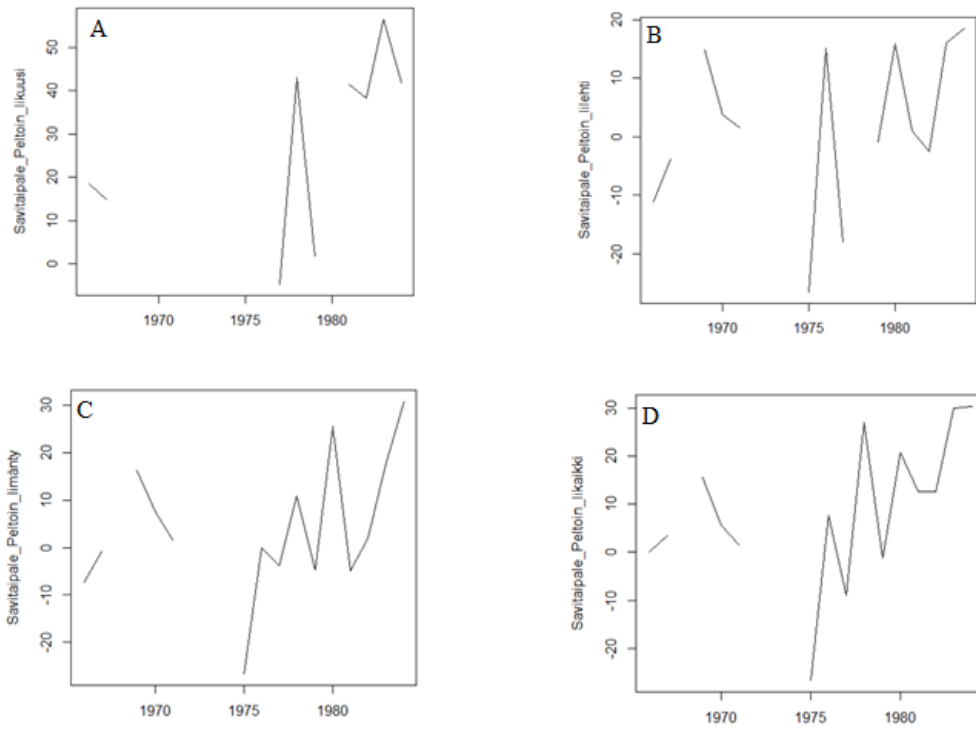
Liite 5. Ilomantsi Mann-Kendall trenditestin tuloste ja aikasarja. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.



Mann-Kendallin trenditesti

Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	-65	0,581
Lehtipuuvaltainen metsä	133	0,270
Mäntyvaltainen metsä	-138	0,110
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	-234	0,996

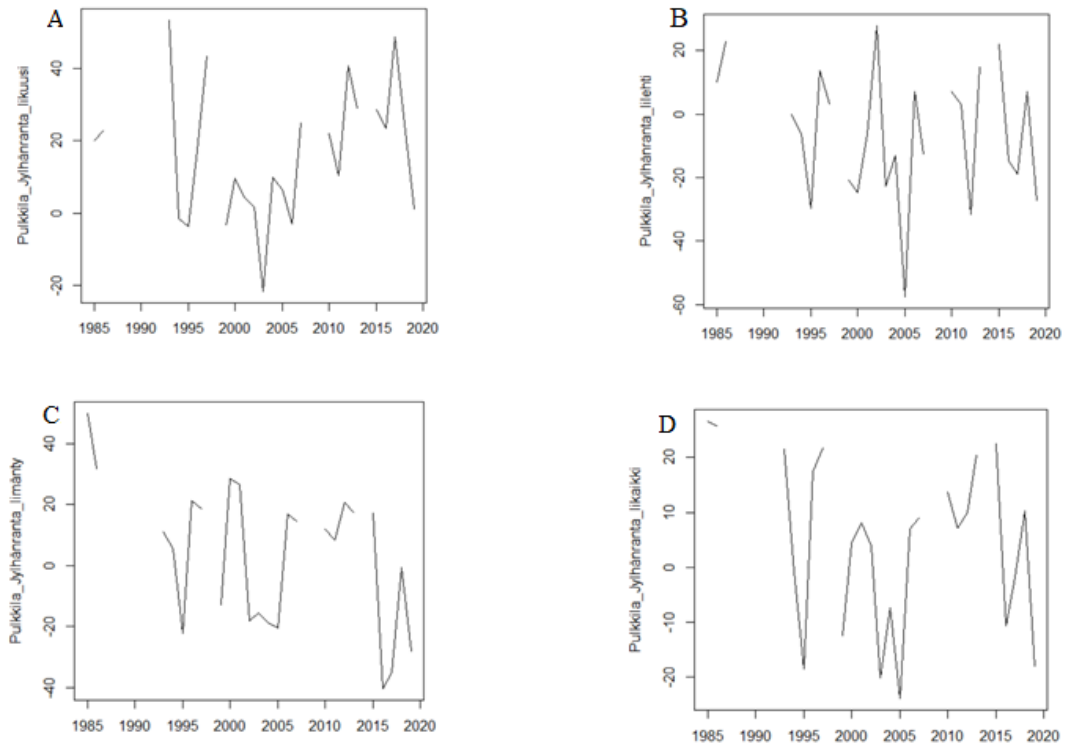
Liite 6. Savitaipale Mann-Kendall trenditestin tuloste ja aikasarja. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.



Mann-Kendallin trenditesti

Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	92	0,175
Lehtipuuvaltainen metsä	333,667	0,101
Mäntyvaltainen metsä	408,333	0,166
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	408,333	0,030

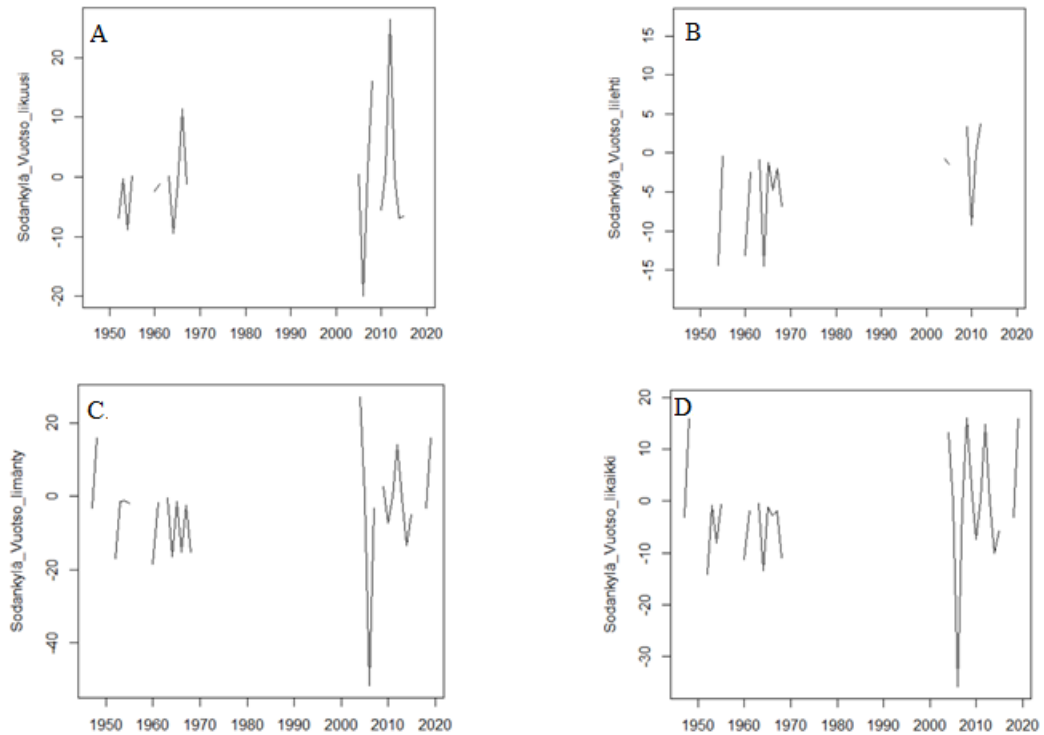
Liite 7. Pulkkila, Jylhääranta Mann-Kendall trenditestin tuloste ja aikasarja. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyyppiin keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.



Mann-Kendallin trenditesti

Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	52	0,234
Lehtipuuvaltainen metsä	-35	0,427
Mäntyvaltainen metsä	-94	0,030
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	-38	0,388

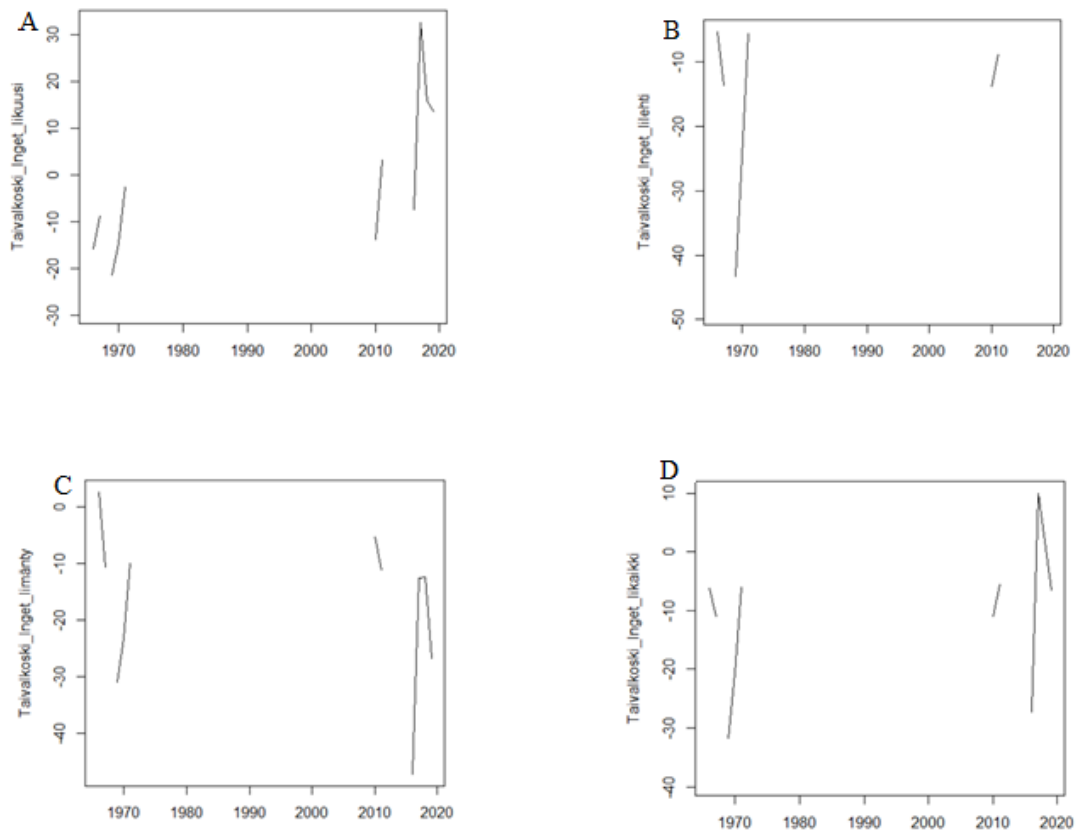
Liite 8. Sodankylä, Vuotson aikasarja ja Mann-Kendallin trenditesti. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.



Mann-Kendallin trenditesti

Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	33	0,367
Lehtipuuvaltainen metsä	56	0,074
Mäntyvaltainen metsä	42	0,442
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	63	0,269

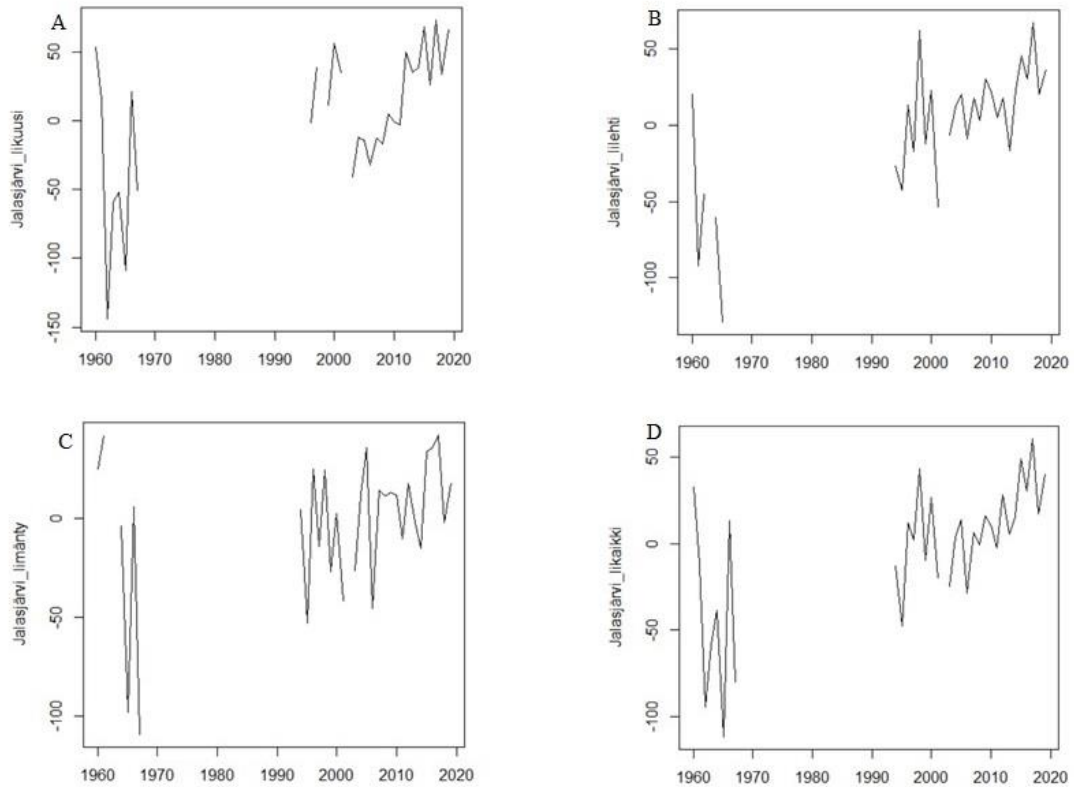
Liite 9. Taivalkoski, Inget aikasarja ja Mann-Kendallin trenditesti. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.



Mann-Kendallin trenditesti

Metsätyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	268,667	0,024
Lehtipuuvaltainen metsä	92	0,602
Mäntyvaltainen metsä	268,667	0,246
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	268,667	0,300

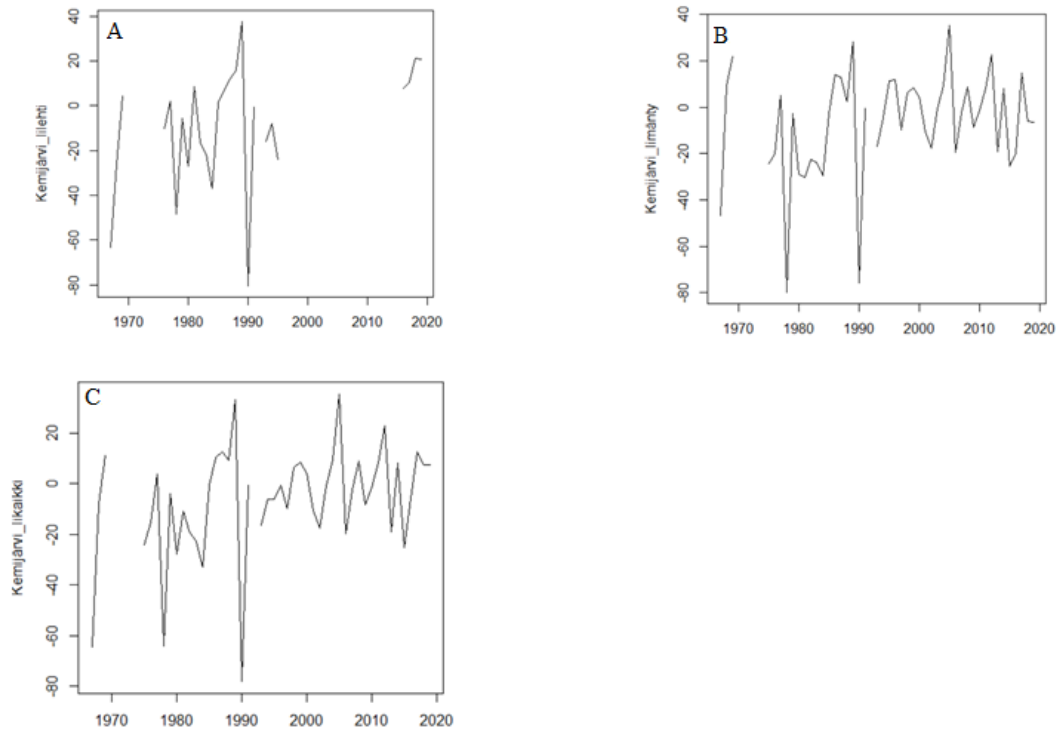
Liite 10. Jalasjärvi Mann-Kendall trenditestin tuloste ja aikasarja. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.



Mann-Kendallin trenditesti

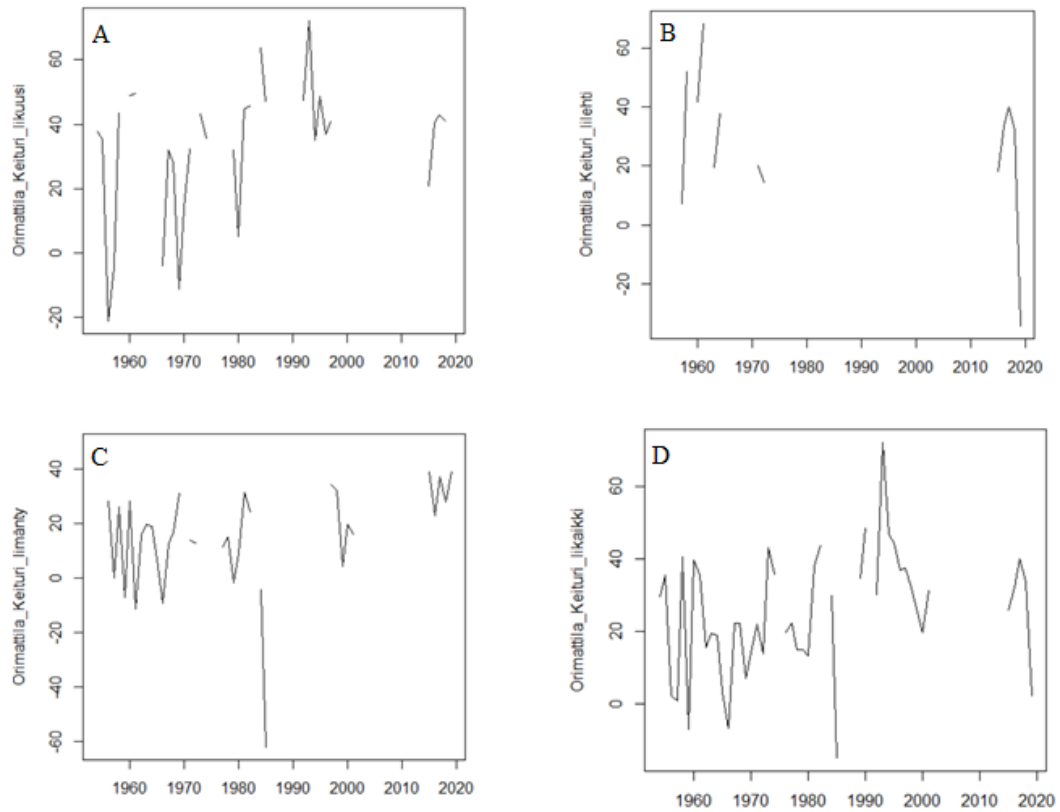
Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	216	0,001
Lehtipuuvaltainen metsä	248	<0,001
Mäntyvaltainen metsä	103	0,147
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	268	0,001

Liite 11. Kemijärvi Mann-Kendall trenditestin tuloste ja aikasarja. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.



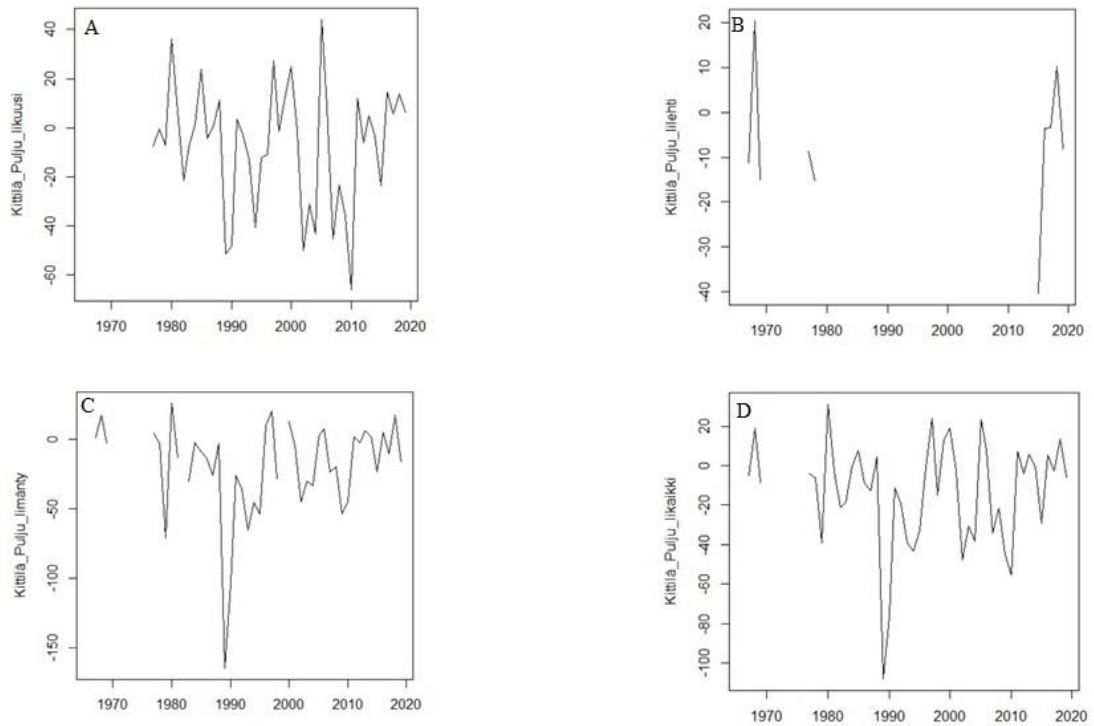
Mann-Kendallin trenditesti		
Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	-	-
Lehtipuuvaltainen metsä	109	0,017
Mäntyvaltainen metsä	143	0,193
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	236	0,031

Liite 12. Orimattila, Keituri Mann-Kendall trenditestin tuloste ja aikasarja. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.



Mann-Kendallin trenditesti		
Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	136	0,066
Lehtipuuvaltainen metsä	-1	1
Mäntyvaltainen metsä	194	0,025
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	277	0,017

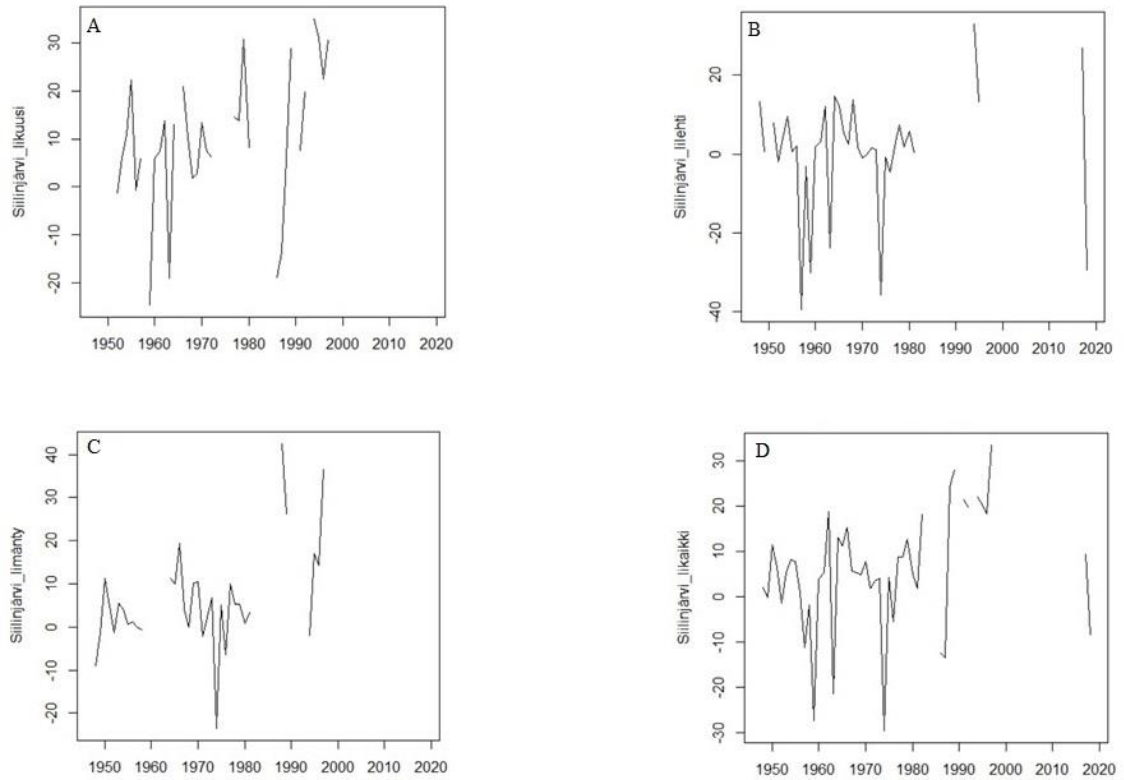
Liite 13. Kittilä, Pulju Mann-Kendall trenditestin tuloste ja aikasarja. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyyppien keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.



Mann-Kendallin trenditesti

Metsätyyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	17	0,867
Lehtipuuvaltainen metsä	5	0,815
Mäntyvaltainen metsä	41	0,696
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	6	0,963

Liite 14. Siilinjärvi Mann-Kendall trenditestin tuloste ja aikasarja. A kuusivaltainen metsä, B lehtipuuvaltainen metsä, C mäntyvaltainen metsä ja D metsätyypin keskiarvoistettu latvusinterseptio. Y-akselilla latvusinterseption määrä (%) ja X-akselilla aika.



Mann-Kendallin trenditesti

Metsätyppi	Score	p-arvo
Kuusivaltainen metsä	192	0,032
Lehtipuuvaltainen metsä	129	0,165
Mäntyvaltainen metsä	153	0,100
Keskiarvoistettu latvusinterseptio	282	0,027

Liite 15, analyysihin tarvittavat R-koodit

```
#Tarvittavat paketit#
```

```
install.packages (PMCMR)
```

```
library (PMCMR)
```

```
install.packages (Kendall)
```

```
library (Kendall)
```

```
install.packages (trend)
```

```
library (trend)
```

```
# Tilastolliset alkutarkastelut #
```

```
normalityTest(~Latvusinterseptio.p, test="lillie.test", data=Paketti)
```

```
Boxplot(Latvusinterseptio.p~Maastotyyppi, data=Paketti, id=list(method="y"))
```

```
# Kruskal-Wallis analyysi ja Dunnin post-hoc testi bonferrikertoimella, paketti  
PMCMR #
```

```
kruskal.test(Latvusinterseptio.p ~ Maastotyyppi, data = Paketti)
```

```
data(Paketti)
```

```
attach(Paketti)
```

```
posthoc.kruskal.dunn.test(x=Latvusinterseptio.p,
```

```
g=Maastotyyppi, p.adjust.method="bonferroni")
```

```
# Mann-Kendal trenditesti, paketti Kendall & trend, esimerkki lumilinjalla Hanko,  
metsätyypillä kuusi #
```

```
Hanko_likuusi=
```

```
ts(Latvusinterseptio.p$lm_kuusi,frequency=1,start=c(1954),end=c(2019))
```

```
Hanko_likuusi
```

```
plot(Hanko_likuusi)
```

```
MK = MannKendall(Hanko_likuusi)
```

```
summary(MK)
```

Ympäristömuuttujien vaikutukset, yksinkertainen lineaarinen regressiomalli, esimerkki
Etelä-Suomen aineistolla, muuttujalla ilman lämpötila#

```
linearMod <- lm(lm_kaikki ~ Lämpötila_k, data=E.linreg)
print(linearMod)
summary(linearMod)
plot(lm_kaikki~Lämpötila_k, data=E.linreg)
abline(20.816, 4.170)
```