



**TURUN  
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen  
tiedekunta

# **Lumenviipymien merkitys vaivaispajun (*Salix herbacea*) kasvuympäristönä.**

Pihla Päckilä

Biologia  
LuK-tutkielma  
Laajuus: 6 op

Ohjaajat:  
Sanna Huttunen  
Inka Kuusisto

4.5.2024  
Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu  
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

LuK-tutkielma

**Pääaine:** Biologia

**Tekijä(t):** Pihla Päckilä

**Otsikko:** Lumenviipymien merkitys vaivaispajun (*Salix herbacea*) kasvuympäristönä

**Ohjaaja(t):** Sanna Huttunen, Inka Kuusisto

**Sivumäärä:** 14

**Päivämäärä:** 4.5.2024

---

Lumenviipymät ovat alueita, joilta lumipeite sulaa selvästi muuta ympäristöä hitaammin. Niiden esiintymiseen sekä laajuuteen vaikuttavat monet tekijät, esimerkiksi maaston korkeus, tuntureiden topografiset muodot, rinteiden suunta, kaltevuus sekä tuulisuus. Suomessa lumenviipymiä esiintyy eniten Käsivarren suurtuntureilla, Utsjoella sekä Inarin pohjoisosissa, jotka vapautuvat lumesta kesä-elokuun aikana. Vaivaispaju (*Salix herbacea*) on kaksikotinen, maanmyötäisesti kasvava matala paju, joka on yksi yleisimmistä putkilokasveista myöhään paljastuvilla lumenviipymillä. Vaivaispaju esiintyy pääosin arktisilla alueilla tuntureilla ja vuoristoissa. Se vaatii ympäristössään jonkin asteista häirintää, kuten lumipeitteen tai vähäistä kilpailua, jotta se voi varmistaa oman paikkansa avoimissa kasvuyhteisöissä. Suurin uhka vaivaispajulle on sen ensisijaisen elinympäristön, lumenviipymien, vähentyminen. Vaivaispajun ennustetaan häviävän etenkin eteläisimmiltä esiintymispaikoiltaan. Tällä hetkellä se on luokiteltu silmälläpidettäväksi.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, suosiiko vaivaispaju lumenviipymiä kasvuympäristönään. Koska vaivaispaju on huono kilpailija, oletan sen suosivan kasvuympäristönään melko aikaisin sulavia lumenviipymiä: näillä paikoilla kasvuolosuhteet eivät ole äärimmäisen ankarat, mutta kilpailu muiden varpujen kanssa on melko vähäistä. Samoin oletan vaivaispajun peittävyuden pienenevän varpujen peittävyuden kasvaessa.

Aineistoni koostui 65 lumenviipymästä (Pallas-Ounastunturit, Utsjoki, Saariselkä ja Enontekiö), joilta kasvillisuus tutkittiin linjaotannalla (1 linja/lumenviipymä) kasvillisuusruutujen avulla. Tutkin vaivaispajun suhteellista peittävyttä kasvillisuuden kokonaispeittävydestä yleistetyn lineaarisen sekamallin avulla. Vastemuuttujina käytin lumenviipymäisyyden astetta, korkeutta merenpinnasta sekä varpujen suhteellista osuutta.

Vaivaispajun suhteellinen peittävyys oli suurimmillaan tutkimuslinjojen puolivälissä. Varpujen suhteellisen osuuden kasvaessa vaivaispajun suhteellinen osuus pieneni kasvillisuusruuduilla ja kangasmaisessa ympäristössä vaivaispajua ei ollut lainkaan. Myös korkeuden kasvaessa vaivaispajun suhteellinen osuus pieneni. Lajin oletetaan rajautuvan lumenviipymille kilpailun ja/tai epäsuotuisten abioottisten olosuhteiden takia elinympäristön ulkopuolella. Liian myöhään sulavilla lumenviipymillä kasvukausi ja –olot ovat liian ankarat vaivaispajulle, mikä nähdään vaivaispajun suhteellisen osuuden pienentymisenä sekä korkeuden että lumenviipymäisyyden asteen kasvaessa.

Vaivaispaju suosii siis paikkoja, joissa lumi säilyy pitkään ja jotka eivät kuitenkaan sula liian myöhään vaivaispajun kasvun ja lisääntymisen onnistumiseksi. Vähälumisissa paikoissa kilpailu on todennäköisesti liian suurta vaivaispajulle. Ympäristöolosuhteiden muuttuessa vaivaispajun leviäminen tämänhetkisen elinympäristörajan ulkopuolelle on rajallista. Koska pohjoisella pallonpuoliskolla arktiset alueet ovat ilmastonmuutoksen myötä vaarassa kadota kokonaan, vaivaispaju ja monet muut lumenviipymien lajit voivat säilyä vain sopeutumalla uusiin ympäristöoloihin fenotyypillisellä plastisuudella tai adaptiivisella evoluutiolla.

---

**Avainsanat:** vaivaispaju, lumenviipymä, kasvuympäristö, ilmastonmuutos

## Sisällysluettelo

<b>1 Johdanto</b> .....	<b>1</b>
1.1 Lumenviipymät ja vaivaispajulumenviipymä.....	1
1.2 Vaivaispajun lajikuvaus.....	1
1.3 Vaivaispajua uhkaavia tekijöitä.....	3
1.4 Tutkimuksen tavoitteet .....	3
<b>2 Aineisto ja menetelmät</b> .....	<b>4</b>
2.1 Linjaotanta .....	4
2.2 Tilastolliset menetelmät.....	6
<b>3 Tulokset</b> .....	<b>7</b>
<b>4 Tulosten tarkastelu</b> .....	<b>10</b>
4.1 Kilpailun vaikutus vaivaispajun menestymiseen.....	10
4.2 Lumensulamisasajankohdan merkitys vaivaispajun esiintymiseen .....	11
4.3 Vaivaispajun tulevaisuus .....	11
<b>Kiitokset</b> .....	<b>12</b>
<b>Lähteet</b> .....	<b>12</b>

# 1 Johdanto

## 1.1 Lumenviipymät ja vaivaispajulumenviipymä

Lumenviipymät ovat alueita, joilta lumipeite sulaa selvästi muuta ympäristöä hitaammin. Niitä esiintyy kaikissa paljakan eli tunturien puuttoman alueen vyöhykkeissä. Lumenviipymien esiintymiseen sekä laajuuteen vaikuttavat monet tekijät, esimerkiksi maaston korkeus, tuntureiden topografiset muodot, rinteiden suunta, kaltevuus sekä tuulisuus. Lumenviipymä esiintyykin eniten tunturien painanteissa, joissa olosuhteet ovat otolliset lumen kerääntymiseen. Suomessa lumenviipymä esiintyy eniten Käsivarren suurtuntureilla, Utsjoella ja Inarin pohjoisosassa (Pääkkö ym. 2018).

Lumenviipymien kasvillisuus poikkeaa tuntureiden muusta ympäristöstä, sillä myöhäisen lumensulamisajankohdan takia niiden kasvukausi on lyhyt, ja ne ovat sulamisvesien kostuttamina yleensä muuta ympäristöä kosteampia. Suomessa lumenviipymät vapautuvat lumesta kesäkuun lopun ja pääasiassa heinä- elokuun aikana (Pääkkö ym. 2018). Toisaalta vuosien välinen vaihtelu voi olla suurta lumen paksuuden ja kevään sääolosuhteiden mukaan.

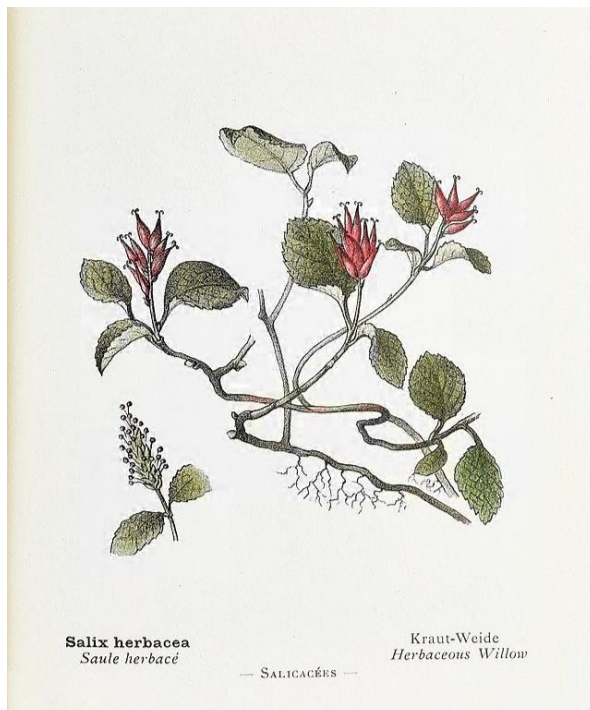
Lumenviipymät jaetaan ravinteisiin ja karuihin lumenviipymiin ja edelleen useiksi lumenviipymätyypeiksi vallitsevan lajiston mukaan. Tuntureiden topografian lisäksi monet muut tekijät, kuten mikroilmasto, ravinteiden saatavuus ja maaperän kosteus vaihtelevat alueellisesti lyhyilläkin välimatkoilla, mikä vaikuttaa myös lajiston heterogeenisuuteen (Wijk 1986).

Lumenviipymillä yleisimpiä lajiryhmiä ovat heinät, sarat, ruohot, sammalet ja matalat pajut (Pääkkö ym. 2018). Vaivaispaju (*Salix herbacea*) on yksi yleisimmistä putkilokasveista myöhään paljastuvilla lumenviipymillä happamassa maassa. Yksi karujen lumenviipymien luontotyyppi on vaivaispajulumenviipymä ja Lumenviipymien kasvillisuusyhteisöjen ja lajiston seurannat uhanalaisuusarvioinnin tukena- tutkimushankkeen (jatkossa lumenviipymähanke) tutkimustulosten perusteella se oli yleisin tutkituista lumenviipymien luontotyypeistä (osuus 23,7 %). Yleensä vaivaispajua ei esiinny kankailla, joissa on suurempia varpuja, kuten esimerkiksi mustikkaa (Wijk 1986).

## 1.2 Vaivaispajun lajikuvaus

Beerlingin (1998) mukaan vaivaispaju on kaksikotinen, maanmyötäisesti kasvava matala paju, joka muodostaa matalia mattomaisia kasvustoja sekä rönsyileviä maanalaisia juurakoita. Vaivaispaju kasvaa noin 5 cm korkeaksi, paikoittain jopa 10 senttimetriin ja sen varret ovat

tumman ruskeita ja punertavia. Maanpintaa pitkin suikertavat varret voi erottaa juurista silmusuonien aiheuttamien arpien avulla. Lehdet ovat pyöreitä tai leveän ovaalin muotoisia, halkaisijaltaan 6–20 mm, sileitä, kirkkaan vihreitä ja kiiltäviä sekä verkkosuonisia. Vaivaispaju kukkii kesä-heinäkuussa riippuen kasvupaikan sääolosuhteista (Luontoportti.fi). Emikukat ovat hedekukintoja huomiota herättävämpiä ja punertavampia, hedekukinnot ovat väriltään vaaleita (kuva 1.) Vaivaispajun lisääntyminen siementen avulla on harvinaista ja se laajeneekin ympäristöön usein vegetatiivisesti kasvattamalla juurakosta uusia versoja. Hyönteisten tärkeydestä ei ole täyttä selvyyttä pölytyksessä, mutta polttiaisten (*Ceratopogonidae*) ja ahmaspistiäisten (*Ichneumonidae*) tiedetään vierailevan sen pajunkissoilla (Beerling 1998).



Kuva 1. Vaivaispaju (*Salix herbacea*) sekä sen hede- ja emikukinnot.

Vaivaispaju esiintyy pääosin arktisilla alueilla Pohjois-Euroopassa, Länsi-Siperiassa, Pohjois-Amerikassa ja vuoristoalueilla Keski-Euroopassa. Sitä tavataan tuntureilla ja vuoristoissa rinteillä sekä kivisillä ja soraisilla alueilla. Vaivaispaju vaatii ympäristössään jonkin asteista häirintää, kuten myöhään sulavan lumipeitteen, solifluktiota tai laidunnusta, jotta se voi varmistaa oman paikkansa avoimissa kasviyhteisöissä (Beerling 1998). Toisaalta vaivaispajua voi esiintyä myös varhain sulavilla alueilla, kuten Norjan vuoristoseuduilla, jos kilpailu on vähäistä (Beerling 1998). Suomessa vaivaispajua esiintyy maan pohjoisosissa puurajan yläpuolella etenkin lumenviipymillä, eteläisimmillään noin Inarin korkeudella (Laji.fi).

### **1.3 Vaivaispajua uhkaavia tekijöitä**

Suurin uhka vaivaispajulle on sen ensisijaisen elinympäristön, lumenviipymien, vähentyminen (Pääkkö ym. 2018). Pohjois-Euroopan tunturipaljakoilla tehdyn tutkimuksen mukaan lumipeitteisen kauden pituus on 1980-luvulta vähentynyt kolmella päivällä vuosikymmentä kohden (Metsämäki ym. 2018) ja on ennustettu, että lumenviipymien kasvillisuus tulee tulevaisuudessa muuttumaan enemmän tunturikankaiden ja –niittyjen kaltaisiksi (Sandvik ja Oland 2013). Suomessa kaikki lumenviipymät on arvioitu äärimmäisen uhanalaiseksi (CR) seuraavalle 50 vuodelle tehdyn ennusteen mukaan. Syynä uhanalaisuudelle on ilmastonmuutos (Pääkkö ym. 2018), joka voi monen muun ympäristömuutoksen lisäksi aiheuttaa kasveille loppukesällä suurempaa kuivuusstressiä maaperän kuivumisen takia (Sandvik ja Oland 2013).

On huomattu, että heinä-elokuisen lumipeitteen määrä on jo vähentynyt kymmeniä prosentteja vuodesta 1984 ja on ennustettu, että kesäisen lumipeitteen väheneminen tulee jatkumaan tulevaisuudessa (Pääkkö ym. 2018). Kuivuuden lisääntyessä lumenviipymäkasvillisuuden tila heikentyy, jolloin paikalle ilmestyy lumenviipymille epätyypillistä lajistoa (Pääkkö ym. 2018). Ilmastonmuutos mahdollistaa suurempien pensaiden leviämisen tunturialueilla ja on ennustettu, että lumen sulamisajankohdasta ekologisesti ja fenologisesti riippuvaisten pienien matalakasvuisten varpujen, johon myös vaivaispaju kuuluu, pinta-ala tulee tulevaisuudessa vähentymään tundralla 60 prosenttia (Wheeler ym. 2016).

Vaivaispajulla oletetaan olevan heikko kilpailukyky (Wijk 1986). Lisäksi vaivaispajun odotetaan sopeutuvan huonosti lumen sulamisen aikaistumiseen, ravinteisuuden kasvuun (Little ym. 2015) tai positiivisten maaperäpalautteiden (plant-soil feedback) puutteeseen nykyisen elinympäristön ulkopuolella (Sedlacek ym. 2014). Täten ympäristössä ja lumenviipymien kasvillisuudessa tapahtuvat muutokset ovat vaivaispajua uhkaavia tekijöitä (Wijk 1986). Vaivaispajun ennustetaan häviävän etenkin eteläisimmiltä esiintymispaikoiltaan Pallas-Yllästunturin ja Urho Kekkosen kansallispuistoissa sekä koko Inarin Lapista (Pääkkö ym. 2018). Vaivaispaju on tällä hetkellä luokiteltu silmälläpidettäväksi (NT; Hyvärinen ym. 2019).

### **1.4 Tutkimuksen tavoitteet**

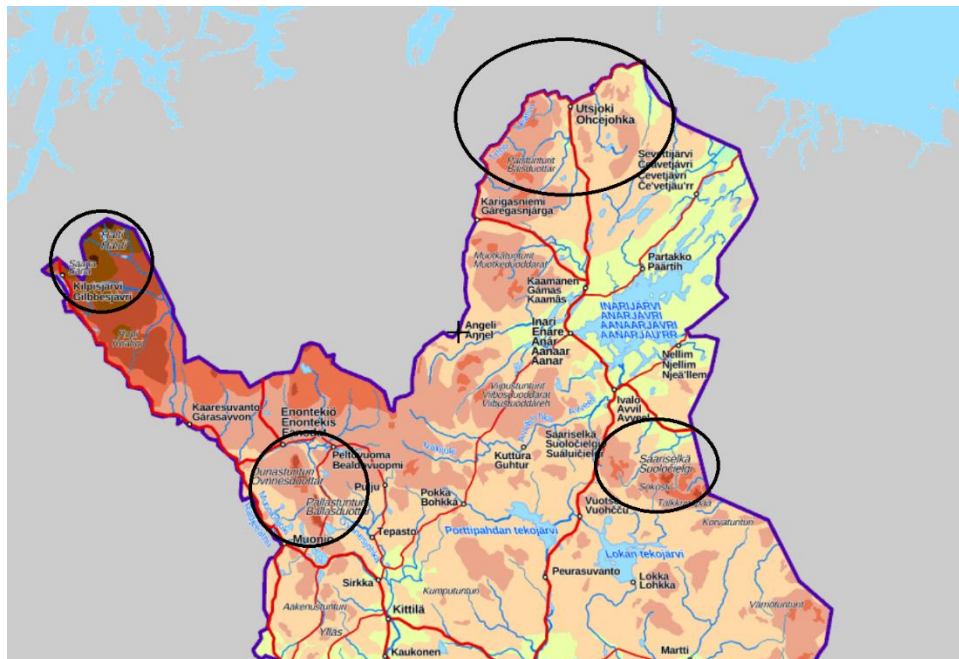
Kandidaatin tutkielmani tavoitteena on selvittää vaivaispajun kasvupaikkavaatimuksia ja sitä, suosiiko se lumenviipymiä kasvuympäristönään. Koska vaivaispaju on huono kilpailija, oletan sen suosivan kasvuympäristönään melko aikaisin sulavia lumenviipymiä: näillä paikoilla kasvuolosuhteet eivät ole äärimmäisen ankarat, mutta kilpailu muiden varpujen kanssa on

melko vähäistä. Näin ollen oletan vaivaspajun peittävyuden olevan suurimmillaan melko varhain sulavilla lumenviipymillä. Lisäksi oletan, että vaivaspajun suhteellinen osuus vähenee korkeuden kasvaessa korkealla vallitsevien äärimmäisten kasvuolosuhteiden takia. Suomessa ei ole tutkittu lumenviipymien merkitystä vaivaspajulle suhteessa muihin lajin kasvupaikkoihin, eikä siis tiedetä, kuinka iso osuus vaivaspajun esiintymistä on lumenviipymillä. Jos laji suosii lumenviipymiä kasvuympäristönään, lumenviipymien tilan muuttuminen seuraavien vuosikymmenten aikana vaikuttaa myös vaivaspajun menestymiseen, vaikkakin lumenviipymien luontotyypit tulevat häviämään esiintymispaikoiltaan nopeammin kuin niiden yksittäiset indikaattorilajit (Pääkkö ym. 2018).

## 2 Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Linjaotanta

Käytössäni oli valmis aineisto, joka oli osa lumenviipymähankkeen kesinä 2021-2022 kerättyä aineistoa. Neljältä alueelta, joilta lumenviipymiä tutkittiin (Pallas-Ounastunturit, 68°18' N, 23°92' E; Utsjoki, 69°89' N, 27°06' E; Saariselkä, 68°40' N, 27°62' E ja Enontekiö, 68°99' N, 21°22' E) pyrittiin mahdollisuuksien mukaan valitsemaan kattavasti ominaisuuksiltaan erityyppisiä lumenviipymiä (kuva 2). Varsinaiseen tutkimukseen ja kasvillisuuden selvittämiseen valittiin 65 lumenviipymää, joilta kasvillisuus tutkittiin linjaotannalla (1 linja/lumenviipymä).



Kuva 2. Alueet ympyröitynä, joilta lumenviipymiä tutkittiin kesinä 2021- 2022.

Tutkitut lumenviipymät sijaitsivat noin 300 metristä hieman yli 1000 metriin merenpinnan tasolta. Tutkimuslinjat olivat pituudeltaan 15-50 metriä riippuen lumenviipymän koosta. Niiltä kirjattiin ylös muun muassa tutkimuslinjan suunta, rinteiden suunta sekä kaltevuus. Linjat sijoitettiin lumenviipymästä tunturikankaalle ja niille asetettiin kahdeksan kooltaan 80 cm x 80 cm kasvillisuusruutua tasaisin välein (kuva 3). Myöhemmin käytin ruutujen sijaintia linjalla selittävänä muuttujana tilastoanalyysissäni, jolloin kutsun muuttujaa lumenviipymäisyyden asteeksi. Kyseinen asteikko on kahdeksanluokkainen: luokka 1 kuvaa niukkalumista päätä ja 8 lumenviipymää. Linja pyrittiin sijoittamaan kohtisuoraan korkeuskäyriä nähden ja ruudut niin, etteivät ne sijainneet kivikossa, louhikossa, kalliolla tai täysin kasvittomalla maalla. Ruuduilta määritettiin jokaisen niillä esiintyvän putkilokasvi-, sammal- ja jäkälälajin peittävyys. Tutkielmassani käytin kuitenkin ainoastaan tietoa vaivaispajun ja muiden varpujen peittävyyksistä sekä tietoa tutkimusruudun sijainnista tutkimuslinjalla ja tietoa tutkimuslinjan korkeudesta.

Lumenviipymät nimettiin kasvillisuuden perusteella Pääkön ym. (2018) kuvaamiin lumenviipymien luontotyyppeihin. Omiksi luontotyypeiksi lisättiin kuitenkin varpuinen lumenviipymä sekä tunturivihvilä-maksasammallumenviipymä, sillä nämä eivät sopineet mihinkään jo kuvattuihin lumenviipymiin, mutta ne olivat maastohavaintojen perusteella kuitenkin selkeästi omanlaisiansa. Aineistossa on lisäksi yksi ravinteinen lumenviipymä, joka ei sopinut mihinkään ravinteisten lumenviipymien alatyyppeihin, joten se on jätetty omaksi tyyppikseen.





Kuva 3. Lumenviipymien kasvillisuus tutkittiin kahdeksalta tasaisin välein asetellulta kasvillisuusruudulta (kooltaan 80 cm x 80 cm).

## 2.2 Tilastolliset menetelmät

Käytin yleistettyä lineaarista sekamallia (generalized linear mixed model, R-ohjelmiston glmmTMB- paketti) selvittääkseni suosiiko vaivaispaju lumenviipymiä kasvuympäristönään. Selitettävänä tekijänä käytin mallissa vaivaispajun suhteellista peittävyyttä kasvillisuuden kokonaispeittävydestä. Selittävinä tekijöinä käytin varpujen suhteellista peittävyyttä kasvillisuuden kokonaispeittävydestä, korkeutta merenpinnasta sekä lumenviipymäisyyden astetta ja sen toisen asteen termiä. Varpujen esiintyminen kuvaa lumenviipymien vaihtumista tunturikankaaksi, jossa vaivaispajua ei juurikaan esiinny. Aineisto oli klusteroitunut, sillä määritykset tehtiin aina kahdeksalta ruudulta jokaiselta tutkimusalueelta, joten malliin otettiin satunnaistekijäksi tutkimuslinja. Analyysit tehtiin R-ohjelmistolla (versio R 4.0.2).

65 tutkitusta tutkimuslinjasta seitsemässä vaivaispajua ei esiintynyt millään linjan ruudulla. Jätin nämä seitsemän paikkaa pois analyyseistäni ja täten lopullinen aineistoni koostui 58 tutkimuslinjasta. Tavoitteenani oli selvittää, suosiiko vaivaispaju lumenviipymiä kasvupaikkanaan – ei minkä tyyppisiä lumenviipymiä se suosii – ja tutkimuslinjat, joissa lajia ei esiintynyt lainkaan, eivät näin ollen olleet tärkeitä tutkimuskysymykseni kannalta. Aineiston

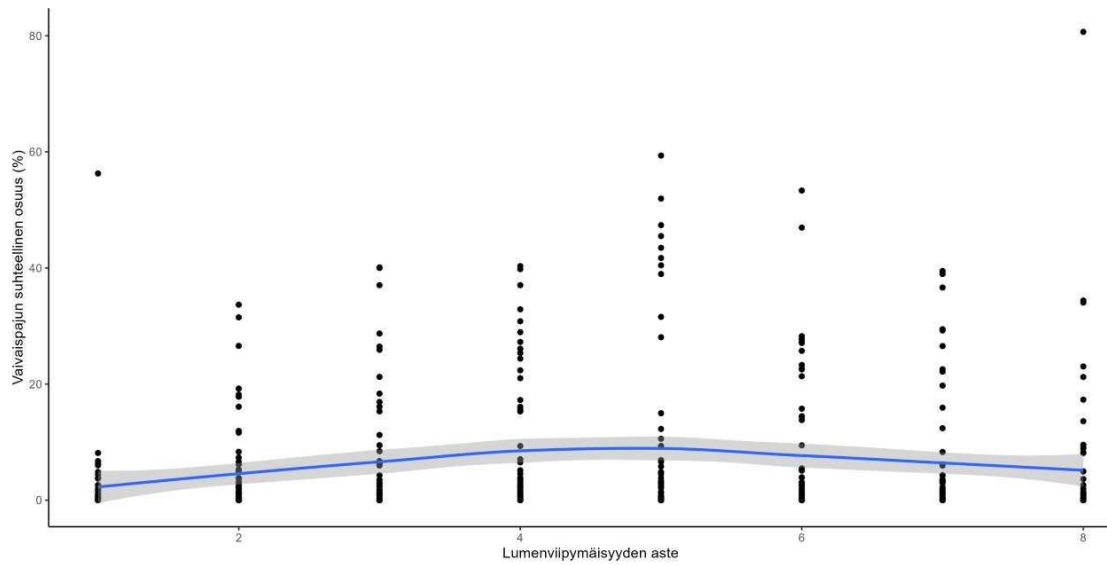
karsimisen jälkeenkin aineistossa oli paljon ruutuja, joilla vaivaispajua ei esiintynyt tai joilla sitä esiintyi hyvin pieninä peittävyksinä. Täten aineistossani oli vastemuuttujan nolla-arvojen yliedustus (zero-inflated) ja sen jakauma oli oikealle vinoutunut. Huomioin tämän tilastoanalyysissä laittamalla malliin linkki-termiksi logaritmin (family = gaussian (link = `log`). Toinen vaihtoehto olisi ollut tehdä aineistolle ennen mallinnusta esim. log+1- muunnos tai käyttää mallissa jakaumana gammaa (esimerkiksi zero-inflated gamma). Käyttämäni mallin residuaalit eivät olleet optimaaliset, mutta riittävän hyvät työhön.

### 3 Tulokset

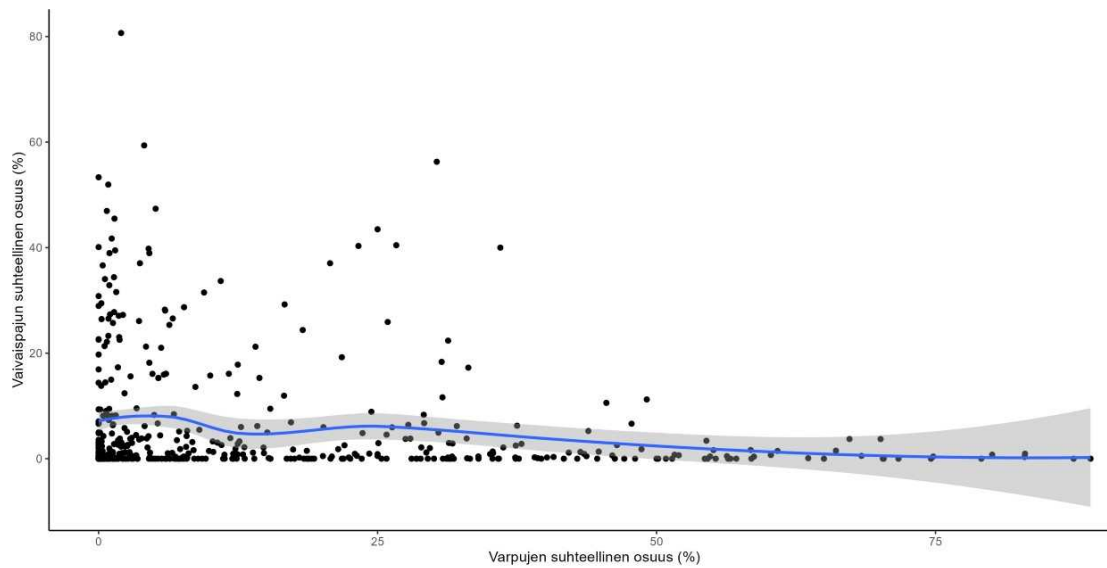
Vaivaispajun suhteellinen peittävyys oli suurimmillaan tutkimuslinjan puolivälissä (kuva 4, taulukko 1). Lumenviipymäisyyden asteen lisäksi varpujen suhteellinen osuus sekä korkeus merenpinnasta selittivät merkittävästi vaivaispajun esiintyvyyttä tutkimuslinjalla. Varpujen suhteellisen osuuden kasvaessa vaivaispajun suhteellinen osuus pieneni kasvillisuusruuduilla ja kangasmaisessa ympäristössä vaivaispajua esiintyi niukasti (lumenviipymäisyyden aste 1, kuva 5). Myös korkeuden kasvaessa merenpinnasta vaivaispajun suhteellinen osuus pieneni (kuva 6).

Taulukko 1. Yleistetyn lineaarisen sekamallin tulokset vaivaispajun suhteellisen peittävyyden ollessa vastemuuttujana.

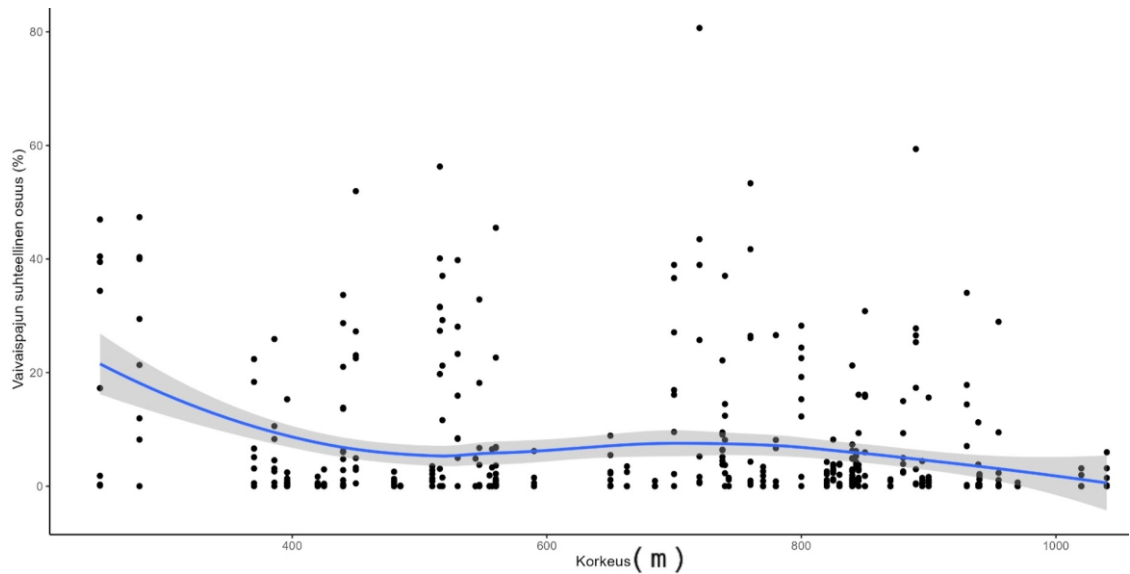
muuttujat	estimaatti	keskivirhe	z-arvo	p-arvo
vakiotermi	1,49	0,24	6,25	<0,0001
lumenviipymäisyyden aste	-0,50	1,50	-0,33	0,737
lumenviipymäisyyden aste <sup>2</sup>	-4,86	1,27	-3,83	<0,0001
varpujen osuus (%)	-0,03	0,00	-6,86	<0,0001
korkeus (m)	-4,49	0,19	-2,56	0,0105



Kuva 4. Vaivaispajun suhteellinen osuus lumigradientilla. Lumenviipymäisyyden aste yksi kuvaa tunturikangasta ja aste kahdeksan lumenviipymää. Viiva kuvastaa keskiarvoa ja harmaa alue 95 % luottamusväliä.



Kuva 5. Vaivaispajun ja varpujen suhteellisen osuuden korrelaatio kasvillisuusruuduilla. Viiva kuvastaa keskiarvoa ja harmaa alue 95 % luottamusväliä.



Kuva 6. Vaivaspajun suhteellinen osuus korkeuden funktiona. Viiva kuvastaa keskiarvoa ja harmaa alue 95 % luottamusväliä.

Yleisimmät lumenviipymätyypit, joilla vaivaspajua esiintyi, olivat karu sammalvaltainen lumenviipymä sekä vaivaspajulumenviipymä. Vaivaspajua esiintyi lähes kaikilla tutkituilla lumenviipymillä vähintään yhdessä kasvillisuusruudussa kutakin tutkimuslinjaa kohti (taulukko 2). Lajin suhteellinen osuus oli suurinta vaivaspajulumenviipymillä, toiseksi eniten sitä esiintyi ravinteisilla pienruoholumenviipymillä.

Taulukko 2. Vaivaspajun esiintyvyys aineistossa esiintyvillä 11 lumenviipymien luontotyypillä ja lajin suhteellinen peittävyys kasvillisuusruutua kohti kullakin lumenviipymätyypillä.

	f	keskiarvo (%)	minimi (%)	maksimi (%)
Jääleikkilumenviipymä	3/3	0,91	0	5,97
Karu sammalvaltainen lumenviipymä	21/23	2,91	0	45,50
Matalasarainen - ja heinäinen lumenviipymä	5/9	3,91	0	56,28
Ravinteinen kangasmainen lumenviipymä	0/1	0	0	0
Ravinteinen lumenviipymä	1/1	1,01	0	2,12
Ravinteinen pienruoholumenviipymä	8/8	5,77	0	53,33
Ravinteinen sammalvaikutteinen lumenviipymä	1/1	0,12	0	0,92
Tähtirikko-hapro -lumenviipymä	1/1	0,33	0	2,61
Tunturivihvilä-maksasammallumenviipymä	3/3	0,93	0	4,86
Vaivaspajulumenviipymä	14/14	14,87	0	80,67
Varpuinen lumenviipymä	1/1	0,53	0	2,95
yht.	58/65			

## 4 Tulosten tarkastelu

### 4.1 Kilpailun vaikutus vaivaispajun menestymiseen

Vaivaispajun suhteellinen peittävyys oli suurimmillaan lumigradientin puolivälissä. Lumigradientin puolivälin paikat sulavat aikaisemmin verrattuna lumenviipymän keskustaan (lumenviipymäisyyden aste 8), mutta kuitenkin tarpeeksi myöhään, jotta esimerkiksi varvut eivät menesty alueella ja näin haittaa vaivaispajun kasvua. Lumenviipymäisyyden asteen pienentyessä eli siirryttäessä lumigradientilla kohti tunturikangasta myös vaivaispajun peittävyys pienenee. Täten oletan, että vaivaispajun esiintyminen on toisaalta kasvuympäristön ankaruuden, toisaalta kasvien välisen kilpailun rajaamaa ja keskittyy tämän takia etenkin lumigradienttien puolivälin paikoille, jossa kummatkaan näistä tekijöistä eivät ole liian äärimmäisiä. Tulokseni ovat yhtenevät Wijkin (1986) havaintojen kanssa. Hän havaitsi vaivaispajun suurimman versotiheyden sijaitsevan eri kohdassa suurimman yksilöiden kasvun kanssa, mikä viittaa esiintymisen rajoittuvan lumenviipymille muiden kasvilajien takia. Mahdollinen syy pienelle versotiheydelle kankaan puoleisilla kasvillisuusruuduilla voi olla muiden lajien, etenkin metsälauhan (*Deschampsia flexuosa*) ja mustikan (*Vaccinium myrtillus*) takia vaikeutuva juurten leviäminen ja versojen muodostuminen (Wijk 1986). Toisaalta Wheeler (2016) ehdottaa, että kasvilajien väliset kilpailulliset vuorovaikutukset eivät vähennä vaivaispajun kasvua aikaisemmin sulavilla lumenviipymillä, ja että pienempi versotiheys johtuisi matalammista lämpötiloista ja hallan aiheuttamista vaurioista keväällä. Näin ollen vaivaispajun pieni peittävyys lumigradientin alussa olisi seurausta epäsuotuisista abiottisista olosuhteista kasvukauden aikana.

Alppien ekosysteemeissä on huomattu, että kasvilajien välinen fasilitaatio lisääntyy ja kilpailu vähenee ympäristön stressin kasvaessa, mikä pätee myös vaivaispajuun (Wheeler ym. 2015). Stressiä aiheuttavissa ympäristöissä suurimmalla osalla vaivaispajuun kohdistuvista naapurivuorovaikutuksista oli lajia helpottava vaikutus etenkin varhain sulavilla ja korkealla sijaitsevilla lumenviipymillä (Wheeler ym. 2015). Kasvivuorovaikutusten haitat ja hyödyt vaivaispajulle riippuvat siis ympäristön aiheuttamasta stressin määrästä ja kyvystä sopeutua siihen. Tulosteni perusteella ei voida päätellä mikä fasilitaation rooli on vaivaispajun esiintyvyydessä, mutta sen merkitys on hyvä muistaa arktisia kasviyhteisöjä muokkaavana tekijänä.

## 4.2 Lumensulamisasajankohdan merkitys vaivaispajun esiintymiseen

Tuloksissani vaivaispajua ei juuri esiintynyt yli tuhannessa metrissä todennäköisesti lyhyestä kasvukaudesta ja ankarista ympäristöolosuhteista johtuen. Merenpintaan nähden korkeammalla sijaitsevat lumenviipymät sulavat keskimäärin myöhemmin, mikä vaikuttaa kasvukauden pituuteen ja sen myötä kasvien fenologiseen kasvuun, kuten lehtien kehittymisen ajankohtaan (Wijk 1986). Alpeilla on huomattu, että yli 2000 metrissä kasvukauden pituus voi pidentyä jopa 60 päivällä normaalista kestosta lumensulamisasajankohdasta riippuen (Beniston ym. 2003), millä on suuria vaikutuksia moniin biotettiin ja abiootettiin ympäristötekijöihin.

Vaivaispajun lehden keskimääräinen koko pienenee maantieteellisen korkeuden kasvaessa (Wheeler ym. 2016), mikä saattaa vaikuttaa lajin suhteelliseen peittävyys pienemiseen tuloksissa korkeammalle mentäessä. Tämä ei kuitenkaan tiettyyn rajaan asti tarkoita vaivaispajun esiintyvyyden vähenemistä, sillä lajin versotiheys kasvaa myöhään sulavilla lumenviipymillä (Wijk 1986). Myös Little ym. (2015) huomasivat myöhemmällä lumensulamisasajankohdalla olevan positiivinen vaikutus versojen lukumäärän kasvuun. Ilmiö näkyy myös yksittäisten lumenviipymien sisällä, jossa lumenviipymien osat vapautuvat lumesta eri aikaan ja kasvukauden pituus lumenviipymien sisällä täten vaihtelee. Aineistossani lumenviipymäisyyden aste kertoo korkeutta suuremmin lumensulamisasajankohdasta, sillä tunturien topografia ja sitä myöten abioottiset ominaisuudet ovat hyvin vaihtelevia. Tutkimuslinjan puolesta välistä eteenpäin lumenviipymäisyyden asteen kasvaessa vaivaispajun peittävyys pieneni. Hyvin myöhään sulavilla lumenviipymillä kuten jäänleinikkilumenviipymillä, joissa kasvukausi on hyvin lyhyt, vaivaispajua esiintyi enää niukasti (taulukko 2).

## 4.3 Vaivaispajun tulevaisuus

Vaivaispaju suosii siis paikkoja, joissa lumi säilyy pitkään (Wijk. 1986), mutta jotka eivät kuitenkaan sula liian myöhään vaivaispajun kasvun ja lisääntymisen onnistumiseksi. Vaivaispajun fenologia on vahvasti yhteydessä lumensulamisasajankohtaan (Sedlacek ym. 2015) ja aikaistuva lumensulamminen keväisin heikentää vaivaispajun klonaalista kasvua ja lisääntymistä (Wheeler ym. 2016). Tämä alentaa lajin kelpoisuutta, mikä puolestaan tulee näkymään tulevaisuudessa lajin vähentymisenä. Myös ilmastonmuutoksen myötä tapahtuvat muutokset muiden lumenviipymälajien esiintyvyyksissä voivat vaikuttaa vaivaispajun menestymiseen fasilitaation kautta.

Ilmastonmuutoksesta johtuen lumenviipymät sulavat aiempaa aiemmin. Tämä lisää sienipatogeenien sekä herbivorian uhkaa, sillä monet varpuja syövät perhosten toukat, esimerkiksi tunturipunatäplä (*Zygaena exulans*) kuoriutuvat varhain keväällä ja näin

vaivaispaju tulee luultavasti altistumaan tulevaisuudessa niille aiempaa enemmän (Little ym. 2015). Lisäksi lumipeitteen muuttuessa myös hallan aiheuttamien vahinkojen todennäköisyys kasvaa. Nämä tekijät vaikuttavat kelposuuteen negatiivisesti sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä (Wheeler ym. 2016). Esimerkiksi herbivoriavauriot vähentävät kukinnan todennäköisyyttä seuraavana kesänä (Wheeler ym. 2015). Vaivaispajun keskimääräinen klonaalisesti kasvanut yksilö on kooltaan noin 1 m<sup>2</sup> (Sedlacek ym. 2014), mikä tarkoittaa, että tutkimuksessa sama kasviyksilö ei suurella todennäköisyydellä osunut kahteen ruutuun samalla tutkimuslinjalla, mutta myös, ettei vaivaispaju voi kasvaa rajattomasti siemeniä tuottamatta.

Ympäristöolosuhteiden muuttuessa vaivaispajun levintä tämänhetkisen elinympäristörajan ulkopuolelle on rajallista. Syyksi arvellaan positiivisten maaperäpalautteiden (plant-soil feedback) puutetta (Sedlacek ym. 2014), kilpailun lisääntymistä (Little ym. 2015) ja lumensulamisen aikaistumisen ja lämpötilan nousun takia kasvavaa stressiä. Koska pohjoisella pallonpuoliskolla arktiset alueet ovat vaarassa kadota ilmastonmuoksen takia kokonaan, vaivaispaju ja monet muut lumenviipymien lajit voivat säilyä vain sopeutumalla uusiin ympäristöoloihin fenotyypillisellä plastisuudella tai adaptiivisella evoluutiolla (Sedlacek ym. 2016). Vaivaispaju soveltuu hyvin ilmastonmuutostutkimuksen mallilajiksi, sillä se suosii elinympäristönään myöhään sulavia alueita, on herkkä kasvien väliselle kilpailulle sekä lisääntyy suvullisesti ja suvuttomasti. Vaivaispajua tutkimalla on mahdollista saada monipuolista tietoa lajin ja mahdollisesti myös muun tunturikasvillisuuden tulevaisuudesta.

## **Kiitokset**

Kiitokset Luk-tutkielmani ohjauksesta Sanna Huttuselle, jolta sain apua aiheen valintaan sekä tutkimuksen suunnitteluun ja toteuttamiseen ja Inka Kuusistolle, joka auttoi tilastoanalyysien teossa sekä kirjoittamisprosessissa.

## **Lähteet**

Beerling, D. J. (1998). *Salix herbacea* L. *Journal of Ecology* 86:872-895

Beniston, M.; Koffi, K.; Goyette, S. (2003). Estimates of snow accumulation and volume in the Swiss Alps under changing climatic conditions. *Theoretical and Applied Climatology* 76:125-140

Callaway, R.; Brooker, R.; Choler, P.; Kikvidze, Z.; Lortiek, C.; Michalet, R.; Paolini, L.; Pugnaire, F.; Newingham, B.; Aschehoug, E.; Armasaq, C.; Kikodze, C. (2002). Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature* 417: 844-848

Huttunen, S.; Kuusisto, I.; Anttila S.; Johanson N.; Kotilainen A.; Leskinen S.; Laakalindberg, S.; Mattanen S.; Metsämäki S.; Pihlaja K.; Virtanen R. (2023). Lumenviipymien kasvillisuusyhteisöjen ja lajiston seurannat uhanalaisuusarvioinnin tukena. *ResearchGate*.

Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. (toim.) 2019. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 704 s.

Laji.fi. (2024). Vaivaispaju. <<https://laji.fi/taxon/MX.38537>> [luettu 10.2.2024]

Little, C. J.; Wheeler, J. A.; Sedlacek, J.; Cortés, A.; Rixen, C. (2015). Small-scale drivers: the importance of nutrient availability and snowmelt timing on performance of the alpine shrub *Salix herbacea*. *Oecologia* 180:1015-1024

Luontoportti (2021). Vaivaispaju. <<https://luontoportti.com/t/3100/vaivaispaju>> [luettu 20.3.2024]

Metsämäki, S.; Böttcher, K.; Pulliainen, J.; Luojus, K.; Cohen, J.; Takala, M.; Mattila, O.; Schwaizer, G.; Derksen, C.; Koponen, S. (2018). The accuracy of snow melt-off day derived from optical and microwave radiometer data — A study for Europe. *Remote Sensing of Environment* 112: 1-12

Pääkkö, E., Mäkelä, K., Saikkonen, A. Tynys, S., Anttonen, M., Johansson, P., Kumpula, J., Mikkola, K., Norokorpi, Y., Suominen, O., Turunen, M. Virtanen, R. & Väre, H. 2018. Tunturit. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Kontula, T. & Raunio, A. (toim.) – Suomen ympäristö. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki, s. 255–313

Pääkkö, E., Mäkelä, K., Saikkonen, A. Tynys, S., Anttonen, M., Johansson, P., Kumpula, J., Mikkola, K., Norokorpi, Y., Suominen, O., Turunen, M. Virtanen, R. & Väre, H. 2018. Tunturit. Julk.: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 2: luontotyyppien kuvaukset. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. s. 759-873

Sandvik, S. M.; Odland A. (2014). Changes in alpine snowbed-wetland vegetation over three decades in northern Norway. *Nordic Journal of Botany* 32:377-384

Sedlacek, Janosch; Bossdorf, Oliver; Cortés, Andrés; Wheeler, Julia; van Kleunen, Mark (2014) What role do plant–soil interactions play in the habitat suitability and potential range expansion of the alpine dwarf shrub *Salix herbacea*? *Basic and Applied Ecology* 15:305-315

Sedlacek J; Wheeler J; Cortés A; Bossdorf O; Hoch G; Lexer C; Wipf S; Karrenberg S; van Kleunen M; Rixen C (2015) The Response of the Alpine Dwarf Shrub *Salix herbacea* to Altered Snowmelt Timing: Lessons from a Multi-Site Transplant Experiment. *PloS One* 10: e0122395-e0122395

Sedlacek, J.; Cortés, A. J.; Wheeler, J.; Bossdorf, O.; Hoch, G.; Klápště, J.; Lexer, C.; Rixen, C.; Wipf, S.; Karrenberg, S.; Kleunen, M. (2016). Evolutionary potential in the Alpine: trait heritabilities and performance variation of the dwarf willow *Salix herbacea* from different elevations and microhabitats. *Ecology and Evolution* 6:3940-3952



Wheeler, J.; Schnider, F.; Sedlacek, J.; Cortés, A.; Wipf, S.; Hoch, G.; Rixen, C. (2015). With a little help from my friends: Community facilitation increases performance in the dwarf shrub *Salix herbacea*. *Basic and Applied Ecology* 16:202-209

Wheeler, J.; Cortés, A.; Sedlacek, J.; Karrenberg, S.; van Kleunen, M.; Wipf, S.; Hoch, G.; Bossdorf, O.; Rixen, C. (2016). The snow and the willows: earlier spring snowmelt reduces performance in the low-lying alpine shrub *Salix herbacea*. *Journal of Ecology* 104: 1041-1050

Wijk S. (1986). Performance of *Salix herbacea* in an alpine snow-bed gradient. *Journal of Ecology* 74: 675-684