



**TURUN  
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen  
tiedekunta

# **Sammalten mikrosienten lajirunsaus lumenviipymillä**

Riina Kuusisto

Biologia (ekologia ja evoluutiobiologia)

LuK-tutkielma

Laajuus: 8 op

24.03.2025

Turku

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

**Pääaine:** Biologia

**Tekijä:** Riina Kuusisto

**Otsikko:** Sammalten mikrosienten lajirunsaus lumenviipymillä

**Ohjaajat:** Timo Kosonen, Inka Kuusisto

**Sivumäärä:** 16 sivua

**Päivämäärä:** 24.03.2025

---

Sammalilla elää paljon niitä isäntinään tai kasvualustoinaan käyttäviä mikrosieniä. Mikrosieniä elää myös lumenviipymien sammalilla. Lumenviipymät on arvioitu Suomessa äärimmäisen uhanalaiseksi luontotyyppiä, jonka olosuhteita erityisesti ilmastonmuutoksen ennustetaan muuttavan. Tämä vaikuttaa todennäköisesti myös niillä elävien sammalten mikrosienten lajistoon. Tutkin sammalilla elävien mikrosienten lajirunsausta lumenviipymillä ja lajirunsauteen vaikuttavia ympäristötekijöitä. Tavoitteenani on selvittää, miten sienten lajimäärä vaihtelee lumenviipymältä tunturikankaalle sijoittuvalla kasvillisuusgradientilla, ja mitkä tekijät selittävät lajimäärän vaihtelua. Tutkimuksen aineisto kerättiin vuosina 2021 ja 2022 Putte2 – Lumenviipymät -hankkeessa Utsjoelta, Saariselältä, Käsivarresta ja Pallas-Ounastuntureilta. Aineisto kerättiin lumenviipymiltä linjaotantana (24 linjaa) joka toiselta tutkimusruudulta (yhteensä 95 ruutua). Kaikista ruuduilla esiintyvistä sammallajeista kerättiin sekanäytteet, jotka myöhemmin massasekvensoitiin. Saadusta DNA-sekvenssiaineistosta havaittiin sammalten lisäksi myös kanta- ja kotelosienten sekvenssejä. Tarkastelin sekvenssiaineistosta saamani sienten lajimäärän vaihtelua topografialuokissa, tutkimusalueilla ja lumenviipymätyypeillä tilastollisten tunnuslukujen avulla, ja ympäristötekijöiden, kuten kasvillisuuden, vaikutusta lajimäärään yleistetyillä lineaarisilla sekamalleilla. Tutkituista alueista lajimäärä oli keskimääräisesti suurin Pallaksella ja Saariselällä, ja pienempi Käsivarresta ja Utsjoella. Lumenviipymätyypeistä lajimäärä oli keskimääräisesti suurin matalasaraisilla ja -heinäisillä lumenviipymillä ja pienin varpuisilla lumenviipymillä. Lajimäärän vaihtelua kasvillisuusgradientilla kuvasi habitaattia paremmin varpujen suhteellinen peittävyys. Sen kasvaessa lajimäärä väheni, mikä viittaa siihen, että varpuisilla paikoilla, kuten tunturikankailla ja varpuisilla lumenviipymillä, lajimäärä oli pienempi kuin vähemmän varpuisilla paikoilla, kuten lumenviipymillä. Varpuiset paikat eroavat vähemmän varpuisista myös sammalyhteisöltään ja kasvuolosuhteiltaan. Lajimäärä väheni myös lehtisammalten lajimäärän kasvaessa, mikä voi viitata siihen, että aineistossa on mukana joitakin useamman mikrosienilajin suosimaa lehtisammallajia, joiden vallitsevuus paikalla lisää sienten lajimäärää enemmän kuin sammallajien suurempi määrä. Tutkimusta tarvitaan lisää, jotta voitaisiin arvioida lumenviipymien olosuhteiden muuttumisen vaikutuksia niiden sammalsieniyhteisöihin. Sieniyhteisöjen lajirunsauden lisäksi tulisi tutkia sienten lajikoostumusta sekä näiden suhdetta lumenviipymien sammalyhteisöihin ja kasvuolosuhteisiin.

---

**Avainsanat:** sammalten mikrosienet, lumenviipymät, lajirunsaus, kotelosienet, sammalet

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
1.1	Sammalten mikroskooppiset sienet .....	1
1.2	Sammalten mikrosienten lajiston tutkimus .....	2
1.3	Lumenviipymät sammalten mikrosienten elinympäristönä.....	3
1.4	Tutkimuksen aihe ja tavoitteet.....	3
2	Aineisto ja menetelmät.....	4
2.1	Tutkimusaineisto .....	4
2.2	Tilastollinen analyysi.....	5
3	Tulokset.....	7
4	Pohdinta.....	10
	Kiitokset .....	13
	Lähteet.....	14

# 1 Johdanto

## 1.1 Sammalten mikroskooppiset sienet

Sammalilla tiedetään elävän paljon erilaisia sieniä, joista suurin osa on mikroskooppisia kotelosieniä (*Ascomycota*) (Laukka 2005). Ne ovat kooltaan hyvin pieniä ja rakenteeltaan yksinkertaisia, ja ne ovat erikoistuneet käyttämään sammalia isäntinään tai kasvualustoinaan (Stenroos ym. 2008).

Useimmat sammalten mikrosienistä ovat ainakin jossain määrin isäntäspesifejä (Laukka 2005). Osa lajeista on hyvin valikoivia isäntälajinsa suhteen, kun taas toiset lajit voivat elää useilla eri sammallajeilla. Mikrosienten runsaus myös vaihtelee isäntälajeittain. Monet mikrosienet suosivat kasvualustanaan maksasammalia (*Marchantiophyta*) sekä lehtisammaliin (*Bryophyta*) kuuluvia rahka- (*Sphagnum*) ja karhunsammalia (*Polytrichaceae*) (Olsson 2004; Stenroos ym. 2008).

Sammalet ovat muista kasveista monilla tavoin poikkeava kasvualusta, jolla elääkseen sienellä tulee olla erilaisia sopeutumia, joita ovat esimerkiksi itiöemien pieni koko ja kosteiden pienilmastojen suosiminen (Olsson 2004). Sammalissa on erilaisia mikrohabitaatteja, joiden mikroekologiset olosuhteet vaihtelevat (Laukka 2005). Monien kotelosienten itiöemät saattavat kasvaa vain tietyissä osissa sammalta, kun taas niiden rihmastot voivat kasvaa sammalen muissakin osissa. Sienen tulee olla suojassa kuivumiselta, ja toisaalta riittävän avoimella paikalla, jotta itiöt pääsevät leviämään (Laukka 2005).

Sammalten ja sienten välillä on erilaisia vuorovaikutuksia. Sammalten mikrosienet voivat olla esimerkiksi biotrofisia tai nekrotrofisia loisia, infektiota tai kasvaimia aiheuttavia patogeeneja tai saprotrofisia lahottajia (Kukkonen 2008). Useimmat sammalten mikrosienistä ovat biotrofisia loisia, jotka hyödyntävät ravintonaan sammalen eläviä soluja, eivätkä vahingoita näkyvästi isäntäänsä. Nekrotrofiset loiset tappavat isäntänsä tai osan siitä aiheuttaen sammaleeseen näkyvää vahinkoa. Saprotrofit taas hajottavat ravinnokseen jo kuollutta sammalta. Useimmista sienistä löytyy sekä parasiitin että saprotrofin piirteitä (Lesonen 2006). Sammalen ja sienen välillä voi olla myös symbioosia tai kommensalismia (Davey 2009), ja jotkut

sammallajit eivät tiettävästi kasva koskaan ilman mikroskooppista sienikumppaniaan (Laukka 2005). On mahdollista, että samalla sammalversolla kasvavien sienten rihmastojen välillä tapahtuu myös kilpailua (Stenroos ym. 2008). Sammalten ja niillä elävien sienten välisten vuorovaikutusten taustalla olevat mekanismit tunnetaan huonosti (Davey 2009).

## **1.2 Sammalten mikrosienten lajiston tutkimus**

Sammalten mikrosienet ovat hyvin yleisiä, mutta huonosti tunnettuja. Syinä vähäiseen tuntemukseen on esimerkiksi sammal- ja sienitutkimuksen eristyneisyys toisistaan, mikroskooppisten sienten vaikea havaittavuus sekä taloudellisten hyötynäkökulmien puute (Kukkonen 2008). Lisäksi kasveilla elävien sienten tutkimus on keskittynyt suurelta osin putkilokasveihin, eli niihin verrattuna sekovarrellisilla kasveilla elävistä sienistä tiedetään suhteellisen vähän (Davey 2009).

Tällä hetkellä lehti- tai maksasammalilla elämään erikoistuneita kotelosieniä tunnetaan noin 350 lajia. Nämä lajit edustavat yli 90 kotelosienisukua, joista eräät tunnetaan vain sammalilta (Kukkonen 2008). Ne ovat hyvin monimuotoisia taksonomiselta asemaltaan, levinneisyydeltään ja isäntälajeiltaan (Lesonen 2006). Oletettavasti sammalten mikrosienten lajimonimuotoisuus on kuitenkin suurempi, ja vähintään samaa luokkaa kuin jäkälillä kasvavien sienten, joita tunnetaan noin 2 000 lajia (Laukka 2005).

Suomessa sammalien ja jäkälien mikrosienilajistoa ja lajien levinneisyyttä on kartoitettu Puuteellisesti tunnettujen ja uhanalaisten metsälajien tutkimusohjelmassa (PUTTE) (Stenroos ym. 2008). Lisäksi sammalten mikrosieniä on tutkittu esimerkiksi metsäympäristöissä ja isäntälajispesifisti (Laukka 2005; Lesonen 2006; Kukkonen 2008). Lumenviipymien mikrosienilajistoa ei ole tutkittu.

### **1.3 Lumenviipymät sammalten mikrosienten elinympäristönä**

Lumenviipymät ovat tuntureiden luontotyyppisiä, jotka vapautuvat lumipeitteestä muuta ympäristöä myöhemmin, kesäkuun lopun ja elokuun välisenä aikana (Pääkkö ym. 2018a). Lumenviipymien kasvuolosuhteet (mm. kosteusolosuhteet, ravinteikkaus, kasvukauden pituus ja humuskerroksen paksuus) ovat poikkeukselliset (Pääkkö ym. 2018a), mikä voi vaikuttaa osaltaan mikrosienten lajistoon. Lumenviipymät ovat usein sammalvaltaisia (Pääkkö ym. 2018a; Kuusisto ym. 2024), ja siksi niillä mahdollisesti elää runsaasti sammalten mikrosieniä.

Lumenviipymien luontotyypit arvioitiin viimeisimmässä Suomen luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa joko uhanalaisiksi (EN) tai äärimmäisen uhanalaisiksi (CR). Niiden tärkein uhkatekijä on ilmastonmuutos, jonka arvioidaan muuttavan lumenviipymäisten kasvupaikkojen olosuhteita kuivemmiksi, lyhentävän lumipeitteistä kautta ja pidentävän kasvukautta (Pääkkö ym. 2018b). Muutokset lumenviipymien olosuhteissa voivat vaikuttaa myös niillä elävien sammalten mikrosienten lajistoon. Etenkin vahvasti isäntäspesifeillä sienilajeilla sopeutuminen nopeisiin elinympäristön muutoksiin voi olla vaikeaa (Stenroos ym. 2008).

### **1.4 Tutkimuksen aihe ja tavoitteet**

Tutkin tässä tutkielmassa sammalilla elävien mikrosienten lajirunsausta lumenviipymillä ja lajirunsauteen vaikuttavia ympäristötekijöitä. Lumenviipymien sammalsieniyhteisöjen lajirunsausta tai lajikoostumusta ei ole aiemmin tutkittu. Lumenviipymien olosuhteiden arvioidaan muuttuvan tulevaisuudessa, erityisesti ilmastonmuutoksen takia, mikä vaikuttaa todennäköisesti myös sammalten sieniyhteisöihin.

Tavoitteenani on selvittää, miten sammalten mikrosienten lajimäärä vaihtelee lumenviipymältä tunturikankaalle sijoittuvalla kasvillisuusgradientilla, ja mitkä tekijät selittävät sammalten mikrosienten lajimäärän vaihtelua. Erityisesti olen kiinnostunut lumenviipymien sammalsieniyhteisöjen koostumuksen merkityksestä sienten lajimäärälle.

Sammalten mikrosienten lajimäärän odotan olevan suurempaa lumenviipymän alueella kuin sen viereisellä tunturikankaalla, koska lumenviipymät ovat usein sammalvaltaisia (Pääkkö

ym. 2018a; Kuusisto ym. 2024). Lajimäärä voi olla sitä suurempaa, mitä suurempi on sammalten osuus kasvillisuudesta, koska sammalten määrä vaikuttaa niillä elävien sienten mahdollisen kasvualustan määrään. Myös sammalten suurempi lajimäärä voi lisätä sienten lajimäärää, koska useampi sammallaji voi tarjota useampia erilaisia mikrohabitaatteja. Toisaalta sienten lajimäärään voi vaikuttaa myös se, kuinka paljon sienilajeja hyödyntää tai pystyy hyödyntämään mitään sammallajia. Toisin sanoen, sammalyhteisön koostumus, eli se mitä sammallajeja ja -ryhmiä lumenviipymällä kasvaa, voi myös vaikuttaa sienten lajimäärään. Erityisesti maksasammalten sekä lehtisammaliin kuuluvien rahka- ja karhunsammalien suuremman määrän odotan vaikuttavan sienten lajimäärään sitä lisäävästi, koska mikrosienten tiedetään suosivan näihin ryhmiin kuuluvia sammalia isäntinään (Stenroos ym. 2008).

## **2 Aineisto ja menetelmät**

### **2.1 Tutkimusaineisto**

Tutkimusaineisto kerättiin Putte2 (Puutteellisesti tunnettujen ja uhanalaisten lajien ja luontotyyppien tutkimusohjelma) – Lumenviipymät -hankkeessa. Tutkituille alueille (Utsjoki, Saariselkä, Enontekiö (myöhemmin Käsivarsi) ja Pallas-Ounastunturit), perustettiin 24 pysyvää seuranta-alaa, joiden kasvillisuus selvitettiin linjaotannalla (Huttunen ym. 2023). Kunkin pysyvän tutkimuslinjan parittomilta kasvuruuduilta (yhteensä neljä ruutua jokaiselta linjalta) kerättiin vuosina 2021 ja 2022 tutkimusruutukohtaiset sekanäytteet sammallajien DNA-viivakooditunnistusta varten. Vuonna 2022 kerättiin kaikki Saariselän tutkimusruudut sekä muutama edellisen vuoden ruutu uudestaan. Uusintaotantana kerätyistä näytteistä mukaan aineistoon otettiin vain ne, joiden vuoden 2021 sekvensointi ei ollut onnistunut. Tutkimusruuduilta kirjattiin lisäksi ylös niillä esiintyneet sammal-, putkilokasvi- ja jäkälälajit sekä niiden peittävyudet.

Kerätyille sammalnäytteille tehtiin DNA-eristykset, ja kustakin näytteestä monistettiin ja sekvensoitiin ITS2- ja trnL-F – alueet (Huttunen ym. 2023). Sekvenssiaineistosta havaittiin lopulta sammalten lisäksi myös sieniä. ITS-alue (internal transcribed spacer) on ribosomaalisen

RNA:n transkriptoitu geenienvälinen alue, ja se on vakiintuneessa käytössä sienten lajintunnistuksessa (Rajala 2009; Vestberg ym. 2010). Samankaltaiset ITS2-alueet ryhmiteltiin ZOTU:iksi (zero-radius OTU), jotka edustavat aineistossa lajeja tai korkeampia taksoneita. Useampi eri ZOTU voi edustaa samaa taksonia. Aineiston keruu ja menetelmät on kuvattu tarkemmin Putte2 – Lumenviipymät -hankkeen loppuraportissa (Huttunen ym. 2023).

Aineistoni koostui tutkimusruutujen kasvillisuustiedoista ja muista ympäristömuuttujatiedoista sekä ruutukohtaisesta sienten sekvenssiaineistosta (ZOTU). Kasvillisuustietojen pohjalta laskin lajimääriä ja suhteellisia peittävyksiä sammalille, sammalryhmille, jäkälille ja putkilokasveille. Topografia-muuttujan luokat (8, 6, 4 ja 2) kuvaavat tutkimusruudun sijoittumista tutkimuslinjalla (kunkin linjan pituus 15–50 m). Topografialuokka 8 vastaa tutkimuslinjan aloitus- eli lumenviipymäistä päätä, ja luokka 2 lopetus- eli niukkalumista päätä. Luokat 6 ja 4 ovat vaihettumaluokkia, jotka kuvaavat siirtymää lumenviipymästä kankaalle. Topografialuokkien perusteella muodostin myös habitaatti-muuttujan, joka kuvaa tutkimusruudun elinympäristöä; jaoin tutkimusruudut lumenviipymiin ja tunturikankaisiin sen mukaan, miten ne sijoittuivat tutkimuslinjoilla. Kolme lumenviipymästä katsottuna ensimmäistä ruutua (topografialuokat 8, 6 ja 4) sisällytin lumenviipymiin, ja viimeiset ruudut (topografialuokka 2) tunturikankaiksi. Sienten lajimäärä -muuttuja kuvaa sienilajien tai sienisukujen määrää, eli puhun työssäni sienten lajimäärästä, mutta todellisuudessa aineistossa on mukana myös korkeampia taksoneja. Sammalnäytteiden sekvenssiaineistosta tunnistettujen kanta- ja kotelosienten sekvenssejä verrattiin geenipankin tietokantaan (BLAST) ja julkaisemattomiin ITS-LSU-alueen sekvensseihin (Kosonen suullinen tiedonanto). Sieniryhmästä ja -suvusta riippuen yli 97–98 % samankaltaisuus tulkittiin lajin sisäiseksi vaihteluksi tai sekvenssointi- ja analysointimenetelmistä johtuvaksi vaihteluksi. Aineistosta tunnistettiin 22 lajitasolle tai sukutasolle määrittävää sekvenssiä, joista laskettiin tutkimusruutukohtaiset määrät sienilajeille (7 sienilajia) tai sukutason määrittäyksille (15).

## **2.2 Tilastollinen analyysi**

Tilastolliset analyysit ja tuloksia havainnollistavat kuvat tein Rstudiossa (versio 4.4.1), ja taulukot tein Excelissä.

Tutkin ympäristötekijöiden vaikutusta sienten lajimäärään yleistetyillä lineaarisilla sekamalleilla (glmmTMB-paketti (versio 1.1.10; Brooks ym. 2017). Tein sienten lajimäärälle jakaumatarkastelun fitdistrplus-paketin (versio 1.2–1; Delignette-Muller & Dutang 2015) descdist-funktiolla, ja päädyin käyttämään analyyseissäni jakaumana Poissonin jakaumaa. Normalisoin ympäristömuuttujat R-ohjelmiston scale-funktiolla, ja tarkastelin niiden välisiä korrelaatioita korrelaatiomatriksilla corrplot-paketin (versio 0.95; Wei & Simko 2024) comatrix-funktiolla. Tein mallin valinnan pienimmän merkitsevän mallin periaatteen mukaisesti eli siten, että otin ensimmäiseen malliin mukaan kaikki tutkimuskysymykseni kannalta kiinnostavat muuttujat, jotka eivät korreloineet keskenään liian vahvasti (Pearsonin korrelaatiokerroin  $<0.7$ ; tällaisia olivat vain putkilokasvien ja maksasammalten suhteelliset osuudet kasvillisuuden peittävydestä, ja näistä otin malliin maksasammalten osuuden), ja tämän jälkeen pudotin muuttujia yksi kerrallaan pois mallista niiden merkitsevyyden perusteella.

Valitsin aloitusmallin yhdeksi selittäväksi muuttujaksi habitaatin, eli ruudun elinympäristön ja sijoittumisen tutkimuslinjalla, koska olin kiinnostunut sienten lajimäärän vaihtelusta tutkimuslinjalla. Lisäksi valitsin selittäviksi muuttujiksi kasvillisuusaineistosta johdetut lajimäärät lehtisammalille ja maksasammalille sekä suhteelliset osuudet kasvillisuuden peittävydestä lehtisammalille, maksasammalille, karhunsammalille, jäkälille ja varvuille. Sammalryhmien lajimäärät ja suhteelliset osuudet otin mukaan, koska olin kiinnostunut erityisesti sammalyhteisön koostumuksen merkityksestä sienten lajimäärälle. Jäkälien ja varpujen suhteelliset osuudet valitsin malliin, koska ne kertovat siitä, kuinka kostea ja lumenviipymäinen paikka on; jos varpuja ja jäkälä on paljon, niin paikka on todennäköisesti kuivahko ja kankainen. Aineisto oli klusteroitunutta tutkimuslinjojen mukaan, joten otin tutkimuslinjan malliin satunnaistekijäksi. Vastemuuttujana käytin sienten lajimäärää.

Poistin mallista yksitellen muuttujia pienimmän merkitsevyyden perusteella seuraavassa järjestyksessä: jäkälien osuus, maksasammalten lajimäärä, lehtisammalten osuus, karhunsammalten osuus ja habitaatti. Lopullisen mallin selittävät muuttujat olivat lehtisammalten lajimäärä ja varpujen osuus. Tein mallille residuaalitarkastelut DHARMA-paketin (versio 0.4.7; Hartig 2024) simulateResiduals-funktiolla.

Tilastollisten tunnuslukujen laskemisen sienten lajimäärälle, topografialuokkien, alueiden ja lumenviipymätyyppien osalta, sekä kuvat tein ggplot2-paketin (versio 3.5.1; Wickham 2016) ggplot-funktiolla. Tunnusluvut sienten lajimäärälle tutkimuslinjoittain ja tutkimusruuduittain laskin Excelin funktioilla.

### 3 Tulokset

Keskimäärin tutkimuslinjalla oli 7,37 sammalten mikrosienilajia (vaihteluväli 0–13; keskihajonta 3,06), ja tutkimusruudulla keskimäärin 3,21 lajia (vaihteluväli 0–8; keskihajonta 2,34). Lumenviipymäisten ruutujen ja tunturikankaiden välillä ei ollut hajonnan huomioiden huomattavaa eroa sammalten mikrosienten lajimäärissä (Taulukko 1).

**Taulukko 1.** Tunnuslukuja sienten lajimäärälle tutkimuslinjoilla topografialuokittain (Lv = lumenviipymä, Tk = tunturikangas).

Sienten lajimäärä (lajeja tai sukuja)	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskihajonta
<u>Topografia</u>				
8 (Lv)	3,48	0	8	2,35
6 (Lv)	3,46	0	8	2,40
4 (Lv)	3,22	0	8	2,49
2 (Tk)	2,72	0	8	2,21

Tutkituista alueista sammalten mikrosienten lajimäärä oli keskimääräisesti suurin Pallaksella ja toiseksi suurin Saariselällä (Taulukko 2). Lajimäärä oli pienempi Käsivarressa ja Utsjoella.

Lumenviipymätyypeistä sammalten mikrosienten lajimäärä oli keskimääräisesti suurin matalasaraisilla ja -heinäisillä lumenviipymillä ja toiseksi suurin jääleinikkilumenviipymillä (Taulukko 2). Keskimääräinen lajimäärä oli hieman pienempi karuilla sammallumenviipymillä ja karuilla pienruoholumenviipymillä. Vähiten lajeja oli vaivaispajulumenviipymillä, ravinteisilla pienruoholumenviipymillä ja varpuisilla lumenviipymillä.

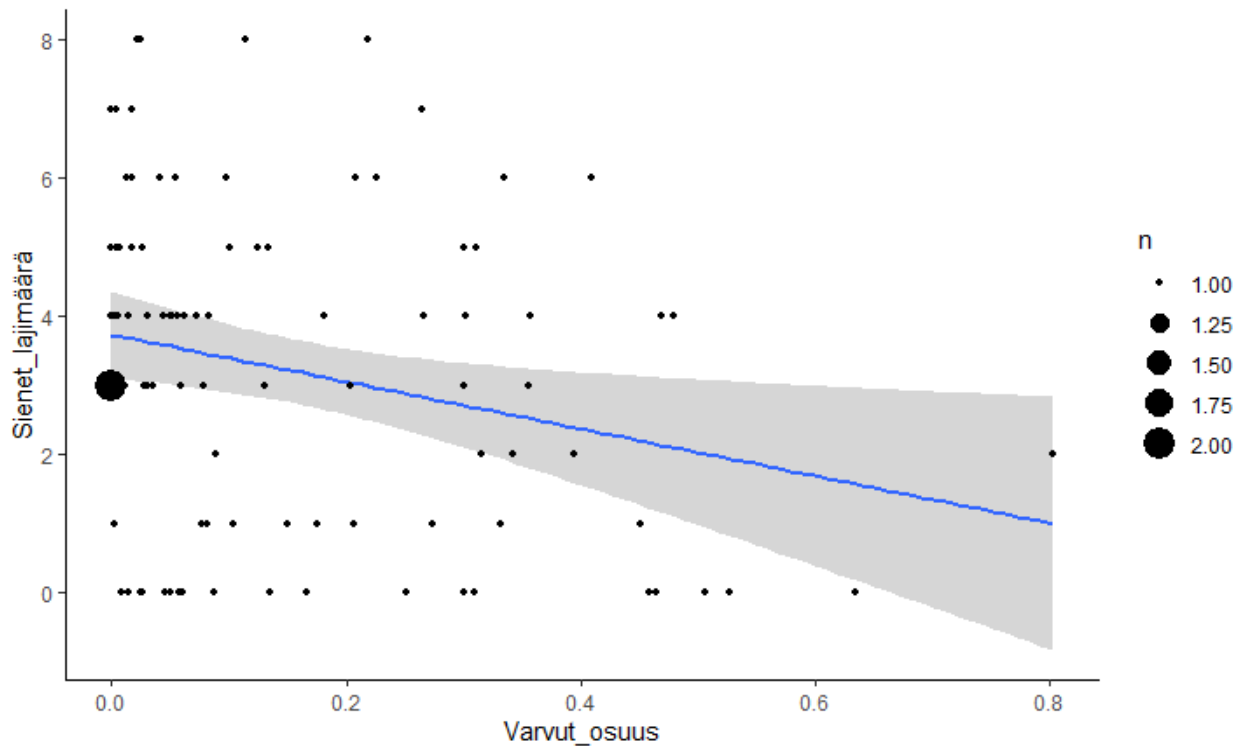
**Taulukko 2.** Tunnuslukuja sienten lajimäärälle alueittain ja lumenviipymätyypeittäin.

Sienten lajimäärä (lajeja tai sukuja)		Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keski- hajonta
<u>Alue</u>	Tutkimuslinjojen määrä alueella				
Pallas	4	4,63	0	7	2,03
Saariselkä	4	3,40	0	7	1,84
Käsivarsi	11	2,86	0	8	2,35
Utsjoki	5	2,70	0	8	2,58
<u>Lumenviipymätyyppi</u>	Tutkimuslinjojen määrä lumenviipymä- tyypillä (alueet)				
Matalasaraiset ja -heinäiset lumenviipymät	3 (Pallas, Saari- selkä)	4,42	3	7	1,24
Jääleinikkilumenviipymät	2 (Käsivarsi)	4,25	0	8	2,31
Karut sammallumenviipymät	7 (Pallas, Saari- selkä, Käsivarsi, Utsjoki)	3,54	0	8	2,19
Karut pienruoholumenviipymät	2 (Saariselkä, Kä- sivarsi)	3,00	0	5	1,85
Vaivaispajulumenviipymät	5 (Utsjoki, Saari- selkä, Käsivarsi)	2,63	0	8	2,81
Ravinteiset pienruoholumenviipymät	3 (Käsivarsi)	2,33	0	6	2,27
Varpuinen lumenviipymä	2 (Pallas, Uts- joki)	2,13	0	7	2,80

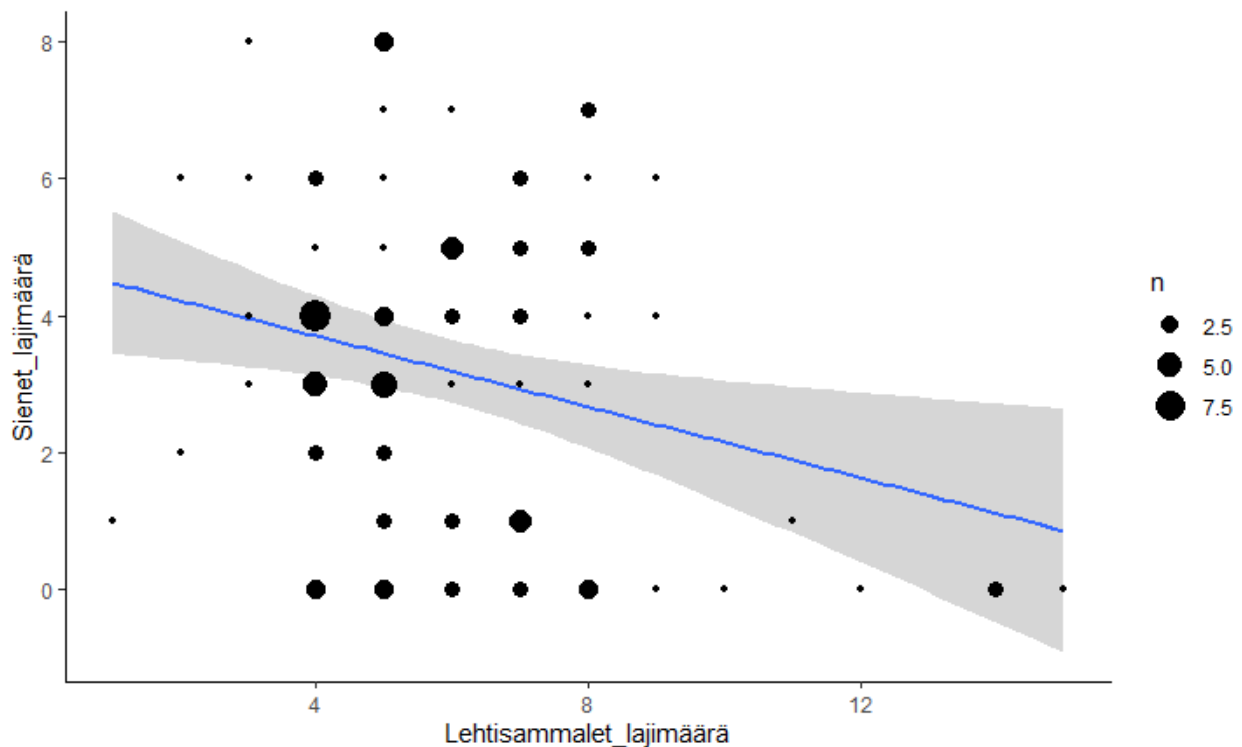
Sammalten mikrosienten lajimäärä väheni lehtisammalten lajimäärän ja varpujen suhteellisen peittävyyden kasvaessa (Taulukko 3; Kuvat 1 ja 2).

**Taulukko 3.** Yleistetyyn lineaariseen sekamallin tulokset. Vastemuuttujana on sammalten mikrosienten lajimäärä ja selittävinä muuttujina lehtisammalten lajimäärä ja varpujen suhteellinen osuus kasvillisuuden peittävydestä. Tutkimuslinja on mallissa satunnaismuuttujana. Jakaumana on käytetty Poissonin jakaumaa. Toistojen määrä (n) on 95 tutkimusruutua.

Selittävä	Estimaatti	Keskivirhe	z-arvo	p-arvo
Vakiotermi	1,81	0,204	8,904	< 0,0001
lehtisammalet_lajimäärä	-0,0889	0,0318	-2,796	0,0052
varvut_osuus	-1,29	0,441	-2,92	0,0036



**Kuva 1.** Varpujen suhteellinen osuus kasvillisuuden kokonaispeittävydestä ja sienten lajimäärä. Kuvassa on 95 % luottamusvälit.



**Kuva 2.** Lehtisammalten lajimäärä ja sienien lajimäärä. Kuvassa on 95 % luottamusvälit.

#### 4 Pohdinta

Tulosten mukaan habitaattien (lumenviipymän ja tunturikankaan) välillä ei ollut hajonnan huomioiden huomattavaa eroa mikrosienten lajimäärissä. Lajimäärän vaihtelua paremmin kuvaava muuttuja oli varpujen suhteellinen peittävyys; sen kasvaessa mikrosienten lajimäärä väheni. Tämä viittaa siihen, että tunturikankailla sienien lajimäärä oli pienempi kuin lumenviipymillä, sillä varvut ovat yleensä runsaita tunturikankailla, kun taas lumenviipymillä niitä on vain niukasti. Varpujen suhteellinen peittävyys saattaa kuvata, käyttämäni habitaattijakoa paremmin, elinympäristön muutosta lumenviipymästä kankaaksi. Habitaatti-muuttuja ei esimerkiksi huomioi tutkimuslinjojen eroja; osa linjoista loppui tunturikankaan sijaan esimerkiksi tunturiniittyyn, ja osalla linjoista lumenviipymällä ei välttämättä ollut kolmea tutkimusruutua.

Sammalten mikrosienten lajimäärän väheneminen varpujen suhteellisen peittävyyden kasvaessa viittaa siihen, että lajimäärä oli pienempi varpuisilla kasvupaikoilla, eli tunturikankailla,

kuin vähemmän varpuisilla paikoilla, eli lumenviipymillä. Varpuisilla paikoilla kasvaa erilaisia sammalia eli niillä elää erilainen isäntälajisto verrattuna vähemmän varpuisiin paikkoihin. Aineisto ei sisältänyt varvuilla kasvavia sienilajeja, joten siitä ei käy ilmi, mikäli jokin laji elää sekä varvuilla että sammalilla, mutta ei tällaisilla paikoilla sammalilla. Varpuisten paikkojen kasvuolosuhteet ovat myös kuivemmat, mikä voi vaikuttaa negatiivisesti sienten kykyyn elää paikalla. Kosteusolosuhteet voivat vaikuttaa myös isäntäsammalien kuntoon ja edelleen siihen, millä tavalla ja mitkä sienilajit pystyvät hyödyntämään paikalla kasvavia sammalia isäntinään tai kasvualustoinaan.

Sammalten mikrosienten lajimäärä väheni myös lehtisammalten lajimäärän kasvaessa. Tämä voi viitata siihen, että aineistossa oli mukana sellainen lehtisammallaji tai sellaisia lehtisammallajeja, joita hyödyntää isäntinään tai kasvualustanaan useampi mikrosienilaji. Tällaisten sammallajien ollessa vallitsevia, voi paikan mikrosienilajisto olla runsaampi kuin tilanteessa, jossa paikalla kasvaa enemmän sellaisia sammalia, joilla elää harvempi sienilaji. Koska kultaakin ruudulta kerättiin useimmiten vain yksi verso kustakin sammallajista, on mahdollista, että mikrosieniä esiintyi useampia lajeja yhdellä lehtisammalversolla. Mikrosienten lajimäärän vaihtelua lehtisammallajien sisällä ja välillä voitaisiin tutkia keräämällä useampia versoja kustakin lajista ja analysoimalla nämä näytteet erillään toisistaan.

Sammalten mikrosienten lajimäärä vaihteli myös alueittain ja lumenviipymätyypeittäin. Lajimäärä oli keskimäärin suurempi eteläisillä tunturialueilla (Pallas, Saariselkä) kuin pohjoisilla tunturialueilla (Utsjoki, Käsivarsi), mikä voi viitata siihen, että etelämmässä esiintyy enemmän sammalten mikrosienilajeja. Lajimäärä oli keskimäärin pienin varpuisilla lumenviipymillä ja suurin matalasaraisilla ja -heinäisillä lumenviipymillä. Varpuiset lumenviipymät ovat välittävä luontotyyppi lumenviipymien ja tunturikankaan rajalla (Huttunen ym. 2023), ja ne ovat tunturikankaan tapaan varpuisia paikkoja. Ne myös sulavat muihin lumenviipymätyypeihin nähden aikaisin (Huttunen ym. 2023), eli niiden kasvukausi on verrattain pitkä. Varpuiset lumenviipymät eivät välttämättä pysy kosteina koko kasvukautta. Sammalten mikrosienten lajimäärä oli suurinta matalasaraisilla ja -heinäisillä lumenviipymillä sekä muilla karuilla lumenviipymätyypeillä. Karut lumenviipymätyypit pysyvät usein kosteina koko kasvukauden ajan, ovat vähäravinteisempia ja sammalkerrokseltaan usein aukkoisia (Pääkkö ym. 2018, Osa 2). Kosteusolosuhteet saattavat olla mikrosienille suotuisimmat näillä lumenviipymätyypeillä kuin varpuisemmilla lumenviipymillä, ja esimerkiksi sammalkerroksen aukkoisuus voi olla eduksi sienten itiöiden leviämisenlelle. Kaikki tutkitut matalasaraiset ja -heinäiset lumenviipymät myös sijoittuivat Pallakselle ja Saariselälle eli eteläisimmille lumenviipymille.

Tutkin sienilajistoa pelkän sekvenssiaineiston pohjalta, mikä voi vaikuttaa tuloksiin; sienten todellinen lajirunsaus voi olla erilainen kuin mitä aineiston perusteella havaittiin. Lajien tunnistus ei aina onnistu luotettavasti ITS2-sekvenssin perusteella, mikä johtuu esimerkiksi sekvenssin lyhyestä pituudesta ja referenssiaineiston puutteista (Bellemain ym. 2010; Kõljalg ym. 2013; Franco-Duarte ym. 2022). Lisäksi sekvensoidut sammalnäytteet kerättiin lumenviipymien sammallajiston selvittämiseksi, joten keruumenetelmät ja otanta eivät välttämättä olleet parhaat mikrosienilajiston tutkimiseen. Osa sammalnäytteistä myös kerättiin eri vuonna ja eri tavalla kuin toiset näytteet. Samankaltaista tutkimusta toteuttaessa tutkimusasetelma ja aineiston keruu tulisikin suunnitella tarkoituksenmukaisesti lumenviipymien sammalten mikrosienten tutkimuksen lähtökohdista.

Tässä keskityin sammalten mikrosienten lajimäärään, joka kertoo sieniyhteisön lajirunsaudesta, mutta ei sen lajikoostumuksesta. Vaikka eri paikoilla sienten lajimäärä ei merkittävästi eroaisi, voi niillä kuitenkin esiintyä eri lajeja. Sieniyhteisön lajikoostumuksen tutkiminen antaisi lisää tietoa esimerkiksi lajien abioottisista ja bioottisista elinympäristövaatimuksista sekä lajien harvinaisuudesta. Mikäli jotkin mikrosienilajit ovat tiukasti sidoksissa lumenviipymiin, ne ovat mahdollisesti uhanalaisia lumenviipymien olosuhteiden muuttuessa. Lajiston tutkiminen voisi tuoda tietoa myös siitä, esiintyykö lumenviipymillä sellaisia sienilajeja, jotka ovat elinehto sammallelle, jolla ne elävät.

Lumenviipymien bioottisten ja abioottisten ympäristötekijöiden vaikutusta mikrosienten lajimäärään voitaisiin tutkia laajemmin. Tarkastelin sammalyhteisöä sammalryhmien suhteellisten peittävyyksien ja lajimäärien osalta, mutta en tutkinut sammalten lajikoostumusta tai sen suhdetta sieniyhteisöön. Esimerkiksi sitä, mitkä sienilajit kasvavat milläkin sammallajilla, voitaisiin tutkia. Sammalyhteisön lajikoostumuksen tutkimus suhteessa sieniyhteisöön voisi antaa lisää tietoa siitä, minkälainen merkitys eri sammalryhmillä on niillä elävien mikrosienten lajirunsaudelle. Sammalten mikrosienten lajirunsauteen voivat vaikuttaa myös esimerkiksi lumenviipymien koko ja vaihtuminen, sammalpeitteen yhtenäisyys ja ympäröivät sammal- ja sieniyhteisöt. Myös kosteusolosuhteiden, ravinteikkuuden, kasvukauden pituuden ja muiden lumenviipymien kasvuolosuhteiden tarkempi tutkiminen suhteessa sammalilla elävien sienten lajistoon voisi olla hyödyllistä.

Tutkimusta tarvitaan lisää, jotta voitaisiin arvioida lumenviipymien olosuhteiden muuttumisen vaikutuksia ja merkitystä niiden sammalsieniyhteisöihin. Sieniyhteisöjen lajirunsauden lisäksi tulisi tutkia lajikoostumusta sekä näiden suhdetta sammalyhteisöön ja lumenviipymien

kasvuolosuhteisiin. Ekologista toimintaa mikrosienten ja sammalten välillä ei ole kuvattu tarkasti ja mekanismit sienen ja sen isännän tai kasvualustan vuorovaikutussuhteiden taustalla tunnetaan huonosti (Davey 2009). Sammalten mikrosienten yhteisöjen sisäistä monimuotoisuutta lumenviipymillä voisi olla hyödyllistä tutkia morfologisia ja molekulaarisia lähestymistapoja yhdistellen (Davey 2009).

## **Kiitokset**

Suuret kiitokset Timo Kososelle ja Inka Kuusistolle asiantuntemuksesta sekä LuK-tutkielmani ohjaamisesta ja kaikesta avusta työn eri vaiheissa.

## Lähteet

- Bellemain, E., Carlsen, T., Brochmann, C., Coissac, É., Taberlet, P., Kauserud, H. (2010). ITS as an environmental DNA barcode for fungi: An in silico approach reveals potential PCR biases. *BMC Microbiology*, 10(1): 189. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2180-10-189>
- Brooks, ME., Kristensen, K., van Benthem, KJ., Magnusson, A., Berg, CW., Nielsen, A., Skaug, HJ., Maechler, M., Bolker, BM. (2017). glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. *The R Journal*, 9(2), 378–400. DOI: <https://doi.org/10.32614/RJ-2017-066>
- Davey, M. (2009). Diversity, Systematics, and Ecology of Bryophilous Fungi. Theses Canada. Library and Archives Canada. Saatavilla: <https://library-archives.canada.ca/eng/services/services-libraries/theses/Pages/item.aspx?idNumber=741397840>
- Delignette-Muller, ML., Dutang, C. (2015). fitdistrplus: An R Package for Fitting Distributions. *Journal of Statistical Software*, 64(4), 1–34. DOI: <https://doi.org/10.18637/jss.v064.i04>
- Franco-Duarte, R., Fernandes, I., Gulis, V., Cássio, F., & Pascoal, C. (2022). ITS rDNA Barcodes Clarify Molecular Diversity of Aquatic Hyphomycetes. *Microorganisms*, 10(8), 1569. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10081569>
- Hartig, F. (2024). DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models. R package version 0.4.7. Saatavilla: <https://CRAN.Rproject.org/package=DHARMA>
- Huttunen, S., Kuusisto, I., Anttila, S., Johanson N., Kotilainen A., Leskinen, S., Laaka-Lindberg, S., Mattanen, S., Metsämäki, S., Pihlaja K., Virtanen, R. (2023). Lumenviipymien kasvillisuusyhteisöjen ja lajiston seurannat uhanalaisuusarvioinnin tukena. Putte2 – Lumenviipymät -hankkeen loppuraportti. ResearchGate. Saatavilla: <https://www.researchgate.net/publication/367335963>

Kukkonen, M. (2008). Sirokorallisammalen (*Ptilidium pulcherrimum*) mikrosienet Suomessa: vertailu vanhojen metsien ja talousmetsien välillä. Pro gradu -tutkielma. Turun yliopisto. Saatavilla: Turun yliopiston kasvimuseon kirjasto.

Kuusisto, I., Huttunen, S., Virtanen, R. (2024). Tundra plant communities along the meso-topographic gradient in NE Finland. *Nordic Journal of Botany*, 2025(2). DOI: <https://doi.org/10.1111/njb.04430>

LaZerte, S. (2012) How to Cite R and R Packages. DOI: <https://doi.org/10.59350/t79xt-tf203>

Laukka, T. (2005). Rahkasammalilla (*Sphagnum*) kasvavat mikroskooppiset kotelosienet Suomessa. Lisensiaatintutkimus. Turun yliopisto. Saatavilla: Turun yliopiston kasvimuseon kirjasto.

Lesonen, A. (2006). Sirokorallisammalella (*Ptilidium pulcherrimum*) tavatut mikrosienet Suomessa. Pro gradu -tutkielma. Turun yliopisto. Saatavilla: Turun yliopiston kasvimuseon kirjasto.

Olsson, E. (2004). *Epibryon interlamellare*, karhunsammalilla kasvava mikrosieni. Pro gradu -tutkielma. Turun yliopisto. Saatavilla: Turun yliopiston kasvimuseon kirjasto.

Kõljalg, U., Nilsson, R.H., Abarenkov, K., Tedersoo, L., Taylor, A.F.S., Bahram, M., Bates, S.T., Bruns, T.D., Bengtsson-Palme, J., Callaghan, T.M., Douglas, B., Drenkhan, T., Eberhardt, U., Dueñas, M., Grebenc, T., Griffith, G.W., Hartmann, M., Kirk, P.M., Kohout, P., Larsson, E., Lindahl, B.D., Lücking, R., Martín, M.P., Matheny, P.B., Nguyen, N.H., Niskanen, T., Oja, J., Peay, K.G., Peintner, U., Peterson, M., Põldmaa, K., Saag, L., Saar, I., Schüßler, A., Scott, J.A., Senés, C., Smith, M.E., Suija, A., Taylor, D.L., Telleria, M.T., Weiss, M. and Larsson, K.-H. (2013). Towards a unified paradigm for sequence-based identification of fungi. *Molecular Ecology*, 22(21), 5271–5277. DOI: <https://doi.org/10.1111/mec.12481>

Pääkkö, E., Mäkelä, K., Saikkonen, A., Tynys, S., Anttonen, M., Peter, J., Mikkola, K., Norokorpi, Y., Kumpula, J., Suominen, O., Turunen, M., Virtanen, R., & Väire, H. (2018a). Tunturit. Kontula, A. Raunio (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018: Luontotyyppien punainen kirja. Osa 2: Luontotyyppien kuvaukset. *Suomen ympäristö*, 5, 759-884. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4819-4>

Pääkkö, E., Mäkelä, K., Saikkonen, A., Tynys, S., Anttonen, M., Peter, J., Mikkola, K., Norokorpi, Y., Kumpula, J., Suominen, O., Turunen, M., Virtanen, R., & Väre, H. (2018b). T. Kontula, A. Raunio (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018: Luontotyyppien puunainen kirja. Osa I: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristö, 5, 255–313. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4816-3>

Stenroos, S., Huhtinen, S., & Laukka, T. (2008). Suomen sammalien ja jäkälien mikrosienet. Juslén, A., Kuusinen, M., Muona, J., Siitonen, J. & Toivonen, H. (toim.) Puutteellisesti tunnettujen ja uhanalaisten metsälajien tutkimusohjelma: loppuraportti. Suomen ympäristö, 1, 131–133. Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/38375>

Vestberg, M., Kukkonen, S., Parikka, P., Yu, D., Kurola, J., Romantschuk, M., Setälä H. (2010). Laitostuotetuissa komposteissa on taudinestokykyä. ResearchGate. DOI: <http://dx.doi.org/10.33354/smst.76808>

Wei, T., Simko, V. (2024). R package 'corrplot': Visualization of a Correlation Matrix. (Version 0.95). Saatavilla: <https://github.com/taiyun/corrplot>

Wickham, H. (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. DOI: <https://ggplot2.tidyverse.org>