



Annamari (Ari) Laurén<sup>1</sup>, Marjo Palviainen<sup>2</sup>, Raija Laiho<sup>3</sup>, Kersti Leppä<sup>4</sup>, Samuli Launiainen<sup>4</sup>, Hannu Hökkä<sup>5</sup>, Mika Nieminen<sup>3</sup>, Iñaki Urzainki<sup>4</sup> ja Leena Stenberg<sup>3</sup>

## Suosimulaattori (SUSI) – uusi mekanistinen simulointimalli suometsien hoidon suunnitteluun

---

Laurén A., Palviainen M., Laiho R., Leppä K., Launiainen S., Hökkä H., Nieminen M., Urzainki I., Stenberg L. (2021). Suosimulaattori (SUSI) – uusi mekanistinen simulointimalli suometsien hoidon suunnitteluun. *Metsätieteen aikakauskirja* 2021-10575. Tieteen tori. 5 s. <https://doi.org/10.14214/ma.10575>

**Yhteystiedot** <sup>1</sup>Itä-Suomen yliopisto, Metsätieteiden osasto, Joensuu; <sup>2</sup>Helsingin yliopisto, Metsätieteiden osasto, Helsinki; <sup>3</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Luonnonvarat, Helsinki; <sup>4</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Biotalous ja ympäristö, Helsinki; <sup>5</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Luonnonvarat, Oulu

**Sähköposti** ari.lauren@uef.fi

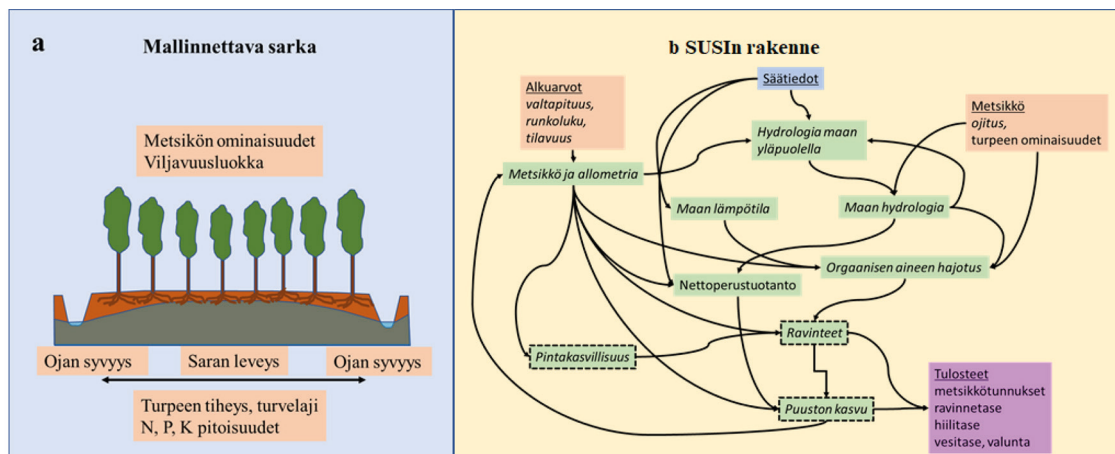
**Hyväksytty** 6.6.2021

---

### Tausta

Kuivatus on olennainen osa suometsien hoitoa. Se vaikuttaa niin puuston kasvuun kuin biogeokemialisiin kiertoihin ja tätä kautta mm. kasvihuonekaasupäästöihin sekä vesistöihin kohdistuvaan ravinne- ja kiintoainekuormitukseen. Kuivatusojat madaltuvat umpeenkasvun, sedimentaation ja maanpinnan painumisen vuoksi tyypillisesti 20–30 cm kahdenkymmenen vuoden aikana, ja ojien kuivasteho heikkenee vähitellen. Puuston kasvukunnon ylläpitämiseksi tehdään kunnostusojituksia yhdestä kahteen kertaan kiertoajan kuluessa. Arvioiden mukaan kolmasosa Suomen ojitusalueista on tällä hetkellä kunnostusojituksen tarpeessa ja niitä toteutetaan 40 000–60 000 hehtaarilla vuosittain. Kunnostusojitus parantaa toisinaan puuston kasvua mutta aiheuttaa lähes poikkeuksetta haitallisia ympäristövaikutuksia. Kunnostusojituksen kasvuvaikutus kestää 15–20 vuotta lisäten puuston kasvua 10–15 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Toisaalta kunnostusojitus lisää myös kiintoainekuormitusta keskimäärin kaiken kaikkiaan noin 1000 kg ha<sup>-1</sup>. Haitallisten ympäristövaikutusten ja kustannusten vuoksi on tärkeää välttää kunnostusojituksia alueilla, joilla se ei paranna kasvua.

Kuivatus laskee pohjaveden pinnan tasoa ja vaikuttaa sitä kautta moniin puuston kasvua rajoittaviin tekijöihin. Näitä ovat mm. kuivuus, liiallisen märkyyden aiheuttama hapen puute juurissa tai ravinteiden puute. Puuston, pintakasvillisuuden, pohjaveden, turpeen, ojaston ja säätekijöiden välillä vallitsee monimutkainen vuorovaikutusten verkko, josta pohjimmiltaan riippuu se, parantaako kunnostusojitus puuston kasvua vai ei. Uusi ekosysteemimalli Suosimulaattori (SUSI) tarjoaa työkalun näiden vuorovaikutusten ymmärtämiseen ja kunnostusojitustarpeen arviointiin.



**Kuva 1.** SUSI kuvaa ojitettua suometsää kaksiulotteisena poikkileikkauksena ojasta ojaan. Ojan syvyys, ojaväli, ravinteisuusluokka, turvelaji, turpeen tiheys, puustotunnukset ja säätiiedot annetaan mallin lähtötietoina. SUSI laskee hydrologiaa ja biogeokemiallisia prosesseja päivän aika-askelin ja tuottaa puuston kasvunnusteen, ravinne- ja hiilitaset sekä arvion vesistöön huuhtoutuvista ravinnemääristä.

## Mallin kuvaus

SUSI on julkaistu äskettäin avoimen Forests-sarjan [artikkelissa](#). Julkaisussa kuvataan mallin rakenne, ja mallia testataan laajaa kokeellista aineistoa käyttäen. SUSI kuvaa ojitettua suometsää kaksikulotteisena poikkileikkauksena ojasta ojaan (Kuva 1). Se laskee päivän aika-askelin pohjaveden pinnan korkeutta, valuntaa, orgaanisen aineen hajotusta, vapautuvien ravinteiden (typpi, fosfori, kalium) määrää, ravinteiden ottoa ja puuston ravinnekilpailua pintakasvillisuuden kanssa, nettoperustuotantoa, puuston kasvua ja kariketuotosta sekä metsikön ja maan hiilitasetta. Vuosittainen kasvu määräytyy Liebigin minimitekijälain mukaan vertaamalla sääolojen ja vedenpinnan tason mahdollistamaa potentiaalista nettoperustuotantoa typen, fosforin ja kaliumin tarjonnan mahdollistamaan kasvuun. Laskennassa tarvitaan lähtötietoina sarkaleveys, ojien syvyys, kasvupaikka, puustotunnukset sekä päivittäinen sääaineisto alueelta. SUSIa käytetään yhdessä Motti-metsikkösimulaattorin kanssa. Motti alustaa puuston ja laskee puun eri ositteiden biomassat suhteessa puuston rakennepiirteisiin. Sen ennusteita käytetään SUSI:ssa biomassan kehittymisen tiekarttana, jota pitkin puusto ja sen biomassaositteet kasvavat fotosynteesin ja ravinteiden saataavuuden mahdollistamalla nopeudella.

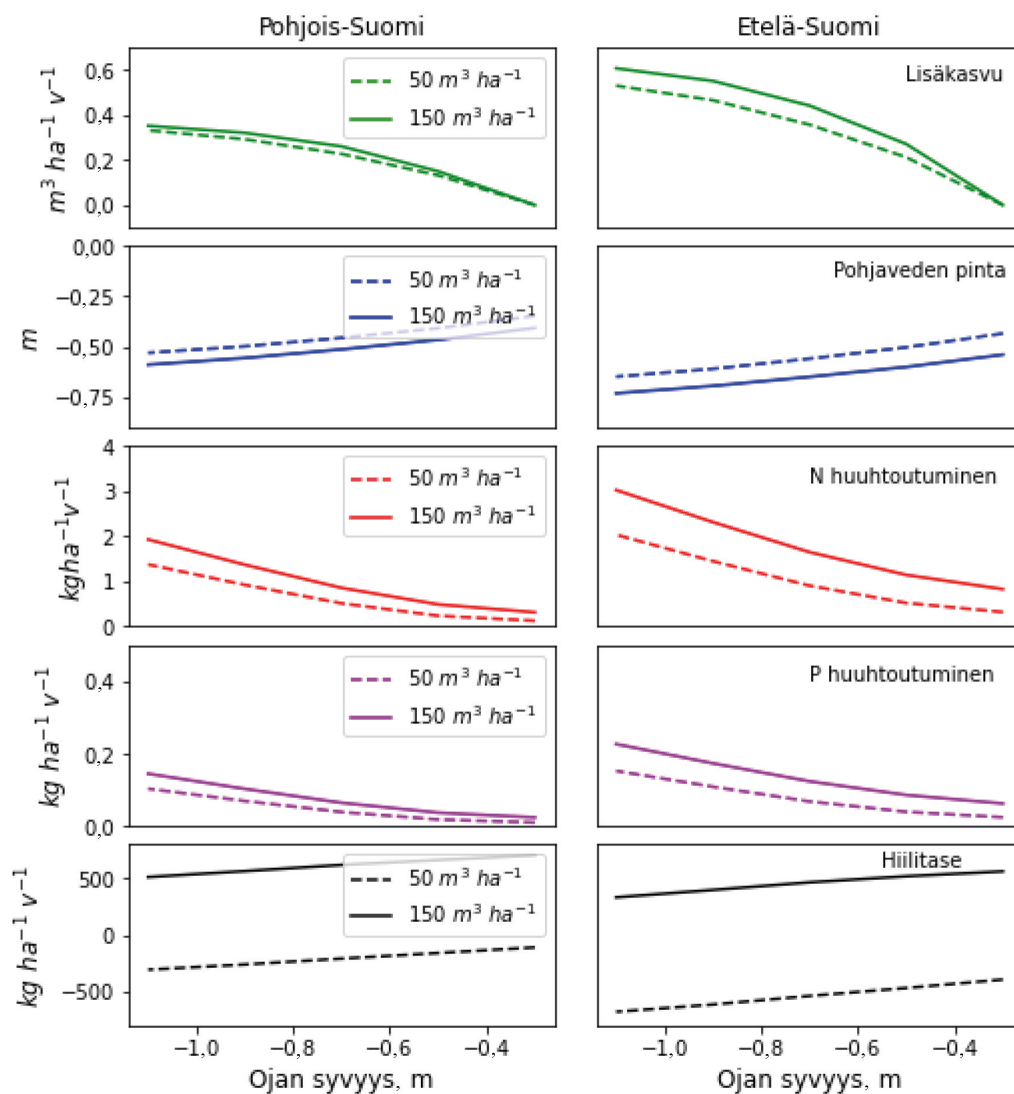
## Mallin testaus ja keskeiset tulokset

Edellä mainitussa Forests-lehden SUSI-artikkelissa havaittiin, että malli kuvasi vuoden sisäisen pohjaveden pinnan dynamiikan ja kasvukauden keskimääräisen pohjaveden pinnan syvyyden, biomassan kasvun ja tilavuuskasvun suhteellisen harhattomasti. Mallin tulokset olivat puolestaan herkkiä kasvupaikan turvelajille ja turpeen ravinnepitoisuuksille. Sara- ja puuturpeilla kasvua rajoitti eniten turpeen ravinnepitoisuus, erityisesti kaliumin saatavuus. Rahkaturpeella ravinteiden saatavuuden lisäksi kasvua rajoitti liiallinen veden aiheuttama hapenpuute. Kunnostusojituksen aikaansaama kasvuvaste oli pienin karuilla kasvupaikoilla.

## Esimerkkisovellus

Kenttätutkimusten perusteella tiedetään, että kunnostusojituksen kasvuvasteeseen vaikuttavat maantieteellinen sijainti (ilmastotekijät) sekä puuston tilavuus ja pohjaveden pinnan korkeus ennen kunnostusojitusta. Seuraavassa esimerkkisovelluksessa laskimme puuston kasvua lähtötilavuudeltaan 50 ja 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> olevissa männiköissä Pohjois-Suomessa Rovaniemellä ja Etelä-Suomessa Lohjalla erilaisilla ojan syvyyksillä (0,3–1,1 m) sarkaleveyden ollessa 40 m. Simulointiaika oli 10 vuotta. Lisäksi vertasimme kasvukauden aikaista keskimääräistä pohjaveden syvyyttä, ravinteiden huuhtoutumisriskiä ja metsikön hiilitasetta.

Tuloksia tulkitaan suhteessa todelliseen ojan syvyyteen tai oikeammin kuivavaraan. Tarkastellaan esimerkkinä pohjoissuomalaista männikköä, jossa puuston lähtötilavuus on 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Kuva 2, katkoviiva vasemman puoleisissa kuvissa). Lähtötilanteessa 30 cm:n ojan syventäminen 90 cm:iin tuo lisäkasvua 0,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>, mutta jos ojan syvyys on lähtötilanteessa 50 cm,



**Kuva 2.** Ojan syventämisen aikaansaama puuston lisäkasvu, kasvukauden aikainen keskimääräinen pohjaveden pinnan syvyys, typen (N) ja fosforin (P) huuhtoutumisriski sekä metsikön hiilitase (negatiivinen arvo tarkoittaa hiilen lähdettä ja positiivinen hiilinielua) eri ojan syvyyksillä lähtötilavuudeltaan erilaisissa (50 ja 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) rämemänniköissä Pohjois-Suomessa Rovaniemellä ja Etelä-Suomessa Lohjalla.

syventämisellä saadaan lisäkasvua vain  $0,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ . Ojan syventäminen ei siis lisää kasvua suoraviivaisesti, vaan kasvuvaste on suurimmillaan, kun syvennetään alun perin matalia ojia. Kasvu kymmenen vuoden simulointijaksolla oli Etelä-Suomessa puolitoistakertainen Pohjois-Suomen kasvuun nähden. Kunnostusojituksen suhteellinen kasvuvaste lähtöpuustoltaan  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  metsikölle oli lähes samansuuruinen (Kuva 2). Sekä Pohjois- että Etelä-Suomessa kunnostusojituksen aiheuttama kasvun lisäys oli 5–10 % ojitamattomaan tilanteeseen nähden. Ojien syventäminen lisää kasvua tiettyyn rajaan asti, mutta ympäristö- ja ilmastohaitat, kuten typen ja fosforin huuhtoutumisriski ja turpeen hajoamisesta syntyvät hiilipäästöt vastaavasti lisääntyvät ojien syventyessä. Esimerkkilaskelman tapauksissa puustoon sitoutuneen hiilen määrä ei riitä kompensoimaan ojituksen aiheuttamaa lisääntynyttä hiilen päästöä turpeesta, ja kunnostusojituksen nettovaikutus on ilmaston kannalta epäedullinen.

Puuston kasvua turvemaidella rajoittaa useimmiten ravinteiden saatavuus. Tuhkalannoitus lisää puuston kasvua tutkimusten mukaan  $1,5\text{--}2,5$  kuutiometriä hehtaarilla vuodessa eikä aiheuta merkittäviä haitallisia vesistövaikutuksia. Esimerkkilaskelmassamme kunnostusojitus lisäsi puuston vuotuista kasvua vain  $0,4\text{--}0,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Simuloimme SUSI-mallilla lannoituksen vaikutusta lisäämällä puuston käytettävissä olevaa kaliumia  $2 \text{ kg}$  hehtaarille vuodessa, jolloin laskelmassamme pohjoisen, lähtöpuustoltaan  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  metsikön vuotuinen kasvu lisääntyi  $2,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , kun ojasyvyys oli  $0,3 \text{ m}$ . Näin ollen lannoitus voisi olla tehokkaampi ja ympäristön kannalta kestävämpi tapa lisätä puuntuotantoa kuin kunnostusojitus.

## Mallin saatavuus ja käyttöönotto

Suosimulaattori SUSIsta on tehty käyttöliittymä, joka on **avoimesti** saatavissa. SUSI-laskenta toimii virtuaaliympäristössä, eikä sen käyttö vaadi omalle tietokoneelle asennettavia ohjelmia tai niiden osia. Se toimii kaikilla käyttöjärjestelmillä (PC, Apple, Linux) ja myös mobiililaitteilla. Käyttöliittymä sisältää seikkaperäiset käyttöohjeet.

SUSIn laskentakoodi on vapaasti saatavilla MIT-lisenssillä osoitteesta <https://github.com/annamarilauren/susi>.

## Sovellukset ja jatkokehitys

SUSI on tehokas apuväline päätöksentekoon suometsien parissa työskenteleville tahoille ja metsänomistajille. SUSIa käytetään tällä hetkellä niin metsätieteiden opetuksessa Itä-Suomen ja Helsingin yliopistoissa kuin käytännön metsäammattilaisten koulutuksessa.

SUSIn modulaarinen rakenne mahdollistaa joustavan jatkokehityksen, ja tällä hetkellä sitä kehitetään laskemaan mm. avohakkuiden ja jatkuvan kasvatuksen menetelmien aiheuttamaa hiili- ja ravinnekuormitusta vesistöihin. SUSIa käytetään parhaillaan monissa tutkimushankkeissa. Esimerkiksi WaterWorks2017-kokonaisuuteen kuuluvassa yhteisrahoitteisessa, Itä-Suomen yliopiston koordinoimassa REFORM WATER -hankkeessa SUSIin kehitetään moduulia, joka ennustaa liuenneen hiilen kulkeutumista turpeesta ojaan ja edelleen vedessä tapahtuvaa liuenneen hiilen hajoamista ja sen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä ilmakehään. Tulevaisuuden kehityskohteita ovat mm. suometsien hoidon taloudellisen kannattavuuden laskenta ja ilmastomuutoksen hillinnän aiheuttamat muutostarpeet kokonaiskestävään suometsien hoitoon.

## Lähteitä

- Laurén A, Palviainen M, Launiainen S, Leppä K, Stenberg L, Urzainki I, Nieminen M, Laiho R, Hökkä H (2021) Drainage and stand growth response in peatland forests. Description, testing, and application of mechanistic Peatland simulator SUSI. *Forests* 12, article id 293. <https://doi.org/10.3390/f12030293>.
- Hökkä H, Laurén A, Stenberg L, Launiainen S, Leppä K, Nieminen M (2021) Defining guidelines for ditch depth in drained Scots pine dominated peatland forests. *Silva Fenn* 55, article id 10494. <https://doi.org/10.14214/sf.10494>.
- Hökkä H, Stenberg L, Laurén A (2020) Modeling depth of drainage ditches in forested peatlands in Finland. *Baltic For* 26, article id 453. <https://doi.org/10.46490/BF453>.
- Ojanen P, Minkkinen K, Penttilä T (2013) The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands. *Forest Ecol Manag* 289: 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.008>.
- Sikström U, Hökkä H (2016) Interactions between soil water conditions and forest stands in boreal forests with implications for ditch network maintenance. *Silva Fenn* 50 article id 1416. <https://doi.org/10.14214/sf.1416>.