

Kattavampaa tietoa Suomen peltomaiden vedenpidätysominaisuuksista

Maaperän vedenpidätyskyky on keskeinen peltomaiden terveyden ja tuottokyvyn indikaattori. Suomessa tieto vedenpidätyskyvystä on ollut puutteellista ja perustunut lähinnä yksittäisiin mittauskohteisiin. Luonnonvarakeskuksen tutkimuksessa tätä tietopuutetta on pyritty paikkaamaan tuottamalla uutta ja laaja-alaisempaa tietoa vedenpidätyskyvystä sekä sen arviointiin soveltuvista työkaluista.



TIMO A. RÄSÄNEN
Tekniikan tohtori,
Luonnonvarakeskus
timo.rasanen@luke.fi

VILMA JOKINEN
Diplomi-insinööri
Luonnonvarakeskus
vilmaj@iki.fi

MIKÄ TÄHTIKARHU
Tekniikan tohtori
Luonnonvarakeskus
mika.tahtikarhu@luke.fi

JARI HYVÄLUOMA
Professori
Luonnonvarakeskus
jari.hyvaluoma@luke.fi

Maaperän vedenpidätyskyky on yksi sen perustoinnista, jotka määrittävät maaperän terveyttä ja tuottokykyä. Se kuvaa maaperän kykyä sitoa ja varastoida vettä ja on olennainen tekijä kasvintuotannon, vesitalouden hallinnan sekä ilmastonmuutokseen sopeutumisen kannalta. EU:n uudessa maaperädirektiivissä vedenpidätyskyky onkin määritetty seurattavaksi indikaattoriksi vedenjohtavuuden ohella (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2025).

Tieto vedenpidätyskyvystä yhdistää maan fysikaaliset ominaisuudet, hydrologiset prosessit ja viljelytoimien vaikutukset kokonaisuudeksi, jota voidaan hyödyntää monin tavoin. Sitä tarvitaan muun muassa kasvien veden saannin sekä kuivuus- ja märkyysriskien arvioinnissa, hydrologisessa mallinnuksessa, vesitaseen laskennassa sekä peltorakenteiden, kuten kuivatus- ja kastelujärjestelmien, suunnittelussa. Vedenpidätyskyky antaa tietoa myös peltomaan kantavuudesta. Tietotarve korostuu entisestään ilmaston

Vedenpidätyskyky määräytyy maaperän huokosrakenteesta ja huokosten kokoja-kaumasta, joihin vaikuttavat useat tekijät kuten maan raekokojakauma ja orgaanisen aineksen määrä. Esimerkiksi hienot hietamaat kykenevät sitomaan enemmän kasveille käyttökelpoista vettä kuin savi- maat tai karkeammat hiedat ja hiekkamaat. Näillä ominaisuuksilla on vaikutusta esimerkiksi siihen, kuinka herkkiä eri maalajit ovat kuivuudelle tai liialliselle märkyydelle. Vedenpidätyskykyyn vaikuttaa myös maaperän routiminen, joka voi muuttaa erityisesti pintamaan mururakennetta ja siten huokosjakaumaa. Routimisen voimakkuus vaihtelee Suomessa alueittain, mikä voi vaikuttaa vedenpidätyskyvyn paikallisiin eroihin.

Vedenpidätyskykyyn voidaan myös vaikuttaa pellolla tehtävillä toimenpiteillä, mutta niiden vaikutus riippuu maalajista. Karkeammilla mailla vedenpidätysominaisuuksia voidaan parantaa lisäämällä orgaanisen aineksen määrää, kun taas savimailla lisäyksestä ei ole vastaavaa hyötyä. Myös muokkaus, viljelykierto ja maan tiivistyminen vaikuttavat vedenpidätykseen ja niidenkin vaikutukset ovat maalajiriippuvaisia.

Maaperän vedenpidätyskyvyn mittaaminen

Vedenpidätyskyky määritellään perinteisesti maanäytteistä tehtävin mittauksin (**kuva 1**), joissa arvioidaan maanäytteen vesipitoisuutta eri kuivatusasteissa. Käytännössä tämä tehdään esimerkiksi painovoimakuvitusmenetelmällä, painekammioilla tai suodatinlevymenetelmällä, joissa mitataan maan



Kuvat: Mika Tähtikarhu.

Kuva 1. Maaperänäytteiden ottoa vedenpidätyskyvyn laboratoriomäärittelyä varten syvyyksiltä 0–60 cm. Näytteet otetaan metallilieriöihin lyömällä ne maahan.

vesipitoisuutta useilla eri maaveteen kohdistettavilla alipaineilla eli imuilla (matriisipotentiaali). Näiden mittausten perusteella laaditaan maan vedenpidätyskäyrä, joka kuvaa veden määrää suhteessa imuun, eli vedenpidätyskykyä eri olosuhteissa.

Menetelmä antaa tarkkaa tietoa maanäytteen vedenpidätysominaisuuksista, mutta kuvaa vain yksittäisen pisteen ja näytteen ominaisuuksia. Laaja-alainen vedenpidätysominaisuuksien kartoittaminen mittauksin on siksi työlästä ja kallista, eikä laajojen mittausaineistojen kerääminen ole useinkaan mahdollista. Suomessa ei myöskään ole ollut riittäviä työkaluja vedenpidätysominaisuuksien arviointiin tai valmista maalajikohtaista tietoa mittausten puuttuessa.

Pedotransfer-funktiot tarjoavat menetelmän maaperän vedenpidätyskyvyn arviointiin mittaustiedon puuttuessa

Pedotransfer-funktiot ovat laajoihin mittausaineistoihin perustuvia matemaattisia yhtälöitä ja malleja, joilla vedenpidätysominaisuuksia voidaan arvioida muiden maalajitietojen avulla. Ne ennustavat vedenpidätyskykyä eli maan vesipitoisuutta (cm^3 vettä per cm^3 maata) tietyssä imussa tai arvioivat maalajin vedenpidätysominaisuuksia esimerkiksi van Genuchtenin vedenpidätyskäyrän parametrien avulla. Pedotransfer-funktioiden käyttöön tarvittavat lähtötiedot vaihtelevat, ja yksinkertaisimmillaan ne perustuvat pelkästään maalajiin tai raekokojakaumatietoihin. Tarkempia arvioita saadaan yhtälöillä, jotka hyödyntävät myös muita muuttujia, kuten orgaanisen aineksen määrää ja maan tilavuuspainoa (ks. tietolaatikko).

Pedotransfer-funktioita on kehitetty maailmalla runsaasti, ja niiden ennustetarkkuudesta on saatavilla laajasti tutkimustietoa. Suomalaisilla peltomailla pedotransfer-funktioita ei kuitenkaan ole kehitetty tai julkaistu, eikä muualla kehitettyjä malleja ole aiemmin systemaattisesti testattu suomalaisia mittausaineistoja vasten.

Eurooppalaiset vedenpidätystä kuvaavat pedotransfer-funktiot toimivat suomalaisilla peltomailla

Luonnonvarakeskus testasi joukon eurooppalaisia pedotransfer-funktioita (Tóth ym. 2015; Szabó ym. 2021) suomalaisia mittausaineistoja vasten osana MAVELA- ja PedoHydro-tutkimushankkeita. Testattujen vedenpidätyskykyä kuvaavien pedotransfer-funktioiden tarkkuus oli lähes yhtä hyvä (keskineliövirhe = $0.066\text{--}0.087 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) kuin alkuperäisjulkaisuissa ($0.041\text{--}0.068 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$), joissa funktiot oli kehitetty (Jokinen 2024; Jokinen ym. 2025). Ennustetarkkuus suomalaisia mittausaineistoja vasten

vastasi myös yleisesti maailmalla raportoituja pedotransfer-funktioiden tarkkuuksia ($0.037\text{--}0.140 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$).

Testauksissa kuitenkin havaittiin, että tarkkuus vaihteli sekä maalajien että testattujen pedotransfer-funktioiden välillä. Ennustetarkkuus oli parhaimmillaan keskikarkeilla mailla, kuten hiesuilla, hiuemailla ja hienoilla hiedoilla, mutta heikompi savimailla sekä karkeilla hietamailla. Nämä maalajikohtaiset erot johtuvat todennäköisimmin siitä, että pedotransfer-funktioiden kehityksessä käytetty maaperäaineisto edusti heikosti pohjoisia alueita ja painottui keskikarkeisiin maihin, toisin kuin Luonnonvarakeskuksen käyttämä aineisto, joka painottui enemmän savimaille. Testauksissa havaittiin myös, että maan tilavuuspainon vaikutus vedenpidätykseen näyttää eroavan jonkin verran näiden kahden aineiston välillä, erityisesti savimaiden osalta. Pedotransfer-funktioilla voi myös olla taipumus korostaa keskimääräisiä maaperiä ja ominaisuuksia.

Pedotransfer-funktioiden valinnan vaikutusta arvioitiin myös HYDRUS 1D -mallisovelluksella, joka simuloi peltomittakaavan hydrologisia prosesseja. Malliin tuotettiin joukko vedenpidätysarvioita eri pedotransfer-funktioilla ja mallisimulaatiot osoittivat, että pedotransfer-funktiot ovat käyttöön soveltuvia, mutta valinnalla voi olla vaikutuksia mallinnusprosessiin ja mallinnettuihin hydrologisiin suureisiin. Mallinnettu salaojavälän määrää ja pohjavedenpinnan korkeus vaihtelivat eri vedenpidätysarvioiden välillä huomattavasti. Tämä osoitti, että käytännön sovelluksissa on suositeltavaa käyttää testattuja ja hyväksi todettuja pedotransfer-funktioita sekä tunnistaa niiden käyttöön liittyvät epävarmuudet. Käyttäjä voi esimerkiksi kokeilla useampaa funktiota ja vertailla niiden tuottamia eroja.

Tutkimushankkeissa testattiin myös vedenjohtavuutta ennustavia eurooppalaisia pedotransfer-funktioita suomalaisia mittausaineistoja vasten, jotka olivat pääosin savimailta. Nämä kuitenkin tuottivat erittäin epätarkkoja ennusteita, minkä vuoksi niiden käyttöä ei tutkimuksen perusteella voitu suositella Suomessa. Heikko ennustuskky saattaa selittyä makrohuokosten esiintymisellä ja niiden merkityksellä vedenjohtavuudessa, mutta tarkkaa syytä huonolle ennustetarkkuudelle ei hankkeen puitteissa pystytty selvittämään. Pedotransfer-funktioiden kyky ennustaa hydraulista johtavuutta hienojakoisilla mailla on yleisesti heikompi kuin karkeammilla mailla.

Uusi maaperäkirjasto tarjoaa työkaluja peltomaiden vedenpidätyskyvyn arviointiin sekä valmista maalajikohtaista tietoa

Tutkimushankkeiden tuloksena tuotettiin kirjasto, joka kokoaa ja esittelee Suomeen kivennäismaille parhaiten

soveltuvat vedenpidätyskykyä kuvaavat pedotransfer-funktiot sekä tarjoaa valmista maalaji- ja -luokkakohtaista vedenpidätyskykyä koskevaa tietoa (Räsänen ym. 2025). Kirjasto julkaistiin raporttina, jonka liitteessä tiedot esitetään taulukkomuodossa.

Valmista maalaji- ja -luokkakohtaista tietoa on tarjolla sekä suomalaisen maalajikolmion mukaisille maalajeille (**taulukko 1** ja **kuva 2**) että yleisimpien maalajikarttojen maalajeille ja maalajiluokille. Kirjasto tarjoaa hierarkkisen tietokannan, joka mahdollistaa vedenpidätysominaisuuksien arvioinnin käyttäjän lähtötietotilanteen mukaan. Parhaimmassa tilanteessa käyttäjällä on tietoa useista maaperän ominaisuuksista ja heikoimmassa tilanteessa käyttäjällä on vain tieto kohteen sijainnista kartalla.

Kirjasto on ensimmäinen yritys koota systemaattisesti koko maan kattavaa tietoa peltomaiden hydraulisten ominaisuuksista. Kirjastossa on kuitenkin edelleen kehittämistarpeita, erityisesti monipuolisemman ja yksityiskohtaisemman tiedon tarjoamisessa. Kirjaston käyttäjän on myös ymmärrettävä, että sen tiedot perustuvat matemaattisten menetelmien ennusteisiin.

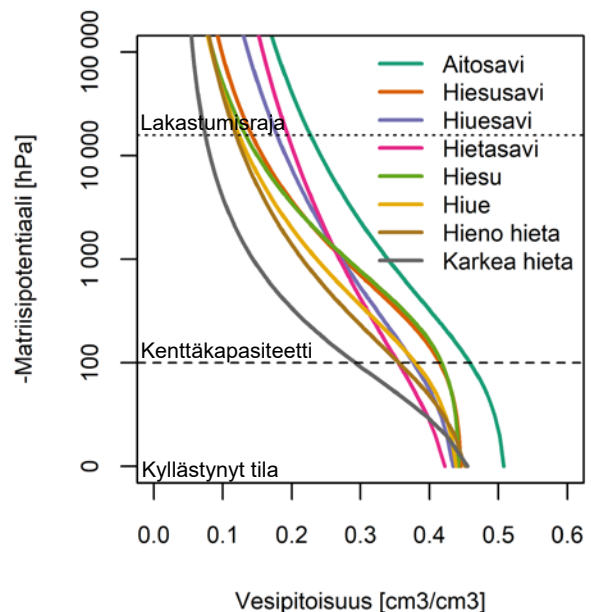
Taulukko 1. Pedotransfer-funktioiden ja Peltomaiden kemiallisen tilan valtakunnallinen seuranta tutkimuksen (Valse) maaperähavaintojen perusteella arvioituja pintamaan keskimääräisiä vesipitoisuuksia ja niiden vaihteluvälit suomalaisen maalajikolmion maalajeille peltomailla. Selitteet kyllästymisasteelle, kenttäkapasiteetille ja lakastumisrajalle Tietolaatikossa. Taulukon tiedot: Räsänen ym. 2025.

	Kyllästymisaste, 0 hPa (cm ³ /cm ³)	Kenttäkapasiteetti, -100 hPa (cm ³ /cm ³)	Lakastumisraja, -15 800 hPa (cm ³ /cm ³)
Aitosavi	0.51 (0.48–0.6)	0.46 (0.44–0.48)	0.30 (0.28–0.32)
Hiesusavi	0.54 (0.45–0.64)	0.4 (0.37–0.46)	0.25 (0.2–0.3)
Hiuesavi	0.52 (0.43–0.61)	0.39 (0.35–0.43)	0.22 (0.19–0.27)
Hietasavi	0.49 (0.43–0.56)	0.37 (0.34–0.46)	0.20 (0.18–0.28)
Hiesu	0.53 (0.46–0.6)	0.38 (0.35–0.41)	0.14 (0.08–0.19)
Hiue	0.52 (0.42–0.64)	0.38 (0.34–0.41)	0.15 (0.1–0.19)
Hieno hietä	0.56 (0.42–0.66)	0.37 (0.35–0.42)	0.09 (0.05–0.18)
Karkea hietä	0.52 (0.41–0.65)	0.31 (0.08–0.37)	0.08 (0.06–0.18)

Maaperän hydraulisten ominaisuuksien laajemmalle arvioinnille on tarvetta

Tutkimushankkeiden yhtenä yllättävänä johtopäätöksenä oli, että huolimatta merkittävästä määrästä mittausaineistoa (yli 5 500 vesipitoisuuden ja lähes 300 hydraulisen johtavuuden mittausta), olemassa oleva mittauksiin perustuva tieto peltomaiden vedenpidätyskyvystä ja etenkin hydraulisesta johtavuudesta on puutteellista (esimerkiksi kattavuudeltaan maantieteellisesti sekä eri maalajien ja maakerrosten suhteen), hyvin hajanaista ja pohjautuu pääosin yksittäisten tutkimushankkeiden mittauksiin rajatuista kohteista. Näin ollen nykyinen mittausaineisto ei anna täysin kattavaa kuvaa Suomen eri peltomaalajien hydraulisten ominaisuuksista, eikä se ole ominaisuuksiltaan riittävä tarkempien kotimaisten pedotransfer-funktioiden kehittämiseen. Hankkeessa keskityttiin lisäksi vain kivennäismaihin, sillä käytettävissä olleita pedotransfer-funktiota ei ollut kehitetty eloperäisille maille, kuten multa- ja turvemaille.

Nämä ovat merkittäviä puutteita, kun otetaan huomioon, kuinka keskeistä tietoa peltomaiden hydrauliset ominaisuudet ovat lukuisille sovelluksille ja peltojen tuotokkyvyn arvioinnille. Tietopohjan vahvistamiseksi, hydraulisten ominaisuuksien seuranta varten ja Suomen oloihin sovel-



Kuva 2. Pedotransfer-funktioiden ja Peltomaiden kemiallisen tilan valtakunnallinen seuranta tutkimuksen (Valse) maaperähavaintojen perusteella arvioituja maalajikohtaisia pintamaan keskimääräisiä van Genuchtenin vedenpidätyskäyriä suomalaisen maalajikolmion maalajeille peltomailla. Matriisipotentiaali (hPa) kuvaa, kuinka tiukasti vesi on sitoutunut maahan eli maan kuivatustasoa. Kyllästynyt tila, kenttäkapasiteetti ja lakastumisraja on määritelty tietolaatikossa. Kuvaajan tiedot: Räsänen ym. 2025.

Pedotransferfunktiot ja maaperän vedenpidätyskyky

Pedotransferfunktioilla voidaan arvioida:

- **Vesipitoisuus kyllästyneessä tilassa (0 hPa):** maaperän huokoset ovat kokonaan veden täyttämiä, eikä ilma mahdu huokosiin (kuva 2).
- **Vesipitoisuus kenttäkapasiteetissa (–100 hPa tai –330 hPa):** maaperä on kuivunut painovoimaisen veden poistuttua (kuva 2).
- **Vesipitoisuus lakastumisrajalla (–15 800 hPa):** kasvien juuret eivät enää pysty ottamaan vettä maasta, ja kasvit alkavat lakastua. Jäljellä on kasveille saavuttamattomissa oleva vesi (kuva 2).
- **Kasveille käyttökelpoinen vesi:** kenttäkapasiteetin ja lakastumisrajan vesipitoisuuksien erotus, joka kuvaa kasvien käyttöön soveltuvan veden määrää maaperässä. Tätä kutsutaan usein myös hyötykapasiteetiksi.
- **Kuivatettavissa oleva vesi:** Kyllästyneen tilan ja kenttäkapasiteetin välinen vesipitoisuuden erotus, joka kuvaa vesimäärää, joka poistuu maaperästä painovoiman vaikutuksesta, esimerkiksi avo- tai salaojituksen seurauksena.
- **van Genuchtenin vedenpidätyskäyrän parametrit:** van Genuchtenin vedenpidätyskäyrä on empiirinen yhtälö, joka kuvaa vesipitoisuutta jatkuvana funktiona maaperän imun (matriisipotentiaalin, hPa) suhteen, ei vain tietyissä pisteissä.

Pedotransferfunktiot voivat perustua erilaisiin laskennallisiin menetelmiin, kuten regressio- ja koneoppimismenetelmiin.

Pedotransferfunktioissa hyödynnettäviä lähtötietoja ovat esimerkiksi raekokojakauma, orgaanisen hiilen määrä, tilavuuspaino, syvyys, pH ja kationinvaihtokapasiteetti.

Esimerkki regressioon perustuvasta pedotransferfunktioista, joka arvioi vesipitoisuutta kyllästymiskosteudessa (Tóth ym. 2015):

$$\theta_s = 0,6819 - 0,06480 \cdot (1/(OC + 1)) - 0,11900 \cdot BD^2 - 0,02668 \cdot T/S + 0,001489 \cdot Cl + 0,0008031 \cdot Si + 0,02321 \cdot (1/(OC + 1)) \cdot BD^2 + 0,01908 \cdot BD^2 \cdot T/S - 0,0011090 \cdot Cl \cdot T/S - 0,00002315 \cdot Si \cdot Cl - 0,0001197 \cdot Si \cdot BD^2 - 0,0001068 \cdot Cl \cdot BD^2,$$

jossa θ_s on vesipitoisuus kyllästymiskosteudessa (cm^3/cm^3), OC on orgaanisen hiilen pitoisuus (%), BD on tilavuuspaino (g/cm^3), T/S on indikaattori pinta- ja pohjamaalle (-), Cl on saveksen osuus (raekoko $<2 \mu\text{m}$, massa-%) ja Si on siltin osuus (raekoko $2\text{--}50/63 \mu\text{m}$, massa-%).

tuvien pedotransfer-funktioiden kehittämiseksi tarvittaisiin uusi, laaja mittauskampanja. Mittausten olisi systemaattisesti katettava eri peltomaalajit siten, että kunkin maalajin ominaisuuksien vaihtelu tulisi huomioitua riittävästi ja mittauksia olisi myös eri syvyyksiltä.

Luonnonvarakeskuksen tutkimushankkeissa testatut pedotransfer-funktiot ja tuotettu kirjasto peltomaiden vedenpidätysominaisuuksista tarjoavat selkeän parannuksen nykytilanteeseen. Ne tuottavat käyttökelpoista tietoa ja muodostavat perustan, jolle tietoa voidaan jatkossa rakentaa ja täydentää. Työ tarjoaa myös hyödyllisen lähtökohdan EU:n maaperädirektiivin täytäntöönpanoon.

Lähteet

Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2025. Neuvoston ensimmäisessä käsittelyssä vahvistama kanta (EU) N:o 9/2025 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin antamiseksi maaperän seurannasta ja kestokyvystä (maaperän seurantaa koskeva laki) Neuvosto hyväksynyt 29 päivänä syyskuuta 2025. <http://data.europa.eu/eli/C/2025/5745/oj>

Jokinen, V., Räsänen, T. A., Tähtikarhu M., Koivusalo H., Hyväluoma, J., 2025. Evaluation of European hydraulic pedotransfer functions for boreal agricultural soils against Finnish data. Käsikirjoitus vertaisarvioitavana.

Jokinen, V., 2024. Improving hydraulic property information on Finnish agricultural soils by using pedotransfer functions and nationwide monitoring data. Aalto University. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202501221626>

Räsänen, T. A., Jokinen, V., Tähtikarhu, M. & Hyväluoma, J., 2025. Suomalaisten kivennäispeltomaiden vedenpidätysominaisuuksia: Mittauksia, pedotransferfunktioita ja maalajikohtaisia arvioita. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 38/2025. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-061-9>

Szabó, B., Weynants, M. & Weber, T.K.D. 2021. Updated European hydraulic pedotransfer functions with communicated uncertainties in the predicted variables (eupf2). Geoscientific Model Development 14: 151–175. <https://doi.org/10.5194/gmd-14-151-2021>

Tóth, B., Weynants, M., Nemes, A., Makó, A., Bilas, G. & Tóth, G. 2015. New generation of hydraulic pedotransfer functions for European Journal of Soil Science 66: 226–238. <https://doi.org/10.1111/ejss.12192> 