

BSAG
Baltic Sea Action Group



Maan kasvukunto

– avain varmempiin satoihin
ja kestävään viljelyyn



Sisällys

Alkusanat.....	3
1 Mitä maan kasvukunnolla tarkoitetaan?	4
Fysikaalinen kasvukunto.....	5
Kemiallinen kasvukunto.....	6
Biologinen kasvukunto.....	7
2 Maan kasvukunnon vaalimisella on monia hyötyjä	8
2.1 Hyvä sato.....	8
2.2 Parempi satovarmuus	10
2.3 Parempi taudinkestävyys	11
2.4 Kasvien veden saatavuus.....	12
2.5 Ravinteiden pidättäminen	13
2.6 Fosforin käyttökelpoisuus.....	14
2.7 Eroosion väheneminen.....	15
2.8 Biologinen typensidonta	16
2.9 Hiilen varastoituminen	17
2.10 Rikkojen ennaltaehkäisy.....	19
2.11 Monimuotoisuus ja maan kasvukunto kulkevat käsi kädessä	20
3 Katsaus maan kasvukunnon hoitomenetelmiin	21
3.1 Viljelykierto.....	22
3.2 Maanparannusaineet.....	23
3.3 Tarpeen mukainen muokkaus	24
Lopuksi	25
Lähteet.....	26

Maan kasvukunto

– avain varmempiin satoihin ja kestävään viljelyyn

BSAG 2025

Tekijät	Kati Berninger, Petra Egilmez, Anne Antman ja Elisa Vainio
Kansikuva	Henri Uotila
Painopaikka	Grano Oy
Taitto	Mainostoimisto Kuke Oy
Lisätietoja	bsag.fi

1. painos
huhtikuu 2025

ISBN 978-952-65726-0-4
ISBN 978-952-65726-1-1

pehmeäkantinen
PDF

Alkusanat

Maan kasvukunto on maanviljelyn tärkeimpiä voimavaroja. Hyväkuntoinen peltomaa kestää paremmin äärimmäisiä sääolosuhteita, kuten kuivuutta tai rankkasadetta. Riski ravinteiden huuhtoutumisesta vesistöihin ja Itämereen on myös pienempi. Lisäksi peltomaan hyvä kasvukunto takaa sen, että maa on monimuotoisen eliöstön koti – mikä puolestaan lisää vastustuskykyä kasvitauteja ja tuhohyönteisiä vastaan. Hyvällä maaperänhoidolla voimme lisätä satovarmuutta, mikä hyödyttää sekä viljelijän taloutta että Suomen elintarvikehuoltoa.

Tässä julkaisussa kokosimme yhteen, mitä maan kasvukunnon hyödyistä tiedetään ja millaisia vaikutuksia kasvukunnolla on satoon, peltoon ja ympäristöön. Julkaisu perustuu tutkimuskirjallisuuteen ja olemme pyrkineet tuomaan esiin ajankohtaisia tutkimustuloksia erityisesti Suomesta. Lisäksi olemme nostaneet esille ulkomaisia tutkimuksia, erityisesti Ruotsista, jotka soveltuvat myös Suomen oloihin. Kaikkea emme kuitenkaan voineet sisällyttää tähän oppaaseen. Tässä julkaisussa keskitymme kivennäismaihin, vaikka osaa tiedoista voidaan soveltaa myös turve- maihin. Tutkimus peltomaan kasvukunnon monista hyödyistä on jatkuvaa ja uutta tietoa syntyy koko ajan.

Maan kasvukunnon parantaminen on pitkäjänteistä työtä. Tämän julkaisun loppupuolella tarjoamme lyhyen katsauksen muutamaiin valikoituihin kasvukunnon hoitomenetelmiin. Tässä emme kuitenkaan käsittele menetelmiä sen laajemmin, sillä opastusta maan kasvukunnon parantamiseen löytyy hyvin muista lähteistä.

Tämä julkaisu tarjoaa siis kattavasti tietoa maan hyvän kasvukunnon hyödyistä, mikä toivottavasti innostaa ja inspiroi sinua viljelijänä ja/tai pellonomistajana tarkastelemaan peltojesi kasvukuntoa ja kehittämismahdollisuuksia. Toivomme myös, että julkaisu innostaa päättäjiä edistämään ratkaisuja peltojen maan kasvukuntoon liittyviin haasteisiin.

Kiitämme Tuomas Mattilaa Suomen ympäristökeskuksesta ja Layla Höckerstedtiä Ilmatieteen laitokselta julkaisun asiataarkastuksesta.

Lisäksi kiitämme julkaisun kirjoitusvaiheessa arvokkaista haastatteluista Tuomas Mattilaa, Helena Soinnetta Luonnonvarakeskuksesta ja Hanna Sutta Helsingin yliopistosta.

Kiitämme myös Eija Hagelbergiä siitä, että hän keksi idean ja rungon tälle julkaisulle, sekä Terhi Mäkilää, Jenni Jääskeläistä ja Katri Salovaaraa Baltic Sea Action Groupista arvokkaista kommenteista julkaisun kirjoitustyön eri vaiheissa.

Julkaisun kirjoitti pääasiassa Kati Berninger Tyrsky-Konsultointi Oy:stä Baltic Sea Action Groupin tilauksesta. Julkaisun kirjoitustyöhön osallistuivat Petra Egilmez (Tyrsky-Konsultointi Oy), sekä Anne Antman ja Elisa Vainio (Baltic Sea Action Group).

Hyviä lukuhetkiä!

3.3.2025

Kati Berninger, Anne Antman ja Elisa Vainio

1 Mitä maan kasvukunnolla tarkoitetaan?

Terve maaperä toimii hyvin ja pystyy tuottamaan ekosysteemipalveluja, kuten tuottamaan satoa, varastoimaan vettä, hiiltä ja ravinteita sekä ylläpitämään monimuotoista eliöyhteisöä. Maaperän terveys on seurausta maaperän eliöiden toiminnasta. **Viljelymaan** terveyttä ja kykyä tuottaa viljelykasveille suotuisat olosuhteet kutsutaan **kasvukunnoksi**. Maaperän fysikaalista, kemiallista ja biologista laatua pidetään usein

maan kasvukunnon osatekijöinä. Eri osa-alueet ovat kuitenkin tiiviissä vuorovaikutuksessa keskenään.¹

Millainen sitten on hyvä kasvukunto? Taulukko 1 kokoaa pellon hyvän ja huonon fysikaalisen, kemiallisen ja biologisen kasvukunnon tunnusmerkkejä. Viljelijä voi arvioida maan kasvukuntoa mittaamalla ja havainnoimalla (Kuva 1).

Taulukko 1. Pellon hyvän ja huonon kasvukunnon tunnusmerkkejä.

	Hyvä kasvukunto	Huono kasvukunto
Fysikaalinen kasvukunto	Maa on kuohkeaa ja helposti muokattavaa	Maassa on tiivistyneitä kohtia
	Sadevesi imeytyy nopeasti peltoon ja maa kuivuu keväällä nopeasti	Pellolle jää vettä seisomaan
	Vettä varastoituu maaperään kasvien käyttöön	Pelto ei ime vettä, vaan sadevesi virtaa pois pintavaluntana
Kemiallinen kasvukunto	Maassa on ravinteita kasvien tarvitsema määrä oikeassa suhteessa, ja ne ovat kasveille käyttökelpoisessa muodossa.	Maassa on liian vähän jotakin ravinnetta tai ravinteiden määrä on epätasapainossa.
	Maaperän pH on lähellä neutraalia	Maaperä on hapan
Biologinen kasvukunto	Maa on multavaa	Maa on vähämultaista
	Pellossa on paljon matoja	Pellossa on niukasti matoja
	Hajotustoiminta on aktiivista	Kasvintähteet eivät hajoa

Miten hyvän kasvukunnon tunnistaa? Oheinen tietolaatikko ohjaa kasvukunnon arvioinnin lisätiedon lähteille.

Seuraavissa alaluvuissa kuvataan kasvukunnon eri osa-alueiden tärkeimpiä ominaisuuksia.

Tietoa maan kasvukunnon arvioinnista löytyy mm. täältä:

Uudistavan viljelyn e-opiston luku 11 Mittaa ja havainnoi
courses.minnlearn.com/fi/courses/regenfarming/mittaa-ja-havainnoi

Lohkokohtainen maanhoitosuunnitelma
www.bsag.fi/materiaalit/lohkokohtainen-maanhoitosuunnitelma

Helsingin yliopiston Ruralia-instituutin Maan kasvukunto-sivusto
www.helsinki.fi/fi/ruralia-instituutti/opetus/maan-kasvukunto

¹ Euroopan Komissio 2023; Mattila & Rajala 2017; Mattila ym. 2018; Svensk Kolinlagring 2024



Kuva 1. Viljelijöitä MARA-testin äärellä. Maan rakenteen aistinvarainen arviointi (MARA) -testissä pellostä kaivetun maapaakun ominaisuuksia arvioidaan ja pisteytetään. Kuva: Eija Hagelberg.

Fysikaalinen kasvukunto

Maan rakenne on tärkeä kasvukunnon osatekijä. Se vaikuttaa olennaisesti muun muassa maan vesitalouteen, ravinteiden pidättymiseen ja kulkeutumiseen sekä juurten kasvuun. Maaperä koostuu kiintoaineksesta, jossa on sekä kivennäisainesta että eloperäistä eli orgaanista ainesta. Kiintoaineen muodostamien hiukkasten ja murujen välissä on huokosia, jotka sisältävät vettä ja ilmaa.² (Kuva 2)

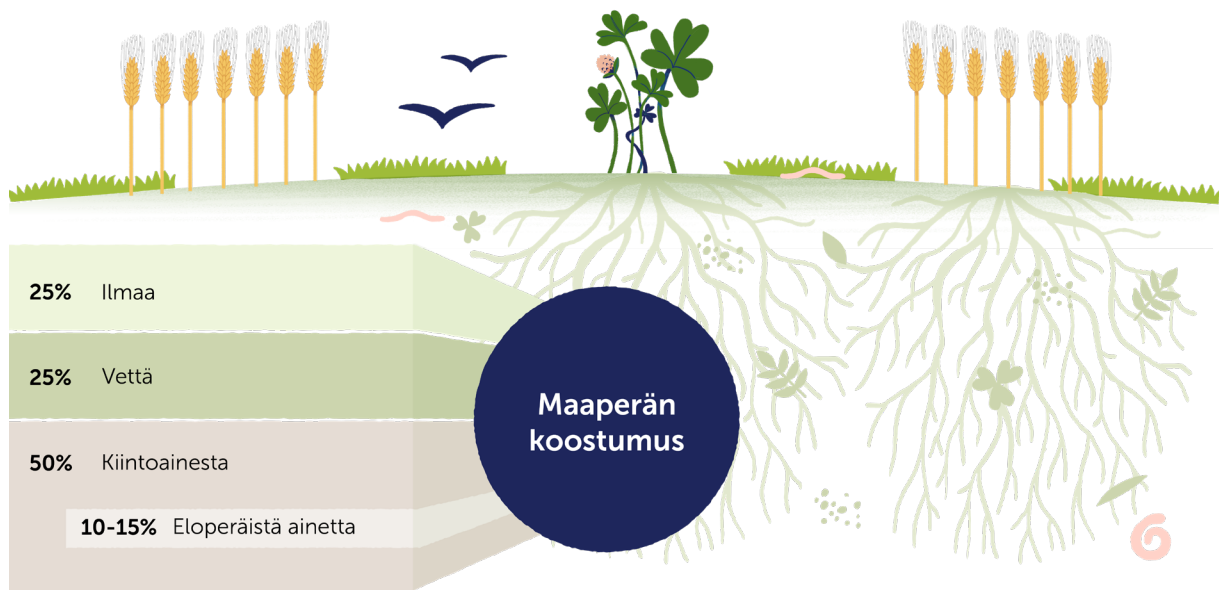
Hyvärakenteisen maan tunnistaa veden nopeasta imeytymisestä ja mururakenteen kestävydestä. Hyvä murukestävyys pitää maan

rakenteen vakaana ja huokoisena. Kun rakenne on kunnossa, maaperä pystyy pidättämään tarpeeksi vettä kasvien tarpeita varten, mutta sen huokoset ovat riittävän suuria johtaakseen liian veden pois. Maaperän huokoisuus vaikuttaa olennaisesti maan happitalouteen ja sitä kautta mm. mikrobien lajikoostumukseen ja biologiseen aktiivisuuteen.³

Hyvin toimiva kuivatus on maan vesitalouden perusta ja siten keskeinen tekijä maan fysikaalisen kasvukunnon ylläpitämisessä.

² Alakukku & Pietola 2002; Alakukku 2016

³ Alakukku 2016; Ravander ym. 2019



Kuva 2. Maaperä koostuu kiintoaineesta sekä huokosissa olevasta vedestä ja ilmasta. Kiintoaine on osittain kivennäis- ja osittain eloperäistä ainesta. Veden ja ilman osuus voi vaihdella maalajikohtaisesti.

Kemiallinen kasvukunto

Hyväkuntoisessa maassa on sopiva määrä kasvin tarvitsemia pää-, sivu- ja hivenravinteita oikeassa suhteessa. Ravinteiden puutostilat vaikeuttavat kasvin kasvua, mutta myös liiallinen ravinne määrä voi aiheuttaa kasville ongelmia ja lisätä vesistökuormitusta. Esimerkiksi runsas typen (N) saanti voi lisätä kasvien tautiriskiä. Toisaalta suuri määrä hiiltä (C) maaperässä lisää mikrobien hajoustoimintaa, mikä puolestaan kasvattaa maan typpivaraston kulutusta. Tällöin kasvien riittävä typen saanti on varmistettava. Kasvin kasvu on riippuvainen siitä ravinteesta, jota on saatavilla vähän suhteessa kasvin tarpeisiin. Jos yhtäkin välttämätöntä ravinnetta on puutteellisesti, kasvin kasvu rajoittuu, vaikka muita ravinteita olisi runsaasti.

Maaperässä on ravinteita liuenneena maanesteeseen, vaihtuvassa muodossa maahiukkasten pinnalla, mineraaliaineksessa ja sitoutuneena orgaaniseen aineeseen. On tärkeää, että maaperä pystyy varastoimaan ravinteita ja että ne ovat kasveille käyttökelpoisessa muodossa tai muuntuvat helposti sellaiseen muotoon. Toisaalta ravinteiden tulisi olla turvassa huuhtou-

tumiselta. Maaperän kemialliseen kasvukuntoon kuuluvatkin erilaiset kemialliset ja biologiset prosessit, jotka liittyvät ravinteiden sitoutumiseen ja muuttumiseen kemiallisesta muodosta toiseen. Näistä tärkeimpiä ovat typen (N) ja fosforin (P) kiertoon liittyvät prosessit sekä maan kationinvaihto. Fosforin kiertoa on kuvattu luvussa 2.6 ja kationinvaihtokapasiteettia luvussa 2.5. Biologista typensidontaa kuvataan luvussa 2.8.

Hyväkuntoisen maan happamuus (pH) on viljelykasveille sopivalla tasolla eli maa on neutraali tai lievästi hapan. Suomessa yleinen ongelma on liiallinen happamuus, sillä maaperämme on luontaisesti hapanta ja herkästi happamoituvaa. Happamuus vaikuttaa ravinteiden liukenevuuteen ja haittaa siten viljelykasvien kasvua ja alentaa satoja ravinteiden oton vaikeutuessa. Lisäksi happamuus vaikuttaa pieneliötoimintaan ja eloperäisen aineksen hajoamiseen.⁴

Esimerkiksi fosforin liukoisuus on korkeimmillaan neutraalissa maassa (pH 6,0–7,0), mutta happamassa tai emäksisessä maassa se voi saostua kasveille käyttökeltottomaan muotoon.



Kuva 3. Maaperän monipuolinen ravintoverkko sisältää kasveja ja niiden erilaisia juuria, eri hajotusasteissa olevaa orgaanista ainesta, erilaisia maaperäeläimiä (mm. lieroja, hämähäkkejä, punkkeja ja hyppyhäntäisiä), erilaisia mikrobeja (mm. sieniä ja bakteereja) sekä alkueliöitä.

Biologinen kasvukunto

Hyvä biologinen kasvukunto tarkoittaa, että maaperän ravintoverkko on monipuolinen (Kuva 3). Siihen kuuluvat erilaiset kasvit ja niiden erilaiset juuret. Maaperässä on aktiivista pieneliötoimintaa ja myös isompia eliöitä, kuten lieroja. Pieneliöstö kuohkeuttaa maaperää, muuntaa hiiliyhdisteitä ja kierrättää maaperän ravinteita. Pieneliöstön ansiosta kasveilla on enemmän käyttökelpoisia ravinteita, jolloin lannoitustarve vähenee. Pieneliöihin kuuluvat myös sienet, joista keräsienet ovat erityisen hyödyllisiä kasveille muodostaessaan niiden kanssa sienijuuren. Sienijuuret edistävät kasvien ravinteiden saantia. Toisaalta monet sienet ovat myös kasvitautien aiheuttajia. Lierot taas kuohkeuttavat maata ja niiden käyttävät luovat kulkureittejä vedelle ja kaasuille sekä kasvien juurille.⁵

Hyväkuntoinen maa on multavaa eli se sisältää runsaasti orgaanista ainesta, jota syntyy pieneliöiden hajottaessa kasvintähteitä sekä juuristobiomassaa ja eritteitä. Viljavuusanalyysin tuloksista näkee maaperän multavuusluokan (vähämultainen, multava, runsasmultainen, erittäin runsasmultainen, multamaa, turvamaa). Maaperä sisältää eri hajoamisasteissa olevaa orgaanista ainesta, ja hajotustoiminta vapauttaa ravinteita uudelleen kasvien käyttöön. Helposti hajoava aine on maaperäeläiden ravintoa, stabiili orgaaninen aine puolestaan toimii maaperän kemiallisten reaktioiden reaktiopintana. Molemmilla on merkitystä maaperän murujen muodostumisessa ja mururakenteen pysyvyydessä. Orgaaninen aine parantaa mm. maan mikrobiologista aktiivisuutta ja vesitaloutta.⁶

⁵ Hartikainen 2016a

⁶ Brady & Weil 2017; Heinonsalo 2020

2 Maan kasvukunnon vaalimisella on monia hyötyjä

2.1 Hyvä sato

Kasvien kasvu ja sadonmuodostus määräytyvät pitkälti kasvin geneettisten ominaisuuksien sekä sää- ja maaperätekkijöiden mukaan⁷. Kasvin kasvuun lähdön, ravinteiden oton ja sitä kautta sadonmuodostuksen kannalta on tärkeää, että

maan viljavuus ja kasvuolosuhteet ovat kunnossa. Maan kasvukunto vaikuttaa ratkaisevasti sadon määrään ja edelleen käytettävien tuotantopanosten hyötysuhteisiin, viljelyn kannattavuuteen ja ympäristövaikutuksiin.



Kuva 4. Maan kasvukuntoa parantamalla voidaan parantaa satovarmuutta sekä vähentää lannoitteiden ja torjunta-aineiden tarvetta. Kuvassa puitavan satokasvin alla on kerääjäkasvi. Kuva: Eliisa Malin.

Viljojen keskisadot ovat Suomessa noin 3–4 t/ha/v. Luonnonvarakeskuksen alueiden parhaan kymmenyksen satoja kuvaavan tilaston mukaan parhailla mailla hehtaarisadot voivat olla noin 1,2–2,0 tonnia keskiarvoja korkeammat. Vuosien ja alueiden välinen vaihtelu on kuitenkin huomattavaa, eivätkä yli 7 t/ha/v sadotkaan ole tavattomia. Maakuntakohtainen satopotentiaalitilasto antaa suuntaviivoja hyvän kasvukunnon potentiaaliin ja tarjoaa viljelijöille mahdollisuuden verrata omaa satoaan alueen parhaisiin satoihin.⁸

Maan rakenne on avainasemassa, kun pyritään lisäämään sadontuottokykyä ja parantamaan tuotantopanosten käytön tehokkuutta. Maaperän hyvä rakenne mm. edistää juurten kasvua sekä parantaa kasvien veden ja ravinteiden saan-

tia. Hyvärakenteisessa maassa juuret pystyvät kasvamaan veden ja ravinteiden luo, kun taas tiivistyneessä maassa mekaaninen vastus on suuri, joten juurten energia kuluu maahan tunkeutumiseen ja juuristo jää matalaksi ja tiheäksi. Mitä laajemmalle viljelykasvien juuret kasvavat, sitä suurempi vesireservi kasvilla on käytettävissä. Tehokas ravinteiden otto vaatii maaperässä olevaa vettä, juuren hyvää maakontaktia ja hyvin kehittynyttä juuristoa.⁹ (Kuva 5)

Maaperän tiivistymisen on todettu pienentävän satoja useissa kokeissa¹⁰. Kellerin ym. mukaan maaperän huono rakenne voi rajoittaa satoja huomattavasti, jopa 20–30 %, ja juurten kasvu voi vähentyä jopa 50 %.¹¹

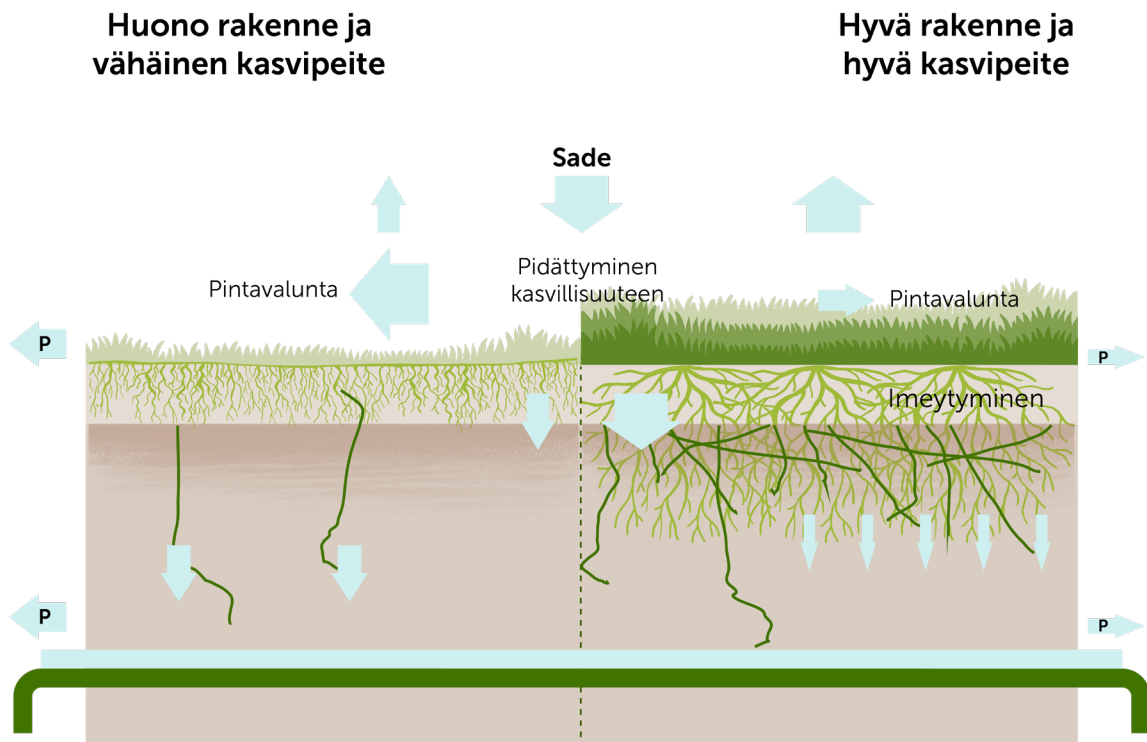
⁷ Jaakkola 1992, s. 177

⁸ Luonnonvarakeskus 2024, 2025

⁹ Ball ym. 2005; Mattila & Rajala 2017

¹⁰ mm. Bakken ym. 1987, Whalley ym. 2008

¹¹ Keller ym. 2019



Kuva 5. Hyväkuntoinen maaperä pystyy imemään vettä ja myös pidättämään sitä huokosissa kasvien juurten ulottuvilla pitkään, eli se toimii kuin pesusieni. Koska maa imee hyvin vettä, pintavalunta vähenee. Hyvä kasvipeite haihduttaa vettä tehokkaasti ja kuivattaa maata. Kasvien juuret pystyvät kasvamaan syvälle ja laajalle alueelle, jolloin ne voivat hyödyntää vettä ja ravinteita laajalta alueelta. Myös salaojavalunta vähenee ja riski fosforin huuhtoutumiselle pienenee. Huonorakenteisessa maassa taas kasvit kasvavat huonosti ja maa pidättää vettä heikosti. Haihdunta on pientä, mutta pintavalunta ja salaojavalunta ovat suuria.

Maan **orgaanisen aineksen** pitoisuuden kasvataminen parantaa maan vedenpidätyskykyä ja kasveille käyttökelpoisen veden määrää, edistää veden imeytymistä maahan sekä lisää maamurujen vedenkestävyyttä, ja näin lisää maan sadontuottokykyä. Esimerkiksi Kätterer ja Bolinder havaitsivat, että orgaanisen aineksen lisääminen maissipeltoon lisäsi huomattavasti satoja, jos saatavilla oli riittävästi typpeä ja maan happamuus oli sopiva¹². Heidän mukaansa sadon lisäys johtui suurimmaksi osaksi maaperän vedenpidätyskyvyn paranemisesta.

Eloperäisen aineksen lisäämisen maahan on todettu parantavan maaperän huokoisuutta ja mururakennetta. Eloperäinen aines lisää maamurujen lujuutta, joustavuutta ja vedenhylkiyvyyttä, jolloin murujen vedenkestävyys paranee.

Samalla maan muokkautuvuus paranee, eikä se tiivisty niin helposti.¹³

Maan orgaanisen aineksen määrä voi vaikuttaa myös typen saatavuuteen ja sitä kautta sadon määrään. Maaperän kyky varastoida ravinteita riippuu sen savespitoisuudesta ja eloperäisen aineksen määrästä. Soinne ym. havaitsivat, että savimailla, joissa on korkea savespitoisuus suhteessa hiilen määrään, on typen vähäisestä mineralisaatiosta johtuva matalan satotason riski¹⁴. Näillä mailla samaa satotasoa varten tarvitaan enemmän orgaanista hiiltä kuin mailla, joissa savespitoisuus on matalampi. Samassa tutkimuksessa todettiin, että karkearakenteisilla kivennäismailla typen käytön tehokkuus kasvoi maan orgaanisen hiilen lisääntyessä.

12 Kätterer & Bolinder 2024

13 Alakukku 2016; Brady & Weil 2017; Pagliai ym. 2004

14 Soinne ym. 2020

2.2 Parempi satovarmuus



Kuva 6. Vesi seisoo pellolla, kun maan kasvukunto on huono. Kuva: Henri Uotila.

Äärimmäisten sääolosuhteiden, kuten kuivuusjaksojen tai rankkasateiden, ennustetaan yleistyvän myös pohjoisilla alueilla ilmastonmuutoksen myötä. Aikaiset lämpöaallot ja myöhäiset hallat voivat haitata kasvien kehitystä. Viljelykasvit altistuvat yhä useammin joko kuivuudelle tai liiallisen veden aiheuttamalle veden kyllästymiselle maaperässä¹⁵. Ilmastonmuutoksen aiheuttama keskilämpötilan nousu lisää haihduntaa, mikä voi pahentaa kuivuutta.

Ilmaston lämmitessä huonojen satovuosien riski kasvaa, kun viljelykasvit joutuvat kasvamaan olosuhteissa, joihin ne eivät ole sopeutuneet. Korkeammat lämpötilat lisäävät myös taudinaiheuttajien ja tuholaisien aiheuttamia satotappioita.¹⁶

Hyvä maan kasvukunto tarjoaa puskurin, joka ylläpitää sadontuottokykyä vaihtelevissa kasvuo-olosuhteissa. Viljelijä voi maan kasvukuntoa parantamalla nostaa satovarmuutta ja pienentää tautiriskiä.

Hyvärakenteinen maa on stabiilimpi ja sillä on parempi puskurikyky ääriolosuhteita vastaan. Kuivuus voi vaikuttaa maaperän kemiallisiin, fyysikaalisiin ja biologisiin toimintoihin, jotka ovat

välttämättömiä kasvien ja maaperän terveydelle. Näkyvin vaikutus on kasvien ravinteiden oton vaikeutuminen, mutta kuivuus voi vaikuttaa myös mikrobien toimintaan. Maaperän hyvän vedenpidätyskyvyn on todettu lisäävän mm. vehnän biomassaa ja sadon tuottoa kuivassa ilmastossa¹⁷.

Maaperän orgaaninen aines toimii tärkeänä maaperän terveyden indikaattorina. Maaperät, joissa on paljon orgaanista ainesta, ovat yhteydessä korkeampiin satoihin myös kuivissa olosuhteissa¹⁸. Orgaanisen aineksen lisääminen maaperään voi lisätä sadon vakautta, varsinkin äärimmäisten sääilmiöiden yhteydessä¹⁹. Orgaanisen aineksen määrää lisäävät viljelymenetelmät ovatkin hyvä tapa sopeutua ilmastonmuutoksen myötä yleistyviin kuiviin jaksoihin myös pohjoisissa olosuhteissa²⁰.

Hyvärakenteinen maa ei liety kovienkaan sateiden aikana. Sen vedenläpäisy on tehokasta ja kantavuus on hyvä. Esimerkiksi veden kylästämissä olosuhteissa on havaittu, että ohran juurten kasvu lakkaa, mikä heikentää satoa²¹. Juurten huono kasvu taas vaikeuttaa mm. ravinteiden ottoa.

15 Teng ym. 2024; Ylivainio ym. 2017

16 Teng ym. 2024

17 He & Wang 2019

18 Kane ym. 2021; Mahmood ym. 2023

19 Mahmood ym. 2023

20 Kätterer & Bolinder 2024

21 Trought & Drew 1980

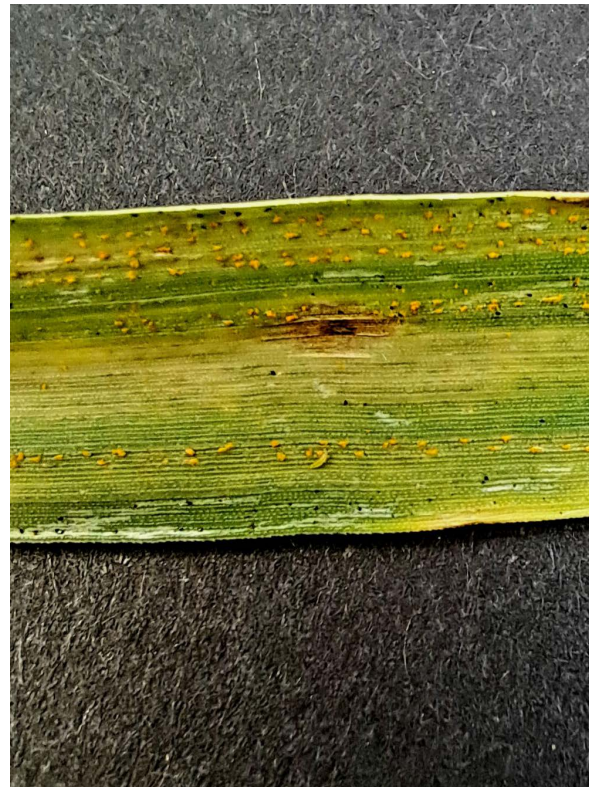
2.3 Parempi taudinkestävyys

Maan kasvukunto vaikuttaa suoraan kasvien terveyteen ja niiden alttiuteen kasvitaudeille. Hyvä kasvukunto tarkoittaa, että maaperä tarjoaa kasveille optimaaliset olosuhteet, kuten ravinteita, vettä ja happea, jotka tukevat niiden tervettä kasvua. Heikossa kunnossa oleva maaperä puolestaan voi heikentää kasvien vastustuskykyä ja tehdä niistä alttiimpia kasvitaudeille. Thakurin ym. katsauksen mukaan tärkeimmät kasvien taudinkestävyyteen vaikuttavat maaperätekijät ovat kosteus, lämpötila, happamuus ja ravinteet²².

Oikea ja tasapainoinen ravinteiden saanti on kasvien taudinkestävyyden avainasia. Esimerkiksi kalium on tärkeä ravinne kasvin kasvuun ja se auttaa kasveja selviytymään esimerkiksi kasvi-tautien aiheuttamasta stressistä. Typpivajaus voi heikentää kasvin solukkoa, mikä tekee siitä alttiimman sieni-infektioille. Toisaalta liiallinen typen saanti saattaa altistaa kasveja kasvitaudeille. Oikea ravinnetasapaino lisää myös kasvien kykyä vastustaa tai sietää tuholaisia. Esimerkiksi liiallinen typpilannoitteiden käyttö voi lisätä myös tuholaisten aiheuttamia vaurioita.²³

Maaperän happamuus vaikuttaa patogeenien esiintymiseen sekä maan mikrobiston koostumukseen ja tasapainoon. Sopivan happamuuden säilyttäminen voi auttaa vähentämään patogeenien määrää maassa ja edistää kasvien terveellistä kasvua. Esimerkiksi möhöjuuren (aiheuttajana möhösieni *Plasmodiophora brassicae*) itiöt kuolevat, kun pH on yli 7,2, joten kalkitseminen voi auttaa sen torjunnassa²⁴. Toisaalta taas pe-runaruven (*Streptomyces*-bakteerit) torjunnassa auttaa hapan maa, jonka pH on alle 5,5²⁵.

Maaperän biologisen aktiivisuuden ansiosta kasvien altistuminen taudinaiheuttajille voi vähentyä ja niiden vastustuskyky on parempi. Hyvässä kasvukunnossa oleva maaperä tukee monimuotoista ja tasapainoista mikrobikantaa. Monimuo-



Kuva 7. Lehtilaikkutaudit ja ruosteet ovat yleisiä viljojen kasvitauteja. Kuva: Eliisa Malin.

toinen mikrobikanta vähentää tautipainetta kasvin juuristossa, koska muut mikrobit kilpailevat taudinaiheuttajien kanssa. Jotkut mikrobit voivat myös tuottaa taudinaiheuttajille myrkyllisiä yhdisteitä. Monimuotoinen mikrobisto voi parantaa kasvien ravinnetaloutta ja maaperän rakennetta erityisesti parantuneen mururakenteen kautta. Hyödylliset mikrobit, kuten kasvien kanssa sienijuuria muodostavat mykorrhizasienet tai typensitojabakteerit, auttavat kasveja luomaan vastustuskykyä kasvitauteja vastaan.²⁶

Mikäli samaa kasvia tai samansukuisia kasvilajeja viljellään loholla vuosia peräkkäin, alkavat tälle kasvilajille tai suvulle tyypilliset taudit ja tuholaiset menestyä paremmin. Monipuolinen viljelykierto ennaltaehkäisee tauteja ja tuholaisia.²⁷ Monipuolista viljelykiertoa käsitellään tarkemmin luvussa 3.1.

22 Thakur ym. 2021

23 Altieri & Nicholls 2003; Thakur ym. 2021; Tripathi ym. 2022

24 Myers & Campbell 1985

25 Lambert & Manzer 1991; #Peruna365 2025

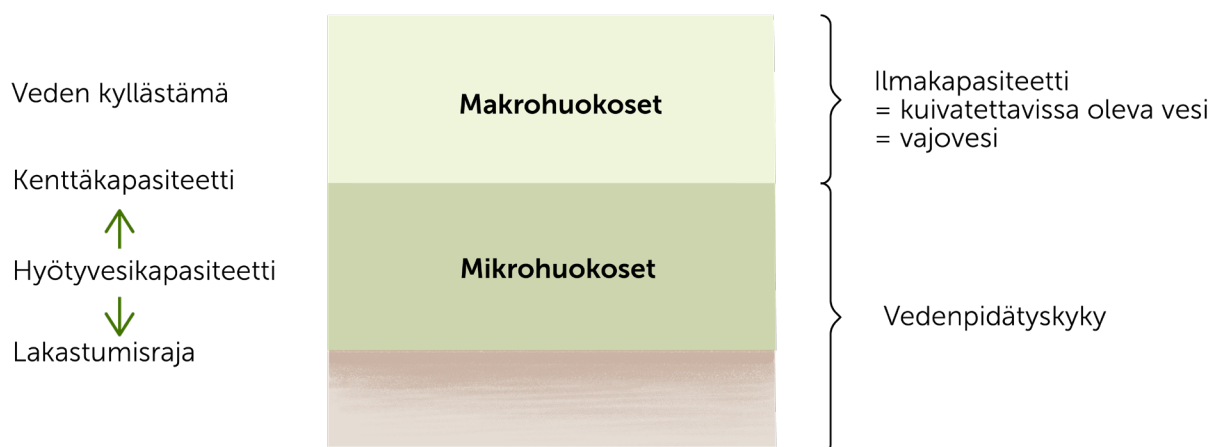
26 Cappelli ym. 2022; Liu-Xu ym. 2024

27 Peters ym. 2003

2.4 Kasvien veden saatavuus

Suomessa suurin osa sateista tulee kasvukauden ulkopuolella. Kasvien veden saantiin vaikuttaa olennaisesti se, miten hyvin maaperä pystyy varastoimaan vettä kasvukautta varten ja se, miten hyvin kasvi pystyy ottamaan vettä juurillaan.

Hyvässä kunnossa oleva maaperä läpäisee vettä silloinkin, kun sataa rankasti. Liika vesi imeytyy nopeasti eikä jää pellolle seisomaan. Hyväkuntoinen maaperä myös varastoi vettä. Kasvit käyttävät juuritätä varastoitunutta vettä kasvuunsa.²⁸ (Kuva 8)



Kuva 8. Veden varastoituminen peltoon. Jos maa on hyvässä kasvukunnossa, vesi valuu sateen jälkeen melko nopeasti makrohuukosista pois. Jäljelle jäävää mikrohuukosiin varastoitunutta vettä kutsutaan kenttäkapasiteetiksi. Kasvit voivat hyödyntää maaperässä olevaa vettä lakastumisrajaan saakka. Kasveille käyttökelpoisen veden määrä maaperässä on kenttäkapasiteetin ja lakastumisrajan välinen ero eli hyötyvesikapasiteetti.

Maaperän vedenpidätyskykyyn vaikuttavat maaperän rakenne ja jonkin verran myös orgaanisen aineksen määrä. Rakenteessa olennaista on sopiva huokoisuus ja kestävä mururakenne. Maan rakenteen hoidossa on pyrittävä välttämään tiivistymiä. Hyvä maan rakenne antaa **juuristolle hyvät kasvuolot** ja siten parantaa kasvien vedenottoa. Kun juuristo kasvaa syvälle ja laajalle, kasvit voivat paremmin hyödyntää maaperän vesivarastoa.²⁹

Yksi tapa parantaa viljelymaan rakennetta on kerääjäkasvien, erityisesti syväjuuristen kasvien, käyttö³⁰. Kerääjäkasvit lisäävät veden imeytymistä maaperään suojaamalla maanpintaa, vähentämällä pintavaluntaa ja parantamalla maan huokosrakennetta³¹. Tämä voi lisätä kasveille käytettävissä olevan veden määrää. Toisaalta kerääjäkasvien on myös todettu lisäävän haihduntaa³².

28 Libohova ym. 2018

29 Libohova ym. 2018; Mattila 2014; Minasny & McBratney 2018

30 Mattila 2024

31 Blanco-Canqui ym. 2015; Malin 2020

32 Meyer ym. 2019

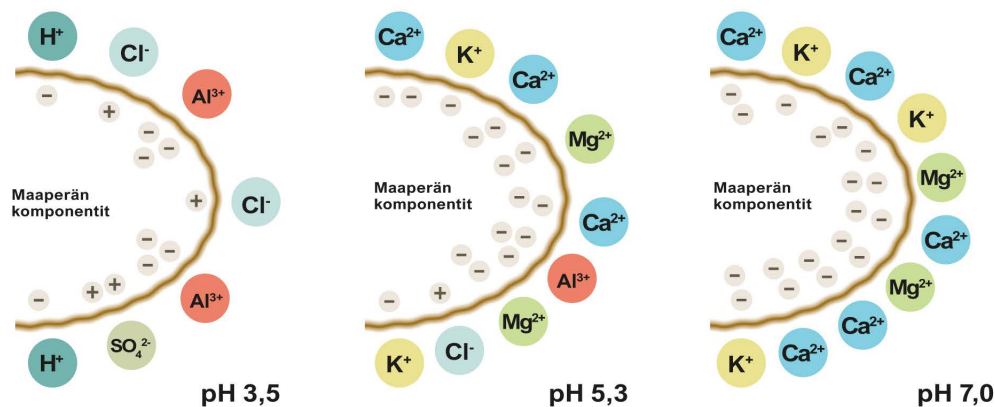
2.5 Ravinteiden pidättyminen

Ravinteiden pidättyminen ja saatavuus kasveille on tärkeä osa maan kemiallista kasvukuntoa. Fosfori on maaperässä suurelta osin pidättyneenä kivennäisaineeseen. Fosforin kiertoa ja pidättymistä käsitellään luvussa 2.6.

Typpi taas käyttäytyy eri lailla. Maaperässä oleva epäorgaaninen typpi pyrkii muuttumaan nitraatiksi (NO_3^-), joka huuhtoutuu helposti, jos kasvit eivät sido sitä. Orgaaniseen ainekseen sitoutunut typpi ei ole kasvien käytettävissä, vaan sitä vapautuu mikrobien hajotustoiminnan seurauksena. Eniten tyyppiä on ilmassa. Tämä typpi muuttuu kasveille käyttökelpoiseksi biologisen typensidonnan avulla. Biologista typensidontaa käsitellään luvussa 2.8.

Kationinvaihtokapasiteetti (KVK) kuvaa maaperän kykyä pidättää ja luovuttaa ravinteita. Se on osa kemiallista kasvukuntoa. Maan kasvukunnon muut osa-alueet vaikuttavat kationinvaihtokapasiteettiin.

Hyväkuntoisella maalla on korkea kationinvaihtokapasiteetti (Kuva 9). Kationinvaihtoreaktiossa maahan sitoutuu positiivisesti varautuneita ioneja eli kationeja. Kasveille tärkeät ravinteet kalium (K), kalsium (Ca) ja magnesium (Mg) ovat kasveille käyttökelpoisia juuri kationimuodossa. Myös ammoniumtyppi (NH_4^+) on kationimuodossa. Ravinteiden pidättymispaikkoja on eniten hienojakoisessa maassa, kuten savimaassa. Myös suuri orgaanisen aineksen määrä tarjoaa runsaasti kationinvaihtopintoja.³³



Kuva 9. Maaperän kationinvaihtokapasiteetti on tärkeä maan kasvukunnon mittari. Kationimuodossa olevat ravinteet kiinnittyvät maaperässä sen vaihtopinnoille, mistä ne vapautuvat kasvien käyttöön. Hyväkuntoinen maaperä varastoi ravinteita tehokkaasti, mutta ne ovat silti kasvien käytettävissä. Happamuus eli alhainen pH pienentää kationinvaihtokapasiteettia. Muokattu lähteestä Sonon ym. 2014, kuva 2.

Kationinvaihtokapasiteettiin vaikuttavat maaperän savisuus, orgaanisen aineksen määrä ja happamuus. Maan happamoituminen pienentää sen kationinvaihtokapasiteettia. Tämä tapahtuu siksi, että vetyionit syrjäyttävät hiukkaspinnoilla olevat ravinnekationit. Siten ravinnekationit huuhtoutuvat helposti pois kasvien ulottuvilta. Kationinvaihtokapasiteettia voidaan parantaa lisäämällä maaperän orgaanisen aineksen määrää ja nostamalla pH:ta.³⁴

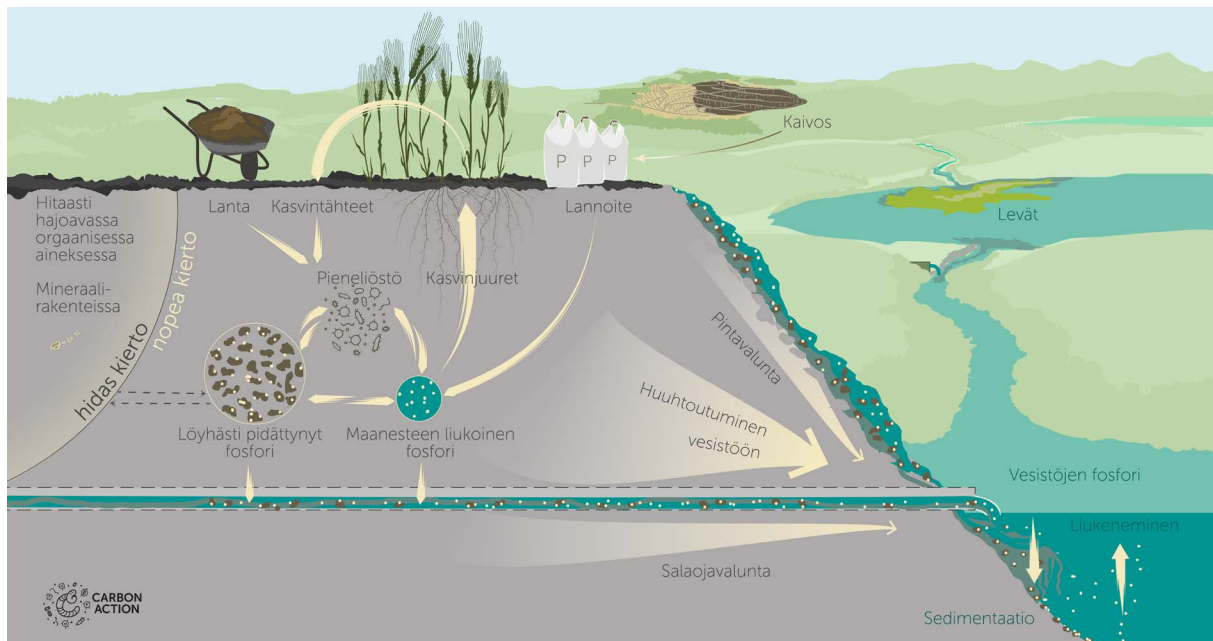
Mattila ja Vihanto havaitsivat, että suurimmalla osalla tutkituista suomalaisista pelloista kationinvaihtokapasiteetti ja pH olivat hyvällä tasolla, mutta noin viidenneksellä kationinvaihtokapasiteetti oli alhainen³⁵. Näiden peltöjen ravinteiden pidätyskykyä voisi lisätä maaperän orgaanisen aineen määrän kasvattamisella.

33 Kirkby 2012

34 Kirkby 2012; Lemola ym. 2018

35 Mattila & Vihanto 2024

2.6 Fosforin käyttökelpoisuus



Kuva 10. Pelloille lisätään fosforia lannan sekä rajallisista kaivannaisista peräisin olevien epäorgaanisten lannoitteiden muodossa. Lisäksi fosforia vapautuu kasvintähteistä sekä maahiukkasiin sitoutuneen fosforin hitaan vapautumisen seurauksena. Huuhtoutumisriski kasvaa, jos fosforipitoisuus on korkea ja heikko kasvukunto rajoittaa kasvien fosforinottoa. Kuva: Núria Altimir.

Fosfori (P) on kasveille tärkeä makroravinne, jolla on suuri merkitys erityisesti kasvun alkuvaiheessa. Kasvintuotannossa onkin tärkeää turvata kasville käyttökelpoisen fosforin saanti ja minimoida samalla fosforin huuhtoutuminen vesistöihin. Maaperän fosforivarastojen hyödyntäminen on tässä avainasemassa. Hyvä fosforin hyödyntämisaste vähentää huuhtoutumisen ja sen aiheuttaman rehevöitymisen lisäksi myös ehtyvän kaivannaisfosforin käyttöä.³⁶ (Kuva 10)

Fosforivarastoja on maaperässä luontaisesti. Lisäksi niitä on kertynyt aiempien vuosikymmenien kasvien tarpeet ylittäneen fosforilannoituksen seurauksena. 2000-luvulla fosforin käyttö on tehostunut, mikä näkyy peltojen pienentyneinä fosforilukuina. Sekä peltojen keskimääräinen fosforiluku että korkeimpien fosforiluokkien osuus on vähentynyt huomattavasti. Toisaalta alimpien fosforiluokkien osuus on myös kasvanut. Fosforilannoituksen määrä onkin sovitettava kasvin tarpeeseen ja maassa olevan käyttökelpoisen fosforin määrään.³⁷

Vesistöjen fosforikuormituksen vähentämiseksi on tärkeää tarkastella peltoja, joilla on erityisen korkea fosforiluku ja pyrkiä tehostamaan niiden fosforin käyttöä. Lisäksi on havaittu, että pelloilla voi olla heikosti tuottavia osia, joille on kertynyt fosforia. Mattila esittää, että näitä paikallisia fosforikuormituksen riskikohteita voisi korjata kuohkeuttamalla maata ja käyttämällä kerääjäkasveja³⁸. Täten kertynyttä fosforia saataisiin viljelykasvien avulla poistettua lohkolta.

Maan kasvukunto vaikuttaa siihen, miten kasvit pystyvät hyödyntämään fosforia. Fosfori liikkuu huonosti maaperässä, joten hyvät juuriston kasvulosuhteet ovat tärkeitä fosforin tehokkaan hyödyntämisen edistäjiä. Jos maan rakenne ja vesitalous ovat hyvällä tolalla, juuret pääsevät kasvamaan laajalle ja syväälle. Happamassa maassa fosfori sitoutuu helposti kasville käyttökeltottomaan muotoon, joten kalkitus parantaa fosforin saatavuutta kasveille. Maaperän eloperäinen aine ja siihen liittyvä mikrobitoiminta parantavat myös fosforin käytettävyyttä kasveille.³⁹

³⁶ Berninger 2018; Mattila 2024

³⁷ Lemola ym. 2023; Valkama ym. 2009

³⁸ Mattila 2024

³⁹ Hartikainen 2016b; Mattila & Rajala 2018

2.7 Eroosion väheneminen



Kuva 11. Talviaikainen kasvipeitteisyys, kuten syysviljan viljely, vähentää maaperän eroosioriskiä.

Kuva: Eija Hagelberg.

Maaperän eroosiossa orgaanista ainesta sisältävä kerros kulkeutuu pois veden tai tuulen mukana, joten eroosio johtaa viljelysmaiden arvokkaan, hedelmällisen pintamaan menetykseen. Samalla vesistöihin kulkeutuu rehevöittävää fosforia. Maan kasvukunnolla ja erityisesti maan rakenteella ja vesitaloudella on suuri vaikutus eroosion määrään.⁴⁰

Maaperän hyvä murukestävyys vähentää maa-hiukkasten irtoamista niiden altistuessa sateelle tai valumavesille. Tämä ehkäisee eroosiota, joka tapahtuu hienorakenteisen maa-aineksen karatessa pelloilta vesiin. Pintamaan murukestävyyden ylläpitoon tarvitaan riittävä määrä orgaanista ainesta erityisesti savimailla.⁴¹

Maan vesitaloudella on olennainen vaikutus eroosioalttiuteen. Siksi onkin tärkeää huolehtia maan hyvästä rakenteesta ja toimivasta ojituksesta. Huokosten jakautuminen ja koko vaikuttavat maaperän kykyyn pidättää vettä sateen aikana. Tiivistynyt maaperä estää veden alaspäin

liikkumisen, mikä lisää pintavaluntaa. Pintavalunta voi kuljettaa maapartikkeleita, ravinteita ja haitta-aineita vesistöihin, ja heikentää näin veden laatua.

Soinne ym. tutkimuksen mukaan savimaat, joilla on vähän orgaanista ainesta ja huono kuivatus, ovat erityisen alttiita eroosiolle⁴². Olisikin tärkeää tunnistaa nämä riskialueet ja parantaa niiden kuivatusta.

Maaperän eroosioriskiä voidaan vähentää lisäämällä talviaikaista kasvipeitteisyyttä ja vähentämällä maan muokkausta. Kasvipeitteisyyttä voidaan lisätä esimerkiksi suojavyöhykkeiden, kerääjäkasvien tai syysviljojen avulla. Suomalaisissa tutkimuksissa on todettu, että pysyvästi kasvipeitteiset suojavyöhykkeet alentavat kaltevilla pelloilla eroosion ja samalla partikkelimaisen fosforin huuhtoutumisriskiä⁴³. Kerääjäkasvien on yleisesti todettu vähentävän vesieroosiota, mutta vaikutuksen suuruus riippuu kasvin kasvusta ja kasvilajista⁴⁴.

40 Soinne ym. 2016

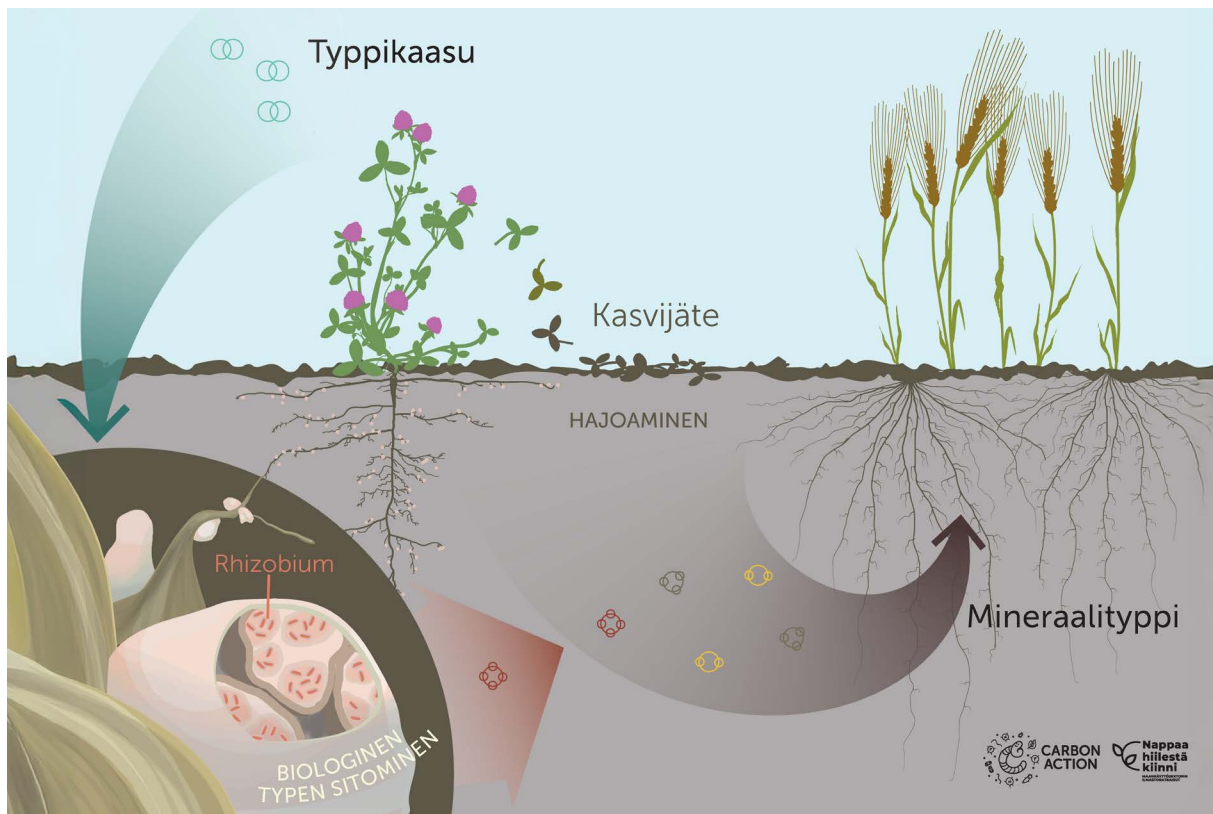
41 Soinne ym. 2016; Ravander ym. 2019

42 Soinne ym. 2016

43 Uusi-Kämpä 2005; Uusi-Kämpä & Jauhiainen 2010

44 Blanco-Canqui ym. 2015

2.8 Biologinen typensidonta



Kuva 12. Palkokasvien juurinystryöissä symbioosissa kasvin kanssa elävät *Rhizobium*-bakteerit sitovat typpeä ilmasta kasvien käyttöön. Kuva: NÚria Altimir.

Biologinen typensidonta perustuu kasvien juurinystryöissä eläviin typensitobakteereihin, jotka sitovat ilman typpikaasua elolliseen ainekseen kasville käyttökelpoiseen muotoon. Tässä symbioosissa bakteerit saavat kasvilta energiaa, jota kuluu paljon typen sitomiseen.⁴⁵ (Kuva 12)

Biologinen typensidonta on riippuvaista maaperän typensitobakteereista, ja maaperän mikrobeille otolliset olosuhteet lisäävät biologista typensidontaa. Maan rakenne, happamuus ja ravinnetalous vaikuttavat typpeä sitovien bakteerien määrään ja toimintaan⁴⁶.

Typensitokasvit ovat herkkiä fosforin (P), kaliumin (K) ja rikin (S) puutteelle. Näiden ravinteiden puutos voi rajoittaa typensitobakteerien kasvua sekä juurinystryöiden muodostumista ja toiminta-

taa, millä on suora vaikutus biologiseen typensidontaan. Puutos vaikuttaa näin ollen epäsuorasti isäntäkasvin kasvuun⁴⁷. Molybdeeni (Mo) ja rauta (Fe) ovat rakennusaineita entsyymille, joka tehostaa typensidontaa⁴⁸, kun taas sinkki (Zn) on tärkeä ravinne biologisen typensidonnan säätelyssä⁴⁹. Runsas kasveille saatavilla olevan typen määrä maaperässä vähentää typensidontaa, koska silloin nystyräbakteerit eivät toimi täydellä teholla tai kasvi ei kuluta energiaa juurinystryöihin, kun typpeä saa helpommin maavedestä⁵⁰.

Typensitobakteerien ja kasvien symbioosin muodostuminen ja toiminta ovat erittäin herkkiä kuivuuden aiheuttamalle stressille⁵¹. Toisaalta myös liiallinen veden määrä vähentää biologista typensidontaa⁵².

45 Huhta & Hallanaro 2019, s. 272
46 Martinez-Mera ym. 2017; Keskitalo ym. 2022
47 Divito & Sadras 2014
48 Kim & Rees 1994

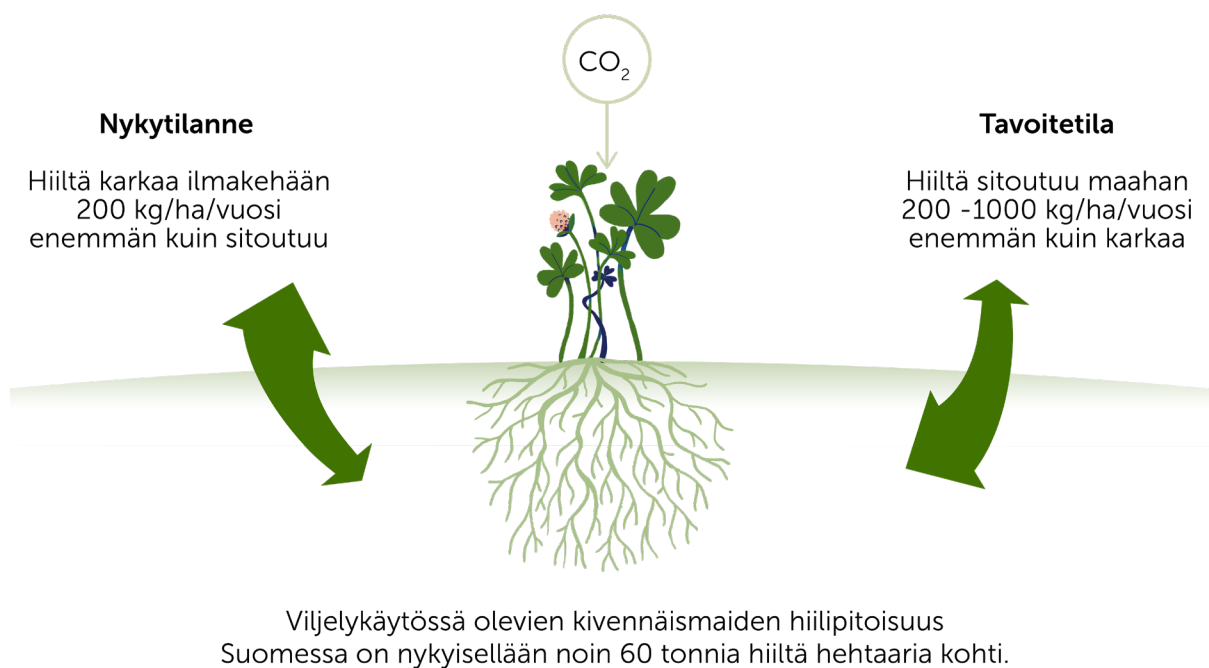
49 Lin ym. 2024
50 Keskitalo ym. 2022
51 Sprent 1972; Weisz ym. 1985
52 Lian ym. 2023; Van Schreven & Sieben 1972

2.9 Hiilen varastoituminen

Maaperän eloperäisen, hiilipitoisen aineksen määrällä ja dynamiikalla on merkitystä ilmastomuutoksen hillinnässä. Suomessa ja kansainvälisesti maaperän eloperäisen aineksen määrä on laskenut viime vuosikymmenien aikana. Heikkisen ym. mukaan suomalaisten kivennäismaiden hiilivarasto pieneni 220 kg/ha vuodessa ajanjaksolla 1974–2009⁵³.

Hiilen varasto voi joko pienentyä tai kasvaa sen mukaan, millaisia viljelytoimia pellolla tehdään ja millainen sen kasvukunto on. Hiilivaraston kehittymiseen vaikuttaa maaperään tulevan ja sieltä poistuvan hiilen välinen tasapaino.

Maaperään sitoutuva hiili, eli hiilisyöte, koostuu kasvien yhteyttämisen kautta syntyneestä biomassasta, kuolleesta biomassasta, kuten juurista ja versoista, sekä pellolle lisätystä orgaanisesta aineksesta, kuten kasvinjätteistä ja orgaanisista lannoitteista. **Hiiltä poistuu maaperästä** orgaanisen aineksen hajoamisen seurauksena, sekä eroosion ja huuhtoutumisen myötä. Nämä prosessit ovat jatkuvasti käynnissä. Hiilivarasto kasvaa, kun maaperään sitoutuvan hiilen määrä ylittää sieltä poistuvan hiilen määrän. Vastaavasti hiilivarasto pienenee, jos hiilipoiste on suurempi kuin hiilisyöte.⁵⁴ (Kuva 13)



Kuva 13. Viljelymaiden hiilipitoisuus muodostuu eloperäisen aineksen hajoamisen ja hiilen sitoutumisen välisenä tasapainona. Nykytilanteessa maaperän hiilivarasto pienenee eli hiiltä karkaa ilmakehään enemmän kuin sitä sitoutuu.⁵³ Muokattu Tommi Parkkisen / Yle kuvasta.

⁵³ Heikkinen ym. 2013

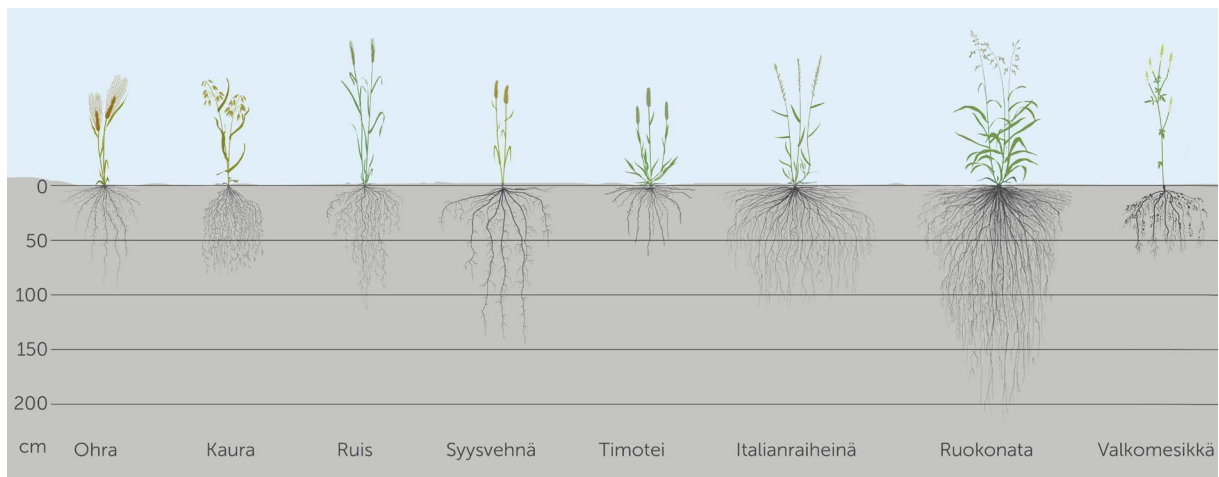
⁵⁴ Jastrow ym. 2007

Kasvin hyvä kasvu lisää hiilen varastoitumista maaperään⁵⁵. Hyvä maan kasvukunto lisää typen sidontaa ja sitä kautta parantaa kasvin ravinteiden saantia, kasvin kasvua ja lisää näin hiilen sidontaa (ks. Luku 2.8). Juuret ja juurieritteet ovat keskeisin hiilisyöte maahan, joten erityisesti juurten määrään vaikuttavat tekijät ovat olennaisia hiilen varastoitumisen kannalta⁵⁶. Hyvä maan rakenne lisää sekä juurten biomassaa että juurten pääsemistä syvälle maahan⁵⁷. Juurten lisäksi myös maahan jäävä kasvimateriaali, kuten leikkuutähteet ja eloperäinen lannoitus, voivat lisätä hiilen määrää maaperässä. Toisaalta maan hyvä kasvukunto voi myös kiihdyttää eloperäisen aineksen hajoamista mm. lisäämällä mikrobitoimintaa. Useimmiten kuitenkin maan hyvä kasvukunto lisää hiilen varastoitumista.

Pintamaahan kertyy helpommin eloperäistä ainesta kuin syvemmälle maaperään. Pintamaassa mikrobitoiminta on voimakkaampaa ja siinä valitsevat hapekkaammat olosuhteet pohjamaahan verrattuna nopeuttavat eloperäisen aineksen hajoamista. Siksi eloperäistä ainesta pitää tulla jatkuvasti lisää, jotta hiilen varasto säilyy. Pohjamaassa on suurempi potentiaali kerryttää ja varastoida hiiltä, mutta sinne on vaikeampi

päästä. Juurten määrä väheneekin merkittävästi, kun mennään yli 35 cm syvyyteen. Syväjuuriset kasvit voivat sinne päästä, joten niiden kasvataminen voi lisätä hiilen varastoitumista pohjamaahan. Lisäksi pohjamaahan voi tulla hiiltä, kun maaveteen liennut orgaaninen aines liikkuu pintamaasta veden mukana alaspäin⁵⁸. Tämä prosessi riippuu maaperän rakenteesta ja veden läpäisevyydestä.

Hiili voi olla maaperässä sitoutuneena mineraaliainekseen, jolloin se on hitaasti hajoavaa, tai se voi olla partikkelimaista ja nopeasti hajoavaa. Hiilivaraston kerryttämisen kannalta olisi tärkeää lisätä nimenomaan hitaasti hajoavan hiilen määrää⁵⁹. Tätä voidaan edistää kiinnittämällä huomiota hitaasti hajoavan hiilen synty- ja hajoamismekanismeihin. Mattila ja Vihanto tutkivat hiilen sidontaa rajoittavia tekijöitä suomalaisilla tiloilla⁶⁰. Hitaasti hajoavan hiilen määrää rajoittavia tekijöitä olivat alhainen mikrobiaktiivisuus, maan huono rakenne ja vettyminen sekä ravinteiden, erityisesti rikin puute. Salonen ym. totesivat hiilen varastoitumista käsittelevässä tutkimuksessaan, että mineraaliainekseen sitoutunutta hiiltä mahdusi suomalaisiin peltomaihin vielä runsaasti⁶¹.



Kuva 14. Mitä syvemmälle kasvien juuret kasvavat, sitä syvemmältä ne voivat kuohkeuttaa maata. Syväjuuriset kasvit voivat myös kuljettaa hiiltä maan syvempiin kerroksiin. Kuva: Núria Altimir.

55 Mattila & Vihanto 2024

56 Kätterer ym. 2011

57 Mattila 2024

58 Kaiser & Kalbitz 2012; Rumpel & Kögel-Knabner 2011

59 Derrien ym. 2023; Poeplau ym. 2024

60 Mattila & Vihanto 2024

61 Salonen ym. 2024

2.10 Rikkojen ennaltaehkäisy



Kuva 15. Valvatti kasvaa runsaana viljapellolla. Kuva: Eija Hagelberg.

Rikkakasvit kilpailevat viljelykasvien kanssa samoista resursseista, kuten ravinteista, valosta ja vedestä. Lisäksi monet rikkakasvit ovat kasvitautien tai tuholaisten välikasveja. Rikkakasvit hyötyvät usein viljelykasveja nopeammasta itämisestä ja kasvusta, mikä antaa niille etulyöntiaseman kilpailussa rajallisista resursseista. Lisäksi monet rikkakasvit ovat sopeutuneet haastaviin kasvuolosuhteisiin, kuten ravinteiden puutteeseen tai tiivistyneeseen maahan, mikä auttaa niitä leviämään viljelykasveja paremmin.

Maan kasvukunnolla on olennainen merkitys rikkakasvien torjunnassa. Hyvässä maaperässä vaativat viljelykasvit pärjäävät kilpailussa rikkakasvien kanssa⁶². Maan rakenne, orgaanisen aineksen määrä ja ravinnetila vaikuttavat rikkakasvien esiintymiseen⁶³. Huolehtimalla tasapainoisesta lannoituksesta ja maan hyvästä vesitaloudesta voidaan viljelykasveille antaa kilpailuetua rikkakasveihin nähden⁶⁴. Monet rikkakasvit hyötyvät ylimääräisestä lannoituksesta enemmän kuin vil-

jelykasvit, sillä ne pystyvät hyödyntämään ravinteet tehokkaammin⁶⁵. Rikkakasvit kasvavat usein happamilla mailla paremmin kuin viljelykasvit. Siten maan sopiva pH auttaa osaltaan rikkakasvien ennaltaehkäisyssä⁶².

Viljelymenetelmillä on vaikutusta rikkakasvien ennaltaehkäisyyn. Saman kasvin viljely samalla paikalla vuodesta toiseen suosii niiden kasvurytmiin sopeutuneita rikkakasveja. Viljelykierron monipuolistaminen auttaa torjumaan rikkakasveja. Tutkimuksissa on havaittu rikkakasvien tiheyden ja siemenpankkien olleen pienempiä monipuolisessa viljelykierrossa monokulttuuriin verrattuna⁶⁶.

Useiden tutkimusten mukaan kerääjäkasvit voivat torjua rikkakasveja kilpailemalla niiden kanssa valosta, vedestä ja ravinteista. Jotkin kerääjäkasvit myös tuottavat yhdisteitä, jotka estävät rikkakasvien siementen itämistä ja kasvua.⁶⁷

62 Rajala 2005

63 Pätzold ym. 2020

64 Kaur ym. 2018

65 Rajala 2005; Kaur ym. 2018

66 Saulic ym. 2022; Weisberger ym. 2019

67 Blanco-Canqui ym. 2015; Koppelmäki ym. 2016

2.11 Monimuotoisuus ja maan kasvukunto kulkevat käsi kädessä

Maaperäeliöiden määrä ja monimuotoisuus muodostaa osan maan biologisesta kasvukunnosta. Siihen vaikuttavat muut kasvukunnon osa-alueet.

Maan rakenne ja kuivatus sekä orgaanisen aineksen määrä ovat tärkeitä tekijöitä, jotka vaikuttavat maaperäeliöiden elinolosuhteisiin. Peltoekosysteemissä maan muokkaus ja sadon vieminen pois pienentää orgaanisen aineksen määrää. Kun orgaaninen aines vähenee, vähenee myös maaperän eliöstö. Suomessa on havaittu orgaanisen aineksen määrän vähenevä trendi viljelymailla jo 1950-luvulta alkaen.⁶⁸

Lierot ovat maan kasvukunnon indikaattorilaji. Maan tiivistymisen estäminen ja eloperäisen aineksen, erityisesti lannan, lisääminen pellolle kasvattaa lierojen määrää. Lierot puolestaan parantavat kasvien kasvuolosuhteita kuohkeutamalla maata, pilkkomalla kasvimassaa ja sekoittamalla sitä. Ne myös edistävät maaperän bakteerien toimintaa.⁶⁹

Kasvien juuret muodostavat tärkeän osan maaperän biologiaa ja niiden monimuotoisuus vaikuttaa maaperäeliöihin. Juurista erittyy maahan sokereita ja aminohappoja, ja vanhoista juurista irtoaa kuollutta pintasolukkoa, joita maaperän sienet ja bakteerit käyttävät ravinnokseen. Juurten lähellä on muuta maaperää runsaammin maaperäeliöitä ja juurten monimuotoisuus lisää maaperäeliöiden monimuotoisuutta.⁷⁰

Maanalainen ja maanpäällinen monimuotoisuus tukevat toisiaan eli kasvien monimuotoisuus vaikuttaa positiivisesti maaperäeliöiden monimuotoisuuteen ja päinvastoin⁷¹. Täten viljelykasvien monimuotoisuus ja peltojen ympärille jätettävät viljelemättömät alueet, joilla kasvaa monimuotoinen kasvilajisto, ovat tärkeitä maaperäeliöiden monimuotoisuuden kannalta. Esimerkiksi lieroille peltojen viljelemättömät reuna-alueet toimivat leviämisreitteinä⁷². Myös viljelykasvien monimuotoisuutta lisäämällä, kuten monipuolisella viljelykierrolla tai kerääjäkasvien käytöllä, voidaan edistää maaperäeliöiden monimuotoisuutta⁷¹.

68 Huhta & Hallanaro 2019, s. 303

69 Huhta & Hallanaro 2019, s. 19, 174–180

70 Huhta & Hallanaro 2019, s. 23; Yang ym. 2020

71 Cappelli ym. 2022

72 Haimi & Nuutinen 2018

3 Katsaus maan kasvukunnon hoitomenetelmiin

Maan kasvukunnon hoitomenetelmillä voidaan vaikuttaa maaperän fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin. Oikeilla, pellon olosuhteisiin soveltuvilla menetelmillä voidaan parantaa maan rakennetta, ravinteiden saantia ja vedenpidätyskykyä.

Maan kasvukuntovuori (kuva 16) havainnollistaa maan kasvukunnon hoidon ja ylläpidon toimenpiteiden tärkeysjärjestystä. Vuorta kivutaan askel askeleelta siten, että ensin laitetaan kuntoon alareunassa sijaitsevat, tärkeimmät perusasiat. Kaikki lähtee kunnossa olevasta pellon kuivatuksesta. Seuraavaksi tulee maan rakenne: Maan tiivistymistä tulee välttää ja syntyneet tiivistymät korjata.

Tämä vaikuttaa olennaisesti myös pellon vesitalouteen. Kolmanneksi varmistetaan tasapainoinen lannoitus ja tarpeen mukainen kalkitus.

Näitä perusasioita ei käsitellä tässä luvussa, mutta oheinen tietolaatikko ohjaa lisätiedon lähteille.

Seuraavissa alaluvuissa esitellään viljelykiertoon, orgaanisiin lannoitteisiin ja maanparannusaineisiin sekä maan muokkauksen minimointiin liittyviä maan kasvukunnon hoitomenetelmiä ja niiden vaikutuksia. Näillä toimilla päästään maan kasvukunnon kohentamisessa jo varsin pitkälle! Vuoren huipulla on mahdollisuuksia vielä hienosäätöön.



Kuva 16. Maan kasvukuntovuori. Muokattu Juuso Joonan kuvasta.

Lisätietoa maan kasvukunnon hoidon perusteista

1. KUIVATUS

Uudistavan viljelyn e-opiston luku 5.3. Vesitalouden parantaminen

courses.minnalearn.com/fi/courses/regenfarming/kunnosta-pelto/vesitalouden-parantaminen

Salaojayhdistyksen oppaat

www.salaojayhdistys.fi/category/oppaat-fi

2. TIIVISTYMISEN VÄLTÄMINEN

Uudistavan viljelyn e-opiston luku 5.4. Tiivistymisen ehkäisy:

courses.minnalearn.com/fi/courses/regenfarming/kunnosta-pelto/tiivistymisen-ehkaisy

3. TASAPAINOINEN LANNOITUS JA PH:N HALLINTA

Uudistavan viljelyn e-opiston luku 5.2. Tasapainoinen kasvinravitseminen:

courses.minnalearn.com/fi/courses/regenfarming/kunnosta-pelto/tasapainoinen-kasvinravitseminen

Kaikista osa-alueista (1–3) löytyy paljon tietoa Helsingin yliopiston Ruralia-instituutin sivustolla

www.helsinki.fi/fi/ruralia-instituutti/opetus/maan-kasvukunto

3.1 Viljelykierto

Viljelykierrolla tarkoitetaan sitä, että peräkkäisinä vuosina samalla pellolla kasvatetaan eri kasveja. Yksipuoliseen viljelykiertoon, kuten esimerkiksi vain kevätiljoihin perustuvaan viljelyyn, liittyy monenlaisia riskejä: sää- ja satoriski, laatu- sekä hintariski.

Monipuolinen viljelykierto ylläpitää maan hyvää rakennetta ja maaperän hedelmällisyyttä. Sen avulla voidaan hillitä rikkojen, tuhohyönteisten ja tautien aiheuttamia haittoja. Viljelykasvien monimuotoisuus on tärkeää sadon tuotannon optimoimiseksi ja ravinteiden käytön tehokkuuden parantamiseksi.⁷³

Monipuolisessa viljelykierrossa käytetään ominaisuuksiltaan erilaisia kasveja, jotka vaikuttavat maaperään eri tavoin. Tiedetyt kasvit, kuten palkokasvit, voivat parantaa maan ravinnetilaa sitomalla typpeä. Useimmat kasvit muodostavat sienijuuren, mutta eri kasveilla tämä symbioosi muodostuu eri sienten kanssa. Erilaiset kasvit jättävät maahan erilaisia juuria ja muita kasvijäännöksiä – toisten juuret ylettyvät laajalle, toiset taas syvälle. Tämä kasvien monimuotoisuus lisää maaperän mikrobien monimuotoisuutta. Mikrobien monimuotoinen toiminta taas parantaa mm. maan mururakennetta.⁷⁴

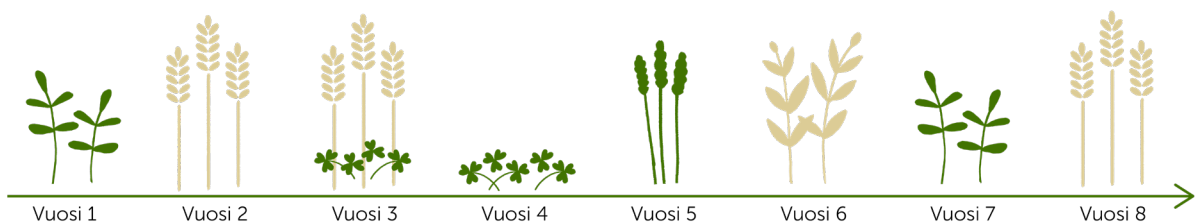
Syväjuuriset kasvit voivat rikkoa tiivistyneitä maakerroksia parantaen veden imeytymistä ja

juurikasvua. Tällaista biologista syväkuohkeutusta pellossa tekevät syväjuuriset monivuotiset nurmikasvit, syysöljykasvit, syysruis ja jotkin aluskasvit.⁷⁵

Viljelykierrolla on suuri merkitys hiilivarastojen kehityksessä ja ylläpidossa. Esimerkiksi ruotsalaisessa pitkäaikaisessa kenttätutkimuksessa havaittiin, että viljelykierrossa, jossa oli nurmia mukana, kehittyi suurempi hiilen varasto kuin viljamonokulttuurissa.⁷⁶

Monipuoliset ja monivuotiset nurmet sekä peltojen kattava talviaikainen kasvipeitteisyys hoitavat tehokkaasti maaperän kasvukuntoa. Nämä toimenpiteet vähentävät eroosiota, parantavat maan rakennetta ja lisäävät tai säilyttävät orgaanisen aineksen pitoisuutta maaperässä.⁷⁷

Kerääjäkasveja käytetään mm. torjumaan eroosiota ja ravinnehuuhtoumia. Ne voivat myös vähentää maaperän alttiutta tiivistymiselle parantamalla mururakennetta ja lisäämällä orgaanisen aineksen määrää⁷⁸. Joidenkin kerääjäkasvien laaja juuristo voi parantaa myös mikrobien elinoloja. Ohralla kerääjäkasvien on todettu vähentävän lehtitauteja⁷⁹. Yksi viljelykierron merkittävimmistä eduista onkin maaperässä leviävien patogeenien aiheuttamien kasvitautien väheneminen⁸⁰.



Kuva 17. Monipuolisessa viljelykierrossa käytetään monipuolisesti erilaisia kasveja. Ominaisuuksiltaan erilaiset kasvit vaikuttavat maaperään eri tavoin. Ne tuottavat erilaisia kasvintähteitä ja niiden erilaiset juuret vaikuttavat maahan eri tavoin. Esimerkiksi syväjuuriset kasvit voivat kuohkeuttaa maata. Esikasvit eli edellisenä vuonna viljellyt kasvit voivat vaikuttaa myönteisesti seuraavaan viljelykasviin. Esikasvin vaikutukset voivat näkyä mm. satokasvin parempana ravinteiden hyödyntämisenä, kasvitautien vähenemisenä sekä maan rakenteen paranemisenä.

73 Barbieri ym. 2019

74 Blanco-Canqui ym. 2015; Cappelli ym. 2022

75 Bodner ym. 2021

76 Börjesson ym. 2018

77 Ball ym. 2005

78 Blanco-Canqui ym. 2015

79 Cappelli ym. 2024

80 Peters ym. 2003

3.2 Maanparannusaineet

Maanparannusaineet ovat materiaaleja, joita lisätään maahan sen fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten ominaisuuksien parantamiseksi. Ne auttavat parantamaan maan rakennetta, veden ja ravinteiden pidätyskykyä, ilmankiertoa, mikrobiologista aktiivisuutta sekä ehkäisemään maaperän tiivistymistä ja eroosiota. Peltoon lisättävät maanparannusaineet voivat olla orgaanisia tai epäorgaanisia, ja niiden valinta riippuu maaperän kunnosta ja viljelykasvien tarpeista. Ne sisältävät vaihtelevan määrän ravinteita.

Eloperäiset maanparannusaineet ja lannoitteet, kuten eläinten lanta tai kasvimateriaalit, lisäävät maaperän eloperäisen aineksen määrää. Tämä parantaa maan rakennetta vähentämällä tiivistymisriskiä ja parantamalla maan vedenläpäisykykyä. Erilaiset orgaaniset materiaalit vaikuttavat myös maaperän mikrobiyhteisön rakenteeseen.⁸¹

Maanparannuskuituja valmistetaan paperi- ja selluteollisuuden sivutuotteena syntyvistä kuituliitteistä. Peltoon lisätään valmista kuitua kuituvalannon levitykseen sopivalla kalustolla. Levityksen jälkeen kuitu muokataan pintamaahan. Maanparannuskuitu sisältää aina paljon hiiltä, mutta eri kuitutuotteet sisältävät eri määrän ravinteita. Maanparannuskuidun teho perustuu

mikrobitoimintaan, joka parantaa maaperän murukestävyyttä. Tämä puolestaan vähentää maa-aineksen ja fosforin huuhtoutumista.⁸²

Biohiilen korkea ominaispinta-ala ja huokoinen rakenne voivat parantaa maaperän kykyä pidättää vettä ja ravinteita sekä siten edistää niiden saatavuutta viljelykasveille. Biohiili voi myös muuttaa maaperän fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia ominaisuuksia niin, että kasvihuonekaasupäästöt ja ravinteiden huuhtoutuminen saattavat vähentyä.⁸³

Rakennekalkitus eroaa tavallisesta kalkituksesta siten, että pH:n noston lisäksi sillä pyritään pitkäaikaisesti parantamaan savimaan mururakennetta. Tätä kautta rakennekalkitus vähentää maa-aineksen ja siihen sitoutuneen fosforin hävikkiä.⁸⁴

Kipsiä voidaan käyttää ensiapuna fosforin huuhtoutumisen vähentämiseen savimailla. Käsittely vaikuttaa nopeasti, mutta vaikutus kestää vain noin viisi vuotta. Sitä voidaan käyttää myös rikki- ja kalsiumlannoitteena. Maan rakenteen parantamiseen kipsiä voi käyttää paljon magnesiumia ja alumiinia sisältävillä savimailla. Kipsiä ei voi käyttää järvien valuma-alueilla eikä pohjavesi-alueiden lähistöllä.⁸⁵

81 Alakukku 2016; Heikkinen ym. 2021

82 Uusi-Kämpä ym. 2022

83 Kalu ym. 2022; Kalu ym. 2024

84 Berninger 2014; Blomqvist ym. 2017

85 Ollikainen ym. 2018; Rajala ym. 2019

3.3 Tarpeen mukainen muokkaus

Voimakas muokkaus eli perinteinen kyntö heikentää maan rakennetta nopeuttamalla helposti hajoavan orgaanisen aineksen hajotustoimintaa, mikä johtaa mururakenteen huononemiseen. Jos maan rakenne on huono, maan pinta voi liettyä. Tällöin maan pinta kovettuu kuivuessaan.

Tiivistyneen maan toipuminen on hidasta ja voi kestää jopa vuosikymmeniä. Ruokamultakerroksen tiivistymät ovat havaittavissa myös kynnön jälkeen.⁸⁶

Kevennetty muokkaus lisää pieneliötoimintaa ja parantaa pintamaan multavuutta kasvitähteiden jäädessä pellon pintaan. Myös ravinteet pysyvät pellon pinnassa. Pintamaan murujen vedenkestävyys paranee, jolloin eroosion, liettymisen ja kuorettumisen riskit vähenevät. Selkeimmin kevytmuokkauksen positiiviset vaikutukset näkyvät mururakenteen paranemisena savimailla.⁸⁷

Suorakylvöä pidetään eroosion torjunnan kannalta parempana kuin perinteistä muokkausta, koska suorakylvö estää eroosiota lisäämällä kasvijäänteiden suojaavaa peitettä maaperän pinnalla ja vähentämällä sedimenttien huuhtoutumista. Suorakylvetyillä mailla sato on pohjoisilla alueilla usein pienempi verrattuna kynnetyihin maihin, erityisesti ensimmäisinä vuosina sen käyttöönoton jälkeen. Tutkimusten mukaan muokkauksen lopettaminen paransi maaperän ja hiilen stabiilisuutta lisäämällä maahiukkasten keskimääräistä kokoa ja hiilipitoisuutta. Tähän vaikutti luultavasti sekä vähäisempi maaperän

häiriö että maaperän eliöiden suurempi stabiloiva toiminta.⁸⁸

Suorakylvetyillä tai kevytmuokatuilla mailla on usein korkeampi hiilipitoisuus pintamaan kerroksissa, mutta vastaavasti vähemmän hiiltä syvemmissä maakerroksissa kynnetyihin maihin verrattuna. Suorakylvetyillä mailla myös typen pitoisuus on usein korkeampi pintamaassa kuin syvemmissä kerroksissa. Tutkimuksissa on huomattu, että maaperän alttius tiivistymiselle vähenee, kun orgaanisen hiilen pitoisuus kasvaa lähellä maapintaa. Vaikka maan muokkaamatta jättäminen on tehokas keino vähentää eroosiota ja lisätä pintamaan hiilipitoisuutta, tarvitaan muitakin keinoja maan hiilivaraston kasvattamiseksi, erityisesti savimaiden syvemmissä kerroksissa.⁸⁹

Suorakylvön mahdollisia haittoja ovat rikkakasvien lisääntyminen sekä kylvön viivästyminen kevätiljoilla viileässä ilmastossa maan liian korkean kosteuspitoisuuden ja suhteellisen alhaisen pintamaan lämpötilan vuoksi⁹⁰. Suorakylvö lisää liukoisen fosforin kuormitusriskiä fosforin kertyessä pellon pintakerrokseen⁹¹. Lisäksi sementen läheinen kosketus kasvin jäänteisiin suorakylvetyssä maassa lisää sienitautien riskiä kosteissa oloissa⁹².

Kevennetty muokkaus ei siis toimi kaikissa tilanteissa. Esimerkiksi rikkakasviongelmien kanssa painivilla peltolohkoilla, tai kun tiivistynyttä maata pitää kuohkeuttaa, tarvitaan myös voimakkaampia muokkauskeinoja.

86 Alakukku 2016; Alakukku & Mattila 2017

87 Alakukku 2016

88 Honkanen ym. 2021

89 Honkanen ym. 2021; Blanco-Canqui ym. 2015

90 MacLaren ym. 2021

91 Muukkonen ym. 2010

92 Soane ym. 2012

Lopuksi

Toivomme, että tämä julkaisu tarjosi sinulle hyödyllistä tietoa ja uusia näkökulmia peltomaan kasvukunnon merkityksestä.

Jos olet viljelijä ja haluat opiskella lisää siitä, miten maan kasvukuntoa voidaan parantaa, hyvä paikka aloittaa on maksuton, noin 60 tunnin laajuinen **Uudistavan viljelyn e-opisto**, jossa voit syventyä aiheeseen omaan tahtiin. Sieltä löydät myös viittauksia muihin oppaisiin ja tiedonlähteisiin.

Jos taas et ole viljelijä, mutta haluat oppia lisää siitä, miten maan kasvukunnon jatkuva parantaminen voi auttaa ratkaisemaan ruokajärjestelmän kestävyysongelmia, voit tutustua maksuttomaan, noin kahden tunnin mittaiseen **Uudistavan viljelyn tehokurssiin** verkossa.

Jos julkaisu herätti ajatuksia tai antoi inspiraatiota, kannustamme sinua syventämään osaamistasi ja seuraamaan aiheesta käytävää keskustelua. Uutta tutkimustietoa ja käytännön kokemuksia kertyy jatkuvasti, joten oppiminen ja kehittäminen eivät lopu tähän.

Uudistavan viljelyn e-opisto

bsag.fi/uudistavan-viljelyn-opisto

Uudistavan viljelyn tehokurssi

bsag.fi/uudistavan-viljelyn-tehokurssi



Lähteet

Alakukku, L. 2016.

Maan rakenne. Teoksessa: Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. (toim.) Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö.2. täydennetty painos. Helsinki: Salaojayhdistys ry. Ss. 53–72. Saatavilla: https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2022/05/web_maanvesijaravinnetalous_B5_2016.pdf

Alakukku, L. & Pietola, L. 2002.

Maan rakenteen vaikutus vesitalouteen. Teoksessa: Alakukku, L., Teräväinen, H. (toim.). Maan rakenteen hoito. ProAgria Maaseutokeskusten Liitto & MTT. s. 5–10. Tieto tuottamaan 98. ISSN 0357-7295, ISBN 951-808-104-2.

Alakukku, L. & Mattila, T. 2017.

Tiivistymien korjaaminen. Teoksessa: Peltonen, S. & Anttila, S. (toim.) Peltojen kunnostus. Tieto tuottamaan nro 143, ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja nro 1153.

Altieri, M.A. & Nicholls, C.I. 2003.

Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. Soil and Tillage Research 72(2): 203–211. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00089-8](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00089-8)

Bakken, L.R., Borresen, T. & Njos, A. 1987.

Effect of soil compaction by tractor traffic on soil structure, denitrification, and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Soil Science 38 (3) 541–552. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1987.tb02289.x>

Ball, B.C., Bingham, I., Rees, R.M., Watson, C.A. & Litterick, A. 2005.

The role of crop rotations in determining soil structure and crop growth conditions. Canadian Journal of Soil Science 85(5): 557–577. <https://doi.org/10.4141/S04-078>

Barbieri, P., Pellerin, S., Seufert, V. & Nesme, T. 2019.

Changes in crop rotations would impact food production in an organically farmed world. Nature Sustainability 2, 378–385. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0259-5>

Berninger, K. 2014.

Maatalouden vesiensuojelun, ravinteiden hallinnan ja lannan käsittelyn esimerkkejä ulkomailta. Tyrsky-Konsultointi Oy. Järki-hankkeelle tehty selvitys.

Berninger, K. 2018.

Ravinteiden kierrätys Suomessa – Koskeeko asia minua?

Saatavilla: https://tyrskyconsulting.fi/wp-content/uploads/2018_ravinteiden_kierratys_suomessa.pdf

Blanco-Canqui, H., Shaver, T.M., Lindquist, J.L. & Shapiro, C.A. 2015.

Cover Crops and Ecosystem Services: Insights from Studies. Agronomy Journal. 107 (6): 2449–2474. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0086>

Blomquist, J., Simonsson, M., Etana, A. & Berglund, K. 2017.

Structure liming enhances aggregate stability and gives varying crop responses on clayey soils. Acta Agriculturae Scandinavica, osa B – Soil & Plant Science 68 (4), 311–322. <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1400096>

Bodner, G., Mentler, A. & Keiblinger, K. 2021.

Plant Roots for Sustainable Soil Structure Management in Cropping Systems. In: Rengel, Z. & Djalovic, I. The root systems in sustainable agricultural intensification. Pp. 45–90. John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119525417.ch3>

Brady, N.C. & Weil, R. R. 2017.

The Nature and Properties of Soils, 15th edition. Columbus: Pearson.

Börjesson, G., Bolinder, M.A., Kirchmann, H. & Kätterer, T. 2018.

Organic carbon stocks in topsoil and subsoil in long-term ley and cereal monoculture rotations. Biology and fertility of soils 54: 549–558. Saatavilla: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-018-1281-x>

Cappelli, S.L., Domeignoz-Horta, L.A., Loaiza, V. & Laine, A-L. 2022.

Plant biodiversity promotes sustainable agriculture directly and via belowground effects. Trends in Plant Science 27(7): 674–687. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.02.003>

Cappelli, S.L., Domeignoz-Horta, L.A., Gerin, S., Heinonsalo, J., Lohila, A., Raveala, K., Schmid B., Tiusanen, M.J., Thitz, P. & Laine, A-L. 2024.

Potential of undersown species identity versus diversity to manage disease in crops. Functional Ecology, 38:1497–1509. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14592>

Derrien, D., Barr, P., Basile-Doelsch, I., Cecillon, L., Chabbi, A., Crème, A., Fontaine, S., Henneron, L., Janot, N., Lashermes, G., Quenea, K., Rees, F. & Dignac, M.-F. 2023.

Current controversies on mechanisms controlling soil carbon storage: implications for interactions with practitioners and policy-makers. A review. Agronomy for Sustainable Development 43:21. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00876-x>

Divito, G.A. & Sadras, V.D. 2014.

How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A meta-analysis. *Field Crops Research* 156: 161–171.

Saatavilla: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/25635/CONICET_Digital_Nro.670aee70-8c62-46fb-832a-599232c27804_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Euroopan Komissio. 2023.

Proposal for a Directive on Soil Monitoring and Resilience. Saatavilla:

https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-directive-soil-monitoring-and-resilience_en.

Haimi, J. & Nuutinen, V. 2018.

Peltomaan lierot ja niiden merkitys maan kasvukunnossa. VILKKU plus -hanke.

Saatavilla: <https://kasvukunto.fi/vilkku-hanke/wp-content/uploads/2020/05/Peltomaan-lierot-ja-niiden-merkitys-maan-kasvukunnossa-Jari-Haimi.pdf>

Hartikainen, H. 2016a.

Maaperä. Teoksessa: Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. (toim.) *Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö.2. täydennetty painos.* Helsinki: Salaojayhdistys ry. Ss. 7–72. Saatavilla:

https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2022/05/web_maanvesijaravinnetalous_B5_2016.pdf

Hartikainen, H. 2016b.

Fosfori. Teoksessa: Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. (toim.) *Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö.2. täydennetty painos.* Helsinki: Salaojayhdistys ry. Ss. 183–190. Saatavilla:

https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2022/05/web_maanvesijaravinnetalous_B5_2016.pdf

He, D. & Wang, E. 2019.

On the relation between soil water holding capacity and dryland crop productivity.

Geoderma 353:11–24. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.06.022>

Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V. & Regina, K. 2013.

Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009.

Global Change Biology 19: 1456–1469. <https://doi.org/10.1111/gcb.12137>

Heikkinen, J., Ketoja, E., Seppänen, L., Luostarinen, S., Fritze, H., Pennanen, T., Peltoniemi, K., Velmala, S., Hanajik, P. & Regina, K. 2021.

Chemical composition controls the decomposition of organic amendments and influences the microbial community structure in agricultural soils. *Carbon management* 21: 12.4: 359–376.

<https://doi.org/10.1080/17583004.2021.1947386>

Heinonsalo, J. 2020.

Hiiliopas. Katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin.

BSAG. Saatavilla: <https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2020/01/BSAG-hiiliopas-1.-painos-2020.pdf>

Honkanen, H., Turtola, E., Lemola, R., Heikkinen, J., Nuutinen, V., Uusitalo, R., Kaseva, J. & Regina, K. 2021.

Response of boreal clay soil properties and erosion to ten years of no-till management.

Soil & Tillage Research 212 (2021) 105043. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105043>

Huhta, V. & Hallanaro, E.-L. (toim.) 2019.

Elämää maan kätköissä. Gaudeamus. ISBN 978-952-026-4.

Jaakkola, A. 1992.

Kasvinravitseemus. Teoksessa: Heinonen R., (toim.) *Maa, viljely ja ympäristö.* Porvoo, WSOY. s. 173–254. ISBN 951-0-17090-9 (nid.9.)

Jastrow, J.D., Amonette, J.E. & Bailey, V.L. 2007.

Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. *Climatic Change* 80:5–23. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9178-3>

Kaiser, K. & Kalbitz, K. 2012.

Cycling downwards – dissolved organic matter in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 52: 29–32.

<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.04.002>

Kalu, S., Kulmala, L., Zrim, J., Peltokangas, K., Tammeorg, P., Rasa, K., Kitzler, B., Pihlatie, M. & Karhu, K. 2022.

Potential of biochar to reduce greenhouse gas emissions and increase nitrogen use efficiency in boreal arable soils in the long-term. *Frontiers in Environmental Science* 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.914766>

Kalu, S., Seppänen, A.A., Mganga, k., Sietiö, O-M., Glaser, M. & Karhu, K. 2024.

Biochar reduced the mineralization of native and added soil organic carbon: evidence of negative priming and enhanced microbial carbon use efficiency. *Biochar* 6 (7). <https://doi.org/10.1007/s42773-023-00294-y>

Kane, D.A., Bradford, M.A., Fuller, E., Oldfield, E.E. & Wood, S.A. 2021.

Soil organic matter protects US maize yields and lowers crop insurance payouts under drought.

Environmental Research Letters 16: 4. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe492>

Kaur, S., Kau, R. & Chauhan, B.S. 2018.

Understanding crop-weed-fertilizer-water interactions and their implications for weed management in agricultural systems. Crop Protection 103: 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.09.011>

Keller, T., Sandin, M., Colombi, T., Horn, R. & Or, D. 2019.

Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. Soil and Tillage Research 194: 104293. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293>

Keskitalo, M., Känkänen, H., Palojärvi, A., Pennanen, T., Schulman, A., Tanhuanpää, P. & Viitala, S. 2022.

Biologiset prosessit kasvin typensaannin turvaajana. Teoksessa: Vainio, E. (toim.). 2022. Maatalouden typpihaaste – vaihtoehtoja ja ratkaisuja: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 35–45. Saatavilla: <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/551964>

Kim, J. & Rees, D.C. 1994.

Nitrogenase and biological nitrogen fixation. Biochemistry 33(2):389–97. <https://doi.org/10.1021/bi00168a001>

Kirkby, E. 2012.

Introduction, definition and classification of nutrients. Teoksessa: Marschner, P. (toim.) Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition). Elsevier, pp. 3–5. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00016-2>

Koppelmäki, K., Känkänen, H. & Salonen, J. 2016.

Luomupeltojen rikkakasvien hallinta peitekasvien avulla. Kirjallisuuskatsaus. Luonnonvarakeskus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 65/2016. Saatavilla: https://orgprints.org/id/eprint/30916/1/Luke-luobio_65_2016.pdf

Kätterer, T. & Bolinder, M.A. 2024.

Response of maize yield to changes in soil organic matter in a Swedish long-term experiment. European Journal of Soil Science 75(2): e13482. <https://doi.org/10.1111/ejss.13482>

Kätterer, T., Bolinder, M. A., Andrén, O., Kirchmann, H. & Menichetti, L. 2011.

Roots contribute more to refractory soil organic matter than aboveground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. Agriculture Ecosystems and Environment 141(1-2):184–192. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.029>

Lambert, D.H. & Manzer, F.E. 1991.

Relationship of Calcium to Potato Scap. Phytopathology 81 (6): 632–636. Saatavilla: https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1991Articles/Phyto81n06_632.PDF

Lemola, R., Uusitalo, R., Hyväluoma, J., Sarvi, M. & Turtola, E. 2018.

Suomen peltojen maalajit, multavuus ja fosforipitoisuus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2018. Luonnonvarakeskus. Saatavilla: https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/541851/luke-luobio_17_2018.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Lemola, R., Uusitalo, R., Luostarinen, S., Tampio, E., Laakso, J., Lehtonen, E., Skyttä A. & Turtola, E. 2023.

Fosforin kierrätyksen tarve ja potentiaali kasvintuotannossa. Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 10/2023. Saatavilla: <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/553083>

Lian, T., Cheng, L., Liu, Q., Yu, T., Cai, Z., Nian, H. & Hartmann, M. 2023.

Potential relevance between soybean nitrogen uptake and rhizosphere prokaryotic communities under waterlogging stress. ISME Communications 3 (1): 71. <https://doi.org/10.1038/s43705-023-00282-0>

Libohova, Z., Seybold, C., Wysocki, D., Wills, S., Schoeneberger, P., Williams, C., Lindbo, D., Stott, D. & Owens, P.R. 2018.

Reevaluating the effects of soil organic matter and other properties on available water-holding capacity using the National Cooperative Soil Survey Characterization Database. Journal of soil and water conservation 73 (4) 411–421. Saatavilla: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2489/jswc.73.4.411>

Lin, J., Bjørk, P.K., Kolte, M.V., Poulsen, E., Dedic, E., Drace, T., Andersen, S.U., Nadzieia, M., Liu, H., Castillo-Michel, H., Escudero, V., Gonzalez-Guerrero, M., Boesen, T., Pedersen, J.S., Stopugaard, J., Andersen, K.R. & Reid, D. 2024.

Zinc mediates control of nitrogen fixation via transcription factor filamentation. Nature 631: 164–169. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07607-6>

Liu-Xu, L., Gonzalez-Hernandez, A.I., Camanes, G., Vicedo, B., Scalschi, L. & Llorens, E. 2024.

Harnessing green helpers: nitrogen-fixing bacteria and other beneficial micro-organisms in plant-microbe interactions for sustainable agriculture. Horticulturae 10(6):621. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10060621>

Luonnonvarakeskus. 2024.

Satopotentiaalin voi nyt tarkastaa satotilastosta. Blogi. Saatavilla: <https://www.luke.fi/fi/blogit/satopotentiaalin-voi-nyt-tarkastaa-satotilastosta>

Luonnonvarakeskus. 2025.

Viljelykasvien sato ja satopotentiaali. Saatavilla: https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02%20Maatalous__04%20Tuotanto__14%20Satotilasto/02a_Viljasadon_laatu_mk.px/

- MacLaren, C., Labuschagne, J., & P.A. Swanepoel, P.A. 2021.
Tillage practices affect weeds differently in monoculture vs. crop rotation. Soil and Tillage Research 205: 104795. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104795>
- Mahmood, S., Nunes, M.R., Kane, D.A. & Lin, Y. 2023.
Soil health explains the yield-stabilizing effects of soil organic matter under drought. Soil & Environmental Health 1 (4). <https://doi.org/10.1016/j.seh.2023.100048>
- Malin, E. 2020. Kerääjäkasviopas.
Käytännön ohjeita kerääjä kasvien hyödyntämiseen Suomessa. BSAG.
Saatavilla: https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2022/07/Keraajakasviopas_2020_web.pdf
- Martínez-Mera, E.A., Torregroza-Espinosa, A. C., Valencia-García, A. & Rojas-Gerónimo, L. 2017.
Relationship between soil physicochemical characteristics and nitrogen-fixing bacteria in agricultural soils of the Atlántico department, Colombia. Soil Environ. 36(2): 174–181. <https://doi.org/10.25252/SE/17/51202>
- Mattila, T.J. 2014.
Veden varastointi peltoon. Ravinnehuhtoumien hallinta (RaHa). Fakta 6. Saatavilla: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/103473/RaHa_vedenvarastointi%20peltoon%20nettiin%204s.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Mattila, T.J. 2024.
Cover crops and soil loosening are key components for managing P and C stocks in agricultural soils. Soil use and Management 40(1): e12976. <https://doi.org/10.1111/sum.12976>
- Mattila, T. J. & Rajala, J. 2017.
Mistä ja miten tunnistaa maan hyvän kasvukunnon?
Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. Saatavilla: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/229450>
- Mattila, T.J. & Rajala, J. 2018.
Improving phosphorus availability and reducing emissions through soil health – experiences from 24 test fields. 3rd European Sustainable Phosphorus Conference 2018 (ESPC3). Saatavilla: <https://www.helsinki.fi/fi/ruralia-instituutti/opetus/maan-kasvukunto/improving-phosphorus-availability-and-reducing-emissions-through-soil-health-experiences-24-test-fields>
- Mattila, T.J. & Vihanto, N. 2024.
Agricultural Limitations to Soil Carbon Sequestration: Plant Growth, Microbial Activity, and Carbon Stabilization. Agriculture, Ecosystems & Environment 367: 108986. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.108986>
- Mattila, T. J., Manka, V., Rajala, J., Ajosenpää, H., Luokkakallio, J. & Tuononen, M. 2018.
Kuinka maan kasvukuntoa kehitetään? Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. Raportteja 189. Saatavilla: <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/b8815992-c52c-470f-b0dd-8e3dd24a0bb8/content>
- Meyer, N., Bergez, J.-E. & Constantin, J. 2019.
Cover crops reduce water drainage in temperate climates: A meta-analysis. Agronomy for Sustainable development 39:3. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0546-y>
- Minasny, B. & McBratney, A.B. 2018.
Limited effect of organic matter on soil available water capacity. European Journal of Soil Science. 69(1): 39–47. <https://doi.org/10.1111/ejss.12475>
- Muukkonen, P., Hartikainen, H. & Alakukku, L. 2010.
Liukoinen fosforikuormitus kuriin suorakylvöpellöillä. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote nro 26. <https://doi.org/10.33354/smst.75819>
- Myers, D.F. & Campbell, R.N. 1985.
Lime and the control of clubroot of crucifers: effects of pH, calcium, magnesium and their interactions. Phytopathology 75: 670–673. Saatavilla: https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1985Articles/Phyto75n06_670.pdf
- Ollikainen, M., Ekholm, P., Puntila, E., Ala-Harja, V., Riihimäki, J., Puroila, S., Kosenius, A.-K. & Iho, A. 2018.
Peltojen kipsikäsittely maatalouden vesiensuojelukeinona. Helsingin yliopisto ja Suomen ympäristökeskus. Saatavilla: <https://blogs.helsinki.fi/save-kipsihanke/files/2018/11/SAVE-hankkeen-tietopaketti-kipsik%C3%A4sittely%C3%A4.pdf>
- Pagliai, M., Vignozzi, N & Pellegrini, S. 2004.
Soil structure and the effect of management practices. Soil and Tillage Research 79 (2):131–143. <https://indico.ictp.it/event/a06222/material/4/44.pdf>
- #Peruna 365. 2025.
Perunarupi. Saatavilla: <https://perunasta.fi/perunarupi-useat-streptomyces-lajit-oireet-epidemiologia-ja-taudin-hallinta-keinot>
- Peters, R.D., Sturz, A.V., Carter, M.R. & Sanderson, J.B. 2003.
Developing disease-suppressive soils through crop rotation and tillage management practices. Soil and Tillage Research 72 (2), 181–192. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00087-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00087-4)

- Poeplau, C., Dechow, R., Begill, N. & Don, A. 2024.
Towards an ecosystem capacity to stabilise organic carbon in soils. *Global Change Biology* 30 (8): e17453. <https://doi.org/10.1111/gcb.17453>
- Pätzold, S., Hbirkou, C., Dicke, D., Gerhards, R. & Welp, G. 2020.
Linking weed patterns with soil properties: a long-term case study. *Precision Agriculture* 21: 569–588. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09682-6>
- Rajala, J. (toim.) 2005.
Luomuviljelyn suunnittelu – työohjeita. Helsingin yliopisto, Ruralia-instituutti, Mikkeli.
Saatavilla: <https://www.finna.fi/L1Record/aoe.1466>
- Rajala, J., Mattila, T.J & Mynttinen, R. 2019.
Kipsi maanparannusaineena ja lannoitteena. *Luomulehti* (3): 32–34. Saatavilla: <https://www.helsinki.fi/assets/drupal/2022-11/kipsi-maanparannusaineena-ja-lannoitteena.-rajala-mattila-mynttinen-luomulehti-3-2019.pdf>
- Ravander, J., Mattila, T. J. & Rajala, J. 2019.
Murukestävyys maan kasvukannon mittarina. Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. Raportteja 191. Saatavilla: <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/33f29ead-9791-4901-9146-3063a76ba514/content>
- Rumpel, C. & Kögel-Knabner, I. 2011.
Deep soil organic matter – a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant and Soil* 338: 143–158.
<https://doi.org/10.1007/s11104-010-0391-5>
- Salonen, A.-R., Soinne, H., Creamer, C., Lemola, R., Ruoho, N., Uhlgren, O., de Goede, R. & Heinonsalo, J. 2024.
Assessing the effect of arable management practices on carbon storage and fractions after 24 years in boreal conditions of Finland. *Geoderma Regional* 34: e00678.
<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00678>
- Saulic, M., Oveisi, M., Djalovic, I., Bozic, D., Pishyar, A., Savic, A., Prasad, P.V. & Vrbicanin, S. 2022.
How Do Long Term Crop Rotations Influence Weed Populations: Exploring the Impacts of More than 50 Years of Crop Management in Serbia. *Agronomy* 12(8): 1772. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081772>
- Soane, B.D., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F. & Roger Estrade, J. 2012.
No-till in northern, western and southwestern Europe: a review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil Tillage Research* 118:66–87.
Saatavilla: https://agroparistech.hal.science/hal-00956463/file/NO-TILL_PAPER_REVISÉ_HAL.pdf
- Soinne, H., Hyväluoma, J., Ketoja, E. & Turtola, E. 2016.
Relative importance of organic carbon, land use and moisture conditions for the aggregate stability of post-glacial clay soils. *Soil & Tillage Research* 158 (1–9). <http://doi.org/10.1016/j.still.2015.10.014>
- Soinne, H., Keskinen, R., Rätty, M., Kanerva, S., Turtola, E., Kaseva, J., Nuutinen, V., Simojoki, A. & Salo, T. 2020.
Soil organic carbon and clay content as deciding factors for net nitrogen mineralization and cereal yields in boreal mineral soils. *European Journal of Soil Science* 72:1497–1512. <https://doi.org/10.1111/ejss.13003>
- Sonon, L.S., Kissel, D.E. & Saha, U. 2014.
Cation exchange capacity and base saturation. UGA Extension, Circular 1040. University of Georgia. Saatavilla: https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/C%201040_1.PDF
- Sprent, J.I. 1972.
The effects of water stress on nitrogen fixing root nodules. *New Phytologist* 71(3): 443–450.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1972.tb01944.x>
- Svensk kolinlagring. 2024.
Metoder och principer inom regenerativt jordbruk. Saatavilla: <https://regenerativjordbruk.nu/topics/metoder-och-principer-inom-regenerativt-jordbruk/>
- Teng, J., Hou, R., Dungait, J.A.J., Zhou, G., Kuzyakov, J., Zhang, J., Tian, J., Cui, Z., Zhang, F. & Delgado-Baquerizo, M. 2024.
Conservation agriculture improves soil health and sustains crop yields after longterm warming. *Nature Communications* 15:8785. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53169-6>
- Thakur, R., Verma, S., Gupta, S., Negi, G. & Bhardwaj, P. 2021.
Role of Soil Health in Plant Disease Management: A Review. *Agricultural Reviews* 40(1): 70–76.
<https://arccjournals.com/journal/agricultural-reviews/R-1856>
- Tripathi, R., Tewari, R., Singh, K.P., Keswani, C., Minkina, T., Kumar, A., Srivastava, A.K., De Corato, U. & Sansinenea, E. 2022.
Plant mineral nutrition and disease resistance: A significant linkage for sustainable crop protection. *Frontiers in Plant Science, Section Plant Nutrition* 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.883970>
- Trought, M. C. T. & Drew, M. C. 1980.
The development of waterlogging damage in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). II. Accumulation and redistribution of nutrients by the shoot. *Plant and Soil*, 56, 187–199.
Saatavilla: <https://doi.org/10.1007/BF02205847>

- Uusi-Kämpä, J. 2005.
Phosphorus purification in buffer zones in cold climates. Ecological Engineering 24(5): 491–502.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.01.013>
- Uusi-Kämpä, J. & Jauhiainen, L. 2010.
Long-term monitoring of buffer zone efficiency under different cultivation techniques in boreal conditions. Agriculture, Ecosystems and Environment 137: 75–85.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.01.002>
- Uusi-Kämpä, J., Heikkinen, J., Leppänen, J., Luodeslampi, P., Nieminen, M., Rasa, K., Soinne, H. & Uusitalo, R. 2022.
Kuitulietteet maatalouden vesiensuojelukeinona KUITU-hankkeen loppuraportti. Vantaanjoen ja Helsingin vesiensuojeluyhdistys. Raportti 15/2022. Saatavilla: https://www.vhvsy.fi/files/upload_pdf/10171/Raportti%2015-2022_KUITU-hankkeen%20loppuraportti.pdf
- Valkama, E., Uusitalo R., Ylivainio, K., Virkajärvi, P. & Turtola, E. 2009.
Phosphorus fertilization: A meta-analysis of 80 years of research in Finland. Agriculture, Ecosystems and Environment 130, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.12.004>
- Van Schreven, D.A. & Sieben, W.H. 1972.
The effect of storage of soils under water-logged conditions upon subsequent mineralization of nitrogen, nitrification and fixation of ammonia. Plant and Soil 37: 245–253. <https://doi.org/10.1007/BF02139968>
- Weisberger, D., Nichols, V. & Liebman, M. 2019.
Does diversifying crop rotations suppress weeds? A meta-analysis. PLoS One 14(7):e0219847.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219847>
- Weisz, P.R., Denison, R.F. & Sinclair, T.R. 1985.
Response to drought stress of nitrogen fixation (Acetylene reduction) rates by field-grown soybeans. Plant Physiology 78:525–530. <https://doi.org/10.1104/pp.78.3.525>
- Whalley, W.R., Watts, C.W., Gregory, A.S., Mooney, S.J., Clark, L.J. & Whitmore, A.P. 2008.
The effect of soil strength on the yield of wheat. Plant and soil 306: 237–247.
 Saatavilla: http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/The-effect-of-soil-strength-on-the-yield-of-wheat.pdf
- Yang, T., Siddique, K.H.M. & Liu, K. 2020.
Cropping systems in agriculture and their impact on soil health-A review. Global Ecology and Conservation 23.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01118>
- Yli-Halla, M. & Simojoki, A. 2017.
Maaperä muutoksessa. teoksessa: Seppänen, M. & Kymäläinen, H.-R. (toim.) Maailma muuttuu, muuttuko maatalous. Helsingin yliopisto, Maataloustieteiden laitos. Ss. 55–75. Saatavilla: https://www.helsinki.fi/assets/drupal/2023-05/Seppanen_Kymalainen_2017_Muuttuva_maatalous_luku_3.pdf
- Ylivainio, K, Jauhiainen, L., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2017.
Waterlogging severely retards P use efficiency of spring barley (Hordeum vulgare). Journal of Agronomy Crop Sciece. 204:74–85. <https://doi.org/10.1111/jac.12241>



Maan kasvukunto

– avain varmempiin satoihin
ja kestävään viljelyyn

Kati Berninger, Petra Egilmez, Anne Antman ja Elisa Vainio

Huhtikuu 2025

Lisätietoja

bsag.fi