



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 87/2021

Maatalouden ja vesihuollon sopeutumistoimet lisääntyviin kuivuusjaksoihin

Tapio Salo, Merja Myllys ja Pekka Parkkila

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 87/2021

Maatalouden ja vesihuollon sopeutumistoimet lisääntyviin kuivuusjaksoihin

Tapio Salo, Merja Myllys
ja Pekka Parkkila

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2021

Viittausohje:

Salo, T., Myllys, M. & Parkkila, P. 2021. Maatalouden ja vesihuollon sopeutumistoimet lisääntyviin kuivuusjaksoihin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 87/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 59 s.

Tapio Salo ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-7820-122X>

ISBN 978-952-380-326-8 (Painettu)

ISBN 978-952-380-327-5 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-327-5>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Tapio Salo, Merja Myllys ja Pekka Parkkila

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2021

Julkaisuvuosi: 2021

Kannen kuva: Tapio Salo

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Tapio Salo¹, Merja Mylly¹ ja Pekka Parkkila²

¹Luonnonvarakeskus, 31600 Jokioinen

²Varsinais-Suomen ELY-keskus, 20800 Turku

Ilmastonmuutokseen liittyen sään ääri-ilmiöiden arvioidaan lisääntyvän myös Itämeren alueella. Kasvukauden aikaiset kuivuusjaksot pienentävät viljelykasvien käytettävissä olevaa vesimäärää, ja satotasot jäävät kuivuuden seurauksena tavanomaista alhaisemmiksi. Vakavat kuivuusjaksot nostavat tuotteiden hintoja, vähentävät kotieläintuotannon käytettävissä olevaa rehumäärää ja voivat johtaa tuotantoeläinten pakkoteurastuksiin. Vuoden 2018 kuivuus aiheutti monien Itämeren alueen valtioiden maataloudessa suuria taloudellisia tappioita. Pitkäaikainen kuivuus vähentää myös yhteiskunnan käytettävissä olevan veden määrää, ja vesilaitoksetkin voivat joutua säännöstelemään kuluttajien ja teollisuuden vedenkäyttöä.

Itämeren jäsenvaltioissa on tuettu maatalouden kuivuusjaksoista johtuneita taloudellisia vaikeuksia ja etsitty keinoja kuivuusjaksoihin varautumiseen. Keinovalikoimaan kuuluvat maaperän kosteutta säilyttävät viljelymenetelmät kuten kevennetty muokkaus ja maan orgaanisen aineksen ylläpito tai lisääminen. Viljelykasvien ja viljelykiertojen suunnittelussa suositellaan vaurauduttavan kuivuusjaksoihin. Kasvien vedensaantia voidaan merkittävästi lisätä kuitenkin vain kastelun avulla. Kastelun osalta on viime vuosina tutkittu taloudellisen kannattavuuden rajoja viljojen ja nurmien viljelyssä. Mikäli kastelu osoittautuu ilmastonmuutoksen edetessä nykyistä useammin taloudellisesti kannattavaksi, kasteluveden varastointia kevätvalunnan aikana on lisättävä. Kasteluveden tarpeen ja varastoinnin osalta tarvitaan valuma-alueiden tasolla tehtävää suunnittelua ja investointeja.

Yhteiskunnan vesihuollon osalta kuivuusjaksojen aiheuttamat vaikeudet ovat toistaiseksi olleet paikallisia ja rajoittuneet useimmiten Itämeren saariin. Mikäli maatalouden vedenkäyttö selvästi lisääntyy kastelun kautta, vesihuollon on oltava mukana suunnittelussa ja varmistettava käyttöveden saatavuus muuttuneessa tilanteessa.

Asiasanat: ilmastonmuutos, maatalous, viljelykasvit, maaperä, kuivuus, kastelu, vesihuolto,

Abstract

Tapio Salo¹, Merja Mylly¹ ja Pekka Parkkila²

¹Natural Resources Institute Finland, 31600 Jokioinen

²Centre for Economic Development, Transport and the Environment - Southwestern Finland, 20800 Turku

Climate change related weather phenomena are estimated to become more common in the Baltic sea region. Drought periods that occur during growth seasons diminish the water resources that are usable for the crops, resulting in subnormal yields. Severe drought seasons will increase the prices of the products and reduce the amount of fodder for the livestock that may lead to forced slaughtering of the animals. Drought of 2018 caused severe financial losses to agriculture in many of the Baltic sea countries. Long drought seasons will also reduce the availability of water for communal water supply and water companies may have to start regulating water usage.

Drought seasons have forced the Baltic sea countries to subsidize the financial losses caused by the drought and look for proper adaptation measures for the future droughts. The main methods involve cultivation techniques that increase and maintain water holding capacity in soil, such as reduced tillage and increasing soil organic content. Drought risks should be considered when selecting crops and planning crop rotations.

Water availability for plants can truly be increased only through irrigation. Cost-effectiveness of irrigation in cereal and forage production should further be studied in changing climatic conditions. If irrigation turns out to be increasingly profitable, water storing during spring runoff should be increased. Catchment area level planning and investments for water storage are required.

Difficulties in water management because of drought periods have so far remained local and limited mostly on the islands of the Baltic sea. If the water consumption increases significantly due to irrigation, communal water supply companies should participate in planning the catchment level water use and storing to ensure water supply in future.

Keywords: Climate-change, agriculture, crops, soil, drought, irrigation, water supply

Esipuhe

Tämä kuivuuteen keskittynyt osaraportti on osa laajempaa 'Itämeriyhteistyöllä ilmastokestävyttä - tulva ja kuivuusriskien hallinta' -hanketta. Hankkeessa kartoitettiin ilmastonmuutoksen aiheuttamien sään ääri-ilmiöihin sopeutumiseen tähtääviä suunnitelmia ja ratkaisuja Itämeren rantavaltioissa. Hankkeessa keskityttiin kolmeen teemaan, joista jokaisesta laadittiin osaraportti ja lisäksi hankkeen loppuraporttiin kerättiin keskeiset tiedot tehdyistä selvityksistä, parhaista käytännöistä sekä suosituksista Itämeren alueen ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi tulva- ja kuivuusriskien hallinnassa. Hankkeen yhteen vetävä loppuraportti laaditaan englanniksi ja julkaistaan hankkeen sivuilla https://www.ymparisto.fi/fi-FI/LOSSI/Itameriyhteistyolla_ilmastokes-tavyytta). Lisäksi loppuraportissa on käsitelty Itämeren alueen ilmastonmuutoksen sopeutumistoimia.

Hankkeessa käsitellyt teemat (ja osaraportit) ovat:

Kaupunkien sopeutumistoimet (hulevesien ja tulvien hallinta, luonnonmukaiset ratkaisut) - SYKE

Maaseudun sopeutumistoimet (maatalouden ja vesihuollon sopeutumistoimet lisääntyviin kuivuusjaksoihin) - Luke

Vesihuollon sopeutumistoimet (viemäriverkoston ylivuotojen ja jätevedenpuhdistamojen ohitusten hallinnan ratkaisut Itämeren alueella) – Pirkanmaan ELY-keskus

Lisäksi hankkeessa tilattiin Hallinnan sopeutumistoimien ohjausta -käsittelevä osaraportti TYRSKY-Konsultointi Oy:ltä.

Ulkoministeriön rahoittama ja Maa- ja metsätalousministeriön valvoma hanke toteutettiin vuosina 2019–2021. Hanketta koordinoi Varsinais-Suomen ELY-keskus (Pekka Parkkila). Hankkeessa laaditut neljä osaraporttia julkaistiin tai julkaistaan alkuvuodesta 2021. Niistä vastasivat Suomen ympäristökeskus (Antti Parjanne ja Mika Marttunen), Luonnonvarakeskus (Merja Myllys ja Tapio Salo), Pirkanmaan ELY-keskus (Kaisa Valkonen, Pepe Lindqvist ja Riitta Syvälä) ja TYRSKY-Konsultointi Oy (Kati Berninger).

Sisällys

1. Johdanto	8
1.1. Raportin rajaukset.....	8
1.2. Kuivuus	8
1.3. Itämeren alueen maatalous	9
1.4. Vesitalouden hoito Itämeren alueen maissa	9
1.5. Valtiot, maankäyttö ja maataloustuotanto.....	10
1.5.1. Eurostatin tilastot –tuotanto, viljelykasvit, maatalous.....	10
1.5.2. Eurostatin tilastot – kastelu	11
1.5.3. Vesitalouden tilastot.....	13
2. Ilmastonmuutos	16
2.1. Lämpötila.....	16
2.2. Sadanta	17
2.3. Viljelykasvit.....	19
2.4. Merenpinnan korkeus	20
3. Maataloustuotannon kuivuusriskit.....	21
3.1. Viljelykasvien vedentarve.....	21
3.1.1. Vedenpuutteen vaikutukset	21
3.2. Eroosio ja huuhtoutuminen	23
3.2.1. Tuulieroosio	24
3.2.2. Satotasojen vaikutus huuhtoutumiseen	25
3.3. Kotieläintuotannon vedentarve.....	27
3.3.1. Juomaveden tarve ja laatuvaatimukset.....	27
3.3.2. Puhdistus ja lannan käsittely.....	28
3.3.3. Veden saanti.....	28
4. Vesihuollon kuivuusriskit.....	29
4.1. Veden määrän väheneminen.....	29
4.2. Vedenkulutuksen lisääntyminen kuivina kausina	29
4.3. Veden laadun heikkeneminen	30
5. Sopeutumistoimet	31
5.1. Maan hoito	31
5.1.1. Maan muokkaus.....	31
5.1.2. Orgaaninen aines.....	32
5.2. Veden pidättäminen maatalousmaissa	32

5.2.1.	Pohjaveden pinnankorkeuden säätely	32
5.3.	Viljelykasvien ja -kiertojen sopeuttaminen	35
5.3.1.	Viljelykasvien ominaisuudet, juuriston syvyys, kasvuajat.....	35
5.3.2.	Viljelykierrat, suunnittelu ajan ja paikan suhteen	36
5.3.3.	Peltometsäviljely	36
5.4.	Kastelu	36
5.4.1.	Kastelumenetelmät (sprinklerit, puomit, tihku, salaojakastelu).....	36
5.4.2.	Kastelun talous	38
5.5.	Veden varastointi	38
5.5.1.	Valuma-alueen vesivarastot	38
5.5.2.	Peltojen valumavesien varastointi.....	39
5.6.	Vesihuollon sopeutumistoimet.....	39
5.6.1.	Veden käytön vähentäminen	39
5.6.2.	Uusien vesilähteiden hankinta.....	41
6.	Käytössä olevat suunnitelmat kuivuuteen sopeutumiseen	43
7.	Lainsäädäntö	48
8.	Lisätiedon, uusien ohjauskeinojen ja politiikkasuositusten tarve.....	51
9.	Yhteenveto.....	52
Viitteet.....		53

1. Johdanto

1.1. Raportin rajaukset

Tässä raportissa keskitytään ensisijaisesti kasvukauden aikaisten kuivuusjaksojen vaikutuksiin maatalouden toimintaedellytyksiin Itämeren alueella. Samalla tarkastellaan myös yhdyskuntien vesihuollon mahdollisuuksia reagoida vaikeisiin kuivuusjaksoihin. Johdannossa kuvataan Itämeren alueen maataloutta, vesitaloutta ja kastelua. Seuraavassa luvussa arvioidaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia maatalouteen ja vesitalouteen. Sen jälkeen käsitellään maatalouden ja vesihuollon vedentarvetta sekä vedenpuutteen vaikutuksia. Viidennessä luvussa keskitytään erilaisten maatalouden ja vesihuollon menetelmien ja prosessien mahdollisuuksia sopeutumisessa kuivuusjaksoihin. Kuudennessa luvussa tarkastellaan Itämeren alueen valtioissa tehtyjä toimenpiteitä, joilla on reagoitu tapahtuneisiin kuivuusjaksoihin tai varaudutaan tuleviin. Kahdessa viimeisessä luvussa käsitellään kuivuuden torjuntaan liittyvää lainsäädäntöä ja pohditaan tulevia ohjauskeinoja.

1.2. Kuivuus

Kuivuus (*eng. drought*) mielletään usein pelkästään pitkäksi sateettomaksi jaksoksi, jonka seurauksena syntyy satotappioita tai juomaveden puutetta. Kuivuutta ei saa sekoittaa luontaisesti kuivaan eli aridiin ilmastoon (*eng. aridity*), eikä myöskään veden niukkuuteen (*eng. water scarcity*), jossa ilmasto-oloihin tyypillinen sadanta ei pysty vastaamaan alueen vedentarpeisiin pitkällä aikavälillä. Kuivuus eroaa siis luontaisesta kuivuudesta ja veden niukkuudesta siten, että pitkäaikainenkin kuivuustilanne on väliaikaista ja johtuu jostain tietystä veden hetkelliseen saatavuuteen liittyvästä tekijästä. Kuivuus voidaan jakaa neljään eri kategoriaan sen ilmenevyyden perusteella. (EDO 2017):

Meteorologinen kuivuus tarkoittaa sadannan määrää, joka on alle alueellisen keskiarvon tietyllä ajanjaksolla.

Hydrologinen kuivuus, joka tarkoittaa pitkiä vähäisen veden jaksoja pinta- ja pohjavesissä.

Maatalouden kuivuus tarkoittaa, että viljelykasveilla ei ole riittävästi vettä maaperässä, minkä seurauksena viljelykasvien kasvu hidastuu.

Sosioekonominen kuivuus tarkoittaa tilannetta, jossa yhteiskunnan veden tarve ylittää käytettävissä olevan veden määrän, jonka seurauksena ainakin jonkin hyödykkeen kuten esimerkiksi juomaveden, rehun tai energian tuotanto vaarantuu.

Sosioekonomisen ja hydrologisen kuivuuskauden syynä on yleensä meteorologinen kuivuus, jolloin alueen sademäärä on selvästi pienempi kuin keskimääräinen sademäärä. Tässä raportissa tarkastellaan ensi sijassa maataloudellista kuivuuskautta, jolloin viljelmät kärsivät veden puutteesta, mutta myös sivutaan yhteiskunnallista veden hankintaa, johon liittyvät riskit ovat Suomessa lähinnä sosioekonomisia riskejä. Mikäli vettä on saatavilla altaissa tai joissa, kastelu on yksi keinoista lievittää ja torjua satotappioita. Suomessa kasvukauden sadanta olisi yleensä riittävä viljelykasveille, mutta tietyissä vaiheissa kasvukautta maasta kasvien saatavilla vesi voi rajoittaa kasvien kasvua.

Kuivuudesta kärsivät eniten luontaisesti kuivat alueet, joilla on luontaisesti pienempi kyky sopeutua ja ennakoida kuivuuden aiheuttamia ongelmia vastaan (resilienssi). European Drought

observatory:n (<https://edo.jrc.ec.europa.eu>) vuoden 2020 raportin (EDO 2020) mukaan jo kolmantena vuonna peräkkäin Euroopan maat ovat kärsineet tavanomaista kuivemmista ajanjaksoista. Kuivuuden vaikutus maankosteuteen tapahtuu eri puolilla Eurooppaa eri aikoina. Keski-Eurooppaa on koetellut erityisesti keskikesän ja alkusyksyn kuivuus, kun taas Itämeren alueella kuivuutta on esiintynyt enemmän keväällä ja alkukesästä. (EDO 2020). Kuivuudelle ominaista on, että se kestää pitkän ajanjakson ja vaivaa samaan aikaan laajoja alueita.

1.3. Itämeren alueen maatalous

Itämeren alueen yhteistyötä tehdään monien foorumien kautta. Itämeren suojelukomissio (HELCOM) on laatinut Itämeren maiden yhteistyönä Itämeren suojelun toimenpideohjelman (HELCOM 2007), jossa on laadittu suosituksia myös maataloutta ja vesihuoltoa koskien. Euroopan unioni on laatinut vuonna 2009 Itämeri-strategian (Council of the European Union 2009), jota päivitetään säännöllisesti. Uusimmassa päivityksessä mainitaan maa- ja metsätalouden vesienhoidon kehittäminen, jotta tulvien ja kuivuusjaksojen haittoihin sopeutuminen paranee (EC 2021). Euroopan alueellinen yhteistyö on sisältänyt myös useita laajoja maatalouden ja vesihuollon hankkeita. Itämeren suojelun yhtenä keskeisenä tavoitteena on ollut maatalouden yhteinen kehittäminen ja hyvistä käytännöistä oppiminen.

Maatalous on merkittävä elinkeino Itämeren rantavaltioissa, ja lähes 25 % Itämeren valuma-alueen pinta-alasta käytetään maatalouteen. Ruotsin, Saksan, Suomen ja Tanskan maataloustuotanto on tehostunut voimakkaasti 1970-luvulta lähtien, ja samalla maatalouden ympäristövaikutuksiin on kiinnitetty runsaasti huomiota. Baltian maiden ja Puolan maatalous on edelleen muutoksessa, joka käynnistyi maiden liittyttyä EU:iin vuonna 2004. Itämeren valuma-alueeseen kuuluvat myös EU:n ulkopuolella olevat Venäjän ja Valko-Venäjän alueet. Näissä maissa maatalous perustuu suuriin valtion ohjaamiin yksiköihin, ja ympäristökysymykset eivät ole nousseet esille yhtä paljon kuin EU:n alueella.

1.4. Vesitalouden hoito Itämeren alueen maissa

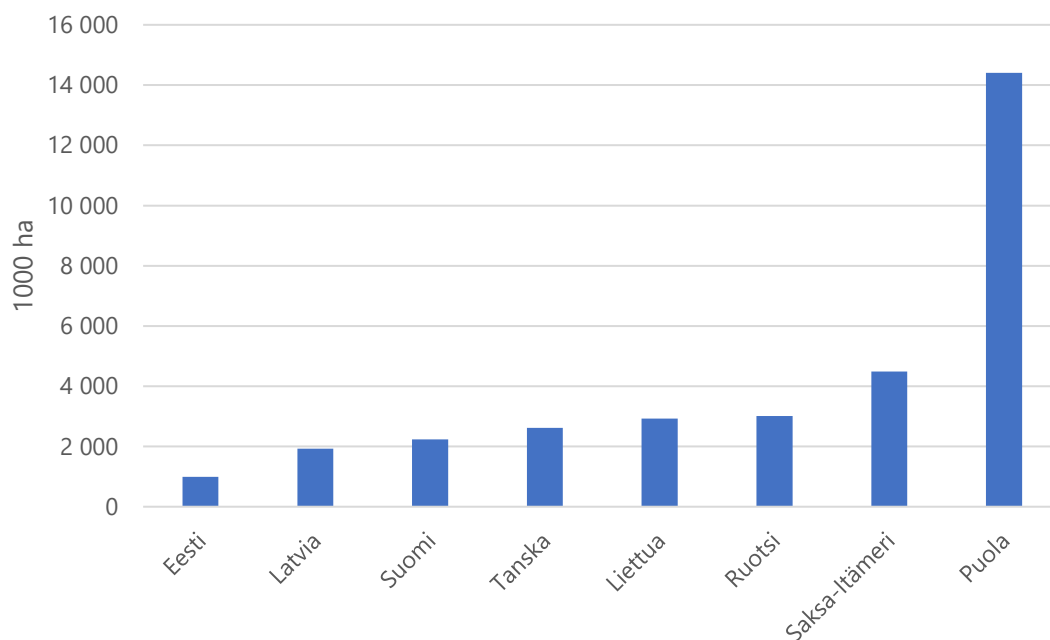
Itämeren alueella sadanta on haihduntaa suurempi, joten liian veden johtaminen pois pelloilta etenkin kasvukauden ulkopuolella on välttämätöntä. Kasvukauden aikana Itämeren alueen maataloustuotanto on yleensä maaperään varastoituneen veden ja luonnonsateiden varassa, ja ainoastaan erikoiskasvien tuotannossa käytetään kastelua. Syynä tähän ovat sekä sadannan kohtuullinen riittävyys että kastelun kustannukset, joita ei viljojen ja nurmirehun tuotannossa yleensä pystytä kattamaan.

Sateiden vähäisyys voi kuitenkin haitata viljelykasveja, ja vuoden 2018 kasvukausi oli erityisen vähäsateinen Itämeren alueen maissa. Esimerkiksi Tanskassa maataloussektorin tappioiksi arvioitiin noin 900 miljoonaa euroa, ja satotasot olivat 40–50 % normaalia pienemmät (<https://www.nbcnews.com/news/world/drought-brings-big-worries-farmers-across-northern-europe-n896096>). Myös vuoden 2020 kasvukauden alku oli poikkeuksellisen kuiva Itämeren alueella.

1.5. Valtiot, maankäyttö ja maataloustuotanto

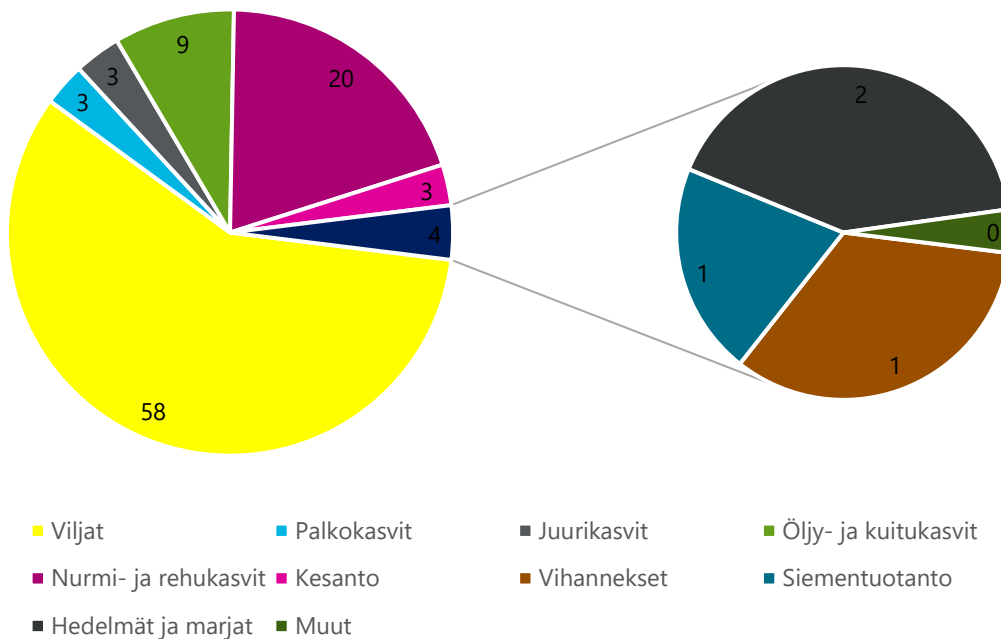
1.5.1. Eurostatin tilastot – tuotanto, viljelykasvit, maatalous

Itämeren alueen Euroopan unionin maiden peltoalasta suurin osuus on Puolassa (Kuva 1). Saksan Itämeri-ohjelmaan kuuluvissa pohjoisen Saksan osavaltioissa (Berliini, Brandenburg, Bremen, Hampuri, Lüneburg, Mecklenburg-Vorpommern ja Schleswig-Holstein) on yli neljä miljoonaa peltohehtaaria. Pohjoismaiden ja Liettuan peltopinta-alat ovat 2–3 miljoonaa hehtaaria.



Kuva 1. Maatalousmaan pinta-ala Itämeren alueen EU-valtioissa vuonna 2016 (Eurostat). Saksan osalta ovat mukana Itämeren alueen ohjelmaan sisältyvät alueet (Berliini, Brandenburg, Bremen, Hampuri, Lüneburg, Mecklenburg-Vorpommern ja Schleswig-Holstein).

Itämeren alueen maatalousmaasta on merkittävä osuus pysyviä, yli 5-vuotta muokkaamatta olevia, nurmia. Baltian maissa näiden osuus on maatalousmaasta 26–31 %, Puolassa 22 % ja Saksan Itämeren ohjelmaan kuuluvilla alueilla 26 %. Jos Itämeren alueen EU:n jäsenmaiden maatalousmaan käyttöä tarkastellaan viljelykierrossa mukana olevien (arable) maatalousmaiden vuoden 2016 tilanteen mukaan, nähdään viljantuotannon merkitys 58 %:n osuudella maatalousmaasta (Kuva 2). Nurmi- ja vihreänä rehuksi korjattavien kasvien osuus oli 20 % ja erilaisten teollisuudelle jalostettavien öljy- ja kuitukasvien 9 %. Kastelun osalta taloudellisesti parhaiten kannattavien viljelykasvien kuten hedelmien, marjojen, juurikasvien ja vihannesten osuus maatalousmaasta on yhteensä noin viisi prosenttia.

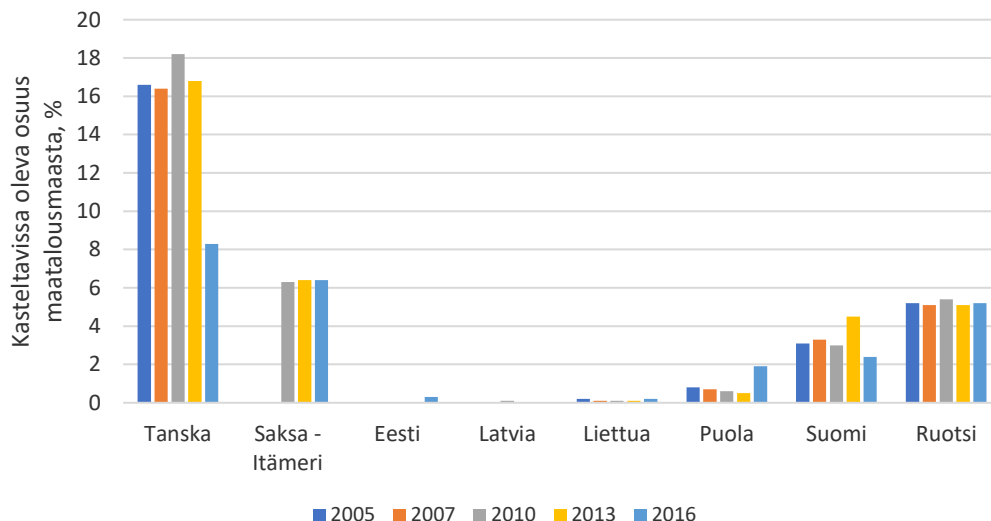


Kuva 2. Itämeren alueen EU-valtioiden viljellyn maatalousmaan prosentuaalinen pinta-alaja-kauma vuoden 2016 Eurostat-tilastojen mukaan.

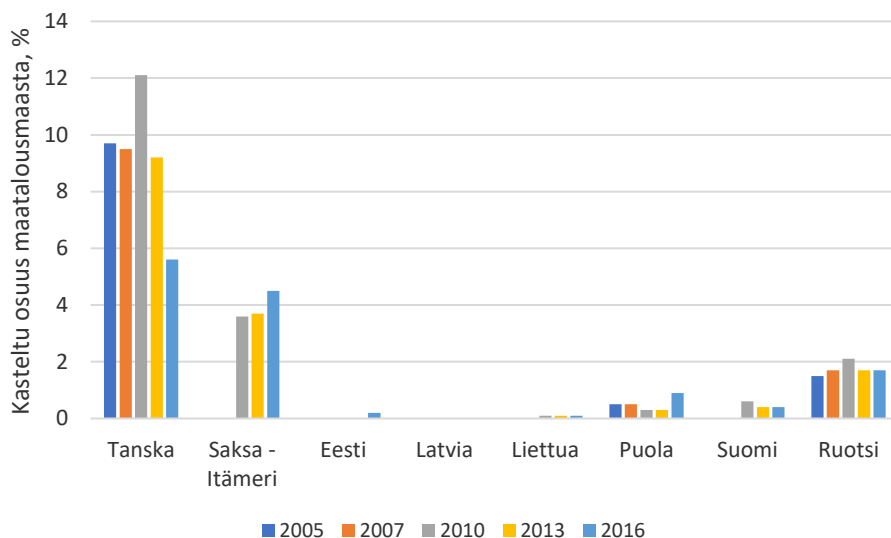
1.5.2. Eurostatin tilastot – kastelu

Itämeren rantavaltioissa kasteltavissa olevan tai vuosittain kastellun peltomaan osuus on Tanskaa lukuun ottamatta vain muutamia prosentteja (Kuvat 3 ja 4). Kastelu keskittyy erikoiskasvien ja vihannesten tuotantoon. Suomen tilastoissa avomaan puutarhatuotannossa kasteltavissa oleva pinta-ala, 3 300 ha, oli 40 % tuotantosuunnan viljelypinta-alasta vuonna 2016 (<https://stat.luke.fi/viljelysmaan-hoito-ja-kastelu>). Näillä tiloilla sadetus oli käytettävissä 79 %:lla tiloista ja tippu- tai tihkukastelu 40 %:lla. Useilla tiloilla ovat valittavissa molemmat kastelumenetelmät.

Itämeren alue kuuluu boreaalisen ja mantereiseen ilmastovyöhykkeisiin, joilla kastelun tarve on pienempi kuin esim. Välimeren ilmastossa. Välimeren alueen maissa kasteltavissa olevan maatalousmaan osuus on 15–30 %, ja siitä kastellaan vuosittain yli 60 %. Maatalousalueiden kastelun arvioidaan lisääntyvän ilmastomuutoksen myötä (Hägglom ym. 2020).



Kuva 3. Itämeren alueen EU-maiden kasteltavissa olevat maatalousmaan osuudet vuosina 2005, 2007, 2010, 2013 ja 2016 (Eurostat). Saksan osalta ovat mukana Itämeren alueen ohjelmaan sisältyvät alueet (Berliini, Brandenburg, Bremen, Hampuri, Lüneburg, Mecklenburg-Vorpommern ja Schleswig-Holstein).



Kuva 4. Itämeren alueen EU-maiden kastellun maatalousmaan osuudet vuosina 2005, 2007, 2010, 2013 ja 2016 (Eurostat). Saksan osalta ovat mukana Itämeren alueen ohjelmaan sisältyvät alueet (Berliini, Brandenburg, Bremen, Hampuri, Lüneburg, Mecklenburg-Vorpommern ja Schleswig-Holstein).

Taulukko 1. Kasteltavissa olevan ja kasteltu maatalousmaa Itämeren alueen EU-valtiossa vuonna 2016. (Eurostat ja Luke tilastot).

Maa	Kastelevissa oleva maatalousmaa (ha)	Kasteltu maatalousmaa (ha)
Eesti	2 730	1 930
Latvia	670	590
Liettua	4 490	2 060
Puola	271 000	132 660
Ruotsi	156 660	52 400
Saksa -Itämeren ohjelman alue	284 320	201 810
Suomi	53 594	8 000
Tanska	217 770	145 480
Yhteensä	991 234	544 930

Vuonna 2016 kasteltavissa oleva maatalousmaan pinta-ala ja kasteltu pinta-ala olivat 991 000 ja 545 000 hehtaaria. Jos taulukon 1 mukaisia pinta-aloja sadetettaisiin keskimäärin 60 mm vuodessa, koko kasteltavissa olevan alueen tarvitsema vesimäärä olisi 595 miljoonaa kuutiometriä ja vuoden 2016 kasteluveden käyttö olisi ollut 327 miljoonaa kuutiometriä.

Suomessa kastelutietojen keruu tapahtuu yhteistyössä Eurostatin kanssa, joten Suomen kansalliset tilastot vastaavat hyvin Eurostatin tietoja. Eurostatin ohjeiden mukaan kaikissa EU-valtioissa toteutetaan säännöllisesti ns. Maatalouden rakennetutkimus, jossa kysytään myös kasteluun liittyviä tietoja. Ruotsissa vedenkäyttöön liittyvät tiedot kerätään viiden vuoden välein (SCB 2017) ja seuraava tilastojen julkistus on lokakuussa 2021.

Eurostatin tilastoinnin lisäksi on olemassa YK:n elintarvike- ja maatalousjärjestön, FAO:n, keräämä kastelu- ja vedenkäyttötilastointi (fao.org/aquastat). FAO:n tiedonkeruu perustuu kansallisiin kontakteihin, joten tiedoissa voi olla eroja eri maiden tilastoviranomaisten Eurostatille välittämiin tietoihin. FAO:n tilastoissa ovat pääasiassa samat kastelualoja koskevat tiedot kuin Eurostatin tilastoissa. Lisäksi tilastoissa esitetään arviot pinta- ja pohjaveden käytöstä kasteluun ja tärkeimmät viljelykasvit, joita on kasteltu. FAO:n arvio kastelun vaikutuksesta satotasoon perustuu "Agriculture Towards 2030–2050" -arviointiin, jossa Itämeren alueella esitetään sadon lisääntyvän kastelun avulla 7 %.

1.5.3. Vesitalouden tilastot

Suomen peltopinta-alasta 67 % oli salaojitettu vuonna 2013. Loput peltoalasta oli avo-ojissa tai ei tarvitse ojitusta. Salaojitetusta alasta 5 %:lla oli mahdollisuus säätää vedenpinnan korkeutta vuonna 2013, (<https://stat.luke.fi/viljelysmaan-hoito-ja-kastelu>), mutta säätösalaajituksen pinta-ala on kasvanut ja oli noin 50 000 ha vuonna 2017 (Hyvönen ym. 2020).

Itämeren alueen maiden ojitetusta peltopinta-alasta ei ole koottu yhtä tarkkaa tilastoa kuin Suomesta, mutta taulukko 2 luettelee ICID:n (International Commission on Irrigation and Drainage) kokoamat tiedot peruskuivatuksen vaikutuspiirissä olevasta peltopinta-alasta. (Saksasta on mukana koko maa.)

Taulukko 2. Peruskuivauksen piirissä olevat alueet. (World Drained Area, ICID Annual Report 2018–2019).

Maa	Peruskuivatettu alue (miljoona hehtaaria)	Vuosi	Lähde
Tanska	1,77	2012	Annual Report ICID 2016-2017
Eesti	0,64	2017	ICID-National Committee
Suomi	2,0	2017	ICID-National Committee
Saksa	4,9	1993	Annual Report ICID 2016-2017
Latvia	1,58	1995	Annual Report ICID 2016-2017
Liettua	2,58	2011	Annual Report ICID 2016-2017
Puola	4,21	1999	Annual Report ICID 2016-2017
Ruotsi	1,1	1996	Annual Report ICID 2016-2017

Taulukon 2 tiedot ovat kuitenkin osittain melko vanhoja, ja päivitettyä tietoa löytyy lisäksi hajanaisista lähteistä. Esimerkiksi Jacks (2019) mukaan Ruotsissa on salaojitettuja lohkoja 1.6 miljoonaa hehtaaria, ja tällä hetkellä noin 20 % ojituksesta tarvitsisi kunnostusta (Jordbruksverket 2018). Peruskuivatuksen ja salaojituksen pinta-alojen erojen syynä voivat olla erilaiset tietolähteet tai maatalouden rakennemuutos. Esimerkiksi Liettuassa oli vuoden 2002 tilastojen mukaan 3,01 miljoonaa hehtaaria ojitettua peltoa, joka käsitti 89 % koko peltopinta-alasta (Maziliauskas 2004). Liettuan peruskuivatuksen piirissä oleva maatalousmaan pinta-ala on edellä mainittua pienempi ICID:n tilastoissa (Taulukko 2). Tanskassa on arvioitu noin 50 % maatalousmaasta olevan ojitettua (Olesen 2009), mikä vastaa melko hyvin ICID:n tilastoja.

Raja-arvoja kasteluveden laadusta annetaan sekä EU:n uudelleen käytettävän jäteveden säädöksessä (EU 2020/741) että ISO-standardeissa: ISO 16075-1:2015: Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 1: The basis of a reuse project for irrigation <https://www.iso.org/standard/62756.html> ja ISO 16075-2:2015: Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 2: Development of the project.

Vedenhankinnan vesilähteet vaihtelevat merkittävästi Itämeren rantavaltioissa. Suurin osa vedestä otetaan pintavesistä 60 % ja pohjavesistä sekä muista eli harmaasta vedestä ja suolaisesta vedestä puhdistettua vettä tuotetaan molempia noin 20 %.

Taulukossa 3 on kerättyä eri maiden tietoja niiden vedentuotannon lähteistä ja määristä. On huomioitavaa, että lähteiden ajankohdat ja tarkkuus vaihtelevat toisistaan, mutta taulukko antaa kuvan eri maiden tuotantolähteiden suunnista.

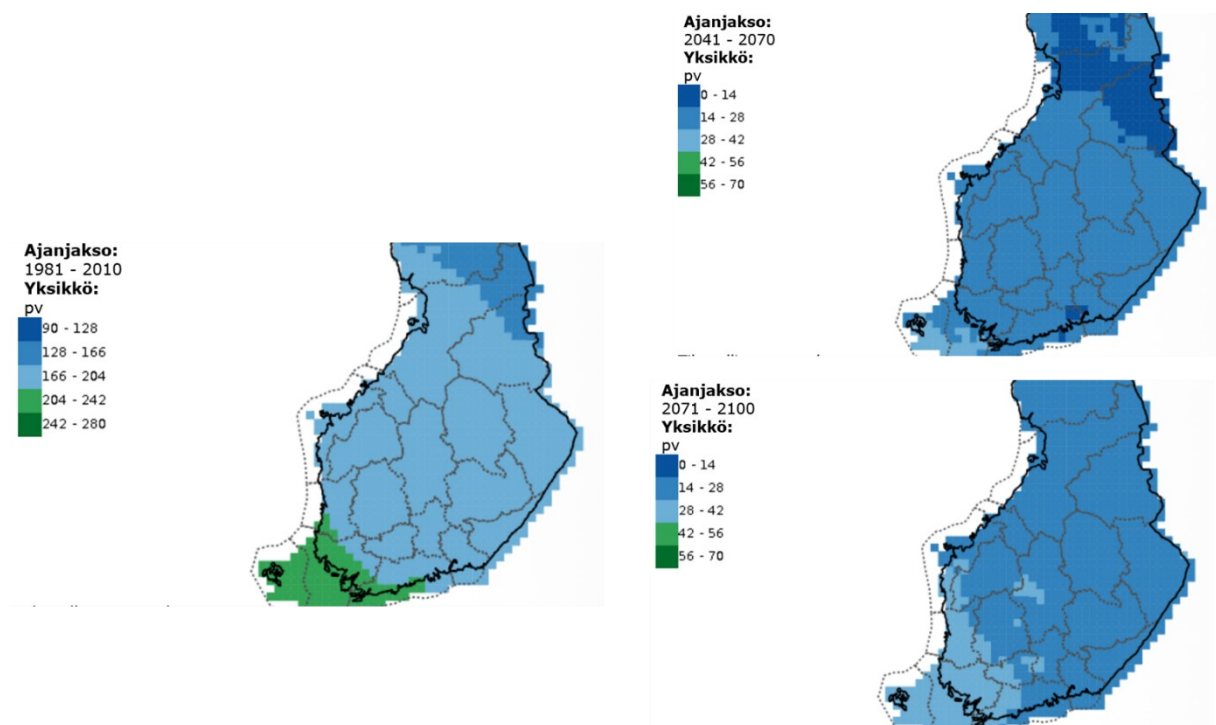
Taulukko 3. Vedenhankinnan vesilähteet

Maa	Vesilähteet (milj m ³)				Vesilähteet (%)			Lähteet
	Makeat pintavedet	Pohja-vedet	Muut	Summa	Makeat pintavedet	Pohja-vedet	Muut	
Suomi	266	241	0	508	52 %	48 %	0 %	SYKE 2019
Ruotsi	2 010	365	10 700	13 075	15 %	3 %	82 %	Eurostat
Tanska	70	672	0	742	9 %	91 %	0 %	Eurostat
Saksa	18 362	5 963	0	24 325	75 %	25 %	0 %	Eurostat
Puola	8 094	2 558	260	10 912	74 %	23 %	2 %	Eurostat
Latvia	97	111	0	208	47 %	53 %	0 %	Eurostat
Liettua	136	156	58	350	39 %	45 %	17 %	Eurostat
Viro	1541	247	4	1 792	86 %	14 %	0 %	Eurostat
Venäjä	53 690	10 720	0	64 410	83 %	17 %	0 %	FAO 2021
Valko-Venäjä	589	811	0	1 400	42 %	58 %	0 %	FAO 2021

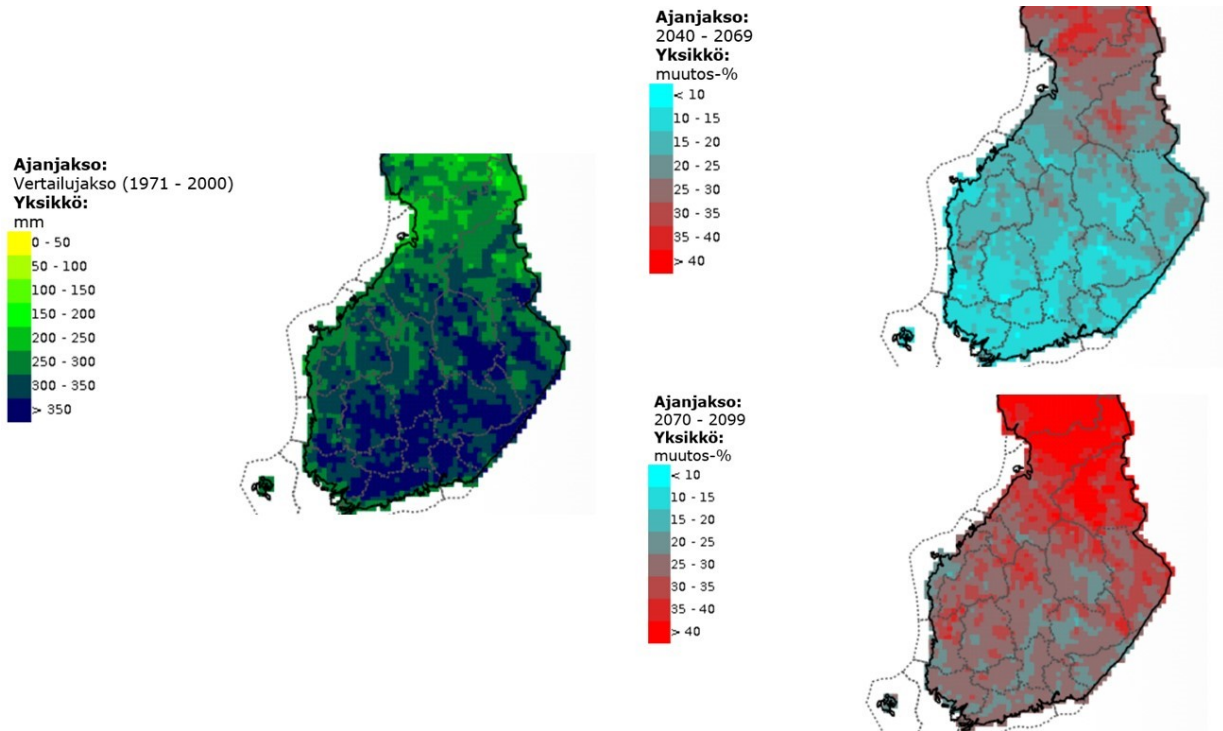
2. Ilmastonmuutos

2.1. Lämpötila

Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta on esitetty arvioita, joissa lämpötilat voisivat nousta 2–4 °C Itämeren alueella. Lämpötilan noustessa lisääntyvät useimpien ennusteiden mukaan myös säävaihtelut ja sään ääri-ilmiöt. Lämpötilan nousu lisää uusien viljelykasvien lajien ja lajikkeiden viljelymahdollisuuksia. Sekä kasvukauden pituus (Kuva 5) että kasvukauden lämpötilasumma nousevat selvästi 2077–2099 aikajaksolle siirryttäessä (Ruosteenoja ym. 2016).



Kuva 5. Kasvillisuuden aktiivisen jakson pituus (pv). Jakson lasketaan alkavan keväällä siitä päivästä, jona keskimääräinen päivittäinen yhteyttäminen ylittää 15 % kesäajan arvostaan. Vastavasti jakso päättyy, kun päivittäinen yhteyttäminen laskee syksyllä alle 15 %:iin kesäaikaisesta arvostaan. Vertailujakso on 1981–2010, johon verrataan skenaarioiden 2041–2070 ja 2071–2100 muutoksia. Käytetty ilmastomalli on CanESM2 (<https://ilmasto-opas.fi/fi/datat/vaikutukset#SykeDataPlace:vaikutukset>).

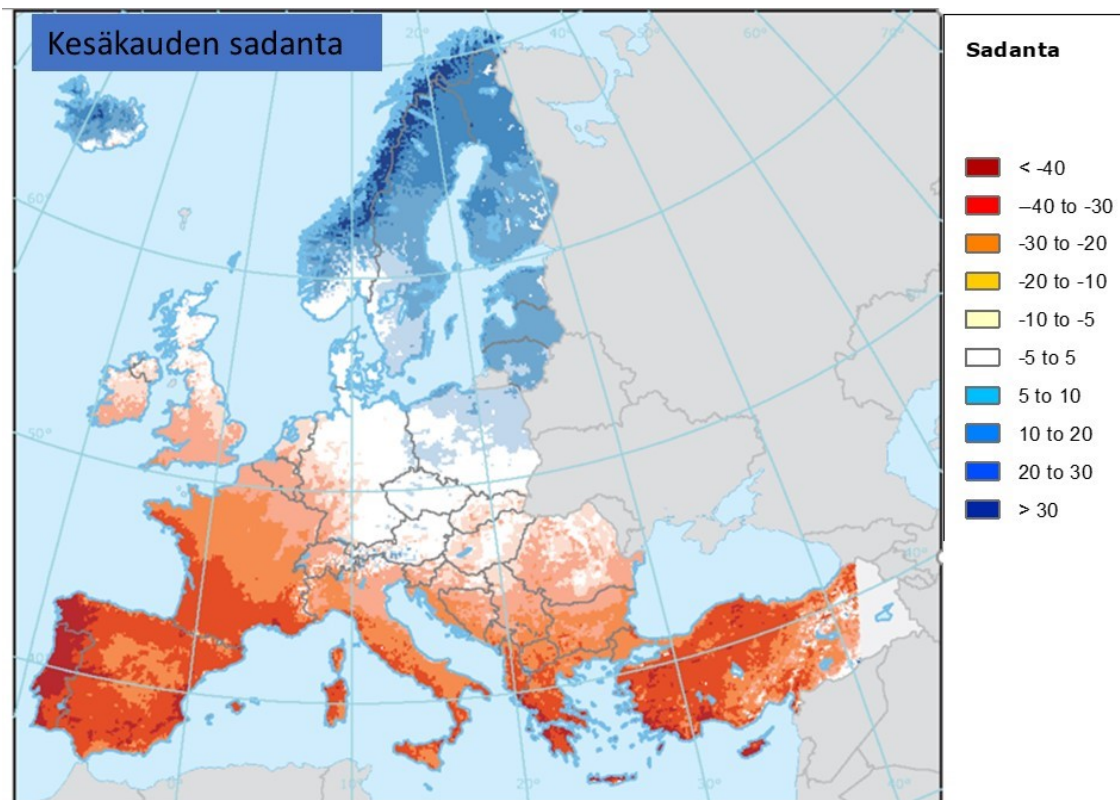


Kuva 6. Haihduntasumma (mm) 30 vuoden keskiarvona ajanjaksolta 1971–2000 ja muutokset (%) vertailujaksosta ajanjaksoille 2040–2069 ja 2070–2099. Ilmastoskenaario on RCP8.5. (<https://ilmasto-opas.fi/fi/datat/vaikutukset#SykeDataPlace:vaikutukset>).

Toisaalta korkeat lämpötilat ja helteet kasvukauden aikana heikentävät monien kasvien kasvuedellytyksiä (Peltonen-Sainio ym. 2016c). Korkeat lämpötilat lisäävät myös veden haihtumista (Kuva 6) ja kuivuutta. Kun haihdunta yhdistetään sadannan muutoksiin, maan kosteuden ennustetaan pienentyvän Pohjois-Euroopassa huhti-toukokuussa 5–7 % ja kasvukauden lopulla 3–5 % (Ruosteenoja ym. 2018).

2.2. Sadanta

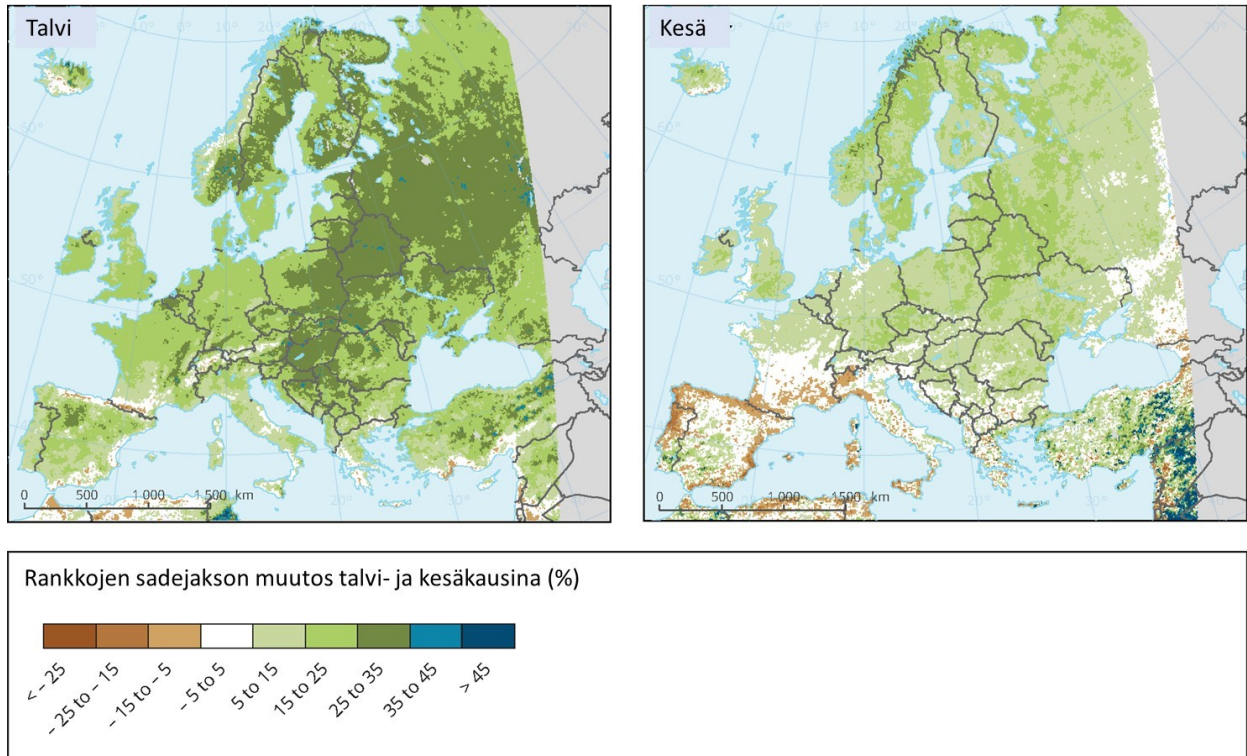
Ilmastonmuutoksen vaikutusta on vaikeampi mallintaa sadannan määrään ja ajoittumiseen kuin lämpötilan muutokseen. Vuosittaisen sadannan oletetaan lisääntyvän Itämeren alueella, mutta kasvukauden aikainen sadanta lisääntyisi vain hyvin vähän (Kuva 7). Sateiden intensiteetin arvioidaan myös kasvavan ilmastonmuutoksen edetessä, jolloin rankoista sateista aiheutuvat haitat lisääntyvät. Esimerkiksi sateiden lisääntyminen syksyllä vaikeuttaa korjuuolosuhteita ja lisää riskiä maan tiivistymiseen (Peltonen-Sainio ym. 2016d).



Kuva 7. Kesäkuukausien sadannan muutos Euroopassa 2071–2100 verrattuna jaksoon 1971–2000 ilmastoskenaariossa RCP 8.5. (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-changes-in-annual-and-5>, Copyright holder: EURO-CORDEX, Jacob ym. 2013)

Kuivuuden merkitys tulevaisuuden potentiaalisena kasvintuotannon haasteena todettiin sääilmiöiden haitallisuustutkimusten perusteella ILMAPUSKURI-hankeessa (Peltonen-Sainio ym. 2016a). Kasvukauden pidentymisen ja jalostuksen ansiosta lisääntyvän viljelykasvien satopotentiaalin realisoitumisen saattaa estää sadannan vähyys (Peltonen-Sainio & Palosuo 2016).

Rankkojen sadejaksojen yleistyminen lisää kuivatuksen ja vesitalouden säätelytarpeen haasteita. Euroopan ympäristöviraston laskemissa ennusteissa havaitaan rankkojen sadejaksojen yleistyvän talvikaudella 25–35 % ja kesäkaudella 5–15 % (Kuva 8).



Kuva 8. Rankkojen sadejaksojen muutokset verrattaessa ajanjaksoa 1971–2000 ilmastokeske-
naarion RCP8.5 ennustamaan ajanjaksoon 2071–2100 (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-changes-in-20-year-2>; Julkaisuoikeuksien haltija: EURO-CORDEX.)

2.3. Viljelykasvit

Lämpö- ja kuivuusstressi tulevat lisäämään satovaihteluja tulevaisuudessa, vaikka potentiaalinen satotaso kasvaa (Tao ym. 2015). Sään vaihtelujen ja ääri-ilmiöiden aiheuttamien suorien satotappioiden lisäksi ilmastomuutos lisää sellaisten kasvitautien, tuholaiten ja rikkakasvien osuutta, jotka eivät tämänhetkisessä ilmastossamme menesty (mm. Peltonen-Sainio ym. 2017).

Ilmapuskuri-hankkeen loppuraportissa (Peltonen-Sainio & Palosuo 2016) listattiin viljelykasvien haitallisimmat sääilmiöt:

- 1) Kevätviljoilla haitallisimpia sääilmiöitä ovat:
 - a) **kuivuus** kasvustojen ja sadon rakentumisen aikaan sekä laatutappioiden myötä jyvien täyttyessä
 - b) kasvua viivästyttävä yöhalla alkukasvukaudella
 - c) kohonneet lämpötilat sadon rakentuessa sekä jyvien täyttyessä**
 - d) toistuvat sateet puintikaudella.
- 2) Öljykasveilla tärkeimpiä haittoja ovat:
 - a) kirppatuhoja suosivat säät
 - b) alkukesän yöhalla
 - c) kohonneet lämpötilat ennen kukintaa ja sen aikana tai sen jälkeen**
 - d) kukinnan aikainen yöhalla
 - e) toistuvat sateet puintikaudella.

- 3) Syysviljoilla näitä ovat:
 - a) talviturhoriskejä aiheuttavat lämpimät talviaikaiset jaksot, joita seuraa merkittävästi kylmempi jakso
 - b) myöhäiseksi venynyt esikasvin puinti
 - c) kylvöjen viivästyminen jatkuvista syysateista johtuen.
- 4) Nurmillä tärkeimpiä säähaittoja ovat:
 - a) vaihtelevat talviolot syysviljojen tapaan
 - b) suojaviljan aikainen lakoontuminen runsaista sateista johtuen sekä
 - c) **nurmien jälleen kasvua rajoittavat kohonneet lämpötilat.**

Edellä mainituista haitallisista sääilmiöistä suurin osa voi lisääntyä ilmastonmuutoksen seurauksena. Tämän raportin aiheena oleva kuivuus on arvioitu haitalliseksi ennen kaikkea kevätiljoille, joiden sadonmuodostus ratkeaa alkua- ja keskikesällä suhteellisen lyhyen jakson aikana.

2.4. Merenpinnan korkeus

Itämeren alueella maan kohoaminen jääkauden jäljiltä hidastaa ilmastonmuutoksen aiheuttamaa merenpinnan nousua. Ilmasto-opiaan (<https://ilmasto-opas.fi>) lähteiden mukaan Suomenlahdella merenpinta nousisi ilmastonmuutoksen rajoitustoimien onnistuessa noin 30 cm, mutta pahimmassa skenaariossa jopa 90 cm vuoteen 2100 mennessä. Pohjanlahdella maankohoaminen jatkuu merenpinnan nousua voimakkaampana, ja Pohjanlahden pohjoisosissa maata vapautuisi edelleen meren alta. Perämeren kohdalla arviot vaihtelevat 30 cm:n merenpinnan laskusta vastaavaan suuruiseen nousuun. Selkämeren kohdalla ilmastonmuutoksen hidastustoimien onnistuessa maan kohoaminen ja meren pinnan nousu tasapainottaisivat toisensa, mutta ilmastonmuutoksen kiihtyessä merenpinta voisi nousta jopa 65 cm 2000–2100 aikana (Johansson ym. 2014).

Merenpinnan korkeuden muutos ja siitä seuraavat mahdolliset tulvajaksot eivät suoraan vaikuta maatalouden kuivuuden kestävyyskykyyn. Suolaisen veden tulvat voivat heikentää maaperän rakennetta tai aiheuttaa vesihuollon käyttäminen vesivarojen suolaantumista. Tulviin varautuminen penkereitä rakentamalla vaikuttaa valuma-alueen vesivarastoihin, mutta luultavasti lisäämällä niitä.

3. Maataloustuotannon kuivuusriskit

3.1. Viljelykasvien vedentarve

Veden haihtuminen perustuu auringon säteilyenergiaan, joka lämmittää maaperää ja viljelykasveja. Ilman suhteellinen kosteus, lämpötila ja tuulen nopeus vaikuttavat myös potentiaaliseen haihduntaan. Veden haihtumista tapahtuu sekä kasvien ilmarakojen kautta (transpiraatio) että maan pinnasta (evaporaatio). Evaporaatio kuivattaa maata, ja ensiksi keväällä muokkauskerros kuivuu sopivaksi viljelytoimia varten. Kuivumisen edetessä pidemmälle maan muokkaus vaikeutuu etenkin savespitoisilla mailla ja siementen itävyys heikkenee. Kasvit haihduttavat juurten kautta ottamaansa vettä, joten juuriston kautta maaperä voi kuivua myös syvästä maakerroksesta.

Potentiaalinen haihdunta voidaan mitata esimerkiksi vesiastiasta tai laskea säätiedoista. Todellinen haihdunta on potentiaalista pienempi, koska veden liikkuminen yleensä hidastuu kuivassa pintakerroksessa, ja kasvit säätelevät vedenkulutusta ilmarakojensa kautta. Kasvien haihduntaan vaikuttaa keskeisesti niiden lehtiala, joka määrittelee kasviin kohdistuvan auringon säteilyenergian määrän. Nuoret ja vähän maata peittävät kasvustot tarvitsevat aluksi vettä vähän ja myöhemmin kasvukaudella koko pellon pinnan peittävät kasvustot lähestyvät veden tarpeeltaan potentiaalista haihduntaa.

Viljelykasvit tarvitsevat vettä 250–750 litraa yhden kuiva-ainekilon tuottamiseen (Taulukko 4). Kuiva-ainekilon tuottamiseen kuluva vesimäärä ei ole kasvikohtainen vakio vaan riippuu mm. kasvukauden säästä, kasvinravinteiden saatavuudesta ja maaperän olosuhteista (Mengel ja Kirkby 1987). Viljelykasvien kastelun kokemuksia Suomessa ovat koonneet esim. Järvenpää ja Savolainen (2015, s. 142–145).

Taulukko 4. Kertoimia yhden kuiva-ainekilon tuottamiseen vaaditusta vesimäärästä (Mengel & Kirkby 1987).

Viljelykasvi	Veden käytön tehokkuus l/kg kuiva-ainetta
Kaura	583
Kevättruis	634
Kevätvehnä	491
Ohra	527
Peruna	575
Puna-apila	698
Sokerijuurikas	443
Maissi	349

3.1.1. Vedenpuutteen vaikutukset

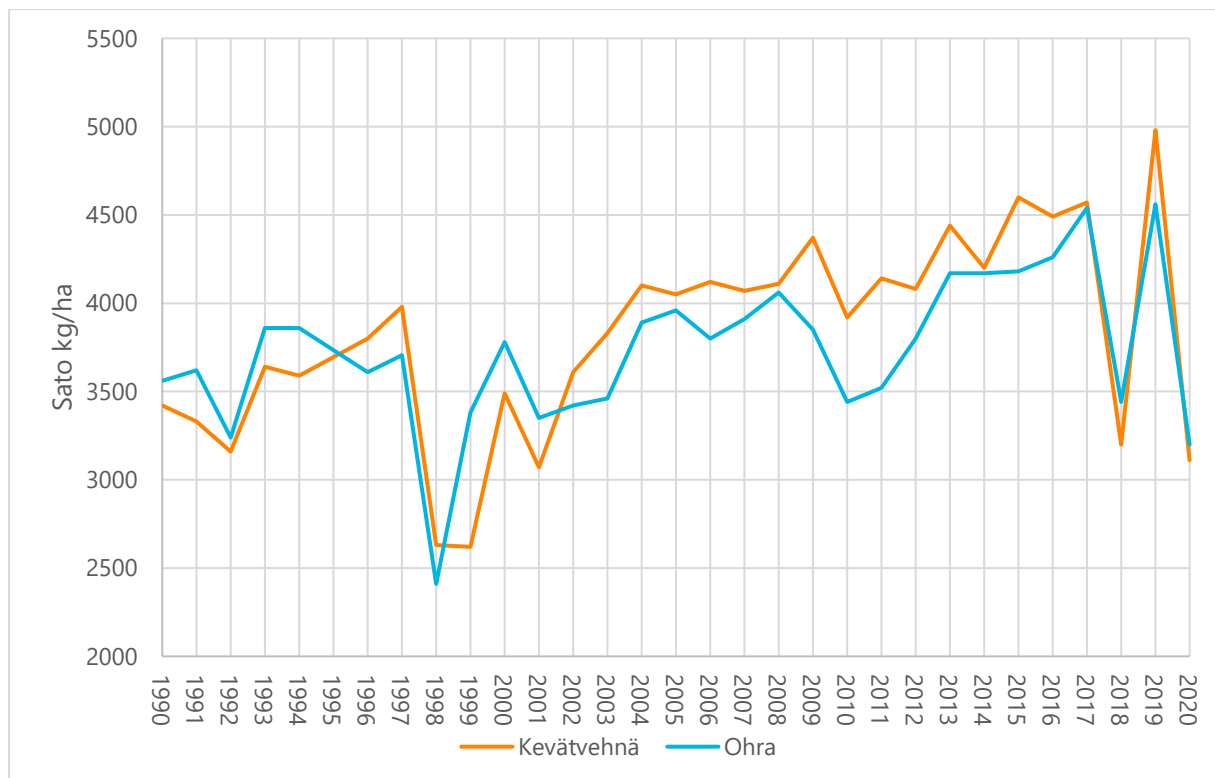
Nestejännitys on ehto kasvien kasvulle ja normaaleille elintoiminnoille. Jos kasvista haihtuu enemmän vettä kuin mitä juuret pystyvät ottamaan, kasvin solujen nestejännitys laskee, ja kasvin fysiologiset toiminnot kuten veden ja ravinteiden kuljetus häiriintyvät. Kun nestejännitys laskee riittävästi, ilmarat sulkeutuvat ja haihtuminen estyy. Samalla estyy myös hiilidioksidin

otto ilmarakojen kautta, ja fotosynteesi häiriintyy. Tämä johtaa kasvin kasvun (kuiva-ainetuotannon) vähenemiseen, ja kasvin ikääntyminen nopeutuu.

Veden puute ei ole kasville yhtä vakavaa kaikissa kehitysvaiheissa, vaan satoon vaikuttaa vesitilanne kriittisinä kausina. Veden puutetta kriittisenä kautena ei korvaa runsas vesimäärä muina aikoina. Riippuen siitä, mikä kasvinosa halutaan korjata sadoksi, kriittiset kaudet ajoittuvat eri kehitysvaiheisiin. Jos koko maanpäällinen kasvi korjataan sadoksi, riittävä veden saanti on tärkeää koko kasvukauden ajan, sillä vegetatiivinen kasvu on yleensä herkempi veden puutteelle kuin generatiivinen kasvu. Viljelykasvin on mahdollista tuottaa hyvä siemensato, vaikka vegetatiivinen kasvu olisi heikentynyt, kunhan siementen lukumäärän ja koon määrääntymisen aikaan vettä on riittävästi saatavilla. Vedenpuute laskee tuoresatoa enemmän kuin kuiva-ainesatoa.

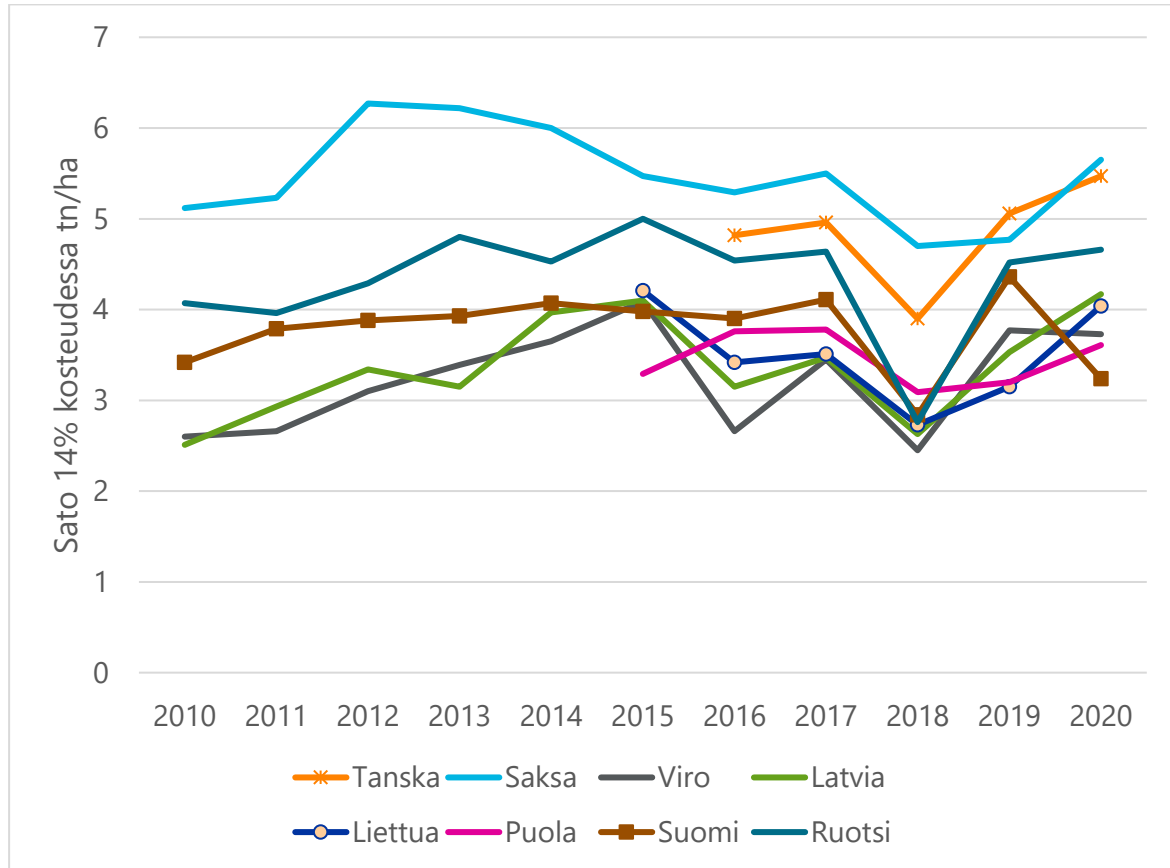
Kasvit pystyvät jonkin verran sopeutumaan veden puutteeseen morfologisilla muutoksilla (lehtialan pieneneminen, lehden paksuuden kasvu) ja osmoottisesti. Tällöin soluissa olevien liuenneiden aineiden määrä kasvaa, vettä siirtyy soluun sen ulkopuolelta ja nestejännitys kasvaa.

Kasvukauden normaalia pienempi viljasato voidaan usein yhdistää tilapäisiin tai pidempiaikaisiin kuivuuskausiin. Satakunnan ELY-keskuksen kevätvehnän ja ohran keskisadot ovat vaihdelleet 2700–5000 kg/ha vuosina 1990–2020 (Kuva 9). Vuosina 1998, 1999, 2018 ja 2020 ainakin toisen viljalajin satotaso on ollut keskimääräistä alempi. Vuonna 1999 touko-, kesä- ja heinäkuun sadesumma oli keskiarvosta 77 % ja vuonna 2018 56 %. Vuoden 2020 alhaiselle satotasolle ei sateista tai lämpötilasta löydy muuta keskiarvoista poikkeavaa kuin toukokuun alhainen sademäärä.



Kuva 9. Satakunnan ELY-keskuksen kevätvehnän ja ohran vuosittaiset keskisadot 1990–2020 (Luke Tilastot 2021).

Myös Itämeren alueella esiintyvät satovaihtelut selittyvät yleensä kuivuusjaksoilla. Kaikissa EU-alueen Itämeren rantavaltioissa havaitaan kevätvehnän satotason laskeneen poikkeuksellisen vähäsateisena kasvukautena 2018 (Kuva 10). Kuivuuden aiheuttamat satotappiot vähentävät tuotantoeläimille tarkoitettua rehua ja voivat johtaa eläinten pakkoteurastuksiin.



Kuva 10. Kevätvehnän keskisato Itämeren alueella 2010–2020 (Eurostat).

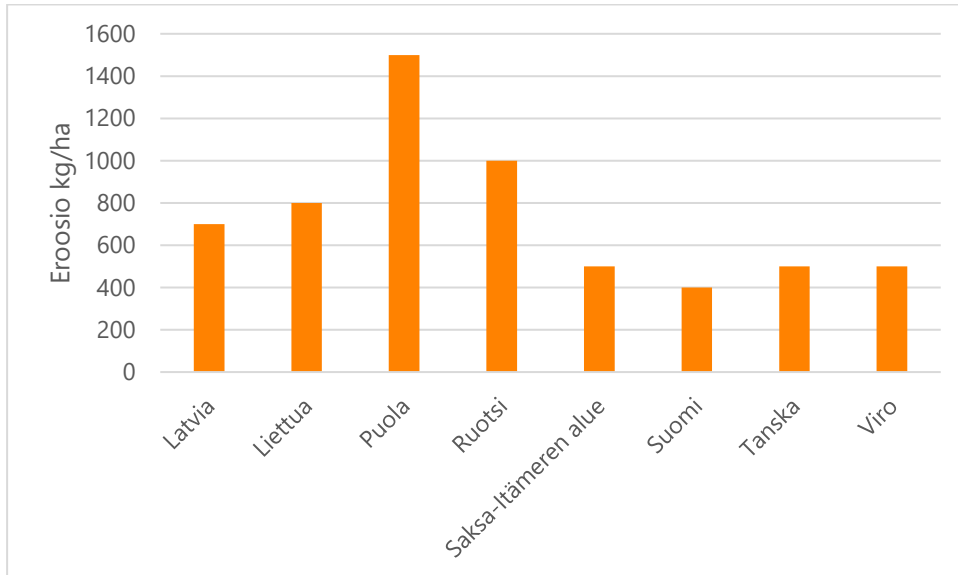
3.2. Eroosio ja huuhtoutuminen

Eroosio on veden, tuulen, jään tai muun kuluttavan tekijän aiheuttamaa maaperän kulumista. Peltoviljelyssä eroosiota aiheuttaa eniten virtaava vesi, ja vaikutusta lisäävät veden mukana kulkevat ainekset. Kuivuuden lisääntyessä veden aiheuttama eroosio ja ravinteiden huuhtoutuminen vähenevät, mutta tuulieroosio lisääntyy.

Vesieroosiota tapahtuu kaltevilla pelloilla, joissa syntyy pintavirtailua maan pinnassa tai esimerkiksi kyntövaon pohjalla. Virtaava vesi ottaa mukaansa maapartikkeleita ja kuljettaa niitä mukanaan ojien kautta isommille vesialueille. Pahimmillaan pellolle syöpyy virtausväyläksi uoma, jonka reunoilta vesi ja sen mukana liikkuvat partikkelit irrottavat mukaansa lisää partikkeleita. Tällaista uomaeroosiota tapahtuu huomattavasti myös kaivetuissa ojissa ja luonnon muovaa- missa virtausväylissä.

Eroosiota aiheuttava vesi vie pellolta mukanaan maassa liuenneina olevia ravinteita ja kivennäismaapartikkeleihin sitoutuneena olevia ravinteita ja eloperäistä ainesta. Pellolta kulkeutuu pois siis arvokkaita aineksia, ja pelto köyhtyy heikentäen sen viljelyominaisuuksia. Vesistöihin kulkeutuva aines puolestaan aiheuttaa vesistöissä rehevöitymistä.

Vesieroosiota hillitsevät maan kasvipeitteisyys ja pintamaan hyvä rakenne. Kasvipeite hidastaa veden virtausta ja vähentää veden partikkeleita irrottavaa voimaa. Kasvipeite myös suojaa maanpintaa sateiden aikana vesipisaroiden iskuilta. Kun maan rakenne on hyvä, pinnalle tuleva vesi imeytyy maahan eikä lähde virtaamaan maata pitkin. Toimiva salaojitus vähentää pintavirtailua ja siten myös eroosiota. Veden aiheuttamaa eroosiota maatalousmaista voidaan arvioida mm. pellon maalajiin, kaltevuuteen, muokkaukseen ja kasvipeitteeseen perustuen RUSLE-mallinnuksilla (Kuva 11).



Kuva 11. Joint Research Centre:n (JRC) arvioima veden aiheuttaman eroosion määrä Itämeren alueella vuonna 2016. JRC:n arvio perustuu RUSLE-mallinnuksiin. <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-erosion-water-rusle2015>.

3.2.1. Tuulieroosio

Pellon pinnasta voi irrota maahiukkasia suoraan tuulen vaikutuksesta tai ihmisen toimet voivat irrottaa maahiukkasia. Kuivissa oloissa tuuli saattaa kuljettaa isojakin määriä maata uuteen paikkaan varsinkin paljaana olevan pellon pinnasta. Kun pintamaa on kuivunut, maan muokkauksen yhteydessä havaitaan usein voimakasta pölynmuodostusta. Maan pinnasta irronnut aines kulkeutuu tuulen mukana. Tuulieroosion merkitystä pidetään vähäisenä Suomen pelloilla, ja se vähenee edelleen sitä mukaa kun peltojen kasvipeitteisyys lisääntyy. Saksassa kevään tuulieroosio on lisääntynyt selvästi vuosien 2018–2020 kuivien keväiden vaikutuksesta. Pohjois-Saksassa tuulieroosio onkin merkittävää vähäsateisilla alueilla.

EU:n tutkimuslaitos JRC on arvioinut tuulieroosion määrää Euroopan maatalousmaasta. Tanskassa ja Pohjois-Saksassa tuulieroosion määräksi on arvioitu suurimmillaan 1 500–3 000 kg/ha. Ruotsin, Baltian maiden ja Suomen tuulieroosion määrät ovat 10–500 kg/ha. Tuulieroosion arviointi perustui USA:ssa käytettyyn RWEQ (Revised Wind Erosion Equation) -malliin. Malli huomioi päivittäisen tuulen nopeuden, maalajin, maan kosteuden, muokkauksen ja kasvipeitteen (Borrelli ym. 2017). Mallin käyttöä suositeltiin kokeiltavan alueellisessa mittakaavassa, jolloin useita paikallisesti tuulieroosion vaikuttavia tekijöitä voitaisiin ottaa paremmin huomioon. Vuosittainen keskimääräinen Suomen 330 kg/ha tuulieroosio (Taulukko 5) tarkoittaisi esimerkiksi irtotiheyden 1 kg/l avulla laskettuna 0,033 mm paksuisen maakerroksen eroosiota vuosittain. Sadan vuoden aikana tuulieroosion kuluttama 33 000 kg maat vastaisi 3,3 mm maakerrosta.

Mallinnettu maksimiarvo 16 500 kg/a tarkoittaisi vastaavasti vuodessa 1,65 mm paksuisen maakerroksen poistumista pelloilta tuulieroosion vaikutuksesta.

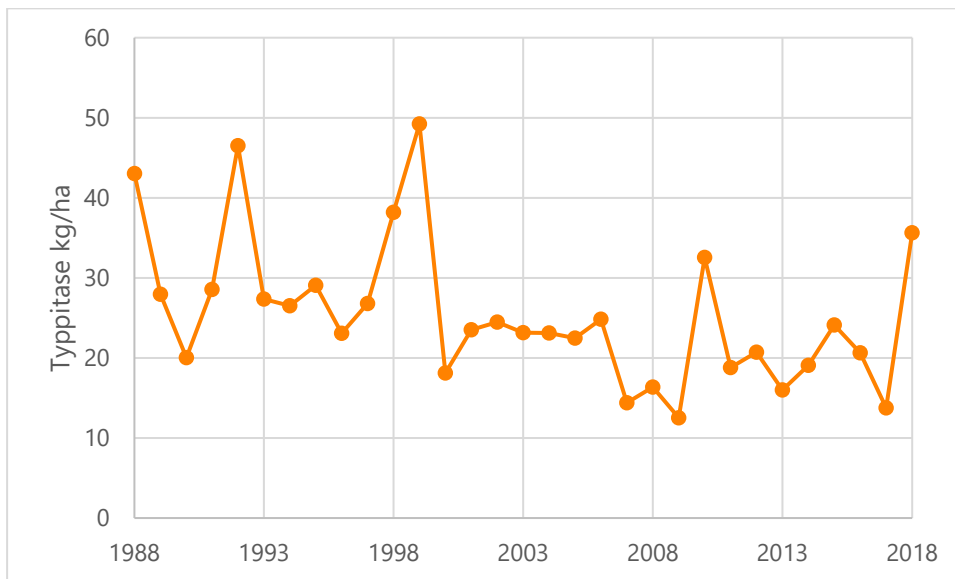
Taulukko 5. Mallinnukseen perustuvat keski- ja maksimiarvot tuulieroosion määrästä sekä peltomaan osuus, jossa tuulieroosiota tapahtuisi yli 3 000 kg/ha vuodessa (Borrelli ym. 2017).

Maa	Keskiarvo (kg/a)	Maksimi (kg/a)	Osuus (%) > 3 000 kg/ha/a
Suomi	330	16 500	3,0
Ruotsi	740	26 100	5,8
Tanska	3 000	39 900	36,3
Viro	270	15 300	2,3
Latvia	70	7 900	0,2
Liettua	100	8 100	0,1
Puola	180	11 600	0,2
Saksa	260	33 100	1,1

3.2.2. Satotasojen vaikutus huuhtoutumiseen

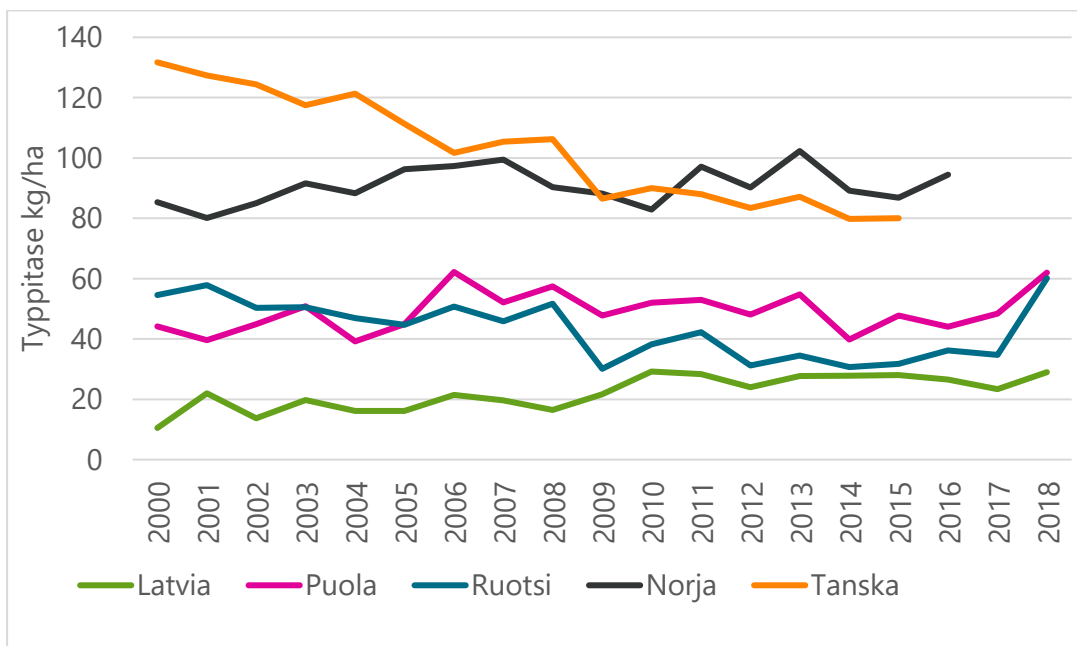
Koska kaikki tai suurin osa lannoituksesta annetaan kevätkylvöisillä kasveille keväällä, ravinteita jää käyttämättä epäedullisina kasvukausina. Kasvukauden kuivuus on yleensä suurin syy ravinnetaseiden (lannoitus – sadossa poistunut) suurenemiseen. Vaikka typpitase ei olekaan suorassa suhteessa typen hävikkeihin, typpitase kuvaa riskiä typen siirtymiselle maaperästä vesistöihin ja ilmakehään. Hyötyä taseista-hankkeessa tuotettiin lohkokirjanpitoaineistojen pohjalta vertailuarvoja erilaisten viljelykasvien alueellisista ja vuosittaisista typpitaseen jakaumista (<https://www.luke.fi/projektit/hyotya-taseista-ravinnetaseide/>). Typpitaselaskuri-hankkeessa tämän aineiston pohjalta laadittiin laskentaohjelma, joka arvioi lohkon typpitaseen suhteessa alueen muiden lohkojen typpitaseisiin tarkasteluvuonna (<https://maatalousinfo.luke.fi/fi/laskurit/nitrogenbalance>). Kuvassa 12 on näkyvissä koko aineiston kautta lasketut kauran ja ohran vuosittaiset keskiarvot Etelä-Suomessa, jotka vaihtelevat 10–50 kg/ha. Esimerkiksi korkeiden typpitaseiden vuodet 1988, 1999 ja 2018 olivat kasvukauden osalta poikkeuksellisen vähäsateisiä.

”Perusparannukset ja ravinnetase suomalaisessa peltoviljelyssä” (PERA) -hankkeessa on tutkittu peruskuivatustilan vaikutusta ravinnetaseisiin. Myös PERA-hankkeen tuloksista nähdään satotasojen alentuminen ja typpitaseiden kasvu, kun kesäkuun sadanta on ollut alle 50 mm (Ovaska 2020).



Kuva 12. Hyötyä taseista -hankkeen ohra-aineiston lohko-kohtaisen typпитaseen vuosittaiset keskiarvot Etelä-Suomessa 1988–2018.

Eurostat kerää Euroopan alueelta maatalouden tilastotietoja, joiden perusteella lasketaan myös maatalouden typpi- ja fosforitaseet. Koska tärkeimmät typпитaseen panokset eli mineraalilannoitus ja lannankäyttö muuttuvat yleensä hitaasti, taseiden vuosien välinen vaihtelu johtuu pääosin satotasosta. Eri maiden taseissa havaitaan suurimmillaan noin 20 kg/ha suuruista vaihtelua lähekkäin olevien vuosien välillä (Kuva 13). Tanskassa typпитaseet ovat laskeneet selvästi tarkastelujakson aikana, mikä johtuu pääasiassa lannan typen käytön tehostamisesta. Vuoden 2018 kuiva kasvukausi erottuu selvästi edellisiä vuosia suurempana taseena Puolan ja Ruotsin luvuissa.



Kuva 13. Muutamien Itämeren alueen maiden koko maatalouden typпитaseiden vaihtelu 2000–2018 (Eurostat).

3.3. Kotieläintuotannon vedentarve

3.3.1. Juomaveden tarve ja laatuvaatimukset

Alkutuotantoasetus asettaa käytettävän veden turvallisuudelle vaatimuksia. Ruokaviraston ohjeiden mukaan: "Veden, jota alkutuotantopaikalla käytetään tuotantoeläinten juomavetenä, vesiviljelyssä, alkutuotannon tuotteiden kastelussa, puhdistamisessa ja jäähdyttämisessä sekä alkutuotantopaikan pintojen, laitteiden ja välineiden puhdistamiseen ja huuhteluun, on oltava puhdasta. Vedessä ei saa olla vierasta hajua tai makua eikä myöskään pieneliöitä, loisia tai vieraita aineita niin, että vesi voisi vaarantaa alkutuotannon tuotteiden ja niistä saatavien elintarvikkeiden turvallisuuden. Pintaveden käyttöä suunniteltaessa kannattaa vesilähteen laatuun ja laadun tasaisuuteen sekä riittävyteen kiinnittää huomiota (<https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/elintarvikkeiden-alkutuotanto/veden-laatuvaatimukset/>).

Taulukko 6. Tuotantoeläinten päivittäinen juomaveden kulutus (Tertsunen ym. 2005).

Eläin	Ikä tai tuotantomuoto	l/vrk
Nauta	Lypsylehmä	110
	Emolehmä	40
	Sonni	30
	Hieho	30
	Vasikat < 1 vuosi	23
Lammas	Uuhi	12
	Muut	8,5
Sika	Karju	8
	Emakko	20
	Lihasilaika > 50 kg	9
	Porsas 20–50 kg	5
	Porsas < 20 kg	2
Siipikarja	Muniva kana	0,2
	Broileri	0,2
Hevonen	Täysikokoinen	25

Nautojen juomaveden on täytettävä samat vaatimukset kuin ihmisten juomaveden. Kunnallisten ja muiden vesilaitosten vettä valvotaan viranomaisten puolesta. Omaa vesilähdettä käytettäessä tulee näytteenotosta huolehtia itse kolmen vuoden välein. Oman vesilähteen kunnosta tulee huolehtia ja pintavesien pääsy kaivoon estää. Laitumien juoma-astiat tulee puhdistaa riittävän usein sekä tarvittaessa desinfioida. Turvallisin vaihtoehto on riittävä määrä helposti puhdistettavia ja tehokkaita automaattikuppeja. Seisovaa vettä sisältäviin altaisiin muodostuu helposti levä- ja bakteerikasvua ja linnut käyttävät niitä juomapaikkoinaan.

3.3.2. Puhdistus ja lannan käsittely

Juomaveden lisäksi kotieläintuotanto käyttää vettä puhdistukseen ja lannan siirtämiseen lietelantana. Lannan ominaisuuksia määrittäneissä hankkeissa on kerätty arvioita kotieläintilojen tarvitsemista vesimääristä (Taulukko 7).

Taulukko 7. Kotieläintuotannossa puhtaanapitoon käytettyjä vesimääriä lietelantajärjestelmässä (Luostarinen ym. 2017).

Eläinlaji	Tuotanto	Vettä eläintä tai eläinpaikkaa kohti l/a
Naudat	Lehmä	1 900–2 530
	Sonni	1 800
Siat	Emakko	850
	Lihasila	68

3.3.3. Veden saanti

Sorvala ym. (2006) toteuttivat kyselyn Suomen maatalojen vedenkäytön lähteistä vuonna 2004. Kyselytutkimuksen mukaan 45 % maito- ja sikatiloista käytti toimintoihinsa vain oman kaivon vettä. Kunnallista vettä käytettiin usein varavesilähteenä. Broileritiloista yli 60 % käytti pelkästään kunnallista vettä ja loput 40 % omaa ja kunnallista vettä. 1980-luvulla perustetut ja sitä vanhemmat omat kaivot olivat pääosin rengaskaivoja, mutta 1990-luvulta alkaen porakaivojen osuus oli uusissa kaivoissa suurempi kuin rengaskaivojen.

Ruotsissa on arvioitu, että vuonna 2015 maatalouden käyttämästä 75 miljoonasta kuutiometristä 64 % käytettiin kasteluun ja 36 % kotieläintaloudessa (SCB 2017). Samassa kyselyssä (SCB 2017) 84 % maataloista ilmoitti käyttävänsä pintavesiä kasteluun, mutta vesimääriä ei kysytty.

4. Vesihuollon kuivuusriskit

4.1. Veden määrän väheneminen

Pitkät kuivusjaksot voivat aiheuttaa vesihuollolle ongelmia sekä veden määrässä että laadussa. Pohjoiset ilmasto-olot ja pitkän aikavälin ilmastoennusteet ennustavat, että Suomessa vuoden kokonaissadanta tulisi kasvamaan ja siksi niin pohja- kuin pintavedetkään eivät ole määrällisesti vaarassa. Pitkään jatkuvissa kuivusjaksoissa pohjaveden pinnankorkeus laskee sateen puutteen ja haihdunnan seurauksena. Pohjavettä muodostuu eniten kasvukauden ulkopuolella suolan maan aikaan, jolloin sateena tulevilla vedellä on parhaat mahdollisuudet imeytyä pohjavesiin asti. Kylmät ja vähälumiset talvet yhdistettynä kesän pitkiin kuivusjaksoihin, voivat toistuvissaan aiheuttaa paikallisesti ongelmia pienille pohjavedenottamoille, mutta etenkin kotitalouksille, joiden vedensaanti on rengaskaivojen varassa. Alhaiset pohjaveden tasot herkistävät pohjavedet myös pilaantumiselle, sillä vesimuodostuman pinnan laskiessa sen virtaussuunnat voivat muuttua ja pohjaveteen voi päätyä haitta-aineita joko maaperästä tai pintavesistä. (Vieonen ym. 2012, s. 31–33).

Isoilla vesihuoltolaitoksilla käyttövetä tuotetaan useasta lähteestä ja laitoksilla on yleensä olemassa myös varajärjestelmiä häiriötilanteiden varalta. Vesihuollolle haasteita syntyy, kun vesivaraston veden laatu heikkenee samalla kun vedenkulutus lisääntyy. Laajoissa kuivuustilanteissa, joissa kuivuus vaikuttaa useamman valuma-alueen alalla vesihuollon ongelmaksi voi tulla, että kuivuus ja ongelmatilanteita varten suunnitellut varajärjestelmät ovat jo käytössä tai vaarantuneet. Tämä voi olla seurausta siitä, että vesihuoltolaitos tukeutuu varajärjestelmä esimerkiksi viereisellä valuma-alueella olevaan pohjavesialueeseen tai siirtoputkistoon, joka tuo vettä kauempaa. Tilanteessa, jossa useammat vesihuoltolaitokset tukeutuvat samaan vesilähteeseen voi tulla eteen tilanne, jossa varajärjestelmienkin vedet hupenevat vähiin.

Vesihuoltolaitosten tulee varautua myös tilanteisiin, kun varajärjestelmäkään eivät toimi, tällöin tulee olla suunnitelmat siitä, miten ja mistä ja kenelle pystytään turvaamaan riittävä maan veden saanti.

4.2. Vedenkulutuksen lisääntyminen kuivina kausina

Kuivina kausina veden tarve on akuutti kaikilla vettä käyttävillä sektoreilla. Tämän takia kuivakausilla vedenkulutus voi kasvaa merkittävästikin. Tanskan Vesiyhdistys DANVA:n tuottamassa vesisektorin vuosiraportissa todetaan, että vuonna 2018 yhdistyksen jäsenyritysten myymän veden määrä kasvoi 105 litraan/henkilö/päivä kun päiväkohtainen keskiarvo oli 103 litraa/henkilö vuorokaudessa. Muutosta selittää vuoden 2018 kesän pitkän kuivusjakso ja sen seurauksena kasvanut puutarhan kastelun, metsäpalojen ja uima-altaiden käytön lisääntyminen. (DANVA 2019, s. 3)

Samaan aikaan lisääntyneen vedenkulutuksen kanssa Tanskassa ilmeni toinen veden kulumista lisäävä tekijä - putkirikot. Tanskassa on veden hävikkien tasoa saatu vähänemään tasaisesti aina vuodesta 2011 vuoteen 2017, saakka. Kunnes vuonna 2018 tulokset osoittivat, että vesijärjestelmän hävikki kasvoi maanlaajuisesti 7,22 %:sta 8,05 %:iin. DANVA:n jäsenyritysten raportit vahvistivat, että putkirikkojen määrä kasvoi tuona vuonna 6 %:lla. Kuivuuden kytkös putkirikoihin selittyy sillä, että kuivana ajanjaksona putkia ympäröivän maa-aineksen kosteus pienee ja se ei enää jaksa kannatella putken painoa. (DANVA 2019, s. 16)

4.3. Veden laadun heikkeneminen

Kuivuus aiheuttaa veden hankinnan kannalta ongelmia myös veden laadun heikkenemisen kautta. Suomen ilmastopaneeli listasi kuivuuden aiheuttamia haittoja veden laatuun (Meriläinen ym. 2019). Kuivuuden seurauksena virtaavat vesistöissä laskevat, mistä seuraa sisäisen kuormituksen lisääntymistä. Sisäisellä kuormituksella tarkoitetaan tilannetta, jossa vesistön pohjaan kertyneitä ravinteita ja haitta-aineita vapautuu hapettomissa oloissa ympäröivään veteen. Tästä voi seurata runsaita leväkukintoja, joilla negatiivinen vaikutus pintaveden laatuun.

Kuivuuden vaikutukset pohjaveden laatuun vaikuttavat samalla tapaa pintavesien kanssa. Pohjavesien pinnan tason laskemisen myötä veden happitilanne muuttuu, jonka seurauksena syntyy happikato. Pohjavesissä happikadon seurauksena veteen voi liueta rautaa- ja mangaania, mutta myös haju- ja makuhaittoja aiheuttavia yhdisteitä kuten ammoniumin, metaania ja rikkivetyä. Haja-asutusalueiden pieniä pohjavesivarantoja hyödyntävät kaivot voivat kuivua pitkillä kuivuusjaksoilla kokonaan tai niiden veden laatu voi heikentyä.

Kuivuus voi vaarantaa veden laatua myös epäsuorasti, kun heikentyneitä putki- ja kaivorakenteita ympäröivä maa kuivuu ja sen kantavuus heikkenee, jonka seurauksena voi syntyä putkiriikkoja. Haljenneesta kaivosta voi päästä humusta tai muita vierasaineita raakaveden sekaan ja aiheuttaa veden laadun heikkenemistä.

5. Sopeutumistoimet

5.1. Maan hoito

5.1.1. Maan muokkaus

Muokkausmenetelmävalinnalla voidaan jonkin verran vaikuttaa maan vesitalouteen ja kuivuudenkestävyyteen. Oleellista on säilyttää kevätkosteus maassa niin hyvin kuin mahdollista, jotta kevätkylvöiset kasvit itävät ja taimettuvat hyvin. Muokkauksen avulla maahan pyritään saamaan kylvöalusta, joka tarjoaa haihtumissuojan siementen päälle ja säilyttää maan kosteutta kylvösyvydessä. Toisaalta voimakkaiden sateiden varalta kylvöalustan pitäisi tarjota siemenelle tai taimelle myös ilmaa sisältävää huokostilaa sekä estää maan pinnan liettyminen ja kuoretuminen.

Perinteinen muokkausmenetelmä eli kyntäminen kuivattaa tehokkaasti maan pintaa ilmavirtausten päästessä kyntökerrokseen. Tämän takia kyntö on sopiva muokkausmenetelmä märkyyteen taipuvaisilla pelloilla, mutta turhan haihtumisen estämiseksi kynnöksen pinta on muokattava hienoksi heti, kun maa on kuivahtanut muokkaukseen.

Kevennetyssä muokkauksessa maata ei kynnetä, vaan kyntöaura korvataan äkeellä, jyrsimellä tai kultivaattorilla. Sänki ja maan pinnassa olevat kasvintähteet sekoittuvat kevyesti pintamaahan. Suorakylvössä maata ei muokata lainkaan. Kylvökoneessa on maata leikkaavat terät tai kiekot, joiden avulla siemenet ja lannoitteet sijoitetaan suoraan edellisen kasvuston sänkeen.

Kevennetyn muokkauksen ja suorakylvön etuna on, että maan pintaan jäävä kasvustotähde vähentää veden haihduntaa pintamaasta, mikä säästää maan kosteutta ja pidentää myös kylvöaikaa. VEHMAS-hankkeen tulosten perusteella muokkauksen keventäminen ja suorakylvön käyttö vähentävät alkukesän kuivuuden vaikutuksia viljasatoon (Alakukku & Peltonen-Sainio 2014). Aiemmissä tutkimuksissa on myös todettu, että kevennetyksi muokatussa maassa on yhtenäinen, syvälle jatkuva makrohuokosverkosto, jota kyntö ei ole katkaissut. Tämän on todettu nopeuttavan juurten kasvua pohjamaahan, mikä varmistaa kasvin vedenottoa.

Sateisina kasvukausina kevennety muokkaus voi kuitenkin heikentää satoja, ja suorakylvössä satotappiot voivat olla huomattavat kyntöön verrattuna. Muokkaamaton maa ei pysty vastaanottamaan vettä yhtä hyvin kuin kynnety. Märkinä keväänä muokkaamaton maa ja maan pinnalla oleva kasvustotähde voivat hidastaa maan kuivumista, viivästyttää kylvöä ja lisätä satotappion riskiä merkittävästi (Alakukku & Peltonen-Sainio 2014).

Muokkausmenetelmän keventäminen onnistuu vain hyvärakenteisilla peltolohkoilla, joiden ojitus on kunnossa. Tällöin kevennetyllä muokkauksella voidaan todennäköisesti korvata osa kastelutarpeesta kuivana alkukasvukautena (Alakukku & Peltonen-Sainio 2014). Syysviljat eivät kärsi kevätkuivuudesta kevätkylvöisten viljojen tavoin, koska niille on jo ehtinyt kehittyä juuristo, jolla ne voivat ottaa vettä paksummasta maakerroksesta.

Satovuonna 2015–2016 yli puolet Suomessa kylvetystä peltoalasta oli kynnety. Kevennetyn muokkauksen osuus oli vajaa 30 prosenttia, ja suorakylvön vajaa kymmenes kylvöalasta (<https://stat.luke.fi/viljelysmaan-hoito-ja-kastelu>). Muokkaustavan valintaan vaikuttavat tiloilla kuivuudenkestävyyden parantamisen lisäksi myös mm. energian- ja työnsäästö ja peltolohkon muut ominaisuudet sekä kasvitautitilanne.

Kuivien jaksojen harvoja hyviä puolia on se, että olosuhteet salaojitukselle ja maan syvien kerrosten muokkaukselle ovat hyvät maan ollessa kuivaa. Kuivuus on tärkeää erityisesti savimailla, koska vain kuiva maa voi muodostaa muruja, mikä on savimaan rakenteen paranemisen edellytys. Kuivissa oloissa salaojakaivanto voidaan täyttää murustuneella maalla, mikä helpottaa veden pääsyä salaojiin. Jos käytetään aurasalaojamenetelmää tai muokataan maan syviä kerroksia jankkurin avulla, kuivuus parantaa mekaanisesti aikaansaadun kuohkean rakenteen säilymistä.

5.1.2. Orgaaninen aines

Orgaanisen aineksen kyky pidättää vettä ja muodostaa huokosia maapartikkelien kanssa lisää maassa kasveille käytettävissä olevan veden määrää. Kivennäismailla kaikki orgaanista ainesta ylläpitävät tai lisäävät toimenpiteet lisäävät kasvien mahdollisuuksia selvitä kuivuusjaksoista vähäisin vaurioin. Multa- ja turvemaiden orgaanisen aineksen määrä on vesitalouden kannalta yleensä riittävä, ja orgaanisen aineksen määrän muutokset eivät vaikuta niin selvästi kasveille käyttökelpoisen veden määrään. Orgaanisen aineksen ja sen sisältämän hiilen merkitykseen maaperässä liittyvät myös hiilen sitominen ilmakehästä ja orgaanisen aineksen maan rakennetta ja ravinnetaloutta parantavat vaikutukset.

Maan orgaanisen aineksen lisäämiseen on viime vuosina keskitytty useissa hankkeissa. Orgaaninen aines maan tuottokyvyn kulmakivenä ja OSMO – Osaamista ja työkaluja resurssitehokkaaseen maan kasvukunnon hoitoon yhteistyöllä ovat esimerkkejä tuoreista päättyneistä hankkeista, joissa verrattiin orgaanisen ainekseen roolia muihin maan kasvukuntoon vaikuttaviin tekijöihin. Tällä hetkellä ovat menossa mm. Carbon Action- ja Maanviljelyn monihyötyiset ratkaisut ilmastokestävään ruokajärjestelmään-hanke, jotka etsivät tehokkaita menetelmiä maan orgaanisen aineksen lisäämiseen viljelymaissa.

Orgaanisen aineksen ylläpitoon pyritään yleensä muokkauksen keventämisen ja kasvinjätteen peltoon jättämisen avulla. Aktiivisempia keinoja ovat kerääjä- ja aluskasvien viljely, jolloin maahan voidaan lisätä normaaliin viljelytapaan nähden ylimääräistä biomassaa. Viljelykiertoihin voidaan mahdollisuuksien mukaan sisällyttää runsas- ja syväjuurisia kasveja. Maanparannusaineet ovat myös hyvä vaihtoehto tuoda lohkolle lisää orgaanista ainesta.

Orgaanisen aineksen laatu vaikuttaa sen hajoamiseen ja kestäväen orgaanisen aineksen muodostumiseen. Kasvinjätteen hajoamisnopeus riippuu mm. niiden hiilen ja typen suhteesta sekä selluloosan ja ligniinin suhteesta (Jensen ym. 2005). Maanparannusaineiden hiilen vapautumisnopeutta tutkittiin Maanparannusaineiden hiilitasevaikutuksen mallinnus (MAHTAVA)-hankkeessa. Tuloksista havaittiin mm. juurten hajoavan versoja hitaammin ja prosessoinnin lisäävän lannan orgaanisen aineksen pysyvyyttä (Regina 2019).

Orgaanisen aineksen säilymiseen maaperässä vaikuttavat myös maaperän ominaisuudet. Savesuojaa orgaanista ainesta mikrobien hajotukselta, joten savimaiden orgaanisen aineksen ylläpito ja lisääminen on karkeita kivennäismaita helpompaa.

5.2. Veden pidättäminen maatalousmaissa

5.2.1. Pohjaveden pinnankorkeuden säätely

Suomen peltopinta-alasta 67 % oli salaojitettu vuonna 2013. Salaojien syvyys on keskimäärin yksi metri, joten ojat pystyvät poistamaan maasta vettä enimmillään noin yhden metrin

syvyydeltä. Kuivatustarve on suurimmillaan lumen sulamisen jälkeen sekä syysateiden aikaan. Myös kasvukauden aikaisten rankkasateiden vedet on johdettava pois pellolta tehokkaasti. Kuivatuksen päätavoitteet ovat saada pellolle riittävä kantavuus viljelytoimia varten sekä varmistaa, ettei kasvusto kärsi hapenpuutteesta.

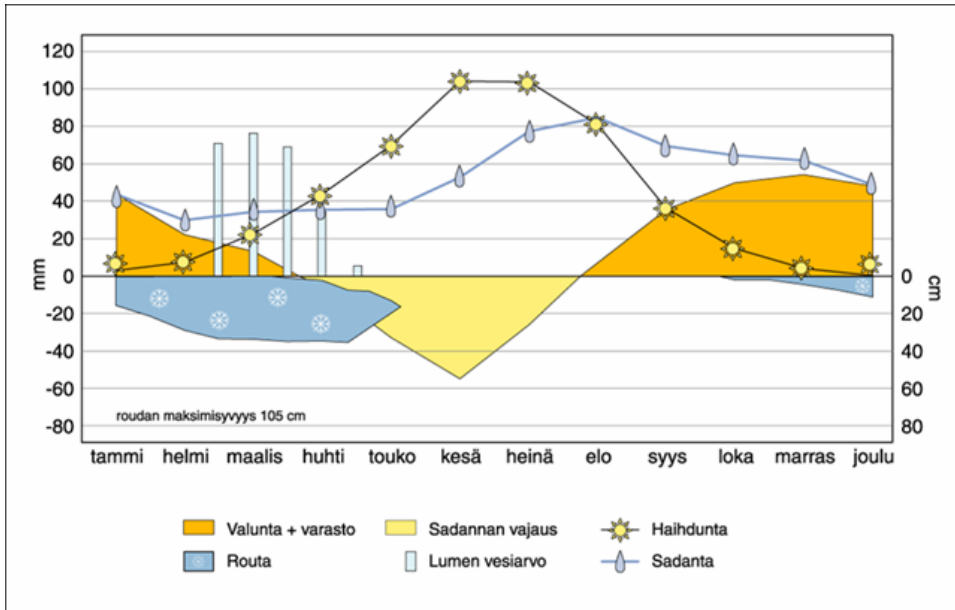
Itämeren ympäristön maissa vallitsevassa ilmastossa haihdunta on kesäisin suurempaa kuin sadanta. Sadannan vajauksen takia maa kuivuu (Kuva 14), ja vedestä tulee viljelykasvien kasvua rajoittava tekijä. Kuivina kausina pohjavesi voi laskea useitakin metrejä salaojasyvyyden alapuolelle.

Maan huokosrakenteesta riippuu, kuinka paljon maa pystyy varastoimaan kasveille käyttökelpoista vettä pohjavedenpinnan yläpuolella ja kuinka hyvin vesi pystyy nousemaan kapillaarisesti pohjavedenpinnasta kohti juuria ja maanpintaa. Nämä ominaisuudet määrittävät yhdessä, kuinka poudankestävää maa on. Savimaa pidättää runsaasti vettä niin tiukasti maahiukkasten ympärille, etteivät kasvit pysty sitä ottamaan, ja kasvit kärsivät savimaalla helposti veden puutteesta. Karkeat maat puolestaan eivät pysty pidättämään vettä huokosiinsa tehokkaasti vaan sadevesi valuu maan läpi. Hienot hietamaat ovat kaikkein poudankestävimpiä kivennäismaalajeja, sillä ne varastoivat paljon vettä, ja vesi siirtyy maassa kosteammasta paikasta kuivempaan melko nopeasti. Hiesumaat pidättävät hyvin runsaasti kasveille käyttökelpoista vettä, mutta vesi liikkuu niissä kapillaarisesti niin nopeasti, että vettä tuhlaantuu tarpeettomaan haihduntaan ja vesivarastot ehtyvät nopeasti. Turvemaat pystyvät varastoimaan suuria määriä kasveille käyttökelpoista vettä ja ovat kaikkein poudankestävimpiä maalajeja. Kuivina kasvukausina eloperäisiltä mailta saadaan paremmat sadot kuin kivennäismailta (Kuva 15).

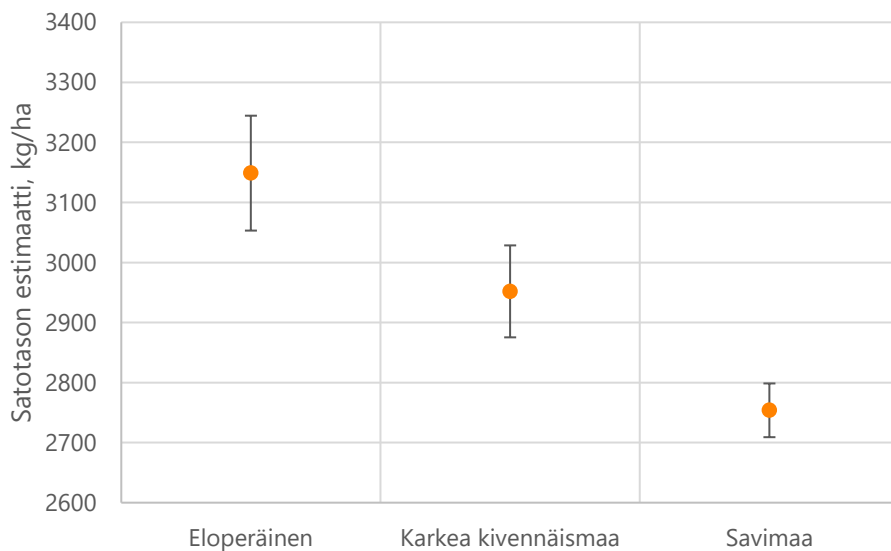
Vettä voidaan jonkin verran varastoida peltoon säätösalaojituksella, jolla vettä padotetaan salaojastoon, kun kuivatusta ei tarvita. Valunta pois pellolta vähenee, ja kasveilla on enemmän vettä käytettävissään. Samalla veden mukana kulkeutuvien ravinteiden huuhtoutuminen pienenee. Säätösalaojitus voi vähentää typen ja fosforin huuhtoumia kymmenillä prosentilla valunnan vähenemisen ansiosta (Carstensen ym. 2019). Turvemaiden padotuksen aikaansaama korkeampi vedenpinta ohentaa hapellista maakerrosta ja haittaa hajottajamikrobien toimintaa. Turpeen hajoaminen hidastuu, ja sen myötä vähenevät myös kasvihuonekaasupäästöt ilmakehään ja ravinteiden huuhtoutuminen vesistöihin. Turvemaiden kasvihuonekaasupäästöt voivat vähentyä 23–42 prosenttia, jos vedenpintaa nostetaan 70 cm:stä 30 cm:iin (Regina ym. 2015).

Padotus ei pysty pitämään vettä padotuskorkeudessa kuivina aikoina, vaan pohjavedenpinta painuu syvemmälle kasvien vedenoton, haihtumisen ja pohjavesivalunnan takia. Vedenpinnan laskua on mahdollista estää salaojakastelulla pumpaamalla salaojastoon vettä ulkopuolisesta vesilähteestä (Kuva 16). Salaojakastelun on todettu soveltuvan hyvin perunanviljelyyn (Myllys ym. 2009) ja sitä on käytetty menestyksekkäästi korkean vedenpinnan ylläpitämiseksi happamilla sulfaattimailla (Uusi-Kämpä ym. 2013).

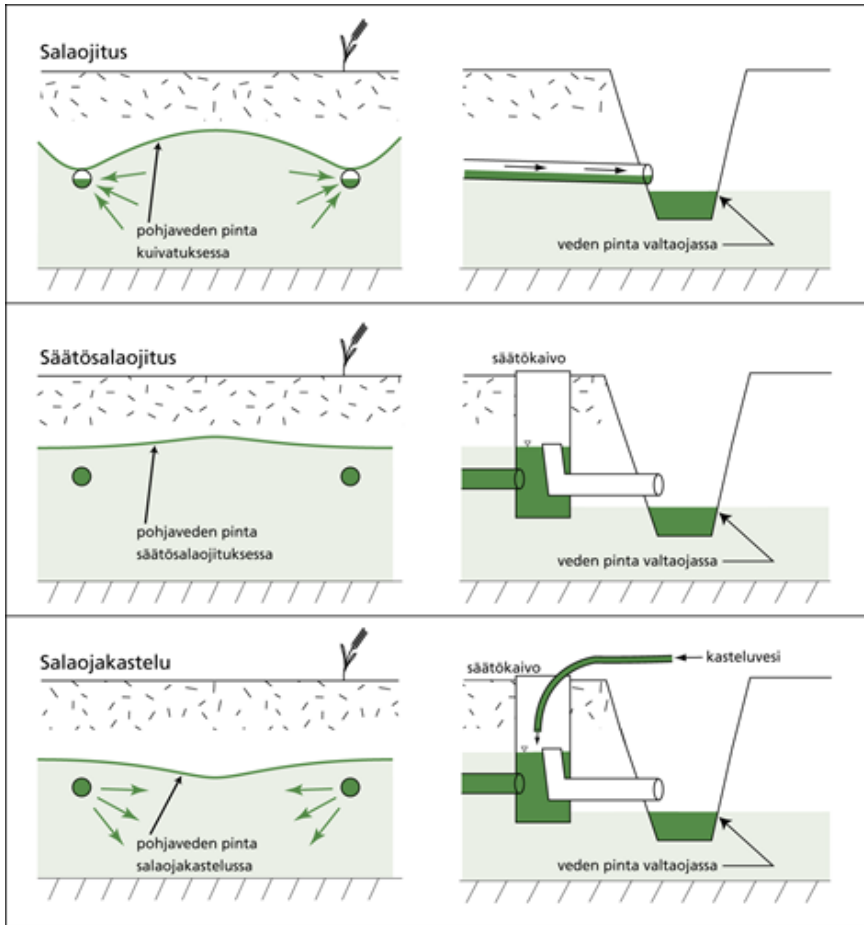
Säätösalaojitus ja salaojakastelu ovat yleistyneet viime vuosina, jolloin ne ovat olleet maatalouden ympäristökorvausjärjestelmän toimenpiteitä. Vuonna 2017 säätösalaojituksesta maksettiin korvausta vajaan 42 000 hehtaarin alalle ja salaojakastelusta vajaan 11 hehtaarin alalle (Hyvönen ym. 2020). Säätösalaojitus ja salaojakastelu soveltuvat tasaisille maille. Säätösalaojituksessa pellon kaltevuus saa olla korkeintaan kaksi prosenttia ja salaojakastelussa yksi prosentti. Maan pitää olla hyvin vettä läpäisevää ja pohjamaan puolestaan huonosti vettä läpäisevää <https://www.salaojayhdistys.fi/fi/2015/10/saatosalaojitus/>. Salaojakastelu edellyttää, että käytettävissä on vedenlähde, josta vettä voidaan pumpata.



Kuva 14. Sadanta, valunta ja haihdunta Suomessa eri kuukausina. Salaojayhdistys ry.



Kuva 15. Lohkokirjanpitoaineistosta lasketut kevätiljojen satotason estimaatit ja 95 %:n luottamusvälit Etelä-Suomen eloperäisille ja kivennäismaille vuosilta 1988, 1999 ja 2018, jolloin kuivuus heikensi viljojen satoa.



Kuva 16. Salaajituksen, säätösalaajituksen ja salaajakastelun periaatteet. Salaajayhdistys ry.

5.3. Viljelykasvien ja -kiertojen sopeuttaminen

5.3.1. Viljelykasvien ominaisuudet, juuriston syvyys, kasvuajat

Kasvinjalostus on viimeisten vuosikymmenten aikana nostanut merkittävästi tärkeimpien viljelykasvien satotasoa. Uusien lajikkeiden kuivuusstressin sietokyvyn parantaminen on kuivien kasvukausien seurauksena otettu myös tarkastelun kohteeksi (<https://qgg.au.dk/en/qgg-news/artikel/danish-plant-species-to-prevent-drought-loss-for-billions/>). Juuriston kehitysnopeuden ja juuriston syvyyden lisääminen ovat keinoja reagoida kuivan alkukesän aiheuttamaan vesistressiin. Lisääntyvän väestön ja ilmastomuutoksen vuoksi kuivuuden kestävyysparantaminen on yksi kasvinjalostuksen painopisteitä. Berliinissä marraskuussa 2019 järjestetty ”Genetic diversity-the key for improving drought stress tolerance in crops” asiantuntijakokous esitti kasvinjalostuksen osalta mm. seuraavia toimia: Olemassa olevien resurssien geneettisen vaihtelun kartoittamista kuivuudenkestävyyden osalta on jatkettava. Kuivuutta kestäviä lajikkeiden tunnistamista on edelleen kehitettävä, jotta voidaan tunnistaa paremmin kuivuuden kestävyteen vaikuttavia geenejä ja geenialueita. Julius Kuhn - Instituutti (JKI) on aloittanut vehnän lämmön ja kuivuuden kestävyttä kehittävien jalostushankkeiden koordinoinnin.

VEHMAS-hankkeessa kiinnitettiin huomiota syysviljojen kevätiljoja nopeampaan ja syvemälle ulottuvaan juurten kasvuun. Syysviljan juuriston on havaittu yltävän jo huhtikuussa puolen metrin syvyyteen, minkä seurauksena kasvi hyödyntää hyvin kevätkosteutta ja pohjamaan vesivarjoja (Alakukku & Peltonen-Sainio 2014).

5.3.2. Viljelykierrot, suunnittelu ajan ja paikan suhteen

Viljelykasvien veden käytön tehokkuus oli merkittävästi parantunut oloissamme viime vuosikymmenten aikana (Peltonen-Sainio ym. 2016b). Veden käytön tehostaminen viljelytoimin ja kasvinjalostuksen keinoin ei kuitenkaan ole yksinään riittävä toimenpide vastaamaan tulevaisuuden todennäköisiin kuivuushaasteisiin. Jos säävaihtelu lisääntyy ennakoitusti ILMAPUS-KURI-hankkeen johtopäätösten mukaan (Peltonen-Sainio & Palosuo 2016), alkukasvukauden voimakkaat kuivuusjaksot vaativat muitakin keinoja satotasojen turvaamiseksi. Viljelykasvien sijoittelu peltojen kuivuudenkestävyyden ja kastelumahdollisuuksien mukaan varmentaa tuottoisimpien satokasvien kohtuullisen menestymisen myös kuivuusjaksojen aikana. Tärkeintä on panostaa kokonaisvaltaisten ja ympärivuotisten vesitalouden hallintajärjestelmien kehittämiseen VEHMAS-hankkeen johtopäätösten mukaisesti (Peltonen-Sainio ym. 2015a ja 2015b).

5.3.3. Peltometsäviljely

Peltometsäviljelyssä (agroforestry) ruoantuotantoon yhdistetään puuvartista kasvillisuutta monipuolisten tuotannollisten hyötyjen ja ympäristöhyötyjen saavuttamiseksi. Puiden ja peltokasvien yhdistäminen vähentää haihtumista hidastamalla tuulen nopeutta ja myös riski maan kulkeutumiselle pois lohkolta tuulieroosion takia vähenee. Suomessa aikoinaan yleinen metsälaidunnus on myös esimerkki peltometsäviljelystä. Suomessa maiseman monimuotoisuus ja isojen yhteisten peltoalueiden vähäisyys tuo luontaisesti peltometsäviljelyn etuja.

5.4. Kastelu

VEHMAS-hankeessa todettiin suomalaisten peltojen hyvä kastelupotentiaali, jota on mahdollista hyödyntää ilmastomuutoksen kuivuusjaksoihin sopeutumisessa (Alakukku ja Peltonen-Sainio 2014). Samassa tutkimuksessa todettiin myös ankaran, kasvien kannalta kriittiseen hetkeen osuvan kastelutarpeen aiheuttama suuri hetkellinen vedentarve, jolloin vesivarojen riittävydestä ei ole takuita. Viljelykasvien kehitysrytmin nopeutuminen kohoavien lämpötilojen takia ajoittanee kriittisen kasteluhetken lyhyeksi ajanjaksoksi.

Pyhäjärvi-instituutin 2009 ja 2012 toteuttamissa tutkimuksissa tarkasteltiin kasteluveden ottoa ja käyttöä Satakunnan alueella (Salo ym. 2018). Maatilat ottivat kasteluvettä yleensä useista eri paikoista. Vettä otettiin järvistä, joista ja kastelualtaista. Viljelijöiden havaintojen mukaan kasteluveden otosta ei ollut haittaa ympäristölle, mutta kuivimpana kesinä veden määrä vähenee niin paljon, että kastelua ei pienimmistä vesivaroista voida enää tehdä.

5.4.1. Kastelumenetelmät (sprinklerit, puomit, tihku, salaojakastelu)

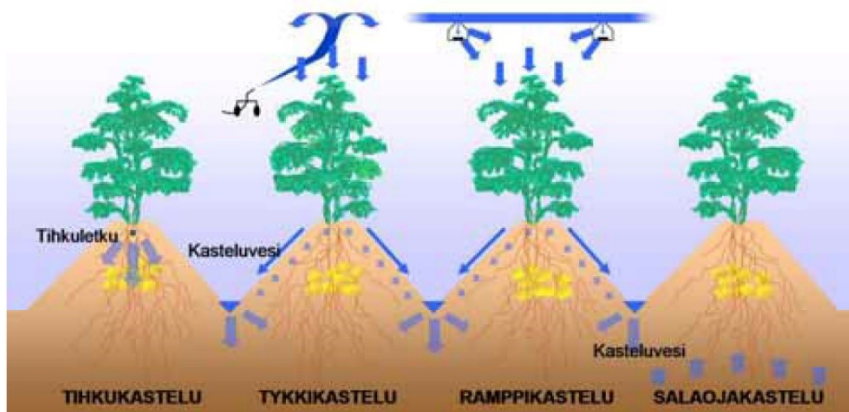
Sadetta jäljittelevät sadetusmenetelmät, tykki- ja puomikastelu sekä tihkukastelu ja salaojakastelu ovat Suomessa ja Itämeren alueella yleisimmin käytetyt kastelumenetelmät (Taulukko 8). Niiden välillä on eroja vedenkulkeutumistavassa maahan (Kuva 17), laitteistojen käyttötavoissa, työnmenekissä ja kustannuksissa.

Taulukko 8. Kastelumenetelmien plussat ja miinukset tekniikan kannalta

Kastelumenetelmä	Edut (+)	Haitat (-)
Tykkikastelu		
	+ perusmenetelmä	- raju kastelu
	+ helppo siirtää	- kastelu ei täysin tasaista
	+ edullisempi kuin puomi	- herkkä tuulelle
	+ intensiteetin säätö helppoa (vain yksi suutin)	
Puomikastelu (Ramppikastelu)		
	+ mahdollisuus suureen sadetustehoon	- työläämpi kuin tykkikastelu
	+ tasainen kastelu	- kalliimpi kuin tykkikastelu
	+ hellävarainen kastelu	- täyttöturvallisuusriskejä enemmän kuin tykkikastelussa
	+ ei herkkä tuulelle	
Tihkukastelu		
	+ säästää vettä	- suuret vuosittaiset kustannukset
	+ mahdollisuus lannoitukseen kasvukauden aikana	- suuri työnmenekki asennuksessa
	+ asennuksen jälkeen käyttövalmis koko kasvukauden ajan	- muovijätteen määrä
		- hallinta ja säädöt vaativampia kuin muissa menetelmissä
Salaojakastelu (Altakastelu)		
	+ pitkäikäinen	- soveltuu vain tasaisille ja vettä hyvin läpäiseville maille
	+ pienet käyttökustannukset	- muita suurempi veden tarve
	+ vähentynyt ravinteiden huuhtoutuminen vesistöön	

Satakunnan alueella vuonna 2009 (Salo ym. 2018) sprinklerit olivat yleisin menetelmä (45 %). Tihkukastelua käytettiin 33 %:lla tiloista, sadetustykkiä hieman yli 10 %:lla ja puomisadetusta muutamalla prosentilla vastanneista maatiloista. Salaojakastelua käytetään jonkin verran erityisesti perunanviljelyssä. Kastelumenetelmien yksityiskohtia ovat kuvanneet Järvenpää ja Savolainen (2015, s. 146–160).

Säätösalojitus nosti satotasojä 5,6–10 % kuivina kasvukausina (sadanta 73–75 % keskiarvosta) Liettuassa 2000–2007 tehdyssä koesarjassa (Ramoska ym. 2011). Samalla valunta väheni 25 % ja nitraatin huuhtoutuminen 20–28 %. Suomessa typen huuhtoutuminen on säätösalojituksen avulla vähentynyt 30 % tavanomaiseen salaojitukseen verrattuna (Haataja 2000).



Kuva 17. Veden kulkeutuminen maahan eri kastelumenetelmissä.

5.4.2. Kastelun talous

Suomessa tuorein kastelun kannattavuuden arviointi tehtiin "Lounais-Suomi sopeutuu muuttuvassa ilmastossa voimistuvaan kuivuuteen" hankkeessa (https://www.ymparisto.fi/fi-FI/LOSSI/Lossi_hanke). Hankkeessa todettiin, että viljojen kastelu ja sadetuslaitteistoon investointi olisi ollut kannattavaa vuosien 1971–2020 sään perusteella isoilla ja keskiarvoa korkeampia satoja tuottavilla maatiloilla. (Peltonen-Sainio ym. 2021). Sadannan vaihtelut ilmastomuutoksen myötä ovat niin epävarmasti ennustettavia, että ilmastomuutos ei näytä vaikuttavan kasteluinvestoinnin kannattavuuteen. Peltonen-Sainio ym. (2021) kiinnittävät huomiota myös kastelumahdollisuuden ravinnehävikkejä vähentävään vaikutukseen.

Koivisto ja Salo (2021) arvioivat vihannesten kastelun kannattavuutta kolmenkymmenen vuoden sääaineiston ja kasvumallinnuksen avulla. Kastelu oli taloudellisesti kannattavaa kaikilla arvioituilla vihanneksilla (keräkaali, porkkana ja sipuli), ja kastelun kannattavuus näytti lisääntyvän viimeisten vuosien aikana. Kastelun tuottamat sadonlisäykset olivat niin merkittäviä, että suurelta osin kasteluinvestoinnit eivät poistaneet kannattavuutta.

5.5. Veden varastointi

5.5.1. Valuma-alueen vesivarastot

Järvet ovat luonnon omia vesivarastoja. Usein järvien vedenpinnan korkeutta voidaan säädellä, mikä vaikuttaa alajuoksulla virtaavan ja käytettävissä olevan veden määrään. Tekoaltaita tai -järvä on Suomessa noin 40 kpl (https://fi.wikipedia.org/wiki/Luokka:Suomen_tekojärvet). Niitä on perustettu sähköntuotantoa, teollisuuden tai yhdyskunnan raakaveden ottoa, tulvansuojelua tai jätevesien käsittelyä varten. Muutamia tekojärvä on perustettu myös virkistyskäytön tai maa-aineksen oton takia. Nykyisin monilla tekojärvillä on useita yhteisiä käyttötarkoituksia. Tekojärvet sijoittuvat pääasiassa Pohjanmaan rannikkojokien latva- tai keskiosille sekä Kemijoen vesistöön Lapissa. Muutamia tekojärvä on tehty patoamalla merenlahtia (Järvenpää 2003). Itämeren veden suolapitoisuus on melko matala, joten sen käyttö kasteluun pitkien kuivuusjaksojen tarjoaa mahdollisuuden vähentää satotappioita. Kasvilajien välillä on tunnettuja eroja

suolan kestävydessä ja kasteluveden mukana tulevien suolojen pitää kulkeutua myöhemmin kasvukauden aikana pois maaperästä (Marmolin 2010).

5.5.2. Peltojen valumavesien varastointi

Peltojen valumavesien varastointi sekä lisää kasteluun käytettävissä olevan veden määrää että vähentää ravinnekuormitusta valumavedet vastaanottavissa vesistöissä. Pienissä kasteluaitaissa tai kosteikoissa tapahtuva veden varastointi ilman kasteluakin vähentää ympäristökuormitusta, koska kiintoainesta laskeutuu altaan pohjalle, denitrifikaation kautta poistuu typpeä ja kasvillisuus ottaa ravinteita. Vesien varastointimäärät jäävät helposti pieniksi, ja perustamisessa on yleensä hyödynnettävä luontaisia pinnanmuotoja, jotta kustannukset pysyvät kohtuullisina. Järvenpää ja Savolainen (2015, s. 161–169) tarkastelevat kasteluveden hankintaan vaikuttavia tekijöitä.

Valumavesien varastoinnin ja kastelukäytön hyödyt riippuvat kasvukausien sateen määrästä ja kasteluun varastoitavissa olevan veden määrästä. Jos kasvukauden aikana varaudutaan 60 mm kastelumäärään ja kasteltava pinta-ala on 10 ha, kasteluaitaasta olisi saatava $600 \text{ m}^3/\text{ha} * 10 \text{ ha} = 6\,000 \text{ m}^3$ vettä. Jos altaan syvyys olisi kaksi metriä, sen pinta-alan tulisi olla $3\,000 \text{ m}^2$. Näin laskettuna 10 hehtaarin kasteluun riittävän altaan mitat olisivat esimerkiksi $30 \text{ m} * 100 \text{ m}$. Kasteluaitaan suhde kasteltavaan pinta-alaan olisi $0,3 \text{ ha}/10 \text{ ha} = 3 \%$. Mikäli altaan syvyys olisi neljä metriä, pinta-alan tarve pienenee $0,15$ hehtaariin ja $1,5 \%$:iin suhteessa kasteltavaan pinta-alaan. Yhdysvaltojen Keski-lännessä on kerätty kattava tietopaketti valumavesien kierrätyksestä (<https://transformingdrainage.org/practices/drainage-water-recycling/> ja Frankenberger ym. 2017).

Suomen ympäristökorvausjärjestelmässä 2015–2020 oli yhtenä toimenpiteenä valittavissa kuivatusvesien kierrätys. Kuivatusvesien kierrätyksessä peltoalueelta kertyvät valumavedet on varastoitava kevätvalunnan ja rankkasateiden aikana erilliseen altaaseen, josta ne kuivana kautena johdetaan tai kasteluvetenä takaisin pellolle. Hehtaarikohtainen korvaus toimenpiteestä on 250 € vuodessa. Tukialan suuruus on ollut vain 338 ha . Syynä lienee osittain se, että kastelujärjestelmäksi hyväksytään vain säätösalaajitus tai -kastelu.

5.6. Vesihuollon sopeutumistoimet

Kuivuuskausina makean veden puute koskettaa kaikkia sektoreita. Yksi tärkeimmistä sopeutumistoimista on kuivuuteen varautumisen suunnittelu niin kansallisella tasolla kuin myös paikallisesti.

5.6.1. Veden käytön vähentäminen

Kuivuustilanteissa nousee erityisen tärkeään rooliin veden käytön vähentäminen. Tätä tapahtuu joko säännöstelemällä veden käyttöä, vähentämällä veden hävikkiä tai kierrättämällä käytettyä vettä. Euroopan vesitilastojen mukaan veden jakelun hävikit olivat vuonna 2017 julkaistun raportin mukaan keskimäärin 23% . Hävikki oli määritelty laskemalla tuotetun makeanveden määrä, josta vähennetään kuluttajilta laskutettu vesimäärä (eng. Non-revenue water). Tällöin hävikkeihin laskettiin mukaan myös esimerkiksi paloposteista otettu sammutusvesi. Suurin osa todellisesta hävikistä syntyy putkistossa olevien vuotojen seurauksena. (EurEau 2017, s. 15)

SYKE:n 2016 julkaisemassa raportissa ”Kohti vesiviisasta kiertotaloutta” arvioidaan Suomessa veden hävikin olevan noin 15 % kaikesta tuotetusta talousvedestä, jonka todettiin vastaavan noin 100 miljoonaa euroa keskimääräisellä veden käyttö hinnalla. (Salminen ym. 2017, s. 54)

Tanskassa asetettiin vuonna 1993 sakkoa yrityksille, joiden putkistoista tapahtui hävikkiä yli 10 %. Valvontaa tehostettiin määrämällä kuluttajille vaatimus vesimittarin asentamisesta. Tanska onkin yksi vähiten veden hävikistä kärsivä maa Euroopassa ja heidän hävikkimääränsä on ollut tasaisessa laskussa koko 2010-luvun, poissulkien vuoden 2018 kuivaa ja kuumaa kesää, jonka seurauksena putkirikkoja ilmeni tavanomaista enemmän. Tanskassa vesilaitokset ovat kasvataneet etäluettavien vesimittarien määrää kaikista mittareista vuoden 2013 lukemasta 15 % vuoden 2018 51 % tiin. Etäluettavat mittarit mahdollistavat vuotojen ja putkirikkojen havaitsemisen nopeasti ja siten ovat yksi helppo tapa veden hävikin vähentämiseksi. (DANVA 2019, s. 16).

Kuivuustilanteissa ja alueilla, jossa makeaa vettä on vähän, houkutteleva raakaveden käyttöä vähentävä menetelmä on veden kierrätys. Veden kierrätyksessä olennaista on kierrätettävän veden laatu ja veden suunniteltu käyttötarkoitus. Nämä määrittävät veden käsittelyvaatimukset ja siten myös hinnan. Veden kierrätyksessä on eroteltavissa kaksi eri tyyppiä, suora veden kierrätys ja epäsuora veden kierrätys. Epäsuorassa veden kierrätyksessä kierrätettävä vesi laimennetaan sekoittamalla se pinta- tai pohjaveteen. Tällöin suhteellinen haitta-ainemäärä vedessä on pienempi ja myös puhdistustarve on pienempi. Suorassa veden kierrätyksessä vesi tuodaan joko puhdistettavaksi tai käytetään sellaisenaan. Veden käyttötarkoitus määrittelee puhdistuksen tarpeen ja siksi veden kierrätys on hyvä tapa lisätä käytettävissä olevan veden määrää, jos käyttökohteet ovat sopivat (Climate ADAPT 2015).

Tilanteissa, jossa kuivuuden seurauksena veden hankinta vaarantuu, vesilaitosten on otettava käyttöön veden jakelua säännösteleviä menetelmiä. Säännöstelyn menetelmistä yleisin on kehotus veden säästämiseen, välttämällä mm nurmikkojen kastelua, autojen pesua tai uima-altaiden täyttöä. Muita tilapäisiä menetelmiä ovat veden paineen alentaminen putkistossa tai veden käytön säännöstely. Säännöstelyn tulisi olla tilapäistä, ja kuivuustilanteiden pitkittyessä tai yleistyessä tulisi kehittää muita veden kierrätyksen tai säästämisen ratkaisuja (Climate ADAPT 2016).

Mörbylångan

Ruotsissa Öölannissa Mörbylångan kunnassa valmistui vuonna 2019 Euroopan ensimmäinen suoran vedenkierrätyksen laitos, jossa käsitellään Itämeren rannikolta kaivosta saatavaa murtovettä ja esipuhdistettua elintarviketeollisuuden jätevettä. Laitos tuottaa noin 75 % Mörbylångan päivittäisestä vedentarpeesta. Teollisuuden jätevettä esikäsitellään ensin teollisuuslaitoksen omassa puhdistuslaitoksessa, jossa jätevedestä poistetaan haitta-aineet mekaanisesti, biologisesti ja kemiallisesti. Jätevesi saatetaan erilliseen esikäsitelylaitokseen, jossa vesi hygienoidaan ultrasuodatuksella ja UV-valolla. Teollisuuden jätevettä käytetään yhdessä rannikko-kaivoista saatavan murtoveden kanssa, jotta veden suolapitoisuus laskisi ja syntyvän liuoksen jatkokäsittelyn energiatehokkuus paranee. Lisähyötynä arvokasta makeaa vettä ei menetä elintarvikelaitoksen pesuvesien mukana, vaan se voidaan pitää hyötykäytössä vähävetisessä saassa. Lisäksi yhdistämällä makeaa vettä murtoveteen vähennetään suhteellisesti laitoksessa käytettävän käänteisosmoosin sivutuotteena syntyvän suolaliemen pääsyä Itämereen (<https://www.water-reuse-europe.org/morbylanga-dwtp/#page-content>).

5.6.2. Uusien vesilähteiden hankinta

Tekopohjavesi

Tekopohjavedellä tarkoitetaan pohjavesivarantojen keinotekoista täyttämistä pintaveden avulla. Menetelmässä pumpataan puhdistettua pintavettä pohjavesialueen päälle varatuille alueille, josta vesi imeytyy ja suodattuu osaksi pohjavesivarantoja. Pohjaveden varantoja voidaan täyttää aktiivisesti ympäri vuoden, jolloin kuivuustilanteisiin on voitu valmistautua ennakoivasti. Jos tekopohjaveden suunnittelussa on otettu huomioon pitkään jatkuvat kuivuustilanteet ja suuri veden tarve, niin raakaveden lähteeksi on valikoitunut suuri vesistö. Käytettävän vesistön pintaveden määrän pitäisi olla niin suuri, että pumppauksesta tuleva lisäkuluutus ei horjuta vesistön toimintaa (Sprenger ym. 2017).

Tekopohjaveden edut:

- Saadaan ensiluokkaista käyttövetä
- Vettä voidaan varastoida ennalta
- Kustannuksiltaan edullisempaa kuin vedenpuhdistus suoraan pintavedestä

Tekopohjaveden haasteet:

- Sopivien pohjavesialueiden löytäminen
- Kuivuustilanteessa raakaveden laadun heikkeneminen

Ruotsin Karlskronassa on varauduttu kaupungin läpi kulkevan Lynckeby-joen veden ja samalla kaupungin ainoan vedenlähteen pilaantumiseen tekopohjavesilaitoksen rakentamisen kautta. Lynckeby-joki on luontaisesti samea ja sen veden laatu vaihtelee merkittävästi. Karlskronan ratkaisussa vettä otetaan Lynckeby-joesta ja puhdistetaan vedenkäsittelylaitoksessa, josta se johdetaan harjulle nimeltä Johannishusåsen. Siellä vesi laskeutetaan harjuun, joka toimii vesivarastona. Veden varastointiaika on noin 14 päivää, jonka jälkeen vesi pumpataan takaisin Karlskronaan, jossa juomakelpoisuus varmistetaan puhdistuslaitoksella. Putki ylittää matkan varrella Nättraby-joen, joka toimii hätätilanteissa lisävesilähteenä. Laitos aloitti toimintansa vuonna 2015 ja maksoi 375 miljoonaa kruunua eli noin 36 miljoonaa euroa (Klimatanpassing 2018a).

Makean veden valmistus merivedestä

Pitkissä kuivuustilanteissa merenranta-alueilla on käytettävä suolaista merivettä, joka ei sellaisenaan ole käyttökelpoista juomavedeksi tai suurissa määrissä kasteluun. Suolan poistoon merivedestä on käytetty kahta eri menetelmää tislamista ja käänteisosmoosia. Suolan erottaminen vedestä tislamalla, mukailee luonnollista sateen syntymisen mekaniikkaa, jossa ulkoisen lämmönlähteen avulla saadaan vesimolekyylit höyrystymään irti suolamolekyyleistä. Tämä menetelmä on perinteisesti käytössä kuivilla merenranta-alueilla, joissa aurinkoenergiaa ja suolaista vettä on runsaasti.

Teollisessa vedentuotannossa on yleistymässä käänteisosmoosin hyödyntäminen juomaveden valmistuksessa. Käänteisosmoosissa suolaista merivettä syötetään puoliläpäisevälle kalvolle, joka ei päästä suolaa lävitseen. Tällöin kalvon läpäissyt vesi on makeaa vettä ja kalvon toiselle puolelle jäänyt vesi on rikastettua suolavettä, joka voidaan päästää takaisin mereen. Menetelmän etuna haihdutukseen verrattuna on, että käänteisosmoosi ei prosessina vaadi energiaa veden haihduttamiseen, ja pystyy siten tuottamaan juomavettä pelkällä pumpun paineella. Käänteisosmoosin yhteydessä käytetään esi- ja jälkikäsittelyä käänteisosmoosikalvon käyttöiän kasvattamiseksi ja lopputuotteen puhtauden varmistamiseksi (Puretec 2020).

Käänteisosmoosin etuja:

- Nopeampi ja energiatehokkaampi kuin tislauk
- Makean veden tekeminen suolaisesta vedestä.

Käänteisosmoosin haasteita:

- Korkeammat kustannukset per litra verrattuna juomaveden valmistukseen makeasta vedestä.

Esimerkkejä

Ruotsissa Gotlannissa Katthammarsvik:ssä jouduttiin vuonna 2015 turvautumaan tankkiautoilla kuljetettavaan veteen. Veden puute aiheutti merkittävää haittaa alueen kehitykselle. Tähän haasteeseen vastattiin rakentamalla Herrivikin suolanpoistolaitos, joka perustuu käänteisosmoosiin ja tuottaa vettä noin 2000 hengelle. Järjestelmässä vesi ohjataan ensiksi 200 metriä pitkään putkeen, jonka vedenottopäässä on 2 mm suodatin. Vesi kuljetetaan automaattisuodattimien läpi, joista viimeisenä on ultrasuodatin, joka poistaa pienet partikkelit ja pieneliöt. Sen jälkeen vesi ohjataan käänteisosmoosiin, jossa poistetaan vedessä olevat suolat. Lopuksi vedestä poistetaan bakteerit UV-valon avulla, ja veden pH ja suolatasapaino palautetaan hyväksyttävälle tasolle. Laitos kuluttaa runsaasti energiaa, ja siksi aurinkopaneeleja on asennettu alentamaan sähkökustannuksia. Herrivikin laitoksen kokonaisuus maksoi 30 miljoonaa kruunua eli noin 2,9 miljoonaa euroa (Klimatanpassing 2018b).

Saksassa Helgolandin saarella asuu 1500 ihmistä, ja saaren vedestä 80 % tuotetaan käänteisosmoosilla suoraan suolaisesta Itämerestä. Helgolandin saarella oli kunnianhimoinen tavoite saavuttaa nollapäästöisyys vuoteen 2020 mennessä. Saaren yksi monista päästövähennyistä tavoittelevista menetelmistä on ollut käänteisosmoosi-laitoksen tehokkuuden parantaminen. Tähän pyrittiin ottamalla käyttöön uudet tehokkaat pumput ja asentamalla energiakeräimet laitoksen aliteveden paine-energian talteenottoon. Näillä muutoksilla energiankulutus lähes puolitui ja vuosittaista säästöä saatiin 115 000 euroa (Greening the Islands 2019).

6. Käytössä olevat suunnitelmat kuivuuteen sopeutumiseen

Suomi

Kokonaisvaltaisten vesitalouden ympärivuotisten hallintajärjestelmien kehittämiseen tulee panostaa VEHMAS-hankkeen johtopäätösten mukaisesti (Peltonen-Sainio ym. 2015 a ja b). VEHMAS-hankkeessa suositeltiin jatkoselvityksiä kestävä veden käytön varmistamiseksi ja potentiaalisen kastelualan tarkentamiseksi käytettävissä olevaan kasteluveden määrään perustuen (Alakukku & Peltonen-Sainio 2014).

ILMAPUSKURI-hankkeen tulosten perusteella kasvien veden käyttö on jatkuvasti tehostunut, mutta sen edelleen tehostaminen viljelytoimin ja/tai kasvinjalostuksella ei riitä vastaamaan tulevaisuudessa todennäköisesti vahvistuviin kuivuushaasteisiin ja siksi myös ILMAPUSKURI-hanke suositteli vesitalouden hallintajärjestelmien kehittämistä ilmastonmuutokseen sopeutumisen toimenpiteenä (Peltonen-Sainio & Palosuo 2016). Rimkus ym. (2017) arvioivat Baltiassa kuivuuskausien esiintymistä ja vaikutuksia sadannan vajauksen ja NDVI-arvojen kautta.

Suomessa kasteluhankkeen suunnittelua ja toteutusta käsitellään Ympäristöhallinnon ohjeissa 4/2015 (Järvenpää & Savolainen 2015). Ohjeita annetaan myös kastelun tilakohtaiseen suunnitteluun ja kannattavuuden arviointiin. Salminen ym. (2017) pohtivat teknisten vesien käyttöä Suomessa kasteluun, mutta sen mahdollisuuksia heikentävät pienehköt teollisuuslaitokset ja laitosten usein pitkät etäisyydet viljelypelloista.

Maa- ja metsätalouden kestävä vesitalouden tavoitteista (Hägglom ym. 2020) kuivuuteen sopeutumista auttavat vesienhallinnan sopeuttaminen muuttuvaan ilmastoon, veden viivyttämisen ja vesitalouden säätömahdollisuuksien edistäminen ja kansainvälisen yhteistyön ja tiedonvaihdon ylläpitäminen sekä kastelun kehitystarpeiden selvittäminen. Selvityskohteina mainitaan

- Kasteluveden tarve ja kastelun kannattavuus nyky- ja tulevaisuuden maataloudessa tulee selvittää.
- Eri vesivarastojen, kuten järvien, jokien, muiden vesistöjen, maaperän, peruskuivatusuomien ja metsäalueiden, hyödyntämismahdollisuudet kasteluveden varastoinnaksi tulee selvittää.
- Maatalouden kasteluvalmiutta tulisi nostaa edistämällä säätösalaajitusta siihen soveltuvilla pelloilla, sekä säätöajitusta siihen soveltuvilla alueilla.

Ruotsi

Ruotsin hallitus on määritellyt ilmastonmuutoksen sopeutumiseen liittyvät tavoitteet, eri organisaatioiden tehtävät ja strategiat asetuksessa vuonna 2018 (2017/18:163 - Nationell strategi för klimatanpassning). Maatalouden osalta vastuu on pääasiassa Ruotsin Elintarvikevirastolla (Livsmedelsverket) ja Maatalousvirastolla (Jordbruksverket).

Ilmastonmuutoksen ja kuivuuden maatalouteen liittyviä vaikutuksia käsittelee Ruotsissa Maatalousvirasto (Jordbruksverket 2017). Tietoa on kerätty heidän internet-sivuilleen (<https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/krisberedskap/vattenbrist>). Eläinsuojelulaki määrittelee kotieläinten juomaveden saannin, ja maatilojen on varmistettava vaihtoehdoisen juomaveden

laatu. Tuotantoeläinten vedentarpeesta on käytettävissä ohjekirja, Vatten till husdjur (<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/vatten-till-husdjur.html>).

Ruotsin ilmatieteen ja hydrologian laitos (SMHI) ja Ruotsin Geologian tutkimuslaitos (SGU) julkaisevat vesitilannetta arvioivaa palvelua, Risk för vattenbrist (<https://www.smhi.se/vader/varningar-och-risker/risk-for-vattenbrist>). Viranomaisten kriisitiedotus-sivusto, "krisinformation.se", käsittelee myös tarvittaessa vesipulaa. Esimerkiksi vuoden 2019 tiedotteet on arkistoitu seuraavalle sivustolle (<https://www.krisinformation.se/detta-kan-handa/handelser-och-storningar/2019/risk-for-vattenbrist-2019>) ja vastaavasti vuoden 2018 kuivuustiedotus sivustolle (<https://www.krisinformation.se/detta-kan-handa/handelser-och-storningar/2018/torkan-2018>).

Kesän 2018 kuivuus aiheutti Ruotsin maataloudelle vakavia ongelmia, koska sadot jäivät alhaisiksi, ja tuotantoeläimiä jouduttiin teurastamaan rehunpuutteen takia (Rende 2019). Ruotsi valtio osoitti kuivuuskriisistä kärsineille viljelijöille 1,2 miljardin kruunun tuen (117 miljoonaa €) jaettavaksi 2018–2019. Rende (2019) selvitti Mälären-laakson viljelijöiden sopeutumissuunnitelmia vuoden 2018 kuivuusjaksojen jälkeen. Viljelijät pitivät tärkeinä kuivuutta kestäviä viljelykasveja, investointeja sadetuslaitteisiin ja kastelualtaisiin, viljelypinta-alan lisäämistä ja vaihtelevia peltoja maan vedenpidätyskyvyn ja pohjaveden korkeuden suhteen. Suurimpina esteinä sopeutumiskeinojen toteuttamisessa viljelijät pitivät investointien rahoitusta ja kannattavuutta, kasteluveden huonoa saatavuutta ja ilmastonmuutoksen aiheuttamien olosuhteiden vaihtelua. Viljelijöiden pitäisi varautua sekä kuivuusjaksoihin että tulviin.

Ruotsissa kansallinen juomaveden koordinoitiryhmä on perustanut erityisen kuivuutta ja veden niukkuutta käsittelevän työryhmän kesäkuussa 2020. Työryhmän tehtävänä on ensisijaisesti kerätä ja jakaa eri viranomaisilta tällä hetkellä saatavissa olevia tietoja, kuten pohjaveden pinnankorkeus, vesipulan riski ja kastelukiellon laatiminen. Ryhmässä tehty tilannearvio voidaan jakaa muissa verkostoissa alueellisella ja valtakunnallisella tasolla. Juomaveden kansallisen koordinoitiryhmän välityksellä päästään tarvittaessa myös lähelle asiaankuuluvien viranomaisten päätöksiä. Työryhmää johtaa Ruotsin elintarvikevirasto ja siihen osallistuvat Ruotsin meri- ja vesiviranomainen, Ruotsin geologinen tutkimuskeskus, SMHI, Ruotsin vesi, Ruotsin kunnat ja alueet, Ruotsin siviilioikeusvirasto, Maatalousvirasto, Ruotsin kemikaalivirasto ja Örebro läänin lääninhallitus. Akuutin vesipulan tai muun juomavesiin liittyvän kriisin sattuessa kunnat voivat hakea tukea Elintarvikeviraston VAKA-ryhmältä.

Sydvatten (www.sydvatten.se) on Länsi-Skånen kuntien yhteinen vesilaitos, jonka alueella esiintyy paljon kastelua käyttävää maataloutta. Vesilaitoksen ilmastonmuutokseen varautumista käsittelevässä selvityksessä (Sydvatten 2019, s. 21–23) listataan seuraavat mahdollisuudet maataloudelle reagoida lisääntyvään kilpailuun veden käytöstä:

- Tehokkaat ja älykkäät kastelutekniikat
- Pintaveden käytön lisääminen ja veden maaperässä säilymisen lisääminen
- Hyödyntää uusia vedenlähteitä kuten puhdistettua jätevettä
- Kastelu- ja ojitusyhteisöt
- Valuma-alueen yhteistyön lisääminen
- Huolehtia maataloustuotteiden laadusta puhtaiden vesivarojen ja hyvän valvonnan avulla
- Monikäyttöiset padot
- Tiedonvälitys, koulutus ja hyvät esimerkit
- Viljelyn sopeuttaminen paikkaan ja tilanteeseen

Ruotsissa tehdyn hitaasti vaikuttavien ilmastomuutoksen riskien arvioinnissa (Jaramillo ym. 2021) mainitsevat maatalouden sopeutumiskeinoksi alueille, joissa pohjaveden määrä voi laskea kriittiseksi vähemmän vettä käyttävien viljelykasvien (esim. kvinoa) ja -menetelmien valinnan. Niillä alueilla, joilla pohjaveden määrät voivat pienentyä kuivuusjaksoina kriittiselle rajalle, olisi vältettävä maatalouden ja yhteiskunnan lisäinvestointeja.

Maatalouden neuvontajärjestöt tarjoavat palveluja kastelun ja maan vesitalouden hallintaan (esim. <https://hushallingssallskapet.se/tjanster/vatten/>). Ruotsin maataloustuottajin keskusliitto (LRF) on myös laatinut oppaan kastelun suunnitteluun ja toteutukseen jo vuonna 2010 (Lantbrukarnas Riksförbund 2010). Ruotsin maatalousyliopisto (SLU) on käynnistänyt hankkeita, joissa tutkitaan kastelun kannattavuutta ja kastelutarpeen arviointia. Tuoreissa SLU_n opinnäytetöissä on keskitytty sadetuksen kannattavuuteen viljan- ja nurmentuotannossa (Gilbertsson 2019, Larsson 2020, Tor 2020). Viljelijöiden ja neuvojen käyttöön on tuotettu mm. tietoisuuden varastoaltaan suunnittelusta (Alsanius & Jakowlev 2017a) ja raportti kasteluveden laadusta (Livsmedelverket ym. 2019).

Tanska

Tanskan sopeutumista ilmastonmuutokseen arvioitiin vuoden 2012 raportissa (Danish nature agency 2012). Vuoden 2012 raportissa tunnistettiin ilmastonmuutoksen kuivia kausia lisäävä vaikutus ja kastelun lisäämisen tarve. Kohonneiden lämpötilojen lisäys haihdutustarpeeseen arvioitiin tasoittuvan kohoavan hiilidioksidipitoisuuden vaikutuksesta. Maissin viljelyn lisääntymisen arvioitiin lisäävän kastelun tarvetta. Kastelun lisääntyessä virtaamat vesistöissä vähenisivät kesä kautena. Ilmastonmuutokseen sopeutumista varten tarjolla on mm. maatalouden suunnitteluun ohjelmisto ([AgriWizard, https://en.klimatilpasning.dk/tools/agriwizard/](https://en.klimatilpasning.dk/tools/agriwizard/)) ja palvelu ilmastonmuutoksen vaikutuksesta eri alueilla ([ClimateMap; https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-i-klima-atlas/](https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-i-klima-atlas/)). Paikallisen tason esteitä ilmastonmuutokseen sopeutumiseen arvioitiin raportissa, jossa mm. sopeutumiskeinojen ja paikallisten etujen välinen ristiriita todettiin yhdeksi ongelmaksi (Jensen ym. 2016).

Tanskassa reagoitiin vuoden 2018 kuivuusjaksoihin laatimalla helpotuksia lisäkastelutarpeen lupamenettelyyn. Kunnille annettiin keväällä 2019 valtuudet antaa lyhytkestoisia (3 kk) lisäkasteluveden ottoon oikeuttavia lupia, kun varmistutaan ettei vedenotosta aiheudu haittaa. Elokuussa 2018 laadittiin myös kuivuuden vaikutuksia helpottamaan tarkoitettu "Tørkepakke" eli kuivuuspaketti (<https://www.regeringen.dk/publikationer-og-aftaletekster/toerkepakke/>).

Tanskan maatalouden neuvontajärjestö, SEGES, tarjoaa viljelijöille ohjeita ja sopeutumiskeinoja kuivuuden hallintaan. Esimerkiksi meriveden käyttö kasteluvedenä poikkeustilanteissa vaatii tilannekohtaisen riskiarvion suolaisen veden vaikutuksesta kasveille ja maaperälle (https://www.landbrugsinfo.dk/public/b/5/2/vanding_vanding_med_saltholdigt_vand). Kastelun suunnitteluun on käytössä palvelu: Vandregnskab Online (<https://onlinebestilling.dlbr.dk/Order/Shop/vandregnskabonline>). Tanskan kastelutarvetta ja sen vaihtelua arvioitiin Aarhusin yliopiston selvityksessä (Ten Damme & Neumann Andersen 2018). Tanskassa on vuosittain sadetettavissa 464 000 ha, ja koska kastelutarve voi vaihdella vuosittain suuresti samalla loholla ja kasville (esim. 82–244 mm/ha) kasteluveden tarpeen erot ovat vuosittain myös hyvin suuret.

Saksa

Saksassa kasvukaudet 2018 ja 2019 olivat vähäsateisia, ja talven sateet eivät täyttäneet pienentyneitä vesivarastoja (<https://www.umweltbundesamt.de/themen/trockenheit-in-deutschland-fragen-antworten>). Saksan ilmatieteen laitoksen seurannan mukaan huhtikuu 2020 oli aurinkoisin ja kolmanneksi vähäsateisin mittausten alkamisvuodesta 1881 laskettuna. Esimerkiksi Mecklenburg-Vorpommernin osavaltiossa vuoden 2020 kuivuus aiheutti merkittäviä satotappioita. Sopeutumiskeinoina osavaltiossa käytettiin rehun tekoa ekologisilta suoja-alueilta ja harkittiin tavanomaisesti tuotetun rehun käyttöä luonnonmukaisessa eläintuotannossa. Saksassa kriittisen vesitilanteen rajana pidetään 20 % vedenottoa vesivaroista. Tällä hetkellä Saksan kokonaistilanne on hyvä, koska vedenkäyttö on noin 13 % vesivaroista. Paikallisesti veden saanti voi nousta kriittiselle tasolle, koska käyttö vaihtelee suuresti alueiden välillä ja nitraatin korkea pitoisuus pohjavesissä voi olla ongelma intensiivisillä maatalousalueilla. Lisääntyvät kuivusjaksot lisäävät maatalouden kasteluveden tarvetta, joka korostuu puutarhatuotantoon keskittyneillä alueilla. Vesivarojen vähentyminen lisää kilpailua ja vaatii käytön tehostamista. Yhtenä mahdollisuutena nähdään puhdistetun veden uudelleenkäyttö, joskin kierrätyksessä on pidettävä tiukat laadulliset kriteerit.

Kuivuuden haittoina Saksassa nähdään myös tuulieroosio, jolle alttiita karkeita kivennäismaita löytyy Itämeren rannalta Schleswig-Holsteinista ja osista Mecklenburg-Vorpommern:ia. Syysviljojen avulla nämä pellot voitaisiin suojata kuivan kevään aikana tapahtuvalta tuulieroosiolta.

Saksan ympäristöviraston (Umweltbundesamt) mielestä pitkäaikaiset ja kertakorvauksena toteutettavat tukitoimet, jotka parantavat maatalouden kuivuuden hallintaa ja jakavat riskiä koko yhteiskunnalle, ovat suositeltavia. Muokkauksen keventäminen, kuivuutta kestävä laji ja lajikkeet sekä monipuolinen tuotanto ovat myös keinoja sietää kuivusjaksoja. Tuulieroosiota estävät maan pintaan jätetty kasvinjäte, pinnan epätasaisuuden ja maan orgaanisen aineksen lisääminen. Peltoympäristön puusto tai peltometsäviljely (agroforestry) vähentävät tuulen nopeutta ja eroosiota.

Saksan liittovaltio ja osavaltiot valmistautuivat tukemaan maatalouden vuoden 2018 kuivuuden aiheuttamia tappioita 340 miljoonalla eurolla. Kesäkuuhun 2019 mennessä 6949 toimijaa oli saanut tukea yhteensä 228 miljoonaa euroa. Tukea oli mahdollista saada, jos kuivuuden aiheuttamat tappiot olivat yli 30 % aikaisempien vuosien keskimääräisestä tuloksesta, jolloin tappioista korvattiin 50 %. Tukisumma yhdellä yrityksellä voi olla 2500–500 000 € (<https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/klimaschutz/extremwetterlagen-zustaendigkeiten.html>). Saksassa on myös keskusteltu kuivusvahinkoihin liittyvän vakuutuksen käyttöönotosta. Itävallassa on ollut käytössä kuivuustappioille vakuutus (Dürreversicherung) vuodesta 2015, ja myös Saksassa on tarjolla vastaavia vakuutuksia (mm. <https://www.greensurance.de/duerreversicherung/>). Vakuutus perustuu puolueettoman tahon laskemaan indeksiin, jonka raja-arvon saavuttaminen johtaa korvausperusteiden toteutumiseen (Myyrä & Pietola 2012). Indeksivakuutuksia pidetään usein tuottajien taholta kalliina ja niihin toivotaan valtion tukea. Indeksivakuutuksen yksi ongelmista on, että indeksi saavutetaan usein hyvin laajasti ja korvaustapausten määrä on suuri. Indeksiarvoa ei myös sidota todelliseen vahinkoon. Hollannissa indeksin raja-arvon saavuttaminen on yhdistetty toteutuneen vahingon arviointiin, ja vakuutus on hyvin suosittu (https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/kompakt/DLGGkompakt_04_20.pdf).

Puola

Waterdrive-hankkeen (<https://water-drive.eu/>) pilottialueella Kutnossa, Puolassa, kuivuusjaksot ovat yleisiä. Kuivuuden aiheuttamat satotappiot ovat lisänneet viljelijöiden kiinnostusta veden varastointiin. Waterdrive- hankkeen edustajat arvioivat vesitalouden parantamiseen tarvittavan ojitussäätöjärjestelmän kunnostamisen veden virtausnopeuden hidastamiseksi, viljelykäytäntöjen muuttamisen maan vedenpidätyskyvyn lisäämiseksi ja maisemarakenteen muutoksen veden kierron säätöalaksi. Alueen viljelijät ja sidosryhmät olivat huolestuneita kuivuuden vaikutuksesta maatalouden kannattavuuteen, vallitseva vesienhallintajärjestelmä koettiin pirstaloituneeksi ja heikosti toimivaksi. Sidoryhmät halusivat kuivuusjaksojen torjuntaan ja niihin sopeutumiseen systemaattisen lähestymistavan, joka olisi tasapuolinen. Tällä hetkellä hankkeessa etsitään yhdessä sidosryhmien kanssa parhaita toimenpiteitä kuivuusjaksoihin sopeutumiseksi (Katarzyna Izydorczyk, henkilökohtainen tiedonanto 23.11.2020).

Maailman ilmatieteen järjestön (WMO) Global Water Partnership-hankkeen Itä- ja Keski-Euroopan osassa ovat mukana Baltian maat ja Puola (<https://www.gwp.org/en/GWP-CEE/>). Hanke on tuottanut mm. ohjeet kuivuudenhallinta suunnitelmien tekemiseen (Global Water Management 2015a) ja pienten luonnonmukaisten vedenvarastointimenetelmien (Global Water Management 2015b) toteutukseen.

Euroopan komission ympäristöjaoston raportti on esittänyt useita ehdotuksia maatalouden käyttämän veden säästämiseksi (European Commission 2012). Ohjeet on laadittu koko Eurooppaa ajatellen, mutta niitä voidaan soveltuvin osin harkita myös Pohjois-Euroopassa.

- Pato- ja vesialtaiden haihtumisen vähentäminen
- Veden jakelujärjestelmän hävikkien vähentäminen
- Kasvien haihdunnan vähentäminen
 - Rikkakasvien haihdunnan vähentäminen
 - Viljelykasvien haihdunnan vähentäminen tarkennetulla kastelulla tai juuristovyöhykkeen osittainen kastelu
- Pinnoilta tapahtuvan haihtumisen vähentäminen
 - Kastelukanavista
 - Tuulikulkeutuman vähentäminen
- Kastellun maan haihtumisen vähentäminen,
 - Katteet
 - Muokkauksen vähentäminen
 - Kasveille kohdennettu kastelu
 - Kastelu maan pinnan alapuolelle
- Pintavalunnan vähentäminen
- Salaojavalunnan vähentäminen

7. Lainsäädäntö

EU:n lainsäädäntö

Euroopan komission DG ympäristö ohjaa veden käyttöä useiden säännösten kautta. Vesipolitiikan puitedirektiivin (VPD, 2000/60/EY) tavoitteena on suojella, parantaa ja ennallistaa vesiä niin, ettei niiden tila heikkene ja vesistöjen tila nostetaan hyväksi. Nitraattiasetus turvaa pohja- ja pintaveden laatua. Lannoitteiden ja lannan levitysmäärät on pidettävä kohtuullisina ja niitä ei saa levittää ajanjaksoina, jolloin ravinteiden huuhtoutumisriskit ovat suuria. Lisäksi levitykselle on minimietäisyydet ojiin ja vesistöihin nähden. Vesipuitedirektiivin tarkoituksena on osaltaan vaikuttaa kuivuuden vaikutusten lieventämiseen. Suomen vesipuitedirektiivin toimeenpanossa mainitaan vesien tilan ylläpidosta tai parantamista olevan mahdollista poiketa poikkeusolojen kuten kuivuuden aikana.

EU:ssa on annettu ohjeet (2020/741) uudelleen käytettävän käsitellyn jäteveden laadusta. Veden laatuluokat jaetaan kasteltavien kasvien käyttötarkoituksen mukaan (Taulukko 9). Laatu-luokitus sisältää raja-arvoja hygieniaindikaattorille (E. coli), biologiselle hapenkulutukselle (BOD), kiintoainekselle (TSS) ja sameudelle (Taulukko 10).

Taulukko 9. Uusioveden laatuluokat ja sallittu käyttö maataloudessa sekä kastelumenetelmä (European union 2020).

Uusioveden vähimmäislaatu-luokka	Viljelykasvikategoria (*)	Kastelumenetelmä
A	Kaikki raakana kulutettavat ravintokasvit, joiden syötävä osa on suoraan kosketuksessa uusioveeseen, sekä raakana kulutettavat juurikasvit	Kaikki kastelumenetelmät
B	Raakana kulutettavat ravintokasvit, joiden syötävä osa tuotetaan maan päällä niin, ettei se ole suoraan kosketuksessa uusioveeseen, käsiteltävät ravintokasvit ja muut kuin ravintokasvit, mukaan lukien maitoa ja lihaa tuottavien eläinten ravinnoksi käytetyt kasvit	Kaikki kastelumenetelmät
C	Raakana kulutettavat ravintokasvit, joiden syötävä osa tuotetaan maan päällä niin, ettei se ole suoraan kosketuksessa uusioveeseen, käsiteltävät ravintokasvit ja muut kuin ravintokasvit, mukaan lukien maitoa ja lihaa tuottavien eläinten ravinnoksi käytetyt kasvit	Tippukastelu (**) tai muu kastelumenetelmä, jossa vältetään suoraa kosketusta kasvin syötävään osaan
D	Teollisuus-, energia- ja siemenkasvit	Kaikki kastelumenetelmät (***)

(*) Jos samantyyppinen kasteltu viljelykasvi kuuluu useampaan taulukon 1 luokkaan, siihen on sovellettava tiukimpien vaatimusten luokkaa.

(**) Tippukastelu (kutsutaan myös pisarakasteluksi) on mikrokastelujärjestelmä, jonka avulla kasveja voidaan kastella vesipisarilla tai pienillä vesivirroilla ja johon sisältyy veden tihkuttaminen maaperään tai suoraan sen pinnan alle hyvin alhaisilla nopeuksilla (2–20 litraa tunnissa). Järjestelmä koostuu ohuista muoviputkista, jotka on yhdistetty pisaroitiniksi kutsuttuihin ulostuloihin.

(***) Sadetta jäljitteleviä kastelumenetelmiä käytettäessä olisi kiinnitettävä erityistä huomiota työntekijöiden ja sivullisten terveyden suojeluun. Tätä varten on toteutettava asianmukaisia ehkäiseviä toimenpiteitä.

Taulukko 10. Uusioveden laatuvaatimukset maatalouden keinokastelussa (European union 2020).

Uusioveden laatu luokka	Laatuvaatimukset				
	E. coli (määrä/100 ml)	BOD (mg/l)	TSS (mg/l)	Sameus (NTU)	Muu
A	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: < 1 000 pmy/l, jos on olemassa aerosolisoitumisriski Suoliston sukkulamadot (suolimadon munat): ≤ 1 muna/l laidunten tai rehukasvien kasteluun
B	≤ 100	91/271/ETY	91/271/ETY	-	
C	≤ 1 000			-	
D	≤ 10 000	-			

Käsitellyn jäteveden käyttö uusiovetenä kasteluun on aina luvanvaraista toimintaa. Näytteitä on keinokastelun aikana otettava kerran viikossa. Käsitellyn jäteveden mikrobiologisia riskejä arvioitiin Ruotsin maatalousyliopiston opinnäytetyössä (Quach 2021). Tässä arvioinnissa todettiin tarvittavan lisää tietoa käsitellyn jäteveden laadusta, jotta sitä voitaisi raakana käytettävien vihannesten kasteluun.

Maakohtaiset erot

Itämeren valtioiden neuvosto (Council of the Baltic Sea States, CBSS) on Itämeren alueen maiden hallitustenvälinen yhteistyöjärjestö. CBSS:llä on tärkeä rooli Itämeren alueen poliittisena keskustelufoorumina ja alueellisena projektiorganisaationa, joka osallistuu esimerkiksi EU:n Itämeri-strategian toimeenpanoon. CBSS:n ja Tukholman ympäristöinsituutin Tallinnan yksikön (SEI Tallin) kokoamassa raportissa (Tuhkanen ym. 2019) tarkasteltiin Itämeren valtioiden roolia ilmastonmuutokseen sopeutumisessa. Puolassa on tarjolla kansallinen rahoitus ympäristönsuojelun ja veden hoidon edistämiseksi (<http://nfosigw.gov.pl/en/>). Rahoitusta voidaan käyttää mm. vesialtaiden ja sadeveden keräysjärjestelmien rakentamiseen.

Suomen vesilaki (587/2011) käsittelee vedenottoa ja kastelua useassa eri pykälässä (Salo ym. 2018). Tiivistettynä voidaan todeta, että pintavettä voidaan ottaa omaan käyttöön ilman määrärajoja, mikäli otto ei vaikuta veden laatuun tai haittaa merkittävästi muita veden käyttäjiä. Suurissa vedenkäyttömäärissä luvan hakeminen on suositeltavaa. Pohjaveden otossa yli 100 m³/vrk määrästä on tehtävä ilmoitus ja mikäli vedenotto on suurempi kuin 250 m³/vrk on haettava lupa.

Ruotsin vesilainsäädännön mukaan vesivarat ovat yksityisessä omistuksessa (Alsanius & Jakowlew 2017b). Näin ollen vedenkäyttöön liittyvät oikeudet ja velvollisuudet ovat yksityisten tahojen vastuulla. Kastelu on Ruotsissa sallittua, mutta siihen tarvitaan lupa ja kasteluveden otosta ei saa aiheutua vahinkoa muille vesistön käyttäjille tai ympäristölle. Lääninhallituksen ohjeistus valvoo kasteluveden ottoa ja käyttöä Ympäristösäännösten kappaleen 11 pohjalta (Miljöbalken kapitel 11; https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808_sfs-1998-808). Kunnallisen veden käytöstä kasteluun päättää kunta. Monet lääninhallitukset ovat laatineet vedenottoon lisäksi omia sääntöjään, jotka määrittelevät milloin riittää ilmoitus vedenotosta ja milloin on haettava lupa (Alsanius & Jakowlew 2017b). Esimerkiksi Skånen ohjeet ja neuvonta on koottu lääninhallituksen sivuille: <https://www.lansstyrelsen.se/skane/bevattning>.

Saksassa kasteluvedenottoon tarvittava vesilain mukainen lupa sisältyy maataloustukien täydentävien ehtojen vaatimukseen. Schleswig-Holsteinin osavaltiossa kasteluveden ottoon on haettava lupa (http://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/E/eu_direktzahlungen/Downloads/Neuregelung_CC_Bewaesserung.pdf?blob=publicationFile&v=1). Osavaltiossa kastellaan pääasiassa puutarhakasveja (70 %) ja peltokasvien sadetukseen käytetään 30 % otetusta vedestä. Suurin osa vedenotosta tapahtuu pohjavedestä, mutta se on vain 1,5 % osavaltion vuosittaisesta pohjaveden käytöstä. Pohjaveden kastelukäyttöön tarvitun luvan puuttumisesta rangaistaan valvonnassa 3 % maataloustukien takaisinperinnällä. Myös Saksan vesilaki edellyttää, ettei kasteluveden otto vaikuta oton kohteena olevaan vesistöön.

8. Lisätiedon, uusien ohjauskeinojen ja politiikkasuositusten tarve

- Kastelutarpeen mallinnus (IL, Luke, SYKE)
- Virtaamat ja pohjaveden korkeudet (Hydrologinen tiedote)
- Rakennetaan yo. tiedoista palvelu, joka laskee erilaisten kasvilajien, maaperän ja sää tiedot/sääennuste yhdistelmien kastelutarvetta ja yhdistetään tähän virtaamatietoja. Järjestelmän avulla voidaan arvioida kuivuusjaksojen vaikutuksia eri valuma-alueilla ja kohdentaa toimenpiteitä kriittisimpiin kohtiin.
- Vettä säästävien muokausmenetelmien ja maanhoidotoimien tiedon keruu (review-artikkeli Itämeren alueelta), toimenpiteiden neuvonta veden säästämisen kannalta, kvantitatiivinen arvio eri toimenpiteiden mahdollisuudesta lisätä kasvien veden saatavuutta.
- Tiekartta eri toimenpiteiden (maan hoito, kasvinjalostus, kastelualtaat jne.) avulla saavutettavaan hyötyyn ja kustannusanalyysi (systeemianalyttinen tarkastelu).
- Selkeät ohjeet kastelun lupakäytäntöihin.
- Valuma-aluekohtainen suunnittelu kastelualtaiden sijoittamiseen, jossa otetaan huomioon valuma-alueen maalajien soveltuvuus erikoisviljelyyn ja maalajien kuivuudenkestävyys.
- Valtakunnallisten vedenhankintalukujen kerääminen mahdollisimman täydellisinä vesihuollon tilastoinnissa.
- Suunnitelmat ja toimenpiteet vesihävikin vähentämiseksi.

9. Yhteenveto

Itämeren rantavaltioissa ilmastonmuutoksen seurauksena lisääntyvien kuivuusjaksojen merkittävin haitta on maatalouden satotappioiden lisääntyminen. Vesihuolto ei ole yhtä herkkä kuivuuden häirtavaikutuksille, ja merkittäviä ongelmia onkin aiheutunut vain alueille, joilla on jo ennestään hyvin rajallinen makeanveden lähde. Tällaisia alueita on tyypillisesti Itämeren saaret ja ranta-alueet. Näille alueille makean veden saannin turvaamiseksi on investoitu suolan poistamiseen, tekopohjavesilaitoksiin ja siirto-putkistoihin.

Maatalouden sopeutumiskeinoista merkittävin on kastelumahdollisuuksien lisääminen niin, että kastelu on kuivuusjaksoina viljelijöille taloudellisesti järkevä vaihtoehto. Kastelun avulla voidaan satoon korjata talteen ravinteita, jotka muutoin huuhtoutuisivat Itämereen. Alueilla ja kasveilla, joilla kastelu ei ole sopivien vesiesiintymien tai kannattavuuden takia mahdollista, olisi panostettava viljelymenetelmiin, jotka varastoivat mahdollisimman paljon vettä maaperään. Myös viljelykasvien valinnalla voidaan vaikuttaa veden riittävyyteen.

Viitteet

- Alakukku, L. & Peltonen-Sainio, P. 2014. Peltoviljelyn vesitalouden hallinnan käytännön toimet energian ja ravinteiden käytön tehostamiseksi ilmaston muuttuessa: VEHMAS 2011-2014, loppuraportti. 15 p. Helsingin yliopisto, Maataloustieteiden laitos. Saatavissa internetistä: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014110646090>
- Alsanius, B. & Jakowlew, G. 2017a. Anläggning av bevattningsmagasin. LTV-fakultetens faktablad. Fakta från Biosystem och teknologi 2017:37. 4 s. Saatavissa internetistä: <https://pub.epsilon.slu.se/14877/1/LTV%20fakta%202017-37.pdf>
- Alsanius, B. & Jakowlew, G. 2017b. Lagar och regler vid uttag av vatten för bevattning. LTV-fakultetens faktablad. Fakta från Biosystem och teknologi 2017:34. 4 s. Saatavissa internetistä: https://pub.epsilon.slu.se/14855/8/alsanius_et_al_171207.pdf
- Borrelli, P., Lugato, E., Montaneralla, L. & Panagos, P. 2017. A new assessment of soil loss due to wind erosion in european agricultural soils using a quantitative spatially distributed modelling approach. Land degradation & development 28: 335–344. <https://doi.org/10.1002/ldr.2588>
- Carstensen, M., Borgesen, C., Ovesen, N., Poulsen, J., Hvid, S. & Kronvang, B. 2019. Controlled Drainage as a Targeted Mitigation Measure for Nitrogen and Phosphorus. Journal of Environmental Quality 48: 677-685.
- Climate-ADAPT 2015. Water Recycling 2015. The European Climate Adaptation Platform. Saatavissa internetistä: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/adaptation-options/water-recycling>
- Climate-ADAPT 2016. Water restrictions and consumption cuts. The European Climate Adaptation Platform. Saatavissa internetistä: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/adaptation-options/water-restrictions-and-consumption-cuts>
- Council of the European Union. 2009. Presidency conclusions of the Brussels European Council (29/30 October 2009). 25 p. Saatavissa internetistä: https://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/ec/110889.pdf
- Danish nature agency. 2012. Mapping climate change - barriers and opportunities for action. 98 p. Saatavissa internetistä: https://en.klimatilpasning.dk/media/600858/130206_mapping_climate_change_final.pdf
- DANVA. 2019. Water in figures 2019. the Danish Water and Wastewater Association. Saatavissa internetistä: https://www.danva.dk/media/6355/2019_water-in-figures_web.pdf
- EDO. 2017. What is drought? European drought observatory. Saatavissa internetistä: <https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1001>
- EDO. 2020. EDO Analytical report. Drought in Europe - September 2020. Saatavissa internetistä: https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/news/EDODroughtNews202009_Europe.pdf
- EurEau. 2017. Europe's water in figures- An overview of the European drinking water and wastewater sectors 2017 edition. The European Federation on National Associations of Water Services. s 15. Saatavissa internetistä: <https://www.eureau.org/resources/publications/1460-eureau-data-report-2017-1/file>

- European Commission DG ENV. 2012. Water saving potential in agriculture in Europe: findings from existing studies and application in case studies. 222 s. Saatavissa internetistä: https://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/BIO_Water%20savings%20in%20agriculture_Final%20report.pdf
- European union. 2020. Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and the council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse. 24 s. Saatavissa internetistä: englanniksi: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0741&from=EN>; suomeksi: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0741&from=EN>
- Eurostat. 2021. Water statistics. Water abstraction. Viitattu 4.8.2021 https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Water_statistics#Water_abstraction
- FAO. 2021. Aquastat. Food and agriculture organization of the United nations. Viitattu 4.8.2021 <http://www.fao.org/aquastat/statistics/query/index.html;jsessionid=584644B0A3D5DD5E36C5AF2B436CBFE0>
- Frankenberger, J., Reinhart, B., Nelson, K., Bowling, L., Hay, C., Youssef, M., Strock, J., Jia, X., Helmers, M. & Allred, B. 2017. Questions and Answers About Drainage Water Recycling for the Midwest. Purdue extension ABE-156-W. 8 s. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ABE/ABE-156-W.pdf>
- Gilbertsson, I. 2019. Bevattning av spannmål – en ekonomisk analys. Institution för ekonomi. SLU. Uppsala. 38 s. Saatavissa internetistä: https://stud.epsilon.slu.se/14839/11/gilbertsson_i_190711.pdf
- Global Water Partnership. 2015a. Guidelines for preparation of the Drought Management Plans. Development and implementation of risk-based Drought Management Plans In the context of the EU Water Framework Directive – as part of the River Basin Management Plans. Global Water Partnership Central and Eastern Europe. 48 s. Saatavissa internetistä: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cee_images/idmp-guidelines-pdf-small.pdf
- Global Water Partnership. 2015b. Natural small water retention measures combining drought mitigation, flood protection and biodiversity conservation. Guidelines. Global Water Partnership Central and Eastern Europe. 25 s. Saatavissa internetistä: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cee_files/idmp-cee/idmp-nswrm-final-pdf-small.pdf
- Greening the Islands. 2019. Holistic energetic optimization of the drinking water supply for the offshore, Helgoland. Winner GTI Awards 2019-Water. Greening the islands. <http://www.greeningtheislands.net/index.php/nproject/holistic-energetic-optimization-of-the-drinking-water-supply-for-the-offshore-helgoland/>
- Haataja, K. 2000. Säätosalaajituksen ja salaajakastelun kustannukset ja hyödyt. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos, selvityksiä 5/2000. MTTL, Helsinki. 33 s. Saatavissa internetistä: <https://salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2016/05/25-2000.pdf>
- HELCOM. 2007. Baltic Sea Action Plan. HELCOM Ministerial Meeting. Krakow, Poland, 15 November 2007. 101 s. Saatavissa internetistä: https://helcom.fi/media/documents/BSAP_Final.pdf

- Hyvönen, T., Heliölä, J., Koikkalainen, K., Kuussaari, M., Lemola, R., Miettinen, A., Rankinen, K., Regina, K. & Turtola, E. 2020. Maatalouden ympäristötoimenpiteiden ympäristö- ja kustannustehokkuus (MYTTEHO): loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 12/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 76 s. Saatavissa internetistä: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-919-4>
- Hägglom, O., Härkönen, L., Joensuu, S., Keskiarja, V. & Äijö, H. 2020. Maa- ja metsätalouden vesitalouden suuntaviivat muuttuvassa ympäristössä. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2020:6. 70 s. Saatavissa internetistä: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-186-8>
- Jacks, G. 2019. Drainage in Sweden -the past and new developments. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science 69: 405–410. <https://doi.org/10.1080/09064710.2019.1586991>
- Jensen, L.S., Salo, T., Palmason, F., Breland, T.A., Henriksen, T.M., Stenberg, B., Pedersen, A., Lundström, C. & Esala, M. 2005. Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. Plant and soil 273: 307–326.
- Jensen, A., Ørsted Nielsen, H. & Lilleøre Nielsen, M. 2016. Climate adaptation in local governance: Institutional barriers in Danish municipalities. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy no. 104, 2016. Saatavissa internetistä: <https://dce2.au.dk/pub/SR104.pdf>.
- Johansson, M.M., Pellikka, H., Kahma, K.K. & Ruosteenoja, K. 2014. Global sea level rise scenarios adapted to the Finnish coast. Journal of Marine Systems 129: 35–46. Saatavissa internetistä: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2012.08.007>
- Jordbruksverket. 1999. Vatten till husdjur. Jordbruksinformation 13 – 1999. 36 s. Saatavissa internetistä: <https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/vatten-till-husdjur.html>
- Jordbruksverket. 2017. Handlingsplan för klimatanpassning. Jordbruksverkets arbete med klimatanpassning inom jordbruk- och trädgårdssektorn. Rapport 2017:17. 48 s. Saatavissa internetistä: <https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/ra177.html>
- Jordbruksverket. 2018. Avvattning av jordbruksmark i ett förändrat klimat. Rapport 2018: 19. 55 s. Saatavissa internetistä: https://www2.jordbruksverket.se/download/18.5bd82a281633701bda755c49/1525767877499/ra18_19.pdf
- Jarmolin, F., Lund, V., Stock, B. & Piemontese, L. 2021. Slow-onset risks from climate change in Sweden in 2050. Swedish Civil Contingencies Agency (MSB). 88 s. Saatavissa internetistä: https://bolin.su.se/polopoly_fs/1.556181.1621343178!/menu/standard/file/Final%20report%20MSB%20Fernando%20Jaramillo%2003-01.pdf
- Järvenpää, E. 2003. Suomen tekojärvet vesipolitiikan puitedirektiivin mukaisessa tarkastelussa. Suomen ympäristö 647. 92 s. Saatavissa internetistä: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/225856/SY_647.pdf?sequence=1
- Järvenpää, L. & Savolainen M. (toim.) 2015. Maankuivatuksen ja kastelun suunnittelu. Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2015. 191 s. Saatavissa internetistä: https://www.salaojayhdists.fi/pdf/opas_makas_maankuivatuksenjakastelunsuunnittelu.pdf

- Livsmedelsverket, FOI, Folkhälsomyndigheten, RISE, SVA & SLU. 2019. Bevattningsvatten. Livsmedelsverkets samarbetsrapport S 2019 nr 02. Uppsala. Ladattavissa internetistä: <https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/publikationsdatabas/rapporter/2019/s-2019-nr-02---bevattningsvatten.pdf>
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J. & Munther J. 2017. Finnish normative manure system. System documentation and first results. Natural resources and bioeconomy 48/2017. 74 s. Saatavissa internetistä: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-443-4>
- Klimatanpassning. 2018a. Safe drinking water in Karlskrona. Swedish Portal for Climate Change Adaptation. Saatavissa internetistä: <http://www.klimatanpassning.se/en/cases/safe-drinking-water-in-karlskrona-1.117373>
- Klimatanpassning. 2018b. Brackish waterworks for drinking water on Gotland. Swedish Portal for Climate Change Adaptation. Saatavissa internetistä: <http://www.klimatanpassning.se/en/cases/brackish-waterworks-for-drinking-water-on-gotland-1.112558>
- Koivisto, A. & Salo, T. 2021. Kastelun taloudellisuus. Julkaisussa: Suojala-Ahlfors, T., Hurme, T., Jaakkola, S., Koivisto, A., Laine, P., Pihala, J., Salo, T., Uusitalo, R., Ventelä, A.-M. & Ylivainio, K. 2021. Vihannestuotannon kestävä ravinnehuolto. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 42/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 44–54. Saatavilla internetistä: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-225-4>
- Lantbrukarnas Riksförbund. 2010. Bevatning. Kraftsamling Växtodling. Lantbrukarnas Riksförbund. Stockholm. 36 s. Saatavissa internetissä: <https://www.lrf.se/globalassets/dokument/mitt-lrf/regioner/skane/bevatning-webversion.pdf>
- Larsson, Å. 2020. Tillskottsbevattning i vårsäd – effekter på markvattenbalans och skörd. Institutionen för mark och miljö. SLU. Uppsala. 56 s. Saatavissa internetissä: https://stud.epsilon.slu.se/16688/5/larsson_a_210326.pdf
- Länsstyrelsen Skåne. 2021. Våtmarker och bevattning. 8 s. Saatavissa internetistä: <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.28b736e116b92f026bc4605/1582107770745/Broschyr%20V%C3%A5tmarker%20och%20bevattning.pdf>
- Marmolin, C. 2010. Grönsaksproduktion i Sverige 2040. Delrapport 4 i Projektet Gradvis. Hus hållningssällskapet. 41 s. Saatavissa internetissä: <https://docplayer.se/18024551-Gron-saksproduktion-i-sverige-2040-christina-marmolin-klimatoptimerar-svenskt-lantbruk.html>
- Maziliauskas, A. 2004. Land Use And Water Management Challenges In Lithuanian Rural Areas. Irrigation and Drainage 53: 315–323.
- Mengel, K. & Kirkby, E. 1987. Principles of plant nutrition. 4th ed. International Potash Institute. Bern. Switzerland. 687 s.
- Meriläinen, P., Lanki, T., Miettinen, I., Hokajärvi, A.-M., Simola, A., Tiittanen, P. & Yli-Tuomi, T. 2019. Ilmastomuutos ja vesihuolto – varautuminen ja terveysvaikutukset. Suomen ilmastopaneeli. Raportti 10/2019. 39 s. Saatavissa internetistä: https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2019/12/Ilmastomuutos-ja-vesihuolto_final.pdf

- Myllys, M., Virtanen, E., Forsman, K. & Jauhiainen, L. 2009. Perunan kastelumenetelmien vertailu. Maa- ja elintarviketalous 139. 58 s. Saatavissa internetissä: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-224-9>
- Myyrä, S. & Pietola, K. 2012. Indeksipohjaiset sopimukset maatilojen sato- ja tulojen hallinnassa (RIMAC). MTT Raportti 63. 35 p. Saatavissa internetistä: <https://juku.luke.fi/bitstream/handle/10024/438269/mttraportti63.pdf?sequence=1>
- Olesen, S.E. 2009. Kortlægning af potentielt dræningsbehov på landbrugsarealer opdelt efter landskabsselement, geologi, jordklasse, geologisk region samt høj/lavbund. DJF Markbrug Nr. 21. Marts 2009. Aarhus University. 31 s. Saatavissa internetistä: <https://pure.au.dk/portal/files/45277971/intrma21.pdf>
- Ovaska, S. 2020. Perusparannukset ja ravinnetase suomalaisessa peltoviljelyssä (PERA), Esitys MATO-seminaarissa 13.10.2020. Saatavissa internetissä: https://mmm.fi/documents/1410837/0/5-Ovaska_MATO-seminari13.10.2020_PERA.pdf
- Peltonen-Sainio P., Jauhiainen, L. & Alakukku, L. 2015a. Stakeholder perspectives for switching from rainfed to irrigated cropping systems at high latitudes. Land Use Policy 42: 585–593.
- Peltonen-Sainio P., Laurila, H., Jauhiainen, L. & Alakukku L. 2015b. Proximity of waterways to Finnish farmlands and associated characteristics of regional land use. Agricultural and Food Science 24: 24–38.
- Peltonen-Sainio, P. & Palosuo, T. 2016. Säävaihtelun ja ääri-ilmiöiden aiheuttamien riskien hallintaa haavoittuvuuden vähentämiseksi ja puskurointi- ja palautumiskyvyn parantamiseksi. Loppuraportti, Ilmapuskuri. 22 s. Saatavissa internetissä: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2016062021836>
- Peltonen-Sainio, P., Venäläinen, A., Mäkelä, H.M., Pirinen, P., Laapas, M., Jauhiainen, L., Kaseva, J., Ojanen, H., Korhonen, P., Huusela-Vesitola, E., Jalli, M., Hakala, K., Kaukoranta, T. & Virkajärvi, P. 2016a. Harmfulness of weather events and the adaptive capacity of farmers at high latitudes of Europe. Climate Research 67:221-240. doi:10.3354/cr01378
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Palosuo, T., Hakala, K. & Ruosteenoja, K. 2016b. Rainfed crop production challenges under European high latitude conditions. Regional Environmental Change 16: 1521–1533.
- Peltonen-Sainio, P., Pirinen, P., Mäkelä, H.M., Hyvärinen, O., Huusela-Veistola, E., Ojanen, H. & Venäläinen, A. 2016c. Spatial and temporal variation in weather events critical for boreal agriculture: I Elevated temperatures. Agricultural and Food Science 25: 44–56.
- Peltonen-Sainio, P., Pirinen, P., Laapas, M., Mäkelä, H.M., Ojanen, H. & Venäläinen A. 2016d. Spatial and temporal variation in weather events critical for boreal agriculture: III Frost and winter time fluctuation. Agricultural and Food Science 25: 71–80.
- Peltonen-Sainio, P., Sorvali, J., Müller, M., Huitu, O., Neuvonen, S., Nummelin, T., Rummukainen, A., Hynynen, J., Sievänen, R., Helle, P., Rask, M., Vehanen, T. & Kumpula, J. 2017. Sopeutumisen tila 2017. Ilmastokestävyyden tarkastelut maa- ja metsätalousministeriön hallinnonalalla. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 18/2017. 87 s. Saatavissa internetistä: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-381-9>

- Peltonen-Sainio, P., Juvonen, J., Korhonen, N., Parkkila, P., Sorvali, J. & Gregow, H. 2021. Climate change, precipitation shifts and early summer drought: An irrigation tipping point for Finnish farmers? *Climate Risk Management* 33: Saatavissa internetistä: <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100334>
- Puretec. 2020. What is Reverse Osmosis? Puretec Industrial Water. Saatavissa internetistä: <https://puretecwater.com/reverse-osmosis/what-is-reverse-osmosis>
- Quach, J. 2021. Återanvändning av avloppsvatten för bevattning inom trädgårdsodling – ur ett mikrobiologiskt perspektiv. Fakulteten för landskapsarkitektur. Alnarp. Sveriges lantbruksuniversitet, SLU. 52 s. Saatavissa internetistä: https://stud.epsilon.slu.se/16935/1/quach_j_210628.pdf
- Regina, K. 2019. Maanparannus – mahtava mahdollisuus? Esitys loppuseminaarissa 25.03.2019. Saatavissa internetissä: https://www.ilmase.fi/site/wp-content/uploads/2019/03/Regina_Kristiina_Mahtava_25-03-2019.pdf
- Regina, K., Sheehy, J. & Myllys, M. 2015. Mitigating greenhouse gas fluxes from cultivated organic soils with raised water table. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* volume 20: 1529–1544. DOI 10.1007/s11027-014-9559-2
- Rende, S. 2019. What can be learnt from the 2018 drought and how to adapt Swedish agriculture to a changing climate? – An exploratory study with farmers from Mälardalen. Master's Thesis. Department of Urban and Rural Development. Uppsala. 53 s. Saatavissa internetistä: https://stud.epsilon.slu.se/14966/1/rende_s_190827.pdf
- Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A. & Kämäräinen, M. 2016. Projections for the duration and degree days of the thermal growing season in Europe derived from CMIP5 model output. *International Journal of Climatology* 36: 3039–3055.
- Ruosteenoja, K., Markkanen, T., Venäläinen, A., Räisänen, P. & Peltola H. 2018. Seasonal soil moisture and drought occurrence in Europe in CMIP5 projections for the 21st century. *Climate Dynamics*. 50: 1117–1192.
- Salminen, J., Tikkanen, S. & Koskiaho, J. 2017. Kohti vesiviisasta kiertotaloutta. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 16/2017. 54 s. Saatavissa internetissä: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/188599/SYKEra_16_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Salo, T., Pihala, J. & Lahdenperä, A-M. 2018. Studies on Selected Crop Species for Biosphere Assessment in Southwest Finland. Appendix 6. Irrigation situation in Satakunta. Posiva working report 2017-36. 36 p. Saatavissa internetistä: http://www.posiva.fi/files/4981/Appendix_6_Irrigation_situation_in_Satakunta_web.pdf
- SCB. 2017. Vattenanvändningen i Sverige 2015. Enheten för miljöekonomi och naturresurser. Stockholm. 57 s. Saatavissa internetistä: https://www.scb.se/contentassets/bcb304eb5e154bdf9aad3fbcd063a0d3/mi0902_2015a01_br_miftbr1701.pdf
- Sorvala, S., Puumala, M. & Lehto, M. 2006. Käyttöveden riittävyys ja laatu maatalouden suurissa tuotantoyksiköissä. MTT selvityksiä 108. 34 s. Saatavissa internetistä: <https://juku.luke.fi/bitstream/handle/10024/441678/mmts108.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Sprenger, C., Hartog, N., Hernández, M., Vilanova, E., Grützmacher, G., Scheibler, F., & Hannappel, S. 2017. Inventory of managed aquifer recharge sites in Europe: historical development, current situation and perspectives. *Hydrogeology Journal* 25: 1909–1922. Saatavissa internetistä: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10040-017-1554-8>
- Syke. 2019. Laitosten vedenottomäärät. Vuodelta 2019. Viitattu 4.8.2021. Saatavissa internetissä: <https://raportit.ymparisto.fi/ReportServer/Pages/ReportViewer.aspx?%2fJulkiraportti-Laitosten%20vedenottomaarat>
- Sydvatten. 2019. Klimatsäkert vatten – hur räcker vattnet till allas behov och vem ska se till att det räcker? Sydvatten. 49 s. Saatavissa internetissä: <https://sydvatten.se/app/uploads/2019/06/Klimatsakert-vatten-rapport-20190625.pdf>
- Tao, F., Rötter, R.P., Palosuo, T., Höhn, J., Peltonen-Sainio, P., Rajala, A. & Salo, T. 2015. Assessing climate effects on wheat yield and water use in Finland using a super-ensemble-based probabilistic approach. *Climate Research* 65: 23–37.
- Ten Damme, L. & Neumann Andersen, M. 2018. The gross- and net-irrigation requirements of crops and model farms with different root zone capacities at ten locations in Denmark (1990-2015). DCA report 112. DCA - Danish Centre for Food and Agriculture. 89 s. Saatavissa internetistä: https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport112_net.pdf
- Tertsunen, S., Tertsunen, V., Jauhiainen, P., Liskola, K., Arosilta, A., Haapala, H. & Kallioniemi, M. (toim.). 2005. Kotieläintilojen huoltovarmuus. Agro-Elektro Oy, Maa- ja metsätalousministeriö, Suomen ympäristökeskus, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 35 s. Saatavissa internetistä: <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/441534/mmts99.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Thor, G. 2020. Bevattning i vallodling. Institutionen för mark och miljö. SLU, 2020:05. 41 s. Saatavissa internetistä: https://stud.epsilon.slu.se/15633/7/thor_g_200615.pdf
- Tuhkanen, H., Piirsalu, E. & Lahtvee, V. 2019. The Role of Local Governments in Adapting to the Climate: A Regulatory Requirements and Support Mechanisms Overview. Council of the Baltic Sea States. 38 p. Saatavissa internetistä: https://cbss.org/wp-content/uploads/2020/03/the_role_of_local_governments_in_adapting_to_the_climate-1.pdf
- Uusi-Kämppeä, J., Virtanen, S., Rosendahl, R., Österholm, P., Mäensivu, M., Westberg, V., Regina, K., Ylivainio, K., Yli-Halla, M., Edén, P. & Turtola, E. 2013. Ympäristöriskien vähentäminen happamalla sulfaattimailla – Opas pohjaveden pinnan säätämiseksi. MTT Raportti 74. 24 s. Saatavissa internetistä: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-422-9>
- Vienonen, S., Rintala, J., Orvomaa, M., Santala, E. & Maunula, M. 2012. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja sopeutumistoimet vesihuollossa. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 24/2012. 86 s. Saatavissa internetistä: http://hdl.handle.net/10138/38739WRE_2020



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000