



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 68/2024

Kasviproteiini kasvun tiellä

Tiekartta ruoan korkeampaan kasviproteiiniomavaraisuuteen

**Csaba Jansik, Hanna Karikallio, Titta Kotilainen,
Hannu Känkänen, Anne Pihlanto, Susanna Rokka ja
Marjatta Vahvaselkä**

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 68/2024

Kasviproteiini kasvun tiellä

Tiekartta ruoan korkeampaan kasviproteiiniomavaraisuuteen

**Csaba Jansik, Hanna Karikallio, Titta Kotilainen, Hannu Känkänen,
Anne Pihlanto, Susanna Rokka ja Marjatta Vahvaselkä**

SITRA

Selvityksen rahoitti Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra.

Sitra on tulevaisuustalo, joka auttaa Suomea uudistumaan. Ennakoimme tulevaa. Etsimme yhdessä kumppaneiden kanssa ratkaisuja huomisen haasteisiin. Edistämme Suomen hyvinvointia ja vauhditamme talouden kestävästä kasvusta. Parempi tulevaisuus vaatii tekoja jo tänään.

Viittausohje:

Jansik, C., Karikallio, H., Kotilainen, T., Känkänen, H., Pihlanto, A., Rokka, S. & Vahvaselkä, M. 2024. Kasviproteiini kasvun tiellä : Tiekartta ruoan korkeampaan kasviproteiiniomavaraisuuteen. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 68/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 76 s.

Csaba Jansik ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-1244-9230>



ISBN 978-952-380-948-2 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-948-2>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Csaba Jansik, Hanna Karikallio, Titta Kotilainen, Hannu Känkänen, Anne Pihlanto, Susanna Rokka ja Marjatta Vahvaselkä

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2024

Julkaisuvuosi: 2024

Kannen kuva: Pixabay

Kasviproteiini kasvun tiellä – Tiekartta ruoan korkeampaan kasviproteiiniomavaraisuuteen

Csaba Jansik, Hanna Karikallio, Titta Kotilainen, Hannu Känkänen, Anne Pihlanto, Susanna Rokka ja Marjatta Vahvaselkä

Tämän raportin ydinviestit:

- Suomalaiset kuluttivat proteiinia vuonna 2023 noin 245 milj. kg, hävikki huomioiden noin 233 milj. kg. Suomalaisten kuluttamasta proteiinista 38 % oli peräisin kasviperäisestä ja 62 % eläinperäisestä raaka-aineesta valmistetuista elintarvikkeista.
- Ravitsemussuositukseen perustuva suomalaisten vuosittainen laskennallinen proteiinin tarve oli vuonna 2023 noin 185 milj. kg. Selvityksen mukaan tarve pysyy samansuuruisena vuonna 2040.
- Vuonna 2023 Suomen kasviproteiinituotanto oli yhteensä 67 milj. kg. Laskelmat osoittavat, että tunnistettujen kasvintuotantoon liittyvien kehittämistoimien onnistuessa, vuonna 2040 suomalaisilta pelloilta on mahdollista laskennallisesti saada tarvetta vastaava määrä kasviproteiinia. Kasviproteiinin koko tuotantopotentiaali nousee jopa 228 milj. kiloon, kun kaikki tyypilliset peltokasvit huomioidaan. Osaa näistä kasveista ei vielä nykyisin käytetä proteiiniä elintarvikeketjussa.
- Edellä kuvattu tuotantomäärä nostaisi Suomen kasviproteiinituotannon suhteessa koko proteiinikulutukseen nykyisestä 29 %:sta jopa 98 %:iin. Kasviproteiinituotannon merkittävä kasvu edellyttää palko- ja öljykasvien viljelyä maksimaalisesti viljelykierron sallimissa puitteissa, mikä kolminkertaistaa kyseisten kasvien viljelyalan. Ehdottomia vaatimuksia ovat viljelyn taloudellinen kannattavuus, viljelyvarmuuden paraneminen, kasvinjalostus, hyvät viljelykäytännöt sekä nykyisen ja kehittyvän teknologian käyttöönotto.
- Kasviproteiinituotannon lisääminen pelloilla ei vielä yksin riitä kasviproteiinin lisäämiseen ruokalautasillamme. Nousu edellyttää merkittäviä prosessiteknologisia, tuotekehityksellisiä, kaupallisia ja muita toimenpiteitä, jotka on kerätty raportin tiekarttaan.
- Toimenpiteistä merkittävimpiä ovat teollisuuden investoinnit kasviproteiiniinivasteiden valmistukseen sekä syntyvien sivuvirtojen kannattavaan jatkojalostukseen. Toimialan laajentamiseen tarvitaan myös startup-yrityksiä, jotka uusien innovaatioiden myötä tuovat markkinoille uudentyyppisiä kasvipohjaisia tuotteita. Kasviproteiinituotteiden markkinoiden laajentamista Suomen ulkopuolelle tarvitaan arvoketjun kannattavuuden varmistamiseksi ja kriittisten volyymien saavuttamiseksi.
- Nykyään noin puolet Suomen proteiininkasvisadosta täyttää elintarviketeollisuuden laatuvaatimukset. Ilmastomuutoksen myötä viljelyn epävarmuudet lisääntyvät entisestään. On todennäköistä, että vuonna 2040 osa sadosta jää hyödyntämättä elintarvikekäytössä. Elintarvikekäyttöön sopimattomalle sadolle luontevinta on kotieläintuotannon rehukäyttö. Kasvi- ja kotieläintuotanto tukevatkin toisiaan ja auttavat yhdessä parantamaan proteiinituotannon omavaraisuutta ja Suomen huoltovarmuutta.

Tiivistelmä

Csaba Jansik, Hanna Karikallio, Titta Kotilainen, Hannu Känkänen, Anne Pihlanto, Susanna Rokka ja Marjatta Vahvaselkä

Luonnonvarakeskus (Luke)

Kasviproteiinituotteiden ennakoidaan olevan elintarvikesektorin yksi nopeimmin kasvavista tuoteryhmistä tulevana vuosina. Kasviproteiinista ja kasviproteiinituotteista merkittävä osa tulee Suomeen ulkomailta. Omavaraisella ruoantuotannolla on yhteiskunnan toiminnalle tärkeä merkitys huoltovarmuuden turvana.

Selvityksen tavoitteena on luoda kokonaiskuva ruokana käytettävän kasviproteiinin tuotantopotentiaalista Suomessa nyt ja tulevaisuudessa sekä arvioida keinoja, joilla kasviproteiiniomavaraisuutta voidaan nostaa. Tämän rinnalla lasketaan suomalaisten proteiinin tarpeen kehitys. Selvityksessä kuvaillaan toimet, jotka ovat välttämättömiä toteuttaa kasviproteiiniomavaraisuuden kasvun toteutumiseksi ja pullonkaulojen poistamiseksi.

Selvityksen laskelmien mukaan vuonna 2023 Suomen kasviproteiinituotanto oli yhteensä 67 milj. kg. Vuonna 2040 suomalaisilta pelloilta voidaan saada tärkeimpien proteiinikasvien osalta jopa 182 milj. kg elintarvikekelpoista kasviproteiinia. Kaikki kasvit huomioiden kasviproteiinin tuotantopotentiaali voi nousta 228 milj. kiloon. Tämä mahdollistaa koko proteiini-kulutuksemme suhteutetun kasviproteiinituotannon nousun nykyisestä 29 %:sta jopa 98 %:iin.

Selvityksessä laskettiin lisäksi, että suomalaisten vuosittainen ravitsemussuoistuksiin perustuva laskennallinen proteiinin kokonaistarve oli vuonna 2023 noin 185 milj. kg. Selvityksen laskelman mukaan tarve pysyy samansuuruisena vuonna 2040.

Kasviproteiinituotannon merkittävä kasvu edellyttää palko- ja öljykasvien viljelyä maksimaalisesti viljelykierron sallimissa puitteissa, mikä kolminkertaistaa kyseisten kasvien viljelyalan. Ehdottomia vaatimuksia ovat viljelyn taloudellinen kannattavuus, viljelyvarmuuden paraneminen, kasvinjalostus, hyvät viljelykäytännöt sekä nykyisen ja kehittyvän teknologian käyttöönotto. Teollisuudelta edellytetään merkittäviä investointeja palkokasvipohjaisten proteiini- tuotteiden valmistukseen sekä tuotannon yhteydessä syntyvien runsaiden sivuvirtojen jalostukseen. Mittavaa TKI-toiminta tarvitaan, jotta markkinoille saadaan uudentyyppisiä kasviproteiinituotteita. Toimialan laajentaminen edellyttää myös startup-yrityksiä, jotka uusien ideoiden ja innovaatioiden myötä luovat pohjaa kasvulle. Kasviproteiinituotteiden viennin kasvu on ehdoton edellytys arvoketjun kannattavuuden varmistamiseksi ja kriittisten volyyymien saavuttamiseksi.

Kasviproteiinituotanto tarvitsee rinnalleen kotimaista kotieläintuotantoa sekä uusia tuotantoteknologioita. Vain noin puolet Suomen valkuaiskasvisadosta täyttää elintarvikeolosuhteiden laatuvaatimukset, eikä osuuteen ole odotettavissa merkittävää muutosta. Elintarvikekäyttöön sopimattomalle tuotannolle on oltava kysyntää, mikä luontevimmin tulee kotieläintuotannon rehukäytöstä ja tulevaisuudessa myös uusista tuotantomuodoista. Kasviproteiinituotannon kasvu nostaisi merkittävästi myös kotieläintuotannon täydennysvalkuaisrehun kotimaista tarjontaa.

Asiasanat: Kasviproteiini, valkuaiskasvi, omavaraisuus, tuotanto, kulutus, tuotantopotentiaali

Abstract

Csaba Jansik, Hanna Karikallio, Titta Kotilainen, Hannu Känkänen, Anne Pihlanto, Susanna Rokka and Marjatta Vahvaselkä

Luonnonvarakeskus (Luke)

Plant protein products are expected to be one of the most important expanding product groups in the food sector in the coming years. A significant proportion of plant protein and plant protein products are imported into Finland from abroad. Self-sufficient food production plays an important role in the society as a means of ensuring security of supply.

The aim of the study is to provide an overview of the current and future production potential of plant protein for food use in Finland and to analyse ways to increase the self-sufficiency of plant protein. In parallel, the evolution of the protein needs of Finns will be calculated. The study describes the actions that need to be taken to achieve growth in plant protein self-sufficiency and to remove bottlenecks.

According to the calculations, in 2023 Finland's total plant protein production was 67 million kg. In 2040, up to 182 million kg of plant protein suitable for food production could be obtained from Finnish fields for the main protein crops. Taking all plants into account, the potential for plant protein production could rise to 228 million kg. This would allow an increase in the proportion of plant protein production within total protein consumption from the current 29 % to as high as 98 %.

The study also calculated that the total annual protein requirement of Finns based on the nutrition recommendations would be around 185 million kg in 2023. According to the study, the need will remain the same in 2040.

A significant increase in plant protein production will require the cultivation of pulses and oilseeds to the maximum extent allowed by the crop rotation, thus tripling the cultivation area of these crops. The essential requirements are economic profitability, improved crop reliability, plant breeding, good farming practices and the use of current and emerging technologies. The industry will be required to invest heavily in the processing of legume-based protein concentrates and in the processing of the rich side streams generated during production. Significant RDI efforts are needed to bring new types of plant protein products to the market. The expansion of the sector also requires start-ups, which, with new ideas and innovations, will create the basis for growth. Increasing exports of plant protein products is a necessary requirement to ensure the profitability of the value chain and to reach critical volumes.

Plant protein production needs to be complemented by domestic livestock production and new production technologies. Only about half of Finland's protein crop meets the quality requirements of the food industry and no significant change in this share is expected. There must be a demand for non-food production, which will most naturally come from feed use in livestock production and, in the future, from new forms of production. An increase in plant protein production would also significantly increase the domestic supply of protein feed supplement for livestock production.

Reference words: Plant protein, protein crops, self-sufficiency, production, consumption, production potential

Sisällys

1. Johdanto	8
2. Proteiinien tuotanto, kulutus, omavaraisuus ja laskennallinen tarve	10
2.1. Proteiinin tuotanto ja kulutus ruoka-aineittain.....	10
2.1.1. Menetelmä ja käytetyt aineistot.....	10
2.1.2. Laskelman päätulokset.....	11
2.1.3. Kasviperäisen proteiinin tuotanto, kulutus ja omavaraisuus.....	13
2.1.4. Eläinperäisen proteiinin tuotanto, kulutus ja omavaraisuus	16
2.1.5. Proteiinin kokonaiskulutuksen tason korjaaminen ruokahävikillä.....	17
2.2. Laskelma proteiinin kokonaistarpeesta Suomessa vuosina 2023 ja 2040	18
3. Peltoviljelyn mahdollisuudet kasviproteiinituotannon kasvattamiseen	22
3.1. Kasviproteiinituotanto vallitsevissa oloissa.....	22
3.1.1. Viljelyyn kannustavat seikat	24
3.1.2. Satotasojen nostomahdollisuudet nykytekniikoin	26
3.2. Laskelmia kasviproteiinituotannon kasvumahdollisuuksista peltoviljelyssä	28
3.2.1. Kasvinjalostus.....	28
3.2.2. Lämpötilan nousun vaikutus.....	29
3.2.3. Teknologioiden valkuaissatoja lisäävät vaikutukset	31
3.2.4. Teknologioiden käyttöä ja hyötyä rajoittavat tekijät.....	34
3.2.5. Muut huomiot.....	36
3.3. Täydennysvalkuaisten omavaraisuus	42
4. Muut mahdollisuudet monipuolistaa proteiiniomavaraisuutta	48
4.1. Luonnonsienet ja viljellyt sienet proteiinituotannon monipuolistamisessa.....	48
4.2. Suomalaisella kalalla edellytykset kasvattaa merkitystään proteiininlähteenä.....	49
4.3. Solumaatalous proteiinituotannon täydentäjänä	50
4.4. Proteiinia kasvihuoneista - kasvihuonetuotannon mahdollisuudet ja haasteet.....	53
5. Tiekartta korkeampaan kasviproteiiniomavaraisuuteen	56
5.1. Tiekartan laskelmat	56
5.2. Näkökulmia tiekartan toimenpiteisiin ja muita huomioita	57
5.2.1. Kestävät viljelykäytännöt ja teknologinen harppaus.....	57
5.2.2. Kasvinjalostuksella tuottavuutta ja viljelyvarmuutta	58
5.2.3. Mittavat investoinnit arvoketjujen rakentamiseksi	58
5.2.4. Vaikuttavaa TKI-toimintaa.....	59
5.2.5. Osajia ja yhteistyötä kaupallistamiseen	60

5.2.6. Tilastojärjestelmät ajan tasalle	60
5.2.7. Kuluttajien asenne ratkaisee	61
5.3. Loppusanat tiekartasta ja tulevista tutkimustarpeista.....	64
Viitteet.....	66

1. Johdanto

Tällä hetkellä yli 60 % ruokavaliomme proteiinista on eläinperäistä. Kasviproteiinituotteiden kysyntä ja markkina on kuitenkin ollut vahvassa kasvussa lukuun ottamatta viimeisimpien vuosien notkahdusta kuluttajien siirtyessä edullisempiin proteiinilähteisiin voimakkaan ruoan hinnan nousun seurauksena. Kasviproteiinin kysynnän odotetaan palaavan lähivuosina takaisin kasvu-uralleen. Vastaavasti lihankulutus ei ole enää viime vuosina kasvanut Suomessa. Ruokajärjestelmämme on muutoksessa ja siirtymää kasvispainotteisempaan ruokakulttuuriin ajaa erityisesti tietoisuus ruoantuotannon vaikutuksista ekologiseen kriisiin sekä ruokavaliion terveysvaikutukset.

Viime vuosien kriisien seurauksena yhä useampi päättäjät ja valtio on alkanut pohtia ruoantuotannon omavaraisuutta ja paikallista tuotantoa. Kotimaisella ruoalla on yhteiskunnan toiminnalle hyvin tärkeä merkitys huoltovarmuuden turvana. Kasviproteiinista ja kasviproteiinielintarvikkeista merkittävä osuus tuodaan ulkomailta. Suomalaisen tuotannon pullonkaulana on sekä kotimaisen kasviproteiiniraaka-aineen että jalostavan teollisuuden puute. Mikäli kasviproteiinin omavaraisuusastetta halutaan parantaa, ulkomailta tuotu kasviproteiini tulee korvata kotimaassa tuotetulla proteiinilla, ja kasviproteiinituotteiden vientiä on edistettävä laajasti.

Aikaisempi tutkimus on osoittanut, että monilla proteiinikasveilla on Suomessa hyvät tuotantomahdollisuudet. Kasviproteiinituotteiden tuotantoon ja tarjontaan on luotava kuitenkin paremmat edellytykset. Käytännössä tämä tarkoittaa viljelymenetelmien kehittämistä, teknologisten mahdollisuuksien hyödyntämistä, kasvinjalostukseen panostamista sekä koko arvoketjun vahvistamista. Muutoksen aikaansaamiseksi tarvitaan arvoketjujen kehittämisen lisäksi järjestelmätason muutoksia.

Kasviproteiinialan nopea kehitys on tuonut tarpeen koostaa tutkimusta sekä luoda suuntaviivoja tulevaan. Selvityksessä luodaan näkymä kasviproteiiniomavaraisuuden kehittymiseen Suomessa vuoteen 2040 saakka sekä arvioidaan keinoja, joilla kasviproteiiniomavaraisuutta voidaan nostaa. Tarkastelu kohdistuu ensisijaisesti vilja-, palko-, öljy- ja erikoiskasveihin, mutta huomioi myös kasvihuonetuotannon mahdollisuudet. Lisäksi on lyhyesti tarkasteltu solumaatalouden proteiinituotannon sekä sienten ja kalojenkin potentiaalia proteiinilähteinä. Selvityksessä kuvaillaan toimet, jotka ovat välttämättömiä toteuttaa kasviproteiiniomavaraisuuden kasvun toteutumiseksi ja pullonkaulojen poistamiseksi. Selvityksessä syntetisoidaan laajasti aikaisempaa tutkimusta. Laskelmat ja numeeriset tarkastelut on tehty viimeisimmillä saatavissa olevilla tilastoaineistoilla. Lisäksi tietopohjaa on laajennettu alan yritysten ja asiantuntijoiden haastatteluilla.

Selvityksen tavoitteena on luoda kokonaiskuva ruokana käytettävän kasviproteiinin tuotantopotentiaalista Suomessa nyt ja tulevaisuudessa. Tämän rinnalla lasketaan suomalaisten proteiinin tarpeen kehitys. Vaikka selvityksen pääpaino on ruoassa, selvityksessä tehdään katsaus myös kotieläintuotannossa käytettävään täydennysrehuvalkuaiseen ja mahdollisuuksiin nostaa sen omavaraisuutta.

Nykytilan analysoinnin ohella analysoidaan tuotanto-olosuhteiden paranemisen, teknologisen kehityksen ja jalostuksen kautta saavutettavia mahdollisuuksia kasvattaa kasviproteiiniomavaraisuutta. Osana tarkastelua kuvataan aikaisemmissa tutkimuksissa analysoitua kasviproteiinin

ravitsemuksellista laatua ja merkitystä ihmisravintona suhteessa eläinperäiseen proteiiniin. Selvityksessä huomioidaan myös aikaisemman tutkimuksen tulokset kasviproteiinituotannon ympäristö- ja ilmastovaikutuksista.

Selvitys vahvistaa ruoka-alan tietopohjaa alan kestävässä kehittämisessä ja tulevaisuuden tarpeisiin vastaamisessa. Tarkentunut kokonaiskuva kasviproteiinin tuotantonäkymistä Suomessa parantaa toimijoiden valmiuksia sopeutua muuttuvaan toimintaympäristöön.

2. Proteiinien tuotanto, kulutus, omavaraisuus ja laskennallinen tarve

2.1. Proteiinin tuotanto ja kulutus ruoka-aineittain

Suomen proteiiniomavaraisuuslaskelmat tehtiin edellisen kerran viisi vuotta sitten (Niemi ja Niskanen, 2019). Silloin kasviperäiset omavaraisuuslaskelmat sisälsivät kotieläintuotannon panoksina käytetyt rehut. Kyseisissä laskelmissa omavaraisuus oli 90–100 % vuosina 2010–2018. Korkea luku saavutettiin nurmen ja viljan tuotannolla, jotka rehujen pääraaka-aineina ovat peräisin lähes yksinomaan kotimaasta. Nurmea ei tuotu ulkomailta lainkaan ja rehuviljaakin vain pieniä, satunnaisia eriä.

Kasviperäisistä panoksista kriittisimpiä olivat täydennysvalkuaisrehut, öljy- ja palkokasvit ja keineen. Ne tulivat suurimmaksi osaksi ulkomailta. Täydennysvalkuaisisten omavaraisuusaste jäi reilusti alle viidenneksen vuosien 2010–2018 laskelmissa.

Eläinperäisistä tuoteryhmistä laskelmissa oli mukana kaikki tärkeimmät tuoteryhmät: lihat, maito ja maitotuotteet, kananmunat ja kala. Näissä tuoteryhmissä omavaraisuusaste vaihteli välillä 86–96 %.

Tämän selvityksen yhtenä tavoitteena on laskea, kuinka paljon suomalaiset kuluttavat proteiinia ja mikä on suomalaisten syömän proteiinin omavaraisuusaste. Laskenta suoritettiin alkuperälähteittäin huomioiden sekä (1) kotimaiset tuotteet ja tuontituotteet että (2) kasvi- ja eläinperäisistä raaka-aineista valmistetut tuotteet. Tämä laskentatapa muuttaa omavaraisuusluvun rakenteen ja sisällön aikaisempina vuosina tehtyihin laskelmiin nähden merkittävästi kasviperäisen proteiinin osalta. Tuoreissa laskelmissa on mukana viljoista ja palkokasveista valmistetun ruoan sekä muiden kasvipohjaisten elintarvikkeiden kuten perunan, sokerin, pähkinöiden, kaakaon ja vihannesten, hedelmien ja marjojen sisältämä proteiini, eli kotieläintuotannon rehut jäävät tarkastelun ulkopuolelle. Niiden omavaraisuuteen palataan erikseen luvussa 3.3.

2.1.1. Menetelmä ja käytetyt aineistot

Laskelmien perustana oli Luonnonvarakeskuksen kokoama Ravintotase-tilastotietokanta, jonka tärkeimpiä tilastolähteitä ovat Luken sato- ja tuotantotilastot, Tullin ULJAS-ulkomaankauppatietokanta sekä Tilastokeskuksen väestötilasto, mutta laskelmiin käytettiin myös muita tilastolähteitä kuten metsästystilastoa.

Ravintotase pohjautuu pääruokaraaka-aineiden taseisiin, joille lasketaan käyttömuodot kuten ruoka, rehu, kylvösiemenet. Käyttö jakautuu alkuperän ja käyttökohteen mukaan kotimaan tuotantoon, tuontiin ja vientiin. Ravintotaseen kasviperäisten raaka-aineiden pääluokat ovat viljat, peruna, öljy- ja palkokasvit sekä hedelmät, vihannekset ja marjat. Eläinperäisten raaka-aineiden pääluokat ovat liha, maito, kananmuna ja kala. Nämä jakautuvat edelleen alaluokkiin esim. viljalajeihin, eri vihannes- ja hedelmäryhmiin sekä lihalajeihin ja jalostettujen tuotteiden ryhmiin kuten maitotuotteisiin. Ravintotase sisältää lisäksi myös yksittäisiä pienempiä raaka-aine- tai tuoteryhmiä, kuten hunaja, sokeri, kaakao, ja pähkinät.

Proteiinitaseen laskemisessa on hyödynnetty aikaisempien vastaavien tutkimusten käyttämiä proteiinikertoimia, joita päivitettiin ja täydennettiin tuote- tai raaka-ainekohtaisilla tiedoilla yrityksiltä sekä julkisista lähteistä kuten Ruokavirastosta (Viljaseula) ja Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitoksesta (Fineli).

Proteiinilaskelmissa eritellään vain ruoaksi käytetyt erät. Tämä aiheuttaa haasteen mm. viljojen, palkokasvien ja kalan osalta puuttuvien tai puutteellisten tilastojen vuoksi. Viljan ulkomaankauppaluvuissa rehu- ja leipäviljan eriä ei ole mahdollista erotella toisistaan. Rehuviljaa ei ole kuitenkaan tuotu – maissia lukuun ottamatta – Suomeen merkittäviä eriä viime vuosien aikana. Leipäviljan tuontia ja vientiä jouduttiin laskemaan kymmenien eri viljaa sisältävien CN-nimikkeiden luvuista. Ravintotase sisältää tuonnin ja viennin osalta kaiken kaikkiaan satoja CN-nimikkeitä.

Palkokasveista herneen kotimaan tuotannosta tilastoidaan erikseen rehu- ja ruokakäyttö, mutta härkävavusta ei tilastoida. Härkävavun ruokakäyttö määriteltiin teollisuuden arvion pohjalta. Ruokana käytetyn kalan proteiiniomavaraisuuslaskelmia vaikeuttaa vienti, joka sisältää sekä ruoka- että rehukäyttöä. Esimerkiksi jopa saman CN-nimikkeen silakkaa voidaan myydä ulkomaille joko kalajauhoksi tai elintarvikkeeksi. Kalan proteiiniomavaraisuuslaskelmiin on käytetty alan asiantuntija- ja yritystietoja.

2.1.2. Laskelman päätulokset

Laskelmien mukaan Suomen väestön proteiinin kokonaiskulutus ylsi 244,7 milj. kiloon vuonna 2023. Hieman alle 38 %, eli 92,3 milj. kg, oli peräisin kasviperäisistä raaka-aineista valmistetuista elintarvikkeista. Eläinperäistä proteiinia kulutettiin vastaavasti 152,4 milj. kg, mikä vastasi siis 62 % proteiinin kokonaiskulutuksesta (Taulukko 1).

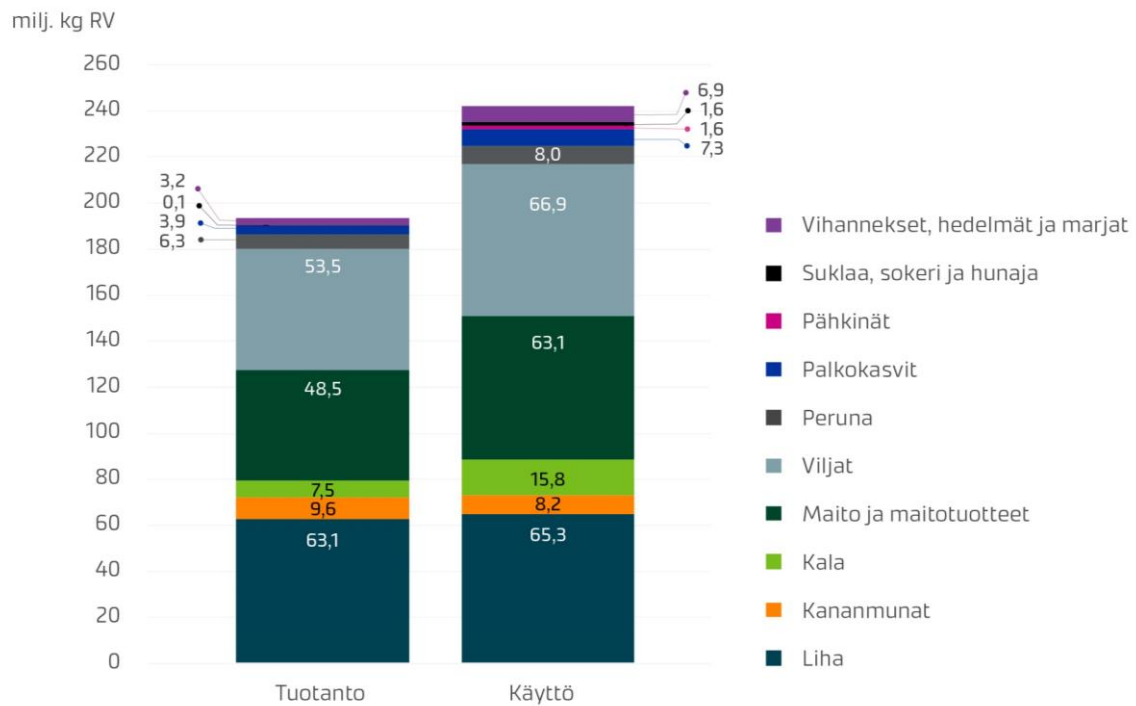
Ruokana kulutetun proteiinin omavaraisuusaste oli vuonna 2023 varsin korkea, liki 80 %. Tämä painotettu arvo koostuu kasviperäisen proteiinin 72 prosentin ja eläinperäisen proteiinin 84 prosentin omavaraisuusasteista. Omavaraisuusaste lasketaan suhteuttamalla kotimaan tuotanto kotimaan kulutukseen, jonka laskentakaava on tuotanto + tuonti – vienti. Omavaraisuusaste soveltuu hyvin kilpailukyvyn kokonaisvaltaiseen mittaamiseen tietyn tuotteen tai tuoteryhmän osalta, koska se ilmaisee kilpailukykyä sekä kotimaan markkinoilla että vientimarkkinoilla.

Taulukko 1. Suomen elintarvikkeproteiinin tuotanto, ulkomaankauppa, kulutus ja omavaraisuusasteet alkuperän ja käyttöalueen mukaan vuonna 2023.

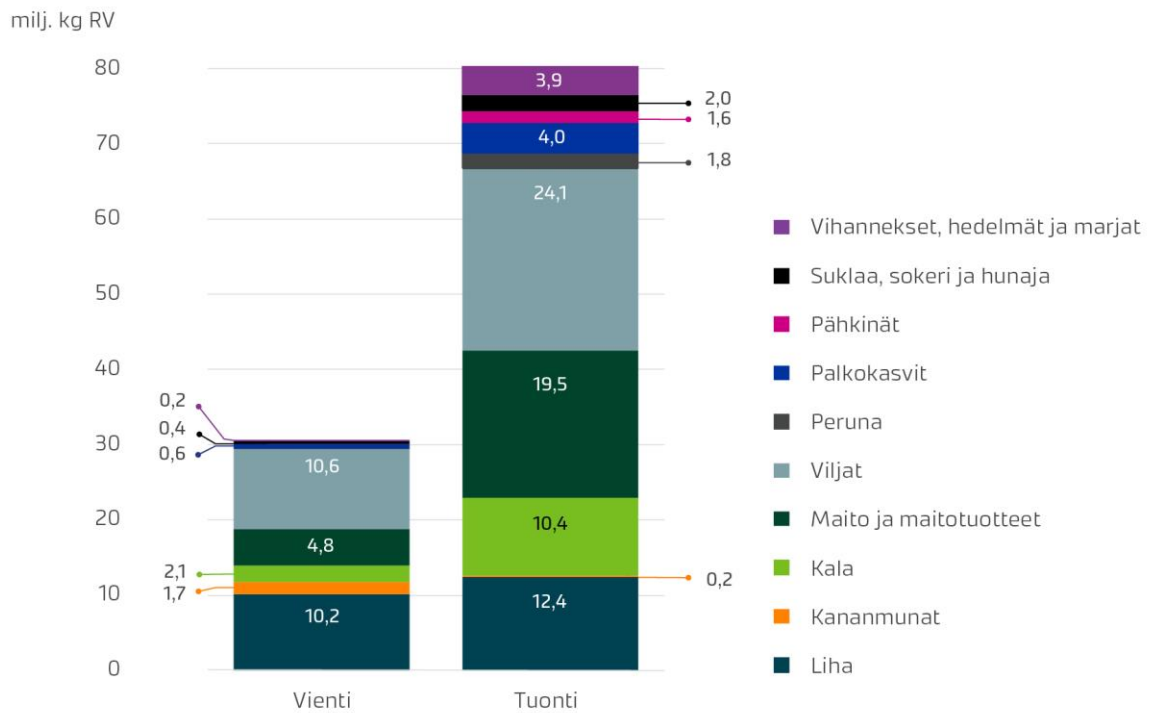
	Raakavalkuainen, milj. kg					Kasvi- ja eläinproteiinikulutuksen suhde, %	Omavaraisuusaste, %
	Tuotanto	Vienti	Tuonti	Kotimaan kulutus	Hävikillä korjattu kulutus		
Kasviperäinen	66,9	11,9	37,4	92,3	85,5	37,7	72,4
Eläinperäinen	128,7	18,8	42,5	152,4	147,8	62,3	84,4
Yhteensä	195,5	30,7	79,9	244,7	233,3	100,0	79,9

Lähde: omat laskelmat Luken, Tullin ja muita tilastotietokantoja käyttäen (kts. tarkemmin Menetelmä ja käytetyt aineistot -osio). Huom. kasviperäisen ja eläinperäisen proteiinin suhde on laskettu kulutettavaksi ostetuista määristä. Kulutusmäärät on esitetty erikseen myös kotitalouksien tuoteryhmäkohtaisella hävikillä korjattuna.

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 68/2024



Kuva 1. Suomen elintarvikeproteiinin tuotanto ja käyttö tuoteryhmittäin. Lähde: Omat laskelmat Luken, Tullin ja muita tilastotietokantoja käyttäen.



Kuva 2. Suomen elintarvikeproteiinin vienti ja tuonti tuoteryhmittäin. Lähde: Omat laskelmat Luken, Tullin ja muita tilastotietokantoja käyttäen.

Kilpailukykyä voidaan mitata myös kotimaisuus- ja tuontiasteilla. Kotimaisuusaste tarkoittaa tuotannon kotimaahan myytyä osuutta kotimaan kulutuksesta, sen laskentakaava on (tuotanto-vienti)/kulutus. Tuontiaste ilmaisee vastaavasti tuonnin osuuden kotimaan kulutuksesta. Nämä ovat selvästi suppeampia mittareita, koska ne keskittyvät vain kotimaan markkinoihin ja jättävät viennin täysin huomioitta.

Kotimaisuusasteet jäävät laskentakaavojensa vuoksi vääjäämättä omavaraisuusasteita heikomiksi, sillä kotimarkkinoilla kulutetaan viennillä vähennetty kotimainen tuotanto. Kasvi-proteiinin kulutuksesta hieman alle 60 % on laskelmien mukaan peräisin kotimaan tuotannosta ja eläinperäisestä proteiinista 72 %. Keskimäärin kotimainen proteiini kattaa 67 % suomalaisten proteiinin kulutuksesta.

Proteiinin kokonaistuotantoa ja -käyttöä tuoteryhmittäin esittävässä kuvasta selviää, ettei tuotantomme ylitä kulutuksen tasoa missään muussa tuoteryhmässä kuin kananmunissa. Kolme suurinta tuoteryhmää vastaavat liki 80 % suomalaisten proteiinin kulutuksesta ja peräti 84 % proteiinin tuotannosta. Kokonaistilanteessa on myös merkille pantava palkokasvien suhteellinen vaatimaton siivu.

Ulkomaankauppa on varsin epätasainen, koska Suomeen tuodaan yli kaksi ja puoli kertaa enemmän proteiinia elintarvikkeissa vientiin nähden. Tuoteryhmäkohtainen tarkastelu osoittaa lihan viennin ja tuonnin olevan eniten tasapainossa. Kananmunien proteiinvienti on ainoa, joka ylittää vastaavan tuonnin, ja peräti moninkertaisesti. Kalaproteiinia sen sijaan tuotiin Suomeen viisinkertainen määrä vientiin verrattuna.

Mielenkiintoisin tapaus on maidon ja maitotuotteiden proteiinin ulkomaankauppa. Tuoteryhmän euromääräinen kauppataase on ollut koko Suomen EU-jäsenyyden ajan positiivinen: viennin arvo on ylittänyt tuonnin arvon. Maitoproteiinin ulkomaankauppa näyttää varsin erilaiselta. Kuvan 2 luvut viittaavat siihen, että Suomesta viedään ensisijaisesti maitorasvaa, ennen kaikkea voin muodossa, ja maitoproteiini jää kotimarkkinoille (tuoretuotteet, rahkat, proteiinivälipalat ym.). Suuri proteiinituonti johtuu taas juustojen kauppataaseen epätasapainosta, Suomeen tuodaan huomattavan paljon enemmän juustoja kuin mitä täältä viedään.

2.1.3. Kasviperäisen proteiinin tuotanto, kulutus ja omavaraisuus

Kasviproteiinista ylivoimaisesti suurin määrä saadaan nykyään viljoista, erilaisten viljatuotteiden muodossa. Viljan proteiininpitoisuus vaihtelee välillä 10–16 % lajikkeista ja viljelyolosuhteista riippuen.

Proteiinilähteenä suurin viljalaji on vehnä. Puolet viljaproteiinin tuotannosta ja lähes kaksi kolmasosaa sen kulutuksesta tulee vehnästä. Vehnän merkittävin tuoteryhmä on leipomotuotteet, joita myös tuodaan Suomeen huomattavia määriä sekä tuoretuotteina että pakasteina.

Kaura on toiseksi merkittävin viljaproteiinin lähde. Yli 30 % viljaproteiinin tuotannosta ja lähes 17 % kulutuksesta on peräisin kaurasta. Kauratuotteita viedään Suomesta enenevässä määrin erityisesti myllyteollisuuden puolivalmisteina.

Viljojen tarkasteluun on otettu mukaan myös maidon kaltaiset kasvijuomat sekä -jugurtit, sillä kotimaassa niiden valmistuksessa käytetään pääosin kauraa. Maidon ja maitotuotteiden korvikkeiden tuontierissä voi olla myös soijaa, riisiä, mantelia tai muita raaka-aineita. On

kuitenkin hyvä huomioida, että nämä eivät ole varsinaisia proteiinituotteita, koska näiden valkuaispitoisuus tuotepainosta jää 1–2 %:iin.

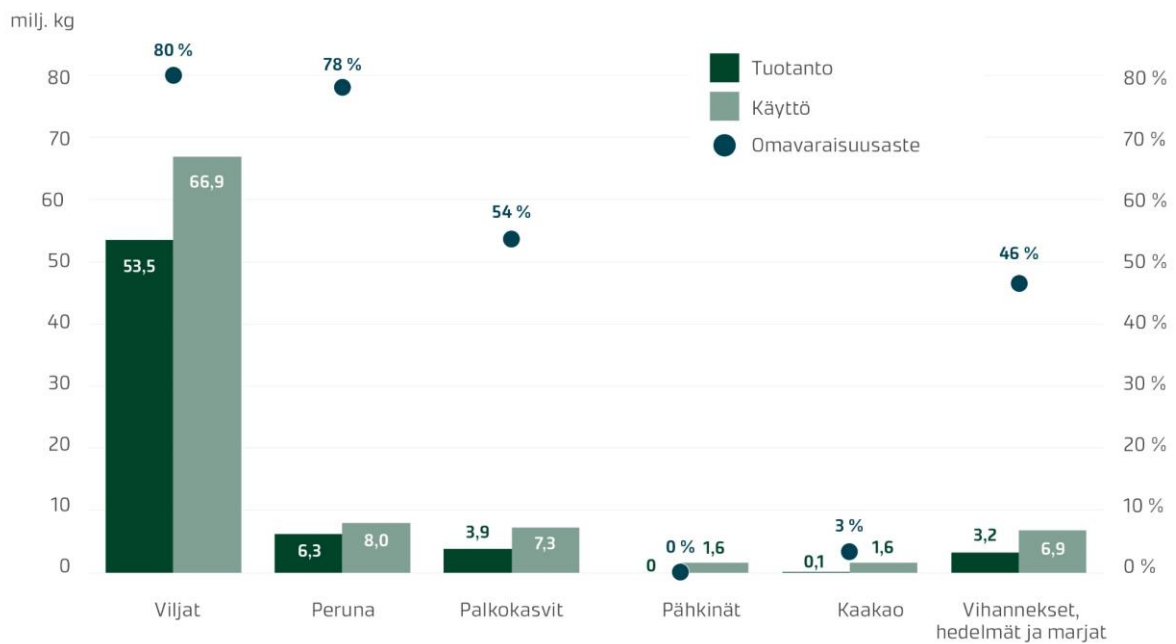
Ruisproteiini kattaa 16 % viljaproteiinin tuotannosta ja 13 % kulutuksesta. Ulkomaankauppa on suhteellisen vähäistä. Viennin yhtenä päätuotteena ovat hapankorput. Riisi on Suomessa kokonaan tuontiviljaa. Sen osuus viljaproteiinin kulutuksesta on alle 3 %. Sekä proteiinin tuotannossa että kulutuksessa ohralla, tattarilla, hirssillä ja viljaseoksilla on vähäisiä osuuksia.

Toiseksi merkittävin kasviproteiinin lähde Suomessa on peruna. Tuore peruna sisältää varsin vähän proteiinia - alle 2 %, mutta sen aminohappokoostumus on erinomainen. Erittäin suurista, yli 300 milj. kilon tuotanto- ja käyttömääristä johtuen perunasta saatava proteiinin määrä on ollut 6–8 milj. kiloa. Suomeen tuodaan lähes 2 milj. kiloa perunaproteiinia ensisijaisesti valmiiden tuotteiden kuten snacksien ja pakastetuotteiden muodossa.

Palkokasvit muodostavat vasta kolmanneksi suurimman kasviproteiinin lähteen. Ne ovat korkean proteiinipitoisuuden (20–30 %) sekä elintarvikekäytön suhteellisen alhaisen lähtötason vuoksi potentiaalisimpia raaka-aineita Suomen kasviproteiinituotannon kasvattamiseksi sekä uusien kasviproteiinituotteiden arvoketjujen pääraaka-aineiksi. Tällä hetkellä kotimaisista palkokasveista herne vastaa valtaosasta tuoteryhmän proteiinin tuotannosta ja kulutuksesta. Hernetuotteista tunnetuimmat lienevät hernekeitto ja pakasteherne. Hernetä käytetään myös valmisruoissa ja useissa muissa eri tuotteissa.

Palkokasveihin kuuluvat myös härkäpapu ja soijapapu. Pavut käytetään kuitenkin pääosin rehuna, ja niiden elintarvikekäytöstä ei ole saatavilla tilastotietoa. Teollisuusyritysten arvioiden mukaan härkäpavun sadosta vain noin 3 % käytetään elintarvikkeina. Soijapavun vastaava osuus on arviolta korkeintaan 10 %. Härkäpapu on peräisin yksinomaan kotimaan tuotannosta. Soijapapu ja -tuotteet ovat sen sijaan tuontituotteita.

Palkokasvien lukuihin sisältyy myös kasviproteiinitivisteiden sekä valmiiden kasviproteiinituotteiden valmistusta ja ulkomaankauppaa. Tiivisteet tuodaan ulkomailta, koska kotimaassa ei ole merkittävää fraktiointikapasiteettia. Tuoteryhmä on lisätty proteiinilaskelmissa palkokasvien ryhmään, koska sekä kasviperäisten puolivalmisteiden että kuluttajatuotteiden pääasiallinen proteiinilähde on palkokasvit.



Kuva 3. Kasviperäinen proteiinintuotanto ja -kulutus sekä omavaraisuusaste tuoteryhmittäin vuonna 2023. Lähde: Omat laskelmat Luken, Tullin ja muita tilastotietokantoja käyttäen (kts. tarkemmin Menetelmä ja käytetyt aineistot -osio). Huom. vasemmalla akselilla raakaproteiininivolyymit, ja oikealla akselilla omavaraisuusaste.

Palkokasvien tuoteryhmään on otettu mukaan tuotantovolyymltaan toistaiseksi pieni öljykasvi, hamppu. Sen siemen on yhtä rikas proteiininlähde kuin palkokasvit ja tuotesovellukset ovat erittäin lupaavia. Hampun tuotanto on lyhyessä ajassa nostettu tilastoitujen peltokasvien joukkoon. Vaikka nykyinen osuus kasviproteiinin tuotannossa on vielä reilusti alle prosentin, sen potentiaali on moninkertainen.

Neljänneksi suurin kasviproteiinin lähde on vihannekset, hedelmät ja marjat, joista saatava yhteenlaskettu proteiini ylittää lähes palkokasveista saatavan proteiinin tasolle. Vihannekset, hedelmät ja marjat eivät ole proteiinikasveja, mutta niiden pieni, keskimäärin 1 %:n valkuaispitoisuus summautuu suurten kulutusmäärien takia merkittäväksi, lähes 7 milj. kilon kasviproteiinieräksi. Omavaraisuusaste on suurin vihanneksissa: tomaatilla 57 %, muilla tuoreilla vihanneksilla 75 % ja marjoilla 71 %. Marjojen laskelmissa on mukana sekä viljellyt marjat että metsämarjat. Jälkimmäisten tilastoa on täydennetty arviolla kotitarvepöiminnästä.

Hedelmien proteiiniomavaraisuusasteet ovat lähes kaikissa tuoteryhmissä kuten sitrushedelmissä, kuivatuissa hedelmissä sekä säilykkeissä luonnollisesti 0 %. Poikkeuksena ovat tuoreet hedelmät, joissa proteiiniomavaraisuusaste on 6 %. Tämä on saavutettu omenan kotimaisella tuotannolla.

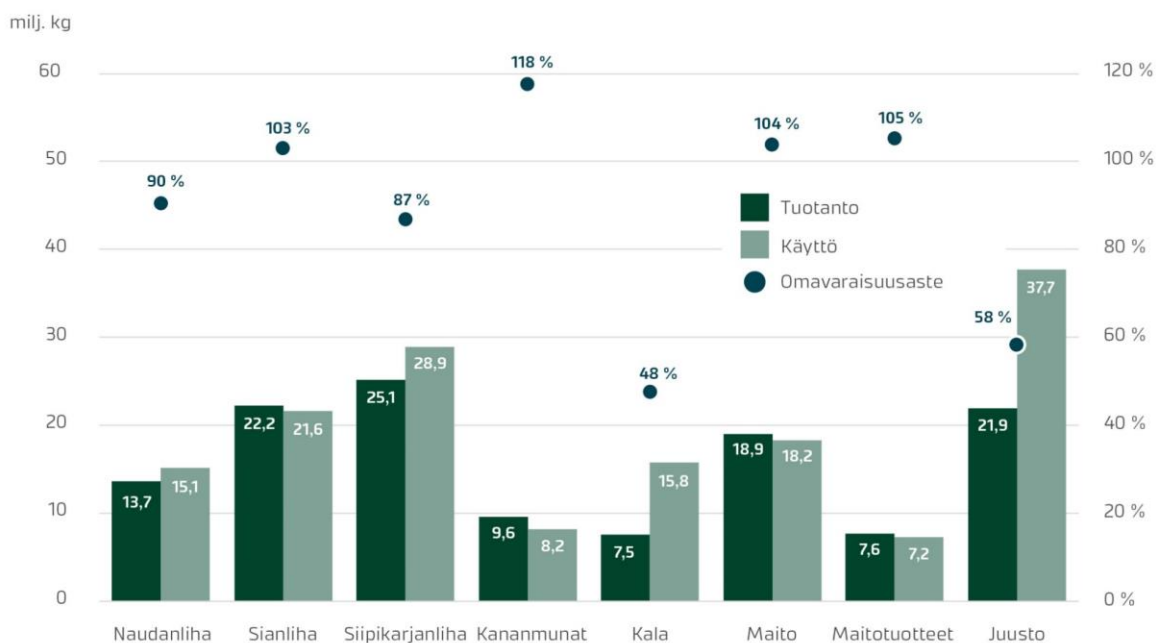
Neljän suurimman kasvivalkuaislähteen lisäksi kahden pienemmän tuoteryhmän, pähkinöiden ja kaakaon, erät ovat peräisin kokonaan tuonnista. Pähkinät on monipuolinen tuoteryhmä, ja eri pähkinöiden ravintokoostumus eroaa merkittävästi toisistaan. Ne sisältävät myös paljon proteiinia ja soveltuvat hyvin monipuolistamaan ruokavalion kasviproteiinisäantia. Pähkinöiden luvut sisältävät myös osan tuontisiemenistä.

Kaakaon valkuaispitoisuus on noin 8 %. Tärkein tuoteryhmä on suklaat, mutta kaakaota käytetään myös leipomotuotteissa, kekseissä sekä lukuisissa muissa viljapohjaisissa tuotteissa. Kaakaon luvut sisältävät myös hunajan valkuaisen.

2.1.4. Eläinperäisen proteiinin tuotanto, kulutus ja omavaraisuus

Eläinperäisen proteiinin tuotanto ja kulutus jakaantuu neljään pääryhmään. Kaksi merkittävää ryhmää ovat liha sekä maito ja maitotuotteet. Kaksi pienempää ryhmää ovat kala ja kananmuna. Eläinperäisen proteiinin kulutuksesta lähes 43 % on peräisin lihasta ja 41 % maidosta ja maitotuotteista. Tuotannossa jakautuminen on epätasaisempaa: 49 % eläinperäisestä proteiinista tuotettiin lihasektorilla ja vain noin 38 % maitosektorilla. Tämä selittyy lihan korkealla omavaraisuusasteella, ja vastaavasti maitotuotteista etenkin juuston alhaisella omavaraisuudella.

Lihojen proteiinipitoisuus vaihtelee lihalajeittain. Keskimäärin eniten proteiinia on siipikarjanlihassa ja vähiten sianlihassa. Konkreettinen proteiinipitoisuus määräytyy myös ruhon osan rasvaisuuden ja muiden ominaisuuksien mukaan. Merkitystä on myös sillä, onko kyseessä raaka vai kypsennetty liha. Tuotanto- ja kulutusvolyymit tilastoidaan yleensä luullisena lihana, mikä on otettu proteiinilaskelmissa huomioon alhaisempina kertoimina.



Kuva 4. Eläinperäinen proteiinituotanto ja -kulutus sekä omavaraisuusaste tuoteryhmittäin vuonna 2023. Lähde: Omat laskelmat Luken, Tullin ja muita tilastotietokantoja käyttäen (kts. tarkemmin Menetelmä ja käytetyt aineistot -osio). Huom. vasemmalla akselilla raakaproteiininivolyymit, ja oikealla akselilla omavaraisuusaste.

Maito sisältää sekä rasvaa että proteiinia, joista laskettuja taseita maitosektorilla seurataan erikseen. Maitotuotteissa on eri yhdistelminä kyseisiä ravintoaineita. Esimerkiksi voi on yksinomaan rasvaa, kun taas toisesta ääripäästä löytyvät maitoproteiiniivisteet. Tavalliset juustot sisältävät runsaasti sekä rasvaa että proteiinia, peräti yli 20 %. Eläinperäisistä tuotteista proteiinia saadaan eniten juustoista, 37,7 milj. kg.

Maitotuotteissa proteiinia on vaihtelevasti. Esimerkiksi joissain uusissa välipalatuotteissa on vähemmän sokeria ja rasvaa ja enemmän proteiinia. Maidon ja juuston kulutusvolyymien takia kuitenkin näistä saadaan kokonaisuudessaan huomattavasti enemmän proteiinia kuin tuoreiden maitotuotteiden erästä (Kuva 4).

Kalan proteiinia kulutettiin vuonna 2023 vajaat 16 milj. kg, mikä oli vähän yli 10 % eläinproteiinin kokonaiskulutuksesta. Kalan omavaraisuusaste on eläinperäisistä tuotteista heikoin, vain 48 %. Kotimaisuusaste on tätäkin paljon heikompi: vain kolmas osa Suomessa kulutetusta kalaproteiinista on peräisin kotimaasta. Syynä on kalan kulutuksen siirtyminen kasvatettuun kalaan, joka on katettu lohien tuonnilla Norjasta.

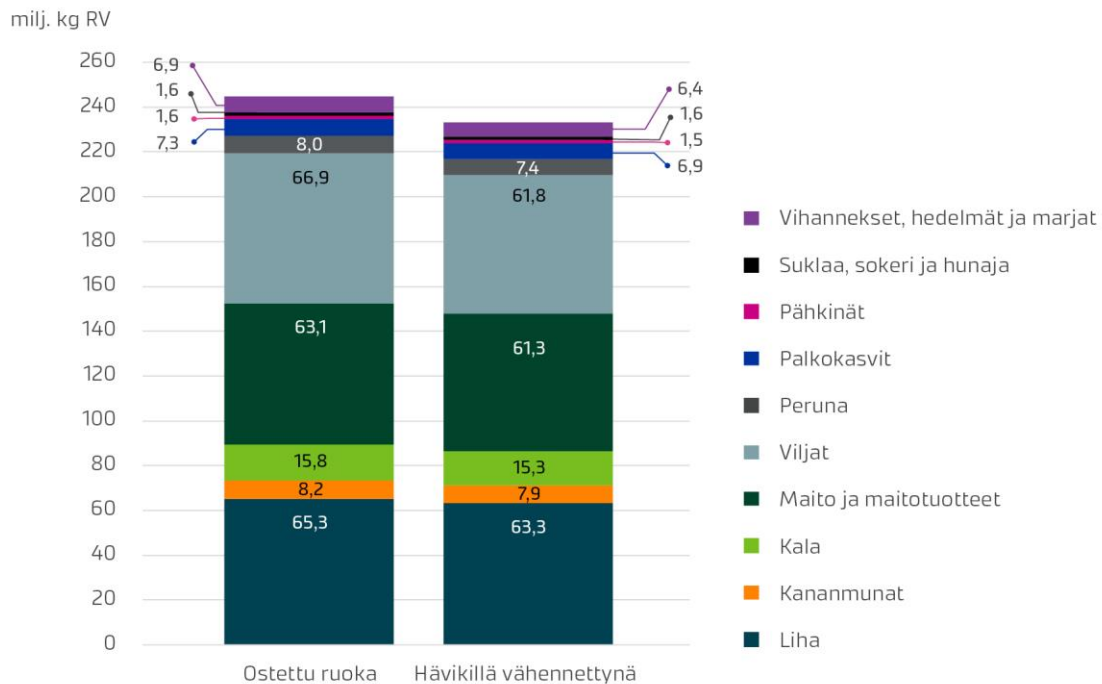
Kananmunasta peräisin olevaa proteiinia kulutettiin vuonna 2023 runsaat 8 milj. kg, mikä on 5 % kaikesta kulutetusta eläinperäisestä proteiinista. Kananmunasektorin omavaraisuusaste on ollut koko EU-jäsenyyden ajan yli 100 % ja kahden viime vuosikymmenen aikana vaihdellut 110 ja 120 %:n välillä. Suomen kananmunavienti on kohdistunut lähinnä Pohjoismaihin ja Baltian maihin. Tuonti on ollut vähäistä.

2.1.5. Proteiinin kokonaiskulutuksen tason korjaaminen ruokahävikillä

Edellä esitetyt kulutusluvut koostuvat Suomen kuluttajien ostamasta ruoasta. Sitä ei ole kuitenkaan täysmääräisesti kulutettu. Kotitalouksissa syntyvän ruokahävikin määrä vaihtelee tuotteittain 0,6–8,5 %:n välillä (Hartikainen ym. 2013).

Hedelmät, vihannekset ja marjat sekä leipä ovat helposti pilaantuvia, lyhyen säilyvyysajan tuotteita, joissa kulutushävikkiä syntyy suhteessa eniten - yli 6 %. Säilyvyysaikojen lisäksi hävikkiin vaikuttaa oletettavasti myös tuotteiden hinta. Mitä arvokkaampi tuote on kyseessä, sitä tarkemmin huolehditaan hävikin välttämistä. Esimerkiksi lihan ja juuston hävikkiprosentit jäävät 3 %:n tienoille (Hartikainen ym. 2013).

Kun suomalaisten kuluttajien ostaman ruoan proteiinia korjataan tuotekohtaisilla hävikkiker-toimilla, päästään lähemmäs väestön oikeaa proteiinikulutusta. Kaupasta ja ruokapalvelusta ostettuna kokonaisproteiininkulutus oli 244,7 milj. kg vuonna 2023. Hävikillä korjattu määrä on noin 5 % matalampi, 233,3 milj. kg.



Kuva 5. Suomalaisen kuluttama proteiini tuoteryhmittäin ostettuna ruokana ja hävikillä vähennettynä vuonna 2023. Lähde: Omat laskelmat Luken ja muita tilastotietokantoja käyttäen.

2.2. Laskelma proteiinin kokonaistarpeesta Suomessa vuosina 2023 ja 2040

Edellisessä luvussa esitettiin laskelmat suomalaisten proteiinin kulutuksesta vuonna 2023. Seuraavaksi esitetään selvityksessä laskettu arvio suomalaisten ravitsemuksellisesta proteiinin kokonaistarpeesta vuonna 2023. Lisäksi proteiinin kokonaistarvetta arvioitiin vuodelle 2040, jotta saatiin näkymä siihen, minkä suuruisen proteiinitarpeen ruoantuotanto kohtaa tulevaisuudessa.

Lähtökohta laskelmassa on Suomalaiset ravitsemussuositukset 2014 (Valtion ravitsemusneuvottelukunta 2014), joissa on annettu proteiinin saantisuositukset ikäryhmittäin prosenttiosuutena ruokavaliosta tai ruoasta saatavasta kokonaisenergiasta (E%). Näissä proteiinin saantisuosituksissa ei eritellä eläin- ja kasviperäistä proteiinia. Samat proteiinin saantisuositukset löytyvät myös Pohjoismaisista ravitsemussuosituksista 2023 (Blomhoff ym. 2023).

Laskelmissa käytettiin myös energian saantisuosituksen viitearvoja eri ikäryhmille ja sukupuolille (Suomalaiset ravitsemussuositukset 2014, FinRavinto 2017 -tutkimus (Valsta ym. 2018)). Väestön sukupuolikohtaiset ikäjakauma- ja määrätiedot sekä väestöennuste vuodelle 2040 saatiin StatFin-tilastotietokannasta (Tilastokeskus 2024). Laskelmissa käytettiin proteiinin ja energian saantisuosituksen ylä- ja alarajojen keskiarvoja ikäryhmittäin. Laskelmiin ei sisällytetty alle yhden vuoden ikäisen väestönosan ravitsemuksellista proteiinin tarvetta.

Arvion mukaan suomalaisten vuosittainen proteiinin tarve oli vuonna 2023 yhteensä 185 milj. kg ja ennuste vuodelle 2040 on 186 milj. kg (Taulukko 2). Tulosten mukaan proteiinin laskennallinen tarve on väestötasolla vuonna 2040 käytännössä samalla tasolla kuin vuonna 2023 huolimatta suomalaisen väestön ikääntymisestä.

Luvussa 2.1.5. esitetty suomalaisten proteiinin kokonaiskulutus 233 milj. kg vuonna 2023 on 26 % suurempi kuin tässä esitetty arvio proteiinin kokonaistarpeesta samana vuonna, ts. laskelmien mukaan proteiinia kulutetaan keskimäärin jonkin verran enemmän kuin ravitsemuksellisesti olisi tarpeen. Tulos on samansuuntainen kuin FinRavinto 2017 -tutkimuksessa, jossa selvitettiin 18–74-vuotiaiden henkilöiden ruoankulutusta. Tulosten mukaan noin 80 % väestöstä sai proteiinia suosituksen mukaan ja loput yli suosituksen. Vain 65–74-vuotiaiden ikäryhmässä esiintyi suosituksen alittavaa proteiinin saantia (Valsta ym. 2018). Koska kasviproteiinien ravitsemuksellinen laatu on keskimäärin jonkin verran alhaisempi kuin eläinperäisen proteiinin (DIAAS-arvot kuvassa 6.), kasvava kasviperäisen proteiinin osuus ruokavalioissa väestötasolla voi suurentaa ylläesitettyä proteiinin kokonaistarvetta vuodelle 2040. Lisätarpeen määrää on kuitenkin tämänhetkisen tiedon perusteella hyvin vaikea arvioida.

Taulukko 2. Arvio suomalaisten ravitsemuksellisesta proteiinintarpeesta väestötasolla vuosina 2023 ja 2040 (milj. kg/vuosi).

Ikäluokka	Proteiinin tarve, milj. kg/vuosi	
	2023	2040
1–17 v	25,0	21,3
18–64 v	109,5	106,6
65-	50,4	58,2
Yhteensä	185	186

Laskelmissa käytetyt lähteet: Suomalaiset ravitsemussuosituksset 2014 (Valtion ravitsemusneuvottelukunta 2014), FinRavinto 2017 (Valsta ym. 2018), StatFin-tilastotietokanta 2024 (Tilastokeskus 2024).

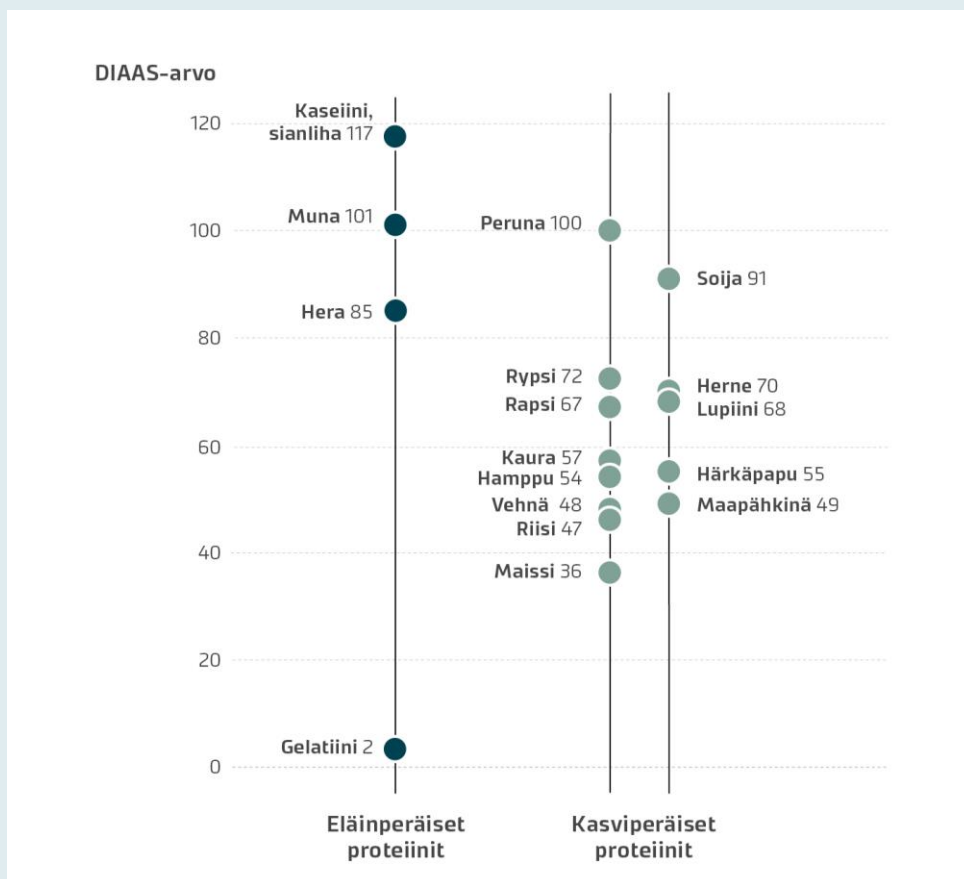
Käyttämällä erilaisia proteiinilähteitä monipuolisesti varmistetaan, että kaikkia välttämättömiä aminohappoja saadaan riittävästi (Valtion ravitsemusneuvottelukunta 2014). Tällä hetkellä suomalainen aikuisväestö saa pääosan proteiineista eläinperäisistä lähteistä (Valsta ym. 2018). Runsas punaisen ja prosessoidun lihan kulutus on väestötutkimuksissa yhdistetty lihavuuteen (Sares-Jäske ym. 2024) ja terveyshaittoihin kuten suurentuneeseen suolistosyöpäriskiiin (Pedersen ym. 2013). Pohjoismaiset ravitsemussuosituksset, jotka huomioivat sekä terveydelliset että ympäristövaikutukset, suosittavat vähentämään punaisen lihan ja lihavalmisteen käyttöä ja lisäämään kasvisten kulutusta (Blomhoff ym. 2023).

Proteiinien ravitsemuksellinen laatu ja DIAAS-arvot

Kaikki proteiini ei ole ravitsemuksellisesti saman arvoista. Proteiinien ravitsemuksellinen laatu riippuu sekä proteiinin aminohappokoostumuksesta että proteiinin sulavuudesta eli aminohappojen vapautumisesta proteiinirakenteesta ja imeytymisestä ohutsuolessa (Geirsdóttir & Pajari 2023). Ravinnosta tulee saada kaikkia välttämättömiä aminohappoja, jotta elimistö pystyy niitä hyödyntämään. Jo yhdenkin aminohapon puute johtaa siihen, että elimistö ei pysty täysin hyödyntämään muitakaan aminohappoja. Proteiinin sulavuutta voidaan tutkia sekä *in vivo* - että *in vitro* -menetelmillä.

FAO (2013) suosittelee DIAAS-menetelmän (Digestible Indispensable Amino Acid Score) käyttöä proteiinien ravitsemuksellisen laadun arvioimiseen. Menetelmässä tutkittavan proteiinin jokaisen välttämättömän aminohapon pitoisuutta verrataan FAO:n julkaisemiin välttämättömien aminohappojen päivittäiseen saantisuositusprofiiliin eri ikäryhmille. Vertailussa heikoimman tuloksen saavaa aminohappoa käytetään DIAAS-arvon laskennassa proteiinin sulavuusarvon ohella. FAO:n (2013) suosituksen mukaan proteiinit voidaan jaotella laatuluokkiin perustuen niiden DIAAS-arvoihin: alle 75 => ei laatumäärittelyä, 75-99 => korkealaatuinen proteiini, ja vähintään 100 => laadultaan erinomainen proteiini.

Eläinperäisten proteiinien DIAAS-arvot ja siten niiden ravitsemuksellinen laatu on keskimäärin jonkin verran parempi kuin kasvipäristen proteiinien. Toisaalta eri kasvipäristen proteiinien laatu voi olla hyvinkin erilainen (Kuva 6). Laadultaan erinomaista proteiinia on mm. perunassa ja soijassa.



Kuva 6. Eläin- ja kasvipäristen proteiinien DIAAS-arvoja (Digestible Indispensable Amino Acid Score) (Herreman ym. 2020, Sousa ym. 2023).

Kuvan 6 DIAAS-arvojen laskentaan oli käytetty FAO:n (2013) esittämää välttämättömien aminohappojen päivittäistä saantisuositusprofiilia 0,5–3-vuotiaille ja sulavuusarvoja, jotka oli saatu in vivo -sulavuuskokeissa sioilla (Herreman ym. 2020), paitsi maapähkinän osalta rotilla (Sousa ym. 2013).

Yhdistämällä ruokavaliossa viljatuotteita palkokasvien, pähkinöiden ja siemenien kanssa saadaan kaikkia välttämättömiä aminohappoja. Vilja ja palkokasvit ovatkin ravitsemuksellisesti hyvä yhdistelmä, ja niiden myötä tarvittavien aminohappojen, kuidun ja monen muun ravintoaineen saanti on turvattua (Valtion ravitsemusneuvottelukunta 2014).

Kasviproteiinien sulavuutta voivat heikentää esimerkiksi proteaasi-inhibiittorit ja fytokeemiat kuten tanniinit. Prosessoinnilla voidaan vaikuttaa merkittävästi kasviproteiinien sulavuuteen. Liottamalla ja kuumentamalla voidaan poistaa proteaasi-inhibiitoreita ja fytokeemikaaleja ja siten parantaa sulavuutta. Myös muita prosessointimenetelmiä, kuten fermentointia maitohappobakteerien avulla, voidaan käyttää muokkaamaan kasviproteiineja paremmin sulavaan muotoon (Herreman ym.2020, Lappi ym. 2022).

3. Peltoviljelyn mahdollisuudet kasviproteiinituotannon kasvattamiseen

3.1. Kasviproteiinituotanto vallitsevissa oloissa

Kasviproteiinituotantoa olisi mahdollista lisätä huomattavasti jo nykyisin lajikkein ja viljelytekniikoin. Valkuaiskasvien pinta-alojen kasvattaminen kasvikohtaisten viljelyväliaatimusten sallimissa rajoissa on suurin nykytilanteen mukainen mahdollisuus tuotannon kokonaismäärän lisäämiseen.

Ruoka- ja rehuherneen kokonaisala onkin kasvanut hyvin voimakkaasti parina viime vuonna ja vuonna 2023 se oli 43 800 ha (Taulukko 3). Kasvua on vauhdittanut Venäjän hyökkäyssodan seurauksena noussut ammoniakkin, ja siten typpilannoitteiden hinta. Sen sijaan jo nosteessa olleen härkävavun pinta-ala on laskenut takaisin 2010-luvun alun tasolle, 9 200 hehtaariin. Öljykasvien viljely on alamaissa useiden, etenkin taimivaiheen tuholaisongelmista johtuvien, vaikeiden satovuosien jäljiltä. Vuonna 2023 rypsin ala oli 30 100 ha ja rapsin 8 300 ha, ja molempien alat laskivat edellisestä vuodesta kymmenisen prosenttia.

Vuonna 2023 tärkeimpien valkuaiskasvien kokonaispinta-ala oli siten noin 91 000 ha eli hieinan vähemmän kuin 2010-luvun alussa ja vain reilu neljäsosa siitä, mikä tuolloin nähtiin mahdollisena vuoden 2025 pinta-alana ilmastoskenaarioihin perustuen (Peltonen-Sainio ym. 2013) ja arvioitaessa mineraalityppilannoitteiden vähennysmahdollisuuksia palkokasvien avulla (Känkänen ym. 2013). Potentiaalista valtaosa on siis käyttämättä.

Kauran suuren pinta-alan (323 000 ha v. 2023) vuoksi sen sato sisälsi noin kolme kertaa enemmän valkuaista kuin palkoviljojen ja öljykasvien valkuaissato yhteensä. Peltonen-Sainio ym. (2012a) muistuttivatkin, että viljojen roolia kansallisessa proteiinituotannossa ei tule aliarvioida. Kaura rajattiin mukaan tähän selvitykseen, koska viljoista sillä on iso merkitys elintarvikkeena ja erilaisten lihaa ja maitoa korvaavien kasvipöytäisten tuotteiden raaka-aineena.

Lisäksi tähän selvitykseen otettiin mukaan ne erikoiskasvit, joiden viljely todennäköisimmin laajenee vuoteen 2040 mennessä. Sinilupiinin, kvinoan, tattarin, kamelinan, öljyhampun ja öljypellavan yhteenlaskettu pinta-ala vuonna 2023 oli noin 4350 hehtaaria. Kaikkien edellä mainittujen kasvien proteiinituotanto vuonna 2023 oli noin 173 000 tonnia. Erikoiskasvien osuus tästä oli alle tuhat tonnia eli noin 0,5 %.

Kokonaistuotannon potentiaalia arvioitiin lähtien liikkeelle palkoviljojen sekä rypsi/rapsin maksimaalisesta viljelyalasta viljelykierron puitteissa eli suositeltuja viljelyvälejä käyttäen. Viiiden tai kuuden vuoden viljelykiertoon voidaan sisällyttää kerran sekä palkovilja että rypsi tai rapsi. Vaikka herneen viljely on tällä hetkellä härkävavun viljelyä suosituempaa, oletettiin niiden vuorottelevan viljelykiertoissa, jolloin herneelle saadaan riittävä lohko-kohtainen viljelyväli myös herneenlakastetta vastaan (Hossain ym. 2012). Sen taudinaiheuttaja voi säilyä maassa seitsemän vuotta (Jalli 2023) ja pidempääkin viljelyväliä on suositeltu. Koska taudinaiheuttajat leviävät myös peltokoneiden mukana, kasvin yleinenkin lisääntyminen lisää tautiriskejä. Myös tuholaisriskien kasvaminen lajin kokonaisalojen kasvaessa (Huusela 2023) puoltaa palkovilja-alan jakautumista tasapuolisesti herneelle ja härkävavulle. Rikkakasvit eivät aseta merkittäviä esteitä palkoviljojen viljelyn laajentumiselle, vaikka Salonen ym. (2005) totesivat herneen rikkakasvitorjunnan olevan kallista tavanomaisessa viljelyssä ja haasteellista luomuviljelyssä.

Sinilupiinin mahdollinen pinta-alan kasvu huomioitiin niin, että se ei sisälly samaan kiertoon herneen tai härkäpavun kanssa. Öljyhamppua ei puolestaan sisällytetty samaan kiertoon rypsin tai rapsin kanssa palkahomeriskin vuoksi. Näitä ja muita vaihtoehtoisia valkuaiskasvilajeja otetaan viljelyyn mm. uusien tuotteiden ja yritystoimintojen luomiseksi, mikä voi tuoda lisää kannattavuutta maatalolle. Monimuotoisuuden lisääntymien on tärkeä näkökohta, ja uusilla kasvilajeilla viljelykierrossa voi olla hiilensidontaa lisäävää vaikutusta. Uudet kasvit täydentävät entistä kasvilajistoa ja tuovat ruokavaliioon hyviä uusia kasviperäisiä vaihtoehtoja.

Koska selvityksen kohdevuosi on 2040, otettiin nykylajikkeiden ja -tekniikoiden puitteissakin pinta-aloihin jo huomioon palko- ja öljykasvien laajenemismahdollisuudet pohjoista kohti ilmaston lämmetessä. Toisaalta huomioitiin myös se, että kaikki maalajit ja pellot eivät eri kasvilajeille sovi, esimerkiksi turvemaiden reilun 10 %:n osuus peltoalasta ei sisälly palkoviljojen viljelyalaan.

Kevätrapsi on syrjäyttänyt kevätrypsin jo laajasti Etelä-Suomessa. Rapsin potentiaali proteiinin tuottajana on noin 100 kg/ha isompi kuin rypsin (Peltonen-Sainio ym. 2011a). Ilmaston lämmetessä uusilla, pohjoista kohti etenevillä viljelyalueilla otetaan kuitenkin rypsi ensin viljelyyn. Syysrypsiä viljellään jo nyt vaihtelevalla menestyksellä ja ilmastomuutos lisää syysmuotoisten öljykasvien mahdollisuuksia. Siten 141 000 hehtaarin tavoite rapsille ja rypsilille on realistinen.

Taulukko 3. Valkuaiskasvien koko Suomen proteiinisato vuonna 2023 ja potentiaalinen sato, jos viljelykiertoa hyödynnettäisiin maksimaalisesti. Luvut perustuvat yleisimpien kasvien keski-satoihin v. 2010–2023 sekä erikoiskasveista viime vuosien kokeista saatuihin keskimääräisiin valkuaissatoihin.

Nykytilanteen mukaisesti						Kierto maksimoitu, nykysadot	
	Siemen-sato keskimäärin, kg/ha	Valkuais-prosentti	Proteiinia kg/ha	viljelyala, ha v. 2023	Proteiini Suomi milj. kg	viljelyala, ha	Suomi milj. kg
Herne	2 500	23	600	43 900	25,2	72 000	43,2
Härkäpapu	2 010	30	603	9 200	5,5	71 000	42,8
Rypsi / rapsi	1 370	20	301	38 600	10,6	141 000	42,4
Kaura	3 380	12	436	323 200	131,1	282 000	123,0
Sinilupiini ¹			414	50	0,02	8 000	3,3
Kvinoa			226	100	0,02	10 500	2,4
Tattari			180	1 000	0,18	10 500	1,9
Kamelina			259	500	0,13	10 500	2,7
Öljyhamppu			187	2 000	0,37	10 500	2,0
Öljypellava			360	700	0,25	5 000	1,8
Yhteensä				417 750	173,4	621 000	265,5

¹Mukana ovat todennäköisimmät v. 2040 laajasti viljeltävät uudet/erikoiskasvit.

Periaatteessa mikäli nautakarjatuotanto vähenee, vapautuu nurmilta tilaa muille kasveille, mutta tässä selvityksessä otettiin lähtökohdaksi etenkin kasvinviljelytiloilla tapahtuva viljely niiden nykyisillä viljelyaloilla. Erikoiskasvien pinta-alan arvioitiin voivan jopa yli kymmenkertaistua. Kauran pinta-alaa muiden kasvien laajenemisen arvioitiin vähentävän noin 40 000 ha.

Nykyisillä (noin v. 2010–2023) keskisadoilla (erikoiskasvien osalta kokeiden keskisadot vuosilta 2016–2023) viljelykiertoa maksimaalisesti hyödyntäen voisi palkoviljojen ja öljykasvien tuotanto kolminkertaistua nykyisestä ja kaikkien tarkasteltavien kasvien proteiinituotanto olla yhteensä noin 265 000 tonnia eli noin 50 % nykyistä suurempi (Taulukko 3). Laskelmissa käytettiin herneen, härkäpavun, rypsi/rapsin ja kauran valkuaispitoisuutena pitkän ajan laskennallisia keskiarvolukuja sekä erikoiskasveilla kokeista saatuja keskimääräisiä valkuaisstoja.



3.1.1. Viljelyyn kannustavat seikat

Palkokasvien mahdollistama typpilannoituksen säästö on tärkeimpiä niiden viljelyyn innostavia tekijöitä. Palkoviljan viljelyvuonna väkilannoitetyyppä tarvitaan korkeintaan 20 kg/ha ja yleinen typpilannoituksen vähennyssuositus seuraavalle kasville on onnistuneen palkoviljan jälkeen noin 25 kg/ha (Keskitalo ym. 2022).

Niin palkoviljat, öljykasvit kuin erikoiskasvitkin tuovat yksipuolisen viljanviljelyn katkaistessaan monia pellon rakenteeseen ja elävyyteen liittyviä hyötyjä viljoista poikkeavien juuristojensa ja erilaisten niitä suosivien mikrobiensa ansiosta. Viljojen tautipaineen väheneminen yksipuolisuuden katkaisevien kasvien ansiosta on tärkeä hyöty. Biodiversiteettiä lisäävien ja ekosysteemipalveluja tuottavien, nykyistä monipuolisempien viljelyjärjestelmien tarpeeseen kiinnitetään

kasvavaa huomiota (Gaba ym. 2015). Meena ja Lal (2018) totesivat palkokasvien sisällyttämisen viljelyjärjestelmään olevan oleellista ruoka- ja ravinneturvan kannalta niiden korkean proteiinipitoisuuden vuoksi.

Lisääntyvä biodiversiteetti johtaa parempaan maan viljavuuteen (Furey & Tilman 2021). Monipuoliset, myös kerääjäkasveja sisältävät viljelykierrat pitävät yllä maan kasvukuntoa ja tuottavuutta lisäämällä maan hiiltä, typpeä ja mikrobibiomassaa (McDaniel ym. 2014). Van Groenigen ym. (2014) totesivat meta-analyysissään lierojen läsnäolon viljelyekosysteemissä lisäävän satoa keskimäärin 25 % ja päättelivät lierojen olevan erittäin tärkeässä roolissa etenkin silloin, kun viljelijät eivät voi tai halua käyttää typpilannoitteita.

Vaikka palkokasveista on hyötyä muiden kasvien viljelylle, myös palkoviljat hyötyvät pelto- maan biodiversiteetistä (Everwand ym. 2017), ja myös muut kasvit aikaansaavat hyötyjä viljelykiertoja monipuolistettaessa. Everwand ym. (2017) huomauttavat, että hankalasti toteutettavat viljelykierrat ja niihin liittyvät kasvinsuojelutoimet voivat heikentää biodiversiteettiä. Vuorovaikutussuhteet viljeltyjen palkokasvien ja viljelykasveihin kuulumattomien kasvien sekä eläimistön välillä ovat erittäin monimutkaisia, eikä ole olemassa yhtä tiettyä positiivista tai negatiivista vaikutusta biodiversiteettiin.

Biodiversiteetin lisäämisen ei tarvitse jäädä palkoviljojen ja öljykasvien varaan. Toivonen ym. (2022) totesivat ympäristökesantojen lajirunsauden ja perhosten esiintyvyyden olleen suurin, kun taas härkäpapu- ja öljykasvipellot houkuttivat runsain mitoin kimalaisia. Maakiitäjäisiä oli eniten syysviljapelloilla ja hämähäkkejä monivuotisissa kasvustoissa. Lajien moninaisuus oli suurin viherkesannoissa, pienin kevätiljassa (kaura), niitonurmista ja porkkanamaissa. Heidän mukaansa hyönteispölytteisten kasvien, syysviljojen ja laidunten osuuden lisääminen edistäisi suomalaisten kevätiljapainotteisten viljelymaiden biodiversiteettiä. Känkäsen ym. (2013) teoreettiseen 20 vuoden kiertoon mahtuivat kolmeen kertaan sekä palkoviljat että öljykasvit, vaikka mukana oli myös viherkesantoja ja aluskasveja.

Ekologisesti kestävämpiä viljelymenetelmiä tarvitaan kiireesti pölyttäjien säilymiseksi ja tulevaisuuden satojen turvaamiseksi (Järvinen ym. 2022). Kevätrypsin ja härkäpavun kaistasekaviljelyssä pölyttäjiä ja niiden lajeja oli runsaimmin kukinta-aikaan. Linjalaskennoissa pölyttäjiä oli eniten rypissä, vähiten härkäpavussa ja näiden väliltä sekakasvustossa, mutta kuoppapyydysten perusteella eroa ei ollut. Toisaalta lajimoninaisuus oli härkäpavussa rypsiä suurempaa. Sekaviljelyssä oli vähemmän rypsin tuholaisia kuin yksilajisessa kasvustossa, johtuen luonnon biologisesta torjunnasta eli maakiitäjäissaalistajista (Järvinen ym. 2023). Tang ym. (2014) totesivat mikrobibiomassan hiilen ja fosforin määrän lisääntyneen palkokasvien ritsosfäärissä viljan kanssa toteutetun sekaviljelyn seurauksena.

Vaikka sekaviljely voi olla hyvä ratkaisu tila- ja lohko-kohtaisesti, sitä ei sisällytetty raportin taustaoletuksiin. Sekaviljely tuottaa usein pinta-alaa kohti isomman kokonaissadon kuin sen komponentit yksilajisina tuottaisivat (Himananen ym. 2023). Samalla kuitenkin yhden komponentin sato jää pienemmäksi kuin jos se kasvaisi yksin. Hyvin onnistuneen kauran ja härkäpavun sekaviljelykokeen valkuais-sato ei myöskään noussut pelkän härkäpavun valkuais-satoa suuremmaksi kesällä 2023 (Luke Tietokortti, julkaistaan syksyllä 2024). Koska vielä ei tiedetä, mahdollistaako tauteja mahdollisesti ehkäisevä sekaviljely kasvilajin viljelyn kierrossa normaalia useammin, raportin laskelmat perustuvat yksilajisten kasvien kiertoon vaadittuine viljelyn välivuosineen.

Myöskään kasvilajirikkautta lisäävän luomun mahdollista pinta-alan muutosta ei otettu mukaan laskelmiin. Maailman luomuala on kasvussa (FiBL 2024) ja Suomen luomualan tavoite vuoteen 2030 on 25 % (MMM 2023), mutta tällä hetkellä suuntaus on pikemminkin alaspäin. Epävarmassa tilanteessa luomun tavoiteltu kasvu ja sen mahdollinen vaikutus laskennan perusteena oleviin keskisatoihin jätettiin siis huomiotta.

Monimuotoiset maaseutumaiset ylläpitävät luonnon omaa biologista tuholistorjuntaa (Larsen & Noack 2020), mikä muiden ekosysteemipalvelujen ohella kannustaa kasviproteiini-tuotannon lisäämiseen viljelyä monipuolistamalla.

3.1.2. Satotasojen nostomahdollisuudet nykytekniikoin

Satovaihtelut ovat suuria, ja vuodesta toiseen keskimääräiset sadot jäävät huomattavasti parhaista sadoista. Vaihtelujen ja tilakohtaisten erojen taustalla on muitakin tekijöitä kuin säät ja maalajit.

Lukessa on laskettu vuosien 2014–2021 satokuilut, jotka kuvaavat, kuinka paljon koko maan mediaanisato jää satopotentialista eli hehtaarisadosta, johon pääsee korkeintaan 10 % tiloista. Härkäpavun satokuilu on ollut keskimäärin 34 %, herneen 22 % ja viljojen 26–28 %. Öljykasveille ei pidemmän aikavälin satokuiluja ole laskettu. Satopotentialia, jonka perusteella satokuilu lasketaan, on alettu tilastoida vasta vuodesta 2023 (Luke 2024a, Partala ym. 2024). Silloin rypsin ja rapsin satokuilu oli 32 %, kun se oli herneellä 36 %, härkäpavulla 41 % ja kauralla 27 %. Kiloina rypsin satokuilu v. 2023 oli 600 kg/ha, rapsin 700 kg/ha, herneen 1 470 kg/ha, härkäpavun 1 160 kg/ha ja kauran 1 320 kg/ha.

Satokuiluja on vaikeaa pienentää, ja eroja tilojen välillä tulee aina olemaan. Osa eroista liittyy peltojen luontaisiin ominaisuuksiin, kuten maalajiin (Lemola ym. 2018) ja toisaalta jotkut satovarmuutta lisäävät menetelmät, kuten sadetus, ovat vähäisessä käytössä myös parhaisiin satoihin pääsevillä tiloilla. Siten niiden ottaminen käyttöön lähinnä nostaa yleisesti satotasoa. Satokuilun pienentämistä ei siksi otettu laskelmissa huomioon, vaan keskityttiin erilaisten tekniikoiden nykyistä laajemman käytön tuomiin potentiaalsiin sadonlisiin yleensä.

Peltojen peruskunnostus on tehokas keino satojen nostoon. Huono ojitus ja liiallinen happamuus rajoittavat sadonmuodostusta eikä lannoitukselle saada täyttä vastinetta. Märkinä kasvukausina kasvustot kärsivät liiasta vedestä ja sadonkorjuu vaarantuu pellon kantavuuden heikentyessä. Sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen lisää hyvin toimivan kuivatuksen merkitystä tuotanto- ja ravinnehuuhtoumariskien hallinnassa.

Kastelu toisi usein sadonlisää. Savimaa pidättää vettä niin tiukasti, että kasvit kärsivät helposti veden puutteesta. Karkeat maat puolestaan eivät pysty pidättämään vettä huokosiinsa. Hiesumaissa vesi liikkuu kapillaarisesti niin nopeasti, että vettä tuhlaantuu. Hienot hietamaat ovat kivennäismaalajeista kaikkein poudankestävimpiä, turvemaat niitäkin kestävämpiä (Salo ym. 2021). Suomessa keväiden kuivumisen arvioidaan lisääntyvän pitkällä aikavälillä. Lounais-Suomessa vuosina 1970–2020 liian vähäinen sade rajoitti satoa pahasti 12 kertaa, ja vain neljänä vuonna sade ei rajoittanut lainkaan satoja (Ruosteenoja ym. 2017). Jo nyt sadettamalla voitaisiin vähentää satotappioita (Peltonen-Sainio ym. 2021). Viljat hyötyvät kastelusta erityisesti, jos kuivuutta on 2–3-lehtivaiheessa, ja herne, jos kuivaa on ennen ja jälkeen kukinnan sekä öljykasvit kukinnan aikaan (Luoko ry 2023).

Myös säätösalaajitusta, eli virtauksen estämistä pois pellolta patoamalla, voidaan käyttää parantamaan kasvien veden saantia. Säätösalaajitus vähentää ravinteiden huuhtoutumista ja parantaa satoja niin kivennäis- kuin turvemilla, jos vedestä on muuten pulaa. Kuivien aikojen vedenpinnan laskua on mahdollista estää salaajakastelulla pumpaamalla salaajastoon vettä ulkopuolisesta vesilähteestä. Salaajakastelun on todettu soveltuvan hyvin perunanviljelyyn (Myllys ym. 2009), ja sitä on käytetty menestyksekkäästi korkean vedenpinnan ylläpitämiseksi happamilla sulfaattimailla (Uusi-Kämpä ym. 2013). Liettuassa 2000–2007 tehdyssä koesarjassa säätösalaajitus nosti kuivina kasvukausina satotasojä 5,6–10 % (Ramoska ym. 2011).

Ovaska ym. (2021) yhdistivät ProAgrarian Lohkotietopankin ja Ruokaviraston Peltomaan laatu-testiaineiston tietoja. Peruslohkot, joiden ojitus toimi viljelijöiden arvion mukaan erinomaisesti (21 % aineistosta), tuottivat 7–16 % isomman kevätiljasadon vuosina 2002–2017 kuin pellot, joiden ojitus arvioitiin huonoksi. Ne sietivät kesäkuun märkyttä selvästi huonoja peltoja paremmin.

Ovaska ym. (2021) päättelivät lisäksi, että viljelykiertoa tulisi selvästi parantaa noin 300 000 hehtaarilla, eloperäisen aineksen lisäystä kasvattaa 270 000 hehtaarilla ja saada veden imeytyminen sekä ojituksen toimivuus selvästi paremmaksi 200 000 hehtaarilla. Kalkituksen tila arviointiin huonoksi 17 %:ssa vastauksia. Arviota tukee Eurofinsin tilasto (Eurofins Agro 2024) vuosilta 2011–2015, jonka mukaan näytteistä 17,5 % oli pH:n osalta luokassa välttävä ja 6 % sitäkin huonompia.

Uuden teknologian satelliitti- ja dronerkartoitusta sekä mittalaittein mitattuja kosteus- ja lämpötilatietoja yhdistämällä voidaan pelloista ja kasveista kerätä dataa, joka edelleen koneoppimista hyödyntämällä voidaan jalostaa erilaisiksi päätöksentekotyökaluiksi viljelyyn. Teknologia on vielä melko vähäisesti käytössä, ja sen mahdollisuuksia vuoteen 2040 mennessä tarkastellaan luvussa 3.2. Myös automaattinen tuholaisseuranta tulee jatkossa vähentämään sato-tappioita.

Suuriin satoihin pääsemiseen ja satotappioiden välttämiseen vaikuttaa luonnollisesti myös viljelytekniikoiden hyvä haltuunotto. Tämän raportin puitteissa ei kasvilajikohtaisiin ohjeistuksiin mennä. Neuvonta, oppaat, internetistä löytyvät ohjeet sekä viljelijälle kertyvä kokemus auttavat onnistumaan. Tuoreimmista tietolähteistä mainittakoon herneen ja härkäpavun viljelyoppaat (Jalli ym. 2023a, 2023b). Niissä kerrotaan myös kaksivaiheisesta korjuusta, jossa kasvusto niitetään tuleentumaan karhelle, josta se puidaan. Kaksivaihekorjuu saattaa parantaa palkoviljojen viljelyvarmuutta ja laajentaa etenkin härkäpavun viljelyaluetta pohjoisemmaksi (Nysand, 2023).

Viljelijöiden valinnat riippuvat monista tekijöistä, jotka luovat esteitä maksimaaliseen viljelykiertojen hyödyntämiseen. Peltonen-Sainio ym. (2018) mukaan pellon koko, etäisyys talouskeskuksesta ja maalaji ovat tärkeimmät tekijät peltolohkojen kasveja valittaessa. Lohkon muoto, kaltevuudet ja omistajuus olivat pienempiä tekijöitä. Tieto pitäisi kytkeä politiikkapäätöksiin, tavoitteena käytännölliset, helposti sovellettavat ja kustannustehokkaat apuvälineet pellon käytön ohjaamiseen. Kirjoittajat ehdottivat peltojen jakamista kolmeen ryhmään. Heikot tuottoisin ryhmä voitaisiin metsittää ilman, että se vaikuttaisi ruokaomavaraisuuteen, koska viljelijät voisivat suunnata tuotantopanoksensa, energiankäyttönsä, aikansa ja muut resurssit kaikkein tuottavimmille pelloille. Meidän raportissamme ei suoraan suljettu peltoaloja pois viljelystä, mutta otettiin huomioon se, että kaikki pellot eivät sovellu kaikille valkuaiskasveille.

Investointituet voivat olla huomattavan tärkeitä satoja lisäävien menetelmien, kuten salaojituksen ja sadetuksen, käyttöön ottamiseen. Tukien perusteena voi olla myös ympäristöhaittojen ehkäisy, vaikka ne samalla lisäävät satoa. Esimerkiksi säätosalojitus on vähentänyt typen huuhtoutumista 30 % tavanomaiseen salaojitukseen verrattuna (Haataja 2000).

Muiden tukien suuri osuus suhteessa myyntituloihin puolestaan ei kannusta suurien satojen tuottamiseen entiseen tapaan. Se näkyi EU:hun liittymisen jälkeen satotasojen jämähtämisenä ja laadun heikkenemisenä, joita ilmeni kaikilla viljelykasveilla (Peltonen-Sainio ym. 2015a, 2016).

3.2. Laskelmia kasviproteiinituotannon kasvumahdollisuuksista peltoviljelyssä

3.2.1. Kasvinjalostus

Kasvinjalostus on perinteisin menetelmin lisännyt satoa noin prosentin vuodessa, mutta osalle tähän selvitykseen valituista kasveista satokehityksen nopeutuminen lähivuosina on todennäköistä. Näkymät vuoteen 2040 mennessä on saatu kysymällä Boreal Kasvinjalostus Oy:n kunkin kyseessä olevan kasvilajin kasvinjalostajalta.

Herneen jalostuksessa on jo käytössä genominen valinta, jolla satojen lisääntyminen tuplaantuu. Jopa kolmen prosentin kasvu on mahdollinen, mutta edellyttäisi investointeja. Noin 40 % nykyajikkeita korkeampi satotaso vuonna 2040 on todennäköinen.

Härkäpavulle on myös jollain aikavälillä tulossa genomivalinta, minkä ansiosta senkin vuosittainen sadonlisäys voisi olla 2 %. Vuoden 2040 satotasoa arvioitaessa on silti luotettavinta tyytyä yhden prosentin vuosittaiseen kasvuun. Myöhäisistä lajikkeista on tosin Etelä-Suomen lajikekokeissa saatu huomattavasti isompia satoja kuin nykyisin yleisesti viljelyssä olevista (Laine 2023), ja se otetaan laskelmissa huomioon säiden lämpenemisen ansiosta.

Peltonen-Sainio ym. (2011a) totesivat korkean öljypitoisuuden ja riittävän proteiinipitoisuuden yhdistämisen olevan tehokkain tapa säilyttää kevätrypsin ja -rapsin suuri proteiinisadon kapasiteetti. Keskittyminen vain valkuaispitoisuuden nostoon öljypitoisuuden kustannuksella johti alentuneeseen siemen- ja proteiinisatoon hehtaaria kohti.

Vuosina 2016–17 tulleet synteettiset hybridit syrjäyttivät populaatiorypsit. Niiden sato on noin 10 % parempi kuin aiemmin viljeltyjen populaatiorypsien, mutta suuremmasta satopotentiaalista huolimatta viljelijät ovat kokeneet satojen laskeneen. Rikkakasvien kemiallista torjuntaa sietävien herbisidinkestävien Clearfield-lajikkeiden satotaso ei ole toistaiseksi yltänyt tavanomaisten rypsilajikkeiden tasolle. Niiden tulevaisuus on hieman epävarma, koska tehokkain herbisidi kiellettiin. Rypsin ja rapsin tulevan satotason ennustaminen on vaikeaa myös siksi, että ne ovat herkkiä tuholaisille ja kuivuudelle, rapsit lisäksi jälkiversonnalle ja syyskylvöiset talvihuhoille. Toisaalta laon- ja kuivuudenkestävyyden paraneminen voi lisätä satoa. Kasvinjalostuksen vuosittaiseksi sadonlisäykseksi rypsilajille ja rapsille asetettiin perinteinen yksi prosentti.

Kauran satokehitys on ollut nykyään reilun prosentin luokkaa, aivan viime vuosina tätä suurempikin. Tulevaisuudessa satokehitys voisi olla 3–4 % vuodessa genomivalinnan ja lyhentyneen risteytysyöksen ansiosta, mutta nykyisin on vielä käytännön haasteita

kasvihuonekasvatuksissa ja risteyttämisissä. Kauranjalostajan arvio oli, että viiden vuoden kulluttua ollaan 1.5 %:n, 7.5 vuodessa 2 %:n ja 10 vuodessa 3 %:n kasvussa. Tätä soveltaen kauralle kertyi 39 % satotason nousu vuoteen 2040 mennessä.



3.2.2. Lämpötilan nousun vaikutus

Ilmastonmuutos johtaa merkittäviin maankäytön muutoksiin niin haasteista selviämisen kuin pitenevän kasvukauden tuomien mahdollisuuksien vuoksi (Peltonen-Sainio ym. 2009, Olesen ym. 2011). Ilmastonmuutos etenee nopeasti pohjoisilla leveysasteilla (IPCC 2013), mikä edellyttää huomion kiinnittämistä ennakoivaan maankäytön suunnitteluun: myöhään valmistuvia kasveja voidaan viljellä pohjoisempana ja monia uusia kasveja voidaan ottaa viljelyyn viljelykiertoa monipuolistamaan (Olesen ym. 2011, Elsgaard ym. 2012). Uudet vaihtoehdot ovat tarpeen, jotta joustavuus säiden vaihtelua ja äärimmäisiä sääoloja kohtaan kasvaisi (Reidsma ym. 2010).

Sadonmuutosten arvioinnissa muuttuvassa ilmastossa on suuria epävarmuuksia. Riippuen kasvumallista, tuloksena on kohtalainen sadonlisäys, -vähennys tai ennallaan pysyminen, kun boreaalisen alueen muutokset lämpötilassa, sateissa, säteilyssä ja ilmakehän CO₂-pitoisuudessa otetaan huomioon.

Peltonen-Sainio ym. (2011a) totesivat kevätrypsiä ja -rapsia koskeneessa tutkimuksessaan, että korkeat lämpötilat voivat haitata siemenen täyttymisprosesseja ja johtaa kohoavaan proteiinipitoisuuteen. Sellaiset olot eivät kuitenkaan ole toivottavia, koska siemensato pienenee ja ympäristöhaitat lisääntyvät, kun isot tuotantopanokset, etenkin typpi, tulevat heikosti hyödynnetyiksi.

Peltonen-Sainio ym. (2011b) vertasivat virallisten lajikekokeiden tuloksia säissä, jotka olivat tyypillisiä kasvukausille 1971–2000 säihin, jotka tulisivat olemaan tyypillisiä vuosina 2010–

2039. Jakso ei siten yllä tämän selvityksen tavoitevuoteen 2040, mutta antaa käsitystä ilmaston lämpenemisen vaikutuksista. Lämpötilojen noustessa kasvien sadot yleisesti pienenevät lukuun ottamatta hernettä, jonka sato oli 500 kg/ha (16 %) suurempi korkeammissa lämpötiloissa, vaikka herneen kukinta lyheni viidellä päivällä (samoin kuin rypsin). Oleellinen tekijä herneen sadonlisäykseen oli siemenkoon merkittävä kasvu.

Viljojen sato oli korkeammissa lämpötiloissa noin 250 kg/ha (5–6 %) pienempi, kevätrypsin 50 kg/ha (3 %) ja kevätrapsin 300 kg/ha (15 %) pienempi. Satoja pienentävät vaikutukset liittyivät vähentyneeseen veden saantiin erityisesti varhaisissa kasvuasteissa. Sateen väheneminen kymmenellä millimetrillä pienensi kevätiljojen satoa 45–75 kg/ha. Tutkimus antoi viestin siitä, että on pyrittävä jalostamaan lajikkeita, jotka ovat vähemmän herkkiä kohonneille lämpötiloille. Kasvinjalostuksen voidaan olettaa auttavan myös viljojen selviytymisessä pelkän lämpötilan nousun osalta, mitä tukee sekin, että muualla saadaan suuria satoja Suomea lämpimämissä oloissa.

Lämpötilan nousun vaikutus satoihin on sisällytetty taulukkoon 4 Peltonen-Sainio ym. (2011b) tulosten perusteella. Härkäpapua ei tutkimuksessa ollut. Sille arvioitu 500 kg/ha satotason nousu nousevien lämpötilojen ansiosta perustuu nykyistä satoisampien, pitkän kasvuajan lajikkeiden laajenevalle viljelymahdollisuudelle.

Nykyisten keskisatojen pohjalta laskettiin kasvinjalostuksen synnyttämän sadonlisän ja sään lämpenemisen aiheuttaman satomuutoksen perusteella laskennalliset valkuaisasadot vuonna 2040 (Taulukko 4) ennen arvioita teknologisten ratkaisujen synnyttämistä sadonlisistä. Lämpötilan noususta mahdollisesti johtuvaa proteiinipitoisuuden lisääntymistä ei liian epävarmana tekijänä otettu mukaan arvioihin, vaan pidättydyttiin nykyisissä, Taulukon 3 mukaisissa pitoisuuksissa.

Taulukko 4. Kasvinjalostuksen sekä lämpötilan nousun arvioitu vaikutus hehtaarisatoihin (kg/ha) ja valkuaisen kokonaissatoihin (milj.kg) v. 2040, jos pellot ovat mahdollisimman täysimääräisesti valkuaiskasvien käytössä viljelykierron sallimissa puitteissa.

	Potentiaali- nen viljelyala v. 2040, ha	Keskisadot nyt, kg/ha	Kasvin- jalostus lisäys v. 2040 ¹	Lämpötilan vaikutus ³	Sato kg/ha v. 2040	Valkuais- sato, kg/ha v. 2040	Valkuais- sato, milj. kg v. 2040	Lisäys nykytilaan, milj. kg
Herne	72 000	2500	40 %	+500 kg/ha	4 000	920	66	41
Härkäpapu	71 000	2010	16 %	+500 kg/ha ⁴	2 830	850	60	55
Rypsi / rapsi	141 000	1370	16 %	-200 kg/ha	1 400	280	39	29
Kaura	282 000	3380	39 % ²	-250 kg/ha	4 450	530	151	19
Erikoiskasvit	55 000					250 ⁵	14	13
Yhteensä							330	157=91 %

Näiden kasvien valkuais-sato nykytilanteessa on n. 173 milj.kg.

¹Kasvinjalostuksen satoa lisäävä vaikutus saatu kysymällä kyseisen kasvin jalostajalta.

²Vuodet 1–2: 1 %, vuodet 3–5: 1,5 %, vuodet 6–8: 2 % ja vuodet 9–15: 3 %.

³2040-luvulle tapahtuvan lämpötilan nousun vaikutus satoihin, kg/ha.

⁴Arvio perustuu härkäpavun myöhäisten lajikkeiden viljelyosuuden kasvuun.

⁵Keskimääräinen valkuais-sato pinta-alaosuusien suhteessa, sadon vuosilisäys 1 %.

3.2.3. Teknologioiden valkuaissatoja lisäävät vaikutukset

Tähän lukuun on koottu satomääriin eniten vaikuttavat, jo olemassa olevat tai voimakkaassa kehitysvaiheessa olevat teknologiat ja arvioitu niiden mahdollisuuksia lisätä satotasojä vuoteen 2040 mennessä. Numeeriset arviot teknologioiden satovaikutuksista on koottu taulukkoon 5.

Robottiikan mahdollistama sadonlisäys voi olla suuri 2040-luvulla. Robottiviljelyssä toimitaan nykyisiä koneita pienemmillä laitteilla ja maata kevyemmin käsitellen, jolla on myös peltojen kasvukuntoa parantavaa ja hiilidioksidipäästöjä vähentävää vaikutusta. Viljely perustuu hyvään pellon tuntemiseen, jolloin voidaan valita maaperän ominaisuuksiin sopiva kasvilaji tai lajike. Pikseliviljelyssä lohkon sisällä voidaan toimia hyvinkin pienillä alueilla, ottaen pellon variaatio huomioon. Pellon eri osat voidaan myös kylvää eri aikaan, jolloin vältetään nopeasti kuivuvien alueiden liiallinen kuivuminen odotettaessa märkien kohtien riittävää kuivumista. Pienet robotit voivat toimia pellolla läpi kasvukauden, tehden täsmätoimia kylvöstä ja kasvin-suojelusta korjuuseen. Robottien lataus onnistuu aurinkopaneeleiden avulla.

Perinteinen täsmäviljely ottaa haltuun lohkon vaihtelua. Sen painopiste on viljelyn kannattavuuden parantamisessa. Tuotantopanoksia säästetään siellä, mihin niitä ei kannata sijoittaa. Silti viljelypanosten perustarkentamisella voi päästä 10 % lohkokohlaiseen sadonlisään. Hyöty riippuu siitä, miten suurta lohkon vaihtelu on. Yhdysvalloissa on täsmäviljelyn keinoja käyttävien tilojen todettu saavan muita suurempia satoja, lisäyksen vaihdellessa kasvusta ja teknologiasta riippuen vähäisestä jopa kymmeneen prosentteihin (Mc Fadden ym. 2023).

Täsmäviljelyn periaate on tunnettu jo pitkään, mutta sen hyödyntäminen on edelleen vähäistä. Mittaus- ja tietotekniikan sekä robotiikan hyödyntämisen kautta täsmäviljely tulee vuoteen 2040 mennessä ottamaan huomattavia edistysaskelia. Se mahdollistaa entistä paremman pellon eri osien satopotentialin hyödyntämisen ja esikasvivaikutusten, kuten typpilannoitustehon (Känkänen ym. 2013), paikallisen huomioimisen, mikä osaltaan lisää myös proteiinikasvien viljelyn houkuttavuutta. Tarkentuva lannoitus ja kasvinsuojelu sekä kaukokartoituksen ja mittalaitteiden tuoma kasvukauden aikainen tieto viljelypäätösten pohjaksi tulee lisäämään hehtaarisatoja.

Potentiaaliksi asetetaan robotiikan ja täsmäviljelyn tehokkaan hyödyntämisen olevan vuonna 2040 käytössä noin puolella viljelypinta-alasta, ja kyseisillä lohkoilla sadonlisän olevan 10 %. Kasviproteiinin kokonaistuotannon lisäyspotentiaaliksi saadaan siten 5 %.

Myös yleistyvä automaattinen tuholaisseuranta tulee vuoteen 2040 mennessä vähentämään tuholaisien aiheuttamia tappioita lisäten satoja ja/tai vähentäen ilmaston lämpenemisen seurauksena lisääntyvän tuholaispaineen synnyttämiä satoriskejä. Hernekääriäisen seuranta etäansojen avulla on alettu Suomen oloissa tutkia äskettäin. Hyönteisten etätarkkailu on vasta ensimmäinen vaihe tiellä kohti niiden hahmotunnistusta. Edessä on vielä useita välivaiheita, joissa edetään manuaalisen tunnistuksen ja koneoppimisen kautta kohti laitteiden itsenäistä ja luotettavaa toimintaa hyönteisten tarkkailussa (Aaltonen 2023).

Salaojituksen lisäämisellä olisi hyvät edellytykset nostaa keskisatoja. Ovaska ym. (2021) mukaan kauran sato oli 400 kg/ha (12 %) ja kevättölykasvien 180 kg/ha (13 %) korkeampi erinomaisissa salaojissa olevilla pelloilla verrattuna luokkaan, jossa salaojat arvioitiin heikkokuntoisiksi. Kaurasadot myös vaihtelivat erinomaisessa luokassa suhteellisen vähän kesän sateisuudesta riippumatta. Hyvästä ojituksesta näytti olevan kevättölykasveille hyötyä etenkin

kesäkuun ollessa kuiva. Märkyydelle herkkien palkoviljojen osalta ojituksen toimivuuden hyödyn voi olettaa olevan vielä suurempi.

Toimivan salaojituksen merkitys korostuu tulevaisuuden ilmastossa. Pohjois-Euroopassa maksimaalisen yhden päivän sademäärän ennakoidaan kasvavan 20 % talvikaudella ja 10 % kesäkaudella, samalla kun peräkkäisten kuivien päivien määrä vähenee 10 % talvella ja lisääntyy 20 % kesällä (Lehtonen ym. 2014).

Suomen pelloista on salaojitettu noin 60 %. Kun 15–20 prosenttia pinta-alasta on peltoja, jotka eivät tarvitse salaojitusta, on sitä vailla olevaa peltoa noin 20 prosenttia eli 440 000 ha. Lisäksi arviolta noin 100 000 ha kaipaa uusintaojitusta. Salaojituksen toteutuksen vuosivauhti on kuitenkin vain noin 6 000–7 000 ha, vaikka avustustaso on paras koskaan. Investointitukea saa tietyin ehdoin 40 %, kun salaojituksen keskimääräinen kustannus on 5 000–6 000 €/ha.

Laskennallisesti, jos kaikki salaojituksen tarpeessa olevat pellot salaojitettaisiin ja niiltä saataisiin sen ansiosta 15 % suurempi valkuaissato, lisääntyisi tässä tarkasteltavina olevien kasvien koko maan valkuaissato 3 %. Nykytahdilla ojitustarpeesta saataisiin katettua vuoteen 2040 mennessä vain viidesosa, joten maatalojen investointikyvyn tulisi kohentua huomattavasti, jotta päästäisiin tämän selvityksen mukaiseen arvioon valkuaissadon lisääntymisestä salaojituksen ansiosta.

Lyhyet vuokrasopimukset sekä alhaiset tuottajahinnat hillitsevät salaojitushaluja, investoinnin takaisinmaksuajan ollessa usein 20–30 vuotta. Toisinaan myös kevyemmät toimet eli laskuaukkojen ja valtaojien toimivuudesta huolehtiminen voivat auttaa parempiin satoihin lohkon heikoimmissa osissa. Näitä toimia ei erikseen laskelmassa huomioitu, koska sadonlisäystä arvioitiin tulevan jo salaojituksen lisääntymisen kautta.

Kalkituksen tila on arvioitu huonoksi 17 %:lla peltoalasta (luku 3.1.2.). Kasviproteiinituotannon kannalta kalkin puutteen korvaaminen noin 180 000 hehtaarilla voisi kohentaa erityisesti palkoviljojen satoa, tai ylipäätään mahdollistaa niiden viljelyn laajenemisen. Selvästi liian alhainen pH pienentää palkokasvien satoa varovaisestikin arvioiden viidenneksellä. Kalkitus suhteellisen edullisena vaikkakin toistuvana investointina voisi toteutua lähes koko tarvittavalla alalla, josta seuraisi noin 3 % sadonlisäys palkokasveille koko maan tasolla. Osalla pelloista tarvitaan runsasta kalkitusta, jotta päästään palkokasvien edellyttämään pH-tasoon. Kauran, rypsi/rapsin ja muiden kasvien viljelylle kalkituksen merkitys on pienempi, ja ne hyötyvät jo kierrossa mukana olevien palkokasvien kasvun turvaamisesta kalkituksella. Niillä koko maan lisäykseksi asetetaan 1 %. Maksimissaan sadonlisäys Suomen valkuaissatoon olisi 6 000 tn, eli lähes 2 % kokonaistuotannosta

Toisaalta ei ole tiedossa, onko palkoviljojen viljelyssä tähän mennessä olleilla lohkoilla jo huolehdittu keskimääräistä paremmin suositusten mukaisesta kalkituksesta. Tällöin palkoviljelyn laajeneminen edellyttäisi jo sinänsä kalkituksen lisäämistä, eikä kalkituksella olisi niin suurta merkitystä keskisadon nousuun nykyisestä. Siksi keskisatoihin perustuva kalkituksen hyöty voi jäädä laskennallista pienemmäksi, mikä on otettu huomioon luvun 3.2.4. varmuusvähennyksissä.

Kastelun potentiaali Suomen pelloilla on hyvä, ja sitä on mahdollista hyödyntää ilmastomuutoksen kuivuusjaksoihin sopeutumisessa (Alakukku & Peltonen-Sainio 2014). Sadetuksen ohella kuivuutta voidaan torjua säätösalojituksella (luku 3.1.2.). Kolmanneksella pelloista on vesistö lähellä, ja reilulla kolmanneksella korkeintaan 300 metrin päässä. Peltonen-Sainion ym.

(2015b) tutkimuksessa 7,2 %:lla tiloista oli sadetuskalustoa, mutta keskimäärin vain noin kolmannesta tilan alasta voitiin sadettaa.

Kastelun satovaikutuksista on vähän numeerisia tuloksia. Helsingin yliopiston 1960- ja 1970-luvun kokeissa yksi oikein suoritettu sadetus savimailla nosti kevätevehnän satoa seitsemän vuoden aikana keskimäärin 800 kg/ha ja ohran satoa 1 000 kg/ha (Elonen 1971). Kaura oli mukana kahtena vuonna ja reagoi samaan tapaan kuin ohra. Kaksi sadetusta nosti satoa vielä huomattavasti enemmän, etenkin jos sato jäi muuten alle 3 000 kilon. Kosteilla hietamailla ja hyvin runsasmultaisilla alavilla mailla ei sadetus vaikuttanut aina lainkaan. Maatilan Pellervon (Pulkkinen 2020) artikkelissa kahden viljelijän arvio sadetuksella saadusta kevätiljan lisäsdosta oli 1 500 kg/ha, kuivana vuonna jopa 4 000 kg/ha.

Vaikka palkoviljojen ja öljykasvien sadetuksesta ei ole tutkimustuloksia, voidaan niiden olettaa hyötyvän kastelusta kuivuusoloissa vähintään yhtä paljon kuin viljojen. Voitaneen arvioida, että savimailla sadetus tai säätösalaajitus lisääisi, ottaen huomioon kuivuuskausien lisääntymisen, keskimäärin noin 20 % kasvien satoa. Valkuaispitoisuus voi pienentyä, kun sato suurenee, mutta merkitys valkuaisen kokonaissadon kannalta on sen verran pieni, että myös valkuaisadon lisäyspotentiaalina käytetään tässä selvityksessä 20 %. Lisäksi Elosen (1972) mukaan, jos kevätevehnän typpilannoitusta lisättiin sadetusta käytettäessä, pysyivät valkuaispitoisuus ja valkuaisen laatu likimain samana sadon suurenemisesta huolimatta.

Savimaiden osuus koko maan peltoalasta on vajaa 35 %, mutta Etelä-Suomen maakunnissa 50–80 %. Turvemaiden osuus koko alasta on noin 10 %, multamaiden noin 5 % (Luoko ry 2023). Karkeilla kivennäismaillakin sadetushyötyä voidaan odottaa. Proteiinikasvien tärkeimmät tuotantoalueet huomioiden kastelusta olisi hyötyä ainakin 70 %:lla pinta-alasta. Koko tällä alalla kastelu ei kuitenkaan ole mahdollista jo vesistön etäisyydenkin takia (Peltonen-Sainio ym. 2015b).

Ankaran, kasvien kannalta kriittiseen hetkeen osuvan kastelutarpeen aiheuttama hetkellinen vedentarve on niin suuri, että vesivarojen riittävydestä ei ole aina takuita. Viljelykasvien kehitysrytmin nopeutuminen kohoavien lämpötilojen takia ajoittanee kriittisen kasteluhetken lyhyeksi ajanjaksoksi. Kuivimpina kesinä veden määrä vähenee niin paljon, että kastelua ei pienimmistä vesivaroista voida enää tehdä (Salo ym. 2021).

Rajoittavien tekijöiden vuoksi kasteltavan alan arvioidaan 2040-luvulla olevan vuositasolla maksimissaan 30 % koko alasta. Kun keskimääräiseksi sadonlisäykseksi arvioidaan 20 %, on kastelun synnyttämä potentiaalinen proteiinisatojen lisäys koko viljelyalalle 6 %.

Kastelun määrällistä vaikutusta vuoden 2040 satoihin on vaikeaa arvioida. Kastelu vähintään kompensoinee alkukesän kuivuuden kasvavat sadonmenetykset. Toisaalta esimerkiksi kasvinjalostuksen synnyttämät lisäykset satoihin voivat jäädä kuivuuden vuoksi toteutumatta, jos kastelujärjestelmiä ei ole käytössä. Silti sadetusinvestointien kannattavuus arveluttaa viljelijöitä.

Taulukko 5. Teknologian maksimaalisen hyödyntämisen vaikutus valkuaisen kokonaissatoon vuonna 2040, kun alkuoletuksena on käytetty taulukon 4 mukaisia satomääriä kasvinjalostuksen tuoman sadonlisän ja lämpötilan nousun arvioidun satovaikutuksen jälkeen.

Valkuaiskasvien kokonaisala, ha	Alkuol. prot. milj.kg. v. 2040 ¹	Robottiikka +5 % ²	Salaojitus +3 % ³	Kalkitus +3/+1 % ⁴	Sadetus +6 % ⁵	Prot. milj. kg kaikkiaan	Lisäys nykytilaan ⁶ milj.kg
622 000	330	16	10	6	20	382	208=120 %

¹Kokonaissato siirrettynä taulukon 4 tilanteesta (maksimoidut pinta-alat, kasvinjalostus, lämpötilan nousu).

²Täsmäviljely optimoi usein panoksia, satoa lisäämättä, mutta tässä on arvioitu satoa lisäävä osuus.

³20 % uusiin salaojiin, niiden sadonlisä on n. 15 %, joten keskimäärin sadonlisä koko viljelyalalla on 3 %.

⁴Kalkitustila huono 17 %:lla, herneen ja härkäpavun sadonlisä n. 20 %, muiden n. 5 % -> koko maa n. 3 % ja 1 %.

⁵Kasteluvettä lähellä 30 %:lla pelloista, sadonlisä niissä n. 20 % -> koko maa n. 6 %.

⁶Selvitykseen valittujen kasvien nykyinen valkuaissto (173 milj. kg) taulukosta 3.

3.2.4. Teknologioiden käyttöä ja hyötyä rajoittavat tekijät

Raportin kokonaissatoarvioissa on vältettävä eri tekijöiden ylikertautumista. Esimerkiksi, jos peltojen ojitus ja kalkitus olisivat täydellisessä kunnossa, robotiikan ja täsmäviljelyn hyödyt jossain määrin pienisivät. Myös monien käytännön tekijöiden vuoksi – kuten eri teknologioiden kilpailu samoista rahoista maatalojen investoinneissa – ei voi olettaa tietyn teknologian lisäävän Suomen satoja niin paljon kuin edellisen luvun yksittäisissä vaikutuksissa arvioitiin.

Tässä luvussa arvioidaan kyseiset rajoitukset ja kootaan yhteen useat tuotantoa lisäävät ja vähentävät tekijät, päätyen laskennalliseen proteiinisatoon (Taulukko 6). Lopuksi huomioidaan vielä laatupuskuri, eli se osuus sadosta, joka on elintarvikekäyttöön kelpaavaa.

Robottiikka, salaojitus ja sadetus tulevat kilpailemaan samoista investointirahoista suhteellisen lyhyenä ajanjaksona vuoteen 2040 mennessä. Robottiikan mahdollisuudet ovat useimmille viljelijöille tällä hetkellä vielä vieraita ja salaojittamista pidetään liian kalliina hyvistä investointituista huolimatta. Myös halu ja kyky investoida kasteluun on yhä vähäistä. Melko yksinkertaisesti toteutettava säätösalojitus patoamisen avulla on taloudellisesti sadetusta kevyempi. Sadetus ja säätösalojitus kompensoivatkin osittain toisiaan, joten jälkimmäinen sisällytetään sadetukseen tuottamaan potentiaaliin.

Edellä mainittujen syiden vuoksi näiden teknologioiden tuottamiin lisähyötyihin tehdään seuraavat vähennykset: robotiikka ja täsmäviljely 20 % (3 300 tn proteiinia), salaojitus 50 % (5 000 tn) ja kastelu 25 % (6 500 tn). Vaikka kalkitus on suhteellisen edullinen investointi, tehdään sillekin 30 %:n (1 900 tn) varmuusvähennys, liittyen osin edellisen luvun oletuksiin. Yhteensä vähennykset tekevät 16 700 tn, mikä sisältyy kohtaan "Oletus 4" taulukossa 6.

Se, miten rajalliset investointivarat tulevaisuudessa painottuvat, voivat muuttaa myös vähennysten osalta näiden teknologioiden välistä suhdetta, mutta sillä ei ole suurta vaikutusta lopulliseen kokonaissadon arvioon. Isoimpi merkitys on sillä, millä tasolla maatalojen investointimahdollisuudet ylipäätään ovat tulevan reilun vuosikymmenen aikana. Isoimmat kokonaisproteiinimäärään vaikuttavat tekijät ovat täysimääräinen pellonkäytön hyödyntämien viljelykiertovaatimusten puitteissa (Oletus 1) sekä kasvinjalostus ja ilmaston lämpeneminen

(Oletus 2). Ilmastonmuutoksella on myös negatiivisia vaikutuksia, joita voidaan teknologisilla ratkaisuilla (Oletus 3) ja viljelyn monimuotoisuudella hillitä.

Taulukko 6. Arvio palkoviljojen, öljykasvien, kauran ja erikoiskasvien kasviproteiinituotannon lisääntymisestä Suomessa nykytasosta vuoteen 2040, kun viljelykierron mahdollisuudet ja käytävissä oleva tieto ilmaston lämpenemisen ja kasvinjalostuksen vaikutuksista sekä teknologian mahdollisuuksista ja rajoituksista on huomioitu. Näissä luvuissa on mukana rehukäyttöön menevä valkuainen eli laatuuskuria ei ole vielä huomioitu.

	Lähtötilanne	Oletus 1	Oletus 2	Oletus 3	Oletus 4
Valkuaissato, koko maa, milj. kg	173	253	330	382	365
Lisäysprosentti lähtötilanteesta		46	90	120	111

Lähtötilanne = ko. kasvien valkuaisuus tuotanto vuoden 2023 pinta-aloilla ja n. 2010–2023 keskisadoilla.

Oletus 1 = nykyiset (n. 2010–2023) keskisadot, viljelykierto hyödynnetään täysin.

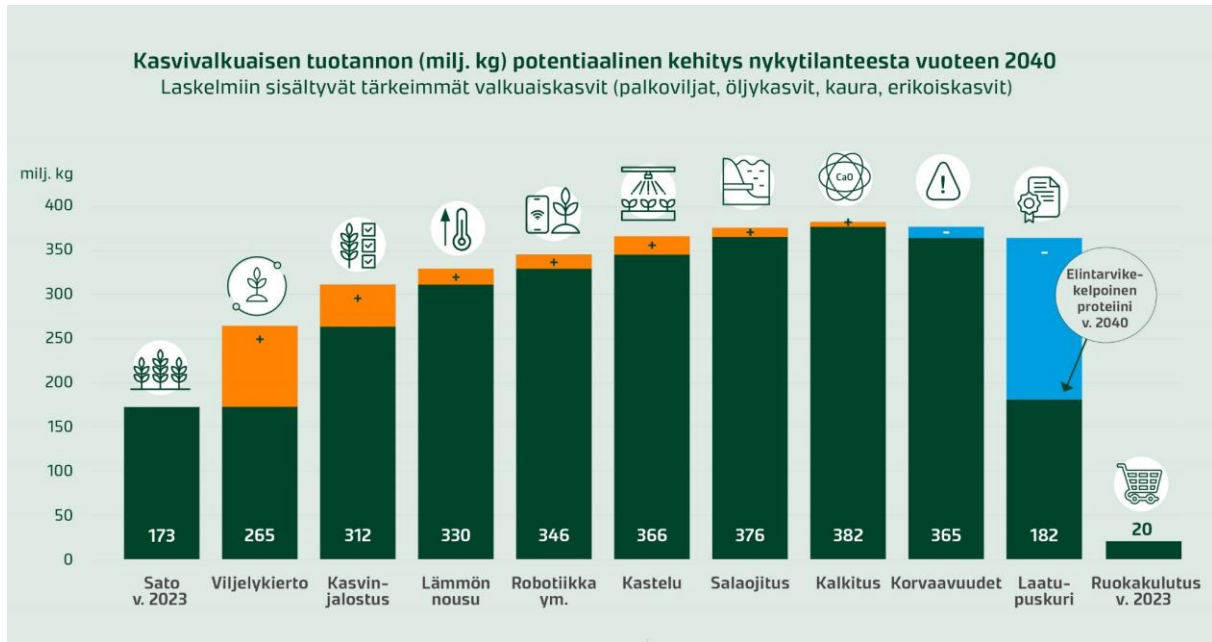
Oletus 2 = maksimaalinen viljelykierto, 2040-luvun lämpötila, kasvinjalostus vuoteen 2040.

Oletus 3 = robotiikka, täsmäviljely, salaojitus, kastelu ja kalkitus maksimikäytössä v. 2040.

Oletus 4 = kohtien 2 ja 3 tekijöiden toisiaan korvaavaa vaikutusta ja muita rajoitteita huomioitu.

Lopuksi – ja merkittävästi – elintarvikekäyttöisen kasviproteiinin määrään vaikuttaa laatuuskuri, eli se, miten suuri osa sadosta on elintarvikkeeksi kelpaavaa. Sadon laatu vaihtelee huomattavasti vuosittain, ja tässä selvityksessä käytetään keskimääräisiä arvoja. Kauran laatuuskuri on 32 % ja herneen sekä härkäpavun 50 %. Rypsilä ja rapsille ei laatuuskuria nykyisin määritetä, koska niiden puristuksen tuotteista öljyä käytetään ensisijaisesti elintarvikkeena ja rouhetta kokonaisuudessaan rehuna (tarkemmin laatuuskurista toisaalla raportissa). Tässä luvussa laskettiin rypsin ja rapsin proteiinisato mukaan kokonaisuudessaan, koska niiden valkuaisen ainakin osittainen hyödyntäminen elintarvikkeena on todennäköistä vuoteen 2040 mennessä. Sen käytöstä tehdään tutkimusta ja teollisuus on mukana kehitystyössä.

Myös osalla erikoiskasveista voisi laatuuskuri tulla kyseeseen, mutta sitä ei ole määritetty, ja jätetään tässä huomiotta jo suhteellisen pienen merkityksensäkin vuoksi. Kuvassa 7 on esitetty laskelmaan valittujen kasvien tuotantopotentiaalia lisäävät ja vähentävät tekijät sekä nykyisten kasvien nykyinen elintarvikekäyttö.



Kuva 7. Valittujen kasvien valkuaistuotantopotentiaali ja siihen vaikuttavat tekijät sekä niiden nykyinen kulutus.

3.2.5. Muut huomiot

Edellä mainittujen lisäksi on olemassa runsaasti tekijöitä, joilla voi olla vaikutusta tuleviin satoihin, mutta joita ei ole sisällytetty laskelmiin. Usein niiden arviointi olisi myös hyvin epävarmaa ja luvuiksi muuttaminen vaikeaa.

Tutkimuksen, tiedon, koulutuksen ja neuvonnan avulla saavutettava entistä parempi kasvilajikohtainen viljelytekniikoiden haltuunotto Suomen pelloilla saattaa merkitä suurenevia keski-satoja. Osittain nämä asiat sisältyvät myös laskelmien periaatteina oleviin tekijöihin, kuten uuden teknologian tutkimukseen ja tiedon jalkauttamiseen.

Satohyötyä voidaan saada myös peltojen kasvukunnon paranemisen myötä, jos viljelykierrot monipuolistuvat tämän selvityksen oletusten mukaisesti. Toisaalta muutos on hidas, eikä tässä arvioitu kierto ehtisi toistua kuin 2–3 kertaa vuoteen 2040 mennessä, vaikka niihin siirryttäisiin jo ensi vuonna. Jos peltojen kasvukunto paranee, se samalla vähentää teknologisten ratkaisujen merkitystä. Esimerkiksi pellon multavuuden lisääntyminen parantaa vedenpidätkykyä, mikä vähentää herkkyyttä kuivuuskausille ja siten jossain määrin vähentää kastelun hyötyä.

Luvussa 3.1.1. mainituista syistä luomuviljelyalan mahdollista muutosta ei otettu laskelmissa huomioon. Muutos suuntaan tai toiseen voi vaikuttaa merkittävästi kasviproteiinin kokonaistuotantoon Suomessa. Luomusatojen kehittyminen lähemmäksi tavanomaisen viljelyn satoja lievittäisi pinta-alaosuuden vaikutusta koko maan proteiinisatoon. Rypsin ja rapsin luomuviljely raportin laskelmien mukaisessa laajuudessa edellyttää toimivia ratkaisuja tuholaisen torjuntaan vuoteen 2040 mennessä.

Vuokrapeltojen osuus on noin kolmannes kaikista pelloista, ja niistä on Ovaska ym. (2021) mukaan saatu 2–4 % pienempi viljojen ja kevätöljykasvien sato kuin omistuksessa olevilta pelloilta. Vuokrasausien piteneminen ja vuokrasopimusten laatiminen maan kasvukunnosta

huolehtimista kannustavaksi voisi nostaa satoja ja lisätä mahdollisuuksia investoida mm. sala-ojitukseen.

Nurmikasveista on mahdollista eristää elintarvikekelpoista proteiiniainetta nurmibiojalostamossa. Tällä voi tulevaisuudessa olla merkitystä kasviproteiiniomavaraisuuden saavuttamisessa ja myös viljelykiertojen monipuolistamisessa nykyisillä viljanviljelyalueilla. Vihreiden pelto- ja biomassojen laajamittaiselle hyödyntämiselle proteiinin tuotannossa on kuitenkin vielä niin paljon haasteita (Rinne ym. 2022), että sitä ei otettu mukaan tämän selvityksen laskelmiin.

Kasviproteiinin kulutuksen ja tuotannon lisääntyminen suhteessa eläinperäiseen proteiiniin voisi vapauttaa nykyisiä nurmialoja elintarvikkeeksi kelpaavien valkuaiskasvien viljelyyn. Toisaalta valkuaiskasvienkin sadosta suuri osa jäisi silloin laatupuskurin vuoksi hyödyntämättä, samoin kuin viljelykiertoissa nurmikasvien myönteinen vaikutus maaperään ja kasvinterveyteen sekä rikkakasvien torjuntaan. Kyseessä on maanparannuspuskuri, joka tulee ottaa huomioon sadon laatupuskurin lisäksi. Raporttimme laskelmat perustuvat nykyiseen kasvintuotantotilojen pinta-alaan. Myös kasvintuotantotiloilla voidaan hyödyntää nurmikasvien etuja, mm. sisällyttämällä viljelykiertoon viherkesantoja ja kerääjäkasveja.

Nurmikasvien merkitys viljelykierron

Karjatilojen nurmet ja lanta lisäävät peltojen elävyyttä ja auttavat pitämään maan rakenteen hyvänä. Rungas monivuotinen juuristo tekee maahan kanavia vedenläpäisyä helpottamaan, kuohkeuttaa maata, parantaa mururakennetta ja antaa pieneliöille ravintoa. Laidunnus lisää positiivisia vaikutuksia luonnon ja ympäristön monimuotoisuuteen, erityistapauksena varsinaisten peltoalueiden ulkopuoliset perinnebiotoopit.

Vain osalla maatiloista on mahdollisuus monipuolistaa viljelykiertoa rehunurmien avulla karjatalouden alueellisen keskittymisen takia. Raportin laskelmat perustuvat huomattavasti lisääntyvään valkuaiskasvien viljelyyn kasvinviljelytiloilla. Nurmikasvit voidaan silloinkin sisällyttää viljelykiertoon erilaisten viherlannoitus- ja kerääjäkasviratkaisujen avulla. Monivuotiset ja monilajiset viherkesannot voivat olla maanparannusvaikutuksiltaan jopa rehunurmia tehokkaampia. Teholtaan hieman heikompi yksivuotinen viherkesanto voidaan kierrättää viljatilalla peltolohkoilla lyhyemmässä ajassa. Kerääjäkasvien maanparannusvaikutus on lyhyellä aikavälillä viherkesantoja vähäisempi, mutta niitä voidaan toistaa usein ja useilla lohkoilla ilman, että myyntikasvien viljelyyn jää välivuotia.

Kaikenlainen viljelyn monipuolistaminen tuo hyötyjä niin peltojen kasvukunnolle ja tuotavuudelle kuin eliöstölle pelloilla ja niiden ympäristössä.

Proteiinikasvien viljelyn taloudellinen kannattavuus on ratkaisevaa kasviproteiiniomaraisuuden tavoittelussa. Peltonen-Sainio ja Niemi (2012b) totesivat kotimaisen proteiinitarjonnan kasvun edellyttävän talousnäkökulmasta, että viljelijöillä on taloudellisia kannustimia viljellä proteiinirikkaita kasveja ja käyttää niitä karjan rehuissa tuotujen proteiinilähteiden sijaan.

Laskelmat sisältävät paljon epävarmuuksia, mutta perustuvat saatavissa olleeseen tutkimustietoon ja asiantuntijoiden näkemyksiin.

Tuloksena saatu kasviproteiinituotannon määrä edellyttää monimuotoista, ekosysteemipalveluja tarjoavaa kasvinviljelyä, joka on taloudellisesti kannattavaa sadoista maksettavien hintojen sekä peltojen hyvään kasvukuntoon ja korkeisiin satoihin ohjaavien ympäristö- ja investointitukien avulla.



Laatupuskurin vaikutus kotimaisessa viljan ja palkokasvien tuotannossa

Jokaisella viljalla on oma käytön määrittelemä laatukriteeristönsä. Kaikkein tiukimmat laatuspesifikaatiot koskevat leipäviljaa. Hieman matalammat, mutta silti kohtuullisen tiukat laatuvaatimukset koskevat rehuviljaa. Muun jalostavan teollisuuden, kuten tärkkelys- ja etanoliteollisuuden tai mallastuksen vaatimukset viljalle vaihtelevat riippuen lopullisesta käyttötarkoituksesta. Peruslaatustandardit roskiin, tauteihin tai homeisiin liittyen ovat voimassa kaikissa käyttömuodoissa (Jansik 2022a).

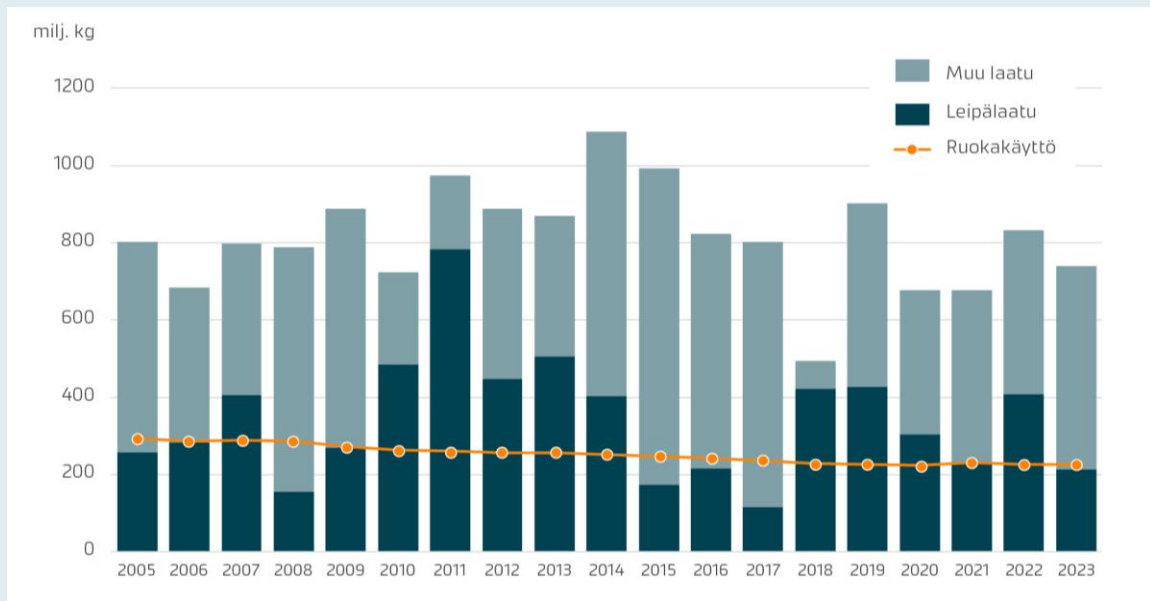
Käyttömäärältään suurimman leipäviljan eli vehnän laadun vaikutus sen käytölle kuvaa hyvin laatupuskurin merkitystä. Vehnän omavaraisuus saavutettiin Suomessa vasta 2000-luvun loppupuolella. Siihen asti osa leipävehnätarpeesta – lähinnä laatua parantavia eriä – jouduttiin tuomaan ulkomailta. Omavaraisuus tässä yhteydessä tarkoittaa myös tuotantotasoa, jolla Suomen leipävehnätarve voidaan tyydyttää täysin kotimaisella vehnällä huolimatta vuosittaisesta laatuvaihtelusta. Ruokavirasto on määritellyt seurannassaan leipävehnän laaturajat seuraavasti: hehtolitrapaino 78 kg, valkuaispitoisuus 12,5 % ja sakoluku 180. Suomalaisen vehnän laatu on vaihdellut rajusti, pahimmillaan vain 14 % vehnäsadosta täytti leipälaatuvaatimukset, parhaimmillaan 80 %.

Suomen lyhyt kasvukausi ja pohjoiset sääolot vaikuttavat sadon laatuun merkittävästi. Pitkä, viileä ja sateinen sato- tai puintikausi voivat alentaa sakolukuja ja siten leipäkäyttöön soveltuvan vehnän osuutta huomattavasti. Myös Keski-Euroopassa sää vaikuttaa laatuun, eikä koko vehnäsato täytä missään muuallakaan elintarvikelaadun vaatimuksia. Suurimmissa Keski-Euroopan tuotantomaissa vehnän laatu vaihtelee yleensä pienemmät kuin Suomessa.

Ruokaviraston laatumäärittely on suuntaa antava, koska todellisuudessa on mahdollista käyttää myös yhden tai useamman laatuominaisuuden kannalta tiukempia raja-arvoja, mikäli laatuajakauma on laaja, ja hyvälaatuisesta viljasta löytyy huippueriä. Myllyteollisuus sekoittaa eritasoisia valkuaisen tai sakoluvun eriä saadakseen tasalaatuista vehnää jauhatukseen. Sekoittamalla voidaan täyttää tuotteiden vähimmäislaatuvaatimukset.

Varmistaakseen vuosittain tarvittavan leipävehnän määrän Suomi joutuu ylläpitämään nykyistä tuotantotasoa (Kuva 8). Leipäkäyttöön soveltuvan viljan määrän ylittäessä kotimaan tarpeen, sitä voidaan viedä. Vuoden 2007 jälkeen Suomesta on viety leipävehnää useana vuonna 75–260 milj. kg etenkin Pohjois-Afrikkaan ja Lähi-itään. Joinakin vuosina vehnän määrä tai laatu ei taas ole mahdollistanut vientiä.

Vehnän laatu määritellään vasta puinnin jälkeen, jolloin selviää lopullinen käyttötarkoitus. Tämän takia on erittäin tärkeää, että löytyy käyttökohde, johon leipäkäyttöön soveltumaton viljaa voi vuodesta toiseen käyttää. Kymmenen viime vuoden aikana vehnän kotimaan käytöstä keskimäärin 46 % on päätynyt rehuksi. Samalla aikajänteellä vehnän rehuikäsuhteet koko EU:ssa – jossa on Suomea paljon laatuvarmempia tuottajamaita – on ollut 43 %.



Kuva 8. Laatuskuri Suomen vehnän tuotannossa ja käytössä vuosina 2005–2023. Lähde: Luonnonvarakeskus, Satotilasto ja viljataseet; Ruokavirasto, viljasadon laatusuranta.

Kauran laatuvaatimusten erot käyttökohteittain ovat pienehköt. Mylly- ja rehuteollisuus kilpailevat samasta laadusta. Niin elintarvike- ja rehuyrityksille kuin viejillekin kauran tärkein ominaisuus on saanto, eli kaikki tavoittelevat isojuväistä ja tasakokoista kauraa. Hehtolitraino ja seulontaprosentti ovat kaksi tärkeintä laatuindikaattoria. Yritykset muokkaavat omia laatuvaatimuksiaan sadon kokonaislaadun, omien tarpeidensa sekä kilpailutilanteen mukaisesti säätämällä hehtolitrainon (58–52 kg) ja seulontaprosentin (5–15 %) rajoja.

Elintarvikekauralle asetetut laatuvaatimukset ovat kolmessa kohdassa rehuvaatimuksia tiukempia: mykotoksiinin (DON) arvojen on oltava huomattavasti matalampia (EU:n rajat ovat elintarvikekauralle 1 750, rehukselle 8 000), lisäksi CCC:n (klormekvattikloridin) sekä yhdyskuntapuhdistamolietettä sisältävien lannoitteiden käyttö on kielletty. DON-arvoilla ei ole ollut käytännön merkitystä vuoden 2016 jälkeen suotuisien sääolojen sekä entistä parempien lajikkeiden ansiosta.

Lopulta kilpailu on aina määritellyt sitä, kuinka paljon kauraa on myyty elintarvike- ja rehukselle tai vientiin. Aika ajoin merkittävä osuus kaurasadosta voi kuitenkin sääolojen vuoksi olla homeiden takia kelvotonta mihinkään muuhun tarkoitukseen kuin rehuksi. Vaihtoehtoisen käyttökohteen olemassaolo sadon hyödyntämisen takuuna on siis kaurallakin olennaisen tärkeää.

Laatuskurin merkitys öljy- ja valkuaiskasvien käytössä on viljoja vähäisempää. Rypsin ja rapsin puristuksen tuotteista öljyä käytetään ensisijaisesti elintarvikkeena ja rouhetta kokonaisuudessaan rehuna. Tähän on tuomassa muutosta vastikään hyväksytty uuselintarvikelupa, joka mahdollistaa rapsirouheen käytön kuluttajatuotteissa, esim. kasviproteiini- ja valkuaiskasvien valmistuksessa. Jatkossa voi siis olettaa että rypsi- ja rapsirouheen kasvavaa osuutta käytetään elintarvikkeiden valmistuksessa. Tällä hetkellä rapsirouheen laatuvaatimuksia elintarvikkeiden raaka-aineena ei tunneta kokemuksen ja tuotekohtaisten laatuspesifikaatioiden puutteen vuoksi.

Herneestä noin viidesosa ja härkäpavusta muutama prosentti hyödynnetään tällä hetkellä elintarvikkeiksi. Palkokasvien laatuvaatimukset eivät ole yhtä moniulotteisia ja korkealla tasolla kuin leipäviljan. Elintarvikkeiden valmistuksessa on harvemmin jouduttu hylkäämään palkokasvieriä riittämättömien laatuominaisuuksien vuoksi. Rajat eivät ole tulleet vastaan suhteellisen matalan elintarvikekäyttösuhteen takia. Teollisuuden arvioiden mukaan palkokasveista vähintään puolet tulee soveltumaan laadultaan elintarvikekäyttöön. Elintarvikekäytön laaturajat saattavat tarkentua jatkossa teollisuusprosessien ja konkreettisten tuotesovellusten kehittyessä. Näillä näkymin merkittävä osa palkokasveista jalostettaisiin lopputuotteiksi isolaattien tai konsentraattien kautta, joiden tarpeisiin arvioidaan soveltuvan vähintään puolet palkokasvien sadosta.

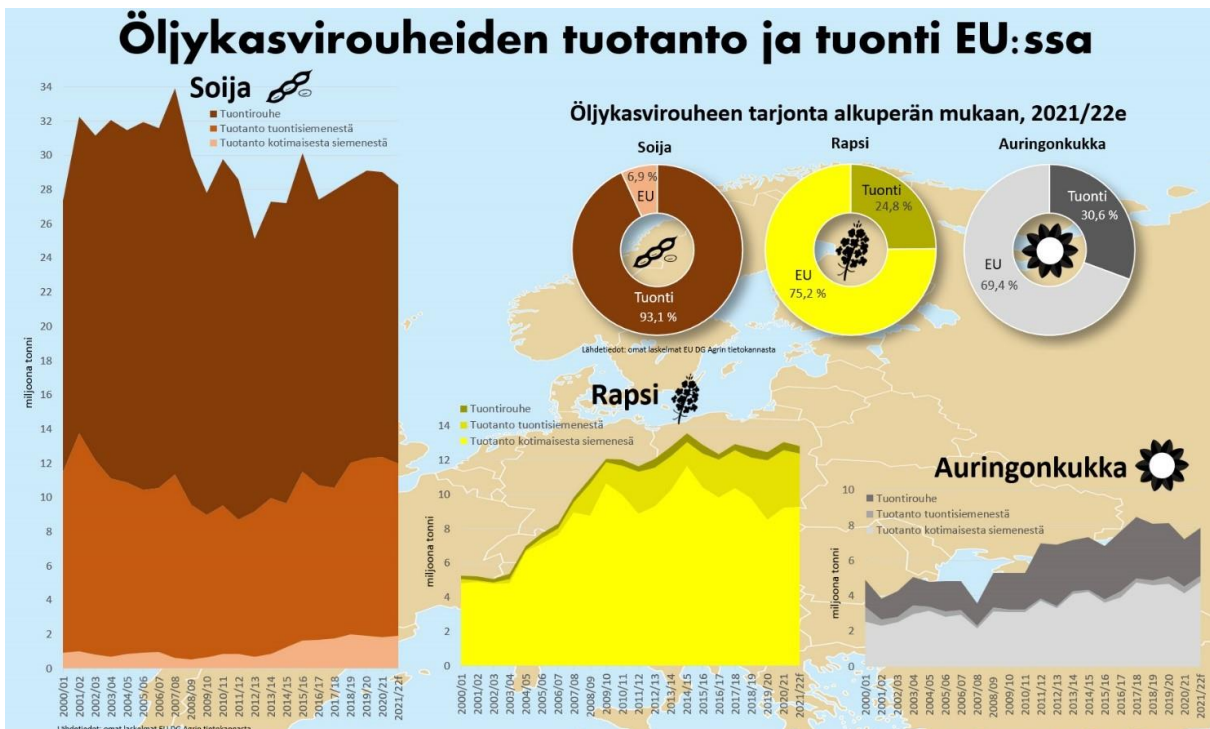


3.3. Täydennysvalkuaisien omavaraisuus

Kotieläintuotteiden valmistukseen tarvittavan rehun suuret volyymit ovat peräisin nurmesta ja viljasta, joiden kotimainen tuotanto kattaa kotieläinsektorin rehtarpeet lähes täysin esim. rehun sisältämän energian osalta. Rehun sisältämän valkuaisen osalta kotimaisen rehun tuotanto ei kuitenkaan vastaa tarpeita, vaan kotieläintuotteiden valmistus edellyttää lisäksi täydennysvalkuaisrehun käyttöä.

Kansainvälisesti täydennysvalkuaisrehun tärkeimmät raaka-aineet ovat öljykasvit, soija, rapsi ja auringonkukka. Öljykasveja puristamalla erotetaan toisistaan rasvapitoinen öljy ja valkuaispitoinen puriste. Rasva käytetään ensisijaisesti ruokaöljynä. Sen käyttö biopolttoaineena on nykyään vähäistä. Puriste käytetään ensisijaisesti eläinten ruokintaan.

Kansainvälisessä kaupassa kulkee suuria määriä raaka-aineita ja puolivalmisteita (öljyä ja puristetta). Öljykasvien tuotanto ja käyttö jakautuu maailmalla varsin epätasaisesti. Erityisesti soijapavun tuotanto keskittyy Amerikan mantereille, Brasiliaan, USA:han ja Argentiinaan muun maailman ollessa nettoutujia. Euroopan Unioni on ollut vahvasti riippuvainen tuonnista. EU:n omaa tuotantoa on edistetty 2010-luvulta lähtien, mutta se kattaa edelleen reilusti alle 10 % tarpeista. Rapsin ja auringonkukan oma tuotanto kattaa selvästi suuremman siivun EU:n kokonaistarpeista, noin 75 % ja 70 %. Tuontitarve on kuitenkin näidenkin öljykasvien osalta jatkuva. Kaiken kaikkiaan öljykasvit ovat tuontiriippuvuutensa vuoksi elintarvikeketjun kriittisimpiä tuotantopanoksia EU:ssa.

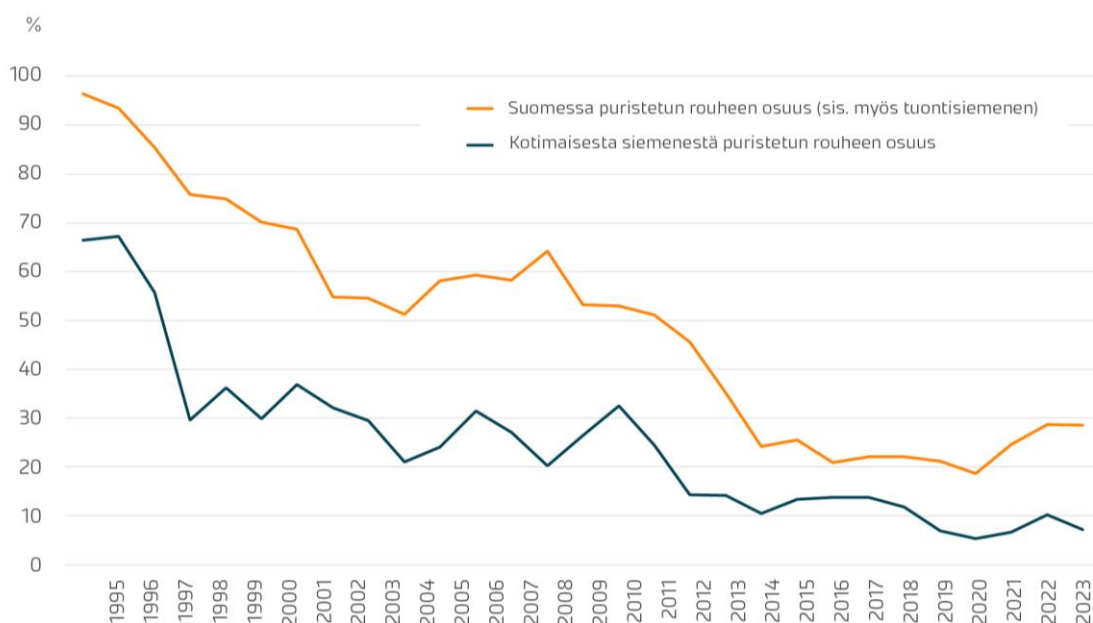


Kuva 9. Täydennysvalkuaisrehun tuotanto ja tuonti EU:ssa pääraaka-aineittain. Lähde: Jansik 2022b, s. 76.

Täydennysvalkuaisien tuontiriippuvuus on iso haaste myös Suomessa. Meille tuodaan ennen kaikkea rapsia ja rapsirouhetta sekä soijarouhetta, mutta pienemmissä määrin myös soijapapua ja auringonkukkarouhetta. Rouheen tuonti Venäjältä nousi tasaisesti 2010-luvulla, ja vuonna 2021 sieltä oli peräisin yli 35 % kaikesta Suomen öljykasvien rouhetuonnista. Ukrainan

sodan sytyttyä rouheen tuonti Venäjältä on järjestetty uudelleen muista maista. Vuonna 2022 Venäjän osuus Suomen rouhetuonnista oli 12 % mutta vuonna 2023 enää 3,5 %. Tuontia Venäjältä on korvattu tuonnilla Saksasta, Alankomaista ja eri Itä-Euroopan maista.

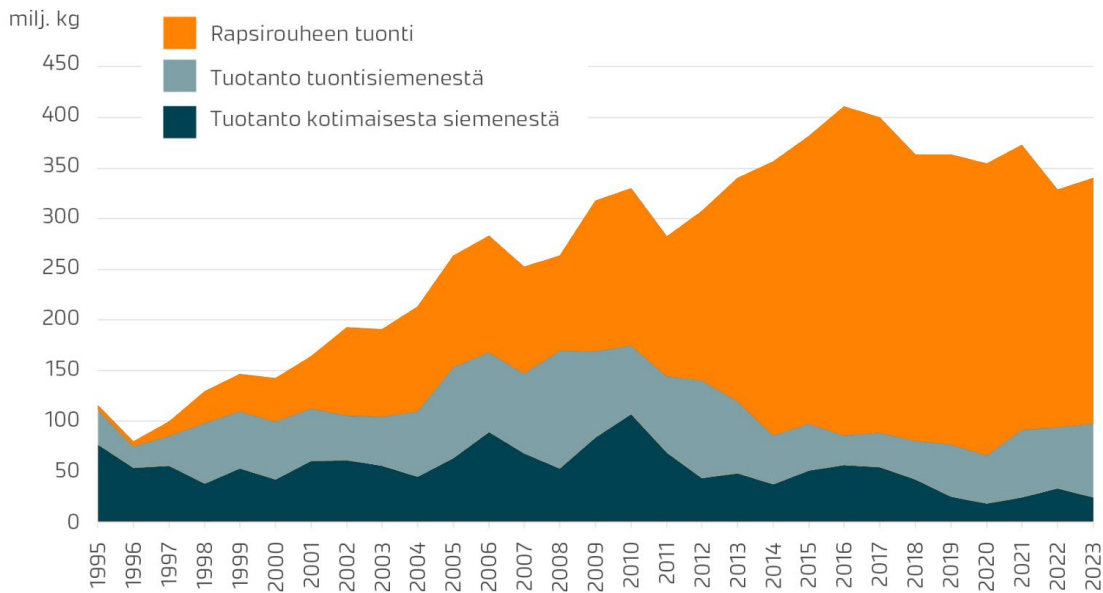
Rapsi muodostaa tuonnin suurimman erän. Sitä tuodaan sekä siemenenä että rouheena. Rapsin käyttö lähti 1990-luvulla jyrkkään nousuun, kun se yleistyi karjasektorin pääasiallisena täydennysvalkuaislähteenä. Lisääntynyt tarve katettiin kasvavalla tuonnilla, ja 2020-luvulla kotimaisen rypsin ja rapsin tuotanto on vastannut enää murto-osaa rapsirouheen kokonaiskäytöstä. Vielä 1990-luvulla kaksi kolmasosaa Suomen käyttämästä rapsirouheesta oli peräisin kotimaisesta siemenestä. 2000-luvulla vastaava osuus oli 20–30 % ja 2020-luvulla alle 10 %.



Kuva 10. Kotimaisen siemenen ja kotimaisen puristuksen osuus Suomessa käytetyssä rapsirouheessa. Lähde: Omat laskelmat Luken satotilastoa ja Tullin ULJAS-tietokantaa käyttäen.

Suomessa rapsin puristuskapasiteetti oli 2000-luvun puolivälissä 250–300 milj. kg. Kapasiteetti kuitenkin puolittui vuoden 2014 yritysjärjestelyjen seurauksena. Tämän ja lisääntyneen rapsirouheen tuonnin takia kotimaassa puristetun rapsin osuus putosi jyrkästi lähes 100 %:sta 50–60 %:iin 2000-luvun alussa. Vuoden 2014 jälkeen kotimaisen rapsipuristeen osuus oli enää 20–25 %. 2020-luvulla osuus nousi noin 30 %:iin, mikä johtui toisaalta Suomen puristevolyymien hienoisesta kasvusta sekä tuontirouheen vähenemisestä.

Rapsirouheen kokonaiskäyttö Suomessa saavutti huippunsa, yli 410 milj. kg, vuonna 2016. Tämän jälkeen käyttö on vähentynyt melko tasaisesti. Kahden viimeisen vuoden aikana rapsirouheen kokonaiskäyttö on ollut noin 20 % huipputasoa matalampi.



Kuva 11. Rapsirouheen käyttö Suomessa alkuperän ja lähteen mukaan. Lähde: Luken satotilastot, Tullin ULJAS-tietokanta.

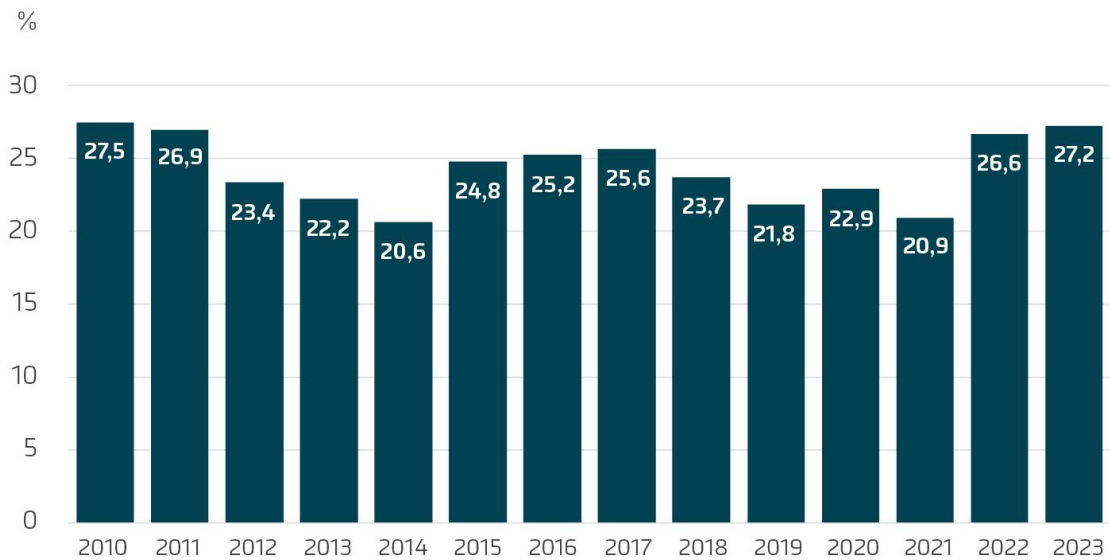
Täydennysvalkuaisrehun toiseksi suurin erä Suomessa on ollut soijaa. Kahdenkymmenen vuoden aikana soijapapua on tuotu Suomeen varsin vaihtelevia määriä, yleensä muutamia kymmeniä miljoonia kiloja. Soijarouhetta tuotiin eniten, 160–170 milj. kg, 2000-luvun loppupuolella, kun Suomen lihantuotanto oli huippulukemissa. Vuosittainen tuonti on sittemmin mataltunut 100–140 milj. kiloon. Vuonna 2023 soijarouheen tuonti väheni lähes 40 %, 87 milj. kiloon, mikä on matalin taso kahteenkymmeneen vuoteen. Pudotus on todennäköisesti yhteydessä sianlihantuotannon vähenemiseen sekä kotimaisen palkokasvituotannon nousuun ja käyttöön täydennysvalkuaisrehuna.

Rapsin ja soijan lisäksi Suomeen tuodaan vähäisiä eriä auringonkukan siementä ja rouhetta, mutta niiden vuosittainen tuonti on jäänyt yhteenlaskettuna alle 20 milj. kiloon.

Öljykasvien rouhetta on myös viety Suomesta. Viimeisen kymmenen vuoden aikana vienti on ollut 40–50 milj. kiloa vuodessa. Rouheviennin pääkohteena on ollut Norjan kalasektori.

Täydennysvalkuaisrehun omavaraisuuslaskelmissa otetaan huomioon öljykasvien lisäksi palkokasveista herne ja härkäpapu. Laskelmat sisältävät myös elintarviketeollisuuden sivuvirroista saatavia enemmän tai vähemmän proteiinipitoisia rehuraaka-aineita, kuten etanolituotannon ohravalkuaisrehun, panimoalan mäskin, sokeriteollisuuden melassileikkeen sekä muita sivuvirtoja. Täydennysvalkuaisrehun omavaraisuusaste lasketaan muuntamalla jokainen tuotanto-, tuonti- ja vientierä raakavalkuaiseksi ja suhteuttamalla kotimaasta peräisin oleva tarjonta kokonaiskäyttöön.

Suomen oma öljy- ja palkokasvien tuotanto on tarpeisiin nähden ollut melko vaatimatonta erityisesti rypsin ja rapsin osalta. Tämä selittää omavaraisuusasteen 20–25 % tason 2010-luvulla. Herneen tuotanto on kehittynyt etenkin viimeisen 2–3 vuoden aikana positiivisesti. Omavaraisuusaste parani kertaheitolla vuonna 2022 herneen ennätysradon ja samaan aikaan hienosti kasvaneen rypsi/rapsisadon ansiosta. Vuonna 2023 omavaraisuusaste parani hieman lisää ylittäen 27 %. Tällä kertaa taustalla oli soijarouheen tuonnin ja siten kokonaiskäytön väheneminen.

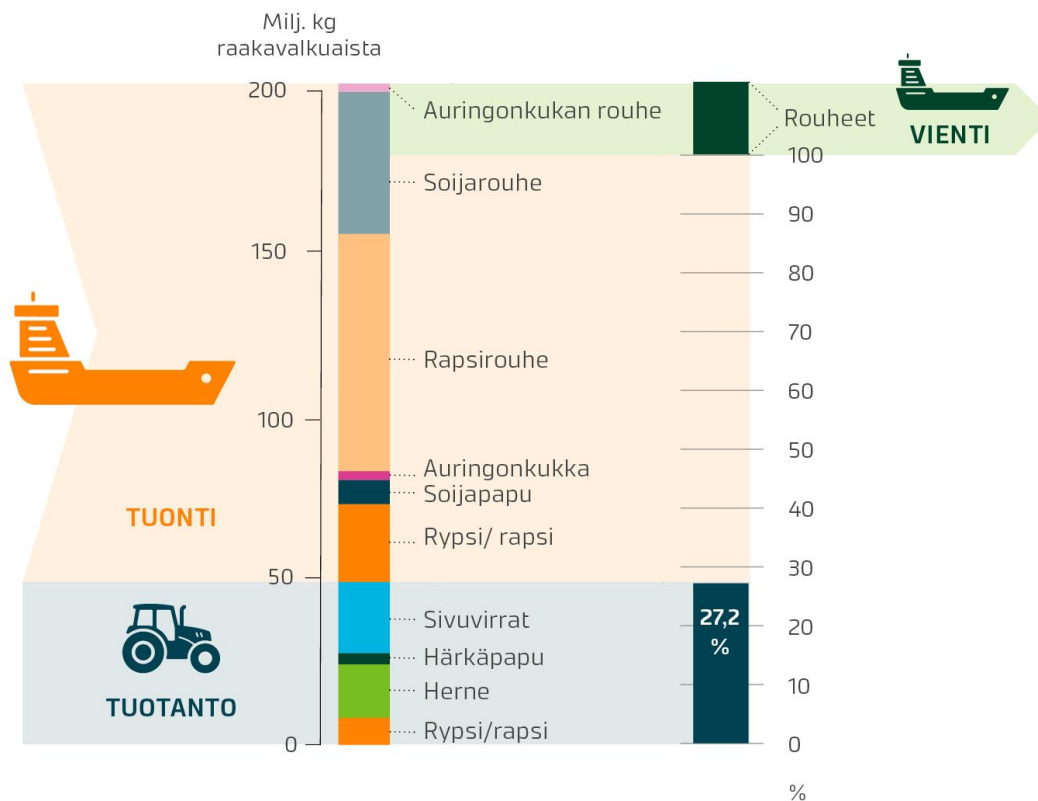


Kuva 12. Täydennysvalkuaisrehun omavaraisuusaste Suomessa vuosina 2010–2023.

Vuoden 2023 omavaraisuuslaskelman suurin kotimaisen tuotannon erä oli herne reilun 16 milj. kilon raakavalkuaisella. Rypsistä ja rapsista saatiin vastaavasti reilut 8 milj. kg raakavalkuaista ja härkävavusta 3,4 milj. kg. Sivuvirroista raakavalkuaista tuli 21 milj. kg. Kaiken kaikkiaan vuonna 2023 Suomessa tuotettiin 48,5 milj. kg raakavalkuaista täydennysvalkuaisrehuihin.

Tuonnin erät ovat kotimaista tuotantoa huomattavasti suurempia. Pelkästään rapsin tuonti oli kotimaista tuotantoa kaksi kertaa suurempi. Tuontirapsin 97 milj. kilon raakavalkuaisesta neljäsosa oli peräisin siemenistä ja kolme neljännestä rouheesta. Toiseksi suurimpana eränä tuotiin soijaa, joka sisälsi raakavalkuaista liki 51 milj. kg. Soijasta 15 % tuotiin papuna ja 85 % rouheena. Kolmanneksi merkittävimmän öljykasvin, auringonkukan, raakavalkuaisen tuontimäärät olivat vähäisiä rapsin ja soijan tuontimääriin verrattuna: alle 5 milj. kiloa raakavalkuaista, josta noin puolet tuotiin siemenenä ja puolet rouheena.

Täydennysvalkuaisen omavaraisuus vuonna 2023



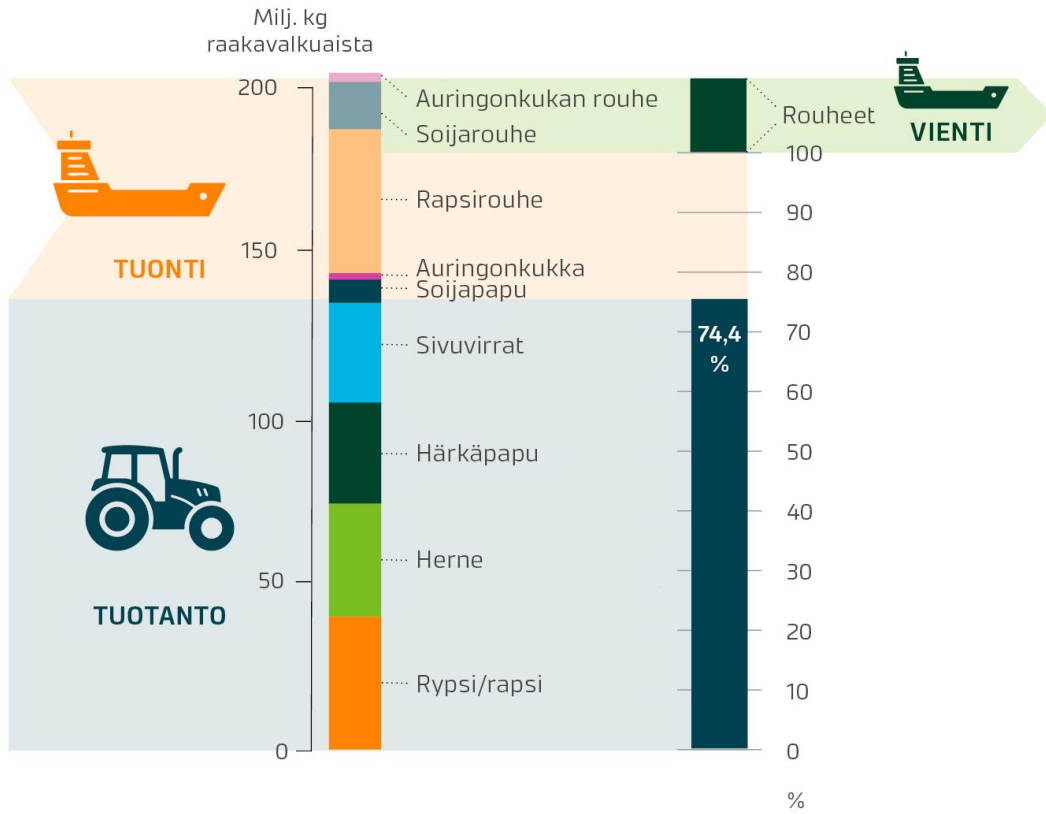
Kuva 13. Täydennysvalkuaisrehun omavaraisuusaste ja sen osien koostumus vuonna 2023. Lähde: Omat laskelmat, Luken satotilastoa, Tullin ULJAS-tietokantaa, sekä eri yritysten tuotantolukuja käyttäen.

Luvussa 3 esitettyä tuotantopotentiaalia täysimääräisesti hyödyntäessä nousisi Suomen täydennysvalkuaisrehun omavaraisuusaste huomattavasti. Laskelmien mukaisilla valkuaiskasvien tuotantomäärillä päästäisiin korkeimmillaan 74 %:n omavaraisuuteen vuoteen 2040 mennessä olettaen, että kokonaiskäyttö pysyy nykyisellä tasolla. Vähenevä kotimainen kysyntä mahdollistaa eläinperäisten tuotteiden valmistuskapasiteetin hyödyntämisen vientiin.

Omavaraisuusluokkaan tarvittaisiin yhteensä 143 tuhatta hehtaaria palkokasvien viljelyalaa ja 141 tuhatta hehtaaria rypsi- ja rapsialaa. Tämä yhteensä yli 280 tuhannen hehtaarin viljelyala olisi neljä kertaa laajempi kuin vastaava viljelyala vuonna 2023, jolloin valkuaiskasveja viljeltiin yhteensä n. 72 tuhannen hehtaarin alalla (rypsi/rapso 31, herne 34 ja härkäpapu 7).

Öljy- ja palkokasvien tuotantovolyymien kasvu on välttämätön edellytys kasviproteiinituotteiden arvoketjun rakentamiselle Suomessa. On tärkeä kuitenkin huomioida, että palkokasveilla, kuten viljoillakin, on olemassa laatuuskerroin. Sato ei ole koskaan täysimääräisesti elintarvikelaatuista, ja elintarvikkeeksi kelpaamattomat erät on tarkoituksenmukaisinta hyödyntää rehun valmistuksessa. Palkokasvien laatuuskerroin asettuu pitkällä aikavälillä asiantuntija-arvioiden mukaan 50 %:iin (lisätiedot viljan, öljy- ja palkokasvien laatuuskerrotoimista on sivuilla 40–42.)

Täydennysvalkuaisen omavaraisuus vuonna 2040



Kuva 14. Täydennysvalkuaisrehun omavaraisuusasteen potentiaali ja sen osien koostumus vuonna 2040.

Luvussa 3 esitettyjen viljelyyn liittyvien edellytysten lisäksi omavaraisuusasteen nostaminen vaatii myös merkittäviä investointeja teollisuuteen. Ensinnäkin nykyinen öljynpuristuskapasiteetti tulisi nostaa 1,5–2-kertaiseksi eli lähelle 2010-luvun 250–300 milj. kg:n kapasiteettia. Toiseksi palkokasvien fraktiointikapasiteetti tulisi rakentaa vähintään elintarvikekäytön volyymeja vastaavaksi, mikä tarkoittaa noin 250 milj. kg:n jalostuskapasiteettia.

Täydennysvalkuaisrehun 74 % omavaraisuusaste edellyttäisi, että kotimainen rypsi ja rapsirouhe käytettäisiin kokonaan rehun valmistukseen. Rypsi/rapsirouheen valkuainen on kuitenkin otettu huomioon myös vuoden 2040 peltokasvien elintarvikekelpoisen valkuaispotentiaalilaskelmissa. Uudet innovaatiot ja uusielintarvikelupa mahdollistavat rapsirouheen käyttöä elintarvikkeiden ainesosina, mutta konkreettiseen elintarvikekäyttömääriin liittyy vielä paljon epävarmuutta. Rypsi/rapsirouheen ruokakäyttö tulee laskemaan täydennysvalkuaisrehun omavaraisuusastetta alle edellä lasketun korkeimman potentiaalilaskelman.

4. Muut mahdollisuudet monipuolistaa proteiiniomavaraisuutta

4.1. Luonnonsienet ja viljeltyt sienet proteiinituotannon monipuolistamisessa

Sienet ovat monipuolinen eliöryhmä ja tällä hetkellä on kuvattu yli 100 000 eri lajia. Lajien todellista lukumäärää ei vielä tiedetä, mutta arviot vaihtelevat 700 000:sta jopa 5,1 miljoonaan (Timonen ja Valkonen 2013). Suomen kansallinen elintarvikekoostumustietokanta (Fineli) kuten myös Yhdysvaltain maatalousministeriö sisällyttävät ravintotiedot sienistä kategoriaan "vihannekset". Sieniä myydään tyypillisesti yhdessä hedelmien ja vihannesten kanssa ruokakaupoissa ja useimmat vegaanit hyväksyvät sienet ruokavalioonsa.

Yleensä sienissä on vähän energiaa ja rasvaa ja niiden vesipitoisuus on korkea, yleensä noin 90 % (tuorepaino). Tyypillinen proteiinipitoisuus vaihtelee välillä 20–25 % kuiva-aineesta. Lopuosa kuiva-aineesta koostuu hiilihydraateista. Sieniproteiinien aminohappokoostumus on ravitsemuksellisesti korkea ja yleensä parempi kuin useimmilla vihanneksilla. Sienissä on runsaasti glutamiinihappoa, kun taas metioniini ja kysteiini ovat usein rajoittavia aminohappoja. Osterivinokkaan (*Pleurotus ostreatus*) ja siitakkeen (*Lentinula edodes*) todelliset proteiinin sulavuusarvot ovat verrattavissa palkokasveihin, eli ovat eläinproteiinin arvoja alhaisemmat (Mattila ym. 2017).

Suomi on suuri sienestysmaa, mutta viljeltyjen sienten suhteen olemme vielä varsin rajoittuneita moniin muihin maihin verrattuna. Suomessa on muutamia gourmet-sieniä viljeleviä sienimöitä, eli sienenviljelylaitoksia (Kielitoimiston sanakirja), mutta niiden tarjonta on rajoittunut vain muutamaani yleisimmin viljeltyihin sienilajeihin, kuten osterivinokkaisiin tai siitakkeisiin, tai ne keskittyvät pääosin kotikasvatussettien tuottamiseen. Sienten viljely on prosessina hyvin tehokas, sillä 1 kg maanviljelystä syntyvää hävikkiä, kuten olkea tai lantaa, voi tuottaa jopa 2 kg sieniä (Hyyppölä & Jääskö 2022). Myös sahanpurua voidaan käyttää kasvualueena. Etenkin jos kasvatuksessa on mahdollista käyttää maanviljelyn sivuvirtatuotetta, sienten viljelyn kustannukset jäävät huomattavan mataliksi.

Sienten viljely on perinteiseen maanviljelyyn verrattuna huomattavasti tehokkaampi tapa tuottaa ruokaa, koska sienten viljely vaatii suhteellisen vähän tilaa, vettä ja hoitoa (Hyyppölä & Jääskö 2022). Sieniä voidaan kasvattaa vertikaalisesti hyllyillä, jolloin sisätiloissa koko tilan korkeus voidaan käyttää tehokkaasti ja sienten kasvuun tarvitsema lattiapinta-ala voidaan minimoida. Viljeltävät gourmet-sienet kulkevat läpi koko elinkaarensa optimoiduissa kasvuolosuhteissa 2–6 viikon aikana, jonka jälkeen prosessin voi aloittaa alusta johtaen jatkuvaan tuotantoketjuun. Tämän takia sieniä voi viljellä käytännössä missä tahansa, jopa kaupunkialueella.

4.2. Suomalaisella kalalla edellytykset kasvattaa merkitystään proteiininlähteenä

Suomen meri- ja järvesistöissä on paljon kalaa. Sisävesien ja rannikon kaupalliset kalastajat sekä avomeren troolilaivasto pyytävät luonnonkalaa markkinoille. Kasvatettua kalaa tuotetaan ruoaksi niin merellä, sisävesillä kuin maalle rakennetuissa kiertovesilaitoksissa. Lisäksi suomalaiset hyödyntävät kalavaroja vapaa-aikanaan. Kaksi kolmannesta suomalaisten syömästä kalasta on kuitenkin tuotua. Pääosa tuonnista on kasvatettua tuoretta norjalaista lohta, joka on myös kotimaisen kalanjalostusteollisuuden tärkeimpiä raaka-aineita. Suomeen tuodaan paljon kalaa myös pakasteina, säilykkeinä ja kalavalmisteina. (Setälä ym. 2024).

Suomalaiset kuluttivat kalaa fileepainona mitaten noin 12,5 kg henkilöä kohden vuonna 2021. Kalan kulutus oli aiemmin pitkään noin 15 kg henkilöä kohden vuodessa, mutta kysyntä vähentyi, kun tuontilohen hinta nousi tuntuvasti. Lohen tuotannon ja kansainvälisten markkinoiden muutoksilla onkin suora vaikutus Suomen kalamarkkinoihin.

Luken kalankulutustilaston mukaan henkilöä kohden lasketusta kalan kokonaiskulutuksesta vain noin 4 kg on kotimaassa kalastettua tai kasvatettua. Lähes puolet kotimaisesta kalasta on vapaa-ajankalastuksen saalista. Kotimaassa kasvatettua kalaa kulutetaan noin 1,5 kg ja ammattikalastuksen kalansaalista runsaat 0,5 kg henkilöä kohden vuodessa.

Kuten luvussa 2.1.3 todettiin, kalan proteiinia kulutettiin vuonna 2023 vajaat 16 milj. kg, mikä oli vähän yli 10 % eläinproteiinin kokonaiskulutuksesta. Suomessa kalan proteiininomavaraisuusaste on eläinperäisistä tuotteista heikoin, vain 48 %. Tästä huolimatta kalat ovat merkittävä tuoreen eläinproteiinin hajautettu varanto eri puolella Suomea (Setälä ym. 2024).

Suomalaisen kalanjalostuksen merkittävimmät kalalajit olivat lohi, silakka ja kirjolohi. Kalansaaliista ja kalateollisuuden sivuvirroista iso osa käytetään turkiseläinten ja kalan rehujen raaka-aineeksi. Yli puolet silakasta päätyy kotimaiselle, virolaiselle tai tanskalaisille kalajauhoitehtaille. Suomen kalarehuteollisuuden raaka-aineiden omavaraisuus on korkea, viime vuosina normaalissa markkinatilanteessa jopa yli 60 % raaka-aineesta on ollut kotimaista alkupe-
rää. (Setälä ym. 2024).

Suomalaisten tulisi ravintosuositustenkin mukaan syödä huomattavasti enemmän kalaa. Kala on tärkeä terveellisten rasvahappojen ja hyvälaatuisen proteiinin sekä A-, B- ja D-vitamiinin lähde. Kala on myös ilmaston ja ympäristön kannalta hyvä valinta. Kotimaisen kalan edistämishjelman sekä Manner-Suomen ja Ahvenanmaan vesiviljelystrategiat pyrkivät suomalaisen kalan tuotannon merkittävään lisäämiseen vuoteen 2035 mennessä. Kotimaisen kalan edistämishjelma tähtää kalan käytön kestäväan kasvuun viisinkertaistamalla vajaasti hyödynnettyjen kalalajien käyttöä ja kolminkertaistamalla kalankasvatuksen tuotantoa.

Tällä hetkellä tiukka lainsäädäntö rajoittaa kotimaisen tuotannon kasvumahdollisuuksia. Kasvatustuotannon lisääminen on ollut jo pitkään kalatalouden kehittämisen keskeisimpiä tavoitteita, mutta ympäristölupien vaikea saatavuus on rajoittanut kasvua. (Setälä ym. 2024).

4.3. Solumaatalous proteiinituotannon täydentäjänä

Solumaataloudella tarkoitetaan bioteknistä ruoan ja rehun tuotantoa, jossa hyödynnetään peltojen ja kotieläinten sijasta erilaisia soluja fermentointiprosessilla bioreaktorissa. Solumaatalous on uusi, alle kymmenen vuotta vanha termi, mutta sen perustana olevaa elintarvikebiotekniikkaa on käytetty jo pitkään elintarvikkeiden valmistukseen. Solumaataloudessa painottuvat elintarviketuotannon kestävyuden parantaminen, ruoan, erityisesti proteiinin tarpeen globaaliin kasvuun vastaaminen ja eläinten hyvinvoinnin turvaaminen. Lisäksi tavoitteena on teollisten sivuvirtojen hyödyntäminen erityisesti solujen kasvatusprosessien hiilen lähteenä (Ritala ym. 2017, Nyyssölä ym. 2022, Tuomisto 2022).

Solumaatalouden teknologioilla voidaan valmistaa erityyppisiä proteiinivalmisteita. Yksisoluproteiinit (SCP) eli runsaasti proteiinia sisältävät mikrobisoluvalmisteet koostuvat home-, hiiva-, bakteerisolu- tai mikrolevämassoista. Yksisoluproteiineja on valmistettu rehuksi ja myös ihmisravinnoksi jo usean vuosikymmenen ajan. Viimeksi mainitusta kaupallisesti tunnetuimpia ovat Quorn-mykoproteiinituotteet. Täsmäfermentoitujen solunulkoisten proteiinien tuotossa hyödynnetään useimmiten geneettisesti muokattuja homekantoja. Kolmas ryhmä on viljelty liha, jonka tuottoa bioreaktoreissa esimerkiksi naudan, kanan tai kalan soluja kasvattamalla vasta kehitetään suurempaan mittakaavaan (Nyyssölä ym. 2022, Knychala ym. 2024, Rasmussen ym. 2024).

Suomessa tehdään runsaasti tutkimus- ja kehitystyötä soluproteiinien valmistusprosesseihin ja niiden kaupallistamiseen liittyen. Pekiloproteiinia aikaisemmin eläinrehuksi valmistaneeseen fermentointiprosessiin perustuen kehitetään myös elintarvikekäyttöön sieniproteiinijauhetta mm. elintarviketeollisuuden hiilihydraattipitoisia sivuvirtoja hyödyntäen. Soleiiniproteiinia tuotetaan vetyä hapettavalla bakteerikannalla. Prosessissa ei tarvita sokeria solujen hiilenlähteenä, vaan se perustuu vedestä elektrolyysillä erotetun vedyn sekä hiilidioksidin hyödyntämiseen proteiinipitoisten bakteerisolujen kasvatukseen. Lisäksi ovalbumiinin eli kananmunan valkuaisproteiinin tuottamiseksi on kehitetty prosessi, jossa hyödynnetään geneettisesti muokattua homekantaa (Teerijoki 2024a, Ercili-Cura ym. 2020, Szczepanski ym. 2024, Järviö ym. 2021).

Mitä tiedetään yksisoluproteiinien ravitsemuksellisesta laadusta?

Yksisoluproteiininä (SCP) hyödynnettävien ja tutkittujen homeiden ja hiivojen solumassat sisältävät proteiinia 45–55 % kuiva-aineesta (Wiebe 2002, Finnigan ym. 2019, Näsi 1982, Jach & Malm 2022). Vetyä hapettavien SCP-bakteerien proteiinipitoisuuksiksi on raportoitu jopa 65–70 % solujen kuiva-aineesta (Volona & Barashkov 2010, Angenent ym. 2022, Szczepanski ym. 2024).

Yksisoluproteiineissa on useimmiten monipuolinen aminohappokoostumus ja ne sisältävät välttämättömiä aminohappoja vähintään FAO:n (2013) suositusten mukaiset määrät. Vain rikkiä sisältävät välttämättömät aminohapot metioniini ja kysteiniini voivat muodostua rajoittaviksi (Wiebe 2002, Edwards & Cummings 2010, Yamada & Sgarbieri 2005, Ercili-Cura ym. 2020).

Tietoa yksisoluproteiinien sulavuudesta ihmisen ohutsuolessa on vasta melko vähän. Lisäksi erilaisia *in vivo* - ja *in vitro* -tutkimusmenetelmiä käyttäen saaduissa sulavuusarvoissa on suurta vaihtelua. Esimerkiksi Quorn-mykoproteiinin eli *Fusarium venenatum* -myseelimassan sulavuudelle on julkaistu hyvinkin korkeita ja toisaalta alhaisia arvoja (Edwards & Cummings 2010, Ariëns ym. 2021). Homemyseelin ja hiivasolujen monimutkaisen rakenteen ja erityisesti

kuitupitoisten soluseiniä on esitetty hidastavan SCP-proteiinin hajoamista ohutsuolessa (Derbyshire & Dalange 2021, Lappi ym. 2022).

Tähän mennessä ei ole julkaistu FAO:n (2013) suosittelimilla menetelmillä analysoitujen yksisoluproteiinien ravitsemuksellista laatua kuvaavia DIAAS-arvoja (vrt. kasvi- ja eläinperäisten proteiinien DIAAS-arvot, Kuva 6, luvussa 2.2.). Yksisoluproteiinien todellisen sulavuuden ja siten niiden ravitsemuksellisen laadun arviointi ihmisravintona vaatii vielä runsaasti selvitystä. Lisäksi elintarvikematriisilla ja valmistuksessa käytettävillä prosessointimenetelmillä voi olla suurikin vaikutus myös yksisoluproteiinin ravitsemukselliseen laatuun (Lappi ym. 2022, Derbyshire & Delange 2021).

Solumaatalouden haasteet ja sen kehitykseen vaikuttavat tekijät

Suurimpia pullonkaloja soluproteiinien kaupallistamisessa on nykyinen uuselintarvikelainsäädäntö. EU:n markkinoille tähtäävistä uusista soluviljelytekniikoilla valmistetuista elintarviketuotteista on laadittava Euroopan komissiolle uuselintarvikehakemus ja tuotteen on käytävä läpi Euroopan elintarvikeviraston EFSA:n laaja turvallisuusarviointi (Lyyra, 2024, Ruokavirasto 2024b). Uuselintarvikeluvan saaminen EU:n markkinoille voi kestää useita vuosia ja hakuprosessin kustannukset ovat korkeita. Lupakäsittelyn pitkään keston vaikuttavat ainakin lisääntyneet vaatimukset, mm. avoimuusasetuksen soveltaminen myös uuselintarvikkeisiin, ja EFSA:n resurssipula (Lyyra 2024). Osittain EU:n uuselintarvikeluvan saamisen hitauden ja hankaluuden takia osa solumaatalousyrityksistä suuntaa tuotteensa ainakin alkuvaiheessa vientiin, esim. nopeamman lupamenettelyn Singaporeen tai Yhdysvaltoihin ja suunnittelee tuotannon rakentamista ulkomaille (Teerijoki 2024a, Teerijoki 2024b).

Muita haasteita ovat esimerkiksi valmistusteknologioiden keskeneräisyys, kehitysvaiheen tuotantokapasiteetin puute ja korkeat investointi- ja tuotantokustannukset, erityisesti suuri energiankulutus (Tuomisto 2022, Roitto ym. 2023). Yritykset tarvitsevat runsaasti rahoitusta jo pilotti- ja demonstraatiolaitosten rakentamiseen tuotannon mittakaavan kasvattamista varten. Näissä haasteissa voi auttaa tuotekehitysyhteistyö isompien elintarvikevalmistajien kanssa ja varsinkin alkuvaiheen tuotannon toteuttaminen sopimusvalmistajien kanssa (Niemi ym. 2022, Teerijoki 2024b).

Viime kädessä uusien soluproteiinituotteiden kaupallisen tulevaisuuden ratkaisee se, miten kuluttajat hyväksyvät vaihtoehtoisia proteiinituotteita. Vasta kun tuotteita saadaan markkinoille, niiden makuun pääsee tutustumaan ja hintaa arvioimaan, selviää kuluttajien halukkuus tuotteiden käyttöön (Rasmussen ym. 2024, Teerijoki 2024b).

Ympäristöllinen kestävyys

Monia solumaatalouden teknologioita vasta kehitetään, joten julkaistut soluproteiinien elinkaariarviointit sisältävät suuriakin epävarmuuksia. Tähän mennessä laskelmia varten on ollut saatavilla tietoa teollisen mittakaavan tuotantoprosesseista lähinnä yksisoluproteiinien valmistuksen osalta. Erityisesti laskelmat viljellyn lihan ympäristövaikutuksista perustuvat mallinuksiin, oletuksiin ja laboratoriomittakaavan tietoon (Tuomisto 2022, Roitto ym. 2023).

Solumaatalouden tuotteiden elinkaariarviointeja tarkasteltaessa selviää, että ympäristövaikutusten suuruus riippuu suurestikin tuotteista, niiden valmistusprosesseista ja tarkasteltavista ympäristövaikutusluokista. Lisäksi elinkaariarviointien tulosten vertailu on monesti

haasteellista, koska arvioinnissa on käytetty erilaisia menetelmiä, rajauksia sekä toiminnallisia yksiköitä (Smetana ym. 2023, Roitto ym. 2023, Tuomisto 2022).

Yleisesti ottaen monien soluproteiinien valmistus on hyvin energiaintensiivistä. Sekä tuotantoon tarvittavien raaka-aineiden prosessointi että proteiinituotanto bioreaktoreissa kuluttavat erityisesti sähköenergiaa. Siirtyminen kestävästi tuotetun energian käyttöön voi kuitenkin tulevaisuudessa selvästi vähentää soluproteiinien tuotannon energiankulutuksen ympäristövaikutuksia (Tuomisto 2022, Pohjolainen ym. 2023, El Wali ym. 2024).

Useimmiten soluproteiinien suurimmat ympäristölliset edut tulevan maankäytön vähenemisen seurauksena. Roiton ym. (2023) tekemän proteiiniskenaarion mukaan siirtyminen solumaatalouteen vähentäisi viljelymaan käyttöä 94–100 % riippuen soluproteiinituotteesta. Lisäksi tuotannosta vapautuneen viljelymaan uudet käyttötavat voivat vaikuttaa suuresti ympäristölliseen kokonaiskestävyyteen.

Elintarviketeollisuuden sekä maa- ja metsätalouden sivuvirtojen käyttö soluproteiinin tuotannon raaka-aineina voi alentaa tuotteiden negatiivisia ympäristövaikutuksia. Mahdollisesti saatavat hyödyt riippuvat kuitenkin mm. käytettävästä sivuvirtamateriaalista ja sen esikäsitteilyn energiankulutuksesta (Kobayashi ym. 2023, Roitto ym. 2023).

Yhteiskunnalliset vaikutukset

Solumaatalouden yhteiskunnallisia vaikutuksia on arvioitu viime vuosina julkaistuissa tutkimuksissa, joissa on keskitytty erityisesti viljelyn lihan mahdolliseen tuotantoon liittyviin sosiaalisiin, maaseudullisiin ja taloudellisiin muutoksiin verrattuna perinteiseen lihantuotantoon.

Kanadassa toteutetussa haastatteluihin ja ryhmäkeskusteluihin perustuvassa tutkimuksessa (Glaros ym. 2023) koottiin 52 teollisuuden, yliopistojen ja tutkimuslaitosten ja rahoituksen asiantuntijaa arvioimaan solumaatalouden tulevaisuutta ja sen vaikutuksia. Tutkijat johtivat eri näkökulmia edustavista tuloksista kolme ulottuvuutta, joiden avulla voidaan kuvata ja arvioida solumaatalouden teknologioiden konkreettisia tulevaisuuksia: 1) keskittämisen aste eli keskittetty vrs. hajautettu tuotanto, esim. suurten perinteisten proteiiniyritysten rooli, 2) saavutettavuus eli avoin vrs. suljettu järjestelmä, mm. tiedon, rahoituksen, infrastruktuurin ja IP-oikeuksien saavutettavuus ja omistajuus sekä 3) integroitumisen aste eli korvaava vrs. täydentävä järjestelmä, jossa jälkimmäisessä soluproteiinit täydentävät kasvi- ja eläinproteiinien tarjontaa (Glaros ym. 2023).

Räty ym. (2023) selvittivät laadullisella tutkimuksella 22:n suomalaisen kotieläintuottajan näkemyksiä solumaataloudesta ja heidän potentiaalisia roolejaan tulevaisuuden ruokajärjestelmässä. Solumaatalous oli haastateltaville uusi ja melko tuntematon käsite, mutta se herätti kiinnostusta. He näkivät solumaataloudessa sekä mahdollisuuksia että uhkakuvia. Mikäli solumaatalous on pelloista riippumaton tuotantotapa, se tulisi vaikuttamaan kielteisesti maaseutumaisemaan ja autioittamaan maaseutuja. Toisaalta solumaatalous voisi luoda uudenlaisia tuotantomahdollisuuksia ja yhteistyömalleja maaseudulle. Solumaatalous toisi ehkä kysyntää uusille raaka-aineille ja osa tuottajista voisi harkita siirtymistä niiden tuotantoon. Haastateltavat näkivät, että markkinoiden kysyntä ratkaisee kotieläintuottajien mahdollisen roolin solumaataloudessa.

Jatkossa tarvitaan Suomessakin lisää keskustelua yhdessä eri tieteenalojen, teollisuuden asiantuntijoiden ja poliittisten päättäjien kesken solumaatalouden mahdollisista

yhteiskunnallisista vaikutuksista tulevaisuudessa mm. maaseutu- ja maatalousnäkökulmista (Rao ym. 2023, Glaros ym. 2023, Smith ym. 2022, Rätty ym. 2023).

Solumaatalouden rooli proteiiniomavaraisuudessa

Solumaatalouden tulevaisuuden arviointi on vielä vaikeaa. Todennäköisesti solumaatalouden prosesseilla tuotetut proteiinivalmisteet tulevat olemaan osa tulevaisuuden ruokajärjestelmiä yhdessä kasvi- ja eläinperäisten tuotteiden kanssa. Uusia yksisoluproteiineja tulee varmaankin EU:ssa merkkinoille muutaman vuoden sisällä, kunhan tuotteet saavat uuselintarvikehyväksynnän. Viljellyn lihan korkeat tuotantokustannukset ja prosessien teolliseen mittakaavaan nostamiseen liittyvät suuret haasteet estänevät viljellyn lihan mittavaa kaupallistamista vielä pitkään.

Kuten yllä on esitetty, soluproteiinien tuotantoon myös Suomessa vaikuttavat mm. EU:n uuselintarvikelainsäädäntö, kuluttajien asenteet vaihtoehtoisia proteiinilähteitä ja erityisesti soluproteiinia kohtaan, tuotannon mittakaavan nostamisen ja tuotannon kannattavuuden haasteet sekä suomalaisten soluproteiineja valmistavien yritysten tuotantomaa- ja markkinasuunnitelmat. Näistä syistä Suomessa kotimaan markkinoille vuoteen 2040 mennessä tuotettavien mikrobiperäisten proteiinien ja viljellyn lihan tuotantomäärien arviointi sisältää suuria epävarmuuksia ja ko. tuotteiden todellinen rooli proteiiniomavaraisuuden nostamisessa selviää vasta myöhemmin.

4.4. Proteiinia kasvihuoneista - kasvihuonetuotannon mahdollisuudet ja haasteet

Osaaminen ja rahoitus

”Uusien ruoantuotantomenetelmien mahdollisuudet ja haasteet Suomessa” -selvitystyö (Niemi ym. 2022) tehtiin ”Ruokaa ilman peltoja” -hankkeessa, joka tutkii uusien solumaatalous- ja kasvintuotantoteknologioiden mahdollisuuksia osana Suomelle asetettujen hiilineutraalisuustavoitteiden saavuttamista. Raporttia varten kerättiin tietoa asiantuntija- ja sidosryhmätyöpajan kautta sekä verkkokyselyllä.

Kahdeksi tärkeimmäksi asiaksi sekä kasvintuotannossa että solumaataloudessa tunnistettiin rahoitus ja osaamisen kehittäminen. Uusille teknologioille tarvitaan rahoitusta sekä TKI-toimintaan että ratkaisujen kaupallistamiseen ja skaalaamiseen. Osaamisen kehittämiseen toivottiin mm. käytännöllisiä opetuksellisia hankkeita ja kokeiluja, testialustojen rakentamista sekä monialainen ja uudenvuorokoulutus.

Edelleen ”Uusien ruoantuotantomenetelmien mahdollisuudet ja haasteet Suomessa” -selvityksessä nousivat esiin tuki- ja elinkeinopolitiikan keinot liittyen kontrolloiduissa olosuhteissa tapahtuvaan tuotantoon kasvihuoneissa ja kerros- eli vertikaaliviljelyssä. Maatalouden tukien merkitys on keskeinen viljelijöiden tulonmuodostuksessa, mutta kasvihuonetuotanto on Suomessa hyvin pitkälle markkinaehtoista. Kasvihuonetuotantoonkin on mahdollista saada investointitukia mm. energiatehokkuutta parantavien toimien toteuttamiseksi. Seuraaville kasveille tai kasviryhmille saa pinta-alatukea tukialueesta ja viljelyjakson pituudesta riippuen 3,4–9,4 €/m²: tomaatti, kasvihuonekurkku, avomaankurkku, salaatti, lehtitilli, persilja, paprika, kiinan-kaali, leikkokukat, leikkovihreä, ryhmäkasvit sekä sisätiloihin tarkoitettut, ruukussa viljeltävät

koristekasvit (Ruokavirasto 2024a). Muille kasveille pinta-alatukea ei saa ollenkaan. Huomionarvoista on myös se, että voimassa olevan EU-lainsäädännön mukaan kerrosviljelyä ei pidetä luomukelpoisena viljelynä, mikä tältä osin rajaa näiden tuotantoympäristöjen mahdollisuuksia (Kuljanic 2022).

Uuselintarvikelainsäädäntö

EU:n uusielintarvikelainsäädäntö vaikuttaa voimakkaasti mm. uusien solumaatalouden tuotteiden saattamiseen markkinoille (kts. luku 4.3). Uuselintarvikelainsäädäntö voi kuitenkin rajoittaa eri kasvinosien käyttöä myös tunnettujen kasvien osalta. Turun yliopiston Brahea-keskuksen ja Luonnonvarakeskuksen toteuttamassa ”Voimaversot” -hankkeessa esitettiin Ruokavirastolle kuulemispyynnöt vehnän, auringonkukan, kauran sekä rukiin versojen uusielintarvikkeen aseman määrittämistä koskien. Ruokavirasto arvioi kuulemispyynnössä toimitettua aineistoa ja kuuli asiassa myös muita EU-jäsenmaita ja Euroopan komissiota. Toimitetun aineiston perusteella Ruokavirasto antoi lausunnot, joiden mukaan vehnän ja auringonkukan versot eivät ole uusielintarvikkeita, mutta kauran ja rukiin versot ovat.

Proteiinikasvit kasvihuoneissa

Tällä hetkellä varsinaisia proteiinikasveja ei tuoteta kasvihuoneissa, Suomessa on vain muutamien tuhannen neliön alalla tuorekäyttöön tarkoitettujen vihreiden papujen tuotantoa.

”Ruokaa ilman peltoja” -hankkeessa selvitettiin myös proteiinikasvien tuotantomahdollisuuksia kasvihuonekokeissa. Ensin määritettiin lupaavimmat lajit kokeisiin Luke Piikkiön kasvihuoneilla seitsemän potentiaalisen lajin joukosta: kvinoa (*Chenopodium quinoa*), soija (*Glycine max*), härkäpapu (*Vicia faba*), sinimailanen (*Medicago sativa*), linssi (*Lens culinaris*), keltaherne (*Pisum sativum*) ja sinilupiini (*Lupinus angustifolius*). Arvioitiin viljelyyn tarvittavaa aikaa, satopotentiaalia, kasvien kokoa, pölytysvaatimuksia, proteiinipitoisuutta, antinutrienttien koostumusta ja prosessoitavuutta ja kolme lupaavinta valittiin kasvatuskokeisiin: soija, keltaherne ja sinilupiini. Valittuja lajeja kasvatettiin kasvihuoneessa ja määritettiin niiden satopotentiaali ja ravintoarvo sekä energiantarve ympärivuotista tuotantoa ajatellen. Sinilupiinin kasvatus ei onnistunut hyvin, kasvit eivät tuleentuneet kunnolla. Soija ja keltaherne sen sijaan tuottivat hyvän sadon. Laskennallisesti satomäärä oli soijalla nelinkertainen ja keltaherneellä seitsemäntoistakertainen peltoviljelyyn verrattuna Suomessa. Tämän lisäksi uusi kasvusto ehdittäisiin kasvattaa neljä kertaa vuodessa. Taloudellisesti tuotanto on kuitenkin eri mittakaavassa peltoviljelyyn verrattuna, koska ympärivuotinen kasvihuonetuotanto kuluttaa enemmän energiaa.

Hankkeessa laskettiin, että jos korvattaisiin 10 % Suomessa käytetystä ravinnon eläinperäisestä proteiinista (noin 12 000 tonnia/vuosi) yhdistelmätehtaalla; soijantuotanto kasvihuoneessa, sivuvirrat (varret ja lehdet) solumaatalouden sokerilähteeksi, soijantuotantoa varten tarvittaisiin n. 470 ha kasvihuonepinta-alaa (vrt. vuonna 2023 Suomessa tuotantokasvihuoneita 345 ha, Luke Puutarhatilastot) ja solumaatalouden tarpeisiin kymmenen 300 kuutiometrin bioreaktoria.



Kasvihuone- ja kerrosviljelytuotannon näkymiä

Kasvihuonetuotanto on Suomessa maailman huipputasoa. Suomessa syötävistä kurkuista n. 90 % tuotetaan täällä, tomaateista n. 60 %. Kurkkusato on keskimäärin 90 kg/m², mutta huippusadot yli 250 kg/m² (Kauppapuutarhaliitto 2024).

Edellä kuvatuissa Luke Piikkiön kasvihuoneilla tehdyissä proteiinikasvikokeissa ei optimoitu kasvatustulosta esim. lajikevalinnoilla tai minimoitu valotukseen käytettävän sähkön kulu- tusta, joten tuotantoa olisi mahdollista tehostaa. Tuotantovarmuus on kontrolloitavissa olo- suhteissa paljon avomaantuotantoa suurempi. Tällä hetkellä soijan osalta olemme Suomessa täysin tuonnin varassa. Kasvihuoneessa tuotetun soijaproteiinin hiilijalanjäljen laskettiin ”Ruo- kaa ilman peltoja” hankkeessa myös olevan pienempi kuin vastaavan proteiinimäärän tuotta- minen broilerituotannossa.

Sähkön hintamarkkinoiden viimeaikaiset muutokset vievät kasvihuone- ja kerrosviljelytuotan- toa Suomessa nyt harppauksin eteenpäin ja erilaisia teknologisia ratkaisuja (mm. sähkökatti- lat) ja menetelmiä (häiriöreservimarkkinoille osallistuminen) otetaan laajasti käyttöön. Ympä- ristövaikutuslaskennat osoittavat, että ”jalanjalkia” on mahdollista pienentää teknologisten ratkaisujen, ml. hukkalämmön hyödyntämisen avulla (Joensuu ym. 2024).

”Uusien ruoantuotantomenetelmien mahdollisuudet ja haasteet Suomessa” -raportissa nos- tettiin esiin jatkuvatoiminen ja kannattava tuotanto, jonka turvaamiseksi tuotantolaitosten eri alueille sijoittumisen hyötyjä ja haittoja on selvitettävä. Erilaisten integraattien, kuten kasvin- tuotannon ja solumaatalousprosessien yhdistämisen potentiaalia on edelleen arvioitava ja ke- hitettävä. Lisäksi todellisen vaikuttavuuden varmistamiseksi on panostettava riippumatto- maan kannattavuus- ja ympäristövaikutuslaskentaan.

5. Tiekartta korkeampaan kasviproteiinituotantoon

5.1. Tiekartan laskelmat

Vuonna 2023 Suomen kasviproteiinituotanto oli 67 milj. kg, mikä vastasi 29 %:n osuutta suomalaisten proteiinin kokonaiskulutuksesta. Selvityksen laskelmien mukaan Suomen elintarvikekelpoinen kasviproteiinituotanto voi yltää korkeimmillaan 228 milj. kiloon vuonna 2040. Kasviproteiinin tuotantopotentiaali vuonna 2040 on näin ollen 98 % suomalaisten proteiinin kokonaiskulutuksesta olettaen, että kulutus ei muutu nykyisestä.

Valtava loikka kasviproteiinituotannossa suhteessa koko proteiinikulutukseen 29 %:sta 98 %:iin edellyttää lukuisten pullonkaulojen ratkaisemista. Selvityksen tulosten perusteella laadittiin tiekartta, joka sisältää edellytykset ja toimenpiteet kasviproteiiniomavaraisuuden nostamiseksi (Kuva 15). Osa edellytyksistä ja toimenpiteistä on luonteeltaan koko elintarvikesektoria koskevia, toiset konkretisoituvat elintarvikeketjun yksittäiseen osaan, kuten alkutuotantoon, teollisuuteen tai kauppaan. Osa toimenpiteistä on jatkuvaluonteisia, osa taas kertaluonteisia, joiden vaikutus kasviproteiiniomavaraisuuteen tapahtuu erimittaisella viiveellä.

Merkittävimpiä toimenpiteitä ovat proteiinikasvien täysimääräinen sisällyttäminen viljelykiertoihin, kasvinjalostuksella saatava satotasojen kasvu ja viljelyvarmuuden paraneminen, huomattavat TKI-investoinnit uudentyyppeihin kasviproteiinituotteisiin, jalostuskapasiteetin voimakas kasvattaminen teollisuudessa, ruokaketjun toimijoiden tiivis yhteistyö markkinoiden toimivuuden ja viennin edistämiseksi sekä yhteiskunnalliset päätökset alalla vaadittavan osaamisen varmistamiseksi ja vakaan toimintaympäristön luomiseksi.

Vain osa tuotantopotentiaalia vastaavasta kasviproteiinituotannosta on mahdollista myydä kotimaan markkinoille, sillä kulutustottumusten muutokset ovat hitaita. Kasviproteiiniomavaraisuuden kasvattaminen tapahtuukin suurelta osin viennin kautta: kasviproteiinituotteiden vienti kasvattaa Suomen kasviproteiiniomavaraisuutta yhtä paljon kuin kyseisten tuotteiden myynti ja kulutus kotimaassa.



Kuva 15. Tiekartta korkeampaan kasviproteiinituotantoon.

5.2. Näkökulmia tiekartan toimenpiteisiin ja muita huomioita

5.2.1. Kestävät viljelykäytännöt ja teknologinen harppaus

Laskelma potentiaalisesta kasviproteiinituotannosta vuonna 2040 lähtee liikkeelle tärkeimpien valkuaiskasvien viljelyalan kolminkertaistumisesta. Se edellyttää, että palkoviljoja ja öljykasveja viljellään kunkin kasvilajin viljelyyn soveltuvilla pelloilla riittävää kasvikohtaista viljelyväliä noudattaen, mutta viljelykierron sallimissa puitteissa maksimaalisesti. Tämä puolestaan edellyttää, että kyseisten kasvien viljeleminen on mahdollisimman satovarmaa, taloudellisesti kannattavaa ja viljelijöitä monipuoliseen kasvintuotantoon motivoivaa.

Tulevat ilmasto-olot ovat haastavia äärisäiden vuoksi. Kasvinjalostuksen on varauduttava satopotentiaalinsa lisäämisen ohella kasvien selviämiseen niin kuivissa kuin märissä oloissa, lämpenevässä ilmastossa ja tautipaineen lisääntyessä. Viljelykäytäntöjen tulee olla maan kasvukuntoa ja kestävyttä ylläpitäviä, mieluummin niitä parantavia.

Maatiloilla tulee varautua rankkasateisiin ja kuivuuskausiin peltojen kuivatuksen ja toisaalta kastelun varmistamiseksi. Nämä edellyttävät nykyistä selvästi suurempaa mahdollisuutta investointeihin, esimerkiksi salaojituksen tahdin moninkertaistamista nykyisestä. Myös toistuvat maanparannustoimet kuten kalkitseminen edellyttävät uskoa investoinnin kannattavuuteen. Osittain investoinnit kilpailevat keskenään, mikä pyrittiin ottamaan huomioon laskelmissa.

Tietotekniikan, älyteknologian ja robotiikan kehitys kiihtyy tulevien viidentoista vuoden aikana. Niiden tuottamat hyödyt tulisi saada palvelemaan viljelijä tehokkaasti esimerkiksi

kasvitautien, tuholaisten ja rikkakasvien torjunnassa sekä kasvien ravinnetarpeen tyydyttämisessä oikeaan aikaan oikeassa paikassa (täsmäviljely). Käyttöön otossa voi olla niin taloudellisia kuin uuden vastaanottamiseen liittyviä asenteellisia esteitä. Toisaalta myös perinteisemmän teknologian tehokasta hyödyntämistä tarvitaan.

Pullonkaulojen poistamiseksi tieto, oppiminen, viljelijöiden motivaatio ja erityisesti taloudelliset kannustimet ovat avainasemassa.

5.2.2. Kasvinjalostuksella tuottavuutta ja viljelyvarmuutta

Kasvinjalostuksen rooli toisaalta satopotentialin lisäämisessä ja toisaalta muuttuvan ilmaston aiheuttamiin ongelmiin varautumisessa on erittäin tärkeä. Genomivalinta mahdollistaa aiempaa nopeamman satokehityksen. Vielä tällä hetkellä sen täysimääräistä hyödyntämistä rajoittavat kuitenkin käytännön haasteet kasvihuonekasvatuksissa ja risteyttämisessä. Oletettavasti haasteita pystytään voittamaan tämän selvityksen tarkastelujakson kuluessa, ja ainakin kauran ja herneen satopotentialin kehitys kiihtyyne oletustemme mukaisesti.

Kasvinjalostuksen synnyttämää satokehitystä hidastaa monilla kasveilla se, että on jalostettava samanaikaisesti eri ominaisuuksia, jotka ovat usein negatiivisesti korreloituneita. Ilmastonmuutoksen aiheuttama kasvava vaihtelu sääoloissa lisää myös jalostuksen haasteita. Kun kasvinjalostus käyttää valintaindeksejä eri ominaisuuksien parantamiseen yhtä aikaa, se hillitsee vääjäämättä puhdasta satokehitystä.

5.2.3. Mittavat investoinnit arvoketjujen rakentamiseksi

Toimivan arvoketjun olennainen edellytys on pelloilla tuotetun proteiinin muuntaminen kuluttajille sopiviksi elintarvikkeiksi. Elintarviketeollisuus on siten kasviproteiinituotteiden arvoketjun avainlenkki. Kasviproteiinin tuotantopotentialin saavuttamiseksi on ratkaistava uuden arvoketjun rakentamisen pullonkaulat, jotka vaikeuttavat tärkeimpien raaka-aineiden, kuten palkokasvien, öljykasvien ja kauran jalostusta elintarvikkeiksi.

Palkokasvien arvoketjuun kuuluu herneen prosessointi perinteisiksi elintarvikkeiksi kuten hernekeitoksi tai pakasteherneeksi. Kotimaisen härkäpavun elintarvikekäyttö on pienimuotoista sisältäen lähinnä kuivat tuotteita. Varsinaisten kasviproteiinituotteiden, ns. lihankorvikkeiden, valmistukseen käytettävät proteiiniitivistet ostetaan ulkomailta, koska fraktiointikapasiteetti ja proteiiniitivistien tuotanto puuttuvat Suomesta. Tuotantokapasiteetin rakentaminen on ehdoton edellytys palkokasveihin pohjautuvalle kotimaiselle arvoketjulle. Noin 160 milj. kilon elintarvikekelpoisesta palkokasvimäärästä voi valmistaa proteiiniitivistettä märkä- tai kuivafraktioinnilla. Edellisestä saadaan isolaatteja ja jälkimmäisestä konsentraattia. Isolaattien etu on erittäin korkea, 80–85 %:n proteiinipitoisuus, mutta haittapuolena on se, että kansainvälisesti yksittäisen investoinnin kannattavana miniminä pidetään 120–150 milj. kilon raaka-aineen jalostuskapasiteetti. Kuivafraktioinnin tuotoksena syntyvän konsentraation proteiinipitoisuus on alhaisempi, n. 60 %, mutta kapasiteettia on mahdollista rakentaa pienempinä osina, mikä madaltaa investoinnin riskinotokynnystä (Jansik ym. 2024, s. 23).

Määrällisesti merkittävimmillä öljykasveilla rypsilä ja rapsilla on suurin kasvupotentiaali. Selvityksessä oletetaan, että vuonna 2024 näistä puristettu rouhe olisi kokonaan elintarvikeläätuista. Rypsi ja rapsirouhetta käytetään tällä hetkellä lähes yksinomaan rehun valmistukseen,

mutta elintarvikekäytön odotetaan lisääntyvän jo tulevina vuosina. Tämän mahdollistaa hiljattain saatu uuselintarvikelupa ja elinkeinon kiinnostus rapsirouheen hyödyntämiseen. Rouhetta markkinoidaan jo puolivalmisteena erilaisille elintarvikkeiden valmistajille, sillä rouhetta voidaan soveltaa laajalti valmisruokateollisuudesta leipomoteollisuuteen. Ruokakäytön volyymitason nousua voidaan odottaa kuitenkin kasviproteiinituotteiden yhtenä pääasiallisena ainesosana. Tämä edellyttää vahvaa TKI-toimintaa, sekä toimivia kaupallisia suhteita isoihin lopputuotevalmistajiin tai oman kasviproteiinituotevalmistuksen mittakaavan nostamista.

Toiseen, tuotantomäärältään pienempään öljykasviin, öljyhamppuun liittyy myös merkittävä potentiaali. Sen viljely on laajentunut 2–3 viime vuoden aikana vauhdilla, ja siitä valmistetaan jo nyt erilaisia elintarvikkeita. Näistä monet ovat vasta pilottivaiheessa, mutta osa on jo lopputuotteina kuluttajien saatavilla. Hampun siemenestä saatua rouhetta on myös mahdollista käyttää lukuisten eri elintarvikkeiden ainesosina. Hampun siemen on mukana luvun 3 laskelmissa erikoiskasvien joukossa.

Kaura on monipuolinen viljakasvi, josta jo tälläkin hetkellä valmistetaan monia erilaisia tuotesovelluksia, ja joissa on paljon myös kasvumahdollisuuksia (Jansik ym. 2024, s. 41). Kauran puolivalmisteita ovat hiutale ja jauho. Perinteisten kaurapohjaisten tuotteiden, kuten puuron, myslin ja granolan, myslipatukoiden ja keksien kulutuksen ei sinänsä odoteta Suomessa suuresti kasvavan, vaan kasvupotentiaali perustuu tuontituotteiden korvaamiseen kotimaisilla vaihtoehdoilla. Tämä parantaisi kasviproteiinin omavaraisuusastetta, koska kyseisten tuotteiden tuontiaaste on korkea. Lisäksi jogurtin ja juuston kasvipohjaisissa vaihtoehdoissa kuten kaurajuomissa ja juustokorvikkeissa on paljon kasvupotentiaalia tulevina vuosina. Kotimaisesta viljasta valmistetuilla aterialisukkeilla on lisäksi mahdollista korvata tuontiriisiä. Kauraa käytetään myös suoraan kasviproteiinituotteiden valmistukseen. Eri tuoteryhmien kehittäminen ja tuotannon lisääminen vaatii alan yrityksiltä panostuksia niin valmistuskapasiteettiin kuin myyntiin ja markkinointiin sekä TKI-toimintaan.

Tällä hetkellä kasviproteiinituotteita valmistaa Suomessa jo kymmenkunta yritystä. Tämän yritysjoukon laajentaminen ja toiminnan vahvistaminen on myös perusedellytys kasviproteiinituotteiden arvoketjun rakentamiselle. Palko- ja öljykasvien sekä kauran puolivalmisteista on saatava kuluttajille houkuttelevia lopputuotteita, mikä vaatii paljon tutkimusta ja kehitystä sekä investointeja. Toimialan laajentamiseen tarvitaan myös jatkuvasti start-up yrityksiä, jotka uusien ideoiden ja innovaatioiden myötä luovat pohjaa kasvulle.

5.2.4. Vaikuttavaa TKI-toimintaa

Lähes kokonaan uuden arvoketjun luominen vaatii huomattavan intensiivistä TKI-toimintaa. Alalla toimivilla yrityksillä on erilaiset taloudelliset mahdollisuudet panostaa TKI-toimintaan. Se, mikä onnistuu isoilla yrityksillä, voi vaatia startup- ja mikroyrityksillä tukitoimia.

Merkittävimpien viljelykasvien prosessoinnista on kertynyt kansainvälistä kokemusta, jonka pohjalta voidaan ponnistaa uusiin sovelluksiin. Luvussa 3 on esitelty potentiaalisimmat erikoiskasvit, joista vastaavaa tutkimusta ei löydy. Tämä on haaste, mutta toisaalta myös menestymisen mahdollisuus. Yrityksen kokoluokasta ja proteiinikasvista riippumatta jatkuva TKI-

toiminta on perusvaatimus kasviproteiinituotteiden arvoketjun kasvuille. Samalla on hyvä pohdittua, voiko julkisia resursseja valjastaa toiminnan edistämiseksi ja millaisin järjestelyin.

5.2.5. Osaajia ja yhteistyötä kaupallistamiseen

Edellä luetellut toimenpiteet, jalostuskapasiteetin nostaminen sekä TKI-toiminta, vaativat yrityksiltä huomattavia taloudellisia resursseja, riskinottoa ja sitoutumista pitkäaikaisiin tavoitteisiin.

Tuotteiden markkinoille saattaminen edellyttää lisäksi myynti-, markkinointi- ja brändäystyötä. Uusille tuotteille on löydettävä kysyntää ja niiden tunnettavuutta on lisättävä, mikä vaatii ennen kaikkea osaavaa henkilöstöä. Kotimaan kuluttajille suunnatusta brändäyksestä on paljon kokemusta ja osaamista. Sen sijaan useissa aikaisemmissa selvityksissä on tunnistettu myynti- ja markkinointiosaamisen puutteita tai riittämätöntä resurssointia kansainvälisessä kaupassa. Kasviproteiinituotteiden valmistajat kilpailevat muiden elintarvikeyritysten kanssa erityisesti parhaista vientiosaajista.

Tuotannon mittakaavan kasvattaminen on välttämätöntä yksikkökustannusten alentamiseksi. Yksi suurimmista kasvun esteistä on tällä hetkellä kasviproteiinituotteiden korkea hintataso eläinproteiinituotteisiin verrattuna. Korkeat kuluttajahinnat hidastavat kulutuksen kasvua, ja rajoittavat valikoiman kehitystä. Hidas kasvu kotimaassa taas rajoittaa mittakaavaetujen hyödyntämistä. Tämän kehän murtamiseksi vienti näyttää olevan toimivin ratkaisu.

Vientimarkkinoilla on kuitenkin haasteensa kauppakumppanuussuhteiden perustamisen sekä myynti-, markkinointi- ja brändäystyön lisäksi. Monet kasviproteiinituotteet vaativat lämpösäädelyä logistiikkaa, ja niillä on tällä hetkellä rajalliset säilyvyysajat. Nykyisillä logistiikkamahdollisuuksilla ja säilyvyysajoilla viennin säde ylittää Baltian maista Benelux-maihin ulottuvaan alueeseen. Etenkin säilyvyysaikojen pidentäminen laajentaisi myös maantieteellisiä mahdollisuuksia viennin kasvuille. Rajoitteet koskevat erityisesti lopputuotteita. Puolivalmisteita on mahdollista viedä kauemmas, mutta niillä on lähtökohtaisesti matalammat katteet ja viennin kannattavuus heikkenee logistiikkakulujen noustessa.

5.2.6. Tilastojärjestelmät ajan tasalle

Kasviperäisen ruoan tarjonta on monipuolistunut koko maailmassa. Etenkin viimeisten vuosien aikana yritysten lukumäärä, kasvipohjaisten ruokasovellusten ja innovaatioiden määrät sekä kauppajien valikoimat ovat kasvaneet vauhdikkaasti. Ilmiö on synnyttänyt uusia arvoketjuja useissa maissa. Tilastojärjestelmissä tätä uutta ja kasvavaa liiketoimintaa ei ole huomioitu ja niiden päivittäminen on olennainen edellytys kasviperäisten elintarvikkeiden tuotannon ja kulutuksen seurannalle.

Tilastojärjestelmät on saatava ajan tasalle kansainvälisesti, kiireellisimpänä on elintarviketeollisuuden toimialaluokitusten täydentäminen uusilla toimialoilla sekä ulkomaankaupan HS- ja vastaavasti Euroopan tasolla CN-nimikkeistön päivittäminen. Useimmat uusista tuotteista tarjoavat kasvipohjaisen vaihtoehdon tunnettujen eläinpohjaisten tuotteiden kuten lihan, kalan ja maidon sekä näistä jalostettujen tuotteiden kuten leikkeiden, makkaroiden, jogurtin tai juuston tilalle. Toimialaluokituksessa sekä ulkomaankauppatilastoissa tarvitaan kaikille näille kasviperäisille tuotteille selkeät luokat. Muutokset täytyy aloittaa kansainvälisellä tasolla,

koska maailmanlaajuisten tilastointistandardien yhtenä tehtävänä on mahdollistaa eri maiden ja alueiden välistä vertailua ja seuranta.

Ulkomaankaupan yksi merkittävä pullonkaula on eri raaka-aine-erien käyttötarkoitus ruoaksi tai rehuksi. Esimerkiksi viljan, palkokasvien ja öljykasvien CN-nimikkeistä ei selviä käyttötarkoitus. Tiedon lisäämiseksi tarvittaisiin ostajan ilmoittama käyttötarkoitus, mikä voi olla hankalaa tai mahdotonta, jos kyse on välittäjästä, tai jos tarkkaa käyttötarkoitusta ei ostettaessa vielä tiedetä.

Suomen tilastojärjestelmään tulisi soveltaa kansainvälisesti päätetyt luokitusten päivitykset mahdollisimman nopealla aikataululla. Tilastojärjestelmässämme on kuitenkin myös aineistoja, joiden perustaminen, kehittäminen ja säilyttäminen kuuluu kansalliseen päätösvaltaan. Tällaisia on palkokasvien, etenkin härkäpavun sekä soijan ruokakäytön tilastointi. Lisäksi tarvittaisiin tilastoja öljykasvien ruokakäytöstä.

On myös tärkeää varmistaa Suomen ruoantuotannon ja kulutuksen kannalta avainasemassa olevien tilastoaineistojen jatkuvuus. Suomen proteiinituotannon ja -kulutuksen sekä proteiinimavaraisuuden laskeminen tuoteryhmittäin ei olisi ollut tässä selvityksessä mahdollista ilman Ravintotasetta. Pystyäksemme seuraamaan eri tuoteryhmien proteiinin tuotannon ja kulutuksen kehitystä, on välttämätöntä, että Ravintotase-tietokanta on jatkossakin saatavilla.

5.2.7. Kuluttajien asenne ratkaisee

Helsingin yliopiston ravitsemustieteilijät toteuttivat ScenoProt-hankkeessa vuosina 2016–2017 kliinisen interventiotutkimuksen (Päivärinta ym. 2020), jonka tavoitteena oli saada tietoa, miten siirtyminen eläinproteiinipainotteisesta kasviproteiinipainotteiseen ruokavalioon vaikuttaa ravintoaineiden saantiin, ravitsemustilaan, suoliston terveyteen sekä paksusuolisyövän ja tyypin 2 diabeteksen riskitekijöihin. Interventio kesti kolme kuukautta ja mukana oli 136 tervettä, työikäistä tutkittavaa noudattaen yhtä kolmesta tutkimusruokavaliosta: 1) 70 % eläinperäistä ja 30 % kasviperäistä proteiinia, 2) 50 % eläin- ja 50 % kasviperäistä proteiinia ja 3) 30 % eläin- ja 70 % kasviperäistä proteiinia.

Intervention tulokset osoittavat, että eläinperäisten proteiinin lähteiden osittainen korvaaminen kasviperäisillä johtaa ruokavalion rasvojen laadun paranemiseen ja kuidun saannin lisääntymiseen ruokavaliossa (Päivärinta ym. 2020). Nämä muutokset heijastuvat mm. pienentyneenä veren kokonaiskolesterolipitoisuutena ja myönteisinä vaikutuksina suoliston terveyteen. Toisaalta B12-vitamiinin ja jodin saanti ruokavaliosta selkeästi vähenee, joten niiden riittävään saantiin tulee kiinnittää erityistä huomiota siirryttäessä kohden kasvispainotteisempaa ruokavaliota (Pellinen ym. 2022). Kaikkein kasviproteiiniperäisin ruokavalio ei myöskään ole luustoterveyden kannalta optimaalisin, sillä se lisäsi luuston hajoamisen ja muodostumisen merkkiaineiden pitoisuuksia, mikä voi merkitä suurempaa alttiutta esim. murtumille (Itkonen ym. 2021).

ScenoProt-hankkeen ilmastovaikutusarvioinnin mukaan ruokavaliossa, jossa proteiinista puolet oli kasviperäistä ja puolet eläinperäistä (50:50), ilmastovaikutus on keskimäärin noin 20 % pienempi kuin 70:30-ruokavaliossa, jossa proteiinia saadaan enemmän eläinkunnasta. Interventioryhmien sisäiset erot ilmastovaikutuksissa olivat suuret, mutta erot ryhmien välillä olivat selkeät. Interventioruokavalioiden tarkastelu vahvisti aiempia tuloksia, jotka on saatu mallinnetuista ruokavalioidista. Erityisesti lihan korvaaminen kasviproteiinilla pienentää ruokavalion ilmastovaikutusta.

Terveyshakuisuus- eli GHI-asennemittarin tulokset osoittivat, että interventio vaikutti tutkittavien asenteisiin ruoan terveellisyyttä kohtaan ja muutoksia voidaan pitää pysyvinä, sillä vielä kahden vuoden seurannan jälkeen tulokset olivat korkeampia kuin ennen interventiota (Rautio 2021). Suurin osa seurantakyselyyn vastanneista koki, että interventioon osallistumisella oli ollut vaikutuksia etenkin ruoan valitsemiseen kaupassa, kasvisten syömiseen ja ruokailutottumuksiin.

HealthFerm-hankkeen yhteydessä kysyttiin eurooppalaisten kuluttajien näkemyksiä eri ruokavalioiden (Perez-Cueto ym. 2024). Yleinen trendi näyttää olevan, että lihan kulutus on hieman vähenemään päin. Tosin suomalaista vain 6 % identifioitui tässä kyselyssä fleksaajiksi eli henkilöiksi, jotka syövät lihaa vain satunnaisesti. Knaapila ym. (2022) mukaan milenniaalien asenteet eivät läheskään aina ole joko/tai lihan ja kasvipohjaisten proteiinituotteiden välillä, vaan kuluttajista löytyy segmentti, joilla on positiivinen asenne molempiin vaihtoehtoihin. 11 % tutkimukseen osallistuvista käytti kasviproteiinituotteita päivittäin ja 45,5 % viikoittain.

Eurooppalaisessa kyselyssä muille kuin kasvissyöjille ja vegaaneille maku oli tärkein syy ruokavaliioon (Perez-Cueto ym. 2024). Kasvissyöjät ja vegaanit pitivät eläinten hyvinvointia tärkeimpänä. Terveysasiat olivat kyselyn tulosten mukaan tärkein ajuri ruokavaliion muutokseen. ScenoProt interventiossa maku ja helppokäyttöisyys olivat tärkeimpiä kriteereitä sille, pidettiinkö jostain tuotteesta (Pellinen ym. 2024). Tulokset tukivat ajatusta, että vähittäinen siirtyminen eläinperäisistä proteiineista kasvipohjaisten proteiinien kulutukseen on käytännössä mahdollista.

Myös ScenoProt-hankkeessa tehdyissä kuluttajakyselyissä (Åström 2020, Makery 2018) nousee esiin, että kuluttajilla on vahva aikomus lisätä ruokavaliionsa kasviksia sekä vähentää lihan käyttöä. Tuloksista ilmeni, että kasvisruoka kuitenkin kiinnostaa selvästi vähemmän nuoria miehiä kuin naisia. Aikomuksesta huolimatta vain pieni osa kuluttajista on muuttanut ruokavaliotaan merkittävästi. Kallis hinta ja tuotteiden vieraus ovat merkittävimmät esteet kasviproteiinituotteiden käytölle. Käyttövalmiiden ja helppokäyttöisten tuotteiden nykyistä alempi hinta lisäisi varmimmin kasviproteiinipohjaisten tuotteiden käyttöä.

Vaikka tämän selvityksen laskelmat osoittavat, että suomalaisten proteiinitarve voitaisiin kokonaan kattaa kotimaisella kasviproteiinilla, on edellä mainittujen kuluttajatutkimusten perusteella ilmeistä, että väestötasolla siirtyminen kokonaan kasvipohjaiseen proteiiniin ei tule tapahtumaan vuoteen 2040 mennessä. Korvaamalla punaista lihaa ja lihavalmisteita kasvipohjaisilla proteiinin lähteillä voidaan vähentää sekä sairastumista kroonisiin tauteihin että hillitä ympäristövaikutuksia (Blomhof ym. 2023), mutta käyttämällä jonkin verran eläinkunnan tuotteita kasviproteiinilähteiden rinnalla voidaan helpommin saada riittävästi välttämättömiä aminohappoja, sinkkiä, tehokkaasti imeytyvää hemirautaa ja B12-vitamiinia (Pellinen ym. 2022). Kuluttajien asenteet kasvipohjaisia proteiinilähteitä kohtaan ovat muuttumassa myönteisiksi, mutta käyttäytymisen muutos on hidasta. Väestön ikääntyminen ja kasvavien ikäpolvien ruokailutottumukset sekä tarpeet vaikuttavat omalta osaltaan muutosta hidastavina tekijöinä.

Vegaanin proteiinilähteet

Arviolta noin 1 % suomalaisista noudattaa vegaanista ruokavaliota (Jallinoja ym. 2019). Valtion ravitsemusneuvottelukunta on laatinut erikseen vegaanien ruokavaliosuositukset (<https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/terveytta-edistava-ruokavalio/ravitsemus--ja-ruokasuositukset/vegaaninen-ruokavalio/>). Vegaanin lautasmalli koostuu juures-, peruna- tai viljalisäkkeestä, tuoreista ja kypsennetyistä kasviksista sekä kasviproteiinin lähteestä. Kolmannes lautasesta on proteiinipitoista kasvikunnan tuotetta, kuten papuja, soijaa tai täysjyväviljaa eri muodoissa. Pähkinöistä ja siemenistä saadaan myös proteiinia. Elorinne ym. (2016) tutkimuksessa suomalaisten vegaanien ruokavalio sisälsi proteiinipitoisista ruoka-aineista sekasyöjiä enemmän täysjyväviljoja, palkokasveja, tofua ja soijaa sekä sieniä. Vegaaninen ruokavalio on mahdollista koostaa kokonaan suomalaisista elintarvikkeista, mutta vegaaniliiton (vegaaniliitto.fi) mukaan täysin fennovegaaneja kuluttajia ei ole käytännössä lainkaan.



5.3. Loppusanat tiekartasta ja tulevista tutkimustarpeista

Kasviproteiinituotannon tiekarttaan on koottu tuotannon nostamisen edellytyksiä ja toimenpide-ehdotuksia. Tiekartan lähtö- ja lopputasoa ilmaisevat luvut, 29 % vuonna 2023 ja 98 % vuonna 2040, havainnollistavat kasviproteiinituotannon enimmäiskasvua suhteuttamalla tulevaisuuden tuotantopotentiaali suomalaisten proteiinin kokonaiskulutukseen vuonna 2023. Ne eivät vastaa täydellisesti omavaraisuusasteen laskentakaavaa. Tämä johtuu siitä, että saatavilla ei ole luotettavia, markkina- ja kulutustietojen pohjalta laskettuja ennusteita suomalaisten kuluttamasta kasviproteiinin ja eläinproteiinin määrästä vuonna 2040.

Kirjallisuudessa on esitetty lukuisia eri skenaarioita kasvi- ja eläinperäisten tuotteiden kulutusosuuksista tulevaisuudessa ja tarkasteltu näitä yhdistelmiä lähinnä ympäristövaikutusten näkökulmasta. Ne sisältävät eri tasoisia tuoteryhmäkohtaisia tarkasteluja, mutta jäävät teoreettiseksi kehikseksi ilman taloudellisten edellytysten, markkinakehityksen, väestön rakenteen muutoksiin ja kuluttajien valintoihin vaikuttavien tekijöiden tuomaa realismia. Kulutusrakenteen muutosnopeuden tarkasteluun on suuri tarve edellä mainittujen tekijöiden näkökulmasta joko mallinnusta, joustoja tai markkinakehitystä muilla tavoin ennustavia menetelmiä käyttäen. Nykyisen selvityksen raamit eivät mahdollistaneet kulutusrakenteen ennusteita, mikä jää siis tulevaisuuden tutkimustarpeeksi.

Kasviproteiinituotantomme kasvu toisi vastauksen ruokajärjestelmämme useampaan haasteeseen.

- (1) Proteiinikasvien tuotannon kasvun odotetaan vaikuttavan positiivisesti peltokasvi- viljelyn kannattavuuteen ja viljelyedellytyksiin monin eri tavoin. Viljelyalan painopisteen siirtäminen palko- ja öljykasveihin vähentäisi viljan ylitarjontaa ja eheyttäisi viljamarkkinoita. Peltokasvitilojen viljelemän portfolion laajentaminen vähentäisi riippuvuutta yksittäisistä kasveista ja hajauttaisi tilojen kohtaamia hinta- ja markkinariskiä. Monipuolisempi viljelykierto toisi taloudellista etua kasvitautien katkaisun ja korkeampien satojen muodossa. Proteiinikasvien lisääminen mahdollistaisi myös viljelytekniikan monipuolista soveltamista, maan kasvukunnon parantamista sekä nostaisi monimuotoisuutta.
- (2) Tulevina vuosina kasvavaa kasviproteiininkulutusta olisi mahdollista tyydyttää enenevässä määrin kotimaisilla tuotteilla. Yleisellä tasolla ruoan ja tarkemmalla tasolla ruokaproteiinin omavaraisuuden nostaminen onnistuisi juuri sitä osaa vahvistamalla, joka on tällä hetkellä omavaraisuuden heikompi lenkki.
- (3) Elintarvikkeiksi kelpaamattomien öljy- ja palkokasvi-, sekä viljaerien hyödyntäminen olisi edelleen luontevinta kotieläintuotannossa. Proteiinikasvien tuotannon merkittävä lisäys nostaisi myös täydennysvalkuaisrehun kotimaista tarjontaa ja lieventäisi kotieläinsektorin tuontiriippuvuutta sen kriittisimmän tuotantopanoksen osalta samalla parantaen sen ympäristövaikutuksia ja kestävyyttä kansainvälisessä vertailussa.
- (4) Proteiinikasvien tuotannon kasvu voi parhaimmillaan nostaa ruoan proteiiniomavaraisuuden yli 100 %:n. Se parantaisi myös kasvi- ja eläinperäisen ruoan ja tuotantopanosten huoltovarmuutta. Ruoan huoltovarmuuden parantaminen pidetään keskeisenä viime vuosina muuttuneessa geopoliittisessa ja turvallisuustilanteessa.

- (5) Proteiinikasvien tuotannon kasvu myös aikaansaisi koko elintarvikesektorimme kauan kaivattua kasvua. Kasviproteiinituotteiden uuden arvoketjun lisäksi se epäsuorasti loisi pohjaa muiden arvoketjujen kasvulle. Kotimaisesta kulutuksesta vapautuvia kotieläintuotteita olisi mahdollista viedä pitkälle jalostettuna maailmanmarkkinoille.

Tulevina vuosina elintarvikesektorin kehitykseen kätkeytyy kansainvälisen tason haasteita. EU:n laajeneminen ja resurssien riittämättömyys tulevat haastamaan maatalouspolitiikan liikumavaraa. Paineet tukien leikkaamiseen tulevat kasvamaan ja elintarvikesektorin kehittämisen avaimet siirtyvät enenevässä määrin markkinoille. Maatalouden ja koko elintarvikesektorin kannattavuutta lisää alan markkinaehtoinen ja kasvuhakuinen kehittäminen. Suomen elintarvikesektorilta odotetaan kasvua, jolla se myös biotalouden olennaisena osana vaikuttaisi Suomen kansantalouden kasvuun. Kerrannaisvaikutukset voisivat taas synnyttää lisää kasvua. Kasviproteiinituotannon lisäämisen myönteiset vaikutukset voisivat näin ulottua omaa toimialaansa huomattavasti laajemmalle.

Viitteet

- Aaltonen, M. 2023. Etäluettavat ansat. Julkaisussa: Jalli, H., Saarinen, J. & Nysand, M. (toim.) 2023. Herneen viljelyopas: HUKKA-hanke. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 20–24.
- Alakukku, L. & Peltonen-Sainio, P. 2014. Peltoviljelyn vesitalouden hallinnan käytännön toimet energian ja ravinteiden käytön tehostamiseksi ilmaston muuttuessa: VEHMAS 2011-2014. loppuraportti. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014110646090>
- Angenent, S.C., Schuttinga, J.H., van Efferen, M.F.H., Kuizenga, B., Van Bree, B., van der Krieken, R.O., Verhoeven, T.J. & Wijffels, R.H. 2022. Hydrogen oxidizing bacteria as novel protein source for human consumption: an overview. *The Open Microbiology Journal* 16: 1–14. <http://dx.doi.org/10.2174/18742858-v16-e2207270>
- Ariëns, R.M.C., Bastiaan-Net, S., van de Berg-Somhorst, D.B.P.M., El Bachrioui, K., Boudewijn, A., van den Dool, R.T.M., de Jong, G.A.H., Wichers, H.J. & Mes, J.J. 2021. Comparing nutritional and digestibility aspects of sustainable proteins using the INFOGEST digestion protocol. *Journal of Functional Foods* 87: 104748. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104748>
- Blomhoff, R., Andersen, R., Arnesen, E.K., Christensen, J.J., Eneroth, H., Erkkola, M., Gudaviciene, I., Halldorsson, T.I., Høyer-Lund, A., Lemming, E.W., Meltzer, H.M., Pitsi, T., Schwab, U., Siksnà, I., Thorsdottir, I. & Trolle, E. 2023. Nordic Nutrition Recommendations 2023. Nordic Council of Ministers. Copenhagen. 374 s. [Nordic Nutrition Recommendations 2023 \(norden.org\)](https://norden.org)
- Derbyshire, E.J. & Delange, J. 2021. Fungal protein – what is it and what is the health evidence? A systematic review focusing on mycoprotein. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5: 581682. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.581682>
- Edwards, D.G. & Cummings, J.H. 2010. The protein quality of mycoprotein. *Proceedings of the Nutrition Society* 69 (OCE4): E331. <https://doi.org/10.1017/S0029665110001400>
- El Wali, M., Golroudbary, S.R., Kraslawski, A. & Tuomisto, H.L. 2024. Transition to cellular agriculture reduces agriculture land use and greenhouse gas emissions but increases demand for critical materials. *Communications Earth & Environment* 5: 61. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01227-8>
- Elonen, P. 1971. Kevätviljojen sadetus. *Vakolan tiedote* 15/71, s. 9–11.
- Elonen, P. 1972. Sadetuksen ja typpilannoituksen vaikutus kevätvehnän valkuaisen laatuun. Koetoiminta ja käytäntö 1972 N:o 1, s. 2 ja 4.
- Elorinne, A.L., Alfthan, G., Erlund, I., Kivimäki, H., Paju, A., Salminen, I., Turpeinen, U., Voutilainen, S. & Laakso, J. 2016. Food and Nutrient Intake and Nutritional Status of Finnish Vegans and Non-Vegetarians. *PLoS One*: 11(2): e0148235. doi: 10.1371/journal.pone.0148235.

- Elsgaard, I., Børgesen, C.D., Olesen, J.E., Siebert, S., Ewert, F., Peltonen-Sainio, P., Rötter, R. & Skjelvåg, A. 2012. Shifts in comparative advantages for maize, oat and wheat cropping under climate change in Europe. *Food Additives & Contaminants. Part A* 29,1514–1526. <http://dx.doi.org/10.1080/19440049.2012.700953>.
- Ercili-Cura, D., Häkämies, A., Sinisalo, L., Vainikka, P. & Pitkänen, J.-P. 2020. Food out of thin air. *Food Science and Technology* 34(2): 44–48.
- Eurofins Agro 2024. Viljavuustilastot. <https://tulosaari.fi>. Viitattu 4.7.2024.
- Everwand, G., Cass, S., Dauber, J., Williams, M. & Stout, J. 2017. Legume crops and biodiversity. In: *Legumes in cropping systems*. pp. 55–69. <https://doi.org/10.1079/9781780644981.0055>
- FAO 2013. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO expert consultation. *Food and Nutrition Paper* 92: 1–66. <https://www.fao.org/ag/humannutrition/35978-02317b979a686a57aa4593304ffc17f06.pdf>
- FiBL 2024. In 2022, more than 10 percent of the European Union’s farmland was organic. Media release February 13, 2024. Research Institute of Organic Agriculture FiBL. <https://www.fibl.org/en/info-centre/news/2022-more-than-10-percent-eu-farmland-organic>. Viitattu 2.7.2024.
- Finnigan, T.J.A., Wall, B.T., Wilde, P.J., Stephens, F.B., Taylor, S.L. & Freedman, M.R. 2019. Mycoprotein: the future of nutritious nonmeat protein, a symposium review. *Current Developments in Nutrition* 3: nzz021.
- Furey, G.N. & Tilman, D. 2021. Plant biodiversity and the regeneration of soil fertility. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 118(49). <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.2111321118>
- Gaba, S., Lescourret, F., Boudsocq, S., Enjalbert, J., Hinsinger, P., Journet, E.-P., Navas, M.-L., Wery, J., Louarn, G., Malézieux, E., Pelzer, E., Prudent, M. & Ozier-Lafontaine, H. 2015. Multiple cropping systems as drivers for providing multiple ecosystem services: from concepts to design. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 607–623. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0272-z>
- Geirsdóttir, Ó.G. & Pajari, A.-M. 2023. Protein - a scoping review for Nordic Nutrition Recommendations 2023. *Food and Nutrition Research* 67: 10261. <http://dx.doi.org/10.29219/fnr.v67.10261>
- Glaros, A., Newell, R., Fraser, E. & Newman, L.L. 2023. Socio-economic futures for cellular agriculture: the development of a novel framework. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 7: 970369. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.970369>
- Haataja, K. 2000. Säätosalaajituksen ja salaajakastelun kustannukset ja hyödyt. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos, selvityksiä 5/2000. MTTL, Helsinki. 33 s. <https://salaajayh-distys.fi/wp-content/uploads/2016/05/25-2000.pdf>

- Hartikainen, H., Timonen, K., Jokinen, S., Korhonen, V., Katajajuuri, J.-M. & Silvennoinen, K. 2013. Ruokahävikki ja pakkausvalinnat kotitalouksissa – Kuluttajan matkassa kaupasta kotiin. ECOPAF 2011–2013 -hankkeen loppuraportti. MTT Raportti 106. 43 s.
<http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti106.pdf>
- Herreman, L., Nommensen, P., Pennings B. & Laus, M.C. 2020. Comprehensive overview of the quality of plant- and animal-sourced proteins based on the digestible indispensable amino acid score. *Food Science & Nutrition* 8: 5379–5391.
<https://doi.org/10.1002/fsn8.1809>
- Himanen, S., Känkänen, H. & Iivonen, S. 2023. Sekaviljely luonnonmukaisessa tuotannossa. Luke Tietokortti. 4 s.
- Hossain, S., Bergkvist, G., Berglund, K., Mårtensson, A. & Persson, P. 2012. Aphanomyces pea root rot disease and control with special reference to impact of Brassicaceae cover crops, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 62(6): 477–487. DOI: 10.1080/09064710.2012.668218
- Huusela, Erja. 2023. Herneen tuhoeläimet. Julkaisussa: Jalli, H., Saarinen, J. & Nysand, M. (toim.) 2023. Herneen viljelyopas : HUKKA-hanke. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 24–28.
- Hyyppölä, P., & Jääskö, L. 2022. Sienimöyrytyksen liiketoimintasuunnitelma. Haaga-Helia ammattikorkeakoulu Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/-784544/hyypola_jaasko.pdf
- IPCC 2013. Summary for policymakers. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P.M. (Eds.). *Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge (28 p).
- Itkonen, S., Päivärinta, E., Pellinen, T., Viitakangas, H., Risteli, J., Erkkola, M., Lamberg-Allardt, C. & Pajari, A.M. 2021. Partial Replacement of Animal Proteins with Plant Proteins for 12 Weeks Accelerates Bone Turnover Among Healthy Adults: A Randomized Clinical Trial. *The Journal of Nutrition*, nxaa264. DOI: 10.1093/jn/nxaa264
- Jach, M.E., Serefko, A., Ziaja, M. & Kieliszek, M. 2022. Yeast protein as an easily accessible food source. *Metabolites* 12: 63. <https://doi.org/10.3390/metabo12010063>
- Jalli, H., Saarinen, J. & Nysand, M. (toim.) 2023a. Herneen viljelyopas: HUKKA-hanke. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 51 s.
- Jalli, H., Saarinen, J. & Nysand, M. (toim.) 2023b. Härkäpavun viljelyopas: Hukka-hanke. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 42/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 44 s.
- Jalli, M. 2023. Herneen kasvitaudit. Julkaisussa: Jalli, H., Saarinen, J. & Nysand, M. (toim.) 2023. Herneen viljelyopas : HUKKA-hanke. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 29–30.
- Jallinoja, P., Jauho, M. & Pöyry, E. 2019. Miten Suomi Söi 2008–2016? : Erytisruokavaliot Ja Niiden Taustatekijät. *Yhteiskuntapolitiikka* 84 :2

- Jansik C. 2022a. Onko Suomen rehuvilja vaihdettavissa elintarvikeviljaan? Julkaisussa Latvala, Väre & Niemi (toim.). Maa- ja elintarviketalouden suhdannekatsaus 2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 69–73. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-434-0>
- Jansik C. 2022b. Poikkeuksellista niukkuutta öljykasvimarkkinoilla. Julkaisussa Latvala, Väre & Niemi (toim.). Maa- ja elintarviketalouden suhdannekatsaus 2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 74–79. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-434-0>
- Jansik, C., Kaukovirta, A., Knuutila, M., Kohl, J., Koivisto, A., Lehtonen, H., Niemi, J., Pesonen, L., Rikkinen, P., Saarni, K., Setälä, J & Wejberg, H. 2024. Ruoka-ala kasvuun viennin ja ruokainnovaatioiden vetämänä : Keskustelunavaus ruokasektorin arvonnällän kasvattamiseen. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 7/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 83 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-873-7>
- Joensuu, K., Kotilainen, T., Räsänen, K. Rantanen, M., Usva K. & Silvenius F. 2024. Assessment of climate change impact and resource-use efficiency of lettuce production in vertical farming and greenhouse production in Finland: a case study. The International Journal of Life Cycle Assessment. <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02343-5>
- Järvinen, A., Himanen, S.J., Raiskio, S. & Hyvönen, T. 2022. Intercropping of insect-pollinated crops supports a characteristic pollinator assemblage. Agriculture ecosystems and environment 332: 107930.
- Järvinen, A., Hyvönen, T., Raiskio, S. & Himanen, S.J. 2023. Intercropping shifts the balance between generalist arthropod predators and oilseed pests towards natural pest control. Agriculture ecosystems and environment 348: 8 p.
- Järviö, N., Parviainen, T., Maljanen, N.L., Kobayashi, Y., Kujanpää, L., Ercili-Cura, D., Landowski, C.P., Ryyänänen, T., Nordlund, E. & Tuomisto, H.L. 2021. Ovalbumin production using *Trichoderma reesei* culture and low-carbon energy could mitigate the environmental impacts of chicken-egg-derived ovalbumin. Nature Food 2: 1005–1013. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00418-2>
- Kauppapuutarhaliitto 2024. Tietoa kasvihuonealasta, vihannesten viljely kasvihuoneissa. <https://kauppapuutarhaliitto.fi/tietoa-kasvihuonealasta/vihannesten-viljely-kasvihuoneissa/>. Viitattu 6.5.2024.
- Keskitalo, M., Känkänen, H., Palojärvi, A., Pennanen, T., Schulman, A., Tanhuanpää, P. & Viitala, S. 2022. 4. Biologiset prosessit kasvin typensaannin turvaajana. Julkaisussa: Maatalouden tyyppihaaste – vaihtoehtoja ja ratkaisuja: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. s. 34–45.
- Knaapila, A., Michel, F., Jouppila, K., Sontag-Strohm, T. & Piironen, V. 2022. Millennials' Consumption of and Attitudes toward Meat and Plant-Based Meat Alternatives by Consumer Segment in Finland. Foods: 11(3): 456. doi: 10.3390/foods11030456. PMID: 35159606; PMCID: PMC8834568.
- Knychala, M.M., Boing, L.A., Ienczak, J.L., Trichez, D. & Stambuk, B.U. 2024. Precision fermentation as an alternative to animal protein, a review. Fermentation 10: 315. <https://doi.org/10.3390/fermentation10060315>

- Kobayashi, Y., EL-Wali, M., Guðmundsson, H., Guðmundsdóttir, E.E., Friðjónsson, Ó.H., Nordberg Karlsson, E., Roitto, M. & Tuomisto, H.L. 2023. Life-cycle assessment of yeast-based single-cell protein production with oat processing side-stream. *Science of the Total Environment* 873: 162318. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162318>
- Kuljanic, N. 2022. What if we grew plants vertically? *Scientific Foresight*. European Parliamentary Research Service, PE737.130. https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/737130/EPRS_ATAG_737130_What_if_vertical_farming_final.pdf
- Känkänen, H., Suokannas, A., Tiilikkala, K. & Nykänen, A. 2013. Biologinen typensidonta fossiilisen energian säästäjänä: 2. korjattu painos. *MTT Raportti* 76: 60 p.
- Laine, A. 2023. Härkäpapulajikkeet. Julkaisussa: Jalli, H., Saarinen, J. & Nysand, M. (toim.). Härkäpavun viljelyopas : Hukka-hanke. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 42/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 21–24.
- Lappi, J, Silventoinen-Veijalainen, P., Vanhatalo, S., Rosa-Sibakov, N. & Sozer, N. 2022. The nutritional quality of animal-alternative processed foods based on plant or microbial proteins and the role of the food matrix. *Trends in Food Science & Technology* 129: 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.09.020>
- Larsen, A.E. & Noack, F. 2020. Impact of local and landscape complexity on the stability of field-level pest control. *Nature Sustainability* 4: 120–128. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00637-8>
- Lehtonen, I., Ruosteenoja, K. & Jylhä, K., 2014. Projected changes in European extreme precipitation indices on the basis of global and regional climate model ensembles. *International Journal of Climatology* 34: 1208–1222. <https://doi.org/10.1002/joc.3758>
- Lemola, R., Uusitalo, R., Hyväluoma, J., Sarvi, M. & Turtola, E. 2018. Suomen peltojen maalajit, multavuus ja fosforipitoisuus: Vuodet 1996–2000 ja 2005–2009. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 17/2018. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 209 s.
- Luke 2024a. Tilastotietokanta. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/tilastotietokanta>. Luonnonvarakeskus. Helsinki. Viitattu 4.7.2024.
- Luke 2024b. Pintamaa tukialueittain. Luke Taloustohtori: Maannostieto -palvelu. Aineisto: Luke Maannostietokanta. <https://taloustohtori.luke.fi/maannostiedot/vakioraportit/pintamaalajit-kansallinen-luokitus/pintamaa-tukialueittain/>. Viitattu 4.7.2024.
- Luoko ry 2023. Kastelu peltoviljelyssä. Luonnonhoidon koulutusyhdistys LUOKO ry. https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2023/06/Kasteluopas_2023.pdf.
- Lyyra, M. 2024. Uuselinarvikeluvan saaminen kestää, mutta miksi? *Kehittyvä Elintarvike* 35 (1): 40–41.
- Makery 2018. Nuorten asenteet ja mielikuvat ruokaan ja syömiseen liittyen. <https://projects.luke.fi/scenoprot/wp-content/uploads/sites/5/2019/02/Nuorisotutkimus-2018-ScenoProt-Makery.pdf>
- Mattila, P., Marnila, P. & Pihlanto, A. 2017. Wild and cultivated mushrooms. *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health*, 2nd Edition. pp. 1279–1304.

- McDaniel, M.D., Tiemann, L.K. & Grandy, A.S. 2014. Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecological Applications* 24: 560–570. <https://doi.org/10.1890/13-0616.1>
- McFadden, J., Njuki, E. & Griffin, T. 2023. Precision agriculture in the digital era: recent adoption on US farms. USDA Economic Research Service, Economic Information Bulletin 248.
- Meena, R.S. & Lal, R. 2018. Legumes and sustainable use of soils. In: *Legumes for Soil Health and Sustainable Management*. pp 1–31.
- MMM 2023. Luomu 2.0 -ohjelman toimeenpanosuunnitelma. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisu 2023:1. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-855-3>. Viitattu 2.7.2024.
- Niemi, J. & Niskanen, M. 2019. Valkuaistaseet 2010–2018. 17 s. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202001011012>
- Myllys, M., Virtanen, E., Forsman, K. & Jauhiainen, L. 2009. Perunan kastelumenetelmien vertailu. *Maa- ja elintarviketalous* 139: 58. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-224-9>
- Niemi, J.K., Nordlund, E., Pastell, M., Ritala, A., Kotilainen, T., Katajajuuri, J.-M., Nappa, M. & Lampinen, M. 2022. Uusien ruoantuotantomenetelmien mahdollisuudet ja haasteet Suomessa: Laadullinen analyysi kotimaisen asiantuntijaverkoston toteuttamana. *Teknologian tutkimuskeskus VTT*. 54 s. <https://doi.org/10.32040/2022.978-951-38-8832-9>
- Nysand, M. 2023. Kaksivaiheinen korjuu. Julkaisussa: Jalli, H., Saarinen, J. & Nysand, M. (toim.). *Herneen viljelyopas : HUKKA-hanke*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 35–39.
- Nyysölä, A., Suhonen, A., Ritala, A. & Oksman-Caldentey, K.-M. 2022. The role of single cell protein in cellular agriculture. *Current Opinion in Biotechnology* 75: 102686. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2022.102686>
- Näsi, M. 1982. Nutritive value of Eurolysine bacterial protein and Pekilo protein for growing pigs. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 54: 263269.
- Ovaska, S., Liski, E., Äijö, H., Häggblom, O. & Paasonen-Kivekäs, M. 2021. Perusparannukset ja ravinnetase suomalaisessa peltoviljelyssä. *Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote* 36. 92 s.
- Partala, A., Jauhiainen, L. & Kokkinen, M. 2024. Satopotentialin voi nyt tarkastaa satotilastosta. <https://www.luke.fi/fi/blogit/satopotentialin-voi-nyt-tarkastaa-satotilastosta>
- Pedersen, A.N., Kondrup, J. & Børsheim, E. 2013. Health effects of protein intake in healthy adults: A systematic literature review. *Food & Nutrition Research* 57: 21245. doi: 10.3402/fnr.v57i0.21245.
- Pellinen, T., Jallinoja, P., Erkkola, M. & Pajari, A.M. 2024. Perceptions of three diets varying in animal- and plant-based protein contents: Analysis of participant experience diaries. *Appetite* 200: 107538. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107538>.

- Pellinen, T., Päivärinta, E., Isotalo, J., Lehtovirta, M., Itkonen, S.T., Korkalo, L., Erkkola, M. & Pajari, A.M. 2022. Replacing dietary animal-source proteins with plant-source proteins changes dietary intake and status of vitamins and minerals in healthy adults: a 12-week randomized controlled trial. *European Journal of Nutrition* 61(3): 1391–1404. doi: 10.1007/s00394-021-02729-3.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hakala, K. & Ojanen, H. 2009. Climate change and prolongation of growing season: changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agricultural and Food Science* 18: 171–190.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hyövelä, M. & Nissilä, E. 2011a. Trade-off between oil and protein in rapeseed at high latitudes: Means to consolidate protein crop status? *Field crops research* 121(2): 248–255.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Hakala, K. 2011b. Crop responses to temperature and precipitation according to long-term multi-location trials at high-latitude conditions. *Journal of Agricultural Science* 149: 49–62.
<https://doi.org/10.1017/S0021859610000791>
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Nissilä, E. 2012a. Improving cereal protein yields for high latitude conditions. *European Journal of Agronomy* 39: 1–8.
- Peltonen-Sainio, P. & Niemi, J.K. 2012b. Protein crop production at the northern margin of farming: to boost, or not to boost. *Agricultural and Food Science* 21(4): 370–383.
- Peltonen-Sainio, P., Hannukkala, A., Huusela-Veistola, E., Voutilainen, L., Niemi, J., Valaja, J., Jauhiainen, L. & Hakala, K. 2013. Potential and realities of enhancing rapeseed- and grain legume-based protein production in a northern climate. *Journal of Agricultural Science* 151(3): 303–321.
- Peltonen-Sainio, P., Salo, T., Jauhiainen, L., Lehtonen, H. & Sieviläinen, E. 2015a. Static yields and quality issues: is the agri-environment program the primary driver? *AMBIO* 44: 544–556. <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-015-0637-9>
- 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(1): 24–38.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Lehtonen, H. 2016. Land use, yield and quality changes of minor field crops: is there superseded potential to be reinvented in the northern Europe? *PLOS One*. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0166403.19p>
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Sorvali, J., Laurila, H. & Rajala, A. 2018. Field characteristics driving farm-scale decision-making on land allocation to primary crops in high latitude conditions. *Land Use Policy* 71: 49–59. doi: 10.1016/j.landusepol.2017.11.040
- Peltonen-Sainio, P., Sorvali, J. & Kaseva, J. 2021. Finnish farmers' views towards fluctuating and changing precipitation patterns pave the way for the future. *Agricultural water management* 255. 10 p.

- Perez-Cueto, F.J.A., Garin, J.-P., Turillazzi, A. & Blanchet, M. 2024. Plant-Based Fermented Foods. European Consumer Attitudes and Preferences. HealthFerm Project. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12542743>
- Pohjolainen, P., Vinnari, M., Roitto, M., Ala-Harja, V., Järviö, N. & Tuomisto, H. 2023. Kasvipohjaiset ja solumaatalouden tuotteet Suomen ruokajärjestelmän murroksessa: kohti vuotta 2050. Sitran selvityksiä 232. <https://www.sitra.fi/julkaisut/kasvipohjaiset-ja-solumaatalouden-tuotteet-suomen-ruokajarjestelman-murroksessa/>
- Pulkkinen, M. 2020. Sadetus kannattaa viljoillakin. Maatilan Pellervo, Elokuu 2020.
- Päivärinta, E., Itkonen, S.T., Pellinen, T., Lehtovirta, M., Erkkola, M. & Pajari, A.-M. 2020. Replacing Animal-Based Proteins with Plant-Based Proteins Changes the Composition of a Whole Nordic Diet – A Randomised Clinical Trial in Healthy Finnish Adults. *Nutrients* 12: 943. <https://doi.org/10.3390/nu12040943>
- Ramoska, E., Bastiene, N. & Saulys, V. 2011. Evaluation of controlled drainage efficiency in Lithuania. *Irrigation and Drainage* 60: 196–206. <https://doi.org/10.1002/ird.548>
- Rao, V.V., Datta B. & Steinmetz, K. 2023. The role of natural scientists in navigating the social implications of cellular agriculture: insights from an interdisciplinary workshop. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 7: 1134100. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1134100>
- Rasmussen, M.K., Gold, J., Kaiser, M.W., Moritz, J., Rätty, N., Rønning, S.B., Ryyänen, T., Skrivergaard, S., Ström, A., Therkildsen, M., Tuomisto, H.L. & Young, J. F. 2024. Critical review of cultivated meat from a Nordic perspective. *Trends in Food Science & Technology* 144: 104336. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104336>
- Rautio, P. 2021. Interventiotutkimuksen rinnalla tehdyt kyselytutkimukset – yhteenvetoreportti. <https://projects.luke.fi/scenoprot/wp-content/uploads/sites/5/2021/03/Scenoprot-intervention-rinnakkaistutkimusten-yhteenveto-Makery.pdf>
- Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A.O. & Leemans, R. 2010. Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: the importance of farm level responses. *European Journal of Agronomy* 32: 91–102.
- Rinne, M., Franco, M., Stefański, T., Ghalibaf, M., Fidelis, M., Järvenpää, E. & Pap, N. 2022. Palkokasvibiomasojen potentiaali proteiinijakeen tuottamisessa. *Maataloustieteen Päivät 2022*, Helsinki 14.-15.6.2022. s. 153. Saatavilla: <https://journal.fi/smst/issue/view/8286/1504>
- Ritala, A., Häkkinen, S.T., Toivari, M. & Wiebe, M.G. 2017. Single cell protein – state-of-the-art, industrial landscape and patents 2001–2016. *Frontiers in Microbiology* 8: 2009. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02009>
- Roitto, M., Ala-Harja, V., Järviö, N. & Tuomisto, H.L. 2023. Tulevaisuuden ruokamurros: proteiinit, solumaatalous, maankäyttö ja energia. *Maataloustieteiden laitoksen julkaisuja* 50, Helsingin yliopisto. 70 s. <http://hdl.handle.net/10138/567041>
- Ruokavirasto 2024a. Kasviuonetuotannon tuki. <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/puutarhatalous/kasviuonetuotannon-tuki/>. Viitattu 6.5.2024.

- Ruokavirasto 2024b. Uuselintarvikkeet ja uudet prosessit. <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/ainesosat-ja-sisalto/uuselintarvikkeet-ja-uudet-prosessit/>. Viitattu 26.8.2024.
- Ruosteenoja, K., Markkanen, T., Venäläinen, A., Räisänen, P. & Peltola, H. 2017. Seasonal soil moisture and drought occurrence in Europe in CMIP5 projections for the 21st century. *Climate Dynamics* 50: 1177–1192. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3671-4>.
- Räty, N., Tuomisto, H.L. & Ryyänen, T. 2023. On what basis is it agriculture? A qualitative study of farmers' perceptions of cellular agriculture. *Technological Forecasting & Social Change* 196: 122797. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122797>
- Sadetusopas 2023. Luonnonhoidon koulutusyhdistys LUOKO ry. www.salaojayhdistys.fi -> Julkaisut. 60 s.
- Salo, T., Mylly, M. & Parkkila, P. 2021. Maatalouden ja vesihuollon sopeutumistoimet lisääntyviin kuivuusjaksoihin. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 87/2021: 59 s.
- Salonen, J., Hyvönen, T. & Jalli, H. 2005. Weed flora and weed management of field peas in Finland. *Agricultural and Food Science* 14(2): 189–201.
- Sares-Jäske, L., Tapanainen, H., Valsta, L., Haario, P., Männistö, S. & Vaalavuo, M. 2024. Meat consumption and obesity: A climate-friendly way to reduce health inequalities. *Public Health Challenges* 3: e163. <https://doi.org/10.1002/puh2.163>
- Setälä, J., Saarni, K., Airaksinen S., Niukkanen, J. & Vielma, J. 2024. Suomen kalatalouden huoltovarmuus selvitys. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* xx/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. TULOSSA.
- Smetana, S., Ristic, D., Pleissner, D., Tuomisto, H.L., Parniakov, O. & Heinz, V. 2023. Meat substitutes: Resource demands and environmental footprints. *Resourcing, Conservation & Recycling* 190: 106831. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106831>
- Smith, D.J., Helmy, M., Lindley, N.D. & Selvarajoo, K. 2022. The transformation of our food system using cellular agriculture: What lies ahead and who will lead it? *Trends In Food Science and Technology* 127: 368–376. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.015>
- Sousa, R., Recio, I., Heimo, D., Dubois, S., Moughan, P.J., Hodgkinson, S.M. Portmann, R. & Egger, L. 2023. In vitro digestibility of dietary proteins and in vitro DIAAS analytical workflow based on the INFOGEST static protocol and its validation with in vivo data. *Food Chemistry* 404: 134720. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134720>
- Szczepanski, L., Saa, S., Olding, C., Dupond, J. & Fiebelkorn, F. 2024. Germans' attitudes toward the microbial protein Solein® and willingness to consume it – The effect of information-based framing. *Food Quality and Preference* 117: 105132. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2024.105132>
- Tang, X., Bernard, L., Brauman, A., Daufresne, T., Deleporte, P., Desclaux, D., Souche, G., Placella, S.A. & Hinsinger, P. 2014. Increase in microbial biomass and phosphorus availability in the rhizosphere of intercropped cereal and legumes under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 75: 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.04.001>

- Teerijoki, E. 2024a. Innovaatiosta ihmisravinnoksi. *Kehittyvä Elintarvike* 35(1): 16–19.
- Teerijoki, E. 2024b. Ruskeaa kultaa. *Kehittyvä Elintarvike* 35(3): 16–19.
- Tilastokeskus 2024. StatFin-tilastotietokanta. <https://stat.fi/tup/statfin/index.html>. Viitattu 15.5.2024.
- Toivonen, M., Huusela, E., Hyvönen, T., Marjamäki, P., Järvinen, A. & Kuussaari, M. 2022. Effects of crop type and production method on arable biodiversity in boreal farmland. *Agriculture ecosystems and environment* 337: 108061.
- Tuomisto, H.L. 2022. Challenges of assessing the environmental sustainability of cellular agriculture. *Nature Food* 3: 801–803. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00616-6>
- Uusi-Kämpä, 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 p. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-422-9>.
- Valsta, L., Kaartinen, N., Tapanainen, H., Männistö, S. & Sääksjärvi, K. 2018. Ravitsemus Suomessa - FinRavinto 2017 -tutkimus. Terveystieteiden tutkimuskeskus (THL). Raportti 12/2018. 239 s. Helsinki. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-343-238-3>
- Valtioneuvosto 2021. Lisää kotimaista kalaa! Kotimaisen kalan edistämishjelma, Valtioneuvoston periaatepäätös 8.7.2021. <https://mmm.fi/kalat/strategiat-ja-ohjelmat/kotimaisen-kalan-edistamisohjelma>
- Valtion ravitsemusneuvottelukunta 2014. Terveyttä ruoasta - Suomalaiset ravitsemussuositukset 2014. 57 s. https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/teemat/terveytta-edistava-ruokavalio/kuluttaja-ja-ammattilaismateriaali/julkaisut/ravitsemussuositukset_2014_fi_web_versio_5.pdf
- Van Groenigen, J.W., Lubbers, I.M., Vos, H.M.J. Brown, G.G., De Deyn, G.B., van Groenigen, K.J. 2014. Earthworms increase plant production: a meta-analysis. *Scientific Reports* 4: 6365. DOI: 10.1038/srep06365.
- Volova, T.G. & Barashkov, V.A. 2010. Characteristics of proteins synthesized by hydrogen-oxidizing microorganisms. *Applied Biochemistry and Microbiology* 46: 574–579. <https://doi.org/10.1134/S0003683810060037>
- Wiebe, M.G. 2002. Myco-protein from *Fusarium venenatum*: a well-established product for human consumption. *Applied Microbiology and Biotechnology* 58: 421–427. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-0931-x>
- Yamada, E.A. & Sgarbieri, V.C. 2005. Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) protein concentrate: preparation, chemical composition, and nutritional and functional properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 3931–3936. <https://doi.org/10.1021/jf0400821>
- Åström, K. 2020 ScenoProt-onlinekyselyn tulokset. <https://projects.luke.fi/scenoprot/wp-content/uploads/sites/5/2021/02/ScenoProt-kuluttajakysely-kasviproteiineista-syyskuu-2020.pdf>

Muut lähteet:

Artikkelilähteiden lisäksi on luvussa 3 käytetty seuraavilta henkilöiltä suullisesti tai kirjallisesti saatua tietoa:

Boreal Kasvinjalostus Oy: Hanna Haikka, Pertti Pärssinen, Anu Väinölä

KVVY Tutkimus Oy: Janne Pulkka

Luonnonvarakeskus: Lauri Jauhiainen, Jere Kaivosoja, Marjo Keskitalo, Merja Myllys ja Liisa Pesonen



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi

