



Kompassikukan viljelypotentialiaali turve- maalla

Kati Ylitalo

Opinnäytetyö, ylempi AMK
Toukokuu 2025
Biotalous kehittäminen

Ylitalo, Kati

Kompassikukan viljelypotentiaali turvemaalla

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Toukokuu 2025**, 54 sivua

Biotalouskehittämisen tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö YAMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Turvemaat muodostavat merkittävän osan Suomen maatalouden kasvihuonekaasupäästöistä, ja niiden kuivatukseen perustuva viljely aiheuttaa suuria hiilidioksidipäästöjä ilmakehään. Ilmastokriisin hillitsemiseksi tarvitaan kestävämpiä ratkaisuja turvemaiden käyttöön. Yksi lupaavimmista lähestymistavoista on kosteikkoviljely, jonka avulla voidaan vähentää päästöjä ja kehittää ympäristöä vähemmän kuormittavia viljelymuotoja. Tässä yhteydessä on herännyt kiinnostus kompassikukkaan (*Silphium perfoliatum*), ja sen soveltuvuuteen kosteikkoviljelyssä.

Kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin Keski-Euroopan viljelytutkimuksiin perustuen kompassikukan soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin, painottuen kasvupaikkavaatimuksiin, sadontuottoon, viljelymenetelmiin ja mahdollisiin ympäristöriskeihin.

Kompassikukka on ilmastonäkökulmasta lupaava viljelykasvi: se on monivuotinen, kehittää syvän juuriston ja sitoo hiiltä tehokkaasti maaperään. Se sietää vaihtelevia kosteusolosuhteita ja vaatii vähemmän maanmuokkausta, mikä pienentää sen viljelyn hiilijalanjälkeä. Lisäksi sen runsas biomassatekee siitä potentiaalisen raaka-aineen bioenergian tai biotuotteiden tuotantoon, mikä voi korvata fossiilisia energialähteitä. Toisaalta Keski-Euroopan tutkimuksissa on havaittu, että kompassikukka voi levitä hallitsemattomasti ja muodostaa riskin luonnon monimuotoisuudelle.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että kompassikukalla on potentiaalia kosteikkoviljelykasvina Suomessa, mutta sen viljely vaatii tarkempaa tutkimusta erityisesti hallinnan ja taloudellisen kannattavuuden osalta. Tulevaisuudessa tarvitaan lisää kokeellista tutkimusta kasvin sopeutumisesta Suomen ilmasto-olosuhteisiin sekä mahdollisista markkinamahdollisuuksista sekä kasvin vaikutuksista ekosysteemeihin.

Avainsanat (asiasanat)

Kompassikukka, *Silphium perfoliatum*, kosteikkoviljely, turvemaat, maatalouden päästövähennykset

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Ylitalo, Kati

The cultivation potential of cup plant on peatland

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2025, 54 pages

Degree Programme in Bioeconomy development. Master's thesis.

Permission for open access publication: yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Peatlands account for a significant share of greenhouse gas emissions from Finnish agriculture, and cultivation based on the drainage of these soils results in substantial carbon dioxide emissions to the atmosphere. To mitigate the climate crisis, more sustainable solutions are needed for the use of peat soils. One of the most promising approaches is paludiculture, or wetland cultivation, which can help reduce emissions while enabling the development of less environmentally burdensome farming methods. In this context, interest has emerged in the cultivation of cup plant (*Silphium perfoliatum*), which appears to be particularly well suited for wetland conditions.

This literature review examines the potential of cup plant cultivation in Finland, based on agricultural research conducted in Central Europe. The focus is on the plant's site requirements, yield potential, cultivation practices, and possible environmental risks.

From a climate perspective, the cup plant shows considerable promise: it is a perennial species with a deep root system that effectively sequesters carbon in the soil. It tolerates variable moisture conditions and requires less soil disturbance, which helps reduce its cultivation-related carbon footprint compared to annually sown crops. Additionally, its high biomass production makes it a potential raw material for bioenergy or bioproducts, which could replace fossil energy sources. However, studies from Central Europe have also indicated that the cup plant can spread invasively and pose a threat to biodiversity.

In conclusion, cup plant holds potential as a wetland crop in Finland, particularly in efforts to reduce emissions from peatlands. However, its cultivation requires further research, especially regarding its controllability and economic viability. More experimental studies are needed to assess the plant's adaptability to Finnish climate conditions, its market potential, and its long-term effects on ecosystems.

Keywords/tags (subjects)

Cup plant, *Silphium perfoliatum*, paludiculture, peatland, agricultural greenhouse gas emissions

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1	Johdanto	3
2	Turvemaat	6
2.1	Turvemaiden ominaispiirteet.....	7
2.2	Turvemaiden käyttö viljelyssä	8
2.3	Turvemaiden kasvihuonekaasupäästöt	9
3	Kosteikkoviljely	11
3.1	Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja kestävä maatalous.....	11
4	Kompassikukka (<i>Silphium perfoliatum</i>)	13
4.1	Kemiallinen koostumus	16
4.2	Käyttökohteet.....	17
5	Työn tavoite	18
5.1	Tutkimuskysymys	19
5.2	Tutkimusmenetelmä	19
5.3	Aineiston haku.....	21
6	Tulokset.....	22
6.1	Viljelypotentiaali	22
6.1.1	Kasvupaikkavaatimukset	24
6.1.2	Invasiivisuus	26
6.1.3	Kylvömenetelmät.....	28
6.1.4	Sadonkorjuu.....	33
6.1.5	Satotaso	35
6.2	Taloudellinen kannattavuus.....	37
7	Johtopäätökset.....	39
7.1	Kasvuolosuhteet turvemaidella – haasteet ja mahdollisuudet	41
7.2	Kompassikukan viljelyn edistäminen	41
8	Pohdinta.....	42
8.1	Työn eettisyys ja luotettavuus	44
	Lähteet	46

Kuviot

Kuvio 1. Turvepeltojen osuus kokonaisviljelyalasta maakunnittain	6
--	---

Kuvio 2. Käyttötarkoituksen vaikutus ojitetun suon kasvihuonekaasupäästöihin	10
Kuvio 3. Kompassikukka.....	14
Kuvio 4. Kompassikukan levinneisyys.	15
Kuvio 5. Kompassikukan korkeus toisen kasvukauden lopussa suhteessa vedenkorkeuteen (WTD).	28
Kuvio 6. Kompassikukan siemeniä.	29
Kuvio 7. Kompassikukan korjuuta ajosilppurilla.	34
Kuvio 8. Kompassikukan biomassaa brikettinä sekä pelletöitynä.	37

1 Johdanto

Joulukuussa 2021 hallitus asetti maataloudelle tavoitteen, jonka mukaan kasvihuonekaasupäästöjä tulisi vähentää 29 prosenttia vuoteen 2035 mennessä (Törnudd, 2021). Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt koostuvat useista tekijöistä, joihin kuuluvat muun muassa maataloustuotannosta, eli maataloussektorilta, aiheutuvat päästöt. Tämän lisäksi maatalouden kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavat maankäyttösektorin päästöt, jotka liittyvät maatalouden käyttämiltä turve- ja kivennäismailta peräisin oleviin päästöihin. Myös maatalouden energiankäyttö, kuten polttoaineet ja sähkönkulutus, tuottaa kasvihuonekaasupäästöjä. Kokonaisuudessaan maatalouden päästöt Suomessa ovat arviolta noin 15 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia (Lehtonen, 2024).

Luonnonvarakeskuksen arvion mukaan Suomessa turvemaita on noin 10–11 % kokonaispeltopinta-alasta (Kekkonen, 2017). Suomen Tilastokeskuksen mukaan turvemaiden osuus maatalouden laskennallisista hiilidioksidipäästöistä, sillä niiden osuus on jopa 82 % kaikista päästöistä. Dityppioksidin osuus näistä päästöistä on 43 %. Metaanipäästöt vaihtelevat huomattavasti riippuen muun muassa laskutavasta, ajasta ja paikasta, ja ne voivat vaihdella pienistä nieluista merkittäviin päästöihin (Yli-Halla, 2022, 4). EU:n taakanjakosektorissa maatalouden kasvihuonekaasupäästöt otetaan huomioon dityppioksidin ja metaanin muodossa, kun taas hiilidioksidi kuuluu maankäyttösektorin (LULUCF; Land Use, Land Use Change and Forestry) päästöihin, lukuun ottamatta kalkituksen aiheuttamia päästöjä. Maankäyttösektorin päästöihin lasketaan myös turpeennostoalueet, jotka ovat siirtyneet aktiivisesta turvetuotannosta jälkikäyttöön. Tilastokeskuksen mukaan Suomen maankäyttösektori oli vuonna 2023 päästölähde 12 miljoonalla hiilidioksidiekvivalenttitonnilta. Maataloussektorin vuoden 2023 kokonaispäästöt olivat 6,20 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia. (Tilastokeskus, 2024.)

Turpeen käytön vähentyessä ja entisten turvesoiden jäädessä turvetuotantoon tarpeettomiksi, on niille kehitetty vaihtoehtoisia käyttömuotoja, jotka loisivat alueille hyötykäyttöä ilman kasvihuonekaasupäästöjä. Yksi tällainen vaihtoehto on turvealueen vettäminen ja hyödyntäminen kosteikkoviljelyyn. Kosteikkoviljelyn avulla ojitettujen turvemaiden hiilivarastojen vähenemistä voidaan estää nostamalla vedenpinnan korkeutta, joka mahdollistaa kosteikkokasvien kasvattamisen vetetyllä alueella. Viljelymuoto on Suomessa vielä uusi, ja arvoketjut sen ympärille vasta rakentumassa. (Laukkanen, 2023.)

Samaan aikaan maatalouden alkutuotannon täytyy kuitenkin tuottaa riittävästi elintarvikkeita ja muita hyödykkeitä, täyttää ympäristötavoitteet ja tarjota viljelijöille tarpeeksi toimeentuloa. Maatalouden päästövähennystavoitteet voivat toteutua turvemaiden päästöjä alentamalla, mutta nykyinen maataloustukijärjestelmä kannustaa peltojen säilyttämiseen vähintään luonnonhoitopeltoina, mikä voi rajoittaa päästövähennystoimenpiteiden tehokkuutta. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ei ole suoraan korvattavaa maataloustuessa, ja kosteikkoviljelytuotteiden markkinat ovat vielä kehittymättömät. Lisäksi kosteikkoviljelyyn soveltuvien kasvien viljelykokemukset ovat tällä hetkellä vähäisiä. (Virkkunen, 2022.)

Kosteikkoviljely, joka tarkoittaa viljelyä märissä olosuhteissa, on noussut esiin potentiaalisena ratkaisuna turvepeltojen päästöjen vähentämiseksi. Tämä menetelmä perustuu pohjaveden pinnan nostamiseen, mikä hidastaa turpeen hajoamista ja siten vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Kosteikkoviljelyssä voidaan myös kasvattaa kasveja, jotka soveltuvat erityisesti kosteisiin olosuhteisiin. Näiden kasvien biomassassa voi tarjota mahdollisuuksia esimerkiksi kasvualustojen raaka-aineena, rakennusmateriaaleina tai energiantuotannossa (Lång, 2024).

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Jyväskylän ammattikorkeakoulun ja Jyväskylän yliopiston Turvemaiden uudet viljelykasvit sekä biosivuvirrat (Turbits) -hankke, jossa selvitetään mahdollisuuksia tutkia ja kehittää uusia viljelykasveja, jotka voisivat menestyä Keski-Suomessa erityisesti kosteikkoviljelyn kontekstissa. Hankkeessa pyritään löytämään tuottoisia kasveja, joilla olisi laaja arvoketju ja jotka voisivat tukea maatalouden ympäristötavoitteiden saavuttamista. Erityisesti tavoitteena on tunnistaa kasveja, jotka soveltuisivat entisille turpeen tuotantoalueille, jotka eivät enää ole aktiivisessa turvetuotannossa. Tällöin kyseiset alueet voisivat saada uuden roolin osana kestävää maataloutta, jossa voidaan vähentää ympäristövaikutuksia ja tuottaa lisäarvoa maataloussektorille. Hankkeen myötä pyritään avaamaan uusia mahdollisuuksia turvemaiden käytölle ja lisäämään viljelijöiden tuloja samalla, kun vähennetään maatalouden kasvihuonekaasupäästöjä. (JAMK, 2023.)

Yksi keskeisistä kasveista, joita Turbits-hankkeessa tutkitaan kosteikkoviljelyyn soveltuvana, on kompassikukka (*Silphium perfoliatum*). Kompassikukka on monivuotinen kasvi, joka tunnetaan erityisesti erinomaisista sopeutumiskykyistään ja kestävyystään eri kasvuolosuhteissa. Suomessa

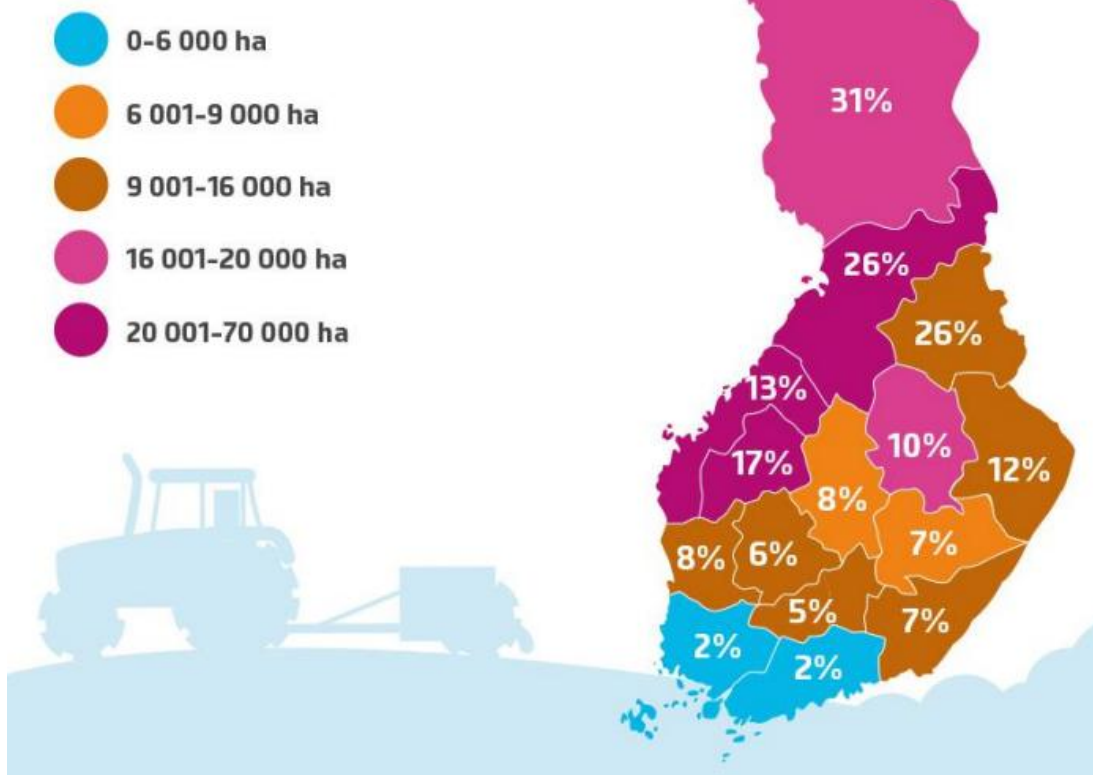
kompassikukan viljely on vielä suhteellisen harvinaista, mutta sen potentiaalia kosteikkoviljelykasvina turvepelloilla on alettu tutkia viime vuosina. Kompassikukan kyky kasvaa ja menestyä kosteissa olosuhteissa ja tulvaherkillä mailla tekee siitä kiinnostavan vaihtoehdon kosteikkoviljelyyn, sillä se voi auttaa vähentämään turvemaiden päästöjä ja parantamaan alueiden biodiversiteettiä. (Ende ym., 2024.) Hankkeessa tutkitaan myös kasvin viljelyyn liittyviä käytännön haasteita, kuten kylvömenetelmiä, sadonkorjuuta ja mahdollisia viljelykiertovaihtoehtoja. (JAMK, 2023).

Kompassikukka tarjoaa monenlaisia mahdollisuuksia niin viljelijöille kuin teollisuudellekin. Sen viljely voisi tuottaa arvokasta biomateriaalia, jota voidaan käyttää esimerkiksi rakennusmateriaaleina, biopolttoaineiden raaka-aineena tai jopa lääkeaineiden valmistuksessa. (Peni ym., 2020.) Kompassikukka on vain yksi esimerkki hankkeessa tutkittavista kasveista, mutta sen monipuoliset hyödyntämismahdollisuudet tekevät siitä erityisen kiinnostavan. Tutkimuksen myötä saadaan lisää tietoa siitä, kuinka kasvin viljely voisi soveltua osaksi kestävästä suomalaista maataloutta, ja se voisi toimia esimerkkinä muille viljelykasveille, joita voisi käyttää vastaavalla tavalla turvepeltojen ympäristötavoitteiden saavuttamiseksi.

2 Turvemaat

Suomen viljelypinta-alasta 10–11 % on turvepeltoja, joista noin puolet sijaitsee Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla. Kuviosta 1 on nähtävissä turvepeltojen osuus suhteessa kokonaisviljelyalaan maakunnittain (Lång, 2024.) Huolimatta pienestä osuudesta kokonaispinta-alaa turvepellot tuottavat 60 % koko maataloussektorin päästöistä. (Kari, 2022.) Maatalouden käyttöön kuivattiin erityisesti 1970-luvulla soita jopa 300 000 hehtaaria. Viljely ja turpeennosto ovat kuitenkin vähentäneet turvealaa ja muuttaneet monet entiset suot kivennäismaaksi. (Abel, 2023.)

Turvepeltojen osuus suhteessa alueen kokonaisviljelyalaan



Kuvio 1. Turvepeltojen osuus kokonaisviljelyalasta maakunnittain. (Lång, 2024.)

Aktiivista turvetuotantoa Suomessa vuonna 2019 oli ympäristöluparekisterin mukaan noin 52 000 hehtaarilla. Turpeen energiakäyttöä varten nostetun turpeen poltosta vapautuvat hiilidioksidipäästöt kirjataan energiasektorille, koska poltettava turve rinnastetaan fossiilisiin polttoaineisiin. Sen sijaan turpeennostoalueiden maaperäpäästöt, jotka liittyvät alueen jälkikäyttöön – kuten viljelyyn, metsitykseen tai kosteikkoviljelyyn – huomioidaan päästölaskennassa maankäyttösektorilla (LULUCF). (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021.) Tuotanto turpeennostoon varatulla alueella kestää 15–30 vuotta, ja Bioenergia ry:n (2024) mukaan turvetuotannosta on poistunut kaikkiaan noin 90 000 hehtaaria ja 2020-luvulla poistuu edelleen noin 3000–5000 hehtaaria vuodessa muihin maankäyttömuotoihin, esimerkiksi metsitettäväksi, maatalouskäyttöön tai ennallistettavaksi.

2.1 Turvemaiden ominaispiirteet

Turve muodostuu orgaanisesta aineksesta, joka on kasvinjäänteiden epätäydellisen hajoamisen ja kerrostumisen tulosta hapettomissa, anaerobisissa olosuhteissa. Lämpötilan vaihtelut voivat lisätä kasvimassan tuotantoa ja samanaikaisesti hidastaa hajotusta, mikä edesauttaa turpeen kertymistä. Osa turpeen sisältämästä orgaanisesta aineksesta mineralisoituu, ei se hajoa yksinkertaisiksi epäorgaanisiksi yhdisteiksi, kuten hiilidioksidiksi tai metaaniksi, riippuen vallitsevista hapetusolosuhteista. (Kekkonen, 2017.)

Suomessa turvemaaksi määritellään maaperä, jonka pintakerroksessa on vähintään 40 % orgaanista ainesta tai jonka turvekerros on yli 60 cm paksu. Multamaat, joiden orgaanisen aineksen pitoisuus on 20–40 % luokitellaan myös osaksi orgaanisia maita. Kansainvälinen ilmastoraportointi noudattaa hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) määritelmää, jonka mukaan turvepeloksi luokitellaan peltomaa, jossa orgaanisen aineksen paksuus on vähintään 30 cm ja pitoisuus yli 35 %. (Kari, 2022.) Turvesuot ovat merkittäviä maanalaisia hiilivarastoja. Veden alla hapettomat olosuhteet estävät hiilen hajoamisen, ja sen vuoksi hiili säilyy maaperän turpeeseen varastoituneena. Turvemaat voivat sitoa jopa kymmenkertaisen määrän hiiltä verrattuna muihin ekosysteemeihin. (Kekkonen, 2017.)

2.2 Turvemaiden käyttö viljelyssä

Turvemaiden ravinnepitoisuudet ja fysikaaliset ominaisuudet vaihtelevat alueittain. Ominaisuudet vaihtelevat turpeen alkuperästä, maatumisasteesta, pellon viljelyhistoriasta, alla olevan kivennäisaineksen ominaisuuksista sekä pohjamaan pinnan mukaan. Tyypillisesti turvemaat ovat ravinneköyhiä (paitsi typen ja hiilen osalta), ja niiden ravinteiden pidätyskyky on heikko. Lisäksi haasteita aiheuttavat Suomen olosuhteissa lyhyt kasvukausi ja epätasainen sadanta. (LUOKO ry, 2024, 8.)

Kuivina kesinä turvepelto on kivennäispeltoa varmempi sadontuottaja, sillä turvemaat säilyttää kosteuden hyvin maaperässä. Turpeen hajoamisasteen mukaan vedenpidätyskyky kuitenkin vaihtelee (Kari, 2022). Liiallinen kosteus voi vaikeuttaa kuitenkin myös haasteita peltojen kantavuuden ja viljelykasvien juurten hapensaannin suhteen. Heikko kantavuus vaikeuttaa myös koneellista viljelyä nykyaikaisilla suurilla ja painavilla laitteilla.

Lisäksi viljely hajottaa ja tiivistää turvetta sekä lisää maaperän mikrobitoimintaa, minkä edelleen haastaa turvemaan kuivatusta (Myllys, 2011). Maaperän kosteus altistaa pellon myös talvituhoille, sillä maa jäätyy helposti ja sulaa hitaasti. Turpeen lämmönjohtavuus on heikkoa, joten turvemaan lämpötila on yleensä jo valmiiksi alhaisempi kuin kivennäismaalla. Turpeen kivennäismaahan verrattuna korkeampi ominaislämpökapasiteetti rajoittaa lämmön johtumista maaperän syvempiin kerroksiin. Tämän vuoksi turvemaan routakerros on ohuempi, mutta sen sulaminen on hitaampaa verrattuna kivennäismaahan. (LUOKO ry, 2024, 8.)

Långin ym. (2022, 6) mukaan turvemaiden käyttöä säätelevät useat kansalliset ja kansainväliset strategiat, kuten Ramsarin sopimus, suo- ja turvemaiden strategia, maa- ja metsätalouden sääntely ja tukijärjestelmät, EU:n maaperästrategia sekä keskeiset lait, kuten ympäristönsuojelulaki, vesilaki ja ilmastolaki. Suomessa turvemaiden maaperän hiilivarastojen suojeleminen on kuitenkin lain- ja säännönmukaisesti heikkoa. Vaikka turvemaiden käyttöä ohjaavia strategioita on olemassa, niiden tukeksi ei ole kehitetty riittävän vaikuttavia ohjauskeinoja maaperäpäästöjen vähentämiseksi – poikkeuksena turvetuotantoalueet. Jotta turvemaiden käyttö ja jälkikäyttö olisivat linjassa eri maankäyttömuodoissa, politiikan tulisi olla yhtenäisempää. Tämä edellyttää erityisesti suo- ja turvemaiden strategian päivittämistä.

EU:n lainsäädäntö ja ohjaus, kuten kestävyyskriteerit ja metsäkatoasetus, korostavat hiilivarastojen suojelun ja turvemaiden kestävä käytön merkitystä. Tämä luo paineita turvemaiden käytön rajoittamiseen myös muissa elinkeinoissa kuin turvetuotannossa. Ennakoimalla ja varautumalla voidaan vähentää mahdollisten tulevien rajoitusten vaikutuksia maa- ja metsätalouteen. Maanomistajat tarvitsevat selkeitä linjauksia ilmastotoimista, lisää tietoa ja taloudellisia kannustimia hiilintätoimien toteuttamiseen. Ojitettujen soiden ennallistaminen on keskeistä, sillä pohjaveden pinnan nosto on usein ainoa tapa säilyttää hiilivarasto. Ilmastohyötyjen kannalta parhaita jälkikäyttövaihtoehtoja ovat ennallistaminen sekä ohutturpeisilla alueilla metsitys. Metsäojitetuilla soilla ennallistaminen kannattaa toteuttaa erityisesti runsasravinteisilla alueilla, joissa ilmasto-hyödyt näkyvät nopeammin. (Lång ym. 2020, 6–7.)

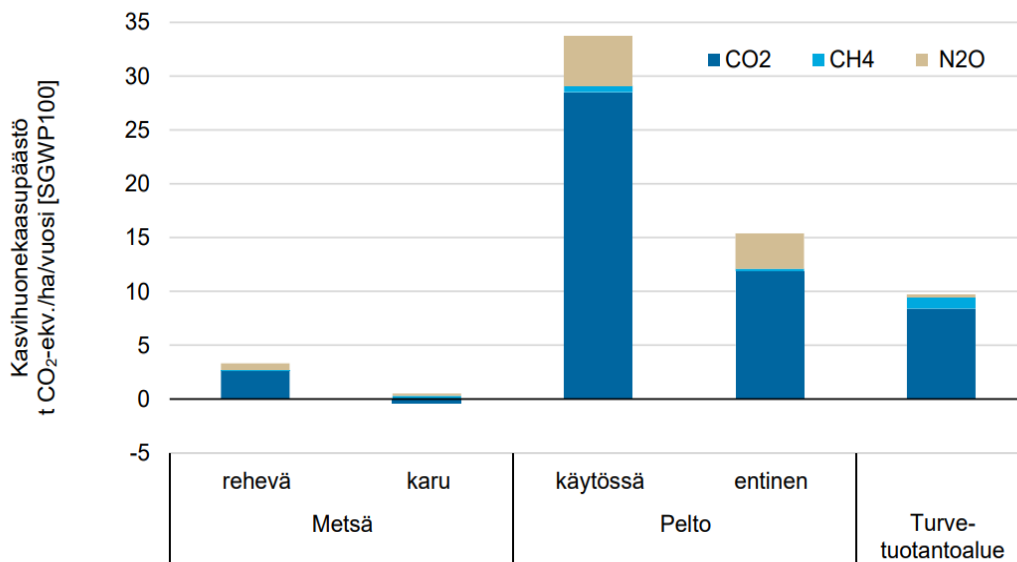
2.3 Turvemaiden kasvihuonekaasupäästöt

Soiden turpeeseen sitoutuneet hiilivarastot ovat syntyneet tuhansien vuosien aikana, kun kasvit yhteyttävät ilmakehän hiilidioksidia ja sitovat sen rakenteisiinsa. Kun kasvit kuolevat, osa niiden biomassasta hautautuu vedenpinnan alle, missä siitä muodostuu turvetta. Hapettomissa olosuhteissa mikrobit hajottavat turvetta hitaasti, minkä seurauksena suot toimivat hiilinieluina. Hiilen pitkäaikainen varastoituminen mahdollistuu, ja turvetta kertyy enemmän kuin sitä hajotetaan. Hajotusprosessi on hitaampaa, kun ravinteita on niukasti saatavilla, ja niukkaravinteisilla soilla turpeen ja hiilen kertyminen voi olla jopa kolmanneksen nopeampaa verrattuna runsasravinteisiin soihiin. (Turunen ym., 2002.) Vedenpinnan syvyys on myös merkittävä tekijä, sillä se vaikuttaa karrikkeen hajoamisnopeuteen. (Ojanen ym., 2010, 10.)

Vedenpinnan laskun seurauksena hapellisen pintakerroksen määrä turpeessa lisääntyy, mikä nopeuttaa hajotusta. Hapellisessa kerroksessa vapautuu hiilidioksidia, kun taas hapettomissa olosuhteissa muodostuu myös metaania (CH_4). Lisäksi turpeen nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosessien seurauksena syntyy pieniä määriä dityppioksidia (N_2O). Ojitus ja vedenpinnan aleneminen lisäävät hapen saatavuutta maaperässä, mikä tehostaa turpeen mikrobiologista hajotusta ja johtaa siihen, että aiemmin varastoitunut hiili vapautuu ilmakehään. Tämän seurauksena kasvavat sekä hiilidioksidi- että dityppioksidipäästöt, ja suo muuttuu hiilinielusta hiilen lähteeksi. Samalla metaanipäästöt kuitenkin vähenevät, sillä hapellisissa olosuhteissa metaania hajottavat bakteerit kuluttavat sitä ennen kuin se ehtii ilmakehään. (Ojanen ym., 2020.) Vuonna 2020 turpeen hajoamisesta ai-

heutuvat kasvihuonekaasupäästöt Suomen ojitetuilta suometsiltä, turvepelloilta ja turvetuotanto-alueilta olivat noin 17 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttia (CO₂-ekv). Ojituksella on lisäksi ollut merkittävä vaikutus myös hydrologiseen kuormitukseen, luonnon monimuotoisuuden vähenemiseen ja tulvariskien lisääntymiseen. (Lång ym., 2022, 5.)

Ojitetun suon kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttaa merkittävästi sen käyttötarkoitus, kuten on nähtävissä kuvioista 2 (Ojanen ym. 2020.) Viljelykäyttöön ojitetuilla soilla päästöjä lisäävät muun muassa toistuva maanmuokkaus ja lannoitus, jotka lisäävät hapellisuutta ja mikrobien käytettävissä olevien ravinteiden määrää. Turvetuotantoalueilla kasvihuonekaasujen päästöjä lisäävät kasvillisuuden puuttuminen, syvällä sijaitseva pohjaveden pinta sekä ojien suuri pinta-ala, joka voi lisätä metaanipäästöjä. Ilman kasvillisuutta alueelta puuttuu myös hiiltä sitova kasvibiomassa, mikä edelleen voimistaa hiilipäästöjä. (Ojanen ym., 2020.) Myös Mustamon (2017, 34–35) väitöskirjassa tutkittiin ojituksen vaikutusta turvemaan ominaisuuksiin ja kasvihuonekaasupäästöihin. Tutkimus viittasi pohjaveden pinnan noston 60 senttimetrin tasosta 40 senttimetrin tasoon voivan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä.



Kuvio 2. Käyttötarkoituksen vaikutus ojitetun suon kasvihuonekaasupäästöihin (Ojanen ym., 2020.)

Långin ym. (2022, 5) mukaan turvemaiden tarjoamaa potentiaalia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi on toistaiseksi hyödynnetty rajallisesti. Tämän potentiaalin realisoiminen edellyttää

muutoksia maankäytössä, tuotannon arvoketjuissa sekä kulutustottumuksissa kohti ekologisesti kestävämpiä ratkaisuja. Näillä toimilla voidaan samanaikaisesti edistää luonnon monimuotoisuuden säilymistä, parantaa tulvasuojelua sekä lisätä hyödykkeiden tuotannon kestävyyttä.

3 Kosteikkoviljely

Kosteikkoviljely (paludiculture) on Suomessa suhteellisen uusi viljelymenetelmä, joka keskittyy turvemaiden kestävään hyödyntämiseen. Menetelmässä tavoitteena on nostaa pohjaveden pintaa siten, että maaperä pysyy kosteana, jolloin tuetaan turvemaan luonnollisia ominaisuuksia ja vähennetään sen hajoamisesta syntyviä haitallisia päästöjä. Pohjaveden pinnan nostaminen voidaan toteuttaa erilaisilla vesitalouden säätelykeinoilla, kuten säätösalaajituksella tai padotuksella. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että vedenpinta pidetään vähintään 30 senttimetrin päässä maanpinnasta, mikä hidastaa turpeen orgaanisen aineksen hajoamista. Näin kosteikkoviljely vähentää merkittävästi kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin ja dityppioksidin vapautumista ilmakehään. (Kekkonen, 2020.)

Kosteikkoviljelyssä hyödynnetään märissä olosuhteissa viihtyviä kasveja, kuten ruokohelpeä, osmankäämiä, järviruokoa ja pajua sekä soiden luonnonvaraisia marjoja, kuten karpaloa ja lakkaa. Esimerkiksi ruokohelpeä voidaan kosteikkoviljelyssä viljellä energiantuotantoon, kuivikkeeksi ja rehukseksi, ja osmankäämiä tutkitaan rakennus- ja eristemateriaalikäyttöön. (Naukkarinen, 2021.) Suomessa kosteikkoviljelyä on tutkittu muun muassa Luonnonvarakeskuksen toimesta. Tutkimuksissa on keskitytty kosteikkoviljelyn ympäristövaikutuksiin, taloudelliseen kannattavuuteen sekä soveltuvien kasvilajien viljelytekniikoihin. Kosteikkoviljely tarjoaa monia etuja, mutta sen laajamittaisella käyttöönotolla on vielä haasteita, kuten markkinoiden kehittymättömyyttä ja viljelijöiden investointihalukkuutta. Lisääntyvä tutkimus ja tietoisuus voivat edistää viljelymenetelmän yleistymistä tulevaisuudessa. (Karppinen, 2022.)

3.1 Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja kestävä maatalous

Ilmastonmuutoksella on laaja-alaisia ja merkittäviä vaikutuksia Suomen maatalouteen, sillä se muokkaa viljelyolosuhteita monin tavoin. Yksi keskeisimmistä muutoksista on keskilämpötilojen nousu, mikä vaikuttaa sekä kasvukauden pituuteen että kasvilajien sopeutumiseen muuttuviin oloihin. Lisäksi sademäärien vaihtelu on yhä voimakkaampaa, mikä tarkoittaa, että kuivat jaksot ja

rankkasateet voivat vuorotella epäsäännöllisesti aiheuttaen haasteita niin viljelykasvien vesitaloudelle kuin maaperän rakenteelle. Erityisesti sään ääri-ilmiöiden, kuten helleaaltojen ja rankkasateiden yleistyminen lisää viljelyn epävarmuutta ja voi heikentää satotasojä sekä kasvattaa eroosion ja ravinnehuuhtoumien riskiä. (Laukkanen, 2023.)

Näiden muutosten myötä perinteiset viljelymenetelmät kohtaavat kasvavia haasteita, mikä edellyttää maataloussektorin mukautumista ja uusien, ilmastoviisaiden viljelykäytäntöjen käyttöönottoa. Tarvitaan ratkaisuja, jotka paitsi sopeuttavat maataloutta muuttuvaan ilmastoon, auttavat myös hillitsemään ilmastomuutosta vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjä ja parantamalla maaperän hiilensidontakykyä. Yksi lupaava menetelmä, joka vastaa näihin haasteisiin ja tukee sekä ilmastomuutoksen hillintää että maatalouden kestävyyttä Suomessa, on kosteikkoviljely. (Laukkanen, 2023.)

Turvemailla on merkittävä rooli Suomen viljelyaloista erityisesti Pohjois-Pohjanmaalla. Turvemaiden perinteinen viljelykäyttö tavanomaisin menetelmin aiheuttaa kuitenkin huomattavia ympäristöhaasteita. Yksi merkittävimmistä ongelmista on turvemaan kuivatuksen myötä syntyvät hiilidioksidipäästöt, sillä pohjaveden pinnan laskiessa maaperän orgaaninen aines alkaa hajota nopeammin. Tämä hajotusprosessi vapauttaa ilmakehään suuria määriä maaperään vuosisatojen aikana varastoitunutta hiiltä, mikä osaltaan kiihdyttää ilmastomuutosta. Vuonna 2024 valmistuneessa pro gradu -tutkielmassaan Räsänen tarkastelee turvemaiden vedenpinnan tason vaikutusta niiden kasvihuonekaasupäästöihin. Hänen tutkimustensa mukaan pohjaveden pinnan nostaminen turvemailla hidastaa orgaanisen aineksen hajoamista, mikä puolestaan vähentää hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen vapautumista ilmakehään. Kosteikkoviljely tarjoaa ratkaisun näihin haasteisiin, ja sen lisäksi että turvemaiden käyttöä voidaan säätösalaojituksen tai padotuksen avulla ohjata kestävämpään suuntaan ilman viljelymahdollisuuksien menettämistä, voidaan sen avulla tukea luonnon monimuotoisuutta ja tarjota viljelijöille uusia tuotantomahdollisuuksia esimerkiksi bioenergian, kuitukasvien tai rehun tuotannossa. Näin ollen se edustaa ekologisesta ja taloudellisesti kestävämpää tapaa hyödyntää turvemaita muuttuvassa ilmastossa. (Mäkiranta, 2017.)

Ilmastonmuutoksen myötä nouseva lämpötila vaikuttaa merkittävästi viljelyolosuhteisiin Suomessa. Tämä johtaa pidentyvään kasvukauteen, mikä mahdollistaa kylvöjen aikaisemmin aloituksen ja antaa viljelykasveille pidemmän ajan kehittyä ja tuottaa satoa. Tämä voi johtaa suurempiin satomääriin ja uusien, aiemmin Suomen ilmasto-olosuhteisiin huonosti sopeutuneiden kasvilajien viljelyn yleistymiseen. Lämpimämmät kevät aikaistavat kasvien kehitystä, jolloin myös lehtipinta-alan maksimi saavutetaan aiemmin kasvukauden aikana. Tämä voi parantaa kasvien yhteyttämis-tehokkuutta, lisätä biomassan tuotantoa ja edistää hiilidioksidin sitoutumista ilmakehästä maaperään ja kasvillisuuteen. (Mäkiranta, 2017.)

Vaikka lämpötilan nousulla on mahdollisia hyötyjä, tuo se myös haasteita. Yksi merkittävä riskitekijä on kuivuuden lisääntyminen, joka voi vaikuttaa haitallisesti viljelykasvien kasvuun ja maaperän vesitalouteen. Kuivien jaksojen yleistyessä haihdunta lisääntyy, mikä voi laskea pohjaveden tasoa, joka taas erityisesti turvemailla on kriittinen tekijä maaperän hiilensidontakyvyn kannalta. Pohjaveden pinnan lasku voi johtaa turpeen kuivumiseen ja sen nopeampaan hajoamiseen, mikä vapauttaa ilmakehään suuria määriä hiilidioksidia. Tämä voi osaltaan kiihdyttää ilmastonmuutosta ja heikentää maatalouden kestävyyttä pitkällä aikavälillä. (Mäkiranta, 2017.)

Mäkiranta (2017) toteaa myös, että ilmaston lämpeneminen voi siis sekä edistää viljelykasvien tuottavuutta että luoda uusia haasteita maataloudelle. Sopeutuminen näihin muutoksiin edellyttää vesitalouden tarkempaa hallintaa ja maaperän kosteustasapainon ylläpitämistä esimerkiksi kosteikkoviljelyn tai muiden ilmastokestävien viljelykäytäntöjen avulla.

4 Kompassikukka (*Silphium perfoliatum*)

Kompassikukka (*Silphium perfoliatum*) on monivuotinen, keltakukkainen kasvi, joka kuuluu Astraceae-heimoon (Kuvio 3.). Kompassikukan varren lehdet ovat jopa 30 senttimetriä pitkiä, 20 senttimetriä leveitä ja sulautuvat yhteen niin, että ne muodostavat eräänlaisen kupin johon vesi voi kerääntyä – tästä juontuu kasvin englanninkielinen nimi cup plant (kuppikasvi). (Ende, 2023, 13.)



Kuvio 3. Kompassikukka. (Hassler, 2009.)

Kotimaassaan Itä- ja Pohjois-Amerikassa kompassikukka kasvaa pääsääntöisesti kosteilla preerioilla, mutta myös jokien rannoilla, soilla ja avoimissa rantametsissä. Historiallisten lähteiden mukaan alkuperäiskansat ovat hyödyntäneet sitä lääkinnällisiin tarkoituksiin. Eurooppaan kompassikukka tuotiin 1700-luvulla alun perin koristekasviksi. (Peni ym., 2020.) Enden (2023,15) mukaan kompassikukkaa kasvaa nykyään neofyyttinä kaikkialla Keski-Euroopassa, osittain Länsi-, Pohjois-, Itä- ja Etelä-Euroopassa ja joskus Aasiassa. Kuviosta 4 näkyy kompassikukan levinneisyys kartalla, vihreä osoittaa kasvin luontaisia kasvupaikkoja ja punainen alueita, jonne kompassikukkaa on istutettu.



Kuvio 4. Kompassikukan levinneisyys. (Ende ym., 2023, 15.)

Kompassikukka viihtyy kosteassa maaperässä ja kestää alhaisia talvilämpötiloja sekä lyhyitä kuivia kausia. Se voi kasvaa 2–4 metrin korkeuteen ja kehittää satoja kukkapäitä, joista jokaisessa on 20–30 siementä muistuttavaa pientä hedelmää. Ensimmäisen kasvukauden aikana kasvi muodostaa ainoastaan ruusukelehtiä, ja vasta seuraavina vuosina kehittyvät generatiiviset versot, joiden määrä kasvaa kasvin ikääntyessä. Kompassikukan kukinta-aika ajoittuu heinäkuuhun, ja hedelmät kypsyvät elokuusta alkaen. (Ende ym., 2021, 1.)

Siementen fysiologinen lepotila voidaan purkaa altistamalla ne alhaisille tai vaihteleville lämpötiloille, mikä mahdollistaa niiden itämisen Keski-Euroopan ilmasto-olosuhteissa. Tämä sopeutuminen edistää kasvin leviämistä uusille alueille, erityisesti ympäristöissä, joissa vuodenaikojen lämpötilavaihtelut edistävät siementen itämistä. Kasvin korkea tuottavuus ja tehokas lisääntymiskyky, kuten runsas siementuotanto ja sopeutuminen erilaisiin kasvupaikkoihin, voivat kuitenkin tehdä siitä invasiivisen. Tämä voi johtaa alkuperäisen kasvillisuuden syrjäytymiseen ja luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden elinympäristöjen heikkenemiseen. (Ende 2021, 11.)

EU:n asetuksen 1143/2014 3. artiklan mukaan invasiivisiksi vieraslajeiksi määritellään lajit, joiden leviäminen uhkaa biologista monimuotoisuutta ja ekosysteemien toimintaa. Tämän vuoksi kom-

passikukan leviämistä on tarkkailtava erityisesti alueilla, joilla sen esiintyminen voi aiheuttaa ekologisia tai taloudellisia haittoja. Invasiivisten lajien hallinta vaatii ennaltaehkäiseviä toimia, kuten leviämisalueiden seuranta ja kasvustojen rajoittamista, jotta luonnon monimuotoisuus voidaan turvata.

Lisäksi asetuksen 1143/2014 mukaan jäsenvaltioiden on laadittava toimintasuunnitelmia, joissa tunnistetaan ja hallitaan merkittävimmät invasiivisten vieraslajien leviämisreitit. Tämä korostaa ennaltaehkäisyn merkitystä, sillä uusien lajien pääsyn estäminen on usein kustannustehokkaampaa kuin jo vakiintuneiden lajien torjunta. Jäsenvaltioiden on myös toteutettava valvontajärjestelmiä, jotka keräävät ja tallentavat tietoa vieraslajien esiintymisestä ympäristössä. Näiden järjestelmien avulla voidaan havaita uudet invasiiviset lajit varhaisessa vaiheessa ja ryhtyä nopeisiin toimenpiteisiin niiden hävittämiseksi ennen kuin ne ehtivät vakiintua.

On myös tärkeää huomioida, että asetuksen nojalla kompassikukan mahdollinen lisääminen unionin kannalta merkityksellisten invasiivisten vieraslajien luetteloon toisi mukanaan erityisiä veloituksia lajin hallintaan ja seurantaan liittyen. Tämä edellyttäisi jäsenvaltioilta toimenpiteitä lajin leviämisen estämiseksi ja jo olemassa olevien populaatioiden hallitsemiseksi.

4.1 Kemiallinen koostumus

Kowalska, Pankiewicz ja Kowalski (2020) tutkivat Puolassa tehdyssä tutkimuksessa kolmen *Silphium*-lajin (*S. perfoliatum*, *S. trifoliatum* ja *S. integrifoliatum*) kasvimateriaalin kemiallista koostumusta. Materiaali kerättiin vuosina 2012–2014 Lubartówin siirtolapuutarhassa, Etelä-Podlasian mannermaisella alankoalueella kasvatetuista kasveista. Analyysissä määritettiin kasvien kemiallinen profiili, mukaan lukien kuiva-ainepitoisuus, tuhka, sokerit, C-vitamiini, klorofylli, parkkiaineet, selluloosa sekä raakasävel ja -proteiini. Määritykset toteutettiin standardoiduin laboratoriomenetelmin, ja analyysit suoritettiin kolmella rinnakkaisnäytteellä kunkin parametrin osalta.

Tulokset osoittivat, että kompassikukka (*Silphium perfoliatum*) sisältää huomattavia määriä proteiineja ja kuituja, mikä viittaa sen käyttömahdollisuuteen rehukasvina sekä terveysvaikutteisten elintarvikkeiden raaka-aineena. Lisäksi flavonoidien ja fenoliyhdisteiden korkea pitoisuus viittaa merkittävään antioksidanttipotentialiin, mikä voisi edistää terveydellisiä hyötyjä ja mahdollistaa

farmaseuttisia sovelluksia. Tutkimuksessa havaittiin myös merkittäviä määriä eteerisiä öljyjä, joiden soveltuvuus lääke- ja kosmetiikkateollisuuden tarpeisiin ansaitsee lisätutkimusta. Lisäksi antimikrobiset testit osoittivat, että Silphium-lajeista saadut uutteet voivat osoittaa aktiivisuutta tiettyjä bakteerikantoja vastaan, mikä tukee niiden mahdollista käyttöä lääketieteellisissä sovelluksissa. (Kowalska ym., 2020, 6–10.)

Kasvin kemiallinen koostumus vaihteli kasvuvaiheen ja kasvin osan mukaan. Kuiva-ainepitoisuuden, proteiinin, selluloosan ja vesiliukoisten sokereiden pitoisuudet kasvoivat kasvukauden aikana, kun taas raakaproteiinipitoisuus laski. Silphium-lajien havaittiin olevan lupaavia ravinto- ja energia-kasveja korkean biomassatuotantonsa ja ravinteikkuutensa ansiosta. Lisäksi tutkimus viittaa niiden potentiaaliseen käyttöön lääke- ja elintarviketeollisuudessa, mutta jatkotutkimukset ovat tarpeen näiden sovellusten tarkemmaksi arvioimiseksi. (Kowalska ym., 2020, 15–15.)

4.2 Käyttökohteet

Kompassikukkaa voidaan hyödyntää useilla eri tavoilla sen arvokkaiden ominaisuuksien ansiosta. Se sisältää runsaasti kivennäisaineita, proteiineja, hiilihydraatteja sekä bioaktiivisia yhdisteitä, kuten fenolihappoja, karotenoideja ja flavonoideja. Kasvin eri osista – lehdistä, kukinnosta ja juurista – valmistetuilla uutteilla on antibakteerisia ja sienikasvua estäviä ominaisuuksia. Lisäksi kompassikukan lehdet voivat olla hyödyllisiä tuotantoeläinten rehuna. (Kowalska ym., 2020.)

Kukissa vierailevat hyönteiset ovat tärkeässä roolissa sadon pölyttäjinä, mutta niiden populaatiot vähenevät. Yksi syy on Muellerin ja muiden (2019) mukaan kukkien määrän ja laadun väheneminen. Vaihtoehtoisilla viljelykasveilla voidaan edistää paitsi viljelykierron monipuolistumista, myös pölyttäjähyönteisten elinoloja. Kompassikukka tuottaa siitepölyä ja nektaria koko pitkän kukintajaksonsa (heinäkuu-syyskuu) ajan, mikä edistää pölyttäjiä, erityisesti mehiläisten, elinvoimaisuutta ja hunajantuotantoa. Kasvin ekologinen merkitys ulottuu myös pilaantuneiden maa-alueiden kunnostamiseen, sillä se edistää maaperän biologista stabilointia ja kasvipeitteisyyden palauttamista.

Puolassa tutkittiin 2022 kompassikukan käyttömahdollisuuksia energiantuotannossa verraten polton ja anaerobisen mädätyksen energiatasapainoja. Tutkimus osoitti, että kompassikukkaa voitaisiin käyttää raaka-aineena polttoaineelle ja anaerobisessa mädättämisessä sähkön tuotantoon.

Tutkimuksessa käytetyn raaka-aineen korkean kosteuspitoisuuden vuoksi anaerobisen mädätyksen todettiin olevan energiatehokkain prosessi biomassalle, mutta todettiin myös käsittelymenetelmien lisätutkimuksille olevan tarvetta. (Witaszek ym., 2022, 17–18)

Bioenergian tarpeen kasvaessa Euroopassa kompassikukan mahdollisuudet biomassan tuotannossa ovat herättäneet kasvavaa kiinnostusta. Sitä voidaan hyödyntää biopolttoaineiden sekä lämpöenergian lähteenä. Kasvin ensimmäisen kasvukauden aikana biomassan tuotanto on vähäistä, mutta toisesta kasvukaudesta eteenpäin jopa 15–20 vuoden ajan biomassan tuotanto hehtaaria kohden on keskimäärin 16 tonnia kuiva-ainetta. (Cumplido-Marin ym., 2020.)

Kompassikukka soveltuu erinomaisesti biomassan tuotantoon myös sopeutumiskykynsä ansiosta. Se kykenee kasvamaan monenlaisissa ilmasto- ja maaperäolosuhteissa, sillä on korkea kuivamassatuottopotentiali sekä hyvä vastustuskyky tuholaisia ja kasvitauteja vastaan. Lisäksi kompassikukka tukee biologisen monimuotoisuuden ylläpitoa, jonka ansiosta se on kestävä kehityksen tavoitteisiin soveltuva viljelyvaihtoehto (Figas ym., 2024.) Tällä hetkellä kompassikukkaa käytetään lähinnä biokaasusubstraattina, mutta Greve ja muut toteavat tutkimuksessaan (2023), että kompassikukka voisi soveltua myös kuitujen ja eristemateriaalien valmistukseen sekä öljykasviksi.

5 Työn tavoite

Tavoitteena on selvittää kompassikukan viljelypotentialiaa Suomen turvepelloilla. Työssä tarkastellaan kirjallisuuskatsauksena kompassikukan viljelymenetelmiä Keski-Euroopassa, sekä arvioidaan sen hyödyntämismahdollisuuksia Suomen elinkeinoelämässä. Kirjallisuuskatsaus on tutkimusmenetelmä, jossa analysoidaan aiempaa tutkimusta ilmiön, teorian tai ongelman ymmärtämiseksi sekä tunnistetaan tutkimusaukkoja. (Booth ym., 2016, 12–13.)

Tämä tutkimus on rakennettu kartoittavaksi kirjallisuuskatsaukseksi, sillä kompassikukan viljely ei ole vielä käynnistynyt Suomessa, eikä aiheesta ole olemassa kotimaista tutkimustietoa tai viljelykokemusta. Tämän vuoksi empiirisen tutkimuksen, kuten kyselyjen tai kokeellisen kenttätönn, toteuttaminen ei olisi ollut mahdollista tai tarkoituksenmukaista. Sen sijaan asetelma on suunniteltu kokoamaan, jäsentämään ja arvioimaan kansainvälistä tutkimustietoa kompassikukan biologisista ominaisuuksista, viljelyvaatimuksista ja ekosysteemipalveluista.

5.1 Tutkimuskysymys

Koska kompassikukan viljely on Suomessa vielä uutta ja tutkimustietoa aiheesta on niukasti, on tämän työn tarkoituksena koota kansainväliseen kirjallisuuteen perustuva kokonaiskuva kasvin soveltuvuudesta suomalaisiin olosuhteisiin. Erityisen kiinnostuksen kohteena ovat kasvin ilmastolliset ja viljelytekniset vaatimukset, ekosysteemivaikutukset sekä sen mahdollinen rooli kestäväen maatalouden kehittämisessä. Tutkimus on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, jonka avulla pyritään vastaamaan seuraavaan tutkimuskysymykseen:

Miten kompassikukka soveltuu viljelykasviksi Suomessa ympäristöllisten, agronomisten ja taloudellisten näkökulmien perusteella?

Tutkimuskysymystä lähestytään kolmen näkökulman kautta:

- (1) kasvin biologiset ja ilmastolliset vaatimukset,
- (2) vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen ja ekosysteemipalveluihin sekä
- (3) viljelyn taloudelliset mahdollisuudet ja haasteet.

Näiden tarkastelun avulla pyritään tuottamaan tietoa, joka tukee jatkotutkimusta ja käytännön soveltamista suomalaisessa maataloudessa.

5.2 Tutkimusmenetelmä

Boothin, Suttonin ja Papaionnoun (2016) mukaan kirjallisuuskatsaus soveltuu hyvin tilanteisiin, joissa pyritään muodostamaan kokonaiskuva ilmiöstä, tunnistamaan tutkimusaukkoja ja syventämään teoreettista ymmärrystä. Myös Marjamaa ja Sinisalo (2022) toteavat kirjallisuuskatsauksen tavoitteena olevan koota, arvioida ja analysoida olemassa olevaa tutkimustietoa tietyistä aihealueista. Se tarjoaa perustan uudelle tutkimukselle, koska sen avulla voidaan hahmottaa mitä aiheesta jo tiedetään ja missä mahdolliset aukot sijaitsevat. Kirjallisuuskatsaukset voivat vaihdella lähestymistavaltaan riippuen katsauksen tavoitteista ja tutkimuskysymyksistä. (Marjamaa & Sinisalo, 2022).

Salmisen (2023, 7–8, 15–16) mukaan kirjallisuuskatsaukset voidaan jakaa kolmeen perustyyppiin: kuvaileva kirjallisuuskatsaus, systemaattinen kirjallisuuskatsaus ja meta-analyysi. Tässä opinnäytetyössä hyödynnettiin systemaattista kirjallisuuskatsausta tutkimusmenetelmänä, sillä sen avulla oli

mahdollista kartoittaa kattavasti ja järjestelmällisesti kompassikukan viljelymenetelmiä Keski-Euroopassa. Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on tiivistää ja analysoida tietyn aihepiirin aiempaa tutkimustietoa tieteellisesti perustellulla tavalla. Menetelmä perustuu selkeästi määriteltyihin hakustrategioihin, lähdevalintakriteereihin ja aineiston arviointiperiaatteisiin, mikä lisää tutkimuksen läpinäkyvyyttä ja toistettavuutta. Koska kompassikukan viljelyä on tutkittu suhteellisen vähän ja pääosin Keski-Euroopassa, systemaattinen lähestymistapa tarjosi mahdollisuuden hahmottaa olemassa olevan tutkimuksen laajuutta, tunnistaa toistuvia viljelykäytäntöjä sekä arvioida tutkimuskirjallisuuden kattavuutta ja luotettavuutta. Lisäksi menetelmä mahdollisti tutkimusaineiston kriittisen tarkastelun ja tiedon kokoamisen niin, että opinnäytetyön johtopäätökset pohjautuvat selkeästi dokumentoituun, ajankohtaiseen ja tieteellisesti arvioituun tietoon.

Salminen (2023, 17) kuvaa Finkin malliin perustuvaa kirjallisuuskatsausta jäsennehtynä seitsemänvaiheisena prosessina, joka selkeyttää systemaattisen katsauksen toteutusta. Ensimmäisessä vaiheessa määritellään tutkimuskysymys, jonka pohjalta valitaan tarkasteltava kirjallisuus sekä sopivat tietokannat. Tämän jälkeen, kolmannessa vaiheessa, määritetään hakutermit. Näiden huolellinen valinta on keskeistä, jotta hakutulokset rajautuvat mahdollisimman hyvin tutkimuskysymystä vastaavaan aineistoon.

Seuraavat vaiheet keskittyvät aineiston seulontaan. Neljännessä vaiheessa hakutuloksia karsitaan ennalta asetettujen kriteerien, kuten julkaisukielen tai -vuoden, perusteella. Viidennessä vaiheessa arvioidaan valittujen artikkelien ja tutkimusten tieteellinen laatu. Varsinainen kirjallisuuskatsaus laaditaan kuudennessa vaiheessa. Luotettavuuden ja pätevyyden varmistamiseksi tutkimuksista kerätään tiedot yhtenäisesti standardoidulla muodolla. Viimeisessä, seitsemännessä vaiheessa, analysoitu aineisto syntetisoidaan eli yhdistetään kokonaisuudeksi. (Salminen, 2023, 17.)

Huolellisen seulontaprosessin ansiosta systemaattinen kirjallisuuskatsaus muodostaa selkeästi rajatun ja loogisesti etenevän tutkimusasetelman. Jokainen aineistoon sisällytettävä tutkimus arvioidaan ennalta määriteltyjen, toisiinsa loogisesti liittyvien kriteerien mukaisesti. (Salminen, 2023, 17.)

5.3 Aineiston haku

Kompassikukan biologisia ominaisuuksia, viljelyvaatimuksia ja ympäristöhyötyjä tarkasteltiin kansainväliseen tieteelliseen tutkimukseen perustuen. Aineistonhaku toteutettiin systemaattisesti, ja sen tavoitteena oli löytää aihepiiriin liittyvää, mahdollisimman ajankohtaista ja tieteellisesti relevanttia tutkimustietoa. Aineisto haettiin useista akateemisista tietokannoista, kuten Google Scholar, ScienceDirect, SpringerLink ja ResearchGate, käyttäen hakusanoja kuten '*Silphium perfoliatum*', '*cup plant*', '*silphie*' ja '*cultivation*', jotta huomioitiin mahdollinen terminologinen ja kielellinen vaihtelu kansainvälisessä tutkimuskirjallisuudessa.

Hakuprosessi ei sisältänyt tiukkaa ajallista rajausta, sillä kompassikukkaa koskeva tutkimus on suhteellisen uutta ja pääosin julkaistu viime vuosina. Aineiston valinnassa noudatettiin ennalta määritettyjä hyväksymiskriteereitä, jotka painottivat tutkimuskysymyksen kannalta olennaista sisältöä. Keskeisenä kriteerinä pidettiin sitä, että lähteessä käsiteltiin *Silphium perfoliatum* -lajia joko suoraan tai siihen liittyvien viljelykäytäntöjen, ekologisten vaikutusten tai sovellusten kautta. Lisäksi arvioitiin lähteiden ajankohtaisuutta, tieteellistä laatua ja julkaisujen luotettavuutta. Vertaisarvointi, kirjoittajien akateeminen tausta sekä lähteiden viitetiedot ja läpinäkyvä tutkimusmetodologia olivat keskeisiä laadun kriteereitä.

Lähdekritiikki oli olennainen osa aineiston arviointiprosessia. Kaikkien valittujen lähteiden tuli olla julkaisijan ja tekijöiden osalta tunnistettavissa, ja tekijöiden tuli edustaa aiheeseen liittyvää asiantuntemusta. Lisäksi julkaisuissa tuli olla selkeä viittaustapa ja kattava lähdeluettelo, mikä mahdollisti tiedon alkuperän tarkistamisen ja lisäluotettavuuden arvioinnin.

Suurin osa aiheeseen liittyvästä tutkimuksesta on tehty Keski-Euroopassa, minkä vuoksi merkittävä osa aineistosta oli saksankielistä. Tämä aiheutti haasteita aineistonkeruussa, sillä ei-englanninkieliset lähteet oli käännettävä ennen niiden analysointia. Käännösprosessiin sisältyvä virheriski pyrittiin minimoimaan ristiin tarkastamalla tietoja useista lähteistä. Tästä huolimatta on mahdollista, että käännösprosessi on vaikuttanut joidenkin lähteiden tulkintaan. Lisäksi tutkittavan ilmiön uutuus vaikutti siihen, ettei kaikilta osin ollut saatavilla vertailukelpoista aineistoa, mikä osaltaan rajoittaa katsauksen yleistettävyyttä.

Hakuprosessissa löydetty tutkimukset seulottiin ennalta määriteltyjen kriteerien perusteella. Näihin kriteereihin sisältyivät tutkimuksen toteutusmaa, ajankohta sekä tutkimuksen ensisijainen tarkoitus. Vaikka seulontavaihe on systemaattisen kirjallisuuskatsauksen keskeinen osa, tässä tapauksessa tutkimusten määrällinen rajallisuus vähensi tarvetta ulossulkemiseen. Tämän vuoksi lähes kaikki löydetty tutkimukset voitiin sisällyttää tarkasteluun.

Tutkimusten tieteellisen laadun arvioimiseksi hyödynnettiin useita laadullisia indikaattoreita. Arvioinnissa tarkasteltiin muun muassa tutkimusten lähdeluetteloiden kattavuutta sekä sitä, millaiset tahot olivat tutkimukset toteuttaneet – esimerkiksi yliopistot, tutkimuslaitokset tai muut tieteelliset organisaatiot. Nämä tekijät auttoivat muodostamaan kokonaiskuvan tutkimusten luotettavuudesta ja tieteellisestä painoarvosta.

Jokaisesta tutkimuksesta kerättiin keskeiset tiedot systemaattisesti erilliseen taulukkoon. Tämä mahdollisti aineiston tehokkaan ristiin vertailun. Taulukon avulla voitiin vertailla esimerkiksi eri tutkimuksissa käytettyjä kylvösiementen määriä, kylvösyvyksiä tai havaittuja kompassikukan pituuskasvun vaihteluita.

Lopuksi kerätty aineisto analysoitiin ja yhdistettiin eheäksi, loogisesti eteneväksi kokonaisuudeksi. Tämä synteesi tarjosi perustellun ja jäsennellyn kuvan tarkastellusta aiheesta sekä mahdollisti tutkimustulosten vertailun ja johtopäätösten tekemisen kattavasti ja perustellusti.

6 Tulokset

6.1 Viljelypotentiaali

Monivuotiset viljelykasvit ovat yhä tärkeämpi osa uusiutuvan energian tuotantoa, sillä ne tarjoavat suuren biomassatuotannon suhteellisen pieneltä pinta-alalta. Monivuotisten kasvien viljely vähentää tarvetta vuosittaiselle maanmuokkaukselle ja kylvölle, mikä tekee niistä ympäristön kannalta kestävä vaihtoehto. Erityisesti biokaasun tuotannossa monivuotiset energiakasvit ovat lupaavia, sillä ne voivat ylläpitää tasaista biomassantuotantoa useiden vuosien ajan ilman, että pellon tuotavuus heikkenee. Lisäksi niiden viljely voi edistää biologista monimuotoisuutta, sillä monivuotiset kasvustot tarjoavat elinympäristöjä monille hyönteisille ja pieneläimille, jotka eivät välttämättä hyödy yksivuotisten kasvien viljelyjärjestelmistä. (Peni ym., 2020.)

Kompassikukka nähdään potentiaalisena vaihtoehtona perinteisille energiakasveille, kuten maisille, koska sen tuotantokustannukset ovat alhaisemmat ja se soveltuu viljelyyn myös vähemmän hedelmällisillä mailla. Tämä tekee siitä kiinnostavan vaihtoehdon erityisesti alueille, joilla maaperä ei sovellu intensiiviseen viljelyyn tai joissa viljelyolosuhteet ovat haastavat. Kompassikukan etuina ovat sen kyky kestää ankarat ilmasto-olosuhteet: se sietää hyvin talven pakkasia sekä kesän kuivuutta, mikä vähentää viljelyn riskejä verrattuna moniin muihin energiakasveihin. Lisäksi kompassikukka on vastustuskykyinen useimmille tuholaisille ja taudeille, mikä vähentää torjunta-aineiden tarvetta ja tekee viljelystä ympäristöystävällisempää. (Peni ym., 2020.)

Kompassikukkaa on tutkittu mahdollisena rehukasvina useissa eri maissa, kuten Uudessa-Seelannissa, Ukrainassa ja Romaniassa erityisesti sen biomassantuotannon ja ravintoarvojen vuoksi. Vaikka sen energiatiheys ja sulavuus voivat vaihdella kasvuolosuhteiden mukaan, se voi tarjota vaihtoehdon perinteisille rehukasveille erityisesti niillä alueilla, joissa olosuhteet eivät suosi esimerkiksi maissin viljelyä. (Peni ym., 2020.)

Kompassikukan ekologinen merkitys ei rajoitu pelkästään biomassantuotantoon ja energiantuotantoon, vaan se voi myös tukea pölyttäjäkantoja. Kukinnan aikana kompassikukka tuottaa runsaasti mettä, ja sen arvioidaan tuottavan noin 20 kg nektarisokeria hehtaaria kohden. Tämä tekee siitä arvokkaan kasvin mehiläisille ja muille pölyttäjille, jotka hyötyvät pitkäkestoisesta kukinnasta ja suuresta nektarintuotosta. Monilla alueilla pölyttäjäkannat ovat laskussa, ja kompassikukan viljely voi osaltaan auttaa ylläpitämään näitä tärkeitä ekosysteemipalveluita. (Mueller ym., 2020.)

Kompassikukan vaikutuksia maaperään on tutkittu myös hiilen sidonnan ja maaperän rakenteen näkökulmasta. Saksalaisessa tutkimuksessa vuonna 2022 havaittiin, että kompassikukka voi edistää hiilen sitoutumista maaperään sekä parantaa sen rakennetta. Kasvin juuristo tunkeutuu syväälle maahan, mikä auttaa sitomaan hiiltä pitkäaikaisesti ja estää maaperän eroosiota. Tämä tekee kompassikukasta erityisen hyödyllisen viljelykasvin alueille, joilla maaperän eroosio on ongelma. Juuristo ei ainoastaan lisää maaperän kestävyyttä, vaan se voi myös parantaa veden pidätyskykyä, mikä on tärkeää erityisesti kuivemmilla alueilla. (Ruf & Emmerling, 2022.)

Vaikka kompassikukka ei ole erityisen vaativa ravinteiden suhteen, sen pitkä elinkaari – jopa 15–20 vuotta – edellyttää huolellista ravinteiden hallintaa. Jos maaperän ravinteiden saanti ei ole riittävää, kasvin kasvukyky ja satotaso voivat ajan myötä heikentyä, mikä vaikuttaa viljelyn kannattavuuteen ja kestävyYTEEN. Siksi viljelyn suunnittelussa on otettava huomioon lannoitusstrategiat ja mahdolliset maanparannustoimenpiteet, jotta kasvin tuottavuus säilyy korkeana pitkällä aikavälillä. (Ruf & Emmerling, 2022.)

6.1.1 Kasvupaikkavaatimukset

Saksalaisen Thünen-instituutin tutkimusten mukaan kompassikukka menestyy parhaiten aurinkoisilla kasvupaikoilla, joissa maaperä on runsasmultainen, ravinteikas ja hyvin vettä pidättävä. Optimaaliset kasvuolosuhteet löytyvät maaperästä, jonka pH-arvo on neutraali tai lievästi emäksinen. Vaikka kompassikukka kestää monenlaisia maaperätyyppejä, parhaan sadon saavuttamiseksi sen tulisi kasvaa hyvin ojitetulla ja ilmastavalla maalla, joka varastoi vettä mutta ei ole altis seisovalle vedelle. (Dauber ym., 2015, 109–114.)

Kompassikukka sietää kohtalaista kuivuutta, mutta jatkuva vedenpuute vähentää sen kasvua merkittävästi ja heikentää biomassan tuotantoa. Toisaalta liiallinen kosteus voi myös haitata sen kehitystä, erityisesti juuriston hapensaannin kannalta. Thünen-instituutin tutkimuksissa on lisäksi havaittu, että monivuotinen kompassikukan viljely parantaa maaperän rakennetta ja lisää biologista monimuotoisuutta verrattuna yksivuotisiin energiakasveihin, kuten maissiin. Syvän juuristonsa ansiosta kompassikukka auttaa vähentämään eroosiota ja parantaa maaperän vedenpidätyskykyä, mikä on tärkeää erityisesti alueilla, joilla on riski maaperän köyhtymiselle. (Dauber ym., 2015, 69.)

Viljelyn alkuvaiheessa rikkakasvien hallinta on kriittistä, sillä taimivaiheessa kompassikukka on altis kilpailulle. Ensimmäisen kasvukauden jälkeen se muodostaa tiheän lehdistön, joka tehokkaasti estää rikkakasvien kasvua ja vähentää kemiallisten torjunta-aineiden tarvetta. Lisäksi sen pitkä kukinta-aika tarjoaa ravintoa pölyttäjille, kuten mehiläisille ja perhosille, mikä tukee paikallisen ekosysteemin monimuotoisuutta. (Dauber ym., 2015, 50.)

Cumplido-Marin ja muut (2020, 9) mainitsevat optimaalisiksi kasvuolosuhteiksi aurinkoiset kasvupaikat, noin 20 asteen lämpötilan ja hiekkamaan lähellä vesilähteitä. Kompassikukka kestää hyvin

kylmää ja voi selvitä jopa -30 asteen pakkasista, mikä tekee siitä erityisen soveltuvan viljelykasvin viileämmillä ilmastoalueilla.

Kasvin vaste kalkitukseen voi olla merkittävä, erityisesti jos maaperän lähtö-pH on alhainen. Jasinskas ja muut (2014) havaitsivat 34 prosentin sadonlisäyksen, kun maaperän pH nostettiin arvosta 4,2–4,4 arvoon 5,6–5,7. Vastaavasti Šiaudinis ja muut (2015) raportoivat 23 prosentin sadonlisäyksen samankaltaisissa olosuhteissa. Tämä osoittaa, että kompassikukan viljelyssä pH-tason optimointi voi olla tärkeä keino satotason parantamiseksi.

Bayreuthin yliopiston tutkimuksessa vuonna 2021 selvitettiin pohjaveden etäisyyden (WTD, water table depth) vaikutusta kompassikukan kasvuun ja kehitykseen. Tulokset osoittivat, että suurin kasvin korkeus ja maanpäällinen biomassa saavutettiin kosteassa maaperässä, jossa kasvit kasvoivat keskimäärin 3 metrin korkuisiksi ja niiden kuivapaino oli 1500 grammaa per kasvi. Kasvun heikkeneminen havaittiin sekä liian märissä että erityisesti kuivissa olosuhteissa. Keskimäärin kasvit tuottivat noin 18 versoa per yksilö, eikä maaperän kosteudella ollut merkittävää vaikutusta versojen määrään. Tämä voi kuitenkin vaihdella kasvuston tiheyden ja kasvien iän mukaan. (Ende ym., 2021.)

Tutkimuksessa havaittiin myös, että kosteassa maaperässä kompassikukka tuotti runsaasti mykeröitä – jopa 350 mykeröä per kasvi – ja niiden kehitys oli nopeampaa kuin kuivemmissa olosuhteissa. Kompassikukan siemenet kehittyvät mykerön laitakukista, eivätkä torvimaisista kukista. Siementuotannon kannalta tärkeäksi tekijäksi osoittautui mykeröiden lukumäärä, sillä siementen määrä per mykerö oli keskimäärin 27 ja tuhannen siemenen paino 18,1 grammaa. (Ende ym., 2021, 1.)

Toisessa Bayreuthin yliopiston tutkimuksessa tarkasteltiin vedenpinnan korkeuden vaikutusta biomassan tuotantoon ja kukintojen määrään. Tulokset osoittivat, että kun vedenpinnan syvyys oli noin 50–60 cm ja maaperä pysyi kosteana, biomassan tuotanto oli suurimmillaan. Samoin eniten kukintoja kehittyi, kun vedenpinnan syvyys oli noin 50 cm, mutta erittäin märässä maaperässä kukintojen määrä väheni hieman. (Ende ym., 2021, 7.)

Saksalaisen siemenmyyjä N.L. Chrestensenin viljelyohjeiden mukaan kompassikukka vaatii keskimäärin yhden kilon typpilannoituksen jokaista tuotettua kuiva-ainekiloa kohti. Tämä tarkoittaa, että typpilannoituksen tavoitemäärä hehtaaria kohden on noin 130–160 kg riippuen tavoitellusta sadosta. Kompassikukan lannoituksessa voidaan käyttää sekä mineraalilannoitteita että orgaanisia lannoitteita, kuten karjanlantaa. Lannoituksen ajankohta on kuitenkin ratkaiseva, sillä sen on tapahduttava riittävän varhain kasvukauden aikana, jotta se ei vahingoita versojen kehitystä.

Kun tavoitteena on 150 tonnin kuiva-ainetuotto hehtaarilta, maaperästä poistuu merkittäviä määriä ravinteita:

- Fosforia: 25–30 kg/ha
- Kaliumia: 150–200 kg/ha
- Magnesiumia: 50–70 kg/ha
- Kalsiumia: 200–250 kg/ha

Näiden ravinteiden riittävä saatavuus on tärkeää kompassikukan pitkäikäisyyden ja korkean sato-tason ylläpitämiseksi.

Cumplido-Marinin ym. (2020) brittiläiselle Biomass Connect- hankkeelle tuottaman viljelyohjeen mukaan kompassikukan keskimääräinen lannoitustarve on perustamisvaiheessa 120–90–90 kg NPK hehtaaria kohti, mutta sitä voi kasvattaa myös ilman lannoitusta, jolloin satotaso on pienempi. Seuraavina vuosina lannoitustarve on keskimäärin 120–45–60 kg NPK hehtaaria kohden, ja se tulisi levittää aikaisin keväällä ennen kasvuun lähtöä. Koska kompassikukalla ei ole merkittävää tauti- tai tuholaisriskiä, torjunta-aineita ei ole tarpeen käyttää.

6.1.2 Invasiivisuus

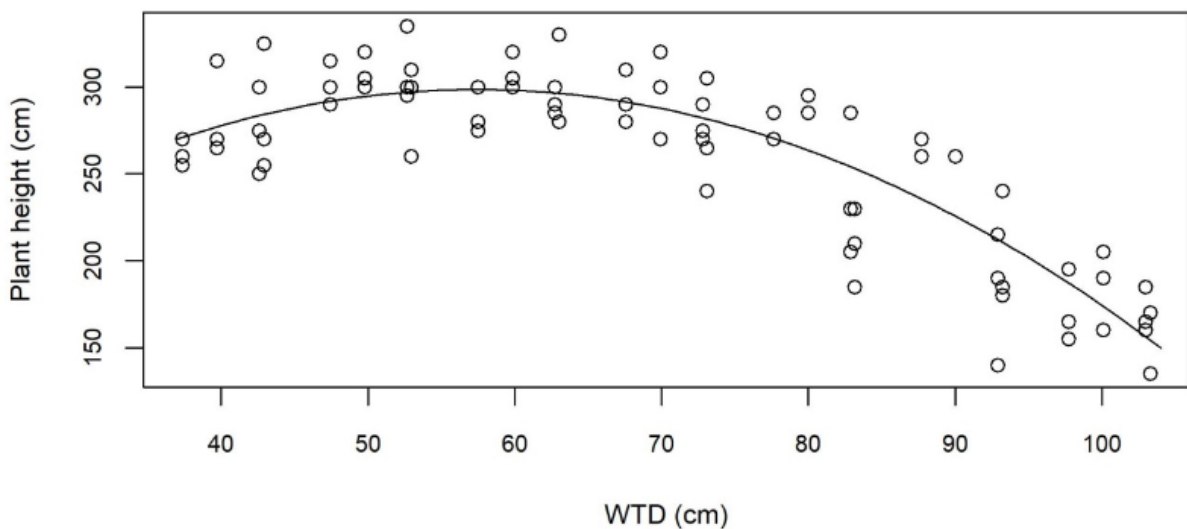
Hedelmät kehittyvät kosteassa maaperässä nopeasti, mikä johtaa siihen, että sadonkorjuun aikaan suuri osa siemenistä on jo kypsiä. Tämä lisää kompassikukan leviämiskasvun riskiä pellolta, jos siemenet itävät ja taimet pääsevät leviämään luontoon. Spontaania leviämistä on havaittu useissa Saksan osavaltioissa ja muissa Euroopan maissa. Luonnonsuojelun näkökulmasta näiden alueiden kartoittaminen on tärkeää, jotta riskiä leviämisestä suojelluille tai muutoin arvokkaille ekosysteemeille voidaan arvioida. (Ende ym., 2021, 3.)

Vuonna 2024 julkaistussa saksalaisessa tutkimuksessa tarkasteltiin kompassikukan siementen leviämismekanismeja eri ympäristöolosuhteissa. Tutkimuksessa toteutettiin neljä erillistä koetta, joissa analysoitiin siementen kulkeutumista tuulen ja jyrsijöiden välityksellä sekä niiden itävyyttä erilaisissa säilytysolosuhteissa. Näiden kokeiden tavoitteena oli ymmärtää, miten tehokkaasti kompassikukka voi levitä ja millaiset ympäristötekijät vaikuttavat sen leviämispotentiaaliin. Tulosten perusteella tuulen vaikutus siementen leviämiseen oli varsin rajallinen. Siemenet kulkeutuivat ilmavirran mukana vain muutaman metrin päähän emokasvista, mikä viittaa siihen, että tuuli toimii ensisijaisesti lyhyen matkan leviämisvektorina. Tämä rajoittaa kasvin luonnollista leviämistä laajemmalle alueelle pelkästään tuulen avulla, ellei siemeniä kulkeudu edelleen muiden ympäristötekijöiden, kuten veden tai eläinten mukana. (Ende ym., 2024.)

Jyrsijöiden vaikutus siementen leviämiseen oli puolestaan voimakkaasti riippuvainen ympäristöstä. Metsäympäristössä jyrsijät poistivat tutkimuksessa tarjotuista siemenistä 100 %, mikä tarkoittaa, että ne joko söivät siemenet kokonaan tai varastoivat ne myöhempää käyttöä varten. Sen sijaan avoimilla alueilla jyrsijät eivät koskeneet siemeniin lainkaan. Tämä havainto viittaa siihen, että jyrsijöillä voi olla merkittävä rooli kompassikukan siementen leviämisessä, mutta tutkimuksessa ei pystytty varmistamaan, toimivatko ne ainoastaan siementen kuluttajina vai myös niiden levittäjinä. Siementen itävyyttä tarkasteltiin sekä veden että maaperän vaikutusten alaisena. Kokeet osoittivat, että vedessä säilytetyt siemenet säilyttivät korkean itävyytensä riippumatta siitä, kuinka kauan ne olivat veden varassa. Lisäksi suurin osa siemenistä alkoi itää jo kahden ensimmäisen viikon aikana, mikä osoittaa, että vesi ympäristönä voi tukea kompassikukan lisääntymistä. Tämä viittaa siihen, että siemenet voivat kulkeutua vesistöjä pitkin pitkiäkin matkoja säilyttäen samalla itämiskykynsä. (Ende ym., 2024.)

Maaperässä varastoitujen siementen itävyys vaihteli niiden syvyyden mukaan. Maan pinnalle ja 10 senttimetrin syvyyteen haudatut siemenet itivät kahden ensimmäisen vuoden aikana, mikä osoittaa, että suurin osa siemenistä säilyttää elinkelpoisuutensa suhteellisen lyhyellä aikavälillä. Syvemmälle, 30 senttimetrin syvyyteen varastoiduista siemenistä jopa kolmannes pysyi itämiskykyisenä vielä neljän vuoden jälkeen. Kompassikukka voi siis muodostaa maaperään pitkäikäisen siemenpankin, mikä tukee lajin leviämistä ja lisää sen mahdollisuutta vakiinnuttaa kasvustoja ajan mittaan. (Ende ym., 2024.)

Tutkimustulokset siis osoittivat, että kompassikukka kykenee säilyttämään itämiskykynsä pitkään sekä vedessä että maaperässä, ja sillä voi olla potentiaalia levitä tehokkaasti uusille alueille ja muuttua mahdollisesti invasiiviseksi lajiksi etenkin kosteilla alueilla, joissa siemenet veden välityksellä pääsevät leviämään. (Ende ym., 2024.) Enden ja muiden (2021, 7.) toisen tutkimuksen mukaan erittäin kosteassa maaperässä kasvaneilla kasveilla on tutkimuksen mukaan myös suurempi lisääntymispotentiaali suuremman kukintomäärän vuoksi. Tämän tutkimuksen mukaan kosteassa maaperässä kasvaneet kasvit kasvoivat korkeammiksi ja tuottivat enemmän kukintoja kuin mää-
rässä tai kuivassa maaperässä kasvaneet. Veden korkeuden (WTD) vaikutus kasvin korkeuteen kasvukauden lopussa näkyy myös Enden ja muiden tutkimustuloksista kuviossa 5.



Kuvio 5. Kompassikukan korkeus toisen kasvukauden lopussa suhteessa vedenkorkeuteen (WTD). (Ende ym., 2021, 7.)

6.1.3 Kylvömenetelmät

Kompassikukan siementen kehitysprosessi on epätasainen, mikä johtuu kasvin siementen epätasaisesta kypsymisestä kukinnan aikana. Siemenet eivät kypsy samanaikaisesti, vaan sadonkorjuun yhteydessä mukaan kerätään sekä täysin kypsiä että vielä kehitysvaiheessa olevia siemeniä. Tämä epätasainen kypsyminen voi vaikuttaa sadon laatuun ja siementen itävyyteen, sillä kypsymättömät siemenet eivät idä yhtä hyvin kuin täysin kehittyneet. Lisäksi kompassikukan siemenet eivät ole rakenteeltaan homogeenisia, vaan niiden koko ja muoto vaihtelevat huomattavasti kuten on nähtävissä myös kuvioista 6 (Ende ym., 2024, 3.). Siementen pituus vaihtelee 9–10 mm, leveys 4,5–6

mm ja paksuus 1–1,5 mm välillä. Tuhannen siemenen paino (TSP) asettuu välille 16–20 g. Tämä koko- ja massavaihtelu voi vaikuttaa siementen itämiskykyyn sekä kylvön onnistumiseen, erityisesti silloin kun siemenet kylvetään suoraan peltoon ilman tarkkaa lajittelua. Epätasainen siemenkoko voi aiheuttaa ongelmia myös kylvökoneiden annostelussa ja levityksessä, mikä saattaa johtaa taimettumisen ja kasvuston tasaisuuteen pellolla. Kylvöön on suositeltavaa käyttää tavallisia kaupallisia tarkkuuskylvölaitteita tai piensiemenkylvökonetta. (Cumplido-Marin ym., 2020, 10–11.)



Kuvio 6. Kompassikukan siemeniä. (Ende ym., 2024, 3.)

Kompassikukan kylvösyvyys vaihtelee maaperän ominaisuuksien ja veden saatavuuden mukaan, ja oikean syvyyden valinta on keskeinen tekijä onnistuneessa viljelyssä. Yleisesti ottaen kylvösyvyys asettuu 10–20 millimetrin välille, mutta tarkka syvyys riippuu maalajin kosteuspitoisuudesta ja veden saatavuudesta kasvien kehityksen kannalta kriittisissä alkuvaiheissa. Kevyillä, hiekkapitoisilla ja herkästi poutivilla mailla, joissa vedenpidätyskyky on heikko ja kuivuminen tapahtuu nopeasti, kylvösyvyudeksi suositellaan enintään 15–20 mm. Tämä auttaa varmistamaan, että siemenet säilyvät riittävän kosteina itämisvaiheen ajan, mikä on taimettumisen onnistumiselle elintärkeää. Jos siemenet kylvetään liian pintaan tällaisilla mailla, ne saattavat kärsiä kosteuden puutteesta ja jäädä itämättä, kun taas liian syvä kylvö voi hidastaa taimettumista ja heikentää kasvin elinvoimaisuutta. Raskailla savimailla sekä eroosiolle alttiilla ja lietteisillä mailla, joissa maaperän kosteus säilyy paremmin ja veden saatavuus on turvattu, kylvö voidaan tehdä hieman matalampaan, noin 10–15

millimetrin syvyyteen. Tämä vähentää riskiä, että siemenet joutuvat liian syvälle maahan missä hapen saanti voi olla riittämätöntä itämiselle. (Cumplido-Marin ym., 2020, 11)

Kylvömäärä vaihtelee eri tutkimusten ja asiantuntijoiden välillä. Cumplido-Marinin ja muiden (2020, 11) vertailuartikkelin mukaan suositeltava kylvömäärä on 2,0–2,2 kg hehtaarille, mutta eri lähteet esittävät huomattavia vaihteluita optimaalisen siementiheyden suhteen. Esimerkiksi Köhler (2016, 68) suosittelee vastaavaksi määräksi 2,04 kg/ha, mikä on lähellä Cumplido-Marinin ja muiden ehdottamaa määrää. Pichard ja muut (2012) taas esittävät huomattavasti suuremman suosituksen, jopa 10 kg/ha, mikä viittaa siihen, että kylvömäärä voi vaihdella suuresti riippuen viljelyolosuhteista, siementen itävyydestä ja tuotantotavoitteista.

Vaihtelu kylvömäärissä voi johtua useista tekijöistä, kuten siementen koon ja itävyyden vaihtelusta, maaperän rakenteesta ja ravinnepitoisuudesta sekä viljelytavoitteista. Esimerkiksi korkeampi kylvömäärä voi olla perusteltua, jos halutaan varmistaa tasainen kasvusto epäsuotuisissa olosuhteissa, kun taas alhaisempi määrä voi riittää, jos siemenet ovat korkealaatuisia ja itävyysprosentti on korkea. Siksi kylvömäärän valinnassa tulee ottaa huomioon paikalliset olosuhteet ja testata eri strategioita optimaalisen sadon saavuttamiseksi. (Cumplido-Marin ym., 2020, 10–11).

Kylvöpäivämäärän valintaan vaikuttavat useat tekijät, joista keskeisimpiä ovat maaperän ominaisuudet ja vallitsevat sääolosuhteet. Optimaalisen kylvöajankohdan valinta on tärkeää, sillä kylvön jälkeiset epäsuotuisat sääolosuhteet voivat haitata siementen itämistä ja taimettumista. Esimerkiksi voimakkaat sateet heti kylvön jälkeen voivat viivästyttää itämisprosessia tai jopa estää sen kokonaan. Runsas sade voi aiheuttaa maaperän liettymistä, jolloin sen pinta muodostaa kovan kuoren, joka estää taimien läpikasvun ja heikentää taimettumisastetta. Tämä voi johtaa itävyyden heikkenemiseen ja epätasaiseen kasvustoon, mikä puolestaan vaikuttaa sadonmuodostukseen ja kasvien kilpailukykyyn rikkakasveja vastaan. Saksan viljelyolosuhteissa kompassikukan kylvö voidaan keskimäärin suorittaa joko keväällä huhtikuun ja toukokuun välisenä aikana tai syksyllä noin kaksi viikkoa ennen ensimmäisten pakkasten saapumista (Cumplido-Marin ym., 2020, 10–11).

Von Gehren ja muut (2016) tutkivat erilaisten siemenkäsittelyjen vaikutusta itämisnopeuteen ja totesi, että siementen pelletöinti voi parantaa mekaanisen kylvön onnistumista ja edistää tasaisempaa itämistä. Pelletöinnissä siemenet päällystetään ohuella ravinne- ja suojakerroksella, joka

voi auttaa siementä säilyttämään kosteuden paremmin ja suojata sitä ulkoisilta haittatekijöiltä, kuten kuivumiselta tai maaperän kovettumiselta. Siementen pelletöimisellä parannetaan kylvön taseisuutta, sillä siementen epäsäännöllinen muoto ja huono virtauskyky voivat aiheuttaa ongelmia kylvökoneissa. Lisäksi von Gehren ja muut suosittelevat mahdollisimman aikaista kylvöajankohtaa.

Gansberger (2016) kehitti menetelmän kompassikukan siementen elinkelpoisuuden määrittämiseksi mekaanisen siemenseulonnan avulla. Seulontaprosessissa eroteltiin heikkolaatuiset ja epämuodostuneet siemenet, mikä paransi jäljelle jääneen siemenerän laatua merkittävästi. Tutkimuksessa havaittiin, että tämän käsittelyn jälkeen siementen itävyysprosentti nousi 97,5 %:iin, mutta samalla alkuperäisestä siemenmäärästä jopa 50 % suodattui pois. Tämä osoittaa, että kompassikukan siemenerät voivat sisältää huomattavan määrän alhaisen itävyyden omaavia siemeniä, ja että laadun parantaminen vaatii tehokasta siementen käsittelyä ennen kylvöä.

Gansbergerin tutkimuksessa havaittiin myös, että itämiseen vaikuttavat useat ympäristötekijät, joista erityisesti valon ja lämpötilan vaihteluilla oli positiivinen vaikutus siementen itävyyteen. Tämä viittaa siihen, että optimaalisten kylvöolosuhteiden luominen voi merkittävästi parantaa tai metuttumisprosessia ja parantaa sadon onnistumista. Näin ollen kompassikukan viljelyssä on tärkeää ottaa huomioon paitsi oikea kylvöajankohta myös siementen laatu ja käsittely, jotta voidaan varmistaa mahdollisimman korkea itävyys ja elinvoimainen kasvusto.

Vuonna 2016 Saksassa toteutetussa tutkimushankkeessa keskityttiin erityisesti kylvömenetelmien kehittämiseen ja niiden vaikutuksiin kompassikukkakasvuston perustamisessa. Tutkimuksessa havaittiin, että perustamisvaiheella on huomattava vaikutus paitsi tulevien vuosien satoisuuteen, myös rikkakasvien hallintaan ja torjuntatarpeeseen. Huolellisesti suunniteltu ja toteutettu kylvö luo edellytykset vahvalle ja elinvoimaiselle kasvustolle, joka pystyy kilpailemaan rikkakasveja vastaan ja tuottamaan korkealaatuista satoa. (Köhler, 2016.)

Köhlerin (2016) mukaan kylvöalustan laatu on yksi tärkeimmistä tekijöistä onnistuneessa perustamisessa. Parhaaksi alustaksi todettiin rikkakasviton, tasainen ja hyvin tiivistetty maaperä, joka mahdollistaa tasaisen itämisen ja estää kilpailevien kasvien leviämisen. Kylvön optimaalinen ajankohta riippuu maaperän ominaisuuksista sekä vallitsevista sääolosuhteista. Siementen itäminen tapahtuu nopeimmin lämpimissä olosuhteissa, lämpötilan ollessa 20–30 astetta. Tutkimuksessa

todettiin optimaalisen kylvötiheyden olevan 10–15 siementä neliömetrillä, mikä varmistaa riittävän tiheän kasvuston ilman liiallista kilpailua yksilöiden välillä. Koska kompassikukka kasvaa alkuvaiheessa hitaasti, ensimmäisen kasvukauden rikkakasvien torjunta on erityisen tärkeää. Ilman tehokasta torjuntaa rikkakasvit voivat nopeasti vallata kasvualan ja haitata kompassikukan kehitystä. Rikkakasvien hallintaan voidaan käyttää joko kemiallisia torjunta-aineita tai mekaanisia menetelmiä, kuten harauksia ja rivivälien muokkausta. Kylvö voidaan suorittaa tavanomaisilla tarkkuuskylvökoneilla, mutta niiden asetusten optimointi on oleellista siementen tasaisen jakautumisen varmistamiseksi. Pneumaattiset kylvökoneet, joissa on vain yksi annosteluyksikkö, ovat osoittautuneet tehokkaimmiksi, sillä ne mahdollistavat siementen tarkan kylvön.

Kompassikukkakasvuston perustaminen voidaan toteuttaa paitsi kylvämällä siemeniä, myös istuttamalla taimitarhoissa kasvatettuja taimia. Tämä menetelmä on monissa tapauksissa tehokkaampi kuin siemenkylvö, sillä se vähentää itämisen epäonnistumisen riskiä. Taimien istuttaminen on kuitenkin huomattavasti työläämpi ja kustannuksiltaan korkeampi vaihtoehto, sillä taimien kasvattaminen ja istutustyö vaativat enemmän resursseja ja aikaa. Euroopan ilmasto-olosuhteissa taimet tulisi istuttaa kasvupaikalle viimeistään toukokuun aikana tai aivan kesäkuun alussa, jotta ne ehtivät juurtua ja kehittyä riittävästi ennen kesän lämpimimpiä kuukausia. Myöhäinen istutus voi heikentää taimien elinvoimaisuutta ja vaikuttaa negatiivisesti kasvuston lopulliseen tuottavuuteen. Taimien istutuksessa voidaan hyödyntää kasvisten ja mansikoiden istutukseen kehitettyjä istutuskoneita. Istutustiheys vaihtelee käytettävien menetelmien ja tavoitteiden mukaan. Riviväli voi olla 0,5 metristä 0,75 metriin ja yksittäisten taimien välinen etäisyys samassa rivissä voi vaihdella 0,12 metristä 0,5 metriin. Tutkimusten perusteella yleisimmin suositeltu istutustiheys on neljä kasvia neliömetrille, mikä tarkoittaa hehtaarin alueelle istutettuna taimimäärän olevan noin 40 000 yksilöä. (Cumplido-Marin ym., 2020, 11–12.)

Puolassa 2020 Bury ja muut toteuttivat kokeen, jossa tutkittiin perustamismenetelmän vaikutusta satotasoon. He havaitsivat, että taimista istutetut kasvit olivat keskimäärin 16 cm korkeampia, varreltaan 0,8 mm paksumpia ja niihin kehittyi enemmän versoja per kasvi (1,3) verrattuna kylvömenetelmällä perustettuun kasvustoon. Tämän todettiin johtuvan pääasiassa kasvitiheydestä pinta-alayksikköä kohde, koska istutusmenetelmällä perustetuilla lohkoilla oli noin kaksi kertaa vähemmän kasveja kuin kylvömenetelmällä perustetuilla lohkoilla. Nämä tulokset voivat viitata siihen,

että kilpailu maaperän ravinteista oli tärkeämpää kuin valon saannin väheneminen kasvien tiheyden lisääntyessä. Samaan tulokseen tulivat Schäfer ja muut (2017) sekä Gansberger ja muut (2017) Saksassa ja Itävallassa tekemissään tutkimuksissa. Heidät teoriansa oli, että istutuksen perustaminen siirtämällä taimia peltoon aiheuttaa taimista kasvatettujen kasvien säännöllisemmän kehityksen verrattuna siemenistä kasvatettuihin. Kasvihuoneessa optimaalisissa olosuhteissa kasvatettujen kasvien varhaisemmalla ja paremmalla kehitymisellä voi olla tärkeä vaikutus juurien paremman kehityksen ja siten paremman ravinteiden ja veden imeytymisen vuoksi.

Samassa tutkimuksessa Bury ja muut (2020) myös määrittivät LAI-indeksit eri kylvömenetelmillä perustetuilla kasvustoille. He havaitsivat, että sekä istutuksen perustamismenetelmä että kasvuvuosi vaikuttivat merkittävästi arvoihin. Siemenistä perustetuilla lohkoilla kasveille oli ominaista alhaisempi LAI-indeksi kuin taimista istutetuilla kasveilla kaikkina kasvuvuosina. Ero johtui pääasiassa vihreiden lehtien määrästä pinta-alayksikköä kohti. Mittausajankohtana syyskuun lopussa kompassikukan kasvit viimeistelivät kasvukauttaan, osa alemmista lehdistä oli jo pudonnut ja osa kuivuneita erityisesti varren keskiosassa. Vain ylemmät lehdet olivat vihreitä. Sitä vastoin istutusmenetelmällä perustetuilla lohkoilla kasveilla oli enemmän vihreitä lehtiä ja suurempi lehtiala, mikä tarkoitti, että niiden lehtivihreäindeksi oli merkittävästi suurempi huolimatta pienemmästä versojen lukumäärästä pinta-alayksikköä kohti.

6.1.4 Sadonkorjuu

Ensimmäisenä viljelyvuonna sadonkorjuuta yleensä vältetään alhaisten satotasojen ja kasvin mahdollisen vahingoittumisen vuoksi, sillä kasvu keskittyy ruusukkeeseen kehittymiseen. Toisesta vuodesta eteenpäin biomassan monipuolinen käyttö on mahdollista ja kompassikukka voi tuottaa suuria vuosisatoja 15 vuoden ajan. (Cumplido-Marin ym., 2020.)

Kompassikukan sadonkorjuun optimaalinen ajankohta riippuu kasvin viljelyn käyttötarkoituksesta. (Dauber ym., 2015.) Biokaasun ja kuidun tuotantoon viljeltäessä kompassikukalla on sama kypsy-misaika. Kasvit tulee leikata, kun varret eivät ole täysin ruskeita – kuitujen pitkälle edennyt lignifi-kaatio on haitallista myös biokaasukäytön kannalta. Metaanintuoton maksimoimiseksi sadonkorjuu tulisi suorittaa kukinnan lopussa kuiva-aineen ollessa 20–25 %. Mikäli kasvia käytetään rakennusmateriaalina, pyritään mahdollisimman korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen ja korkeaan lig-

nifikaatioon, jolloin sadonkorjuu tapahtuu kasvukauden lopussa. Kosteuspitoisuutta on mahdollista vähentää myös talviaikaisella korjuulla. (Greve, 2023, 25–26.) Mikäli kasvia viljellään rehuksi, se voidaan korjata jo aiemmin, koska lehtimassa on tällöin ravinnerikkaampaa. (Dauber ym., 2015.)

Kompassikukan sadonkorjuu voidaan toteuttaa maissin ja muiden energiakasvien korjuuseen suunnitelluilla koneilla, kuten silppurilla ja niittokoneella (kuvio 7). Koska kyseessä on monivuotinen kasvi, sen varret voivat kehittyä paksummiksi ja kestävämmiksi kuin yksivuotisten kasvien varret. Tämä voi asettaa erityisvaatimuksia silppurin teknisille ominaisuuksille, ja tehokkaan käsittelyn varmistamiseksi saattaa olla tarpeen käyttää erikoisvarusteltua silppuria. (Dauber ym., 2015.)



Kuvio 7. Kompassikukan korjuuta ajosilppurilla. (Fuldaer Zeitung, 2022.)

6.1.5 Satotaso

Kasvin kasvun kuvaamiseen käytetään BBCH-asteikkoa (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie), joka on yleisesti käytetty fenologinen asteikko kasvien kehitysvaiheiden määrittämiseen. BBCH-asteikko jakaa kasvin kehityksen yhdeksään pääluokkaan, joista ensimmäinen on 10 (lehtien muodostuminen) ja viimeinen 90 (tuleentuminen). Jokainen pääluokka sisältää tarkempia alaluokkia, jotka kuvaavat kasvin kehitystä yksityiskohtaisemmin. Esimerkiksi pensomisvaiheessa, kun kasvi on muodostanut kolme sivuversoa, kasvuvaihe merkitään koodilla BBCH:23. Tämän asteikon käyttö mahdollistaa tarkan kasvun seurannan ja vertailun eri kasvuolosuhteissa sekä auttaa viljelijöitä optimoimaan viljelytoimenpiteitä kasvin kehityksen mukaisesti. (Lantmännen Agro, 2020.)

Kompassikukan kehitys BBCH-asteikolla jaetaan kahteen pääosaan sen elinkaaren mukaan, jotta voidaan erottaa ensimmäisen vuoden nuori verso ja toisen vuoden aikuinen verso. Ensimmäisen vuoden aikana seurataan erityisesti itävyyttä, lehtien muodostumista ja kasvuston sulkeutumista. Tämä vaihe on tärkeä kasvin elinvoimaisuuden ja tulevan biomassan määrän kannalta, sillä alkuvaiheen kehitys vaikuttaa kasvin kykyyn kilpailla muiden kasvien kanssa ja kestää mahdollisia ympäristöolosuhteiden vaihteluita. Toisesta kasvuvuodesta alkaen kasvillisuuden kehitystä arvioidaan sekä vegetatiivisten että generatiivisten kasvuvaiheiden perusteella. Vegetatiivisessa kasvussa tarkkaillaan lehtien muodostumista ja versojen pituuskasvua, kun taas generatiivisen kasvun arviointi perustuu silmujen kehittymiseen, kukintaan, siementen muodostumiseen ja niiden kypsymisiin ja vanhenemisprosesseihin. Nämä vaiheet ovat olennaisia sekä biomassatuotannon että siementuotannon kannalta. (Greve ym., 2023, 2–3.)

Kompassikukan biomassantuotannossa varret muodostavat suurimman osan kokonaissadosta, mutta myös lehtibiomassa voi olla merkittävä osa kokonaistuotosta, riippuen kasvin käyttötarkoituksesta. Greven tutkimuksen mukaan kasvukauden lopussa lehtien osuus biomassasta on keskimäärin 30,94 %, mutta tätä suhdetta voidaan muuttaa valitsemalla optimaalinen korjuuajankohta. Esimerkiksi, jos tavoitteena on lisätä lehtien osuutta biomassasta, korjuuta voidaan aikaistaa ennen varsien täyttä lignifioitumista. Kompassikukan satotaso voi vaihdella huomattavasti kasvupaikan ja viljelyolosuhteiden mukaan. Optimaalisissa kasvuolosuhteissa kasvin biomassantuotanto voi saavuttaa 10–15 tonnia kuiva-ainetta hehtaarilta vuodessa, mikä on verrattavissa moniin muihin

energiakasveihin. Kasvia verrattiin koeolosuhteissa maissiin ja monivuotiseen sinimailaseen, ja tulokset osoittivat, että kompassikukan biomassasato oli noin 38 % alhaisempi kuin maissilla, mutta vain 6 % pienempi kuin sinimailasella. Näin ollen se voi olla varteenotettava vaihtoehto energiantuotantoon, erityisesti alueilla, joilla viljelyolosuhteet eivät ole suotuisia maissille. Sadon tuottoon vaikuttaa merkittävästi myös veden saatavuus: kuivemmissä olosuhteissa sadon alenema voi olla jopa 33 %, mikä korostaa riittävän kastelun ja kosteuden hallinnan merkitystä viljelyssä. (Dauber ym., 2015.)

Moldovan tasavallassa suoritetussa viljelykokeessa tutkittiin kompassikukan kasvua ja biomassatuotantoa eri kasvukausien aikana. Ensimmäisen kasvuvuoden aikana kasvi muodosti ainoastaan lehtiruusukkeen, joka koostui 15–20 lehdestä. Tämä on tyypillistä monivuotisille kasveille, joiden kasvuenergia ensimmäisenä vuonna kohdistuu juuriston ja lehtien kehitykseen varsinaisen sato-
tuotannon sijaan. Toisesta kasvuvuodesta alkaen kompassikukka alkoi kasvaa merkittävästi ja tuotti siemeniä joka vuosi. Kasvukausi Moldovassa alkoi maaliskuun lopussa, jolloin kasvi aloitti aktiivisen kasvun. Touko-kesäkuun vaihteessa kompassikukka saavutti jo huomattavan korkeuden, vaihdellen 186–213 cm välillä. Kukinta havaittiin kesäkuun lopussa, ja erityistä oli se, että kasveissa esiintyi samanaikaisesti kukkanuppua, kukkia ja kehittyviä siemeniä, mikä mahdollistaa pitkän sadonkorjuuajan. Kasvukauden loppuvaiheessa, ennen ensimmäisiä pakkasia, kasvin korkeus oli 320–373 cm, ja sen maanpäällinen biomassatuotanto oli 12–15 kg/m². (Tîtei ym., 2021.)

Moldovan tutkimuksessa arvioitiin myös kompassikukan biometaanintuotantopotentiaalia. Tulokset osoittivat, että kasvin biometaanikapasiteetti oli keskimäärin 230 litraa kuivamassakiloa kohden. Kun tämä arvo skaalattiin hehtaarikohtaiseksi tuotoksi, potentiaalinen biometaanintuotto arvioitiin olevan 6500–7000 m³ hehtaaria kohden. Tämä tekee kompassikukasta lupaavan vaihtoehdon biokaasun tuotantoon, sillä sen biometaanintuotto vastaa monia muita energiakasveja ja voi tarjota kestäväen ratkaisun uusiutuvan energian tuotantoon. Tutkimuksessa tuotettujen pellettien (kuvio 8) lämpöarvo oli 16,7 MJ/kg (Tîtei ym., 2021.) kun Motivan sivuston (2021) mukaan ruokohelvellä se on 17,1–17,5 MJ/kg ja puupelleteillä 19,0–19,2 MJ/kg.



Kuvio 8. Kompassikukan biomassaa brikettinä sekä pelletöitynä. (Titei ym., 2021.)

6.2 Taloudellinen kannattavuus

Cumplido-Marinin ja muiden (2022) tutkimuksessa tarkasteltiin kompassikukan taloudellista kannattavuutta verrattuna perinteisiin bioenergiakasveihin, kuten maissiin, norsuheinään ja lyhytkiertoiseen pajukasvustoon (short rotation coppice, SRC). Tutkimus kattoi useita Euroopan maita, kuten Iso-Britannian, Italian, Saksan ja Puolan, ja siinä arvioitiin, kuinka hyvin kompassikukka pärjää taloudellisesti suhteessa muihin energiakasveihin erilaisissa viljely- ja markkinatilanteissa.

Taloudellisen kannattavuuden arviointi perustui nettonykyarvon (NPV) laskentaan, jossa otettiin huomioon sekä viljelyn tuotot että siihen liittyvät kustannukset. Analyysissä huomioitiin muun muassa muuttuvat ja kiinteät kustannukset, kuten siemenet, lannoitteet, torjunta-aineet, työvoima ja konekustannukset. Lisäksi arvioitiin mahdollisten tukien vaikutusta viljelyn taloudelliseen tulokseen. Herkkyysanalyysillä tarkasteltiin, miten kannattavuuteen vaikuttavat keskeiset muuttujat, kuten tuotteiden hintavaihtelut, tuotantokustannusten muutokset ja diskonttokoron suuruus. Tämä antoi kattavamman kuvan viljelyn pitkän aikavälin taloudellisista näkymistä erilaisissa taloudellisissa olosuhteissa. (Cumplido-Marin ym., 2022.)

Tutkimustulokset osoittivat, että ilman tukia kompassikukka oli taloudellisesti kannattava viljelykasvi kaikissa tarkastelluissa maissa. Erityisen kilpailukykyiseksi se osoittautui Saksassa ja Puolassa, joissa tuotanto-olosuhteet sekä viljelytaloudelliset tekijät tukivat kasvin viljelyä. Myös Iso-Britanniassa kompassikukan viljely tuotti positiivisen nettonykyarvon, mikä viittaa siihen, että kasvia voidaan kasvattaa kannattavasti monenlaisissa ilmasto- ja markkinaolosuhteissa. Verrattuna muihin bioenergiakasveihin kompassikukka oli monissa skenaarioissa taloudellisesti kilpailukykyinen ja tuotti paremman nettotuoton kuin esimerkiksi monivuotinen paju tai norsuheinä. (Cumplido-Marin ym., 2022.)

Tutkimuksessa myös arvioitiin, miten ympäristöhyötyjen huomioiminen voisi vaikuttaa viljelyn kannattavuuteen. Mikäli viljelijöille maksettaisiin lisäkorvauksia kompassikukan tuottamista ekosysteemipalveluista, kuten hiilensidonnasta, eroosiolta suojaamisesta ja pölyttäjien elinympäristön parantamisesta, taloudellinen kannattavuus kasvaisi merkittävästi. Tämä viittaa siihen, että kompassikukan viljely voisi hyötyä politiikkatoimista, jotka tukevat ympäristöystävällistä maataloutta ja hiilensidontaa edistäviä viljelykäytäntöjä. (Cumplido-Marin ym., 2022.)

Vaikka tutkimus osoitti kompassikukan taloudellisen potentiaalin, Cumplido-Marin ja muut (2022) toivat esiin myös viljelyn laajamittaisen käyttöönoton esteitä. Suurimpina haasteina nähtiin korkeat perustamiskustannukset, erityisesti taimien hinta ja alkutuotannon vaatimat investoinnit. Kompassikukan viljely voi olla alkuvaiheessa taloudellisesti raskasta verrattuna yksivuotisiin energiakasveihin, mikä voi hidastaa sen yleistymistä. Tutkimuksessa ehdotettiin, että kehittämällä parempia ja kustannustehokkaampia siementuotantomenetelmiä voitaisiin alentaa perustamiskustannuksia ja tehdä viljelystä houkuttelevampaa.

Lisäksi tutkimuksessa korostettiin, että jatkotutkimuksia tarvitaan erityisesti viljelyn optimointiin, markkinoiden kehitykseen ja ympäristöhyötyjen mittaamiseen. Kannattavuus voi parantua huomattavasti, jos tukipolitiikat ja markkinaolosuhteet kehittyvät suotuisasti. Esimerkiksi uusiutuvan energian tuotantoon liittyvät tuet ja hiilimarkkinoiden kehittyminen voisivat lisätä kompassikukan taloudellista houkuttelevuutta ja kannustaa viljelijöitä investoimaan sen viljelyyn laajemmassa mitakaavassa.

Kokonaisuudessaan Cumplido-Marinin ja muiden (2022) tutkimus osoitti, että kompassikukka on varteenotettava vaihtoehto bioenergiakasvina, jolla on potentiaalia sekä taloudellisesta että ekologisesta näkökulmasta. Sen viljelyn yleistyminen edellyttää kuitenkin tarkempaa tutkimusta ja mahdollisesti poliittista tukea, jotta sen tuottamat ympäristöhyödyt voidaan tehokkaasti yhdistää kannattavaan liiketoimintamalliin.

7 Johtopäätökset

Turvemaat ovat merkittävä kasvihuonekaasupäästöjen lähde maataloussektorilla, sillä niiden viljelykäyttö johtaa usein hiilen vapautumiseen ilmakehään. Turvemaiden kuivaaminen ja muokkaaminen kiihdyttävät orgaanisen aineksen hajoamista, minkä seurauksena vapautuu suuria määriä hiilidioksidia (CO_2) ja muita kasvihuonekaasuja, kuten dityppioksidia (N_2O). Tämä tekee turvemaista erityisen haastavan viljely-ympäristön, jossa perinteiset viljelymenetelmät eivät ole kestäviä pitkällä aikavälillä.

Yksi lupaava ratkaisu tähän ongelmaan on kosteikkoviljely, jossa hyödynnetään kasveja, jotka ovat sopeutuneet hyvin kosteisiin ja vettä sietäviin olosuhteisiin. Kosteikkoviljelyn perusajatuksena on säilyttää turvemaan vesitasapaino mahdollisimman korkeana, jotta maaperän hiilivarasto pysyy yllä ja turpeen hajoaminen hidastuu. Tässä yhteydessä kompassikukka on noussut potentiaalisiksi vaihtoehdoksi, sillä sen ominaisuudet tukevat kosteikkoviljelyn tavoitteita samalla kun se tarjoaa monia lisähyötyjä.

Tutkimusten mukaan kompassikukka soveltuu kosteikkoviljelyyn useista syistä. Ensinnäkin se tuottaa runsaasti biomassaa, mikä tekee siitä lupaavan bioenergian raaka-aineen. Korkea biomassan tuotanto voi parantaa viljelyn taloudellista kannattavuutta ja tarjota uusiutuvan energian lähteen, joka voisi osaltaan vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Toiseksi kompassikukan syvä juuristo edistää maaperän rakennetta parantamalla veden ja ravinteiden kiertoa sekä sitomalla hiiltä maaperään. Tämä voi auttaa hidastamaan turpeen hajoamista ja vähentämään hiilidioksidipäästöjä, mikä tekee siitä ympäristön kannalta houkuttelevan vaihtoehdon.

Lisäksi kompassikukka on monivuotinen kasvi, mikä erottaa sen monista muista viljelykasveista. Monivuotisuus tekee viljelystä ekologisesti kestävän, sillä se vähentää tarvetta vuosittaiselle maaperän muokkaukselle ja lannoittamiselle, mikä puolestaan pienentää maatalouden ympäristövaikutuksia. Kasvin kyky sietää vaihtelevia kosteusolosuhteita tekee siitä erityisen kiinnostavan vaihtoehdon suomalaisille turvemaille, joissa vesitasot voivat vaihdella voimakkaasti vuodenaikojen mukaan.

Vaikka kompassikukan viljely tarjoaa monia etuja, siihen liittyy myös haasteita, jotka on otettava huomioon ennen laajamittaista käyttöönottoa. Yksi merkittävä riski on kasvin mahdollinen hallitsematon leviäminen, joka voi muodostaa uhan luonnon monimuotoisuudelle. Keski-Euroopassa tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että kompassikukka voi levitä aggressiivisesti, jos sen kasvua ei hallita asianmukaisesti. Tämän vuoksi sen viljely Suomessa vaatii tarkkaa seurantaa ja tehokkaita hallintakeinoja, jotta sen leviämistä voidaan rajoittaa ja ekosysteemien tasapainoa ylläpitää.

Kompassikukan viljelyn yleistyessä on tärkeää tarkastella sen mahdollisia vaikutuksia ekosysteemiin invasiivisen käyttäytymisen näkökulmasta. Kompassikukka tuottaa runsaasti siemeniä, mikä lisää sen leviämispotentiaalia. Ekologisesti invasiivisuus voi vaikuttaa syrjäyttämällä alkupe räisiä kasvilajeja, kilpailla resursseista kuten valosta, vedestä ja ravinteista tai muuttaa maaperän mikrobistoa, mikä vaikuttaa ravinteiden kiertoon ja maaperän terveyteen. Lisäksi pitkä kukinta-aika voi houkutella pölyttäjiä ja vähentää muiden kasvien pölytyksen onnistumista. Pitkällä aikavälillä invasiivinen kasvi voi näin muuttaa kasvillisuusyhteisöjen rakennetta ja ekosysteemien sukkesiokehitystä, heikentäen erityisesti suojellisesti arvokkaita elinympäristöjä. Tämän vuoksi kompassikukan leviämistä viljelyalueiden ulkopuolelle tulisi seurata aktiivisesti, ja viljelyä suunnitellessa noudattaa varovaisuusperiaatetta ja ottaa huomioon vieraslajisääntely sekä sen mahdolliset kiristyvät velvoitteet.

Tämä osoittaa, että kompassikukan viljely kosteikkoviljelyn osana tarjoaa mahdollisuuden yhdistää ympäristöystävällinen maankäyttö ja biomassan tuotanto, mutta sen käytännön toteutus edellyttää huolellista suunnittelua ja seurantaa. Jatkotutkimuksia tarvitaan erityisesti sen pitkäaikaisista vaikutuksista turvemaihin, hiilensidontaan ja luonnon monimuotoisuuteen, jotta viljelyn hyödyt ja mahdolliset riskit voidaan arvioida kokonaisvaltaisesti.

7.1 Kasvuolosuhteet turvemaiilla – haasteet ja mahdollisuudet

Turvemaiilla viljelyssä on monia erityispiirteitä, jotka voivat olla kasvin kasvulle sekä haasteellisia että hyödyllisiä. Kompassikukan ominaisuudet näyttäytyvät näissä olosuhteissa sekä lupaavina että viljelyteknisesti harkintaa vaativina.

Turvemaiden korkea pohjavesi ja suuri veden varastointikyky luovat potentiaaliset kasvuolosuhteet kosteutta sietäville kasveille, kuten kompassikukalle. Kasvin syvä juuristo mahdollistaa veden ja ravinteiden hyödyntämisen myös kuivempina jaksoina, ja juuristo voi läpäistä turpeen rakenteen tehokkaasti. Kompassikukka kestää myös tilapäistä vettymistä, mikä tekee siitä käyttökelpoisen ehdokkaan kosteikkoviljelyyn. Toisaalta jatkuva seisova vesi voi heikentää kompassikukan kasvua, erityisesti taimivaiheessa, jolloin juuristo ei ole vielä täysin kehittynyt. Tämä edellyttää vesitalouden tarkkaa hallintaa taimivaiheessa. Lisäksi turvemaiden alhainen pH voi rajoittaa ravinteiden saatavuutta, mutta kirjallisuuden mukaan kompassikukka sietää happamia oloja kohtalaisesti.

Kolmas merkittävä haaste on sadonkorjuu kosteissa olosuhteissa. Märkä maaperä voi aiheuttaa tiivistymistä ja vaikeuttaa koneellista korjuuta, erityisesti syksyllä. Viljelymenetelmien optimointi, kuten kevyempien koneiden käyttö ja sadonkorjuuajankohdan optimointi nousevat tärkeiksi käytännön kysymyksiksi.

Kompassikukan fysiologisen ominaisuudet tukevat sen viljelyä turvemaiilla ja kosteikkoviljelyolosuhteissa, mutta onnistunut viljely edellyttää paikallisten olosuhteiden tarkkaa huomioimista, viljelytekniikan sopeuttamista sekä riskien hallintaa.

7.2 Kompassikukan viljelyn edistäminen

Vaikka kompassikukka vaikuttaa lupaavalta vaihtoehdolta turvemaiden päästöjen vähentämiseksi ja biomassan tuottamiseksi, sen viljely Suomessa vaatii tuekseen myös poliittisia ja taloudellisia kannustimia. Nykyinen maataloustukijärjestelmä ei vielä selkeästi tunnista kosteikkoviljelyn erityispiirteitä, mikä saattaa heikentää viljelijöiden kiinnostusta uusien, kokeellisten kasvien viljelyyn. Kompassikukan viljelyä voitaisiin tukea esimerkiksi kohdennetuilla ympäristökorvauksilla, jotka ot-

taisivat huomioon kasvin hiilensidontapotentiaalin ja monimuotoisuutta tukevan vaikutuksen. Lisäksi pilottiluonteisia tukimalleja voitaisiin kehittää erityisesti turvetuotannosta poistuneille alueille, jolloin viljelijät voisivat siirtyä hallitusti uuteen tuotantosuuntaan ilman kohtuutonta taloudellista riskiä.

Myös investointitukien laajentaminen esimerkiksi kosteikkoviljelyyn soveltuviin koneisiin tai kastelujärjestelmiin voisi madaltaa kynnystä ottaa kompassikukka käyttöön viljelykasvina. Pidemmällä aikavälillä tärkeää olisi rakentaa kompassikukan ympärille toimiva arvoketju ja kysyntä markkinoilla, esimerkiksi bioenergia-, rehuteollisuus- tai rakennusmateriaalisektoreilla. Tällöin viljely ei olisi pelkästään ympäristöteko, vaan myös taloudellisesti kannattava vaihtoehto viljelijälle.

Toinen keskeinen edellytys viljelyn edistämiseksi on kasvin leviämisen hallinta. Kompassikukka ei toistaiseksi ole virallinen vieraslaji Suomessa, mutta sen luontainen kyky levitä siemenestä tekee siitä potentiaalisesti riskialttiin erityisesti ennallistetuilla kosteikkoalueilla. Viljelytoiminnassa onkin tärkeää huolehtia siitä, että kasvi pysyy viljelyalueella eikä leviä ympäröivään luontoon.

8 Pohdinta

Kompassikukan viljelypotentiaalin arvioiminen turvemailla edellyttää tarkempia ja pitkäjänteisiä kenttäkokeita, erityisesti Suomen olosuhteissa. Turvemailla vallitsevat olosuhteet, kuten korkea orgaanisen aineksen pitoisuus ja vaihtelevat vesitasot, voivat merkittävästi vaikuttaa kompassikukan kasvuun, biomassan tuotantoon ja sadon laatuun. Näiden tekijöiden vaikutuksista tarvitaan lisää tutkimustietoa, jotta viljelykäytäntöjä voidaan kehittää ja mukauttaa suomalaisille turvemailla sopiviksi. Erityisesti vesitason hallinta voi olla ratkaiseva tekijä viljelyn onnistumisen kannalta, sillä liian korkea tai matala pohjaveden pinta voi heikentää kasvin kasvua ja vaikuttaa juuriston kehittymiseen. Siksi tarvitaan tarkempia tutkimuksia, joissa selvitetään optimaaliset vesitasot kompassikukan viljelylle erilaisilla turvemailla.

Toinen tärkeä tutkimusalue liittyy lannoitusstrategioiden optimointiin. Koska kompassikukan ravinnetarpeet saattavat poiketa perinteisistä viljelykasveista, on olennaista määrittää oikeanlainen lannoitusohjelma, joka tukee kasvin kasvua ilman tarpeetonta ravinnehuuhtoumaa. Turvemailla ravinteiden pidätyskyky voi vaihdella suuresti, mikä vaikuttaa lannoitustarpeisiin ja -käytäntöihin.

Oikeanlaisen lannoitusstrategian kehittäminen on tärkeää sekä satopotentialin maksimoimiseksi että ympäristövaikutusten minimoimiseksi.

Lisäksi sadonkorjuumenetelmien kehittäminen kosteikkoviljelyyn soveltuvaksi on keskeinen haaste, joka vaatii lisätutkimusta. Kosteat turvemaat voivat olla haastavia työskentely-ympäristöjä perinteisille maatalouskoneille, joten tarvitaan erityisiä ratkaisuja, jotka mahdollistavat sadon tehokkaan keruun ilman, että maaperä kärsii liiallisesta tiivistymisestä tai muista haitallisista vaikutuksista. Kehittämällä sopivia sadonkorjuumenetelmiä voidaan parantaa sekä sadon määrää että sen laatua, mikä puolestaan voi tehdä viljelystä taloudellisesti kannattavampaa.

Merkittävä tutkimuskohde on myös kompassikukan viljelyn pitkäaikaisvaikutukset turvemaiden hiilensidontaan ja biodiversiteettiin. Turvemaat toimivat luonnostaan suurina hiilivarastoina, ja niiden viljely voi vaikuttaa joko positiivisesti tai negatiivisesti maaperän hiilitaseeseen. Kompassikukan potentiaali hiilivarastojen ylläpidossa tai jopa niiden lisäämisessä vaatii kuitenkin pitkäaikaisia seurantatutkimuksia, jotta voidaan selvittää sen todelliset vaikutukset. Lisäksi olisi tärkeää tutkia, millaisia muutoksia kompassikukan viljely aiheuttaa maaperän mikrobikannalle ja muille elollisille organismeille. Tämä auttaisi arvioimaan viljelyn mahdollisia hyötyjä tai haittoja biodiversiteetille ja tarjoaisi arvokasta tietoa kestävien viljelykäytäntöjen kehittämiseksi.

Kosteikkoviljelyssä on vielä myös taloudellisia ja markkinointiin liittyviä haasteita, jotka vaativat syvällisempää tarkastelua. Vaikka kompassikukan viljely voi tarjota ympäristöhyötyjä ja kestävän vaihtoehdon perinteiselle viljelylle, sen taloudellinen kannattavuus on vielä epävarmaa. Tarvitaan lisätutkimusta viljelytuotteen markkinamahdollisuuksista ja kysynnästä, jotta voidaan selvittää, millä edellytyksillä kompassikukasta voisi tulla kannattava vaihtoehto viljelijöille. Viljelyn laajentaminen ja taloudellisen kannattavuuden varmistaminen edellyttävät myös poliittista tukea, kuten kannustimia ja tukijärjestelmiä, jotka helpottavat kosteikkoviljelyn yleistymistä Suomessa.

Tämänhetkisten tietojen perusteella kompassikukan viljelyn mahdollisuudet Suomen turvemaidella näyttävät lupaavilta, mutta edellyttävät vielä kattavaa tutkimusta ja kehitystyötä. Tarkempi ymmärrys vesitasojen vaikutuksista, lannoitusstrategioista, sadonkorjuumenetelmistä sekä pitkäaikaisista ympäristövaikutuksista on välttämätöntä, jotta viljelyn ympäristöhyödyt ja taloudellinen kestävyys voidaan maksimoida. Lisäksi markkinointiin ja viljelyn taloudelliseen kannattavuuteen

liittyvät kysymykset vaativat huomiota, jotta kosteikkoviljelyllä olisi tulevaisuudessa vahvempi asema Suomen maataloudessa. Tulokset voivat toimia pohjana alueellisille viljelysuosituksille ja tukipolitiikalle.

8.1 Työn eettisyys ja luotettavuus

Opinnäytetyön luotettavuuden varmistamiseksi tutkimuksessa on käytetty ajankohtaisia ja tieteellisesti perusteltuja lähteitä, jotka tukevat tutkimuksen teoreettista viitekehystä ja auttavat muodostamaan kattavan käsityksen aiheesta. Lähdeaineiston valinnassa on pyritty hyödyntämään ensisijaisesti vertaisarvioituja tutkimuksia sekä muita luotettavia julkaisuja, jotka tarjoavat relevanttia ja ajantasaista tietoa kompassikukan viljelystä ja siihen liittyvistä tekijöistä.

Koska kompassikukan viljelyyn liittyvä tutkimus on keskittynyt pääasiassa Saksaan, valtaosa käytetyistä tutkimuksista on peräisin saksalaisista lähteistä. Monet näistä julkaisuista ovat olleet saksankielisiä, mikä on asettanut haasteita tiedon käsittelylle ja tulkinnalle. Koska tutkimustuloksia on jouduttu kääntämään, on mahdollista, että käännösprosessin aikana on syntynyt virheitä, jotka voivat vaikuttaa työn luotettavuuteen. Tämän riskin minimoimiseksi tietoja on pyritty varmistamaan tarkistamalla niitä useista eri lähteistä ja vertailemalla eri tutkimusten tuloksia keskenään. Lisäksi on hyödynnetty aiempia kansainvälisiä tutkimuksia sekä muita luotettavia tietolähteitä, jotka tukevat työn tulkintoja ja analyysiä. Huomionarvoista on myös, että koska lähteet perustuvat kansainvälisiin tutkimuksiin, niiden tulkinnassa tulee ottaa huomioon erilaisten ilmasto- ja maaperäolosuhteiden vaikutus kompassikukan viljelyyn Suomessa.

Tutkimuksessa ei ole käytetty haastatteluja tai muita aineistonkeruumenetelmiä, jotka edellyttäisivät tutkimuslupaa tai henkilötietojen käsittelyä. Tästä syystä eettisten näkökulmien huomioon ottaminen on liittynyt ensisijaisesti aineistojen asianmukaiseen käyttöön ja lähteiden oikeaan tulkintaan. Koska tutkimus perustuu kirjallisuuskatsaukseen ja aiempaan tutkimustietoon, tietosuojaan liittyviä erityistoimenpiteitä ei ole ollut tarpeen toteuttaa.

Kaiken kaikkiaan tutkimuksen luotettavuutta on pyritty vahvistamaan huolellisella lähdekritiikillä, monipuolisella aineiston tarkastelulla sekä tiedon huolellisella analysoinnilla. Vaikka käännösprosessiin liittyy mahdollisia haasteita, laaja lähdeaineisto ja tietojen ristiin vertailu tukevat tutkimuksen luotettavuutta ja sen johtopäätösten paikkansapitävyyttä. Kirjallisuuskatsauksessa käytetyt

lähteet on valittu kriittisesti arvioiden niiden tieteellistä luotettavuutta, ajantasaisuutta ja soveltuvuutta tutkimusaiheeseen. Suurin painoarvo on annettu vertaisarvioituille tieteellisille artikkeleille, erityisesti agronomian ja ympäristötieteiden alueilta, koska ne tarjoavat empiirisesti todennettuja ja metodologisesti läpinäkyviä tuloksia. Sen sijaan joillakin verkkolähteillä ja viljelijäjärjestöjen julkaisuilla on työssä tukevampi rooli: niitä on käytetty täydentämään kuvaa viljelyn käytännön näkökulmista tai ajankohtaisista kehityssuunnista. Näiden lähteiden osalta tiedotetaan se, että tiedot voivat olla painottuneita tai tarkoitushakuisesti esitettyjä, minkä vuoksi niitä on käytetty harkiten ja ristiin tarkastettu muiden lähteiden kanssa.

Lähteet

- Abel, S. Archibald, L. Appulo, L. Barthelmes, A. Berghöfer, U. Bruisch, K. Büttner, M. Davies, M. De-witz, I. Elshehawi, S. Maldonado-Fonken, M. Gaudig, G. Hirschler, O. Hohlbein, M. Holdinghausen, H. Hüpperling, S. Joosten, H. Kopansky, D. Lew Siew Yan, S. Malpica-Piñeros, C. Moen, A. Mi-nayeva, T. Nordt, A. Parish, F. Peters, J. Prescher, A. Rehmer, C. Richardson, C. Rozzi, R. Strack, M. Tanneberger, F. Tannert, E. Vasander, H. Wabiwa Betoko, I. Walter, J. Westhoff, T. Wichmann, S. 2023. Peatland Atlas. Viitattu 18.3.2025. https://eu.boell.org/sites/default/files/2023-09/peat-landatlas2023_web_20230914.pdf
- Bioenergia ry. 2024. Tietopankki. Verkkosivu. Viitattu 28.4.2025. bioenergia.fi/tietopankki/turve/
- Booth, A. Sutton, A. Papaioannou, D. 2016. Systematic Approaches to a Successful Literature Re-view. 2. p. Lontoo: SAGE Publications Ltd.
- Centria ammattikorkeakoulu. 2025. Tiedonhankinnan opas. Verkkojulkaisu. Viitattu 8.4.2025. <https://libguides.centria.fi/c.php?g=675824&p=4812109>
- Cumplido-Marin L. 2020. Practitioner leaflet for Cup plant – a multipurpose perennial plant. Viljely-ohje. Viitattu 9.4.2025. biomassconnect.org/wp-content/uploads/2023/04/Factsheet-for-Silphium.pdf
- Cumplido-Marin, L. Graves, A. Burgess, P. Morhart, C. Paris, P. Jablonowski, N. Facciotto, G. Bury, M. Martens, R. Nahm, M. 2020. Two Novel Energy Crops: *Sida hermaphrodita* (L.) and *Silphium perfoliatum* L. – State of Knowledge. Vertailuartikkeli. Viitattu 25.3.2025. mdpi.com/2073-4395/10/7/928
- Cumplido-Marin, L. Burgess, P. Facciotto, G. 2022. Comparative economics of *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby and *Silphium perfoliatum* L. as bioenergy crops in Europe. Tutkimusartikkeli. Viitattu 26.3.2025. [https://www.researchgate.net/publication/360605363_Compara-tive_economics_of_Sida_hermaphrodita_L_Rusby_and_Silphium_perfoliatum_L_as_bio-energy_crops_in_Europe](https://www.researchgate.net/publication/360605363_Comparative_economics_of_Sida_hermaphrodita_L_Rusby_and_Silphium_perfoliatum_L_as_bio-energy_crops_in_Europe)
- Dauber, J. Müller, A. Schittenhelm, S. School, B. Schorpp, Q. Schrader, S. Schroetter, S. 2015. Agrarökologische Bewertung der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) als eine Bio-massepflanze der Zukunft. Hankkeen loppuraportti. 10/2015. Viitattu 19.3.2025. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn056633.pdf
- Ende, M. 2023. Birgt der Hoffnungsträger unter den Bioenergiepflanzen ein invasives Potenzial? Autökologie, Konkurrenzverhalten und Spontanvorkommen der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum*). Väitöskirja. Viitattu 2.4.2025. https://epub.uni-bayreuth.de/id/eprint/7472/1/Disse-ration_MarieEnde.pdf
- Ende, M. Knöllinger, K. Keil, M. Fiedler, A. Lauerer, M. 2021. Possibly invasive new bioenergy crop *silphium perfoliatum*: Growth and reproduction are promoted in moist soil. Tutkimusartikkeli. Vi-

tattu 19.3.2025. https://www.researchgate.net/publication/348172942_Possibly_Invasive_New_Bioenergy_Crop_Silphium_perfoliatum_Growth_and_Reproduction_Are_Promoted_in_Moist_Soil

Ende, M. Lauerer, M. 2022. Spreading of the cup plant (*silphium perfoliatum*) in northern Bavaria (Germany) from bioenergy crops. Tutkimusartikkeli. Viitattu 19.3.2025. <https://www.sciencedirect.com/org/science/article/pii/S1619003322000032>

Ende, M. Hummel, L. Lauerer, M. 2024. Dispersal and persistence of cup plant seeds (*Silphium perfoliatum*): do they contribute to potential invasiveness? Tutkimusartikkeli. Viitattu 20.3.2025. plecevo.eu/article/104640/

Figas, A. Rolbiecki, R. Rolbiecki, S. Jagosz, B. Langowski, A. Sadan-Ozdemir, H. Pal-Fam, F. Atilgan, A. 2024. Towards water-efficient irrigation of cup plant (*silphium perfoliatum* L.) for energy production: Water requirements and rainfall deficit. Tutkimusartikkeli. Viitattu 19.3.2025. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/13/5451>

Fuldaer Zeitung. 2022. Alternativen für Biogaserzeugung gesucht: Experten erproben in Osthessen neue Pflanzen. Verkkouutinen. Viitattu 22.4.2025. <https://www.fuldaerzeitung.de/huenfelder-land/hessen-hirse-durchwachsene-silphie-biogas-alternativen-erprobung-bad-hersfeld-91803751.html>

Gansberger, M. 2016. Samenmorphologie, Keimprozess, Saatgutaufbereitung und Bestimmung der Lebensfähigkeit von *Silphium perfoliatum* L. Samen. Viljelyopas. Viitattu 25.3.2025. <https://ojs.openagrar.de/index.php/Kulturpflanzenjournal/article/view/13215>

Gansberger, M. Stüger, H. Weinhappel, M. Moder, K. Liebhard, P. von Gehren, P. Mayr, J. Ratzenböck, A. 2017. Germination characteristics of *Silphium perfoliatum* L. seeds. Tutkimusartikkeli. Viitattu 1.4.2025. <https://intapi.sciendo.com/pdf/10.1515/boku-2017-0007>

Von Gehren, P. Gansberger, M. Mayr, J. Liebhard, P. 2016. The effect of sowing date and seed pretreatment on establishment of the energy plant *Silphium perfoliatum* by sowing. Tutkimusartikkeli. Viitattu 25.3.2025. [researchgate.net/publication/303355622_The_Effect_of_Sowing_date_and_seed_pretreatments_on_establishment_of_the_energy_plant_Silphium_perfoliatum_by_sowing](https://www.researchgate.net/publication/303355622_The_Effect_of_Sowing_date_and_seed_pretreatments_on_establishment_of_the_energy_plant_Silphium_perfoliatum_by_sowing)

Greve, M. Korte, C. Entrup, J. Altrogge, H. Bischoff, P. Elfers, J. Wever, C. Pude, R. 2023. Evaluation of the Intra- and Interspecific Development of Different Accessions of *Silphium Perfoliatum* L. and *Silphium integrifolium* Michx. Artikkel. Viitattu 25.3.2025. [mdpi.com/2073-4395/13/6/1601#B2-agronomy-13-01601](https://www.mdpi.com/2073-4395/13/6/1601#B2-agronomy-13-01601)

Hassler, M. 2009. Kulturpflanze, Bienenweide, Ruderalstellen, Flusssufer Günzburg, Straße nach Of-fingen, ca. 450 m ü.M. Verkkosivusto. Viitattu 14.4.2025. <https://www.mittelmeer-flora.de/Zweikeim/Asteraceae/silphium.htm>

Jasinskas, A. Simonavičiūtė, R. Šiaudinis, G. Liaudanskienė, I. Antanaitis, Š. Arak, M. Olt, J. 2014. The assessment of common mugwort (*Artemisia vulgaris* L.) and cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) productivity and technological preparation for solid biofuel. Tutkimusartikkeli. Viitattu

25.3.2025. https://www.researchgate.net/profile/Inga-Liaudanskiene/publication/264497646_The_assessment_of_common_mugwort_Artemisia_vulgaris_L_and_cup_plant_Silphium_perfoliatum_L_productivity_and_technological_preparation_for_solid_biofuel/links/53e1f2c30cf2235f352bfa0a/The-assessment-of-common-mugwort-Artemisia-vulgaris-L-and-cup-plant-Silphium-perfoliatum-L-productivity-and-technological-preparation-for-solid-biofuel.pdf

Jyväskylän ammattikorkeakoulu. 2023. TKI-projektit esittelysivu. Viitattu 19.3.2025. <https://www.jamk.fi/fi/tutkimus-ja-kehitys/tki-projektit/turvemaiden-uudet-viljelykasvit-seka-bio-sivuvirrat-tuotantoketjut-arvoaineet-ja-kiertotalous>

Kari, M. 2022. Turvepelto-opas. ProAgria verkkojulkaisu. Viitattu 18.3.2025. <https://www.proagria.fi/www/nettilehdet/turvepelto-opas/#/article/4/page/1>

Karppinen, V. 2023. Kosteikkoviljelyn mahdollisuudet. Opinnäytetyö, AMK. Savonian ammattikorkeakoulu, luonnonvara- ja ympäristöala, agrologin tutkinto-ohjelma. Viitattu 18.3.2025. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/798906/Karppinen_Ville.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Kekkonen, H. 2017. Turvemaiden viljelytilanne Suomessa. Luonnonvarakeskuksen verkkojulkaisu. Viitattu 18.3.2025. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/541308>

Kekkonen, H. 2020. Miten viljelen turvemaita ilmastoviisaasti. Esitys, Maatalouden ilmastopäivä. Viitattu 18.3.2025. https://www.ilmastoviisas.fi/wp-content/uploads/2020/09/turvemaiden_ilmastoviisas_viljely_2020-02-13_hkekkonen_luke.pdf

Kowalska, G. Pankiewicz, U. Kowalski, R. 2020. Evaluation of Chemical Composition of Some Silphium L. Species as Alternative Raw Materials. Tutkimusartikkeli. Viitattu 31.3.2025. <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/4/132>

Köhler, J. 2016. Wie die Saat, so die Ernte – Erfolgreiche Etablierung Durchwachsener Silphien durch Aussaat. Viljelyopas. Viitattu 25.3.2025.

Lantmännen Agro. 2020. Tunnista kasvin kasvuasteet. Verkkoteksti. Viitattu 25.3.2025. lantmannagro.fi/ajankohtaista/2020/tunnista-kasvin-kasvuasteet/

Laukkanen, H. 2023. Mitä on kosteikkoviljely? Verkkootikkeli. Viitattu 31.3.2025. <https://www.proagria.fi/blogit/ilmasto-muutoksessa/mita-on-kosteikkoviljely>

Lehtonen, H. Aro, K. Kaustell, K. Leinonen, I. Luostarinen, S. Niskanen, O. Rasi, S. Suokannas, A. 2024. Maatalouden vähähiilisyystiekartta. MTK:n verkkojulkaisu. Viitattu 18.3.2025. https://www.mtk.fi/documents/d/mtk/maatalouden_ilmastotiekartta_2024_netti

LUOKO ry. 2024. Turvepeltojen moninaiset merkitykset. Selvitys. Viitattu 19.3.2025.

Lång, K. Aro, L. Assmuth, A. Haltia, E. Hellsten, S. Larmola, T. Lempinen, H. Linfors, L. Lohila, A. Miettinen, A. Minkinen, K. Nieminen, M. Ollikainen, M. Ojanen, P. Sarkkola, S. Sorvali, J. Seppälä,

- J. Tolvanen, A. Vainio, A. Wall, A. Vesala, T. 2022. Turvemaiden käytön vaihtoehdot hiilineutraalissa Suomessa. Suomen ilmastopaneelin raportti. Viitattu 4.4.2025. https://ilmastopaneeli.fi/hallinta/wp-content/uploads/2024/03/ilmastopaneelin-raportti-2-2022-turvemaiden-kayton-vaihtoehdot-hiilineutraalissa-suomessa.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Lång, K. 2024. Kosteikkoviljelyllä turpeetonta raaka-ainetta ympäristökestäviin kasvualustoihin. Verkkoartikkeli. Viitattu 18.3.2025. [https://hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Kosteikkoviljelylla_turpeetonta_raakaain\(66843\)](https://hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Kosteikkoviljelylla_turpeetonta_raakaain(66843))
- Lång, K. Honkanen, H. Kekkonen, H. Laurila, M. Saarnio, S. Savikko, S. Sorvali, J. Virkkunen, E. 2024. Kosteikkoviljely Suomessa. Webinaari. Viitattu 31.3.2025. https://www.ilmastoviisas.fi/wp-content/uploads/2024/04/KristiinaLang_Turina-23-4-2024.pdf
- Marjamaa, M., Sinisalo, S. 2022. Kirjallisuuskatsauksen ohjaus – perustana tutkimuskysymys ja ohjausjaastattelu. Verkkoartikkeli. Viitattu 8.4.2025. <https://www.kreodi.fi/arkisto/artikkelit/kirjallisuuskatsauksen-ohjaus-perustana-tutkimuskysymys-ja-ohjausjaastattelu.html>
- Motiva, 2021. Biopolttoaineiden lämpöarvoja. Verkkosivu. Viitattu 22.4.2025. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/tietolahteita/biopolttoaineiden_lampoarvoja
- Mueller, A. Biertümpfel, A. Friedritz, L. Power, E. Wright, G. Dauber, J. 2019. Floral Resources provided by the new energy crop, *Silphium perfoliatum* L. (Asteraceae). Viitattu 31.3.2025. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00218839.2019.1668140>
- Mueller, A. Berger, C. Schittenhelm, S. Sterver-Schoo, B. Dauber, J. 2020. Water availability affects nectar sugar production and insect visitation of the cup plant *Silphium perfoliatum* L. (Asteraceae). Viitattu 20.3.2025. onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jac.12406
- Mustamo, P. 2017. Greenhouse gas fluxes from drained peat soils. Väitöskirja. Oulun yliopiston tutkijakoulu, teknillinen tiedekunta. Viitattu 4.4.2025. <https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/35707/isbn978-952-62-1461-0.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Myllys, M. 2011. Turvemaiden viljely. Diasarja MTT. Viitattu 19.3.2025. suoseura.fi/Alkuperainen/fin/syys2011/Myllys_2011.pdf
- Mäkiranta, P. Laiho, R. Mehtätalo, L. Straková, P. Sormunen, J. Minkkinen, K. Penttilä, T. Fritze, H. Tuittila, E. 2018. Responses of phenology and biomass production of boreal fens to climate warming under different water-table level regimes. Artikkel, Global Change Biology. Viitattu 18.3.2025. <https://erepo.uef.fi/items/2666a258-ee38-40c4-b774-69af99f335e1>
- Naukkarinen, V. 2021. Kosteikkoviljelyn kasviopas. Baltic Sea Action Group, verkkojulkaisu. Viitattu 18.3.2021. https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2022/07/Kosteikkoviljelyn_kasviopas_2021_web.pdf
- Ojanen, P. Minkkinen, K. Alm, J. Penttilä, T. 2010. Soil-atmosphere CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. Tutkimusartikkeli. Viitattu 3.4.2025. https://www.researchgate.net/publication/232995195_Soil-atmosphere_CO2_CH4_and_N2O_fluxes_in_boreal_forestry-drained_peatlands

Ojanen, P. Minkkinen, K. Regina, K. 2020. Ojituksen vaikutus maaperän kasvihuonekaasupäästöihin. Tutkimusjulkaisu. Viitattu 3.4.2025. <https://www.suoseura.fi/ojitettujen-soiden-kestava-kaytto/ojituksen-vaikutus-maaperan-kasvihuonekaasupaastoihin>

Peni, D. Stolarski, M. Bordiean, A. Krzyzaniak, M. Debowski, M. 2020. *Silphium perfoliatum* – A herbaceous crop with increased interest in recent years for multi-purpose use. Tutkimusartikkeli. Viitattu 19.3.2025. <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/12/640>

Pichard, G. 2012. Management, production and nutritional characteristics of cup-plant (*Silphium perfoliatum*) in temperate climates of southern Chile. Tutkimusartikkeli. Viitattu 25.3.2025. scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-16202012000100005&lng=en&nrm=iso&tlng=en

Ruf, T. Emmerling, C. 2022. Biomass partitioning and nutrient fluxes in *Silphium perfoliatum* and silage maize cropping systems. Tutkimusartikkeli. Viitattu 20.3.2025. [pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9628351/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9628351/)

Räsänen, I. 2024. Pohjaveden tason ja ominaisuuksien vaikutukset turvepellon kasvihuonekaasupäästöihin ja sadon kasvuun. Pro Gradu, Itä-Suomen yliopisto, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Viitattu 18.3.2025. <https://erepo.uef.fi/server/api/core/bitstreams/d9add5a5-6773-4115-8313-02ad8f3fe48e/content>

Salminen, A. 2023. Mikä kirjallisuuskatsaus? Vaasan yliopiston raportteja 40. Viitattu 8.4.2025. <https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/15470/978-952-395-081-8%20%28PDF%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Schäfer, A. Damerow, L. Lammers, P. 2017. Bestimmung der Korngeometrie der Durchwachsenen Silphie als Voraussetzung für die Einzelkorntsaat. Tutkimusartikkeli. Viitattu 1.4.2025. https://web.archive.org/web/20180429032033id_/https://www.landtechnik-online.eu/ojs-2.4.5/index.php/landtechnik/article/viewFile/3159/5027

Țîtei, V. Cîrlig, N. Gutu, A. 2021. Some biological peculiarities and economic value of the cultivation of cup plant, *silphium perfoliatum* L. Tutkimusartikkeli. Viitattu 19.3.2025. <https://zenodo.org/records/4431626>

Turunen, J. Tomppo, E. Tolonen, K. Reinikainen, A. 2002. Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland – application to boreal and subarctic regions. Tutkimusartikkeli. Viitattu 3.4.2025. https://www.researchgate.net/publication/238439390_Estimating_carbon_accumulation_rates_of_undrained_mires_in_Finland

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2021. Turvetyöryhmän loppuraportti. Valtioneuvoston julkaisu. Viitattu 28.4.2025. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163045/TEM_2021_24.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Törnudd, N. 2021. Suomi tähtää maatalouden päästöjen vähentämiseen 29 prosentilla vuoteen 2035 mennessä. Helsingin Sanomien uutinen. Viitattu 18.3.2025. <https://www.hs.fi/politiikka/art-2000008481143.html>

Virkkunen, E. 2022. Turvepeltojen kosteikkoviljely ja pohjaveden korkeuden säätely. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 12/2022. Viitattu 18.3.2025.

Yli-Halla, M. Lötjönen, T. Liimatainen, M. Joki-Tokola, E. 2022. Ohutturpeiselta pellolta tuleva ympäristökuormitus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 50/2022. Viitattu 19.3.2025. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/552000>

Witaszek, K. Herkowiak, M. Pilarska, A. Czekala, W. 2022. Methods of Handling the Cup Plant (*Silphium perfoliatum* L.) for Energy Production. Tutkimusartikkeli. Viitattu 20.3.2025. researchgate.net/publication/359018864_Methods_of_Handling_the_Cup_Plant_Silphium_perfoliatum_L_for_Energy_Production

