

Ringmajanduse põhimõtete juurutamine
Eestis toodetud aiandusturba toodete
kasutamisel ja sellega seotud
kasvuhoonegaaside heite vähendamine
LULUCF sektoris

Lõpparuanne

Projekti täitjad: Ain Kull, Tartu Ülikool

Martin Küttim, Tallinna Ülikool

Projekti vastutav täitja: Ain Kull, Tartu Ülikool

Tellijal Eesti Turbaliit, Hanke viitenumber 255658

18.10.2024

Sisukord

| | |
|--|----|
| Sissejuhatus..... | 3 |
| Turba teke ja omadused | 5 |
| Turbatootmine ja –töötlemine Eestis | 6 |
| Turbasubstraatide omadused, komponendid ja lisandid | 8 |
| Turbasubstraatide koostise põhikomponendid ja lisandid..... | 8 |
| Lisatavad ained Eesti tootjate substraadisegudes..... | 12 |
| Kasutamise käigus lisatavad ained..... | 13 |
| Vesi kui lisaaine..... | 14 |
| Allapanuturvas | 14 |
| Turba alternatiivid substraadi komponendina | 15 |
| Taimehaigused ja -parasiidid | 17 |
| Aiandusturba kasutamine aiandussektoris..... | 18 |
| Küsitlusuuring: Aiandusturba kasutamine | 18 |
| Metsaistikud..... | 18 |
| Köögiljakasvatus..... | 19 |
| Suve- ja püsililled | 19 |
| Viljapuud ja ilupõõsad..... | 20 |
| Maitsetaimed ja salat..... | 20 |
| Eksootilised toataimed..... | 20 |
| Botaanikaaiad | 21 |
| Seened | 21 |
| Allapanuturvas | 21 |
| Importtaimed..... | 22 |
| Muu turbakasutus..... | 22 |
| Turbasubstraadi kasutusmahtude hinnang | 22 |
| Järelkasutus ja ringmajandus..... | 24 |
| Turbasubstraatide järelkasutuse alternatiivid ja nende seos süsinikuringega..... | 25 |
| Substraadi taaskasutamine..... | 26 |
| Istutamine mulda koos taimega | 26 |
| Komposteerimine..... | 27 |
| Kasutamine haljastuses..... | 28 |
| Mullaparendajana põllumuldadele lisamine | 28 |

| | |
|---|----|
| Alternatiivsete toodete toormena kasutamine | 29 |
| Jäätmeks muutunud kasutatud substraat | 30 |
| Kasutatud turbasubstraatide järelkasutuse mahud | 31 |
| Turbasubstraatide ja selle alternatiivide elukaare analüüs (LCA)..... | 32 |
| Süsinikuvood kasvusubstraadi kasutamisel..... | 36 |
| Süsinikuvoo mõõtmise meetodika..... | 36 |
| Kultuuride valik | 38 |
| Süsinikuvoog enamlevinud kasvuturba kasvatatavate kultuurigruppide näitel | 39 |
| Köögiviljade kasvatamiseks kasutatud kasvusubstraadi algseisund | 40 |
| Köögiviljade kasvusubstraadi kasutus ja süsinikuvood | 41 |
| Ilutaimede kasvusubstraadi kasutus ja süsinikuvood | 46 |
| Metsataimed | 52 |
| Eestile kasvuturba kaudse (<i>off-site</i>) emissioonifaktori täiendamise ja koostamise ettepanekud | 56 |
| Eestile kohalduva tase 2 ja tase 3 kaudne (<i>off-site</i>) emissioonifaktor..... | 61 |
| Kokkuvõte | 66 |
| Kasutatud kirjandus | 69 |
| Raamatud, artiklid ja trükised | 69 |
| Andmebaasid | 72 |
| Veebilehed | 73 |
| Lisad | 74 |
| Lisa 1. Taimekasvatavate küsitlusuuringu küsimustik | 74 |
| Lisa 2 Artikkel Riigikogu Toimetistes | 75 |
| Lisa 3 Artikli käsikiri | 75 |
| Lisa 4 Konverentsiettekannete loend | 75 |

Sissejuhatus

Euroopa Liit on seadnud eesmärgiks saavutada aastaks 2050 kliimanetraalsus, millesse peavad panustama kõik sektorid. Tulenevalt Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrusest 2018/841 (edaspidi LULUCF määrus) lisatakse maakasutuse ja metsanduse sektor, kuhu kuuluvad ka majandatavad märgalad ning turba tootmine, Euroopa Liidu energia- ja kliimapoliitika raamistikku ning antud sektori tegevustest tuleneva kasvuhoonegaaside (KHG) heite üle hakkab senise andmete raporteerimise asemel toimuma KHG-vähendamise riikliku kohustusega seotud rangem arvestussüsteem. Sarnaselt teistele LULUCF sektori maakasutuskategooriatele hakkab ka märgalade arvestus olema perioodipõhine. LULUCF heite vähendamise/sidumise eesmärk on jaotatud kahe perioodi peale, vastavalt perioodid 2021-2025 ja 2026-2030. Andmete vähesuse ja suure määramatuse tõttu ei vaadata aruandluse teisel perioodil majandatavate märgalade kategooriat eraldi, vaid heitega seotud eesmärk on kogu LULUCF kategooriale ühine. Igal liikmesriigil on heite vähendamise/sidumise suurendamise eesmärk aastaks 2030 ja see on sätestatud 2016-2028 perioodi keskmise väärtuse suhtes. Majandatavate märgalade 2026-2030 perioodi KHG sidumise ja heite vastavuskontroll viiakse läbi 2032. a riiklikus inventuuraruandes.

Euroopa Liidu kliimamäärusega tõsteti EL-ülest KHG vähendamise ambitsiooni ning fikseeriti kliimaeesmärk vähendada KHG netoheidet 2030. aastaks -55% võrra võrreldes 1990. a tasemega. Seoses sellega muudeti ka LULUCF määrust ja riiklike maakasutussektori KHG heitekohustusi, mille järgi kehtib Eesti LULUCF sektorile 2021-2025 perioodil *no-debit rule* ja 2030. aasta eesmärgiks on kahandada heidet 0,434 miljonit t CO₂ekv 2016-2018 perioodi keskmise ehk baastaseme suhtes. Kui ulatuslikke muutusi ette ei võeta, siis nimetatud süsiniku sidumise eesmärki Eesti tõenäoliselt täita ei suuda. Ajalooliselt on Eesti LULUCF sektor olnud netosiduja, eelkõige metsamajandamisest tuleneva süsiniku sidumise tõttu, mis kompenseerib teiste maakasutussektorite heite. Vastavalt 2024. a. heitkoguste inventuuri aruandele muutus Eesti maakasutussektor alates 2014. aastast esmakordselt 30-aastase raporteerimisperioodi jooksul süsiniku netoemiteerijaks, sest metsade süsinikutagavara on vähenenud. Keskkonnaministeeriumi 2021. aastal tellitud LULUCF sektori sidumisvõimekuse analüüsi järgi on 2030. aastaks võimalik tõsta LULUCF sektori sidumist ligikaudu 0,5 mln CO₂ekv võrra, seejuures analüüsi aiandusturbaga seonduvat väga pinnapealselt ja ühekülgsest. Analüüsis nimetatud mõtet, et kliimaeesmärkide saavutamiseks ei piisa ainult sidumise suurendamisest toetavatest meetmetest, vaid aktiivselt tuleb panustada ka heite vähendamist soodustavatesse uuringutesse ja tegevustesse, turba puhul on välja toodud täiendav uuringute ning meetodikate parendamise vajadus aiandusturba ja turbatootmisalade osas.

Süsinikuheite vähendamine LULUCF sektoris on majanduse seisukohast Eestile äärmiselt oluline, sh turbatööstusele endale. Kui täpsemaid andmeid ei ole, on riikidel heitkoguste arvestuse alusena kasutada IPCC etteantud I taseme ehk lihtsustatud meetodika. Antud projekti eesmärk on selgitada välja, kas ja kui suures osas on senise lihtsustatud arvutusmeetodika järgi turbasektori heited ülehinnatud ja milline võiks olla riikliku kasvuhoonegaaside inventuuri raamistikku sobituv täpsem arvutusmeetodika. Aiandusturba heite vähendamine ringmajanduse ja säästva süsinikuringe põhimõtete ning uute praktikate juurutamise ning turba veelgi jätkusuutlikuma kasutamise ja turba laiendatud väärtusahela süsinikuringe rakendamise kaudu panustab LULUCF sektori süsinikubilansi tasakaalu ning aitab taas saavutada koos metsamajandamisega sektori netosidumise. Eesmärk 55 eesmärkide valguses on see Eestile kriitilise tähtsusega küsimus.

Asjakohastest rahvusvahelistest uuringutest, prognoosidest ja viimaste aastate turba turunõudluse suundumustest lähtudes on teada, et vajadus aiandusturba järele ei vähene. Eriti oluline on seda

arvestada praeguses geopoliitilises olukorras, kus juurdepääs erinevatele toormetele on pikaajaliselt häiritud ja tekivad olulised probleemid ülemaailmses toiduga varustatuses. Samal ajal kasvatatakse enamasti katmikaladel tööstuslikult toodetud köögiviljadest turval põhinevates kasvusubstraatides. Seetõttu on oluline leida viisid turba kasutamise kaasnemate kasvuhooaegade heite vähendamiseks, et oleks tagatud võimalus antud ressursi jätkuvalt kasutada. Aiandusturba tootmisel ja kasutamisel on seni pööratud peamiselt tähelepanu kasutatavate koostisainete omadustele ja ohutusele nii taimehaiguste kui ka toiduohutuse seisukohast, kuid substraadi järelkasutusega on tegeletud vähe. Seni on ressursi olnud turul piisavalt ja selle kättesaadavus ei ole olnud raskendatud (ei ole tekkinud puudujääki või konkurentsi ressursi kui sellise pärast), mistõttu tungiva vajaduse puudumisel on järelkasutusega tegeletud vähe. Senise praktika kohaselt kasutatud kasvusubstraat valdavalt komposteeritakse, kasutatakse haljastuses või põllumuldade parandajana, kus materjali eriomadused ei ole enam esmatähtsad. See loob head eeldused kliimaeesmärkidest lähtuvalt paremate ringmajanduse meetmete väljatöötamiseks. Selleks on aga oluline teada, millised on kasvusubstraatide kasutusjärgsed füüsikalised-keemilised omadused, kuidas taas- või korduvkasutatav turbamaterjal töötab ja kuidas on võimalik kasvusubstraatide tootmisel ja kasutamisel nende kasutusjärgseid omadusi suunata selliselt, et tekiks tooraine, mida saaks taaskasutusse suunata.

Ehkki turbatööstus on Eestis juba ajalooliselt olnud oluline majandusharu, rääkimata praegusest perioodist, on kasvusubstraatide kasutusjärgsete praktikate kohta vähe teada. Ringmajanduse meetmete rakendamiseks on vaja kirjeldada peamised aiandusturba kasutusvaldkonnad, nendes rakendatavad nõuded kasvusubstraadile, materjalide vood ja järelkasutuse või jäätmete käitlemise praktika. Substraadi koostis on kasutusvaldkonnast, sest substraat peab vastama kasutuseesmärgile, mis eri taimede eri kasvuperioodide ja tingimuste tõttu on väga erinevad. Näiteks väiketaimede ettekasvatamisel liigub substraat koos taimega järgmisesse etappi, kas kasvuhooaegesse, potti või avamaale. Viimasel juhul ei ole võimalik sellisel otstarbel kasutatud substraati turult tagasi kutsuda, sest substraat jääb mullaparandajana pinnasesse, mistõttu ei eraldu turbasubstraadis sisalduv süsinik koguulatuses atmosfääri, vaid jääb osaliselt seotuna mulda. Samas, kasvuhooaeges vahetatakse taimehaiguste leviku tõkestamiseks kasvumulda regulaarselt. Osa sellest komposteeritakse, osa kasutatakse haljastuses, osa mullaparandajana jne. Erinevad kasutuse osakaalud ei ole hetkel teada.

Käesolev uuring on esimene etapp, mis annab sisendi Eesti aiandusturba tootmise ja kasutamise seotud kaudse ehk *off-site* emissioonide täpsustamiseks ja loob seeläbi eeldused parema majandamise kaudu heitmete vähendamiseks, kuid võiks positiivse tulemi korral anda tuge Euroopa riike ja regioone hõlmava laiapõhjaliste teadusuuringute käivitamiseks, millega uuritakse laiemalt aiandussektori ja sellega seotud toiduainete tootmise kliimamõju vähendamise võimalusi, selle majanduslikku tasuvust ja töötatakse välja vajalik õigusraamistik.

Turba teke ja omadused

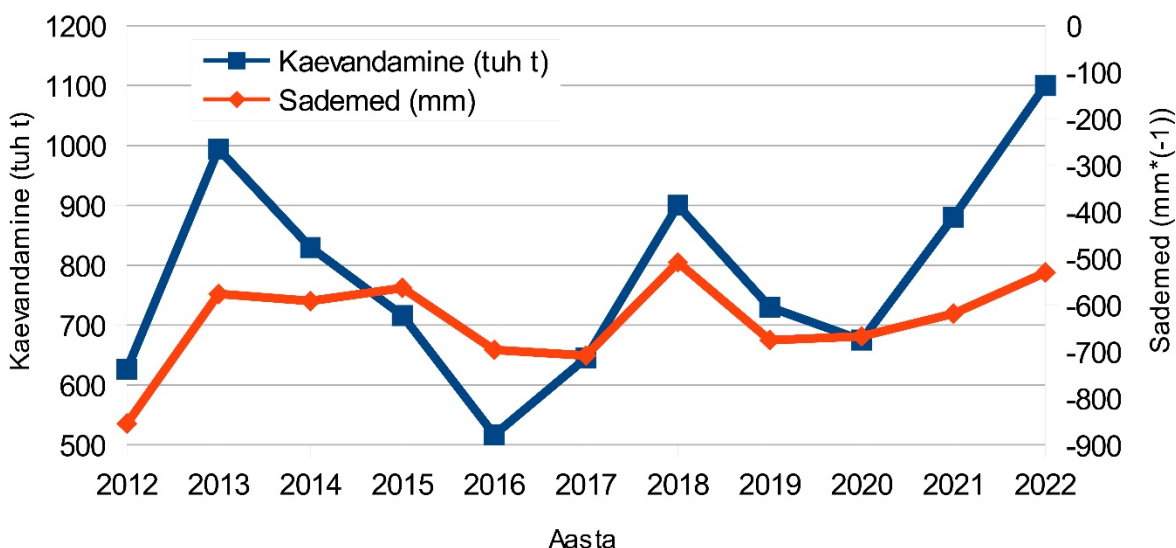
Üheks peamiseks sooökosüsteemide tunnuseks on soos kasvanud taimede jäänuste settimine turbana, sest kõrge veetase soos pärsib taimejäänuste lagunemiseks vajaliku hapniku juurdepääsu neile. Iga soo arengulugu on teistest mõnevõrra erinev – sõltuvalt kliimast, veerežiimist ja -keemiast on seal aegade jooksul kasvanud erinevad taimed – see kajastub ka turbalasundi ehituses. Üldjuhul väheneb toitainete sisaldus soos selle arengu jooksul madalsoost rabaks – tüsenev turbakiht isoleerib taimkatet üha enam toitaineterikkast põhjaveest, mistõttu saavad rabas hakkama vaid vähenõudlikud taimeliigid. Nii asenduvad toitainerikkamates oludes kasvanud ja kergemini lagunevad pilliroog, lehtsamblad, lehtpuud ja tarnad vähenõudlike turbasammalde, mändide ja tupp-villpeadega. Taimeliikide ja nende toitelisuse eripäradest tingituna võibki eristada hästilagunenud madalsooturvast ja vähelagunenud rabaturvast. Madalsooturba lagunemisaste on suurem, pH kõrgem ja toitainesisaldus suurem kui rabaturbal.

Turvast ei teki ega lagune iseeneslikult, vaid mõlema protsessi käivitajateks on mikroobsed organismid, kes pikki keerukaid süsinikuühendeid lihtsamateks lagundavad. Turba tekkel lagundatakse surnud taimede massis esmalt kergemini lagundatavaid ühendeid, nt tselluloosi ja hemitselluloosi, samas kui raskemini lagundatavad ühendid (nt ligniinid) võivad turba koosseisus ka õhu käes seistes aastakümnete vältel säilida (Hyvönen jt, 1996). Lisaks tselluloosile, hemitselluloosile ja ligniinile sisaldavad turbad olulises koguses humiinhappeid, ureat jt orgaanilisi ühendeid. (Pipes & Yavitt, 2022)

Turvast on valdavalt kasutatud kütteks, loomade allapanuks, põldude väetamiseks ning taimede kasvusubstraadina; vähesel määral ka muude toodete valmistamiseks. Substraadina on turvas orgaaniline materjal, millel on madal osakeste tihedus ja suur poorsus. Johtuvalt lähtematerjalist on vähelagunenud turba poorsus suurem, tihedus väiksem ning võrreldes teiste elementidega süsiniku sisaldus kõrgem. Keskmiselt on Eestis kaevandatud õhkuiva vähelagunenud turba tihedus $0,14 \text{ t m}^{-3}$ ning hästilagunenud turba tihedus $0,22 \text{ t m}^{-3}$ (Eesti Turbaliit, 2022). Turba üldpoorsus ulatub kuni 80–90%. Turbaosakeste mõõtmete suurenedes veepeetusvõime väheneb ja õhutusmaht suureneb. Taimedele kättesaadav on vesi makro- ($100 \mu\text{m}$), meso- ($100\text{--}30 \mu\text{m}$) ja mikropoorides ($30\text{--}3 \mu\text{m}$); alla $3 \mu\text{m}$ läbimõõduga ultramikropoorides olev vesi pole taimedele kättesaadav (Kitir et al., 2018).

Turbatootmine ja –töötlemine Eestis

Sõltuvalt ilmastikust on aastane turba kaevandamise maht Eestis püsinud 0,5 ja 1,1 miljoni tonni vahel (Joonis 1). 2022. aastal kaevandati Eestis Turbaliidu aastastatistika põhjal kokku 1,1 miljonit tonni turvast, millest 667 tuhat tonni oli vähelagunenud ja 433 tuhat tonni hästilagunenud turvas (vastavalt 4755 ja 1931 tuhat m³).



Joonis 1. Aastane turba kaevandamise maht ja keskmine sademete summa Eestis perioodil 2012-2022. Allikas: Maavarade koondbilanss, 2022; Keskkonnaagentuur, 2024.

Eestis toodetud turbatoodetest ligi 96% moodustasid erineva töötlusastmega aiandusturbad (Tabel 1). Varasematel aastatel on aiandusturba osakaal veelgi suurem olnud, kuid seoses energiakriisiga kasvas mõnevõrra nõudlus ka kütteturba järele.

Tabel 1. 2022. a. Eestis toodetud turbatoodete ja nende realiseerimise maht ning osakaal kogu mahust (Eesti Turbaliit, 2022).

| Turbatoode | Töötlemine | | Realiseerimine | |
|-----------------------------------|----------------------|------------|----------------------|------------|
| | Tuhat m ³ | % | Tuhat m ³ | % |
| Kasvusubstraat | 1 617 | 24,2 | 1 574 | 25,0 |
| Mullaparandaja | 27 | 0,4 | 11 | 0,2 |
| Baassubstraat | 1 324 | 19,8 | 1 105 | 17,6 |
| Freesturvas substraadi tootmiseks | 3 717 | 55,6 | 3 356 | 53,3 |
| Kütteturvas | | | 216 | 3,4 |
| Allapanuturvas | | | 30 | 0,5 |
| KOKKU | 6 686 | 100 | 6 291 | 100 |

Aastal 2022 eksporditi 92,9% Eestis toodetud turbatoodete mahust. Arvestades maha kodumaise küttureurba tarbimise, kasutati Turbaliidu aastastatistikale tuginedes 2022. aastal Eestis ligikaudu 203 tuhat m³ aiandusturvast ehk 3.2 % realiseeritud turbatoodete mahust. Eeldades, et Eestis kasutatud aiandusturba lagunemisastmete jaotus on proportsionaalne kogu toodangu jaotusega ning et küttureurba moodustas täielikult hästilagunenud turvas (nii frees- kui tükkturvas), võib eeldada, et Eestis kasutatud aiandusturbast 151,7 tuhat m³ oli vähelagunenud ja 51,8 tuhat m³ hästilagunenud aiandusturvas. Lisaks kaevandati ja tarbiti Eestis 2022. aastal 29,7 tuhat m³ allapanuturvast, mis ei ole otseselt aiandusturvas, kuid järelkasutuse poolest sarnaneb sellele, sest jõuab orgaanilise väetisena koos sõnnikuga põldudele.

Turbasubstraatide omadused, komponendid ja lisandid

Turvas on üleujutuse tingimustes taimejäänuste osalisel lagunemisel kujunenud poorne materjal, mis leiab üle maailma mitmesuguste taimede kasvatamisel laialdast kasutamist. Turbapõhiste kasvusubstraatide tootmine sai alguse 1930ndatel Suurbritannias, kui Lawrence ja Newell hakkasid turustama standardiseeritud turba, liiva ja liivsave segu. Seoses kontenertaimede laialdasema intensiivse kasvatamisega kasvuhoonetes levis turba-põhiste substraatide kasutamine 20. sajandi keskel ka teistesse riikidesse, sh USAsse ja Kanadasse (Kitir et al., 2018). Ehkki Eestis alustati turba kaevandamisega juba 18. sajandi lõpus, hakkas Eestis turbatööstus aiandusturbaga suuremas mahus tegelema 1970. aastatel, kui tööd alustas mitu uut pakketehast ning tasapisi alustati pakitud kasvuturba ekspordiga (Rozenal 2012).

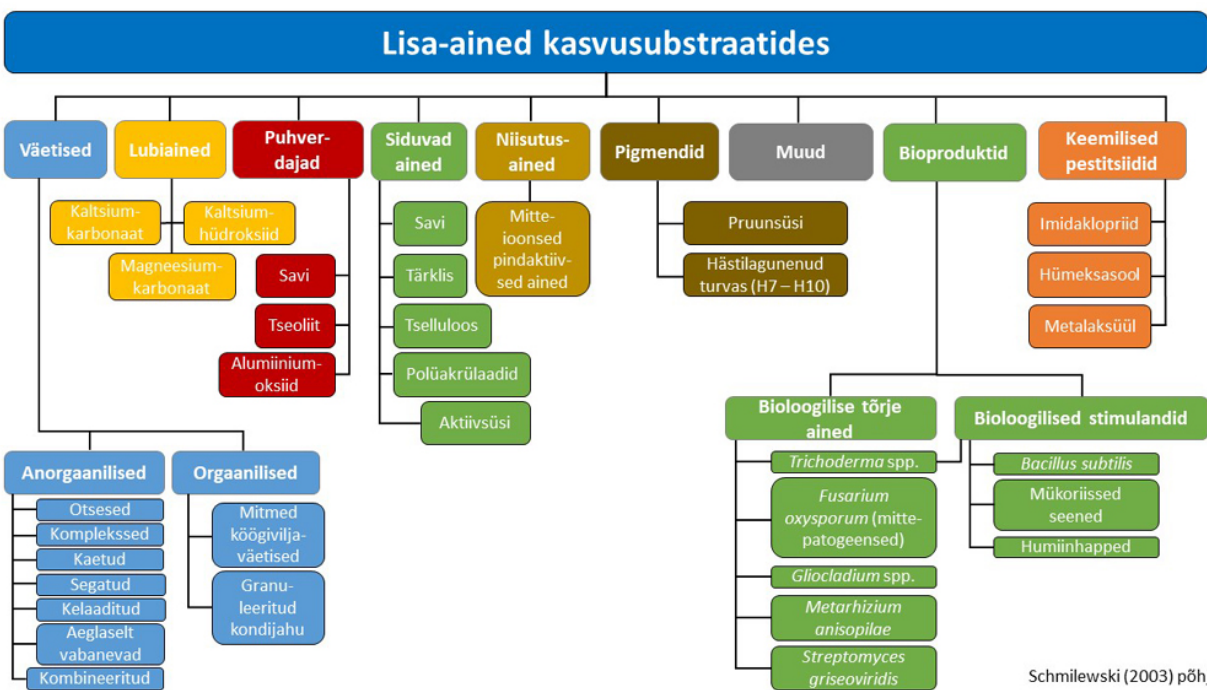
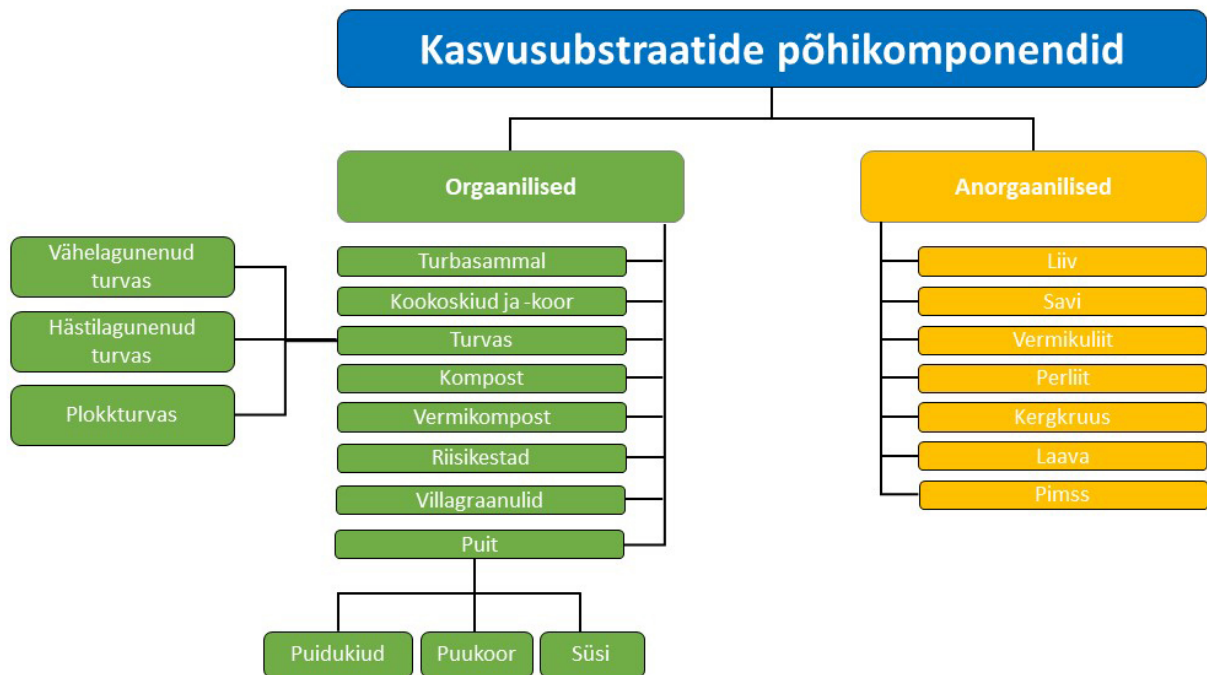
Turvas on olemasolevatest materjalidest suure osa taimede jaoks sobivaim substraat: turvas hoiab endas vett ja toitaineid ning vabastab neid pikkamööda taimedele. Selles sisalduvad poorid varustavad taimejuuri hapnikuga, kuid suudavad siduda võrreldes enda massiga ligi 20 korda enam vett ja ka õlisid. Turba struktuur püsib ka intensiivsel kasutamisel stabiilne ning on kasutamisjärgselt biolagunev. Lisaks on turvas steriilne, kerge ja soodne, toetades ohutut toidutootmist. Et turvas ise kuigi palju toitaineid ei sisalda, võimaldab see väetiste lisamisega kujundada igale taimekultuurile sobivaima kasvupinnase.

Kasvusubstraadi põhikomponendid on taimedele tuge pakkuvad ning mahult substraadi põhiosa moodustavad materjalid, mis loovad taimejuurtele sobiva füüsilise keskkonna ja on üldiselt visuaalsel vaatlusel tuvastatavad: turvas, kompost, kookos- ja puidukiud, perliit, vermikuliit jne. Kasvusubstraatide lisa-ained on substraadi põhikomponentidele taimekasvu toetamiseks ja kujundamiseks lisatavad ained, mida erinevalt põhikomponentidest lisatakse massiprotsendi põhjal: väetised, lubiained, niisutajad jne. (Kitir et al., 2018)

Turbasubstraatide koostise põhikomponendid ja lisandid

Kavandatav kasutusotstarve määrab ära ka substraadi koostise. Substraadi keemilised, füüsilised ja bioloogilised omadused sõltuvad kõigist selle koostisainetest ja lisanditest. Neist sõltub omakorda ja substraadi hind. Seetõttu on igal koostisosal substraadis oma otstarve. Mõne koostisosa positiivsed omadused võivad korvata puudused teise koostisosa omadustes. Sellegi poolest tuleb substraadi põhikomponentidele praktiliselt alati ka lisa-aineid juurde panna. Üldiselt segatakse põhikomponendid kokku vastavalt nende mahule, lisa-ained pannakse juurde massi järgi vastavalt põhikomponentide mahule.

Kasvusubstraadi põhikomponendid on need, mis moodustavad selle mahust põhiosa: turvas, komposteeritud biolagunevad jäätmed, puurkoor ja –kiud, kookoskiud, perliit, vermikuliit jt. Üldiselt on nende sisaldus substraadis ka visuaalselt tuvastatav. Lisa-ained on massi järgi põhikomponentidele lisatavad väetised, lubiained, puhverdajad, siduvad ained, niisutusained, hüdrogeelid, keemilised pestitsiidid, bioproduktid, pigmendid ja muud taimekultuuride kasvamist soodustavad lisandid, mille valik on viimaste aastakümnete jooksul väga laiaks muutunud. Üksikud ained, nt savi, võivad vastavalt osakaalule substraadis kuuluda nii põhikomponentide kui lisa-ainete hulka. Üldiselt ei ole lisa-ainete sisaldust substraadis võimalik väikese koguse või füüsilise oleku (vedelik või peenfraktsioon) tõttu visuaalselt kindlaks teha – seda võimaldavad vastavad keemilised analüüsid.



Schmilewski (2003) põhjal

Joonis 2. Ülevaade kasvusubstraates kasutatavatest põhikomponentidest ja lisatavatest ainetest (loetelu ei pretendeeri täielikkusele). Osasid lisa-aineid ei pruugita lisada alati substraadidele, vaid eraldi kasutamise käigus. [Alus: Schmilewski 2003; täiendatud Eesti tootjate kommentaaride põhjal]

Väetised: Raba tekketingimustest tulenevalt on *Sphagnum*-turvas väga toitainetevaene. Seetõttu tuleb üldjuhul kõik taimekasvuks vajalikud toitained substraadile lisada. Üldjuhul lahendatakse see vesilahustuvate kompleksväetiste lisamisega. Komponentide lisamisel tuleb taimekasvuks sobiliku toitainete tasakaalu saavutamiseks täpselt nende keemilist koostist teada. Komposti-põhiseid substraate tootes tuleb silmas pidada nende kõrgeid kaaliumi ja fosfaatide sisaldusi, lisades piisavas koguses lämmastikku. Substraadile väetiste lisamisel tuleb silmas pidada mitmeid asjaolusid:

- Substraadi eeldatavat kasutusala;
- Kasvatatava kultuuri toitainevajadusi ja soolade taluvust;
- Kasvuperioodi pikkust;
- Väetise tüüpi ja lahustuvust.

Lubiained: Lubiainete lisamise eesmärk on neutraliseerida happelist substraati; sellega koos lisatakse üldjuhul substraadile ka kaltsiumi. Ehkki võimalik on kasutada erinevaid lubiaineid, on kaltsiumkarbonaat (CaCO_3) neist levinuim, nt lubjakivipulbri või dolomiitlubjakivi näol. Oma päritolust ja töötlemisest johtuvalt erinevad kaltsiumkarbonaadi põhised tooted mõnevõrra omaduste poolest üksteisest. Lubiainet valides tuleb seda silmas pidada:

- Lubiaine tüüp;
- Geoloogiline teke ja päritolu;
- Aluseliste reaktiivkomponentide sisaldus;
- Kõvadus;
- Tera suuruste jaotus (fraktsioon).

Lisaks sõltub lisatava lubiaine kogus teiste substraadi komponentide omadustest:

- Põhikomponentide pH;
- Kasutatava turba lagunemisaste ja tihedus;
- Neutraliseeritavate hapete sisaldus;
- Kasutatavate väetiste hulk ja koostis.

Kasvusubstraadi pH-d mõjutavad ka muud faktorid, nagu kastmisvee omadused, kasutatavate vedelväetiste hulk ja koostis, kasvuperioodi pikkus ning mikroklimaatilised tingimused kasvuhoones või põllul. Substraadi valmistamisel tuleb võimalusel ka neid faktoreid arvesse võtta.

Puhverdajad: savi on üks enimkasutatavaid toitainete hulga puhverdajaid, mida on Euroopas kasutatud kasvusubstraatide valmistamisel juba aastakümneid. pH-d reguleeritakse üldiselt lubiainega, substraati sobivad paremini madala lubjasisaldusega savid. Tänapäeval kasutatakse substraatides väga erineva päritolu ja omadustega savisid, kuid neist parimaks peetakse montmorjoniidi-põhiseid savisid, mis lisaks toitainete puhverdamisele aitab ka substraate läbikuivamise vastu kaitsta ning on efektiivne raskmetallide adsorbent. Valdavas osas savi sisaldavates substraatides on selle osakaal mahu järgi 2-15%. Savi kasutamisel substraatides on vaatluste põhjal neis kasvanud taimed kompaktsema vormiga.

Tseoliit on vulkaaniline kivim, mille ligi 50 eri tüübil tehakse vahet nende võrestruktuuride ja füüsikaliskemiliste omaduste järgi. Neist substraatide jaoks sobivaimaks peetakse suure sisemise eripinna, kõrge ioonvahetusvõimega ning stabiilse struktuuriga klinoptilooliiti. Võrreldes bentoniidiga on tseoliidi

ioonvahetusvõime kõrgem ning toitaineid vabastatakse pikema aja jooksul. Sellegi poolest ei ole tseoliidi kasutamine kasvusubstraatides kuigi levinud.

Alumiiniumoksiidi kasutatakse dekoratiivtaimede kasvu reguleerimiseks. Tänu fosfori sidumisele parandab see juurte kasvu ja taimede kvaliteeti – madalad fosforisisaldused vähendavad võrse kasvu ja parandavad juurte kasvu.

Siduvad ained: produktiivsuse tõstmiseks kasutavad paljud taimekasvatajad automatiseeritud ümberistutajaid. Eriti just vähese valgusega kasvatusperioodidel juurte kasv väheneb ja juurepall ei püsi hästi koos, raskendades automaatsete ümberistutajate kasutamist. Seetõttu lisatakse juurepalli koos hoidmiseks substraatidele erinevaid aineid. Savi on oma sidumisomaduste poolest hästi tuntud. Tähtlase ja tselluloosi baasil valmistatud lisandeid võib selleks samuti kasutada, kuid mitmel põhjusel tuleb siduva aine valikul ja doseerimisel ettevaatlik olla, sest sellega kaasneb mitmeid riske: fütotoksilisus, õhu- ja vee defitsiit, saprofütsete seente kasv substraadis, negatiivsed mõjud toitainete kättesaadavusele ning rakuseinte külge kleepumine.

Niisutusained: sünteetiliste niisutusainete ja pindaktiivsete ainete asemel kasutatakse endiselt laialdaselt liiva, savi ja liivsavi ning kookoskiudu, mis imeb kiiresti niiskust, kuid vabastab seda aeglaselt. Vastavalt oma hüdrofiilse grupi laengule jaotatakse niisutusained anioonseteks, mitte-ioonseteks, katioonseteks, amfoteerseteks ning liit-polümeerideks. Turbapõhised kasvusubstraadid on tihti hüdrofoobsed, eriti kuivana. Säärased vett-tõrjuvad omadused tulenevad turbas sisalduvatest vahadest, vaikudest ja rasvadest, aga ka turba-osakeste vahel ja sees olevatest tühimikest ning nende „pöördumatust“ kokkutõmbumisest. Mitte-ioonseid lisandeid taluvad taimed kõige paremini ja sobival hulgal neid lisades üldiselt toksiliselt ei mõju. Üledoseerimine aga võib taimekasvu oluliselt piirata.

Hüdrogeelid: need on hüdrofoobsetel ja vees lahustumatutel polümeeridel põhinevad sünteetilised orgaanilised geelid, mis suudavad siduda suures koguses vett ja selles lahustunud aineid. Hüdrogeelid töötati algselt välja hügieenivahenditena, kuid võeti siis kasutusele ka kõrbestunud aladel mullaparandajana, jõudes viimaks ka kasvusubstraatide koosseisu. Peale vee sidumist toimivad hüdrogeelid taimede kättesaadava vee reservuaaridena. Kuna turba veehoiuvõime juba niigi kõrge, siis turbapõhistes substraatides üldiselt hüdrogeele ei kasutata.

Keemilised pestitsiidid: keemilisi fungitsiide ega insektsiide üldiselt ühtegi standardsubstraati ei lisata. Neid lisatakse taimekasvataja poolt vastavalt vajadusele. Lisaks võib nende lisamist reguleerida ka seadusandlus, mis on riigiti erinev.

Bioproduktide lisamine (nt bioloogilised pestitsiidid ja stimulandid) kasvusubstraatidele on viimastel aastakümnetel saagenud, eelkõige keemiliste lisandite seadusandliku piiramise tõttu, millele substraaditootjad ja taimekasvatajad on pidanud alternatiive otsima. Lisaks on see bioproduktide tootjatele kasvav tootesegment, seda just põllumajanduses, vähem aianduses. Mõned tooted on olnud edukad, teised jällegi mitte. Põhiprobleem seisneb nende puhul selles, et nende toime pole tihti tõestatud järjepidev: kohati nad toimivad, siis jälle mitte. See võib tuleneda mitmest asjaolust:

- Kasvusubstraadi sobivus asustatavale mikroorganismile (pH, toitainete hulk, niiskus, mikroobsete organismide vahelised vastastikmõjud jne);
- Kasutusaeg ja kasvusubstraadi hoiustamise aeg;
- Keskkonningimused, eelkõige temperatuur.

Bioloogiliste lisandite grupp on üks põhilisi kasvusubstraadide lisa-aineid, milles on edasise arendustöö vajadus küllalt suur: uute ja paremate organismirühmade leidmine, seire ja kvaliteedikontrolli meetodite välja töötamine, kasutatavates substraadide põhikomponentides juba sisalduvate mikroobipopulatsioonide uurimine ning lisatavate rühmade mõju toodetava kasvusubstraadi teravikkoosusele, samuti neid kandvate materjalide valik ja välja töötamine.

Pigmendid: Vahel kasutatakse ka lisa-aineid kasvusubstraadile tooni andmiseks. Näiteks kasutatakse vahel pruunsütt või hästilagunenud *Sphagnum*-turvast puidukiududele pruunika tooni andmiseks, samal ajal substraadi muid omadusi mõjutamata.

Kokkuvõttes ei kasutata ega vajata üldjuhul substraati kõiki eelnimetatud lisa-aineid. Neid on vaja vaid juhul, kui nad lahendavad efektiivselt mingi praktilise probleemi. Siiski pakuvad nad võimalust substraadide kvaliteeti, efektiivsust ja hinnataset parandada.

Lisatavad ained Eesti tootjate substraadisegudes

Kaevandatud aiandusturba väärindamine algab turba söelumisest ja fraktsioonideks jagamisest ning sellele järgneb täiendav väärindamine. Eestis valminud turbatoodetest moodustab valmis kasvusubstraat ligikaudu ühe neljandiku. Turvas moodustab sellest omakorda 97-98%. Ülejäänud koheselt tehases substraadile lisatavaid ained on küll ligi 15, kuid üldmahult moodustavad need vaid ligikaudu 2,3% (Tabel 2) ja on põhiliselt pH neutraliseerimiseks ning õhustatuse suurendamiseks. Siiski on see vaid väike valik taimekasvatusel kasutatavatest ainetest; suur osa lisa-ainetest segatakse substraadi hulka juba taimekasvataja poolt vastavalt konkreetse taimekultuuri vajadustele ja ettevõtte retseptile.

Tabel 2. Eesti substraaditootjate turbasegudele lisatavate koostisosade üldkogused (Eesti Turbaliit, 2021-2022).

| Materjal | 2021 | 2022 |
|-----------------------------------|----------------------------|------|
| Orgaanilised koostisosad | tuhat m³ | |
| Vähelagunenud turvas | 741 | 1491 |
| Hästilagunenud turvas | 861 | 126 |
| Pätsturvas | 27 | 24 |
| Kookoskiud | 5 | 5 |
| Puukoor | 0,3 | 1 |
| Puidukiud | 8,75 | 10 |
| Kompost (aiajäätmetest) | 1,2 | 2,2 |
| Biosüsi | | 0,4 |
| Anorgaanilised koostisosad | tuhat m³ | |
| Paisutatud perliit | 14,1 | 10,3 |
| Paisutatud savi | 2,8 | 1,0 |
| Liiv, liivsavi ja savi | 1,8 | 5,8 |
| Jahvatatud lubjakivi | 0,6 | 2,5 |
| Kriit | | 0,18 |
| Multimix NPK | 0,59 | 0,09 |
| Paisutatud vermikuliit | 0,009 | |
| Pimss | 1,2 | |

Kasutamise käigus lisatavad ained

Suurt osa taimede kasvu ja ellujäämist otseselt või kaudselt soodustavaid aineid ei lisata mitte substraaditehases, vaid vahetult kasutamise ajal taimekasvataja poolt. Paljudel juhtudel tellib taimekasvataja söelutud ja lubiainega neutraliseeritud freesturba (nn baassubstraadi), millele lisaained (nt. väetised vedelal või tahkelkujul) ise juurde paneb. Lubiaine lisamine toimub enamasti efektiivsuse tagamiseks tehastes kuna see on mahuline ja täpsust nõudev protsess. Kuna paljusid lisaaineid kasutatakse eri kombinatsioonides erinevate substraatide koosseisus vastavalt taimekuultuuri vajadustele, saab ligikaudseid lisaainete sisaldusi kasvuturvaste koosseisus hinnata põhiliselt kasvatatavate taimekuultuuride vajaduste ja nende saagikoguste järgi. Osade lisaainete, nt taimekaitsevahendite kohta (Tabel 3) kogub Statistikaamet andmeid ning nende osas on ülevaade parem.

Tabel 3. Taimekaitsevahendite kasutamine (2020. a) valdavalt turbasubstraadil kasvatatavate kultuuride puhul (Statistikaamet, 2020).

| | Puukoolid | | Lilled ja ehistaimed | | Katmik- kõõgivil |
|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------|
| | Toimeaine kogus, kg | Toimeainega töödeldud pind, ha | Toimeaine kogus, kg | Toimeainega töödeldud pind, ha | Toimeaine kogus, kg |
| Taimekaitsevahendid kokku | 761,74 | | 21,86 | | 0 |
| Fungitsiidid ja bakteritsiidid | 317,86 | | 7,71 | | 0 |
| ..asoksüstrobiin | 24,99 | 147,36 | 0 | 0 | 0 |
| ..boskaliid | 36,92 | 407,78 | 0 | 0 | 0 |
| ..difenokonasool | 5,47 | 312,04 | 0 | 0 | 0 |
| ..fludioksoniil | 39,73 | 464,82 | 0,02 | 5,43 | 0 |
| ..penkonasool | 5,9 | 345,6 | 0,3 | 5,43 | 0 |
| ..propamokarb | 16,78 | 15,57 | 4,64 | 5,43 | 0 |
| ..püraklostrobiin | 9,26 | 407,78 | 0 | 0 | 0 |
| ..tsüprodiniil | 59,63 | 458,57 | 0,03 | 5,43 | 0 |
| Herbitsiidid | 443,61 | | 0 | | 0 |
| ..aklonifeen | 110,3 | 774,42 | 0 | 0 | 0 |
| ..fenmedifaam | 98,68 | 334,54 | 0 | 0 | 0 |
| ..glüfosaat | 198,68 | 297,3 | 0 | 0 | 0 |
| ..MCPA | 31,73 | 146,73 | 0 | 0 | 0 |
| ..metamitroon | 2,04 | 493,26 | 0 | 0 | 0 |
| ..propakvisafop | 2,16 | 63,67 | 0 | 0 | 0 |
| ..rimsulfuroon | 0,01 | 154,88 | 0 | 0 | 0 |
| Insektitsiidid ja akaritsiidid | 0,27 | | 14,15 | | 0 |
| ..alfa-tsüpermetriin | 0 | 174,25 | 0,15 | 5,04 | 0 |
| ..deltametriin | 0,15 | 174,25 | 0 | 0 | 0 |
| ..dimetoot | 0,12 | 154,88 | 0 | 0 | 0 |
| ..tau-fluvalinaat | 0 | 0 | 14,01 | 5,43 | 0 |
| ..fosetüülalumiinium | 119,18 | 58,12 | 2,71 | 5,43 | 0 |

Ehkki taimede ja nende kasvukeskkonna kaitseks ning kulude optimeerimiseks lisatavate ainete koguseid optimeeritakse võimalikult täpseks, võib osa nendest siiski peale substraadi kasutamist selle koostisse jääda, mistõttu tuleb nende sisaldusega kasutatud substraadi edasisel käitlemisel arvestada.

Vesi kui lisaaine

Taimekasvatuses, sh substraadide tootmisel ja kasutamisel, on ülioluline roll kvaliteetsel veel. Seda lisatakse substraadile nii taimekasvuks sobivate omaduste säilitamiseks kui ka kastmisveena taimekasvatuse käigus. Ka Eestis asuvates tehastes niisutatakse turbapõhiseid substraate veega, sest läbikuivamisel muutuvad need vett-tõrjuvaks ning seega taimekasvuks sobimatuks. Sarnaselt ülejäänud substraadile peab lisatav vesi olema vaba haigusetekiitajatest ja taimekultuurile ebasobivatest lisanditest. Samuti on oluline vee pH, mis mõjutab ülejäänud substraadi reaktsiooni. Kuna valdava osa kasvatatavate taimekultuuride jaoks optimaalne pH tase on vahemikus 5,5 – 6,5, siis on lubjarikka põhjavee kastmisveena kasutamine piiratud. Seetõttu on osades riikides vaja kastmisveet kaugemalt transportida, sh importida.

Allapanuturvas

Turbal on olnud oluline roll loomade allapanuna, eriti piirkondades ja ajaperioodidel, kui muu sobiva materjali kättesaadavus on piiratud. Antibakteriaalsuse tõttu on allapanuturvas tänini hinnatud materjal nii broilerifarmides, hobusetallides, lamba-, piimalehma-, lihaveise- kui sealautades. Näiteks Soomes kasutab allapanuturvast 22 % sealautadest. Lisaks antibakteriaalsusele ja loomade füüsilisele heaolule on allapanuturbal mitmeid positiivseid omadusi, nt vähendab see toidulisandina oluliselt põrsaste aneemiaohtu, on äärmiselt hea vedelike sidumisvõimega (1 m³ 500-800 l vedelike kohta), on soe ja kohev, happeline (pH ~3,5-5: ei ole patogeensete ainete jaoks optimaalne) ning seob ka ammoniaaki ja vesiniksulfitit. Miinusteks on tume värv (näeb „määrdund“ välja), hajutamisel tolmap, võib olla varieeruva kvaliteediga ning talvel märgununa külmuda. Soomes on pikaajalise allapanuturba kasutamisega viidud antibiootikumide vajadus miinimumi, samal ajal on kampülobakterite (peamine inimeste seedetrakti infektsioonide põhjus EL-is) esinemine broileripartiides üle 10 korra madalam kui EL-is keskmiselt (2,5% vs 27,3%). (Suojala, 2023)

Turba alternatiivid substraadi komponendina

Turvas on paljude taimekultuuride kasvatamiseks kõige sobivam substraat, kuid substraadivaliku mitmekesistamiseks, võimaliku parema ja odavama aseaine leidmiseks, turba varustuskindluse riski maandamiseks ja turbatootmise keskkonnamõjude vähendamiseks on viimastel aastakümnetel paralleelselt turbasubstraatide laialdase kasutamisega otsitud turbale alternatiive ning osades riikides (nt Suurbritannia) ka püütud piirata turbasubstraatide kasutamist hobiaianduses.

Turba olulisimateks eelisteks on selle struktuur ja steriilsus: turvas on oma tekke tõttu vaba haigustekitajatest ja kahjuritest ning kontrollitud toodang on ka umbrohuseemneteta; madal toitainete sisaldus võimaldab lisada just vastavale taimekultuurile sobivas koguses väetist; rakuline struktuur oma suurte vett ja õhku hoidvate vakuoolidega tagab kõrge veemahutavuse samaaegse suure õhumahuga.

Turbaga kõige sarnasemate omadustega on veel turbaks muutumata turbasammal, mille tööstusliku kasvatamise katseid on viimastel aastakümnetel erinevates riikides (eelkõige Saksamaal) tehtud. Uue materjalina piiravad selle tootmist eelkõige aga piisava kogemuse puudumine ning võrreldes materjali vajadusega aeglane juurdekasv, mis turba asendamiseks nõuaks tööstuslikku kasvatamist väga suurtel maa-aladel (substraaditootjate hinnangul oleks nt ainuüksi Saksamaa vajaduste katmiseks vaja turbasammalt kasvatada vähemalt 65 000 hektaril). Selleks sobiksid eelkõige ammendunud turbatootmisalad, kus veetase on maapinna lähedale tõstetud. Paraku on aga samad alad kõige sobilikumad ka looduslähedaste soode taastamiseks.

Samuti kerge, hästi märguva, hea vee- ja õhumahutavusega ning seejuures taastuva materjalina on kookoskiudu peetud omadustelt üheks paremaks turba analoogiks kasvusubstraatides. Selle suurimaks miinuseks on aga toorkius sisalduvate, taimedele toksiliste soolade kõrge kontsentratsioon, mille mitmekordisel väljapesemisel on suur mageveekulu ning kasutatavate kemikaalide tõttu ka joogiveereostuse oht. Kui loodusliku aineriingi puhul jõuaks kookoskius sisalduvad toitained (eelkõige K ja Mg) tagasi mulda, siis substraaditootmise korral viiakse toitained vastavatest ökosüsteemidest välja. Lisaks on kookoskiud väga vastuvõtlik teatud seenhaigustele ning seda tuleb Euroopasse transportida enamasti Indiast ja Kagu-Aasiast. Seejuures on kookoskiu kättesaadavus selle muude kasutusala (eelkõige filtritööstuse) ja toorme korjamise hooajalisuse tõttu piiratud. Samuti kasvab koos nõudlusega ka kookoskiu hind.

Seoses ringmajanduse arenemisega kogu maailmas on aiandusjätmetest toodetud kompostil taastuva ressursina üha suurem potentsiaal ka kasvusubstraadina kasutamisel. Komposti puhul on oluline rõhutada, et professionaalses aianduses kasutatakse eranditult taimsete jätmete komposti, sest biojätmetest tehtud komposti koostises võib leiduda ohtlikke haigusetekitajaid. Komposti eelisteks on taimsete aiajätmete (nt puulehed, praaktaimed) taaskasutus ning nii eeliseks kui puuduseks toitainete kõrge sisaldus. Komposteerimine vähendab edukalt patogeensete organismide arvukust substraadis. Samas ei saa kõrge pH ja suure toitainete sisalduse (eelkõige K ja P) tõttu komposti üldjuhul puhtal kujul kasutada, vaid seda tuleb segada muu materjali, tavaliselt turbaga; seetõttu on kompost substraadisegudes kasutatav üldiselt suhteliselt väikeses koguses. Vaatamata sellele, et tööstuslik komposteerimine tapab patogeene võrdlemisi efektiivselt, säilib kompostis siiski ka taimehaiguste ja kahjurite risk. Võrreldes eelnevatega on komposti mineraalse aine osakaal suur ning substraat ise tihedam ja raskem, mõjutades transpordikulusid ja seega suurendades ka keskkonnamõjusid. Kvaliteetse toorme nappuse tõttu on ka komposti saadavus piiratud ning süsinukuringe seisukohast tähendab

komposteerimiseks kasutatava taimse materjali kogumine süsinikusiiret – kogumiskohas orgaanilise süsiniku sisend mulda kahaneb ning see kantakse üle komposti kasutamise piirkonda.

Puukoor on samuti taastuv ressurss ning pikaajaliselt stabiilse ja hästi õhustatud struktuuriga, ent vett hoiab halvasti ning selle lämmastiku puhverdamise võime on väike. Puhtal kujul sobib see kasutamiseks epifüütide (nt orhideede) kasvatamisel, kuid teiste taimede substraadisegudesse sobib pigem väikese osakaaluga; liiga suure sisalduse puhul mõjub taimekasvule halvasti. Taimekultuure ohustavate nematoodide leviku vältimiseks vajab puukoor enne substraadile lisamist ka täiendavat töötlust. Ka sobiva puukoore saadavus on piiratud, sest substraadiks sobivad teatud puuliikide koored.

Sarnaste omadustega on ka puidukiud, mida lisatakse substraatidele õhustatuse suurendamiseks, kuid selle veehoiuvõime on väike ja üldjuhul seda puhtal kujul ei kasutata. Selle suurema osakaalu puhul substraadis on vaja kindlasti lisada toitaineid, eriti lämmastikku. Puidukiu lagunemine on väga kiire (soodsates tingimustes kuni 50% algsest massist poole aasta jooksul) ning seetõttu kaotab selline substraat kiirelt taimekasvu toetavad omadused ning kasvuhoonegaaside emissioon on kõrge (Veeken, 2003; Verhagen et al., 2009). Puidukiu kasutamisel suureneb ka oht kahjulike nematoodide levikuks.

Perliit on steriilne, ei vaju kokku ega lagune, on korduvkasutatav ning õhustab hästi substraati. Samas ei hoi see hästi vett. Kuna perliidi toormeks on vulkaaniline kivim, ei ole see taastuv ning perliidi tootmine on väga suure energiakuluga. Sarnaselt kompostiga on ka **kivivill** valdavalt teisesest toormest ja kasutuse alguses taimehaiguste vaba, kuid selle tootmine on väga energiamahukas. Kivivilla ja vesilahuste kasutamine on küll väga efektiivne, sest kõik toitained on taimetele kohe omastatavad, kuid nõuab põhjalikke eelteadmisi. Materjali kasutamine kahjustab inimeste hingamisteid ning eeldab seetõttu taimekasvatatelt isikukaitsevahendeid.

Seega on igal substraadi komponendil oma eelised ja puudused nii kasutusomaduste kui keskkonnamõjude osas. Samuti tuleb arvestada materjalide üldise maksimaalse koguse ja kättesaadavusega maailmas, sest lisaks substraaditööstusele vajavad neid ka teised tööstusharud. Professor Chris Bloki jt (2021) uuringu põhjal võib seniste trendide (inimkonna juurdekasv ja elatustaseme tõus, viljaka põllumaa vähenemine, taimetoidu populaarsuse kasv jne) jätkudes kasvada aastane substraatide nõudlus maailmas 2050. aastaks 283 Mm³-ni ehk võrreldes 2017. aasta seisuga (67 Mm³) üle nelja korra (joonis 3). Seejuures kasvab nende prognoosi järgi kasvusubstraatide kasutamine toidutootmises 260 protsenti ja ilutaimede kasvatamisel 490 protsenti. Enamik kasvusubstraatide võimalikke koostisosi võrdlevate ja kättesaadavust hindavate tööde autorid on jõudnud järeldusele, et praegu ja lähiajal turbale arvestatavat alternatiivi kasvusubstraatide baaskoostisosana ei leidu. Samuti on oluline märkida, et ka taimekultuuride puhul, mida saab alternatiivsetes substraadikomponentides kasvatada, on üldiselt väiketaimete kasvatamiseks turba kasutamine vältimatu. Kuigi turba sisaldus kasvusubstraatides keskmiselt väheneb, siis üldiselt turba vajadus suureneb, sest substraatide vajadus kasvab veelgi rohkem (joonis 3). Kuna substraadi põhifunktsioonid tuginevad turbal, siis võib öelda, et isegi turba suhteliselt väiksema sisalduse tõttu segudes tema tähtsus kasvab, sest veelgi suurem kogus taimi saab tänu turbale kasvada.

Joonis 3. Üleilmne aastane peamiste kasvusubstraatide kasutamine 2017. aastal ja prognoos 2050. aastaks. Allikas: Blok et al., 2021.

Paljude kultuuride puhul on leitud, et juhul kui soovitakse turba osakaalu substraadis vähendada, annab paremaid tulemusi taime vähese turbasisaldusega substraadis ettekasvatamine ja sarnasesse substraati ümberistutamine kui turbas ettekasvatatud taime vähese turbasisaldusega substraati ümberistutamine (HortWeek, 2024a). Ka võib turbavabas substraadis vajada taim tihedamat substraadi vahetamist. Nt *Sarracenia*'t turbas kasvatades tuleb keskmiselt iga 8-9 aasta järel substraati vahetada, samas kui turbavaba segasubstraati (1/3 männikoort, 1/3 turbasammalt ja 1/3 korgigraanuleid) tuleb iga kahe aasta järel vahetada (Hortweek, 2024a). On ka üldiselt teada, et turbavabad substraadid vajavad rohkem kastmist ja väetamist (Hortweek, 2024b). Üks Eesti püsikute kasvataja märkis samuti, et kui ta kasutas puhta aiandusturba asemel teatud osas turbaga koos hakkepuitu, kasvas väetisevajadus 30%, eriti N osas. Teine püsikute ja noortaimede kasvataja ütles sarnaselt, et arvestades taimetervist ja –kvaliteeti, ei näe ta vähemalt potitaimede osas turbale alternatiivi. Teine on lugu aga eksootiliste toataimedega, mille puhul kasvatajad ja edasimüüjad eelistavad turba asemel valdava osa taimekultuuride puhul kookoskiudu ja perliiti. Tõsi, tööstuslikult neid Eestis ei kasvatata ning taimede kodumaa kliima ja mullastik on Eesti tingimustest erinevad.

Taimehaigused ja -parasiidid

Taimehaiguste põhitüüpideks on mädanikud, närbumine, laiksused, padjandid e. pustulid, kirmed, eritised, mumifitseerumine ja lehtede enneaegne varisemine (Albert, 2018). Katmikaladel substraadi vahetamise põhiliseks põhjuseks on taimehaiguste levik. Kütteta kasvuhoones ei ole kahjurid Eestis probleemiks (võib siiski esineda lehetäisid ja kasvuhooone karilast). Niiskuse püsimisel on kasvuhoonetes levinumad haigused nt hahkhallitus, tomati-pruunmädanik ja -lehemädanik, tomati-ruugehallitus, varrepõletik, ebajahukaste, jahukaste, valgemädanik. Ehkki kasutusel on mitmed taimekaitseks mõeldud preparaadid, on siiski suur oht, et taimehaigused vähendavad taimede ellujäämist, kasvu ja saagikust.

Aiandusturba kasutamine aiandussektoris

Aiandusturvas on olulisim aiandussektori kasutatav substraat, millel valmib nii lõpptarbijale turustatav toodang kui ka noortaimed, mis lisaks aiandussektorile endale liiguvad edasi põllumajandussektorisse. Taimekasvatustoodangu väärtus moodustab Eestis põllumajanduse majandusharu kogutoodangu väärtusest 41-51%, mille sees aiandustoodangu väärtus moodustab taimekasvatustoodangu väärtusest 11-18% (Statistikaamet, 2022).

Küsitlusuuring: Aiandusturba kasutamine

Aiandusturba kasutamise mahtude, praktikate ja kasvatatavate kultuuride teada saamiseks kombineeriti erinevate asutuste kogutavaid statistilisi andmeid Eesti taimekasvatajate hulgas 2023. aasta kevadel läbi viidud küsitlusuuringu tulemustega (küsimustik esitatud Lisas 1). Küsitlusele vastavad taimekasvatajad valiti selliselt, et kõik peamised turbasubstraadil kasvatatavad taimerühmad oleksid esindatud. Lisaks Eesti taimekasvatajatele küsitleti 5. aprillil 2023 Hollandis, mis on Eesti turbatootjate suurim eksporditur, turbasubstraatide tarneahela eri osadega seotud inimesi:

- Arjan Zwinkels – Kekkilä-BVB De Lieri substraaditehas, toote-arendusjuht;
- Esther van Geest – Geest Potplanten, ilutaimede kasvataja;
- Marco Zevenhoven – RHP operational director.

Lisaks taimekasvatajatele küsitleti Eestis substraatide ja neil kasvatatud taimekultuuride jae- ja hulgimüüjaid, turbatootjaid ja botaanikaaedu.

Metsaistikud

Taimetervise registri andmetel kasvatati 2022. aastal Eestis 38,5 miljonit metsaistikut (Tabel 4), neist üle poole Riigimetsa majandamise keskuse (RMK) taimlates (22 miljonit), mis on ligilähedane kogus pikaajalisele keskmisele. Lisaks imporditi 4,4 miljonit istikut. Eestis kasvatatud metsaistikutest 85,5% olid okaspuud ja 58,3% potitaimed. Metsataimekasvatajate katmikala üldpinnaks oli 2022. aastal 12,63 ha, millest potitaimede alune pind moodustas 8,35 ha.

Tabel 4. 2022. a Eestis toodetud ja turustatud, siit eksporditud või siia imporditud metsapuude istikud (tuhat tk; andmed: Taimetervise register, 2022)

| Tuhat tk | Eestis toodetud ja turustatud | | | Ekspord | | | Import | | |
|--------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|----------------|------------|------------|----------------|-------------|-------------|
| | Paljas-juursed | Potis | Kokku | Paljas-juursed | Potis | Kokku | Paljas-juursed | Potis | Kokku |
| Arukask | 3655 | 1309 | 4964 | 0 | 43 | 43 | 198 | 85 | 282 |
| Harilik kuusk | 11265 | 6206 | 17472 | 0 | 316 | 316 | 2276 | 1240 | 3516 |
| Harilik mänd | 739 | 14060 | 14800 | 0 | 320 | 320 | 193 | 327 | 520 |
| Sanglepp | 385 | 104 | 489 | 0 | 1 | 1 | 16 | 0 | 16 |
| Eurojaapani lehis | 0 | 21 | 21 | 0 | 0 | 0 | 54 | 0 | 54 |
| Maarjakask | 0 | 5 | 5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Hübriidhaab | 0 | 5 | 5 | 0 | 56 | 56 | 0 | 0 | 0 |
| Harilik pärn | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Harilik ebatsuuga | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 |
| Magus kirsipuu | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| KOKKU | 16045 | 21710 | 37755 | 0 | 738 | 738 | 2739 | 1652 | 4391 |

Hinnanguliselt kasutatakse Eestis ühe aasta jooksul metsataimede ette kasvatamiseks keskmiselt 5775 m³ turvast. Kõik potikultuurid kasvatatakse Eesti päritolu turbasubstraadil (valdavalt 5 m³ suurpall), kuid väga erinevatel segudel ja sõelutud fraktsioonidel sh purustatud tükkturba substraatides. Segu täpsem koostis sõltub puuliigist, kuid hilisemat istutuse kasvukohta (metsakasvukohatüüpi) substraadi segamisel arvesse ei võeta. Turbasegude neutraliseerimiseks kasutatakse valdavalt lubjakivijahu. Hangitav substraat peab sisaldama väetist (keskmiselt 1,0 kg/m³, näiteks PG MIX 12-14-24) ja määrgumist soodustavaid aineid (nt. Fiba-Zorb). Vähesemal määral kasutatakse substraadis ka pikematoimelisi väetisi, näiteks Osmocote 3,4 M või Plantacote Pluss 4M 2kg/m³. Külvide katteks kasutatakse kas vermikuliiti, liiva või saepuru. Istikute ettekasvatusel on kasvuhoonete temperatuur valdavalt 15-20°C, õhuniiskust eraldi ei kontrollita.

Kasvuturvas kasutatakse valdavalt kiiresti, st mõne nädala jooksul ära. Järgi jäävad kogused on väikesed ning kasutatakse ära poole aasta jooksul. Puukoolide hinnangul otsesid takistusi turbasubstraadi korduvkasutuseks ei olnud, ka seemneumbrohtunud segud kasutati ära potiistutuse alumistes kihtides. Kuna 95-100% substraadist liigub koos taimega lõpptarbijale, siis ei jää kasutatud substraati ka arvestatavas koguses järgi.

Köögiviljakasvatus

Köögivilju kasvatatakse Eestis valdavalt avamaal (nt kapsas, porgand) või hüdropooniliselt kasvuhoones (tööstuslik tomatikasvatus). Katmikköögivilja kasvatatakse Eestis kokku ligikaudu 87 ha kasvuhoonetes, millest ligi 2/3 moodustab tomat. Valdav enamus katmikköögiviljast kasvatatakse kodumajapidamistes. (Statistikaamet, 2023)

Lisaks köögiviljasaaduste kasvatamisele tuleb Eesti kliimas suuri köögiviljataimi seemnest ette kasvatada. Näiteks kurgi- ja kapsataimede ette kasvatamiseks kulub ligikaudu 70 cm³ turbasubstraati taime kohta, milles noortaimed 1-1,5 kuud idanevad. Paljudel Eesti köögiviljakasvatajatel on oma kasvuhoonetes taimede ettekasvatus, misjärel need istutatakse kevadel edasi avamaale. Seetõttu on ka loogiline, et kogu kasutatud substraat viiakse samuti põllule. Osade kultuuride, nt tomatite puhul, võib olla vajalik vahepikeerimine. Substraadina kasutatakse turbasegusid (pH 5,6-6,5), millele lisatakse väetist (N, P, K) ja kriiti. Kultuurispetsiifiliselt pritsitakse haiguste ja kahjurite tõrjeks taimi ka erinevate sünteetiliste ja bioloogiliste preparaatidega, mis võivad osaliselt ka kasutatud substraati alles jääda.

Suve- ja püsililled

Lilli kasvatatakse keskmiselt liitrites pottides keskmise turbakuluga 930 cm³. Substraadina kasutatakse nii vähe- kui hästilagunenud turvast (keskmine pH 5,5-6,0), millele lisatakse vastavalt kultuurile savi ja/või perliiti ning pikaajalist väetist. Suvelilled kasvavad enne realiseerimist potis 2-3 kuud, jõulutäht 5-6 kuud, osad püsikud (nt pojengid) kuni 9 kuud. Osad aiandid turustavad ka 1-5 cm suuruseid kassetitaimi, mis on mõeldud edasi kasvatamiseks. Kasvatatavad taimed on näiteks iirised, nelgid, lobeeliad, begooniad, fuksiad, daaliad, murtudsüdamed jne. Sõltuvalt aastast ja kultuurist jääb keskmiselt 5 % taimedest müümata või läheb muul põhjusel praaki – paljud kultuurid säilivad esinduslikuna lühikest aega. Nii taimed ise kui substraat lähevad enamasti komposti, mida valdav osa kasvatajatest potiistutuses uuesti ei kasuta – see läheb maastikukujunduseks ja aukude täiteks.

Viljapuud ja ilupõõsad

Ilupõõsa- ja viljapuuistikute kasvatamiseks kulub puukoolides 4-5 aastat. 2-3 aasta järel potistatakse istikud ringi suurematesse, üldjuhul 7-liitristesse pottidesse (tihenemise tõttu on turbakulu mõnevõrra suurem). Seejuures substraati ei vahetata, vaid lisatakse juurde. Üldiselt kasutatakse vähelagunenud turvast, aga vastavalt taimele ka erinevaid segusid, sõelutud fraktsioone ning ka purustatud tükkturvast. Substraadi pH on vastavalt istikuliigile 3,5 kuni 6,0 – kõrgema pH puhul kasutatakse neutraliseerimiseks lubjakivijahu. Turbale lisatakse põhilisi toitaineid, Osmocote väetist ja stabilisaatoreid. Üle 95% kasutatud turbast liigub koos istikutega lõpptarbijale. Kasvuhoones kasvatamise korral tekib monokultuuri puhul pinnaseväsimus aastaga, aga nt õuna ja ploomi vaheldumisi kasvatades kahe aastaga, misjärel läheb substraat komposti ja seejärel põllule. Erinevates puukoolides on aga vähese järgi jäänud turba kasutamine erinev: järele jäänud turvas kasutatakse üldiselt ära suuremate puude potiistutuses või liigub peale komposteerimist põllule või linnahaljastusse. Kasvatatavad kultuurid on näiteks pirni-, õuna-, ploomi- ja kirsipuud, erinevad ilupuud, vaarika-, sõstra- ja karusmarjapõõsad.

Maitsetaimed ja salat

Maitsetaimede ja salati kasvatamiseks kasutatakse valdavalt vähelagunenud ja hästilagunenud turvaste segu vahekorras 70/30 (pH 5.5-6.0), mis müüakse potiga koos kasvatatava kultuuriga lõpptarbijale edasi. Selles sisalduv niiskus tagab taime pikema säilivuse ning kasutusaja. Keskmiselt kulub ühe maitse- või salatitaimede kasvatamiseks 70 cm³ turvast, millele lisatakse vaid põhilisi toitaineid. Taimed on kiire kasvuga, mistõttu on turba kasutusaeg vaid 1.5-2 kuud. Kasvuhoonetes on temperatuur keskmiselt 16°C ja õhuniiskus 75%. Kuna substraat liigub taimega kaasa, siis jääb taimekasvatataval järgi vaid minimaalne kogus turvast, mis lisatakse kompostile ja/või küntakse põllumulda sisse. Kahjurite ja haiguste riski tõttu juba kord kasutatud substraate uute taimede kasvatamiseks rohkem ei kasutata. Valmis toodangut poodides enam ei kasteta, mistõttu säilib müügikõlblikuna kuni kaks nädalat. Nii poodides järgi jäänud ja säilivusaja ületanud kui ka kodumajapidamistes peale taime ära tarbimist liigub substraat kas biojäätmete hulgas komposteerimisväljakule või kodusse kompostikasti, halvemal juhul olmeprügisse.

Eesti aiandites kasutatakse ka bioloogilist tõrjet, eelkõige lestadega. Eesti suurimas maitsetaimede ja salati toodangule spetsialiseerunud aiandis Grüne Fees segatakse leinasääsklaste tõrjeks taimede kasvuturba sisse preparaati ENTONEM, mis sisaldab parasiitset nematoodi (*Steinernema feltiae*). Nematoodid tungivad leinasääse vastse organismi ning hakkavad seal arenema, kasutades toitumiseks vastse kudesid. Selle tagajärjel sureb leinasääse vastne mõne päeva jooksul. Kasvuturba sisse segatakse ka looduslikku preparaati Gliomix, mis koosneb *Gliocladium*-seente niidistikust ja eostest. Gliomix soodustab taimedele oluliste mikroorganismide paljunemist kasvusubstraadis, parandades juurte kasvu ning kaitstes taimi haiguste eest.

Jaekaubandusettevõtetes väikeses turbapotis müüdavaid salati- ja maitsetaimi poes enam ei kasteta ja need säilivad seal paar nädalat. Mahakandmise osakaal selles kategoorias on siiski väga väike – keskmiselt 0,2% (osadel toodetel suurem, teistel väiksem).

Eksootilised toataimed

Eraldi taimekultuuride rühm on eksootilised toataimed: antuuriumid, filodendronid, monsterad, sõrgkõied, vahalilled, sukulendid, kaktused jne. Eksootiliste toataimede puhul varieerub substraadi koostis ja kasutusaeg ning kasvatuspoti suurus sõltuvalt kultuurist väga palju. Eestis koha peal kasvatatakse ja paljundatakse neid müügiks väga väikestes kogustes, kusjuures Eestis kaevandatud turvast selleks peaaegu ei kasutata. Selle asemel kasutatakse rohkem kookoskiudu (10-15% kasutatava substraadi

üldmahust), mis taimekasvatajate hinnangul on parema veehoiuvõimega. Lisaks sellele kasutatakse substraadisegudes kergkruusa, perliiti, puidukiudu ja –koort, jm komponente. Siiski kasutatakse Eestist eksporditud turvast nt Hollandi kasvuhoonetes laialdaselt eksootiliste toataimede kasvatamiseks.

Botaanikaaiad

Eestis on kaks suuremat botaanikaaeda, Tallinna Botaanikaaed ja Tartu Ülikooli Botaanikaaed, mis kasutavad ka arvestataval määral oma kollektsioonis olevate taimede kasvatamiseks turbasubstraate. Turvast kasutatakse seal nii taimede ettekasvatuseks ja substraadi segamiseks pottidesse kui happeliste taimede pinnaseks-katteks, sibullillede ja püsikute katteks, sh talviseks katteks. Substraadi kasutusaeg varieerub paarist kuust aastateni, ülejäägid jõuavad läbi komposteerimisväljaku taaskasutusse või segunevad pinnasega. Mõlemad botaanikaaiad kasutavad nii naturaalselt freesturvast (peamiselt püsikute katmiseks ja mullaparandajana, kokku keskmiselt 170 m³ aastas) kui ka erinevaid kasvuturbasegusid taimede ettekasvatuseks ja pottidesse segamiseks. Peamiselt on selleks nii Tallinna kui Tartu Ülikooli botaanikaaias kasutatud Kekkilä kasvuturbaid (Lillemuld, Suvelillemuld, Tomatiturvas, Mahe tomatiturvas, OPM 540W), kokku 113 m³ aastas. Seejuures leiab naturaalne freesturvast kasutust pigem avamaal, kasvuturvast katmikalal, kust see vahel koos taimega avamaale istutatakse. Ekspositsiooni ääristamisel on kasutatud ka plokkturvast. TÜ botaanikaaias pindala on 3 ha, erineva kliimaga kasvahooneid on 0,07 ha. Tallinna Botaanikaaias pindala on 22 ha, millest kasvahooneid on 0,20 ha.

Seened

Ehkki seente kasvatamine turbasubstraadil on maailmas levinud, siis Eestis kasvatatakse tööstuslikus koguses seeni pigem puidutööstuse (saepuru) ja viljakoristuse jääkidel (põhul), samuti puupakkudel ja –kändudel. 2019-2022 kasvatas Leovander Grupp Lääne-Virumaal kaubamärgi Natu'ke all ka šampinjone, kuid selle substraat pärines Hollandist. Siiski väärneb märkimist, et vana substraat suunati ümber-töötlemisele, aga lisaks oli plaan seda põldudel väetisena kasutada. Ka põllumajandusministeerium soovib oma trükises „Abiks seenekasvatajale“ (Kukk, 2005) kasutada seenekultuuride katematerjalidena nii šampinjonide kui stropharia kasvatusel freesturvast kas segus lubjakivitolmu või huumusega (kompostmullaga).

Allapanuturvas

Allapanuturvas ei ole otseselt aiandusturvas, kuid kuna selle omadused ja järelkasutus on aiandusturbale sarnased, on asjakohane ka allapanuturvast käesolevas uuringus käsitleda. 2021. aastal realiseeriti Eestis 19,4 ja 2022. aastal 29,7 tuhat m³ allapanuturvast, mis kasutati täies mahus ära Eestis (Turbaliit, 2022).

Sarnaselt kasutatud aiandusturbale jõuab ka valdav osa kasutatud ning loomade väljaheidetega segunenud allapanuturvast orgaanilise väetisena põldudele, kus see suudab taimekasvu paljudest teistest sisseküntavatest lisanditest (nt põhk) oluliselt rohkem toetada. Orgaaniliste lisandite kvaliteedi määrab suuresti süsiniku ja lämmastiku suhe (C:N suhe), kuna see on seotud sellega, kui kiiresti muutub kasutatud orgaaniline lämmastik mineraalse lämmastikuna taimedele kättesaadavaks. Orgaaniliste lisandite lagunemisel kasutavad mulla mikroorganismid N-i ensüümide tootmiseks ja kasvamiseks, mis võib viia N immobiliseerumiseni mikroobses biomassis, kui orgaanilise materjali C:N suhe on liiga kõrge. Madala kvaliteediga orgaaniliste lisandite, nagu põhk, mille C:N suhe on ligikaudu 100, lagunemiseks vajavad mullamikroobid kogu orgaanilises materjalis sisalduvat lämmastikku. Lisaks eemaldavad mullamikroobid mullalahusest lämmastikku, mis mineraliseerub mullale orgaanilisest osast, jättes mulda vähe või üldse mitte vabalt kättesaadavat lämmastikku. Kasutatud alusturvas koos sõnnikuga, aga ka kompostid, mille

C:N suhe on ligikaudu 10, sisaldavad suhteliselt rohkem lämmastikku, kui mulla mikroobid lagunemise ajal vajavad ja suurendavad seega mulla mineraalse lämmastiku kättesaadavust. (van der Sloot et al., 2022)

Importtaimed

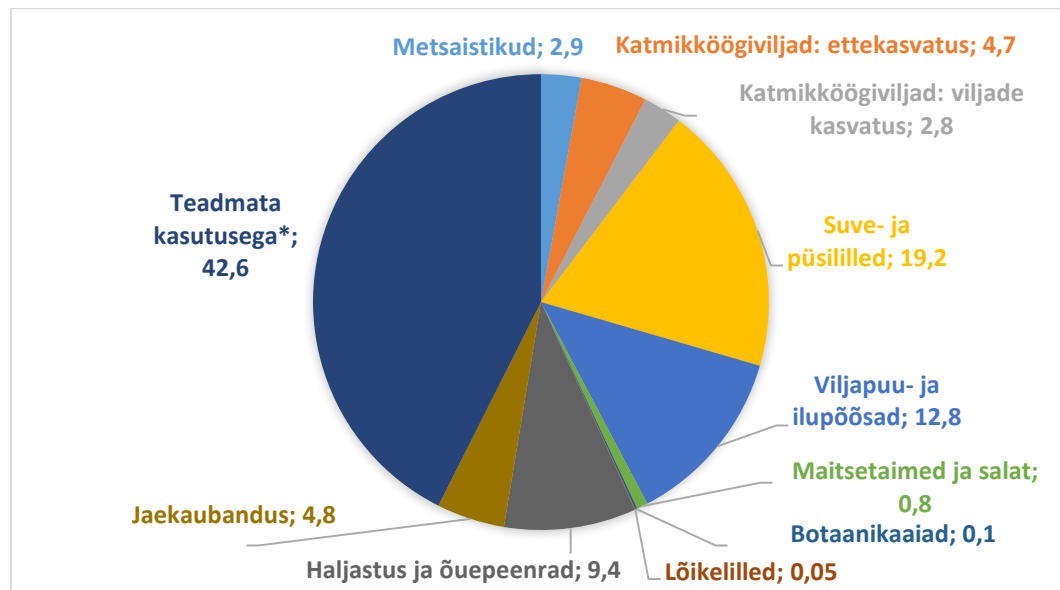
Osasid taimekultuure kasvatatakse Eestis ette vähe ning need tuuakse valdavalt teistest riikidest sisse, kusjuures need võivad olla kasvatatud Eesti turbal. Näiteks Eestis kasvatatavate maasikate taimed on tihti pärit Poolast või Hollandist; osad taimekasvatajad kasvatavad siiski ka ise oma taimed ette. Intervjueeritud RHP esindaja sõnul on maasikakasvatuses võimalik 5-10% kasutatud substraadist ilma saagikuse languse ja taimede tervist ohustamata uuesti kasutada.

Muu turbakasutus

Aiandusturvast kasutatakse ka eesmärkidel, mida ei saagi otseselt konkreetse taimekultuuriga seostada või ei ole turbas sellisel juhul nt põhisubstraadiks. Selleks on mitmesugune maastikukujundus, aiakultuuride multšimine, kompostile sissesegamine, käimlaturbana kasutamine jne. Samuti on jaekaubandusest ostetud substraadide puhul võimatu täpsemalt teada saada, milleks ostja seda kasutanud on. Siiski on hulgemüüjad hinnanud, et u 45% müüdud turbasubstraadidest on mõeldud aiakultuuridele ja 55% lilledele ja toataimedele, kokku on jaekaubanduse maht u 8900 m³ aiandusturvast.

Turbasubstraadi kasutusmahtude hinnang

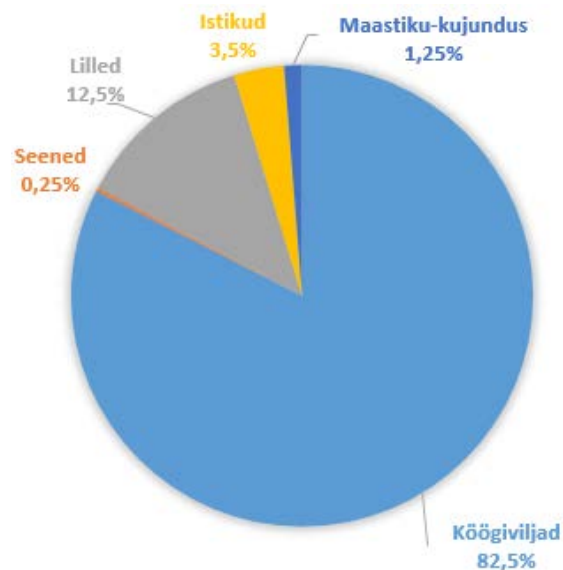
Eestis toodetud ja kasutatava aiandusturba täpsema kasutusotstarbe osakaalude kohta statistikat ei koguta, mistõttu saab seda vaid kaudselt kasvatatavate kultuuride koguse, selleks vajaliku substraadikoguse, ettevõtete käivete ja välja selgitatud kasutuspraktikate põhjal hinnata (joonis 4). Hinnangu andmist raskendab ka asjaolu, et suuremad ettevõtted kasvatavad tihti paralleelselt erinevaid taimegrupe (nt nii viljapuud ja pöösad, püsikud, suvelilled jm).



Joonis 4. Eesti siseriiklik hinnanguline aiandusturba kasutusvaldkondade protsentuaalne jaotus 2022. a andmete põhjal kogumahuga 203 tuhat m³.

Veelgi keerulisem on seda välja selgitada Eesti eksportturgudel. Siiski on mitmed aianduse ja turbatootmise eksperdid nii Eestis, Soomes kui Hollandis ühisel seisukohal, et turbasubstraadide maht

jaguneb toidu- ja ilutaimede vahel kasvusubstraadi sihtturgudel enam-vähem pooleks. Samas ei tähenda selline riigisisene tarbimise jaotus, et ka Eestist imporditud substraati kasutatakse sarnases proportsioonis. Eesti turbatootjate seas läbi viidud küsitluse käigus paluti hinnata ka kasutusvaldkondi, mille jaoks nende kliendid tarnitud (2021-2022 hooajad) aiandusturvast kasutavad. Kuna tarneahelas võib olla veel vahelülisid ja taimekasvataval võib olla ka mitu valdkonda, milleks substraate kasutatakse, siis paljud turbatootjad seda hinnata ei osanud. Saadud vastustest ilmnis aga, et üle 4/5 ehk ülekaalukalt valdav osa Eestis toodetud ja siit eksporditud kasvuturbast läheb köögiviljade (eelkõige nende väiketaimede) kasvatamiseks (joonis 5).



Joonis 5. Eesti turbatootjate hinnang eksporditud turba kasutusotstarbele 2022. aastal.

2024. aastal algas ülemaailmse substraadide kasutamise ja prognoostitava vajaduse jätku-uuring, mille esialgsete tulemuste kohaselt 2022. aastal kasutati maailmas 105 Mm³ kasvusubstraati, millest valdava osa moodustas turvas (tabel 5). Suurem enamus substraadist kasutati toidu tootmiseks.

Tabel 5. Kasvusubstraadide ülemaailmne kasutamine 2022. aastal (Nguyen, Barbagli ja Blok, 2024). Tulemused on esialgsed ja võivad uuringu jooksul veel muutuda.

| Regioon | Substraadiga kasvupindala (kha) | | | Šampinjoni-toodang (Mkg) | Substraadi maht (Mm ³) | | | | |
|-----------------|---------------------------------|------------|------------|--------------------------|------------------------------------|--------------|------------|------------|--------------------|
| | Toidu-taimed | Ilu-taimed | Puu-koolid | | Substraadil seened | Toidu-taimed | Ilu-taimed | Puu-koolid | Substraadil seened |
| P-Ameerika | 10,0 | 6,0 | 28 | 440 | 2,0 | 1,8 | 11,2 | 0,4 | 13,7 |
| L-Ameerika | 2,6 | 3,2 | 3 | | 0,5 | 0,9 | 1,1 | | |
| Euroopa | 37,0 | 12,4 | 20 | 1162 | 7,4 | 3,7 | 8 | 1,2 | 19,6 |
| Aafrika | 4,8 | 1,2 | 0 | | 1,0 | 0,4 | 0,00 | | |
| Lähis-Ida | 5,6 | 1,9 | 0 | | 1,1 | 0,6 | 0,03 | | |
| Hiina | 19,7 | 1,9 | 13 | 13629 | 3,9 | 0,6 | 5 | 13,6 | |
| Aasia (Hiinata) | 18,2 | 4,6 | 4 | 74 | 3,6 | 1,4 | 2 | 0,1 | |
| KOKKU | 98 | 31 | 68 | 15306 | 20 | 9 | 27 | 15 | 33 |
| | 197 | | | 15306 | 105 | | | | |

Järelkasutus ja ringmajandus

Euroopa Komisjon on ringmajandust defineerinud kui majandust ja mõtteviisi, mille eesmärk on säilitada toodete ja materjalide väärtust võimalikult kaua. Jäätmeid tekitatakse ja ressursse kasutatakse võimalikult vähe ning kui toode jõuab olelusringi lõppu, kasutatakse seda uue väärtuse loomiseks.

Joonis 6. Hollandi Keskkonnamõju hindamise ameti (Planbureau..., 2018) määratletud ringlusstrateegiad, mida saab kasutada toodete ja materjalide ringlusvoo loomiseks (vt ka Eljas-Taal et al., 2019).

Tabel 6. Ringlusstrateegiad koos kasutatud aiandusturba näidetega.

| | | | Turbapõhised näited |
|----|--------------------------|----------------|--|
| R0 | Keeldumine | Refuse | Turbavabad substraadid, hüdroponika, aeropoonika, substraatide mittekasutamine |
| R1 | Ümberkujundamine | Rethink | Eri omaduste ja koostisega substraatide kasutamine eri kihtides |
| R2 | Vähendamine | Reduce | Võimalikult väike substraadikogus võimalikult vähese turbaga, taimekasvatuse vajaduse ümberhindamine |
| R3 | Korduskasutus | Reuse | Ühe substraadi kasutamine võimalusel erinevate taimedega. Üldjuhul katmikalade taimekasvatuse järel avamaakasutusse viimine (põllud, linnahaljastus, karjäärade korrastamine). |
| R4 | Parandamine | Repair | Korduskasutus peale komposteerimist või steriliseerimist |
| R5 | Renoveerimine | Refurbish | - |
| R6 | Taastootmine | Remanufacture | Kasutatud substraadi tagasivõtmine substraaditehase poolt, kasutatud turvas uue substraadisegu koostises |
| R7 | Kasutusotstarbe muutmine | Repurpose | Kasutatud substraadi kasutamine uue toote toormena, nt soojustusmaterjali, aktiivsöe või biosöe tootmiseks. |
| R8 | Ringlussevõtt | Recycling | Käimlaturbana |
| R9 | Energiakasutus | Recover energy | Kasutatud turbasubstraadi kasutamine kütteturbana |

Turbasubstraatide väärtus seisneb nende füüsikalise-keemilistes omadustes, nagu poorsus ja veehoiuvõime, steriilsus, suur süsinikusisaldus jne. Esmase kasutuse käigus turbasubstraatidele lisatud muud ained (väetised, taimekaitsevahendid jne) võivad selle järelkasutusel nii positiivseks kui negatiivseks osutada. Ühest küljest võivad kasutatud turbasubstraadis sisalduvad väestiste ja taimekaitsevahendite jäägid toetada ka taime kasvu põllul või linnahaljastuses, kuhu kasutatud substraat järelkasutuse käigus viiakse. Teisalt suurendavad substraadis sisalduvad toitained selle edasist lagunemist, samuti võivad taimekaitsevahendite jäägid mõnevõrra tolmeldajaid ning muud elustikku kahjustada. Siiski kasutatakse taimekasvatustes üldiselt optimaalseid väetiste ja taimekaitsevahendite koguseid, mistõttu nende jääke on tõenäoliselt kasutatud substraadis minimaalselt ning seetõttu ka nende potentsiaalsed mõjud väikesed.

Turbasubstraatide järelkasutuse alternatiivid ja nende seos süsinikuringega

Uuringu käigus seni tuvastatud põhilised juba kasutusel olevad ja potentsiaalsed kasutatud turbasubstraatide järelkasutuse võimalused, mida kohati omavahel kombineeritakse, on:

1. Substraadi taaskasutamine
2. Istutamine mulda koos taimega
3. Komposteerimine
4. Kasutamine haljastuses
5. Mullaparandajana põllumuldadele lisamine
6. Kasutamine karjäärde korrastamisel (potentsiaalne)
7. Alternatiivsete toodete toormena kasutamine (potentsiaalne).

Lisaks turbasubstraatide kasutamise ajal ja selle järgselt turba süsinikusisalduses toimuvatele süsinikusisalduse muutustele on oluline arvesse võtta ka substraadis kasvavate taime ja turgurite mõju üldises süsinikudünaamikas, sh võrreldes alternatiivsete substraatidega ja turbasegudele lisatavaid aineid arvesse võttes.

Enamiku kasvusubstraatide puhul on kasutatud kasvusubstraadi elua lõpul selle (*End of Life* - EoL) järelkasutuseks kompostimine või mullaparandusainena kasutamine põllul. Ehkki valdav osa substraadist jääb selle kasutamise järel alles, eeldatakse seni valdavalt kasutusel olevates käsitlustes (nt Growing Media Europe, 2021; Stichnothe, 2022; Paoli et al., 2022) EoL-i hetkel turba koostisainetes allesjäänud süsiniku täielikku oksüdeerumist ja süsiniku emissioon esitatakse täies ulatuses EoL-i etapis. Kompostimiseks või mullaparandajana kasutatud kasvusubstraati käsitletakse jääkmaterjalina, välja arvatud juhul, kui substraadi väärtus on selle kokku kogumise kulust suurem – sel puhul rakendatakse majandusliku kasumlikkuse analüüsi. Kompostimisel või mullaparandajana kasutatavale kasutatud kasvusubstraadile omistatakse jäägi väärtus. Kompostile ega kasutatud kasvusubstraadi kasutamisele mullaparandajana ei tohi omistada mingit mõju kasvusubstraadi tootmisest (nt turbakoristus, kookoskiud). Lisaks loetakse uuritavast süsteemist eraldiseisvaks majandustegevuseks kasvusubstraatide kompostimine või edasine töötlemine. See tähendab, et kasvusubstraadi elutsükliga ei saa seostada kompostimise (sealhulgas kogumise) või edasise töötlemise mõju (Growing Media Europe, 2021). Samas võib esmase substraadi ja selle järelkasutuse valiku puhul neid mõjusid arvesse võtta. Sedalaadi

lähenemine on seotud suure üldistusega ja ei arvesta tegelikku süsinikuringlust, kus erinevad substraadid lagunevad erineva kiirusega, mõjutavad mulda viimisel selle omadusi erinevalt ning suurendavad sekundaarse bioproduktiooni käigus lisanduva maa-aluse ja maapealse varise akumulatsiooni ning humifitseerumise määra erinevalt.

Substraadi taaskasutamine

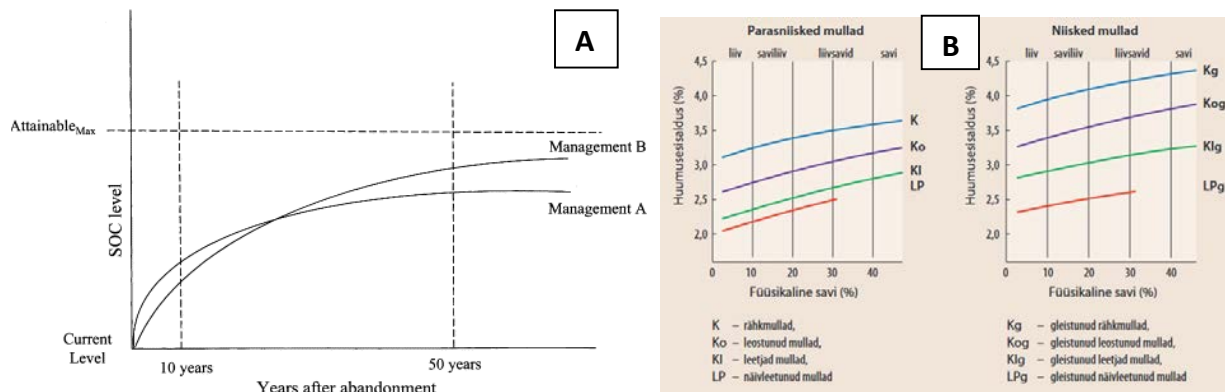
Küsitluse tulemustest selgus, et taimekultuuri vahetades, nt õunapuu ja seejärel ploom, on võimalik ilma täiendava töötluseta turbasubstraati ka mitu korda kasutada. Kuna paljud haigused ja parasiidid on taimekultuuri spetsiifilised, siis on võimalik, et kasvatatavaid kultuure vahetades ei pruugi patogeenide risk realiseeruda ka juhul kui substraat nendega saastunud on. Et aga taimekasvataja panustab taimekasvatusse palju aega ja energiat, samuti on seemned kallid, siis ei taheta üldiselt substraadi kvaliteediga riskida (Schmilewski, 2008).

Vilja- ja ilupuude suuremasse potti ümber istutades kasutavad osad taimekasvatajad eelmise aasta substraati suurte pottide põhjakihtides. Nii RHP kui Kekkilä-BVB esindaja töid välja, et maasikate kasvatamiseks kasutatud turba kogumahust saab 5-10 % taaskasutada, ent see nõuab siiski teatavat töötlemist – milline töötlusmeetod kõige sobivam on, seda veel katsetega uuritakse. Samas on teada, et kui turvast üle 45°C kuumutada (või see aunas isekuumeneb), siis võib see taimedele kahjulikuks (toksiliseks) muutuda. Kasvsubstraadi auruga töötlemist on edukalt katsetatud krüsanteemide kasvatamisel (Vandecasteele et al., 2020). Substraadi kohese taaskasutamise võimalused uute taimede kasvatamiseks järgneval aastal on siiski väga piiratud. Taaskasutus ei mõjuta siiski oluliselt ringlusest väljuva materjali kasutust ja mõju, vaid peamiselt mõjutab esmase toorme vajadust. Tänaused kaevandamise mahud läbi turunõudluse seda juba ka arvestavad.

Istutamine mulda koos taimega

Substraadi istiku juuri ümbritseva mullapallina mulda istutamine koos taimega on üks levinumaid aiandusturba kasutamise ja ühtlasi järelkasutamise praktikaid. Potis turbasubstraadis müüdavad taimed istutatakse valdaval juhul koos juuri ümbritseva substraadiga kas kodus- ja istanduse, kasvahoone, avaliku ruumi või metsamulda. Seejuures on aga oluline hinnata turbasubstraadide mõju vastavas substraadis kasvavate taimede kasvule ja fotosünteesile (süsiniku sidumisele), samuti kuidas käitub turbasüsinik neis muldades edasi. Üldiselt on leitud, et süsinikusisaldus mullas püsib vastavalt konkreetse mullatüübile omasele looduslikule süsinikusisaldusele. Kui muld on intensiivse maaharimise käigus orgaanilise aine suhtes vaesunud (valdav osa haritavast maast nii Eestis kui Euroopas; LUCAS 2018), siis taimede juurepalliga või eraldi mullaparandajana mulda lisanduv turvas aitab kaasa huumushorisoni tuseduse ning süsinikusisalduse taastumisele kuni loodusliku tasakaaluseisundi saavutamiseni. Turba süsiniku säilimise määr 100-aastases perspektiivis võib algsest süsinikusisaldusest olla sel juhul üle 30 % (Kauer ja Astover, 2024) ning turbasubstraadiga konteinertaimede turvasmulda istutamisel säilib ümbritseva turvasmullaga sarnane süsinikusisaldus (40-50 % C).

Kui haritav maa on intensiivse majandamise käigus osa oma huumuse ja orgaanilise süsiniku sisaldusest kaotanud, siis selle taastumine loodusliku protsessi käigus toimub aeglaselt (joonis 7), aga jääkturba/turbakomposti või taimede juurepalliga mulda lisanduv kasvsubstraat aitab kiirendada mulla süsinikuvaru taastumist konkreetse mulla huumushoiuvõime tasemeni. Joonisel 7A võib kõvera *Management A* abil kirjeldada nt. taimse komposti lisamist, mis annab kiire algefekti, kuid samas kiirema lagunemise (ja CO₂ kõrgema lendumise) tõttu madalama lõpptulemuse mulla süsinikusisalduse osas kui aeglasema lagunemisega turbasubstraat (*Management B*).



Joonis 7. Erinevate majandamisvõtete kasutamine mulla orgaanilise süsiniku varu taastumiseks (7A; Ingram and Fernandes, 2001) ja mõne Eesti mulla huumushoiuvõime kõver sõltuvalt mulla saviosakeste sisaldusest (7B; Astover ja Leedu, 2017).

Eesti põllumuldade puhul tuleb arvestada, et 1960-ndatest kuni 1990-ndate algusaastateni oli sea- ja kanakasvatases ning piima- ja lihakarja suurfarmides peamiseks allapanuks allapanaturvas (vähelagunenud turvas), mis viidi lähiümbruse künnimaadele, aga vähesemal määral ka kultuurrohumaadele. Kokku viidi Eesti NSV rahvamajanduse arendamise aruannete alusel mullaparandajana (turvas ilma lisanditeta) või sõnniku koosseisus allapanaturvast põllumaadele vähemalt 24 milj. tonni (allapanaturba 40% tingniiskuse sisalduse juures). See suurendas oluliselt mulla süsinikusisaldust (Loide & Edesi, 2021) ja turba pikaajalist lagunemiskiirust arvestades (Hyvonen et al., 1996; Karhu et al., 2012; Kauer ja Astover, 2024) on oluline osa sellest veel mullas säilinud. Haritav maa kaotab ilma orgaanilise väetise või mullaparandaja lisamiseta keskmiselt 0.02 t/ha orgaanilist süsinikku aastas, seevastu taime juurepalliga (kapsas, kurk, kõrvits jmt) või jääkturbana lisanduv orgaaniline süsinik aitab süsinikuvaru kahanemist leevendada.

Komposteerimine

Küsitlusuuringu jooksul nimetati korduvalt enne kasutatud turbasubstraadi taaskasutamist avamaa taimekasvatases selle kompostimist, millel võivad olla mitmed positiivsed mõjud. Esiteks väheneb õnnestunud kompostimise käigus, millega kaasneb temperatuuri tõus komposti sees, taimehaiguste leviku risk, mis on peamiseks takistuseks turbasubstraadide mitmekordsel kasutamisel. Teiseks rikastub substraat toitainerikaste komposteeritud taimeosade ja kasutatud substraadiga, sidudes taimekasvuks vajalikku lämmastikku. Kuna komposti hulka lähevad tihti koos substraadiga ka järgi jäänud ja praaktaimed, siis on protsess vajalik vastavate taimeosade lagundamiseks. Kui substraadisegudes on lisaks turbale ka muid põhikomponente (küsitluse käigus nimetati liiva, puidukiudu, perliiti), mõjutavad ka need valminud komposti struktuuri.

Kompost võib õigel kasutamisel toimida ise ka taimekaitsevahendina. Komposti mõjul lagundavad bakterid mullas seenhaiguste arengujärke tõhusamalt. Komposti vesiekstraktil on samasugused omadused: vesiekstraktist tehtud leotisega pritsides viiakse taimeni kahjustajaid pärssivaid mikroorganisme. Häid tulemusi on saadud jahukastete, roostehaiguste, varre-, lehe- ja viljamädanike tõrjes (Albert, 2018).

Valminud komposti kasutatakse siiski põhiliselt avamaapeenardel, mitte katmikaladel ja potikultuurides, sest taimekasvatajad ei taha riskida selle ebaühtlase koostise ja kvaliteediga. Hollandis on hinnatud komposteerimise riski tundlike kultuuride kasvatamisel väga kõrgeks, hinnates kasvuturba maksumuseks u. 1% lõpptoodangu maksumusest, aga otsese kahju rahalist riski ebaõnnestumisel 10-50 korda kallimaks (Schmilewski, 2008). Kui komposti ei teki palju, ei jõuagi see osades aiandites mitte nende tootmisesse, vaid jagatakse näiteks kohalikele elanikele või oma töötajatele, kelle kasutuses see ikkagi avamaapeenardele jõuab. Komposteerimisel tuleb arvestada, et selle käigus lendub vältimatult CO₂ ning vähemal määral ka CH₄ kuid lenduva süsihappegaasi kogus sõltub eeskätt komposteerimise temperatuurist ning taimse jäägi (juured, haljasmass) osakaalust. Suurema haljasmassi osakaalu korral võib komposteerimisel aastane süsiniku kadu ulatuda 18-22%-ni algsest süsinikusisaldusest (Komilis & Ham, 2006, Murayama et al., 2012, Blok et al., 2024).

Kasutamine haljastuses

Kui kasutatud turbasubstraati ei soovita taimehaiguste potentsiaalse leviku või eelneva taimekaitsevahendite ja väetiste kasutamise tõttu taimekasvatuses kasutada või koos istikutega looduslikku mulda viia, siis tehiskeskkondades, nagu linnad ja korrastatavad karjäärid võivad lisandite jäägid taimkatte arengut isegi soodustada. Osad ettevõtted tegelevadki lisaks taimekasvatusele ka haljastustöödega ning saavad substraadijääkide tekkimisel need linnahaljastusse suunata.

Kasutatud turbasubstraatide kasutamist karjäärade korrastamiseks ei andmebaaside, küsitluse tulemuste ega muude allikate puhul ei ilmnenud. Küll aga võib kogutud andmete põhjal väita, et ka kasutatud turbasubstraat on selleks liialt väärtuslik ning selle kasutamine põllu- ja aiakultuuride kasvatamiseks on eelistatud. Teiseks jääb Eestis kasutatud substraati üle piisavalt vähe ja erinevates kohtades, selleks et selle kokku kogumine ja suuremastaabilistes haljastustöodes kasutamine ära tasuks. Kasvusubstraadi kasutamisel haljastuses võib eeldada mullas säiliva turba süsiniku osakaalu sarnasena põllumuldadele või isegi suuremana kuna haljastuses kasutatav mineraalne pinnas on enamasti põllumullast madalama orgaanilise süsiniku sisaldusega ja alla looduslikku tasakaaluseisundit.

Mullaparandajana põllumuldadele lisamine

Suur osa Eestis kasutatavast aiandusturbast liigub koos istikutega kaasa lõpptarbijale ning istutatakse üldjuhul koos taimega avamaapeenardele: aianditesse, aedadesse, põldudele ja tehiskeskkondadesse. Vastavalt käesoleva uuringu raames taimekasvatajate seas läbi viidud küsitlusuuringule liigub ka valdav osa kasutatud ja seejärel taimedest eraldatud turbasubstraadist põldudele, kus see jääb mullaparandajana taimede kasvu toetama, niiskusrežiimi reguleerima ja ühtlasi ka muldade süsinikuvaru täiendama.

Mulla orgaanilise aine või orgaanilise süsiniku varu suurendamise üheks võimaluseks ongi mulda viia orgaanilisi väetisi, mh turvast, mis on süsinikurikas materjal. Maaravarana kaevandatav turvas erineb tavalistest orgaanilistest väetisest (sõnnik, kompost) ja põllumajandustaimedest oma koostise poolest (nt madalam pH ja toitainete sisaldus, laiem süsiniku-lämmastiku suhe): et turba tekkeprotsessi jooksul on hästilagunevad ühendid juba lagunened, on turba lagunemiskiirus teistest orgaanilistest lisanditest oluliselt madalam ja põllumullas võib turba algsest süsinikust säilida 100-aastase perioodi jooksul üle 30% (Kauer ja Astover, 2024).

Kesk-Rootsis Ultunas (aasta keskmine temperatuur 5,4°C, aastane sademete summa 570 mm) läbi viidud pikaajalises, 1956. aastal alanud katses uuriti mh põldudele lisatavas turbas sisalduva süsiniku säilumist

mullas (algselt 36.5% savi, 41% aleuriit, 22.5% liiv). Katsepõldudel kasvatati järjestikku järgevaid kultuure: oder, kaer, peet ja raps. Lisades 35 aasta (1956-1991) jooksul üle aasta kevaditi mineraalsele põllumullale *Sphagnum*-turvast (pH 5.9; $800 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) ja koos sellega mineraalset lämmastikku ($8 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1} \text{ Ca}(\text{NO}_3)_2$), jäi perioodi lõpuks alles 69% turbaga lisatud süsinikust (Hyvönen et al 1996). Kõigi teiste lisatud orgaaniliste lisandite (sõnnik, hein, saepuru, reoveesete) puhul jäi algselt lisatud süsinikust alles oluliselt vähem, üldjuhul alla 30%. Mullale lisatud süsiniku ja saadud mõõtmistulemuste põhjal modelleerisid Karhu et al. (2012) sama katsepõllu põhjal ka teatud ajahetkel lisatud turbasüsiniku säilumist mullas. Leiti, et ühe aasta järel on säilinud 97%, 10 a järel 77%, 20 a järel 62%, 30 a järel 50% ja 100 a järel 14% algselt turbaga mullale lisatud süsinikust.

Alternatiivsete toodete toormena kasutamine

Kui kasutatud turbasubstraat enam aianduslikuks kasutamiseks ei sobi, võib kaaluda selle kasutamist alternatiivsete toodete toormena, kus substraadi muutunud omadused kasutatud substraadi kui toorme väärtust ei vähenda. Näiteks uuritakse Tartu Ülikoolis projekti „Mikro-mesopoorsete materjalide ekspress analüüsi meetodite arendamine Eesti turbast sünteesitud süsinikust superkondensaatorite testimiseks“ raames, kas turvas oleks tulevikus sobiv toore superkondensaatorite tootmiseks (ETIS, 2023). Teiseks potentsiaalseks lõpptooteks võib olla pikaajaliselt süsinikku säilitava biosöe tootmine kasutatud turbasubstraatidest. Et turvas on suure poorsuse tõttu hea termoisolaator, on sel ka loodusliku taaskasutusmaterjalina potentsiaali muutuda suuremas mahus soojustusmaterjalide toormeks. Kõigil juhtudel on aga kasutatud turbasubstraadi tööstusliku toormena kasutamise eelduseks selle kokku kogumine taimekasvatatelt väga suures mahus ja võrdlemisi ühtlase kvaliteediga. Puhaste ühendite saamise eelduseks on ka kõigi soovimatute lisandite väljapesemine turbatoormest. Turbad erinevad mõnevõrra oma omadustelt ja koostiselt (Orru ja Orru, 2003), ent kui neis on kasutatud substraatidele omaselt taimekaitsevahendite ja/või väetiste jääke, on tõenäoliselt toorme puhastamiseks kuluva lahusti kulu loodusliku turba töötlemisele kuluvast suurem.

Ülemaailmne **aktiivsöe** turg kasvab kiiresti. Seda kasutatakse nii graanulite kui pulbrina mitmesugustes seadmetes, nt gaaside, õhu ja vee puhastamisel. Maailmaturg ületab 1,5 miljonit tonni ja Euroopa turg on umbes 300 000 tonni. Viimastel aastatel on turg kasvanud umbes viis protsenti aastas. Import katab enam kui 70% Euroopa aktiivsöe kasutusest. Suurem osa aktiivsöest imporditakse Aasiast ja Põhja-Ameerikast. 2023. a alguses avas Soome aktiivsöetootja Novactor esimese Põhjamaade aktiivsöetehase Ilomantsis, mis kasutab toormena turvast ja puitu ning mille tootmisliini võimsus on umbes 5000 tonni. Peagi on kavas ka 2023. a juunis suletud Haukineva substraaditehase asemele aktiivsöetehas ehitada, mis kasutab toormena samuti tehase vahetust ümbrusest Haukineva ja Valkianeva turbatootmisaladelt pärinevat turvast. Novactori Soomes toodetud aktiivsöetooted on seni tööstuses hästi vastu võetud, kuna koroonaperiood on toonud erandolukordades esile kaugimpordi ebakindluse. Lisaks on Kesk-Euroopa tarbijatele lähemal toodetud aktiivsöel oluliselt väiksem süsiniku jalajälg. Novactori eesmärk on kasvatada oma turuosa 10 aastaga 10 protsendini maailma aktiivsöetoodangust. (Neova Group, 2023) Mullaparandajana on aktiivsütt nähtud ka kui võimalust süsiniku pikaajaliseks säilitamiseks ja taimekasvuks aeglaseks vabastamiseks mullas. Seejuures tuleb aga arvesse võtta, et turbatoorme – kas siis kasutatud või värske turba – termilisel töötlemisel ei teki süsinikku juurde, vaid seda hoopis eraldub, mistõttu on selline tootmine mõistlik vaid juhul kui tehase sisseseadmesse on integreeritud süsinikupüüdmise seadmed. Samuti on aktiivsöe tootmise energiakulu suur.

Biosöe tootmisel torrefaktsiooni protsessiga jääb algsest süsinikusaldusest alles 40-70% ning tekkinud biosüsi on pikaajaliselt väga stabiilne. Pürolüüsi käigus jääb kõrgemast temperatuurist tulenevalt alles vaid 10-50% algsest termiliselt töödeldava substraadi süsinikusaldusest (Blok et al., 2024) kuid meetod on sobilik juhul kui substraat on saastunud patogeenidega ja lisaks saadusena tekkivale biosöele saadakse ka süsinikusaldusega õli ja uttegaasi (mille vedelas ja gaasilises faasis süsinikusaldust ei ole algest sisendist 10-50% ulatuses säiluva süsiniku hulka arvestatud).

Jäätmeks muutunud kasutatud substraat

Ehkki peaaegu kogu kasutatud turbasubstraat taaskasutatakse, valdavalt avamaapeenardel ja -põldudel, siis väga väheses mahus võib see ka jäätmeks muutuda. Esiteks jõuavad jäätmete hulka salati- ja maitsetaimedega koos jaekaubanduses müüdadavad substraadiga potid. Kui poodides jääb neist realiseerimata väga väike kogus (0,2 %) ning see visatakse biolagunevate jäätmete hulka, siis toote tarbimise järel kodumajapidamistes võib salati- või maitsetaime substraat jõuda ka olmeprügisse. Arvestades, et 1/3 sellisest substraadist jõuab sorteerimata olmeprügi hulka, oleks selle kogus ligikaudu 230 m³ turvast. Biojäätmete hulka sorteeritud kasutatud substraat üldjuhul kompostitakse ja kasutatakse seejärel samuti haljastuses, seda nii kodumajapidamistes kui tööstuslikult jäätmejaamades.

Teiseks võivad jäätmeiks muutuda koos närtsinud toataimedega ära visatud substraadid, mis võivad vastavalt inimeste teadlikkusele jõuda samuti nii bio- kui olmejäätmete hulka või ka kodumajapidamises kompostida. Et toataimede substraadi vahetamine on ebaregulaarne ja selle mahtu ei saa usaldusväärselt katmikaladel kasutatavast substraadist eristada, siis võib selle üldistatult komposteeritud materjaliks arvestada. Oluline on aga rõhutada, et tuleb eristada aiandites valmistatud ja kasutatud komposti ning olmekomposti. Viimasel juhul sisaldab see ka kokku kogutavad toidujäänused, sh loomseidprodukte, mis taimekasvatuse (eriti toidutootmisesse) jõuda ei tohiks, kuid haljastuses on teatud juhtudel kasutatavad.

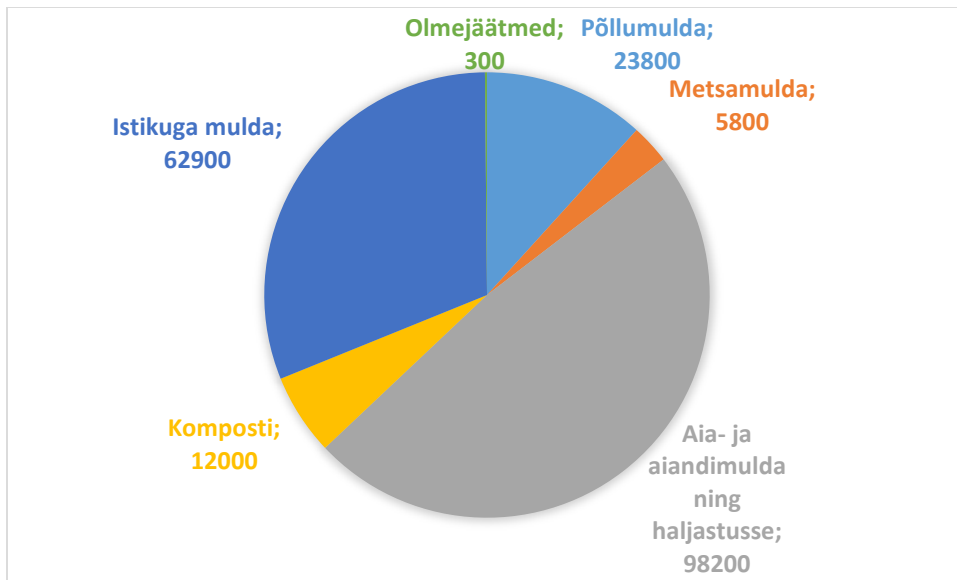
Sedalaadi jäätmete puhul on võimalik kasutada hüdrotermilist töötlust, mille käigus lendub 10-20% algest süsinikust (Blok et al, 2024).

Juhul kui kasutatud kasvusubstraat sisaldab olulisel määral värsket taimset materjali (juured, maapealne biomass) ja väetiste jääki, on seda võimalik kasutada biogaasireaktoris koos haljasmassi, sõnniku või lägaga. Tekkiv digestaat muutub C, N ja P suhte osas põllumullal väetisena kasutamiseks sobivamaks kuna rasketilagunev turbasubstraat jääb olulisel määral lagunemata. Sellest tulenevalt ei ole kasvusubstraat iseseivalt või biogaasi tootmisele optimeeritud süsteemides eelistatud komponent, kahandades gaasi tootlikkust massiühiku kohta (Lee & Heekwon, 2023) kuid jäätmekäitluse meetodina ning tagab orgaanilise süsiniku osalise mulda jõudmise digestaadi näol ning kasvuhoonegaaside kinni püüdmise biogaasiseadmes.

Kasutatud turbasubstraatide järelkasutuse mahud

Järelkasutuse mahtude arvestamise eelduseks on võetud samal aastal Eestis kasutatud aiandusturba maht 203 tuhat m³, mille esmase kasutusotstarbe järgi jaotumine on eelnevalt käesolevas uurimuses esitatud. Sellest lähtuvalt on vastavalt küsitlusuuringu jm asjakohaste kättesaadavate andmete põhjal hinnatud (joonis 8), et

1. metsaistikute kasvatamiseks kasutatud aiandusturvas jõuab täielikult koos metsataimedega metsamulda;
2. nii köögivilja noortaimede kui katmikköögivilja kasvatamiseks kasutatud aiandusturvas jõuab täielikult põllumulda;
3. suve- ja püsililled kasvatamiseks kasutatud turvas jõuab valdavalt koos istikuga mulda aedades, aiandites ja haljastuses; ligikaudu 5% hinnanguliselt kompostitakse (müümata jäänud ja praaktaimed; närbunud taimed);
4. vilja- ja ilupuude ning –põõsaste kasvatamiseks kasutatud aiandusturvas istutatakse täielikult koos taimega mulda aedades, aiandites ja haljastuses;
5. maitsetaimede ja salati turbasubstraadist läheb kasutusjärgselt valdav enamik (ca 85%) komposti, ülejäänud võib jõuda jaetarbija kaudu ka olmeprügisse ning sealt edasi ka põletamisele või prügilas ladestamisele;
6. botaanikaaedades kasutatud aiandusturvas läheb tervikuna haljastusse;
7. lõikelilli kasvatatakse tänapäeval Eestis väga väheses mahus turbas; järgi jäänud substraat läheb tervikuna komposti;
8. hinnanguliselt kasutatakse vähemalt 19 tuhat m³ aiandusturvast haljastuses ja õuepeenarde kujundamiseks; selle koguse võib kogu mahus arvestada aianduse ja haljastuse hulka;
9. jaekaubanduses müüdud ja EAN-i üleminekukoefitsendiga korrigeeritud turbasubstraatide hinnanguline kogus on 9800 m³, mis läheb arvestuslikult terves ulatuses aia- ja aiandimulda ning haljastusse;
10. teatava osa Eestis toodetud aiandusturba puhul, mida ei ekspordita (~42,6%), ei ole taimekasvatuse ja jaemüügi andmete põhjal võimalik öelda, milleks seda kasutatakse. Arvestades ülejäänud turbakasutuse suurusjärke võib hinnata, et ~80% sellest läheb aia- ja aiandimuldadesse ning haljastusse, ~10% koos köögiviljataimedega põllumulda ning ~10% peale esmast substraadina kasutamist komposti, kust jõuab samuti peale komposteerimist avamaapeenardele.



Joonis 8. Hinnanguline Eestis toodetud ja kasutatud aiandusturba jagunemine selle järelkasutuse järgi 2022. aastal (m³).

Rahvusvahelist statistikat kasutatud aiandusturba järelkasutuse kohta on väga väheste riikide kohta (Kitir et al., 2018), kuid üldine reegel on, et proportsionaalselt suurem kogus Eestist pärit kasvusubstraatidest läheb põllumulda otse või pärast komposteerimist Vahemeremaades ja Hiinas, kus kasvusubstraati kasutatakse enam köögiviljakasvatuses (üle 55 %) ning Euroopa põhjapoolsetes riikides (Holland, Saksamaa) iluaianduse ja puuistikute kasvatamiseks ning mullapalliga reekspordiks ja mulda. Saksamaa ja Hollandi puhul on väga oluline ka toataimede kasvatamine ning sel juhul on elua lõpus tavapärase taimede jäätmekäitluse käigus kogumine ja komposteerimine koos mullapalliga ning komposti kaudu haljastusse jõudmine. Suurbritannia ja Iirimaa eristuvad teistest selgelt suure turbasubstraadi kasutuse poolest seenekasvatuses, kust jääturvas jõuab komposteerimise järel üldjuhul põllumulda. 2022.a. oli Suurbritannias era- ja professionaalse turbakasutuse osakaal (kokku 950 000 m³, sellest eratarbimine 470 000 m³) peaaegu võrdsustunud ning kasutust mõjutab eeskätt seadusandlik kasvuturba kasutuse piiramise jõustamine üleminekuperioodil. Professionaalses aianduses kasutati 32% kasvuturbast konteinertaimede kasvatamiseks (280 000 m³), 30% seenekasvatuseks (260,000 m³), 16% iluaianduses peenrataimede kasvatamiseks (143 000 m³) ja ülejäänud 22% kasutatakse muude potitaimede, köögiviljaistikute, kasvuhoonesalatite ning ajatatavate sibullilledel jaoks (Kitir, 2018; Defra 2022). Sarnane jaotus kasutusvaldkondade lõikes on ka Iirimaaal (Rialtas..., 2019).

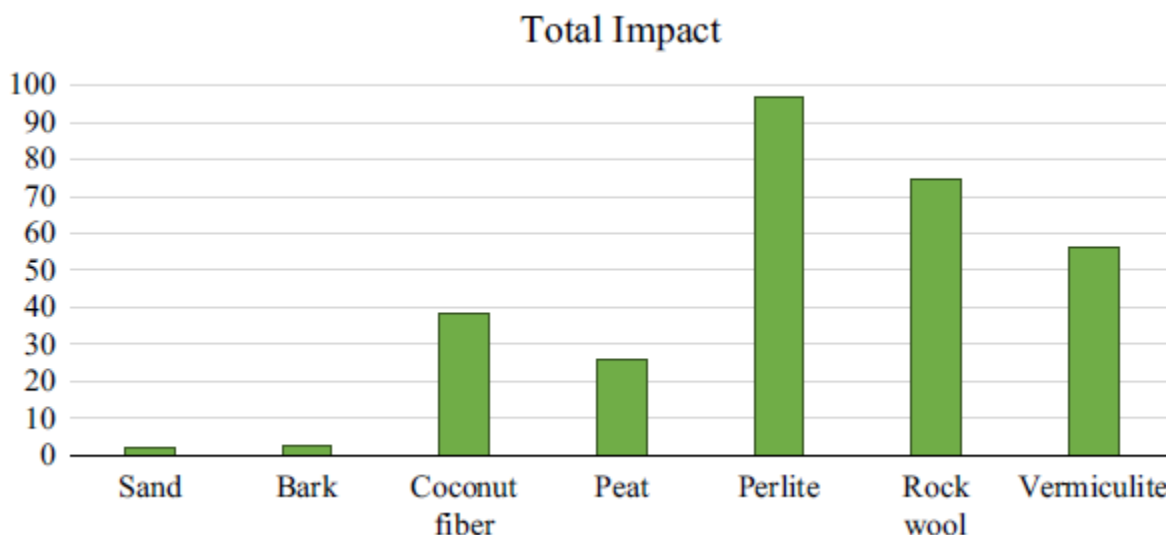
Turbasubstraatide ja selle alternatiivide elukaare analüüs (LCA)

Toote elukaare hindamine ehk *Life Cycle Analysis* (LCA) on meetodika, mille kaudu hinnatakse toote, teenuse või tegevuse keskkonnamõjusid kogu selle elua jooksul – alates tooraine hankimisest kuni kasutamise ja lõpuks ära viskamise või taaskasutamiseni. Seejuures võib toote hinnatavaks elutsükliks valida kas hällist väravani (*cradle to gate*), hällist elua/kasutusea lõpuni (*cradle to end of life*) või hällist hauani (*cradle to grave*), millest viimane meetod on kõige täielikum mõjude arvestuse osas. Kasvusubstraatide puhul on levinuimaks hällist kasutusea lõpuni meetod (Vinci and Rapa, 2019; Stichnothe, 2022; Paoli et al., 2022) kuna järelkasutuse info on enamasti puudulik. Samas toob see endaga

kaasa olulise kliimamõju ülehindamise, sest kogu jääkturba süsinikuvaru arvutatakse sarnaselt LULUCF ja Growing Media lähenemisele koheselt lendunuks koos toote eluea lõpuga (Paoli, 2022; Quantis Switzerland, 2012), aga süsinikuringe seisukohast ei lendu kogu jääksubstraadi orgaaniline süsinik vaid jääb mullastruktuuri parandaja, niiskuse reguleerija ja toitainete varuna toetama mullaelustikku ning taimekasvu.

Elutsükli analüüs sõltub mõnevõrra nii tootetsükli pikkusest kui ka substraadi kasutusvaldkonnast (kasvusubstraat on erinevate kultuuride kasvatamiseks mõnevõrra erinev), aga erinevate uuringute tulemused jõuavad hällist eluea lõpuni arvestuse puhul küllaltki sarnaste järeldusteni nii keskkonnajalajälje suuruse kui turbapõhise kasvusubstraadi ja selle erinevate alternatiivide võrdluses.

Hüdroponikas kasutatavate kasvusubstraatide võrdluses toovad Vinci ja Rapa (2019) esile, et kõige suurema keskkonnajalajega on mõju suuruse järjestuses perliit, kivivill ja vermikuliit (joonis 9). Kõige keskkonnasäästlikumad on puukoor ja liiv, aga samas puukoore süsinikujalajälge hinnati üheks kõrgemaks (1.1197 kg CO₂ eq koorel võrreldes liiva 0.0121 kg CO₂ eq).



Joonis 9. Erinevate substraatide elukaare koondhinnang hüdroponikas kasutamisel. Allikas: Vinci and Rapa, 2019.

Elukaare rahalise kulu (Life Cycle Cost, LCC) arvestuse järgi leiavad autorid, et kõige kallimad on turvas, kivivill ja puukoor ning odavamad liiv, kookoskiud ja perliit.

Paoli et al., 2022 Läti turbatootmise info alusel koostatud uuringu ökoloogilise skooriga (st. Pt) väljendatud tulemused näitavad, et inimeste tervisele (2,3 mPt), kliimamuutustele (1,39 mPt) ja ressurssidele (1,48 mPt) kõige olulisemat mõju avaldav etapp on lõpptoota transpordiga seonduv ning see on omakorda seotud diislikütuse kasutamisega. Ökosüsteemi indikaatori puhul on suurim mõju turba kaevandamisel (1,59 mPt) ja turbaväljade avamisel. Sarnaselt teistele substraatidele on ka turba puhul kõrge mõju valmistoodangu jaotamisel. Kuigi Paoli et al., 2022 ja teised eelnevalt viidatud analüüsid on leidnud, et toote ehk substraadi logistikaga on seotud kogu toote elukaare vaates arvestatav jalajalg, on see siiski kümnetes kordades väiksem võrreldes lõpptoodete ehk näiteks köögiviljade või ilutaimede transpordiga seotud jalajäljega. Samuti on laiuskraaditi väga erinev kasvatatava toote keskkonnajalajalg tulenevalt erinevast soojusenergia ja valgustuseks kuluva elektrienergia vajadusest. Kasvusubstraatide kasutamise

üks põhjuseid on kohaliku toidu ja taimekasvatuse võimaldamine, mis üldist logistika mahtu ja seeläbi ka keskkonnamõju vähendab.

Võrdluses teiste aianduses kasutatavate alternatiivsete substraatidega on jõutud järeldusele, et kokkuvõttes üle erinevate indikaatorite on suurim mõju kookoskiul (48,51 mPt), millele järgnevad kivivill (10,6 mPt) ja turvas (6,79 mPt). Seejuures kliimamõjult kõige ebasoodsam on kookoskiud (47 kg CO₂eq võrreldes kivivilla 32,1 ja turbaga 20.2 kg CO₂ eq). Ka Stichnothe (2022) leiab enda uuringus sarnaselt, et heleda turbasubstraadi LCA kliimajalajälg on 26 kg CO₂ eq, aga musta turba substraadi kliimajalajälg ulatub 51 kg CO₂ eq substraadi kuupmeetri kohta.

Kõige mahukama ja enamate substraadi kombinatsioonidega (sh substraadi segud) uuringu on koostanud Quantis Switzerland, 2012. Nende tulemused näitavad, et ei ole võimalik selgelt tuvastada, et ükski kasvusubstraat oleks kõigi näitajate lõikes kõige vähem või kõige rohkem mõjutav. See kehtib kõigi kasutusvaldkondade kohta: 1 puu- ja köögiviljad, 2 potitaimed, 3 noorte taimede ettekasvatamine ja 5 hobiturg. 4 kasutuskategooria ehk puukooli taimede puhul oli siiski segu 4.2 (50% heledat turvast, 30% koort, 20% puidukiudu) kõige väiksema mõjuga kõigi vastavas uuringus esitatud näitajate puhul võrreldes teiste alternatiividega.

Kõigi kasvusubstraatide puhul võib täheldada järgmisi üldisi suundumusi:

- suhteliselt suure turba osakaaluga kasvusubstraadid avaldavad kliimamuutustele suuremat mõju;
- kasvusubstraat, mis sisaldab suures koguses rohelist komposti, avaldab inimeste tervisele suuremat mõju;
- kasvusubstraadid, mis sisaldavad suurt osa kookoskiudu, mõjutavad ökosüsteemi kvaliteeti kõige rohkem.

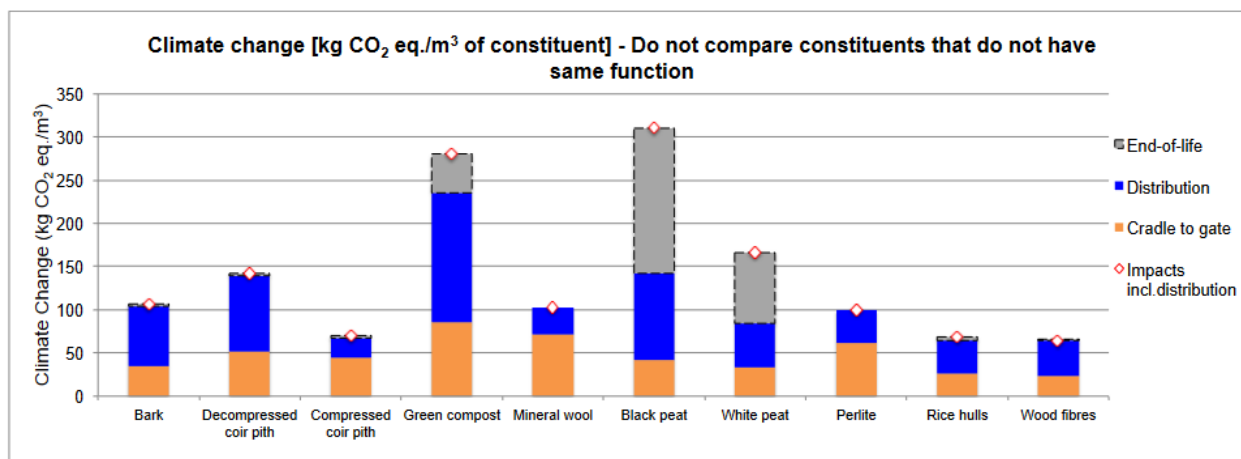
Funktsionaalselt samaväärsete kasvusubstraadi koostisosade puhul täheldati, et:

- kookoskiud mõjutab ökosüsteemi kvaliteeti kõige rohkem;
- mineraalvillal on suurim mõju inimeste tervisele;
- Turvas mõjutab kliimamuutusi ja ressursse suhteliselt kõige rohkem.

Quantis Switzerland, 2012 uuringu turba LCA keskkonnaprofiili iseloomustavad kolm domineerivat protsessi, sõltuvalt vaadeldavatest mõjukategooriatest: transport lõpptarbijale, olelusringi lõpp ja turba kaevandamine. Must turvas on üldiselt suurema mõjuga kui hele turvas eelkõige oma suurema tiheduse tõttu. Turba transport mõjutab peaaegu kõiki LCA näitajaid (80–30%), eelkõige aga inimeste tervise, vee hapestumise ja vee eutrofeerumise näitajaid, sest transpordi ajal lenduvad tahked osakesed ja tekib NO_x heide.

Olelusringi lõpp, st turba lagunemine (arvestuses nn. kohene lagunemine), moodustab umbes 50% kliimamuutuste potentsiaalset. Seevastu turba kaevandamine moodustab turba lagunemise ja kohapealse emissiooni tõttu kuni 60% mõjust ressursside indikaatorile. Kaevandamisetapp annab ka rohkem kui 30% ökosüsteemi kvaliteedimõjust kuna maakasutus muutub kaevandamise tõttu arvestuslikult 50 aastaks. Vähem oluline kui kolm eeltoodut on substraadi tootmisega seonduv valdkond (koondskoor 10-25%).

Kliimamõju koondhinnangu annab joonis 10.



Joonis 10. Erinevate kasvusubstraatide ja lisandite võrdlus LCA kliimamõju indikaatori alusel nii sünnist tooteni (cradle to gate) kui sünnist elukaare lõpuni (cradle to end-of-life) meetodil. Oluline on tähelepanu pöörata elulõpu süsinikuvoo rollile kuna selle uuringu puhul eeldatakse, et kogu turba süsinik lendub kasutuse lõpuks koheselt ja täielikult. Allikas: Quantis Switzerland, 2012.

Eelnevast nähtub, et valdavalt on seni läbiviidud LCA analüüsid kasvusubstraatide puhul kasutatud kasutusperioodi lõpu ehk *cradle to end of life* lähenemist, mis ei arvesta jääturba järelkasutuse ehk suurema osa süsiniku siirdega muldadesse. Selline lähenemine tuleneb eeskätt LULUCF Tier 1 meetodikast ja varasemalt puudulikest lähteandmetest järelkasutuse kohta. Sellega on aga kliimamõju indikaatori seisukohast hinnatud kasvusubstraatides sisalduva süsiniku emissioone üle ning näidatud neid substraadi kasutuse faasis täielikult lenduvana. Seda võiks pidada põhjendatuks ulatuseks ja juhul, kui pärast kasutamist substraat jäätmena põletatakse. Kuna aga valdavalt materjal kompostitakse ja selle kasutamisel on majanduslik efekt nii mullaparandaja kui saagikuse (ja ökosüsteemi süsinikuvaru suurenemisel) on põhjendatum eluea lõpuni ehk *cradle to grave* lähenemine. Tuginedes ka käesoleva uuringu tulemustele on soovitatav substraatide LCA koostamise alused viimastel aastatel lisandunud teadmiste alusel üle hinnata (Paoli et al., 2022; He and Roulet, 2023; Sharma et al., 2024).

Süsinikuvood kasvusubstraadi kasutamisel

Turba lagunemine on väga aeglane protsess, mida kontrollivad ilmastik/ruumi sisekliima ja mikrobioloogilised protsessid (valdavalt seened ja bakterid ning arhed). Samuti mõjutab substraadi lagunemist mulla reaktsioon (pH) ning toitainete sisaldus (eriti lämmastikühendid).

Aiandusturba ja turbal põhinevate kasvusubstraatide elutsükli süsinikuheitme määramiseks hinnatakse selle süsinikuühendite kvalitatiivset muutust (kergemini ja raskemini lagunevate süsinikuühendite osakaalu muutust elutsükli jooksul) laboratoorselt FTIR analüsaatoriga, määratakse emiteeritavate/seotavate kasvuhoonegaaside osakaal (süsihappegaas CO₂ ja metaan CH₄) ning määratakse turba või turbal põhineva kasvusubstraadi orgaanilise süsiniku (C_{org}) sisalduse ja varu ajaline muutus. Kuna kasvusubstraadi kasutamisel taimekasvatuses toimub fotosünteesi käigus nii maaaluse kui maapealse biomassi produktsioon, siis süsinikubilansi koostamiseks määratakse ka taimede kasvuperioodil juurte ning juureeksudaatide näol substraati lisandunud süsiniku kogus.

Süsinikuvoo mõõtmise meetodika

Katse alguses õhkuiv kasvusubstraat homogeniseeriti mehhaanilise segamise teel, et tagada katsete jaoks ühtlane substraadi lasuvustihedus ja koostis. Seejärel täideti katses kasutatud kasvukonteinerid substraadiga nii, et kõikide sama mõõtu konteinerite kaal oleks võrdne (kasutati 0.1 g täpsusklassiga kaalu). Täidetud kasvukonteinerite hulgast valiti juhuvalimi meetodil iga substraadi ja konteineri suuruse kohta 15 juhuslikku konteinerit, mis suunati laboratooriumisse substraadi algse süsinikusisalduse ning kvalitatiivse seisuhindamiseks.

Metsataimede puhul võeti algseisu kirjeldamiseks substraadi kompleksproovid nii avajuursete taimede kasvatamise peenrast (5 kompleksproovi, mis igaüks koosnes kümnest alamproovist) kui männitaimede kasvukonteineritest ettevalmistatud substraadiga vahetult enne seemnete külvi.

Ilutaimed soetati aianduskeskustest ja nende puhul istutamise eelset substraadi seisundit ei olnud võimalik hinnata. Nende puhul on algseisundiks võetud vahetult taimede soetamisele järgneva päeva mullaproov nii, et neis on eraldatud nii peen- kui jamejuured ja mullaanalüüsiks kasutati vaid juurevaba substraati.

Taimede kasvutsükli käigus toimuvaid süsinikubilansi muutusi (mullahingamine R_s, ökosüsteemi hingamine R_e (=mullahingamine + taimehingamine), taim-muld süsteemi puhas gaasivahetus NEE (Net Ecosystem Exchange)) mõõdetakse jooksvalt portatiivsete gaasianalüsaatoritega LI-COR LI-7810 CH₄/CO₂/H₂O ning täiendavalt LI-7820 abil N₂O/H₂O. Portatiivne gaasianalüsaator LI-7810 on sobilik gaasivoo mõõtmiseks dünaamilise kambri meetodil, selle mõõtesagedus on 4 Hz ja täpsusklass 0.60 ppb tasemel 2 ppm 1 sekundilise keskmistamise juures ning 0.25 ppb tasemel 2 ppm 5 sekundilise keskmistamise korral. Analüsaator LI-7820 võimaldab dünaamilise kambri mõõtmisi täpsusklassiga 0.40 ppb tasemel 330 ppb 1 sekundilise keskmistamise juures ning 0.20 ppb tasemel 330 ppb 5 sekundilise keskmistamise juures.

Turba lagunemise kiirus määrati mullahingamisel (R_s) mõõdetud CO₂-C ja CH₄-C summaarse kao alusel. Gaasivoogu mõõdeti vähemalt kord 10 päeva tagant, mõõtmine kestis kogu päeva, 5 minutit dünaamilise

kambri meetodil konteineri kohta ja taimekonteinerid valiti juhuslikus järjekorras. Kuna taimi kasvatati kontrollitud keskkonnas (temperatuur, niiskus, fotosünteesilambid), siis R_s gaasivoog on ööpäeva lõikes monotoonse käiguga ja mõõtmistulemused vastavad 24 tunnille taandatuna kogu ööpäevale vastaval päeval alates konteineri substraadiga täitmisest. Kogu kasvutsükli hõlmav süsinikuemissioon võib sisaldada endas trendi ja seetõttu leiti vastava kultuuri kasvuperioodi kõigi mõõtmispäevade keskmise väärtuse korrutamisel kasvuperioodi kestuse ööpäevade arvuga. Aastane lagunemise määr arvutati aasta päevade arv jagatuna kasvuperioodi päevade arvuga ning korrutatuna kasvuperioodi päevade keskmise emissiooni väärtusega.

Massibilansi põhimõttel kontrollarvutus tehti absoluutkuiva substraadiga konteinerite algkaalu ja kasvuperioodi lõpus absoluutkuiva kasvusubstraadi jäägi lõppkaalu vahe alusel, kus substraadi alg- ja lõppkaalu puhul leiti laboratoorselt määratud C sisalduse alusel süsinikusisalduse muut kasvuperioodil.

Ökosüsteemi- ning mullahingamise gaasivoo mõõtmiseks kasutatakse LI-COR soil gas flux survey system Smart Chamber ning erinevas mõõdus (lähimõõduga vahemikus 10-50 cm, kõrgused vahemikus 25-50 cm koos võimalike modulaarsete kõrgendustega 70 cm kaupa) dünaamilisi õhuringlusega pimekambreid, mille valik sõltub mõõdetava kultuuri/taime mõõtmest vastavalt taime arengujärgule (joonis 11).



Joonis 11. Gaasivoo mõõtmise kambrid mullahingamise ja ökosüsteemihingamise (R_e ; vasakpoolne foto) ning fotosünteesi ja ökosüsteemi netogaasivahetuse (Net Ecosystem Exchange NEE) mõõtmiseks (keskmine ja parempoolne foto).

Kõrge läbipaistvusega dünaamilised läbipaistvad kambrid olid kasutusel NEE (sh. fotosünteesilise sidumise) mõõtmiseks (joonis 11). Mõõtesüsteemiga koos kasutati PAR andurit Apogee AT-100 ning Stevens Hydraprobe ning Decagon niiskus- ja temperatuurisensoreid.

Turba kvalitatiivsete omaduste muutuse analüüsiks kasutati Bruker FTIR analüsaatorit, millega määrati kasvusubstraadide algspektrid (igast alamproovist määrati 3 kordust, mis keskmistati ning seejärel keskmistati iga substraadi koondspekter), mille suhtes määratakse muutusi substraadi kasutustsükli jooksul.

Orgaanilise süsiniku määramiseks kasutati Elementar Analysensysteme GmbH Vario MAX Elementar analüsaatorit ning elementanalüsaator CHN vario MACRO cube, millega määrati orgaanilise süsiniku sisaldus eraldi tahkefaasis (substraadis) ning maaaluse biomassi ekstraheerimiseks kasutatud vees lahustunud ja lahustumata orgaanilise C sisalduse analüüsiks. Orgaaniline süsinik määrati vastavalt standardile ISO 10694, anorgaaniline süsinik (substraadi lisandina, ettekasvatatud taimed põllu-/metsamullas või põllumullas, kuhu on lisatud eelnevalt kasutatud substraati) vastavalt standardile ISO 10694.

Kultuuride valik

Analüüsitava kultuuride valikul lähtuti eeskätt sellest, et esindatud oleks suurima turbasubstraadi kasutusega valdkonnad: köögiviljakasvatus, iluaiandus, metsataimekasvatus ning seejuures oleks esindatud nii lühikese, keskmise kui pika kasvutsükliga kultuurid.

Köögiljad

- Lühiajalise kasvutsükliga:

lehtsalat Grand Rapids, Lollo Rosso, Red Salad Bowl (35-50 päeva) nii konteinertaimena kui 20 päevasena ettekasvatatuna välistingimustes.

- Keskmise kasvutsükliga

jääsalat Frillice, Regina dei Ghiacci (80-85 päeva) nii konteinertaimena kui 20 päevasena ettekasvatatuna välistingimustes.

Pika kasvutsükliga

lillkapsas Multi-Head F1, Alpha 6 – Fortados, Erfurt konteinertaimena ettekasvatatud,

lehtkapsas (kale) Vert Demi-Nain konteinertaimena ettekasvatatud,

brokkoli Atlantis F1, Calabrese Natalino konteinertaimena ettekasvatatud.

Köögiljade puhul on kasutatud ühte puhtalt turbapõhist kasvusubstraati ja ühte mineraalse lisandiga turbasubstraati. Taimed kasvatati granuleeritud seemnest. Kokku iga salati ja jääsalati sordi kohta taimi nii 2023 kui 2024 aastal minimaalselt 50, brokkoli ja lillkapsa taimi >100.

Ilutaimed

- lühikese kasvutsükliga

hüatsint Aqua, Purple, Gipsy Princess

Taimed soetati ajatussibuladena kolme ajatusjärguna ning 2024. a. korduskatseteks ilma jaheperioodi läbimata sibulatega ning eraldi kasvusubstraadiga.

- keskmise kasvutsükliga

tõlvlehik Chopin (1 aastased taimed)

- pika kasvutsükliga

jaapani asalea Anouk (1 ja 3 aastased taimed)

Kõik samast liigist taimed on ostetud ühest partiist turbapõhise kasvusubstraadiga. Jaapani asalea puhul on turbasubstraadi pind kaetud puukoore multšiga. Substraadi süsinikusalduse hindamisel kooremultš enne mullaanalüüsi eemaldatakse.

Metsataimed

- Avajuursed taimed

mänd ja kask (0 ja 1-aastased istikud, välitingimustes automaatse kastmise ja väetamissüsteemiga peenardes)

- Konteinertaimed

mänd (0-aastane külv kasvuhoones kontrollitud tingimustes)

Kõik taimed on sama täielikult turvapõhise substraadiga. Konteinertaimede potid on kaetud pinnalt õrnalt perliidi puruga, aga substraadile pole perliiti lisatud ega sellega segatud. Mahukaalu ja keemilise analüüsi jaoks perliit pinnalt eemaldatakse ja arvestus käib vaid substraadi kohta.

Süsinikuvoog enamlevinud kasvuturbal kasvatatavate kultuurigruppide näitel

Sõltuvalt kasutusviisist on tingimused turvapõhise kasvusubstraadi lagunemiseks väga erinevad. Suurim erinevus substraadis süsinikusalduse muutumiseks taimekasvatuse tsükli jooksul tuleneb sellest kas substraat on kasutuses välitingimustes (nt. avajuursete metsataimede kasvatamine), sisetingsimustes (ilutaimed kodudes ja kontorites või kasvuhoonetes) ning kuidas on kontrollitud kasvupinnase niiskuse režiim (pideva optimaalse režiimi hoidmine või ebaregulaarne lävendipõhine kastmine), väetamine, mulla- ja õhutemperatuur, õhuniiskus, fotosünteesiliselt aktiivse kiirguse hulk ja ööpäevane jaotus. Samuti mõjutab ettekasvatatavate taimede ning konteinertaimede süsinikuvoogu poti või konteineri ehitus, mis mõjutab nii vee kui õhu liikumist (joonis 12).



Joonis 12. Köögivilja ja hüatsintide kasvatamisel kasutatud konteinerid.

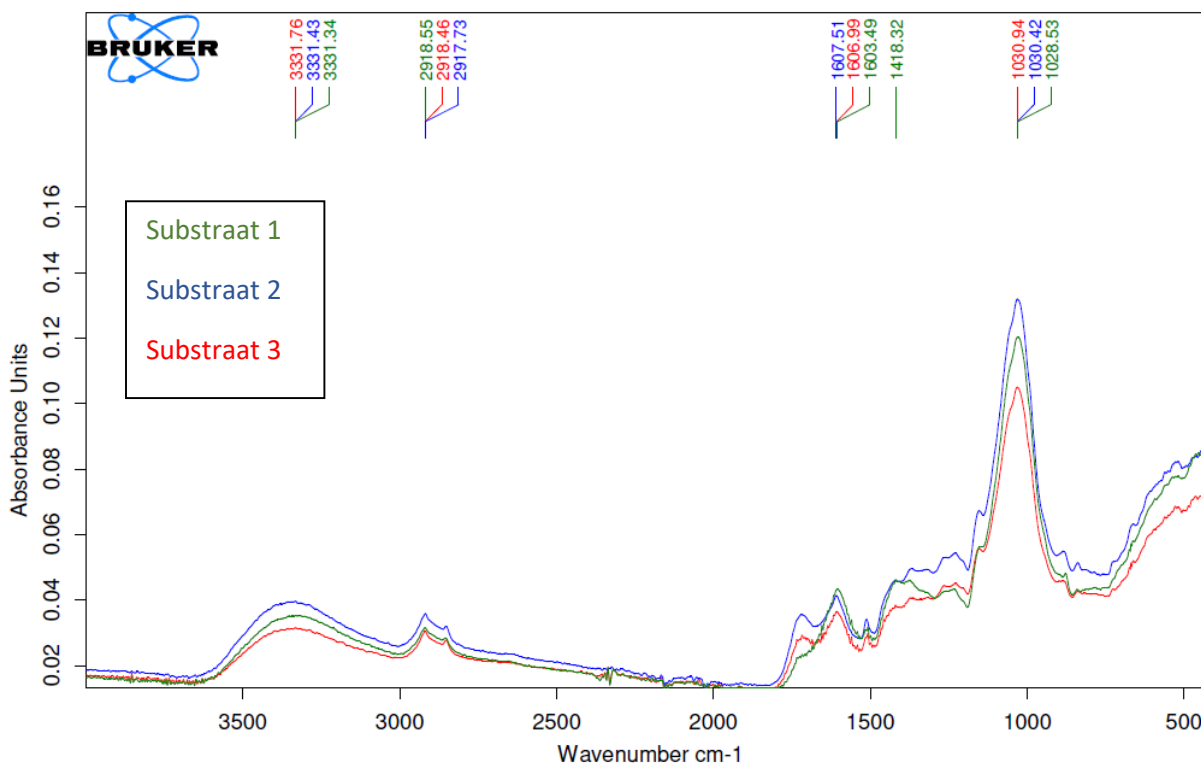
Eelnevast tulenevalt on Eestis toodetud ja eksporditud aiandusturba puhul vaja kasutada kasutusmahu ja kultuurigrupiga kaalutud keskmist emissioonifaktorit. Esmaseks gruppide eristamise aluseks tuleb võtta jääkturba järelkasutus ja andmete lisandumisel saab seejärel järelkasutuse alusel eristatud jaotusi täpsustada kultuurigruppide järgi.

Köögiviljade kasvatamiseks kasutatud kasvusubstraadi algseisund

Köögiviljade kasvatamiseks kasutati kahe erineva tootja kolme kasvusubstraati, millest kahe puhul ei olnud mineraalset täiteainet lisatud ning kolmanda substraadi puhul oli turvas segatud mineraalse lisandiga (Tabel 7). Kui kõik kolm turvast sisaldavat substraati on kvalitatiivselt sarnased, siis substraat 1 mineraalse lisandi mõju avaldub selgelt lainepikkuse 1418.32 juures (Joonis 13). Substraadi süsinikusisalduse proovid koguti laboratoorseteks analüüsideks vahetult enne seemnete külvi.

Tabel 7. Köögiviljade kasvusubstraatide algne orgaanilise süsiniku (TOC), anorgaanilise süsiniku (TIC) ja tuhasuse sisaldus protsentides absoluutkuiva aine suhtes.

| | Õhkuiva proovi kaal (g) | Kuiva (105°C) proovi kaal (g) | Kuivainesisaldus (%) | TOC (% C) | TIC % C | Tuhkaine (1000°C) % |
|-------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------|---------|---------------------|
| Substraat 1 | 7.69 (±0.70) | 7.04 (±0.67) | 91.5 (±0.57) | 42.0 (±1.41) | <1 | 15.9 (±0.91) |
| Substraat 2 | 18.11 (±0.63) | 16.53 (±0.64) | 91.3 (±0.54) | 47.8 (±0.50) | <1 | 5.8 (±0.07) |
| Substraat 3 | 9.17 (±0.80) | 7.84 (±0.70) | 85.5 (±0.28) | 48.4 (±0.55) | <1 | 5.4 (±1.15) |



Joonis 13. Köögiviljade kasvusubstraatide algseisu kvalitatiivselt iseloomustavad FTIR spektrid.

Köögiviljade kasvusubstraadi kasutus ja süsinikuvood

Köögiviljakasvatus on üks olulisemaid turvapõhiste kasvusubstraadide kasutajaid kogu maailmas. Euroopas on köögiviljakasvatustes suurimad kasvusubstraadi tarbijad Madalmaad, kus see valdkond moodustab ligi 30 % tarbimisest (Verhagen et al., 2009), Prantsusmaa ja Vahemeremaad, kus turvapõhiste substraadide kasutus köögiviljakasvatustes ületab 40 % (Kitir et al., 2018). Eestist eksporditud turbast kasutatakse hinnanguliselt üle 82 % köögivilja kasvatamiseks (vt. joonis 5). Köögiviljakasvatustes on turvas kasutusel nii katmikaladel (nt. salatid, maitsetaimed jt) kui välitingimustes kasvatatavate kultuuride istikute ettekasvatamisel (nt. lillkapsas, brokkoli jt). Katmikaladel kasvatatakse köögivilju kogu maailmas ligi 1 612 380 hektaril. Sellest suurima osa moodustab Aasia ja Hiina 55 % osakaaluga, Euroopa (suurima osakaaluga Hispaania ja Itaalia) 23% ning järgnevad Põhja- ja Lõuna-Ameerika.

Salat

Salat (*Lactuca sativa L.*) on lühikese kasvuperioodiga ja laialdaselt kogu maailmas kasvatatav kultuur. Enamasti kasutatakse salati puhul väikest kogust turvast seemnest taime ettekasvatamiseks ning seejärel kasvatatakse kontrollitud tingimustes või istutatakse taim välitingimustes peenrasse. Peenras kasvatamisel on lehtsalati istutussammuks 20x40 cm ehk 120 000 taime hektari kohta. Jääsalati istutussammuks on tüüpiliselt 40x40 cm ehk 62 500 taime hektari kohta.

Salati kasvuperiood on väga lühike, enamasti lehtsalatil 45-60 päeva, jääsalatil 45-85 päeva. Lühikese kasvuperioodi tõttu on kasvusubstraadi muutused minimaalsed ning süsinikukadu gaasilise emissioonina väike, kuid kuna taime kasvatamiseks kasutatakse väga väikest substraadi kogust, on selle taaskasutamine keeruline ja enamasti jääkturvas komposteeritakse koos kasvuperioodil lisandunud maa-aluse biomassiga (Tabel 8).

Tabel 8. Lehtsalatite ja jääsalati maapealse (leht) ja maaaluse (juur) biomassi orgaanilise süsiniku (C %), üldlämmastiku ja vesiniku sisaldus (%) ning süsiniku/lämmastiku ja süsiniku/vesiniku suhe määratuna kuivainest ning maapealse ja maa-aluse osa mass (g) kuivkaaluna ning biomassis leiduva süsiniku mass (g). C/N suhe on üks lagunemiskiiruse indikaatoreid, C/H suhe iseloomustab kaudselt orgaaniliste ühendite keerukust potentsiaalsete vesiniksidemete kaudu.

| | | C (%) | N (%) | H (%) | C/N suhe | C/H suhe | Mass (g) | C (g) |
|--------------------|------|---------------|-------|-------|----------|----------|------------------|------------------|
| Grand Rapids | leht | 42.3 ±0.57 | | | | | 4.3 ±0.6 | 1.8 ±0.27 |
| | juur | 44.5 ±0.61 | | | | | 0.6 ±0.20 | 0.3 ±0.09 |
| Red Salad Bowl | leht | 42.3 ±0.57 | 2.6 | 5.7 | 16.7 | 7.4 | 5.2 ±0.61 | 2.2 ±0.27 |
| | juur | 44.5 ±0.61 | 2.1 | 5.9 | 21.2 | 7.6 | 0.5 ± | 0.2 ± |
| Regina dei Ghiacci | leht | 42.1 ±0.56 | 1.9 | 5.8 | 22.9 | 7.3 | 4.2 ±0.56 | 1.8 ± 0.23 |
| | juur | 45.0 ±0.49 | 1.3 | 6.0 | 34.8 | 7.5 | 1.0 ± 0.19 | 0.5 ±0.08 |

Valdavalt kasvatatakse salatit aastaringiselt hüdroponilisel meetodil, kus nii temperatuur (16-23 °C), valgus kui niiskus on kasvuks optimeeritud. Taimede biomassi (kuivainena) kujunemist kontrollitud tingimustes kasvatades sõltuvalt tingimuste optimaalsusest iseloomustavad Fraile-Robayo et al., 2017 poolt väljatöötatud logistilised kasvumudelid, mis baseeruvad kumulatiivsel temperatuuripäevade arvul (e):

| Parameter | Logistic model | R ² |
|------------------------|--|----------------|
| Total dry mass cycle 1 | $Y = \frac{36.764}{1 + e^{-0.1762 \cdot (\text{dat} - 44.563)}}$ | 0.99 |
| Total dry mass cycle 2 | $Y = \frac{26.223}{1 + e^{-0.1527 \cdot (\text{dat} - 35.148)}}$ | 0.99 |

, kus

Y on taimne biomass (kuivainena grammides),

dat on päevade arv pärast taime istutamist.

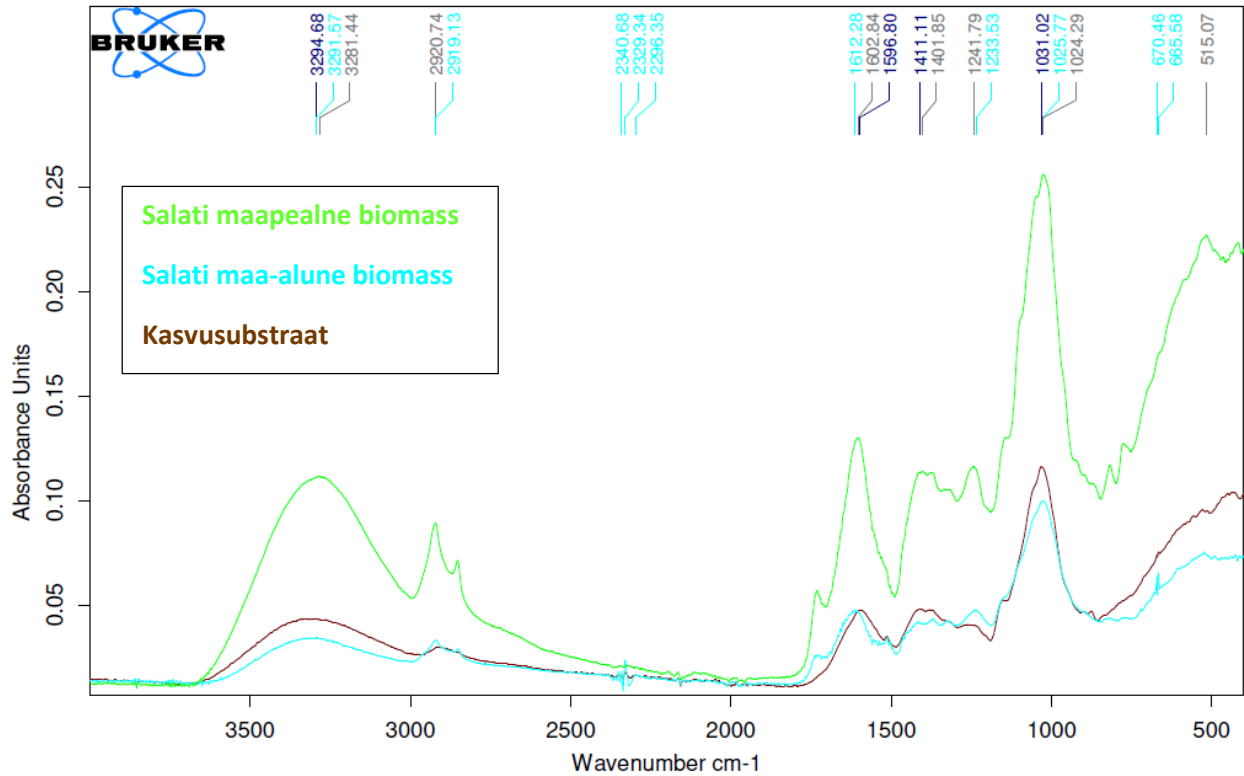
Kasutades tabelis 8 toodud käesoleva uuringu raames läbi viidud eksperimendi maapealse ja maa-aluse biomassi suhteid ning süsinikusisaldust on võimalik Fraile-Robayo et al., 2017 valemite abil leida erinevas vanuses realiseeritava salati biomass ning kasvusubstraadi jäägiga komposteerimisele kuuluva juurte biomass ja sellele vastav süsiniku kogus.

Kasvuperioodil mõõdetud hüdroponilisel meetodil kasvatatud lehtsalatite kasvuhoonegaaside voog substraadist näitas, et vaatamata pidevale niiskusel on õhulõhedega potis kasvatatud taimede juurestik ja mullapall suhteliselt hea aereeritusega ja toimus väga nõrk metaani oksüdeerimine (> -0,0001 CH₄-C mg C/g SOC) ning alla 0.0001 N₂O-N (mg N/g SOC) emissioon. Turbasubstraadi süsiniku lagunemine ja lendumine CO₂-na ulatus 0.0032 g/m² ööpäevas ehk aastale taandatuna 14.7% kasvusubstraadis algselt leidunud süsinikust lendus. Reaalselt on salati kasvuperiood siiski väga lühike ja kuu keskmine süsinikukadu ulatus 1.22%-ni. Arvestades salati maksimaalseks kasvuperioodiks 60 päeva, lendub CO₂-na 2.44% substraadis leidunud süsinikust.

Kasvusubstraadi algse massi (3.79 ± 0.34 g) ning süsinikusisalduse (48.4 ± 0.55 %) ja aasta aega kestnud kasvatamistsükli lõpus massi (3.35 ± 0.39 g) ning süsinikusisalduse (43.1 ± 0.62 %) järgi arvatuna oli süsinikukadu 11.6% ehk 60-päevase kasvuperioodi kohta 1.93% algsest süsinikuvarust lendus süsihappegaasina.

Massibilansi meetodil mõõdetud väiksem süsinikukadu viitab, et osa kasvuperioodil mikrobioloogilise tegevuse käigus tekkinud orgaanilisest ainest jääb mulda.

Maapealne ja maa-alune biomass on oma orgaanilise aine kvalitatiivsete omaduste osas väga erinevad, mida iseloomustab FTIR spekter (joonis 14). Maa-alune biomass on kvalitatiivselt lähedane kasvusubstraadile kuid madalama ligniini- ja kõrgema tselluloosisisaldusega.



Joonis 14. Lehtsalati maapealse, maa-aluse ja kasvusubstraadi kvalitatiivne erinevus FTIR spektraalanalüüsi alusel.

Lillkapsas, lehtkapsas ja brokkoli

Kasvusubstraadi kasutuse seisukohast moodustavad need kultuurid sarnase rühma, kus substraat on oluline istiku ettekasvatamiseks (keskmiselt 30 päeva) ning seejärel istutatakse taimed koos substraadiga kasvukohale mineraalmulda.

Tüüpiline istutusvalem on 40 x 60 cm vahega ehk ligi 40 000 taime hektari kohta. Iga taime ettekasvatamisel kasutatud kasvusubstraadi kogus on kuivainena 16.5 ± 0.64 grammi ehk 47.8% orgaanilise süsiniku sisalduse juures 7.89 ± 0.26 grammi orgaanilist süsinikku.

Külvist kuni istutamiseni (4-5 lehe staadiumis) kasvab istik konteineris 25-30 päeva. Selle ajavahemiku jooksul on mullapall ühtlaselt niiske kuid aereeritud, mistõttu metaani aga ka naerugaasi emissioon oli kogu katse jooksul ebaoluline (< 0.0001 g 16.5 g konteineri kohta aastas). CO₂ kujul lendus kuu ajaga 0.12 g C konteineri kohta ehk 1.5% algsest substraadi süsinikusisaldusest, mis aastale taandatuna moodustaks 1.47 g CO₂-C.

Massibilansi meetodil mõõdetuna osutus sarnaselt salatile ka kapsaste ettekasvatamisel massikadu väiksemaks kui gaasivoo põhjal arvatuna. Massibilansi arvestuse alusel on aastale taandatud orgaanilise süsiniku massikadu 10.8 % ehk 30-päevase ette kasvatamise perioodil 0.9% orgaanilisest süsinikust lendus ning leostus.

Süsinikuringe seisukohast on kapsaste puhul oluline silmas pidada, et nende kasvatamisel viiakse juurepalliga mulda kasvusubstraadis leiduvat orgaanilist süsinikku, saagiga viiakse põllult ära alla 25% maapealsest biomassist (kaubanduslik õisik) ning 60-75% jääb orgaanilise aine sisendina põllule ning ka maa-alune biomass jääb põllumulla süsinikusaldus suurendama (Hu et al., 2011; Gavilanes-Terán et al., 2016, Granada-Castro et al., 2024). Lillkapsa puhul jääb maapealsest biomassist põllule hinnanguliselt samasugune kogus (Petkowicz, 2020). Lehtkapsa puhul jääb põllule eeskätt osaliselt puitunud vars, alumised lehed ning maa-alune osa. Taime erinevate osade süsinikusaldusest annab ülevaate tabel 8.

Tabel 9. Lillkapsa, lehtkapsa (kale) ja brokkoli maapealse rohtse (rohtne), puitunud (vars) ja maaaluse (juur) biomassi orgaanilise süsiniku (C %), üldlämmastiku ja vesiniku sisaldus (%) ning süsiniku/lämmastiku ja süsiniku/vesiniku suhe määratuna kuivainest ning maapealse ja maa-aluse osa mass (g) kuivkaaluna ning biomassis leiduva süsiniku mass (g). C/N suhe on üks lagunemiskiiruse indikaatoreid, C/H suhe iseloomustab kaudselt orgaaniliste ühendite keerukust potentsiaalsete vesiniksidemete kaudu.

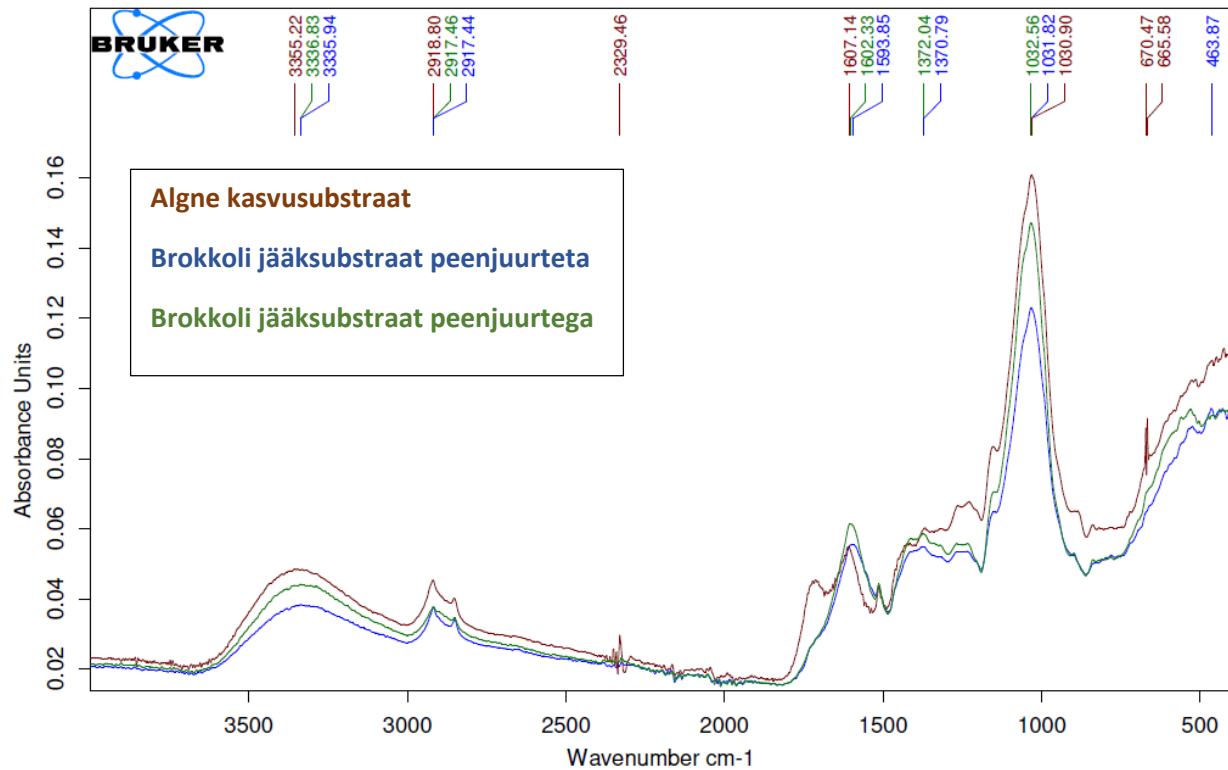
| Nimetus | C (%) | N (%) | H (%) | C/N suhe | C/H suhe | Mass (g) | C (g) |
|-------------------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------|
| Lillkapsas rohtne | 38 | 3.6 | 5.0 | 11 | 7.7 | 81.7 | 31.0 |
| Lillkapsas vars | 42 | 3.5 | 5.7 | 12 | 7.4 | 38.0 | 16.0 |
| Lillkapsas juur | 45 | 2.7 | 5.7 | 17 | 7.9 | 16.4 | 7.4 |
| Lehtkapsas rohtne | 40 | 4.0 | 5.2 | 10 | 7.6 | 198.4 | 79.4 |
| Tüvikapsas vars | 46 | 1.6 | 5.8 | 29 | 8.0 | 60.3 | 27.7 |
| Lehtkapsas juur | 35 | 2.0 | 4.5 | 17 | 7.8 | 32.5 | 11.4 |
| Brokkoli rohtne | 42 | 4.3 | 5.5 | 10 | 7.6 | 101 | 42.4 |
| Brokkoli õisik | 44 | 6.5 | 6.3 | 6.8 | 7.0 | 22.1 | 9.7 |
| Brokkoli vars | 42 | 3.0 | 5.4 | 14 | 7.8 | 56.6 | 23.8 |
| Brokkoli juur | 46 | 1.4 | 5.8 | 32 | 7.9 | 36.2 | 16.7 |

Kuna arvestatav osa taimsest biomassist jääb kapsaste puhul kasvukohta, siis analüüsi ka välitingimustes üle talve seisnud taimeosad ning jääksubstraati ja nende orgaanilise süsiniku ja lämmastikusalduse muutust (tabel 10). Värske maa-alune biomass peenjuurte näol suurendab süsinikusaldust, aga leostumise tõttu üldlämmastiku (N %) sisaldus väheneb.

Tabel 10. Lillkapsa ja brokkoli kasvusubstraadi muutus kasvuperioodi järel põllumullas ning brokkoli maapealse rohtse (lehed) biomassi orgaanilise süsiniku (C %), üldlämmastiku ja vesiniku sisaldus (%) ning süsiniku/lämmastiku ja süsiniku/vesiniku suhe määratuna kuivainest.

| Nimetus | C (%) | N (%) | H (%) | C/N suhe | C/H suhe |
|----------------------------------|-------|-------|-------|----------|----------|
| Lillkapsas algne substraat | 42 | 1.6 | 5.9 | 26 | 7.1 |
| Lillkapsa jääksubstraat juurtega | 44 | 0.95 | 5.3 | 46 | 8.2 |
| Brokkoli algne substraat | 41 | 1.6 | 5.8 | 25 | 7.0 |
| Brokkoli jääksubstraat juurtega | 46 | 0.98 | 5.6 | 47 | 8.2 |
| Brokkoli lehed sügisel | 42 | 4.3 | 5.5 | 10 | 7.6 |
| Brokkoli lehed talve järel | 42 | 3.1 | 5.7 | 14 | 7.4 |

Kasvuperioodil lisandub peenjuurtega jääkturbasse ja mineraalmulda tselluloosirikast orgaanilist ainet, kahaneb lämmastikühendite ja hemitselluloosi osakaal (joonis 15).



Joonis 15. Ettekasvatamiseks kasutatud algse kasvusubstraadi ja kasvuperioodi järel peenjuurtega ning peenjuurteta jääksubstraadi kvalitatiivne erinevus FTIR spektraalanalüüsi alusel.

Arvestades seda, et ühel hektaril kasvatatakse keskmiselt 40 000 kapsataime, viiakse pärast istiku ettekasvatamisel lendunud süsihappegaasi ja lahustunud orgaanilise süsiniku maha arvutamist põllumulda iga taimega 7 grammi orgaanilist süsinikku ehk $40\,000 \text{ taime} \times 7 \text{ g} = 280\,000 \text{ g} = 0.28 \text{ tonni}$ orgaanilist süsinikku. Maa-aluse biomassiga lisandub keskmiselt 12 g ja maapealse biomassiga lillkapsa puhul 47 g ja brokkoli korral 66 g orgaanilist süsinikku.

Seega lisandub 0.28 t jääkturba süsinikule taimse jäägiga lillkapsapõllule 2.36 t orgaanilist süsinikku ning brokkolipõllul 3.12 t orgaanilist süsinikku.

Asalea

Asalea on ilutaim, mis on suhteliselt pika elueaga, tema kasvatamiseks on vajalik happelise reaktsiooniga kasvusubstraat ning seetõttu kasutatakse valdavalt turbapõhiseid substraate. Tegemist on üle Euroopa laialdaselt kasvatatava ilutaimena, mis jahedama kliimaga piirkondades on toa- ja kontoritaimeks, leebema kliimaga piirkondades kasvatatakse ka õuetaimena (või osa aastast õuetaimena). Näidiskultuurina on asalea eripäraks pikem eluiga ning puitunud tüve ja okste moodustamine, mistõttu süsinikuringe erineb oluliselt sibullilledest või lehtdekoratiivsetest ilurohttaimedest.

Kuigi bioloogiliselt on tegemist pikaajalise puittaimena, on asalea siiski üsna kapriisne kasvukeskkonna suhtes ja ilutaimena pärast taime müüki reeglina eluiga eriti pikk ei ole. Antud uuringu raames imiteeriti tavapäraselt tarbijakäitumist seeläbi, et taimed asusid nii suures kontorihoones erinevate inimeste hoole all paiknedes erinevasse ilmakaarde orienteeritud (ja valgustingimustes) kabinettides ning eramutes. 3-aastaste taimede keskmiseks elueaks kujunes 8.6 kuud, kõigist taimedest ligi 29 % hävis 6 kuu jooksul (peamiselt puhkuste perioodil ebaregulaarne kastmine ja ere päikesepaiste), 50% elas 6-12 kuud ning üle 12 kuu elavad jätkuvalt 21 % taimedest.

Taimede kasvu käigus toimuvaid muutusi iseloomustavad Tabelid 11, 12 ja gaasiliselt lenduvad osa joonis 16. Taimne biomass on kõrgema süsinikusisaldusega kui kasvusubstraat, seega kasvuperioodil toimub nii maapealse kui maa-aluse biomassi arvelt süsinikuvõru suurenemine, mis kompenseerib kasvuperioodil kasvusubstraadist erituvat süsihappegaasi. Nii kasvusubstraat kui noored kasvad, ning varist moodustavad lehed ja õied on madala C/N suhtega, mis loob soodsad tingimused mikrobioloogiliseks lagundamiseks.

Tabel 11. Asalea „Anouk“ (*Asalea japonicum*) C3 konteinertaimede kasvusubstraadi, maapealse ja maa-aluse biomassi orgaanilise süsiniku, üldlämmastiku ja vesiniku sisaldus (%) ning süsiniku/lämmastiku ja süsiniku/vesiniku suhe määratuna kuivainest. C/N suhe on üks lagunemiskiiruse indikaatoreid, C/H suhe iseloomustab kaudselt orgaaniliste ühendite keerukust potentsiaalsete vesiniksidemete kaudu.

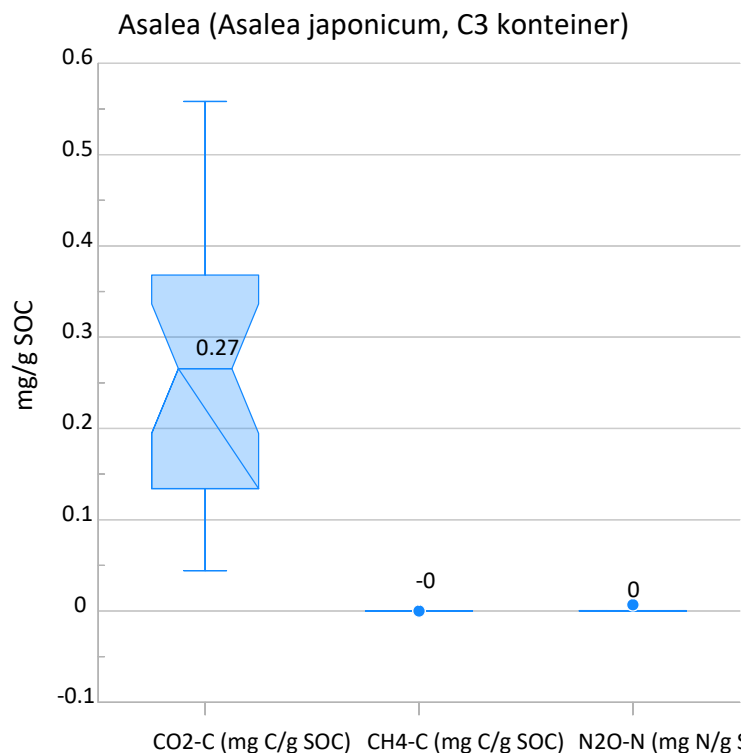
| <i>Asalea japonicum</i> „Anouk“, C3 konteiner | C (%) | N (%) | H (%) | C/N suhe | C/H suhe |
|--|-------|-------|-------|----------|----------|
| kasvusubstraat | 46 | 1.3 | 5.1 | 35 | 8.9 |
| juured | 52 | 0.93 | 5.7 | 56 | 9.1 |
| tüvi ja puitunud oksad | 51 | 1.0 | 5.9 | 51 | 8.6 |
| kasvud, lehed, õied | 47 | 1.9 | 5.6 | 25 | 8.4 |

Tabel 12. Asalea „Anouk“ (*Asalea japonicum*) C3 konteinertaimede süsinikuvaru ja selle aastane muutus. Taimne biomass ja kasvusubstraadi kogus on mõõdetud väärtused. Aastane juurte biomassi lisandumine on arvutuslik väärtus, mis põhineb maapealse ja maa-aluse biomassi suhtel ning eeldusel, et see suhe säilib 2-3-aastasel taimel.

| | Maapealne biomass | | | Maa-alune biomass | | Aastane biomassi juurdekasv | Kavususubstraat | Kavususubstraat ja maa-alune biomass kokku |
|------------|--------------------------------|------------------|-------------------------|-------------------|--------------|-----------------------------|-----------------|--|
| | 1-aastased võrsed, lehed, õied | puitunud biomass | kokku maapealne biomass | 1-aastased juured | juured kokku | | | |
| Kogus (g) | 38.6±2.46 | 83.3±3.03 | 124.7±7.31 | 33.1±2.33 | 115.5±7.91 | 71.8±4.79 | 172.8±11.72 | 288.3±16.23 |
| C (%) | 47 | 51 | 50 | 52 | 52 | | 46 | 48 |
| C varu (g) | 18.2±1.16 | 42.5±1.54 | 62.3±3.66 | 17.2±1.21 | 60.1±4.11 | 35.4±2.37 | 79.5±5.39 | 138.4±7.79 |

Kavususubstraat on asalea puhul hästi aereeritud ja substradi lagunemisel tekib peamiselt CO₂. Metaani ja naerugaasi emissioon on statistiliselt ebaolulised ning pigem on tegemist kergelt metaani oksüdeeriva keskkonnaga. Gaasivoogude mõõtmine näitab (joonis 16), et tunnis emiteerib asalea 0.27 mg CO₂-C g⁻¹ SOC (substraadi kuivainena 1 g orgaanilise süsiniku) kohta. **See vastab aastasele süsinikukaale CO₂-C kujul 2.33±1.27 grammi C3 konteineri puhul ehk aastane süsinikukadu on 1.76%.**

Nielsen et al., 2023 mesokosmis sooritatud katsed kinnitavad käesoleva uuringu tulemusi, et avatud ja hästi aereeritud turbapinnase/kasvuturba puhul on peamiseks emiteeritavaks gaasiks CO₂ (kuni 99% kasvuhoonegaaside voost), metaani ja naerugaasi osakaal on ebaolulised. Samas näitavad Taani katse tulemused, et emissiooni kahandamise seisukohast on kriitiline hoida turba pH taset alla 6.5 ja minimeerida toitainete sisaldust (N ja P).



Joonis 16. Asalea „Anouk“ (*Asalea japonicum*) C3 konteineritaimede (3-aastased) kasvuhoonegaaside emissioon kasvusubstraadist mg/g SOC kohta.

Kuigi kasvusubstraat kaotab süsinikku (1.76% aastas ehk 2.33 ± 1.27 g taime konteineri kohta), siis maapeelses ja maa-aluses biomassis seotakse süsinikku 35.4 ± 2.37 g. Erinevalt turbast on taimse biomassi puhul tegemist kergemini laguneva tselluloosi ja hemitselluloosi rikka orgaanilise ainega, mis komposteerimisel ja selle mineraalmullale lisamisel laguneb ligi 3 korda kiiremini kui samas mahus lisatav turvas (Niklas ja Joergensen, 2001) kuid süsinikuringe seisukohast tuleb seda arvestada kui substraadi kasutamisel tekkinud täiendavat atmosfäärist seotud süsiniku kogust.

Hüatsint

Tänu heale niiskuse säilitamise võimele on kasvava ajatatud taimena müüdavate sibullilledel puhul turbapõhine kasvusubstraat eelistatuim. Hüatsint (*Hyacinthus*) on üks enimlevinud taimena müüdavaid ajatatud sibullilli, mis oli seetõttu käesoleva uuringu ajatatavate ilutaimede põhikultuuriks kuid lisaks võrreldi kasvusubstraadi omaduste osas ka ajatamiseks kasvatatavaid nartsisse ja tulpe.

Ajatamiseks kasutatud hüatsintide (ja teiste sibullilledel) kasvutsükkel on küllaltki lühike: u. 70 päeva jahekambris (u. 0-8 °C) mõõdukalt kuiva kasvusubstraadi ja niiske õhu (90%) tingimustes ettevalmistusperioodi läbimine, seejärel mõõdukalt soojas ruumis 15-20 °C ja kastmisega kasvuperioodi algus ning mõni nädal kuni kuu õitsemise lõpuni taime õitsemine ja rohtse biomassi kasvatamine. Kuna toitainete varu on ajatatavatel sibullilledel sibulas, ei ole ajatatud sibullilledel väetamine üldjuhul vajalik ja seetõttu kasvusubstraadi keemilised muutused on seotud eeskätt niiskuse toimel toimuvate

mikrobioloogiliste lagundamise protsessidega ning sibulast vabaneva ja peenjuurte tekkiva orgaanilise ainega.

Uuringus kasutati 2 Hollandi päritolu tootja jaheperioodi läbinud kuid aktiivse kasvuperioodi eelses seisus Eestist soetatud taimepartiit ning ühe Hollandi päritolu taimekasvatuseettevõtte jaheperioodi läbimata hüatsindi-, nartsissi- ja tulbisibulaid ning selle ettevõtte kasvusubstraati, mis soetati Lätist. Laboratoorne analüüs näitas, et Lätist soetatud Hollandist pärit partii hüatsindi, tulbi ja nartsissi ajatamiseks mõeldud substraadiga oli identne ja seetõttu kajastuvad kõik substraadiga seotud tulemused Tabelis 13, sibulate ja biomassiga seonduv kajastab vaid hüatsindi tulemusi.

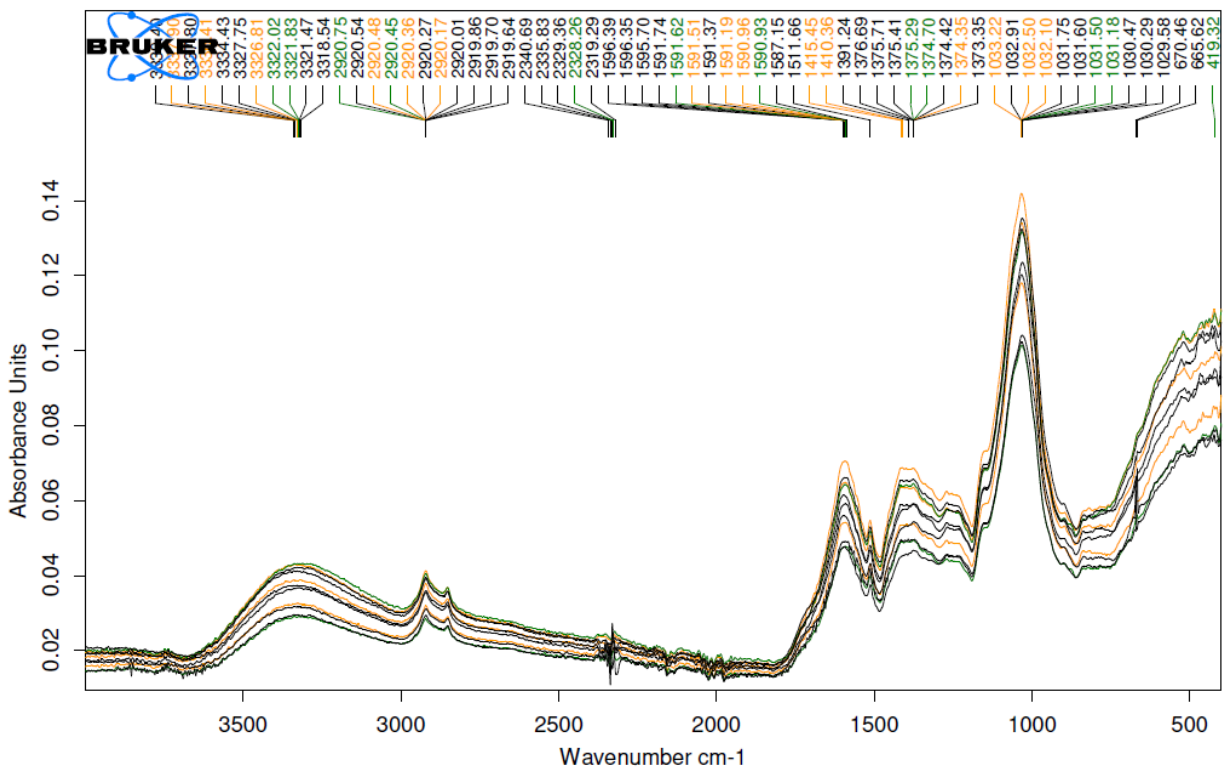
Tabel 13. Hüatsindi (*Hyacinthum orientalis*) P7 konteinertaimede kasvusubstraadi, maapealse ja maa-aluse biomassi orgaanilise süsiniku, üldlämmastiku ja vesiniku sisaldus (%) ning süsiniku/lämmastiku ja süsiniku/vesiniku suhe määratuna kuivainest. C/N suhe on üks lagunemiskiiruse indikaatoreid, C/H suhe iseloomustab kaudselt orgaaniliste ühendite keerukust potentsiaalsete vesiniksidemete kaudu.

| Hüatsint, P7 konteiner | C (%) | N (%) | H (%) | C/N suhe | C/H suhe |
|------------------------|-----------|----------|----------|-----------|----------|
| kasvusubstraat | 49.5±1.81 | 1.4±0.39 | 5.2±0.17 | 39.0±4.82 | 9.4±0.54 |
| sibul | 46.4±0.78 | 2.4±0.47 | 6.1±0.18 | 19.3±3.78 | 7.5±0.20 |
| maapealne biomass | 45.1±0.46 | 1.9±0.61 | 6.1±0.00 | 26.0±9.54 | 7.4±0.06 |

Tabel 14. Hüatsindi (*Hyacinthum orientalis*) P7 konteinertaimede süsiniku bilanss kasvuperioodi algusest kasvuperioodi lõpuni (4 kuud).

| | Alg | Lõpp | Alg | Lõpp | Alg | Lõpp |
|-------------------|-----------|-----------|------------------|-----------|--------------------------|-------|
| | C (%) | | kuivaine mass, g | | C _{org} varu, g | |
| Substraat | 49.5±1.81 | 47.8±0.68 | 25.3±3.15 | 21.2±3.02 | 12.52 | 12.09 |
| Sibul | 46.4±0.78 | 45.2±0.65 | 18.6±3.07 | 15.6±1.74 | 8.63 | 7.05 |
| Maapealne biomass | 0 | 45.1±0.46 | 0 | 3.0±0.91 | 0 | 1.35 |
| Bilanss | | | | | | -0.66 |

Peamine süsinikuaru kahanemine toimub ajatatud hüatsindi kasvatamisel lillesibula biomassi arvel (1.58 g), mis tuleneb eeskätt sellest, et ajatamiseks kasutatakse eelistatult suuremaid ja elujõulisemaid sibulaid (mõõt 16/17), mis väikese (P7) konteineri puhul ei suuda samaväärset asendust kasvatada. **Kasvusubstraadi süsinikuaru kahanemine bilansi meetodil hinnatuna on 3.4% kasvuperioodi kohta (4 kuud)**, mis on küllaltki kõrge, aga langeb kokku mõõdetud CO₂-C voona hinnatud süsinikuga. Süsihappegaasina lendub 0.08±0.06 mg CO₂-C g⁻¹ SOC kohta ehk lendub 0.71 g C ühe P7 hüatsindi konteineri kohta aastale taandatuna. Suhteliselt kõrge süsinikukadu võib olla selgitatav sellega, et kasvusubstraadina kasutatakse vähelagunenud turvast, millele viitab ka FTIR spektraalanalüüsi tulemus (joonis 17), mis sarnaneb vähelagunenud rabaturba spektrile. Kasvuperioodil toimuvad muutused (algne substraat kujutatud tumedamate joontega, kasvuperioodi lõpus analüüsitud substraat heledate joontega) on toimunud ühetaoliselt kogu spektri ulatuses ja pigem on võimendunud värskete orgaanilisele ainele viitav signatuur lainepikkuste 1032 ja 1591 juures.



Joonis 17. Kasvusubstraadi kvalitatiivset muutust iseloomustav FTIR spekter mis näitab, et kasvuperioodil olulisi muutusi ei ole toimunud. Tumedamad jooned iseloomustavad algset substraati, heledamad jooned sama substraadi alamproovi pärast kasvuperioodi lõppu.

Tõlvlehek

Tõlvlehek (*Spathiphyllum*) on vastupidav ja laialt levinud dekoratiivtaim, mille süsinikuvaru on talletunud rohtses biomassis. Taim on valgustingimuste suhtes leplik ja talub poolvarjulisi kasvukohti hästi. Kuna taim on suhteliselt kiire kasvuga, vajab ta sagedast ümberistutamist (1-2 aasta järel). Nii kasvusubstraat kui taimne biomass on suhteliselt madala süsinikusisaldusega (tabel 15) kuid kõrge toitainete ja veesisaldusega (lehed 87.4%, juured 85.4%). Seetõttu on taimne biomass taime eluea lõpul sobilik komposteerimiseks, aga mineraliseerumine on kiire.

Tabel 15. Tõlvlehiku "Chopin" (*Spathiphyllum*) P8 konteinertaimede kasvusubstraadi, maapealse ja maa-aluse biomassi orgaanilise süsiniku, üldlämmastiku ja vesiniku sisaldus (%) ning süsiniku/lämmastiku ja süsiniku/vesiniku suhe määratuna kuivainest. C/N suhe on üks lagunemiskiiruse indikaatoreid, C/H suhe iseloomustab kaudselt orgaaniliste ühendite keerukust potentsiaalsete vesiniksidemete kaudu.

| Tõlvlehek "Chopin" (<i>Spathiphyllum</i>), P8 konteiner | C (%) | N (%) | H (%) | C/N suhe | C/H suhe |
|---|-----------|-------|-------|----------|----------|
| kasvusubstraat | 43.8 | 1.2 | 4.7 | 36 | 9.3 |
| taimne biomass | 43.5±0.53 | | | | |

Tõlvlehiku taimses biomassis olev süsinikuaru ületab kasvusubstraadis süsiniku kogust (tabel 16). Taimses biomassis olev süsinik on talletunud eeskätt maapealse osas ja süsiniku sidumine massibilansi alusel on kiire: keskmiselt 14.3 g C aastas, mistõttu lopsakas taim vajab ka sagedast ümberistutamist.

Tabel 16. Tõlvlehtik "Chopin" (*Spathiphyllum*), P8 konteinertaimede süsinikuaru mullas ja taimses biomassis.

| | C _{org} , % | kuivaine mass, g | C _{org} varu, g |
|----------------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| substraat | 43.8 | 44.8±3.66 | 19.6 |
| maapealne biomass | 43.5±0.53 | 44.7±7.62 | 19.4 |
| juur | 43.5±0.53 | 16.6±6.38 | 7.4 |
| taimne biomass kokku | 43.5±0.53 | 61.7±10.1 | 26.8 |

Substraadi hea aereerituse ning kiirest kasvust tuleneva toitainete tarbimise tõttu tõlvlehiku kasvatamine naerugaasi ega metaani ei emiteeri. **Süsihappegaasina lendub keskmiselt 0.03 mg C g⁻¹ SOC kohta ehk P8 potikohta kaotab kasvusubstraat 0.25 g C aastas (ehk aastane süsinikukadu 1.29%).** Biomassina (maapealne + maa-alune) lisanduv süsiniku kogus aastas on 14.3 g C aastas.

Metsataimed

Metsataimede istikute ja kasvusubstraadi uuringud viidi läbi Tartumaal Suure-Rakke külas Eesti Metsameistri Taimekasvatuse OÜ taimlas (joonis 18). Taimla kasutab automatiseeritud kastmis- ja väetamissüsteemi ning kasvatab taimi väliväljakutel 20cm paksusel kasvusubstraadi kihil ning alates 2023. aastast kasvatab kasvuhoones ka konteinertaimi (männiistikud, hinnanguliselt 2 milj. taime aastas).



Joonis 18. Metsataimede istikute uurimisala Eesti Metsameistri Taimekasvatuse OÜ taimlas. Vasakpoolsel fotol konteinertaimede kasvatamise kasvuhoone, keskmisel fotol konteinertaimede kasvuhoone sisevaade külvatud konteineritega ning parempoolsel fotol avajuursete üheaastaste männiistikute peenras ökosüsteemihingamise mõõtmine.

Nii välitingimustes istikute kasvatamisel kui konteinertaimede puhul kasutatakse identset turvapõhist kasvusubstraati. Kasvuperioodil väetatakse istikuid NPK (30:10:10) väetisega, suve teisel poolel PK ja K väetisega. Substraat valmistati 2023 aastal külviks ette aprilli keskel, seemnete külv toimus aprilli viimasest nädalalast mai eelviimase nädalani. Algsubstraadi proov ning 1-aastasste istikute kasvusubstraadi (juured eemaldati 1-aastasste istikutega substraadist) proovid koguti vahetult substraadi ettevalmistamise järel ja seemnete külvi eel. Kuna algsubstraat on vähemalt viimasel 3 aastal tarnitud sama tootja poolt ja 2023 aastal kasutati seda nii männi konteinertaimede, avajuursete musta lepa, arukase kui männi istikute kasvatamiseks, siis tabelis 8 esitatud algsubstraat on võrreldav nii liikide lõikes kui ka eelneva aasta istikute puhul substraadis toimunud muudatuste hindamiseks.

Lisaks kasutati uuringu raames konteinertaimede (kuusk ja mänd) puhul ka Riigi Metsamajandamise Keskuse (RMK) Tartu Rõõmu tee taimlat. RMK taimla kasutas sarnast tehnoloogiat, identset kasvusubstraati ning samasuguseid kasvukonteinereid kui Eesti Metsameistri Taimekasvatuse OÜ. Mitme suure taimla paralleelne kasutamine tagab tulemuste suurema esinduslikkuse.

Kuna lehtpuud ja okaspuud eritavad erinevaid juureeksudaate ning nende varis on erineva happesusega, siis võib eeldada turba erinevat lagunemiskiirust. Tulemused seda ka kinnitavad: kui algse substraadi C_{org} sisaldus on $48.0 \pm 0.68\%$, siis ühe aasta jooksul kaseistikute puhul olulist muutust ei toimu (C_{org} sisaldus $47.7 \pm 1.46\%$). Männiistikute puhul on süsinikusisalduse varieeruvus küll sarnane kaseistikute peenraga, aga süsinikusisaldus madalam ($46.0 \pm 1.43\%$).

Tabel 17. Metsataimede kasvusubstraatide algne orgaanilise süsiniku (C_{org} , %) ja anorgaanilise süsiniku (TIC) sisaldus protsentides absoluutkuiva aine suhtes.

| | Õhkkuiva proovi kaal (g) | Kuiva (105°C) proovi kaal (g) | Kuivainesisaldus (%) | C_{org} , % | TIC % C |
|----------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------|---------------|---------|
| Algsubstraat | 52.5 (±4.16) | 11.6 (±1.25) | 22.0 (±0.81) | 48.0 (±0.68) | <1 |
| Kask 1-aastane | 31.8 (±5.90) | 11.2 (±1.08) | 35.6 (±4.53) | 47.7 (±1.46) | <1 |
| Mänd 1-aastane | 57.1 (±5.42) | 12.1 (±0.56) | 21.3 (±2.20) | 46.0 (±1.43) | <1 |

Kuigi avajuursetena ja konteinertaimedena, aga ka konteiner-põldsüsteemis kasvatatavate taimede puhul kasutatakse sama kasvusubstraati, on süsinikuringe seisukohast oluline avajuursena ja konteinertaimena kasvatatavaid istikuid eristada. Avajuursena kasvatatavate taimede puhul jääb üle 90% taimekasvatuseks kasutatud kasvusubstraadist taimlasse ja läheb seal korduvkasutusse, mullaparandajana taimede järelkoolituse väljakutele, mujale põldudele mullaparandajana või kasutatakse muul otstarbel, aga konteinertaimede puhul läheb istiku kasvatamiseks kasutatud juurtega läbikasvanud turbapall metsamulda (joonis 19). Seetõttu on vajalik täpselt teada nii konteinertaime (tabel 18) kui ka kasvusubstraadist juurepalli massi ja süsinikusisaldust (tabel 19).

Tabel 18. Konteinertaimedena kasvatatavate metsataimede maapealse ja maa-aluse biomassi orgaanilise süsiniku, üldlämmastiku ja vesiniku sisaldus (%) ning süsiniku/lämmastiku ja süsiniku/vesiniku suhe määratuna kuivainest. C/N suhe on üks lagunemiskiiruse indikaatoreid, C/H suhe iseloomustab kaudselt orgaaniliste ühendite keerukust potentsiaalsete vesiniksidemete kaudu.

| | C (%) | N (%) | H (%) | C/N suhe | C/H suhe |
|---|----------|---------|---------|----------|----------|
| Mänd, maapealne | 47.9±1.0 | 1.5±0.2 | 6.7±0.1 | 32±3.3 | 7.1±0.2 |
| Mänd, juur | 48.1±1.3 | 1.1±0.2 | 6.4±0.1 | 44.2±7.3 | 7.5±0.3 |
| Mänd, substraat | 40.7±2.5 | 0.9±0.0 | 6.1±0.1 | 47.5±0.4 | 6.6±0.2 |
| Kuusk, maapealne | 47.0±1.0 | 1.1±0.2 | 6.6±0.1 | 43.3±6.6 | 7.1±0.2 |
| Kuusk, juur | 47.7±0.5 | 1.0±0.2 | 6.2±0.1 | 48.8±8.7 | 7.7±0.1 |
| Kuusk, substraat | 41.0±1.4 | 0.9±0.1 | 6.1±0.1 | 45.8±3.8 | 6.7±0.1 |
| Substraat, taimedeta kontrollkonteiner | 37.3±1.2 | 0.8±0.0 | 6.1±0.0 | 45.4±3.0 | 5.7±0.2 |

Tabel 19. Konteinertaimede süsinikuvaru mullas ja taimses biomassis.

| | Mänd | | | Kuusk | | |
|----------------------|---------------------|----------|---------|---------------------|----------|---------|
| | Kuivaine mass, g | Corg, % | Corg, g | Kuivaine mass, g | Corg, % | Corg, g |
| substraat | 9.3±0.41 | 40.7±2.5 | 3.79 | 9.7±1.2 | 41.0±1.4 | 3.98 |
| maa-alune biomass | 0.8±0.18 | 48.1±1.3 | 0.38 | 1.3±0.32 | 47.7±0.5 | 0.62 |
| maapealne biomass | 2.18±0.45 | 47.9±1.0 | 1.04 | 4.2±1.82 | 47.0±1.0 | 1.97 |



Joonis 19. Männi konteinertaimede istik (vasakul) ja taimeta kontrollproov konteinerist.

Eestis istutati 2023 aastal ligi 42 miljonit metsataime, neist 38 miljonit on toodetud Eestis. Eesti taimekasvatavad ekspordivad ligi 5 miljonit metsataime (valdavalt konteinertaimed Soome ja Rootsi) ning imporditakse paljasjuurseid taimi. RMK uuendab aastas ligi 9300 ha metsa ja istutab 24 miljonit istikut, millest ligi 60% on konteinertaimed. RMK istutatud taimedest 10 milj. on kuused, 8.5 milj, on männid, 2.1 milj. kase ja 0.7 milj. musta lepa istikud.

Erametsades istutatakse ligi 18 milj. puud, neist 10 milj. kuuske, 4 milj. mändi, 3 milj. kase ja 0.2 milj. musta leppa.

Tüüpiline keskmine istutusnorm on mändidel 3200 istikut hektari kohta, kuusel 2200, kasel 2200, mustal lepal 2500 istikut hektari kohta. Konteinertaimedena istutatakse valdavalt mändi ja kuuske ning enamasti kas turvas- ja turvastunud mullale, kus on külmakohrutuse oht või põuakartlikele muldadele, kus konteinertaimede turvasubstraat aitab niiskust säilitada ning parandab istikute ellujäämise osakaalu. RMK 60%-ne konteinertaimede istutamise osakaal tähendab, et istutatakse üle 14 miljoni konteinertaimede. Erametsades võib konteinertaimede osakaaluks hinnata 50% ehk 9 milj. puud.

Kokku istutatakse 23 miljonit konteinertaimede ja arvestades, et külmakohrutuse ohuga turvas- ja turvastunud muldadele istutatakse eeskätt konteinertaimedest kuuski, kergema lõimisega muldadele aga mände, siis metsamuldade jaotuse järgi võib hinnanguliselt öelda, et ligi 50% (10 milj.) kuuse konteinertaimede istutatakse turvas- ja turvastunud muldadele. Mändidest ligi 20% ehk 2.5 milj. taimede turvastunud ja turvasmuldadele.

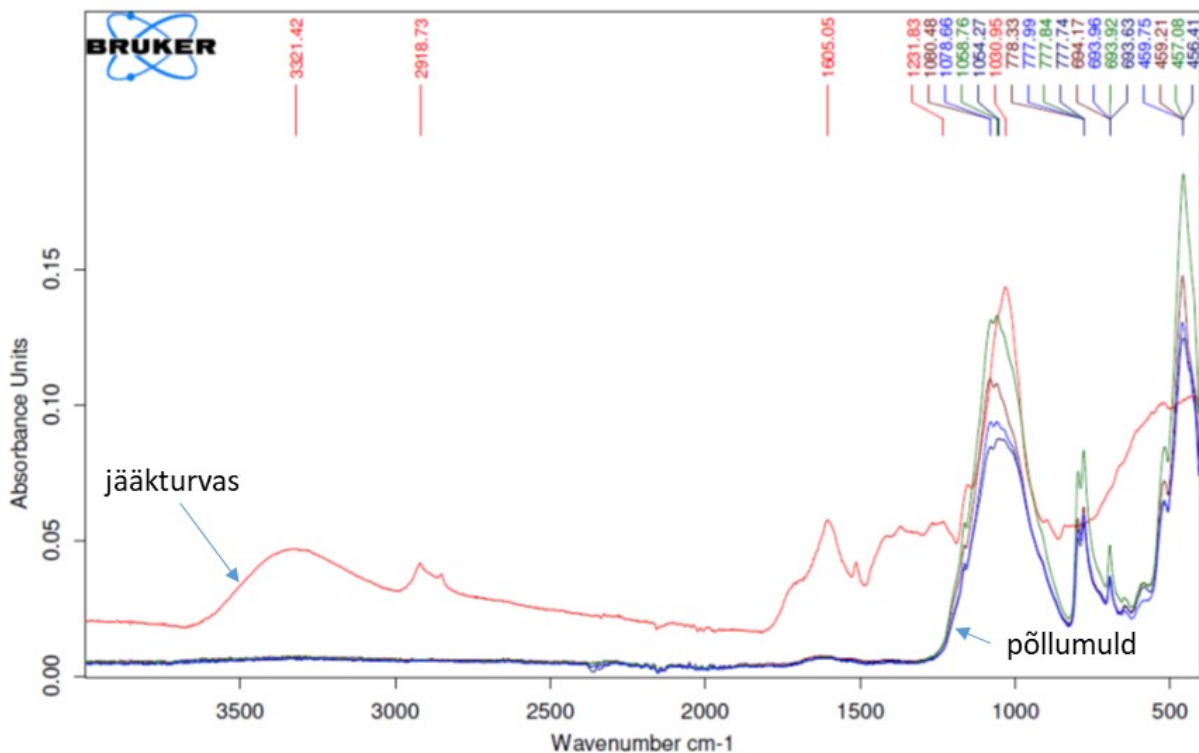
Arvestades iga istiku juurepallis sisalduvat süsiniku kogust (tabel X), siis 10 milj. kuuseistikuga viiakse turvapinnasega metsamaale igal aastal substraadi näol süsinikule taandatuna vähemalt 39,8 t ja

männiistikutega 9.5 tonni süsiniku ehk kokku viiakse 49.3 t C metsamaale turvasmulda. Kuna kasvusubstraadi turvas ei lagune metsamulla turbast erinevalt ja metsamaa süsinikuheide on juba maakasutusüksuse põhiselt arvestatud, siis selliselt kasvusubstraadilt ei tohiks topelt arvestuse vältimiseks kaudset (off-site) emissiooni arvestada ja see osa tuleks arvesse võtta 0-heiteteguriga.

Eesti Metsameistri Taimekasvatuse OÜ on taimede kasvatamisel tekkiva jääksubstraadi puhul kasutusel võtnud taaskasutuse põhimõtteid ning laotab jääksubstraadi 2-3 aastase intervalliga enda kasutuses olevatele põllumaadele nende huumushorisoni süsinikusisalduse ja mullaviljakuse tõstmiseks.

2023. aastal laotati jääksubstraat kahele põllule (liblikõieliste kultuur ning teraviljapõld). Teraviljapõllule laotati substraati ligikaudse suhtega 300 t/ha väliniiskuse juures.

Uuringu käigus võeti mullaproovid nii substraadi laotamisega teraviljapõllult kui selle kõrvalt ilma substraadi laotamiseta alalt sama mullakontuuri seest. Substraadi laotamisega põllu süsinikusisaldus künnikihis tõusis $2.2 \pm 0.08\%$ tasemele, samas kui substraadi lisamiseta põlluosal oli künnikihi süsinikusisaldus $1.8 \pm 0.05\%$. 2024.a. oli jääkturba laotamisega põllul künnikihi C_{org} säilinud $2.2 \pm 0.09\%$ tasemel. Lisatud kasvusubstraat eristub kvalitatiivselt väga selgesti põllumullast (joonis 20) ja graafikult joonistuvad selgelt välja spektraalsed piirkonnad, mille arvel toimub tulevikus turba mineraliseerumine ning millises osas värsket orgaanilist ainet lisandub (juured, põhujäägid, varis jmt).



Joonis 20. Kasvusubstraadi ja põllumulla kvalitatiivset erinevust iseloomustav FTIR spekter mis näitab, et turbas (punane spektri joon) on oluliselt enam raskesti lagunevaid orgaanilisi ühendeid (nt. ligniin) ja sinise ning rohelse spektrijoonega mineraalne põllumuld eristub teravalt lainepikkuste 1000 ja 457 piirkonnas. Lühema lainepikkusega piik seostub eeskätt värsket orgaanilist ainet (juured, põhujäägid, varis jmt).

Eestile kasvuturba kaudse (*off-site*) emissioonifaktori täiendamise ja koostamise ettepanekud

Kuigi kasvuturvas on laialdaselt kasutuses on substraadist kasvuhoonegaaside emiteerumise arvestus LULUCF sektoris erinevates riikides jätkuvalt tugevalt lihtsustatud ja arvestamine toimub kasvuturba kaevandaja riigis isegi sel juhul kui kasvuturvas eksporditakse.

Tase 1 kaudne (Tier 1 *off-site*) emissioonifaktor põhineb parasvöötme ja boreaalse piirkonna turvaste süsinikusisalduse hinnangul ning selle alusel arvestatakse kogu turbas sisalduv süsinik täielikult atmosfääri lenduvaks ning süsiniku emissioon loetakse lendunuks koheselt vastavalt kaevandatud koguse arvestuse/deklareerimise aastale (valem 1).

EQUATION 7.5
OFF-SITE CO₂-C EMISSIONS FROM MANAGED PEATLANDS (TIER 1)

$$CO_2-C_{WW_{peat,off-site}} = \frac{(Wt_{dry_peat} \bullet Cfraction_{wt_peat})}{1000}$$

or

$$CO_2-C_{WW_{peat,off-site}} = \frac{(Vol_{dry_peat} \bullet Cfraction_{vol_peat})}{1000}$$

Where:

$CO_2-C_{WW_{peat,off-site}}$ = off-site CO₂-C emissions from peat removed for horticultural use, Gg C yr⁻¹

Wt_{dry_peat} = air-dry weight of extracted peat, tonnes yr⁻¹

Vol_{dry_peat} = volume of air-dry peat extracted, m³ yr⁻¹

$Cfraction_{wt_peat}$ = carbon fraction of air-dry peat by weight, tonnes C (tonne of air-dry peat)⁻¹

$Cfraction_{vol_peat}$ = carbon fraction of air-dry peat by volume, tonnes C (m³ of air-dry peat)⁻¹

Valem 1. LULUCF kaudse emissiooni arvutamise valem tasemel Tier 1. Allikas: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006. Chapter 7 Wetlands.

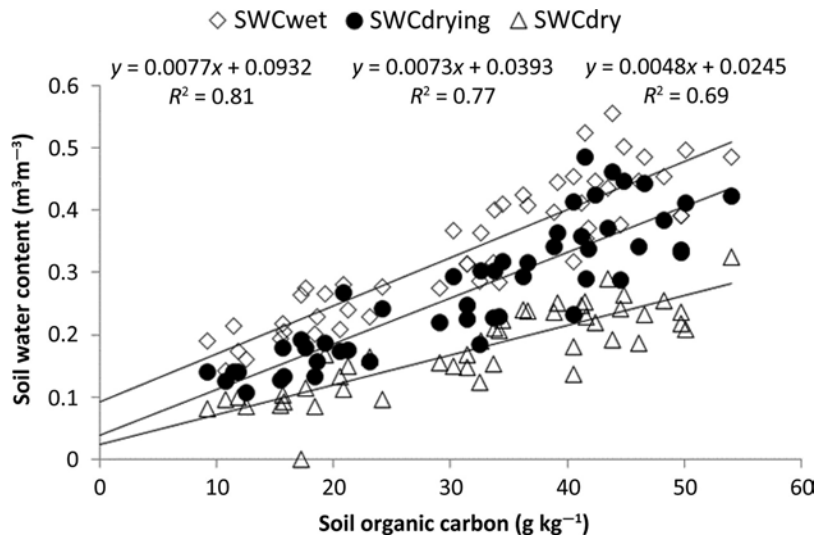
Sedalaadi kaudne (*off-site*) emissioonifaktori arvestus on asjakohane kui tegemist on kütteturbaga või kasvuturvast kasutatakse pärast esmast kasutust (taimede kasvatamist) kütteturbana. Kuigi Soomes on kasvuturvast eelnevatel kümnenditel vähesel määral väiksemate taimekasvatuste poolt kütteturbana tarvitatud, siis tänapäeval seda ei tehta ning Eestis ja Eesti kasvuturba sihtriikides ei ole kasutatud kasvuturba kütusena kasutamine levinud.

Kasvuturba kaudse emissioonifaktorina on sellisel kuju tegemist äärmuslikult lihtsustatud lähenemisega, mis ei arvesta kasvuturba tegelikku kasutust, kasvuturba kasutamisel toimuvaid muutusi (nii süsinikusisalduse kui koguse osas) ning emissioonifaktorist ei arvata välja kasvuturba järelkasutusel lagunemata ja atmosfääri lendumata jäävat süsiniku kogust.

Sellest tulenevalt ei ole Eestis kasvuturba puhul otstarbekas tase 1 vaikeväärtusi kasutada ja aruandluses kasutusele võetud riigisisene kasvuturba tegelik süsinikusalduse väärtuse kasutamine on korrektsem. Samas on ka ainuüksi Eestis toodetava kasvuturba süsinikusalduse alusel arvestus oluline lihtsustus ja pikemas perspektiivis tuleks lähtuda aineringete seisukohast korrektsematest süsinikuvoogude hindamise meetodikast, mille käigus arvestatakse nii Eestis kaevandatava kasvuturba omadustega (eeskätt kohaliku turba tegelik süsinikusaldus), kasvuturba kasutamistotstarbe ja kasutamisel tekkiva tegeliku süsinikukaoga (peamiselt lagunemise käigus lendumine CO₂ kujul), kasvusubstraadi kasutamisel lisanduva orgaanilise ainega, mis jääb kasvusubstraadi koosseisu vahetu sihtotstarbelise kasutamise lõpus (nt. maa-alune biomass köögiviljakasvatuses) ning järelkasutuse käigus toimuva süsinikuvoogudega (nt. konteiner metsataimede istutamine turvasmullale vs jääkturba laotamine mullaparandajana haritavale maale).

Turvas parandab mulla struktuuri nii kerge kui raske lõimisega muldadel. Turvas mullaparandajana, kasvusubstraadi või jääkturbana mullas suurendab mullaveemahutavust ja niiskuse säilitamise võimet kerge lõimisega (liiv-)muldades ja aitab vähendada toitainete leostumist (Manns & Berg, 2017). Kõrgem ja aastajaliselt suurema orgaanilise aine sisalduse tõttu stabiilsem mullaniiskus (joonis 21) soodustab omakorda bioproduktiooni suurenemist ning seeläbi suurema orgaanilise aine sisendi kaudu mulla orgaanilise süsiniku varu kasvu.

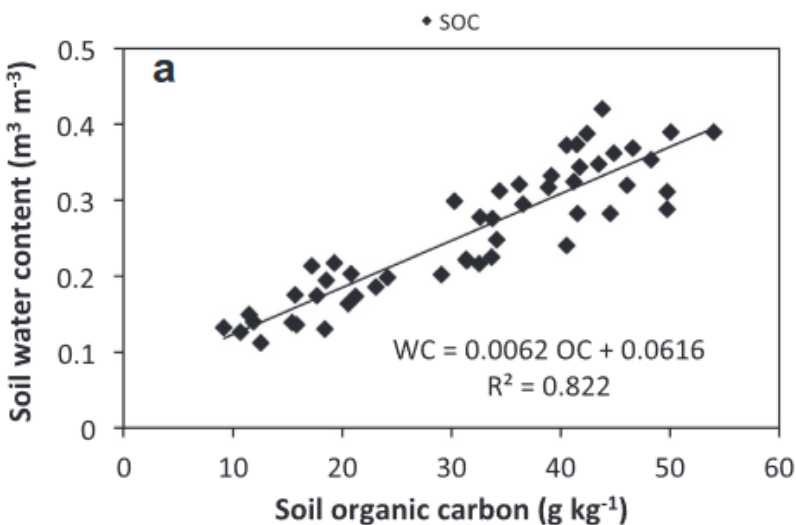
Igal mullatüübil on antud kliimatingimustes oma süsiniku sidumis- ja talletamisvõime ja kasvuturba ning jääkturba akumulatsioon toimub kuni selle piirini. Mulla C talletamisvõime on seda suurem mida enam on mullas saviosakesi, kõrgem on mullavee varu ja mida enam on muld (enamasti maaharimise tõttu) kaotanud süsiniku maksimaalse talletamisvõime suhtes. Mullasüsiniku, bioproduktiooni ja süsiniku talletamise vahel on positiivne tagasiside, mistõttu mulda viidud kasvuturvas ei lagune täielikult vaid suurendab mulla stabiilse fraktsiooni osakaalu ja aitab kaasa huumushorisoni түsenemisele.



Joonis 21. Mulla orgaanilise süsiniku sisalduse ja mullaveevaru vaheline sõltuvus vastavalt mulla seisundile (SWCwet – märg muld, SWCdrying – kuivav muld, SWCdry – kuiv muld; n = 50 kõikide mudelite olulisusnivoo P < 0.001). Allikas: Manns et al., 2016.

Raske lõimisega (savi-)muldade puhul turvas või turbapõhine kasvusubstraat parandab mulla aereeritust, võimaldades juurtel paremini hingata ning toitaineid omastada. Samuti parandab turvas mulla

puhverdusvõimet olles väga hea pH reguleerija ja suurendab mulla kationivahetusvõimet (CEC) ning soodustab seeläbi toitainete säilimist mullas. Taimedele ühtlasema toitainete kättesaadavuse tagamise kaudu suureneb bioproduktioon (tekib enam maa-alust ja maapealset biomassi) ja välditakse väetiste/toitainete leostumist, samas aidates säilida või suurendades mulla orgaanilise süsiniku varu (varise ja huumuse kujul). Mulla orgaanilise süsiniku sisaldus (SOC) suurendab mulla veesisaldust joonisel 22 esitatud võrrandi järgi.



Joonis 22. Mulla veesisaldus mineraalmullas on lineaarselt seotud mulla orgaanilise süsiniku sisaldusega (Manns et al., 2014).

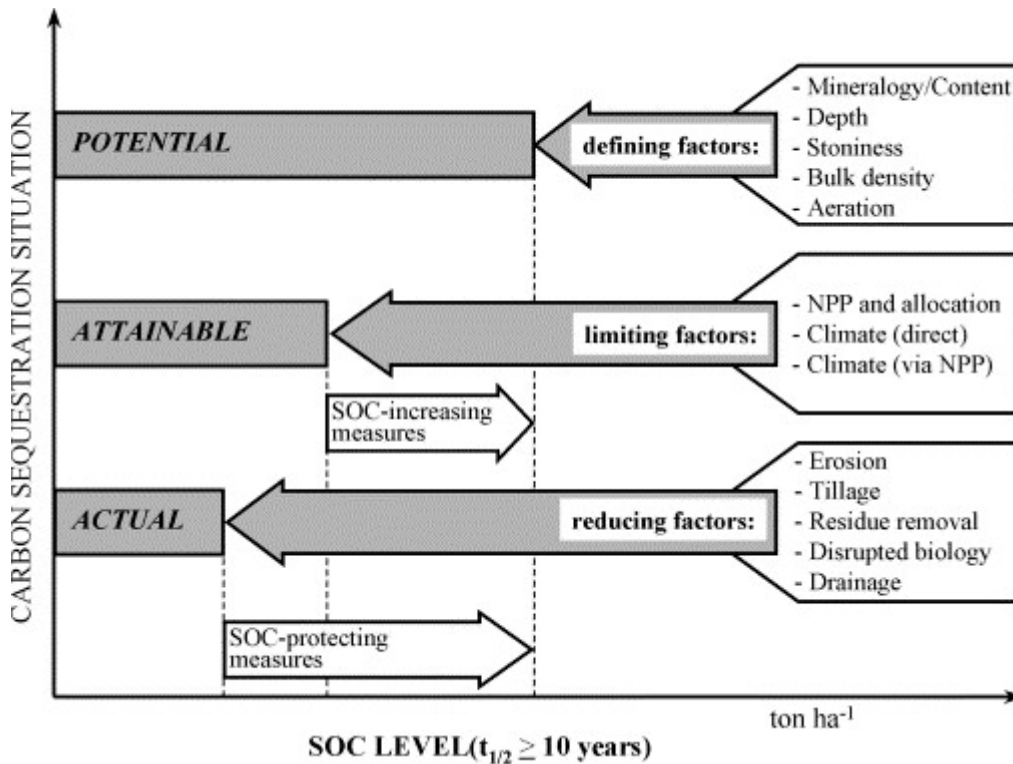
1% võrra mulla orgaanilise süsiniku suurenemine võrdub umbes 2% -lise veemahutavuse suurenemisega. Nii suureneb mullas, mille veemahutavus on 200 mm, orgaanilise süsiniku sisalduse suurenemise arvel veemahutavus veel 4 mm võrra.

Sarnaselt veemahutavuse suurenemisele parandab mineraalmulla orgaanilise süsiniku sisalduse kasv ka bioproduktiooni ja saagikust. Suurem bioproduktioon omakorda tagab mulla süsinikuvaru säilimise maa-aluse ja –pealse varise lisandumise näol. Ülemaailmsel tasandil ja keskendudes konkreetselt mulla orgaanilise süsiniku (SOC) võimalikule mõjule saagikusele, leidsid Oldfield et al (2019), et suurim saagikuse kasv toimub SOC sisalduse vahemikus 0,1–2,0%. Näiteks on saagikus 1,0% SOC juures 1,2 korda suurem kui 0,5% SOC tasemel. Saagikuse suurenemine ühtlustus ligikaudu 2 % SOC kontsentratsiooni juures. Samuti leiti uuringus, et ligikaudu kahel kolmandikul maailma haritavast maisi- ja nisu kasvatamiseks kasutatavast maast on SOC sisaldus praegu alla 2 % ja seega suurem süsiniku sisend (nt. jääkturba näol) aitaks mullaviljakust taastada või parandada.

Eelnevalt mainitud maailmas suurepindalaliselt kasvatatavate põllukultuuride (mais ja nisu) kasvatamisel jääb aastase kasvutsükli käigus moodustunud biomass (kuivainena) nisu puhul 9,7– 19,2 t/ha ja maisi puhul 26-32 t/ha vahemikku (Major et al., 1986; Maucieri et al., 2019; Pärnamäe, 2024). Arvestades mulla süsinikuvaru suurenemisel 1% võrra bioproduktiooni võimalikku 20-30% suurenemist, on taimede poolt iga kasvutsükli jooksul pikaajaliselt täiendavalt seotaval süsinikul (2,9-9,6 t/ha) jääkturba kasutusega kaasneva süsiniku ringluse seisukohast suur tähtsus, mis väärrib põhjalikumalt uurimist.

Kasutades 13 662 välikatse andmeid 66 593 erineva mulla, kliima ja majandamistavaga, näitavad Ma et al., 2023, et saagikus suureneb mulla orgaanilise süsiniku suurenemisega, kuni mulla orgaanilise süsiniku sisalduse tasemeni 43,2–43,9 g kg⁻¹ (4,32–4,39%) maisi puhul, 12,7–13,4 g kg⁻¹ (1,27–1,34%) nisu ja 31,2–32,4 g kg⁻¹ (3,12–3,24%) riisi puhul ning edasist olulist suurenemist ($p < 0,05$) üle keskmise optimaalse taseme viljakuse kasvus ei esine. Seega sõltumata kasvuturba ekspordiregioonist, on jääkturba mullaparandajana kasutamisel või ettekasvatatud taimede turbapalliga mulda istutamisel oluline potentsiaal mullaviljakuse tõstmiseks sest praegune SOC tase haritavaal maal jääb peaaegu kõikjal optimaalsest tasemest tugevalt alla.

Mulla orgaanilise süsiniku bilansi muutust iseloomustab joonis 23. Mulla potentsiaal säilitada orgaanilist süsinikku põhineb selle võimel kaitsta (st stabiliseerida) SOC-i. Orgaanilist süsinikku hoiab mikrobioloogilise lagunemise eest orgaaniliste ühendite adsorptsioon mineraalosakeste pindadele (poorid alla 0,2 mm läbimõõduga) ja sidudes mulla agregaatosakestes. Raskemate lõimistega muldades toimivad saviosakesed orgaanilise aine kaitsena mikroobse lagunemise eest. Seevastu SOC kiirem ringlus toimub muldades, kus savisisaldus on väike, seetõttu on ainuüksi põllukultuuride jääkidega jämeda tekstuuriga liivases pinnases SOC-sisaldust raskem suurendada ning ka veerežiim on ebasoodsam ning lisanduva kasvuturba mõju suurem. Pikaajaliselt säilib kasvuturvas aga paremini savirikka mulla puhul.



Joonis 23. Seos tegeliku, saavutatava ja potentsiaalse mulla orgaanilise süsiniku vahel sõltuvalt mõjuteguritest ja süsinikusisendist või seda vähendavatest teguritest. Allikas: Ingram and Fernandes 2001.

Üldiselt näitavad uuringud, et iga 1% orgaanilise süsiniku lisandumine optimaalsest madalamal tasemel võib tõsta saagikust 10–30% või rohkem, aga see varieerub oluliselt sõltuvalt ülalnimetatud teguritest (joonis 23). Orgaanilise süsiniku suurendamine mullas võib tõsta saagikust mitmete mehhanismide kaudu:

1. Mulla struktuuri parandamine: orgaanilise aine olemasolu aitab parandada mulla struktuuri, muutes selle õhulisemaks. Hea struktuur parandab juurte õhuvahetust ja vee liikumist, mis on taimekasvuks hädavajalik.

2. Veesisalduse reguleerimine: orgaaniline süsinik suurendab mulla veehoidmisvõimet. See tähendab, et mulla niiskust suudetakse paremini säilitada, mis on eriti oluline sademetevaesel perioodil ja põuakartlikel muldadel.

3. Toitainete kättesaadavuse suurenemine: orgaaniline aine on toitainete, sealhulgas lämmastiku, fosfori ja kaaliumi, looduslik allikas. Orgaanilise süsiniku suurenemine aitab kaasa mikroobide aktiivsusele, mis omakorda soodustab toitainete vabanemist mineraliseerumisel, muutes need taimedele kergemini kättesaadavaks.

4. Mikroobne aktiivsus: orgaaniline süsinik toetab mulla mikroorganismide elu, mis on vajalik mulla kvaliteedi ja viljakuse säilitamiseks. Mikroobid aitavad lagundada orgaanilisi aineid ja vabastada toitained, mida taimed saavad kasutada.

Ühest küljest aitab mulda viidud kasvuturvas mulla süsinikuaru suurendada ja seeläbi parandada bioproduksiooni ning tõsta süsinikuringe mahtu, teisalt kaasneb vältimatult turba osaline mineraliseerumine. Turba lagunemine ja jääkturba säilimine mullas sõltuvad mitmest tegurist, sealhulgas mulla tüübist, niiskusel, temperatuurist ja happesusest. Samuti turba keemilisest koostisest ja lagunemisastmest. Turvas sisaldab rohkesti ligniini, tselluloosi ja hemitselluloosi, mis on suhteliselt aeglaselt lagunevad ühendid ja ligniin on üheks peamiseks rohtse biomassi maa-aluse juurevarise sisend huumuse tekkel. Mulla orgaanilise süsiniku muutumine maakasutuse või majandamisviiside tõttu sõltub vähemalt osaliselt ka varasemast maakasutusest ja näitab seega "pärandefekti" (Foster et al., 2003), mis võib aidata selgitada muutusi mulla C varudes. Näiteks on üldlevinud seisukoht, et C akumulatsioon on kiirem, kui maakasutuse muutus hõlmab üleminekut haritavatelt (häiritud) muldadel püsirohumaadele. Eeldatakse, et pidevate põllumajandustavade korral (nt 50–100 aastat pärast maakasutuse/majandamise muutust) ja 0–30 cm sügavusel saavutab rohumaal muld C lõpuks püsiva oleku ning et kui C-sisaldus läheneb sellele püsivale olekule, väheneb C akumulatsioonimäär (Smith, 2014). Siiski ei ole selge, millal mulla SOC akumulatsioon võib jõuda uude püsivasse olekusse, peamiselt seetõttu, et see sõltub kliimategurite ja majandamisviiside (st karjatamine, väetamine, lupjamine, uuesti külvamine jne) koostoimest. Mõõdukas täiendav orgaanilise aine sisend (nt. jääkturvas, jääkturvas kompostitud taimejäänustega) kiirendab stabiilse SOC taseme saavutamist kurnatud põllumuldadel ja seeläbi pikaajaliselt mullas talletuva süsinikuaru suurenemist.

Eestile kohalduva tase 2 ja tase 3 kaudne (*off-site*) emissioonifaktor

Rahvusvahelise kasvuhoonegaaside heite arvestamise reeglistik võimaldab arvestuse teisel tasemel kasutada riiklikke tegureid. Sellest tulenevalt on Eestil asjakohane kasutada 2023-2024.a. jooksul laboratoorsete uuringutega määratud turba orgaanilise süsiniku sisalduse väärtusi Eestis kaevandatud ja väärimiseks kasutatava turba osas ning neid väärtusi regulaarselt uuendada vähemalt viieaastase sammuga kuna kaevandatava turba omadused ajas muutuvad tootmisalade kaevandatavate kihtide sügavusprofiili ulatuses. Kuigi laboratooriumid kasutavad sarnast ISO standardit nii proovide eeltöötlemisel kui analüütilises protsessis (vastavalt ISO 11464:2006 ja ISO 11465), on määrangute erinevus märkimisväärne ja seetõttu on rahvusvahelise võrreldavuse huvides soovitatav kasutada kõigi laborite keskmist väärtust turba orgaanilise süsiniku sisaldusena ($47.4\% \pm 1.12$) (Tabel 20).

Tabel 20. Eestis kaevandatud turba keskmine orgaanilise süsiniku sisaldus (org C, %) ja valimisse kuulunud turbaväljadel turba lagunemise aste (von Post H) turbaaunadest kogutud ala keskmise proovi alusel.

| Peat extraction site | von Post H | METK | EKUK | TÜ | EMÜ | Mean | StDev |
|----------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| | | org C, % | org C, % | org C, % | org C, % | org C, % | org C, % |
| Laukasoo II | H5 | 43.4 | 48.0 | 49.0 | 45.8 | 46.6 | 2.49 |
| ASB 1 | H5 | 45.9 | 49.0 | 52.3 | 43.8 | 47.8 | 3.71 |
| ASB 2 | H4 | 44.9 | 50.0 | 51.5 | 46.8 | 48.3 | 3.00 |
| Nurme Turvas AS 27.03.23-1 | H6 | 44.7 | 49.0 | 49.7 | 46.6 | 47.5 | 2.29 |
| Nurme Turvas AS 27.03.23-2 | H6 | 45.0 | 49.0 | 49.2 | 47.4 | 47.7 | 1.94 |
| Nurme Turvas AS 27.03.23-3 | H5 | 46.6 | 50.0 | 47.9 | 46.7 | 47.8 | 1.58 |
| Nurme Turvas AS 27.03.23-4 | H6 | 44.8 | 49.0 | 48.5 | 46.6 | 47.2 | 1.92 |
| 1. 03.04.23 | H6 | 41.9 | 47.0 | 49.6 | 43.2 | 45.4 | 3.53 |
| Riisipere IV VALGE | H4 | 44.3 | 48.0 | 45.4 | 47.5 | 46.3 | 1.75 |
| Sooniste Must | H7 | 46.5 | 50.0 | 52.6 | 46.9 | 49.0 | 2.86 |
| IV 03.04.23 | H6 | 46.6 | 52.0 | 51.9 | 43.5 | 48.5 | 4.18 |
| Hõreda | H4 | 42.3 | 47.0 | 50.2 | 45.2 | 46.2 | 3.31 |
| Tõnumaa 7 | H5 | 46.4 | 50.0 | 52.4 | 47 | 49.0 | 2.79 |
| Möllatsi | H6 | 44.6 | 49.0 | 47.4 | 43.7 | 46.2 | 2.46 |
| Mean | | 44.9 | 49.1 | 49.8 | 45.8 | 47.4 | |
| StDev | | 1.52 | 1.33 | 2.14 | 1.57 | 1.12 | |

Tabelis 20 toodud süsinikusisaldus on baasväärtuseks, mille alusel määratakse 40%-lise tingniiskusega aiandusturba heitkogused.

Riikliku kasvuhoonegaaside heite raporteerimisel on oluline silmas pidada, et sõltuvalt kaevandamise mahust, väljastatavatest uutest kaevandamislubadest võib aastate jooksul Eestis kaevandatud aiandusturba keskmine orgaanilise süsiniku sisaldus muutuda sõltuvalt sellest kas kaevandatakse enam vähelagunenud või hästilagunenud turvast. Lisaks on oluline tähelepanu pöörata kaevandatava aiandusturba ligniini, hemitselluloosi ja tselluloosisisalduse määramisele, et Tier 3 taseme arvutustes täpsemalt hinnata tegelikku turba lagunemise kiirust. Mida kõrgem on Eestis kaevandatud kasvuturba ligniinisaldus, seda aeglasemalt substraat laguneb ja enam jääb orgaanilist süsinikku püsivalt mulla huumuse osaks, mida ei tohiks deklareerida heitmena.

Kasvuturba tootmisega seotud kasvuhoonegaaside emissiooni ja kitsamalt süsinikusiirdega seotuna on vajalik seda arvestada kohapealse ehk tootmisalaga seonduvalt (*on-site*) ning kaevandatud turba kasutusega seonduvalt (*off-site*).

Otsese heite ehk kaevandamisala meetodika on küllaltki hästi välja töötatud ja selles osas on vajalik eeskätt tegeliku voo täpsem hinnang vastavalt sellele kuidas on tänaseks arenenud mõõtmistehnoloogia ning modelleerimisvõimekus.

Kuna heitel on vahetu mõju poliitilistele otsustele on oluline eraldada tänase turbasektori heide ajaloolise tootmise heitest. See on üsna lihte geoandmebaase ja statistilisi andmekogusid kasutades ja arendus on suhteliselt odav. Mäeeraldiste pindala üle peab Maa-amet arvestust 0,01 ha täpsusega. Mäeeraldiste ajaloolised pindalad on samuti võimalik välja võtta või vajadusel tuletada suure täpsusega. Ortofotode põhjal on võimalik analüüsida ka ajaloolist mäeeraldiste hõivamist, eelkõige uute alade väljaehitamist. Aunade järgi või kaugeire lahendustega tootmisprotsessi tõttu koherentsuse muutuste järgi (nt. pilvisusest sõltumatu Sentinel-1 SAR andmestiku alusel, vt. Tampuu et al., 2021) ka kasutust, kui selleks on vajadus. Olemasolevate mäeeraldiste osa on vaja ja võimalikult täpselt eraldada üldisest statistilise metsainventuuri (SMI) osast. Praegusest tootmisest n.ö ajaloolise tootmise hulka enam alasid ei lisandu. Tootmisalad väljuvad mäeeraldiste koosseisus korrastatud ja korrastatuks tunnistatud seisus vastavalt kaevandamisloas sätestatud tingimustele. Kuni uuemaid *on-site* emissioonifaktoreid ei ole, on otstarbekas seni kasutatud Eesti-põhiste väärtuste kasutamine.

Ajalooliselt turba kaevandamiseks kasutatud aladel võib vajadusel jätkata SMI alusel, samas on võimalik Eesti Geoloogiateenistuse poolt läbiviidud revisjoni alusel ja lihtsa geoinformaatilise kontrolliga need alad ka konkreetselt piiritleda ja seejärel määrata heite ja/või sidumise klassidesse sõltuvalt nende hetkeseisust (nt. metsastunud, soostunud, lausalise taimkatteta). On oluline, et kõik kunagised turba kaevandamise kohad, mis on korrastatud, juhul kui nad seovad, toodaks statistikasse sisse ja tegeliku süsinikuvoo väärtustega ja kuuluks *on-site* arvestusse. Looduslikult taastunud alade eristamine on võimalik kaugeire abil (taimestumist ja taimestiku iseloomu - samblad, tarnad, pilliroog, puistu - näitavate indeksite ning LIDAR taimkattemudeli kaudu).

Kaudse emissiooni määramisel tuleb Eestis kaevandatud turbast esmalt maha lahutada siseriiklik küttureturba tarbimine ning eksporditud küttureturvas (Rootsi ja Soome) ja seejärel aiandusturbana kasutatava turba osas tuleb järgnevalt maha lahutada kogused, mis tegelikkuses ei lagune (kasvusubstraat mis viiakse turvasmulda, nt. metsakonteinertaimed turvasmuldadele istutamiseks) ja jääb pikaajaliselt talletatuks mulla orgaanilise süsinikuna. Küttureturba kaudse emissiooni puhul on kohane kohese lagunemise (*instant oxidation*) meetodika rakendamine ehk heitkoguse arvutamine võiks jätkuda vastavalt praegusele meetodikale.

Samuti tuleb vältida kasvuturba topeltarvestust, kus esmalt arvestatakse kaevandatud aiandusturvas täielikult süsihappegaasina lendunuks, kuid reaalsuses jõuab nii metsa- kui viljapuutaimede, köögiviljaistikute, ilutaimede kui ka jääkturbana põllumuldadesse, kus kompenseerib intensiivse maaharimise käigus kaotatud süsinikku ja talletub mulla stabiilse orgaanilise süsiniku fraktsioonina.

Aiandusturba otsekasutus on lühiajaline (3 kuud - 3 aastat, keskmiselt 1 aasta ja vahetu kasutamise käigus on süsinikukadu 2% aasta kohta algsest substraadi turba orgaanilise süsiniku sisaldusest).

Sarnaselt käesolevale uuringule tulemustele, kus kasvuturba otsekasutusel on süsiniku kadu 0.9-16% algsest süsinikusisaldusest, keskmiselt kasutusaega arvestades 2%, on Cleary et al., 2005 Kanadas turvapõhise substraadi puhul kasutanud keskmiseks aastaseks lagunemismääraks 5%. Seejuures tõdevad autorid, et tegelik vahemik esimesel aastal on 0-6%, üksikutel juhtudel ka ligi 10%, aga kõrgemad väärtused on seotud sellega, et kasvuturvas on sel juhul substraadis segatud teiste orgaaniliste ühenditega (nt. kompost) ja turba ning komposti osakaalu eristamine lagunemisel pole enam võimalik. Samuti ei käsitle Cleary et al., 2005 uuring kasvusubstraadi pikaajalist lagunemist ja turbas oleva süsiniku muundumist kui see on kasutamise järel viidud mulda (maastikukujundus, ettekasvatatud taimed mulda istutatuna, jääksubstraadi kasutamine mullaparandajana). Seega kõik need lagunemismäärad vastavad toote (kasvusubstraat) vahetule substraadina kasutamise aegsele lagunemise määrale, mitte hällist hauani ehk *cradle to grave* meetodil hinnatavale lagunemismäärale. Sharma et al., 2024 ja Sharma and Roulet, 2024 (*Carbon Management, in press*) uusimad uuringud viitavad hällist hauani lagunemismääraks 0.6% kasvuturba süsinikus aastas.

Ka Jaapanis läbi viidud uuringus Murayama et al., 2012 leidis, et turvapõhine kasvusubstraat laguneb sõltuvalt lämmastikusisaldusest ja koostisest (turbasambla-, turbasambla-tarna ja tarnaturvas) 1.8-3,7% aastas ning substraadile mineraalse komponendi või õlgede lisamisel suureneb turbaseguse substraadi lagunemise kiirus 9-11%-ni aastas. Seejuures turba puhul lagunemise mahust moodustab peamise osa ligniin, mida on substraadis massilt kõige enam, aga samas on see aeglasemini lagunev osa substraadist. Kõige kiiremini laguneb aga sahhariidide rühm turvapõhises substraadis, mida on aga seda vähem mida enam on substraadis hästilagunenud turvast. Nisuõlgedest laguneb substraadis aga aastaga ligi 77%. Seega kompostlisandiga substraatide kasvuhoonegaaside (peamiselt CO₂ kujul) emissioon on kõrgem kui ainult turbal põhinev kasvusubstraat.

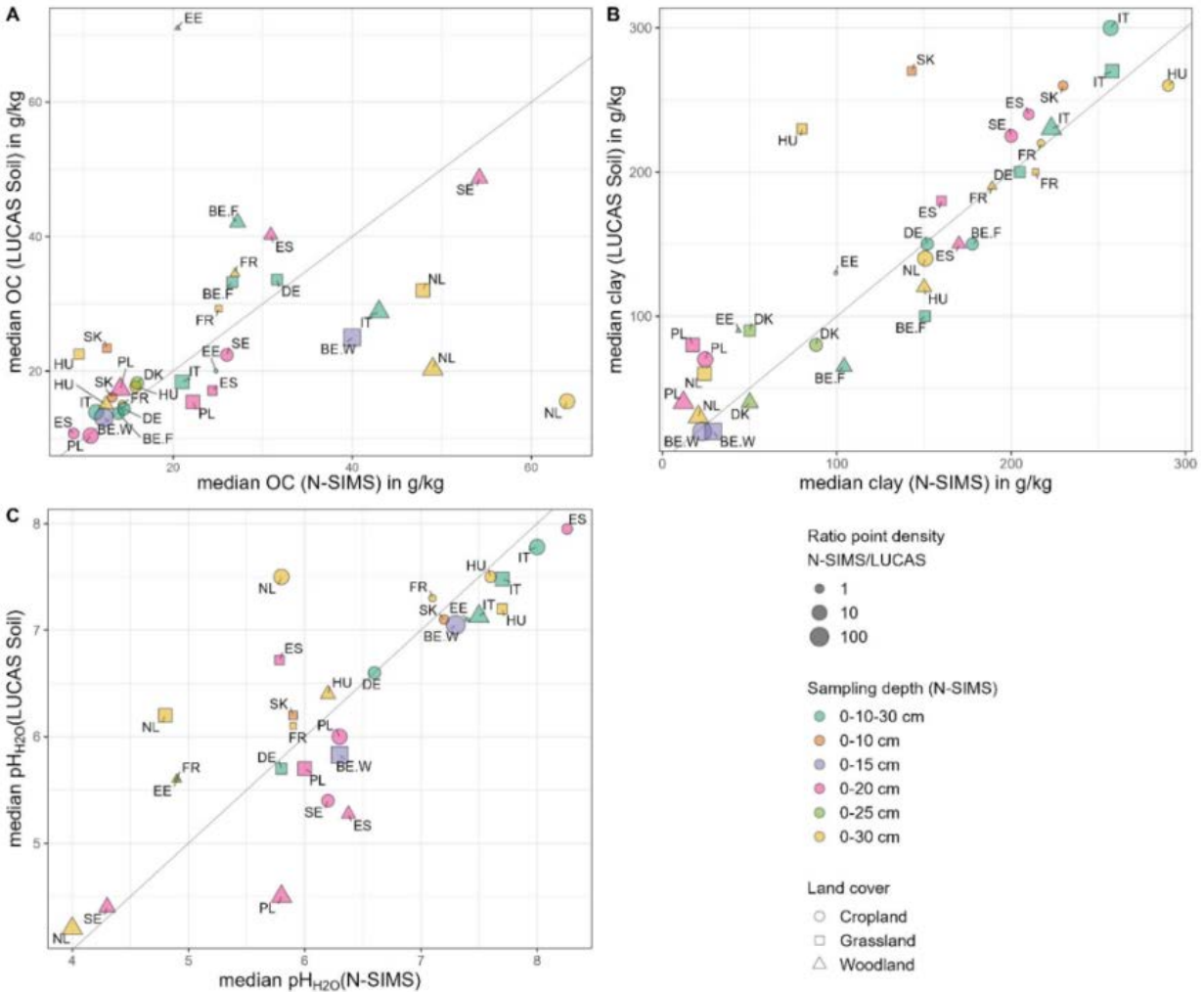
Istiku turbapalli või jääksubstraadina ettekasvatuspeenrast mulda tagasi liikudes ei kaasne siseriikliku kasvuturba tarbimisega süsinikuvaru vähenemist vaid jääkturvas (ja turbas sisalduv orgaaniline süsinik) muutub orgaanilise lisandina mulla orgaanilise varu sisendiks sarnaselt varisele, haljasväetisele ning maa-alusele biomassile. Lisandunud turvas (peamiselt suurfarmidel loomade allapanuturba näol, deklareeritud orgaanilise väetise/sõnnikuna) on eelnevate kümnendite jooksul (peamiselt 1960-1990 perioodil) Eesti põllumuldade süsinikuvaru juba tõstnud (Loide, V. & Edesi, L., 2021) ja suurel määral seniajani lagunemata.

Põllu- ja metsamulda viidud jääkturvas (ja orgaanilise väetise/sõnniku koosseisus allapanuturvas) kajastub juba nii mullasüsinikuvarus kui ka pindalapõhises põllumajandusliku maa kui metsamaa heiteteguris - tegemist on tavapärase majanduspraktikaga ja kõik põllumajandusmaa- ning metsamaaga seotud gaasivoogude hinnangud kaudselt sisaldavad pindalapõhises heitearvutuses (konteinertaimede turbapall, viljapuu- ja ilutaimede istikute turbapall, köögiviljaistikute turbapall või jääkturvas mullaparandajana/sõnniku koosseisus) mulda lisandunud turba süsinikku ja selle väga aeglast lagunemist (Kauer ja Astover, 2024; Hyvonen et al., 1996; Karhu et al., 2012).

100 a vaates võib lugeda lagunematu jäägi (29%) turba algsest süsinikusisaldusest hinnanguliselt stabiilseks mulla huumushorisondi orgaanilise süsiniku osaks (Kauer ja Astover, 2024). Seda ei ole alust heiteks arvestada kuna tegemist on orgaanilise lisandi/sisendi (turvas, jääkturvas pärast taimekasvatamist, jääkturvas komposteeritud orgaanilise jäätme koosseisus) lisandumisega ja muutumiseks huumushorisondi osaks (pakseneb huumushorisont ja suureneb org C sisaldus kuni loodusliku tasakaaluseisundi saavutamiseni vastavalt kliima- ja lähtekivimi omadustele ning

maaharimis/kasutusvõtetele). Lagunematu stabiilne lisanduv süsinik huumushorisonidile (29% algsest turba orgaanilisest süsinikust) on modelleeritud RothC mudeliga vastavalt Eesti kasvuturba omadustele (Kauer ja Astover, 2024: Tabel 1, EMÜ org C määrang), Eesti kliimatilistele andmetele ning Eesti haritava maa mullaomadustele (eeskätt saviosakeste sisaldus, mis on olulisim org C varu säilimist mõjutav tegur mullas). Seega antud tulemus on vastav kasutamiseks Tier 3 tasemel hinnagute koostamisel. Tegemist on pigem konservatiivse hinnanguga kuna EMÜ poolt määratud turba org C väärtus on madalam kui 4 labori keskmine väärtus ja sisend on seega hinnatud madalamaks. Üle-euroopaliseks kasutamiseks põhiliste sihtturgude kontekstis (Holland ja Saksamaa, 43% viimase 5 aasta Eestist eksporditud turba sihtkohad) võib kasutada sarnast lagunemata jääki (29%) kuna tegemist Põhja-Euroopa piirkonnaga. Alternatiivselt konservatiivse hinnanguna võib kasutada RothC mudeli vaikeväärtustega modelleeritud tulemust (13-15,2%) kuni peamiste sihtriikide tegeliku kliima ja mullastiku alusel on tulemused modelleeritud. Kindlasti on 13-15,2% lagunemata jääki turba orgaanilisest süsinikust Euroopa sihtturgude osas konservatiivne hinnang kuna see identne Rootsi pikaajalise katse tulemustega (Hyvonen et al., 1996; Karhu et al., 2012), aga seal katses kasutatud turba lagunemismäär oli oluliselt kiirem (Rootsis IROC = 65,2%, mis vastab pigem sõnniku/orgaanilise väetise lagunemise määrale IROC = 49,2-68.9% (Peltre et al., 2012) kui Eesti turba IROC = 87,4% väärtusele (Kauer ja Astover, 2024).

Ka eksporditud aiandusturba puhul jõuab nii köögiviljakasvatuse (Eesti eksporditavast turbast üle 82%), ilutaimede ja puuistikute ning maastikukujunduse käigus turbas olev süsinik mulda. Põhiliste sihtriikide muldades talletatav jääkturba süsinikuvärru vajab edaspidi sarnasel viisil modelleerimist kui Kauer ja Astover 2024 viisid läbi Eestis, kuid arvestades põhiliste sihtriikide (Holland, Belgia, Saksamaa, Prantsusmaa, Hispaania, Hiina, Poola, Türgi) intensiivset põllumajandusliku maa kasutust, on sealsed mullad süsiniku looduslikust foonist ja Eesti põllumuldade süsinikusalduse tasemest oluliselt madalamad (LUCAS, 2018; Froger et al., 2024) ning jääkturba või kasvuturba süsiniku mullas talletumise potentsiaal kõrge (joonis 24).



Joonis 24. LUCAS üle-euroopalise mullaandmebaasi ja riiklike seireprogrammide mulla orgaanilise süsiniku, savisisalduse ja mulla happesuse vastavus ning kasutatavus talletatava jääkturba modelleerimise alusandmestikuna (LUCAS, 2018; Froger et al., 2024).

Eestist on alates 1990. aastast eksporditud turvast 25 milj t. reaaliiskuse ja massi juures ja see on jätkuvalt suurel määral talletunud sihtriikide põllumullas mulla süsinikuvaruna. Kaevandamise mahus vastab see hinnanguliselt 15-20 milj tonnile õhkkuivale (40% tingniiskus) turbale. Sarnaselt Eestile tuleb ka eksporditud kasvuturba puhul arvestada, et taimede ja istikutega põllumulda viidud (jääk)turvas osaliselt laguneb ja lenduvad kasvuhoonegaasid arvestatakse pindalapõhiselt ning seega toimub topeltarvestus.

Tier 3 tasemel heite arutamise puhul oleks süsinikuringe seisukohast objektiivsem kasutada aegsõltuvat oksüdatsiooni kuna turba lagunemine on looduslikult väga aeglane protsess, aastase lagunemise määraga 0.6-1.7% algsest süsinikuvarust (Hyvonen et al., 1996; Karhu et al., 2012; Sharma et al., 2024; Sharma and Roulet, 2024). Sel juhul oleks arvestus paremini vastavuses ka reaalse maakasutuse ning kaevandamisalade korrastamisega seotud süsinikuvoo hindamise ajaraamistikuga. Samas toob sedalaadi arvestus endaga kaasa võimaliku vastutuse hajumise ja varasemal ajal kaevandatud ning mulda jõudnud, kuid mittetäielikult lagunenud turbaga seotud heitekogusete hindamise probleemi.

Kokkuvõte

Euroopa Liit on seadnud eesmärgiks saavutada aastaks 2050 kliimanetraalsus, millesse peavad panustama kõik sektorid. Tulenevalt Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrusest 2018/841 (edaspidi LULUCF määrus) lisatakse maakasutuse ja metsanduse sektor, kuhu kuuluvad ka majandatavad märgalad ning turba tootmine, Euroopa Liidu energia- ja kliimapolitiika raamistikku ning antud sektori tegevustest tuleneva kasvuhoonegaaside (KHG) heite üle hakkab senise andmete raporteerimise asemel toimuma KHG-vähendamise riikliku kohustusega seotud rangem arvestussüsteem.

Eesti on maailmas üks juhtivatest aiandusturba ja kasvusubstraatide tootjaid ning eksportijaid. Majandusharu ja ekspordivõimekuse säilitamiseks on oluline aiandusturba tootmisega kaasneva heite täpsem hindamine ning vähendamine ringmajanduse ja säästva süsinikuringe põhimõtete ning uute praktikate juurutamise kaudu. Käesoleva uuringu eesmärk on selgitada välja, Eesti kasvuturba kasutusvaldkonnad, sihtriigid ning kasvuturba järelkasutus. Samuti uuriti eksperimentaalselt nii laboris kui substraadi kasutajate juures kasvuturba kasutamisega kaasnevat süsinikusisalduse muutust, biomassi produktsiooni ning substraadi kasutamisega kaasnevat kasvuhoonegaaside heidet. Mõõtmistulemuste alusel täpsustati peamiste kultuurigruppide lõikes kaudseid kasvuhoonegaaside emissioone ning hinnati võimalusi jääksubstraadi kasutamiseks minimaalse kasvuhoonegaaside heitega ning ringmajanduse põhimõtetest lähtuvalt.

Eestis kaevandatud aiandusturba väärimine algab turba sõelumisest ja fraktsioonideks jagamisest ning sellele järgneb täiendav väärimine lisanditega, millest mahult olulisemad on paisutatud perliit, puidukiud, liiv ja savi, lubiaine, kookuskiud ja kompost. Eestis valminud turbatoodetest moodustab valmis kasvusubstraat ligikaudu ühe neljandiku. Oluline osa kasvuturbast eksporditakse sõelutud ja lubiainega neutraliseeritud freesturba ehk nn baassubstraadina.

Uuringu tulemusena selgus, et Eestis toodetud aiandusturba põhiline kasutus leiab aset väljaspool tootjariiki. Suurimad kasvuturba sihtriigid on Euroopa Liidu liikmesriigid kuid kiiresti kasvab Hiina osakaal ning olulised importijad on ka Türgi ning Maroko.

Valdav osa (82%) eksporditud kasvuturbast leiab kasutamist köögiviljakasvatuses. Sellest tulenevalt jõuab suur osa kasutatud turbast ka istikute või jääkturbana uuesti põllumulda, kus see asendab intensiivse põllumajanduse käigus kahanenud mulla süsinikuvaru. Eksporditud kasvuturba kasutus köögiviljakasvatuseks on suurim Hiinas ja Vahemeremaades, lisaks köögivilja kasvatamisele on oluline Eestist pärit kasvuturba kasutus ka ilutaimede ja puuistikute kasvatamiseks Hollandis ning Saksamaal ja Suurbritannias seente kasvatamine.

Eestis moodustab olulise osa suve- ja püsililled, vilja- ja ilupuude ning põõsaste kasvatamiseks kasutatav turvas, aga ka haljastuseks ning metsataimede kasvatamiseks kasutatav kasvuturvas.

Kasvuturba otsekasutus on lühiajaline ja selle käigus tekkiv emissioon on tagasihoidlik. Süsinikukadu toimub peaaegu täielikult süsihappegaasina, metaani ja naerugaasi emissioon on ebaoluline. See on heas kooskõlas ka teiste varasemate uuringutega. Kõige suurem emissioon kaasneb hästi aereeritud tingimustes kasvatatavate köögiviljade ja ajatatavate sibullilledel puhul, aga nende kasvatamise periood on väga lühike ja seega otsekasutuse ajal summaarne emissioon tagasihoidlik.

Kaudse emissiooni (*off-site* emissioon) arvestuse puhul on oluline silmas pidada, et põhiline süsiniku lendumine kasvuhoonegaasidena toimub kasvusubstraadi järelkasutuse käigus. Järelkasutuse peamiseks viisiks nii Eestis kui eksporditurgudel on jääksubstraadi vahetu või komposteerimisjärgne viimine põllumulda.

Oluline osa kasvusubstraadist läheb põllumulda ka vahetult köögiviljataimede juurepalliga või konteineritaimede ja –istikutena ning kasvuturvas muutub mullastiku osaks. 100 a vaates võib lugeda mulda lisandunud lagunematu jäägi (29%) turba algsest süsinikusisaldusest hinnanguliselt stabiilseks mulla huumushorisoni orgaanilise süsiniku osaks. Seda ei ole alust heiteks arvestada kuna tegemist on orgaanilise lisandi/sisendi (turvas, jääkturvas pärast taimekasvatamist, jääkturvas komposteeritud orgaanilise jäätmekoosseisus) lisandumisega ja muutumisega huumushorisoni osaks (pakseneb huumushorison ja suureneb org C sisaldus kuni loodusliku tasakaaluseisundi saavutamiseni vastavalt kliima- ja lähtekivimi omadustele ning maaharimis/kasutusvõtetele).

Kasvuturba kaudse emissiooni arvestamisel tuleb tähelepanu pöörata, et (metsa)taimedega turvasmulda viidavat kasvusubstraadi osa ei arvestataks heite hulka kuna turvas- ja turvastunud mullas kasvusubstraadi süsinikusisaldus ei muutu erinevalt ümbritsevast keskkonnast.

Aiandusturba otsekasutus on lühiajaline (3 kuud - 3 aastat, keskmiselt hinnanguliselt kuni 1 aasta ja vahetu kasutamise käigus süsinikukadu ligi 2% aasta kohta algsest substraadi turba orgaanilise süsiniku sisaldusest). Istiku turbapalli või jääksubstraadina ettekasvatuspeenrast mulda tagasi liikudes ei kaasne siseriikliku kasvuturba tarbimisega süsinikuvaru vähenemist vaid jääkturvas (ja turbas sisalduv orgaaniline süsinik) muutub orgaanilise lisandina mulla orgaanilise varu sisendiks sarnaselt varisele, haljasväetisele ning maa-alusele biomassile. Aastate jooksul põllumulda lisandunud turvas (peamiselt suurfarmidel loomade allapanuturba näol, deklareeritud orgaanilise väetise/sõnnikuna, vähem kasvuturbana taime ja mullaparandajana) on eelnevate kümnendite jooksul (peamiselt 1960-1990 perioodil) Eesti põllumuldade süsinikuvaru juba tõstnud (Loide, V. & Edesi, L., 2021) ja suurel määral seniajani lagunemata. Põllu- ja metsamulda viidud jääkturvas kajastub juba nii mullasüsinikuvarus kui selle aastatevahelises muutuses, seega ka pindalapõhises (mulla)süsinikuvaru muutuse järgi arvatavas põllumajandusliku maa kui ka metsamaa heites - tegemist on tavapärase majanduspraktikaga ja kõik põllumajandusmaa- ning metsamaaga seotud gaasivoogude või mulla süsinikuvaru hinnangud kaudselt sisalduvad pindalapõhises heitearvutuses. Konteineritaimede turbapall, viljapuu- ja ilutaimede istikute turbapall, köögiviljaistikute turbapall või jääkturvas mullaparandajana ja sõnniku koosseis on mulda lisandunud turbana ning tõstnud selle süsinikuvaru ja selle väga aeglast lagunemist (Kauer ja Astover, 2024; Hyvonen et al., 1996; Karhu et al., 2012) kajastab ka mulla süsinikuvaru muutus kui täiendavat orgaanilist lisandit mulda tavapärase maakasutuse puhul ei lisata.

100 aasta vaates võib lugeda lagunematu jäägi (29%) turba algsest süsinikusisaldusest hinnanguliselt stabiilseks mulla huumushorisoni orgaanilise süsiniku osaks (Kauer ja Astover, 2024). Seda ei ole alust heiteks arvestada kuna tegemist on orgaanilise lisandi/sisendi (turvas, jääkturvas pärast taimekasvatamist, jääkturvas komposteeritud orgaanilise jäätmekoosseisus) lisandumisega ja muutumisega huumushorisoni osaks (pakseneb huumushorison ja suureneb org C sisaldus kuni loodusliku tasakaaluseisundi saavutamiseni vastavalt kliima- ja lähtekivimi omadustele ning maaharimis/kasutusvõtetele). Lagunematu stabiilne lisanduv süsinik huumushorisonile (29% algsest turba orgaanilisest süsinikust) on modelleeritud RothC mudeliga vastavalt Eesti kasvuturba omadustele, Eesti kliimatilistele andmetele ning Eesti haritava maa mullaomadustele (eeskätt saviosakeste sisaldus),

mis on olulisim mulla orgaanilise süsiniku varu säilimist mõjutav tegur mullas. Lagunematu jäägi tulemus on sobilik kasutamiseks Tier 3 tasemel hinnangute koostamisel. Tegemist on pigem konservatiivse hinnanguga kuna EMÜ poolt määratud turba org C väärtus on madalam kui 4 labori keskmine väärtus ja sisend on seega hinnatud madalamaks. Üle-euroopaliseks kasutamiseks põhiliste sihturgude kontekstis (Holland ja Saksamaa, 43% viimase 5 aasta Eestist eksporditud turba sihtkohad) võib kasutada sarnast lagunemata jääki (29%) kuna tegemist Põhja-Euroopa piirkonnaga. Alternatiivselt konservatiivse hinnanguna võib kasutada RothC mudeli vaikeväärtustega modelleeritud tulemust (13-15,2%) kuni peamiste sihtriikide tegeliku kliima ja mullastiku alusel on tulemused modelleeritud. Kindlasti on 13-15,2% lagunemata jääki turba orgaanilisest süsinikust Euroopa sihturgude osas konservatiivne hinnang kuna see identne Rootsi pikaajalise katse tulemustega (Hyvonen et al., 1996; Karhu et al., 2012), aga seal katses kasutatud turba lagunemismäär oli oluliselt kiirem (Rootsis IROC = 65,2%, mis vastab pigem sõnniku/orgaanilise väetise lagunemise määrale IROC = 49,2-68.9% (Peltre et al., 2012) kui Eesti turba IROC = 87,4% väärtusele (Kauer ja Astover, 2024).

Pikemas perspektiivis on oluline kasvuturba kaudse emissiooni raporteerimisel jõuda olukorrani, kus süsinikuheide arvestatakse tarbija juures (sarnaselt nt. vedelkütustega). See tagab tarbija vastutuse ja looduskasutuse seisukohast suunab tõhusamalt tarbijavastutust ning –valikuid. Kriitiliste valikute ja poliitiliste otsuste tegemisele aitaks kaasa põhjalikum kasvuturba elutsükli analüüs, mis peaks praeguse hällist värvani või hällist kasutuse lõpuni meetodi asemel hõlmama hällist hauani kestust meetodi valikul.

Kuna mitte kogu kasvuturvas ei lagune, on Eestist eksporditud kasvuturvas jätkuvalt suurel määral talletunud sihtriikide põllumullas mulla süsinikuvaruna. Samas on see deklareeritud Eestis kohese (instant oxidation) meetodil heiteks ja üle-euroopaline kumulatiivne viga tulenevalt ainuüksi Eestis aiandusturba tootmisest ja ekspordist ning kasutamisest teistes sihtriikides on hinnanguliselt 15 milj t CO₂ ekv, mis on märkimisväärne kogus ja väärrib kindlasti tähelepanu. Seejuures oluline osa sellest kasvuturbast on jätkuvalt Euroopa Liidu mullas talletunud mulla orgaanilise süsinikuna ilma, et oleks saanud emissiooniks ning kajastub vastavate riikide tavapärase põllumajanduspraktika osana ja mulla süsinikuvaru muutuse positiivses arvestuses.

Riikliku kasvuhoonegaaside heite raporteerimisel on oluline silmas pidada, et sõltuvalt kaevandamise mahust, väljastatavatest uutest kaevandamislubadest võib aastate jooksul Eestis kaevandatud aiandusturba keskmine orgaanilise süsiniku sisaldus muutuda sõltuvalt sellest kas kaevandatakse enam vähelagunenud või hästilagunenud turvast. Lisaks on oluline tähelepanu pöörata kaevandatava aiandusturba ligniini, hemitselluloosi ja tselluloosisalduse määramisele, et Tier 3 taseme arvutustes täpsemalt hinnata tegelikku turba lagunemise kiirust. Mida kõrgem on Eestis kaevandatud kasvuturba ligniinisaldus, seda aeglasemalt substraat laguneb ja enam jääb orgaanilist süsinikku püsivalt mulla huumuse osaks, mida ei tohiks deklareerida heitmena.

Kasutatud kirjandus

Raamatud, artiklid ja trükised

Albert, T. 2018. Taimehaiguste põhitüübid välistunnuste alusel. Rápina Aianduskool.

Astover, A. ja Leedu, E., 2017. Mulla ABC. II osa. Mulla orgaaniline aine. 11 lk.

Blok, C. 2018. Reflections on the world's need for growing media for food and quality of life in the period 2020-2050. IPS 50th Anniversary Jubilee, Rotterdam.

Blok, C., Eveleens, B., van Winkel, A. 2021. Growing media for food and quality of life in the period 2020-2050. *Acta horticulturae* 1305, 341-355. Doi: 10.17660/ActaHortic.2021.1305.46.

Blok, C., Beerling, E., Barbagli, T. and Eveleens, B. 2024. Renewable Raw Materials for Growing Media. Basic data for the Environmental Impact of Potting Soil and Substrates Agreement. Report WPR-1354, Project number: 3742 3636 00, DOI: <https://doi.org/10.18174/673902>

Cleary, J., Roulet, N.T. and Moore, T.R. 2005. Greenhouse Gas Emissions from Canadian Peat Extraction, 1990–2000: A Life-cycle Analysis," *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 34(6), 456-461. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-34.6.456>

Eljas-Taal, K., Mikheeva, O., Doranova, A., Beckers, D., Väljaots, K., Hein, T. 2019. Ringmajanduse strateegia koostamise meetodika väljatöötamine. Lõpparuanne. Technopolis Group.

Fraile-Robayo, RD., Álvarez-Herrera, JG., Reyes, AJ., Álvarez-Herrera, OF and Fraile-Robayo, AL., 2017. Evaluation of the growth and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a closed recirculating hydroponic system. *Agronomía Colombiana* 35(2), 216-222

Foster, D., Swanson, F., Aber, J., Burke, I., Brokaw, N., Tilman, D. & Knapp, A., 2003. The importance of land-use legacies to ecology and conservation. *Bioscience*, 53: 77-88

Froger et al. 2024. Comparing lucas soil and national systems: Towards a harmonized European Soil Monitoring Network. *Geoderma*, 449, 117027. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.117027>

Gavilanes-Terán, I.; Jara-Samaniego, J.; Idrovo-Novillo, J.; Bustamante, M.A.; Moral, R.; Paredes, C. Windrow composting as horticultural waste management strategy—A case study in Ecuador. *Waste Manag.* 2016, 48, 127–134.

Granado-Castro MD, Galindo-Riaño MD, Gestoso-Rojas J, Sánchez-Ponce L, Casanueva-Marenco MJ, Díaz-de-Alba M. Ecofriendly Application of *Calabrese* Broccoli Stalk Waste as a Biosorbent for the Removal of Pb(II) Ions from Aqueous Media. *Agronomy*. 2024; 14(3):554

Growing Media Europe. 2021. Growing Media Environmental Footprint Guideline V1.0. GME, Brussels.

He, H., Roulet, N.T. Improved estimates of carbon dioxide emissions from drained peatlands support a reduction in emission factor. *Commun Earth Environ* 4, 436 (2023). <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01091-y>

Hortweek. 2024a. Peat view from four Chelsea growers. <https://www.hortweek.com/peat-view-four-chelsea-growers/ornamentals/article/1873868>

Hortweek. 2024b. Peat-free 'sudden nutrient depletion' alarm raised. <https://www.hortweek.com/peat-free-sudden-nutrient-depletion-alarm-raised/retail/article/1871572>

Hu, C.H.; Zuo, A.Y.; Wang, D.G.; Pan, H.Y.; Zheng, W.B.; Qian, Z.C.; Zou, X.T. Effects of broccoli stems and leaves meal on production performance and egg quality of laying hens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2011, 170, 117–121.

Hyvönen, R., Agren, G.I., Andren, O. 1996. Modelling Long-Term Carbon and Nitrogen Dynamics in an Arable Soil Receiving Organic Matter. *Ecological Applications*, 6(4), 1345-1354.

Ingram, J.S.I. and Fernandes, E.C.M., 2001. Managing carbon sequestration in soils: concepts and terminology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 87(1), 111-117, ISSN 0167-8809, [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00145-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00145-1).

Kauer, K. ja Astover, A. 2024. Turba potentsiaal mulla süsinikuvaru suurendamiseks. Aruanne. Töövõtuleping 8-2/41. Tellija: MTÜ Turbaseminar.

Karhu, K., Gärdenäs, A.I., Heikkinen, J., Vanhala, P., Tuomi, M., Liski, J. 2012. Impacts of organic amendments on carbon stocks of an agricultural soil – Comparison of model-simulations to measurements. *Geoderma* 189–190, 606–616. doi:10.1016/j.geoderma.2012.06.007.

Kitir, N., Yildirim, E., Şahin, Ü., Turan, M., Ekinci, M., Ors, S., Kul, R., Ünlü, H., Ünlü, H. 2018. Peat Use in Horticulture. In: *Peat* (Topcuoğlu, B. & Turan, M. eds). IntechOpen, London. Pp 75-90. Doi:10.5772/intechopen.69565

Komilis, D.P and Ham, R.K. 2006. Carbon dioxide and ammonia emissions during composting of mixed paper, yard waste and food waste. *Waste Management*, Volume 26, Issue 1, Pages 62-70, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.12.020>.

Küttim, M., Hansen, K., Küttim, L. 2021. Eesti ringmajanduse tulevikupotentsiaali ja vajalike meetmete uuring. *Metsa- ja puidutööstus*. 1–37.

Lee, J. and Heekwon, A. 2023. "Mitigating Carbon Emissions: The Impact of Peat Moss Feeding on CH₄ and CO₂ Emissions during Pig Slurry Storage" *Applied Sciences* 13, no. 18: 10492. <https://doi.org/10.3390/app131810492>

LUCAS, 2018. Fernandez-Ugalde, O; Scarpa, S; Orgiazzi, A.; Panagos, P.; Van Liedekerke, M; Marechal A. & Jones, A. LUCAS 2018 Soil Module. Presentation of dataset and results, EUR 31144 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2022, ISBN 978-92-76-54832-4, doi:10.2760/215013, JRC129926

Ma, Y., Woolf, D., Fan, M. et al. Global crop production increase by soil organic carbon. *Nat. Geosci.* 16, 1159–1165 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01302-3>

Major, D. G., Schaalje, G. B., Asrar, G., & Kanemasu, E. T. (1986). Estimation of Whole-Plant Biomass and Grain Yield from Spectral Reflectance of Cereals. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 12(1), 47–54. <https://doi.org/10.1080/07038992.1986.10855096>

Manns, HR. and Berg, AA. 2014. Importance of soil organic carbon on surface soil water content variability among agricultural fields, *Journal of Hydrology*, Volume 516, 297-303. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.11.018>

- Manns HR., Parkin, GW., and Martin, RC. 2016. Evidence of a union between organic carbon and water content in soil. *Canadian Journal of Soil Science*. 96(3): 305-316. <https://doi.org/10.1139/cjss-2015-0084>
- Maucieri, C., Barco, A., & Borin, M. (2019). Compost as a Substitute for Mineral N Fertilization? Effects on Crops, Soil and N Leaching. *Agronomy*, 9(4), 193. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040193>
- Murayama, S., Asakawa, Y. and Ohno, Y. 1990. Chemical properties of subsurface peats and their decomposition kinetics under field conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.* 36, 129–140. <https://doi.org/10.1080/00380768.1990.10415717>
- Nguyen, V., Barbagli, T., Blok, C. 2024. Growing Media Market by 2050: A framework for projecting Raw material Demand and Availability and preliminary results. 22nd Baltic Peat Producers Forum, Birštonas, Lithuania, 18-20 September 2024.
- Nielsen, C.K., Elsgaard, L., Jørgensen, U. and Lærke, P.E., 2023. Soil greenhouse gas emissions from drained and rewetted agricultural bare peat mesocosms are linked to geochemistry, *Science of The Total Environment*, Volume 896, 165083, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165083>.
- Niklasch, H. and Joergensen, R.G. 2001. Decomposition of peat, biogenic municipal waste compost, and shrub/grass compost added in different rates to a silt loam. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 164: 365-369. [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200108\)164:4<365::AID-JPLN365>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200108)164:4<365::AID-JPLN365>3.0.CO;2-Y)
- Oldfield, E. E., Bradford, M. A., and Wood, S. A., 2019. Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields, *SOIL*, 5, 15–32, <https://doi.org/10.5194/soil-5-15-2019>
- Orru, M., Orru, H. 2003. Kahjulikud elemendid Eesti turbas. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Paoli, R., Feofilovs, M., Kamenders, A. and Romagnoli, F., 2022. Peat production for horticultural use in the Latvian context: sustainability assessment through LCA modeling, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 378, 134559, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134559>.
- Pipes, G.T. & Yavitt, J.B. 2022. Biochemical components of Sphagnum and persistence in peat soil. *Can.J.SoilSci.*102:785–795. | [dx.doi.org/10.1139/CJSS-2021-0137](https://doi.org/10.1139/CJSS-2021-0137)
- Petkowicz, C.L.O.; Williams, P.A., 2020. Pectins from food waste: Characterization and functional properties of a pectin extracted from broccoli stalk. *Food Hydrocolloids*, 107, 105930
- Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). 2018. Circular Economy: What We Want to Know, and What We Can Already Measure – Framework and Baseline Assessment for Monitoring the Progress of the Circular Economy in the Netherlands. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Pärnamäe, K., 2024. Punase ristiku allakülvi mõju nisu saagile ja kvaliteedile. Bakalaureusetöö, Eesti Maaülikool. <http://hdl.handle.net/10492/8964>
- Rialtas..., 2019. <https://www.npws.ie/sites/default/files/general/peat-horticultural-industry-consultation-paper-en.pdf>
- Rozental, V. 2012. Eesti turbatööstuse ajalugu 1960-2012. In: Eesti Turbatööstuse Ajalugu (Toim. Kään, T. ja Niitlaan, E). In Nomine, Tallinn.

Schmilewski, G. 2003. Fine-tuning growing media with additives – an introductory overview. In: Peat in Horticulture. Additives in Growing Media (Schmilewski, G. ed.). Proceedings of the International Peat Symposium, Amsterdam. Pp 6-10.

Schmilewski, G., 2008. Einsatzgebiet und Zusammensetzung prägen die Güte /Qualitätskontrolle und -sicherung haben Priorität. Der Gartenbau 4 / 8, 2-4.

Sharma, B., Moore, T.R., Knorr, KH. et al. Horticultural additives influence peat biogeochemistry and increase short-term CO₂ production from peat. Plant Soil (2024). <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06685-9>

Smith, P. 2014. Do grasslands act as a perpetual sink for carbon? Global Change Biology, 20: 2708-2711.

Stichnothe, H., 2022. Life cycle assessment of peat for growing media and evaluation of the suitability of using the Product Environmental Footprint methodology for peat. Int J Life Cycle Assessment 27(12): 1270-1282, DOI:10.1007/s11367-022-02106-0

Suojala, Leena. 2023. Peat as an bedding material ensuring animal health, animal welfare and public health. Baltic Peat Producers Forum, 9-11 August 2023, Tallinn, Estonia.

Tampuu, T., Praks, J., Kull, A., Uiboupin, R., Tamm, T. and Voormansik, K., 2021. Detecting peat extraction related activity with multi-temporal Sentinel-1 InSAR coherence time series. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 98, ARTN 102309. DOI: 10.1016/j.jag.2021.102309.

Van der Sloot, M., Kleijn, D., De Deyn, G.B., Limpens, J. 2022. Carbon to nitrogen ratio and quantity of organic amendment interactively affect crop growth and soil mineral N retention. Crop and Environment, 1 (3), 161-167.

Vandecasteele, B., Blindeman, L., Amery, F., Pieters, C., Ommeslag, S., Van Loo, K., & Debode, J. (2020). Grow-Store-Steam-Re-peat: Reuse of spent growing media for circular cultivation of Chrysanthemum. Journal of Cleaner Production, 276, 124128.

Veeken, A. H. M., & Hamelers, H. V. M. 2003. Design methodology for sustainable organic waste treatment systems. Paper presented at ORBIT 2003, Biological Processing of Organics.

Verhagen, J., van den Akker, J., Blok, C., Diemont, H., Joosten, H., Schouten, M., Schrijver, R., den Uyl, R., Verweij, P. and Wösten, H. 2009. Peatlands and carbon flows. Outlook and importance for the Netherlands. Climate change. Scientific assessment and policy analysis. Report 500102 022. <https://edepot.wur.nl/457986>, P. 52.

Andmebaasid

Eesti Statistika. Statistikaamet. Stat.ee [jaanuar-mai 2023]

Eesti Teaduse Infosüsteem. Etis.ee [jaanuar-august 2023]

Eesti Turbaliidu aastastatistika 2021.

Eesti Turbaliidu aastastatistika 2022.

Inforegister. <https://www.inforegister.ee/> [jaanuar-juuni 2024]

Maavarade koondbilanss 2012-2022. [jaanuar 2023]

Taimetervise register. <https://www.riha.ee/Infos%C3%BCsteemid/Vaata/ttr> [väljavõtted 22.-27.02.2023]

Veebilehed

Grüne Fee. <https://grynefee.ee/> [november 2023]

Keskkonnaagentuur. Ilmateenistus. <https://www.ilmateenistus.ee/> [august 2023]

Neova Group. <https://www.neova-group.com/fi/tuotteet/aktiivihiiili/> [august 2023]

Lisad

Lisa 1. Taimekasvatavate küsitlusuuringu küsimustik

1. Milliseid taimekultuure ja kui suures koguses te (aasta jooksul keskmiselt) turbasubstraatidel kasvatate?
2. Kui suures koguses te ühe aasta jooksul turbasubstraate kasutate?
3. Kas ostate turvast ja/või turbasubstraati mõnelt Eesti tootjalt otse või edasimüüjate kaudu?
4. Milliste omadustega turvast kasutate (hästi- või vähelagunenud; pH; lisa-ained jne)?
5. Kui kaua ja mis tingimustes kasvuturvas enne istutamist seisab?
6. Kui pikk on taimekasvuperiood ehk kui kaua taim keskmiselt substraadis kasvab (esmasest külvist turustamiseni)?
7. Mis on kasvuhoonete sisetemperatuur ja õhuniiskus?
8. Kui suur osa kasutatavast substraadist jääb ettevõttes järgi ja kui palju liigub taimega tarbijani kaasa?
9. Kui taimi ei turustata koos substraadiga, siis mida te järgi jäänud substraadiga edasi teete?
10. Mis on peamised tegurid, mis takistavad turbasubstraadi korduvat kasutamist?

*Küsimustiku sisu varieerus mõnevõrra vastavalt kasvatatavatele kultuuridele.

Lisa 2 Artikkel Riigikogu Toimetistes

Küttim, M., Kull, A. 2023. Kasvustraatide, sh aiandusturba roll kaasaegses toidutootmises ja selle võimalikud alternatiivid. Riigikogu Toimetised 48, 157-166. (https://rito.riigikogu.ee/wordpress/wp-content/uploads/2023/12/157-166_Uuring-K%C3%BCttim.pdf)

Lisa 3 Artikli käsikiri

[Kull, A., Küttim, M. Extraction of horticultural peat and national greenhouse gas inventory methodology in Estonia. \(link käsikirjale\)](#)

Lisa 4 Konverentsiettekannete loend

1. Küttim, M., Kull, A. (2023). A study concept: The use of horticultural peat in Estonia and its actual carbon dynamics. Abstracts: Nordic-Baltic Workshop on Greenhouse Gas Exchanges and Carbon Cycling in Managed Peatlands. Vindeln, Sweden. 12.-15.06.2023. Swedish University of Agricultural Sciences.
2. Kull, A., Küttim, M. (2023). (Re)using horticultural peat in Estonia. A study on current practices, potential for circularity and GHG fluxes. Baltic Peat Producers Forum 2023, 9-11 August 2023, Tallinn, Estonia.
3. Kull, A., Küttim, M. (2023). Aiandusturba kasutamine ja taaskasutamine Eestis. Eesti Turballiidu Aastaseminar. 23.11.2023 Tallinn, Estonia.
4. Kull, A., Küttim, M. (2024). Peat's carbon life-cycle. First results. 22nd Baltic Peat Producers Forum 2024. Birštonas, Lithuania. 18.-20.09.2024.