



LÜHIARTIKKEL: EESTI MULDKATTE HUUMUSSEISUND JA KESKKONNAHOIDLIK MAJANDAMINE

SHORT COMMUNICATION: HUMUS STATUS OF ESTONIAN SOIL COVER AND ITS ENVIRONMENT PROTECTIVE MANAGEMENT

Raimo Kõlli

Eesti Maaülikool, põllumajandus ja keskkonnainstituut, mullateaduse õppetool, Fr. R. Kreutzwaldi 5, 51006 Tartu

Saabunud: 12.11.2022
Received:
Aktsepteeritud: 29.12.2022
Accepted:
Avaldatud veebis: 31.12.2022
Published online:
Vastutav autor: Raimo Kõlli
Corresponding author:

E-mail: raimo.kolli@emu.ee

ORCID: 0000-0002-7725-3757

Keywords: Soil Deal for Europe, soil cover of Estonia, pedocentric approach, flux of organic carbon through the soil cover, humus status of soil, carbon farming, pedodiversity and soil biodiversity.

DOI: 10.15159/jas.22.32

ABSTRACT. In the framework of the European mission “Soil Deal for Europe” ambitious tasks have been load to the whole European Union and forming its states in the field of carbon management. Departing from pedo-ecological conditions of Estonia, the pros and cons of the European Union's plans about carbon farming are treated. By the principles of pedocentric approach the soil humus status and carbon farming technologies are soil type specifics and should be utilized in the most detailed as possible soil taxonomic unit, for which by Estonian soil classification are soil species and soil varieties. Thanks to gathering during large scale (1:10,000) soil mapping in earlier time data and proceeding later field experiments in Estonia there are relatively good databases on soil humus status for all most dominated soil species and/or varieties by different land use conditions (arable, grass- and forest lands). The main available quantitative characteristics on soil humus status (expressed via carbon) are concentration (g C kg^{-1}) and superficial densities (Mg C ha^{-1}) of organic carbon given by soil species and their genetic horizons in above-named third land use conditions. Besides that, these data have been calculated (1) separately for humus cover (humipedons) and subsoil layers and (2) as well in relation to layers with certain thickness (30, 50 and 100 cm). As a qualitative index of humus status, the humus cover types (humus forms) have been elaborated separately for arable soils and for being in natural state soils. As the carbon concentration in arable soils depends mainly on contents of clay particles, watering conditions and calcareousness, was possible to elaborate for all dominating arable soils three humus (and carbon) concentration levels: scarce, optimal and excess, which are needed for choice of suitable to soil conditions agro technology. There is a declared serious shortage of knowledge on composition of soil organisms' societies by soil types and on syn- and autecology of their functioning.

© 2022 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2022 Estonian Academic Agricultural Society.

Muldkatte roll süsinikumajanduses

Seoses Euroopa Liidu (EL) ambitsioonika kliimapolitiikaga on liikmesriikidele pandud suured lootused maastike süsinikuringe reguleerimise osas. Otsitakse otstarbekaid lahendusi eesmärgi – suurendada süsinikuvarusid muldkattes – täitmiseks. Atmosfääri CO₂ süsiniku sidumine lagunemisele vastupidava huumuse koosseisus muldkattes on oluline samm kliima-neutraalsuse saavutamisel. Lisaks on mulla orgaaniline süsinik (OS) mullatervise indikaator.

Euroopa üldistusena on leitud, et haritavate mineraal-muldade OS koguaru väheneb aasta keskmisena 0,1–0,4% mulla OS kontsentratsiooni pöördumatu vähenemine tõttu. Orgaanilise süsiniku kadu muldkattest loodetakse leevendada või vältida muldade potentsiaalselt OS sidumis-võimest lähtuva taastava põllumajanduse põhimõtete juurutamisega. Üheks teejuhiks seoses ökosüsteemide muldkatete OS kadudega on missiooni „Euroopa mullakokkuleppe“ raames arendatav süsiniku majanduse programm (EC, 2021a, 2021b). "Euroopa mullakokkuleppe" eesmärk on saavutada mulla hea



seisund kooskõlas rohelise kokkuleppega kliima, elurikkuse, nullsaaste ja kestlike toidusüsteemide valdkonnas. Euroopa Komisjoni (EK) järgi on see roheline ärimudel, mis peaks innustama maavaldajaid rakendada muldkatte omadusi parandavaid tehnoloogiaid suurendades OS sidumist biomassi, mortmassi ja mulda ning vähendades CO₂ emissiooni atmosfääri. Peale haritavate maade süsinikuringe korrastamise juhitakse tähelepanu suurtele OS varude kaotustele kuivendatud turbamuldadest ja metsamuldade suuremale süsinikukoguse akumuleerimisvõimele võrreldes põllumuldadega.

Euroopa Komisjoni strateegia järgi on kestlike süsinikuringete reguleerimise võteteks metsastamine ja taas-metsastamine; agrometsandus ja segapõllumajandus; püüde- ja vahekultuuride kasvatamine; mulla OS sisalduse suurendamine; turbaalade ja märgalade taastamine; põllumaa sihipärane muutmine kesaks ning tootmisest kõrvale jäetud maa muutmine püsirohumaaks (EK, 2021a). Kõik mistahes pedo-ökoloogilistele tingimustele sobivad muldade majandamise võtted, peaks lähtuma muldade degradatsiooni vältivatest mullakaitse põhimõtetest.

Euroopa Liidu plaanide kriitilistes analüüsid avaldatakse kahtlusi süsinikumajanduse suhtes, kuna mulla OS sidumine on sageli pöörduv (mittekestev) nähtus (European Commission, Directorate-General ..., 2021). Kriitikute sõnul on orgaanilise päritoluga süsiniku stabiilsesse (mullas pikka aega säilivasse) olekusse muutmine raskesti juhitav ja selle mõõtmine keerukas (Appunn, 2022). Seega on komplitseeritud nii sellele protsessile hinnangu andmine kui ka rohepesu võimaluste vältimine. Muldkatte OS sisalduse määramise teeb keerukaks selle suur varieerumine ajas ja ruumis ning võimalikud vead mullaproovide võtmisel (FAO, 2019). Selgusetu on ka erinevate määramismeetodite sobivus muldkatte OS sisendite ja väljundite sertifitseerimisel. Euroopa Komisjoni arvates saab muutumisi adekvaatselt hinnata alles 3–5 aasta möödudes. Vigade ja pettuste vältimine OS muldkattes sidumise kohta vajab asjakohast seiret, aruandlust ja muutuste tõestamist. Kriitikute arvates tuleks süsiniku põllumajanduse sertifikaatide turu loomise asemel kasutada rohkem alternatiivseid põllumajanduse kliimajälge vähendavaid strateegiaid (liigse väetamise vältimine, veetaseme tõstmine turbamuldades, kariloomade arvukuse optimeerimine jt.). Sobivaks peetakse ka kultuuride mitmekesistamist, liblikõieliste kasvatamist, agro-metsanduse arendamist ja püsirohumaade kasutuse laiendamist.

Paraku tuleb tõdeda, et nii EK kui kriitikute väljapakutud võtted ei ole universaalselt kasutatavad erinevate regioonide muldkatete kohta, kuna need soovitusel on tehtud erinevate (sageli vaid domineerivate) tingimuste tasemelt. Tegelikult sõltub EK kohustuste rakendamine süsinikuringe regulatsiooni osas ikkagi konkreetse koha detailsetest pedo-ökoloogilistest tingimustest (EK, 2021b; Rodrigues jt, 2021). Seega on otstarbekas, et liikmesriigid korrigeeriks probleemi

lahendamise teid lähtuvalt kohalikest oludest. Keskkonnaseisundile sobivat süsinikuringe regulatsiooni tuleks teha võimalikult detailsel mulla elementaar-areali või taksoni tasemel ning toetudes kohalikele mullastiku-uurimise andmebaasidele, ühiskonna vajadustele ja regioonis omandatud praktilistele kogemustele. Taoline muldkeskne (*pedocentric*) käsitlus on ka kohalike loodusressursside otstarbeka kasutamise ja kaitse alus.

Alles väljatöötamise ja praktikas katsetamise järgus on praegu ka Euroopa mullakokkulepet ja süsinikku siduvat majandamist toetavad tegevused nagu süsinikku siduvate majandamistavade tutvustamine, ühiste hindamisviiside väljatöötamine, süsiniku eemaldamise sertifitseerimine ning rahastamine põhimõtete ("saastaja maksab") arendamine. On tervitatav, et plaanides on kavandatud suur hulk tegevusi ühiskonna teadlikkuse tõstmiseks süsinikumajanduse alal millisteks on korrapärane teabevahetus, konverentsid, maavaldajate teadmiste suurendamine sihipäraste nõustamis-, andme- ja seireteenuste kaudu, laborite võrgustiku ja kliimateadliku põllumajanduse näidisvõrgustiku rajamine jms. Juriidilisest aspektist on kavandatud vastavasisulise ekspertrühma tööle rakendamine, süsiniku eemaldamise sertifitseerimist käsitleva EL-i õigusraamistiku väljatöötamine ning EL-i standardite kasutusele võtmine kasvuhoonegaaside heite ja süsiniku eemaldamise seireks, aruandluseks ja tõendamiseks.

Nähtub, et EL-i plaanid maastike süsinikuringe suunamise osas on ambitsioonikad ja ehk isegi ülemäära optimistlikud. Meie arvates ei saa väljapakutut võtta kui revolutsioonilist muudatust mullaressursside majandamises. Pigem oleks hakatuseks vaja teha regioonipõhine tagasisaade ja siiaamaani tehtu kriitiline analüüs süsinikuga seotud küsimustes, et selgitada mitte ainult kitsaskohad vaid tuua esile ka positiivsed suundumused. Uued arendused peaksid lähtuma senini edukalt tehtu raamidesse, võttes arvesse olemasolevad süsinikuga seotud andmebaasid. Ei saa õigeks pidada fokuseerimist vaid süsinikule, kuna ei tohiks tähelepanu jätta toidu tootmist, kogukonna eluolulist keskkonda ja rahalist tasuvust, kuna ökoloogiliselt õige muldade majandamisega kaasneb ka keskkonnale soodne süsinikuseisund.

Muldade huumusseisundi hindamine muldkattekaudse orgaanilise aine voo alusel

Muldkattekaudne süsiniku ringe väljendub huumusseisundis, mis hõlmab muldkatet läbiva orgaanilise aine (OA) voo kõigi põhiliste lülide seisundi ja talitluse. Orgaanilise aine (ja selles sisalduva OS) voo saab alguse uue OA sisendist muldkattes, jätkub selle muundumise ja lagunemisega mullaelustiku toimel ning lõpeb OA mineraliseerumise või stabiilsete huumuse moodustumisega. Iga OA voo lüli talitus on sellele järgnevate talitluste eeldus. Orgaanilise aine voo ei ole valdavalt lineaarne, vaid enamasti mitmekülgsest hargnev ainevoogude võrgustik. Nii agro- kui metsaökosüsteemides võib OA voo olla oluliselt mõjutatud inimese majanduslikust tegevusest ehk OA

voogusid on võimalik inimtegevuse kaudu reguleerida, juhtides neid meile sobivas suunas.

Muldkatet läbivas OA voos eristub kaks teineteisest talitlemise poolest oluliselt erinevat faasi. Esimene faas realiseerub ökoloogiliste või bioloogiliste protsesside läbi, teine aga füüsikalise-keemilise ja mehhaaniliste mõjutuste kaudu. Orgaanilise aine voo esimene ehk bioloogiline faas on eluliselt tähtis auto- ja heterotroofse produktiivsuse aspektist, kuna sellest sõltub nii ökosüsteemi füto-(taimne-)produktiivsus, kui ka OA lagunemise dünaamika muldkattes. Ainevoo teise faasi mulla OA, mis koosneb mullaelustiku ekskrementidest, lagunemisele vastupidavatest taimse ja loomse varise osistest ja stabiilsest huumusest, on taimede ja mulla-elustiku talitlemiseks sobivate õhu-, vee-, hapendustandus- ja soojusrežiimide kujundaja. Ainevoo teisest faasist sõltub mulla neelamismahutavus, puhverdamise võime ja ökosüsteemi talitlemiseks sobiva mullareaktsiooni kujunemine. Mõlemas faasis toimuvat OA voo kulgu on põhimõtteliselt võimalik reguleerida otstarbekohase maakasutustehnoloogia abil. Mulla OA voos võib esineda ka tagasipöörded. Näiteks võib teatud osa stabiilsest OA-st uuesti lülitada bioloogilistesse protsessidesse.

Omandatud kogemused Eesti muldkatete huumusseisundi majandamise kohta

Eesti andmebaasid muldkatete huumusseisundi kohta näitavad, et muldade OA majandamist tuleks teha muldkeskselt, lähtudes võimalikult detailse taksoni (mullaliigi ja/või mullaerimi) tasemelt. Seoses mullaomaduste olulise erinevusega vajavad eraldi käsitlust haritavad (põllu-, metsa- ja rohumaamullad. Ühte huumusseisundi uurimise valimisse ei ole õige segamini ühendada kontrastsete omadustega muldasid ning ammugi mitte segamini turvas- ja mineraalseid muldi. Küll aga on praktika seisukohalt otstarbekas käsitleda põllu-, rohuma- ja metsamuldade huumusseisundit geneetiliselt sarnaste mullagruppide lõikes, kuna grupis olevad mullad võivad omadustelt ja talitlemiselt olla üksnes vähesel määral erinevad.

Muldkatte OA sisalduse kontsentratsioonid ja varud võivad olla kalkuleeritud, kas kuiva OA-na või OA-s sisalduva OS või energia alusel. Käesolevas töös käsitletakse huumusseisundit OS kaudu, kuna erinevate mullahorisontide (metsakõdu, huumushorisont, turvas) OS kontsentratsioonid on suurel määral erinevad. Mullaliigi huumusseisundi kvantitatiivseteks põhinäitajateks on huumuskatte erinevate horisontide OS kontsentratsioonid kuiva mullapeenese ($\emptyset < 1$ mm) kohta (g OS kg^{-1}) ja OS varud pindalaühiku kohta (Mg OS ha^{-1}), antuna teatud kindla mullahorisondi või erinevate tüsedustega mullakihtide lõikes. Orgaanilise süsiniku varud on arvatud OS kontsentratsiooni ja mahukaalu alusel, millest on lahutatud muldkatte koresega täidetud ruumala (%-des). Täiendavateks huumusseisundit kajastavateks näitajateks on üldlämmastiku (N) hulgad (kontsentratsioon ja varu) ning C:N suhe. Orgaanilise aine voo dünaamikat iseloomustab (1) sisend muldkattes aastavarise (uue OA) näol

($\text{Mg OS ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), (2) varise lagunemise/humifitseerumise määr (väljendatuna kas koefitsiendina või graafiliselt) ning (3) väljund CO_2 -na või vees lahustunud OA-na ($\text{Mg OC ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Erosiooniohtlikel aladel on arvesse võetud ka ümberpaigutunud ja/või alkohohalt eemaldatud OS kogused.

Huumusseisundi mõju produktiivsusele näitab ökosüsteemi fütomassi pindtihedus (Mg OS ha^{-1}), antuna võrreldavuse huvides (1) agroökosüsteemides teatud kindla kultuuri (oder) suhtes, (2) looduslikes rohumaa ökosüsteemides mullaomadustele kohandunud taimekooslustes ja (3) eelvalminud või küpsetes metsades, takseerimisnäitajate poolest võimalikult sarnastes puistutes. Agro- ja rohumaaökosüsteemide aastafütoproduktiivsus (AFP) ehk primaarse (taimse) biomassi aastatoodang ($\text{Mg OS ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) on arvatud fütomassi pindtiheduse alusel, liites sellele aasta jooksu lagunenud/varisenud fütomassi koguse ning lahutades ületalve säiliva osa, mis puudub üheaastastel kultuuridel. Metsade AFP hindamisel on metsaökosüsteemi kogu AFP-st eristatud pikaks ajaks (60–90 aastaks) puu tüvedesse akumuliseerunud fütomass, selle tüvepuudu koguse kasvatamiseks vajatavad võrastiku oksad (keskmise elueaga 10–15 aastat) ning ühe aasta jooksul juurde kasvanud okkad okaspuudel ja lehed lehtpuudel. Samas ei ole võimalik metsa kasvatada ilma juurestikuta, alusmetsata ja alustaimestikuta, mis kõik kaasnevad nii puutüvede fütomassile kui ka selle AFP-le kasvukoha mulla viljakusest (mulla metsakasvatustlikest omadustest) sõltuvates kogustes.

Eesti muldkatte huumusseisund sõltuvalt maakasutuse viisist ja mulla liigist

Eesti muldade klassifikatsioonis on eristatud kokku 67 normaalselt ja 42 anormaalselt arenenud mulla liiki. Nendest sobib vähemalt rahuldaval tasemel põllumaana kasutamiseks vastavalt 24 ja 11 mullaliiki. Eesti piirkondades, kus põlluharimiseks sobivaid muldasid ei ole piisavalt, on kasutusele võetud kuivendatud märjad mullad. Taoliselt oleks võimalik kasutada ca 13 mineraal- ja 4 turvasmulla liiki. Aastakümneid kestnud mullaomadusi arvestavas maakasutuses on üldreeglina haritavateks põllumaadeks valitud piirkonna kõrgema viljakusega valdavalt parasniisked mineraalmullad.

Eesti parimateks põllumuldadeks ehk nn ideaalmuldadeks on teralis-tompja struktuuriga neutraalsed või nõrgalt happelised tüseda huumuskattega (28–35 cm) bioloogiliselt aktiivsed huumusrikkad kerge ja keskmise liivsavi lõimisega mullad, milliste alusmuld on ligikaudu meetri ulatuses hea vee ja õhu läbilaskvuse ning mahutavusega vähese koresesisaldusega karbonaatsed liivsavid. Geneetiliselt on taolisteks muldadeks normaalse arenguga leostunud ja leetjad mullad. Praktiliselt samasuguste omadustega on ka nimetatud mullaliikide kuivendatud gleistunud (ehk niisked) varianid. Haritava maana kasutamiseks sobivad võrdlemisi hästi ka väheste puuetega Põhja-Eesti rähksed (puudeks on koreserikkus) ja Lõuna-Eesti kahkjad (puudeks on ülagleistumine ja/või madal pH) mullad. Samas ei ole loetletud puuded ja ka ajutine liigniiskus (mida näitab

gleistumine) üldsegi negatiivse mõjuga metsakasvatuse puhul. Näiteks on kahkjad mullad Eesti kõige produktiivsemad metsamullad.

Eesti eri paikade parimad põllumullad on mullatekkestingimustest sõltuvalt vähemal või suuremal määral erinevad. Eesti mullastiku uurimise tulemusena eristatud 116 agro-mikrorajooni mullastikud erinevad üksteisest mullaliikide ja -erimite koosseisu ehk mullakoosluste, piirkonna viljakamate mullaerimite ning huumus seisundi poolest (EPP 1974). Mullaliikide(-erimite) loikes saab eristada suurema või vähema mõjuga nii põllupidamist kui ka metsakasvatust mõjutavaid puudeid, mis pärsivad ühtlasi ka süsinikuringeid. Enamlevinud puueteks haritavatel maal on tugevasti koreseline või kerge löimis, ebasobiv veerežiim (liigniiskus ja põuakartlikkus), vähene huumuse sisaldus (kontsentratsioon ja varu), mullaerimite tugev kontrastsus ja erosiooni-ohtlikkus. Metsakasvatust loetletud puuded eriti ei takista, kuigi võivad vähendada produktiivsust. Ratsionaalse muldkeskse maakasutuse võtmeks on mullaomadustest lähtuv maa-ala kasutus, mille puhul on arvestatud nii sobivust kultuuridele ja puuliikidele, kui ka viimaste nõudlust kasvutingimuste suhtes. Pedoökoloogiliselt otstarbekohane maakasutus tagab ka prima muldade kaitse.

Ökosüsteemide OS ringet muldkatte osas iseloomustab tema sisendite ja väljundite vahekord. Tasakaalustunud ringega looduslikes ökosüsteemides on need kaks suunda ligikaudu võrdsed või vaid vähesel määral nende kahe keskmisest erinevad. Mõnel aastal võib olla OS sisend suurem, teinekord aga väljund suurem, kuid paljuaastate keskmisena on nad ikkagi ligikaudu võrdsed. Samas võivad ökosüsteemide fütomassi pindtihedused ($Mg\ OS\ ha^{-1}$) OS tasakaalustunud sisendi/väljundi (1:1 suhte) korral olla suurtes piirides erinevad. Tasakaalustunud aineriingega ökosüsteemides kaasneb suurema aastasisendiga tavaliselt ka suurem väljund. Tasakaalustumatus sisendi/väljundi vahekorras esineb, ühelt poolt, muldkatte talitluse stagnatsiooni korral, kus sisend on suurem väljundist (sisend > väljund). Sellisteks muldadeks on mitte ainult rabamullad, vaid ka happelised turvastunud (turvastunud moor tüüpi huumuskattega) mullad. Seoses intensiivistunud mulla OA lagunemisega on suurem väljundi osakaal (sisend < väljund) omane kuivendatud glei-, turvastunud ja turvasmuldadele.

Looduslikes ökosüsteemides toimib OS sisendvoog praktiliselt ühe kanali kaudu, milleks on atmosfääri CO₂ arvel moodustunud fütomassi maapealsest ja -alusest varisest moodustunud surnud OA (mortmass). Vähesel määral võib mullaelustiku toiteahelatesse lisanduda OA-t ka juureeritiste näol. OS ringe väljund muldkattest võib olla, ühelt poolt, ökosüsteemi sisene, milleks on suhtelisel pikaaegne OS talletamine puurinde fütomassi ja inertse huumusena muldkattesse. Teiselt poolt on tegemist ökosüsteemist välja suunatud OS voogudega, milleks on heterotroofne hingamine varise lagunemise protsessis või lagunemise vaheproduktide leostumine muldkattest. Väljundiks on ka öko-

süsteemi taimkatte autotroofne hingamine, eemaldamine kas põllukultuuride saagiga või raietega metsades ja huumuse kadu erosiooni toimet.

Agro-ökosüsteemides võib AFP-st pärinevale varisele ja koristusjätmetele kui sisenditele lisanduda ka erineva päritoluga orgaanilised väetised. Süsinikuringe põllult eemaldatavateks komponentideks (väljunditeks) võivad teraviljade kasvatamisel olla nii terad kui põhk, kartuli kasvatamisel aga mugulad. Osa OS-st võib talletuda ka muldkattesse, kuid enamjaolt on see protsess tasakaalustunud ökosüsteemides siiski vaid pöörduv nähtus.

Tagasivaade Eesti põllumajandusliku maa muldkatte seisundi kohta

Kahel viimasel aastakümnel on Eesti põllumajanduslik tegevus järjest enam kaasajastunud, muutunud tehnoloogiliselt professionaalsemaks ja olnud majanduslikult edukas. Seda näitab põllukultuuride ja rohumade saagikuse kasv, loomakasvatuse kõrged produktiivsuse näitajad, kaasaegse masinapargi olemasolu ning maakasutajate asjakohane teadlikkus. Tänu interneti kaudu kergesti kättesaadavale 1:10000 digitaliseeritud mullastiku kaardile on järjepanu jõutud lähemale optimaalsele muldkesksele maakasutusele (Maa-uuritud, 2009). Maakasutuse korraldamisel on arvestatud nii mullaliikide sobivust erinevatele kultuuridele, kui ka vastupidi, igale kultuurile on leitud võimalikult parim mullastiku sobivust arvestav kasvukoht. Järjest enam on põllumeeste seas täppismaaviljeluse edendajaid.

Põhjust kurtmiseks pole ka maastike hea keskkonnan seisundi hoidmise osas (Lahmar jt, 2006). Erirežiime rakendatakse nitraaditundlikel ja erosiooniohtlikel aladel, turbamuldade kasutus haritava maana on viidud miinimumi, ammendatud karjäärade ja rajatistega piirnevatele aladele on rajatud tehismuldadid, endised madala viljakusega põllumullad on suures osas metsastatud ning põllumaade harimise kvaliteet ja rohumade käitlemise tase on kiitust väärivad. Mõödapääsmatult vajalik väetiste ja taimekaitsevahendite kasutamine on viidud kooskõlla kultuuride vajadusega. Väetiste ja kemikaalide hektarikoormused on Euroopa keskmistest tunduvalt madalamad, mida tõestavad ka nende üleriigiliselt tarnitud kogused. Kirjeldatud Eesti põllumajanduse peavoolu rikastavad ühelt poolt rikkalikud mahemaaviljeluse kogemused teiselt poolt aga võistlused suurte saakide nimel.

Mullaomaduste stabiilsuse suhtes eristub kolm muutumise astet (1) mullaliigi(-erimi) iseloomulike tunnuste kompleks on kestlikult püsiv omadus, (2) mullaliigi huumus seisundit iseloomustavad näitajad võivad muutuda perioodiliselt – mõne kuni 7–8 aasta jooksul ja (3) huumuskatte taimetoiteelementide ja humifitseerumata OA varud muutuvad pidevalt ehk igal aastal. Varasemat põllumuldade reepertaset kajastavad mudelprofiilid koos mullaliigile (erimile) iseloomulike tunnuste andmetega, millistest igäüks on koostatud mõnekümne üksikprofiili alusel. Eesti põllumul-

dade kohta on olemas enamlevinud püsi- ja perioodiliselt muutuvaid omadusi kajastavaid mudelprofiile kokku 50. Metsamuldade kohta on neid 27.

Sõltuvalt mulla lõimisest, veerežiimist ja karbonaatsusest on huumuskatte OS kontsentratsioonid mullaliikide kaupa erinevad (Kõlli, 1987). Lõimiste reas liiv-savi-liiv-savi-savi ehk l-sl-ls-s suureneb OS sisaldus parasiisketes muldades keskmiselt 2,3–3,5 g kg⁻¹ võrra. Niiskete muldade OS sisalduse suurenemised sama lõimiste rea kohta on 2,9–5,2 g kg⁻¹. Orgaanilise süsiniku sisaldus niiskete muldade huumuskattes on võrreldes parasiisketega 1,9–4,1 g kg⁻¹ võrra suurem. Huumuskatte karbonaatsusest ehk mulla reaktsioonist tingitud OS sisaldused parasiisketes muldades erinevad alates kahkjatest ja leetunud muldadest kuni rähksete muldadeni 5,8–6,4 g kg⁻¹ võrra. Kuna kõik mulla OS sisaldust mõjutavat faktorit (lõimis, veerežiim, karbonaatsus) on mullaliikide kaupa erinevad, saab huumusseisundi hinnangu ühele või teisele mullale anda mullaliigi alusel. Niiskete ja märgade muldade suurem OS sisaldus on tingitud suuremast humifitseerumata OA sisaldusest, millise lagunemine intensiivistub maade kuivendamisel. Samas viitab humifitseerumata OA suurenenud sisaldus OS ringe peetusele ehk stagnatsioonile.

Mulla OS varu (Mg ha⁻¹) kui olulise mulla huumusseisundit iseloomustava kvantitatiivse näitaja arvutamise aluseks on mullaliikide ja horisontide lõikes erinev OS kontsentratsioon. Orgaanilise süsiniku varu oleneb vastava kihi tusedusest, mahukaalust ehk lasuvustihedusest ja korese ruumalast. Nii horisontide tusedused, kui mahukaalud mõõdetakse reeglina tasakaalustunud olekus. Eesti muldasid iseloomustavates andmebaasides on huumusseisundi näitajad (OS kontsentratsioon ja varu) antud valdavalt mulla geneetiliste horisontide (sh huumuskatete) lõikes. Samas on need näitajad arvutatud ka kindla tusedusega (30, 50 ja 100 cm) mullakihtide kohta, et saada andmeid võrdlemaks teiste Euroopa regiooni muldade huumusseisunditega. Huumuskatte OS varud mullaliikide lõikes erinevad üksteisest sarnaselt nende OS kontsentratsioonidega, peegeldades seega erinevate muldade OS mahutusvõimet. Kuna varude erinevused on tingitud valdavalt mullakihi tusedustest, on huumuskatte OS varu üheks suurendamise võtteks selle tuseduse kasvatamine mullaharimise ja OA sisendi suurendamise kaudu.

Muldade OS sisaldusele (kontsentratsioon ja varud) pädeva hinnangu andmiseks on kvantiteedi kõrval vaja teada ka selle pedo-ökoloogilist kvaliteeti, mida näitab erineva detailsusega määratud mulla OA (ehk huumuse) fraktsiooniline koostis. Heaks integreeritud huumuskatte kvaliteedi näitajaks, mis võtab arvesse ka huumuse fraktsioonilise koostise, on huumuskatte tüüp (ehk huumusvorm), milliseid on Eesti põllumuldade huumuskatete klassifikatsioonis kümme tüüpi mineraal- ja kolm turvasmuldade kohta.

Eespool toodut arvestades, ei ole Eesti suhtes õigustatud traagilise pildi loomine muldade halvast (ebatervest) seisundist, mida nüüd laialt levinud arvamuse

kutsutakse taastama heasse seisusse (*sic!*). Tegelikult on aastakümneid kestnud töö tulemusel paranenud põllumuldade huumusseisund, füüsikalise-keemilised omadused ja eriti põlluharimise kvaliteet. Väetamine on reeglina orienteeritud aasta jooksul kulutatud taime tootelementide taastamisele, kasutades vajaduse korral pealtväetamist ja perioodilist lupjamist hoidmaks huumuskatte happesuse kultuuridele sobivas seisundis. Juurutatud on külvikorrad liblikõieliste rikka põldheinete seguga ning vahe- ja järel-kultuuride kasvatamine. Kasutatakse minimeeritud harimist selleks sobivatel muldadel ja otsekülve kõrrepõldu. Kuna paljudes Eesti regioonides ei jätku (või siis mõnedes regioonides on vaid vähesel määral) põllumajanduslikuks tootmiseks parasiisket muldasid, on piirkondliku põllumajanduse normaalseks toimimiseks olnud hädavajalik niiskete (gleistunud) ja märgade (glei- ja turvastunud) muldade kuivendamine. Seega on piirkonniti õigustatud nii kaasaegsete kuivendussüsteemide rajamine kui ka amortiseerunud süsteemide remont.

Euroopa kokkuleppeid arvestav edaspidine muldade majandamine

Euroopa Komisjoni poolt päevakorda võetud muldade hea seisundi tagamine on aga igati tervitatav, sest see on mitte ainult põllumajandusliku tootmise, vaid ka ümbritseva keskkonna hea seisundi tagamise alus (EU, 2022). Euroopa Komisjoni tegevussuunised muldade kohta (antuna Eesti suhtes prioriteetsuse järjekorras) on jägmised: senisest mahukam stabiilse OS konserveerimine muldkattes; muldkatte saastumise vältimine või vähendamine ning saastunud muldade tervendamine; muldade struktuursuse parandamine ja bioloogilise mitmekesisuse suurendamine; huumuskatte erosiooni vältimine; viljaka mulla rajatiste alla võtmise vähendamine ning rajatiste ja kaevanduste alt vabanenud alade rekultiveerimine; põllumajandusmaa kasvuhuonega side emissiooni osakaalu vähendamine. Õigustatult on peetud vajalikuks kasvatada ühiskonna teadlikkust muldade ülesehituse, omaduste ja talitlemise alal. Euroopa ulatuses tõsiseks probleemiks olevat maade kõrbestumist ja ka sooldumist Eesti oludes praktiliselt ei esine.

Mistahes mullaliigi OS kontsentratsiooni suurendamise võimaluste hindamisel tuleks lähtuda sellele mullaliigile omasest optimaalsest tasemest. Juhul kui OS sisaldus on alla liigile omase OS optimaalse kontsentratsiooni vahemikku, on kõrgema OS sisalduse saavutamine vähe kulunõudev ja reaalne. Kui aga olemasolev tase on optimaalse taseme ülemise piirini ulatuv või sellest isegi kõrgem on edaspidine OS kontsentratsiooni suurendamine komplitseeritud ja kulukas seoses mulla OS mahutusvõime täitumisega. Eestis on optimaalsed OS sisalduse alumised ja ülemised tasemed kalkuleeritud (kindlaks tehtud) 36 põllumulla erimi kohta.

Lähtudes Eesti pedo-ökoloogilistest tingimustest nähtub, et EK suuniste täitmise otstarbel oleks vaja selgitada ja analüüsida muldade huumusseisundiga seotud

probleeme. Eesti põllumajanduslikult kasutatava muldkatte oleva huumus seisundi ehk lähtetaseme selgitamiseks on digitaalne mullastiku kaart moodus 1:10000, mis võimaldab sedastada mistahes Eesti regiooni mullastiku koosseisu mullaliikide ja/või -erimite tasemel (Maa-uuringud, 2009). Aastakümnete kestel Eestis tehtud muldade uurimised on tõestanud teatud muutuste esinemist muldade huumus seisundis, sõltvalt kasutatud agro-tehnoloogiast, kuid samas mulla püsiosaduste (lõimis, profiilide ülesehitus jms) püsivust stabiilsetena (EPP, 1978, 1983, 1985a, 1985b). Seega saab väita, et mulla liigid (ja ka erimid) on valdavalt samad alates mullastiku suures mõõtkavas kaardistamise aegadest. Vähesed pindalaga muutused erandid on seotud (1) kuivendamise (turvastunud ja gleimullad muutuvad sarnasemaks gleistunud muldadega), (2) erosiooniga (suurenenud on erosiooni aste) ja (3) leedemuldade ülesharimisega (kuna nende asemele kujunevad leetunud mullad).

Muldade OA humifitseerumata ja stabiilseks muutunud osiste vahetõttu muutub seaduspäraselt alates parasniisketest (värsketest) muldadest turvasmuldade suunas, kuna selles suunas väheneb stabiilse huumuse osakaal ning suureneb humifitseerumata fraktsiooni osakaal. Põhiliselt on see tingitud intensiivse elutegevuse lakkamisest vee konserveeriva mõju ja hapniku juurde tuleku halvenemise tõttu mulla veerežiimide reas – parasniisked ehk värsked -> niisked ehk gleistunud -> märjad ehk glei- -> turvasmullad. Viimastes omakorda väheneb huumusainete osakaal alates hästilagunenud turvastest halvasti lagunenenud turvasteni. Niiskete ja märgade muldade kuivendamisel so. Õhusüste ja happesuse reguleerimise korral intensiivistub neil muldadel mullaelustiku OA-t lagundav tegevus koos heterotroofse hingamise ja CO₂ emissiooni intensiivistumisega.

Kahetsusväärne, et mulla OS rolli hindamisel on pööratud liialt vähe tähelepanu mulda läbiva OA voo bioloogilise protsessi käivitavale etapile. Selle etapi OA voo kulgemisest sõltub taimkatte järkjärguline varustamine toiteelementidega, mis vabanevad mulda sattunud värsketest varisest mullaelustiku talitlemise toimel. Seega enne mulla stabiilse (inertse) huumuse moodustumist, mõjutab mulla humifitseerumata OA nii saagi kujunemist (produktiivsust), kui ka mullaelustiku talitlemist ning väärivad senisest suuremat tähelepanu. Võrratult suurema tähelepanu on pälvinud bioloogilisest tööstusest järele jäänud mulla OA ehk stabiilne huumus, kuna sellest sõltub kestva säilivusega süsiniku akumulatsioon mulda. Loomulikult on ka inertsel huumusel oluline roll taimede ja mullaelustiku eluruumi moodustumisel, kuid ta ei ole otseseks energiaallikaks mullaelustikule ehk ei ole mullaelustiku poolt söödav. Küll aga on huumus tänu suurele neelamismahutavusele justkui taime toiteelementide akumulatsioon sahvri. Mullaelustiku liigirikkus sõltub ennekõike sellest osast mulla orgaanilisest ainest, mis on elustikule söödav ehk pole veel muutunud stabiilseks huumuseks. Seega sõltub mullaelustiku arvukus neile kättesaadava toidu olemasolust.

Tuleb tõdeda, et osa soovitud muldkatte süsinikmajanduse reguleerimise võtetest ei ole sobivad kasutamiseks Eesti tingimustes erinevatel tõestust leidnud põhjustel. Ennekõike tuleks nimetada põllumaa kesaks või püsirohumaaks muutmise soovitus, mis vähendab küll süsihappegaasi emissiooni, kuid viib alla (mustkesa puhul nulli) ka selle sidumise ökosüsteemi. Eesti kui metsarikka maa tingimustes ei oleks ehk õige rakendada agro-metsandust, kus põllukultuuride ja loomakasvatuse süsteemidesse on sissevõetud veel ka puittaimede kasvatamine.

Kokkuvõtteks

Euroopa Innovatsiooninõukogu toetab murranguliste tehnoloogialahenduste ja pöördeliste uuendustega seotud teadusuuringuid, nagu kestliku põllumajanduse laiendamine, kliimamuutustele vastupanuvõime suurendamine, lämmastiku- ja metaaniheidete vähendamine ning süsinikuvaru suurendamine mullas. Süsiniku siduva majandamise juurutamiseks aluseks on digitaalmetehnoloogia kasutamine selleks, et saada täpseid hinnanguid süsinikuheite ja süsiniku siduva majandamise kohta. Kestlike süsinikuringete saavutamiseks pakutakse maavaldajatele heite vähendamise ja süsiniku atmosfäärist eemaldamise suurendamise eest (kas ikka väärilist?) tasu usaldusväärse ärimudeli alusel, mis põhineb süsiniku eemaldamise sertifitseerimise andmetel. Loodetakse, et koos süsiniku siduvate muldade majandamise võtetega suureneb ökosüsteemide elurikkus ning ökosüsteemi poolt pakutavad hüved tasakaalustuvad muldade ülesehituse, omaduste ja talitlemise iseärasustega.

Süsiniku atmosfäärist eemaldamine ja olemasolevate süsinikuvarude kaitsevõtted varieeruvad sõltvalt biokliimatilistest ja lokaalsetest (topograafia, mullaliikide kooslus, maakasvatuse tavad) tingimustest. Eestis on valdavate mullaliikide kohta olemas võrdlemise detailne andmestik leviku, morfoloogia, füüsikalise-keemiliste omaduste, kasutussobivuse ja kaitse osas erinevate kasutusviiside (põllud, metsad, rohumaad) lõikes. Puudulik on aga andmestik mullaelustiku koosseisu ning nende aut- ja sünnökoloogia kohta. Üksnes mullaelustiku üldistest taksonoomilistest ja arvukuse andmetest ei piisa kaugeltki selleks, et kujundada süvendatud tasemel arusaamist muldade talitlemisest. Hädavajalik on regionaalsed mullaliigipõhised teadmised domineerivate organismikoosluste talitlemise kohta.

Mullaelustiku koosseis, mitmekesisus ja aktiivsus on otseselt sõltuvad nende energiatarvet rahuldava humifitseerumata OA (eelhumuse) olemasolust mullas. Liikide poolest rikkalikum ja arvukam mullaelustiku toitumishelate võrgustik saab eksisteerida vaid piisava energiaallika (toidu) olemasolu korral. Mida arvukam ja suurem talitluse mahu poolest on mullaelustik, seda rohkem vajatakse ka eelhumuse staadiumis olevat või juureeritiste kaudset orgaanilist ainet. Vajalik oleks saavutada mullaliigi ja kasvatatava kultuuri OS potentsiaalile vastav elustiku optimaalne (mitte maksimaalselt võimalik) arvukus ja liigirikkus. Tähtis on, et kõik mulla OA-ga seotud bioloogilised talitlemised saaksid

toimida järjekindlalt ja tõrgeteta. Mullaliigi põhine mullaelustiku mitmekesisus sõltub mitte niivõrd muld-katte kui terviku ülesehitusest, vaid ennekõike huumuskattest. Mullaliikidele omase elustiku mitmekesisus sõltub mullastiku mitmekesisusest, siis mullaliikide mitmekesisus sõltub omakorda maa-ala geoloogilisest mitmekesisusest.

Huvide konflikt / Conflict of interest

Autor kinnitab artikliga seotud huvide konflikti puudumist
An author declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Humus status of Estonian soil cover and its environment protective management

Raimo Kõlli

Estonian University of Life Sciences, Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Chair of Soil Science, 5 Fr. R. Kreutzwaldi St., 51006 Tartu, Estonia

Summary

In an introductory part of the work the mutual dependencies between humus cover and carbon farming is analysed. In the following introduction part the possibilities for characterization peculiarities of soils' humus status on the base of organic matter flux through the humus cover are treated. In the third part the acquired knowledge upon management of humus status of Estonian soils are acquainted. In the fourth subdivision of the article the dependence of soil covers' humus status from land use ways and soil species are analysed. For understanding the extent of changes in properties of agricultural areas' soil covers the earlier time soil characteristics are used. In the sixth subdivision is analysed the suitability of proposed by European Commission innovative agro-technologies in future land uses of Estonia. For conclusion, the role proposed by European Innovation Council supporting activities, the problems aroused with scarce knowledge upon soil living organisms and the dependence of soil organisms from pedodiversity and availability of energy for their acting is discussed.

Kasutatud kirjandus

- Appunn, K. 2022. Carbon farming explained: the pros, the cons and the EU's plans. – Clean Energy Wire. Factsheet, 14 pp.
- Eesti Põllumajandusprojekt [EPP] 1974, 1978, 1983, 1985a, 1985b. Eesti NSV mullastik arvude osad: I-1974, II-1978, III-1983, IV-1985a, V-1985b. – Eesti NSV PM & ATK, IJV, Tallinn.
- Euroopa Komisjon [EK] 2021a. ELi mullastrateegia 2030. aastaks Heas seisundis muld inimeste, toidu, looduse ja kliima hüvanguks. – Komisjoni teatis Euroopa Parlamendile, Nõukogule, Brüssel, 26 lk.
- Euroopa Komisjon [EK] 2021b. Kestlikud süsinikuringed. – Komisjoni teatis Euroopa Parlamendile ja Nõukogule, Brüssel, 26 lk.
- European Commission [EC] 2021a. A Soil Deal for Europe – 100 living labs and lighthouses to lead the transition towards healthy soils by 2030. – European Missions. Implemental Plan. Research and Innovation, 77pp.
- European Commission [EC] 2021b. Carbon economy : studies on support to research and innovation policy in the area of bio-based products and services. – DG for Research and Innovation, Publications Office, 384 pp. DOI: 10.2777/004098
- European Commission, Directorate-General for Climate Action, Radley, G., Keenleyside, C., Frelil-Larsen, A., McDonald, H., Pyndt Andersen, S., Qwist-Hoffmann, H., Strange Olesen, A., Bowyer, C. Russi, D. 2021. Setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU : technical guidance handbook. – Publications Office of the European Union, 154 p. DOI: 10.2834/056153
- European Union [EU] 2022. Restoring Nature: For the benefit people, nature and the climate. – Environment, 24 pp.
- FAO 2019. Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment (Ver 1). – Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. Rome, FAO. 170 pp.
- Kõlli, R. 1987. Pedoekoloģitšeskij analiz fitoproduktivnosti, biogeohimitšeskij potokov vestšestv i gumusnovo sostojanija v jestestvennõh i kulturnõh ekosistemah [Pedoecological analysis of phytoproductivity, biogeochemical cycling and humus sttus in natural and agroecosystems]. – DSc. (Biol.) theses. Institute of Soil Science and Agrochemistry, Novosibirsk, Russia, 553 p.
- Lahmar, R., de Tourdonnet, S., Barz, P., Düring, R.-A., Frielinghaus, M., Kõlli, R., Kubat, J., Medvedev, V., Netland, J., Picard, D. 2006. Prospects for conservation agriculture in northern and eastern European countries, lessons of KASSA. – In: Bibliotheca Fragmenta Agronomica, Book of proceedings: IX ESA Congress, 4-7 September 2006. Warszawa. (Eds.) M. Fotyma, B. Kaminska. – Pulawy - Warszawa, pp. 77–88.
- Maa-uuringud 2009. Eesti mullastiku kaart. – <https://geoportaali.maaamet.ee>
- Rodrigues, L., Hardy B., Huyghebeart, B., Fohrafellner J., Fornara, D., Barančíková G., Bárcena, T., Boever, M., Bene, C., Feizienė, D., Kätterer, T., Laszlo, P., O'Sullivan, L., Seitz, D., Leifeld, J. 2021. Achievable agricultural soil carbon sequestration across Europe from country-specific estimates. – Global Change Biology, 27:6363–6380. DOI: 10.1111/gcb.15897
- Panagos, P., Montanarella, L., Barbero, M., Schneegans, A., Aguglia, L. 2022. Soil priorities in European Union. – Geoderma Regional, 29:e00510. DOI: 10.1016/j.geodrs.2022.e00510