



TEHISMULLAD EESTI MULDADE KLASSIFIKATSIOONIS: NOMENKLATUUR, RAJAMINE JA ERINEVUSED-SARNASUSED NORMAALSELT ARENENUD MULDADEGA

TECHNOSOLS IN ESTONIAN SOIL CLASSIFICATION: NOMENCLATURE, ESTABLISHMENT AND DIFFERENCES-SIMILARITIES WITH NORMALLY DEVELOPED SOILS

Raimo Kõlli, Enn Leedu

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

Saabunud: 22.05.2022
Received:
Aktsepteeritud: 07.06.2022
Accepted:
Avaldatud veebis: 07.06.2022
Published online:
Vastutav autor: Raimo Kõlli
Corresponding author:

E-mail: raimo.kolli@emu.ee

ORCID: 0000-0002-7725-3757

Keywords: technogenic soil or technosol, bare ground or non-soil, humus cover, subsoil, parent material, establishment, productivity.

DOI: 10.15159/jas.22.22

ABSTRACT. Technogenic soils (TS) or Technosols are year 2022 soils of Estonia. In Estonian Soil Classification (ESC) totally 17 technogenic soil species is listed (Table 1). By way or mode of their forming or establishing almost four TS groups (formed on heaps of wastes, instead of removed soil cover, on mixed soil horizons with parent materials and buried soil covers) have been separated. In dominating cases by technological elaborating works much more than only humus cover are enfold. In the vertical profile of different development stages TS the humus cover, consisting from fine earth subsoil and parent material may be presented (or occur). In the work separately the formed on mineral and organic (mostly peats) origin parent material TS are treated. Among mineral TS by their moisture conditions the automorphic, moist and wet soils are distinguished. Among peaty TS the formed on fen (sapric) and bog (fibric) peats soils are prevailed. The main difference between grounds (non-soil) and TS is their functioning. The real TS is as sustainably functioning assemblage of soil and plant covers or soil-plant system. The concordance or matching of presented in ESC TS' taxa with World Reference Bases for Soil Resources (WRB) and Polish Soil Classification taxa was elucidated by comparable analysis. The distribution and forming of soils associations with normally developed soils and non-soils (grounds) is characterised by mean of excerpts from digitalized large-scale soil map (1:10,000) and schematic distribution maps. In the work as well the peculiarities of establishing technologies of mineral and peaty TS is treated.

© 2021 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2021 Estonian Academic Agricultural Society.

Sissejuhatus

Eesti aasta 2022 muld on tehismuld, mida leidub inimese tehislõike tegevuse kaasabil moodustatud muldkatete koosseisus. Üksnes huumuskatte piires muudetud muldasid ei peeta tehismuldadeks. Tehismuldakatte vertikaalses läbilõikes eristuvad huumuskatte (pealiskatt, epipedon), alusmuld (sisseuhte- või välja-sisseuhte horisontide kompleksid) ja lähtematerjal, mis võivad olla alg või erinevates arenguastmetes ja erineva tüsedusega (joonis 1). Kui mineraalsete tehismuldade huumuskatte on moodustatud paljudel juhtudel mujalt teisaldatud materjalist (ennekõike huumusmullast või hästilagenenud madal-soo turbast), siis alusmuld on

moodustunud ja lasub erinevate tehnoloogiliste võtetega ümbertöötatud looduslikel materjalidel, tehnoloogilise päritoluga jäätmetel või hoopiski paljandpinnastel. Ühesugusest materjalist moodustunud pealiskatt ja alusmullaga tehismullad on iseloomulikud jääkturba lademetele loodud tehismuldadele. Sarnaselt kõigi teiste muldadega tuleks tehismuldakateteks lugeda vaid neid alasid, kus on moodustunud kestlikult talitlev muld-taim süsteem. Selles süsteemis loob muld sobivad kasvutingimused taimkattele. Taimkatte produtseerides päikeseenergia abil õhust võetud CO₂ ning muldast võetud toitelementide ja vee osavõtul muldade eluskomponentide talitlemiseks vajaliku aastaid kestva mulda juurde tuleva orgaanilise aine.



Sarnaselt mõistete "pinnas" ja "muld" eristamisega normaalsete muldade puhul, on vajalik ka tehismuldade puhul eristada mõisteid "tehispiinnas" ja "tehismuld". Tehispiinnased ehk "mittemullad" on kas tehnoloogiliselt (s.o pinnakatte ümberpaigutamise töödega) mõjutatud looduslike materjalide puistangud ja paljandid või tehnoloogiliste protsesside tagajärjel saadud jätmete,

olmeprügi jms materjali lademed. Tehismuldkatted on, sarnaselt normaalselt talitlevate muldadega, kestvalt talitlevad taim-muld süsteemid. Teisiti öeldes tähendab see seda, et elustikuta või elustiku poolest vaene tehispiinnas on rikastunud mullaelustikuga ning talitleb sarnaselt normaalselt arenenud muldkatetega.



Joonis 1. Metsastuv tehismaastik Aidu ammendatud karjääri alal. Foto: T. Kõlli.

Figure 1. Forested technogenic landscape on exhausted open-cast mine area of Aidu. Photo: T. Kõlli.

Mõneti segadust tekitav on ka mõistete "tehislik muld" ja "tehislik muldkate" kasutamine, kuna igapäevases praktikas kasutatakse neid ka kui sünonüüme. Teaduspõhiselt võttes, on aga nii muldade klassifikatsioonides, kui ka ühe või teise mullaliigi leviku ja kasutamise seletamisel sisuliselt tegemist ikkagi teatud levikupindala omavate tehismuldkatetega. Mistahes erinevatest mullaliikidest koosnevale muldkattele on omane süsteemikindel talitlemine, liigile omane vertikaalse profiili ülesehitus ja levikukontuuride piiritlemise võimalus, nii looduses kui mullastiku kaartidel. Mõistet muld kasutatakse meie igapäevases praktikas traditsiooniliselt muldkatte tähenduses või olemaks selle sünonüümiks. Muld on üldisema tähendusega mõiste. Seda ei saa võtta (vastupidiselt muldkattele) kui süsteemselt talitlevat looduslikku keha. Tavatähtsuses võib mullana võtta muldkatte erinevaid horisonte kui ka pinnast, kuid peamiselt siiski huumuskatteid ehk pealismuldadeid. Muld võib olla ladustatud huumusmullana tehnikult rajatud vallidesse või aunadesse, mida kasutatakse kas muldkatte omaduste parandamiseks või tehismuldkatete rajamiseks. Looduslikku mulda võib esineda süsteemitute puistete kogumitena maapinnal

tehnikult rikutud maastikes. Looduslike muldade kõrval on kasutusel tehnikult koostatud substraadid või kasvupinnased ja erinevate komponentide tehnikult segamisel saadud kompostid. Ka taolisi tehismuldadeid kasutatakse nii normaalse arenguga muldade parendamiseks kui ka tehismuldkatete huumuskatete rajamiseks.

Täpsustavat selgitust vajab ka tehismuldkatete tüsused. Nii võib tehismuldade huumuskate olla vaid mõne sentimeetri paksune tingimustes, kus tehismulla algmaterjal on jäetud loodusliku arengu meelevalla. Teisalt, võib huumuskate olla moodustunud lähtematerjalile veetud huumusmulla või turba kihist. Selle tüsused peaks ulatuma vähemalt 20 cm-ni. Tehnoloogilise materjali algne katmine huumusmullaga kiirendab olulisel määral täisväärtusliku muldkatte tekkimist. Tehismuldkatte kogutüsused (huumuskate + alusmuld) peaks ulatuma vähemalt 40–50 cm-ni. Oluline on siinjuures see, et oleks piisav kogus mullapeenest ja savi osakesi, mis on normaalsete muldadega sarnaste režiimide kujunemise ja tehismuldkatte kestva talitlemise aluseks. Läbisegatud moreenidele rajatud tehismuldkatetes võivad suured peenese ja savi varud olla alusmulla all olevas lähtematerjalis.

Otstarbekas on käsitleda mineraalsete ja orgaaniliste tehismuldade rajamist, talitlemise ökoloogiat) ja kasutamist teineteisest lahus. Loomulikult eksisteerivad looduses üleminekuala mullad, millisteks on tehismuldade puhul erineva päritoluga mullakihte või segukomponente sisaldavad tehismullad.

Eesti muldade klassifikatsioonis eristatud tehismullad

Tehislikult rajatud muldade võtmise Eesti muldade klassifikatsiooni (EMK) tingis nende eristamise vajadus muldkatteta pinnastest ja normaalselt arenenud muldkattetega maadest Eesti suuremõtkavalisel (1:10 000) mullastiku kaardil. Tehismuldade inventuuri, seisundi hindamise ja majandamise aluseks on nende muldade võimalikult detailne, kuid samas kohalikule praktikale sobiv jaotamine. Tehismuldade eristamise kriteeriumiks EMK-is on olnud muldkatete rajamise moodus, lähtematerjali päritolu ja ala veolud. EMK tehismullaliikide nimekiri on esitatud tabelis 1. Tehismuldade hulka ei kuulu (paljand)pinnased ehk „mittemullad“, millised on samas tehismuldade rajamise alusmaterjalideks. Kuna Eesti tehislikult mõjutatud mullad ei ole enamjaolt täielikult tehislikud ehk mitteloodusliku päritoluga, vaid tehislise võtete abil looduses esinevatest materjalidest moodustatud muldkatted, nimetatakse EMK-s neid tehisliseks (Astover jt, 2013). Tehislikkuse määr suureneb reas tehisjas → tehislik → tehismuld. Eesti tehismuldade neli põhitüüpi on eristatud nende rajamise mooduse alusel.

Puistangumullad on rajatud kihiliselt või puistangute kujul ladustatud, vähemal või rohkemal määral tehis-

likult töödeldud looduslikele pinnakatetele (oosi-, sanduri-, mõhna- ja soosetted ning moreenid) või geoloogilise aluspõhja setetele (paekivi, liivakivi, mergel, savi, põlevkivi, diktüoneema kilt ehk graptoliitargilliit) (joonis 2). Väiksema osa tehismuldade lähtematerjalideks on olmeprügi või tööstusjäätmete (tuhk, poolkoks, šlakk) lademed.

Eemaldatud tehismuldkatted on rajatud eemaldatud normaalse arenguga muldkatete asemele. Nende lähtematerjalideks on enamjaolt endiste madalsoo- ja rabaturba ning pae, liiva, savi ja kruusa ammendatud karjääride põhjajäägid või pinnased. Mineraalsete jääkpinnaste katmine mujalt teisaldatud huumusmullaga kiirendab tehismuldkatte taimestiku algarengut ja intensiivistab mullatekkeprotsesside kulgu kuni sarnastumisele normaalselt arenenud muldadega. Märjade ja turbaste jääkpinnaste kultuurtaimede kasvuks sobivaid omadusi parandab karjääriala kuivendamine, mis on märjade tehismuldade kultuuristamise olulisim võte. Jääkturba-alade ühtlik taimkatte areng on võimalik üksnes turbasisese liigvee sügavuse täppisregulatsiooni kaudu, mis on tehnoloogiliselt keerukas toiming.

Rabaturba karjääride tehismuldade metsakasvatusele omadusi ja pioneertaimede produktiivsust parandab väetamine fosfori ja kaaliumiga ning lupjamine.

Segatud tehismuldkatete lähtematerjaliks on normaalse arenguga muldkatte erinevate omadustega muldhorisontide kohapealsel läbisegamisel saadud segu. Segatud tehismullaks nimetatakse mulda siis, kui taoline läbisegamine on toimunud praktiliselt kogu muldkatte tuseduse ehk valdavalt 50–80 cm ulatuses. Segatud tehismuldadeks ei kvalifitseeru mullad, millised on läbi segatud vaid huumuskatte ulatuses.

Tabel 1. Eesti muldade klassifikatsiooni tehismullaliikide nimestik
Table 1. The list of Technosols in Estonian Soil Classification

Tehismulla rühm (kood) <i>Technosol's group (code)</i>	Kood <i>Code¹⁾</i>	Tehismulla liiginimetus <i>Species name of Technosols²⁾</i>	Levik ³⁾ <i>Distribution</i>
Puistangumullad (Tu) <i>Heap soils (Tu)</i>	Tua	Automorfne puistangumuld	xxx
	Tug	Gleistunud puistangumuld	xx
	TuG	Puistangu gleimuld	x
	TuM	Puistangu madalsoo-turbamuld	x
Eemaldatud mullad (Tx) <i>Removed soils (Tx)</i>	Txa	Automorfne eemaldatud muld	xx
	Txg	Gleistunud eemaldatud muld	xx
	TxG	Eemaldatud gleimuld	xx
	TxM	Eemaldatud madalsoo-turbamuld	xxx
	TxR	Eemaldatud rabaturbamuld	xxx
Segatud mullad (Ty) <i>Mixed soils (Ty)</i>	Tya	Automorfne segatud muld	xx
	Tyg	Gleistunud segatud muld	xx
	TyG	Segatud gleimuld	x
	TyM	Segatud madalsoo-turbamuld	x
Maetud mullad (Tz) <i>Buried soils (Tz)</i>	Tza	Automorfne maetud muld	xx
	Tzg	Gleistunud maetud muld	xx
	TzG	Maetud gleimuld	xx
	TzM	Maetud madalsoo-turbamuld	x

Meanings of codes' last letters: a – automorphic, g – undergleyic, G – epigleyic, M – fen peat, and R – bog peat; 2) For species name see columns I and II; 3) Leviku hinnang – stage of distribution: xxx – laialt levinud – widely distributed, xx – mõõdukalt levinud – moderately distributed, x – vähelevinud – scarce distributed.



Joonis 2. Punakaspruuni moreeni ja devoni liivakivi segu puistang: paremal silutud ja huumusmullaga kaetud puistangu tehismuld. Foto: T. Kõlli.

Figure 2. Heap of red-brown moraine and Devon sandstone mixture: on the right - levelled and covered by humus rich material technogenic soil. Photo: T. Kõlli.

Maetud tehismuldkiht on moodustatud normaalselt talitlevale muldkattele mujalt toodud muldse materjalil, mille alla on maetud algne muldkate. Eristamise kriteeriumiks nende muldade puhul on vähemalt 50 cm tuseduse kattekihi olemasolu. Kattemuld võiks võimaluse korral olla kahekihiline – üle 30 cm alusmulla väärset pinnast ning selle peal vähemalt 20 cm huumusmulda. Kattemullad kujunenud tehismulla taimekasvatustlike omadusi jääb edaspidi mingil määral mõjutama ka tema alla maetud muldkate.

Kõigi nelja tehismullarühma mineraalsete muldade hulgas eristatakse muldade niiskusrežiimi alusel automorfseid (parasniisked koos põuakartlikega – koodile on lisatud indeks "a"), ajutiselt liigniisked ehk niisked või gleistunud (indeks "g"), tugevasti liigniisked ehk märjad või glei- (indeksiga "G") mullad. Turvasmullad (madalsoo- (M) või raba- (R) mullad) on looduslikus olekus alaliselt liigniisked, kuid võivad tehisturvasmuldadeks muutumise korral olla intensiivsema majandamise huvides kas kuivendatud või hoopiski üle ujutatud. Tehisturvasmuldade kultuuristamise (kasutamisel põllumajanduskultuuride või metsa kasvatuseks) peamiseks eeltingimuseks on nende kuivendamine. Tehisturvasmuldade kasutamine märgviljeluses eeldab aga nende tehnoloogiliselt kontrollitava üleujutuse rajamist. Turvaste põhjakihtidele rajatud tehismullad võivad olla segunenud nende all lasuvate turba- või mineraalmulla erinevate kihtidega.

Eesti tehismuldade nimetuste ühilduvusest WRB klassifikatsiooniga

Referentsmulla *Technosols* detailsel iseloomustamisel ja rühmitamisel WRB (*World Reference Base for Soil Resources*) järgi kasutatakse selle süsteemi ees- ja järelliiteid ehk tunnussõnu (IUSS...2015). Iga WRB klassifikatsiooni tunnussõna ehk kvalifikaator (neid ei tõlgita), väljendab mingit kindlat omadust. Taoliste tunnussõnade kasutamine on eriti vajalik rahvusvahelistes, muldade nomenklatuuri puudutavates, lävimistes.

EMK iseärasuseks võrreldes WRB-ga on tehismuldade jaotamine neljaks rühmaks nende rajamise viisi järgi. Mõningate nende kohta on kasutusel ka konkreetseid mullanimed, kuid tavaliselt iseloomustatakse neid üldnimetusega *Technosols*, millele on lisatud mulla olemust täpsustav ees- ja/või järelliide. Detailsemal tehismuldade jaotamisel (s.o erimiteks ja variantideks) ei piirdata ainult rajamisviisi, algmaterjali päritolu ja veoludega, vaid võetakse täiendavalt arvesse mulla loomis (peenese ja korese sisaldus ning vahakord), tehnoloogilise huumuskatte olemasolu või puudumine, mineraalse ja orgaanilise päritoluga materjalide paiknemise iseloom (segatud või kihiline) ja vahakord, alakallus, tehislake tööde täiuslikkus jms.

WRB süsteem võimaldab iga konkreetse tehismulla detailsel iseloomustamisel kasutada vajalikul arvul erinevaid mulla omadusi iseloomustavaid tunnussõnu.

Loomulikult leiab globaalsel tasandil tehismuldade jaotamisel rohkem erilmelisust võrreldes Eesti oludega, mis peegeldub ka kasutatavate ees- ja järelliidete ehk tehismulla variantide arvus. Nii on globaalses ulatuses kasutusel 11 eesliidet, millistest võiksid meie oludes kasutust leida (*ekranic, linic, urbic, spolic, garbic, isolatic, leptic, reductic, subaquatic* ja *hyperskeletic*). Tehismuldi iseloomustavaid järelliiteid on WRB süsteemis kokku 40, millistest meie oludes sobiks kasutada näitamaks (1) lõimist *arenic, clayic, loamic, siltic, skeletal*; (2) huumus seisundit *mollic, umbric, ochric, humic*; (3) happesust *alcalic, eutric, dystric*; (4) veeolusid *aridic, drainic, gleyic*; (5) mulla koostist *dolomitic, calcaric, lignic, hyperartefactic, toxic*; (6) moodustamise viisi, *novic, relocatic, transportic* ning (7) mullatekkeprotsesse *cambic, densic, stagnic, protosporadic, calcic*.

Eestis vähelevivad tehismullad ja tehismuldadega piirnevad mullad

Lisaks EMK-s kajastatud tehismuldadele leidub nii Eestis nagu ka mujal maailmas rohkesti eripärase tekke

ja omadustega tehismuldasid. EMK-i ei ole neid võetud väikese pindalalise leviku tõttu. Nii eristatakse WRB-s, lisaks EMK nelja tehismulla grupile (1) kaetud (*ekranic*) tehismullad, milliste pinnast on valdav enamus kaetud õhukese tiheda (ka kivistunud) kihiga; (2) geotekstiilist (*linic*) alusele rajatud mullad; (3) isoleeritud (*isolatic*) mullad, millistel puudub otsene kontakt maapinnaga (rajatud katustele või muudele alustele); (4) veealused (*subaquatic*) tehismullad (veet puhastava taimestikuga biotiigid, roostikud, veega kaetud ammendatud turbakarjäärid). Teatud hulgal tööstuslike jäätmeid sisaldavad mullad on jäätmemullad (*spolic*) ning ehituslikku prahti ja jäätmeid sisaldavad mullad on linnamullad (*Urbic Technosols*). Esineb tehismuldi, mis sisaldavad erineva mitteloodusliku päritoluga toksilisi materjale. Poola muldade klassifikatsioonis (Kabala *et al.*, 2020) on näiteks eristatud kuus kõrgema taksoni tehismulda: *Ekranosols, Industriosols* (tööstuslikult muudetud), *Edifisols* (ehitustel ja varemetel), *Constructosols* (alt geotekstiiliga kaitstud), *Aggerosols* (puistangutel) ja *Turbisols* (sügavalt läbi-segatud). Mõningad näited tehismuldade ülesehituse kohta on esitatud joonistel 3 ja 4.

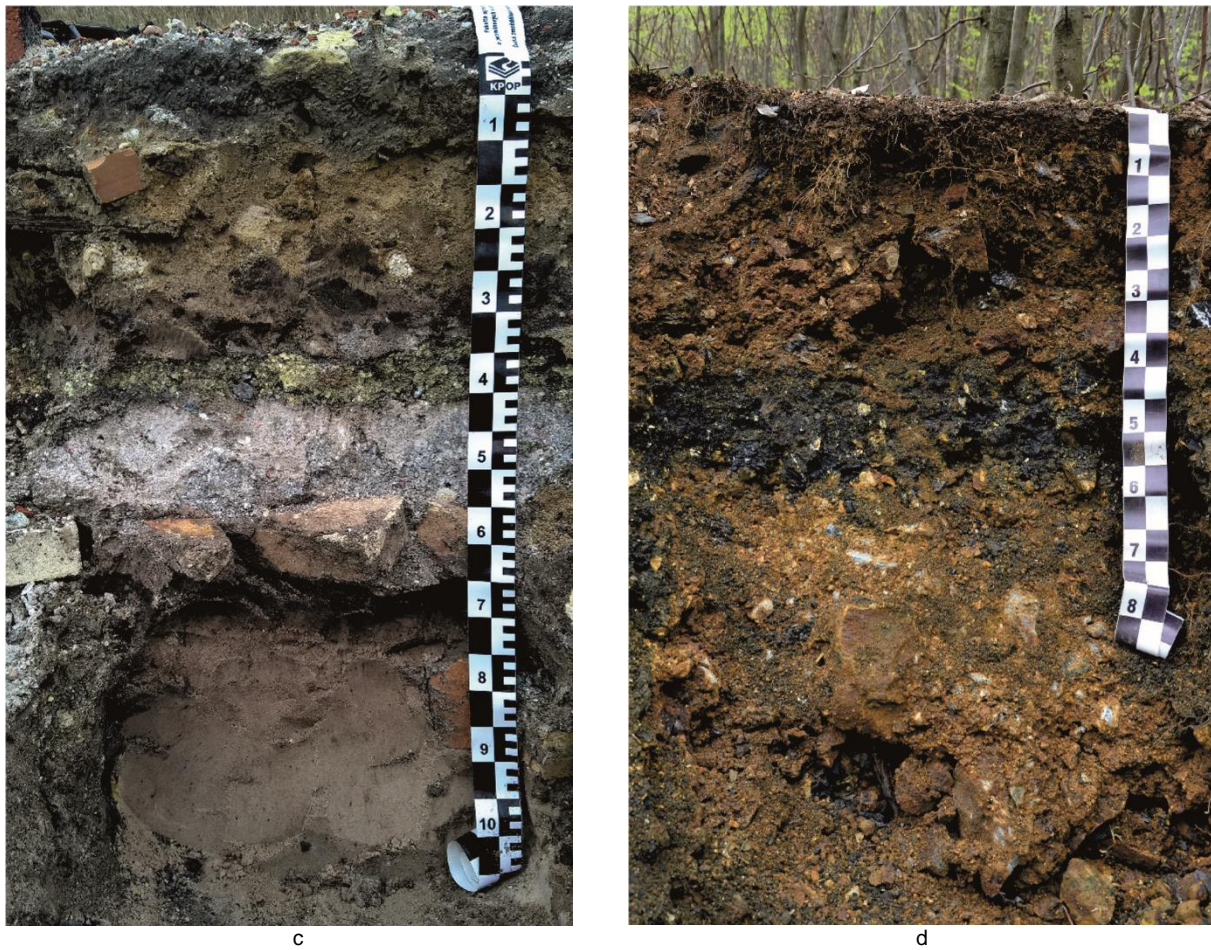


a



b

Joonis 3. Järg
Figure 1. Cont.



Joonis 3. Tehismullad: (a) Maardu fosforiidikarjääri puistangu tehismuld. Foto: E. Asi; (b) Prügimäe (puistangu) tehismuld Stutgardi äärelinnas, Saksamaal. Foto: A. Karklins; (c) Tööstusest pärinevate jäätmete ja ehitusprahi segamisel moodustunud kihilised *Industriosols* (tööstuslikud mullad) Poolas. Foto: A. Greinert; (d) Maagikaevanduse ja lehkavate jäätmete läbisegatud materjalist moodustunud *Industriosols* Poolas. Foto: C. Kabala.

Figure 3. *Technosols*: (a) *Technogenic soil* on wastage heaps of Maardu phosphorous quarry. Photo: E. Asi; (b) *Technosol's* profile on dumping heap at suburb of Stuttgart, in Germany. Photo: A. Karklins; (c) *Stratified Industriosol* with admixed industrial wastes and construction debris, in Poland. Photo: A. Greinert; (d) *Industriosol* developed from the mixed ore mining and smelting wastes, in Poland. Photo: C. Kabala.



Joonis 4. Urbisol, mis on rajatud ehitusjäätmete ning on taastamise käigus ettekavatsetult kaetud huumusmullaga. Foto: C. Kabala.

Figure 4. *Urbisol* developed from the construction debris with humus-rich topsoil created intentionally during site reclamation. Photo: C. Kabala.

Olulise pindala Eesti tehismuldadest saame, kui võtame kokku eraldiseisvad väikese pindalaga ja maastiku rajatistega piirnevad tehismullad. Vaatamata suhteliselt väiksele levikule täiustavad sellised tehismuldade ribad või kogumid olulisel määral maastike esteetilist ilmet ja pedo-ökoloogilist talitlemist. Taolised tehismullad esinevad maastikule rajatud maanteed ääres, piirnedes maanteega ühest ja korrastatud normaalsete muldadega teisest küljest (joonis 5). Sarnaste tehismuldkatete talitlemine saab alguse nende haljastamisega. Teatavasti on ka maaparandusega kuivendatavatel aladel otstarbekas kasvatada isegi tööde käigus fütomassi produtseerivaid

taimkatteid sh. spetsiaalselt selleks külvatud kultuure, rikastamaks muldkatet värsket orgaanilise ainega. Kui drenide vahelised muldkatted koos hea tava järgi täidetud drenikaevetega on oma olemuse järgi remonditud normaalsed mullad, siis suurte eesvoolukraavide kallastel on tegemist juba haljastatud tehismuldadega (joonis 6). Üsna sageli piirnevad tehismullad pinnaste ehk "mittemuldadega", mis võivad küll olla tehismuldade rajamise reserviks, kuid samas ei ole õige nimetada neid tehismuldadeks. Eestis on häid näiteid ka katustele rajatud (*isolatic*) tehismuldadest (joonis 7).



Joonis 5. Tehismulla rajamine tee pervele. Foto: R. Kõlli.

Figure 5. Establishing technogenic soils on waysides of road. Photo: R. Kõlli.



Joonis 6. Haljastatud tehismullad maaparandusobjekti eesvoolu kallastel Kuusikul. Foto: I. Silde.

Figure 6. Greened technogenic soils on riverside of hydro-ameliorated area at Kuusiku. Photo: I. Silde.



Joonis 7. EMÜ peahoone katusele rajatud tehismulla (*isolatic*) taimkate. Foto: E. Leedu.

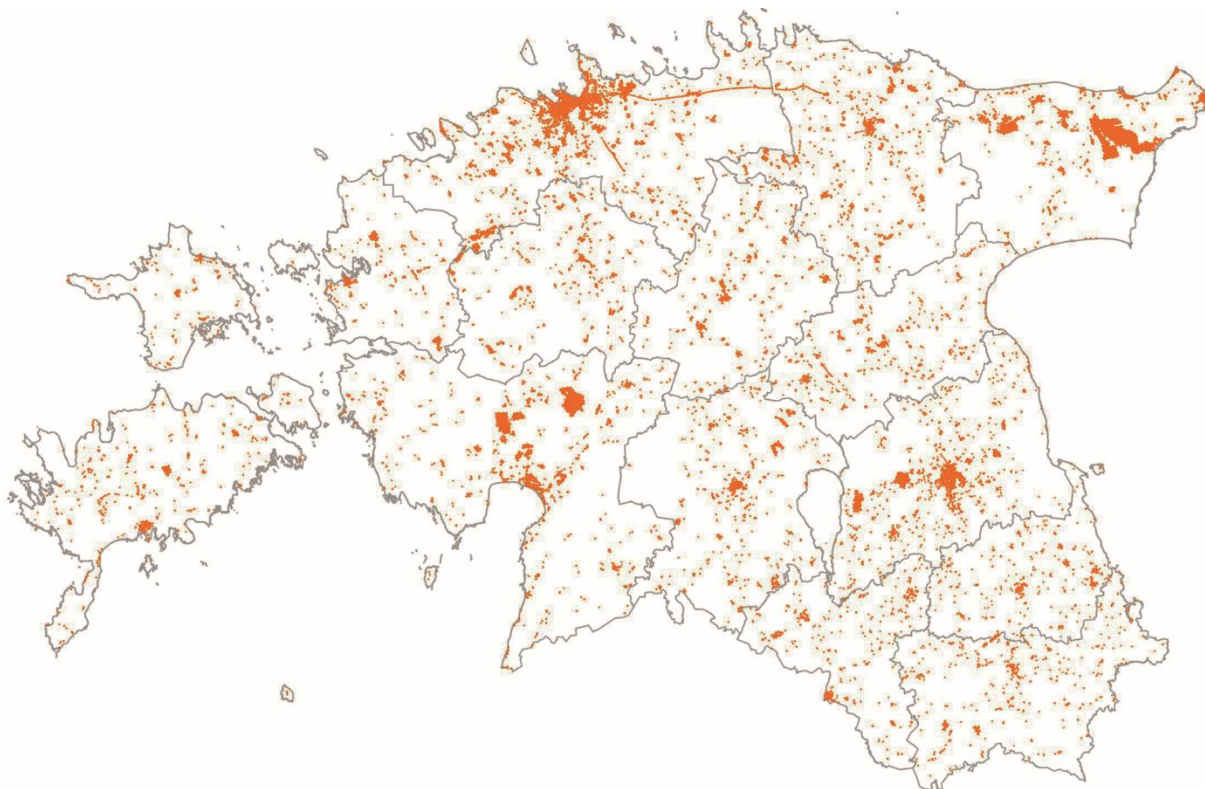
Figure 7. Established on the roof of EULS main building a technogenic (*isolatic*) soil's plant cover. Photo: E. Leedu.

Tehismuldade regionaalne levik ja nende rajamisest üldiselt

Tehismuldade rajamine kerkis päevakorda seoses vajadusega inventeerida ja korrastada suure ulatusega maa-alasid, millised said rikutud tehnoloogiliste pinnasetööde käigus või pinnakatete eemaldamisega maavarade kättesaamise otstarbel. Skemaatilisel kaardil (joonis 8) on tehismuldade levik näidatud koos paljandpinnastega, milliste summast moodustavad Priit Penu andmetel tehismuld hinnanguliselt *ca* 67% ja muldkatteta alad ehk korrastamist vajavad alad *ca* 33%. Kahjuks ei ole Eestis veel vajalikul määral juurdunud kaasaja hea tava, et kaevandamise lõppedes või maastikurajatiste ehituse järel ei jäeta tehiskult rikutud maa-ala korrastamata seisundisse. Igati mõistlik on nõue, et rikutud alad tuleks nii majanduslikust kui esteetilisest aspektist kujundada harmooniliselt talitlevaks maastiku osaks. Juhul kui ammendatud karjääride ja kokku kuhjatud puistangute alale ei ole plaanis rajada teid, ehitisi või muid maastikurajatisi, on igati mõistlik sinna rajada lähtematerjalile sobiv kestlikult talitlev muld-taim süsteem metsade või rohumaade näol. Rikutud territooriumide peamiseks korrastamise võtteks on seega metsaks, rohumaadeks või ka põlluks sobivate tehismuldkatete rajamine. Lisaks nendele võib mõningatel juhtudel olla otstarbekas hoopiski veekogude (veesilmade)

rajamine maastiku rikastamiseks. Kõige sobivamad selleks on sügavad karjäärid ja täielikult ammendatud järvetekkelise madalsooturba karjäärid.

Eestis on ammendatud põlevkivikarjääride karbonaatseid ja suhteliselt kiviseid alasid rekultiveeritud metsadeks (Kaar jt, 1971; Kaar, Kiviste, 2010). Osa metsadest on istutatud otse tasandatud puistangule. Aidus ja Kohtlas on karjääre rekultiveeritud ka põldudeks, kus tasandatud stabiilse lasuvustihedusega puistangule on peale veetud eelnevalt kooritud alusmulda sisaldav huumusmulla kiht (Leedu, Murdam, 1996). Elektriamaade tuhaväljade haljastamise probleemiks on olnud tuha väga suur leelisus. Nii on Ahtme elektriamaa tuhavälja pinnakiht neutraliseeritud rabaturbaga. Balti Elektriamaa tuhaväljade rekultiveerimisel on kasutatud aga moodust, kus tuha sisse kaevatud 0,5 m sügavused kaeved on täidetud neutraliseeriva rabaturbaga (joonis 9). Maardu väga õhukese moreenikihiga fosforiidikarjääride tugevasti kivised puistangud on olnud sobivad vaid metsastamiseks (Sarv, 1974). Puistangu koostises esinevad seal kaaliumi poolest rikas glaukonit-liivakivi ja väga tugevasti happelise reaktsiooniga graptoliitargilliit (ehk diktionema kilt), mis võib puistangus õhuhapniku juurdepääsul süttida. Süttimised on toimunud isegi vaatamata tema sügavale puistangu alla matmisele.



Joonis 8. Tehismuldade ja paljandpinnaste levik Eestis. Autor: P. Penu.

Figure 8. Distribution of technogenic soils and bare grounds in Estonia. Author: P. Penu.



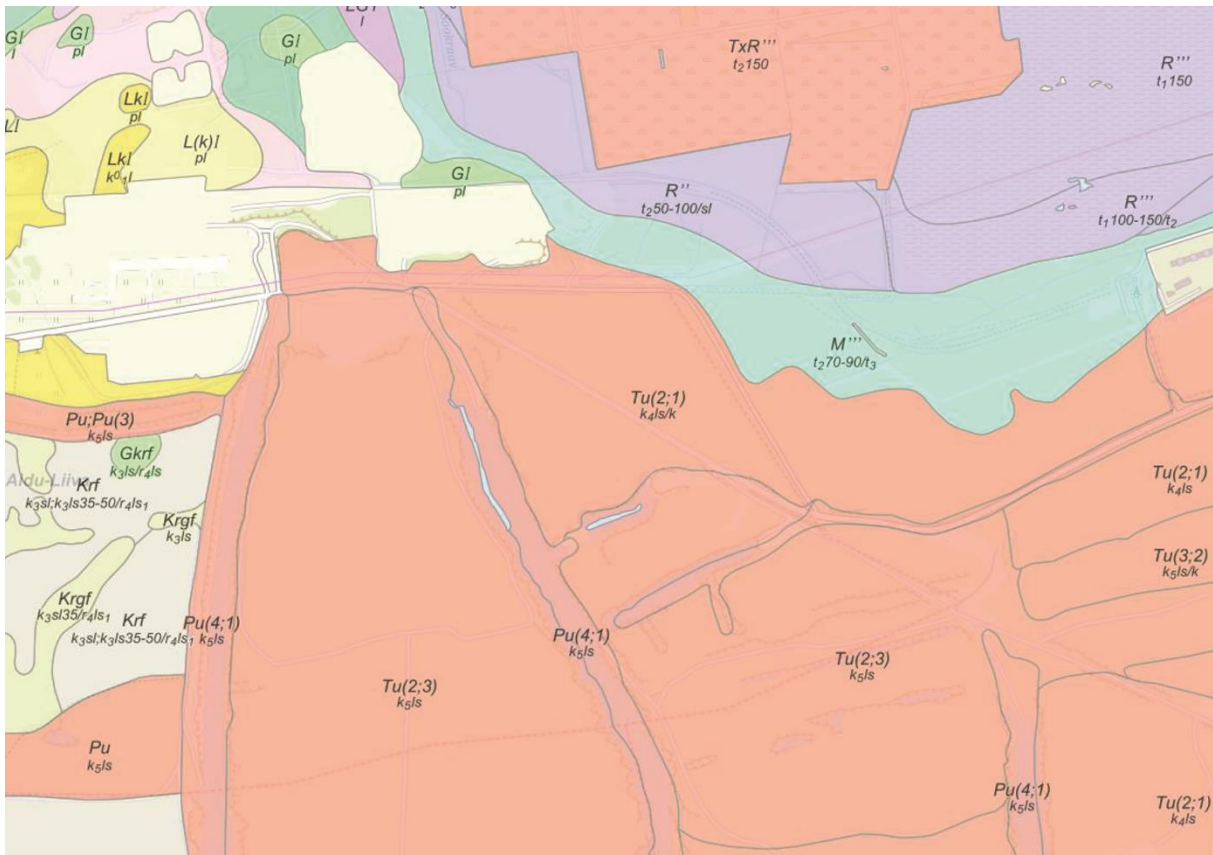
Joonis 9. Balti soojuselektrijaama rabaturba pesadega neutraliseeritud ja haljastatud tuhaväli. Foto: E. Leedu.

Figure 9. Neutralized by bog peat nests and greened up ash fields of Baltic heating electricity station. Photo: E. Leedu.

Madal soo jääkpinnaste valdavamaks taimestamist vajavaks materjaliks on keskmiselt või hästilagunenud pilliroo-, tarna-, lehtsambla- ja puuturbad. Vaid pinnalt kaevandatud (s.o mittetäielikult ammendatud) rabakarjääride jääkpinnased koosnevad halvasti või keskmiselt lagunenud turbasambla, kanarbiku, männi ja tarnaturvastest. Täielikult ammendatud rabakarjääride puhul koosneb jääkturbapinnas erinevatest siirdesoo ja madal soo turbaliikidest, mis võivad olla segatud all lasuvate mineraalsete mullakihtidega.

Tehismuldade kasutamise planeerimisel on kõige olulisemad tegurid muldkatte potentsiaalne viljakus ning ala veerežiim. Potentsiaalne viljakus sõltub rekultiveerimistööde kvaliteedist, muldkatte lõimisest, huu-

muskatte seisundist ning tehismulla reljeefist ja ühtlikkusest. Põllukultuurid edenevad üksnes korraliku tehnoloogiaga rajatud ühtlaste omadustega parasniisketel tehismuldadel. Rohumaade rajamiseks sobivad lisaks parasniisketele muldadele ka gleistunud ning kuivendatud glei- ja madal soo-turvasmullad. Metsakasvatust saab edendada kõige laiema ökoloogiliste tingimuste amplituudiga tehismuldkatetel. Sobivad on ka kirju mullastikuga alad. Teiselt poolt, leidub sobivaid puuliike ka kuivendamata tehis glei-muldadele. Samas ei ole võimalik arendada vähegi tõhusamat metsakasvatust kuivendamata turbast koosnevatele jääkpinnastele. Tehismuldade suurimaks leviku piirkonnaks on Kirde-Eesti, mida näitab Aidu kandi mullastiku kaardi väljavõte (joonis 10).



Joonis 10. Väljavõte digitaalselt suuremõtkavaliselt (1:10 000) Eesti mullastiku kaardilt (Maa-amet, 2009).

Figure 10. Excerpt from the digital large-scale (1:10,000) Soil Map of Estonia (Land Board, 2009).

Mineraalsete tehismuldade rajamisest

Tehislike mineraalmuldade kvaliteet sõltub otstarbekohaselt tehtud töödest tehnoloogilise ja bioloogilise rekultiveerimise käigus. Tehnoloogilise rekultiveerimise algastmeks on puistangute või kihiti ladustatud algmaterjali kohale vedu ja paigaldamine. Selle jätkuna korrastatakse pinnase ehk „mittemullaga“ maa-ala (tasandatakse, vajaduse korral ala kuivendatakse, võimaluse korral kaetakse huumusmullaga, ning reguleeritakse pindmise kihi reaktsioon taimkatte (kultuuri) kasvule sobivaks. Nimetatud töödega on loodud võimalused spontaanse loodusliku taimkatte ja koos sellega ka primitiivse (vähearenenud) tehismuldkatte arenguks. Muld-taim süsteemi talitlemine koos kamardumise ja

huumushorisondi moodustumisega on tunduvalt kiirem algselt huumusmullaga kaetud tehismullal, võrreldes katmata aladega. Võimalikult täiuslikum rajamise tehnoloogia loob head eeldused bioloogiliseks rekultiveerimiseks. Bioloogilise rekultiveerimise põhitöoks on tehnoloogiliselt kujundatud alale sobiva taimse materjali istutamine või seemnete külv. Eesmärgiga kiirendada taimkatte algarengut kasutatakse bioloogilisi preparaate ja väetamist.

Karjääride rekultiveerimine ehk tehismuldkatete rajamine sõltub kaevandatavast materjalist, kattematerjaliks sobiva pinnase olemasolust ja karjääri sügavusest. Tehismaastiku veekogudest kõrgemale jäävad alad taimestatakse laugematel kohtadel taimede külviga,

järskudel kalletel mätastamise või hüdrokylviga. Bioloogiliselt rekultiveeritav pinnas peaks sisaldama muldade talitlemist tagavas koguses peenese- ja savirikast lähtematerjali, milline sõltub omakorda nii katendikihi lõimisest, kui ka selle tüsedusest. Viimasel ajal Eestis rajatud mineraalsed tehismullad koosnevad enamjaolt tasandatud algmaterjalist ja seda katvast huumuskattest. On selgunud, et 20–30 aastat tagasi moodustatud karbonaatsetel tehismuldadel on välja arenenud alusmullale omased sisseuhtumise tunnustega horisondid. Parimad tehismullad on need, kus mullapeenest sisaldavad kvaternaarsed setted on ladestatud võimalikult tüsedama kihina koreserikkale lähtematerjalile. Tüsedam ja savirikam alusmuld tagab stabiilsema veerežiimi ja suurema taimedele omastatava produktiivvee varu.

Eesti oludes on leidnud ka tõestust, et lubi- ja dolomiitpae purustatud materjalil moodustunud tehismullad on omadustelt ja ülesehituse poolest sarnased rähkmuldadega (Reintam, Kaar, 1999), liivakarjäärde tehismullad aga primitiivsete leedemuldadega. Tehismullad, mille huumuskate koosneb kõrge potentsiaalse viljakusega liivsavist ja kus ka alusmuld on savirikam ning tüsedam on üsna kõrge viljakusega ehk võrreldavad normaalsete leostunud ja leetjate muldadega. Tehismullad kujunevad aegamööda üsna sarnasteks normaalselt arenenud muldadega ja sarnaselt nendega täidavad nad valdavas ulatuses kõiki ökosüsteemi talitlemiseks vajalikke ülesandeid.

Tehismuldkatete rajamise lähtematerjalid, kui ka nende kujunemise ökoloogilised tingimused on erinevalt normaalse arenguga muldkattetest heterogeensemad. Tehismuldkattes esineb rohkesti väikese pindalaga tehismulla erimeid ja variante. Vaatamata tehismuldade suurele heterogeensusele nende algarengu faasis, muutuvad tehismullad lähima kümnendi jooksul omadustelt ühtlikumaks ja seega ka kvaliteedilt paremaks (Reintam, Kaar, 1999; Huot *et al.*, 2015). Peamiseks tõukejõuks sellises arengus on produktiivse taimkatte olemasolu.

Tehisturvasmuldade rajamisest

Eestis on jääkturbasoid kokku ca 9500 ha, kusjuures nende suurimad alad asuvad Pärnumaal (ca 40%) ja Ida-Virumaal (ca 20%). Jääkturbaalade muutmise produktiivselt talitlevaks alaks on tõsine keskkonnaseisundi parandamise ja efektiivse maakasutuse probleem (Valk, 2005; EMTR, 2005–2008; Ramst, Orru, 2009; Kohv, Salm, 2012; Lode jt, 2015). Jaanus Paal (2011) on loetlenud korrastamise võimalustena taas-soostumisele kaasa aitamist, korrastamist märgviljeluse alaks (päide- ja pilliroog, paelrohi, suurekasvulised tarnad), kuivendussüsteemiga põllu-, rohu- või metsamaa rajamist, turbaaladele sobiva marjakasvatuse (mustikad, jõhvikad) arendamist, veekogude rajamist ning puhastuslodude kujundamist turba kaevandamisalade kuivendusvete puhastamiseks. Siia võiks ehk lisada ka esialgselt ammendatuteks peetud jääkturba kihtide täielikumat ammendamist, mis võiks võimaluse korral ulatuda kuni mineraalse aluspinnani. Samas tuleb

arvestada, et mistahes turbalasundi alumised kihid erinevad suurel määral kaevandamise käigus eemaldatud pindmistest kihtidest.

Üheks olulisimaks taimeks märgade jääkturba alade taastamisel on suure liigirikkusega *Sphagnumi* perekonda kuuluvad samblad. Jääksoo taimestamise võimalikkus üksnes turbasammaldegaga või taimkattega, milles domineerivad turbasamblad, sõltub ennekõike nii jääkturvaste, kui ka sood toitvate vete keemilisest koostisest sh. saastatusest erinevate ainete (Caroll *et al.*, 2009). Keeruliseks probleemiks taolise taimkatte rajamise puhul on turbasammaltele kasvuks vajaliku veetaseme reguleerimise tehnoloogia rakendamine, kuna seda probleemi ei saa lahendada üksnes kuivenduskraavide sulgemisega.

Ammendatud turbakarjäärde jääk(turba)pinnase omadused ja sobivus taimkattele sõltuvad otseselt jääkpinnase turba liigist, lagunemisastmest (*fibric*, *mesic*, *sapric*), koostisest ja omadustest. Üldreeglina on nii madal- kui rabaturvaste alused turbad s.o mineraalsetele paleo-muldadele lähemal asuvad kihid, valdavalt keskmiselt kuni hästilagunenud. Erandi moodustavad vähese pindalalise levikuga nõmm-rabad, milliste rabaturba ladestumine on oma alguse saanud turvastunud paleo-leede-gleimuldadest. Taolised rabad ei ole oma arengus läbinud madal- arengufaasi. Jääkturba potentsiaalne viljakus ehk taime- ja metsakasvatustalid omadused sõltuvad kaevandamise ehk jääkpinnase sügavusest ja turbalaama toitvatest vetest. Kõrgeima potentsiaalse viljakusega turvasteks on lubiolluste rikkast liikuvast pinnaveest (mis on ka hapnikurikas) toituvad loduturbad.

Karjäärde jääkturbapinnaste tehismullaks muutmise peamiseks toiminguteks on ala kuivendamine ja sobiva, kestlikult toimiva, taimkatte moodustamine (Laine, Mikkinen, 1996; Höper *et al.*, 2008; Valgepea jt, 2021). Liialt aeglase loodusliku uuenduse põhjuseks on mineraalsetele muldadele sarnase huumuskatte ehk turbaalade kasvukihi puudumine turbakihtide alumises osas. Sellega seoses puudub ka kestlikuks arenguks vajalik geneetiline materjal (seemned, elusad maapealsed osad jms). Rabade jääkturvas, mis on oluliselt happelisem võrreldes madal- turbaga, ei pruugi üldsegi olla halvasti lagunenu. Eriti oluline on siinjuures toitvate vete iseloom (sademed või pinnavesi) ja turbaaluste mineraalsete setete sügavus. Vajalikuks teabeks raba-karjäärde taastamisel on jääkturba arengufaas (madal- või rabaturvas) ning lagunemisaste. Taoliste aladele tehisturbamuldade rajamise eelduseks on selle kuivendamise võimalikkus, mis omakorda sõltub eesvoolu rajamist võimaldavast hüdro-geoloogilisest situatsioonist.

Eestis leidub vähe kirjandust ja kogemust tehisturvasmuldade rajamise kohta. Samas on olemas uuemat kirjandust soomuldade endistele veeoludele vastava seisundi taastamise kohta Baltimaades, Poolas ja Saksamaal (Höper *et al.*, 2008; Kohv, Salm, 2012; Wilson *et al.*, 2012; SSTK, 2016; Pakalne *et al.*, 2021; Purre, 2021). Endise veerežiimi ja algsega sarnase

kasvukihi loomist ei ole õige pidada tehsturvasmuldade rajamiseks, kuna tegemist on hoopiski turba liigveega küllastamise ja püüdega taastada turbalasuundi alge ilmege katte- ehk kasvukiht. Kahjuks peetakse laialt levinud arvamuse kohaselt õigemaks soo loodusliku oleku taastamist kultuuride ja metsade kasvatamiseks sobiva tehsturvasmulla loomise asemel. Nende kahe suuna peamine erinevus on selles, et kui taastatud soodes on turvas valdav osas veega küllastatud kuni maapinnani, siis tehsturvasmuldadel on vaja jätta kultuurtaimedele sobiva tusedusega (30–50 cm) suhteliselt hästiõhustatud (veega mittetäielikult küllastunud) turbakiht. Kui soode taastamisel taotletakse võimalikult täielikumat turba mineraliseerumise peatamist, siis tehismulla majandamisel taotletakse võimalikult suurema uue fütomassi koguse tootmist. Negatiivseteks külgedeks esimesel juhul on madal produktiivsus, teisel aga varem ladestunud turba ja sama aasta varise mineraliseerumise intensiivistumine. Muret tekitab ka loodusliku oleku taastamise pikk ajaperiood, milleks kulub paljude autorite arvates keskmiselt 15 aastat. Ilometsa jt (2010) andmetel algas ammendatud freesurba aladel turba moodustumine isetaimestumisel alles 25 aastat pärast veetaseme tõstmist.

Kuivendamise puhul ei ole orgaanilise aine lagunemise/akumuleerumise bilanss ökosüsteemi tasemel üldsegi mitte või liialt suurel määral negatiivne tänu suurenenud aastaproductiivsusele. Dilemma on siin selles, et kas kiivalt hoida olemasolevat turbamulla varu, leppides sealjuures selle vähema iga-aastase juurde tulekuga või tagada suurema hulga turba kulutamise ka suurem aastaproductiivsus. Sealjuures võiks kulutatud turvast käsitleda kui turbale lisaväärtuse andmist või väärtustamist tema arvel uuesti toodetud hoopiski väärtuslikuma taimse fütomassi (terad, puit jms) näol. Kulu kartes ei ole loota tulu! Rabade jääkturvaste taimestamisel on kasutatud nii sooturba arengu jaoks sobivaid looduslikke taimeliike kui ka kultuurmetsamarjade istutamist (Noormets *et al.*, 2003; Starast jt, 2005), mis on sisuliselt turba väärdamine kõrgema tarbimisväärtusega taimseks produktiks.

Tehismuldade rajamise ja majandamise ökoloogilistest alustest

Eesti üldsus ei tohiks leppida taimkatteta paljandpinnaste või songermaade suhteliselt laia levikuga (joonis 10; EMTR, 2005–2008). Mitte pinnaste, vaid kestvalt talitleva tehismulla taimkatte abil on võimalik siduda olulisel hulgal vabalt saadavat päikeseenergiat ja süsihappegaasi fütomassi, kui energia looduslikku akumulaatorisse. Võib väita, et kaasaegne ühiskond omab piisavalt agronoomilisi kogemusi võimalikult suure fütomassi koguse tootmiseks pinnaühiku kohta. Samas vajatakse taimkatte tootlikkuse kõrval senisest rohkem teadmisi fütomassi kasutamise võimaluste kohta, nii sellesse seotud energiaga manipuleerimisel ja tarbijani viimisel kui ka, vajaduse korral, pikaajalise ladustamise

(deponeerimise) korraldamisel. Fütomassi seotud energia vajab ehk rohkemgi tähelepanu võrreldes energia tootmisega päikesepaneelide abil. Sest kuigi taimkatte energia tootmise intensiivsus on võrreldamatult väiksem päikesepaneelide omast, on taimkatte pindala (sh lehepinna indeks) võrreldamatult suurem päikesepaneelide kogupinnast.

Eelpoolöeldul on selge seos tehismuldade ja nende doonorite, paljandpinnaste, käitlemisega. Paljandpinnaste ja tehismuldade leviku võrdlusest selgub, et paljandpinnaste pindala on võrdlemisi suur (suhe tehismullad : paljandid = 2:1), kuid samas on paljandite pindala ehitustegevuse tulemusena pidevas suurenemises. Seega vajaks paljandpinnaste kasutamise strateegia senisest suuremat tähelepanu. Paljandpinnaste hulgast peaks kõigepealt eristama alad, millised sobivad oma materjali ja hüdroloogiliste tingimuste poolest tehismuldade rajamiseks peamiselt metsakasvatuse või rohumaade viljelemise otstarbel. Põldude rajamine, mis vajab eriti häid eeltingimusi, saab seniste kogemuste põhjal olla vaid marginaalne. Otstarbekas oleks olemasolevatest paljandpinnastest senisest rohkemal määral võtta tööstuslike ehitiste alla, luues selleks soodustusi maa-ala ostu või rendi osas. Alternatiiviks on ka (sobivate tingimuste olemasolul) veekogude rajamine. Lammutatud ehitustest pärinevate puistangute taaskasutusele võtmise võimalus tehismullana selgub jooniste 11 ja 12 võrdlusest.

Fütomassi tootmisel tehismuldadel, mis on oluline ka nende enda kestliku talitlemise seisukohast, eristub kaks etappi. Olles arengu algfaasis, vajab tehismuld uut orgaanilist ainet mullaelustiku võrgustiku väljakujunemiseks ja huumusvarude suurendamiseks. Kuid olles saavutanud tasakaalustunud huumusseisundi, saab loota iga aastal või pikema perioodi jooksul teatud fütomassi hulga eemaldamise ehk mujal kasutamise võimalusele, kas heintaimede fütomassi või puidu näol. Sarnaselt normaalsete muldadega sõltub ka mineraalsete tehismetsamuldade produktiivsus mulla lõimisest ja veeoludest. Potentsiaalse produktiivsuse optimaalse ära kasutamise võtmeks on tingimustele sobivate puuliikide valik. Eestis on dokumenteeritud olukordi, kus endistele väheproduktiivsetele soostunud mineraalmuldadele rajatud tehismuldadele on kujunenud kõrge produktiivsusega (II–III boniteediga) metsad (Kaar, Kiviste, 2010).

Ka tehislise mineraalsete rohumaamuldade võimalikult parema majandamise võtmeks on mullale sobivate heintaimeliikide valik. Sobivaid liike leidub nii happeliste kui karbonaatsete muldade jaoks. Tehismuldade taimestamist rohumaadeks saab teha laiema ulatusega veeolude olemasoluga (põuakartlikest kuni alaliselt liigniisketeni) ning taimkatete muldkatetega ökoloogiliselt harmoonilisema (võrreldes põllumaadega) sobitamise võimalikkusega. Kui sobivat puistu koosseisu metsades tuleks näha pikas perspektiivis, siis rohumaade puhul on enam võimalusi ka liikide koosseisu muutmiseks lühema ajaperioodi jooksul.



Joonis 11. Kivise ehitusprahi puistangud: tehismuldade rajamiseks tuleks need purustada ning katta peeneserikka pinnase ja huumusmulla kihtidega. Foto: R. Kölli.

Figure 11. Heaps of stony construction wastes: for forming technosols these wastes must be crushed and covered by fine earth's and humus rich soil layer. Photo: R. Kölli.



Joonis 12. Ehituse kiviprügiga (purustatud telliskivid ja betoon) kaetud mullapind. Foto: A. Greinert.

Figure 12. Construction rubble (crushed bricks and concrete) on the soil surface. Photo: A. Greinert.

Tehismuldade laialdasemat kasutamist põllumaana häirib taimekasvatustlike omaduste suur heterogeensus ja vaid parasniiskete veelolude sobivus. Erandiks on paelrohu (päideroo) (*Phalaris arundinacea*); hariliku pilliroo (*Phragmites australis*); hundinuiaide (*Typha* spp.) ja kõrgekasvuliste tarnade (*Carex* spp.) kultiveerimine alaliselt märgadel õhukese veekihiga (veelustel) muldadel. Taoliselt rajatud alade mullad on tehismuldad, kuna vajavad oma talitlemiseks hästitoimivaid hüdro-tehnoloogilisi lahendusi. Üldnimetatud märgalade ökosüsteemide fütomassi produktiivsused võivad sobiva agrotehnoloogia ja täiendava subsideerimise korral ulatuda 5–12 Mg C ha⁻¹ a⁻¹ (Mander *et al.*, 2012; Wichtmann *et al.*, 2016).

Nii uue fütomassi produtseerimise taseme, kui ka süsiniku aastabilansi seisukohalt ei ole meie arvates mõistlik ammendatud turbakarjääre taastada looduslike metsasoodega sarnaselt talitlevateks metsamaadeks. Eesti metsade inventuuri andmetel (KKA, 2019) on looduslikel madal- ja rabamuldadel kasvava metsa keskmiseks hektaritagavaraks vastavalt 85(59) ja 87(81) tihumeetrit (sulgudes on puistu vanus aastates), kuid kuivendatud madal- ja siirdesoo muldadel 222(50) ja 205(69) tihumeetrit hektari kohta. Sellest johtuvalt on ka aasta juurdekasvudes mitmekordsed erinevused kuivendatud alade kasuks. Otstarbekas oleks rajada selleks sobivatele jääkturba pinnastele kuivendussüsteemiga metsamaad. Põhiliseks takistuseks selle teostamisel on tehnoloogilistele nõuetele vastava eesvoolu rajamise võimalikkus. Eesvoolu puudumisel metsaks sobivat tehisturvasmulda rajada ei ole praktiliselt võimalik. Autorite arvates on suuresti ebamõistlik metsatunud turba-alade lageraied, lagesoode saamise otstarbel.

Tehismuldadele rajatud ökosüsteemide produktiivsuse võrdlev analüüs

Nii põllu- kui metsamajanduse edukuse ning muldade (sh tehismuldad) produktiivsuse seisukohalt on üheks olulisemaks näitajaks mistahes ökosüsteemi muldkatte suhtes sobiva taimekatte aastaproduktiivsus või olemasoleva fütomassi aastane juurdekasv. Teatavasti väljendatakse aastaproduktiivsust kas kuiva fütomassi, või sellesse seotud süsiniku või energia kaudu pinnauhiku kohta aasta jooksul. Antud töös on võrdluste aluseks võetud Mg ehk tonni C ha⁻¹ a⁻¹. Kui tahetakse orgaanilise süsiniku aastakäibe näitajaid esitada ligikaudselt kuivmassina tuleks süsiniku mass korrutada 2-ga, kui aga CO₂-na siis 3,64-ga.

Ammendatud turbakarjääridele kuivendatud tehisturvasmullaga metsaökosüsteemide ja taastatud alaliselt liigniiskeks muudetud loodusliku sootaimkattega ökosüsteemide võrdlusest selguvad põhimõttelised erinevused süsiniku aastabilanssides s.o uue koguse CO₂ sidumist ökosüsteemi, selle emissioonist atmosfääri ja ladestumisest turvasmuldkattesse. Tähelepanu väärib vääramus, et jääksode taastamisel looduslike soodega sarnaselt talitlevaks ökosüsteemiks on esimese järgu hüveks suur CO₂ sidumise võime ja, teiselt poolt, selle emissiooni vähenemine. Kui viimasena mainitud

hüvega võib igati nõustuda, sest veega küllastatus konserveerib turba. Samas ei saa mingil juhul nõustuda, et taoliselt taastatud sood muutuvad suure CO₂ sidumise efektiivsusega ökosüsteemideks. Seda kinnitavad andmed fütomassi juurdekasvu aastakoguste kohta (Höper *et al.*, 2008; Mäkila, Saarnisto, 2008; Oleszczuk *et al.*, 2008; Inisheva *et al.*, 2011).

Sooökosüsteemide talitlemisest lähtuvalt on fütomassi produktiivsuse kõrval väga oluliseks näitajaks ka uue turba moodustumine (Ilomets, 1994; Nilsson *et al.*, 2018). Uno Valgu poolt tehtud ülevaadetest (1988; 2005) selgub, et Eesti raba- ja madalsooturba lasundite pika perioodi turba juurdekasvud (arvutatuna süsinikule) on olnud aasta keskmisena vastavalt ca 0,130 ja 0,230 Mg C ha⁻¹ a⁻¹. Turba kuivmassina väljendades oleksid vastavad aastakogused 0,260 ja 0,460 Mg turba kuivmassi hektari kohta, millised on aasta jooksul endasse sidunud vastavalt ca 0,47 ja 0,84 Mg CO₂ hektari kohta. Eelpoolmainitud kogustes turbamassi tootmiseks, selles oleva orgaanilise süsiniku talletamiseks või ekvivalentse koguse süsihappegaasi sidumiseks atmosfäärist peaks nendel soomuldadel moodustunud ökosüsteemide aastaproduktiivsus olema hinnanguliselt vastavalt piirides – rabades 0,4–0,5 ja madalsoodes 0,9–1,2 Mg C ha⁻¹ a⁻¹. Euraasia ühe suurima pindalaga Vasjugani rabamassiivi keskmine aastaproduktiivsus ulatub piiridesse 1,7 kuni 2,6 Mg C ha⁻¹ a⁻¹ ning emissioon CO₂-C-na 0,48–0,90 Mg C ha⁻¹ a⁻¹ (Inisheva *et al.*, 2011). Anna-Helena Purre (2021) on Eesti rabade uurimisel saanud turbasambla domineerimisega rabade aastaproduktiivsuseks 1,0–1,6 Mg C ha⁻¹ a⁻¹. Iirimaal tehtud uurimustes on aasta keskmine süsiniku sidumine olnud 2,8 Mg C ha⁻¹ a⁻¹, kusjuures sõltuvalt taimeliigist ja mikroreljeefist on see varieerunud piirides 1,1–5,8 Mg C ha⁻¹ a⁻¹ (Byrne, Farrell, 2005; Wilson *et al.*, 2012). Turba produtseerimise efektiivsus on võrreldes madalsoodega suurem raba ökosüsteemides, kuid keskmine fütomassi aastaproduktiivsus on suurem madal-ökosüsteemides.

Võrdluseks olgu öeldud, et kõrge boniteediga metsa-ökosüsteemid leostunud, leetjal ja kahkjäl mullal seovad autorite andmetel ühe aasta jooksul ökosüsteemi fütomassi 5,5–6,3 Mg C hektari kohta, millest 1,2–1,9 Mg C ha⁻¹ akumuleerub puurinde tüvedesse. Leedemuldadel kasvavate madala boniteediga männikute poolt seotud aastakogused on vastavalt 2,9–3,7 ja 0,17–0,25 Mg C ha⁻¹ a⁻¹. Samas ei ole põllu ja kultuurrohmaade ökosüsteemide aastaproduktiivsused metsaomadest sugugi väiksemad. Nii produtseerib kahkjale mullale külvatud rukkipoold 5,1–6,2 Mg C ha⁻¹ a⁻¹ (sellest terad 0,8–1,3 ja põhk 1,5–2,5), odrapoold 3,7–5,4 Mg C ha⁻¹ a⁻¹ (sellest terad 1,1–1,4 ja põhk 0,7–1,3) ja kartulipoold 3,3–5,0 Mg C ha⁻¹ a⁻¹ (sellest mugulad 1,6–2,5) (Kõlli, Kivi, 1974). Seoses pikema kasvuperioodiga on põldheinapõldude aastaproduktiivsus veelgi suurem. Nii on korraliku tehnoloogia korral kahe niite kõrreliste heinasaagid ulatunud 6,3–6,6 ja liblik-öieliste omad 5,9–6,4 Mg C ha⁻¹ a⁻¹ (Older, 2007). Samas moodustab see vaid ca kolmandiku aasta kogu juurdekasvust (Bender, 2006).

Taimkatteta turvasmullal uue fütomassi massi tootmist ei toimu, seega ei akumuleeru ka uut turvast. Taimestamata jääkturvaste süsiniku emissioon on kirjandusallikate ülevaate (Wilson *et al.*, 2012) järgi väga suurtes piirides varieeruv, ulatudes 0.6 kuni 11.2 Mg C ha⁻¹ a⁻¹ kohta, kuid valdavalt on süsiniku emissioon vahemikus 1,9–4,1 Mg C ha⁻¹ a⁻¹. Vaatamata kuivendamisele on mõned turbaliigid üsna vastupidavad lagunemisele, mille tõttu tekib soodne olukord, kus kuivendamisega tekkinud suuremad süsinikukaod turvasmullkattest kompenseeritakse puistute suurema produktiivsuse ehk süsiniku sidumisega taimkattesse (Byrne, Farrell, 2005). Kuid taimestamata turbapinnaste süsiniku aastabilanss on igal juhul negatiivne ja seda mitte ainult CO₂ emissiooni tõttu, vaid ka vees lahustunud orgaanilise süsiniku leostumise kaudu.

Tänuavaldused / Acknowledgments

Täname mullaseire ja uuringute büroo juhatajat Priit Penu, kolleege EMÜ Mullateaduse õppetoolist ja prof Alar Astoveri

Many thanks to head of soil monitoring and research bureau Priit Penu, to colleagues from the Chair of Soil Science of EULS and to prof. Alar Astover.

Huvide konflikt / Conflict of interest

Autorid kinnitavad artikliga seotud huvide konflikti puudumist

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Autorite panused / Authors contributions

RK – artikli kontseptsioon ja planeerimine / study conception and design;

RK, EL – andmete kogumine / acquisition of data;

RK – andmete analüüs / analysis of data;

RK, EL – illustreeriva materjali vormistamine / design of figures;

RK – käsikirja mustandi kirjutamine / drafting of manuscript; RK, EL – käsikirja lõplik toimetamine ja heaks kiitmine / critical revision and approval the final version of manuscript.

Technosols in Estonian soil classification: nomenclature, establishment and differences-similarities with normally developed soils

Raimo Kölli, Enn Leedu

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

Summary

Formed on different origin natural and technologically elaborated and relatively voluminous mining wastes soil covers are consist from one or more species of technogenic soils (TS). As a rule by technological works in elaborating TS parent materials much more than only humus cover is enfolded. In the vertical

profile of different development stages TS the humus cover, consisting from fine earth subsoil and parent material may be presented. In Estonian Soil Classification (ESC) totally 17 soil species is listed (Table 1). By the mode of their forming or establishment almost four TS groups (formed on heaps of wastes, instead of removed soil cover, on mixed soil horizons with parent materials and buried soil cover) have been separated. TS or Technosols by the World Reference Bases for Soil Resources (WRB) classification, are year 2022 soils of Estonia.

In the work the formed on mineral and organic (mostly peats) origin parent material TS are treated separately. Among mineral TS by their moisture conditions the automorphic, moist and wet soils are distinguished. Among peaty TS the formed on fen (sapric) and bog (fibric) peats soils are prevailed. The main difference between grounds (non-soil) and TS is their functioning. During the starting period of TS development, the permanently functioning assemblage of soil cover and plant cover or soil-plant system have been formed. Formed on non-soil material initial plant cover is the source of in every year formed new organic matter. Newly formed organic matter is needed for nutrition of soil organisms and for initiating biological turnover of chemical elements. As a result of this, the soil owns ability to produce plant phytomass and to proceed soil forming processes.

The concordance or matching of presented in ESC TS' taxa with WRB and Polish Soil Classification taxa was elucidated by the comparable analysis. The distribution and forming of TS in associations with normally developed soils and non-soils (grounds) was characterised by mean of excerpts from digitalized large-scale soil map (1:10,000) and from schematic TS and bare ground distribution maps. In the work as well the peculiarities of establishing technologies of mineral and peaty TS and their character of functioning is treated.

Kasutatud kirjandus / References

- Astover, A., Reintam, E., Leedu, E., Kölli, R. 2013. Muldade väliuurimine. – Eesti Maaülikool, Tartu, 70 lk.
- Bender, A. (koostaja) 2006. Eritüübiliste rohumaade rajamine ja kasutamine. – EV Põllumajandus- ja loomapidamisministeerium, Jõgeva SAI, Jõgeva-Tallinn, 756 lk.
- Byrne, K.A., Farrell, E.P. 2005. The effect of afforestation on soil carbon dioxide emissions in blanket peatland in Ireland. – *Forestry* 78(3):217–227. DOI:10.1093/forestry/cpi020
- Carroll, J., Anderson, P., Caporn, S., Eades, P., O'Reilly, C., Bonn, A. 2009. *Sphagnum* in the peak district current status and potential for restoration. – Moors for the Future Report No 16. Derbyshire, UK, 121 p.
- Eesti mahajäetud turbatootmisalade revisjon [EMTR] 2005–2008. – Ramst, R., Orru, M., Halliste L., Salo, V. (koostajad); 1. etapp (2005) Harju, Rapla ja Lääne maakond; 2. etapp (2006) Ida-Viru, Lääne-Viru, Jõgeva, Järva ja Tartu maakond; 3. etapp (2007)

- Viljandi, Pärnu, Saare, Hiiu maakond ning 4. etapp (2008) Valga, Võru ja Põlva maakond. – Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Huot, H., Simonnot, M.-O., Morela, J.L. 2015. Pedogenetic trends in soils formed in technogenic parent materials. – *Soil Science* 180(4/5):182–192. DOI: 10.1097/SS.000000000000135
- Höper, H., Augustin, J., Cagampan, J.P., Drösler, M., Lundin, L., Moors, E., Vasander, H., Waddington, J.M., Wilson, D. 2008. Restoration of peatlands and greenhouse gas balances. – In *Peatlands and climate change*. M. Strack (Ed). – IPS, Jyväskylä, Finland, pp. 182–210.
- Ilomets, M. 1994. Turba juurdekasvust Eestis. – Rmt: Eesti Geograafia Seltsi aastaraamat (26. kd). J. Roosaare (toim.) – Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn, lk 13–18.
- Ilomets, M., Pajula, R., Sepp, K., Truus, L. 2010. Keskkonnakorraldus, Maapõue alamprogramm. – Programmi projekt nr 14, Turba jääkväljade rekultiveerimine turbasammaltega. Lõpparuanne. <http://www.ln.ee/files/arts/1011/Turbabe45a5a36afe49d68d387e9d21058a6f.pdf>. 19.05.2013. Külastatud 10.05.2022
- Inisheva, I.I., Zemtsov, A.A., Novikov, S.M. 2011. Vasyugan mire: Natural conditions, structure and functioning. – Tomsk State Pedagogical University Press, Tomsk, Russia, 160 p.
- IUSS Working Group WRB. 2015. World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. – *World Soil Resources Reports* 106. FAO, Rome.
- Kaar, E., Kiviste, K. (koostajad) 2010. Maavarade kaevandamine ja puistangute rekultiveerimine Eestis. – Eesti Maaülikool, Tartu, 444 lk.
- Kaar, E., Lainoja, L., Luik, H., Raid, L., Vaus, M. 1971. Põlevkivikarjääride rekultiveerimine. – Valgus, Tallinn, 116 lk.
- Kabała, C., Greinert, A., Charzyński, P., Uzarowicz, L. 2020. Technogenic soils – soils of the year 2020 in Poland. Concept, properties and classification of technogenic soils in Poland. – *Soil Science Annual*, 71(4):67–280.
- Keskkonnaagentuur [KKA] 2019. Statistiline mets: 20 aastat statistilist metsainventeerimist Eestis. – Keskkonnaagentuur, Tallinn, 151 lk.
- Kohv, M., Salm, J.-O. 2012. Soode taastamisest Eestis. – *Eesti Loodus*, 4:10–16.
- Kõlli, R., Kivi, E. 1974. Dinamika fitomassõ i zolnogo sostava selskohozjaistvennõh kultur [Dynamics of phytomass and ash composition of agricultural crops]. – *EPA teaduslike tööde kogumik*, 92:65–119. (In Russian)
- Laine, J., Minkkinen, K. 1996. Effect of forest drainage on the carbon balance of a mire. – *Scandinavian Journal of Forest Research*. 11:307–312.
- Leedu, E., Murdam, L. 1996. Eesti põlevkivikarjääride põlluks rekultiveerimisest ja kooritud huumusmulla mikrobioloogilisest seisundist selle säilitamisel. – *Agraarteadus*, 4(7):342–356.
- Lode, E., Sepp, K., Truus, L., Ilomets, M., Pajula, R. 2015. Korrastatavate jääksoode valik. Aruanne. – Ökoloogia Keskus, Loodus- ja Terviseteaduste Instituut, Tallina Ülikool, Tallinn, 199 lk.
- Mander, Ü., Järveoja, J., Maddison, M., Soosaar, K., Aavola, A., Ostonen, I., Salm, J.-O. 2012. Reed canary grass cultivation mitigates greenhouse gas emissions from abandoned peat extraction areas. – *GCB Bioenergy* 4(4):462–474. DOI: 10.1111/j.1757-1707.2011.01138.x
- Mäkila, M., Saarnisto, M. 2008. Carbon accumulation in boreal peatlands during the Holocene – impact of climate variations. – In *Peatlands and climate change*. M. Strack (Ed). – IPS, Jyväskylä, Finland, pp. 24–43.
- Nilsson, M., Sagerfors, J., Buffam, I., Laudon, H., Eriksson, T., Grellez, A., Klemedtsson, L., Weslien, P., Lindroth, A. 2018. Contemporary carbon accumulation in a boreal oligotrophic minerogenic mire – a significant sink after accounting for all C-fluxes. – *Global Change Biology* 14:1–16. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01654.x
- Noormets, M., Karp, K., Paal, T. 2003. Recultivation of opencast peat pits with *Vaccinium* culture in Estonia. – *Ecosystems and Sustainable Development*. – Wassex Institute of Technology Press, Boston, UK, pp. 1005–1014.
- Older, H. 2007. Rohumaade niiteline kasutamine. – Rmt: Rohumaaviljeluse, karjakasvatuse ja haljastuse integratsioon. H. Older (koostaja). – Eesti rohumaade Ühing, Vali press OÜ, Põltsamaa, lk 103–117.
- Oleszczuk, R., Regina, K., Szajdak, L., Höper, H., Maryganova, V. 2008. Impacts of Agricultural utilization of peat soils on the greenhouse gas balance. – In *Peatlands and climate change*. M. Strack (Ed). – IPS, Jyväskylä, Finland, pp. 70–97.
- Paal, J. 2011. Jääksood, nende kasutamine ja korrastamine. – Keskkonnainvesteeringute Keskus, Tartu, 167 lk.
- Pakalne, M., Ilomets, M., Pajula, R. 2021. Best practice book for peatland restoration and climate change mitigation. Experiences from LIFE peat restore project. – University of Latvia, Riga, 184 p.
- Purre, A.-H. 2021. Carbon dioxide dynamics and recovery of vegetation on restored peatlands. – Thesis, Tallinn University. DOI: 10.13140/RG.2.2.18786.45764
- Ramst, R., Orru, M. 2009. Eesti mahajäetud turbatootmisalade taastaimestumine. – Eesti põlevloodusvarad ja -jätmed, 1-2:6–7.
- Reintam, L., Kaar E. 1999. Development of soils on calcareous quarry detritus of open-pit oil-shale mining during three decades. – *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Biology, Ecology*, 48(4):251–266.
- Sarv, I. 1974. Metsa kultiveerimise viisidest Maardu ammendatud fosforiidikarjäärides. – *Metsanduslikud uurimused*, 11:224–240.

- Soosaare soo taastamiskava [SSTK]. 2016. Eesti Looduse Fond, Tartu Ülikool, Arheovisioon. 39 lk.
- Starast, M., Karp, K., Paal, T., Värnik, R., Vool, E. 2005. Kultuurmustikas ja selle kasvatamine Eestis. – Eesti Põllumajandusülikool, 65 lk.
- Valgepea, M., Raudsaar, M., Karu, H., Suursild, E., Pärt, E., Sims, A., Kauer, K., Astover, A., Maasik, M., Vaasa, A., Kaimre, P. 2021. Maakasutuse, maakasutuse muutuse ja metsanduse sektori sidumisvõimekuse analüüs kuni aastani 2050. – Keskkonnaagentuur, Eesti Maaülikool, 164 lk. DOI: 10.15159/eds.rep.21.01.
- Valk, U. 1988. Soode kasutamine. – Rmt: Eesti sood. Valk, U. (toim.). – Valgus, Tallinn, lk 187–217.
- Valk, U. 2005. Eesti rabad [Estonian Bogs]: Ecological-Silvicultural Research. – Halo Kirjastus, Tartu, 314 lk.
- Wichtmann, W., Schröder, C., Joosten, H. (eds.). 2016. Paludiculture – productive use of wet peatlands. Climate protection - biodiversity - regional economic benefits. – Schweizerbart Science Publishers Stuttgart, Germany, 37 p.
- Wilson, D., Renou-Wilson, F., Farrell, C., Bullock, C., Müller, C. 2012. Carbon Restore – The potential of restored Irish peatlands for carbon uptake and storage. – The potential of peatlands for carbon sequestration. CCRP Report 15. – Environmental Protection Agency, Dublin, Ireland. 32 p.