



EESTI EROSIONIST HÄIRITUD MULDKATTED: MULDADE NOMENKLATUUR JA UURIMISE AJALUGU

EROSION-AFFECTED SOILS IN ESTONIAN SOIL COVER: NOMENCLATURE OF SOILS AND THEIR RESEARCH HISTORY

Raimo Kõlli, Tõnu Tõnutare

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

Saabunud: 26.04.2020
Received:
Aktsepteeritud: 11.06.2020
Accepted:
Avaldatud veebis: 30.06.2020
Published online:
Vastutav autor: Raimo Kõlli
Corresponding author:
E-mail: raimo.kolli@emu.ee

Keywords: erosion-affected soils, eluvial and deluvial soil, year soil, Estonian soil classification, water and wind erosion, research history.

DOI: 10.15159/jas.20.12

ABSTRACT. The work, dedicated to the eroded soil *i.e.* the year 2020 soil of Estonia, consists of two-part. In Part I the general overview (a) the regularities of erosion processes and their forming conditions in the soil cover, and (b) the agro-ecological properties and nomenclature of formed erosion-affected soils (EAS), are treated. Totally in the Estonian soil classification (ESC) 11 eroded and 3 deluvial (colluvial) soil species have been determined. For the main criteria of eroded soils' determination is (a) the intensity or stage of erosion, and (b) the calcareousness of soil cover, but deluvial soils (a) the soils' water regime and (b) the thickness of formed deluvial humus horizon. In this part also the determination criteria of erosion-prone soils and the agronomic quality of EAS are analysed. In Part II the historic overview about scientific researches dedicated to the study of influenced by erosion soils during the last century in Estonia. In this overview, the main thematic issue and the role of leading scientists on researches of most actual problems are presented. The most important themes during this period were: (a) the elaboration suitable for local conditions EAS classification and methods for their field researches; (b) the distribution of EAS in Estonia; (c) the studies upon forming, composition and status of EAS-s; (d) forming databases on essential properties of EAS-s and derived from this the rules of their ecologically sustainable use, and finally (e) the international aspects of Estonian EAS presentation and local researches.

© 2020 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2020 Estonian Academic Agricultural Society.

I Ülevaade erosioonist mõjutatud muldade nomenklatuurist ja nende kujunemisest

Erosiooniprotsessid ja nende toimumise eeldused

Erosioonist häiritud (mõjutatud, rikitud, degradeeritud) mullad on oma olemuselt anormaalsed mullad. Nende anormaalsus seisneb selles, et loomulik bioloogilise olemusega mullatekkeprotsess on neil olnud häiritud erosioonist kui geoloogilisest protsessist. Antud töös on nende koondnimetuseks *erosioonist häiritud mullad* ja koodiks *EHM*. EHM hulka kuuluvad ühelt poolt *erodeeritud (E)* ehk ära uhitud mullad ja teiselt poolt *deluviaal- (D)* ehk peale uhitud mullad (joonis 1; tabel 1).

Sademete- ja lumesulamise vete mõjul erodeeritud mullad esinevad praegustel või endistel üle 3° kallakuga haritavatel maadel. Künklikel põllumajandusmaastikel on tavaliselt erosioonist mõjutatud (rikitud) kühnude, künniste, kuplite ja seljakute laed ning nende nõlvade

ülemised kumerad osad (Maa-uuringud, 2009). Tugevasti liigestatud tasandike puhul esinevad vee-erosioonist mõjutatud mullad orulaadsete pinnavormide nõlvade ülemistel servadel. Taolise põllumaadel esineva pinna- ja pealse kiirendatud (võrreldes looduslike aladega) erosiooni kõrval esineb sageli ka muldkatet väga tugevasti degradeerivaid uhtevagusid ja -kraave (joonis 2).

Tuuleerosioon, mis on üpris harva esinev nähtus Eesti oludes, võib selleks sobivatel eeldustel (taimkatteta ala, tugev tuul, rohke mulla struktuuriagregaatideks sidumata tolmu ja peenliiva sisaldus, peenestunud humifitseerumata vare esinemine mulla pinnal ja kuiv maapind) tekitada siiski märgatavat kahju (Ratas, Int, 1978). Kuna tuuleerosioon (mullaosakeste ära- ja pealekanne) on Eesti põllumajandusmaastikke vähe mõjutav nähtus ja oleneb vaid maakasutuse tehnoloogiast, ei ole neid muldasid mullaliikide nimekirjas (Astover, 2012). Küll on aga mullastiku uurimisel välja selgitatud tuuleerosiooniohtlikud alad.





Joonis 1. Erosioonist häiritud muldade (EHM) profiilid: a) Erodeeritud muldad (E) ja b) Deluviaalmuldad (D). Allikas: EMÜ mullamuuseum
Figure 1. Profiles of erosion-affected soils (EAS): a) Eroded soils (E) and b) Deluvial soils (D). Source: Soil museum of EULS

D muldad, mis kaasnevad E muldadega, esinevad eelpoolmainitud maastike positiivsete pinnavormide alumistel nõgusatel nõlvaosadel, nende jalamiltel või E muldadega vahetult (mõnekümne meetri laiuselt) piirnevatel madalamatel (seega ka osaliselt niiskematel) tasandikel või lohkudes. Tunduvalt selgemini on võimalik eristada, võrreldes tuule ärakandest mõjutatud aladega, neid alasid, kuhu on toimunud tuulega ära kantud setete akumulatsioon (joonis 3).

Teatavasti on E muldad, kui olulisim osa EHM-st, valitud ka Eesti 2020. aasta mullaks (Leedu, Astover, 2019). Seega väärivad nad käesoleval ajal teistest suuremat tähelepanu ja esiletõstmist Eesti loodust käsitlevates publikatsioonides. On selge, et aastamulla 2020 iseloomustamisel ei saa piirduda ainult ühe erodeeritud

mullaliigiga, sest et Eesti pedo-ökoloogilistes tingimustes on osutunud otstarbekaks eristada kokku 11 erodeeritud mulla liiki. E muldad ei erine üksteisest mitte ainult erosiooni astme poolest vaid ka mullaprofiili karbonaatsuse, huumusseisundi ja viljakuse poolest.

Vee- ja tuuleerosiooni kõrval esineb põllumajandusmaastike muldkattes ka tehnogeenset erosiooni, mis kaasneb kallakuliste alade harimisele (Kask, Heinsalu, 1991). Haritava mullakihi nihutamine esmase paiknemise kohast madalamale võib toimuda nii künni kui kultiveerimise käigus. Olulisemaks tehnoloogilise erosiooni toimumise näitajaks põldudel on huumushorisoni tüsenemine maastike madalamatel osadel ning ka selle ebahütlaseks muutumine.



Joonis 2. Vee-erosioonist mõjutatud põllumajandusmaastike muldkate: a) vee-erosioon värskest haritud põllul ja b) uhtekraavide ja -vagudega rikutud teraviljapõld. Foto: I. Lemetti

Figure 2. Soil cover of affected by water erosion agricultural landscape: a) sheet water erosion on freshly tilled field, and b) spoilt with gully erosion channels and furrows field of cereals. Photo: I. Lemetti



Joonis 3. a) Tuuleerosioonil tekkinud tuulevired kahkjal saviliiv-mullal 2015. aasta aprillis ja b) sama ala ilme 2020. aasta aprillis.

Asukoht: Haljala lõunapoolne (vt kiriku torn ja viadukt) ala, mille täiendavaks orientiiriks on fotol 3a nähtav kõlvikute piir. Foto: T. Kõlli
Figure 3. a) Formed by wind-erosion gusts on Pseudopodzolic loamy sands in April of 2015, and b) the appearance of same area in April of 2020. Location: Southern area of the village Haljala, whereas for the landmarks the church steeple, road viaduct and headland between fields may be taken Photo: T. Kõlli

Erosioonist häiritud muldade nomenklatuur

Eesti muldade klassifikatsioonis (EMK) ja muldade suuremõõtkavalise (1:10000) uurimise kaardistamisühikute nimekirjas (tabel 1) on eristatud 11 erodeeritud ja 3 deluviaalse mulla liiki (EPP, 1982; Astover, 2013). Seega on EMK-s kokku 14 EHM liiki, mis moodustavad ca 14% EMK mullaliikide koguarvust. EHM suur mitmekesisus ja mullakaartide suur kirjusus EHM leviku aladel selgub kasvõi juba sellest, et Eesti muldkatte kogupinnast moodustavad EHM vaid ca 1,2%.

EHM liikide paljusus on tingitud soovist võtta võimalikult täpselt arvele kõik nende erinevad variandid ja kajastada need mullastiku kaardil. Samas on oluline teada, et EHM maastikul või muldkattes on selgemini kui teiste muldade korral tajutav muldade kontiinuumi taolise leviku (pidevalt ühest mullast teiseks muutmise) printsiip. See omakorda tingib selle, et eri muldade kontuuride eraldamisega on keeruline anda head ülevaadet ühe või teise EHM liigi levikust. EHM-di ja

nende esinemise iseloomu saab hoopiski adekvaatsemalt uurida-kirjeldada kasutades maastikule rajatud transektide meetodit (Kokk, Rooma, 1971; Heinsalu, 1982; Kõlli, 1993). Ülevaade Eestis tehtud kateenade s.o mullastikulis-geomorfoloogiliste pikiprofiilide uurimistest antakse töö II osas.

EHM põhinimestikku (Tabel 1) detailiseeritakse koodide ja indeksitega. (1) Koodid: DG1 on turvastunud deluviaalmuld, ning Lke koondab kõik nõrgalt erodeeritud erineva leetumisastmega (st nõrgalt, keskmiselt ja tugevasti leetunud) mullad, milliste täpsustatud koodid on vastavalt LkIe, LkIIe ja LkIIIe; (2) Koodidele lisatud indeksite tähendused on: a – nõrk alluviaalsus, al – allikaline veerežiim, (g) – nõrk liigniiskus; d – nõrk pealeuhe (deluviaalsus); e – nõrgalt erodeeritud, ning (3) EHM nimetusi üldistatakse järgmiselt: E – erodeeritud ja D – deluviaalmullad, ning E1 – võtab kokku kõik nõrgalt erodeeritud mullad, sealhulgas Ke → E1k, Koe&KIE → E1o ja LPe&Lke → E1l.

Tabel 1. Eesti muldade klassifikatsioon (EMK) ja muldade kaardistamisühikute nimekirjas eristatud erosioonist häiritud muldade (EHM) liiginimetused ja koodid

Table 1. *Erosion-affected soil species' names and codes of Estonian soil classification and of soil mapping units list*

Kood Code	Mullaliigi nimetus / Name of soil species Erodeeritud mullad (E) / Eroded soils (E)
Ke	Nõrgalt erodeeritud karbonaatne muld <i>Slightly eroded calcareous soil</i>
Koe	Nõrgalt erodeeritud leostunud muld <i>Slightly eroded leached soil</i>
KIe	Nõrgalt erodeeritud leetjas muld <i>Slightly eroded eluvial soil</i>
LPe	Nõrgalt erodeeritud kahkjasmuld <i>Slightly eroded pseudopodzolic soil</i>
Lke	Nõrgalt erodeeritud leetunud muld <i>Slightly eroded sod-podzolic soil</i>
E2k	Keskmiselt erodeeritud rähkmuld <i>Moderately eroded calcareous soil</i>
E2o	Keskmiselt erodeeritud leostunud muld <i>Moderately eroded leached soil</i>
E2I	Keskmiselt erodeeritud leetunud muld <i>Moderately eroded eluvial soil</i>
E3k	Tugevasti erodeeritud rähkmuld <i>Severely eroded calcareous soil</i>
E3o	Tugevasti erodeeritud leostunud muld <i>Severely eroded leached soil</i>
E3I	Tugevasti erodeeritud leetunud muld <i>Severely eroded eluvial soil</i>
Deluviaalmullad (D) / Deluvial soils (D)	
Dam ¹⁾	Automorfne deluviaalmuld / <i>Automorphic deluvial soil</i>
Dg	Gleistunud deluviaalmuld / <i>Gleyed deluvial soil</i>
DG	Deluviaal-gleimuld / <i>Deluvial gley-soil</i>

¹⁾ Mullastiku kaartidel kasutatakse selle mullaliigi nimetusena koodi D

¹⁾ Code D is used as the name of this soil type on soil maps

Erosioonist häiritud muldade jaotamise kriteeriumid

EHM hulka kuuluvad automorfseid (põuakartlikud ja parasniisked) E mullad jaotatakse ühelt poolt **erosioonistme alusel**:

- nõrgalt erodeeritud (paiknevad kallakutel <5°) mullad (E1, E¹, e): Ke, Koe, KIe, LPe, Lke;
- keskmiselt erodeeritud (kallakutel 5–10°) mullad (E2, E²): Ek2, Eo2 ja EI2 (NB! sõltuvalt kontekstist on aktsepteeritav ka E2k, E2o ja E2I);
- tugevasti erodeeritud (kallakutel 10–20°) mullad (E3, E³): Ek3, Eo3, EI3);
- väga tugevasti erodeeritud (kallakus >20°) mullad (tähistatakse mullakaardil tingmärgiga) kuna nad on oma olemuselt muldkatteta rikutud pinnased.

Koos E muldadega esinevad maastiku kõrgematel tasandikel vee-erosioonist puutumata mullad, millisteks võivad olla rähksed (K), leostunud (Ko), leetjad (KI), kahkjad (LP) või leetunud (Lk) mullad, mis moodustavad erineva mullaliikide koosseisuga mulla-kooslusi.

Teiselt poolt jaotatakse E mullad **profili karbonsuse** või mulla kihisemise sügavuse järgi kolmeks:

- karbonaatsed E mullad (kihisemine kuni 30 cm sügavusel): Ke, Ek2, Ek3;
- leostunud E mullad (kihisemine sügavusel 30–60 cm): Koe, KIe, Eo2, Eo3 ja

- leetunud E mullad (kihisemine profiilis puudub või on sügavamal kui 60 cm): Lke (või LkIe kuni LkIIIe), LPe, EI2, EI3.

EHM hulka kuuluvad D mullad jaotatakse, esiteks **veerežiimi** järgi, eristades:

- automorfseid (parasniisked) D mullad – Dam;
- gleistunud ehk niisked D mullad – Dg;
- deluviaalsed-gleimullad – DG ja
- turvastunud D mullad – DG1.

Teiselt poolt jaotatakse D mullad **pealeuhutud mullakihi tuseduse** järgi:

- nõrgalt pealeuhutud (Ad horisondi tusedus on <30 cm) – D';
- keskmiselt pealeuhutud (Ad 30–60 cm – D" ja
- tugevasti pealeuhutud (Ad tusedus >60 cm) – D'''.

EHM mullaliikide omavaheline seos on kujutatud anomaalsete muldade maatriksil (joonis 4). See maatriks näitab EHM-de kui anomaalsete muldade seost vastavate normaalsete muldadega. Vertikaalse skalaari esimesel real paiknevad erodeeritud karbonaatsed (Ek) mullad on tekkinud rähk-(K)muldadest; Eo mullad – leostunud (Ko) ja leetjatest (KI) muldadest ning EI mullad kahkjatest (LP) ja leetunud (Lk) muldadest. Automorfseid deluviaalmullad (Dam) on omadustelt lähedased KI-LP-Lk muldadele.

Horisontaalse (mulla vee-olude) skalaari 0 positsioonil ehk esimeses tulbas on põuakartlikud mullad, millisteks on kõik E3 mullad (Ek3, Eo3 ja EI3) ning kerge lõimisega E2 mullad. Teises tulbas on parasniisked mullad, millisteks on kõik nõrgalt erodeeritud (E1, e) mullad (Ke, Koe, KIe, LPe ja Lke) ning keskmise ja raske lõimisega keskmiselt erodeeritud (E2) mullad. Deluviaalmuldade (maatriksi 4. rida) näitab, et lisaks joonisel toodud mullaliikidele võivad looduses esineda veel ka deluviaalsete setetega kaetud madalsoomullad (M).

Peale EHM kompleksi on Eesti muldkatte suuremõotkavalisel uurimisel eristatud kallakulistel aladel esinevad erosiooniohtlikud mullad (EOM). Erosiooniohtlikeks peetakse muldasid, millistel võib nende ülesharimisel vallanduda mulda degradeeriv vee- või tuuleerosioon. EOM jaotamise aluseks on mulla liik, selle lõimis ja kallakuse aste, millistest mõlemad on fikseeritud ka 1:10000 mullastiku kaartidel (Maa-uuringud, 2009). EOM nomenklatuur ja määramise alused on kättesaadavad suuremõotkavaliste mullastiku kaartide seletuskirjadest ja välitööde juhenditest (Astover, 2012, 2013). Väliuurimistel on erosiooniohtlikkuse määramise aluseks mõõdetav suurus – ala kallakus kraadides (3–5° nõrgalt, 5–10° keskmiselt, 10–20° tugevasti ja >20° väga tugevasti erosiooniohtlikud), mis on märgitud kaardile astmete numbriga mullakoodi järgi sulgudes (vastavalt (1), (2), (3) ja (4)). Samas tuleb arvestada, et väiksemal hulgal juhtudel võib tegelik erodeeritus olla ohtlikkuse astmest nii suurem kui väiksem.

Erosioonist häiritud mullad		Põua-					
		karlikud	Paras-	niisked	Gleis-	Glei-	Turvas-
		E^{3-2}	E^{2-1}	(g)g	G	G1	M
Erodeeritud	Karbonaatsed	Ek	Ek^{3-2}	Ek^{2-1}			
	Leostunud	Eo	Eo^{3-2}	Eo^{2-1}			
	Leetunud	Ei	Ei^{3-2}	Ei^{2-1}			
Deluviaalsed		D		Dam	Dg	DG	DG1

Joonis 4. Erosioonist häiritud muldade maatriks. Muldade nimetused leiab koodide järgi tabelist 1

Figure 4. Matrix of erosion-affected soils. Vertical scalar: Eroded calcareous soils, Eroded leached soils, Eroded eluvial soils and Deluvial soils; Horizontal scalar: Drought timid soils, Normal moisture soils, Gleyed soils, Gley-soils, Peaty soils and Peat soils. For soil names after their codes see Table 1

EHM ülesehitusest, omadustest, leviku seaduspärasustest ja produktiivsusest

EHM nomenklatuur määrab paljuski ära ka E ja D muldade huumusseisundi (Ae ja Ad tüsedus, huumuse sisaldus ja varu ning aastakäibe iseloom) ning viljakuse või produktiivsuse (boniteet, hindepunktid). Mistahes mullaliigi (või -erimi) huumusseisundi all mõistetakse selle mulla orgaanilise aine majandamise iseloomu ehk orgaanilise aine voogu läbi muldkatte: sisend mulda → seisund või olek ja muundumine → väljund. Muldade huumusseisundit saab peale huumuse (ehk orgaanilise aine) kaudu tehtava iseloomustuse teha ka mullas oleva orgaanilise süsiniku (C_{org}) või huumuses sisalduva energia alusel. EHM puhul on mulla orgaanilise aine käibes tegemist valdavalt hästi humifitseerunud orgaanilise aine ehk huumusega. Vaid liigniisketes deluviaalmuldade huumusprofiili alumises osas või maetud mulla profiilis võib esineda toorhumust (pooleldi humifitseerunud orgaaniline aine) või turvast (väga vähesel määral humifitseerunud).

Käesolevaks ajaks on EMK-is välja kujunenud E muldade erosiooniastme järgi jaotamine üldistatud skeem kogu mullamassi (või ka selle koostis oleva huumuse või C_{org}) ärakantud ja paigale jäänud koguste järgi, kus E1 puhul on $<1/4$ ära kantud ja $>3/4$ paigale jäänud; E2 puhul on need arvud vastavalt $1/4-1/2$ ja $1/2-3/4$; E3 puhul $1/2-3/4$ ja $1/4-1/2$ ning E4 puhul $>3/4$ ja $<1/4$. Kuna maapinna kulumist ehk erosiooni ei ole võimalik määrata ärakantud mullakihi paksuse kaudu, tehakse erosiooni aste kindlaks kohale jäänud (olemasoleva) huumusevaru pindtiheduse (Mg ehk tonni hektari kohta või $kg\ m^{-2}$) alusel.

Erosioonist mõjutatud huumushorisoni (Ae) tüsedus ei sobi hästi erosiooniastme määramiseks, sest muld võib olla küntud sügavamalt kui seda on põhjustanud erosioon. Ei sobi ka huumuse (*pro* C_{org}) sisaldus (kontsentratsiooni mõttes), sest see võib olla lahendatud liialt sügava künni tõttu. Küll aga on heaks näitajaks huumuse või C_{org} varu pindtiheduse muutumine. Ka D muldade puhul tuleks põhinäitajaks võtta huumuse varu. Samas iseloomustab keskmiselt ja tugevasti pealeuhutatud D muldasid hästi ka deluviaalse huumushorisoni (Ad) tüsedus, sest et piir maetud ja pealeuhutatud mulla vahel on morfoloogiliste tunnuste järgi nendel muldadel kergemini määratav. Nõrgalt pealeuhutatud D muldade korral on tüsedusega opereerimine küsitav, sest Ad kujunemine võib olla mõjutatud sügava künniga. Kuigi tavaliselt on D muldade huumuse sisaldus veidi kõrgem tänu peenestunud orgaanilise aine osiste juurdetulekule mulda, eksisteerib siin seaduspärasus, et tugevasti erodeeritud muldadele kaasnevad D mullad on tunduvalt vaesemad C_{org} poolest võrreldes vähemal määral erodeeritud muldadele kaasnevate D muldadega.

EHM huumusseisundiga on otseselt seotud nende produktiivsus, mille kaudseks näitajaks on mulla boniteet. Siinjuures saab mulla boniteedi hindamistabeleid, mis on koostatud varem katsetes saadud andmete ja nende üldistuste alusel, käsitleda kui Eesti EHM produktiivsuse mudelit (Maa-amet, 1992). Mõnede erodeeritud mullaerimite viljakuse (antuna hindepunktides) seost ja selle muutumise seaduspärasust iseloomustab joonis 5. Jooniselt selgub, et mulla viljakus väheneb oluliselt seoses erosiooniastme suurenemise ja lõimise muutumisega liivsavidelt kergemate lõimiste (saviliiv, liiv) suunas.

	E^{3-2}	E^{2-1}	(g)g	G	G1
a)					
Ek	Ek^3	Ek^2	Ek^1	Kood	
Eo	Eo^3	Eo^2	Eo^1		
Ei	Ei^3	Ei^2	Ei^1		
D		Dam	Dg	DG	DG1
b)					
Ek	16	22	28	liiv	
Eo	14	20	25		
Ei	12	17	23		
D		40	32	30	
c)					
Ek	29	39	48	liivsavi	
Eo	27	37	46		
Ei	25	35	44		
D		55	42	38	
d)					
Ek	24	33	43	savi	
Eo	23	32	42		
Ei	21	30	41		
D		53	40	37	

Joonis 5. Erosioonist häiritud muldade boniteet hindepunktides olenevalt mulla lõimisest (Maa-amet, 1992). Muldade nimetused leiab koodide järgi tabelist 1

Figure 5. Quality of erosion-affected soils in points as dependent of their texture (Maa-amet, 1992). Compartments: a) codes, b) sand, c) loam and c) clay. For soil names after their codes see Table 1

Jooniselt 2 selguvad hindepunktide muutumise seaduspärasused: 1) lõimiselt sl → ls (aga ka l → sl) tõuseb boniteet 6 kuni 10 punkti võrra; 2) Ek → Eo → Ei väheneb boniteet 2 punkti võrra iga jaotuse kohta, ja 3) E1 → E3 alaneb boniteet 5–6 punkti võrra ühe erosiooni astme kohta. D muldade puhul suureneb boniteet reas l → sl → ls 7–8 punkti võrra ja kuivenduse mõjul reas DG → Dg → Dam puhul 4–5 punkti võrra iga astme kohta. R. Kase (1975) eksperthinnangu järgi väheneb mulla produktiivsus võrreldes vastava normaalse mullaga reas E1 → E2 → E3 vastavalt 15, 30 ja 50%. Üldise seaduspärasuse järgi suureneb erosiooni tagajärjel muldade karbonaatsus ehk on tajutav oluline mulla pH tõus. Taoline nähtus on otseselt seotud moreenküngastike lähtekivimitega, mis on valdavas osas karbonaatsed. Muldkatte pealt kulumine toob neid materjale maapinnale järjest lähemale.

Uurimisandmetega on tõestatud ka lõimiste paiknemise seaduspärasused D muldadel (Kask, 1955b; Heinsalu, 1982). Nii setivad tugevama erosiooni korral paigast nihutatud mulla korese (kruus, rähk) ja mullapeenese (jämme liiv) osised nõlva jalamate kõrgematel osadel, peene liiva ja jämeda tolmu osakesed sellest allpool, nõlva nõgusal jalamil. Samas ei seti ibe ja peene tolmu osakesed kuigi kergesti välja erosiooni põhjustavatest vetest ning nad kantakse kaugematele tasandikele või sulglohkudesse. Nimetatud nõlva- või erosiooniprotsessidest tingituna on D muldade puhul

enamlevinud lõimise kateenadeks liiv → saviliiv → liivsavi → savi. Loomulikult on võimalikud erinevad kombinatsioonid sõltuvalt erodeerumisele allunud mulla granulomeetrisest koostisest ehk lõimisest.

II Ajalooline ülevaade Eesti erosioonist häiritud muldade teaduslikust uurimisest: Olulisi momente ja isikuid

Sissejuhatuseks

Muldade klassifikatsiooni (sh EMK) tuleks võtta kui töövahendit, mille abil määratakse mulla nimetus ja fikseeritakse sealjuures teatud hulk mulla diagnostilisi omadusi. Käesoleval ajal ametlikus kasutuses olev EHM klassifitseerimise versioon sai oma praeguse sisu ja ülesehituse juba 1980-ndate aastate alguses (EPP, 1982). Selleks ajaks oli tema üle piisavalt diskuteeritud, praktikas järeleproovitud ja täiustatud ca 35 aastat. EHM klassifikatsiooni arendamine toimus muidugi koos kogu EMK-ga, mille arenduse kulgu on analüüsitud mitmetes ülevaatelistes kirjutistes (Kõlli, 1998). Samas peab mainima, et ei EHM jaotus, ega kogu EMK ole midagi põlistatud, sest nad on avatud asjakohastele täiendustele kui selleks on põhjust või on kogunenud suuremal hulgal uut teavet. Teatavasti on erinevate mullaklassifikatsioonide puhul olnud heaks tavaks, et teatud aja (ca iga tosina aasta) tagant revideeritakse ja täiendatakse uuesti kogunenud info ja teadmiste alusel kehtivat klassifikatsiooni

ja minnakse üle uuele täiustatud versioonile. Samal ajal püütakse seda lähendada globaalselt enamkasutatavatele põhimõtetele või jaotustele. Taunimist väärivaks asjaks on igal juhul rahvusliku tööluse või aspekti ignoreerimine st täielik mugandumine mingisse rahvusvaheliselt tuntumasse süsteemi (WRB, USDA, jt). Samas tuleks EMK järgi tehtud määrangud jätta avatuks rahvusvahelisele üldsusele nende (s.o EMK järgi tehtud määrangute) konverteerimisega eelpoolmainitud (WRB, USDA) globaalselt enamtuntud süsteemidesse (SSS, 2014; IUSS, 2015).

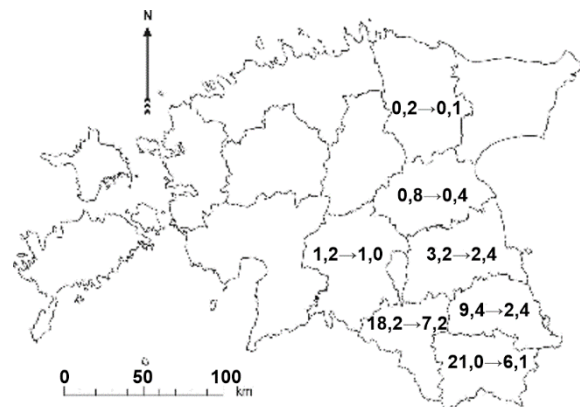
Tee tänapäeval aktsepteeritud EHM klassifikatsioonini ja välitööde meetodikateni

Kuigi EHM käsitlesid põgusalt ka Eesti vanema põlvkonna mullateaduse suurkujud Anton Nõmmik (1938) ja Alfred Lillema (1949) oli üheks väljapaistvaks erodeeritud muldade klassifikatsiooni väljatöötajaks ja uurijaks Rein Kask (1953; 1955a; 1955b; 1960a). Tema arvukates töödes ja hiljem koos Arnold Pihoga valmisid esimesed trükised erodeeritud muldade väliuurimise meetodika (kirjeldamine, kaardistamine, proovide võtmine, omaduste süstematiseerimine jms) kohta (Piho, Kask 1960; Piho jt, 1960). Alates viiekümnendate lõpust kui moodustati mullastiku uurimise grupp (millest kujunes hiljem Eesti Põllumajandusprojekti mullastiku uurimise osakond) toimusid rohkearvulised diskussioonid nii kogu mullastikku hõlmava EMK kui ka sellesse kuuluva EHM klassifitseerimise osas (Rooma, 1984). R. Kase ja A. Piho kõrval andsid selles asjas suure panuse praktilise kaardistamise otsesed läbiviijad Igna Rooma, Ragnar Kokk, Vambola Valler, Toomas Teras jt, tehes seda selleks ajaks laekunud uurimisandmete alusel (Kokk jt, 1968; Kokk, Rooma, 1974; Kokk, 1977). Käesoleval ajal kasutatava Eesti EHM klassifikatsiooni leiab vähestest täiendustega mitmetest publikatsioonidest (Maa-amet, 2001; Maa-uuringud, 2009; Astover, 2012). Olulisel määral on edasi arendatud ka välitööde meetodikat (Kõlli, 1993; Astover, 2013) ning nüüd on see üsna lähedane rahvusvaheliselt tuntumate juhendmaterjalidega (SSDS, 1993; FAO, 2006).

Erosioonist häiritud muldade levikut Eestis

Esialgseid andmeid EHM levikust võib leida juba Eesti Vabariigi kahe- ja kolmekümnendatest aastatest (Nõmmik, 1925, 1938). Kuid esimese Eesti mullastiku valdkondadeks jaotuse skeemi, milles oli eristatud ka erodeeritud muldade valdkond, ja Eesti mullastiku kaardi koostas siiski A. Lillema (1958, 1959). Pinnalise erosiooniprotsessi levikut Eestis on uurinud R. Kask (1959). Käivitunud suuremõtkavalise mullastiku uurimisega lisandus olulist teavet ka EHM kohta, nii et oli

võimalik näidata EHM-de koosseisu kogu Eesti, eristatud agro-mullastikuliste mikrorajoonide ja maakondade (joonis 6) ulatuses (Kokk, Rooma, 1974, 1983; Kokk, 1995). Kõige täpsema ülevaate mistahes Eestimaa nurgas esinevatest EHM-dest annab interneti kaudu kättesaadav Eesti digitaalne mullastiku kaart (joonis 7; Maa-uuringud, 2009). Selle kaardi alusel on koostatud eri tehnikates ülevaatlikke skeeme EHM esinemisest Eestis (Kask jt, 2006; Köster jt, 2010; Leedu, Astover, 2019).



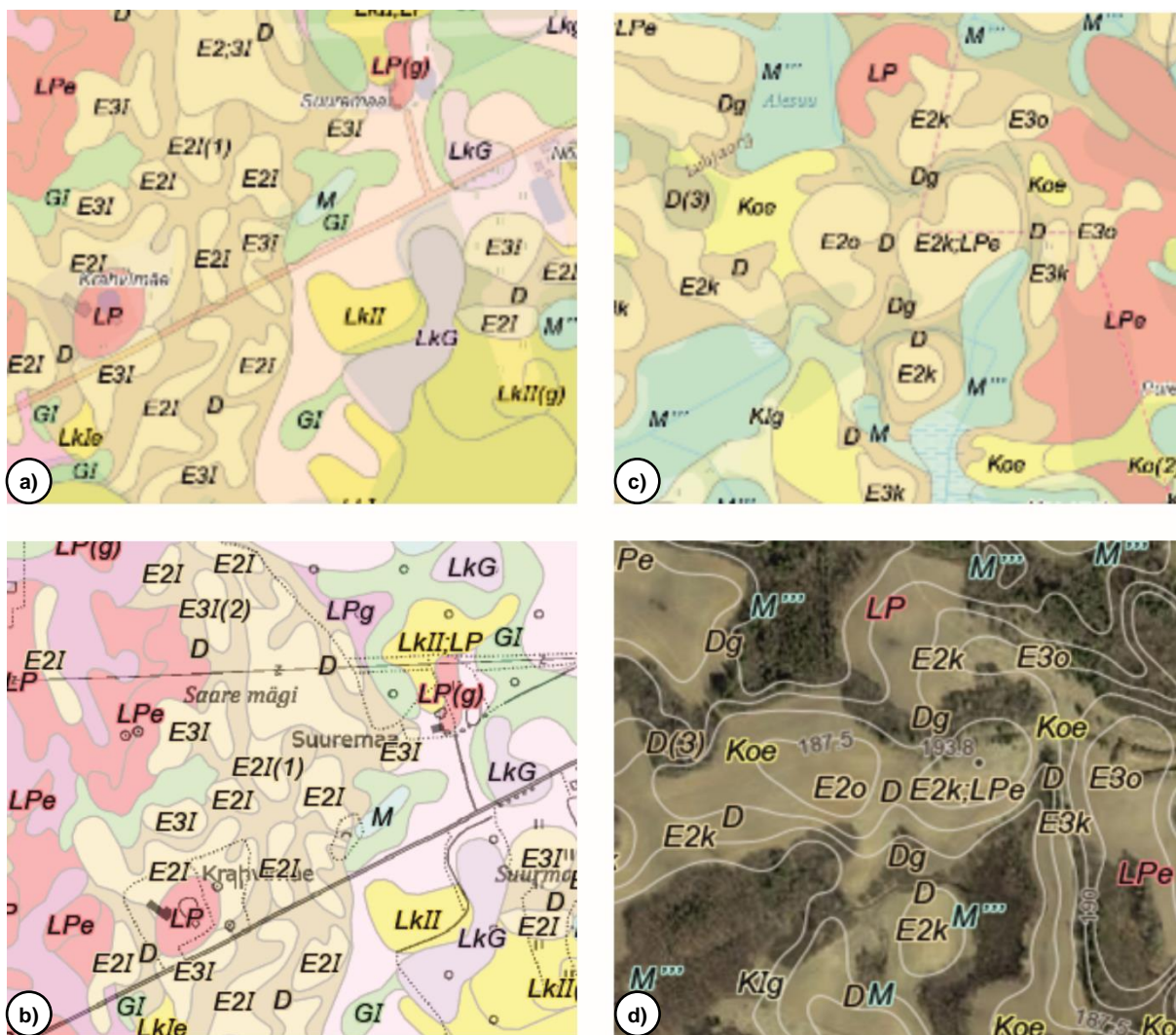
Joonis 6. Erosioonist häiritud muldade levik Eesti maakondade põllumajanduslikul maal (Kokk, Rooma, 1974).

Mullad: E → D, kus esimene arv näitab erodeeritud ja teine deluviaalmuldade osakaalu protsentides

Figure 6. Percentage of eroded (first number) and deluvial soils (second number) from the total agricultural land of Estonian counties (by Kokk, Rooma, 1974)

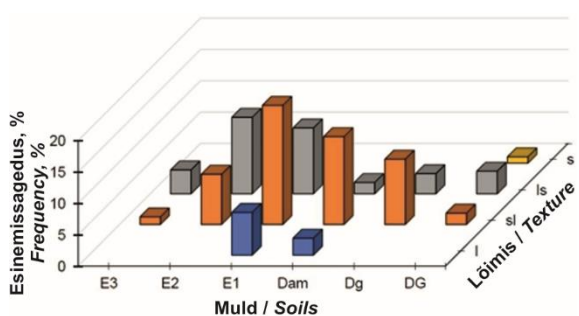
Tänuväärse arenduse on teinud maastikuteadlane Ivar Arold, kes maastiku struktuurühikute eraldamisel on võtnud arvesse ka EHM (Arold, 2005). Nii on tema poolt eristatud karbonaatse ja karbonaadiivase kattega moreenküngastike paigastikud, kus esimesel on domineerivateks Ek ja Eo mullad, mille erimite lõimiseks on karbonaatset veerist sisaldavad saviliivad ja liivavid (vsl, vls), teistel aga leetunud mullad (EI) raudkivi-veeriselised saviliivad ja liivavid (v°sl, v°ls). Lisaks nendele on eristatud erodeeritud muldkattega voorestike paigastikud, mis on jaotatud samuti kaheks vastavalt kattekihi karbonaatsusele ja sellega seotud erodeeritud mullaliikide esinemisele. I. Aroldi (2005) maastiku paigastike kaart kätkeb endas seega ka EHM muldade levikut.

EHM levikut mullaerimite tasemel Eestis kajastab ülevaatlikult joonis 8, mis on koostatud põllumajanduslike maade kaardistamisel kogunenud andmete põhjal (Kokk, Rooma, 1974, 1983). Mitme autori arvates on EHM osakaal Eesti haritava maa muldade hulgas vähenenud seoses piirangutele maakasutuse tehnoloogiates, nende viimisega metsade ja rohumaade alla jms (Kask, 1975, 1996; Reintam jt, 2000, 2001).



Joonis 7. Väljavõtted Eesti digitaalselt mullastiku kaardilt. Asukoht ja kaardi liik: a) Krahvimäe ümbrus, b) sama põhikaardil, c) Kuutsemäe ümbrus ja d) sama kõrgusjoontega ortofotol (Maa-uuringud, 2009)

Figure 7. Excerpts from the digital soil map of Estonia. Location and kind of map: a) Environs of Krahvimäe b) the same on basic map, c) Environs of Kuutsemäe, and d) the same on orthophoto with height lines (Maa-uuringud, 2009)



Joonis 8. Eesti erosioonist häiritud muldade koosseis mullarühmitest (Kokk, Rooma, 1983)

Figure 8. Composition of erosion-affected soils of Estonia by their varieties (Kokk, Rooma, 1983). Soil names by codes see Table 1. Texture: l – sand, sl – loamy sand, ls – loam and s – clay

Uurimused EHM koosseisu, nende tekkeprotsesside ja seisundi kohta

Erosiooni kui kallaklikel aladel esinevat muldkatte omadusi muutvat ja diferentseerivat nähtust on Eesti olude kohta oma rohkearvuliste töödes valgustanud R.

Kask. Tema töödes EHM-dega maastike kohta on käsitatud erosiooniprotsesside toimumise mehhanisme (Kask, 1955b, 1957, 1958, 1960b, 1975, 1984, 1996). Olulise panuse erosiooniprotsesside käsitlemise osas on teinud ka Alo Heinsalu (Heinsalu, 1982, 1983; Kask, Heinsalu, 1991). Käesoleva sajandi teise aastakümne üldistused Eestis toimuvate erosiooniprotsesside kohta nii mullateaduse (Astover, 2012) kui maa-teaduse seisukohalt (Hang, Kalm, 2014) on tehtud vastavates kõrgkooli õpikutes.

Adekvaatse ülevaate EHM omavahelistest seostest ja struktuurist on andnud tugevasti liigestatud maastikku rajatud pikiprofiilide (transektide) põhjal toimunud EHM kateenade uurimised. Taolised uurimused on andnud peale muldade koosseisu ja ülesehituse kindlakstegemise teavet ka muldade ja nende lõimiste järgnevuse seaduspärasustest (Kokk, Rooma, 1971; Heinsalu, 1983, 1988; Kölli jt, 2010; Jandl jt, 2019). Erosiooniprotsesse, EHM-sid ja nendega seotud maa-kasutuse eripärasust on käsitatud nii agronoomia eriala lõputöodes (Liiva, 1992; Ellermae, 1996), kui ka

magistri (Ellermäe, 1999) ja teaduste kandidaadi (Kask, 1955b; Ratas, 1979b) väitekirjades.

Põhjapaneva töö Eestis esineva tuuleerosiooni kohta on teinud Rein Ratas oma väitekirjas (Ratas, 1979b). Tuule-erosiooni toimumisega seotud seaduspärasusi ja toimumiseks vajalike tingimuste esinemist Eesti maastikes on käsitletud paljud erinevad autorid (Valler, 1972; Int, 1977; Ratas, 1977, 1979a; Ratas, Int, 1978; Kask, Raig, 1983; Reintam jt, 2000, 2001; Köster jt, 2010). Üldiselt on tuuleerosiooni ohtlikud taimestumata rannikualad ning liiva ja turbalõimisega külveelised põllud. Eesti tuuleerosiooniohtlike alade pindala on kokku 100 000 ha, millest 32% asub haritavaal maal (Köster jt, 2010). Andmeid tuule ärakande fraktsioonide väljasettimise seaduspärasuste kohta leiab R. Ratase (1977, 1979a) tööd.

EHM omaduste uurimine ja kasutussoovituste andmine

EHM nomenklatuuri, leviku ja morfoloogiliste tunnuste uurimise kõrval on Eestis põhjalikumalt käsitletud EHM huumuse sisaldust ja varusid, lõimist, happesust ning produktiivsust (Kask, 1955a, 1985, 1987; Kokk, Rooma, 1971; Kõlli jt, 2010). Tagasihoidlikult on Eestis uuritud ja üldistatud käesoleva ajaperioodi kohta käivat infot nii agrookeemiliste kui ka bioloogiliste omaduste osas. Tähelepanuväärseks panuseks selles osas on R. Kase varasemad agrookeemiliste omaduste uurimused *ca* tosinal uurimisalal viiekümnendatel aastatel (Kask, 1955b).

Samas tuleb tõdeda, et EHM keskmiste omaduste kindlakstegemisel ei ole olulist kasu praktilisele põllumajandusele seoses mullaliikide suure heterogeensusega ja pideva omaduste muutustega maastikul. Tingitud muldkatte suure heterogeensusest on mulla-areaalid (kaardil kontuurid) väikese pindalaga. Lisaks sellele esinevad EHM omadustes suhteliselt suured regionaalsed erinevused. EHM majandamise aluseks tuleks võtta ennekõike mullaerimite koosseis ja huumusseisund.

EHM kirjusus on kõige suurem künklikus moreenmaastikus, kus normaalset põllupidamist häirib ebahütlane veerežiim ja suured erinevused muldade huumus seisundis. Nimetatud asjaoludest tingituna langevad muldade harimisküpsuse saabumine ja optimaalsed külviajad erinevatele aegadele, suuresti erinevad on põllu eri osade muldade väetistarbed ja põldude saagikus. Erinevus E ja D muldade saagikuste vahel võib maksimaalselt olla kuni 9–10 kordne (Kask, 1975).

Kiirendatud vee-erosiooni ärahoidmise või vähendamise võtteid on uuritud ja soovitatud väga mitmesuguseid (Lillema, 1959; Kask, 1953, 1955a, 1960b; Valler, 1972; Lutsar 1985). Üheks oluliseks EHM erosiooni tõkestavaks võtteks on rohumaade rajamine (Sau jt, 1969; Valler, 1972). Katsetatud on õhukese turbakihiga (multš) maapinna katmist (Loid jt, 1982; Lutsar, 1982, 1989) ning soovitatud on ka kaitsepuitute rajamist (Ratas, 1977).

EHM-le agronoomilise hinnangu andmisel produktiivsuse ja kasutussobivuse aspektist ning positsioneerimisel kõigi teiste põllumajanduslike muldade hulgas lähtutakse muldade agronoomilistest rühmadest (Valler, 1973). Eesti muldade agronoomilisele rühmitamisele alusepanijaks oli V. Valler (1972), kuigi ta ise viitab ka A. Pihole (1966), kes on eelnevalt käsitletud rühmitamist seoses külvikordade rajamisega. Eelnevalt 1972. aastale on muldade agronoomilist rühmitamist käsitletud mitmetes praktikale suunatud publikatsioonides (Rooma jt, 1966; Rooma, Valler, 1967).

Käesolevaks ajaks on Pihovalleri-Rooma-Koka tööd tunduvalt edasi arendatud (Teras, 1992) ja selle tulemus on talletatud õppevahendis "Muldade kasutussobivus ja agrorühmad" (Kõlli, 1994). Muldade agronoomilise rühmitamise järgi on E1 mullad saviliivast savideni keskmised põllu tüüpi haritavad maad (B2 rühm). Selle rühma muldade 75 cm mullakihi veevaru on piirides 100–165 mm. E2 ja E3 mullad on rohumaa tüüpi haritavad maad. E2 muldade (rühm C4) ja E3 muldade (C5) veevarud on vastavalt alla 120 ja 110 mm. Teave Eesti muldade kasutussobivuse hinnangute kohta on leidnud kajastust ka Euroopa tasemel (Reintam jt, 2005).

Eraldi märkimist vääriavad asjaolud

R. Kase uurimustest (1955b, 1975) on selgunud seaduspärasus, et E mullad on rikkamad fosfori sisalduse ja vaesemad lämmastiku poolest ($P > N$) võrreldes nendega koos esinevate D muldade fosfori ja lämmastiku ($P < N$) sisaldusega. Samas olid mõlemad mullad vaesed taimedel omastatava kaaliumi poolest. Üheks tähelepanu vääriavaks asjaks oli ka põllumajandusministri Harald Männiku käskkiri teadus- ja projektasutustele ning põllumajandusvalitsustele (PM KK, 1976). See käskkiri põhines eelnevalt kogunenud uurimisandmetel ja sisaldas riiklikul tasemel antud korraldusi riigi maa- ja mullaressursside (sh EHM) parema kasutamise huvides.

Huvipakkuvaks ettevõtmiseks oli samuti Eesti Maaparandusprojekti poolt A. Lutsari juhendamisel realiseeritud väljaparanduse projekt künklikul põllumajandusmaastikul Valgjärvel (Lutsar, 1982, 1985, 1989). EHM levikuga muldkatete omaduste parandamise eesmärgil kasutati siin huumuskatte aluste kihtide tasandamist koos sellele eelnevalt kooritud huumusmulla tagastamisega. Laiemalt oli kasutusel maapinna katmine õhukese turbamultšiga ja alusmulla tihenend kihtide sügavkobestamine. Lisaks tavaliste harimisevõtete ja väetamise kasutamisele, rajati ammendatud turbavõtu aladele veel ka erineva suurusega tiike. Et taoline looduse ümberkujundamine toimus võrdlemisi piiratud alal, tuleks seda võtta kui üht piiratud alal tehtut katset. Seoses uute kogemuste saamisega väljavii muldkatte parandamise alal, saab taolist katsetust lugeda positiivseks nähtuseks. Taolise ettevõtmise edasist laiendamist (mida õnneks ei tehtud) võinuks aga lugeda pigem negatiivseks nähtuseks.

EHM klassikaliste kateenade võrdlev uurimine Taa-nis, Saksamaal, Poolas ja Eestis (Valgjärve) näitas

EHM füüsikaliste ja keemiliste mullaomaduste piki kateenasid toimuvate seaduspäraste muutuste head kokkulangevust (Jandl jt, 2019). Nendel kolmeastmeliste kateenade, alates kumerast nõlva ülemisest osast (I) läbi ärakande-pealeuhte tasakaalustunud ala (II) nõlva jalami nõgusa pealeuhtelise alani (III), uurimisel Arno Kanali ja Ülo Manderi osavõtul selgitati uudse asjana mulla orgaanilise aine biokeemilist koostist ja selle muutumise seaduspärasusi erosiooni käigus. Ligi-kaudu tosina biokeemilise aine määramine kolmel kateena alal, tõestas olulisi erinevusi orgaanilise aine kvaliteedis seoses mulla ümberpaiknemisega erosiooni protsessides.

Erodeeritud muldkattega on seotud veel üks seaduspärasus, mida ei ole võimalik näidata mulla suuremõtkavalisel kaardil. Selleks on ülemineku (E-D protsesside poolest tasakaalus olev) ala, mille pikkus E-D kateenades või laius E-D kontuuride vahel on alates 10–15 m (tugeva erosiooni korral) kuni 30–50 m. Taolises nn neutraalses tsoonis on A või Ak tüsedus võrdne erosioonist mõjustamata muldadega. Suhtelisel kitsa kontuuri ja väikese pindala tõttu ei ole taolised mullad kajastatud nii EMK, ega ka 1:10000 mullakaardi kaardistamisühikute nimekirjas (Valler, 1972; Kõlli jt, 2010). Eroosiooniohtlikkusele hinnangu andmisel nähtub, et mõju ulatuse pindala poolest on esikohal tehnoloogiline erosioon, teisel tuule-erosioon ja kolmandal vee-erosioon. Degradeerumise astme poolt vaadates teeb kõige enam kahju vee-erosioon, talle järgnevad tehnoloogiline ja tuule-erosioon (Kõlli jt, 2006).

Eesti EHM Euroopa võtmes

Euroopa vaatepunktist muldade erosiooni osas peetakse tähtsaimaks asjaks piirkondlike (sh riikide lõikes) erisuste või sarnasuste väljaselgitamist, tehes seda 1:250000 ja veelgi üldisemate mullakaartide ja andmebaaside põhjal (Montanarella, 2003; Bullock, Montanarella, 2005; Borelli jt, 2014). Erinevate üleeuroopaliste koondandmete järgi on Eestis EHM osatähtsus ja erosiooniprotsesside intensiivsus suuresti varieeruv, kuid keskmisena suhteliselt tagasihoidlik ca 0,4 tonni $ha^{-1} a^{-1}$, ulatudes vähestel aladel piiridesse 1–2 t $ha^{-1} a^{-1}$ (Cerdan jt, 2010; Panagos jt, 2014). Samas ulatub see näitaja tugevasti erosiooniohtlike muldkatete riikides piiridesse 2–5 t $ha^{-1} a^{-1}$. Köster jt (2010) andmetel on Eesti keskmine erosiooni intensiivsus loodusliku taimkatte korral ligikaudu 0,04 t $ha^{-1} a^{-1}$, kuid haritavatel muldadel ca 0,43 t $ha^{-1} a^{-1}$.

Konverteerides Eesti EHM nimesid WRB süsteemi tuleb arvestada, et ei E, ega D muldade jaoks ole eristatud referentsmuldasid (IUSS, 2015). E3 mullad ja osalt ka E2 mullad kuuluvad valdavalt Regosols'ide alla, kuid E1 (osalt ka E2) ja D muldade kuuluvus on laiem. Viimased kolm EHM-da eristatakse mingi sobivaima referentsmulla hulgas kasutades EHM-s toimuvaid protsesse kajastavaid täiendsõnu (ehk kvalifikaatoreid). Olulisemad (1) ärauhet näitavad täiendsõnad on: *aric* – küntud; *entic* – algarengu seisus olev, ja (2) pealeuhtet kajastavad: *colluvic* – peale uhutud; *novic* – uus kiht 5–50 cm; *transportic* – lähedalt

teisaldatud; *relocatic* – ümberpaiknemine kõrvale või vertikaalselt; *aeolic* – tuulesete; *inclinic* – kallakul >5%; *pachic* – esineb >50 cm paksune Ad horisont.

Teisest küljest tuleb mullanimede konverteerimisel kasutada ka mulla põhiomadusi kajastavaid tunnuseid, mis näitavad kas algse või praeguse mulla

(1) olemust või tekke iseärasust: *rendzic* – pehmehuumuslik tume A horisont lubjakivi koresel või pael; *cambic* – vähemuundunud horisont; *luvic* – savi sisseuhte tunnused; *retic* – heledamad kergema lõimisega keeled ja sopistused B horisondis; *spodic* – Fe, Al ja/või huumus on ülemisest mulla osast ümberpaiknenud B horisonti; *umbric* – küllastumata A horisont.

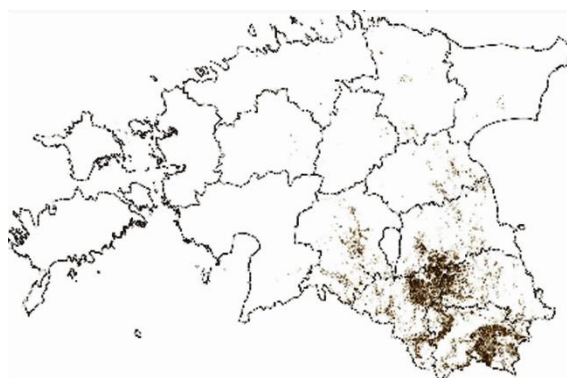
(2) lõimist: *skeletalic* – korest >40%; *arenic* – liiv ja saviliiv; *loamic* – liivsavine; *siltic* – tolmjas; *clayic* – savine.

(3) erinevaid omadusi: *albic* – valge; *calcaric* – sisaldab $CaCO_3$; *eutric* – toiterikas; *dystric* – toitevaene; *humic* – huumust >1%; *ochric* – huumust ca 0,5%; *cutanic* – mulla osistel esineb savist kattekihte; *lamellic* – profiilis on õhuke savirikas kiht; *haplic* – tüüpiline. Lisaks kasutatakse veel ka täiendsõnade eesliiteid: *epi-*, *endo-*, *cumuli-*, *thapto-*, *proto-* jt.

WRB järgi antud nimed on individuaalsed, mitte aga klassifikatsiooni taksonid. Piirdume siinjuures vaid mõne näitega (EMK kood koos WRB nimetusega): **E3k** – Eutric Calcaric Skeletic **Regosol** (Aric, Arenic, Humic); **E2o** – Eutric Endocalcaric **Cambisol** (Aric, Loamic, Humic); **E3I** – Dystric Protic **Regosol** (Aric, Arenic, Ochric); **LPe** – Dystric Glossic Fragic **Retisol** (Siltic, Aric, Humic); **Dg** – Haplic Gleyic **Luvisol** (Loamic, Colluvic, Humic), **DG** – Eutric Mollic Reductic **Gleysol** (Colluvic, Loamic, Cumulinovic).

Lõpetuseks

Kürendatud vee- ja tuuleerosioon ei ole olulisteks muldkatet degradeerivateks teguriteks Eestis üleriigiliselt. Küll aga on muldade erosioon koos EHM tekkega eluliselt tähtsad regionaalselt ja seda ennekõike Kagu-Eestis (joonis 9).



Joonis 9. Eroosioonist häiritud muldade levik Eestis.

Koostajad P. Penu ja T. Kikas

Figure 9. Distribution of erosion-affected soils in Estonia.

Compiled by P. Penu and T. Kikas

Kuna peetakse igati mõistlikuks põllumajandusega tegelemist ka EHM levikuga aladel, mis tagab samas ka

künkliku pinnamoega looduskaunite põllumajandusmaastike säilimise, tuleks igati toetada mullaerosiooni ärahoidvate ja/või leevendamise võtete kasutamist lokaalselt st erosiooniõhtlikel aladel. Hea on tõdeda, et vastav toetuste süsteem (PRIA kaudne) ja selle rakendamise kogemus on Eesti riigil ka olemas. Loodetavasti muutub see ajapikku täiuslikumaks ja veelgi otstarbekohasemaks. Mullakaitse seisukohalt tuleks võtta erosioonist enam häiritud mullad kasutusele ennekõike rohumaadena. Samas tuleks maaelu edendamise nimel leida EHM levikualadel võimalusi ka teravilja ja rühvelkultuuride kasvatamiseks selleks enam sobivatel muldadel.

Huvitav on asjaolu, et EHM-dega alasid saab käsitleda kui C_{org} akumulaatoreid. Mehhanism seisneb siin selles, et E muldadesse iga-aastaselt sattunud uue taimse varise nii tugevasti peenestatud kui ka humifitseerunud osad kantakse koos mulla mineraalsete osistega erosiooni käigus maastiku madalametele osadele, kus nad moodustavad D mulla. Järjestikuste uute D mulla kihtide ladestumisega maetakse eelmised järjest sügavamale kuni nende väljalülitumise aktiivsest bioloogilisest aineringest. Erosiooni kiirenedes degradeerub järjest enam ka D muld, sest järjest huumusvaesemast E mullast pärinevad setted on oluliselt huumusvaesemad eelnevatest. Kõige eelõeldu tulemusel tekib paradoksaalne olukord, kus süsinikupoliitika seisukohalt on tegemist positiivse nähtusega: toodeti huumus ja maeti see aastakümneteks muldkatte alla. Agroomia seisukohalt on taoline protsess vägagi negatiivne: väheneb mulla produktiivsus, suureneb heterogeensus jne ning see maa-ala ei kõlba enam põllukultuuride viljelemiseks.

Kirjanduse loetelu Eestis tehtu kohta ei sisalda kaugeltki kõiki EHM uurimist käsitlevaid publitseeritud töid. On loetletud vaid need, mida kasutati erosiooni uurimise ajaloost ülevaate tegemisel.

Erosion-affected soils in Estonian soil cover: Nomenclature of soils and their research history

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

Summary

In Part I of the work with the subtitle "Overview about nomenclature and formation of influenced by erosion soils" firstly, the regularities of erosion processes and their forming conditions in the soil cover, and secondly, the agro-ecological properties and nomenclature of formed erosion-affected soils (EAS), are treated. The work is dedicated to the year 2020 soil of Estonia, for which are eroded soils. In Estonian soil classification (ESC) and the list of soil mapping units, 11 eroded and 3 deluvial soil species have been distinguished. The names and codes of EAS in the ESC are presented in Table 1. The main criteria of eroded soils determination

are the intensity or stage of erosion and calcareousness of soils. But the deluvial soils are distinguished by their water regime and by the thickness of formed deluvial (colluvial) humus horizon. In Part I also the determination criteria and classification of erosion-prone soils and the agronomic quality of EAS are analysed.

In Part II with subtitle "Historic overview about scientific researches upon erosion-affected soils in Estonia: Essential facts and engaged persons", the scientific researches dedicated to the study of different aspects connected with EAS-s and happened during the last century are presented. In this overview besides main thematic issues, also the role of leading scientists in researches of most actual problems is treated. The most essential themes during studied in overview period (during last century) were very variegated. These researches started with elaboration suitable for local conditions EAS classification and methods for their field researches. For very actual problems were the distribution of EAS in Estonia and also studies upon EAS-s forming, a composition by species and actual status. As a result of above named activities was possible to form different databases on essential properties of EAS-s and to elaborate the derived from this the rules of ecologically sustainable use of EAS-s. At the end of work, the international aspects of presentation Estonian EAS and local researches are treated. The article contains one Table, 9 Figures. From the list of used literature (totally 80), entirely 70 sources are connected with treating of Estonian EAS-s.

Huvide konflikt / Conflict of interest

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

Autorite panus / Author contributions

RK, TT – artikli kontseptsioon ja planeerimine / *study conception and design*;
RK, TT – andmete kogumine / *acquisition of data*;
RK – andmete analüüs / *analysis of data*;
TT – illustreeriva materjali vormistamine / *design of figures*;
RK – käsikirja mustandi kirjutamine / *drafting of manuscript*;
RK, TT – lõpliku käsikirja toimetamine ja heaks kiitmine / *critical revision and approve the final manuscript*.

Kasutatud kirjandus

- Arold, I. 2005. Eesti maastikud. – Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu, 433 lk.
Astover, A. (koostaja) 2012. Mullateadus. – Õpik kõrgkoolidele. EMÜ, Tartu, 486 lk.
Astover, A. (koostaja) 2013. Muldade väliuurimine. – Eesti Loodusfoto, Tartu, 70 lk.
Borrelli P., Ballabio, C., Panagos, P., Montanarella, L. 2014. Wind erosion susceptibility of European soils. – *Geoderma*, 232–234:471–478.
Bullock P., Montanarella, L. 2005. Soil Information: Uses and Needs in Europe. – In: Soil Resources of Europe, 2nd ed., (Eds. R.J.A. Jones, B. Houskova, P.

- Bullock, L. Montanarella). ESB, OOP, EC, Luxembourg, pp. 397–417.
- Cerdan, O., Govers, G., Le Bissonnais, Y., Van Oost, K., Poesen, J., Saby, N., Gobin, A., Vacca, A., Quinton, J., Auerswald, K., Klik, A., Kwaad, F.J.P.M., Raclot, D., Ionita, I., Rejman, J., Rousseva, S., Muxart, T., Roxo, M.J., Dostal, T. 2010. Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data. – *Geomorphology*, 122:167–177.
- Eesti Põllumajandusprojekt [EPP] 1982. Eesti NSV muldade inventeerimisühikute nimestik. – Kaardistamisühikute lühidiagnostika. Käsikiri, 19 lk.
- Ellermäe, O. 1996. Koidu talu mullastik ja veeerosiooni mõju selle kujunemisele. – Lõputöö agroomia erialal. EPMÜ mullateaduse ja agrokeemia instituut, Tartu, 55 lk.
- Ellermäe, O. 1999. Eesti erosiooniohtlike alade muld- kate ja säästlik majandamine. – *M.Sc. väitekirj* mulla- teaduse alal. EPMÜ, Tartu, 83 lk.
- FAO 2006. Guidelines for soil description, 4th ed., – FAO, Rome, 97 p.
- Hang, T., Kalm, V. 2014. Maa pinnamood ja seda mõjutavad tegurid. – Üldmaateadus (koostajad Ü. Mander, Ü. Liiber). Eesti loodusfoto, Tartu, lk 143–230
- Heinsalu, A. 1982. Ekstreemsetest erosioonikahjutus- test Haanja kõrgustikul. Geograafia rakenduslikke aspekte põllumajanduses. – Tallinn-Saku, lk 34–36.
- Heinsalu, A. 1983. Deluviaalsetete akumulatsioonist kuplitevahelises nõos. – Väikelinnade ja maa-asulate keskkonnakaitse ning maastikuhooldus. Tallinn- Viljandi, lk 45–48.
- Heinsalu, A. 1988. Ekstremalne primery projavlenija lineinoj erozii v Estonskoj SSR. – EMMTUI tead. tööd LXII:125–130. (In Russian)
- Int, L. 1977. Deflatsiooniohtlike muldade soojusbilansist ja deflatsiooni soodustavate ilmastikutingimuste võimalikust esinemisest Rapla rajoonis. – Põllumajandusmaastiku ökoloogia küsimusi, lk 12–14.
- IUSS Working Group WRB [IUSS] 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 No. 106*. FAO, Rome, 192 pp.
- Jandl, G., Baum, C., Heckrath, G., Greve, M.H., Kanal, A., Mander, Ü., Maliszewska-Kordybach, B., Niedzwiecki, J., Eckhardt, K.-U., Leinweber, P. 2019. Erosion Induced Heterogeneity of Soil Organic Matter in Catenae from the Baltic Sea Catchment. – *Soil Syst.*, 3:42.
- Kask, R. 1953. Võitlusest erosiooni vastu Eesti NSV-s. – *Sots. Põllumajandus*, 12:897–903.
- Kask, R. 1955a. Mulla erosiooniprotsessist ja selle vastu võitlemisest Eesti NSV-s. – ENSV TA Toimetised, 4:619–643.
- Kask, R. 1955b. Mulla vee-erosioonist Eesti NSV-s ja selle vastu võitlemise võimalikest võtetest. – *Dissertatsioon EMMTUI-s* Tallinn, 255 lk.
- Kask, R. 1957. Muldade erosioonist Eesti NSV-s. – EGS Aastaraamat 1957, lk 115–135.
- Kask, R. 1958. Vodnaja erozija v Estonskoj SSR. – *Počvovedeniye*, 9:104–108. (In Russian)
- Kask, R. 1959. Pinnalise erosiooniprotsessi levikust Eesti NSV-s. – EGS Aastaraamat 1958, lk 78–94.
- Kask, R. 1960a. Erodeeritud muldade nomenklatuurist Eesti NSV-s. – EMMTUI ja ELVTUI tead.-tehn. inform. büllötään, IV:28–36.
- Kask, R. 1960b. Muldade erosioon ja võitlus sellega Eestis. – Maastiku kaitsest ja planeerimisest Eesti NSV-s. Tartu, lk 67–76.
- Kask, R. 1975. Eesti NSV maafond ja selle põllumajan- duslik kvaliteet. – Tallinn, 358 lk.
- Kask, R. 1984. Mulla erosiooni osast pinnavormide kujundajana. – Eesti pinnavormide genees. Tallinn, lk 137–144.
- Kask, R. 1985. Võru rajooni kuppelala majandite maakutsusprobleeme. – Põllumajandusmaastiku ökoloogia ja ökonoomika. Tallinn-Võru, lk 39–43.
- Kask, R. 1987. Mulla erosioon mullaviljakuse vahendajana. – Teaduslikult põhjendatud põllu- majandussüsteem Eesti NSV-s. Tallinn, lk 86–90.
- Kask, R. 1996. Eesti mullad. – Tallinn, 280 lk.
- Kask, R., Heinsalu, A. 1991. Mulla erosiooniprotsessi- leviku ja intensiivsuse muutumissuundadest. – Mullakaitse probleeme Eestis (toim. L. Reintam), Tallinn, Valgus, lk 58–62.
- Kask, R., Lemetti, I., Sepp, K. 2006. Soil erosion in Europe: Estonia. – In: *Soil erosion in Europe* (Eds. J. Boardman, J. Poesen). Wiley-VCH, pp. 33–38.
- Kask, R., Raig, H. 1983. Mulla erosioonitõrje abinõud. – Teaduslikult põhjendatud maaviljelussüsteem Eesti NSV-s. ENSV PM IJV, Tallinn, lk 41–43.
- Kokk, R. 1977. Kallakute ja erodeeritud muldade levikust Eesti NSV haritavatel maal. – *Maakorral- dus*, II (8):24–30.
- Kokk, R. 1995. Muldade jaotumus ja omadused. – Eesti. Loodus (toim. A. Raukas). Tallinn, Valgus, lk 86–90.
- Kokk, R., Rooma, I. 1971. O svoistvah smytyh i namytyh počv i ob intensivnosti erozii v Estonskoj SSR. – EPMÜ tead. tööde kogumik, 75:330–342. (In Russian)
- Kokk, R., Rooma, I. 1974. Mullaliikide levik. Agro- mullastikuline rajoneerimine. – Kõlvikute mullastiku iseloomustus. Eesti NSV mullastik arvudes, I:3–73.
- Kokk, R., Rooma, I. 1983. Haritavad mullad. – Eesti NSV mullastik arvudes, III:3–26.
- Kokk, R., Rooma, I., Valler, V. 1968. Mullastiku suuremõõtkavalise kaardistamise välitööde meetodika. 86 lk.
- Kõlli, R. 1993. Agromullateaduse välipraktika. – Põllu- muldade huumusseisundi uurimine. 2. trükk. EPMÜ, Tartu, 57 lk.
- Kõlli, R. 1994. Muldade kasutussobivus ja agro- rühmad. – Tartu, 85 lk.
- Kõlli, R. 1998. Eesti muldade klassifitseerimise probleemid. – EPMÜ teadustööde kogumik, 198:9–23.

- Kõlli, R., Ellermäe, O., Rannik, K. 2006. Soil cover constraints and degradation in Nordic rural areas. – Arch. Agron. Soil Sci., 52(0):1–9.
- Kõlli, R., Ellermäe, O., Kauer, K., Köster, T. 2010. Erosion-affected soils in the Estonian landscape: humus status, patterns and classification. – Arch. Agron. Soil Sci., 56(2):149–164.
- Köster, T., Penu, P., Kikas, T. 2010. Estimation of soil erosion risk areas by GIS analysis of land use and soil maps: an Estonian case study. – In: Proceedings of the ISSC on "Management of Natural Resources to Sustain Soil Health and Quality" (Eds. R. Kizilkaya, C. Gulser, O. Dengiz), May 26–28 2010. Samsun, Turkey, pp. 1141–1147.
- Leedu, E., Astover, A. 2019. Erodeeritud muld. – Aasta muld 2020. Voldik. Eesti Maaülikool, Tartu.
- Liiva, K. 1992. Erodeeritud ja erodeerumata põllumuldade huumuskatte seisundist. – Diplomitöö. EPA mullateaduse ja agrokeemia kateeder, Tartu, 50 lk.
- Lillema, A. 1949. Eroosioon Eesti NSV muldades ja selle vastu võitlemine. – Sots. põllumajandus 12.
- Lillema, A. 1958. Eesti NSV mullastik. – Tallinn, 199 lk.
- Lillema, A. 1959. Eesti NSV mullastikukaart (1:1500000). – EGS aastaraamat 1959, lk 66–81.
- Loid, H., Hoop, I., Post, K. 1982. O primenenii organicheskikh udobreniia na kholostykh lugakh. – Põllumajanduskultuuride produktiivsuse suurendamine. EPA, Tartu, lk 81–82. (In Russian)
- Lutsar, A. 1985. Vodnaja erozija i vozmožnosti jejo umenšeniija na holmistoju mestnosti. – EMMTUI tead. Tööd, LVII:254–265. (In Russian)
- Lutsar, A. 1989. Torfovanije i glubokoe ryhlenie v celjah sohraneniija počv morenno-holmistogo landšafta. – Sohranenie počv, Minsk, str. 132–139. (In Russian)
- Lutsar, A. 1982. Kuppelalade melioreerimine ja põllumajandusmaastiku kujundamine. – Geograafia rakenduslikke aspekte põllumajanduses. Tallinn-Saku, lk 31–33.
- Maa-amet 1992. Maade tootlikkuse hindamise tabelid. – Tallinn, 22 lk.
- Maa-amet 2001. Vabariigi digitaalse suure-mõõtkavala mullastiku kaardi seletuskiri. – Tallinn, 46 lk.
- Maa-uringud 2009. Eesti mullastiku kaart. – <http://geoportaal.maaamet.ee>
- Montanarella, L. 2003. The EU Thematic Strategy on Soil Protection. – In: Land Degradation (Eds. R.J.A. Jones, L. Montanarella). EC JRC Ispra, Italy, pp. 15–29.
- Nõmmik, A. 1925. Kodumaa mullastikust. – Agronoomia, 2:8–14.
- Nõmmik, A. 1938. Eesti mullastik. – Põllumajanduslik entsüklopeedia. Tallinn, lk 25–265.
- Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., Alewell, C. 2014. Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. – Science of the Total Environment, 479–480:189–200.
- Piho, A., Kask, R. 1960. Eesti NSV mullaerimite iseloomustus. – Juhend mullastiku kaardistajatele. Tallinn, 85 lk.
- Piho, A., Rooma, I., Rõõs, O. 1960. Maafondi mullastiku uurimise välistööde juhend. – Tartu, 60 lk.
- Põllumajanduse ministri käskkiri [PM KK] 1976. Muldade erosioonitõrje parandamisest. – ENSV põllumajanduse ministri käskkiri nr 137, 3. maist 1976. a. Väljavõte. Maakorraldus II(8):57–60.
- Ratas, R. 1977. Põllumajandusmaastikust ja kaitsepuistutest. – Põllumajandusmaastiku ökoloogia küsimusi. Tallinn, lk 14–16.
- Ratas, R. 1979a. Tuul ökoloogilise tegurina. – Põllumajandus ja keskkond, lk 95–102.
- Ratas, R. 1979b. Vlijanie lesa na agrolandšaft v uslovijah ravninnigo reljefa (na primere Estonskoj SSR). – Dissertacija kandidata biologičeskikh nauk (03.00.16), Tallinn, ENSV TA, 185 str. (In Russian)
- Ratas, R., Int, L. 1978. Muld, ilmastik ja tuuleerosioon. – Eesti loodus, 4:330–342.
- Reintam, L., Rooma, I., Kull, A. 2001. Map of Soil Vulnerability and Degradation in Estonia. – In: Sustaining the Global Farm (Eds. D.E. Stott, R.H. Mohtar, G.C. Steinhardt). Selected papers from the 10th ISCO meeting held at Purdue University and USDA-ARS NSERL, pp. 1068–1074.
- Reintam, L., Rooma, I., Kull, A., Kitse, E., Reintam, I. 2000. Soil vulnerability and degradation in Estonia. In: Soil degradation status and vulnerability assessment for Central and Eastern Europe (Ed. N.H. Batjes). – Preliminary results of the SOVEUR project. ISRIC Report 04, pp. 43–47.
- Reintam, L., Rooma, I., Kull, A., Kõlli, R. 2005. Soil information and its application in Estonia. – In: Soil Resources of Europe, 2nd ed. (Eds. R.J.A. Jones, B. Houskova, P. Bullock, L. Montanarella). – ESB, OOP, EC, Luxembourg, pp. 121–132.
- Rooma, I. 1984. RPI "Eesti Põllumajandusprojekti" Mullastiku uurimise osakonna ajaloost. – Maakorraldus, 18:17–36.
- Rooma, I., Valler, V. 1967. Eesti NSV muldade agronoomiline rühmitamine. – Sots. Põllumajandus, 22:1017–1021.
- Rooma, I., Valler, V., Kokk, R. 1966. Agroproizvodstvennaja grupirovka počv i tipy zemel, primenjaemye pri krupnomaštarnom issledovanii zemelnovo fonda v Estonskoj SSR. – EPA teadustööde kogumik 49:24–40. (In Russian)
- Sau, A., Tamm, U., Viiralt, R. 1969. Kultuurkarjamaade rajamine ja väetamine kuppelaladel. – Lühikokkuvõtteid EPA Agronoomiateaduskonna teadusliku uurimistöo tulemustest 1941–1968 a, Tartu, lk 197–201.
- Soil Survey Division Staff [SSDS] 1993. Soil Survey Manual. – Handbook No 18. USDA, Washington, 437 pp.
- Soil Survey Staff [SSS] 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. – USDA, NRCS, 360 pp.
- Teras, T. 1992. Eesti haritavate maade kvaliteedist. – Geodeet, 2(28):20–24.
- Valler, V. 1972. Muldade erosioonist ja erosioonitõrjest Eesti NSV-s. – Maakorraldus, I:49–54.
- Valler, V. 1973. Eesti NSV muldade agronoomiline rühmitamine. – Maakorraldus, I(3):9–22.