



RÄHKMULDADE SEISUND JA LEVIK EESTI PÕLLUMAJANDUS- NING METSAMAASTIKES

STATUS AND DISTRIBUTION OF RYHKY SOILS IN ESTONIAN AGRICULTURAL AND FOREST LANDSCAPES

Raimo Kõlli, Tõnu Tõnutare

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

Saabunud: 19.04.2021
Received:
Aktsepteeritud: 11.05.2021
Accepted:

Avaldatud veebis: 12.05.2021
Published online:

Vastutav autor: Raimo Kõlli
Corresponding author:
E-mail: raimo.kolli@emu.ee

Keywords: ryhky soils, soil classification, year soil, coarse soil fragments, calcareousness, mild-humuous.

DOI: 10.15159/jas.21.09

ABSTRACT. In the overview nomenclature, properties, distribution, productivity and usage of *ryhky soils*, as the Year 2021 Soil of Estonia, are treated. As synonyms of the name *ryhky soils*, also the names *pebble rendzina* and *gravelly soils* have been used in Estonian Soil Classification (ESC). In overview, the main attention is paid to dry, fresh and moist rich in coarse calcareous material mild-humuous (mull-type) soils. After WRB these soils may be characterized by prefix qualifiers as *calcaric* or *eutric*, *skeletal* or *hyperskeletal* and *rendzic* or *mollic* **CAMBISOLS**, **LITHOSOLS** or **REGOSOLS**, whereas all of them have *endogleyic* versions as well. The wet and eroded *ryhky soils* have been excluded from the overview as their properties depend not so on the coarse calcareous earth content as on feeding their soil water or water erosion. The area of *ryhky soils* forms 6.3% from whole Estonian soil cover and 11.1% from the arable land. The main criteria of *ryhky soil* species' determination are calcareousness, content and shape of coarse soil fragments, and water regime of soil cover. By ESC six soil species have been determined, from which three ones have *endogleyic* character. The fine earth texture of *ryhky soils* is mainly loam. From the coarse fractions, the indicative role belongs to the small stones (ryhk, pebble and shingle). The morphology, humus status and suitability of *ryhky soils* for management are treated on the level of soil species independence of land use (arable, forest or grassland).

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

Sissejuhatus

Eesti aasta 2021 mullaks on valitud rähkmuld. Rähkmuldade perekonda iseloomustab suur liikide omaduste amplituud ja erimite mitmekesisus. Järgnevas ülevaates tutvustatakse suhteliselt lähedaste agronoomiliste ja metsakasvatustlike omadustega normaalse arenguga põuakartlikke, parasniiskeid ja niiskeid koreserikkaid karbonaatseid muldasid. Siinjuures ei käsitleta alaliselt liigniiskeid (märgi) rähkseid gleimuldi ega vee-erosioonist tugevasti mõjutatud erodeeritud rähkmuldi, kuna nende olemus ei sõltu niivõrd korese sisaldusest kui liigniiskusest või vee-erosioonist.

Rähkmuldade tunnused ja nomenklatuur

Rähkmullad on rohkesti karbonaatset korest sisaldavad (ehk koreselised) humaatse (ehk pehmehuumusliku või mull-tüüpi) huumusega mullad. Rähkmuldade

ühiks olulisemaks tunnuseks on karbonaatse mulla-peenese ja korese sügavus maapinnalt, mida testitakse 10% soolhappega kihisemise järgi ning mis on kõigis rähkmuldades kõrgemal kui 30 cm. Eestis kasutatava mulla korese ja lõimiste käsitlemise Katšinski süsteemi järgi on mulla korese ja peenese osakeste läbimõõdu vaheliseks piiriks 1 mm (Astover jt, 2013).

Rähkmullaliikidele nime andvaks tunnuseks on karbonaatsete peen kivide (Ø 1–10 cm) kuju ja sisaldus. Rähkmuldade kores pärineb valdavalt massiivsest lubja- ja/või dolomiidirikkast kivimist. Sõltuvalt nende murenemisele (rabemisele) järgnevatel geoloogilistest protsessidest (kulutus, transport) eristatakse kolme erineva kujuga peen kivide liiki: rähk, veeris ja klibu. Rähk on teravaservaliste murdepindadega, veeris suuremal või vähemal määral ümardunud rähk ning klibu ümardunud ja lapikuks lihvitud peen kivid. Vastavalt koresele eristatakse rähk-, veeris- ja klibumuldade. Niiskusoludest lähtuvalt on käesolevas töös



vaatluse all põuakartlikud (kuivad), parasniisked (värsked) ja niisked (rõsked) rähkmullad.

Eesti muldade klassifikatsiooni (EMK) järgi käesoleva ülevaate jaoks valitud rähkmuldade liiginimetused, mullastiku kaartidel kasutatavad koodid ja tüüpprofiilid on esitatud tabelis 1. Rähkmuldade profiilis on humus-(A)horisondi järgne või metsades O–A (kus O on metsakõdu) järgne sisseuhte-(B-, Bw-)horisont nõrgalt välja kujunenud või puudub. Väljauhte horisondid (leetjad ja leede-) aga hoopiski puuduvad. Tüüpiliste profiilide kõrval leidub paljuski üksteisest suuremal või vähemal määral erinevaid profiile. Nii võivad profiilis esineda üleminekuhorisondid AB ja AC, millistest esimene näitab nõrka sisseuhte humus-horisondi alumisse ossa, teine aga hoopiski sisseuhte puudumist kuna A-horisont läheb sujuvalt üle lähtekivimiks ehk C-horisondiks. Hästi väljakujunenud B-horisonti esineb vaid tusedamatel, enamarenenud muldadel. Rähkmuldade hulgas on ka mullad, millistes lähtekivimile järgneb lausaldane paas ehk (R-horisont), mis lasub 30 cm-st sügavamal ning erandina ka koresevabad karbonaatsed liivmullad. Eriilmelisi rähkmuldi näeb joonistelt 1–5.



Joonis 1. Rähkmuld. Mullateaduse õppetooli fotokogu
Figure 1. *Ryhky soil*

Tabel 1. Rähkmuldade liiginimed, koodid ja tüüpprofiilid
Table 1. *Species names, codes and typical profiles of ryhky (pebble) soils*

Kood <i>Code</i>	Mulla liik <i>Soil species</i>	Tüüpprofiilid <i>Typical profiles</i>	Osa- tähtsus ¹⁾ <i>Role, %</i>
K	Rähk-(veeris)mullad <i>Ryhky (pebble) soils</i>	A-AB-BC ¹⁾ -C, A-AB-Bw ²⁾ -C	61
Kg	Gleistunud rähk-(veeris)mullad <i>Gleyed ryhky (pebble) soils</i>	A-AB-BC-Cg ³⁾ , A-Bw-BC-Cg	17
Kr	Koreserikkad rähk-(veeris-)mullad <i>Coarse rich ryhky (pebble) soils</i>	A-AB-BC-C	14
Krg	Gleistunud koreserikkad rähk-(veeris-)mullad <i>Gleyed coarse rich ryhky (pebble) soils</i>	A-ABC-Cg	5
Kk	Klibumullad <i>Shingle soils</i>	A-(B)C-C	2
Kkg	Gleistunud klibumullad <i>Gleyed shingle soils</i>	A-(BC)-Cg	<1

¹⁾ Osatähtsuse % on hinnanguline / *Expert estimation*

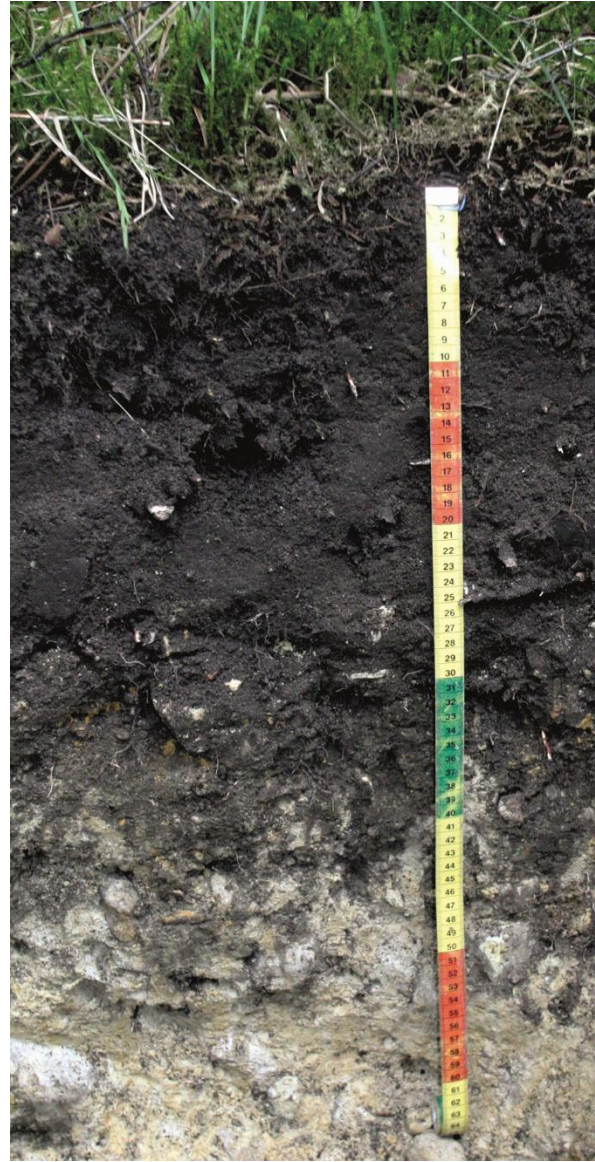


Joonis 2. Koreserikas rähkmuld. Mullateaduse õppetooli fotokogu
Figure 2. *Coarse rich ryhky soil*



Joonis 3. Rähkmuld peenel rähal. Mullateaduse õppetooli fotokogu

Figure 3. *Ryhky soil on fine ryhk*



Joonis 4. Gleistunud rähkmuld. Mullateaduse õppetooli fotokogu

Figure 4. *Gleyed ryhky soil*



Joonis 5. Klibumuld. Mullateaduse õppetooli fotokogu

Figure 5. *Shingle soil*

Need rähkmullad, mis on kevaditi ja sügiseti lühiaegselt liigniisked, mida näitab roostetäppide või –pesakeste ja sinakashallide või roostevärvi gleilaikude esinemine alusmulla horisontides (Cg, Bg), on gleistunud ehk niisked rähkmullad (Kg, Krg, Kkg). Kui haritavate rähkmuldade huumushorisont kihiseb juba mulla pinnalt, siis metsa- ja rohumaade rähkmuldade kihisemise piir on sügavamal, kuid diagnostilisele tunnusele vastavalt 0–30 cm sügavusel.

Looduslike koreserikaste rähk(veeris)- ja klibumuldade (Kr, Kk, Krg, Kkg) muldkate on tunduvalt õhem võrreldes enamarenenud muldadega (K, Kg; tabel 2). Õhukeste huumushorisontide (12–20 cm) esinemine looduslikel aladel näitab, et tegemist on noorte muldadega. Haritaval maal on huumushorisondid seoses maaharimisega muudetud ühtlasemaks ja tüsedamaks (24–30 cm).

Tabel 2. Rähkmuldade huumushorisoni ja muldkatte tusedused

Table 2. Thicknesses of ryhky soils' humus horizon and soil cover

Mulla kood Soil code	Maakasutus Landuse	A-horison A horizon, cm	Muldkate Soil cover, cm
K Kg	Põld / Arable land	23–31	40–65
	Mets / Forest land	19–27	40–60
Kr Krg	Põld / Arable land	17–25	30–40
	Mets / Forest land	13–21	25–35
Kk Kkg	Rohumaa / Grassland	12–20	25–30

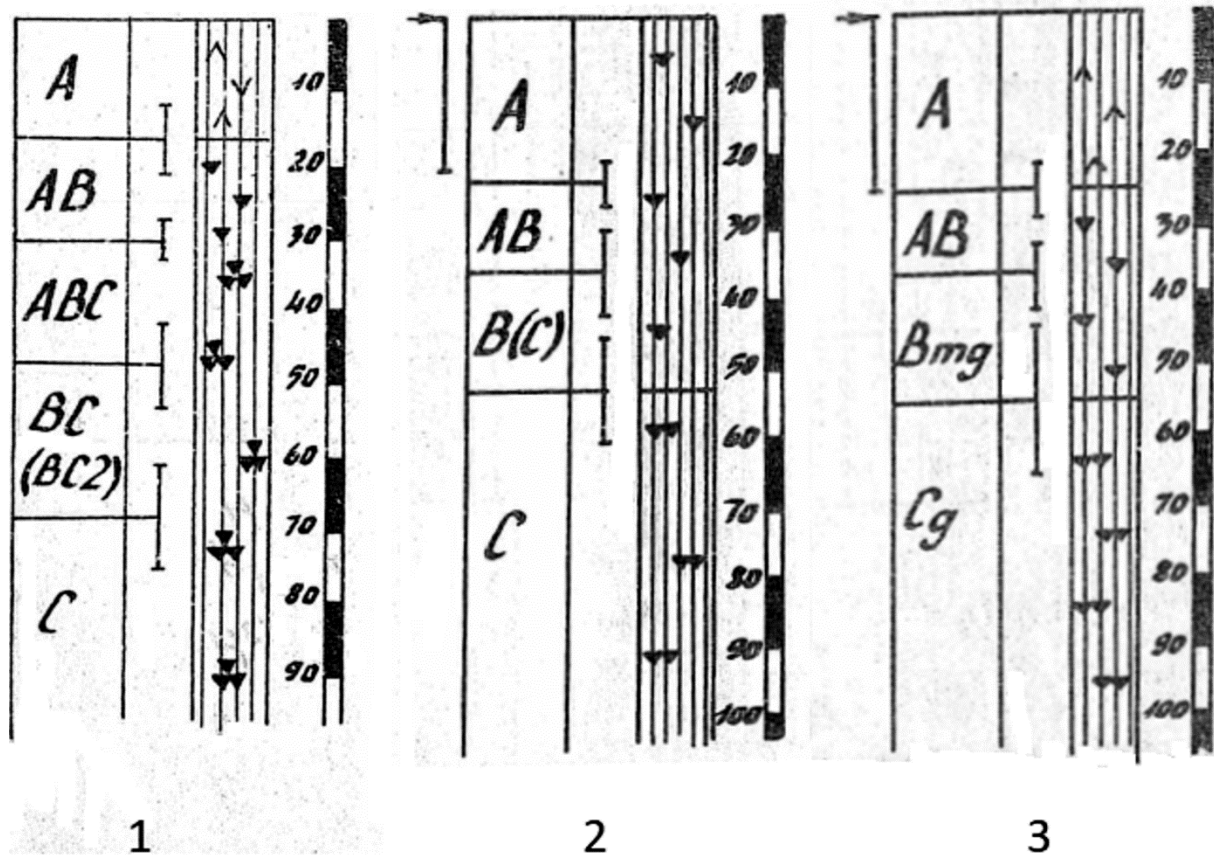
Eestis domineerivad valkjashallist rähkmoreenist moodustunud (nn tüüpilised) rähkmullad. Veerismuldade lähtekivimiks on veeriselised ja kruusased mandrijää sulamisvete oosistike või vooestike setted. Üsna tavaline on räha ja veerise koosinemine muldkattes ja lähtekivimis. Klibumuldade lähtematerjaliks on rannavallide klibu. Mulla erinevate horisontide rähksus (peenkivisus) määratakse välitöödel nende sisalduse mahu ja maapinnal või kaeve seinal oleva korese katteväärtuse järgi (Astover jt, 2013).

Peale peenkivide esineb rähkmuldades tavaliselt ka suuremat kivifraktsiooni (väikekivid Ø 10–20 cm ja suurkivid Ø >20 cm) ning peent korest (osised Ø 1–10 mm ehk kruusa ja mügi) (EPP, 1983). Olenevalt rähkmuldade lähtematerjalist võib nendes esineda karbonaatse korese kõrval ka suuremal või vähemal

määral raudkivimilist (tardkivimitest pärinevat) korest, suuri kive, kruusa (kr) ja jämedateralist liiva (jl). Kui peenkivide esinemise määr tehakse kindlaks väliuuringute käigus, siis peene korese sisaldus määratakse laboris proovide söelumise teel. Kivide sisalduses on suured erinevused huumushorisoni ja mulla lähtekivimi vahel. Klibumuldades (Kk Kkg) on mullapeenese sisaldus väga väike või praktiliselt puudub, kuid samas ei ole neis ka suuremaid kive.

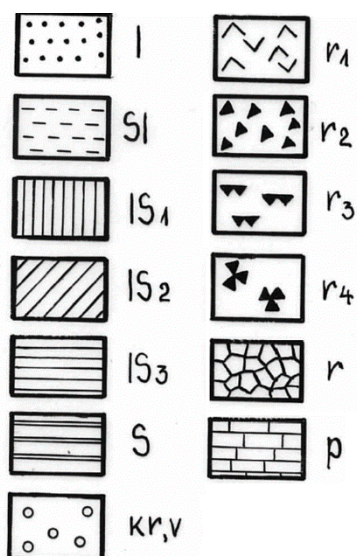
Rähkmuldade peenese põhilõimiste vähenev järjekord on: liivsavi (ls), saviliiv (sl), liiv (l) ja savi (s) ehk protsentides vastavalt 80 > 15 > 4 > 1. Lisaks põhilõimistele esineb täiendsõnadega täpsustatud lõimiseid nagu tolmjas (tsl, tls), peenliivakas (pl) ja kruusakas (kr). Detailsel lõimise käsitlemisel eristatakse kerged (ls₁), keskmised (ls₂) ja rasked (ls₃) liivsavid. Mulla kaartidel ja tabelites on peenese lõimised esitatud koos koresega valemi kujul, kus erinevate lõimisekihtide happesused on näidatud tingmärkide abil: "=" näitab, et pH on 4,6–5,0; "-" et pH on 5,1–5,5; ilma tingmärgita on nõrgalt happelised (pH 5,6–6,5) või neutraalse pH-ga (6,6–7,2) kihid ning "+" tähendab, et muld on karbonaatne (pH ≥7,3).

Eesti domineerivate rähkmullaerimite koondprofiile, mis on koostatud suure hulga üksikprofiilide alusel, tuleks sisuliselt võtta kui vastavate erimite Eesti keskmisi mudelprofiile (joonis 6 ja 6A).



Joonis 6. Rähkse liivsavimulla mudelprofiil metsas (1 – K) ja põllul (2 – K) ning gleistunud rähkse liivsavimulla mudelprofiil põllul (3 – Kg)

Figure 6. Ryhky loamy soil model profile in forest (1 – K) and in field (2 – K), and gleyed ryhky loamy soil model profile in the field (3 – Kg)



Joonis 6A. Tingmärgid mudel-, liim- ja joonisprofiilide kohta. Mullapeenes: l – liiv, sl – saviliiv, ls₁ – kerge liivsavi, ls₂ – keskmine liivsavi, ls₃ – raske liivsavi, s – savi, kr, v – kruus, veeris; koreselisus: r₁ – nõrgalt, r₂ – keskmiselt, r₃ – tugevasti või r₄ – väga tugevasti rähkne (või veeriseline); r – rähk, p – paas
Figure 6A. Signs to model, glue and drawing profiles. Fine earth: l – sand, sl – loamy sand, ls₁ – light loam, ls₂ – medium loam, ls₃ – heavy loam, s – clay, kr, v – gravel, pebble; content of coarse fractions: r₁ – lightly, r₂ – average, r₃ – strongly or r₄ – very strongly ryhky (or pebbly); r – ryhk, p – limestone

Mudelprofiilide kohta on andmebaasides olemas kõigi horisontide mulla olemust ja taimekasvatustlikku potentsiaali kajastavad karakteristikud ja nende variatsioon-statistilised analüüsid (EPP, 1983). Üldreeglina sisaldavad kõigi rähkmuldade huumuskatted

(pealismullad) oluliselt vähem korest võrreldes alusmulla ja eriti lähtekivimiga (tabel 3). Põllumaade K ja Kg muldade künnikihid on valdavalt väga nõrgalt või nõrgalt rähksed (veeriselised), kuid nende alumiste horisontide koresesisaldus on valdavalt tugev või ka keskmine. Samas võib esineda ka mitmesuguseid teisi variante. Koreserikaste rähk(veeris-)muldade (Kr, Krg) huumushorisondid on valdavalt keskmiselt koreselised, kuid alumised kihid kas tugevasti või väga tugevasti koreselised või esineb lausaldane rähk, veeris või klibu. Välipäevikutes, aruannetes või publikatsioonides võivad rähkmullad olla fikseeritud kas liimprofiilide või joonisprofiilide kujul (joonis 7 ja 8).

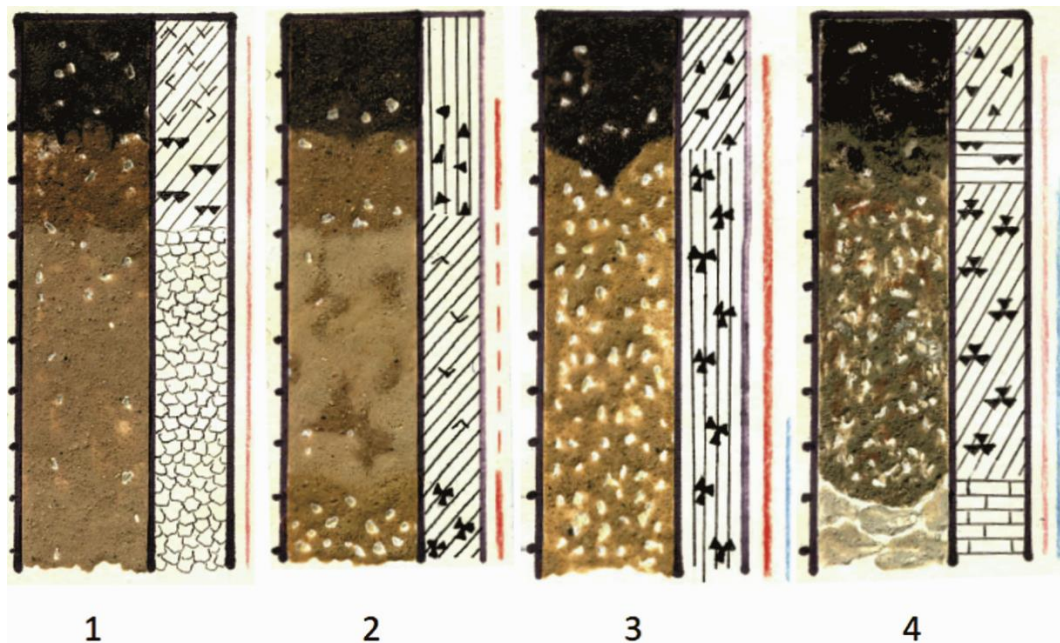
Tabel 3. Peenkiivid (Ø 1–10 cm), peen kores (Ø 1–10 mm) ja kivid (Ø >10 cm) rähkmuldades

Table 3. Small stones (Ø 1–10 cm), coarse earth (Ø 1–10 mm) and large-size stones (Ø >10 cm) in ryhky soils

Mullad Soils	Peenkiivisuse valem ¹⁾ Formula of small stones	Peene korese osatahtsuse % Percentage of coarse earth	Kivisus Stoniness, m ³ ha ⁻¹
K Kg	$r(v)_{1-2} / r_{3-2} (v_{3-2})$	5–7 / 24–36	5–20, II aste / degree
Kr Krg	$r(v)_3 / r_{4-5} (v_{4-5})$ või $r(v)$	22–24 / 39–65	20–50, III aste / degree
Kk Kkg	kb ₃₋₄ / kb ₅ või kb	10–20 / <5 ³⁾	<5, I aste / degree

1) Peenkiivisus (% mahust) huumuskattes/alusmullas: 1 – 2–10; 2 – 10–20; 3 – 20–30; 4 – 30–50; 5 – 50–70 ning >70 on lausaldane r, v, või kb; 2) kruusa ja mügi % mullapeenese massist (huumuskate/alusmuld), 3) osakeste Ø 1–10 mm protsent klibu (Ø 1–10 cm) mahust.

1) Stoniness (volume %) of small stones in humus cover / subsoil: 1 – 2–10; 2 – 10–20; 3 – 20–30; 4 – 30–50; 5 – 50–70 and >70 ryhky (r), pebble (v) or shingle (kb); 2) Percentage of gravel from fine earth weight (humus cover/subsoil); 3) Particles Ø 1–10 mm percentage from shingles (Ø 1–10 cm) volume.

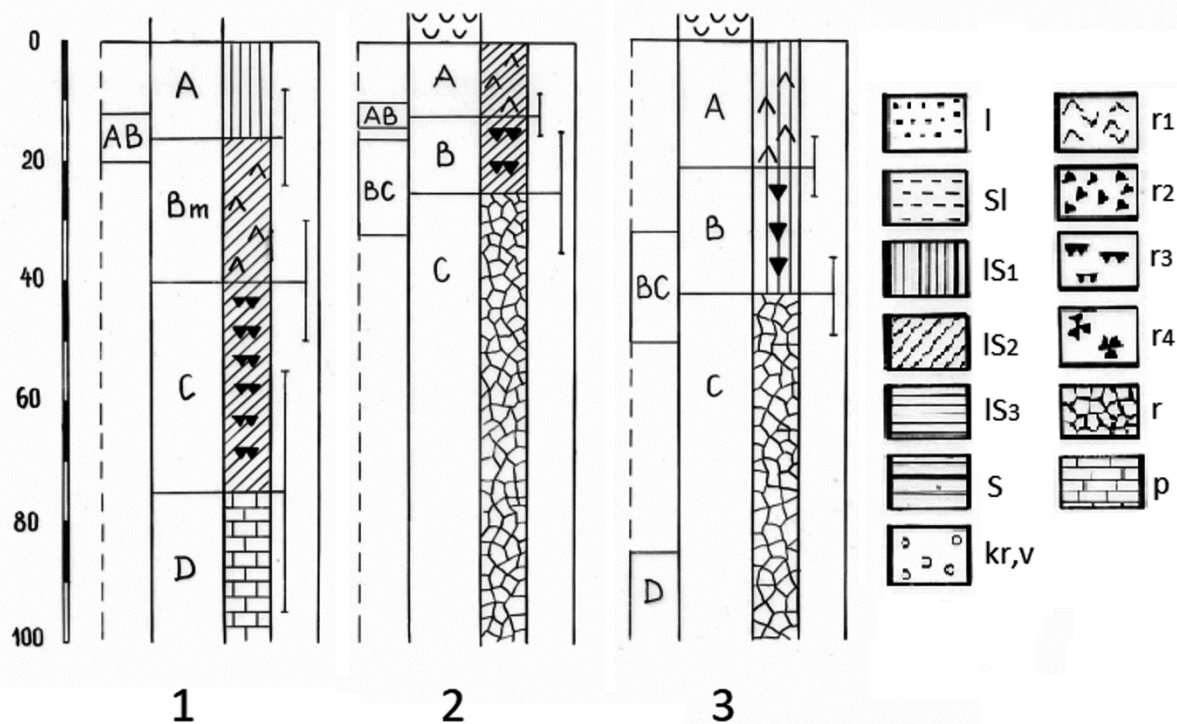


Joonis 7. Rähkmuldade liimprofiilide kogum.

Mullaerimid: 1 – Rähkmuld, r₁ls₂/r₃ls₂/r; 2 – Rähkmuld, ls₁/r₂ls₁/r₁ls₂/r₄ls₂; 3 – Koreserikas rähkmuld, r₂ls₂/r₄ls; 4 – Gleistunud koreserikas rähkmuld, r₂ls₂/r₃ls₃/r₄ls₂/p; mullapeenese ja korese koodidele vastavaid nimetusi vt. jooniselt 6A

Figure 7. Ryhky soils' profiles prepared with glue.

Soil varieties: 1 – Ryhky soil, r₁ls₂/r₃ls₂/r; 2 – Ryhky soil, ls₁/r₂ls₁/r₁ls₂/r₄ls₂; 3 – Coarse rich ryhky soil, r₂ls₂/r₄ls; 4 – Gleyed coarse rich ryhky soil, r₂ls₂/r₃ls₃/r₄ls₂/p; for the names of fine earth and coarse fractions after their codes see Figure 6A



Joonis 8. Rähkmuldade joonisprofiilide kogum.

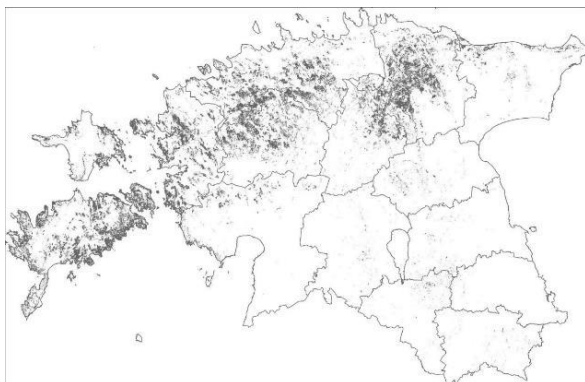
Mullad: 1 – Rähkne põllumuld (K), 2 – Koreserikas metsa rähkuld (Kr) ja 3 – Rähkne metsamuld (K); mullapeenese ja korese koodidele vastavaid nimetusi vt jooniselt 6A

Figure 8. Collection of drawings about ryhky soils' profiles.

Soils: 1 – Ryhky arable soil (K), 2 – Coarse rich ryhky forest soil (Kr) and 3 – Ryhky forest soil (K); for the names of fine earth and coarse fractions after their codes see Figure 6A

Rähkmuldade levik Eestis

Rähkmuldade peamised levikualad on Põhja- ja Loode-Eesti ning saared. Nad on valdavateks muldadeks Harju, Lääne ja Saare maakonnas (joonis 9). Rähkmuldadega kaasnevateks (kooslusi moodustavateks) mullaliikideks on reljeefi kõrgematel osadel parasniisked leostunud (Ko) ja paepealsed Kh mullad (joonis 10). Reljeefi madalamatel osadel võivad rähkmuldadele kaasneda gleistunud leostunud (Kog) ning rähksed (Gk) ja leostunud (Go) gleimullad. Rähkmuldade ülekaaluga muldkattele on iseloomulik mullastiku suur kirjusus nii lõimise, niiskusrežiimi kui ka produktiivsuse suhtes (joonis 11).



Joonis 9. Rähkmuldade levik Eestis

Figure 9. Distribution of ryhky soils in Estonia

Eesti maapinnast on rähkmuldadega kaetud ca 6,3%. Kõigist rähkmuldadest on veidi alla 2/3 põllumaad, veidi alla 1/3 metsamaad ning vaid ca 4% looduslikke rohumaad. Kui kogu kaardistatud pindalast moodustavad põllumaade rähkmullad tähelepanuväärselt suure osa (ca 11,3%), siis metsa – ja rohumaade puhul on see protsent kordades väiksem (vastavalt 3,2 ja 2,5%).

Normaalsed mineraal-mullad

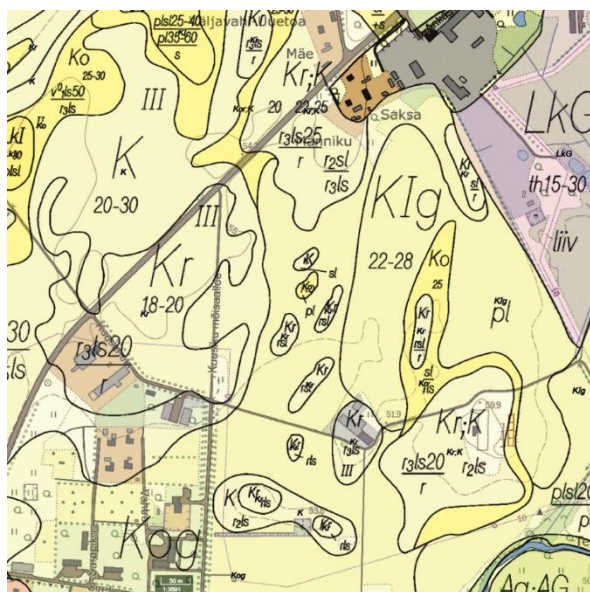
		Mullad					
		Põua-kartikud	Paras-niisked	Gleistumis-tunnustega	Gleistunud	Glei-	
		pk	pn	(g)	g	G	
Paepealsed	rendsinad	Kh	–	–	Khg	Gh	
Rähksed (klibu)		K	Kr	K	–	Kg	Gk
Leostunud (küllastunud)	pruun-mullad	Ko	Kop	Ko	–	Kog	Go G(o)
Leetjad		Kr	Kr	Kr	Kr	Kr	Kr

Joonis 10. Rähkmuldade hüdrokateena alates kuivadest kuni niiskete muldadeni ja nendega kaasnevad mullaliigid.

Kateena mullaliigid: Kr – kuivad rähkmullad sh Kk – klbumullad; K – parasniisked rähkmullad; Kg – niisked rähkmullad sh niisked koreserikkad (Krg) ja klbumullad (Kkg)

Figure 10. Hydrocatena of ryhky soils beginning from dry to moist soils and associated to them soil species.

Soil species of the catena: Kr – dry ryhky soils among them Kk – shingle soils; K – normal moisture (fresh) ryhky soils; Kg – moist ryhky soils, among them moist coarse rich ryhky soils (Krg) and shingle soils (Kkg)



Joonis 11. Väljavõte Eesti 1:10 000 mullastiku kaardilt (Maaamet, 2001; Maa-uuringud, 2009)

Figure 11. Excerpt from the 1:10,000 digital soil map of Estonia

Rähkmuldade huumuskatte omadused

Haritavate rähkmuldade huumuskate koosneb A-horisondist ja poolest üleminekukihist järgnevasse horisonti. Looduslikel aladel lisandub huumuskattes mineraalse mulla väline orgaanilise aine kiht ehk metsa- või rohumaae kõdu. Huumuskatte ülesehitus ja aine koostis peegeldab hästi huumusseisundit, mis on sisuliselt orgaanilise aine koosseis olevate ainete (sh süsinik) ringe ja energia voog. Huumusseisundit hinnatakse (a) huumuskatte ülesehituse (horisonid ja nende tüsedused), (b) mulla orgaanilise aine (MOA) sisalduse (kontsentratsioon ja varu), (c) MOA paiknemise ja talitlemise järgi ning (d) MOA C:N suhte järgi. Mulla huumusseisundit ja talitlemist iseloomustavad veelgi paremini dünaamilised näitajad, milleks on igaaastane MOA sisend mulda, selle lagunemise-muundumise kulg seoses mullaelustiku tegevusega, stabiilse huumuse akumulatsioon määrd mulda ning süsiniku väljund mullast seoses heterotroofse hingamise või väljauhtumisega. Huumusseisundi erisuste peamiseks teguriteks on mulla lõimise ja niiskusolud.

Rähkmuldade neutraalse huumuse koosseis on ülekaalus kaltsiumiga seotud huumushapped. Heaks kompleksiks huumusseisundi indikaatoriks on huumuskatte tüüp (ehk huumusvorm), mille klassifikatsioonid on olemas eraldi looduslike ja haritavate muldade kohta. Rähkmuldade mullaelustiku tegevus on koondunud pindmisse (5–7 cm) kihti, milles on head bakteriaalse lagunemise tingimused eriti just niisketel soojadel kevad- ja sügisperioodidel. Kuivadel suvedel on bioloogiline tegevus miinimumis. Tüsedamates rähkmuldades on mullaelustiku tegevusest haaratud peale A-horisoni ka struktuursed metamorfseid sisseuhte- (Bw) ja ülemineku-(AB, BC) horisonid, mis sisaldavad rohkesti taimejuuri. Elustiku aktiivsus neis karbonaatsetes horisonides sõltub õhustatusest ning optimaalsete niiskustingimuste olemasolust.

Looduslike gleistunud rähkmuldade rikkaliku koostisega rohurinde juurestik soodustab kamardumist ja igaaastase värse orgaanilise aine sattumist mulla pindmisse kihti. Rähkmuldadel kujunenud taimkatte varis on tuha- (eriti kaltsiumi-) ja lämmastikurikas, mis soodustab varise laguproduktide küllastumist. Gleistunud muldades on kevadeti ja sügiseti lagunemise-muundumise protsess liigniiskuse tõttu mõnevõrra pidurdunud ning MOA akumulatsioon veidi toorhuumuslikumal kujul.

Põlluks haritud rähkmullad on pehmehumusliku humaatse ehk mull-tüüpi huumusega mullad. K muldade huumusesisaldus varieerub piirides 23–45 g kg⁻¹, Kg muldades aga 35–55 g kg⁻¹. Põllumuldade A-horisoni huumuse kontsentratsioonid on mõnevõrra väiksemad võrreldes looduslikega. Põllu rähkmuldade (K, Kg) huumuse C:N suhe (10–11) on kitsam metsamuldade omast, mis viitab huumuse paremale kvaliteedile. Lämmastiku sisaldustes põllu- ja metsamuldade vahel olulist erinevust ei ole (mõlemal on see piirides 2,0–2,5 g kg⁻¹). Metsas asuvate rähkmuldade iseärasuseks võrreldes põlluks ülesharitud rähkmuldadega on mineraalse mulla välise kõdu-(O)-horisoni esinemine A-horisoni peal. Rähkmulla kõduhorisont on seoses mullaelustiku aktiivse bioloogilise tegevusega, mulla lubjarikkusega ning varise mullaga segunemisele õhuke ja kihistumata. Purujast pooleldi-lagunenud varisest koosnev metsakõdu võib siin täielikult laguneda tihe suve jooksul, mistõttu suve keskel võib metsakõdu hoopiski puududa.

Tüsedamatele parasniisketele K muldadele on metsades moodustunud värse kaltsi- või metsa-mull huumuskate. Nende huumusprofiilid koosnevad 1–2 cm tüsedusest O-horisonist, mis lasub huumusrikka (50–75 g kg⁻¹) A-horisoni peal. Vähem rähka sisaldavates A-horisonites on ka huumusesisaldus madalam. Seoses liikuvate fulvohapete osatähtsuse suurenemisega taolistes muldades on neil moodustunud metsa-mull tüüpi huumuskate (tabel 4). Kr ja Kk metsamullad on tavaliselt K-dest huumusrikkad (60–100 g kg⁻¹), mille põhjuseks on nii mullapeenese kaltsiumirikkus kui ka ajutine läbikuivamine, mille tagajärjel pooleldi või hästilagunenud MOA kondenseerub ja polümeriseerub. Samas on nende huumusvaru väike.

Kg, Krg ja Kkg huumushorison on nõrgalt toorhuumuslik. Nende muldade huumusesisaldus (80–110 g kg⁻¹) on suurem parasniisketest muldadest, seoses mulla mineraalosa seostumata huumuse suurema osatähtsusega. Kuigi Kg muldade kõduhorisont on natuke tüsedam kui parasniisketel muldadel, paikneb valdav osa orgaanilisest aineist ikkagi huumushorisonis. Rähksete metsamuldade huumuse C:N suhe (15–16) on laiem võrreldes põllumuldadega. Kuigi huumuskatete omadustes on tuntavad erinevused värske (parasniiskete) ja niiskete rähkmuldade vahel, on suuremad erinevused tingitud ikkagi maakasutusest (mets, põld, rohumaa). Haritavate rähkmuldade huumushorisoni pH_{KCl} on piirides 6,5–7,3. Metsades ja rohumaaal, kus kihisemine soolhappe lahusega esineb huumushorisoni alumises osas, võib huumushorisoni pindmises osas pH_{KCl} langeda kuni 5,5-ni.

Tabel 4. Rähkmuldade huumuskatted põllul ja metsas ning nende A-horisoni pH_{KCl}
Table 4. Humus covers on field and forest, and their A horizon's pH_{KCl}

Huumuskate ¹⁾ Humus cover	Kõlvik Land use	Muld Soil	pH_{KCl}
Kuiv pehmehumuslik vähese huumusvaruga / Dry mild-humuous with scars humus stock	Põld / Field	Kr Kk	6,9–7,3
Värske pehmehumuslik rähkne / Fresh mild-humuous ryhkne	Põld / Field	K	6,8–7,2
Niiske pehmehumuslik rähkne / Moist mild-humuous ryhkne	Põld / Field	Kg	6,8–7,2
Kuiv mull / Dry mull	Mets / Forest	Kk Kr	6,3–6,9
Värske kaltsi-mull / Fresh calci-mull	Mets / Forest	Kr K	6,1–6,5
Värske metsa-mull / Fresh forest-mull	Mets / Forest	K	5,5–5,8
Niiske kaltsi-mull / Moist calci-mull	Mets / Forest	Krg Kkg	5,6–6,0
Niiske metsa-mull / Moist forest-mull	Mets / Forest	Kg	5,5–5,9

1) Põllud – lühiiseloostus, metsad – klassifikatsiooni (Astover jt, 2013) alusel määratud tüüp.

1) For field short characterization, for forests determined by local classification humus cover type.

Tompjas või teralis-tompjas struktuursus on hästi väljakujunenud liivsaviilõimisega looduslikel rähkmuldadel, nõrgemini saviliivadel ja eriti liivadel. Intensiivselt haritavatel põldudel on mõningane osa agregaatidest purustatud. Tingituna heast struktuursusest ja tihenemise mullakihtide puudumisest on rähkmullad hea loodusliku dreenaariga. Veeläbilaskvus on parim koreserikastel ja väiksem sügavatel koresevaesematel rähkmuldadel. Rähkmullad on kevadeti kiiresti tahenevad ja soojenevad, mida soodustab rähkmuldade huumuserikkusest tingitud tume värvus. Rähkmullad on hästi õhustatud ning nendes domineerivad hapendustingimused.

Rähkmuldade A-horisoni peenese eripind, mis sõltub mulla lõimisest ja huumusesisaldusest, on liivsavi-muldadel valdavalt 40–90 m² g⁻¹ ja saviliivmuldadel – 25–65 m² g⁻¹. Looduslike rähkmuldade huumushorisoni hüdroliitiline happesus on <1,5 cmol kg⁻¹ ning alusmullas nullilähedane (<0,5 cmol kg⁻¹). Neeldunud aluste sisaldus muutub hüdroliitilisele happesusele vastupidises suunas. Keskmisena on rähkmuldade huumushorisonis neeldunud aluseid kuni 35–40 cmol kg⁻¹. Sellega kooskõlas oleva mullapeenese neelamismahutavus on väiksem alusmulla huumusvaestes horisontides. Rähksete muldade huumushorisoni küllastusaste on kõrgem haritavates muldades (>95%) võrreldes looduslikus olekus olevate muldadega (>90%). Küllastusaste suureneb sügavuse suunas, ulatudes 100%-ni karbonaadirikastes horisontides.

Rähkmuldade alusmullast ja lähtematerjalist

Rähkmuldade alusmullas suuri füüsikaliste ja keemiliste omaduste erinevusi sõltuvalt kasutusviisist (põld, mets, rohumaa) eriti ei ole. Alusmulla ülesehituse erinevused on tingitud peamiselt mullaliikide koreselisusest (korese liik ja sisalduse määr) ja alusmulla tusedusest, vähemal määral ka mulla niiskuseoludest ja lõimisest. Tusedamate rähkmuldade (K, Kg) B-horisoni heast struktuursusest sõltuv lasuvustihedus on B-horisonis ca 0,1–0,2 Mg m⁻³ võrra suurem kui A-horisonis. Samas on B-horisoni tasakaalustunud lasuvustihedus ikkagi suurem põllumuldadel võrreldes metsamuldadega. Suurem üldpoorsus teeb metsarähkmullad vett hästi läbilaskvateks ehk nad on hea loodusliku dreenaariga.

Välveemahutavus on suurim koresevaestel raskema lõimisega muldadel. Tingituna õhukeste koreserikaste

muldade peenese ja huumuse vähesest massist on need rähkmullad (Kr, Kk) põuakartlikud. Produktiivsust limiteeriv aktiivvee mahutavus koreserikaste muldade 1 m kihis on alla 80–100 mm. Suurema tuseduse ja väiksema rähasisaldusega muldades on see ühemeetrise mullakihi kohta üle 160–180 mm. Sügavamate gleistunud rähkmuldade aktiivveemahutavus on võrreldav parasniisketega, kuid tunduvalt kõrgemal asuva põhjavee tõttu need mullad (Kg, Krg) suviti põua all ei kannata. Veerežiimi muudab ebastabiilsemaks muldkatte all lasuv paas. Mida lähemal maapinnale paas on, seda põuakartlikum muld on. Enamarenenud rähkmuldades esinev savistunud Bw-horison loob taimede kasvuks soodsa vee- ja õhurežiimi ning samas ei ole häiritud oluliselt ka vee läbilaskvus.

Rähkmuldade levinumateks lõimisteks on rähksed liivsavid ja saviliivad ning veeriselised kruusad ja liivad. Liivsavidest on ülekaalus kerged liivsavid. Vähem leidub keskmist liivsavi, kuna rasket liivsavi ja savi esineb väga piiratud ulatuses. Rähkmuldade jämedad liivad on enamasti fluvioglaatsiaalse päritoluga. Peenliiva ning jämeda tolm osatähtsus on rähkmuldades väike. Mullapeenese osatähtsus alusmullas (B, BC) ja lähtekivimis on kordselt väiksem võrreldes huumuskattega. Veerismuldadele on iseloomulik peale suure veerise, kruusa ja liiva osatähtsuse ka nende kihilisus ja sorteeritus.

Alusmulla, kui ülemineku ala, koresesisaldus on kooskõlas nii huumuskatte kui lähtekivimi korese sisaldusega. Kivirikastes moreenide ja fluvioglaatsiaalsete setete koresesisaldus võib ulatuda kuni 60–70 mahuprotsentini, kuid klibuvallides kuni 80–95%-ni. Üldreeglina on huumuskatted 1–2 astme võrra väiksema koresesisaldusega võrreldes lähtekivimi ja/või alusmullaga. Samas võib domineerivate koresesisalduste kõrval (tabel 3) leida palju alternatiivseid korese ja peenese osakaaluga mullaerimite kombinatsioone (joonised 6–8).

Rähkmuldade produktiivsus ja selle seos huumusseisundiga

Mulla produktiivsust hinnatakse temal kasvava (taim-muld süsteemi moodustava) taimkatte aastafüto-produktiivsuse (AFP) järgi (Kõlli, 1987). AFP on antud kuiva fütomassi pindtihedusega ajahüki kohta (tonni ha⁻¹ a⁻¹). Võrreldavuse huvides on metsamuldade pro-

duktiivsus määratud kiire kasvufaasi läbinud eelvalminud kuni raieküpsete puistutega metsaökosüsteemides. AFP hõlmab puhta primaarse produktsooni, millest on maha arvatud aasta jooksul irdunud varis ja kulud sekundaarse (loomse) biomassi moodustumisele.

Madalaima AFP-ga ($5\text{--}6\text{ t ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$) on kuivadel õhukese huumushorisonidiga koreserikastel rähk-(veeris-) ja klibumuldadel (Kr, Kk) ning ebastabiilse veerežiimiga gleistunud rähkmuldadel (Krg, Kkg) kasvavad hõredad leesika- ja kastikuloo männikud. Sügavamate ja väiksema koresesisaldusega parasniiskete liivsavimuldade (K) sinilille kuusikute (vähemal määral ka männikute ja kaasikute) AFP ulatub 10–12 tonnini hektari kohta. Sügavate gleistunud rähksete (Kg) muldade salumetsad on veelgi kõrgema potentsiaalse viljakusega (AFP 10–13 $\text{t ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$). Puistuteks on siin laialehelisi puuliike sisaldavad naadi kaasikud ja kuusikud.

Rähkmuldade liigirikka alusmetsa tihedus sõltub puurinde tihedusest, kuid on valdavalt hõre kuni keskmise ehk varieeruva tihedusega, maapealse AFP-ga piirides $0,1\text{--}0,4\text{ t ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$. Rohurinne on rähkmuldadel liigirikas, kusjuures liikide levikumuster sõltub peale huumuskatte tüüpide ka maapinna valgustatusest. Rohurinde AFP varieerub sellest tingitult piirides alates $0,4$ kuni $0,9$ tonni $\text{ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$. Rähkmuldade samblarinne on enamjaolt liigivaene, hõre ja katkendlik AFP-ga

$0,1\text{--}0,4\text{ t ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$. Puistute AFP erinevus väljendub ka puistute boniteedis, mis ulatub väheviljakast V-st boniteediklassist kuni kõrge produktiivsusega Ia-ni. Muldade rea Kr(Kk)–K–Kg(Krg) keskmised boniteetid on seega vastavalt IV–V–I–II–I–Ia.

Võrreldavuse huvides hinnatakse ka agroökosüsteemide AFP ühe kindla kultuuri (meie odra) järgi. Odra AFP kalkuleeriti odra erinevate osade (lehed, kõrred, pähikud, terad, juured) fütomassi pindtiheduse dünaamika alusel. Teatavasti saabub erinevate fütomassi osiste maksimum erinevatel aegadel, samas toimub kasvuperioodi jooksul varise irdumine ja kaasneb umbrohtude fütomassi moodustumine. Odra AFP on reeglina teatud määral suurem odraga moodustunud agroökosüsteemi maksimaalsest massist. Meie uurimuste järgi on odra AFP K mullal $6\text{--}11\text{ t ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ sh umbrohud $0,1\text{--}0,6\text{ t ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$.

Haritavate rähkmuldade hindepunktid erinevad metsamuldadega sarnase seaduspärasuse järgi. Kergeima lõimisega koreseliste rähkmuldade boniteet on ligikaudu 25 hindepunkti, liivsavi lõimisega sügavamatel rähkmuldadel aga ca 50. Kuivendatud liivsavi lõimisega Kg muldade boniteet on keskmiselt 40–43 hindepunkti. Suured koresesisalduse kõikumised võivad muuta rähkmuldade viljakuse varieeruvaks ja põllud ebaühtlaseks (joonis 12).



Joonis 12. Maastik rähkmuldadel. Valli Loide foto
Figure 12. Landscape on ryhky soils

Enamlevinumateks rähkmuldadega looduslikeks rohumaadeks on loo- ja künka-arud ning lausk-arurohumaad. Taimkate on neil liigirikas, kuid põuakartlikel muldadel (Kr, Kk) on paljud taimeliigid käabusjad. Looduslike rohumaade produktiivsust näitab kuiva heina (niiskust ca 14%) saagikus. Rähkmuldade reas Kr(Kk)–K–Kg(Krg) ulatub kuiva heina saagikus 0,5 t ha⁻¹ kuni 3 t ha⁻¹. Võttes arvesse rohumaakoostusteemide kõigi maapealsete osade aastase juurdekasvu võib järeldada, et kateena Kr(Kk)–K–Kg(Krg) ulatuses suureneb AFP alates 1,1 kuni 2,5 t ha⁻¹ a⁻¹, mis aga moodustab vaid ligikaudu poole rohumaakoostusteemi kogu AFP-st.

Rähkmuldade produktiivsus sõltub huumuskatte huumuse-, lämmastiku- ja teiste oluliste toiteelementide sisaldusest, millised vähenevad alates kuivadest koreserikastest kuni niiskete rähavaeste muldadeni. Liigirikka ja lubjalembese taimestikuga rähkmuldade AFP-st limiteerivaks teguriks on koreserikaste õhukeste muldade puhul väike aktiivvee mahutavus. Vaid sügavad rähkmullad koresevaesel lähtekivimil suudavad valdaval osal aastatest taimi normaalselt veega varustada. Parasniisketil rähkmuldadel asub põhjavesi sügaval ja ei ole taimedele kättesaadav. Taimede poolt kasutatava mullavee hulk on suurim rohkema mullapeenese- ja vähema koresesisaldusega gleistunud rähkmuldades, millistele on kujunenud kõrge produktiivsusega looduslikud rohumaad.

Rähkmuldadest on suurima huumusvaruga (>150 t ha⁻¹) tüsed a huumushorisonidiga liivsavi- ja saviliivmoreenil kujunenud mullad. Huumusvarudes suuri erinevusi seoses maakasutusega ei ole. Arvestatav huumusvaru on rähkmuldadel ka AB- ja Bw-horizontides ja juurekäikudes, olles näiteks liivsavidel keskmiselt 20–35 Mg ha⁻¹. Kg huumusvaru ulatub 110–140 tonnini hektari kohta. Metsakõdu tuhavaba orgaaniline aine mass on K muldadel piirides 9–13 t ha⁻¹, Kg metsakõdul aga valdavalt 14–18 t ha⁻¹. Haritavate rähkmuldade (peamiselt K ja Kg) huumuskatte tüsedused ning mulla orgaanilise süsiniku sisaldused, mis oleavad mullapeenese lõimise ja niiskusolude kõrval ka kasutatud agrotehnoloogiast, on suuresti ühtlustunud ning nende MOA varud varieeruvad suhteliselt vähesel määral (60–80 t ha⁻¹).

Rähkmuldade EMK ja WRB nimetuste korrelatsioon

Eesti muldasid tuleks määratleda ja nende omadusi teada ennekoike ikkagi lokaalse s.o EMK järgi. Muldade nimetusi võib ju ka tõlkida inglise keelde, kuid need tavaliselt ei ole kuigi informatiivsed ilma vastavat klassifikatsiooni kui töövahendit tundmata. Seega on hoopiski otstarbekam need konverteerida rahvusvahelisel laialtkasutatavasse süsteemi. Antud juhul on selleks World Reference Base for Soil Resources (WRB; IUSS 2015).

Rähkmuldade profiilide ülesehituse ja omaduste järgi on tegemist vähearenenud (noorte) muldadega, milliseid kajastab WRB süsteemi järgi kõige adekvaatse-

malt referentsmuld *Cambisols*. Koreserikaste vähearenenud rähkmuldade vasteks WRB järgi on *Regosols* ja *Lithosols*. WRB järgi kasutatakse detailse mullanimetuse andmiseks referentsmullale lisatud kvalifikaatorite ehk täiendsõnade süsteemi (tabel 5). Selgituseks olgu öeldud, et taoline mullanimede konventeerimine ei saa olla kunagi üks-ühele, sest suuremal või vähemal määral erinevad omaduste jaotuse põhimõtted. Sarnaselt WRB süsteemiga võiks ka eestikeelsetes kirjutistes anda mullaerimi nimetuse mahukamalt ja komplekssemalt, lisades sellesse võimalikult palju vastavat erimit iseloomustavat terminitel põhinevat informatsiooni.

Tabel 5. EMK ja WRB mullanimetuste korrelatsioon
Table 5. Correlation between soil names of EMK (Estonian Soil Classification) and WRB

Grupp ¹⁾ Group	Kvalifikaatorid ja referentsmullad Qualifiers and Reference soils	K ²⁾	Kg	Kr	Krg	Kk	Kkg
1	<i>calcaric</i>	+	+	+	+	+	+
	<i>eutric</i>	+	+	+	+	+	+
	<i>skeletal</i>	+	+	–	–	–	–
	<i>hyperskeletal</i>	–	–	+	+	+	+
	<i>rendzic</i>	–	–	+	+	+	+
	<i>mollic</i>	+	+	–	–	–	–
	<i>endogleyic protic</i>	–	+	–	+	–	+
2	<i>CAMBISOLS</i>	+	+	–	–	–	–
	<i>LEPTOSOLS</i>	–	–	+	+	+	+
	<i>REGOSOLS</i>	–	–	–	–	+	+
3	<i>arenic</i>	–	–	+	–	+	+
	<i>loamic</i>	+	+	+	+	–	–
	<i>aric</i>	+	+	–	–	–	–

1) Grupp: 1 – täiendsõna eesliitena, 2 – referentsmulla grupp, 3 – täiendsõna järelliitena; 2) Mullanimetusi vt tabelist 1.

1) Group: 1 – prefix qualifiers, 2 – Soil Reference Groups, 3 – suffix qualifiers; 2) Soil names by code see Table 1.

Rähkmuldade kasutamissobivus

Kuna muldade parim kaitse on nende õige kasutamine, siis oleks vaja teada nende erinevate liikide kasutamissobivust. Tingituna kaltsiumi- ja huumuserikkusest on rähkmuldade A-horisoni struktuursus hästi väljakujuenenud ja nad on harimisele vastupidavad ehk harimiskindlad mullad. Rähkmuldade haritavust (põlluna kasutamisel) mõjutab korese hulk ja kuju. Rohkem, võrreldes veerise ja klibuga, takistab harimist rähk oma teravaserivalisuse tõttu. Raskesti haritavateks muldadeks on õhukesed rähk- (veeris-, klibu-) mullad (Kr, Krg, Kk, Kkg) oma väga õhukese huumuskatte ja koreserikka alusmulla tõttu. Õigem oleks taolised mullad jätta looduslikku olekusse või võtta ehituste alla. Rähkmuldade põuakartlikkuse tõttu tuleb mullaniiskuse maksimaalse ärakasutamise huvides teha kevadine mullaharimine ja külv esimesel võimalusel (joonised 13–14).

Rähksed, veeriselised või klibused mullad on kohasemad tugeva ja sügavale ulatuva juurestikuga kultuuridele (lutsern, mesikas) või vee ökonoomsetele kasutajatele (oder, rukis). Sügavamad rähksed (K) mullad suudavad kultuure veega paremini varustada. Teraviljadest on siin odral eelised kaera ja rukki ees. Põldhein (ristik, timut) on nendel muldadel suhteliselt lühikeste

kestvusega kuna juba teise aasta põldheina saigid on madalamad esimese aasta saakidest. Kuivendamata Kg mullad, mis on hästi sobivad heintaimede ja metsa kasvatamiseks, vajavad põllumaana kasutamisel kuivendamist. Kuivendatud gleistunud rähksed liivsavi-mullad on sarnaselt parasniiskete muldadega universaalse kasutus sobivusega. Kivised, räha-(veerise-) ja kliburikkad mullad (Kr, Kk) on vähesobivad rühvelkultuuride kasvatamiseks ja kartuli mehhaniseeritud koristamiseks. Tugevasti kivised ja koreserikkad gleistunud karbonaatsed mullad (Krg, Kkg) on piiratud kasutus sobivusega. Nende kuivendamine ei ole otsustav.



Joonis 13. Rähkne põld. Mullateaduse õppetooli fotokogu
Figure 13. Ryhky field



Joonis 14. Põldkatse rähharikkal mullal. Valli Loide foto
Figure 14. Experimental field on ryhky soil

Status and distribution of ryhky soils in Estonian agricultural and forest landscapes

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

Summary

The year 2021 Soils of Estonia are *ryhky soils*, which may be characterized as dry, fresh and moist rich in coarse calcareous material mild-humuous (mull-humus) soils. The main criteria of *ryhky soil* species' identification after Estonian Soil Classification (ESC) are the fine earth calcareousness, content and shape of small stones (\varnothing 1–10 cm), and water regime of soil cover. The wet and eroded *ryhky soils* have been excluded from the overview as their properties depend not so on the coarse calcareous earth content as on feeding their soil water or water erosion. By ESC six soil species have been distinguished, from which three ones have *endogleyic* character (Table 1). The fine earth texture of *ryhky soils* is mainly loam, but as well are presented with loamy sands, sands and clays. Stoniness by volume per cent of small stones (ryhk, pebble and shingle) in humus cover and subsoil varies to a very large extent from 2–10% to >70% (Table 3). After WRB *ryhky soils* may be characterized as *calcaric* or *eutric*, *skeletal* or *hyperskeletal* and *rendzic* or *mollic CAMBISOLS*, *LITHOSOLS* or *REGOSOLS*. The area of *ryhky soils* forms 6.3% from whole Estonian soil cover and 11.1% from the arable land. The morphology, humus status and suitability of *ryhky soils* for management are treated on the level of soil species in dependence of land use (arable, forest or grassland). In connection with this more profoundly are characterized humus cover types of arable and forest soils and their agrochemical properties. *Ryhky soils* productivity, which is characterized by their annual phyto-productivity in ton ha^{-1} , is varied to great extent in all land use conditions (arable, forest and grassland) in dependence of soil types' humus status and content of skeletal material in soil cover. The overview contains 5 Tables, 14 Figures. The list of used literature contains 6 sources.

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

- Astover, A., Reintam, E., Leedu, E., Kõlli, R. 2013. Muldade väliuurimine. – Eesti Loodusfoto, Tartu, 70 lk.
- Eesti Põllumajandusprojekt [EPP] 1983. Haritavad mullad. Metsamullad. – Eesti NSV mullastik arvudes, III: 3–92.
- 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.
- Kõlli, R. 1987. Looduslike ja kultuurökosüsteemide fütoproduktiivsuse, biogeokeemiliste ainevoogude ja huumus seisundi pedoökoloogiline analüüs. – Dr. Sci. (biol.) väitekirj. Tartu, 553 lk. (vene k.)
- Maa-amet 2001. Vabariigi digitaalse suuremõõtkavalise mullastiku kaardi seletuskiri. – Tallinn, 46 lk.
- Maa-uuringud 2009. Eesti mullastiku kaart. – <http://geoportaal.maaamet.ee>