

## FOSFOR JA KAALIUM EESTI MULDADE PEDOGENEESIS

R. Kask, H. Niine

**SUMMARY: Phosphorus and potassium in the pedogenesis of Estonian soils.** *The special characteristics of the phosphorus and potassium content and its vertical differentiation in soil is generally connected with the typological units of the soils.*

*With the accumulation of humus in the soil, the content of the total and lactate soluble forms of phosphorus and potassium in the humus horizons increases. With the accumulation of the organic matter in the form of peat the total content of phosphorus increases and that of potassium decreases in the mass of soil. The content of the lactate soluble forms and their part in the total content increase with the peaty formation in case of both elements.*

*In the first stage of the degradation of the mineral part of soil, that is, in the stage of carbonate leaching, the content of leaching horizon phosphorus and potassium increases. As the result of the decomposing of aluminium-silicate minerals and the vertical transfer in the process of lessivation, podzolization and gleying the content of phosphorus and potassium in the eluvial horizons decreases, in the illuvial horizons increases. The illuviation of lactate soluble phosphorus is the greatest in the depth where the acid reaction transfers to neutral (pH 6...7) and is more extensive, the greatest depths of the mineral-profile is enfolded into degradation. The vertical differentiation of lactate soluble potassium is connected with the amount of the clay ingredients in the soil mass.*

*With the increasing degradation of the mineral ingredients in the soils and with the peaty formation of the soils becoming marshly in the native process of evolution the total content of phosphorus and potassium and their supply in the soil decreases. In order to keep the content of phosphorus and potassium optimal in the soil of cultivable land we must fertilizer among the others the loss of phosphorus and potassium in connection with the degradation of mineral ingredients of the soil.*

Andmeid fosfori ja kaaliumi kui muldade keemilise koostise oluliste komponentide sisaldusest leidub uuritud objektide kaupa paljudes muldade geneesi ja geograafiat käsitlevates artiklites (Reintam, 1970a, 1970b; Kask, Heinsalu, Niine, 1985a, 1985b; Kask, Heinsalu, 1989, 1991). Kui üht põhilist taimetoitainet on fosfori ja selle vormide sisaldust muldades uurinud A. Piho (1956, 1969) ja süvendatult H. Kärblane (1969, 1973, 1975, 1992, 1994), kaaliumi – A. Piho (1967) ja A. Sirendi (1970, 1984). Eesti muldade omapära iseloomustuses on muude näitajate kõrval esitatud üldistavaid andmeid fosfori- ja kaaliumisisaldusest ka R. Kase ja H. Niine töödes (Kask, 1971, 1975; Kask, Niine, 1971; Niine, 1965).

Käesoleva tööga täiendatakse seni trükis avaldatud informatsiooni hilisemate uurimistega, esitatakse täiendavalt andmeid seni vaatlusest väljajäänud muldade kohta ning selgitatakse muldade fosfori ja kaaliumi üld- ja laktaatlahustuvate vormide sisalduse ja vahekorra erinevuste kujunemist mullatekkeprotsessis (pedogeneesis).

### Uurimistulemused

Fosfori üld- ja laktaatlahustuvate vormide sisaldust nn. fosforirikka vööndi muldades on üksikasjalikult valgustanud H. Kärblane (1973). Käesolevas uurimuses vaadeldakse muldi väljaspool nimetatud vööndit. Seostamise eesmärgil on tabelites 1 ja 2 esitatud ka andmeid (automorfsete muldade osa), mis osaliselt kordavad seni juba avaldatuid (Kask, 1971, 1975; Kärblane, 1973). Uuritud muldade analüüsimateerjal on esitatud arvestusega, et muldade morfo-geneetilise omapäraga, muldade tüpoloogiliste ühikutega seostuvad erisused fosfori- ja kaaliumisisaldus ilmekalt esile tulevad.

**Tabel 1.** Näiteid fosfori ja kaaliumi üld- ja laktaatlahustuvate vormide sisaldusest ning nende vahekorra mitmesugustes muldades ja nende horisontides looduslikel kõlvikutel**Table 1.** The examples of the content of phosphorus' and potassium's total and lactate soluble forms and their relations in different soils and their horizons on native land

Horisont ja sügavus, cm <i>Horizon and depth of sample, cm</i>	Füüsikaline savi, % <i>Glay, %</i>	Huumus, % <i>Humus, %</i>	P				K			
			üldsisaldus, % <i>Total content, %</i>	laktaatlahustuv, mg/100 g <i>Lactate soluble, mg/kg</i>	lakt./üld. <i>Lact./total</i>	üldsisaldus, % <i>Total content, %</i>	laktaatlahustuv, mg/100 g <i>Lactate soluble, mg/kg</i>	lakt./üld. <i>Lact./total</i>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Profiil 1431. Rähkmuld / <i>Typical sod-calcareous soil</i>										
A <sub>1</sub>	2...10	27,4	5,0	6,2	0,04	7,4	0,019	1,64	20,8	0,0012
B	20...40	22,5	1,0	7,2	0,04	6,5	0,016	1,68	4,2	0,0002
C	60...80	29,5		7,7	0,03	2,1	0,007	1,40	4,2	0,0003
Profiil 1430. Leostunud kamar-karbonaatmullad / <i>Leached sod-calcareous soil</i>										
A <sub>1</sub>	2...10	28,6	4,3	5,1	0,04	4,3	0,011	1,87	20,8	0,0011
B	30...40	30,3		6,4	0,04	2,2	0,006	2,03	16,6	0,0008
C	80...100	24,5		7,7	0,04	3,1	0,008	1,60	4,2	0,0003
Profiil 1432. Leetjas kamar-karbonaatmull / <i>Podzolized sod-calcareous soil</i>										
A <sub>1</sub>	2...10	24,0	3,6	5,8	0,03	6,5	0,022	2,14	37,0	0,0017
A <sub>2</sub> B	25...40	21,0	0,9	5,5	0,02	0,8	0,004	2,20	4,2	0,0002
C	40...60	31,4		6,2	0,02	3,1	0,016	2,17	16,6	0,0008
BC	60...80	19,0		7,6	0,04	2,1	0,005	1,55	0,8	0,0001
C	100...110	21,6		7,5	0,04	0,8	0,002	1,55	0,8	0,0001
Profiil 1398. Kamar-leetmull hallil moreenil / <i>Sod-podzolic soil on grey moraine</i>										
A <sub>1</sub>	1...10	22,1	3,5	4,7	0,06	15,3	0,026	1,80	49,8	0,0028
	10...17	20,9	2,3	4,5	0,05	8,7	0,017	2,19	20,8	0,0009
A <sub>2</sub>	20...35	19,9	1,3	4,7	0,04	6,5	0,016	2,24	8,3	0,0004
	35...50	18,6	1,1	5,1	0,04	4,4	0,011	2,22	8,3	0,0004
B	75...85	28,3		6,0	0,05	41,4	0,083	2,89	33,2	0,0011
BC	85...95	25,2		6,9	0,05	26,2	0,052	2,18	24,9	0,0011
C	110...135	22,2		7,0	0,05	6,5	0,013	2,08	16,6	0,0008
Profiil 880. Kamar-leetmull punakaspruunil moreenil / <i>Sod-podzolic soil on redish brown moraine</i>										
A <sub>k</sub>	0...28	23	2,1	5,8	0,05	19,6	0,039	2,74	58,1	0,0021
A <sub>2</sub>	28...40	27	0,9	5,3	0,04	4,3	0,011	3,12	33,2	0,0011
	40...60	36	0,6	4,8	0,04	6,5	0,016	3,20	33,2	0,0010
B	60...80	38		5,2	0,04	15,3	0,039	3,06	41,5	0,0014
BC	60...100	29		7,5	0,04	43,6	0,109	3,32	33,2	0,0010
C	100...120	31		7,5	0,05	4,4	0,009	3,24	24,9	0,0008
	140...160	32		7,7	0,04	2,2	0,006	3,32	16,6	0,0005
Profiil 1218. Kamar-gleimuld / <i>Soddy gley soil</i>										
A <sub>1</sub>	1...7	26,2	27,8 <sup>+</sup>	6,2	0,06	13,1	0,021	1,91	58,1	0,0030
	7...15	22,3	17,9 <sup>+</sup>	6,2	0,05	8,7	0,018	2,12	24,3	0,0011
	15...25	19,9	13,4 <sup>+</sup>	6,3	0,05	10,9	0,022	2,13	16,6	0,0008
B <sub>g</sub>	26...35	28,0		7,1	0,03	2,2	0,007	1,72	<4,2	0,0002
	35...50	28,1		7,2	0,03	4,3	0,014	1,72	<4,2	0,0002
Profiil 1217. Turvasjas gleimuld / <i>Peaty-soddy gley soil</i>										
T	1...12		57,9 <sup>+</sup>	6,2	0,08	24,0	0,030	0,97	74,7	0,0077
AT	12...24		45,5 <sup>+</sup>	5,9	0,08	81,5	0,102	1,25	8,4	0,0007

Tabeli 1 järg / *Table 1 continuation*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A <sub>1</sub>	24...30	28,6	9,3	6,3	0,07	28,3	0,040	2,70	49,8	0,0018
G	100...130	21,4	–	7,8	0,03	4,4	0,015	1,76	<4,2	0,0002
Profiil 1216. Turvastunud gleimuld / <i>Peaty gley soil</i>										
T	1...13		81,5 <sup>+</sup>	5,7	0,08	43,6	0,055	0,27	183	0,0678
	13...26		80,0 <sup>+</sup>	5,7	0,07	28,3	0,040	0,22	66,4	0,0302
AT	26...34	36,5	27,1 <sup>+</sup>	5,9	0,08	87,2	0,109	2,36	91,3	0,0039
G	50...65	23,2	–	7,3	0,03	4,4	0,014	1,51	<4,2	<0,0002
		L, %								
Profiil 1623. Madalsoomuld / <i>Peaty bog soil</i>										
T	0...2	25	87	6,1	0,083	97,7	0,118	0,072	48,1	0,668
	2...5	25	88 <sup>+</sup>	5,9	0,081	70,2	0,087	0,045	29,5	0,656
	5...10	30	92 <sup>+</sup>	5,9	0,071	51,9	0,073	0,032	162	0,506
	10...20	35	89 <sup>+</sup>	5,8	0,066	34,9	0,053	0,022	91,0	0,414
	20...30	35	87 <sup>+</sup>	5,8	0,059	28,3	0,047	0,026	77,2	0,297
	30...40	35	86 <sup>+</sup>	5,8	0,061	32,3	0,053	0,024	68,9	0,287
	40...50	35	83 <sup>+</sup>	5,9	0,035	20,5	0,040	0,024	48,5	0,200
	50...60	40	89 <sup>+</sup>	5,9	0,031	7,4	0,024	0,024	12,5	0,052
	60...70	35	44 <sup>+</sup>	6,0	0,061	41,8	0,069	0,125	12,5	0,010
G	70...80	–	11 <sup>+</sup>	6,3	0,074	63,7	0,089	0,183	12,5	0,007
Profiil 1622. Rabamuld / <i>Sphagnum bog soil</i>										
T	0...3	0	99,2 <sup>+</sup>	3,0	0,023	88,5	0,385	0,241	236	0,979
	3...6	0	98,0 <sup>+</sup>	2,9	0,021	47,1	0,225	0,050	477	0,954
	6...10	10	96,3 <sup>+</sup>	2,9	0,033	49,7	0,152	0,026	220	0,846
	10...20	15	98,2 <sup>+</sup>	2,9	0,031	34,0	0,110	0,016	112	0,700
	20...40	15	99,0 <sup>+</sup>	2,7	0,013	10,9	0,083	0,007	48,1	0,687
	40...60	20	99,3 <sup>+</sup>	2,7	0,010	8,7	0,087	0,005	25,0	0,500
	60...80	20	99,6 <sup>+</sup>	2,5	0,012	7,8	0,065	0,005	41,5	0,830
	80...100	25	99,1 <sup>+</sup>	2,5	0,014	13,1	0,094	0,006	48,1	0,802
	100...120	25	99,2 <sup>+</sup>	2,5	0,012	7,4	0,062	0,007	54,0	0,771

<sup>+</sup> – kuumutuskadu / *loss ignition soil*

L, % – turba lagunemisaste / *degree of decomposition of peaty*

**Tabel 2.** Fosfori ja kaaliumi üld- ja laktaatlahustuvate vormide sisaldus ja nende vahekord haritavates automorfsetes muldades

**Table 2.** The content of phosphorus' and potassium's total and lactate soluble forms and their relations in arable automorphic soils

Horisont <i>Horizons</i>	n*	P			K		
		üldsisal- dus, % <i>Total con- tent, %</i>	laktaatlahus- tuv, mg/kg <i>Lactate solu- ble, mg/kg</i>	lakt./üld. <i>Lact./total</i>	üldsisal- dus, % <i>Total con- tent, %</i>	laktaatlahus- tuv, mg/kg <i>Lactate solu- ble, mg/kg</i>	lakt./üld. <i>Lact./total</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
Rähkmullad / <i>Typical sod-calcareous soils</i>							
A <sub>1</sub>	6/39	0,11	43,2	0,039	2,99	109	0,0036
BC	4/39	0,12	8,3	0,007	2,97	29,1	0,0010
C	1/16	0,07	7,4	0,010	2,49	22,4	0,0009
Leostunud kamar-karbonaatmullad / <i>Leached sod-calcareous soils</i>							
A <sub>1</sub>	10/23	0,08	35,7	0,045	2,00	111	0,0056
B	10/12	0,07	29,6	0,042	2,08	34,0	0,0016
C	10/22	0,08	8,7	0,011	1,78	21,6	0,0012
Tabeli 2 järg / <i>Table 2 continuation</i>							
1	2	3	4	5	6	7	8

Leetjad kamar-karbonaatmullad / <i>Podzolized sod-calcareous soils</i>							
A <sub>1</sub>	10/39	0,08	34,0	0,043	2,00	86,3	0,0043
A <sub>2</sub> B	10/39	0,05	11,8	0,024	2,00	31,5	0,0016
B	10/36	0,07	22,2	0,032	2,08	30,7	0,0015
C	10/22	0,08	5,7	0,007	1,78	16,6	0,0009
Jääkkarbonaatsed kamar-leetmullad / <i>Residual karbonate sod-podzolic soils</i>							
A <sub>1</sub>	10/36	0,07	31,4	0,045	1,90	96,3	0,0051
A <sub>2</sub> , A <sub>2</sub> B	12/36	0,06	12,2	0,020	2,19	44,8	0,0020
B	12/30	0,07	37,5	0,054	2,42	40,7	0,0017
BC	/17	0,07	68,0	0,097	2,42	45,7	0,0019
C	11/10	0,07	20,0	0,028	2,16	20,8	0,0010
Harilikud kamar-leetmullad / <i>Sod-podzolic soils</i>							
A <sub>1</sub>	18/42	0,05	19,2	0,038	1,88	93,8	0,0050
A <sub>2</sub>	17/41	0,04	15,3	0,039	1,90	40,7	0,0021
B	14/40	0,05	17,9	0,036	2,08	38,2	0,0018
BC	25/26	0,06	28,3	0,047	1,87	41,5	0,0023
C	/17	0,06	59,7	0,995	1,87	31,5	0,0017

\* Murrujoone ees on fosfori ja kaaliumi üldsisalduse määramiste (proovide) arv, murrujoone järel laktaatlahustuvate vormide määramiste arv / *In front of the fraction line there is the number of the determinations of phosphorus' and potassium's total content, after the fraction line comes the number of the determinations of lactate soluble forms*

Tabelites 1 ja 2 ilmneb juba tuntud tõsiasi, et fosfori ja kaaliumi üld- ja laktaatlahustuvate vormide sisaldus ning nende vahekord erineb oluliselt mulla tüpoloogiliste ühikute ning sama mulla geneetiliste horisontide kaupa. Olulist rolli selles etendab mulla lähtekivim ja veere<sup>o</sup> iim, millega mullas toimuvad protsessid ja erinevate muldade omapära on otseselt seotud.

Mulla fosfori ja kaaliumi üld- ja laktaatlahustuvate vormide sisalduse ja vahekorra erinevused võrreldes lähtekivimiga on kujunenud välja mullatekkeprotsessis. Olulised on selles orgaanilise aine akumulatsioon ning selle koosseisus fosfori ja kaaliumi biogeenne kuhjumine organo-akumulatiivsesse (A<sub>org</sub>) horisonti ning ainete (nende hulgas fosfori ja kaaliumi) vertikaalne ja horisontaalne ümberpaigutumine mullas.

Fosfori ja kaaliumi biogeenne kuhjumine A<sub>org</sub> (A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, AT, T) horisonti puudutab taime poolt omastatavaid vorme. Selle ulatus sõltub mulda ladestuvate taimekoosluste surnud orgaanilise aine fosfori- ja kaaliumisisaldusest (tabel 3 ja 4) ning üld- ja laktaatlahustuvate vormide vahekorra. Olulist tähendust biogeenses akumulatsioonis omab tõsiasi, et mulda ladestuv orgaaniline aine sisaldab üldjuhtudel rohkem fosforit ja vähem kaaliumi kui mulla lähtekivim. Seega, mida suurem on orgaanilise aine osakaal A<sub>org</sub>-horisondis, seda suurem on eeldatav fosfori ja väiksem kaaliumi üldsisaldus. Kui ei ole segavaid asjaolusid (mulla lähtekivimi heterogeensus, ainete vertikaalne ümberpaigutumine), siis ilmneb see ka fosfori- ja kaaliumi üldsisalduses (vt. tabel 1). Eriti selgelt ilmneb see automorfsete muldade võrdlemisel soostunud muldadega.

A<sub>org</sub>-horisonti biogeenselt kuhjunud fosfor ja kaalium pärinevad sügavamatest horisontidest, mineraalmuldades mulla mineraalosast, turvastunud ja turvasmuldades aga surnud ja turvastunud taimeosade koostises sisalduvatest varudest. Need ammendatakse elavate taime poolt raba muldades peaaegu täielikult. Elavatest taimeosadest sügavamal asuvad turbakihid on kunagi olnud pindmiseks fosfori ja kaaliumi poolst suhteliselt rikkamaks kihiks. Uute turbakihtide pealekasvamisel vaesestuvad need peamiselt biogeense ümberpaigutumise tõttu pindmisse kihti.

**Tabel 3.** Näiteid rabataimede fosfori- ja kaaliumisisaldusest  
**Table 3.** Examples of the phosphorus' and potassium's content in the raised bog plants

Taim	Tuhk, %	pH <sub>KC</sub>	P			K		
<i>Plant</i>	<i>Ash, %</i>	<sup>1</sup>	üldsisal- dus, % <i>Total content, %</i>	laktaat- lahustuv, mg/kg <i>Lactate soluble, mg/kg</i>	lakt./üld. <i>Lact./total</i>	üldsisal- dus, % <i>Total content, %</i>	laktaat- lahustuv, mg/kg <i>Lactate soluble, mg/kg</i>	lakt./üld. <i>Lact./total</i>
Elavad männi								
<i>Pine-tree</i>								
okkad / <i>needles</i>	2,05	4,8	0,12	418	0,348	0,31	2990	0,965
peenend oksad / <i>twigs</i>	1,94	3,9	0,07	227	0,324	0,17	990	0,582
Kannarvik								
<i>Heather</i>								
roheline oksad / <i>green twigs</i>	2,01	7,0	0,09	74	0,082	0,20	112	0,056
pruunistunud oksad / <i>brown twigs</i>	1,85	6,9	0,10	100	0,100	0,20	16,7	0,083
tüükad / <i>stumps</i>	1,13	6,1	0,04	192	0,480	0,17	33,2	0,195
Mustikas								
<i>Black bilberry</i>	2,18	4,8	0,09	288	0,320	1,31	2320	0,177
Pohl								
<i>Red bilberry</i>	2,30	4,5	0,09	226	0,251	0,20	1830	0,917
Lehtsamal								
<i>Musci</i>								
roheline osa 0...3 cm <i>green part 0...3 cm</i>	2,54	3,6	0,11	309	0,281	0,35	3320	0,948
pruunistunud osa 3...7 cm <i>brown part 3...7 cm</i>	3,06	3,3	0,08	174	0,218	0,25	2320	0,928
turvastunud osa 10...15 cm <i>the part turned into peat 10...15 cm</i>	3,91	3,2	0,09	165	0,183	0,25	1660	0,664
Sfagnumsammal								
<i>Sphagnum</i>								
elav osa 0...4 cm <i>alive part 0...4 cm</i>	1,87	3,1	0,06	139	0,232	0,22	2300	1,045
turvastunud osa 4...10 cm <i>the part turned into peat 4...10 cm</i>	1,77	3,0	0,05	78	0,156	0,10	990	0,990

Elavates taimedes sisalduv fosfor ja kaalium pärinevad taimede poolt omastatud vormidest. Olenevalt peenestamis- (ka murenemis-) astmest lähevad need suures osas (kuni 100 %) laktaatväljatõmbesse<sup>1</sup>. Sellest ka tõsiasi, et orgaanilise aine, sealhulgas eriti elavate taimejuurte rikkas horisondis või kihis on laktaatlahustuva fosfori ja kaaliumi osakaal üldsisalduses mitmeid kordi suurem kui mulla lähtekivimis (vt. tabel 1; lakt./üld.).

Mullaprofiili diferentseeritus fosfori- ja kaaliumisisalduse poolest sõltub ainete bio-geense ümberpaigutumise kõrval oluliselt mulla mineraalosas toimuvaga. Karbonaatsel lähtekivimil toimub seoses karbonaatide väljauhtumisega fosfori- ja kaaliumisisalduse suhteline suurenemine. Kui seda ei varjuta mulla lähtekivimi heterogeensus, siis avaldub see ka analüüsandmetes.

Mineraalsed fosfori- ja kaaliumiühendid alluvad läbiuhtelise veere<sup>o</sup> iimi korral sügavamale või väljauhtumisele. See leiab aset mitme erineva protsessi toimel.

<sup>1</sup> Sõltuvalt kannarviku okste peenendamisastmest laboratooriumis oli proovipala laktaatlahustuva P sisaldus 320...450 ka K-sisaldus 3500...4150 mg/kg

**Tabel 4.** Näiteid heintaimede fosfori- ja kaaliumisisaldusest (Kalmet, Michelson, 1969)  
**Table 4.** Examples of the content of phosphorus and potassium in hay plant

Taim Plant	n	% kuivaines / % in dry matter			
		P		K	
		lim	$\bar{x}$	lim	$\bar{x}$
Kõrrelised / <i>Gramineae</i>					
<i>Agropyron repens</i>	14	0,47...0,72	0,58	1,40...4,40	1,70
<i>Poa pratensis</i>	30	0,13...0,49	0,29	0,35...3,50	1,10
<i>Phleum pratensis</i>	72	0,11...0,83	0,25	0,25...4,15	0,88
<i>Festuca pratensis</i>	35	0,11...0,53	0,22	0,28...2,75	0,95
<i>Alopecurus pratensis</i>	14	0,11...0,26	0,20	0,68...2,40	1,00
<i>Avena pratensis</i>	4	0,09...0,27	0,18	0,83...0,85	0,85
<i>Calamagrostis lanceolata</i>	8	0,10...0,14	0,12	0,15...0,60	0,37
<i>Briza media</i>	3	0,03...0,10	0,06	0,40...1,25	0,80
Liblikõielised / <i>Leguminosae</i>					
<i>Medicago sativa</i>	17	0,13...0,82	0,38	0,73...1,40	1,06
<i>Trifolium hybridum</i>	12	0,22...0,47	0,31	0,75...2,00	1,05
<i>Trifolium pratense</i>	62	0,12...0,72	0,25	0,27...1,75	0,88
<i>Medicago falcata</i>	3	0,15...0,22	0,19	0,66...1,55	1,06
Tarnad / <i>Carex</i>					
<i>Carex Goodenowii</i>	4	0,20...0,38	0,28	0,50...0,80	0,65
<i>Carex ceaspitosa</i>	8	0,13...0,30	0,22	0,55...0,90	0,80
<i>Carex Davalliana</i>	6	0,20...0,25	0,23	0,90...1,00	0,95
<i>Carex disticha</i>	6	0,14...0,20	0,18	0,40...1,25	0,75
Roosõielised / <i>Rosaceae</i>					
<i>Potentilla anserina</i>	9	0,18...0,51	0,21	0,25...1,25	0,42
<i>Alchemilla vulgaris</i>	18	0,06...0,33	0,17	0,45...1,75	1,09
<i>Filipendula hexapetala</i>	6	0,10...0,29	0,15	0,50...1,95	1,18
Korvõielised / <i>Compositae</i>					
<i>Achillea millefolium</i>	17	0,11...0,77	0,39	0,95...5,80	3,14
<i>Anthemis arvensis</i>	5	0,30...0,32	0,31	1,35...1,45	1,40
<i>Centaurea jacea</i>	3	0,14...0,16	0,15	0,38...0,40	0,39
<i>Hieracium sp.</i>	5	0,04...0,18	0,10	0,55...2,00	1,14

\* Siin on fosfor ja kaalium näidatud elemendina (nagu originaalis) / Here phosphorus and potassium are expounded as elements just like in the original research

**Leostumine.** Mulla mineraalosa murenemisel ja orgaanilise aine mineraliseerumisel vabanenud, samuti väetistega mulda viidud ühendid neelduvad osaliselt mullas, osalt jäävad mullalahusesse. Fosfor neeldub bioloogiliselt, keemiliselt ja füüsikalis-keemiliselt. Mulla lahusesse jääb seda väga vähe. Selles vormis väljauhtunud (leostunud) fosfor moodustab vähem kui 0,5 % väetistega mulda viidud fosforist (Kärblane, 1975).

Kaalium neeldub mullas bioloogiliselt ja füüsikalis-keemiliselt. Viimase ulatus sõltub mineraalmuldades mulla lõimisest ja reaktsioonist. A. Sirendi uurimistes (laboratoorsetes katsetes) leostus happelistest väetamata kamar-leetmuldadest ( $A_1$ -horisont)  $K_2O$  kuni 163 kg/ha. Väetamisel ( $K_2O$  100 kg/ha) suurenes leostumine esimesel juhul kuni 24 ja teisel juhul kuni 6 kg/ha (Sirendi, 1970). H. Kärblase hinnangul leostub raskema lõimisega muldades umbes 1 %, liivmuldades kuni 10 % ja turvasmuldades kuni 5 % väetistega mulda viidud kaaliumist.

Muldade turvastumisega, kaaliumi neelavate ibeosakeste osakaalu vähenemisega väheneb ka kaaliumiooni neelamise ulatus. Mulla lahusesse jääv kaalium neelatakse bioloogiliselt või uhitakse välja. Oluline on seejuures fakt, et kaalium ei esine taimes mingi teadaoleva keemilise ühendina (nagu fosfor) vaid ionina, mis taime suremisel ja lagunemisel, veega

kokkupuutel läheb mulla lahusesse. (Turvas kaaliumi ei neela.) Sellest ka tõsiasi, et madalsooturvas (taimejuurtest sügavamal) sisaldab kaaliumi kümneid kordi vähem kui turvast moodustanud põhilised taimed (näiteks tarnad).

**Lessiveerumine.** Fosfori ja kaaliumi ümberpaigutumisele selles protsessis ei ole seni väärilist tähelepanu pööratud. Ometi omab see olulist osa fosfori- ja kaaliumisisalduse vertikaalse diferentseerituse kujunemisel mullatekkeprotsessis pikema aja jooksul. Nähtuse olemus seostub fosfori- ja kaaliumisisaldusega erinevates granulomeetrilistes fraktsioonides (tabel 5). Fosforisisaldus on suurim ibefraktsioonis, mis on ühtlasi raua- ja alumiiniumirikamaks fraktsiooniks (Kask jt., 1989). Fosfor on seotud nende ühenditega (Duchaufour, 1970). Kaaliumisisaldus on suurim peene ja keskmise tolmu fraktsioonis. See on tingitud kaaliumirikaste primaarsete mineraalide suurema osatähtsusega just nendes fraktsioonides (tabel 6). Ibe sisaldab eelnimetatutest kaaliumi vähem, sest selles on esindatud põhiliselt sekundaarsed mineraalid: raud- ja alumiiniumhüdroksiidid (Kask jt., 1989) ja savimineraalid (tabel 7). Viimased sisaldavad kaaliumi oluliselt vähem kui primaarsed mineraalid. Nii sisaldab (Ojaste jt., 1964) K-päevakivi  $K_2O$  keskmisena 16,9 %, muskoviit – 11,8 % (viimasest kujunenud sekundaarne mineraal illiit aga kuni 6 %), biotiit – 6,2...11,4 % (vermikuliit aga kuni 5 %). Kloriit ja kaoliniit sisaldavad  $K_2O$  vaid lisanditena (neeldunud kaaliumi).

**Tabel 5.** Fosfori- ja kaaliumisisaldus kamar-leetmulla erinevates granulomeetrilistes fraktsioonides, % kuumutatud mullast (Kask, Viiding jt., 1989)

**Table 5.** The content of phosphorus and potassium in the different granulometric fractions of sod-podzolic soils, per cent in ignited soil

Granulomeetriline fraktsioon, mm <i>Granulometric fractions, mm</i>	$A_2$ -horisont <i>A<sub>2</sub>-horizon</i>		B-horisont <i>B-horizon</i>		C-horisont <i>C-horizon</i>	
	P	K	P	K	P	K
1...0,5	0,02	1,85	0,02	1,78	0,02	1,88
0,5...0,25	0,02	1,76	0,01	1,85	0,02	1,69
0,25...0,05	0,02	2,10	0,02	2,71	0,02	1,66
0,05...0,01	0,03	3,49	0,03	3,93	0,04	4,00
0,01...0,005	0,03	4,17	0,04	4,30	0,03	4,41
0,005...0,001	0,06	4,56	0,04	4,66	0,03	5,05
<0,001	0,10	3,63	0,06	3,81	0,07	4,32

**Tabel 6.** Kergeste mineraalide osakaal erinevates granulomeetrilistes fraktsioonides (1...0,005 mm), % (Kask, Viiding jt., 1989)

**Table 6.** The part of light minerals in different granulometric fractions

Mineraal <i>Mineral</i>	Granulomeetrilised fraktsioonid, mm <i>Granulometric fractions, mm</i>					
	1...0,5	0,5...0,25	0,25...0,05	0,05...0,01	0,01...0,005	
	1	2	3	4	5	6
<i>A<sub>2</sub>-horisont / A<sub>2</sub>-horizon</i>						
Kvarts / <i>Quartz</i>	79,5	81,3	83,6	72,6	67,2	
K-päevakivi / <i>K-feldspar</i>	13,6	10,9	14,4	22,0	18,9	
Plagioklass / <i>Plagioclase</i>	4,8	5,6	14,4	22,0	18,9	
Muskoviit / <i>Muskovite</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Biotiit / <i>Biotite</i>	0,3	0,5	0,8	1,0	5,8	
<i>B-horisont / B-horizon</i>						
Kvarts / <i>Quartz</i>	76,6	82,0	82,8	56,6	56,3	
K-päevakivi / <i>K-feldspar</i>	74,4	10,0	15,4	34,2	21,0	
<b>Tabeli 6 järg / Table 6 continuation</b>						
	1	2	3	4	5	6

Plagioklass / <i>Plagioclase</i>	7,2	6,0			
Muskoviit / <i>Muskovite</i>	0,2	0,0	0,1	2,2	10,0
Biotiit / <i>Biotite</i>	1,4	1,2	1,2	4,0	5,5
C-horisont / <i>C-horizon</i>					
Kvarts / <i>Quartz</i>	80,8	82,0	82,9	60,8	58,7
K-päevakivi / <i>K-feldspar</i>	15,4	14,4	14,3	28,0	20,0
Plagioklass / <i>Plagioclase</i>	3,2	2,0			
Muskoviit / <i>Muskovite</i>	0,0	0,0	0,9	4,0	8,0
Biotiit / <i>Biotite</i>	0,2	0,4	1,0	1,2	6,3

**Tabel 7.** Savimineraalide osakaal (%) peentolmu (0,005...0,001) ja ibe (<0,001 mm) fraktsioonides (Kask, Viiding jt., 1989)

**Table 7.** The part clay minerals (%) in the fractions of fine silt (0.005...0.001) and clay (<0.001 mm)

Mineraalid <i>Minerals</i>	Granulomeetrilised fraktsioonid <i>Granulometric fractions</i>	
	0,005...0,001 mm	<0,001 mm
A <sub>2</sub> -horisont / <i>A<sub>2</sub>-horizon</i>		
Vilgud / <i>Mica</i>		0
Vermikuliit, illiit / <i>Vermiculite, illite</i>	70	75...80
Kloriit / <i>Chlorite</i>	25	5
Kaoliniit / <i>Kaolinite</i>	5	20...25
B-horisont / <i>B-horizon</i>		
Vilgud / <i>Mica</i>		0
Vermikuliit, illiit / <i>Vermiculite, illite</i>	70	90
Kloriit / <i>Chlorite</i>	5	<1
Kaoliniit / <i>Kaolinite</i>	25	10
C-horisont / <i>C-horizon</i>		
Vilgud / <i>Mica</i>		0
Vermikuliit, illiit / <i>Vermiculite, illite</i>	70	90
Kloriit / <i>Chlorite</i>	5	<1
Kaoliniit / <i>Kaolinite</i>	25	10

Võrreldes liiva- ja jämeda tolmu fraktsiooniga on ibe igal juhul kaaliumirikkam. Väetistega mulda viidud kaalium (samuti fosfor) neeldub põhiliselt ibefraktsioonis. Niisiis ibe ja peentolmu ümberpaigutumisega (lessiveerumine) diferentseerub mulla profiil nii fosfori- kui kaaliumisisalduse poolest: eluviaalhorisont vaesestub ja illuviaalhorisont rikastub nendest.

**Leetumine.** Fulvohapete toimel lagunevad nii primaarsed kui ka sekundaarsed mineraalid, laguproduktid uhtuvad sügavamale või mullast välja. Sellega väheneb ka eluviaalhorisontide fosfori- ja kaaliumisisaldus. Fosfor kui ka raua ja alumiiniumiga seotu uhtub välja fulvohapete sooladena (Fokin, 1970) koos raua ja alumiiniumiga. Selles protsessis kujuneb leetunud muldades illuviaalselt fosforiga rikastunud kiht, mis langeb kokku B-horisondiga (leetjad kamar-karbonaatmullad) või tuleb esile sügavamal, mida eristatakse kui BC-horisonti või C-horisonti.

Fosfori illuviaalne kuhjumine avaldub eeskätt laktaatlahustuva fosfori sisalduse olulises suurenemises (joonis) ja seda just selles profiiliosas, kus fulvohappe soolad välja sadenevad, s.o. kihis, kus happeline reaktsioon läheb üle neutraalseks (pH<sub>KCl</sub> 6,5...7,0). Fosforiooni (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) neelavad kolloidide katioonid Ca<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> ja Al<sup>3+</sup> (Duchaufour, 1970). Samas kihis suureneb laktaatlahustuva fosfori osakaal fosfori üldsisalduses (P<sub>lak</sub>/P<sub>üld</sub>).



**Joonis.** Laktaatlahustuva fosfori vertikaalne diferentseeritus**Figure.** *The vertical differentiation of lactate soluble phosphorus*

1 – tüüpilised kamar-karbonaatmullad (n=39); 2 – leostunud kamar karbonaatmullad (n=23); 3 – leetjad kamar-karbonaatmullad (n=39); 4 – jääk-karbonaatsed kamar-leetmullad (n=36); 5 – jääk-karbonaatne kamar-leetmuld (köver on välja joonestatud L. Reintami (27) andmete alusel, kes nimetab uuritud mulda lessiveerunud pruunmullaks); 6, 7 ja 8 – vastavalt nõrgalt, keskmiselt ja tugevasti leetunud kamar-leetmullad.

*1 – typical sod-calcareous soil (n=39); 2 – leached sod-calcareous soil (n=23); 3 – podzolized sod-calcareous soil (n=39); 4 – residual karbonate sod-podzolic soil (n=36); 5 – residual karbonate sod-podzolic soil (the curve has been drawn according to the data of L. Reintam (27), who denominates this soil as brown lessive soil); 6, 7 and 8 – accordingly slightly, on the average and strongly podzolized sod-podzolic soils.*

Erinevalt fosforist on laktaatlahustuva kaaliumi illuviaalne akumulatsioon suurim B-horisonis, s.o. horisonis, mis on rikastunud ibest. Samas suureneb laktaatlahustuva kaaliumi osakaal üldsisalduses.

**Fosfori hüdromeen ümberpaigutumine.** Lahustunud, samuti neeldunud fosfor migreerub mullas vastavalt vee liikumisele. See aga võib olla mitmesuunaline (alla, üles, kõrvale). Tugevasti happelises anaeroobses keskkonnas (gleistunud ja gleihorisonites) sadeneb fosfor mulla lahuses oleva  $Al^{3+}$  ja  $Fe^{3+}$  toimel. Moodustuvad lahustamatud või raskesti lahustuvad raud ja alumiiniumfosfaadid (Duchaufour, 1970).

Fosfori hüdromeen ümberpaigutumine seostub raua samalaadse ümberpaigutamisega. Mulla morfo-geneetilises haabituses viitab sellele roostetäppide, nõrgkivi ja eriti sooraua ning vivaniidikihtide, soonte või pesade olemasolu. Viimastes on raua ja fosfori osakaal eriti suur (tabel 8).

**Tabel 8.** Kloostrimetsa maagistunud madalloomulla, sooraua ja vivianiidi keemiline koostis  
**Table 8.** The chemical content of ochrous peaty bog soil, ocher and blue ocher

Horisont, sügavus cm		Õhukuivast proovipalast, % / Air dry sample, %						
Horizons and depth (cm)		S	Al	Fe	Mg	Ca	K	P
Profiil 1077 Maagistunud madalloomuld / Ochrous peaty bog soil								
T	0...20	4,2	0,60	1,22	0,78	1,09	0,28	1,3
	20...40	4,7	0,71	2,45	0,60	1,02	0,25	0,7
	40...55	1,1	0,12	38,5	0,78	0,40	0,08	1,7
	55...65	2,1	0,12	36,4	0,18	0,35	0,11	2,4
G	80...100	42,4	1,04	0,13	0,11	0,38	1,16	0,1
Tumepruun sooraua tükk / Dark brown ocher								
	0...20	1,7	0,19	42,00	<0,40	0,92	0,07	2,7
Punakaspruun sooraua tükk / Reddish brown ocher								
	20...30	1,7	0,22	40,95	<0,04	0,75	0,09	2,4
Kollakaspruun sooraua tükk / Yellowish brown ocher								
	25...35	1,9	0,04	46,90	0,18	0,80	0,11	1,2
Turbasegune vivianiidi pala / Peat + blue ocher								
	60...70	11,2	1,18	24,50	<0,04	0,99	0,07	6,2

**Difusioon.** Mullalahuse mistahes aine kontsentratsiooni erinevuse puhul toimub aine ümberpaigutumine madalama kontsentratsiooni suunas (difusioon). See protsess on olulisem väetataval maal, mille tulemusena väetistega mulda viidud toitainete sisaldus haritavas kihis aja jooksul ühtlustub. Sama nähtusega, vähemalt osaliselt, on seotud fosfori- ja kaaliumisisalduse suurenemine haritavale (väetatavale) järgnevates horisontides. Haritaval maal on viimaste laktaatlahustuva fosfori ja kaaliumi sisaldus suurem kui samanimelistes horisontides looduslikel kõlvikutel (Kask, 1975).

Eeltoodud on muldade fosfori- ja kaaliumisisalduse vertikaalse diferentseerituse peamisteks põhjusteks. Haritaval maal lisanduvad nendele väetamisega ja muldade harimisega kaasnevad nähtused. Paljude aastakümnete jooksul on meil väetistega fosforit ja kaaliumi mulda viidud rohkem kui saagiga on eemaldatud. Muldade fosfori- ja kaaliumisisaldus on väetamise tulemusena vabariigis tervikuna suurenenud. See leiab kinnitust ka määramisandmetes (Kärblane, Kevvai, 1990). Sellele üldiste muutuste suunale on aga ka vastupidiseid näiteid, mis seostuvad intensiivse harimisega kaasneva orgaanilise aine mineraliseerumisega. See puudutab eeskätt kaaliumisisaldust turvasjates ja turvasmuldades.

Kaaliumi üldsisalduse mullas määrab põhiliselt ära mulla mineraalosa loomus ja peamiselt alumosilikaatsete primaarsete ja sekundaarsete mineraalide osakaal mullamassis. Mida suurem on mullas ( $A_{org}$ -horisondis) orgaanilise aine osakaal ja väiksem vastavalt mineraalosa osakaal, seda väiksem on kaaliumi üldsisaldus ja suurem laktaatlahustuva kaaliumi sisaldus (vt. tabel 1). Toodust koorub järelsus: turvasjate ja turvasmuldade laktaatlahustuva kaaliumi sisaldus on seotud põhiliselt orgaanilises aines sisalduva kaaliumiga. Turba mineraliseerumisega, kaaliumi vabanemisega orgaanilise aine koostisest, selle väljauhtumisega ja alt liiva kaasamisega künnikihti võib laktaatlahustuva kaaliumi sisaldus mullas väheneda ka intensiivse väetamise korral. Tõenäoliselt on eeltooduga seletatav laktaatlahustuva kaaliumi sisalduse vähenemine turvasja gleimullaga katsepõllul Kuusikul, kus väetistega viidi kaaliumi mulda rohkem kui saagiga eemaldati (Kärblane, Kevvai, 1994).

## Arutelu

Erinevate muldade ja nende horisontide fosfori- ja kaaliumiseisundi omapära on välja kujunenud looduslikus mullatekke protsessis, mitme erinevas suunas mõjuva protsessi tagajärjena pika aja, tuhandete aastate jooksul. Üldisel tasemel seostub see muldade tüpoloogi-

liste ühikutega, mis kajastavad muldades kulgevaid protsesse ja muldade arengutaset. Meie kliimatingimustes (sademed ületavad auramise) on looduslikele kõlvikutele omane orgaanilise aine pidev kuhjumine mulla pindmisesse horisontidesse, orgaanilise aine osakaalu pidev suurenemine. Mineraalmuldades on see väga aeglane, inimea vältel vaevalt märgatav, soostunud ja soomuldades aga täheldatav juba mõnekümne aasta järel. Samas suunas ja tempos suureneb fosfori ja kaaliumi bioloogiline akumulatsioon, ümberpaigutumine mulla pindmisesse horisontidesse (kihtidesse). Kaaliumi bioloogiline kuhjumine turvasjate ja turvasmuldade  $A_{org}$ -horisonti (turba koosseisus) ei kompenseeri kaaliumi üldsisalduse vähenemist, mis on tingitud turba osakaalu suurenemisest ja vastavalt sellele mulla mineraalosa vähenemisest.

Kõigis muldades toimub mulla mineraalosa murenemine, fosfori ja kaaliumi vabanemine alumosilikaatidest. Karbonaatsetes muldades (tüüpilistes ja osaliselt leostunud kamar-karbonaatmuldades) toimub see taimejuurte eritiste toimel. Selles arengustaadiumis ei toimu veel alumosilikaatide lagunemist huumushapete toimel. Seoses karbonaatide väljauhtumisega suureneb mullas fosfori ja kaaliumi (ja teiste elementide) osakaal.

Karbonaadivabades muldades (leetjates kamar-karbonaatmuldades, leetmuldades ning nende soostunud analoogides) toimub mulla mineraalosa (alumosilikaatse fraktsiooni) degradeerumine, s.o. primaarsete ja sekundaarsete mineraalide lagunemine ja ainete välja- või sügavamale uhtumine (lessiveerumine, leetumine, hüdromeen ümberpaigutumine). Need on meie kliimatingimustes süvenevad protsessid, mille tulemusena muldade mineraalosa üldine degradeeritus pidevalt suureneb, mullad hapestuvad ja vaesestuvad teiste hulgas ka fosfori ja kaaliumi poolest. Ilmekalt avaldub see leetunud muldade eluviaalhorisontide fosfori- ja kaaliumisisalduse võrdlemisel B- ja C-horisondi samade näitajatega.

Siinkohal tuleb rõhutada, et eelkirjeldatu on kehtiv kamar-karbonaat- ja leetmuldade ning nende soostunud analoogide kohta, millele on iseloomulik mulla mineraalosa degradeerumine. See pole kõikjal nii. Pruunmuldades (Kesk- ja Lõuna-Euroopas) toimub küll mulla primitiivsete mineraalide murenemine (lagunemine), kuid murenemissaadused jäävad kohapeale, toimub metamorfoosne savistumine *in situ*. Viimane on põhiline, mille poolest pruunmullad erinevad kamar-karbonaat- ja kamar-leetmuldadest ja miks pruunmullad on kõrge viljakusega muldadeks läbiuhtelise veere<sup>o</sup> iimiga muldade seas.

Haritavates muldades kulgevad samad protsessid, mis looduslikes. Neid varjutab aga väetamine ja mulla harimine. Muutused fosfori- ja kaaliumisisalduses, eriti künnikihi osas, toimuvad suhteliselt kiiresti ja seda peamiselt laktaatlahustuvate vormide puhul. Oluline suurenemine (väetamisel) avaldub juba mõnekümne aasta jooksul (Kask, Bergert jt., 1989; Kask, Hannolainen jt., 1992), samuti vähenemine väetamise lakkamisel (Kärblane, Kevvai, 1994).

Fosfori- ja kaaliväetiste tarvet hinnatakse meil laktaatlahustuva fosfori ja kaaliumi sisalduse järgi künnikihis. Kui vaatluse all on tüübilt ja lõimiselt ühesugused või lähedased mullad, siis on nende näitajate alusel võimalik hinnata ka fosfori ja kaaliumi üldsisaldust mullas. Seos nende näitajate vahel on positiivne (Piho, 1969). Kui vaatluse all on erinevad mullad, automorfsetest kuni hüdromorfsete muldadeni, siis tuleb arvestada olulist erinevust laktaatlahustuva ja üldsisalduse vahekorras. Turvasjate ja turvasmuldade üld- ja laktaatlahustuva kaaliumi vaheline seos on aga negatiivne: turba osakaalu suurenedes väheneb üld- ja suureneb laktaatlahustuva kaaliumi sisaldus. Eriti selgesti avaldub see pindmises, elavatest taimejuurtest läbitud kihis. Viimastes sisalduv kaalium on kogu ulatuses laktaatlahustuv.

Fosfori ja kaaliumi varu hindamisel ruumiühiku kohta tuleb arvesse kihi tihedus. Turvasjate ja turvasmuldade tihedus ( $0,1...1,0 \text{ g/m}^3$ ) on kuni viisteist korda väiksem kui mineraalmuldade tihedus. Arvestades turvasjate ja turvasmuldade fosfori- ja kaaliumisisaldust mullas (protsentides massist) ja mulla tihedust, leiame, et turvasjate ja turvasmuldade laktaatlahustuva fosfori varu ruumiühiku kohta on kuni 5 korda ja üldvaru kuni 15 korda väiksem kui mineraalmuldades. Kaaliumi varu erinevused on veelgi suuremad, vastavalt kuni 10 ja 2000 korda.

Oluline on veel see, et turvas ei seo kaaliumi. Orgaanilise aine mineraliseerumisel vabanenud kaalium kas neelatakse bioloogiliselt või uhutakse välja. Seepärast vajavad turvastunud ja turvasmullad kaaliväetist igal aastal.

Turvasjatel ja turvasmuldadel saadakse mineraalväetiste rikkaliku kasutamise korral kõrgeid saake. 1970...1990. aastate väetiste kasutamise ulatust ja väetiste hinda arvestades hinnati madalloomuldi hindamistabelites kuni 58 hindepunktiga (keskmine rähkmuld 50 hindepunktiga). Väetiste defitsiidi või piiratud kasutamisevõimaluste puhul (kõrge hind) väheneb turvasjate ja turvasmuldade viljelusväärtus mineraalmuldade suhtes.

Eesti muldade fosfori ja kaaliumi looduslik sisaldus ei kindlusta põllumajanduslike kultuuride rahuldavat saagikust. Optimaalne sisaldus haritaval maal on kujunenud või kujundatav vaid väetamisega, mis korvab fosfori ja kaaliumi kaod, sealhulgas mulla mineraalosa loodusliku degradeerumisega seotud kaod. Viimaseid võib inimtegevus suurendada või vähendada, aga (meie mullastik-kliimaatilistes tingimustes) mitte vältida.

Väetiste ebapiisava kasutamise suhtes on vastupidavamad raskema lõimisega mullad kui suurema potentsiaalse varuga mullad, ning karbonaatsed mullad, kus ei toimu alumosilikaatide lagunemist.

Arvestades mulla mineraalosa degradeerumist ei ole meil alust rääkida taimedele omastatava fosfori ja kaaliumi saldo looduslikust tasakaalust. Tasakaalu on võimalik mistahes tasemel hoida vaid väetamisega ja seda ulatuses, mis kompenseerib saakidega äraviidud kogused, väljauhtumisega (väetistest) ja mulla mineraalosa degradeerumisega seotud kaod.

## Kokkuvõte

1. Fosfori- ja kaaliumisisalduse ning selle vertikaalse diferentseerumise omapära mullas seostub üldjoontes muldade tüpoloogiliste ühikutega.

2. Huumuse kuhjumisega suureneb fosfori ja kaaliumi üld- ja laktaatlahustuvate vormide sisaldus huumushorisondis. Orgaanilise aine kuhjumisel mulda turbana suureneb fosfori ja väheneb kaaliumi üldsisaldus mullamassis. Mõlema elemendi laktaatlahustuvate vormide sisaldus ja osakaal üldsisalduses suurenevad turvastumisega.

3. Mulla mineraalosa degradeerumise esimeses staadiumis, s.o. karbonaatide leostumise staadiumis, suureneb leostuva horisoni fosfori- ja kaaliumisisaldus. Edasi, alumosilikaatsete mineraalide lagunemise ning ainete vertikaalse ümberpaigutumise tulemusena lessiveerumise, leetumise ja gleistumise protsessis fosfori- ja kaaliumisisaldus eluviaalhorisontides väheneb, illuviaalhorisontides suureneb. Laktaatlahustuva fosfori illuvieerimine on suurim sügavuses, kus happeline reaktsioon läheb üle neutraalseks ( $\text{pH}_{\text{KCl}} 6...7$ ), ja on seda ulatuslikum, mida sügavamalt on mulla mineraalprofiil degradeerumisest haaratud. Laktaatlahustuva kaaliumi vertikaalne diferentseeritus on seotud saviosakeste osakaaluga mullamassis.

4. Muldade mineraalosa degradeerituse suurenemisega ning soostuvate muldade turvastumisega looduslikus evolutsiooniprotsessis fosfori ja kaaliumi üldsisaldus ja varu mullas vähenevad. Muldade optimaalse fosfori- ja kaaliumisisalduse hoidmiseks haritaval maal on vaja väetistega kompenseerida muu hulgas ka mulla mineraalosa degradeerumisega seotud fosfori ja kaaliumi kaod.

## Kirjandus

- Duchaufour: Дюшфур Ф. Основы почвоведения. эволюция почв. – Москва, 1970. – 591 с.
- Fokin, Argunova: Фокин А. Д., Аргунова В. А. Исследование миграции фосфора в подзолистой почве. – Почвоведение, №4, с. 85...93, 1970.
- Kalmet R., Michelson H. Rohumaataimede mineraalsest koostisest. – EMMTUI tead. tööd XVI, Tln., lk. 182...218, 1969.
- Kask R. Eesti NSV automorfsete muldade keemilisest koostisest. – EMMTUI tead. tööd XXII, Tln., lk. 27...51, 1971.
- Kask R. Eesti NSV maafond ja selle põllumajanduslik kvaliteet. – Tln., 1975. – 358 lk.
- Kask R., Bergert L., Heinsalu A., Põldoja A. Rähk- ja soostunud kamarmuldade omaduste muutumine seoses nende ülesharimisega. – Maaviljelus 29/88, Tln., lk. 28...36, 1989.
- Kask R., Hannolainen G., Bergert L., Põldoja A. Soostunud liiv-, liivsavi- ja savimuldade omaduste muutumine uudismaal. – EMMTUI tead. tööd LXX, Tln., lk. 17...31, 1992.
- Kask, Heinsalu, Niine: Каск Р., Хейнсалу А., Нийне Х. Проявление восстановления, окисления и гидрогенной аккумуляции железа в некоторых грунтово-оглееных почвах Западной Эстонии. – Научн. тр. ЭстНИИЗМ. Т. LVII, с. 3...23, 1985а.

- Kask, Heinsalu, Niine: Каск Р., Хейнсалу А., Нийне Х. Дерново-глеевые почвы на карбонатной щебнистой морене в северной Эстонии. — Научн. тр. ЭстНИИЗМ. Т. LVII, с. 24...53, 1985b.
- Kask, Heinsalu: Каск Р., Хейнсалу А. О почвенной катене на серой карбонатной морене в средней Эстонии. — Научн. тр. ЭстНИИЗМ. Т. IXV, с. 59...84, 1989.
- Kask, Heinsalu: Каск Р., Хейнсалу А. Почвенная катена на сипурийском плато в северной Эстонии. — Научн. тр. ЭстНИИЗМ. Т. IXVIII, с. 3...22, 1991.
- Kask R., Niine H. Eesti NSV muldade lähtekivimi põhiliste komponentide keemilisest koostisest. — EMMTUI tead. tööd XXII, Tln., lk. 3...26, 1971.
- Kask jt.: Каск Р., Вийдинг Х., Репшо Э., Калласте Т. Минеральный и химический состав различных гранулометрических фракций дерново-подзолистой почвы на красно-бурой морене. — Научн. тр. ЭстНИИЗМ. Т. LXV, с. 13...38, 1989.
- Kärblane H. Fosfori liikuvus mullas. — EMMTUI tead. tööd LVI, Tln., lk. 93...104, 1969.
- Kärblane H. Fosfor Eesti NSV põllumajanduses. — Tln., 1973. — 48 lk.
- Kärblane H. Eesti NSV muldade fosforisisaldus. — EMMTUI tead. tööd XXXVI, Tln., lk. 113...131, 1975.
- Kärblane H. Ökoloogiliselt lubatud väetisannused. — Väetised ja nende kasutamine. — Tln., lk. 84...89, 1992.
- Kärblane H., Kevvai L. Haritava maa agrokeemiline iseloomustus. — Maaviljelus 35/89, Tln., lk. 37...41, 1990.
- Kärblane H., Kevvai L. Oleme väetiste kasutamise kriitilisel piiril. — Põllumajandus, nr. 2, lk. 12...14, 1994.
- Niine H. Eesti NSV turvasmuldade agrokeemilistest omadustest. — EMMTUI tead. tööd VI, Tln., lk. 173...189, 1965.
- Ojaste K., Reier A., Mens K. Kristallograafia, mineraloogia, petrograafia. — Tln., 1964. — 464 lk.
- Piho A. Fosforisisaldusest Eesti NSV mõningates mullaerimites. — EPA tead. kogumik. 2. Tartu, lk. 54...60, 1956.
- Piho A. Kaaliumisisaldusest ja vormidest Eesti NSV muldades. — EMMTUI tead. tööd X, Tln., lk. 83...109, 1967.
- Piho A. Fosforisisaldusest ja vormidest Eesti NSV muldades. — EMMTUI tead. tööd XVI, Tln., lk. 75...92, 1969.
- Reintam: Рейнтам Л. К характеристике почв буроземного типа. — Сб. научн. тр. Эст. с.-х. акад. №65, с. 9...37, 1970a.
- Reintam: Рейнтам Л. Характеристика некоторых почв на красно-бурой морене и вопросы разграничения дерново-подзолистого, псевдоподзолистого и буроземного типов. — Сб. научн. тр. Эст. с.-х. акад. №65, с. 195...232, 1970b.
- Sirendi A. Kaalium-kaltsiumpotentsiaalset kamar-karbonaat- ja kamar-leetmuldades. — EMMTUI tead. tööd XX, Tln., lk. 202...214, 1970.
- Sirendi A. Kaaliumi ja kaltsiumi leostumise olenevus asendusadsorptsioonist. — EMMTUI tead. tööd LV, Tln., lk. 91...107, 1984.