

# TEADUSTÖÖD

## KAKSKÜMMEND AASTAT KESTNUD SÜSTEMAATILISE LUPJAMISE JA VÄETAMISE MÕJU MULLA OMADUSTELE

E. Turbas

Käesolev artikkel käsitleb mulla omaduste muutumist ühes pikaajalises põldkatses, mille korraldas Eesti Põllumajanduse Akadeemia mullateaduse ja agrokeemia kateeder Ahja kolhoosis. Katse rajati 1964. a. kevadel erinevate lubiväetiste mõju selgitamiseks neljal väetusfoonil, kuid viie aasta pärast korraldati katse ümber süstemaatilise lupjamise mõju selgitamiseks. Samad väetusfoonid säilitati. Seetõttu sai katses välja tuua ka väetamise mõju erineva lupjamise korral.

Katse rajati professor Osvald Halliku juhendamisel. Katse otsene läbiviija oli aastatel 1964...1975 Valter Hiis, aastatel 1976...1985 Ervi Lauk. Käesoleva artikli autor osales katse korraldamises alates aastast 1964.

### Katse muld

Katse paiknes Põlvamaale iseloomulikul võrdlemisi tasasel parasniiskel põllualal. Mulla huumushorisont ( $A_1$ ) piirdus praktiliselt künnikihiga, oli huumusevaene ja saviliivlõimisega. Selle all paiknev helepruun saviliiv ( $A_2B$ ) ulatus 33...42 cm sügavuseni, millele järgnes tunduvalt valkjalt peentolmjast tihenenud saviliiv ( $A_2$ ), mis ulatus 48...53 cm sügavuseni. Siit edasi algas punakaspruun kerge liivsavi (B), mille ülaosas olid sügavad väljauhtesopid ja valkjad liivakad pesad. Kogu mullaprofiili mehaanilises koostises domineeris fraktsioon läbimõõduga 0,25...0,05 mm. Nende osakeste osatähtsus mulla massis oli vastavalt sügavusele järgmine: 5...10 cm – 47,4 %, 30...40 cm – 46,6 %, 45...48 cm – 48,7 % ja 80...90 cm – 41,2 %. Alla 0,01 mm osakeste osatähtsus oli vastavalt 19,2, 18,1, 15,2 ja 29,0 %. Kõige rohkem erines alla 0,001 mm osakeste protsent, mis oli vastavalt 4,8, 4,2, 2,1 ja 11,4.

Mulla agrokeemilistest omadustest annab ülevaate tabel 1, kuhu on paigutatud sügavkaeve seina iseloomulikumatest kohtadest võetud proovide ja enne katse rajamist katselappide kaupa künnikihist võetud keskmiste mullaproovide analüüsi tulemused. Tabelist selgub, et kogu 1 m tuseduse mullaprofiili happesus oli väga suur. Sellega kaasnes ka kõrge liikuva alumiiniumi sisaldus, madal neelamismahutavus ja madal asendatavate aluseliste kationidega küllastatuse aste, mis profiili allosas küll oluliselt suurenes tänu asendatavate aluste sisalduse ja neelamismahutavuse suurenemisele raskema lõimise tõttu. Künnikihis ei olnud mulla happesuse näitajate varieerumine kuigi suur.

Enne katse rajamist oli liikuva fosfori ja ka liikuva kaaliumi sisaldus mullas õige madal. Muld oli nõrgalt kultuuristatud ja tema boniteeti hinnati 38 hindepunktiga, mis vastab VII hindeklassile.

### Uurimistöö meetodika

Enne katse rajamist võeti katsepõllult üks keskmine mullaproov, millest määrati hüdro-lüütiline happesus lubjatarbe leidmiseks. Hüdrolüütiline happesus oli ümmarguselt 4 mg-ekv/100 g ja sellele vastav lubjatarve 6 t/ha  $\text{CaCO}_3$ . Sellest 1964. a. kevadel määratud lubjatarbest lähtuti kõikidel selles katses läbiviidud lupjamistel. Et lubjati poole normiga, siis alati vastas see kolmele tonnile  $\text{CaCO}_3$ -le hektari kohta. Mulda lubjati iga 5 aasta või iga 10 aasta tagant vastavalt skeemile, mis selgub järgnevatest tabelitest.

Tabel 1. Mulla omadused enne katse rajamist / Soil characteristics before trial establishment

Näitaja, mõõtühik Item, unit	Sügavus, cm / Depth, cm					Künnikihi proovid Samples of plough layer	
	5...15	25...30	35...50	60...80	80...100	$\bar{x}$	s
pH <sub>KCl</sub>	4,37	4,86	4,86	4,39	4,46	4,29	0,08
Hüdrolüütiline happesus, mg-ekv/100 g / Hydrolytic acidity, meq/100 g	4,1	1,6	1,5	1,7	1,8	4,72	0,39
Asendushappesus, mg-ekv/100 g / Exchange acidity, meq/100 g	0,7	0,19	0,14	0,27	0,28	0,57	0,10
Liikuv alumiinium, mg/100 g / Exchangeable aluminium, mg/100 g	6,1	1,6	1,2	2,2	2,2	4,76	0,90
Asendatavad alused, mg-ekv/100 g / Exchangeable bases, meq/100 g	2,9	2,1	1,7	5,1	8,0	2,5	0,48
Neelamismahutavus, mg-ekv/100 g / Cation- exchange capacity, meq/100 g	7,0	3,7	3,2	6,8	9,8	7,22	0,65
Küllastusaste, % / Base saturation percentage	41	57	53	75	82	34,5	4,9
Liikuv P (DL-meetodil), mg/100 g / Available P (by DL method), mg/100 g	1,3	1,5	1,5	1,7	1,7	1,03	0,15
Liikuv K (DL-meetodil), mg/100 g / Available K (by DL method), mg/100 g	5,0	0,8	0,4	4,2	4,2	4,66	1,32
Huumusesisaldus, % / Humus content, %	1,60	0,17	0,20	0,14	0,17		
Lämmastikisisaldus, % / Nitrogen content, %	0,082	0,013	0,012	0,016	0,015		

Lubiväetisena kasutati tolmpõlevkivituhka, ainult katse rajamisel oli üheks lubiväetiseks ka nõrglubi. Eri lupjamiskordadel antud tolmpõlevkivituha neutraliseerimisvõime oli 70,0...89,8 % CaCO<sub>3</sub> ja lahjas soolhappes lahustuva kaaliumi sisaldus 1,3...1,7 %.

Katse korraldati neljas korduses. Katselapi suurus oli 100 m<sup>2</sup>. Katsepõllul rakendati järgmist viljavaheldust: kartul – oder – põldhein (punane ristik + timut) – põldhein – oder. Enne katse rajamist oli sellel põllul kasvatatud hulk aastaid ainult teravilja ja väetatud napilt. Väetusvariandid olid katses järgmised: väetamata (0), NP, NPK ja NPK+sõnnik. Kõik väetusvariandid olid kolmel lupjamistasemel: lupjamata, lubjatud iga 10 või iga 5 aasta järel. Väetistena kasutati ammoniumsalpeetrit, lihtsuperfosfaati, kaaliumkloriidi (alguses mõnel aastal kaalisoola) ja võimalikult korralikku tahedat veisesõnnikut. Kaaliumväetise mõjule pöörati tähelepanu seepärast, et kaalium ja kaltsium on taimesse sisenemisel antagonistid ja tolmpõlevkivituhk sisaldab ka kaaliumi. Väetisnormide määramisel juhinduti agronoomilistest soovitustest, kuid mullaviljakuse kiirema tõstmise eesmärgil anti alguses sõnnikut ka teraviljale, samuti kasutati tolle aja kohta suhteliselt suuri PK norme. Esimese kümne katseaasta keskmisena anti hektari kohta sõnnikut 20 t ja mineraalväetistega 45 kg N, 30 kg P ja 103 kg K. Teisel aastakümnel anti hektari kohta keskmiselt 12 t sõnnikut, 48 kg N, 20 kg P ja 58 kg K aastas.

Käesolevas artiklis käsitletavad andmed on saadud keskmistest mullaproovidest, mis võeti 1983. a. sügisel eraldi igalt katselapilt. Selleks võeti õhukeseseinalise mullapuoriga ettevaatlikult 0...70 cm-seid mullamonoliite, mis prepareeriti 0...20 cm, 20...30 cm jne. proovideks. Mullaproovide pH määrati 1-molaarse kaaliumkloriidilahusega valmistatud suspensioonist potentsiomeetriselt. Hüdrolüütiline happesus ja asendatavad alused määrati Kappeni järgi ja nende põhjal arvutati neelamismahutavus ja küllastusaste. Asendushappesus ja liikuva alumiiniumi sisaldus määrati Sokolovi järgi, kuid arvutamisel kasutati Daikuhara koefitsienti 1,75. Liikuv fosfor ja kaalium määrati Egnèr-Riehm ehk DL-meetodil, liikuv kaltsium ja magneesium Egnèr-Riehm-Domingo ehk AL-meetodil tehtud leotisest. Liikuv vask määrati 1-molaarse soolhappe leotisest. Humus määrati Tjurini järgi, üldlämmastik Kjeldahli järgi.

Mulla pH, liikuv P, K, Ca, Mg ja Cu määrati Sakus tolleaegses Vabariiklikus Põllumajanduse Kemiseerimise Projekteerimis-Uurimisjaamas, muud analüüsid tegi Eesti Põllumajanduse Akadeemia mullateaduse ja agrookeemia kateedris vanemlaborant Leida Vaide. Analüüsiandmed töötati läbi dispersioonanalüüsi meetodil EPA elektronarvutil "Minsk-32". Käesoleva artikli tabelites esitatakse määratud näitajate arvulised väärtused iga katsevariandi kohta nelja korduslapi keskmisena ( $n=4$ ), aga ka kolme erineva lupjamisnivoo kohta erinevate väetusfoonide keskmisena ( $n=16$ ) ning nelja erineva väetusvariandi kohta erinevate lupjamisfoonide keskmisena ( $n=12$ ). Aritmeetiliste keskmiste juures esinevate erinevuste usutavuse astme hindamiseks esitatakse vastavate aritmeetiliste keskmiste üldistatud standardhälve  $s_x$  ja Fischeri F-väärtused. Tabelite viimasel real on toodud F-väärtused ka väetamise ja lupjamise koosmõju efekti kohta (võrreldes kahe faktori eraldi kasutamise toime summaga). F-de 95 %-list usaldusläve ületavad väärtused on esitatud poolpaksus kirjas.

## Tulemused ja arutelu

**Mulla aktiivne happesus** –  $pH_{KCl}$  – on esitatud tabelis 2, millest selguvad ühtlasi ka katsevariandid ja sügavused, millistest keskmised mullaproovid koostati.

Tänu andmete variatsioon-statistilisele töötlusele võime tabelis toodud andmete põhjal veendunult öelda, et katse rajamisest 20 vegetatsiooniperioodi möödumisel avaldus mulla süstemaatilise lupjamise mõju kogu poolemeetrisel intensiivsele väljauhtumisele allunud kerge lõimiseega mallakihis, kuid liivsaviilõimisega B-horisonti mulla lupjamise mõju aktiivsele happesusele veel ei ulatunud. Ülemises 50 cm tuseduses mullakihis oli aktiivne happesus vähenenud (vastavalt pH suurenenud) nii tugevama lupjamise (iga viie aasta tagant pool lubjanormi ehk 20 aasta jooksul kokku 2 normi – 12 t/ha  $CaCO_3$ ) kui ka nõrgema lupjamise (20 aasta jooksul kokku täisnorm – 6 t/ha  $CaCO_3$ ) toimel, kusjuures nõrgema lupjamise mõjul suurenes pH muidugi vähem kui intensiivsema lupjamise toimel.

Künnikihi  $pH_{KCl}$  suurenes nõrgema lupjamise toimel keskmiselt 0,54 ühikut, tugevama lupjamise toimel aga keskmiselt 1,23 ühikut.

Mineraalväetiste ega sõnniku rohke süstemaatiline kasutamine mulla pH-d ei mõjutanud.

**Hüdrolüütiline happesus** (tabel 3) vähenes mulla lupjamise mõjul künnikihis väga suuresti ja see vähenemine ulatus statistiliselt usutaval määral 30...40 cm sügavusse. Ka 40...50 cm sügavusel oli hüdrolüütilise happesuse vähenemine tugevama lupjamise mõjul veel hästi tajutav, kuid andmete suure hajuvuse tõttu jäi lupjamise mõju usutavus selles mullakihis 95 %-st väiksemaks.

Künnikihi hüdrolüütiline happesus oli nõrgema lupjamise mõjul vähenenud keskmiselt 1,24 mg-ekv võrra 100 g mulla kohta ehk 29 % lupjamata mulla hüdrolüütilisest happesusest, tugevama lupjamise korral oli hüdrolüütilise happesuse vähenemine vastavalt 2,33 mg-ekv ehk 54 %.

Tabel 2. Mulla aktiivne happesus –  $pH_{KCl}$  / Soil active acidity –  $pH_{KCl}$

Lupjamine <sup>1</sup>	Sügavus, cm
------------------------	-------------

Väetamine Fertilization	Liming				Depth, cm					
	1	1	1	1	0...20	20...30	30...40	40...50	50...60	60...70
	9	9	9	9						
	6	6	7	7						
	4	9	4	9						
O	0	0	0	0	4,39	4,40	4,52	4,39	4,16	4,09
	L	0	L	0	4,90	4,87	4,78	4,40	4,27	4,29
	L	L	L	L	5,58	5,36	4,85	4,55	4,31	4,39
NP	0	0	0	0	4,27	4,27	4,53	4,37	4,20	4,21
	L	0	L	0	4,87	4,91	4,73	4,59	4,25	4,09
	L	L	L	L	5,63	5,61	4,98	4,58	4,19	4,23
NPK	0	0	0	0	4,26	4,34	4,55	4,48	4,37	4,30
	L	0	L	0	4,87	4,77	4,64	4,52	4,28	4,17
	L	L	L	L	5,54	5,46	4,77	4,62	4,34	4,18
NPK + sõnnik manure	0	0	0	0	4,46	4,44	4,59	4,45	4,34	4,22
	L	0	L	0	4,90	4,78	4,65	4,56	4,25	4,12
	L	L	L	L	5,52	5,28	4,87	4,64	4,24	4,18
			$s_{\bar{x}}$		0,07	0,07	0,05	0,08	0,10	0,09
			F		<b>67,71</b>	<b>48,0</b>	<b>9,00</b>	1,24	0,38	0,93
			$F_{0.05}=2,09$							
Keskmine Average	0	0	0	0	1,34	4,36	4,54	4,42	4,27	4,20
	L	0	L	0	4,88	4,83	4,70	4,52	4,26	4,17
	L	L	L	L	5,57	5,43	4,86	4,60	4,27	4,24
			$s_{\bar{x}}$		0,04	0,03	0,02	0,04	0,06	0,04
			F		<b>378,24</b>	<b>402,55</b>	<b>41,77</b>	<b>3,55</b>	0,01	0,65
			$F_{0.05}=3,33$							
O			keskmine average		4,96	4,88	4,72	4,45	4,25	4,26
NP			"		4,92	4,93	4,75	4,51	4,21	4,18
NPK			"		4,89	4,86	4,65	4,54	4,33	4,21
NPK+sõnnik manure			"		4,96	4,83	4,70	4,55	4,28	4,17
			$s_{\bar{x}}$		0,04	0,04	0,03	0,05	0,07	0,05
			F		0,86	1,83	1,90	0,77	0,57	0,53
			$F_{0.05}=2,93$							
Väetamine × Lupjamine Fertilization × Liming			F		1,07		1,79	0,29	0,30	1,25
			$F_{0.05}=2,43$							

<sup>1</sup> Siin ja järgnevas tabelites: / Here and in the next tables:

0 – ei lubjatud / no liming

L – lubjati poole tuhanormiga (3 t/ha CaCO<sub>3</sub>) / liming with half a norm of oil shale ashes (3 t/ha CaCO<sub>3</sub>)

Tabel 3. Hüdrolüütiline happesus, mg-ekv/100 g / Hydrolytic acidity, meq/100 g

Lupjamine	Sügavus, cm
-----------	-------------

Väetamine Fertilization	Liming				Depth, cm					
	1	1	1	1	0...20	20...30	30...40	40...50	50...60	60...70
	9	9	9	9						
	6	6	7	7						
	4	9	4	9						
O	0	0	0	0	3,96	3,11	1,56	1,67	1,83	1,83
	L	0	L	0	2,94	2,70	1,59	1,61	1,74	1,81
	L	L	L	L	1,90	1,85	1,36	1,34	1,39	1,32
NP	0	0	0	0	4,39	3,70	1,55	1,54	1,96	2,01
	L	0	L	0	2,95	2,58	1,63	1,54	1,85	2,12
	L	L	L	L	1,87	1,55	1,09	1,19	1,56	1,61
NPK	0	0	0	0	4,62	3,64	1,75	1,48	1,48	1,45
	L	0	L	0	3,17	2,37	1,46	1,31	1,48	1,72
	L	L	L	L	1,99	1,70	1,17	1,17	1,56	1,77
NPK + sõnnik manure	0	0	0	0	4,40	3,44	1,60	1,48	1,59	1,49
	L	0	L	0	3,35	2,79	1,60	1,41	1,78	1,95
	L	L	L	L	2,30	2,08	1,47	1,27	1,66	1,62
			$s_{\bar{x}}$		0,14	0,17	0,12	0,18	0,27	0,26
			F		<b>51,31</b>	<b>18,21</b>	<b>2,55</b>	0,78	0,43	0,89
			$F_{0.05}=2,09$							
Keskmine Average	0	0	0	0	4,34	3,47	1,62	1,54	1,72	1,69
	L	0	L	0	3,10	2,61	1,57	1,46	1,71	1,90
	L	L	L	L	2,01	1,80	1,27	1,24	1,54	1,58
			$s_{\bar{x}}$		0,07	0,08	0,04	0,09	0,14	0,04
			F		<b>232,30</b>	<b>102,47</b>	<b>22,28</b>	2,82	0,50	1,42
			$F_{0.05}=3,33$							
O			keskmine average		2,93	2,55	1,51	1,54	1,65	1,65
NP			"		3,07	2,61	1,42	1,42	1,79	1,91
NPK			"		3,26	2,57	1,46	1,32	1,51	1,64
NPK+sõnnik manure			"		3,35	2,77	1,55	1,38	1,68	1,69
			$s_{\bar{x}}$		0,09	0,10	0,04	0,11	0,17	0,05
			F		<b>4,62</b>	1,66	1,48	0,72	0,51	0,66
			$F_{0.05}=2,93$							
Väetamine × Lupjamine Fertilization × Liming			F		1,02	2,00	<b>2,93</b>	0,09	0,28	0,62
			$F_{0.05}=2,43$							

Väetamine suurendas mulla hüdrofüütilist happesust künnikihis ja see oli tingitud eeskätt mineraalväetiste toimest. Mineraalväetiste ja lupjamise interaktsioon ehk koosmõju efekt (võrreldes kummagi eraldi kasutamisega) oli positiivset laadi ja saavutas statistiliselt usutava

määrä 30...40 cm sügavuses mullakihis. Nimetatud sügavuses vähenes hüdrolüütiline happesus näiteks väetamata mullal tugevama lupjamise toimetel 0,20 mg-ekv/100 g võrra ja lupjamata mullal NPK-väetiste toimetel suurenes 0,19 mg-ekv võrra, kuid katsevariandil, kuhu oli samal ajal rakendatud tugevam lupjamine ja NPK-väetised, vähenes hüdrolüütiline happesus 0,39 mg-ekv võrra, mis on tunduvalt suurem mõlema faktori (tugevam lupjamine ja NPK) eraldi rakendamisel saadud muutuste summast (-0,20+0,19=-0,01).

Sõnniku pikaajaline rohke kasutamine mulla hüdrolüütilise happesuse suurust oluliselt ei muutnud.

**Asendushappesus** (tabel 4) on näitaja, mis mulla lupjamise mõjul kõige järsumalt muutub. Selleski katses likvideeris lupjamine mulla künnikihi asendushappesuse peaaegu täielikult. Nagu hüdrolüütilise happesuse puhul, nii ka asendushappesust vähendas mulla lupjamine kindlalt usutaval määral ainult kuni 40 cm sügavuseni, kuigi ka sügavamal oli lubjatud mulla asendushappesus veidi väiksem kui lupjamata mullal.

Väetamise usutav mõju asendushappesusele lõppes 20...30 cm sügavusel. Seejuures oli asendushappesus mineraalväetiste mõjul oluliselt suurenenud, sõnniku mõjul aga vähenenud.

Asendushappesus vähenes mineraalväetiste ja lupjamise koosmõjul rohkem nende eraldi kasutamisel avaldunud muutuste summast. Sõnniku ja lupjamise koosmõju asendushappesusele (NPK foonil) oli aga väiksem nende eraldi kasutamisel saadud toime summast. Teisiti öeldes: mineraalväetised suurendasid asendushappesust ja see tegi lubiväetisele võimalikuks seda näitajat rohkem alandada, sõnniku sage kasutamine oli aga lupjamata mulla asendushappesust oluliselt langetanud ja seeläbi lubiväetise vajadust vähendanud (toime võimalust piiranud). Olgu lisatud, et nii juhtub ainult happelise iseloomuga mineraalväetiste kasutamisel. Kui ammoniumsalpeetri asemel oleks kasutatud mõnda füsioloogiliselt aluselise lämmastikväetist (neid toodetakse vähe, sest nad on kallimad), siis oleks mulla asendushappesus selle toimetel tõenäoliselt vähenenud ning lupjamise ja väetamise interaktsioon ei oleks ilmnunud või oleks kujunenud vastasmärgiliseks.

**Liikuva alumiiniumi sisaldus** on esitatud tabelis 5. Et antud mullas oli asendushappesus peaaegu täielikult põhjustatud liikuvast alumiiniumist, siis kehtivad asendushappesuse kohta eespool toodud seaduspärasused ka liikuva alumiiniumi puhul ja neid ei ole siinkohal mõtet korrata.

**Asendatavad alused.** Tabelist 6 selgub, et nii lupjamine kui ka väetamine mõjutasid asendatavate aluste sisaldust mullas suure tõenäosusega ainult ülemises 40 cm tuseduses mullakihis. Seejuures mulla lupjamine suurendas asendatavate aluste sisaldust ning tugevama lupjamise mõju oli nõrgema lupjamise toimest suurem ja ulatus väiksema usutavuse astmega ka 40 cm-st sügavamatesse mullakihtidesse.

Mineraalväetiste (NPK) mõju asendatavate aluste sisaldusele oli negatiivset laadi ja see avaldus ainult mulla künnikihis. Sõnnik oli põhjustanud asendatavate aluste sisalduse suurenemise ülemises 30 cm tuseduses mullakihis. Sellest allpool oli tugevama väetamise mõju asendatavate aluste sisaldusele negatiivne. Ilmselt ei jõudnud väetistega lisatud asendatavad alused ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ) künnikihist kuigi palju allapoole migreerida, saagid aga suurenesid väetamise toimetel kõvasti, kultuuride juurekava oli võimsam ja omastas sügavamatest kihtidest rohkem katioone.

**Neelamismahutavus** (tabel 7) suurenes lupjamise mõjul ainult künnikihis. NPK-väetiste pikaajaline kasutamine mulla neelamismahutavusele (õigemini Kappeni T väärtusele) kuigi olulist mõju ei avaldanud. Sõnniku süstemaatiline kasutamine suurendas mulla neelamismahutavust ülemises 30 cm tuseduses mullakihis.

Tabel 4. Asendushappesus, mg-ekv/100 g / Exchange acidity, meq/100 g

Väetamine	Lupjamine	Sügavus, cm
	Liming	Depth, cm

Fertilization	1 9 6 4	1 9 6 9	1 9 7 4	1 9 7 9	0...20	20...30	30...40	40...50	50...60	60...70
O	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	0,36 0,05 0,02	0,32 0,06 0,03	0,18 0,14 0,07	0,28 0,23 0,11	0,39 0,30 0,20	0,32 0,26 0,15
NP	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	0,49 0,05 0,02	0,50 0,06 0,01	0,18 0,10 0,04	0,15 0,08 0,06	0,33 0,30 0,21	0,30 0,36 0,19
NPK	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	0,49 0,07 0,03	0,40 0,07 0,03	0,19 0,13 0,07	0,09 0,10 0,09	0,21 0,21 0,23	0,18 0,24 0,31
NPK + sõnnik manure	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	0,25 0,07 0,03	0,27 0,07 0,03	0,16 0,14 0,07	0,22 0,15 0,14	0,24 0,29 0,27	0,22 0,33 0,24
		$s_{\bar{x}}$			0,03	0,02	0,03	0,06	0,09	0,08
		F			<b>49,06</b>	<b>64,60</b>	<b>2,74</b>	1,34	0,42	0,70
		$F_{0.05}=2,09$								
Keskmine Average	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	0,40 0,06 0,03	0,37 0,06 0,02	0,18 0,13 0,06	0,19 0,14 0,10	0,29 0,28 0,23	0,26 0,30 0,22
		$s_{\bar{x}}$			0,01	0,01	0,01	0,03	0,05	0,01
		F			<b>212,84</b>	<b>299,48</b>	<b>17,58</b>	1,52	0,46	0,84
		$F_{0.05}=3,33$								
O	keskmine average				0,14	0,13	0,13	1,21	0,30	0,24
NP	"				0,19	0,19	0,11	0,10	0,28	0,28
NPK	"				0,20	0,16	0,13	0,09	0,22	0,25
NPK+sõnnik manure	"				0,12	0,12	0,13	0,17	0,27	0,27
		$s_{\bar{x}}$			0,02	0,01	0,02	0,04	0,05	0,01
		F			<b>5,50</b>	<b>5,72</b>	0,34	1,96	0,43	0,16
		$F_{0.05}=2,93$								
Väetamine × Lupjamine Fertilization × Liming		F			<b>5,93</b>	<b>7,69</b>	0,23	0,30	0,37	0,85
		$F_{0.05}=2,43$								

Tabel 5. Liikuv alumiinium, mg/100 g / Exchangeable aluminium, mg/100 g

Väetamine	Lupjamine Liming	Sügavus, cm Depth, cm
-----------	---------------------	--------------------------

Fertilization	1 9 6 4	1 9 6 9	1 9 7 4	1 9 7 9	0...20	20...30	30...40	40...50	50...60	60...70
O	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	2,99 0,29 0,11	2,77 0,41 0,11	1,55 1,15 0,47	2,36 1,91 0,90	3,37 2,59 1,64	2,72 2,14 1,21
NP	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	4,09 0,29 0,11	4,32 0,40 0,09	1,53 0,83 0,25	1,17 0,63 0,47	2,79 2,59 1,75	2,50 3,06 1,57
NPK	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	4,23 0,45 0,13	3,38 0,52 0,11	1,64 1,06 0,52	0,67 0,81 0,67	1,75 1,73 1,96	1,53 2,07 2,68
NPK + sõnnik manure	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	2,07 0,45 0,18	2,29 0,49 0,18	1,35 1,17 0,54	1,89 1,28 1,12	1,98 2,47 2,29	1,84 2,77 2,09
		$s_{\bar{x}}$			0,23	0,18	0,28	0,54	0,80	0,70
		F			<b>47,79</b>	<b>66,64</b>	<b>2,88</b>	1,35	0,44	0,68
		$F_{0.05}=2,09$								
Keskmine Average	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	3,35 0,37 0,13	3,19 0,46 0,12	1,52 1,05 0,44	1,52 1,16 0,79	2,47 2,35 1,91	2,15 2,51 1,89
		$s_{\bar{x}}$			0,13	0,10	0,12	0,30	0,41	0,36
		F			<b>202,98</b>	<b>303,15</b>	<b>19,22</b>	1,48	0,51	0,76
		$F_{0.05}=3,33$								
O	keskmine average				1,13	1,09	1,06	1,72	2,53	2,02
NP	"				1,50	1,60	0,87	0,76	2,38	2,37
NPK	"				1,60	1,33	1,07	0,72	1,81	2,09
NPK+sõnnik manure	"				0,90	0,99	1,02	1,43	2,25	2,23
		$s_{\bar{x}}$			0,15	0,11	0,14	0,35	0,48	0,41
		F			<b>5,07</b>	<b>6,02</b>	0,43	2,07	0,42	0,14
		$F_{0.05}=2,93$								
Väetamine × Lupjamine Fertilization × Liming		F			<b>5,71</b>	<b>7,28</b>	0,26	0,30	0,39	0,85
		$F_{0.05}=2,43$								

Tabel 6. Asendatavad alused, mg-ekv/100 g / Exchangeable bases, meq/100 g

Väetamine	Lupjamine Liming	Sügavus, cm Depth, cm
-----------	---------------------	--------------------------



Fertilization	1 9 6 4	1 9 6 9	1 9 7 4	1 9 7 9	0...20	20...30	30...40	40...50	50...60	60...70
O	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	2,82 4,17 6,26	1,42 2,63 3,54	1,66 1,68 2,39	2,65 3,06 2,84	4,00 4,05 3,64	5,00 5,19 4,32
NP	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	2,37 4,36 5,93	1,97 2,99 4,21	1,77 2,28 2,39	2,68 2,52 2,79	3,74 3,60 4,11	4,47 4,31 4,76
NPK	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	2,29 3,56 5,66	2,02 2,26 3,51	1,77 1,69 1,92	2,25 2,20 3,13	2,40 3,62 4,10	3,38 5,00 5,11
NPK + sõnnik manure	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	3,14 4,60 6,83	2,09 3,38 4,32	1,61 1,89 1,56	2,16 2,17 2,24	2,82 3,36 3,97	3,61 4,55 4,29
		$s_{\bar{x}}$			0,20	0,28	0,19	0,34	0,46	0,44
		F			<b>60,61</b>	<b>11,12</b>	<b>2,43</b>	1,05	1,37	1,63
		$F_{0.05}=2,09$								
Keskmine Average	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	2,65 4,20 6,17	1,18 2,81 3,90	1,70 1,88 2,06	2,44 2,49 2,75	3,24 3,66 3,95	4,12 4,76 4,62
		$s_{\bar{x}}$			0,11	0,14	0,09	0,15	0,22	0,20
		F			<b>282,19</b>	<b>49,87</b>	<b>3,65</b>	1,33	2,72	2,91
		$F_{0.05}=3,33$								
O		keskmine average			4,42	2,53	1,91	2,85	3,89	4,84
NP		"			4,22	3,06	2,15	2,67	3,82	4,51
NPK		"			3,86	2,60	1,79	2,53	3,37	4,50
NPK+sõnnik manure		"			4,86	3,26	1,68	2,19	3,39	4,15
		$s_{\bar{x}}$			0,12	0,17	0,11	0,17	0,25	0,23
		F			<b>11,65</b>	<b>4,61</b>	<b>3,37</b>	2,76	1,21	1,48
		$F_{0.05}=2,93$								
Väetamine × Lupjamine Fertilization × Liming		F			0,72	0,80	1,87	0,86	1,23	2,04
		$F_{0.05}=2,43$								

Tabel 7. Neelamismahutavus, mg-ekv/100 g / Cation - exchange capacity, meq/100 g

Väetamine	Lupjamine Liming	Sügavus, cm Depth, cm
-----------	---------------------	--------------------------

Fertilization	1 9 6 4	1 9 6 9	1 9 7 4	1 9 7 9	0...20	20...30	30...40	40...50	50...60	60...70
O	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	6,78 7,11 8,16	4,53 5,33 5,39	3,22 3,27 3,75	4,32 4,67 4,18	5,83 5,79 5,03	6,83 7,00 5,64
NP	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	6,76 7,31 7,80	5,67 5,57 5,76	3,32 3,91 3,48	4,22 4,06 3,98	5,70 5,45 5,67	6,48 6,43 6,37
NPK	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	6,91 6,82 7,65	5,66 4,63 5,21	3,53 3,15 3,09	3,73 3,51 4,34	3,88 5,10 5,66	4,83 6,72 6,88
NPK + sõnnik manure	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	7,54 7,95 9,13	5,53 6,17 6,40	3,21 3,49 3,03	3,64 3,58 3,51	4,41 5,14 5,63	5,10 6,50 5,91
		$s_{\bar{x}}$			0,22	0,30	0,23	0,47	0,63	0,57
		F			<b>9,79</b>	<b>3,17</b>	1,35	0,66	0,90	1,62
		$F_{0.05}=2,09$								
Keskmine Average	0 L L	0 0 L	0 L L	0 0 L	7,00 7,29 8,18	5,35 5,42 5,70	3,32 3,45 3,33	3,98 3,95 3,99	4,96 5,37 5,49	5,81 6,60 6,20
		$s_{\bar{x}}$			0,11	0,15	0,10	0,22	0,32	0,26
		F			<b>34,08</b>	1,53	0,50	0,01	0,81	2,61
		$F_{0.05}=3,33$								
O		keskmine average			7,35	5,08	3,42	4,39	5,54	6,49
NP		"			7,29	5,67	3,57	4,09	5,61	6,42
NPK		"			7,12	5,17	3,25	3,85	4,88	6,14
NPK+sõnnik manure		"			8,21	6,03	3,23	3,57	5,07	5,84
		$s_{\bar{x}}$			0,12	0,17	0,12	0,26	0,37	0,31
		F			<b>16,04</b>	<b>6,87</b>	1,76	1,84	0,95	0,84
		$F_{0.05}=2,93$								
Väetamine × Lupjamine Fertilization × Liming		F			1,16	2,25	2,18	0,44	0,90	2,12
		$F_{0.05}=2,43$								

Lupjamise ja väetamise interaktsioon küll 95 %-list tõenäosust ei saavutanud, kuid väetamise ühe komponendi – sõnniku – kasutamise ja lupjamise interaktsioon oli kindlalt positiivne. Nii suurenes künnikihi mulla neelamismahutavus NPK foonil tugevama lupjamise mõjul 0,74 mg-ekv, sõnniku mõjul 0,63 mg-ekv ja samade faktorite koos rakendamisel 2,22 mg-ekv/100 g. Interaktsioon on seega 2,22-0,74-0,63=+0,85 mg-ekv, mis t-testi põhjal on suure tõenäosusega usutav mõju.

Kui teadlaste ringkondades üsna tuntud interaktsiooni mõistet ei kasuta, võib sama asja väljendada levinumas kõnepruugis, kuid siis tuleb jutt pikem, sest selle asemel et välja ütelda ainult üks arv – interaktsioon on +0,85 mg-ekv –, tuleb esitada kaks paari arve, kusjuures mõlemas paaris on kahe arvu vahe ikkagi 0,85. Seega siis alternatiiv oleks: sõnniku kasutamine suurendas oluliselt lupjamise mõju künnikihi mullale (neelamismahutavus suurenes lupjamise mõjul NPK foonil 0,74 mg/ekv, NPK+sõnniku foonil 1,59 mg-ekv) ja samas suurendas lupjamine oluliselt sõnniku mõju (neelamismahutavus suurenes sõnniku mõjul NPK foonil lupjamata mullal 0,63 mg-ekv, lubjatud mullal aga 1,48 mg-ekv/100 g).

Olgu lisatud, et agronoomilistes eksperimentides on kahe olulise uuritava faktori interaktsioon enamasti positiivset laadi (seisundit parandav) väga vaese mulla või väga madala saagi korral, kuid negatiivset laadi viljaka mulla või uuritava näitaja suhteliselt hea taseme korral.

Kõnesolevas katses oli tugevama lupjamise ja sõnniku kasutamise interaktsioon neelamismahutavusele suuresti positiivne (+1,32) ka 20...30 cm sügavuses mullas. Lupjamise ja NPK-väetiste interaktsioon oli negatiivne 20...30 cm sügavusel suure tõenäosusega, künnikihis aga väiksema tõenäosusega.

**Küllastusaste** (tabel 8) suurenes mulla lupjamise mõjul kogu uuritud mullakihis. Väga suur oli neelamismahutavuse asendatavate alustega küllastatuse astme tõus künnikihis: lupjamata mulla keskmiselt 38 %-lt 58 %-le nõrgema lupjamise ja 75 %-le tugevama lupjamise mõjul.

NPK-väetised alandasid künnikihi küllastusastet lupjamata mullal tugevasti, kuid lubjatud mullal palju vähem. NPK-väetiste mõju mulla küllastusastmele piirduski ainult künnikihiga, kuid 30...40 cm sügavusel avaldus NP-väetiste positiivne ja K-väetise negatiivne mõju mulla küllastusastmele.

Sõnniku mõju mulla küllastusastmele avaldus samuti ainult künnikihis ja sedagi peamiselt lupjamata mullal. Nii suurenes lupjamata mulla küllastusaste NPK foonil sõnniku mõjul 33 %-lt 42 %-le, kuid tugevama lupjamise korral oli mulla küllastusaste sõnnikut kasutamata 74 % ja sõnniku kasutamisel 75 % (interaktsioon seega negatiivne). Lupjamata mullal hoidis sõnnikuga väetamine ära mineraalväetiste kasutamisest põhjustatud künnikihi küllastusastme languse.

**Liikuva fosfori sisaldus** mullas on toodud tabelis 9. Sellest selgub, et mulla lupjamine on liikuva fosfori sisaldust vähendanud ülemises 40 cm tuseduses mullakihis, eriti künnikihis. Kõige suurem oli liikuva fosfori sisalduse langus mulla lupjamise mõjul NPK foonil, kus see ulatus üle 1 mg 100 g mullas.

Kui liikuva fosfori sisalduse vähenemine tugevama lupjamise toimele NPK foonil ümber arvutada fosfori koguseks, leiame, et liikuva fosfori sisalduse vähenemine lupjamise toimele ülemises 40-sentimeetrises mullakihis vastab ümmarguselt 45 kg-le fosforile hektari kohta. Lisagem, et 20 aasta jooksul on selles katses antud fosforväetisega hektari kohta fosforit ligikaudu 500 kg ja põlevkivituhaga orienteerivalt 6 kg (2 korda lubjatud) ja 12 kg (4 korda lubjatud mulda). Katsevariandilt NPK+lupjamine iga 5 a. järel on saakidega eemaldatud fosforit umbes 90 kg rohkem kui katsevariandilt NPK. Siit näeme, et lubjatud mullast on viidud saakidega ära kaks korda rohkem fosforit, kui see vastaks liikuva fosfori sisalduse langusele. Järelikult on lupjamine võimaldanud fosfori ratsionaalsemat kasutamist taimede poolt. Selles katses on NPK foonil mulla lupjamise toimele saadud enamsaagid ulatunud vahel odral üle 12 ts/ha, põldheinal 29 ts/ha ja kartulil 39 ts/ha. On loomulik, et suuremate saakide moodustamiseks vajavad kultuurid rohkem taimetoiteaineid, kuid katsetoodika nõuete kohaselt tuleb lupjamise mõju selgitamisel võrreldavaid variante väetada ühesuguste väetisnormidega.

**Tabel 8. Küllastusaste, % / Base saturation percentage**

Väetamine Fertilization	Lupjamine Liming				Sügavus, cm Depth, cm					
	1	1	1	1	0...20	20...30	30...40	40...50	50...60	60...70
	9	9	9	9						



	6 4	6 9	7 4	7 9						
O	0	0	0	0	1,75	0,60	0,82	0,44	0,98	1,36
	L	0	L	0	1,31	0,71	1,25	0,87	1,09	1,47
	L	L	L	L	1,31	0,71	0,71	0,76	0,82	0,98
NP	0	0	0	0	3,65	1,64	0,76	0,65	0,82	1,23
	L	0	L	0	2,95	1,12	0,73	0,79	0,96	1,53
	L	L	L	L	2,84	1,14	0,76	0,87	0,87	1,14
NPK	0	0	0	0	3,49	1,64	0,98	0,87	0,93	1,09
	L	0	L	0	2,45	1,25	0,82	0,82	0,82	1,31
	L	L	L	L	2,40	1,25	0,65	0,71	0,87	1,36
NPK + sõnnik manure	0	0	0	0	3,76	1,91	1,17	1,03	1,03	0,98
	L	0	L	0	3,67	1,58	0,92	0,87	0,98	1,31
	L	L	L	L	2,89	1,85	0,71	0,87	0,76	1,20
				$s_{\bar{x}}$	0,20	0,12	0,11	0,12	0,14	0,13
				F	<b>20,74</b>	<b>13,93</b>	<b>3,09</b>	1,47	0,52	1,86
				$F_{0.05}=2,09$						
Keskmine Average	0	0	0	0	3,16	1,44	0,93	0,75	0,94	1,17
	L	0	L	0	2,60	1,17	0,93	0,84	0,96	1,40
	L	L	L	L	2,36	1,24	0,71	0,80	0,83	1,17
				$s_{\bar{x}}$	0,09	0,06	0,05	0,07	0,06	0,06
				F	<b>22,11</b>	<b>4,43</b>	<b>5,50</b>	0,44	1,24	4,77
				$F_{0.05}=3,33$						
O				keskmine average	1,45	0,67	0,92	0,69	0,96	1,27
NP				"	3,14	1,30	0,75	0,77	0,89	1,30
NPK				"	2,78	1,38	0,82	0,88	0,87	1,25
NPK+sõnnik manure				"	3,44	1,78	0,93	0,93	0,93	1,17
				$s_{\bar{x}}$	0,10	0,08	0,06	0,08	0,07	0,07
				F	<b>74,73</b>	<b>33,55</b>	1,92	1,63	0,33	0,69
				$F_{0.05}=2,93$						
Väetamine × Lupjamine Fertilization × Liming				F	1,98	1,50	<b>2,65</b>	1,34	0,59	1,77
				$F_{0.05}=2,43$						

Väetamine suurendas mulla liikuva fosfori sisaldust pealmises 30 cm tuseduses mullakihis. Liikuva fosfori sisaldus oli väetamise mõjul rohkem suurenenud lupjamata mullas, sest liigne mulla happesus ei ole taimekasvuks ja fosfori efektiivseks kasutamiseks soodne. NP-variandis takistas fosfori kasutamist ka kaaliumi nappus, mis limiteeris kultuuride kasvu.

Sõnnikuga on 20 aasta jooksul antud mulda umbes 250 kg P hektari kohta. See on saakide suurendamise kõrval põhjustanud ka liikuva fosfori sisalduse tõusu mullas.

Väetamise ja lupjamise interaktsioon liikuva fosfori sisaldusele oli negatiivset laadi ja avaldus suurema tõenäosusega 30...40 cm sügavuses mullas. Ilmselt on see seletatav asjaoluga, et fosfor liigub mullas aeglaselt ja suurenenud saakide korral omastati sügavamast mullast rohkem fosforit kui väiksemate saakide korral.

**Liikuva kaaliumi sisaldus** (tabel 10) on katses rakendatud faktorite toimel muutunud kogu uuritud 70-sentimeetrise mullakihi ulatuses. See on ka loomulik, sest muld oli liikuva kaaliumi poolest juba enne katse rajamist vaene ja kaaliumväetis oli üks uuritud faktoritest, mille mõju aeg oli pikk.

Pooled katsevariantidest ei saanud kaaliumi sisaldavaid mineraalväetisi ega sõnnikut. Küll aga sai osa neist katsevariantidest põlevkivituhka, mis sisaldab kaaliumi. Nõrgema lupjamise korral (2 korda à 0,5 normi) anti põlevkivituhaga mulda 135 kg üldkaaliumi, tugevama lupjamisega (4 korda à 0,5 normi) aga 294 kg K. Samal katsepõllul tehtud uuringu põhjal võib ütelda, et väetamata ja lupjamata mullast uhutakse läbinõrguvate vete poolt künnikihi mullast 20 aasta jooksul välja ligikaudu 50 kg kaaliumi. Ligikaudsed arvutused näitavad, et saakidega eemaldati väetamata ja lupjamata mullast 20 aasta jooksul 495 kg kaaliumi. Kui eeldada, et kogu saakidega eemaldatud kaalium pärineb künnikihist, kujuneks väetamata ja lupjamata mulla künnikihist kaaliumi kaoks 20 aasta jooksul umbes 545 kg, mis teeks orienteerivalt 16 mg K 100 g mulla kohta. Ometi ei ole liikuva kaaliumi sisaldus väetamata ja lupjamata mullas 20 aasta vältel ei künnikihis ega sügavamal vähenenud, vaid isegi natuke suurenenud. See näitab, et liikuva kaaliumi sisaldus täieneb pidevalt kas fikseeritud kaaliumi või veelgi raskemini oma vormi muutva kaaliumi varudest. Antud mullas võis kaaliumi vabanemine aasta jooksul olla orienteerivalt 24 kg/ha.

Tabelist 10 näeme, et väetamata lubjatud mullas oli liikuva kaaliumi sisaldus kogu uuritud mullakihi ulatuses madalam kui lupjamata mullas, kuid enamasti jäi erinevuste usutavuse aste madalaks.

NP-variantides oli liikuva kaaliumi sisaldus kogu 70 cm tuseduses mullakihis väiksem kui väetamata mulla vastavates variantides, välja arvatud mõned juhud tugevama lupjamise korral. Et samal ajal NP-väetised suurendasid oluliselt liikuva fosfori sisaldust ülemises 30 cm tuseduses mullakihis (tabel 9), siis ilmselt oli väetamata mullas taimedel lämmastikust veelgi suurem puudus kui fosforist. Lämmastiku ja muude vajalike toiteelementide olemasolu võimaldaski taimedel ammutada NP-variantidel mulla liikuvast kaaliumist kõige tühjemaks. Kuid liikuva kaaliumi sisalduse suure varieeruvuse tõttu jäi selle sisalduse vähenemine NP-väetiste toimel paljudel juhtudel siiski vähe tõenäoliseks.

Mulla lupjamine ei mõjutanud NP foonil liikuva kaaliumi sisaldust kuigi oluliselt.

Kaaliumväetise kasutamine lisaks NP-väetistele suurendas liikuva kaaliumi sisaldust mullas tublisti kõikide lupjamistasemete korral. Seejuures oli liikuva kaaliumi sisalduse tõus kõige suurem huumushorisondis, kuna sügavates mullakihtides, eriti lubjatud mulla korral, jäi liikuva kaaliumi sisalduse tõusu tõenäosus kaaliumväetise toimel väikeseks.

Mulla lupjamine kaldus NPK foonil liikuva kaaliumi sisaldust vähendama. Suure tõenäosusega avaldus see 20...50 cm sügavuses mullakihis.

Sõnniku süstemaatiline kasutamine NPK-mineraalväetiste foonil suurendas liikuva kaaliumi sisaldust kõikidel lupjamistasemetel ja kõikides uuritud sügavustes.

Lupjamise mõju NPK+sõnniku foonil liikuva kaaliumi sisaldusele oli ülemises 30 cm tuseduses mullakihis kindlalt positiivne, sügavamal aga negatiivne.

Nelja väetusfooni keskmisena mulla lupjamine liikuva kaaliumi sisaldusele ülemises 30 cm tuseduses mullakihis olulist mõju ei avaldanud, kuid 30...70 cm sügavusel alandas liikuva kaaliumi sisaldust.

**Tabel 10. Liikuv K (DL-meetodil), mg/100 g / Available K (by DL method), mg/100 g**

Väetamine Fertilization	Lupjamine Liming				Sügavus, cm Depth, cm					
		1	1	1	1	0...20	20...30	30...40	40...50	50...60
	9	9	9	9						
	6	6	7	7						
	4	9	4	9						

O	0 0 0 0	5,60	1,69	1,25	1,76	2,38	4,36
	L 0 L 0	3,53	0,94	0,72	0,83	1,56	2,91
	L L L L	4,15	0,72	0,51	1,04	1,35	1,76
NP	0 0 0 0	1,97	0,72	0,47	0,94	1,56	2,70
	L 0 L 0	2,38	0,36	0,47	0,72	1,04	2,38
	L L L L	2,49	0,83	0,48	0,51	1,66	2,38
NPK	0 0 0 0	9,85	6,33	4,98	4,36	4,46	3,84
	L 0 L 0	10,13	4,57	2,08	1,97	2,80	3,42
	L L L L	7,99	3,15	1,97	0,91	2,08	2,80
NPK + sõnnik manure	0 0 0 0	12,04	9,44	5,29	5,64	7,36	5,81
	L 0 L 0	13,91	11,93	6,07	3,94	4,87	4,58
	L L L L	16,08	11,42	4,15	3,94	4,25	3,42
	$\bar{s}$	0,77	0,55	0,32	0,34	0,62	0,49
	F	<b>68,22</b>	<b>64,53</b>	<b>45,25</b>	<b>34,68</b>	<b>9,45</b>	<b>5,34</b>
	$F_{0.05}=2,09$						
Keskmine Average	0 0 0 0	7,36	4,55	3,00	3,17	3,94	3,47
	L 0 L 0	7,49	4,55	2,34	1,87	2,57	3,33
	L L L L	7,68	4,03	1,78	1,60	2,33	2,59
	$\bar{s}$	0,35	0,32	0,17	0,16	0,33	0,22
	F	0,20	0,74	<b>11,98</b>	<b>27,66</b>	<b>6,86</b>	<b>13,28</b>
	$F_{0.05}=3,33$						
O	keskmine average	4,42	1,11	0,83	1,21	1,76	3,01
NP	"	2,28	0,64	0,47	0,72	1,42	2,49
NPK	"	9,32	4,68	3,01	2,42	3,11	3,35
NPK+sõnnik manure	"	14,01	10,93	5,17	4,51	5,50	4,61
	$\bar{s}$	0,38	0,37	0,21	0,18	0,38	0,25
	F	<b>167,53</b>	<b>168,36</b>	<b>113,95</b>	<b>83,25</b>	<b>23,33</b>	<b>12,89</b>
	$F_{0.05}=2,93$						
Väetamine × Lupjamine Fertilization × Liming	F	<b>4,45</b>	<b>3,55</b>	<b>6,68</b>	<b>4,98</b>	1,21	1,61
	$F_{0.05}=2,43$						

Kolme lupjamisnivoo (lupjamata, nõrgem ja tugevam lupjamine) keskmisena avaldas väetamine olulist mõju mulla liikuva kaaliumi sisaldusele kogu uuritud mullakihis (0...70 cm). Seejuures oli liikuva kaaliumi sisaldus kõigis uuritud sügavustes kõige madalam NP variandis, kuid NP-väetiste liikuva kaaliumi sisaldust alandav mõju oli suure tõenäosuse astmega ainult 0...20-sentimeetrises mullakihis. Kaaliumväetis suurendas liikuva kaaliumi sisaldust kolme lupjamisfooni keskmisena kindlalt kogu 70 cm tõeseduses mullakihis. Samuti suurendas sõnniku kasutamine liikuva kaaliumi sisaldust kogu 70-sentimeetrises mullakihis.

Mulla lupjamise ja väetamise interaktsioon avaldus selgelt ülemises 50 cm tuseduses mullakihis. Seejuures oli lupjamise ja NP-väetiste interaktsioon mõningal määral positiivne, lupjamise ja NPK-väetiste interaktsioon aga künnikihis nõrgalt ja allpool tugevasti negatiivne, sest lupjamise ja kaaliumväetise interaktsioon liikuva kaaliumi sisaldusele oli suuresti negatiivne 0...60 cm sügavuses mullakihis. Lupjamise ja sõnniku interaktsioon (NPK foonil) oli tugevasti positiivne ülemises 30 cm tuseduses mullakihis. See likvideeris samas mullakihis isegi kaaliumväetise negatiivse mõju ning muutis lupjamise ja NPK+sõnniku interaktsiooni suure tõenäosusega positiivseks.

**Liikuva kaltsiumi sisaldus mullas** on toodud tabelis 11. Sealt näeme, et väetamata ja lupjamata mulla liikuva kaltsiumi sisaldus oli väga madal ja ka mineraalväetiste kasutamine ei suurendanud seda, vaid künnikihist sügavamal kaldus isegi vähendada. Küll aga suurendas sõnniku kasutamine liikuva kaltsiumi sisaldust lupjamata mulla künnikihis.

Mulla lupjamine suurendas liikuva kaltsiumi sisaldust kõikidel väetusfoonidel väga tublisti, kuid ainult kuni 30 cm tuseduses ülemises mullakihis. Isegi nelja väetusfooni keskmisena jäi lupjamise mõju 30 cm-st sügavamates mullakihtides vähe tõenäoliseks.

Kolme lupjamisfooni keskmiste põhjal võib ütelda, et NP-väetiste mõjul suurenes liikuva kaltsiumi sisaldus oluliselt ainult künnikihis, kuna leetkihis see isegi vähenes. Kaaliumväetise kasutamine muutis NP-väetiste positiivse toime künnikihis olematuks ja suurendas mineraalväetiste negatiivset mõju liikuva kaltsiumi sisaldusele leetkihis veelgi. Sõnnik suurendas liikuva kaltsiumi sisaldust künnikihis, aga mitte allpool. NPK+sõnniku mõjul (arvestamata lupjamine) suurenes liikuva kaltsiumi sisaldus künnikihis ja vähenes leetkihis.

Lupjamise ja NPK+sõnniku interaktsioon oli oluliselt positiivne, kusjuures NP-väetiste osa selles oli nõrgalt positiivne, K-väetise osa oluliselt negatiivne ja sõnniku osa tugevasti positiivne.

**Liikuva magneesiumi sisaldus** (tabel 12) muutus meie poolt uuritud faktorite toimet kogu analüüsitud 70 cm tuseduses mullakihis. Lupjamata mullas alandasid mineraalväetised liikuva magneesiumi sisaldust kogu uuritud mullakihi tuseduses, eriti sügavamates kihtides (40...70 cm), kus liikuva magneesiumi sisalduse tase oli väetamata mullas oluliselt kõrgem kui ülemises 40 cm tuseduses mullakihis, milles oli liikuva magneesiumi sisalduse tase väga madal ja selle absoluutarvud ning alanemise tõenäosus mineraalväetiste toimet jäid madalamaks. Lubjatud mullas vähendasid mineraalväetised liikuva magneesiumi sisaldust ainult künnikihis.

Sõnniku mõjul lupjamata mulla liikuva magneesiumi sisaldus küll suurenes, kuid enamikus mullakihtides ainult katsevea piires. Lubjatud mullal suurendas sõnnik liikuva magneesiumi sisaldust ülemises 30 cm tuseduses mullakihis.

Mulla lupjamise mõjul tõusis liikuva magneesiumi sisaldus suure tõenäosusega ülemises 30 cm tuseduses mullakihis. 30...40 cm sügavuses suurenes liikuva magneesiumi sisaldus lupjamise mõjul NPK+sõnniku foonil, kuid teistel väetusfoonidel jäi lupjamise mõju tõenäosus madalaks. 40...70 cm sügavuses oli lupjamise mõju ebastabiilne.

Nelja väetusfooni keskmisena suurenes mulla liikuva magneesiumi sisaldus lupjamise mõjul oluliselt 0...40 cm sügavusel ja ka 60...70 cm sügavusel nõrgema lupjamise korral. Et 50...60 cm sügavusel esines erandlikult liikuva magneesiumi sisalduse suur langus lupjamise mõjul NP foonil (ka lupjamise ja väetamise interaktsioon muutus selles kihis erandlikult negatiivseks, kuid lupjamise ja NPK-väetiste interaktsioon oli selles kihis tugevasti

Tabel 11. Liikuv Ca (AL - meetodil), mg/100 g / Mobile Ca (by AL method), mg/100 g

Väetamine	Lupjamine				Sügavus, cm					
	Liming				Depth, cm					
Fertilization	1	1	1	1	0...20	20...30	30...40	40...50	50...60	60...70
	9	9	9	9						
	6	6	7	7						
	4	9	4	9						
O	0	0	0	0	1,3	0,0	5,2	11,5	25,0	37,5



	L 0 L 0	20,0	11,2	4,2	12,7	22,7	30,0
	L L L L	48,7	21,2	7,7	15,0	19,0	27,7
NP	0 0 0 0	2,5	0,0	2,0	7,7	26,2	30,0
	L 0 L 0	32,5	13,7	2,0	8,0	17,7	44,7
	L L L L	56,2	35,0	3,0	13,7	25,0	33,7
NPK	0 0 0 0	2,5	0,0	1,2	3,2	9,2	22,5
	L 0 L 0	21,2	8,7	1,2	6,5	22,5	42,5
	L L L L	43,7	23,7	5,5	8,1	22,5	37,5
NPK + sõnnik manure	0 0 0 0	10,0	1,3	1,2	4,5	11,5	24,0
	L 0 L 0	28,7	15,0	1,2	2,0	16,2	35,0
	L L L L	66,2	23,7	1,2	5,5	21,2	33,7
	$\bar{s}_x$	2,6	2,8	1,4	3,2	6,5	5,5
	F	<b>70,91</b>	<b>15,81</b>	<b>2,36</b>	1,77	0,68	1,54
	$F_{0.05}=2,09$						
Keskmine Average	0 0 0 0	4,1	0,3	2,4	6,7	18,0	28,5
	L 0 L 0	25,6	12,1	2,1	7,3	19,8	38,1
	L L L L	53,7	25,9	4,2	10,6	21,9	33,2
	$\bar{s}_x$	1,2	1,5	0,7	1,6	3,1	2,4
	F	<b>383,27</b>	<b>65,68</b>	3,06	1,74	0,42	<b>3,81</b>
	$F_{0.05}=3,33$						
O	keskmine average	23,3	10,8	5,7	13,1	22,2	31,7
NP	"	30,4	16,2	2,3	9,8	23,0	36,1
NPK	"	22,5	10,8	2,6	5,9	18,1	34,2
NPK+sõnnik manure	"	35,0	13,3	1,2	4,0	16,3	30,9
	$\bar{s}_x$	1,5	1,7	0,8	1,8	3,5	2,8
	F	<b>16,49</b>	2,15	<b>5,97</b>	<b>4,95</b>	0,82	0,71
	$F_{0.05}=2,93$						
Väetamine × Lupjamine Fertilization × Liming	F	<b>3,27</b>	1,41	0,69	0,23	0,86	1,92
	$F_{0.05}=2,43$						

Tabel 12. Liikuv Mg (AL-meetodil), mg/100 g / Mobile Mg (by AL method), mg/100 g

Väetamine Fertilization	Lupjamine Liming				Sügavus, cm Depth, cm					
	1	1	1	1	0...20	20...30	30...40	40...50	50...60	60...70
	9	9	9	9						
	6	6	7	7						
	4	9	4	9						
O	0	0	0	0	1,28	0,81	0,77	2,94	5,37	8,12
	L	0	L	0	2,12	1,38	0,81	3,37	5,82	8,35
	L	L	L	L	3,37	1,69	1,00	2,06	3,50	5,19

NP	0 0 0 0	0,87	0,62	0,56	1,50	6,00	5,12
	L 0 L 0	1,81	1,25	0,75	1,19	3,06	5,75
	L L L L	3,19	1,69	0,69	1,56	2,94	5,25
NPK	0 0 0 0	0,81	0,38	0,50	0,75	1,94	3,44
	L 0 L 0	1,44	1,06	0,75	1,00	3,50	6,75
	L L L L	2,29	1,50	0,75	1,69	3,56	7,25
NPK + sõnnik manure	0 0 0 0	1,38	1,19	0,62	1,38	3,15	4,31
	L 0 L 0	2,44	1,88	0,87	1,13	2,69	7,50
	L L L L	3,56	2,37	0,94	1,44	3,06	6,25
	$s_{\bar{x}}$	0,22	0,15	0,10	0,52	0,78	1,05
	F	<b>18,55</b>	<b>13,24</b>	<b>2,25</b>	<b>2,28</b>	<b>2,81</b>	<b>2,12</b>
	$F_{0.05}=2,09$						
Keskmine Average	0 0 0 0	1,08	0,75	0,61	1,64	4,11	5,25
	L 0 L 0	1,95	1,39	0,80	1,67	3,77	7,09
	L L L L	3,10	1,81	0,84	1,69	3,27	5,97
	$s_{\bar{x}}$	0,10	0,08	0,05	0,24	0,36	0,49
	F	<b>109,48</b>	<b>41,80</b>	<b>4,83</b>	0,01	1,43	<b>3,51</b>
	$F_{0.05}=3,33$						
O	keskmine average	2,26	1,29	0,86	2,79	4,90	7,22
NP	"	1,96	1,19	0,67	1,42	4,00	5,37
NPK	"	1,51	0,98	0,67	1,15	3,00	5,81
NPK+sõnnik manure	"	2,46	1,81	0,81	1,32	2,97	6,02
	$s_{\bar{x}}$	0,11	0,10	0,06	0,28	0,42	0,57
	F	<b>13,54</b>	<b>13,72</b>	<b>3,63</b>	<b>7,38</b>	<b>4,88</b>	1,92
	$F_{0.05}=2,93$						
Väetamine × Lupjamine Fertilization × Liming	F	0,99	0,17	0,37	1,07	<b>3,03</b>	2,28
	$F_{0.05}=2,43$						

positiivne), siis võib arvata, et nendes kihtides võisid tulemusi mõjutada leethorisondi sopid. Neid mõõda oli magneesiumi migratsioon ulatuslikum, kui aga sopp lõppes, neeldus magneesium raskema lõimisega mullakihis.

Kolme lupjamisfooni keskmiste põhjal võib ütelda, et kasutatud mineraalväetiste liikuva magneesiumi sisaldust alandav mõju ulatus suure tõenäosusega kuni 60 cm sügavuseni. Samas ilmnes, et sõnnik suurendas liikuva magneesiumi sisaldust ülemises 30 cm tuseduses mullakihis.

Liikuva kaltsiumi sisalduse ja liikuva magneesiumi sisalduse suhe (Ca:Mg) künnikihis oli lupjamata mullas väetamata 1,0 ja see suurenes NPK-väetiste mõjul 3,1-le ning NPK+sõnniku mõjul 7,2-le. Iga viie aasta järel lubjatud mulla künnikihis oli see suhe väetamata 14,5, NPK-väetistega väetatult 19,1 ja NPK+sõnnikuga väetatud mullas 18,6.

Madalaim oli see näitaja 30...40 cm sügavusel NPK+sõnniku variantides (1,3...1,9). 50...70 cm sügavusel oli Ca:Mg valdavalt 4...7.

**Liikuva vase sisaldus mullas** (tabel 13) oli madal. Mineraalväetiste kasutamine ei avaldanud liikuva vase sisaldusele mõju ei lupjamata ega enamikul juhtudel ka lubjatud mullas. Kaaliumväetise mõjul esines liikuva vase sisalduse langus 20...30-sentimeetrises mullakihis ja tõus 60...70 cm sügavuses mullakihis, mis on raskesti mõistetav. Sõnnik suurendas liikuva vase sisaldust mulla ülemises 30 cm tuseduses kihis.

Mulla lupjamine erinevatel väetusfoonidel selgepiirilist mõju liikuva vase sisaldusele ei avaldanud, kuid tugevama lupjamise korral domineeris siiski negatiivse mõju tendents, mis 20...30 cm sügavuses mullakihis saavutas nelja väetusfooni keskmisena ka olulise tõenäosuse. Nõrgema lupjamise mõju oli siiski rohkem positiivset laadi, mis suure tõenäosuse oli saavutanud väetamata foonil. Üldse on mulla lupjamise mõjus liikuva vase sisaldusele mõndagi arusaamatut. Nii on erinevatel väetusfoonidel mulla liikuva vase sisalduse kõige madalamad ja kõige kõrgemad keskvaartused tervelt kolmes uuritud sügavuses nõrgema lupjamise variandis, kuid seaduspärasus puudub. 60...70 cm sügavuses leidis eri väetusfoonidel nii lupjamise positiivset kui ka negatiivset mõju.

**Huumusesisaldus** selgub tabelist 14. Seal näeme, et mulla huumusesisaldust on mõjutanud peamiselt väetamine ülemises 40 cm tuseduses mullakihis. NP-väetised kaldusid huumusesisaldust suurendama kõige rohkem nõrgema lupjamise korral. NPK-väetised suurendasid lupjamata mulla huumusesisaldust, vähemal määral ka nõrgemalt lubjatud mulla korral, kuid tugevamalt lubjatud mullal oli NPK-väetiste mõju huumusesisaldusele nõrgalt negatiivne. Sõnniku kasutamine suurendas mulla huumusesisaldust tublisti, kusjuures mõju oli suurem iga viie aasta järel lubjatud mulla korral.

Kolme lupjamisfooni keskmisena tuleb samuti esile eeskätt sõnniku rohke kasutamise suur mõju huumusesisaldusele. Kui mineraalväetiste positiivse mõju tõenäosus ei olnud kuigi suur ja lõppes 20...30 cm sügavusel, siis sõnnik suurendas huumusesisaldust kindlalt veel 30...40 cm sügavusel.

Lupjamisfoonide keskmisena suurenes mulla künnikihi huumusesisaldus NPK-väetiste toimel 1,49 %-lt 1,60 %-le ja NPK+sõnniku toimel 1,95 %-le. Ülemise 40 cm tuseduse mullakihi huumusevaru oli väetamata 61,68, NPK-väetistega väetatult 66,63 ja NPK+sõnniku kasutamisel 80,79 t/ha. Seega tõusis 40 sentimeetrise mullakihi huumusevaru NPK-väetiste toimel 8 %, NPK+sõnniku toimel aga koguni 31 %.

Lupjamine mulla huumusesisaldusele kuigi olulist mõju ei avaldanud, väikesed tõusud ja langused mahtusid enamasti katsevea piiridesse. Ainult NPK foonil oli lupjamise mõju süstemaatiliselt negatiivset laadi, kuid siingi oli huumusesisalduse langus statistiliselt usutav ainult 40...50 cm sügavuses tugevama lupjamise variandil. Samas sügavuses ilmnes huumusesisalduse langus tugevama lupjamise mõjul ka väetusfoonide keskmiste tasemel. Kui NPK foonil kaldus lupjamine huumusesisaldust vähendama, siis NPK+sõnniku foonil lupjamine enamasti suurendas veidi huumusesisaldust. Kõige tõenäolisemaks osutus see 30...40 cm sügavuses mullakihis.

**Üldlämmastiku sisaldus** selgub tabelist 15. Et suurem osa mulla lämmastikust on huumuse koostises, siis kajastuvad huumusesisalduse erinevused ka lämmastikuisalduses.

Tabel 13. Liikuv Cu (1 M HCl-s lahustav), mg/kg × 100 / Mobile Cu (soluble by 1 M HCl), mg/kg × 100

Väetamine Fertilization	Lupjamine Liming				Sügavus, cm Depth, cm					
	1	1	1	1	0...20	20...30	30...40	40...50	50...60	60...70
	9	9	9	9						
	6	6	7	7						
	4	9	4	9						
O	0	0	0	0	77	50	37	57	93	110
	L	0	L	0	67	76	42	62	105	120

	L L L L	72	56	45	60	80	80
NP	0 0 0 0	70	70	40	52	85	103
	L 0 L 0	75	80	55	60	75	110
	L L L L	77	65	47	55	93	92
NPK	0 0 0 0	72	57	47	47	58	70
	L 0 L 0	72	49	45	52	82	125
	L L L L	69	40	47	47	73	115
NPK + sõnnik manure	0 0 0 0	82	65	52	50	73	85
	L 0 L 0	87	67	52	55	60	77
	L L L L	77	56	50	55	78	98
	$s_{\bar{x}}$	3	6	5	7	13	11
	F	<b>2,79</b>	<b>3,91</b>	1,31	0,52	1,19	<b>2,76</b>
	$F_{0.05}=2,09$						
Keskmine Average	0 0 0 0	75	60	44	51	77	92
	L 0 L 0	75	68	48	57	85	108
	L L L L	74	54	47	54	81	96
	$s_{\bar{x}}$	2	3	3	3	6	5
	F	0,37	<b>4,71</b>	0,85	0,98	0,15	2,95
	$F_{0.05}=3,33$						
O	keskmine average	72	61	41	60	93	103
NP	"	74	72	47	54	84	102
NPK	"	71	49	46	49	71	103
NPK+sõnnik manure	"	82	63	51	52	70	87
	$s_{\bar{x}}$	2	4	3	3	7	6
	F	<b>8,76</b>	<b>6,62</b>	2,12	1,90	2,56	2,05
	$F_{0.05}=2,93$						
Väetamine × Lupjamine Fertilization × Liming	F	<b>2,50</b>	0,53	0,77	0,06	1,09	<b>4,13</b>
	$F_{0.05}=2,43$						

Tabel 14. Huumusesisaldus, % × 1000 / Humus content, % × 1000

Väetamine Fertilization	Lupjamine Liming				Sügavus, cm Depth, cm					
	1	1	1	1	0...20	20...30	30...40	40...50	50...60	60...70
	9	9	9	9						
	6	6	7	7						
	4	9	4	9						
O	0	0	0	0	1454	878	191	187	140	128
	L	0	L	0	1487	948	206	182	147	225
	L	L	L	L	1537	951	202	150	109	107

NP	0 0 0 0	1509	1079	217	150	237	314
	L 0 L 0	1605	1140	216	194	147	159
	L L L L	1606	988	187	160	130	115
NPK	0 0 0 0	1668	1145	247	199	133	142
	L 0 L 0	1652	1006	200	170	123	172
	L L L L	1487	945	170	135	114	134
NPK + sõnnik manure	0 0 0 0	1958	1186	209	157	143	150
	L 0 L 0	1913	1255	284	162	130	164
	L L L L	1983	1249	268	152	141	108
	$\bar{s}_x$	64	76	26	16	39	65
	F	<b>8,88</b>	<b>2,86</b>	1,74	1,50	0,68	0,83
	$F_{0.05}=2,09$						
Keskmine Average	0 0 0 0	1647	1072	216	173	163	183
	L 0 L 0	1664	1087	226	177	137	180
	L L L L	1653	1033	207	149	123	116
	$\bar{s}_x$	32	36	10	7	19	32
	F	0,07	0,59	1,00	<b>4,35</b>	1,34	1,39
	$F_{0.05}=3,33$						
O	keskmine average	1493	926	200	173	132	153
NP	"	1573	1069	207	168	171	196
NPK	"	1602	1032	206	168	123	150
NPK+sõnnik manure	"	1951	1230	254	157	138	141
	$\bar{s}_x$	37	42	11	8	21	37
	F	<b>30,08</b>	<b>9,20</b>	<b>4,80</b>	0,63	0,92	0,44
	$F_{0.05}=2,93$						
Väetamine x Lupjamine Fertilization x Liming	F	1,28	1,05	<b>2,61</b>	1,71	0,51	0,83
	$F_{0.05}=2,43$						

Tabel 15. Lämmastikuisaldus, % × 10000 / Nitrogen content, % × 10000

Väetamine Fertilization	Lupjamine Liming				Sügavus, cm Depth, cm			
	1	1	1	1	0...20		20...30	30...40
	9	9	9	9				
	6	6	7	7				
	4	9	4	9				
O	0 0 0 0	824	526	181				
	L 0 L 0	826	566	228				
	L L L L	842	556	193				

NP	0 0 0 0	852	589	221
	L 0 L 0	932	635	256
	L L L L	891	572	197
NPK	0 0 0 0	884	615	237
	L 0 L 0	877	551	214
	L L L L	860	533	181
NPK + sõnnik manure	0 0 0 0	1051	636	237
	L 0 L 0	1047	655	214
	L L L L	1056	683	242
	$\bar{s}_x$	36	35	29
	F	<b>6,13</b>	<b>2,14</b>	1,71
	$F_{0.05}=2,09$			
Keskmine Average	0 0 0 0	903	591	219
	L 0 L 0	920	602	228
	L L L L	912	586	203
	$\bar{s}_x$	17	18	13
	F	1,44	2,24	2,24
	$F_{0.05}=3,33$			
O	keskmine average	831	549	201
NP	"	892	599	225
NPK	"	874	566	211
NPK+sõnnik manure	"	1051	658	231
	$\bar{s}_x$	19	21	15
	F	<b>24,52</b>	<b>5,42</b>	0,84
	$F_{0.05}=2,93$			

Tabelist selgubki, et mulla lupjamine üldlämmastiku sisaldust oluliselt ei suurendanud. NPK-väetiste positiivse mõju tõenäosus mulla lämmastiksisaldusele jäi madalaks, kuid NP-väetiste mõju osutus oluliseks 0...30 cm sügavuses. Sõnnik suurendas lämmastiksisaldust tublisti künnikihis ja lubjatud mullas ka 20...30 cm sügavusel.

Ülemise 30 cm tuseduse mullakihi lämmastikvaru suurenes NPK-väetiste mõjul orienteerivalt 154 kg, sõnniku mõjul aga 669 kg võrra hektari kohta.

### Kokkuvõte ja järeldused

Madala viljakuse ja suure happesusega ning taimedele omastatavate toiteainete poolst vaese kaheosalise lõimisega (saviliiv liivsavi) parasniiske põllumulla süstemaatiline lupjamine tolmpõlevkivituha vähendas 20 aasta jooksul mulla happesust ülemises 40 cm tuseduses mullakihis. Samas suurenes lupjamise mõjul asendatavate aluste sisaldus ja küllastusaste.

Alates 1964. aastast iga kümne aasta tagant poole normiga läbi viidud lupjamise toime oli mulla künnikihi  $pH_{KCl}$  suurenenud 0,54 ühiku võrra, iga viie aasta tagant antud poole lubjanormi toime aga 1,23 ühiku võrra. Künnikihi mulla hüdrolüütiline happesus vähenes nõrgema lupjamise korral keskmiselt 1,24 mg-ekv/100 g ehk 29 %, tugevama lupjamise toime aga 2,33 mg-ekv/100 g ehk 54 %. Seejuures vähenes asendushappesus nõrgema

lupjamise toimel 85 % ja tugevama lupjamise toimel 93 %, liikuva alumiiniumi sisaldus aga vähenes vastavalt 89 % ja 96 %. Künnikihi küllastusaste suurenes lupjamise toimel 38 %-lt vastavalt 58 %-le ja 75 %-le.

Nagu mulla happesuse puhul, nii ka teistele mulla omadustele oli tugevama lupjamise mõju suurem kui nõrgema lupjamise mõju. Üldiselt võib konstateerida, et lupjamine suurendas künnikihi mulla neelamismahutavust. Lupjamine vähendas mulla liikuva fosfori sisaldust ülemises 40 cm tuseduses mullakihis. Liikuva kaaliumi sisaldus vähenes lupjamise toimel 30...70 cm sügavuses mullas. Liikuva kaltsiumi sisaldus suurenes lupjamise toimel ülemises 30 cm tuseduses mullakihis, liikuva magneesiumi sisalduse suurenemist täheldati aga 40-sentimeetrisel mullakihis. Liikuva vase sisaldus vähenes tugevama lupjamise mõjul 20...30 cm sügavuses mullakihis.

Huumuse- ja lämmastiksisaldust mõjutas mulla lupjamine vähe. Ainult NPK foonil alandas lupjamine mulla huumusesisaldust. NPK+sõnniku foonil mõjus lupjamine mulla huumusesisaldusele positiivselt.

Happelise iseloomuga mineraalväetiste süstemaatiline kasutamine suurendas mulla asendushappesust ja liikuva alumiiniumi sisaldust ülemises 30 cm tuseduses mullakihis. Hüdrofüütilist happesust suurendasid NPK-väetised künnikihi mullas, vähendades samas asendatavate aluste sisaldust ning küllastusastet.

NP-väetised suurendasid liikuva fosfori sisaldust ülemises 30 cm tuseduses mullakihis ning vähendasid liikuva kaaliumi sisaldust suuresti künnikihis ja vähemal määral kogu ülejäänud uuritud mullakihis. Kaaliumväetise kasutamine suurendas liikuva kaaliumi sisaldust kogu uuritud 70 cm tuseduses mullakihis, eriti aga künnikihis. NP-väetised suurendasid ja K-väetis vähendas liikuva kaltsiumi sisaldust ülemises 30 cm tuseduses mullakihis. Liikuva magneesiumi sisaldus vähenes NPK-väetiste mõjul ülemises 60 cm tuseduses mullakihis. Mineraalväetiste süstemaatilisel kasutamisel ilmnis 0...30-sentimeetrisel mullakihis huumuse- ja lämmastiksisalduse napp tõus.

Sõnniku rohke kasutamine ei mõjutanud kuigi märgatavalt mulla pH-d ega hüdrofüütilist happesust, kuid vähendas oluliselt asendushappesust ja liikuva alumiiniumi sisaldust ülemises 30 cm tuseduses mullakihis. Samas mullakihis suurenes sõnniku mõjul asendatavate aluste sisaldus ja neelamismahutavus. Künnikihis suurenes sõnniku mõjul ka mulla küllastusaste ja liikuva kaltsiumi sisaldus.

Sõnniku süstemaatiline kasutamine suurendas liikuva kaaliumi sisaldust kogu uuritud 70 cm tuseduses mullakihis, liikuva fosfori, liikuva magneesiumi ja liikuva vase sisaldust aga ülemises 30-sentimeetrisel mullakihis. Mulla huumusesisaldus suurenes sõnniku mõjul tublisti ülemises 40 cm tuseduses mullakihis, lämmastiksisalduse usutavat tõusu täheldati aga 30-sentimeetrisel mullakihis.

Antud pikaajalises põldkatses tehtud mullaanalüüside tulemuste põhjal võib järeldada, et liigse happesuse all kannatavate ja taimetoiteainete ning huumuse poolest vaeste põllumuldade agrokeemiliste omaduste parandamise esmatähtsateks abinõudeks on lupjamine ja süstemaatiline sõnniku kasutamine. Lubiväetise vähendatud normide harvast kasutamisest (pool normi iga 10 aasta tagant) ei piisa, vaja on lubjata täisnormile vastava kogusega või sagedamini väiksemate normidega. Mulla omaduste kiirema parandamise seisukohast on vaja sõnnikut kasutada mitu korda rohkem praegusest Eesti keskmisest sõnniku kasutamise tasemest.

Mineraalväetiste kasutamine on taimetoiteainete vaestel muldadel saakide tõstmiseks kindlasti väga vajalik, kuid seejuures tuleb arvestada, et füsioloogiliselt happeliste mineraalväetiste süstemaatiline kasutamine suurendab mulla happesust. Füsioloogiliselt happeliste mineraalväetiste kasutamisega liigse happesusega muldadel peab kindlasti kaasnema süstemaatiline sõnniku kasutamine ja lupjamine.

NPK-mineraalväetised ja muldade lupjamine suurendavad põllukultuuride saake tublisti, sageli isegi mitu korda. Suuremate saakide korral on taimede juurtemass suurem ja sügavam, mis tingib taimetoiteainete ulatuslikuma omastamise künnikihi all paiknevatest mullakihtidest. Samuti suureneb väetiste mõjul ainete väljaleostumine. See võib aastate jooksul põhjustada mulla märgatava vaesumise mõne muu toiteelemendi, näiteks magneesiumi või mikroelementide poolest ja esile kutsuda nende juurdeandmise vajaduse, mida varem madalate saakide korral ei täheldatud.

Käesolevad andmed kinnitavad, et lubiväetisega mulda antud kaltsiumi liikuvus on isegi madala neelamismahutavusega mullas aeglane. Seetõttu on mulla lupjamisel, eriti püsiluhtuuride nagu kultuurrohumaa ja viljapuu- ning marjaaedade rajamise käigus vaja lubiväetis mullaga segada.

## THE EFFECT OF 20 YEARS OF REGULAR LIMING AND FERTILIZATION ON SOIL PROPERTIES

E. Turbas

### Summary

Regular liming of a strongly acid low in humus loamy sand poor in plant food nutrients with half a norm of pulverized oil shale ashes decreased soil acidity in the upper layer of 40 cm thickness as well as the content of available P in the upper 40 cm thickness and that of available K in the depth of 30 to 70 cm. The content of mobile Ca increased in the upper 30 cm soil layer under the influence of liming as well as that of mobile Mg to the depth of 40 cm.

Systematic application of NPK fertilizers which are of an acid character increased soil acidity in the upper soil layer of 30 cm thickness. Under the influence of NPK fertilizers the content of mobile P increased to the depth of 30 cm, that of mobile K to the depth of 60 cm whereas the content of mobile Mg decreased in the upper soil layer of 60 cm thickness.

Abundant application of farmyard manure (an average of 16 tons per hectare in a year) decreased soil acidity in the upper 30 cm layer. Manure increased the content of exchangeable bases and cation-exchange capacity in the soil layer of the same thickness. Manure also increased the base saturation percentage and content of mobile Ca in the plough layer.

The regular use of farmyard manure increased the content of mobile K in the whole 70-cm-thick soil layer investigated. Contents of available P, mobile Mg, mobile Ca and total nitrogen increased in the upper 30-cm-thick soil layer as an effect of manure application. As a result of the use of manure the humus content increased in the upper 40-cm-thick soil layer.

## ВЛИЯНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ИЗВЕСТКОВАНИЯ И УДОБРЕНИЯ (в течение 20 лет) НА СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Э. Турбас

### Резюме

На сильнокислой малогумусной, бедной подвижными питательными веществами супесчаной почве систематическое известкование пылевидной сланцевой золой по половинной норме извести снижало кислотность в верхнем 40 см слое почвы. Известкование снижало содержание подвижного фосфора в верхнем 40 см слое почвы, а содержание подвижного калия — на глубине 30...70 см. Под воздействием известкования повышалось содержание подвижного кальция в верхнем 30 см слое почвы, а содержание подвижного магния — до глубины 40 см.



Кислый набор минеральных удобрений (НРК) повышал кислотность в 30 см слое почвы, а в 20 см слое — снижал содержание обменных оснований и степень насыщенности почвы обменными основаниями. НРК-удобрения повышали содержание подвижного фосфора в почве до глубины 30 см, а содержание подвижного калия — до глубины 60 см. Содержание подвижного магния снижалось под воздействием НРК-удобрений верхнем 60 см слое почвы, а содержание подвижного кальция — на глубине 30...50 см.

Частое применение навоза (в среднем 16 т/га за год) привело к снижению обменной кислотности и содержания подвижного алюминия в верхнем 30 см слое почвы. Там же увеличивалось под воздействием навоза содержание обменных оснований и ёмкость поглощения, а в пахотном слое увеличилась степень насыщенности и содержания подвижного кальция. Систематическое применение навоза повышало содержание подвижного калия во всём подлежащем исследованию слое почвы глубиной 70 см, а содержани подвижных фосфора, магния и меди — в верхнем 30 см слое почвы. Содержание гумуса заметно повышалось под воздействием навоза в верхнем 40 см слое, а содержание общего азота — в верхнем 30 см слое почвы.