

**KIK projekti nr. 9529**  
**“Granuleeritud põlevkivi keevkihtkatlatuha kasutamine**  
**mullaparendajana – leostusuuring”**

**Aruanne**



Vastutav täitja: PhD Janek Reinik, Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut

Täitja: PhD Natalja Irha, Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut

Täitja: PhD Katri Ots, Eesti Maaülikool

## Sisukord

Tähtsamad järeldused .....	2
1. Sissejuhatus .....	3
2. Materjalid ja meetodid .....	3
3. Tulemused .....	7
3.1 Tuha mineraloogiline koostis ja ränispekter .....	7
3.2 Meliorandi ja mulla keemiline koostis.....	10
3.3 Leostuskatsed .....	11
3.4 Välikatsete tulemused .....	12
3.5 Mõju puude kasvule .....	15
4. Trendid .....	17
5. Kokkuvõte .....	28
6. Kasutatud kirjandus .....	28

## Tähtsamad järeldused

- Granuleeritud tuhk on keskkonnaohutu.
- Granuleeritud tuhk kiirendab puude kasvu kuni kolm korda.

## 1. Sissejuhatus

Sihtasutuse Keskkonnainvesteeringute Keskus (KIK) ja Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudi (KBFI) vahel sõlmiti 07.12.2015 leping projekti “Granuleeritud põlevkivi keevkihtkatlatuha kasutamine mullaparendajana – leostusuuring” täitmiseks.

Käesoleva töö eesmärk on hinnata Eesti Energia Narva Elektriijaamade põlevkivi keevkihtkatelde tuha keskkonnaohutust kasutamisel põllumajanduses ja metsanduses mullaparendajana.

Aruandes on esitatud välikatsete tulemused – aprill- oktoober 2016.

## 2. Materjalid ja meetodid

Algmaterjalina kasutati Eesti Elektriijaama keevkihtkatla elektrifiltri esimese välja põlevkivituhka. Proov võeti 11. jaanuaril 2016 kell 11:30 8. bloki elektrifiltri 1-selt väljalt.

Tabel 1. Andmed originaaltuhaproovi passist (Eesti Energia AS)

Aeg	Koht	Parameeter			
		CaO <sub>free</sub> , %	Cl, %	S, m <sup>2</sup> /kg	
11.01. 2016	13-30	8K-1, 1поле (испыт.)	10.80	0.47	215

Tuha mineraloogilise koostise ja ränispektri määramiseks kasutati X`Pert Powder diffraktomeetrit (PANalytical) ja AMX-360 spektromeetrit (Bruker) Rietveldi analüüsiks kasutati HighScore Plus programmi (PANalytical).

Materjali granuleerimiseks kasutati Na-alginaati (Sigma-Aldrich) ja CaCl<sub>2</sub> (Lach-Ner). Tuha granuleerimiseks töötati välja uus meetod. Originaaltuhk pesti kraaniveega kuni leovee pH<10, seejärel segati tuhk 2% Na-alginaadi lahusega. Suspensioon pumbati peristaatilise pumbaga CaCl<sub>2</sub> lahusesse, samal ajal lahust segades. Tuha graanulid jäid lahusesse tahkestuma ca 1 h. Seejärel graanulid pesti kraaniveega, sõeluti välja ja kuivatati toatemperatuuril. Graanulitele lisati väetiselahust (2 g/L, Kastelulannoite, Kekkila). Piltlikult on meliorandi valmistamise protsess esitatud alljärgneval joonisel Joonis 1).



Joonis 1. Tuha granuleerimine.

Turbamulla, meliorandi ja muld/meliorant leostuskatsed viidi läbi KBFI laboris vastavalt EN 12457-2:2002.

Välitööd viidi läbi Maaülikooli spetsialistide poolt. Granuleeritud tuhakatsete läbiviimiseks valiti Kostivere turbamaardla lääneosas asuv Maardu mahajäetud freesturbaala (Jõelähtme vald, Harju mk), mis kuulub RMK-le. Turba pH varieerub endisel turbatootmisalal vahemikus 2.87–4.76 (Ramst jt. 2005). Maardu turbatootmisalal lõpetati kaevandamine 30 aastat tagasi. Tänapäevaks on väljakud halvasti taimeestunud, kuivenduskraavide ääres kasvavad peamiselt kased ja väljakute keskosas hajusalt männid. Kraavipõhjad kasvavad taimeestik on mitmekesine (ubaleht, soovõhk, ujuv vesisirbik, turbasammal). Väljakutel kasvavad järgmised taimeliigid: kanarbik, tupp-villpea, harilik kukemari, sookail, kattedkold, sinikas. Väljakute äärealadel esineb suurte padjanditena porosamblikke, aga esineb ka raba-karusammalt. Osaliselt on turba pealmine kiht mineraliseerunud.

Tuha graanulid levitati  $1\text{m}^2$  suurustele aladele vastavalt 1 kg, 2 kg ja 3 kg 19.aprillil 2016. Üks ruut jäeti loodusliku fooni määramiseks (Joonis 2).

Istutusmaterjaliks valiti RMK Tartu Puukoolis kasvatatud 1-aastased arukase (*Betula pendula* Roth) paljasjuursed taimed. Tuhagraanulite segamine turbasse toimus enne istutustöid ruutsüsteemi näol (taime ümber  $1 \times 1$  m ulatuses). Kasetaimed istutati 2016. aasta kevadel käsitsi ritta seaduga 2 m.

Septembris 2016 mõõdeti peale kasvu formeerumist katsepuude kõrguskasv ( $n=1-13$ , cm) mõõdulatiga ja juurekaela diameeter ( $n=1-13$ , mm) elektroonilise nihkkaliibriga. Vahemõõtmine teostati augustikuus.

Turba mikrobioloogilise aktiivsuse esmaseks hindamiseks teostati termomeetriga turba pealmise kihi temperatuuri mõõtmine juulis, augustis ja septembris 2016.



Joonis 2. Katseruudud Maardu freesturbaväljal (alt 3, 2, 1 ja 0 kg/m<sup>2</sup>).

Leovee kogumiseks paigutati katseruutude alla lüsimeetrid (20x30 cm) ja nõrgvesi koguti 1 L plastikpudelitesse (Joonis 3). Ruudu kõrvale kaevatud kaevis täideti veeproovi kogumise ajaks pinnasega. Proovid võeti 5. mail, 28 augustil ja 23. septembril 2016.

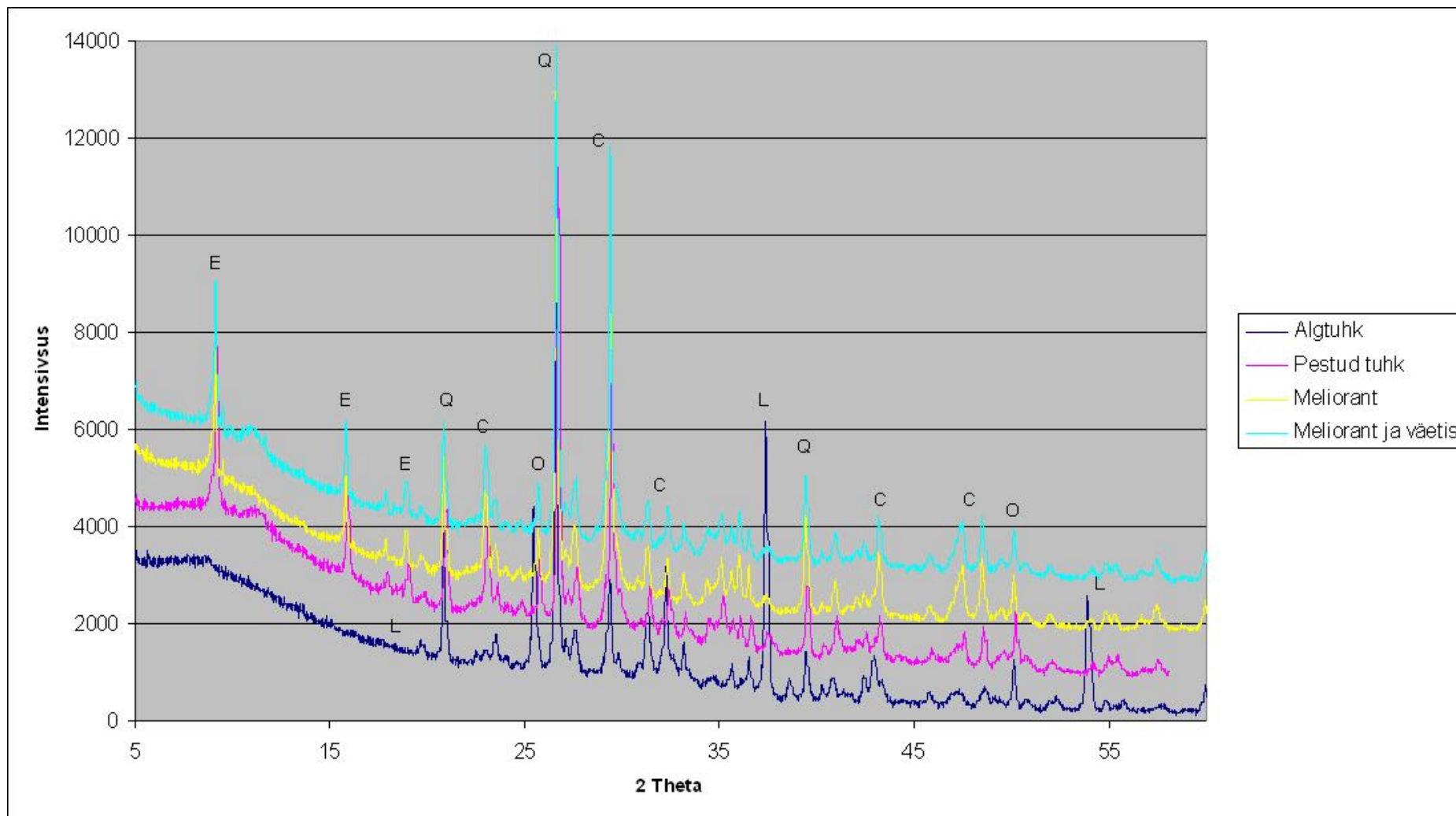


Joonis 3. Paigaldatud lüsimeeter.

### 3. Tulemused

#### 3.1 Tuha mineraloogiline koostis ja ränispekter

Tuha ja meliorandi röntgen-difraktogramm on toodud joonisel 4 ja mineraloogiline koostis tabelis 2.

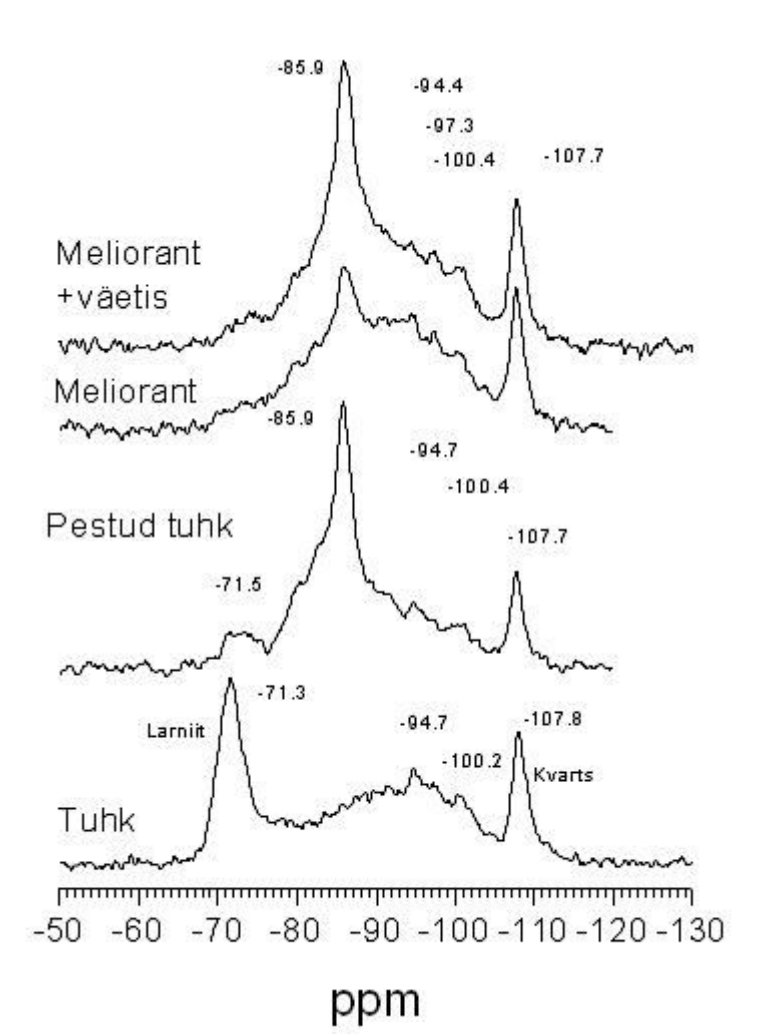


Joonis 4. Tuhk ja meliorandi difraktogrammid: E – etingsiit, Q – kvarts, C – kaltsiit, L – lubi, O - ortoklaas

Tabel 2 . Tuha ja meliorandi mineraloogiline koostis

Mineraal	Keemiline koostis	Algtuhk	Pestud tuhk	Meliorant	Meliorant ja väetis
Lubi	Ca1 O1	16	0	0	0
Kvarts	O2 Si1	26.4	19.7	21.6	21.3
Kaltsiit	C1 Ca1 O3	11.7	21.3	36.1	32.8
Ettringiit	H64 Al2 Ca6 O50 S3	0.3	33.2	20.6	23.7
Hematiit	Fe2 O3	2.4	1.5	1.7	1.5
Ortoklaas	Al1 K1 O8 Si3	14.4	18.2	16.4	17.2
Anhüdroiit	Ca1 O4 S1	11.5	0	0.2	0
Larniit	Ca2 O4 Si1	12.2	1.6	0	0.4
Gehleniit	Al1.25 Ca1.96 Fe0.12 Mg0.24 Na0.05 O7 Si1.39	5.1	4.4	3.5	3.2

Tuha ja meliorandi tuumamagnetresonants ränispektrid on toodud joonisel 5.



Joonis 5. Tuha ja meliorandi ränispektrid.

### 3.2 Meliorandi ja mulla keemiline koostis

Meliorant+väetise (edaspidi meliorant) graanulite ja freesturba keemiline koostis määrati GBA laboratooriumis (Saksamaa). Tulemused on toodud tabelis 3.

Tabel 3. Turbamulla ja meliorandi keemiline koostis

Parameeter	Ühik	Turbamuld	Meliorant (+ väetis)
Kuivaine sisaldus	massi-%	17.6	92
Koguorgaaniline süsinik	massi-%	60	0.54
pH		4.6	9.4
Elektrijuhtivus	mS/m	6.5	320
Lämmastik	mg/kg	12000	1100
Kaalium	mg/kg	93	9900
Fosfor	mg/kg	230	690
Kloriid	mg/kg	67	373
Väävel	mg/kg	pa	14000
Sulfaat	mg/kg	21	pa
Fluoriid	mg/kg	<1.5	1.4
Naatrium	mg/kg	390	1800
Kaltsium	mg/kg	6340	144500
Magneesium	mg/kg	372	31580
Alumiinium	mg/kg	503	27430
Räni	mg/kg	74	720
Titaan	mg/kg	16	950
Mangaan	mg/kg	pa	443
Raud	mg/kg	343	27590
Arseen	mg/kg	1.3	11
Baarium	mg/kg	16	147
Kaadmium	mg/kg	<0.1	<0.1
Kroom	mg/kg	<1.0	34
Vask	mg/kg	5.2	17
Elavhõbe	mg/kg	<0.1	<0.1
Molübdeen	mg/kg	<1.0	2.9
Nikkel	mg/kg	<1.0	24
Plii	mg/kg	2.3	42
Rubiidium	mg/kg	0.33	35
Antimon	mg/kg	<1.0	<1.0
Strontsium	mg/kg	11	120
Tsink	mg/kg	21	119
Vanaadium	mg/kg	1.9	pa
Koobalt	mg/kg	pa	5.1

pa – pole analüüsitud

### 3.3 Leostuskatsed

Turbamulla, meliorandi ja meliorant/turbamuld (1:10) leostuskatse tulemused on toodud tabelis 4. NB! Meliorandist leostub sulfaate üle inertsetele jäätmete seatud piirväärtuse.

Tabel 4. Meliorandist väljaleostuvate ainete koguhulgad mg/kg<sub>dw</sub> va. pH ja EC

Parameeter	Turbamuld	Meliorant	Meliorant/turbamuld 1:10
pH	5.2	10.7	8.2
EC, mS/m	894	2700	1863
DOC	55	93	34
Kloriidid	pa	1330	pa
Fluoriid	pa	15	pa
Sulfaadid	pa	<b>13100</b>	pa
Nitraadid	pa	3.8	pa
Ammoonium	pa	0.82	pa
Lämmastik, kogu	pa	5.9	pa
Kaalium	43	440	200
Naatrium	8.7	110	40
Kaltsium	1300	5290	2850
Magneesium	170	280	970
Alumiinium	7.7	5.1	0.13
Fosfor, kogu	pa	<0.5	pa
Räni	23	57	110
Titaan	pa	0.06	pa
Raud, kogu	1.7	1.2	0.25
Arseen	0.0054	0.0052	0.0085
Baarium	2.4	0.62	0.93
Kaadmium	<0.003	<0.003	<0.003
Kroom, kogu	<0.01	0.51	<0.01
Vask	0.023	<0.01	0.015
Elavhõbe	<0.002	<0.002	<0.002
Molübdeen	<0.01	0.11	0.1
Nikkel	0.019	<0.01	0.016
Plii	<0.01	<0.01	<0.01
Rubiidium	pa	1.2	pa
Antimon	pa	0.012	pa
Strontsium	1.5	7.1	3.5
Tsink	0.49	<0.1	0.1
Vanaadium	pa	0.097	pa

pa – pole analüüsitud

### 3.4 Välikatsete tulemused

Leovee analüüside tulemused

Välikatsetel 19.04-05.05.2016 kogutud leovee keemiliste analüüside tulemused on toodud tabelis 5.

Tabel 5. Lüsimeetrite leovee keemiline koostis mg/L va. pH ja EC - 05.05.2016

Parameeter	Looduslik foon	KBFI meliorant			EE meliorant		
		1 kg/m <sup>2</sup>	2 kg/m <sup>2</sup>	3 kg/m <sup>2</sup>	1 kg/m <sup>2</sup>	2 kg/m <sup>2</sup>	3 kg/m <sup>2</sup>
pH	2.8	2.9	3.4	2.9	2.8	2.8	pa
EC, mS/m	59.3	78.7	91.5	60.5	83.7	68.7	pa
DOC	90	70	pa	70	120	79	71
Kloriidid	1.3	2.8	pa	1.3	1.5	1.3	1.3
Fluoriid	<0.15	<0.15	pa	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15
Sulfaadid	2.5	12	pa	2.4	3.2	2.1	2.1
Nitraadid	<0.5	<0.5	pa	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Ammoonium	0.29	0.22	pa	0.21	0.25	0.41	0.49
Lämmastik, kogu	1.6	1.4	pa	1.8	2	2.2	5
Kaalium	0.11	0.11	0.2	1.3	0.17	<0.1	0.11
Naatrium	0.81	0.66	0.96	0.76	0.72	0.68	0.68
Kaltsium	4.3	3.7	14	3	4.3	2.9	2.5
Magneesium	0.94	1	2.1	0.57	0.91	0.62	0.56
Alumiinium	0.14	0.091	0.13	0.24	0.23	0.1	0.086
Fosfor, kogu	<0.05	<0.05	pa	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Räni	0.26	0.1	0.54	0.14	0.041	0.049	0.048
Titaan	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Raud, kogu	0.12	0.059	0.072	0.22	0.12	0.062	0.045
Arseen	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Baarium	0.022	0.0025	0.0068	0.016	0.0032	0.0019	0.0015
Kaadmium	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Kroom, kogu	0.0034	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Vask	0.0036	0.0012	0.004	0.0042	0.0061	0.0018	0.0011
Elavhõbe	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Molübdeen	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Nikkel	0.07	0.006	0.021	0.023	0.0023	0.0021	0.0028
Plii	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Rubiidium	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Antimon	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Strontsium	0.0098	0.0078	0.032	0.01	0.0079	0.006	0.0063
Tsink	0.0083	0.014	0.021	0.051	0.011	0.011	0.017
Vanaadium	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

pa – pole analüüsitud

Välikatsetel 05.05-28.08.2016 kogutud leovee keemiliste analüüside tulemused on toodud tabelis 6.

Tabel 6. Lüsimeetrite leovee keemiline koostis mg/L va. pH ja EC - 28.08.2016

Parameeter	Looduslik foon	KBFI meliorant			EE meliorant		
		1 kg/m <sup>2</sup>	2 kg/m <sup>2</sup>	3 kg/m <sup>2</sup>	1 kg/m <sup>2</sup>	2 kg/m <sup>2</sup>	3 kg/m <sup>2</sup>
pH	4.0	3.7	5.5	3.8	3.6	3.5	3.5
DOC	12	7.7	6.5	7.5	13	4.7	7.1
Kloriidid	1.4	3.6	8.2	1.5	2.7	11	7.9
Sulfaadid	0.67	62	110	17	47	197	94
Ammoonium	0.29	2.4	1.9	0.45	1.8	2.1	<0.025
Fosfor, kogu	<0.01	0.075	0.054	0.024	0.02	0.094	0.036
Lämmastik, kogu	1.5	3.0	3.3	1.6	3.2	2.8	2.4
Kaalium	0.31	0.83	1.3	0.32	2.0	16	4.9
Naatrium	1.4	2.3	2.8	1.6	1.8	3.7	2.5
Kaltsium	4.3	14	37	5.5	11	43	20
Magneesium	1.2	4.2	10	1.5	3.0	12	5.4
Alumiinium	0.14	0.15	0.25	0.14	0.28	0.099	0.12
Räni	0.44	2.9	6.8	2.3	0.30	1.5	0.5
Raud, kogu	0.36	0.55	0.16	0.21	0.19	0.061	0.97
Arseen	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Baarium	0.0027	0.0081	0.012	0.0028	0.0072	0.0023	0.011
Kaadmium	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Kroom, kogu	0.024	0.005	<0.001	0.0013	0.0011	<0.001	0.0056
Vask	0.0033	0.0030	0.0058	0.0084	<0.001	<0.001	0.0066
Elavhõbe	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Molübdeen	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Nikkel	0.55	0.1	0.034	0.049	0.048	0.074	0.24
Plii	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Strontsium	0.011	0.028	0.067	0.011	0.025	0.092	0.043
Tsink	0.013	0.021	0.015	0.017	0.026	0.017	0.0098

pa – pole analüüsitud

Välikatsetel 28.08-23.09.2016 kogutud leovee keemiliste analüüside tulemused on toodud tabelis 7.

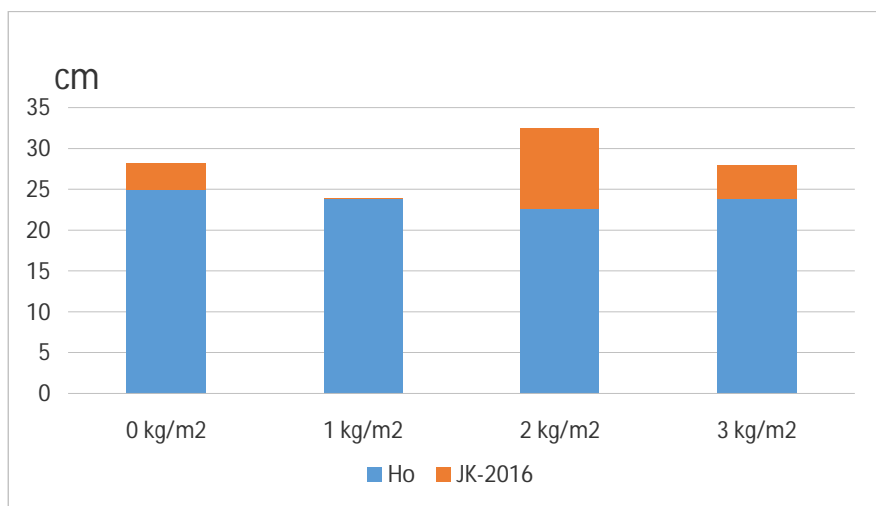
Tabel 7. Lüsimeetrite leovee keemiline koostis mg/L va. pH ja EC - 23.09.2016

Parameeter	Looduslik foon	KBFI meliorant			EE meliorant		
		1 kg/m <sup>2</sup>	2 kg/m <sup>2</sup>	3 kg/m <sup>2</sup>	1 kg/m <sup>2</sup>	2 kg/m <sup>2</sup>	3 kg/m <sup>2</sup>
pH	3.4	3.5	5.9	3.5	3.3	3.3	3.3
EC, mS/m	77.9	113	101	83	167	222	118
DOC	136	133	140	101	166	82	124
Kloriidid	0.83	1.9	pa	1.5	pa	3.2	2.2
Sulfaadid	<0.5	7.5	pa	5.3	pa	44	12
Ammoonium	0.94	0.63	pa	0.77	pa	0.52	1.3
Fosfor, kogu	<0.02	<0.02	pa	0.022	pa	<0.02	0.039
Lämmastik, kogu	5.5	4.2	pa	2.7	pa	1.4	2.2
Kaalium	0.14	0.33	0.77	0.46	0.86	2.1	0.72
Naatrium	0.79	1.3	0.91	0.79	1.1	1.2	0.97
Kaltsium	5.2	5.3	23	4.2	9.4	13	6.0
Magneesium	1.3	1.5	5.7	1.1	2.5	3.2	1.5
Alumiinium	0.21	0.16	0.56	0.14	0.28	0.13	0.15
Räni	0.28	1.8	9.1	1.6	0.63	1.2	0.87
Raud, kogu	0.17	0.59	0.51	0.19	0.4	0.25	0.21
Arseen	<0.0005	<0.0005	0.0023	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Baarium	0.0038	0.0027	0.0055	0.0027	0.0076	0.0073	0.0034
Kaadmium	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Kroom, kogu	0.0013	0.0075	0.0025	0.0015	0.0038	0.0018	0.0015
Vask	0.0095	0.0098	0.0023	0.0035	0.051	0.0027	0.0025
Elavhõbe	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Molübdeen	<0.001	<0.001	0.0058	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Nikkel	0.057	0.32	0.33	0.054	0.26	0.11	0.079
Plii	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.0017	<0.001	<0.001
Strontsium	0.012	0.011	0.025	0.0097	0.021	0.028	0.013
Tsink	<0.005	0.012	0.0086	0.0066	0.037	0.015	0.012

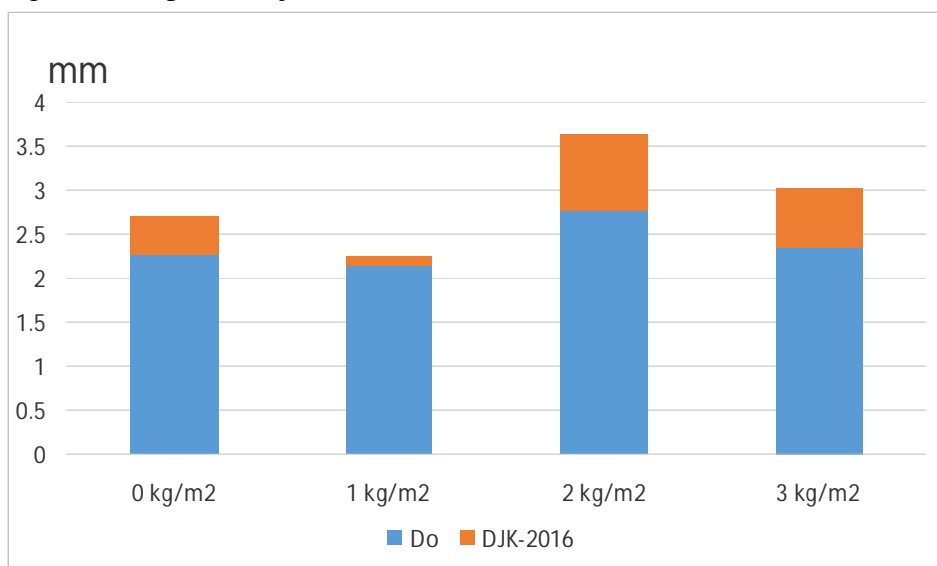
pa – pole analüüsitud

### 3.5 Mõju puude kasvule

Kõige paremad tulemused arukase kasvule ilmnesisid graanuli koguse 2 kg/m<sup>2</sup> puhul: teistel katseruutudel kasvavate puude kasvunäitajaid ületati mitmeid kordi (Joonised 6–5). Puude kõrguse juurdekasv oli vastavalt 0.1 cm (1 kg/m<sup>2</sup>), 9.8 cm (2 kg/m<sup>2</sup>), 4.5 cm (3 kg/m<sup>2</sup>) ja 3.2 cm (Kontroll) (Joonis 6). Juurekaela diameetri juurdekasv oli vastavalt 0.1 mm (1 kg/m<sup>2</sup>), 0.9 mm (2 kg/m<sup>2</sup>), 0.7 mm (3 kg/m<sup>2</sup>) ja 0.4 mm (Kontroll) (Joonis 7).



Joonis 6. Arukase kõrguskasv istutamisel (Ho) ja kõrguse juurdekasv (JK-2016) vegetatsiooniperioodi jooksul.



Joonis 7. Arukase juurekaela diameeter istutamisel (Do) ja diameetri juurdekasv (DJK-2016) vegetatsiooniperioodi jooksul.



Joonis 8. Graanulite mõju arukase kasvule augustis 2016. Graanul kogusega 1 kg/m<sup>2</sup> (vasakul), 2 kg/m<sup>2</sup> (keskel) ja 3 kg/m<sup>2</sup> (paremal).



Joonis 9. Graanulite mõju arukase kasvule septembris 2016. Graanul kogusega 1 kg/m<sup>2</sup> (vasakul), 2 kg/m<sup>2</sup> (keskel) ja 3 kg/m<sup>2</sup> (paremal).

Joonise 8 ja 9 piltide võrdlemisel on näha, et augusti lõpust kuni septembri lõpuni on toimunud oluline muutus katseruutude samblakatvuses – olematu samblakatvus on kõige väiksema tuhakoguse puhul (1 kg/m<sup>2</sup>) ja oluliselt on tõusnud katvus suurima tuhakogusega ruudul (3 kg/m<sup>2</sup>). Teada on, et samblaga kaetus vähendab oluliselt turba mineraliseerumist ja kasvuhoonegaaside emissiooni turbast ning loob paremad niiskustingimused taimede, sh. turbasambla, kasvuks.

Puude kasvule aitab kaasa graanuli kiire lagunemine ja seeläbi taimede kasvuks vajalike toitainete kiire eraldumisega kasvupinnasesse. Juulikuus ehk 3 kuud peale graanuli segamist turbasse oli graanul täielikult lagunenu (joonis 10).



Joonis 10. Turbasse segatud graanuli lagunemise dünaamika – graanul vahetult peale turbasse segamist aprillis (vasakul), juunis (keskel) ja juulis (paremal).

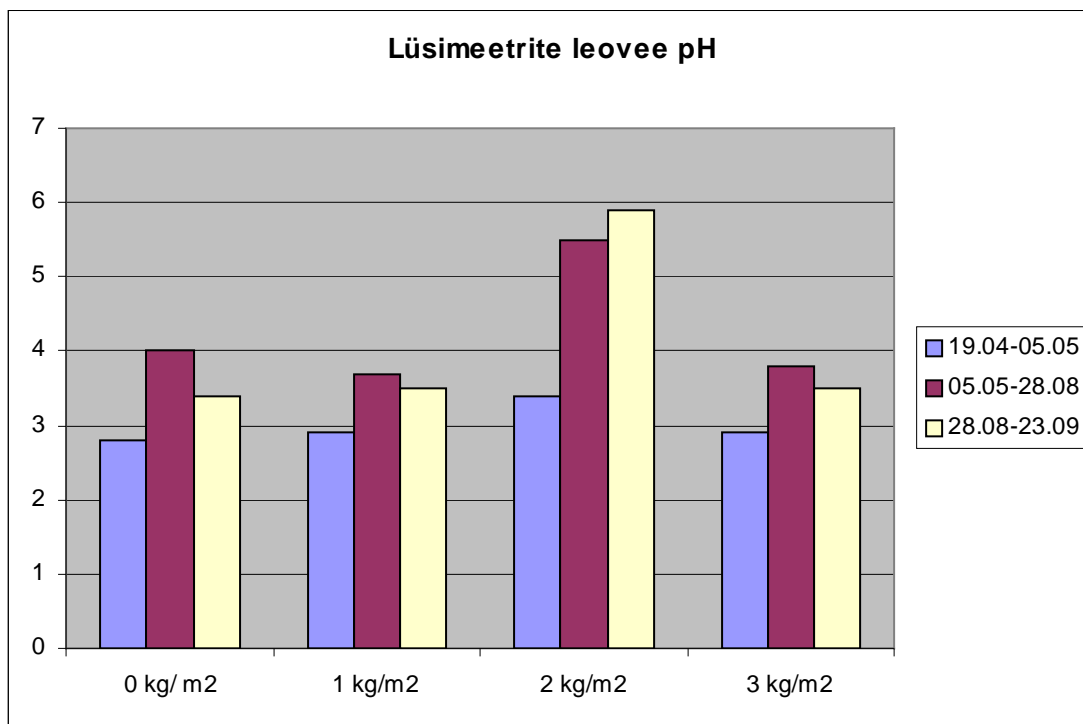
Turbapinna temperatuuride mõõtmine suvekuudel näitas, et aktiveerunud mikrobioloogiliste protsesside tõttu oli tuhagraanulitega töödeldud katseruududel pealmise turbakihi temperatuur 2 kraadi kõrgem kui kontrollruudul. Selline temperatuuride vahe viitab turba pealmises kihis suuremale mikrobioloogilisele aktiivsusele, mis omakorda tõstab toitainete omastatavust taimede poolt ja seeläbi paranevad taimede kasvunäitajad (kõrgus, juurekaela diameeter).

Senised katsetused Eestis on näidanud, et peale tolmja toitainerikka tuha (näiteks puutuhk, puutuhk segus põlevkivituhaga) turbasse segamist järgneb hoogne soontaimede kasv. Põlevkivituha madal P-sisaldus on põhjuseks, miks turba mineraliseerumist takistavat rohttaimestikku ei teki. Kuna granuleeritud tuhkadest on toitainete leostumine aeglane, siis ei täheldatud Maardu katsealadel rohttaimestiku teket.

## 4. Trendid

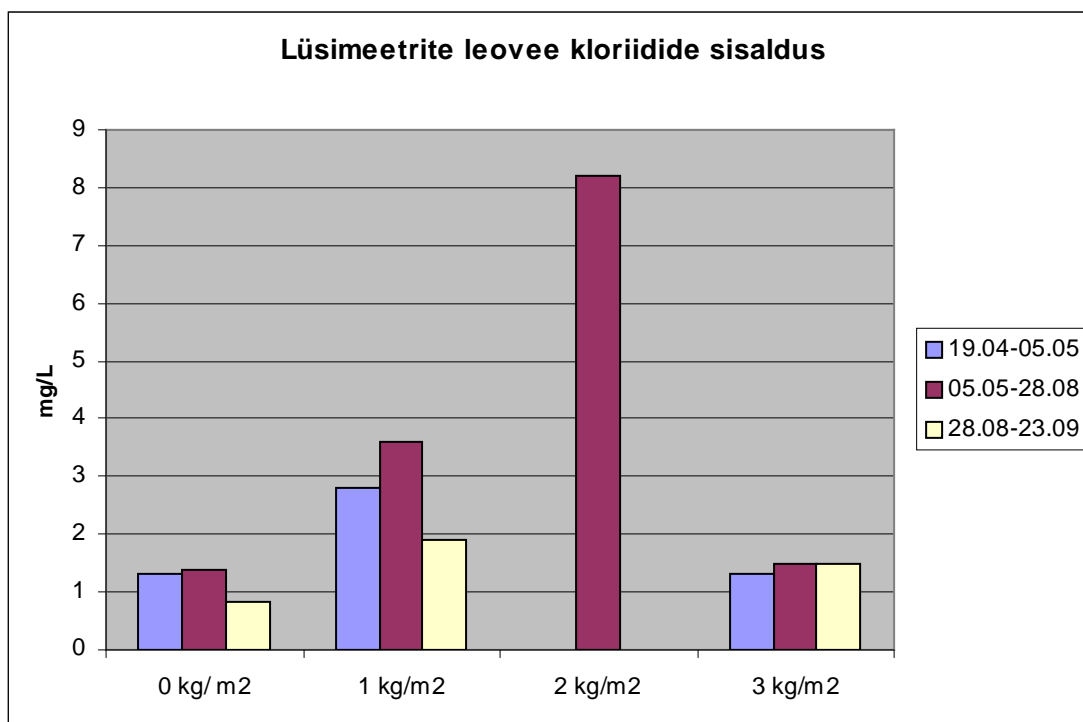
### Üldnäitajad

Graanulite mõju leoveele on kõige tuntavam katseruudul 2 kg/m<sup>2</sup>, kus pH tõuseb ligemale kaks ühikut võrreldes loodusliku fooniga (Joonis 12).

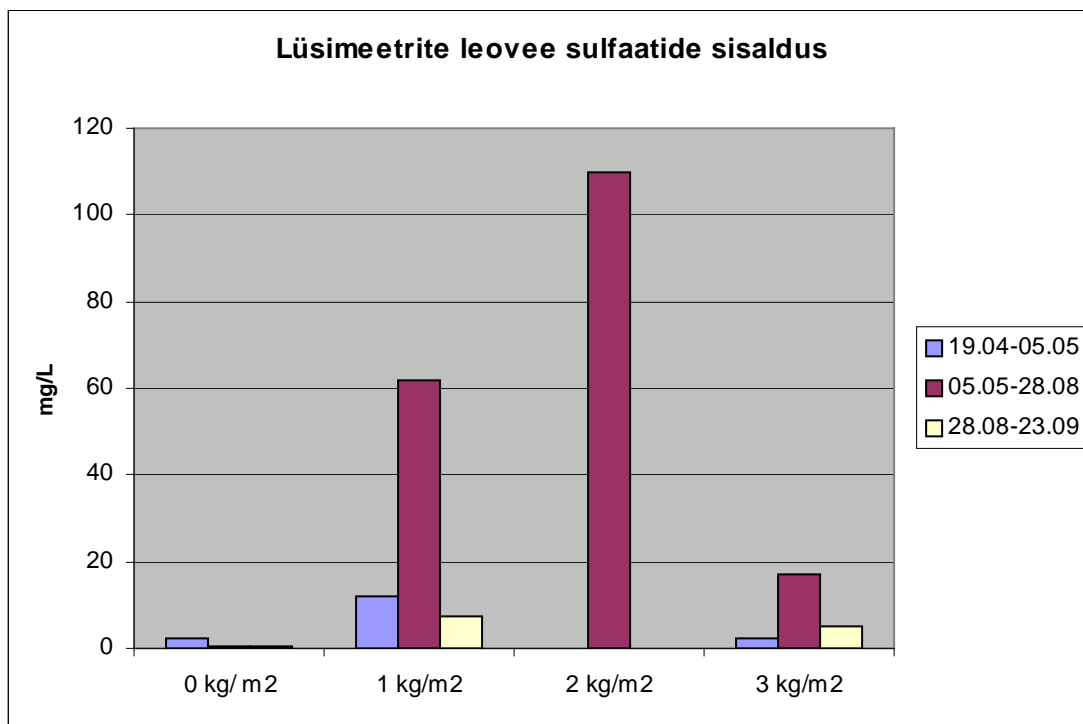


Joonis 12. Lüsimeetrite leovee pH välikatsete perioodil.

Graanulite mõju leoveele on tunda kloriidide ja sulfaatide sisalduse kasvuga pinnase leovees (Joonis 13 ja 14).



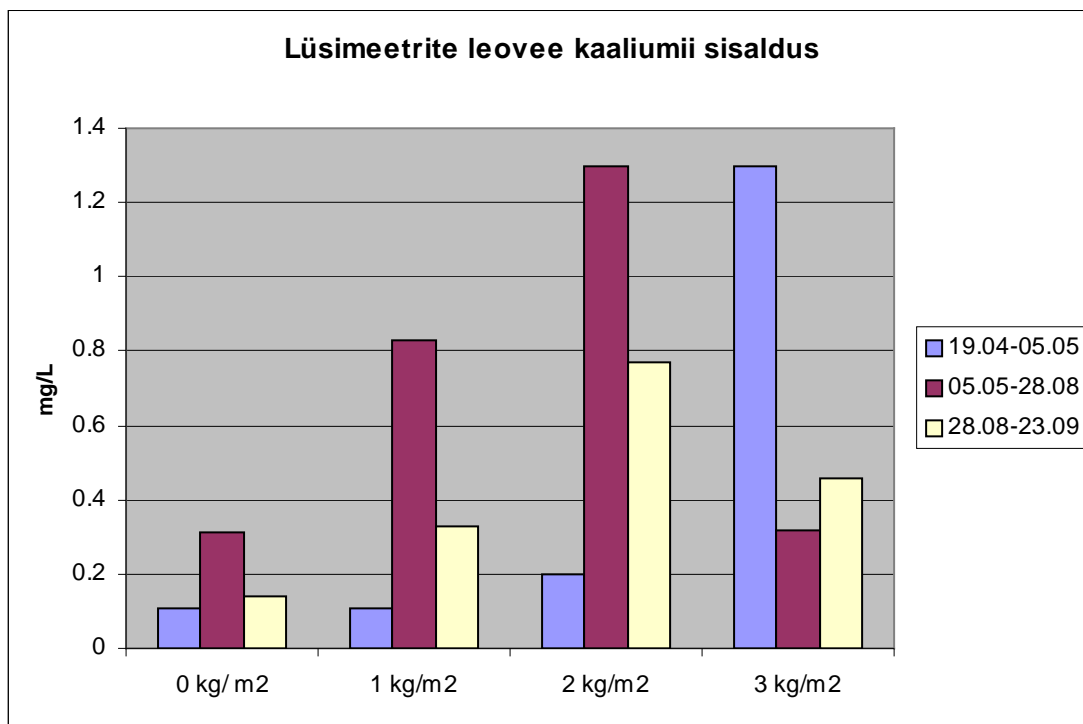
Joonis 13. Lüsimeetrite leovee kloriidide sisaldus välikatsete perioodil.



Joonis 14. Lüsimeetrite leovee sulfaatide sisaldus välikatsete perioodil.

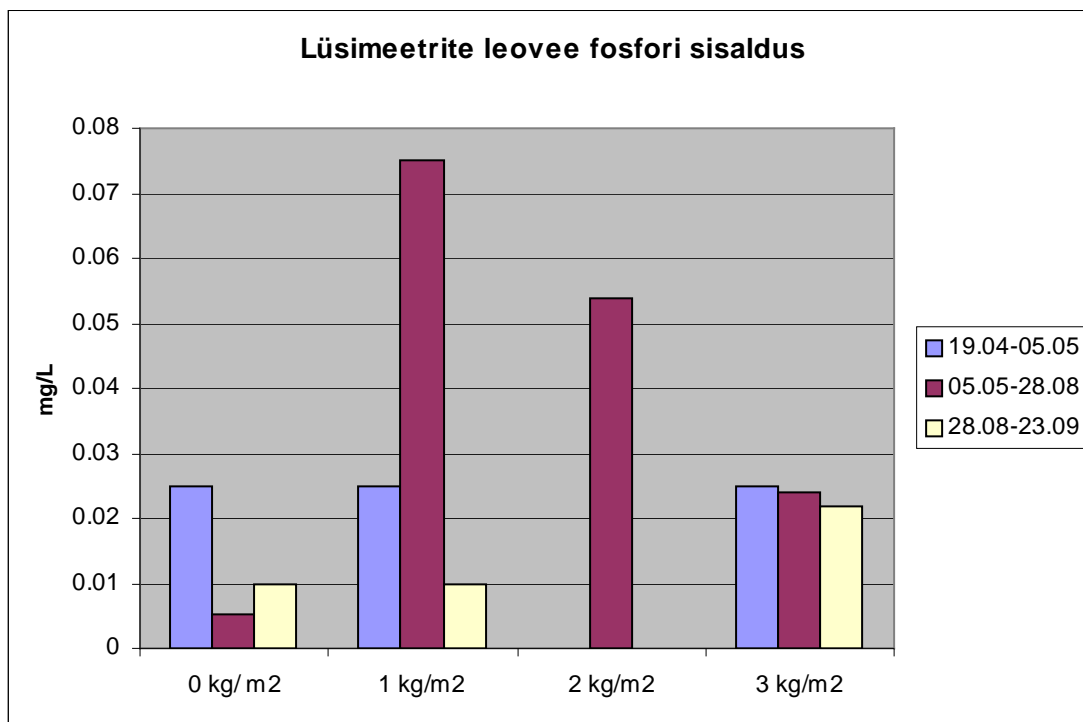
### Mikroelemendid

Võrreldes loodusliku fooniga kasvas graanulite lisamisega kõigi jälgitud mikroelementide sisaldus pinnasevees: kaalium, fosfor, magneesium, kaltsium, naatrium, räni, alumiinium ja raud. Mõnel juhul on kasv märgatav, teisel juhul mitte (Joonis 15-22).

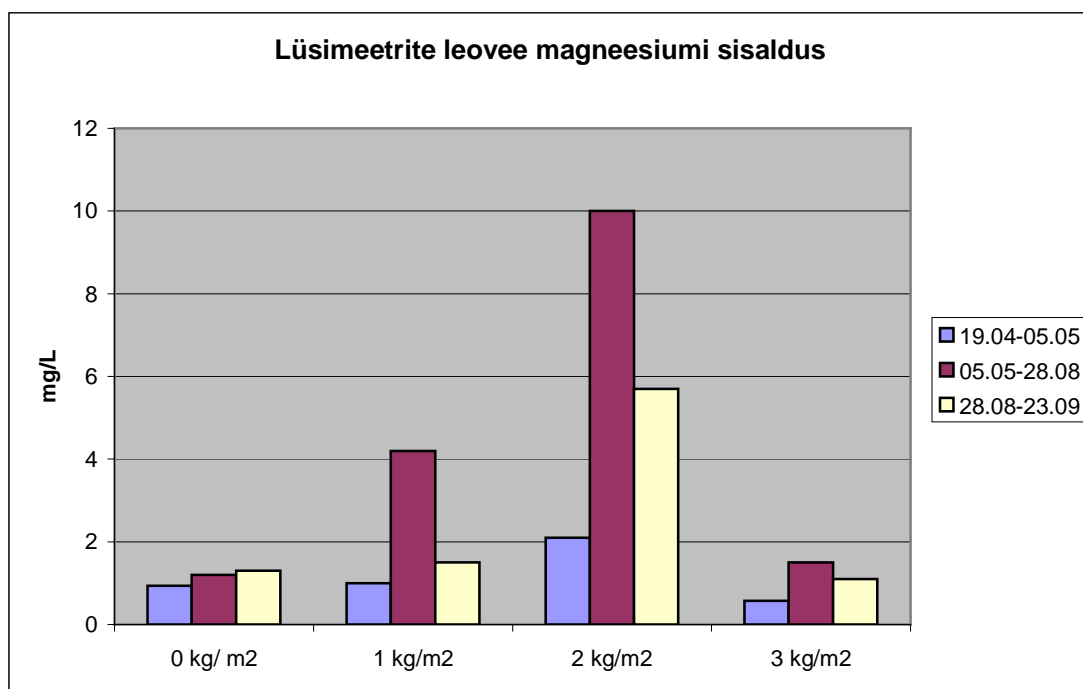


Joonis 15. Lüsimeetrite leovee kaaliumi sisaldus välikatsete perioodil.

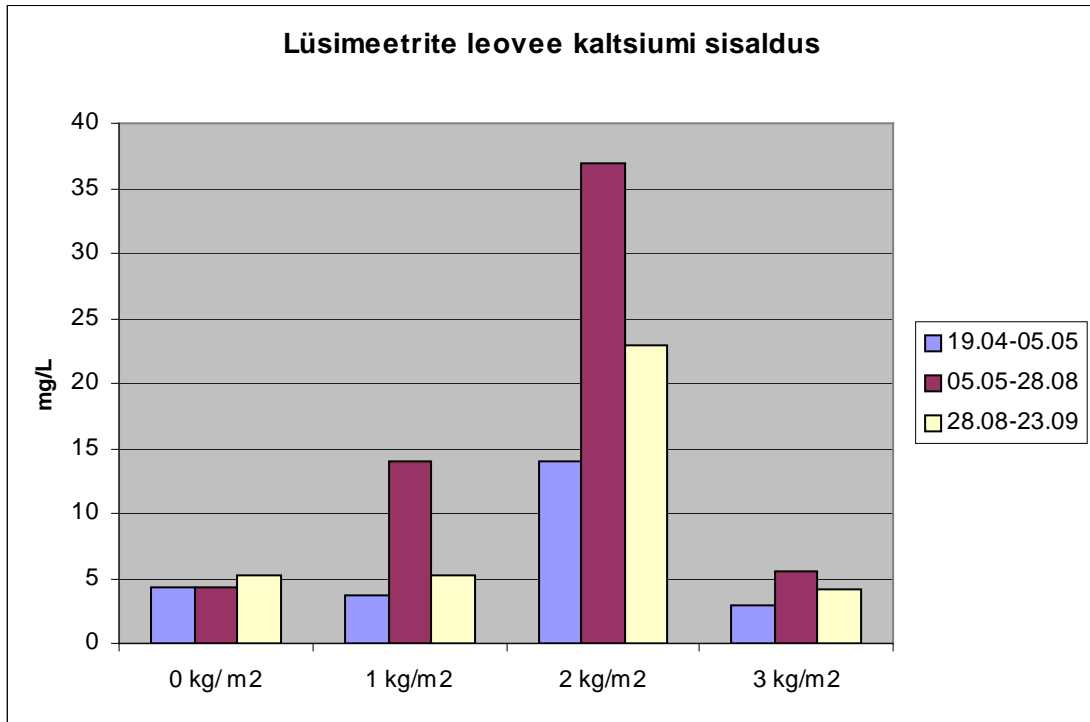
Jooniselt 15 on selgelt näha, et granuleeritud tuha lisamine turbamullale tõstab kaaliumi sisaldust pinnasevees.



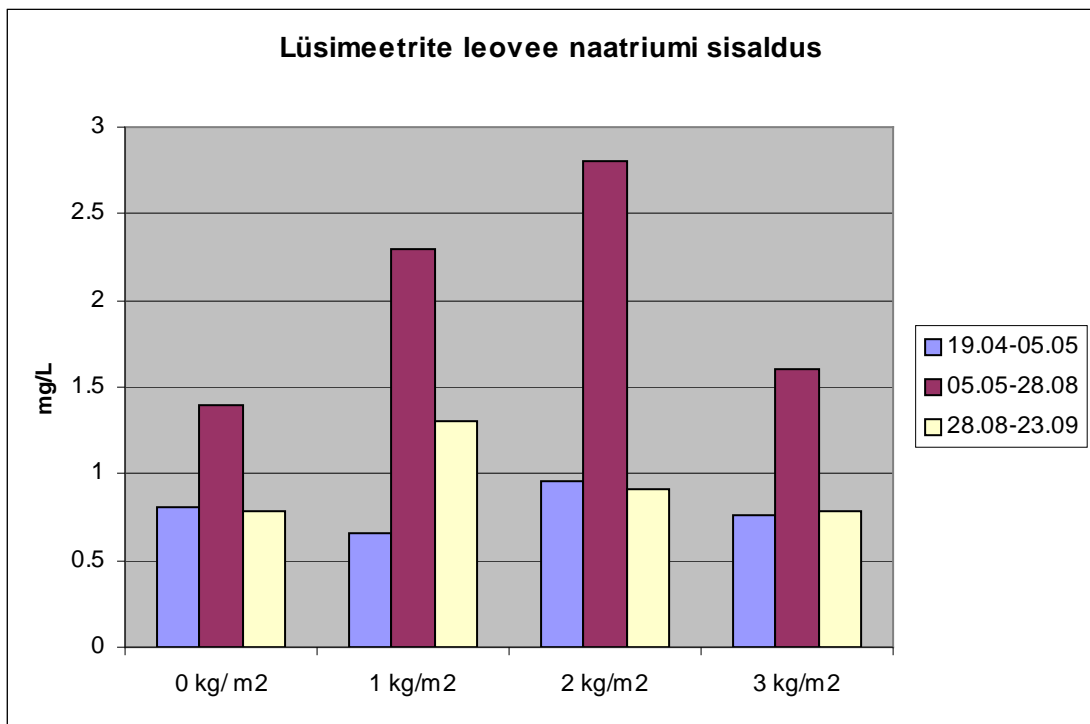
Joonis 16. Lüsimeetrite leovee fosfori sisaldus välikatsete perioodil (allpool määramispiiri on esitatud kui pool määramispiirist).



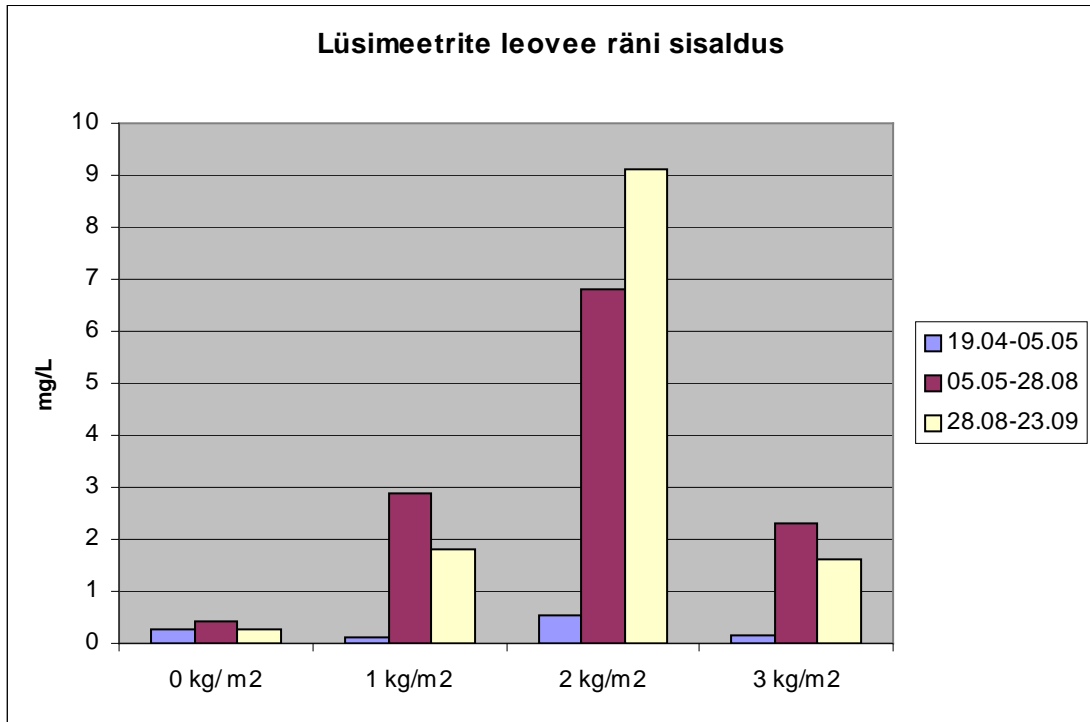
Joonis 17. Lüsimeetrite leovee magneesiumi sisaldus välikatsete perioodil.



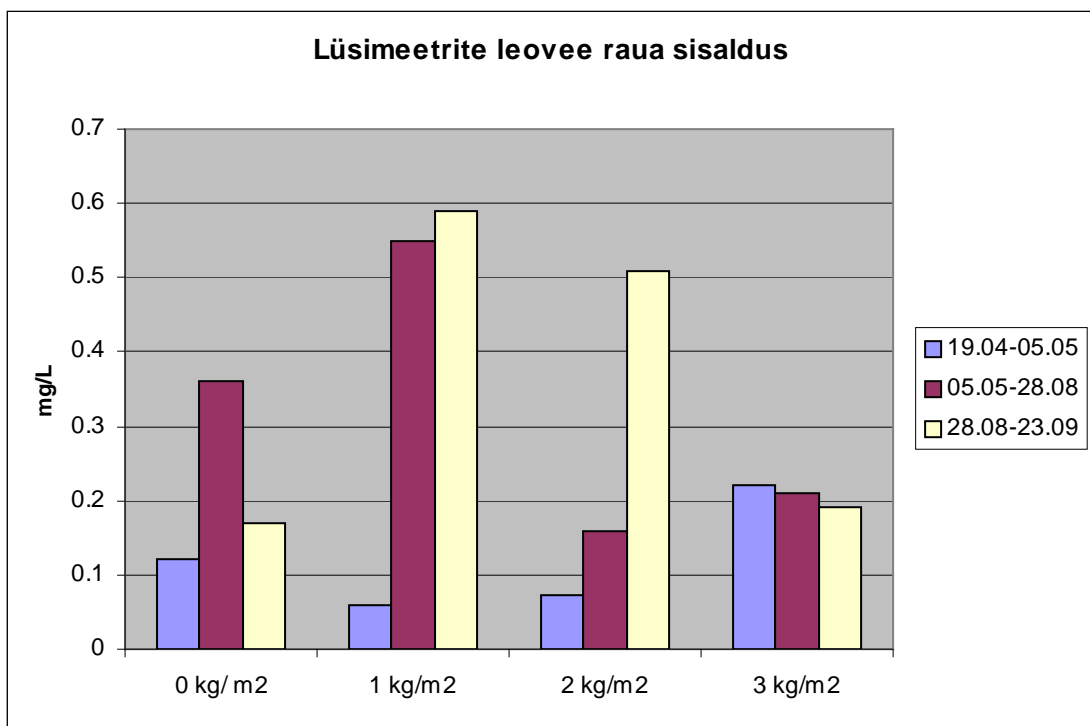
Joonis 18. Lüsimeetrite leovee kaltsiumi sisaldus välikatsete perioodil.



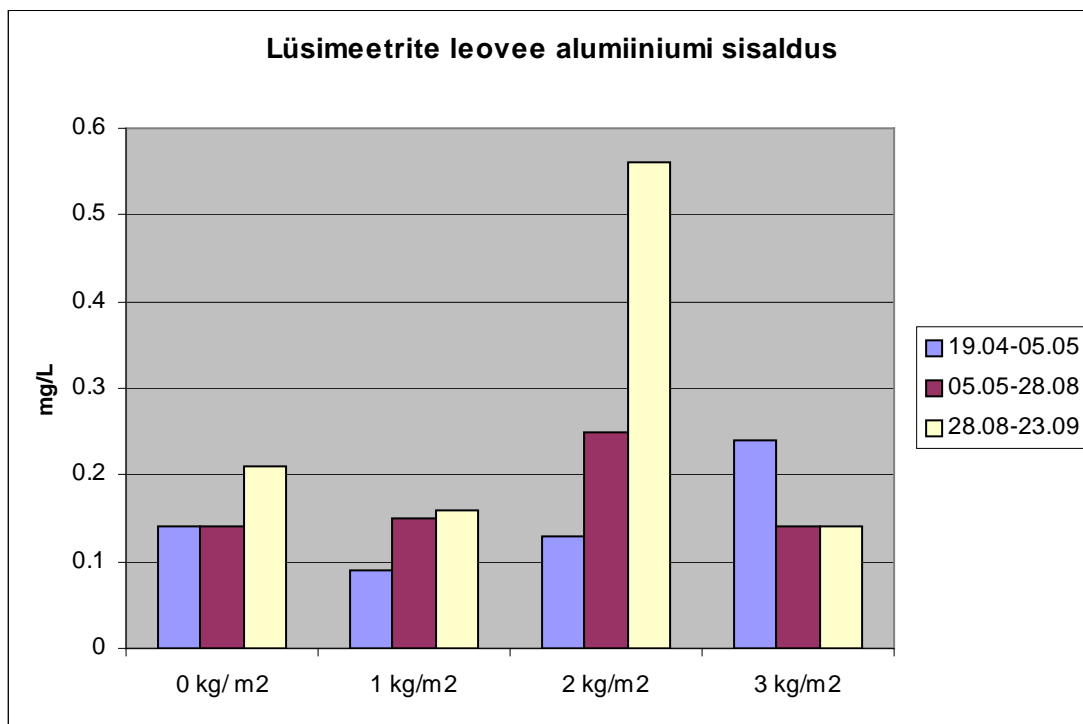
Joonis 19. Lüsimeetrite leovee naatriumi sisaldus välikatsete perioodil.



Joonis 20. Lüsimeetrite leovee räni sisaldus välikatsete perioodil.



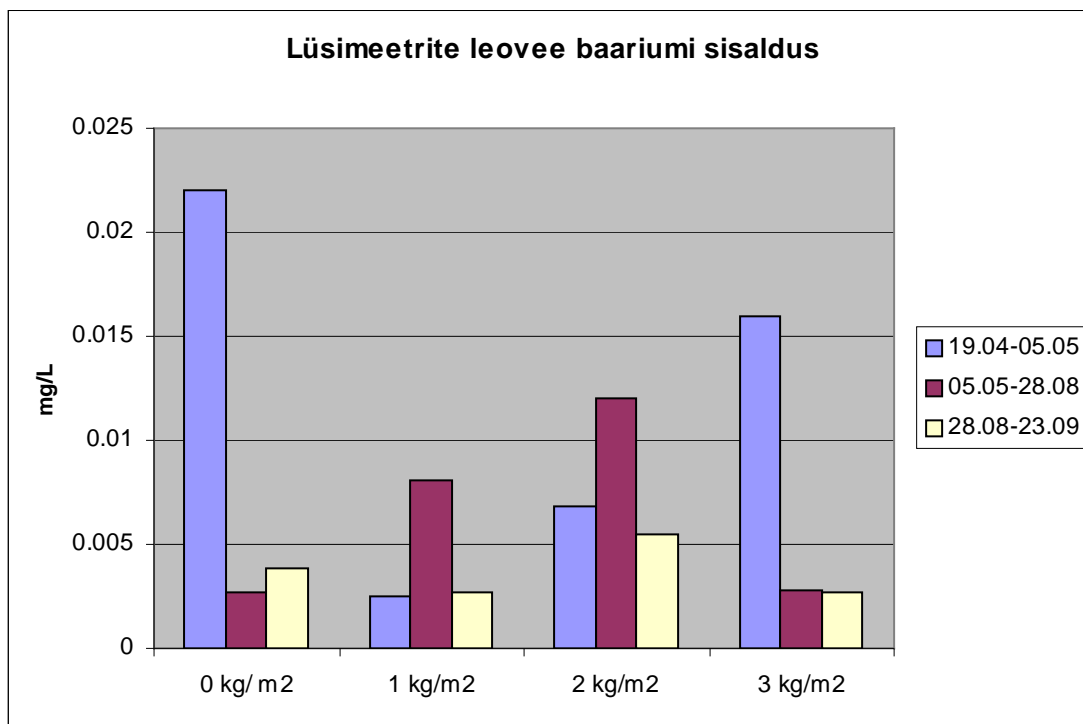
Joonis 21. Lüsimeetrite leovee raua sisaldus välikatsete perioodil.



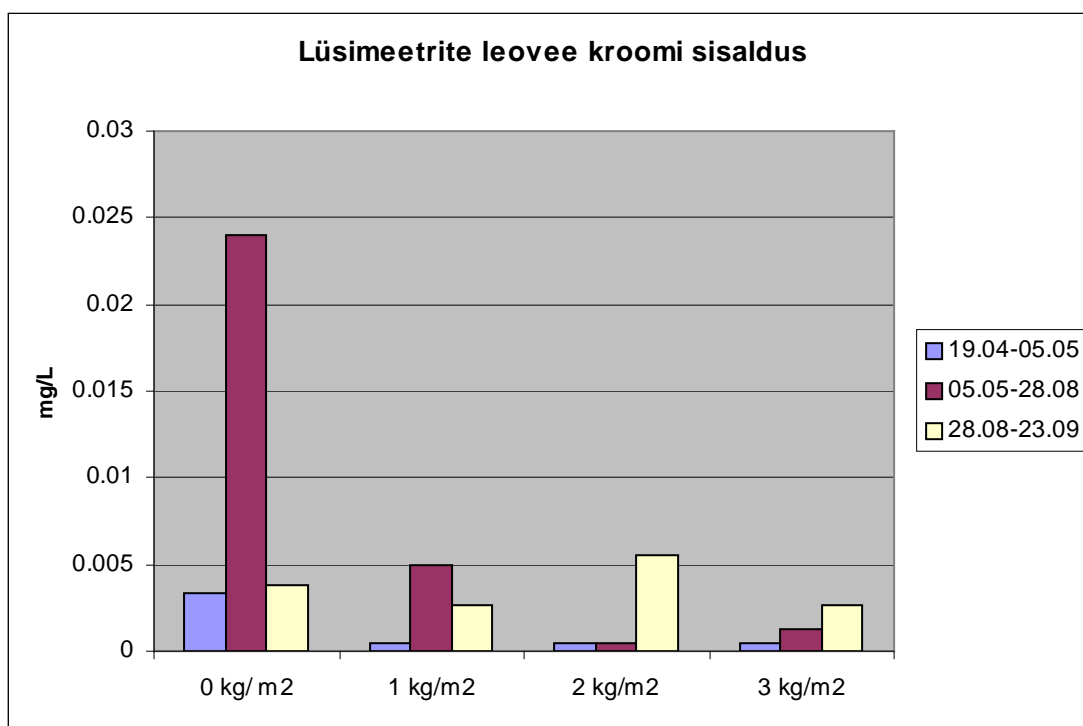
Joonis 22. Lüsimeetrite leovee alumiiniumi sisaldus välikatsete perioodil.

### Jälgelemendid

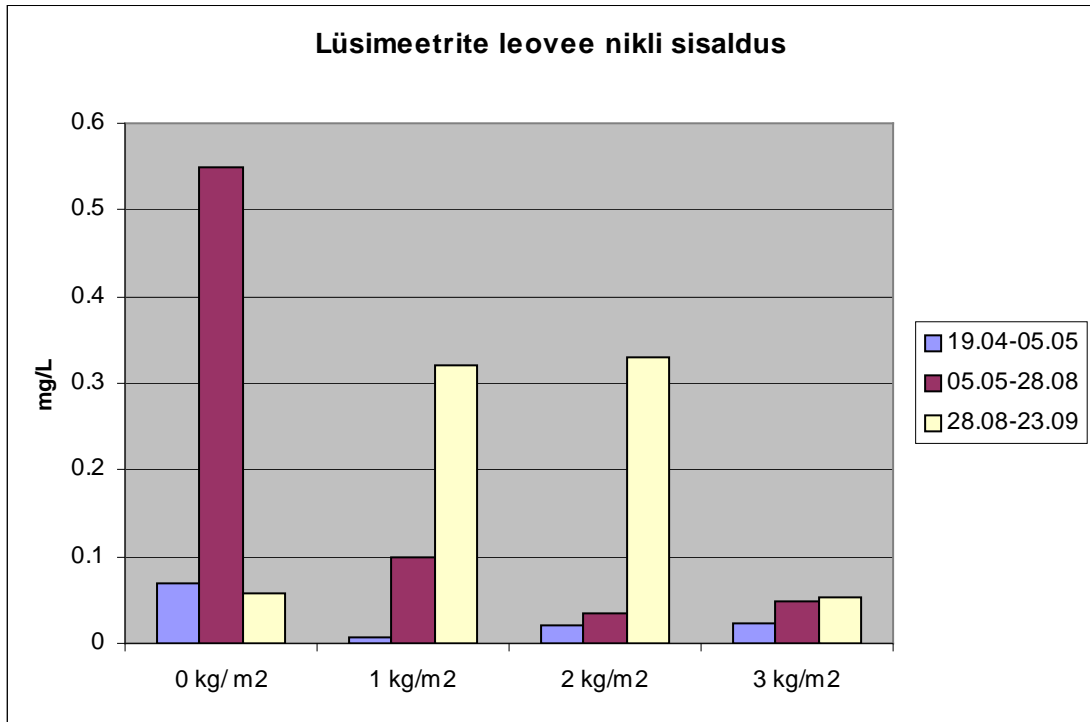
Jälgelementidest jäi enamuse jälgitavate elementide sisaldus leovees allpool määramispiiri (arsen, kaadmium, elavhõbe, plii, rubiidium, antimon, vanaadium) või lähedale määramispiirile (molübdeen). Järgnevalt on esitatud jälgelementide sisaldus leovee proovides elementidele, mille sisaldust on olnud enamusel juhtudest üle määramispiiri – baarium, kroom, vask, nikkel, strontsium ja tsink). Sisaldused allpool määramispiiri on esitatud kui pool määramispiiri (0.0005 mg/L), nt. kroomi puhul.



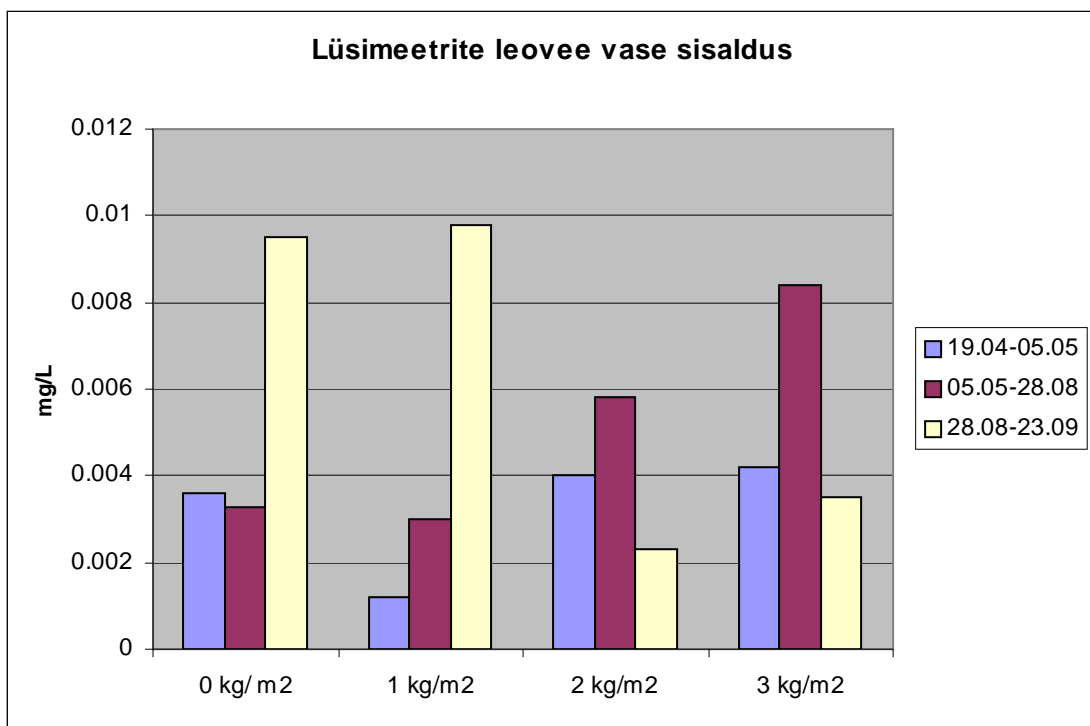
Joonis 23. Lüsimeetrite leovee baariumi sisaldus välikatsete perioodil.



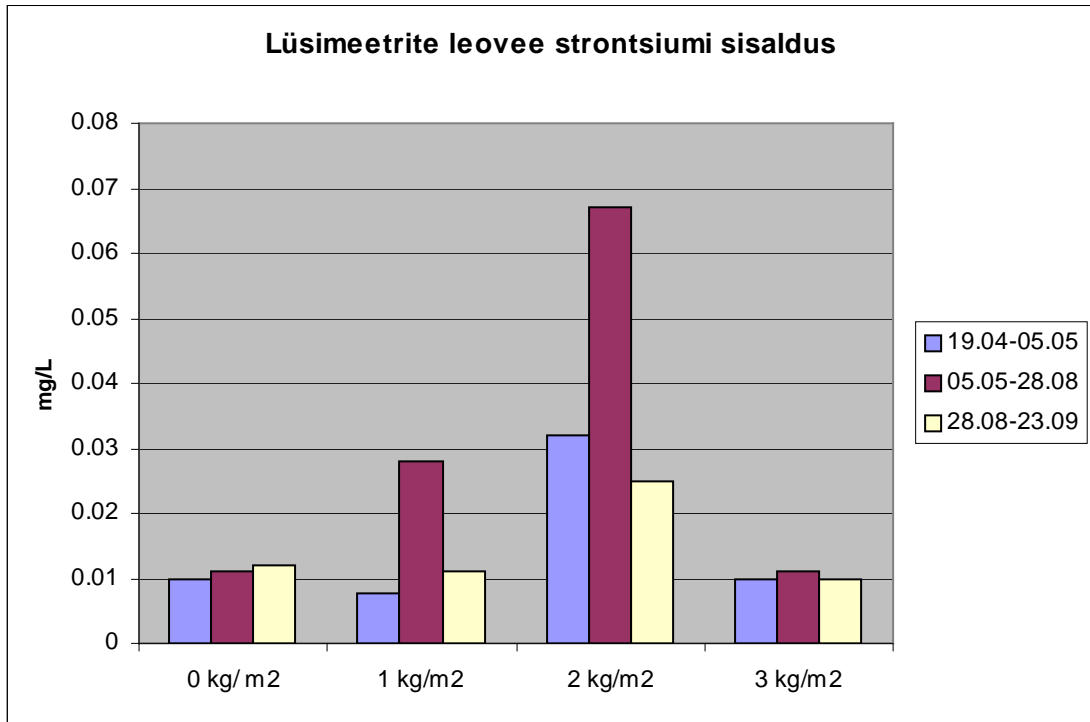
Joonis 24. Lüsimeetrite leovee kroomi sisaldus välikatsete perioodil.



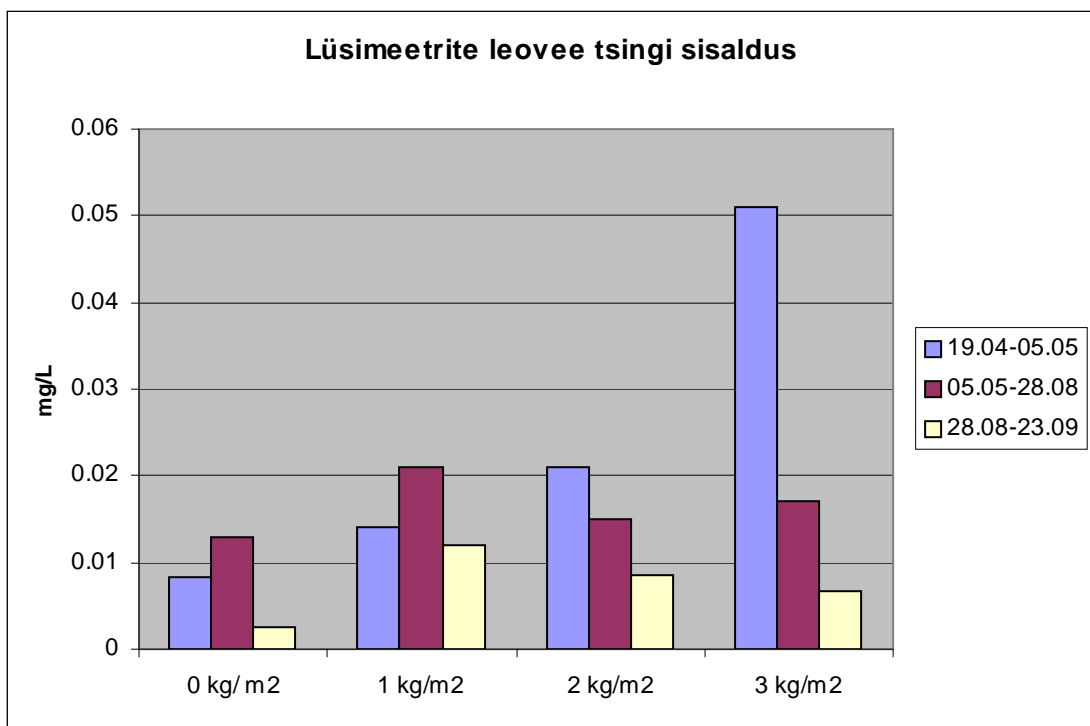
Joonis 25. Lüsimeetrite leovee nikli sisaldus välikatsete perioodil.



Joonis 26. Lüsimeetrite leovee vase sisaldus välikatsete perioodil.



Joonis 26. Lüsimeetrite leovee strontsiumi sisaldus välikatsete perioodil.



Joonis 27. Lüsimeetrite leovee tsingi sisaldus välikatsete perioodil.

Tulemustest on näha, et graanulite lisamine pinnasele tõstab võrreldes loodusliku fooniga pinnavees ainult strontsiumi ja tsingi sisaldust (Joonis 26 ja 27). Jäljelementide sisaldus graanulitega töödeldud aladel jäi teiste elementide puhul enamasti allapoole looduslikku fooni (Joonis 23-25).

## 5. Kokkuvõte

1. Granuleeritud tuha lisamine turbamullale on ohutu – ohtlike jälgelementide sisaldus leovees on sarnane loodusliku fooniga.
2. Meliorant tõstab pinnase leovees mikroelementide (eriti kaaliumi) sisaldust, mis on positiivne taimekasvule.
3. Nii granuleeritud tuhk tõstab pinnasevee sulfaatide, kloriidide sisaldust, pH-d ja elektrijuhtivust.
4. Granuleeritud tuhk ei tõsta hüppeliselt turba pealmise kihi pH-d, mis on taimekasvu ja seemnete idanemise seisukohalt positiivne. Võrreldes tolmja põlevkivituhaga on granuleeritud põlevkivituha mõju puude kasvule tagasihoidlikum. Näiteks tolmja lendpõlevkivituha mõjul oli arukase kõrguse juurdekasv esimesel kasvuaastal Puhatu ammendatud freesturbaväljal 30 cm (Ramst, R. 2005), Maardus kasvas kask esimesel aastal kõige paremini katseruudul 2 kg/m<sup>2</sup> – kuni 10 cm. Võrdluseks olgu toodud, et kasutatavad tuhakogused (peamiselt granuleeritud puutuhk) jäävad Skandinaaviamaades metsade väetamisel vahemikku 2–3 kg/m<sup>2</sup> (mineraalmullad) ja 4–5 kg/m<sup>2</sup> (turbamullad).
5. Granuleeritud tuhad laugunesid esimese kolme kuuga täielikult, mistõttu sobib selliselt valmistatud graanul kasutamiseks põllumajanduses.
6. Graanuli mõju uurimist arukase kasvule tuleks jätkata järgmis(t)el aasta(te)l selgitamaks toitainete edasist leostumise kiirust ja graanuli sobivust metsapuude kasvu parandajana.
7. Uudse suunana võiks katsetada põlevkivituha väärindamist, segades seda mõne teise toitainerikka lisandiga (puutuhk, reoveesete vms), mille tulemusel tõuseks põlevkivituhas defitsiidis oleva P-sisaldus ja paraneks valmistatava graanuli lagunemise kiirus. Senised katsetused Eestis viitavad segutuhaga (fosforirikas puutuhk segus põlevkivituhaga) suurele potentsiaalile puude kasvu kiirendamisel. Soomes on uuritud tuhade ja reoveesete koosgranuleerimist vahekorras ca 40% : 60%. Senised tulemused näitavad, et reoveesetega segatud graanul seisab kotis hästi, aga mullas laguneb ainult tuhast koosnevast graanulist paremini.

## 6. Kasutatud kirjandus

Ramst, R., Orru, M., Salo, V., Halliste, L. 2005. Eesti mahajäetud turbatootmisalade revisjon. 1. etapp. Harju, Rapla Lääne maakond. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, rakendusgeoloogia ja maavarade osakond, Tallinn. 132 lk.