EESTI MAAÜLIKOOL
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Andreas Paat

UUE CORESTONE LUBIVÄETISE EFEKTIIVSUS HAPPELISTE MULDADE OMADUSTE PARANDAMISEKS

EFFICACY OF NEW CORESTONE LIME FERTILIZER USAGE IN IMPROVING ACIDIC SOIL QUALITY

Bakalaureusetöö
Põllumajandussaaduste tootmise ja turustamise õppekava

Juhendajad: Tõnu Tõnutare
Merrit Shanskiy

Tartu 2025

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Andreas Paat		Õppekava: PKPS	
Pealkiri: Uue Corestone lubiväetise efektiivsus happeliste muldade omaduste parandamiseks.			
Lehekülgi: 43	Jooniseid: 19	Tabeleid: 9	Lisasid: 3
ETIS-e valdkond ja CERCS-i kood: B434 Agrokeemia, B410 Mullateadus Juhendaja(d): Tõnu Tõnutare, Merrit Shanskiy Osakond või õppetool: Mullateaduse õppetool Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2025			
Happelised mullad on probleemiks paljudes Eesti piirkondades, eriti maa lõunaosas, mõjutades oluliselt põllumajanduse tootlikkust. Muldade lupjamine on teadaolevalt tõhus meetod mulla happelisuse vähendamiseks ning taimede kasvutingimuste parandamiseks. Käesoleva töö eesmärk oli hinnata Corestone lubjakivituhka tõhusust happeliste muldade omaduste parandamisel. Töö käigus viidi läbi neljal happelisel mullal nõukatse rapsitaimedega, kasutades lubiväetist kahes koguses (50% ja 100% arvutatud lubjavajadusest). Katse käigus mõõdeti mulla ja taime P; K; Ca; Mg makrotoiteelementide sisaldust enne ja pärast katset. Tulemused näitasid, et Corestone lubiväetis tõstis mulla pH-d ning parandas kaltsiumi- ja magneesiumisisaldust, sh Ca:Mg suhet, kuid mõjutas negatiivselt kaaliumi sisaldust. Rapsi biomass kasvas üldiselt lubiväetise kasutamisel, kuid toitainete sisaldused taimes varieerusid. Töö näitas Corestone'i lubiväetise potentsiaali happeliste muldade parandamisel, kuid viitab vajadusele uurida täiendavalt mikrotoitainete kättesaadavust ning tasakaalu taimetoitumises.			
Võtmesõnad: lupjamine, näivleetunud, raps, nõukatse			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Andreas Paat		Curriculum: PKPS	
Title: Efficacy of new Corestone lime fertilizer usage in improving acidic soil quality.			
Pages: 43	Figures: 19	Tables: 9	Appendices: 3
ETIS research field and (CERCS) code: B434 Agrochemistry, B410 Soil science Supervisor(s): Tõnu Tõnutare, Merrit Shanskiy Department / Chair: Soil Science chair Place and year of defence: Tartu 2025			
Acidic soils are a problem in many regions of Estonia, especially in the south, significantly affecting agricultural productivity. Liming of soils is known to be an effective method for reducing soil acidity and improving plant growing conditions. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of Corestone limestone ash in improving the properties of acidic soils. An experiment was conducted on four acidic soils using rapeseed plants in pot trials, with lime fertilizer applied in two amounts (50% and 100% of the calculated lime requirement). During the experiment, the contents of P; K; Ca; Mg macronutrients in the soil and plants were measured before and after the trial. The results showed that Corestone lime fertilizer increased soil pH and improved calcium and magnesium content, including the Ca:Mg ratio, but had a negative effect on potassium content. Rapeseed biomass generally increased with the use of the lime fertilizer, but nutrient contents in the plants varied. The study demonstrated the potential of Corestone lime fertilizer in improving acidic soils, but also highlights the need for further research on micronutrient availability and nutrient balance in plant nutrition.			
Keywords: liming, pseudopodzolic, rapeseed, experiment			

SISUKORD

SISSEJUHATUS 5
1. LUBIVÄETISED 7
1.1. Lubiväetiste mõiste 7
1.2. Lubiväetiste looduslikud allikad 7
1.3. Teise päritoluga lubiväetised 7
1.4. Lubiväetiste efektiivsus ja kvaliteet 8
2. MULLAOMADUSED 9
2.1. Mulla reaktsioon ehk pH ning happelisus 9
2.2. Mulla happelisuse mõju taimedele 9
2.3. Mulla happelisuse neutraliseerimine 10
2.4. Näivleetunud mullad 10
3. RAPS 12
3.1. Raps (*Brassica napus* L.) 12
3.2. Rapsitaime toitainete vajadus 12
3.2.1. Lämmastik (N) 12
3.2.2. Fosfor (P) 13
3.2.3. Kaalium (K) 13
3.2.4. Kaltsium (Ca) 14
3.2.5. Magneesium (Mg) 14
4. MATERJAL JA METOODIKA 16
5. TULEMUSED JA ARUTELU 19
5.1. Muld 19
5.1.1. Taimetoiteelemendid 19
5.1.2. pH 27
5.2. Taimed 28
5.2.1. Tärkamine 28
5.2.2. Biomass ja kuivaine 29
5.2.3. Taimetoiteelementide sisaldused biomassis 30
KOKKUVÕTE 36
ALLIKALOEND 37
LISAD 40
Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta 41
Lisa 2. Rapsi nõukatse Eesti Maaülikooli PKI taimekasvuruumis 22.01.2025. Autori fotograaf. 42
Lisa 3. YARA rapsi leheväetamise protokollid. 43

SISSEJUHATUS

Suur osa põllukultuure eelistavad neutraalse reaktsiooniga kasvukeskkonda. Mulla optimaalse pH säilitamine on oluline taimedele toitainete kättesaavaduvse tagamiseks ning saagikuse maksimeerimiseks. Paljudes Eesti piirkondades esineb nõrgalt happelisi muldi, Lõuna-Eestis on happeliste muldade osakaal oluliselt kõrgem kui teistes piirkondades (METK 2023). Regulaarset lupjamist vajavad 54,5% kogu Eesti põllumuldadest kokku (Loide 2020). Metsamullad, eriti okasmetsade omad, on samuti kas mõõdukalt või tugevalt happelised. Happeliste muldade kasutuselevõtuks paljude põllumajanduskultuuride kasvatamiseks on vaja eelnevalt mullaomadusi parandada, mida saavutatakse lupjamise teel. Lupjamist vajavad mullad, mille happelisus (pH) on alla 6,5, kuna enamik kultuurtaimi saavutab maksimaalse saagikuse neutraalse või sellele lähedase mullareaktsiooni korral. Kui varasemalt kasutati peamiselt tolmjaid lubiväetisi, nagu tolmpõlevkivituhk ja klinkritolm, siis tänapäeval on saadaval mitmekesisema koostise ja omadustega lubiväetised. Igal lubjaväetise liigil on lisaväärtus teatud taimetoitainete – näiteks magneesiumi, kaaliumi või väävli – sisalduse näol, mistõttu annab parima tulemuse erinevate lubjavormide kombineerimine vastavalt mulla vajadustele. Kuigi esmane lupjamine on kriitilise tähtsusega happeliste muldade puhul, on regulaarne, iga 4–5 aasta tagant toimuv lupjamine soovitatav ka neutraalsetel ja nõrgalt happelistel põllumuldadel, et säilitada mulla pH optimaalsel tasemel ning tagada taimedele vajalike toiteelementide lahustuvus ja omastatavus.

Põhjuseid, miks põllumuld aja jooksul happelisemaks muutub, on mitu: orgaanilise aine lagunemisel tekivad happelised ühendid, paljud kasutatavad väetised on füsioloogiliselt happelised, happeline lähtekivim jne.

Eestile on iseloomulikud erinevate reaktsioonidega mullad, mis olenevad asukohast, sh lähtekivimist. Eriti halb on olukord Lõuna-Eestis, kus lähtekivimiks on valdavalt punakaspruun moreen. Võrreldes teiste piirkondadega on Lõuna-Eestis moreen vähem karbonaatsem. Sellest tulenevalt on selle vastupanuvõime mulla hapendumisele erinevate protsesside kaudu väike (Astover *et al* 2012). Eestis on lupjamiseks sobivate materjalide kättesaadavus hea, kuna neid on võimalik saada nii looduslike karbonaatsete materjali maardlatest kaevandamise kui ka hankida kohaliku tööstuse kõrvalsaadustena (Järvan 2010).

Käesolevas töös selgitatakse lubiväetiste olemust ning kasutust, mulla reaktsiooni olulisust taimel toitainete kättesaamisel, rapsitaime kohta üldiselt ning makro toiteelementide (P, K, Mg, Ca) omastamist rapsitaimede poolt.

Bakalaureusetöö eesmärk on selgitada välja arendamisel oleva lubiväetise Corestone efektiivsust happeliste muldade omaduste parandamist rapsitaimedega nõukatses. Sellest lähtuvalt olen püstitanud järgmised uurimusküsimused.

1. Kas ja kui hästi parandab Corestone lubiväetis näivleetunud mulla reaktsiooni ning toitainete kättesaadavust?
2. Kas ja kui hästi kasvavad rapsitaimed Corestone lubiväetisega lubjatud näivleetunud muldadel?

Bakalaureusetöö põhineb nelja erineva näivleetunud mulla väetamisel lubiväetisega kahe erineva normiga ning nendel katsevariantidel kasvanud rapsitaimede kasvu hindamisel ja keemilisel analüüsil. Samuti määrati mullast ära taimedele omastatavate toitelementide sisaldused.

Autor tänab juhendajaid Tõnu Tõnutare ja Merrit Shanksiy lõputöö tõhusa juhendamise eest ning väetamiseksperti Eva Tuusist (YARA Eesti OÜ) meeskonda väärtusliku panuse eest rapsi leheanalüüside tõlgendamisel.

1. LUBIVÄETISED

1.1. Lubiväetiste mõiste

Lubiväetist on defineeritud kui materjal, mis sisaldab kaltsiumi- ja/või magneesiumiühendeid ning mille põhiline eesmärk on tõsta mulla pH-d. Mitte kõik materjalid, mille koostises leidub neid ühendeid, ei kasutata lupjamiseks, näiteks kaltsiumsulfaat ($CaSO_4$). Kuigi see on hea kaltsiumi allikas, ei tõsta see mulla pH-d. (Li *et al* 2018)

Enimlevinud kaltsiumiühend, mida kasutatakse lubiväetisena on kaltsiumkarbonaat ($CaCO_3$). Valdavalt on lubiväetiste tooraineks lubjakivi, mis on Eestis üks levinumaid maavarasid. Väljaspool lubiväetiste tootmist kasutatakse lubjakivi veel tsementitööstuses, suhkrutööstuses, paberitööstuses, metallurgias, ehitus- ja viimistluskivide ning killustiku valmistamiseks. (Tingida Stone 2023) 2024. aasta andmetel kasutatakse Eestis põllumuldade lupjamiseks kõige enam lubjakivisõelmeid, olles 51,7% kogu lupjamisest. Seejärel kasutatakse lubjakivituhka 21,2%, tolmpõlevkihituhka 11,7%, dolokivisõelmeid 3,7% ning ülejäänud 11,7% on muud meliorandid. (PM069: Põldude lupjamine 2024)

1.2. Lubiväetiste looduslikud allikad

Loodusliku päritoluga lubiväetised sisaldavad kaltsiumi, magneesiumkarbonaate, oksiide ja hüdroksiide, kus üks või enam elemente on oksiidi ja/või hüdroksiidi vormis. Maailmas enim kasutatud lubiväetiste looduslikud allikad on lubjakivi (kas lubi või dolomiit), kriit, mergel, marmor, merekarbid, kustutatud ning kustutamata lubi ja magnesiit. (Drapanauskaite 2020)

1.3. Teise päritoluga lubiväetised

Mis ei kuulu loodusliku päritolu alla, on enamasti tööstuse kõrvalsaadused, mis sisaldavad kaltsiumi, magneesiumkarbonaate, oksiide, hüdroksiide või silikaate, mis on võimelised mulla pH-d tõsta. Kõige populaarsemad alternatiivsed lupjamise materjalid on näiteks puutuhk, tsement, suhkrupeedi tehase lubi, tselluloositehase lubimuda, kaltsiumsilikaaträbu ning biosüsi. (Drapanauskaite 2020)

1.4. Lubiväetiste efektiivsus ja kvaliteet

Kõige tähtsamad tegurid lubiväetise efektiivsusel on peeneteralisus ning keemiline koostis. Lubiväetise osakeste suurus määrab, kui kiiresti materjal suudab mullaga reageerida ja mullas olevaid happeid neutraliseerida. Lubiväetis, millel on väiksemad osakesed, on samuti suurem eripind, millega reageerida mullas olevate happeliste ühenditega. Peeneteraline materjal lahustub ja reageerib happeliste ühenditega kiiremini kui jämedama fraktsiooniga materjal, mis reageerib pikema aja jooksul. Kiire efekti saavutamiseks on parimaks valikuks jahvatatud materjal, mille osakesed on kõige peenemad ning pindala kõige suurem. (Li *et al* 2018)

Lubiväetise puhtuse osas mõeldakse tavaliselt kaltsiumkarbonaadi ekvikvalentsuse (CCE) peale. CCE näitab lubiväetise võimet neutraliseerida hapet ideaalsetes tingimustes võrreldes puhta kaltsiumkarbonaadiga. Puhta kaltsiumkarbonaadi CCE oleks võrdne 100%-ga. (Drapanauskaite 2020) Lihtsamalt öeldes, mida suurem on lubiväetises kaltsiumkarbonnadi osakaal, seda rohkem on materjal võimeline happeid neutraliseerima.

2. MULLAOMADUSED

2.1. Mulla reaktsioon ehk pH ning happelisus

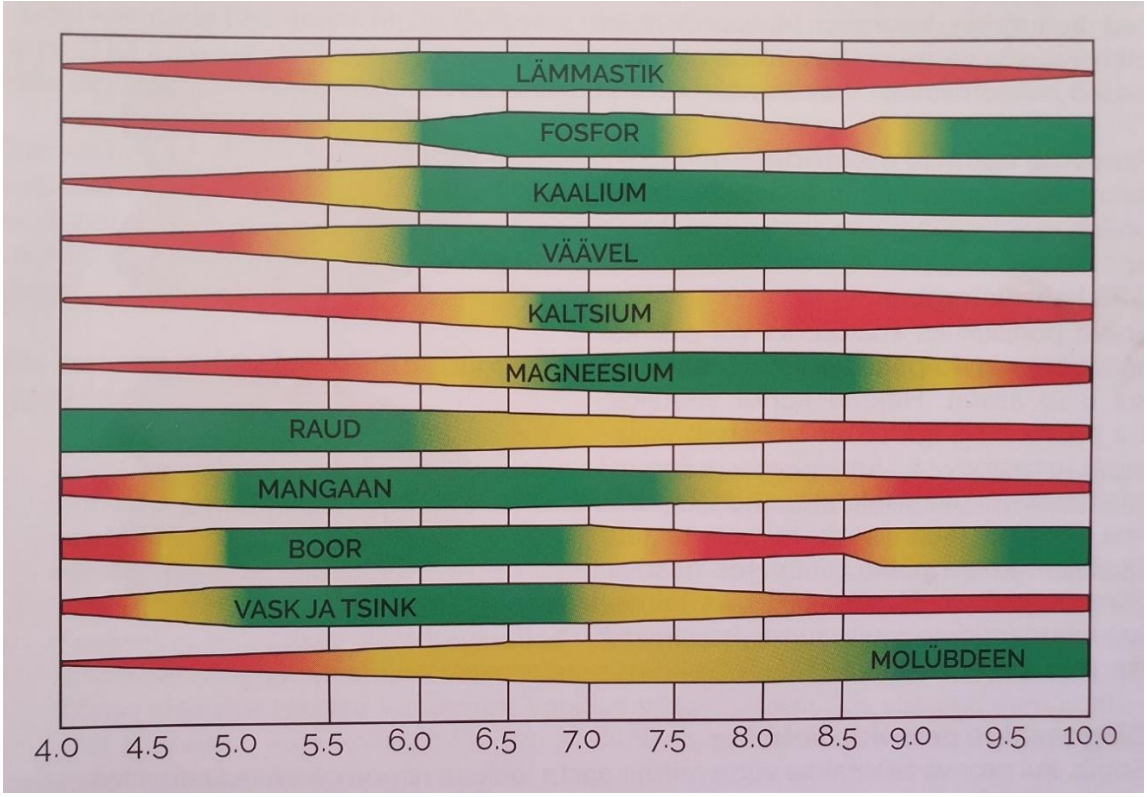
Mulla reaktsiooniks nimetatakse H^+- ja OH^--ioonide kontsentratsioonide vahekorda mullalahuses. Sõltuvalt nende ioonide omavahelisest suhtest on mullalahuse reaktsioon happeline, neutraalne või leeliseline. Neutraalse reaktsiooni juures on H^+ ja OH^--ioonide hulk võrdne, happelisel H^+ osakaal suurem ning aluselisel OH^- osakaal suurem. Vesinikioonide kontsentratsiooni tähistatakse sümboliga pH, mille arvuline väärtus näitab vesinikioonide molaarset kontsentratsiooni negatiivset kümnendlogaritmi. Neutraalse pH arvuline väärtus on 7, sellest madalam on happeline ning suurem aluseline reaktsioon. (Bhuyan, Sarma 2007)

Sageli kasutatakse teaduslikes töödes pH mõõtmisel kaaliumkloriidi (KCl) lahust, mille tulemusena määratakse pH_{KCl}.

Mulla happelisus on tingitud mullalahuses leiduvatest vesiniku ning kolloididel neeldunud vesiniku ja alumiiniumi ioonidest. Mulla happelisus tuleneb mullas kulgevatest protsessidest ja mulla geneesist, kuid seda võib põhjustada ka mulla negatiivne kaltsiumi- ja magneesiumibilanss, füsioloogiliselt happeliste väetiste kastutamine, happevihmad, orgaanilise aine laguproduktid, huumushapped, juureeritised jt tegurid. (Astover *et al* 2012)

2.2. Mulla happelisuse mõju taimedele

Taimed reageerivad mulla happelisusele liigi spetsiifiliselt. Peamine efekt tuleneb taimede toitainete vajadusest, mida mõjutab pH vahemik, mis kindlate pH-de juures on kas paremini või halvemini kättesaadavad. Suurem osa taimele põhilistest toiteelementidest on enam kättesaadavamad nõrgalt happeliste kuni neutraalsete reaktsioonidega muldadest (joonis 1).



Joonis 1. Taimetoiteelementide omastatavus mullas olenevalt pH-st. (Annuk 2019)

2.3. Mulla happelisuse neutraliseerimine

Kindlate väetiste kasutamisel ning olenevalt asukohast on mulla hapenemine paratamatu. Peamine võte, mida kasutatakse mulla happesuse parandamiseks on lubiväetiste kasutuselevõtt. Lisaks hapete neutraliseerimiseks parandab lubiväetis samuti kaltsiumi- ja/või magneesiumibilanssi antud mullas. Olenevalt mulla reaktsioonist ning lubiväetise keemilisest koostisest on materjali vajatud kogus erinev. (Islam *et al* 2004)

Lupjamist soovitatakse korrata iga 4-5 aasta tagant, kuid vajaduspõhiseid lupjamisi võib tihedamalt ka teha. Tavaline hooldusluppjamise kogus on 5-7 t/ha, et tagada mulla neutraalse pH hoidmist. Suurimaks ühekordseks annuseks soovitatakse lubjata 10 t/ha. (Nordkalk 2022)

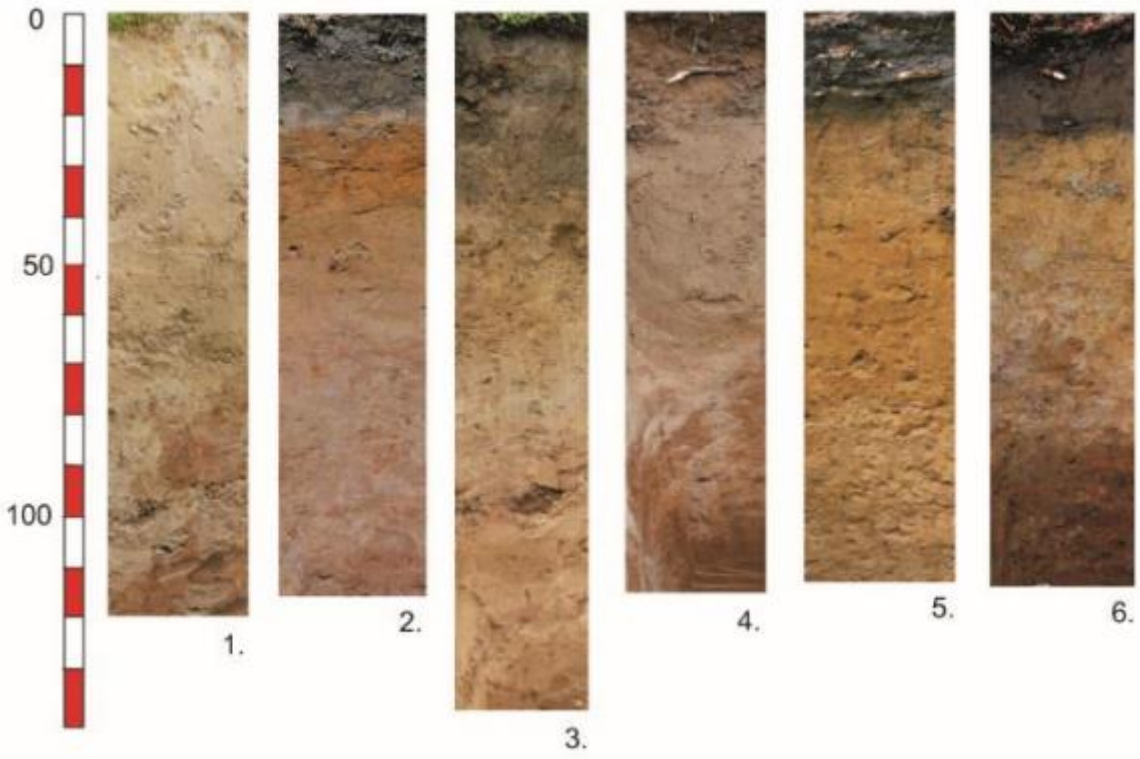
2.4. Näivleetunud mullad

Näivleetunud ehk kahkjad (LP) mullad on väheste ülagleistumise tunnustega parasniisked mullad, mille ülemine 30-80 cm kiht on kergema lõimisega (saviliiv või kerge liivsavi) ja alumine ühe-kahe astme võrra raskema lõimisega. Nende muldade tunnuseks on mullaprofiilis selgesti nähtavad sügavad „keeled“ ehk väljasopistused, mis on tekkinud

raskema lõimisega alumise mullakihi ülaosa lõhedesse ja soppidesse (joonis 2). (Kõlli *et al* 2018)

Näivleetunud metsamuldade metsakõdu on väga happeline (pH_{KCl} < 3,6) ja huumushorisont happeline (pH_{KCl} 3,6 – 4,5), vaatamata alumiste lähtekivimikihtide algsele nõrgale happesusele või isegi karbonaatsusele. Seega happesus näivleetunud metsamuldades sügavuse suunas väheneb. Näivleetunud põllumullad on peaaegu täies ulatuses eelnevalt mitu korda lubjatud ja seega on nende künnikiht nõrgalt happeline (pH_{KCl} > 5,6) või väiksemas ulatuses neutraalne (pH_{KCl} = 7). (Kõlli *et al* 2018)

Kõrge happelisuse tõttu on vaja näivleetunud muldasid väga tugevasti lubjata, et need oleksid sobilikud paljudele põllukultuuridele.



Joonis 2. Kogum näivleetunud mulla profiilide fotodest. Muld ja selle asukoht: 1 – LP, Maramaa, Tartumaa; 2 – LPg, Lanksaare, Pärnumaa; 3 – LP, Raudsepa, Valgamaa; 4 – LP, Linnamäe, Võrumaa; 5 – LP, Mähkli, Valgamaa ja 6 – LP, Kurgjärve, Võrumaa. Autor: E. Asi metsaseire grupp. (Kõlli et al 2018)

3. RAPS

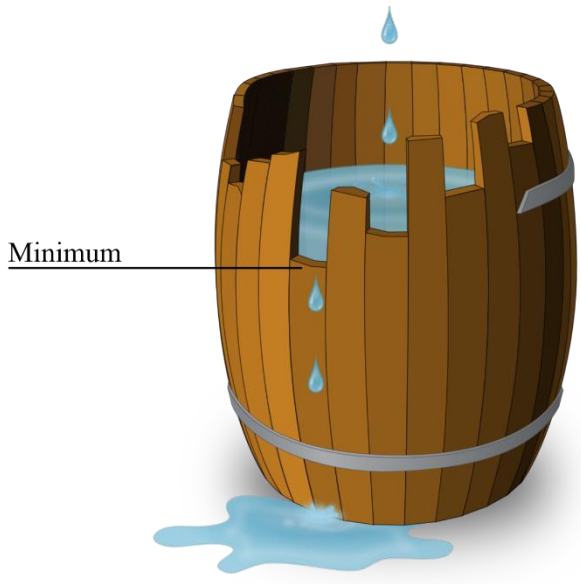
3.1. Raps (*Brassica napus* L.)

Raps (*Brassica napus* L.) on amfidiploid, mis tekib lehtkapsa (*Brassica oleracea* L.) ja naerise (*Brassica rapa* L.) liikidevahelise hübridisatsiooni tulemusena. Rapsil on kaks tüüpi: suvi- ja taliraps, milledel on veel enda eraldi väljaarendatud sordid. Suviraps ei vaja tavaliselt vernalisatsiooniperioodi (õite moodustumise kiirendamine madala positiivse temperatuuri toimel) nagu taliraps, ning seda kasvatatakse piirkondades, kus talvised keskkonnatingimused ei soodusta rapsi taimede ellujäämist. Talirapsil on võimsam juurestik kui suvirapsil, mis on seotud suurema seemnesaagiga. (Tileuberdi 2022)

3.2. Rapsitaime toitainete vajadus

3.2.1. Lämmastik (N)

Toitainete vajaduste juures on tähtis meeles pidada Liebigi miinimumseadust, ehk nn „tünniseadust“. Miinimumseaduse põhimõte on, et taimede kasv pidurdub juba ühe toitaine puuduse tekkel. Sellel, et kõik teised toitained on ülekülluses, ei oma tähtsust (joonis 3).



Joonis 3. Liebigi miinimumseaduse tünn. (DooFi 2009)

Lämmastik on valdavalt kõige olulisem taimetoiteelement. Tähtsus tuleneb sellest, et lämmastik on peamine komponent klorofüllist, mida taim vajab, et fotosünteesida. Lisaks on lämmastik kõikide aminohapete koostises, millest taim ehitab valke. (Wang *et al* 2024)

Rapsitaime lämmastikuvajadus on kõrge. Arvuliselt on seda välja toodud suhtega seemnete koguse moodustamiseks vajava lämmastiku kohta, mis on 13:1 kuni 31:6. Ehk kõige optimaalselt moodustub taim 1 kg N andmisel 13 kg seemneid. (Ren *et al* 2016) Väetamisel saab seda arvu kujundada tonni hektari kohta, mis olenevalt mulla kvaliteedist võib olla 140 – 225 kg N/ha (Riar *et al* 2020). Rapsitaime lehtede kuiva biomassi optimaalne lämmastiku osakaal on ca 5,19% (YARA 2025).

Lämmastiku puudusel jääb rapsitaim kiduraks ning kasv seiskub. Taim ei suuda klorofülli ning aminohappeid edasi toota ning sellega kasv jääb seisma ning üldjuhul taim sureb. Kui taim ei saa piisavalt lämmastikku, on näha esmaselt kloroosi, mis tekitab lehtedel kollase värvuse. (Sakuraba 2022)

3.2.2. Fosfor (P)

Fosforil on suur roll taime fotosünteesis ning kasvus, sh juurestiku, võrsete ning lehtede arenemisel (Biswas *et al* 2019). Fosfor teeb koostööd teiste taimetoiteelementidega, näiteks lämmastiku (N) ja kaaliumiga (K), et tagada taimes optimaalset ainevahetust ning kasvu (Meng *et al* 2025). Taim kasutab fosforit ATP (adenosiintrifosfaat) valmistamiseks fotofosforüülimise käigus, mida kasutatakse energiaülekandeks. Lisaks mängib fosfor erilist rolli veel taime hingamises. (Ahemad *et al* 2009)

Rapsitaime fosforivajadus on keskmine. Fosfor on küll hädavajalik taimele, kuid seda on vaja vähemas koguses kui näiteks lämmastikku. Mullatingimustes on fosfor üldiselt vähe kättesaadav, mis teeb väetamise eriti oluliseks. (Ahemad *et al* 2009) Põllu väetamisel soovitatakse anda 60 – 90 kg P/ha, 90 kg/ha olles eriti efektiivne põuatingimustes (Imran *et al* 2023). Rapsitaime lehtede kuivas biomassis olevat fosfori optimaalset sisaldust loetakse 0,64% (YARA 2025).

Fosforipuuduse korral pidurdub järsult taime kasv. Lehed muutuvad värvuselt kas halliks-roheliseks või punaseks-violettseks. Väheneb rapsitaime õie moodustamise võimekus, õite arvukus ning suurus väheneb. (Asatova, Myachina 2024)

3.2.3. Kaalium (K)

Kaalium on taimede kasvu ja arengu jaoks oluline makroelement, millel on mitu rolli erinevates füsioloogilistes ja biokeemilistes protsessides. Kaalium suurendab taimede vastupidavust erinevatele abiootilistele stressiteguritele, näiteks põud, soolsus ja külmumine (Hasanuzzaman *et al* 2018). Lisaks sellele vajavad üle 60 taimeensüümi aktiveerimiseks

kaaliumi, mistõttu on see oluline paljude ainevahetusprotsesside jaoks, ning kaalium tagab fotosünteesi õiget regulatsiooni (Johnson *et al* 2022).

Rapsitaime kaaliumi vajadus on üsna kõrge. Üldine soovitus on põlde väetada ca 120 kg/ha (Gu *et al* 2023), kuid majanduslikult optimaalne oleks see 75 – 92 kg/ha vahemikus (Cong *et al* 2016). Rapsitaime lehtede kuivas biomassis loetakse optimaalset kaaliumi osakaalu 3,23% (YARA 2025).

Kaaliumi puudusel tekib rapsitaimel mitu probleemi. Fotosüntees halveneb, fotosünteesi produktide transport ning ensüümide aktiveerimine aeglustuvad, pidurdub kasv (Rawat *et al* 2022). Visuaalselt on sümptomite osas näha lehtede kloroosi (kollakas värvus) ning nekroosi (kudede surm, hall/must värvus) (Fellera, Müller 2018).

3.2.4. Kaltsium (Ca)

Rapsitaimes mängib rolli kaltsium rakuseinte- ning membraanide stabiliseerimises ja signaali transduktsioonis (Dixit *et al* 2021). Lisaks sellele täiustab kaalium embrügeneesi, fotosünteesi ning biomassi akumulatsiooni (Hou *et al* 2022).

Puuduvad andmed tavatingimustes rapsi väetamise kohta kaltsiumiga. Küll aga on leitud, et üleujutatud tingimustes kaltsiumperoksiidiga (CaO_2) väetamine 594 – 864 kg/ha oluliselt parandas rapsitaime juurte elujõudu, taime kõrgust ning saagikust. Rapsitaime lehtede kuivas biomassis loetakse optimaalset kaltsiumi osakaalu 2,20% (YARA 2025).

Kaltsiumipuudus võib rapsi taimedel põhjustada märkimisväärset kasvupeetust ja deformatsioone. Selle hulgas noorte tärkavate võrsete surma, mis võib tõsiselt mõjutada taime võimet korralikult areneda. Samuti tingib kaltsiumii puudus lehtedel nekroosi ning kloroosi (Fellera, Müller 2018).

3.2.5. Magneesium (Mg)

Magneesium on oluline klorofülli komponent, mis mängib rolli valgusenergia püüdmiseks ning fotosünteesi käivitamiseks (Ali *et al* 2025). See on hädavajalik kindlate ensüümide aktiveerimiseks, näiteks RuBisCo, mis mängib olulist rolli taime fotosünteesil (Jamali Jaghdani *et al* 2021).

Optimaalse saagikuse saavutamiseks on soovitatav põldu väetada 21,4 – 45,6 kg MgO/ha (Ye *et al* 2023). Rapsitaime lehtede kuivas biomassis loetakse optimaalseks magneesiumi sisaldust 0,18% (YARA 2025).

Peamised sümptomid magneesiumipuudusel rapsitaimes on vähenenud biomass ning lehtede pindala, moodustunud seemnete vaegkaal ning vähene arvukus ja lehtede kloroos (Yang *et al* 2021; Geng *et al* 2025; Ceylan *et al* 2016).

4. MATERJAL JA METOODIKA

Uurimistöös on kasutatud nelja mulda, mis on kogutud erinevatest Eesti piirkondadest, mille nimetused on järgnevalt: μ muld, κ muld, θ muld ning τ muld (Joonis 4). Mullad on valitud happelise reaktsiooni järgi.



Joonis 4. Muldade geograafilised asukohad.

Põldudelt ja metsast toodud niisked mullad sõeluti läbi 5 mm diameetriste aukudega sõela. Seejärel teostati muldadele ja ka lubiväetisele keemilised analüüsid. Muldade puhul kasutati AL-meetodit, et määrata taimetoiteelementide P, K, Mg, Ca sisaldused, nii enne kui ka pärast katset. Lisaks analüüsiti muldade pH nii enne kui ka pärast nõukatset, et kontrollida lubiväetise efektiivsust happelise keskkonna neutraliseerimisel. Lubiväetisena on kasutatud perspektiivset Corestone lubjakivijahu. Lubiväetise neutraliseerimisvõime analüüsimiseks kasutati tiitrimist HCl-ga, mille tulemusena saadi kasutatava lubiväetise $CaCO_3$ sisalduseks 83,68%.

Muldade lubjatarbe arvutamiseks teostati muldade hüdrolüütilise happesuse määramine Kappeni meetodi järgi, kus tiitrimiseks kasutati 20 ml 0,1M NaOH lahust. Analüüside tulemusel saadud tulemused on esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Katsemuldade iseloomustus.

Mulla nimetus	Mulla tähistus	pH_{KCl}	Hüdrolüütiline happesus, H8,2	$N_{üld}$	$C_{üld}$	Lubjatarve (Corestone lubiväetis)	Lubjatarve (Corestone lubiväetis)
			mmol H^+/kg	%	%	g/kg	t/ha
Keres	κ	4,47	58,3	0,06	0,74	3,48	6,8
Tõrra	θ	5,03	40,3	0,1	1,2	2,41	4,7
Tiksoja	τ	3,56	143,6	0,18	3,0	8,67	16,9
Madis	μ	5,24	44,0	0,1	1,3	2,63	5,1

Nõukatses kasutati 2 liitrise mahuga potte, kuhu igasse valati 2 kg mulda ning vastavalt variandile kaalutud kogus lubiväetist. Lubiväetis segati mulda. Igale variandile (kontroll, 50% ja 100% lubjatarbest) tehti 4 kordust, erandiks Madise (μ) mullad millele tehti 3 kordust. Kogu nõukatses oli 35 potti. Mulla ja lubiväetisega täidetud ning vastavalt märgistatud potid viidi PKI taimekasvuruumi, kus potte kasteti destilleeritud veega 2 nädalat enne rapsi külvamist. Kui oli saavutatud optimaalne niiskus (~20%), külvati igasse potti 6 rapsiseemet 2 cm sügavusse. Külvijärgseid kastmisi sooritati vastavalt vajadusele destilleeritud veega.

Nõukatse algas 17. detsembril 2024, mil tehti rapsi külvamine. Nõukatses kasutati talirapsi sorti Fenja. Kasvuruumis hoiti temperatuuri 18°C. Katse kestis 20 päeva, mille lõpp oli 15. jaanuar 2025. Nõukatse lõpus tehti taimedest pilt (Lisa 2), loeti kokku taimede hulk ning lehtede arvud igas korduses, hinnati taimede toitumist SPAD-i, kasutades SPAD-502Plus seadet, ning kasvufaasi. Sel järel lõigati kõikidel pottidel maapealne taime biomass maha ning viidi laborisse kuivama. Kuivatamine toimus kuivatuskapis 60°C juures 2 päeva

jooksul. Kuiva biomassi kasutati P, K, Mg ja Ca sisalduse üldanalüüsiks. Taimse materjali üldanalüüsil mineraliseeriti uuritav proov kontsentreeritud lämmastikhappes kõrgel temperatuuril rõhu all. Mineralisatsioon teostati seadmega Speedwave Entry (Berghoff) kasutades kuiva taimse materjali mineraliseerimimiseks eelinstalleeritud prorgrammi.

Andmete arvutamisel, jooniste koostamisel ja andmete statistilisel töötlemisel on kasutatud nii MS Exceli kui ka vabavaralist R Statistics® tarkvara. Jooniste koostamisel on kasutatud MS Exceli. Joonistel karpidel olevad kriipsud iseloomustavad standardviga ning rist aritmeetilist keskmist.

5. TULEMUSED JA ARUTELU

5.1. Muld

5.1.1. Taimetoiteelemendid

Käesolevas töös analüüsiti mullas liikuva P, K, Ca ning Mg sisaldust AL meetodiga. Kõik analüüsid on tehtud kolmes korduses ja tulemused on esitatud nende keskmisena. Tabel 3 iseloomustab taimetoiteelementide sisaldust katsemuldades nõukatse eel ja Ca/Mg suhet muldades. Katsemuldade P sisaldus jääb 15 kuni 79 mg/kg, K sisaldus 13 kuni 241 mg/kg vsaele. Vastavalt muldade väetustarbe gradatsioonile (Tabel 2) kuuluvad mullad P sisalduse järgi vastavalt: κ mullal on keskmine sisaldus, θ mullal samuti keskmine sisaldus, τ mullal väga madal sisaldus ning μ mullal kõrge sisaldus. K sisaldused: κ mullal madal sisaldus, θ mullal keskmine sisaldus, τ mullal väga madal sisaldus ning μ mullal kõrge sisaldus. Mg sisaldused: kõikidel muldadel madal. Ca:Mg suhe muldades näitab, et muldades on suhteliselt palju Ca võrreldes Mg-ga. Sellest tulenevalt on nende muldade lupjamiseks sobiv just väga madala Mg sisaldusega lubiväetis.

Tabel 2. Fosfori ja kaaliumi sisalduse ja väetistarbe gradatsioonitabel AL meetodil Kuldkepp (2002) järgi, toiteelementide võrdlused katse alguse andmetega.

Sisaldus	Väetistarve	Fosfor		Kaalium		Magneesium	
		mg/kg	mullad	mg/kg	mullad	mg/kg	mullad
Väga madal	Väga suur	< 20	τ	< 50	τ		
Madal	Suur	20…40		50…100	κ	< 100	κ, θ, τ, μ
Keskmine	Keskmine	41…80	κ, θ	101…200	θ	110...160	
Kõrge	Väike	81…120	μ	> 200	μ	> 160	
Väga kõrge	Väga väike	> 120					

Tabel 3. Toiteelementide sisaldused ja Ca:Mg suhe katsemuldades AL meetodil katse alguses.

Mulla nimetus	Tähistus	P	K	Mg	Ca	Ca:Mg suhe
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
Keres	κ	43,8	72,5	41,3	142,6	3:1
Tõrra	θ	42,7	105,2	89,2	379,1	4:1
Tiksoja	τ	15,1	12,9	62,3	149,0	2:1
Madis	μ	79,3	241,1	101,7	381,1	4:1

Taimetoitainete sisaldused, mis määrati AL-meetodil katse lõpus, on esitatud Tabelis 4. Taimetoiteelementide sisalduste muutused ning kaltsiumi ja magneesiumi suhte (Ca:Mg) muutused on esitatud Tabelis 5.

Tabel 4. Taimetoiteelementide keskmised sisaldused katsevariantides AL meetodil katse lõpus.

Nõukatse variandid	Variandi tähistused	P, mg/kg	Mg , mg/kg	Ca, mg/kg	K , mg/kg	Ca:Mg
Kerese kontroll	Kκ	49,3	114,9	113,5	126,1	1,0:1
Kerese 50%	50% κ	37,8	122,5	352,6	103,4	2,9:1
Kerese 100%	100% κ	35,1	139,2	726,0	93,8	5,2:1
Tõrra kontroll	Kθ	19,0	170,5	361,7	140,5	2,1:1
Tõrra 50%	50% θ	30,3	188,1	593,5	126,7	3,2:1
Tõrra 100%	100% θ	34,2	152,2	852,1	99,2	5,6:1
Madise kontroll	Kμ	142,5	200,6	348,2	322,5	1,7:1
Madise 50%	50% μ	153,3	204,8	599,8	302,5	2,9:1
Madise 100%	100% μ	157,0	220,8	860,1	320,2	3,9:1
Tiksoja kontroll	Kτ	33,3	158,6	153,2	87,4	1,0:1
Tiksoja 50%	50% τ	34,3	222,0	1045,4	89,6	4,7:1
Tiksoja 100%	100% τ	43,8	254,3	2251,8	85,2	8,9:1

Tabelis 4 on esitatud taimetoiteelementide sisaldused nõukatse lõpus. Kõigi katsevariantide puhul on näha Ca sisalduse kasvu lubiväetise lisamisel. Kaltsiumi sisalduse kasv on kõige suurem Tiksoja mullal, kuna antud mulla hüdrolüütiline happesus oli kõrgeim ja sellest tulenevalt oli ka selle kasutatud lubiväetise kogus kõige suurem.

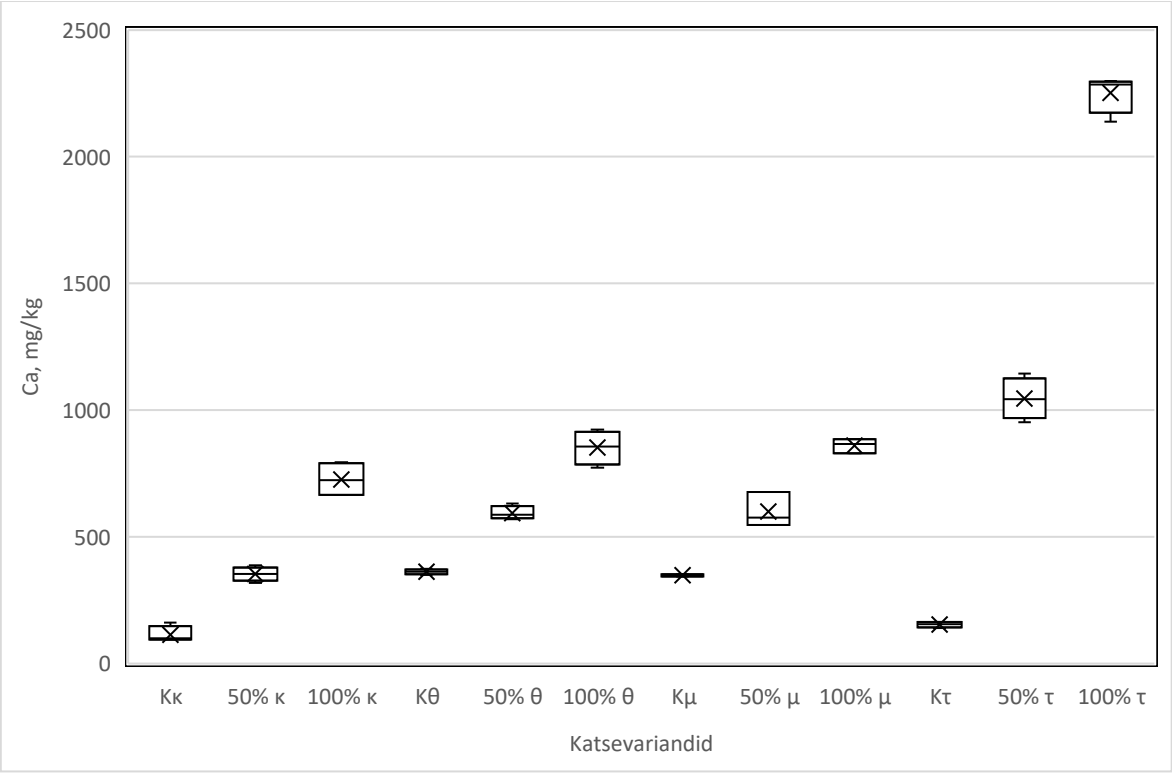
Samuti on paranenud Ca:Mg suhe, kuid pole ühegi mulla puhul jõudnud ideaalseks peetud suuruseni 10:1....20:1. Kõigi muldade puhul on Ca sisalduse kasv statistiliselt oluliselt erinev (Joonis 5). K sisaldusi pole lubiväetise lisamine mõjutanud. P sisalduste muutused on erinevate muldade puhul erisuunalised. Kerese mulla puhul mulla P sisaldus väheneb lubiväetise kasutusnormi kasvades, ülejäänud muldade puhul aga väheneb.

Tabel 5. Taimetoiteelementide sisalduste muutused katse tulemusel. Sisaldused on määratud AL meetodil.

Nõukatse variandid	P sisalduse muutus, mg/kg	K sisalduse muutus, mg/kg	Mg sisalduse muutus, mg/kg	Ca sisalduse muutus, mg/kg	Ca:Mg suhte muutus
Kκ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50% κ	-11,5	-22,7	7,5	239,1	1,9
100% κ	-14,2	-32,3	24,3	612,5	4,2
Kθ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50% θ	11,3	-13,7	17,6	231,8	1,0
100% θ	15,2	-41,2	-18,2	490,4	3,5
Kμ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50% μ	10,7	-20,0	4,2	251,6	1,2
100% μ	14,4	-2,2	20,2	511,9	2,2
Kτ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50% τ	1,0	2,2	63,4	892,2	3,7
100% τ	10,5	-2,2	95,7	2098,6	7,9

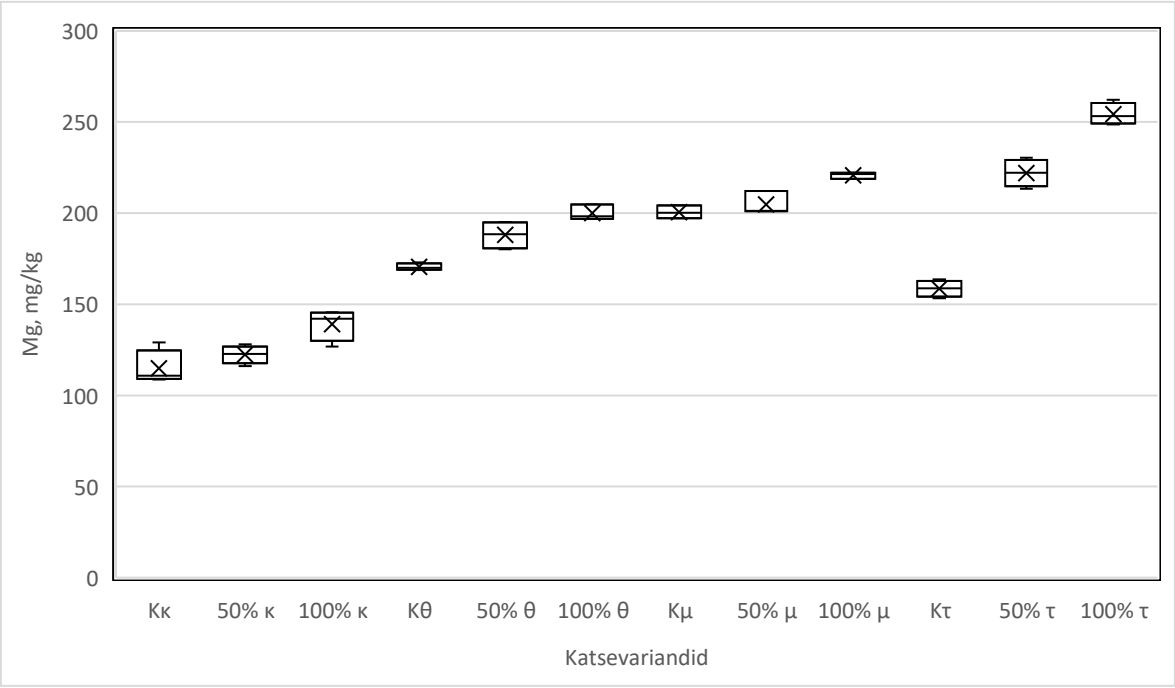
Fosfori puhul on kolme mulla puhul (Tabel 5) näha P sisalduse kasvu. Ühel, κ mullal vastupidi, sisaldus kahanes lubiväetise toimel. Kaaliumi sisalduse muutus lubiväetise lisamise tulemusel on kõigi katsemuldade puhul negatiivne. Magneesiumil sisaldus on valdavalt kasvava trendiga, eriti τ muldades. Kaltsiumi sisaldus suurenes märgatavalt kõigis nõukatse variantides. Mida enam on lubiväetist mulda segatud, seda rohkem paranes ka mulla Ca:Mg suhe.

Joonisel 5 on kujutatud liikuva kaltsiumi sisaldus katsemuldades katse lõpus. Kõigi katsemuldade puhul on näha kaltsiumi sisalduse tõusu lubiväetise kasutamisel. Tõus on eriti suur τ mullal, millel kasutati kõige suuremat lubiväetise kogust.



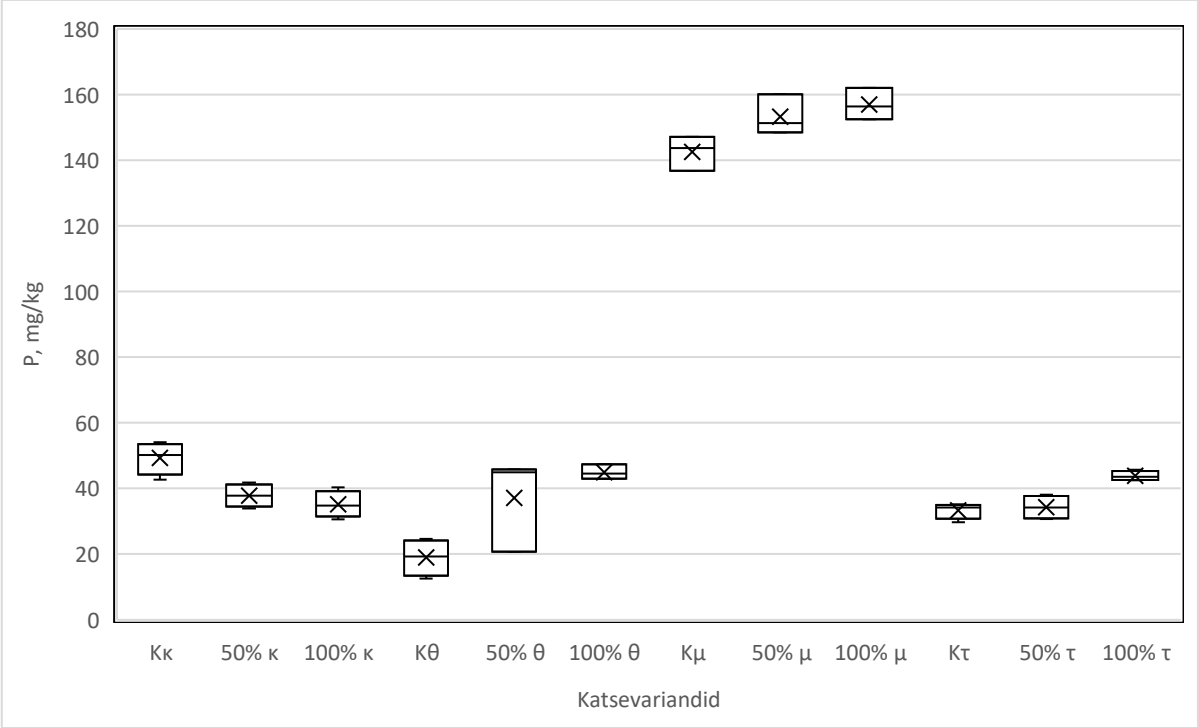
Joonis 5. Liikuva kaltsiumi sisaldus katse lõpus.

Joonisel 6 on kujutatud liikuva magneesiumi sisaldus katsemuldades katse lõpus. Kõikidel katsemuldades esineb kasvav trend, kuid varieeruvus on kõrge. Eriti suurt kasvutrendi on täheldatud τ mullal. Ca:Mg suhte paranemine soodustab nii kaltsiumi kui ka magneesiumi paremat omastamist taimede poolt.



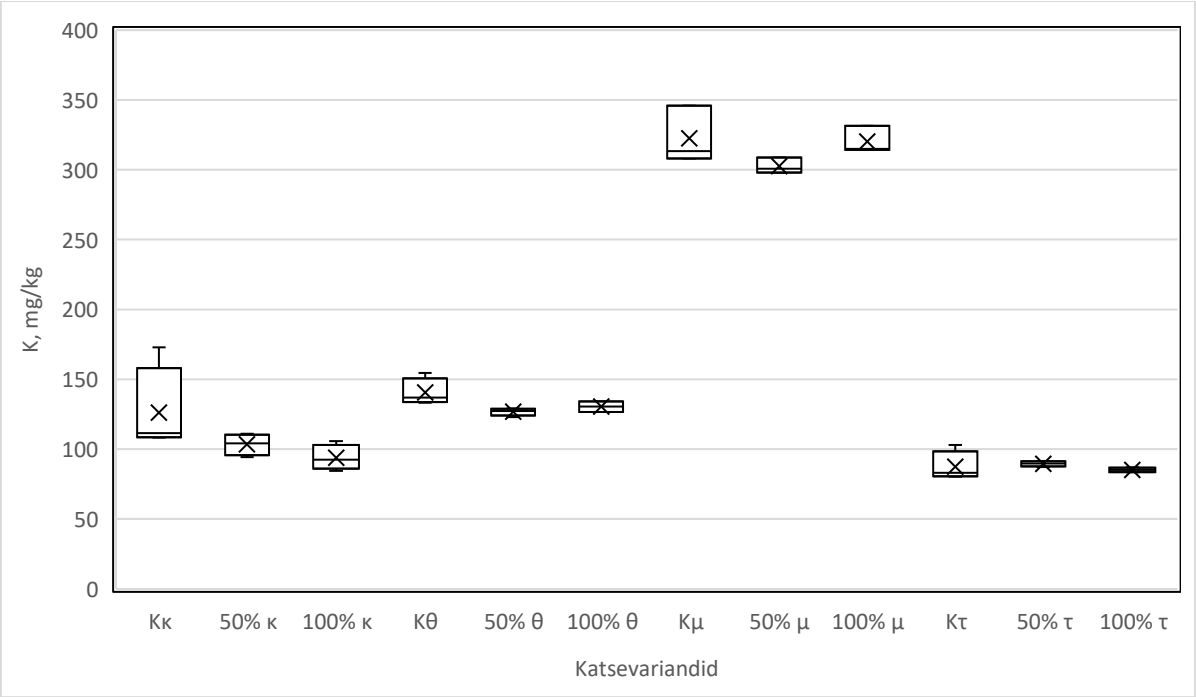
Joonis 6. Liikuva magneesiumi sisaldus katse lõpus.

Joonisel 7 on kujutatud fosfori sisaldust katsemuldades katse lõpus. Statistiliselt usutavat kõrgemat fosfori sisaldust on näha θ, μ ning τ muldades.. κ muldades on täheldatud statistiliselt usaldusväärset negatiivset muutust taimedele omastatava fosfori (P) sisalduses.



Joonis 7. Liikuva fosfori sisaldus katse lõpus.

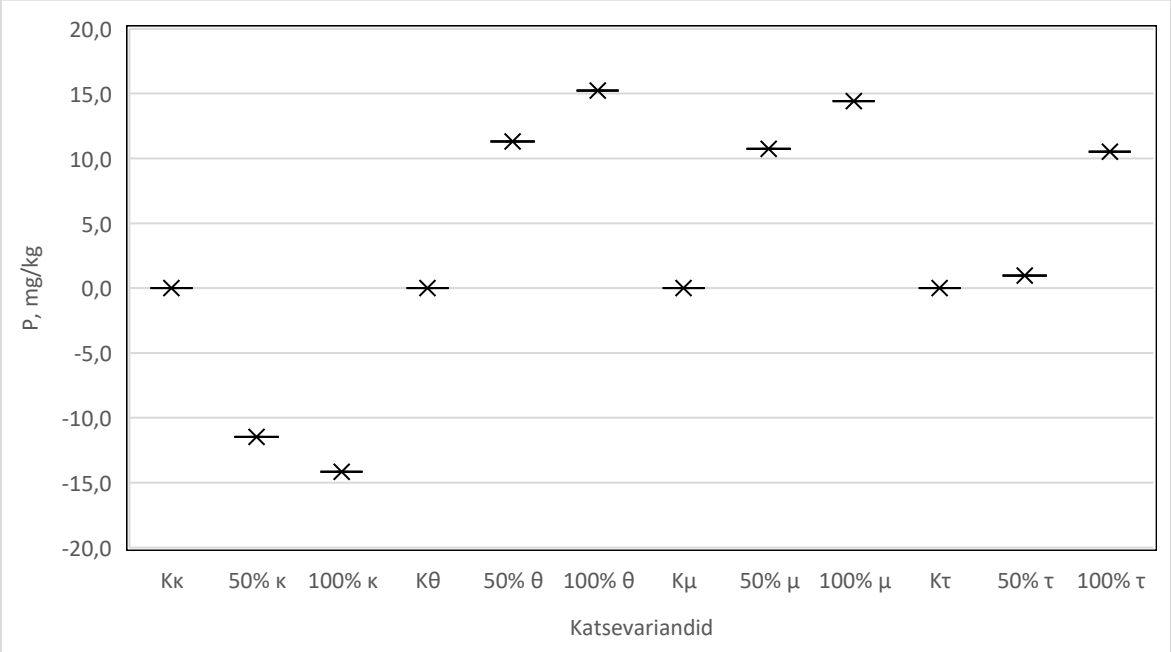
Joonisel 8 on esitatud liikuva kaaliumi sisaldust katsemuldades katse lõpus. Suurt muutust katsemuldade K sisalduses lubiväetise toimel ei täheldatud. κ mullal on näha taimedele omastatava K sisalduse vähenemist lubiväetise lisamise tulemusel (Joonis 8).



Joonis 8. Liikuva kaaliumi sisaldus katse lõpus.

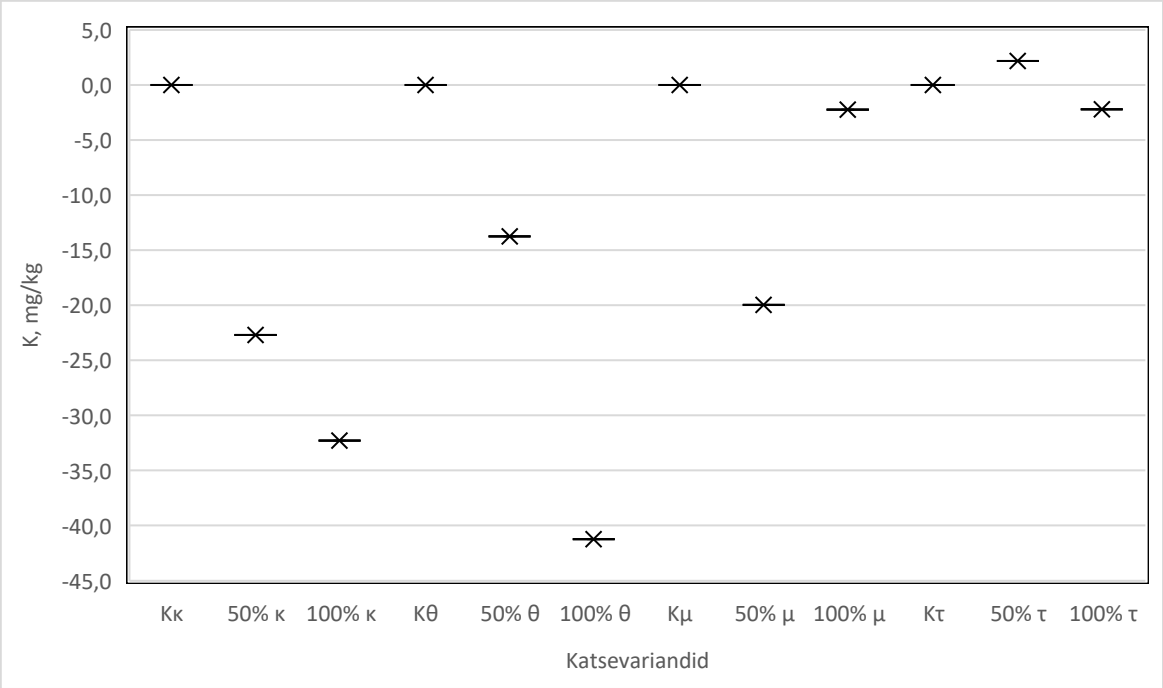
Joonisel 9 on kujutatud fosfori sisalduse muutust katsevariantides. Valdavalt on P sisalduse muutus muldades kasvav, ulatudes 15 mg/kg. Erandiks on κ muld, kus P sisaldus vähenes.

Kuna sisalduse muutused on järgnevatel taimetoiteelemendi muutuste joonistel arvutatud iga katsevariandi keskmise põhjal, on need joonisel esitatud punktidena



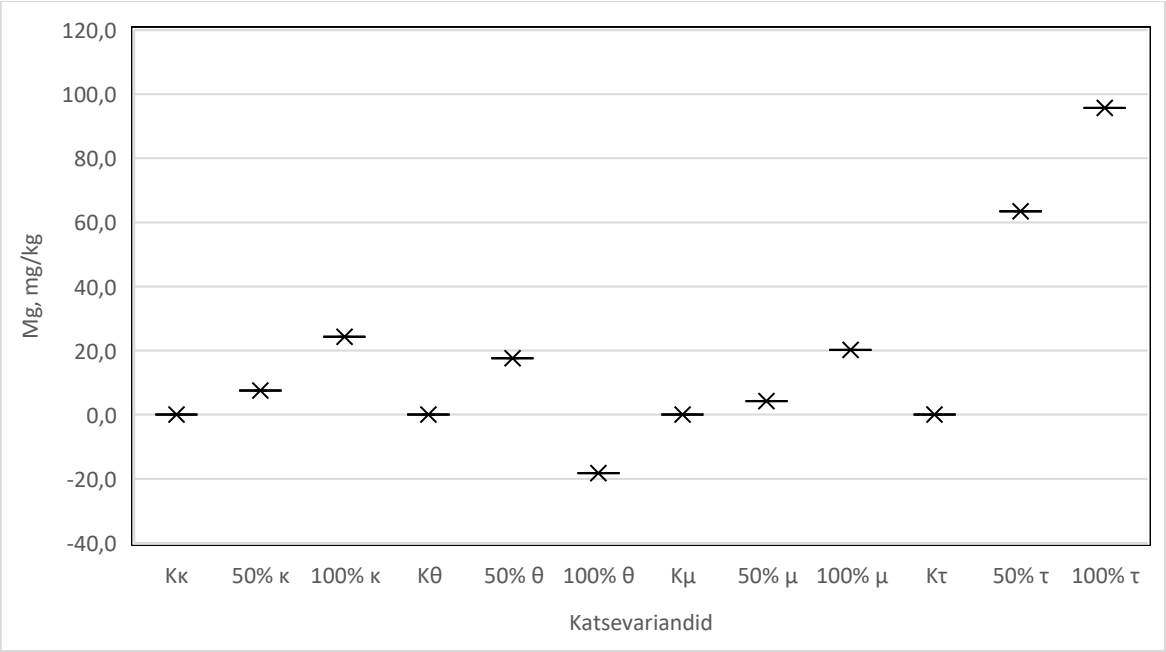
Joonis 9. Fosfori sisalduse muutus lubiväetise toimel.

Joonisel 10 on kujutatud kaaliumi sisalduse muutust katsevariantides katse lõpus. Kõikides variantides on langev trend, kõige suurem on K sisalduse langus θ mullas, ning kõige väiksem langus τ mullas.



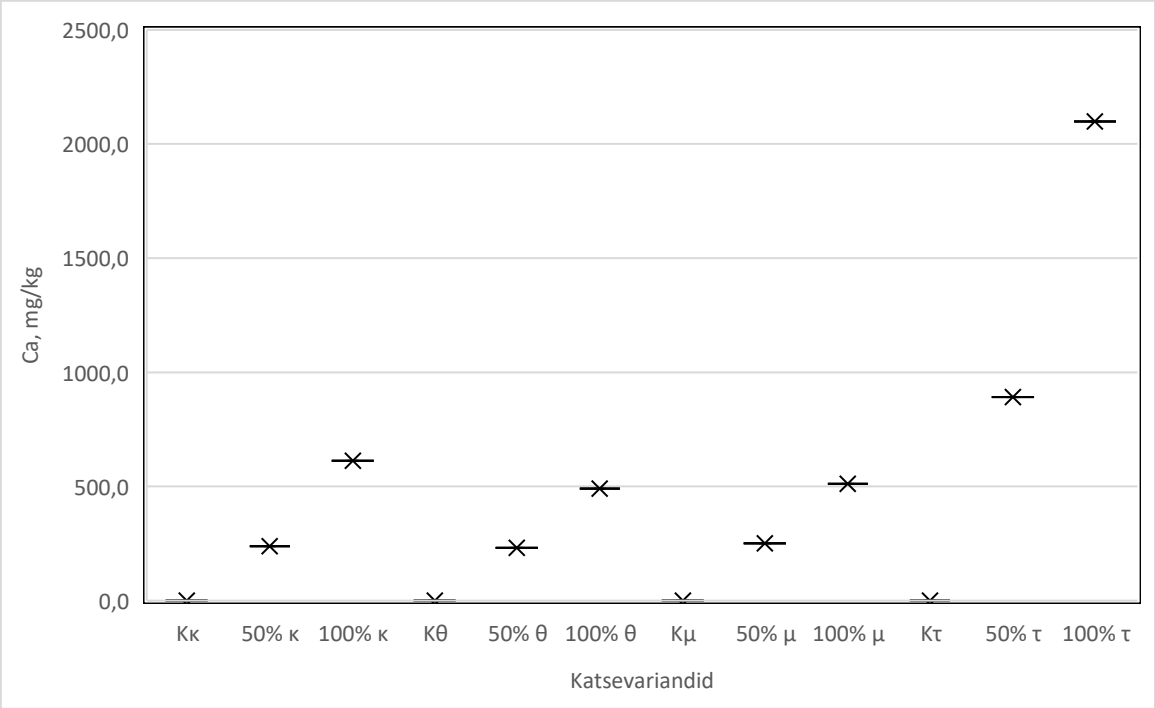
Joonis 10. Kaaliumi sisalduse muutus lubiväetise toimel.

Joonisel 11 on kujutatud magneesiumi sisalduse muutust katsevariantide muldades katse lõpus. Kõikides variantides on magneesiumi sisaldusel tõusev trend, millest kõige suurem tõus on τ mullas. Suur tõus tuleneb suuremast kasutatud lubiväetise kogusest, mis parandas Ca:Mg suhet ning sellega ka magneesiumi kättesaadavust taimedele.



Joonis 11. Magneesiumi sisalduse muutus lubiväetise toimel.

Joonisel 12 on esitatud kaltsiumi sisalduse muutus katsevariantides katse lõpus. Trend on magneesiumiga sarnane, kuna kasutatav lubiväetis sisaldab keemiliselt sarnaste omadustega kaltsiumi ja magneesiumi. Kõikide variantide puhul on tõusev trend, millest kõige suurem on τ mullas, kuna sellel oli kõige suurem lupjamise norm.



Joonis 12. Kaltsiumi sisalduse muutus lubiväetise toimel.

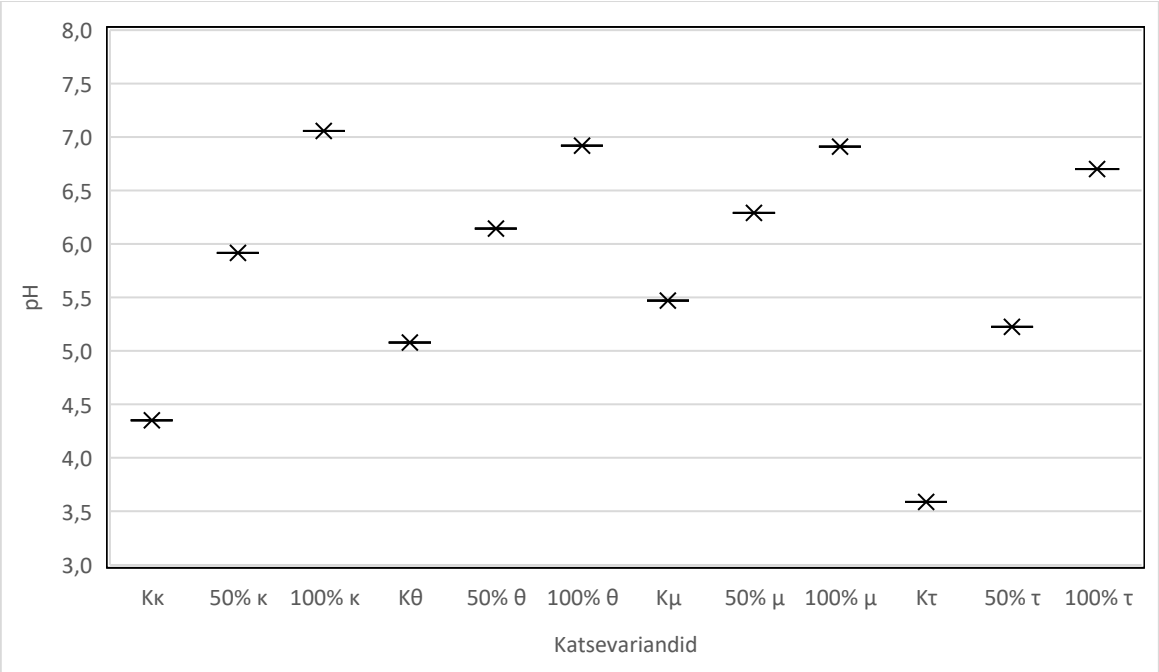
5.1.2. pH

Töös määratud katsevariantide pH väärtused on esitatud tabelis 6. pH väärtused on esitaud on esitatud katsevariantide keskmiste pH-dena. Katses kõige happelisem oli τ muld, mis oli pärit segametsast. Organilise aine kõdunemine, eriti okaspuu varis, on tugeva happelise efektiga muldadele. Iga katsemuld, millel oli kasutatud 100% lubjaväetise normi, saavutas neutraalse happelisuse või sellele väga lähedase tulemuse. Kuna τ muld oli algselt tugevalt happeline (pH 3,6), ei õnnestunud seda 100% lubjanormiga päris neutraalseks muuta.

Tabel 6. Muldade pH nõukatse lõpus.

Nõukatse variandid	Nõukatse nimetused	pH keskmine
Kerese kontroll	Kκ	4,4
Kerese 50%	50% κ	5,9
Kerese 100%	100% κ	7,1
Tõrra kontroll	Kθ	5,1
Tõrra 50%	50% θ	6,1
Tõrra 100%	100% θ	6,9
Madise kontroll	Kμ	5,5
Madise 50%	50% μ	6,3
Madise 100%	100% μ	6,9
Tiksoja kontroll	Kτ	3,6
Tiksoja 50%	50% τ	5,2
Tiksoja 100%	100% τ	6,7

Joonisel 13 on kujutatud katsevariantide pH-d katse lõpus. Kõik mullad saavutasid 100% lubjatarbe normi juures neutraalse reaktsiooni, või vähemalt sellele väga lähedase.



Joonis 13. pH katse lõpus.

5.2. Taimed

5.2.1. Tärkamine

Taimede tärkamist iseloomustavad andmed igas katsevariandis on esitatud tabelis 7. Igasse potti külvati 6 rapsiseemet. Kasutades nelja (kolme) paralleeli andmeid arvutati keskmine taimede arv ning selle kaudu idanevuse protsent. Idanevus kõigub 50…79% vahemikus, mida võivad mõjutada erinevad mullaomadused ning seemne vanus.

Tabel 7. Rapsitaimede keskmine arvukus ning idanevuse % igas katsevariandis.

Nõukatse variandid	Nõukatse nimetused	Taimede arv keskmine	Idanevus %
Kerese kontroll	Kκ	4,0	67
Kerese 50%	50% κ	3,5	58
Kerese 100%	100% κ	4,8	79
Tõrra kontroll	Kθ	3,0	50
Tõrra 50%	50% θ	3,8	63
Tõrra 100%	100% θ	3,3	54
Madise kontroll	Kμ	3,7	61
Madise 50%	50% μ	2,7	44
Madise 100%	100% μ	3,3	56
Tiksoja kontroll	Kτ	4,5	75
Tiksoja 50%	50% τ	3,0	50
Tiksoja 100%	100% τ	4,3	71

5.2.2. Biomass ja kuivaine

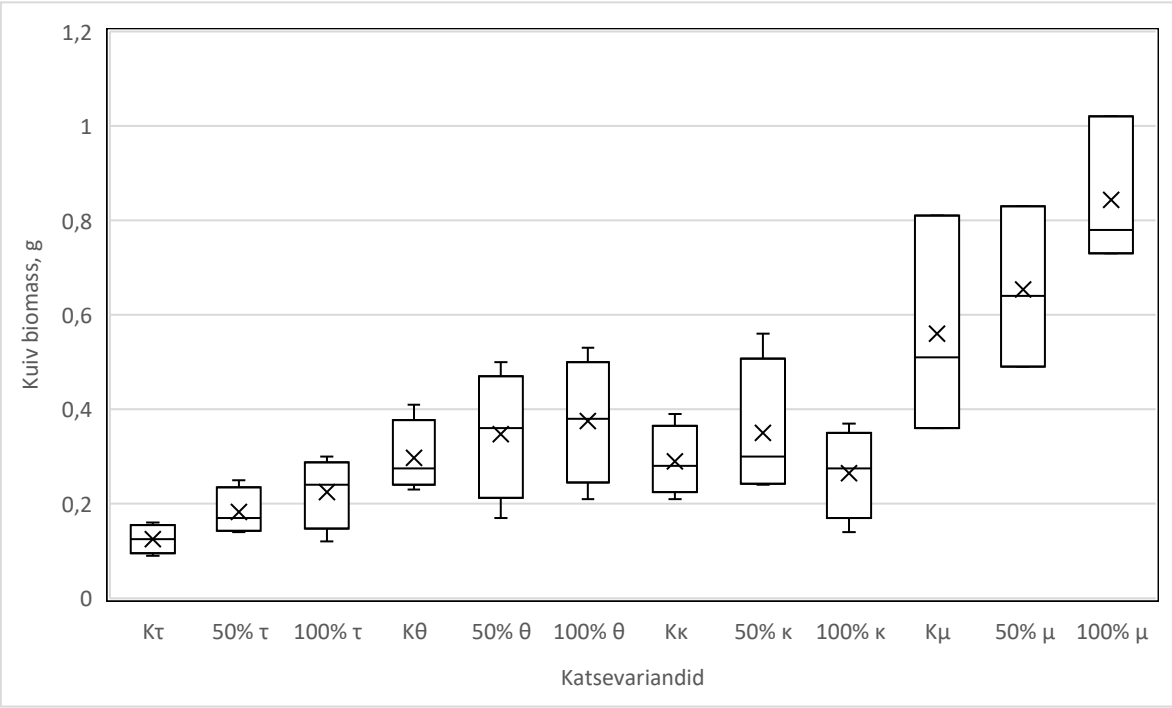
Nõukatse üheks oluliseks tulemuseks on biomassi kogus, mis on esitatud tabelis 8 nii värske materjali kui ka kuivatatud materjali kaaluna.

Tabelis 8 on esitatud nõukatse variantides katse lõpus kogutud rapsitaime saagist märja ning kuiva kaaluna. Taimse biomassi saagis on lubiväetise lisamise tulemusel igal katsemullal kasvav, väljaarvatud κ mullal, kus 50% lubjatarbe normi juures on tõusev trend, kuid langeb uuesti 100% normi juures. Sellel võib olla erinevad põhjused. Üheks võimalikuks seletuseks on, et kindlaid happelises keskkonnas liikuvaid toiteelemente (näiteks mangaan, boor, raud, vask, tsink jne) esineb κ mullas vähe, ning reaktsiooni tõstmisel tekivad eriti suured puudused kättesaadavuse languse tõttu, isegi kui teiste toiteelementide kättesaadavused tõusevad.

Tabel 8. Rapsitaimede keskmine märg ning kuiv biomassi kaal igas mullas.

Nõukatse variandid	Nõukatse nimetused	Märg kaal, g	Kuiv kaal, g
Kerese kontroll	Kκ	3,57	0,29
Kerese 50%	50% κ	4,73	0,35
Kerese 100%	100% κ	3,89	0,27
Tõrra kontroll	Kθ	3,50	0,30
Tõrra 50%	50% θ	4,26	0,35
Tõrra 100%	100% θ	4,90	0,38
Madise kontroll	Kμ	7,03	0,56
Madise 50%	50% μ	7,41	0,65
Madise 100%	100% μ	8,66	0,84
Tiksoja kontroll	Kτ	1,07	0,13
Tiksoja 50%	50% τ	1,95	0,18
Tiksoja 100%	100% τ	2,75	0,23

Joonis 14 kujutab rapsitaime biomassi kuiva kaalu katsevariantidel katse lõpus. Valdavalt on kasvav trend, 100% lubjatarbe normi juures kõige parem saagis. Anomaaliaks κ muld, kus 50% normi juures on kasv, aga 100% normi juures langus.



Joonis 14. Rapsitaime biomassi kuiv kaal katse lõpus.

5.2.3. Taimetoiteelementide sisaldused biomassis

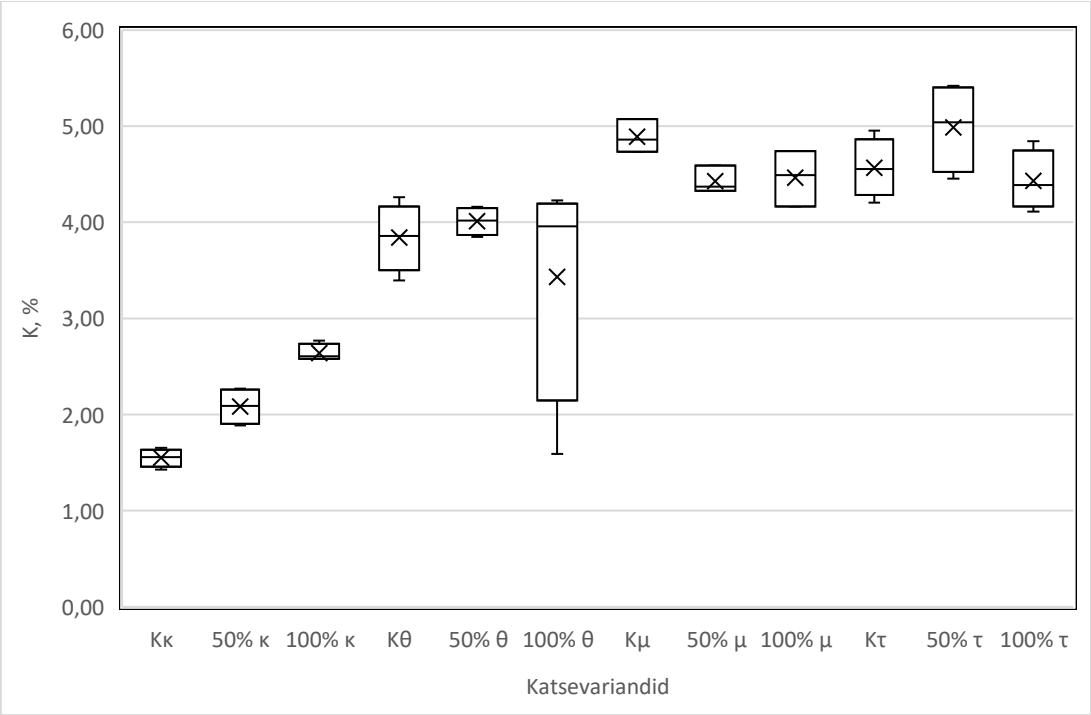
Taimetoiteelementide sisaldused on esitatud elementide üldsisaldusena. Toodud sisaldused on määratud terves taimede maapealses biomassis, juurte koostist ei ole katses määratud ja töös arvesse võetud.

Tabel 9. Rapsitaime toiteelementide üldsisaldused, mõõdetud taime kuiva biomassi üldanalüüsiga.

Nõukatse variandid	Nõukatse nimetused	K keskmine, %	P keskmine, %	Ca keskmine, %	Mg keskmine, %
Kerese kontroll	Kκ	1,55	0,07	2,48	0,42
Kerese 50%	50% κ	2,08	0,05	3,09	0,53
Kerese 100%	100% κ	2,64	0,03	3,29	0,42
Tõrra kontroll	Kθ	3,84	0,03	2,82	0,54
Tõrra 50%	50% θ	4,01	0,02	3,74	0,55
Tõrra 100%	100% θ	3,43	0,03	2,90	0,43
Madise kontroll	Kμ	4,89	0,06	2,21	0,36
Madise 50%	50% μ	4,43	0,03	2,88	0,38
Madise 100%	100% μ	4,47	0,04	3,82	0,38
Tiksoja kontroll	Kτ	4,57	0,03	3,70	0,40
Tiksoja 50%	50% τ	4,99	0,04	2,53	0,43
Tiksoja 100%	100% τ	4,43	0,02	2,03	0,33

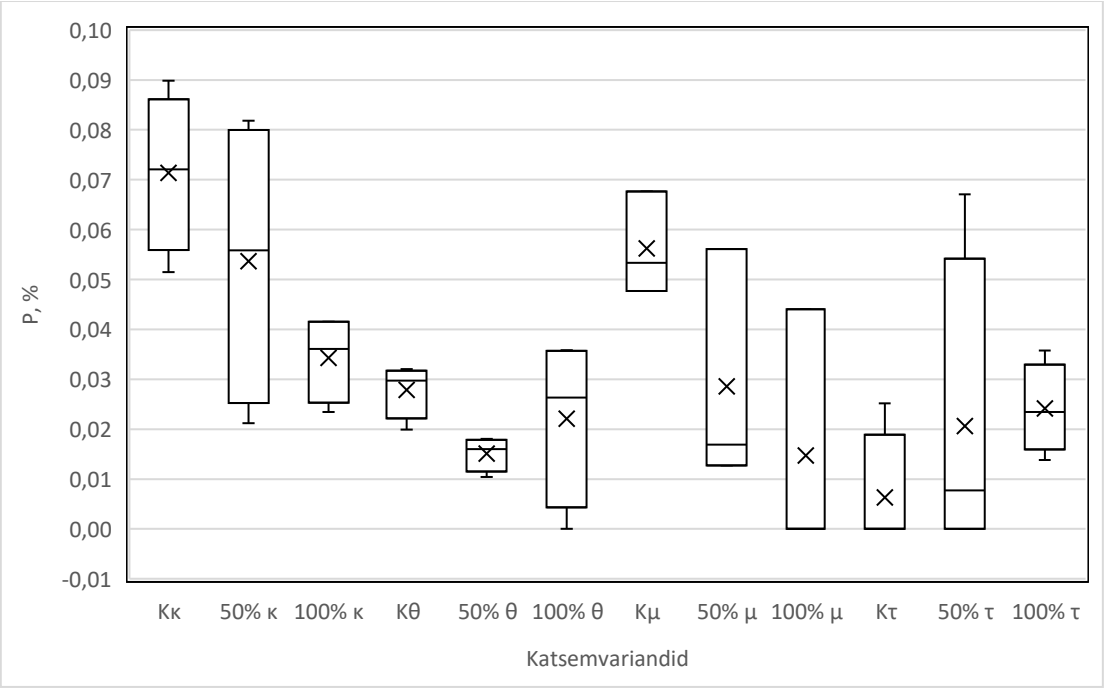
YARA andmete järgi on optimaalsed toiteelementide sisaldused vastavalt: K 3,23%; P 0,64%; Ca 2,20%; Mg 0,18% (YARA 2025). Kaaliumi ja fosfori tasemed on taimedes väga madalad, küll aga kaltsiumi ja magneesiumi tasemed on kõrged. Kuna mullas oli juba alguses magneesiumi tasemed kõrged ning väetamisel sai palju kaltsiumi juurde, võib seda loogiliseks pidada.

Joonisel 15 on kujutatud kaaliumi sisaldus rapsitaime biomassis katse lõpus. Valdavalt erilist trendi taimede K sisalduses katsevariantidel ei esine. Erandiks κ muld, kus K sisaldusel on selge tõusev trend lubiväetiste lisamise tulemusel.



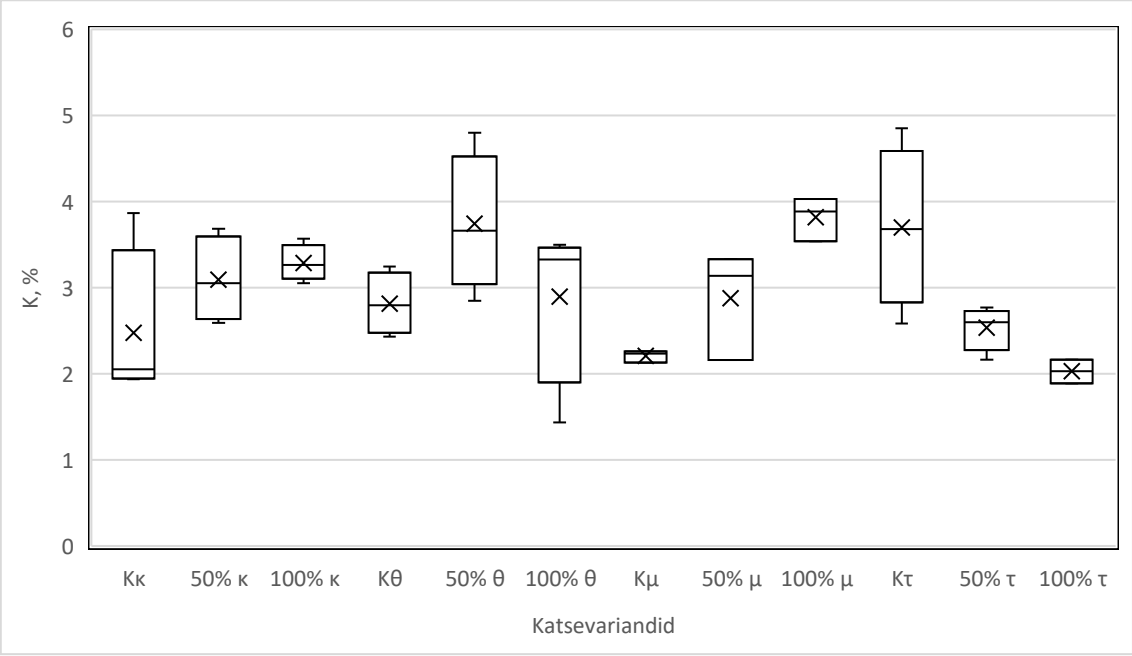
Joonis 15. Kaaliumi üldsisaldus rapsitaime kuivas biomassis katse lõpus.

Joonisel 16 kujutatud fosfori üldsisaldust rapsitaime biomassis katse lõpus. Kuna P sisaldused on väga madalad, siis on analüüsi meetodist tulenevalt kõikumised paralleelide vahel suured. Seetõttu ei ilmunud saadud tulemustest mingit erinevust P sisalduses katsevariantide vahel. Küll aga on võimalik andme keskmiste joontega näha mingil määral P sisalduse muutuse trendi. κ ning μ muldades on näha P sialduse muutuse langevat ja τ mullal tõusvat trendi.



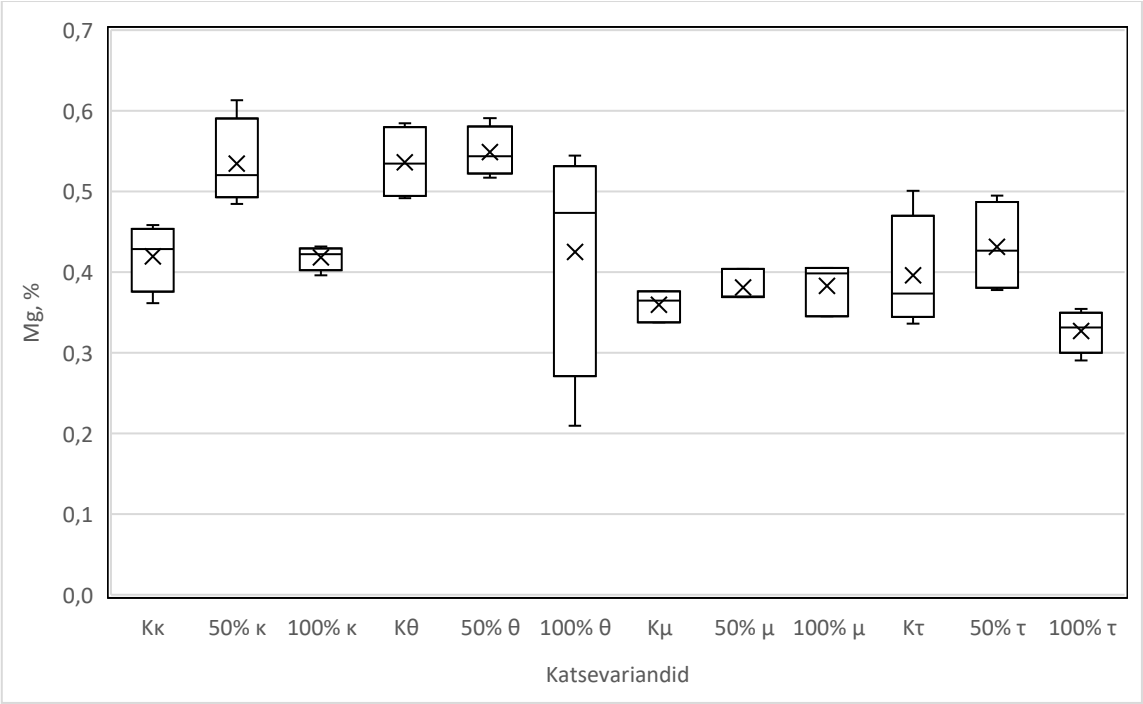
Joonis 16. Fosfori üldsisaldus rapsitaime kuivas biomassis katse lõpus.

Joonisel 17 on esitatud kaltsium üldsisaldus rapsitaime biomassis katse lõpus. Kaltsiumi sisalduse kasvutrend taimes ilmneb κ ning μ muldade puhul, langev trend τ mullal.

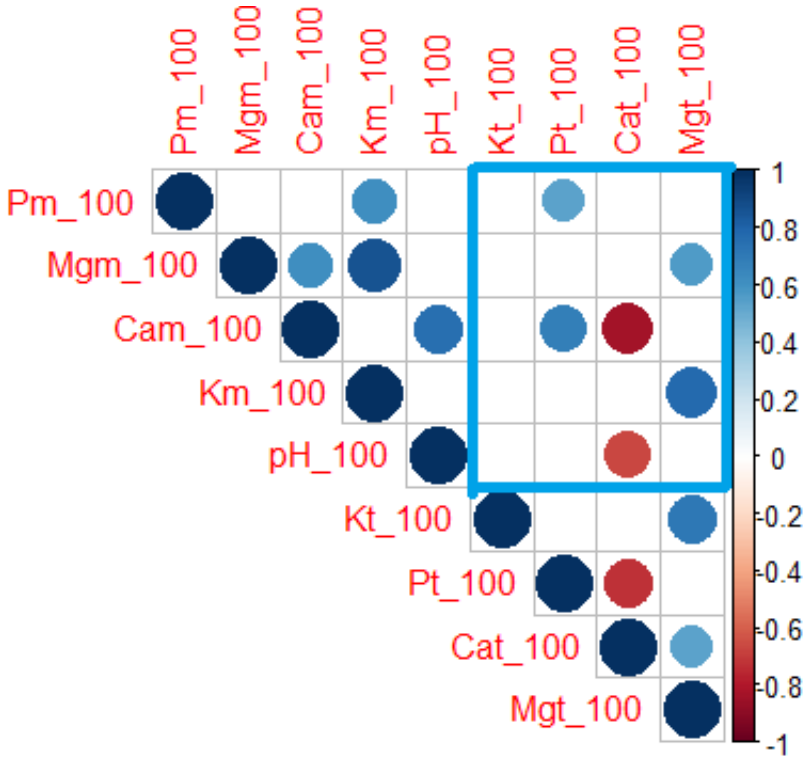


Joonis 17. Kaltsiumi üldsisaldus rapsitame kuivas biomassis katse lõpus.

Joonisel 18 on toodud magneesiumi sisaldus rapsitaime biomassis katse lõpus. Selget muutust taime üldmagneesiumi sisalduses lubiväetise lisamise tulemusel saadud andmetest ilmne.



Joonis 18. Magneesiumi üldsisaldus rapsitaime kuivas biomassis katse lõpus.



Joonis 19. Mulla toiteelementide sisalduste ja pH muutuste ning rapsitaimede keemilise koostise muutuste omavaheline korrelatsioonimaatriks katsemuldade väetamisel 100% lubjatarbe normiga. Joonisel on esitatud ainult statistiliselt usutavad korrelatsioonid (95%).

Indeks m tähises näitab mulda, indeks t aga taime. Mulla liikuvad taimetoiteelemendid on määratud AL meetodil, taimedes aga elementide üldsisaldus. Korrelatsiooni tugevust näitab ketta värvus, värvuse hindamise skaala on maatriksi kõrval. Sinise kastiga ümbritsetud alas on esitatud mulla- ja taimevahelised korrelatsioonid.

Positiivne seos on mulla P sisalduse muutusel taimede P sisalduse muutusega, samuti mulla Mg sisalduse kasvamisel kasvab ka taimede Mg sisaldus (joonis 19). Taimede Mg sisaldus kasvab ka K sisalduse suurenedes. Mulla Ca sisalduse kasvades kasvab ka taimede varustatud P-ga. Negatiivsed korrelatsioonid: Mulla Ca sisalduse kasvades taimede Ca sisalduse väheneb. Mulla pH kasvades samuti taimede varustatus Ca väheneb. Negatiivne korrelatsioon tuleneb sellest, et mullas on magneesiumi üleliigselt ning kaltsiumi liikuvus on mullas takistatud, isegi suure lupjamise normi korral.

KOKKUVÕTE

Happelised mullad on paljudes Eesti piirkondades, eriti lõunaosas, põllumajandusele märkimisväärseks probleemiks, mõjutades ligikaudu 54,5% kogu põllumajandusmaast. Happeliste muldade omaduste parandamine lupjamise abil on enamiku põllukultuuride edukaks kasvatamiseks hädavajalik. Antud töös on katsetatud väljatöötamisel olevat Corestone lubjakivijahu lubiväetisena.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on hinnata perspektiivse Corestone lubiväetise efektiivsust happeliste muldade omaduste parandamisel rapsi (*Brassica napus* L.) taimedega tehtud nõukatses. Uuringus töödeldi nelja erinevat happelist mulda Corestone'iga kahe väetusnormiga, mis vastasid 50% ja 100%-le arvutatud lubjavajadusest. Nendel töödeldud muldadel kasvatati talirapsi sorti Fenja. Mulla pH ja taimedele omastatava fosfori (P), kaaliumi (K), magneesiumi (Mg) ja kaltsiumi (Ca) kontsentratsioonid määrati enne ja pärast katset. Lisaks analüüsiti rapsi biomassi hulka ja selle keemilist koostist.

Corestone lubiväetise kasutamine tõi kaasa pH tõusu kõigis katsetatud muldades. Mullad, mida töödeldi 100% lubjatarbele vastava väetise kogusega, saavutasid neutraalse pH või sellele väga lähedase pH väärtuse. Lupjamisega täheldati mulla kaltsiumisisalduse olulist tõusu, eriti kõige happelisemas mullas (τ muld), mille lubjatarve oli kõige kõrgem. Kuigi Ca:Mg suhe muldades paranes, ei saavutatud optimaalset taset. Mõju fosforisisaldusele oli eri muldade lõikes erinev, samas kaaliumisisaldus näitas üldiselt langustrendi. Mulla magneesiumisisaldus üldiselt suurenes pärast töötlemist. Statistiliselt usutavat erinevust rapsi biomassil sõltuvalt kasutatud lubiväetise normist ei olnud, kui on selge trend biomassi kasvuks lubiväetiuse lisamisel, välja arvatud üks katses olnud muld (κ muld). Selle põhjuseks võib olla tingitud mikrotoitainete puudusest, mis on happelises keskkonnas paremini kättesaadavad. Rapsi biomassi toitainete kontsentratsioonid näitasid erinevaid suundumusi; eelkõige oli kaaliumi ja fosfori tase väga madal, samas kaltsiumi ja magneesiumi tase oli kõrge. Täheldati positiivseid korrelatsioone mulla fosfori ja taime fosfori sisalduse muutuste, samuti mulla magneesiumi ja taime magneesiumi sisalduse muutuste vahel. Mulla kaltsiumisisalduse suurenemine oli seotud taimede kõrgema fosforisisaldusega, kuid vastupidi, madalama kaltsiumisisaldusega. Samamoodi oli mulla pH tõus korrelatsioonis taimede kaltsiumisisalduse vähenemisega.

KASUTATUD KIRJANDUS

Ahemad, M., Khan, M. S., & Zaidi, A. (2009). Biological importance of phosphorus and phosphate solubilizing microbes - An overview. In M. S. Khan & A. Zaidi (Eds.), Phosphate Solubilising Microbes for Crop Improvement (pp. 1-14). Nova Science Publishers.

Ali, U., Khaskheli, M. A., Rajput, A., Shar, T., Bhutto, M. K., & Jatoi, G. H. (2025). Magnesium Mysteries Unveiled: Insights into Its Impact on Plants and Human Health and Biofortification Strategies to Enhance Magnesium Content in Cereal Crops (2025) Crop Biofortification: Biotechnological Approaches for Achieving Nutritional Security Under Changing Climate, pp. 201 - 232

Annuk, T. (2019). Peremehe parem käsi. Scandagra. 160 lk.

Asatova, A., & Myachina, O. (2024). Influence of Concentrated Slow-Acting Phosphate Fertilizers on the Growth Dynamics and Development of Plants and Cotton Yield (2024) Lecture Notes in Networks and Systems, 733, pp. 617 - 626

Astover, A., Kõlli, R., Roostalu, H., Reintam, E. & Leedu, E. (2012). Mullateadus. Tartu: Eesti Maaülikool. 486 lk.

Bhuyan, M., & Sarma, A. K. (2007). Soil acidity and its effect on exchangeable AI, Ca, Mg, Mn and lime requirement of tea garden soils of Lakhimpur District, Assam (2007) Pollution Research, 26 (2), pp. 203 - 206

Biswas, D. K., Ma, B. L., & Morrison, M. J. (2019). Changes in leaf nitrogen and phosphorus content, photosynthesis, respiration, growth, and resource use efficiency of a rapeseed cultivar as affected by drought and high temperatures (2019) Canadian Journal of Plant Science, 99 (4), pp. 488 - 498

Maaelu Teadmuskeskus. (2023). pH muutus maakondades 2013-2022 [veebileht]. https://metk.agri.ee/en/media/6570/download (09.05.2025)

Ceylan, Y., Kutman, U. B., Mengutay, M., & Cakmak, I. (2016). Magnesium applications to growth medium and foliage affect the starch distribution, increase the grain size and improve the seed germination in wheat. Plant and Soil, 406(1-2), 145–156

Cong, R., Li, H., Zhang, Z. & Ren, T.. (2016). Evaluate regional potassium fertilization strategy of winter oilseed rape under intensive cropping systems: Large-scale field experiment analysis. Field Crops Research, 193, 34 – 42.

Dixit, S., Shukla, A. & Singh, D. K. (2021). Methods for detection and measurement of calcium in plants. 10.1016/B978-0-12-821792-4.00007-2

DooFi. (2009). Liebigi miinimumseaduse joonis [veebileht]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Minimum-Tonne.svg (09.05.2025)

Drapanauskaite, D. (2020). Effect of different chemical composition and structure of liming materials on acid soil neutralizing. Kaunas: Vytautas Magnus University: Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry. 152 lk.

PM069: Põldude lupjamine. *Eesti statistika andmebaas*. https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus__pellumajandus__pellumajandussaaduste-tootmine__taimekasvatussaaduste-tootmine/PM069 (11.05.2025)

Feller, C., & Müller, A. (2018). Characterization of macro and micro nutrient deficiency symptoms in asparagus (*Asparagus officinalis* L.). Acta Horticulturae, 1223, 87-94.

Geng, G., Ye, X., Yu, X., Ren, T., Cong, R., Li, X., Zhang, Y., Lu, Z. & Lu, J. (2025). Effect of Basal Application of Magnesium Sulfate and Magnesium Chloride on Seed Yield and Quality of Rapeseed. Acta Pedologica Sinica, 62 (2), 472 – 483.

Gu, H.-h., Cui, X., Li, J., Zhou, Y.-g., Lu, Z.-f., Zhang, Y.-y., Cong, R.-h., Li, X.-k., Ren, T., & Lu, J.-w. (2023). Effects of potassium application rate on the yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 29(6), 1091-1102.

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Nahar, K., Hossain, M. S., Mahmud, J. A., Hossen, M. S., Masud, A. A. C., Moumita, & Fujita, M. (2018). Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses. Agronomy, 8(3), 31.

Hou, J., Yan, L., Cheng, J., Zeng, Z., Zhang, Y., Lu, K. & Jiang, C. (2022). Mechanistic mechanism of calcium L-aspartate nanoparticles to promote the growth of rape. Journal of Agro-Environment Science, 41 (8), pp. 1408 – 1416.

Imran, Amanullah, Al Tawaha A.R. (2023). Regenerating Potential of Dual Purpose Rapeseed (*Brassica Napus* L.) as Influenced by Decapitation Stress and Variable Rates of Phosphorous (2023) Communications in Soil Science and Plant Analysis, 54 (4), pp. 534 - 543

Islam, M. A., Milham, P. J., Dowling, P. M., Jacobs, B. C., Garden, D. L. (2004). Improved Procedures for Adjusting Soil pH for Pot Experiments (2004) Communications in Soil Science and Plant Analysis, 35 (1-2), pp. 25 - 37

Jamali Jaghdani, S., Jahns, P., Tränkner, M. (2021). The impact of magnesium deficiency on photosynthesis and photoprotection in *Spinacia oleracea*. Plant Stress, 2, art. no. 100040

Järvan, M. & Järvan, U. (2010). Muldade lupjamine. Saku: Eesti Maaviljeluse Instituut. 116 lk.

Johnson, R., Vishwakarma, K., Hossen, M.S., Kumar, V., Shackira, A.M., Puthur, J.T., Abdi, G., Sarraf, M., Hasanuzzaman, M. (2022). Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. Plant Physiology and Biochemistry, 172, pp. 56 – 69.

Kuldkepp, P. (2002). Mulla väetistarbe määramine. Investigation of feritilizer requerment. Põllukultuuride väetamine. – Jäneda Õppe- ja Nõuandekeskus. 2002, lk 14–16.

Kõlli, R., Tõnutare, T., Kõlli, T. (2018). Ülevaade: kahkjad ehk näivleetunud mullad Eestimaa muldkattes. Tartu: Eesti Maaülikool. Agraarteadus. pp. 95 - 105

Li, Y., Cui, S., Chang, S. X., Zhang, Q. (2018). Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis.

Loide, V. (2020). Valli Loide: muldade lupjamine on pikaajaline investeering [veebileht]. Põllumajandus.ee. https://www.pollumajandus.ee/uudised/2020/01/24/valli-loide-muldade-lupjamine-on-pikaajaline-investeering (11.05.2025)

Meng, Z.-Z., Liu, C., Sheng, Q.-N., Xiong, Z.-H., Fang, Y.-T., Zhao, J., Yu, Q.-H., Wang, K.-K., Li, X.-K., Ren, T., Lu, J.-W. (2025). Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizer application on the yield increase of winter oilseed rape and the degree of yield reduction due to freezing stress. Acta Agronomica Sinica, 51(4), pp. 1037-1049.

Nordkalk. (2022). Nordkalk Agricalc L [veebileht]. https://nordkalk.ee/toote-info/nordkalk-agricalc-l/ (11.05.2025)

Ren, T., Zou, J., Wang, Y., Li, X. K., Cong, R. H., Lu, J. W. (2016). Estimating nutrient requirements for winter oilseed rape based on QUEFTS analysis. The Journal of Agricultural Science, 154(3), pp. 425-437.

Riar, A., Gill, G., McDonald, G. K. (2012). Rate of nitrogen rather than timing of application influence yield and NUE of canola in south australian mediterranean environments (2020) Agronomy, 10 (10), art. no. 1505

Sakuraba, Y. (2022). Molecular basis of nitrogen starvation-induced leaf senescence (2022) Frontiers in Plant Science, 13, art. no. 1013304

Tileuberdi, N., Turgumbayeva, A., Yeskaliyeva, B., Sarsenova, L., Issayeva, R. (2022). Extraction, Isolation of Bioactive Compounds and Therapeutic Potential of Rapeseed (B*rassica napus* L.).

Tingida Stone. (2023). What is limestone? What are the characteristics of limestone? [veebileht] https://ee.tingidastone.com/info/what-is-limestone-what-are-the-characteristic-86038432.html (12.05.2025)

Wang, Q., Li, S., Li, J., Huang, D. (2024). The Utilization and Roles of Nitrogen in Plants (2024) Forests, 15 (7), art. no. 1191

Yang, L., Han, P., Zhang, Y., Dai, J., Li, Y., Gu, Z., Shen, X., Xie, L., Qin, L., Liao, X. (2021). Effect of Nitrogen or Magnesium Deficiency on Nutrient Accumulation and Nitrogen Assimilation of Rapeseed at the Seedling Stage. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 36 (5), 167 – 175.

YARA. (2025). Rapsi leheväetamise protokollid. 2lk.

Ye, X.-L., Geng, G.-T., Xiao, G.-B., Lyu, W.-S., Ren, T., Lu, Z.-F., Lu, J.-W. (2023). Effects of magnesium application rate on yield and quality in oilseed rape (*Brassica napus* L.). Acta Agronomica Sinica (China), 49 (11), pp. 3063 – 3073.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

LISAD

Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Andreas Paat, sünniaeg 13.10.2001,

(*autori nimi*)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

   "Uue Corestone lubiväetise efektiivsus happeliste muldade omaduste parandamiseks",

   (*lõputöö pealkiri*)

   mille juhendaja(d) on Tõnu Tõnutare ja Merrit Shanskiy,

   (*juhendaja(te) nimi*)

   salvestamiseks säilitamise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi EMU DSpace lisamiseks ja Creative Commonsi litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates lõputööd reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;
2. olen teadlik, et lihtlitsentsiga antavad õigused jäävad alles ka mulle;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor (allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digitaalallkirjas)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Juhendaja(d) (allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digitaalallkirjas)

Lisa 2. Rapsi nõukatse Eesti Maaülikooli PKI taimekasvuruumis 22.01.2025. Autori foto.



Lisa 3. YARA rapsi leheväetamise protokollid.

Analüüsid	Tulemused	Võrreldav väärtus	Hinnang	Kommentaarid
Lämmastik (%)	5.43	5.19	Kõrge elementide tase	Üle keskmise kõrge elemendi tase. Väetamiseks puudub vajadus.
Fosfor (%)	0.58	0.64	Veidi madal	Natuke madal P tase. Fosfor on vajalik süsivesikute metabolismiks ja energia transportimiseks taimes. Praeguses kasvufaasis kasutada lehekaudseks täiendväetamiseks YaraVita Kombiphos'i (~2,0 l/ha).
Kaalium (%)	3.36	3.23	Normis	Piisav tase, toitaine lisamiseks puudub hetkel vajadus.
Kaltsium (%)	1.59	2.20	Madal	Madal Ca tase. Kaltsiumi puudust rapsil esineb väga harva, aga see on kasvuks vajalik toitaine. Sõltuvalt taime kasvufaasist peaks tõsiselt kaaluma lehtede kaudu lisaväetamist. Soovituslik toode: YaraVita Brassitrel Pro (~ 1,5 l/ha).
Magneesium (%)	0.22	0.18	Normis	Piisav tase, kuid toitaine taseme hoidmiseks selles aktiivses kasvufaasis soovitus kasutada lehekaudset täiendväetamist. Soovituslikud tooted on YaraVita Brassitrel PRO (~1,5 l/ha) või YaraVita Brassitrel Bio (~1,5 l/ha).
Väävel (%)	0.48	0.57	Veidi madal	Madal S tase. Väävel on lämmastiku omastamise ja valkude arengu jaoks oluline toitaine. Praeguses kasvufaasis peaks sõltuvalt taimestikust ja ilmastikuoludest kiiresti teostama mullakaudset lisaväetamist YaraBela SULFAN' iga. Lehekaudseks täiendväetamiseks on sobiv toode YaraVita Thiotrac (~3,0 l/ha).
Raud (ppm)	100	322	Väga madal	Madala tähtsusega element. Fe on osaline lämmastiku sidumisel, energia tootmisel ja klorofülli sünteesimisel. Kuigi raua tase on väga madal, ei pruugi väetamine olla majanduslikult tasuv. Kaaluge seda vaid juhul, kui põhitoiteelementide tase on piisav.
Tsink (ppm)	34.8	41.9	Veidi madal	Natuke madal Zn tase. Vajalik valkude sünteesimiseks ning hormoonide ja süsivesikute ainevahetuseks. Kõige rohkem tsinki omastab raps õitsemise perioodil, kuid Zn puudust rapsil esineb pigem harva. Viimane aeg YaraVita Zintrac kasutamiseks (~0,2 l/ha).
Mangaan (ppm)	58.9	56.6	Normis	Piisav tase, kuid toitaine taseme hoidmiseks selles aktiivses kasvufaasis soovitus kasutada lehekaudset täiendväetamist. Soovituslikud tooted on YaraVita Brassitrel PRO (~1,5 l/ha) või YaraVita Brassitrel Bio (~1,5 l/ha).

Analüüsid	Tulemused	Võrreldav väärtus	Hinnang	Kommentaarid
Boor (ppm)	20.4	35.2	Madal	Madal B tase. Rapsile oluline toitaine - transpordib taimes suhkruid, aitab kaasa süsivesikute ainevahetusele, tugevdab raku struktuure ja parandab rapsi "hingamist". Selles aktiivses kasvufaasis on vajalik kasutada lehekaudset täiendväetamist. Soovituslikud tooted on YaraVita Bortrac (~1,5-2,0 l/ha), YaraVita Brassitrel PRO (~ 2,0 l/ha) või YaraVita Brassitrel Bio (~2,0 l/ha).
Vask (ppm)	4.4	7.7	Madal	Madala tähtsusega element. Kuigi vase tase on madal, ei ole väetamine suure tõenäolisusega majanduslikult tasuv. Kaaluge seda vaid juhul, kui põhitoiteelementide tase on piisav.
Molübdeen (ppm)	0.50	3.65	Väga madal	Väga madal Mo tase. Molübdeen on seotud N metabolismi ja fikseerimisega. Ensüüm mis aitab nitraatlämmastiku muuta orgaaniliseks. Molübdeeni on rapsile vaja väga väikestes kogustes. Selles aktiivses kasvufaasis vajalik kasutada lehekaudset täiendväetamist. Soovituslikud tooted: YaraVita Molytrac (~0,25 l/ha), YaraVita Brassitrel Pro (~3,0 l/ha) või YaraVita Brassitrel Bio (~3,0 l/ha).

Analüüsid	Tulemused	Võrreldav väärtus	Hinnang	Kommentaarid
Mangaan (ppm)	32.0	56.6	Madal	Madal Mn tase. Mangaani puudust rapsil ei esine küll tihti, aga see on kasvuks vajalik toitaine. Selles aktiivses kasvufaasis vajalik kasutada lehekaudset täiendväetamist. Soovituslikud tooted: YaraVita Mantrac Pro (0,5-0,7 l/ha), YaraVita Brassitrel Pro (~2,0 l/ha) või YaraVita Brassitrel Bio (~2,0 l/ha).
Boor (ppm)	26.2	35.2	Madal	Madal B tase. Rapsile oluline toitaine - transpordib taimes suhkruid, aitab kaasa süsivesikute ainevahetusele, tugevdab raku struktuure ja parandab rapsi "hingamist". Selles aktiivses kasvufaasis on vajalik kasutada lehekaudset täiendväetamist. Soovituslikud tooted on YaraVita Bortrac (~1,5-2,0 l/ha), YaraVita Brassitrel PRO (~ 2,0 l/ha) või YaraVita Brassitrel Bio (~2,0 l/ha).
Vask (ppm)	4.3	7.7	Madal	Madala tähtsusega element. Kuigi vase tase on madal, ei ole väetamine suure tõenäolisusega majanduslikult tasuv. Kaaluge seda vaid juhul, kui põhitoiteelementide tase on piisav.
Molübdeen (ppm)	1.07	3.65	Väga madal	Väga madal Mo tase. Molübdeen on seotud N metabolismi ja fikseerimisega. Ensüüm mis aitab nitraatlämmastiku muuta orgaaniliseks. Molübdeeni on rapsile vaja väga väikestes kogustes. Selles aktiivses kasvufaasis vajalik kasutada lehekaudset täiendväetamist. Soovituslikud tooted: YaraVita Molytrac (~0,25 l/ha), YaraVita Brassitrel Pro (~3,0 l/ha) või YaraVita Brassitrel Bio (~3,0 l/ha).

Analüüsid	Tulemused	Võrreldav väärtus	Hinnang	Kommentaarid
Lämmastik (%)	5.00	5.19	Veidi madal	Natuke madal N tase. Raps vajab edasiseks arenguks lisalämmastikku. N omastamine mullast sõltub mulla tüübist ja sademetest. Praeguses kasvufaasis kasutada esimese valikuna mullakaudset väetamist, sobilik toode YaraBela SULFAN. N taseme tõstmiseks lehekaudselt väetades kasutada YaraVita Universal Bio (~3,0 l/ha), YaraTera Kristalon Special Plus 20-20-20 (~3,0 kg/ha) või YaraVita Thiotrac (4,0 l/ha).
Fosfor (%)	0.59	0.64	Veidi madal	Natuke madal P tase. Fosfor on vajalik süsivesikute metabolismiks ja energia transportimiseks taimes. Praeguses kasvufaasis kasutada lehekaudseks täiendväetamiseks YaraVita Kombiphos'i (~2,0 l/ha).
Kaalium (%)	3.31	3.23	Normis	Piisav tase, toitaine lisamiseks puudub hetkel vajadus.
Kaltsium (%)	1.57	2.20	Madal	Madal Ca tase. Kaltsiumi puudust rapsil esineb väga harva, aga see on kasvuks vajalik toitaine. Sõltuvalt taime kasvufaasist peaks tõsiselt kaaluma lehtede kaudu lisaväetamist. Soovituslik toode: YaraVita Brassitrel Pro (~ 1,5 l/ha).
Magneesium (%)	0.20	0.18	Normis	Piisav tase, kuid toitaine taseme hoidmiseks selles aktiivses kasvufaasis soovitus kasutada lehekaudset täiendväetamist. Soovituslikud tooted on YaraVita Brassitrel PRO (~1,5 l/ha) või YaraVita Brassitrel Bio (~1,5 l/ha).
Väävel (%)	0.46	0.57	Veidi madal	Madal S tase. Väävel on lämmastiku omastamise ja valkude arengu jaoks oluline toitaine. Praeguses kasvufaasis peaks sõltuvalt taimestikust ja ilmastikuoludest kiiresti teostama mullakaudset lisaväetamist YaraBela SULFAN' iga. Lehekaudseks täiendväetamiseks on sobiv toode YaraVita Thiotrac (~3,0 l/ha).
Raud (ppm)	88	322	Väga madal	Madala tähtsusega element. Fe on osaline lämmastiku sidumisel, energia tootmisel ja klorofülli sünteesimisel. Kuigi raua tase on väga madal, ei pruugi väetamine olla majanduslikult tasuv. Kaaluge seda vaid juhul, kui põhitoiteelementide tase on piisav.
Tsink (ppm)	39.6	41.9	Veidi madal	Natuke madal Zn tase. Vajalik valkude sünteesimiseks ning hormoonide ja süsivesikute ainevahetuseks. Kõige rohkem tsinki omastab raps õitsemise perioodil, kuid Zn puudust rapsil esineb pigem harva. Viimane aeg YaraVita Zintrac kasutamiseks (~0,2 l/ha).