



Muldade hapestumine ja lupjamine

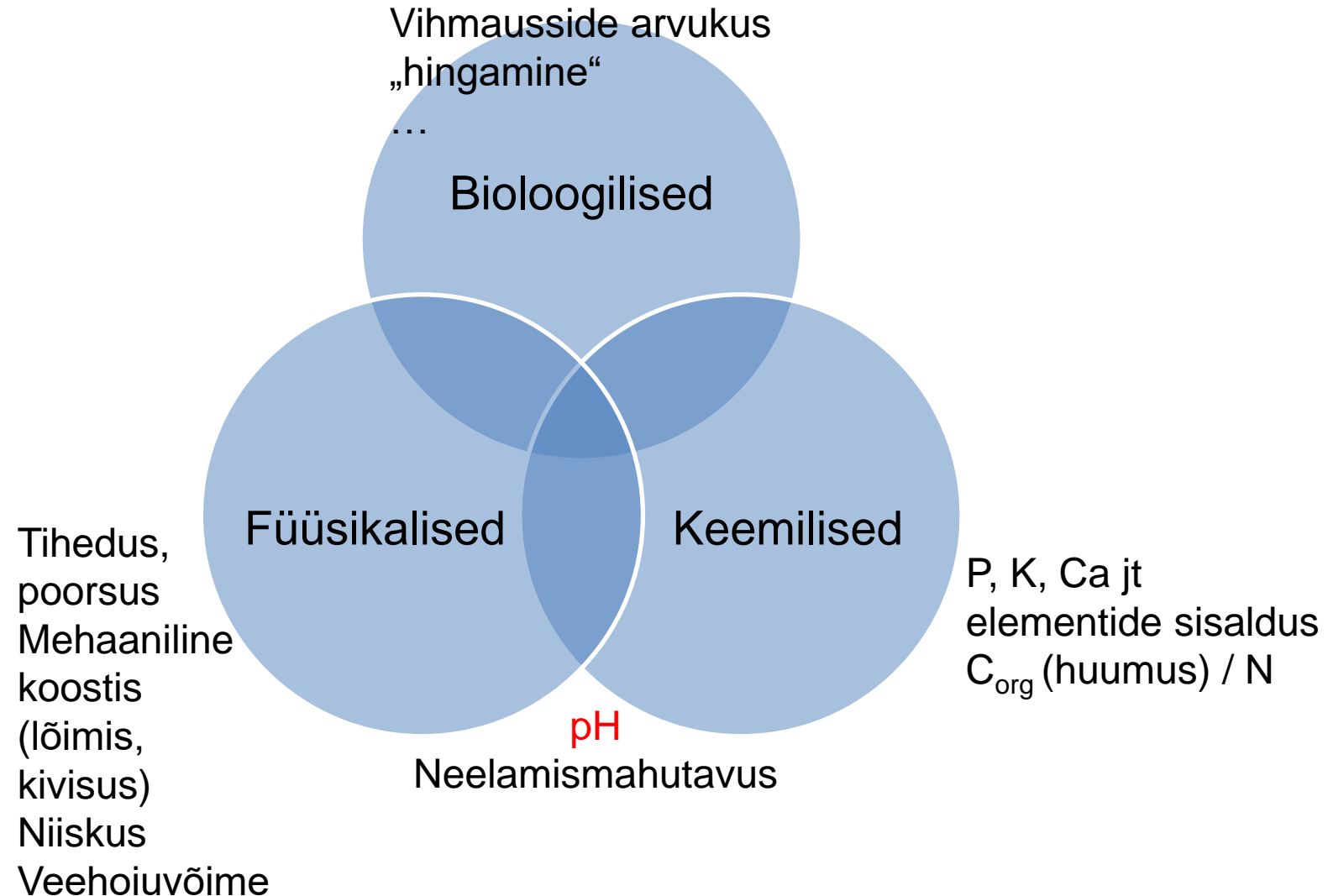
Alar Astover

**Eesti Maaülikool, põllumajandus- ja keskkonnainstituut,
mullateaduse õppetool**



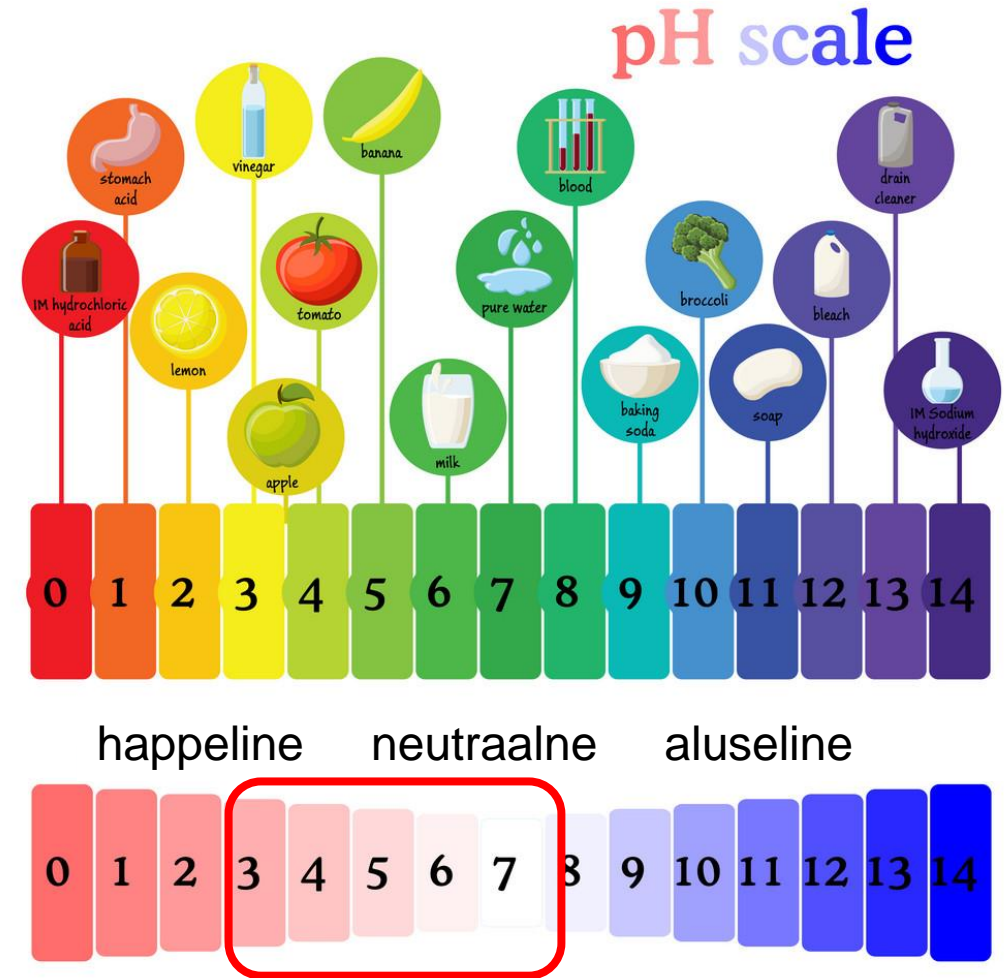
Mulla kvaliteeti üksiku näitajaga võimatu mõõta ja hinnata

Mulla omadused ja nende indikaatorid



Mulla reaktsioon

- Mulla reaktsioon iseloomustab mullalahuses olevate H^+ ja OH^- ionide kontsentratsioonide vahekorda, neutraalse reaktsiooni korral võrdne vahekord.
- Väljendatakse pH kaudu, mis on vesinikioonide kontsentratsiooni negatiivne kümnendlogaritm: $pH = -\log[H^+]$.
- Meie piirkondade muldade pH on enamasti vahemikus 3–7,5(8).
- Seetõttu edasine jutt peamiselt mulla happesusest



Mulla happesus

- Happesust põhjustavad vesinik- ja alumiiniumioonid (Al^{3+}).
 - **Aktiivne happesus** tuleneb mullas vabalt esinevatest vesinikioonidest. pH

Mulla happesus

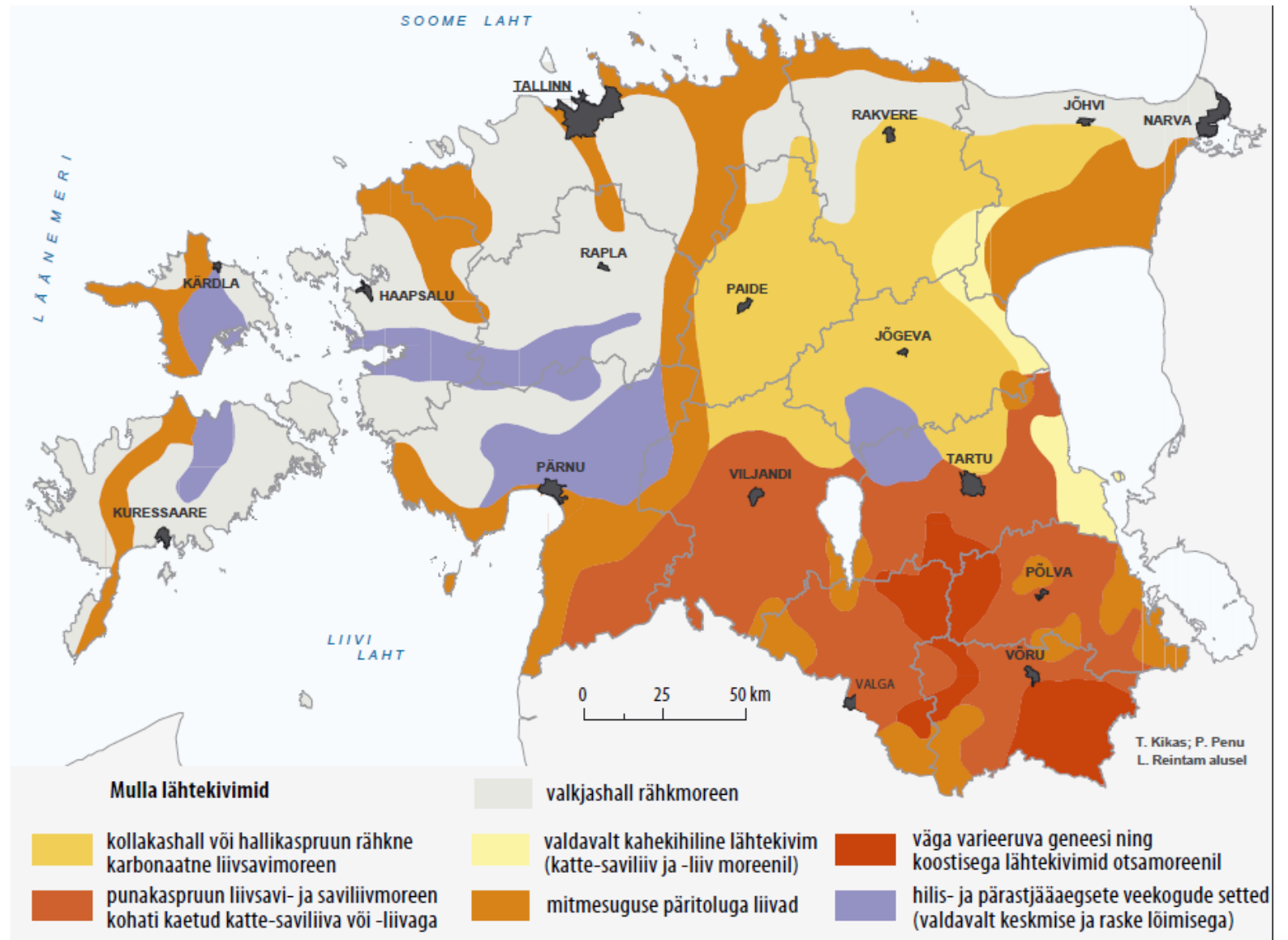
- Happesust põhjustavad vesinik- ja alumiiniumioonid (Al^{3+}).
 - **Aktiivne happesus** tuleneb mullas vabalt esinevatest vesinikioonidest. pH
 - **Potentsiaalne happesus** hõlmab täiendavalt **mulla kolloididel neeldunud** ja sealt asendusreaktsioonidena vabanevaid H^+ ja Al^{3+} ioone.
Asendushappesus ja hüdrolüütiline happesus (cmol/kg).

Mulla happesus

- Happesust põhjustavad vesinik- ja alumiiniumioonid (Al^{3+}).
 - Aktiivne happesus tuleneb mullas vabalt esinevatest vesinikioonidest. pH
 - Potentsiaalne happesus hõlmab täiendavalt **mulla kolloididel neeldunud** ja sealt asendusreaktsioonidena vabanevaid H^+ ja Al^{3+} ioone.
Asendushappesus ja hüdrolüütiline happesus (cmol/kg).
- Happesust neutraliseerivat ülesannet kannavad meie piirkonna muldades peamiselt kaltsium ja magneesium.

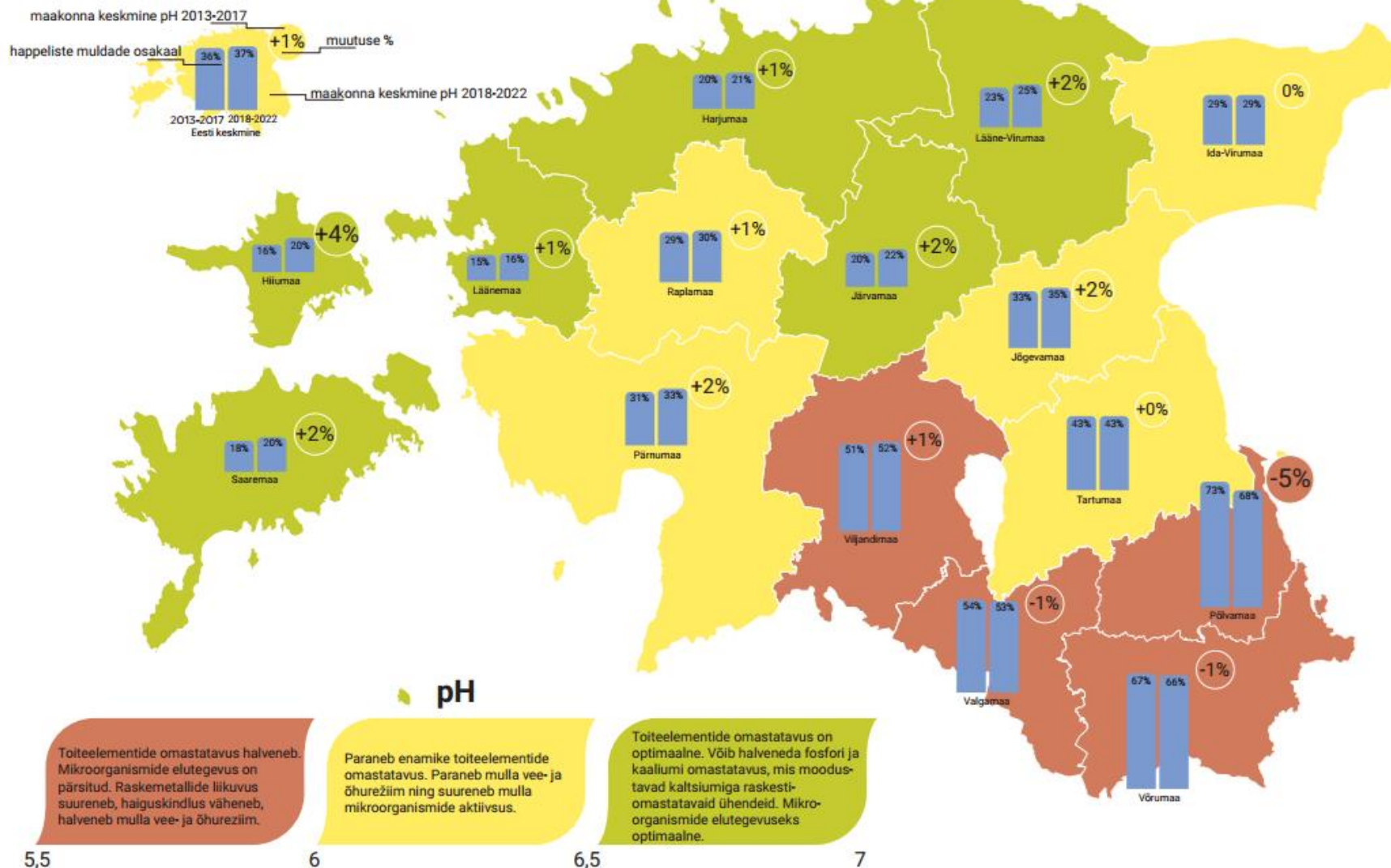
Mulla mineraalsete lähtekivimite jaotumine Eesti territooriumil

- Karbonaativabal lähtekivimil, kus on Ca ja Mg puudus tekivad happelised mullad

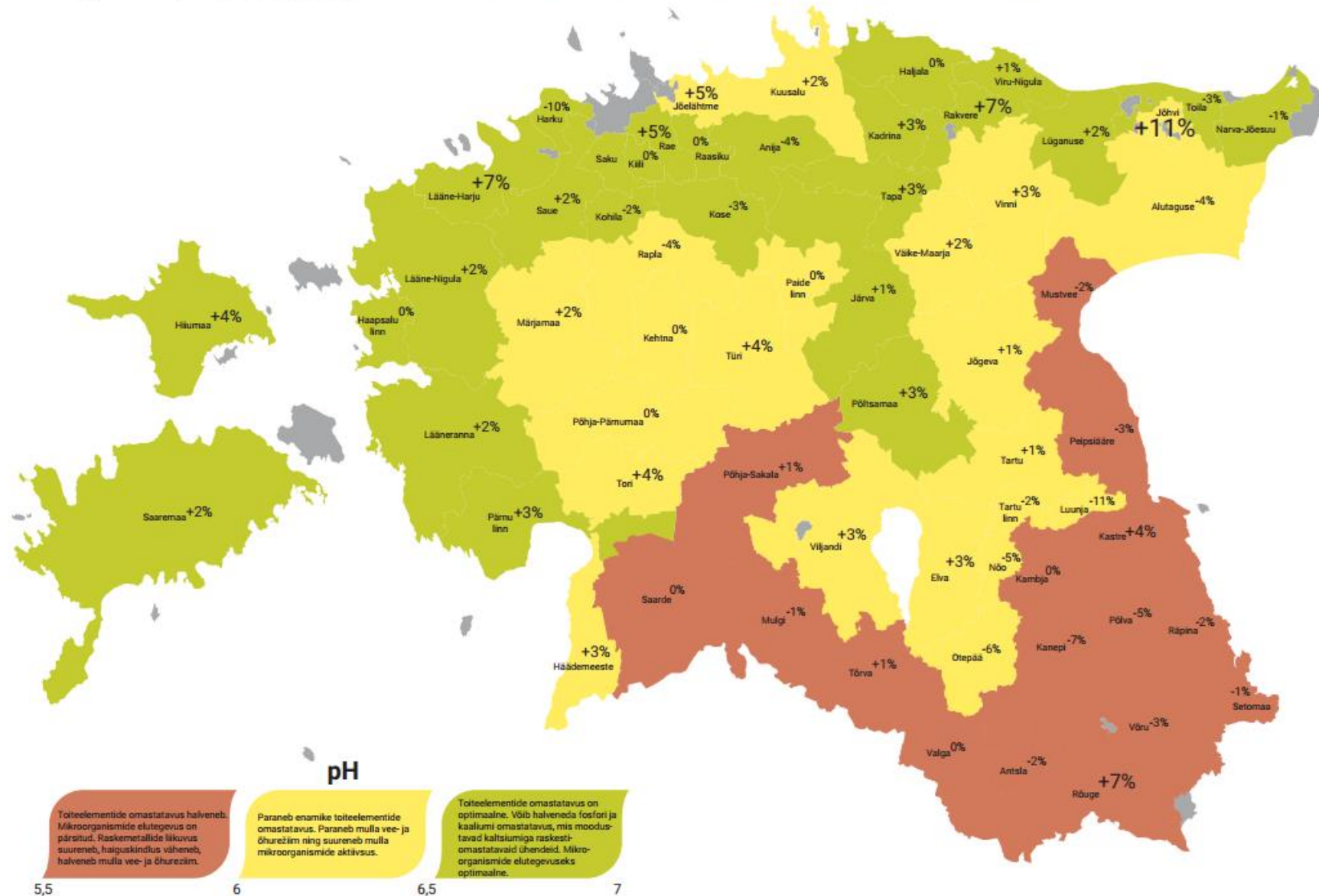


19.11.2024

Mulla happesus (pH_{KCl}) ja happeliste muldade osakaal Eesti maakondades 2013-2022

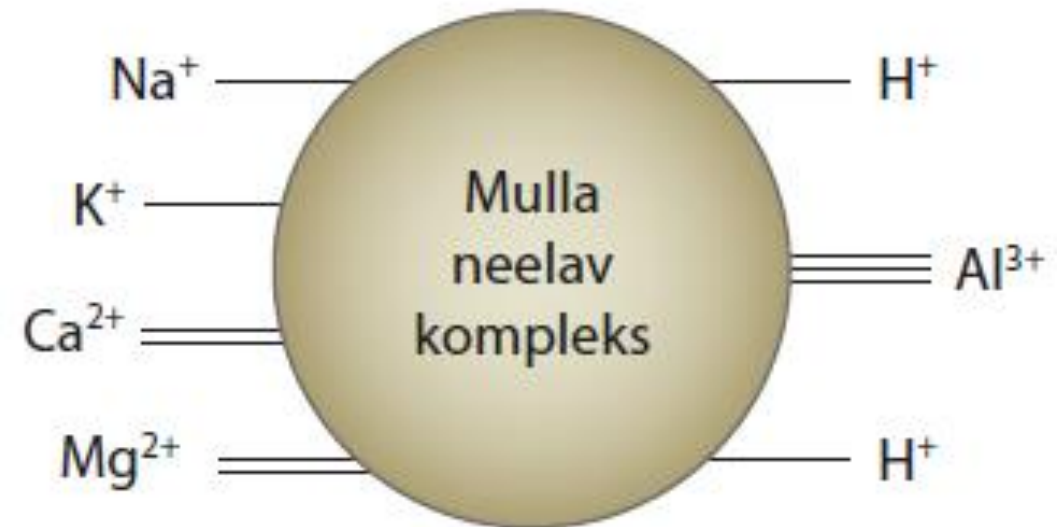


Mulla keskmine happesus (pH) Eesti valdades perioodil 2018-2022 ja happeliste muldade osatähtsuse muutus võrreldes perioodiga 2013-2017



- Kationide asendusneeldumine mulla tahkes faasis (kolloidide pindadel, mis on enamasti negatiivse laenguga)
- Sellest sõltub potentsiaalne ehk tahke faasi happesus
- Mida savikam ja orgaanikarikkam muld, seda rohkem kolloide ja „peidetud“ happesust

Neelamismahutavuse all mõistetakse 1 kg mulla poolt maksimaalselt neelatud ionide hulka. Ühik: cmol/kg
Tavaliselt määratakse **kationide neelamismahutavust** (*Cation Exchange Capacity – CEC*).



Neeldumise tugevus:

Tugevalt seotakse » $\text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ = \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{H}^+$ » Nõrgalt seotakse

Mulla lõimis

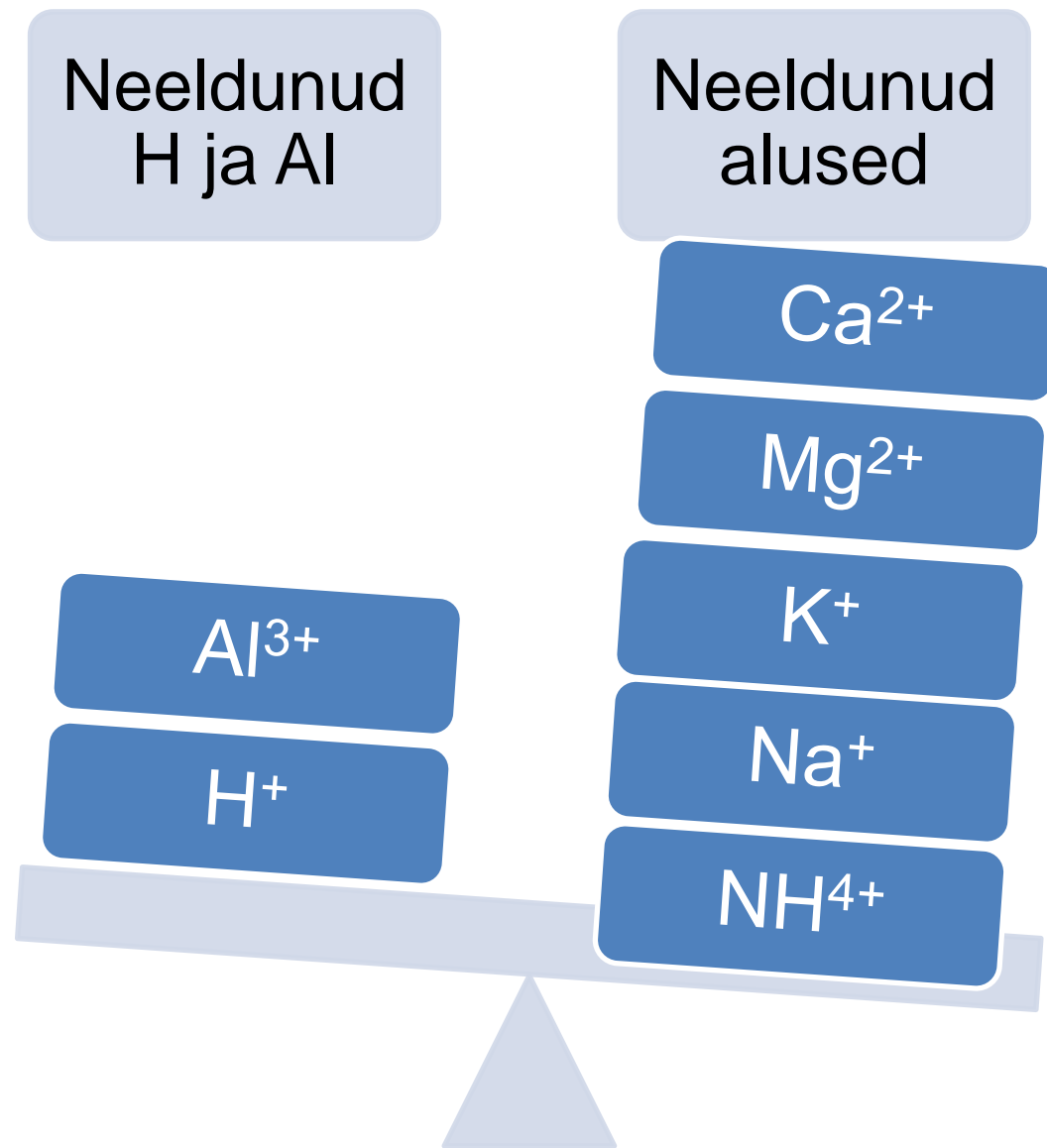
(jaotus mehhaanilise koostise alusel)



Kerged lõimised

Rasked lõimised

Asi pole niivõrd pH-s iseenesest, vaid (toite)elementide omavahelises tasakaalus ja liikuvuses



19.11.2024

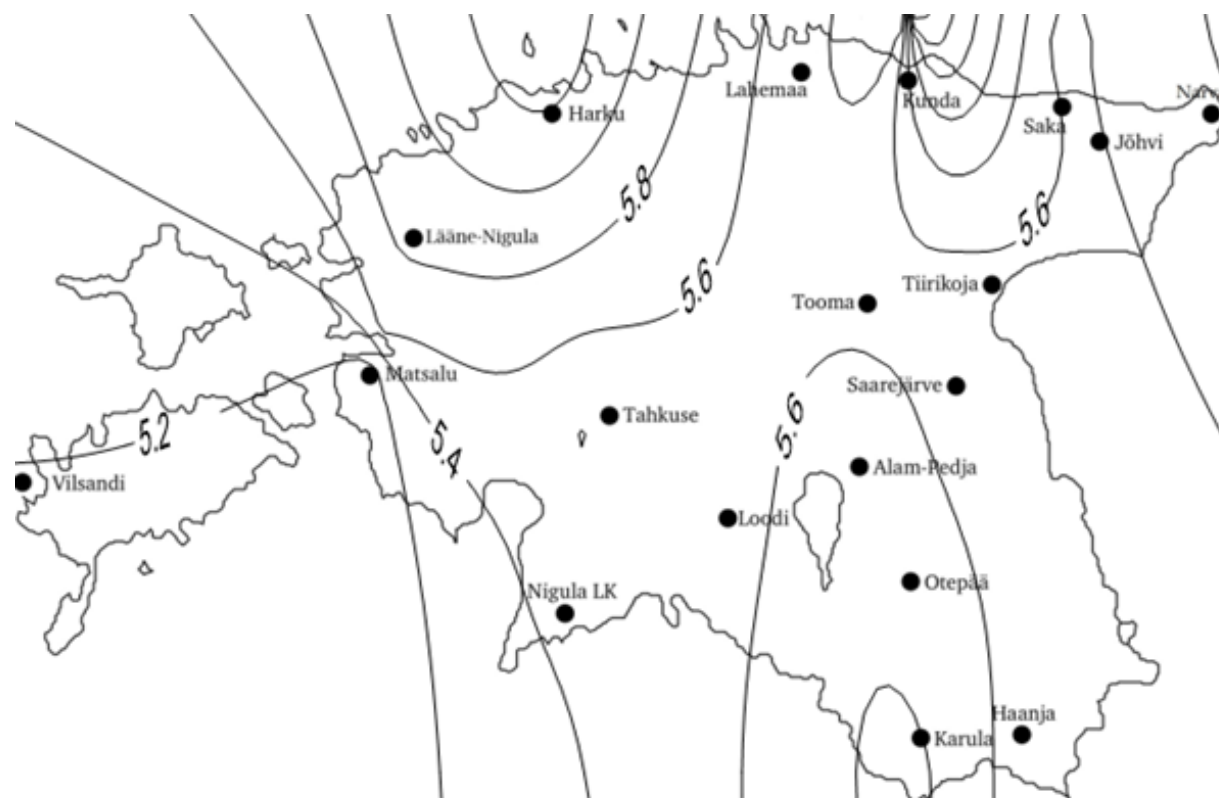
- **Küllastusaste (*base saturation*)** – mitu % katioonide neelamismahutavusest moodustavad neeldunud alused.
- <50%, siis muld vajab tugevat lupjamist.
- 50...75%, siis vajab mõõdukat lupjamist.
- >75%, siis tavaliselt lupjamist ei vaja.

Mulla hapestumine

- Looduslik protsess, mis kaudselt ja otseselt mõjutatud inimtegevusest.
- **Happeid tekib/satub mulda juurde:**
 - Orgaaniline aine lagunemisel/muundumisel (sh huumushapped)
 - Juureeritised
 - (Liblikõieliste juurtest N_2 fiksatsiooni tulemina H^+ suurem vabanemine mulda)
 - Sademed (pH 5-6, SO_4 -S, NO_3 -N, Cl)
 - Väetised - karbamiid, ammooniumnitraat, **ammooniumsulfaat, väävel, ...**

Mulla hapestumine

- Looduslik protsess, mis kaudselt ja otseselt mõjutatud inimtegevusest.
- Happeid tekib/satub mulda juurde:
 - Orgaaniline aine lagunemisel/muundumisel (sh huumushapped)
 - Juureeritised
 - (Liblikõielistel N_2 fikseerimise tulemina H^+ suurem vabanemine mulda)
 - Sademed (pH 5-6, SO_4-S , NO_3-N , Cl)
 - Väetised - karbamiid, ammoonium, väävel
- Ca ja Mg kadu:
 - Omastamine taimede poolt, saagiga eemaldamine
 - Leostumine (meie piirkonnas paratamatu)
 - (Küllastumine - tõusva lubjarikka põhjavee arvelt pH >5,6)



2017. aasta kaalutud keskmine sademete pH

Eesti Keskkonnauuringute Keskus, 2018

Muld loob ka ilu!

- Mõned hortensia liigid (*Hydrangea macrophylla*) muudavad õite värvi sõltuvalt mulla pH-st, **tegelik põhjus Al-liikuvus**
- Happelises mullas:
- Neutraalses mullas:



http://www.hydrangeashydrangeas.com/images/hydrangeasSAfrica_tn.jpg

Muld loob ka ilu!

- Mõned hortensia liigid (*Hydrangea macrophylla*) muudavad õite värvi sõltuvalt mulla pH-st, **tegelik põhjus Al-liikuvus**

- Happelises mullas:



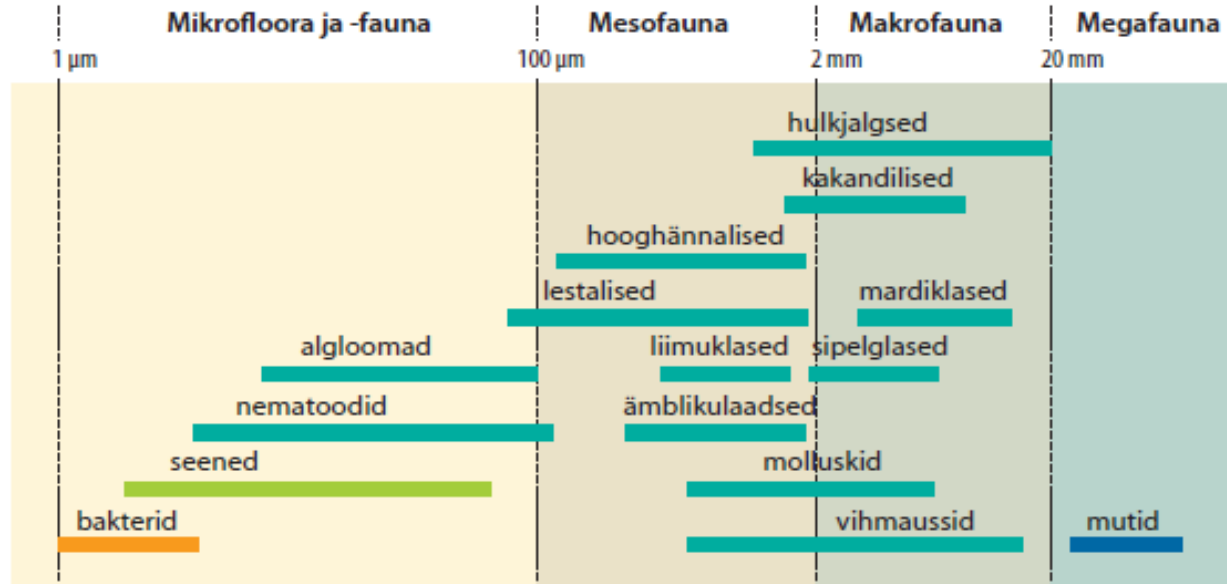
- Neutraalses mullas:



http://www.hydrangeashydrangeas.com/images/hydrangeasSAfrica_tn.jpg

Mullaelustik

Neutraalses keskkonnas elustik mitmekesisem ja arvukam

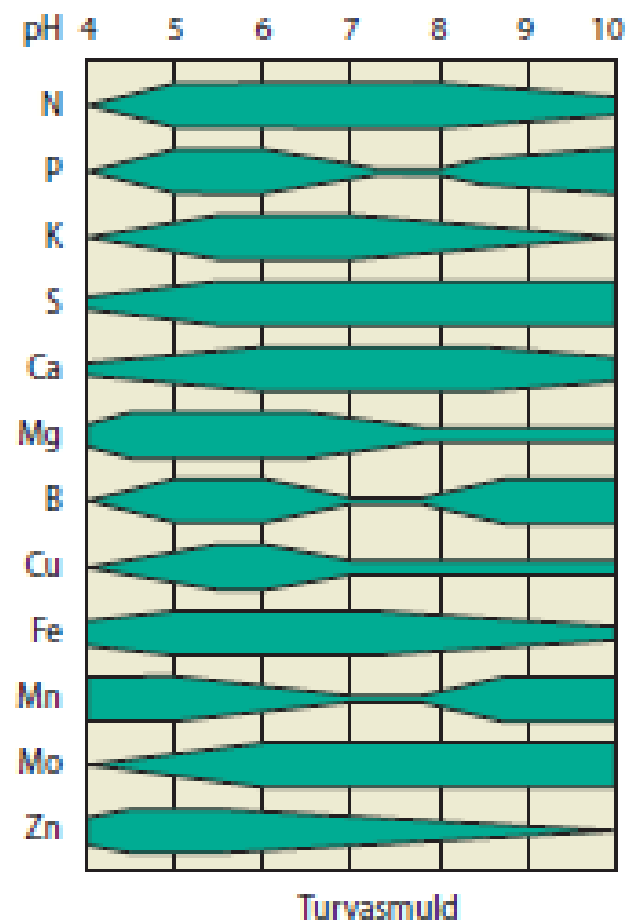
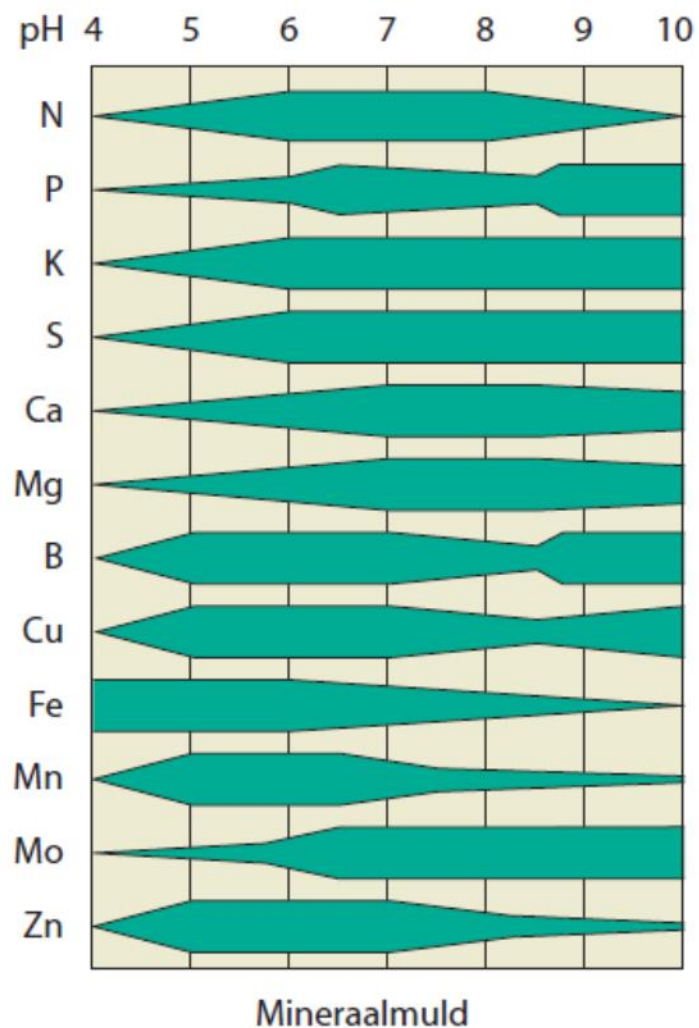


European Atlas of Soil Biodiversity

Sünergia ja/või konkurents taimega toitainete ja energia pärast
Head ja „halbade“ (patogeensed mikroorganismid) pidev võitlus

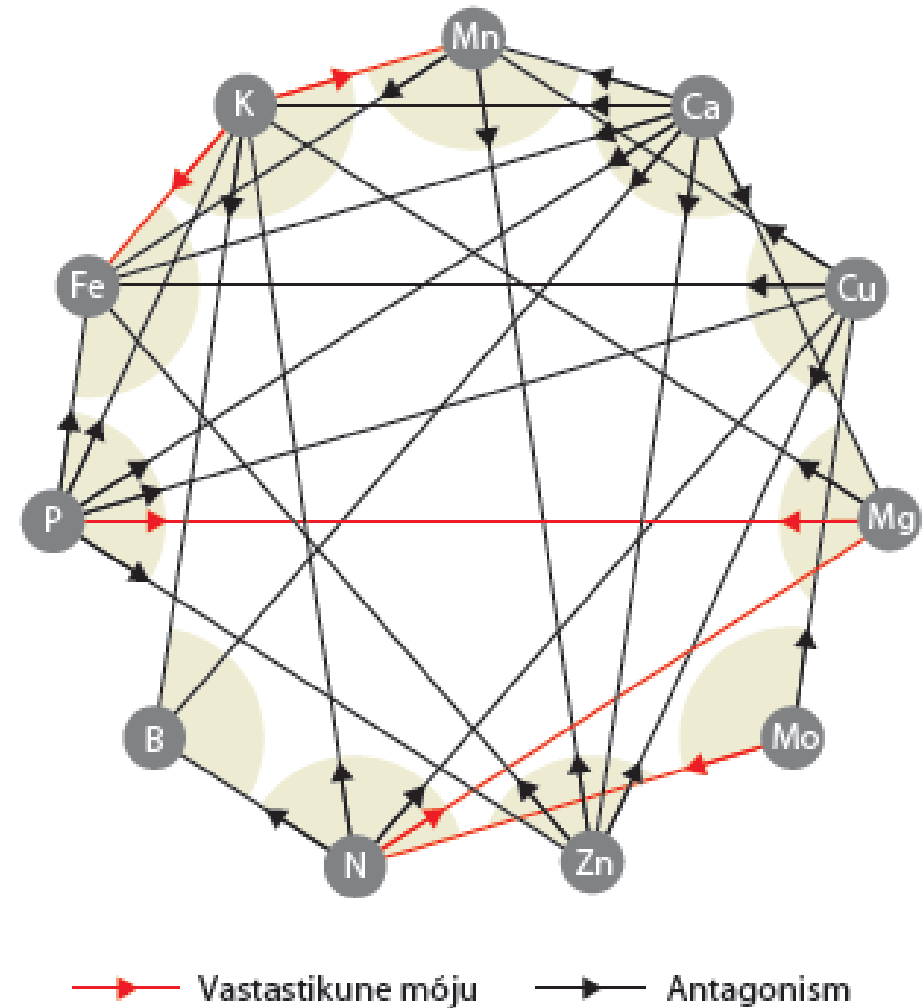
„Pahade“ esile kerkimine sõltub kõige rohkem: mulla pH, niiskuse- ja hapnikusisaldusest, toitainete tasemest ja teiste organismide/liikide aktiivsusest.

Taimetoiteelementide liikuvus sõltuvalt mulla reaktsioonist (pH_{KCl})



Ei saa ainult üksiku elemendi alusel otsustada

- Takistav mõju
- Toetav mõju

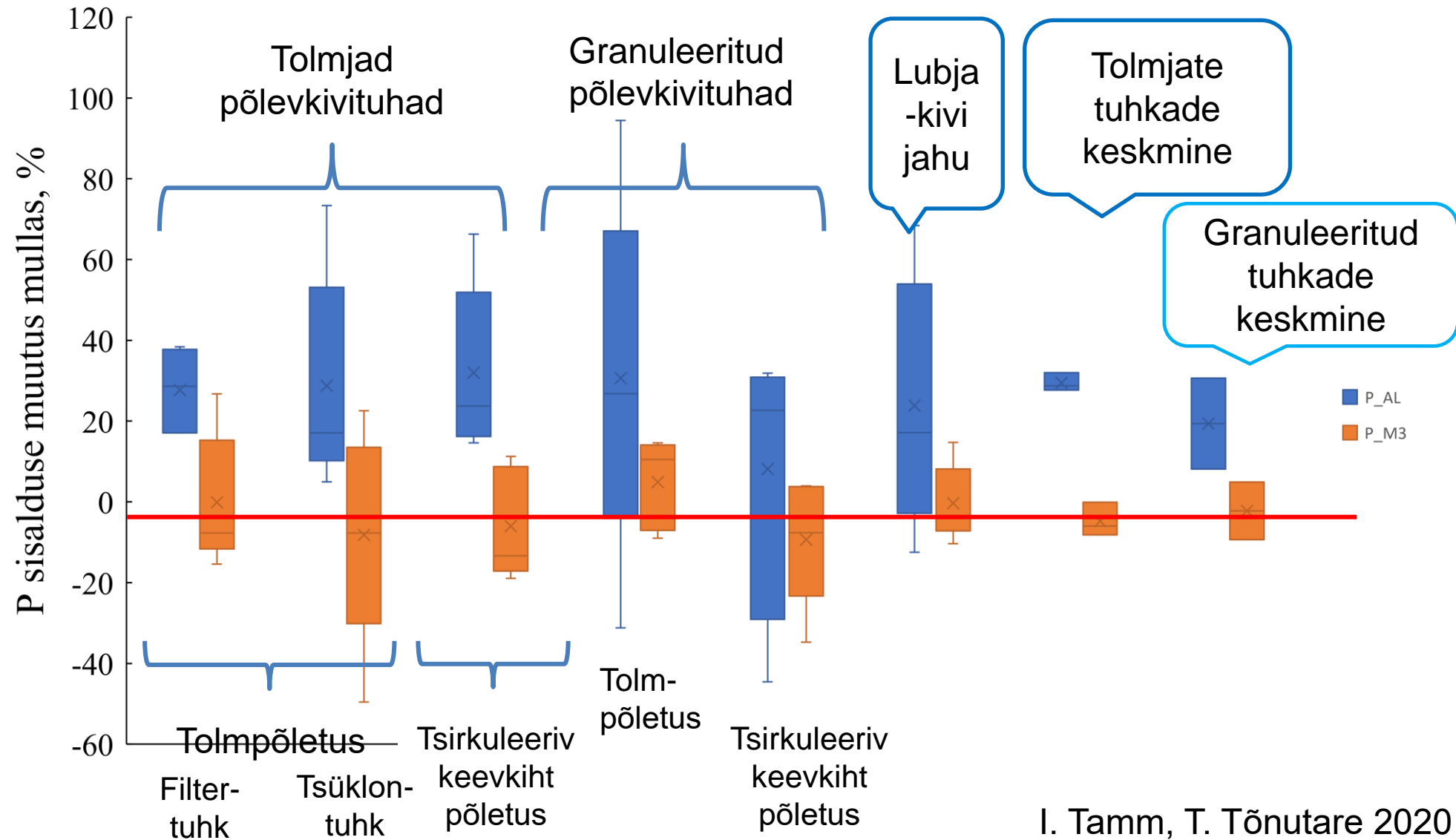


P omastatavus/liikuvus

pH sõltuvus

- pH (5,5)6-7 vahemikus kõige paremini omastatav (domineerib H_2PO_4^-)
- Happelises mullas Al, Fe ja Mn küljes lukus
- Neutraalses/leeliselises mullas Ca, Mg küljes lukus ning domineerib kahe ja kolmevalentne fosfaatioon

Nõukatse: 0-3 cm mullakihis P-sisalduse muutus 135 päevaga



Mulla pH hindamiseks või mõõtmiseks on mitmeid otseseid ja kaudseid võimalusi:

- Mullalahusest pH määramine laboris (vesileotises või KCl või CaCl_2 lahuses) või väljas portatiivse seadmega
- Universaalindikaatori/lakmuspaberiga määramine
- Mulla koostise ja liigi alusel hindamine
 - Seda infot saad mullastikukaardilt
- Indikaatortaimede alusel hindamine
 - Hapul mullal nt sammal, väike oblikas, põldrõigas, põldkannike, nälghein



Eesti muldadele rakendatav pH_{KCl} reaktsiooni vahemike skaala on järgmine:

| pH_{KCl} | Mulla reaktsioon |
|--------------------------|-------------------------|
| <3,5 | Väga tugevalt happeline |
| 3,6...4,5 | Tugevalt happeline |
| 4,6...5,5 | Mõõdukalt happeline |
| 5,6...6,5 | Nõrgalt happeline |
| 6,6...7,2 | Neutraalne |
| >7,2 | Leelisene |

Võrreldes vesilahuses määratud pH-ga on KCl või CaCl_2 lahusega väärtus ca 0,5-1 ühiku võrra väiksem.

Indikaatortaimed

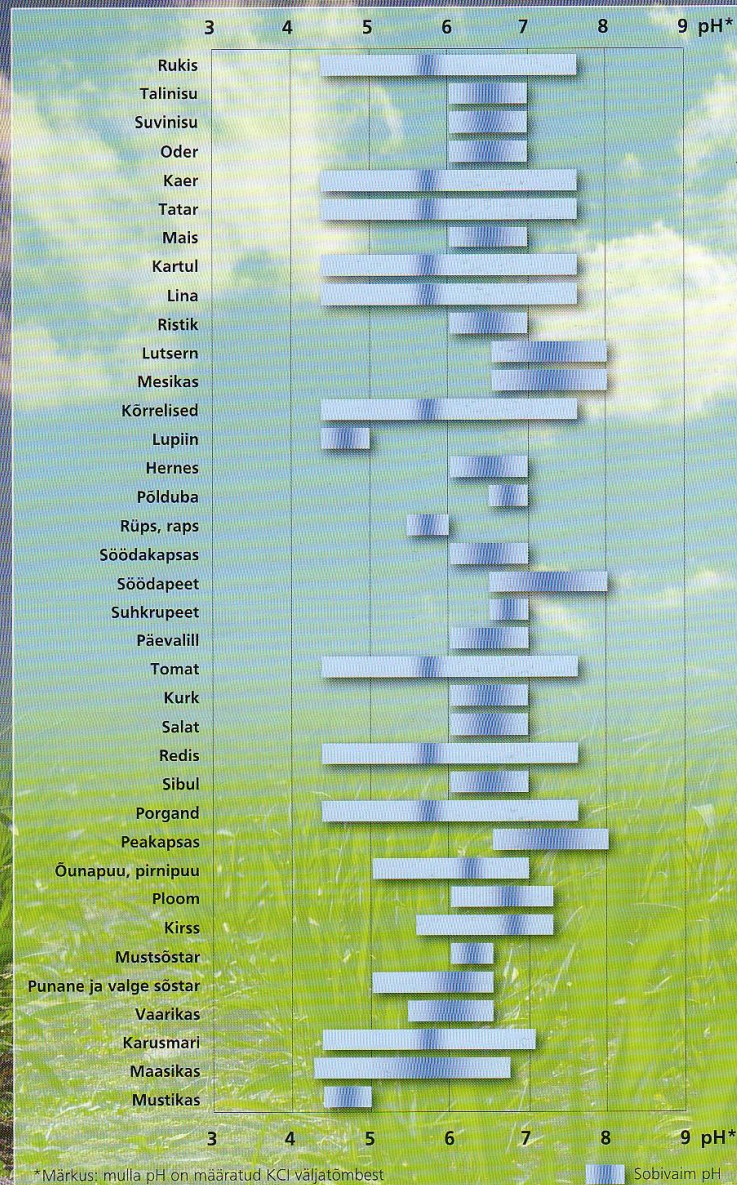
- Happelisel mullal
 - sammal
 - väike oblikas
 - põldrõigas
 - põldkannike
 - nälghein



- Neutraalne või leeliseline muld
 - põldsinep
 - kollane karikakar
 - humallutsern
 - harilik tõlkjas (rakvere raibe)



PÕLLU- JA AIAKULTUURIDE TALUVUS MULLAREAKTSIOONI SUHTES



*Märkus: mulla pH on määratud KCl väljatõmbest

■ Sobivaim pH

19.11.2024

Muldade lupjamine

- Eesmärk neutraliseerida liigne happesus ja tagada parem taimetoiteelementide tasakaal
- **Taastuslupjamine** - eesmärk on tõsta liigselt happelise mulla pH-d ja suurendada esmajärjekorras Ca-sisaldust. Väiksema lubjatarbe võib katta ühe korraga, suuremate normide puhul on otstarbekas jaotatud lupjamine 1-2 aastase vahega.
- **Säilituslupjamine** - eesmärk on nõrgalt happeliste muldade lupjamisega säilitada saavutatud seisund ning vältida edasist hapestumist. Säilituslupjamilisel kasutatakse väiksemaid norme iga 2-3 aasta järel.
- Korraga antava lubiväetise kõrgemaks määraks on $5-6 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$.
- Ära tee pimesi: muld, taim/külvikord, väetis – arvesta kõiki!

Mulla näitajad

Lubjatarbe (arvestus CaCO_3 kogusena) määramiseks ja lubiväetise valikuks on muldade erinevuste tõttu õige lubiväetisannuse ja koostise määramiseks vaja teada järgmisi mulla näitajaid:

mullareaktsiooni (pH KCl)

lõimist

C_{org}

Ca (>1500 mg/kg)

Mg

K

...

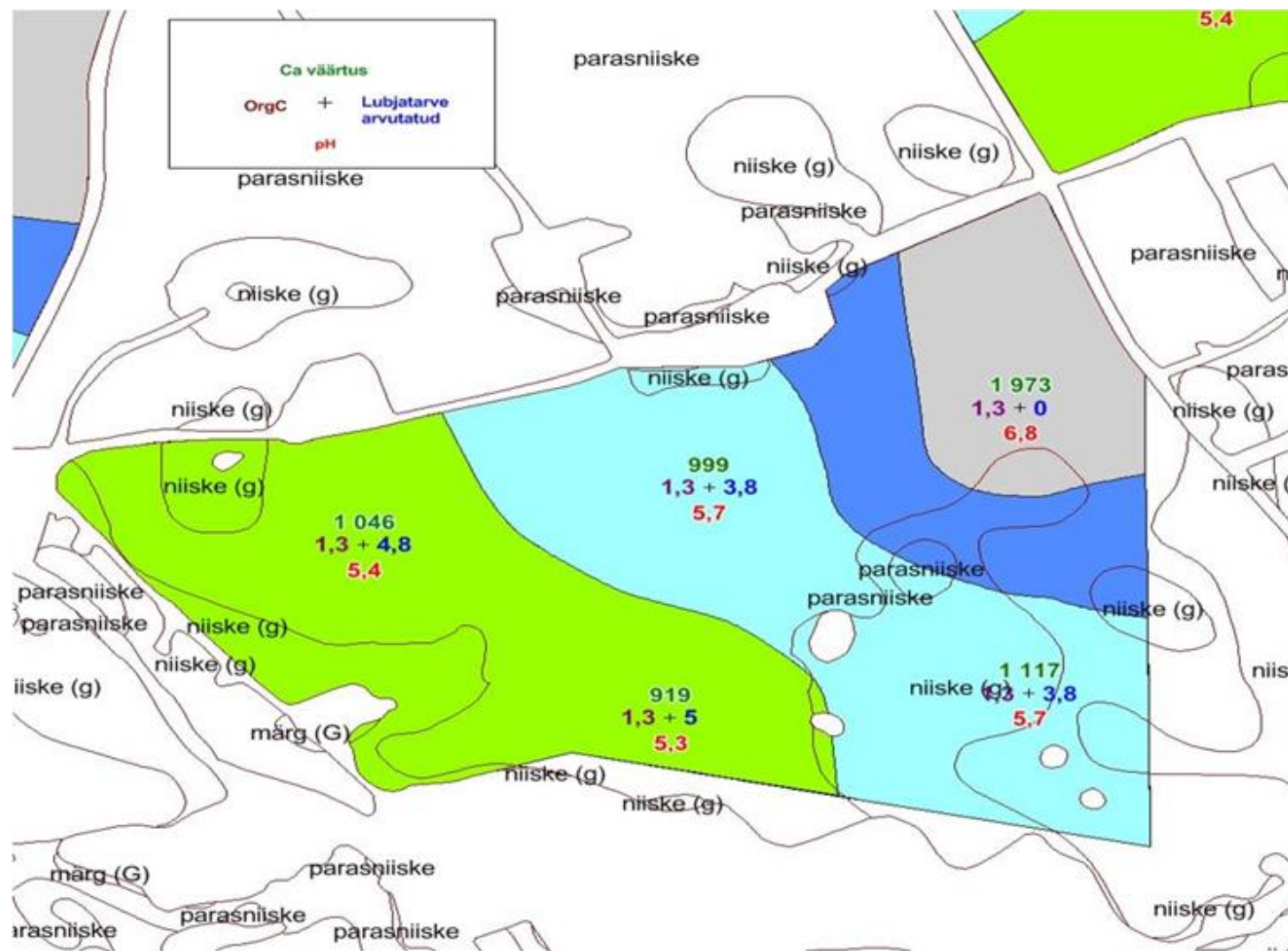
Ca:Mg:K suhe mullas peaks jääma vahemikku 10...20 : 1 : 1,3...1,5, siis nad ei takista üksteise omastatavust taimede poolt
(Mehlich-3 meetod)

Lihtsustatud soovitused...

Vajalik lubiväetise kogus mulla pH ja lõimise järgi:

| Mulla lõimis | Mulla pH KCl | | | | |
|---------------|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 |
| | Lubjatarve CaCO ₃ t/ha | | | | |
| Liiv | 5,0 | 4,0 | 2,5 | - | - |
| Saviliiv | 6,5 | 4,5 | 3,0 | - | - |
| Liivsavi 1, 2 | 8,5 | 6,0 | 4,5 | 3,5 | - |
| Liivsavi 3 | 11,0 | 8,0 | 6,0 | 4,5 | 3,0 |
| Savi | 12,5 | 9,0 | 6,5 | 5,0 | 3,5 |

- Lubjatarbekaadid, METK



Peamised kohalikud lubiväetised

- Lubjakivi (Ca) ja dolokivi (Ca+Mg)
 - Jahud
 - Sõelmed (suurus on oluline!, väiksem on “parem”)
- Tuhad (varieeruva koostisega, viimasel ajal EE tuhkade puhul liigne S probleemiks)
 - Põlevkivituhk (uus või vana...)
 - Biomassi/puidutuhk

Lubiväetise näitajad

- Neutraliseerimisvõime (Ca või CaCO_3 -na)
- Reaktiivsus (kui kiire toimega), oluline sõelmete ja graanulite puhul
- Niiskus (labori näitajad kuivaaine kohta)
- Ca, Mg, K, S, (P) ... sisaldused
- Raskmetallide sisaldused (piirmäärad reguleeritud seaduses)

- Hind, logistika, käideldavus...

Mis sobib lupjamiseks?

| Lubiväetis | Neutraliseerimisvõime (CaCO ₃ -sisaldus) | Reaktiivsus | Eelised | Puudused |
|----------------------------|---|--|---|---|
| Lubja- ja dolokivi sõelmed | Hea | Kesine (sõltub osakeste suurusjaotusest) | Pikaajaline toime | Varieeruv koostis, toime sõltub osakeste suurusjaotusest |
| Lubja-kivijahu | Väga hea | Väga hea | Ca-rikas | Koostis võib varieeruda, fraktsiooni suurus oluline |
| Dolokivi-jahu | Väga hea | Hea | Mg-rikas | Koostis võib varieeruda, fraktsiooni suurus oluline |
| Tolmpõlevkivituhad | Hea kuni väga hea* | Väga hea, kiiretoimeline | Stabiilne koostis*, toiteelemendid S, K, mikroelemendid | Mõju lühiajalisem, erisused sõltuvalt tuha tüübist* |
| Klinkritolm | Väga hea | Väga hea, kiiretoimeline | K- ja S-rikas, stabiilne koostis, mikroelemendid | Kõrge Pb-sisalduse tõttu piirangud kasutamisel, mõju lühiajalisem |
| Puu jm biomassi tuhad | Rahuldav kuni hea | Hea, kiiretoimelisem | K-rikas, mikroelemendid | Varieeruv koostis, mõju lühiajalisem |

* Koostis ja toime sõltub põletamise ja tuha eraldamise tehnoloogiast.

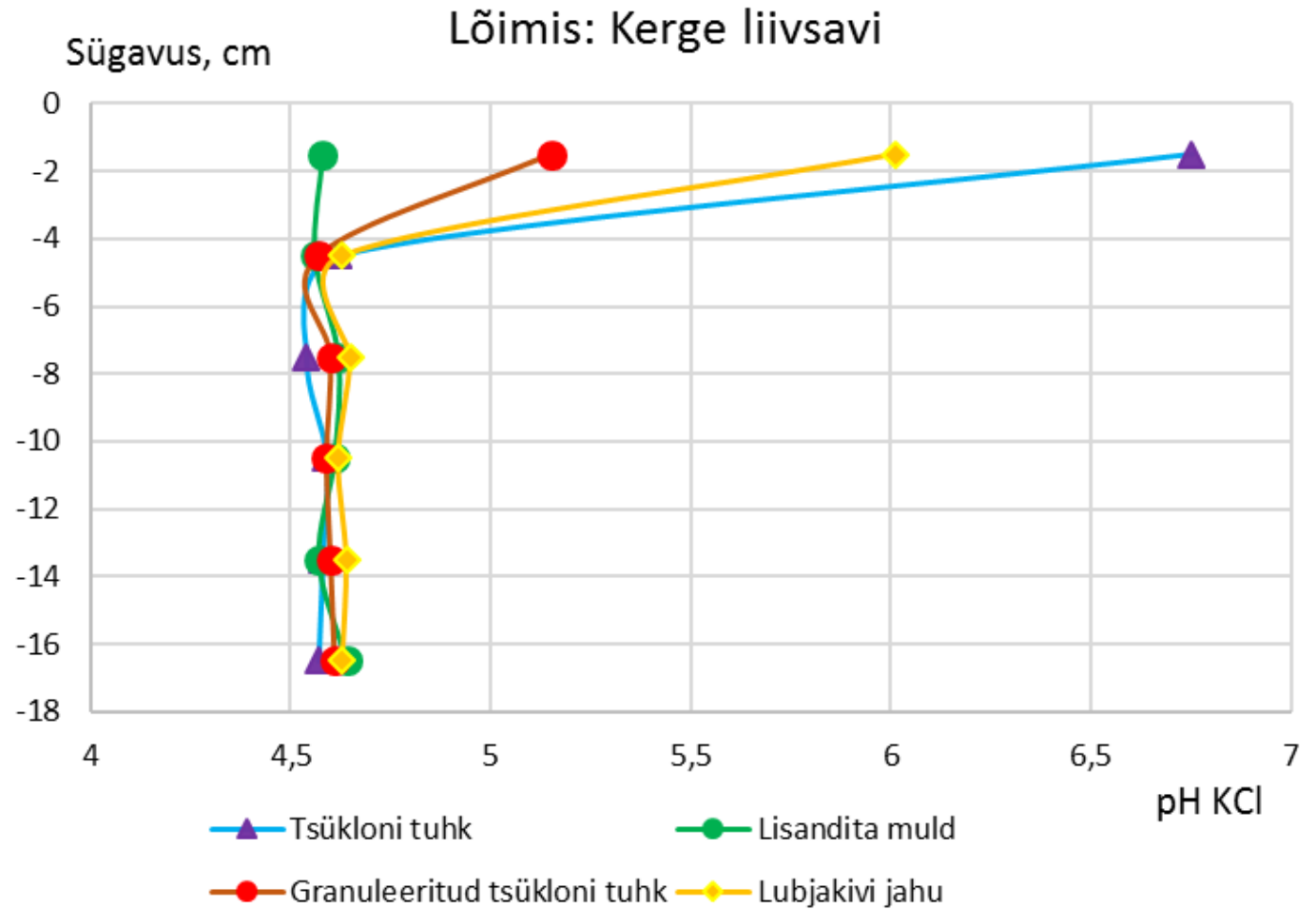
- Tuhkadeest kuni lubja/dolokivi sõelmeteni...



Foto: Meit Jürgens

Lubiväetis mulla pinnale - laborkatse

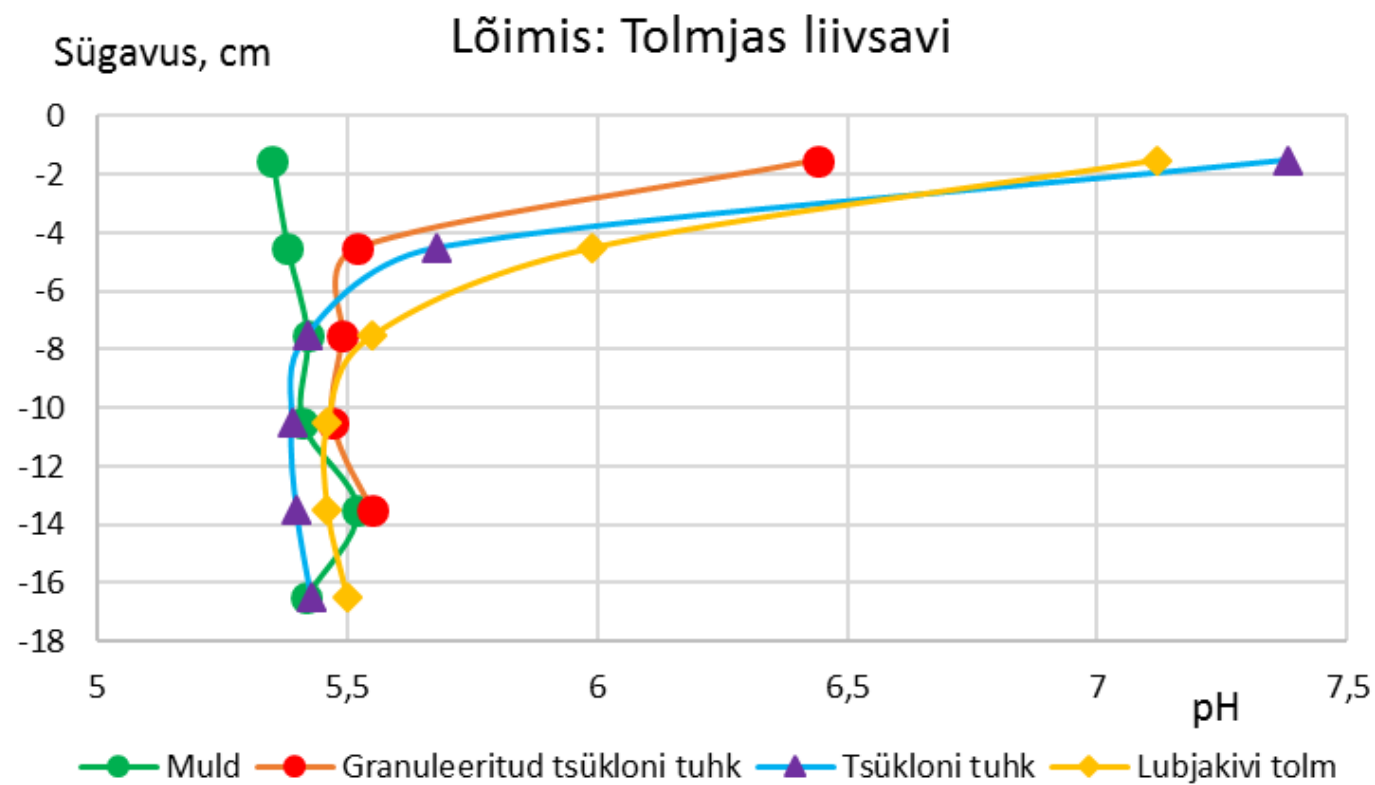
- 2,5 t/ha lubiväetist pinnale
- Kastmine (sademed) 63 mm kuus
- 100 päeva algusest



Niilo, Tõnutare 2019

19.11.2024

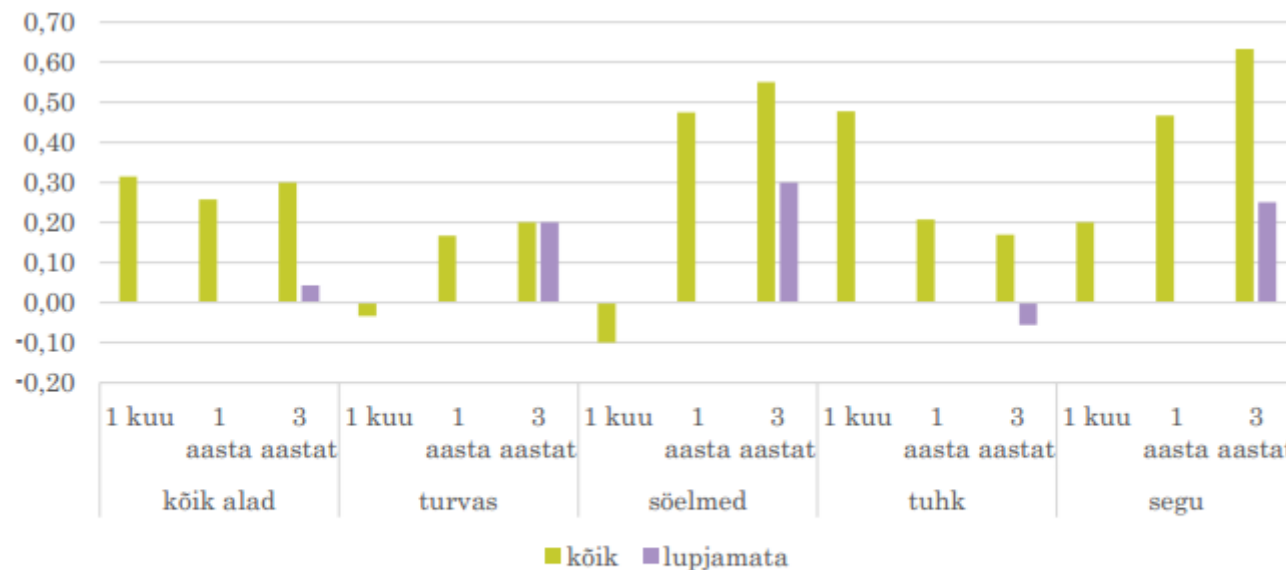
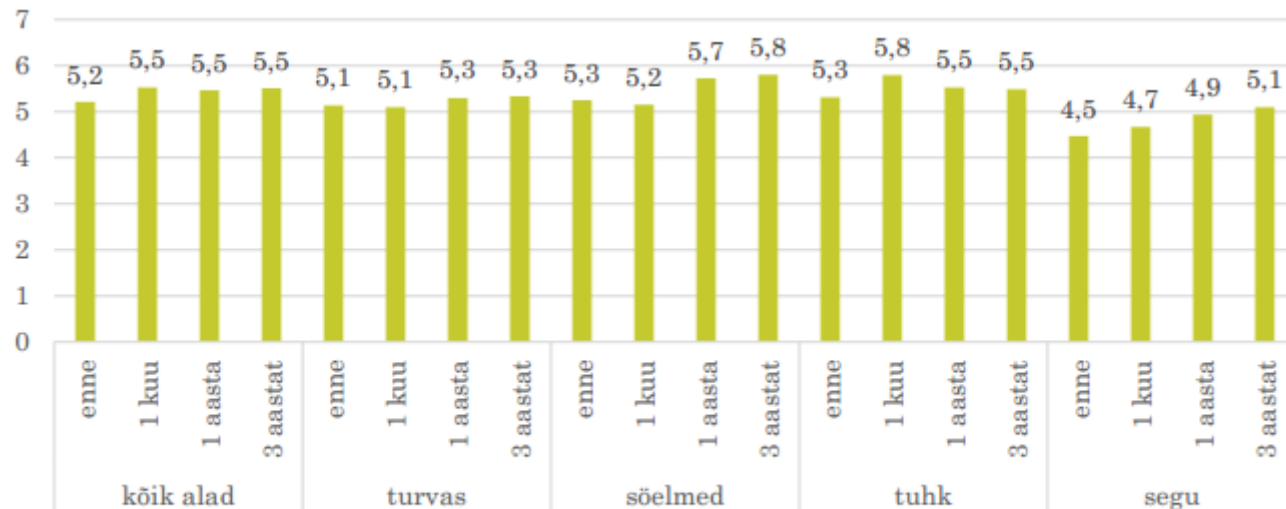
- Sama teisel mullal..



Niilo, Tõnutare 2019

Eesti tootmispõldude uuring

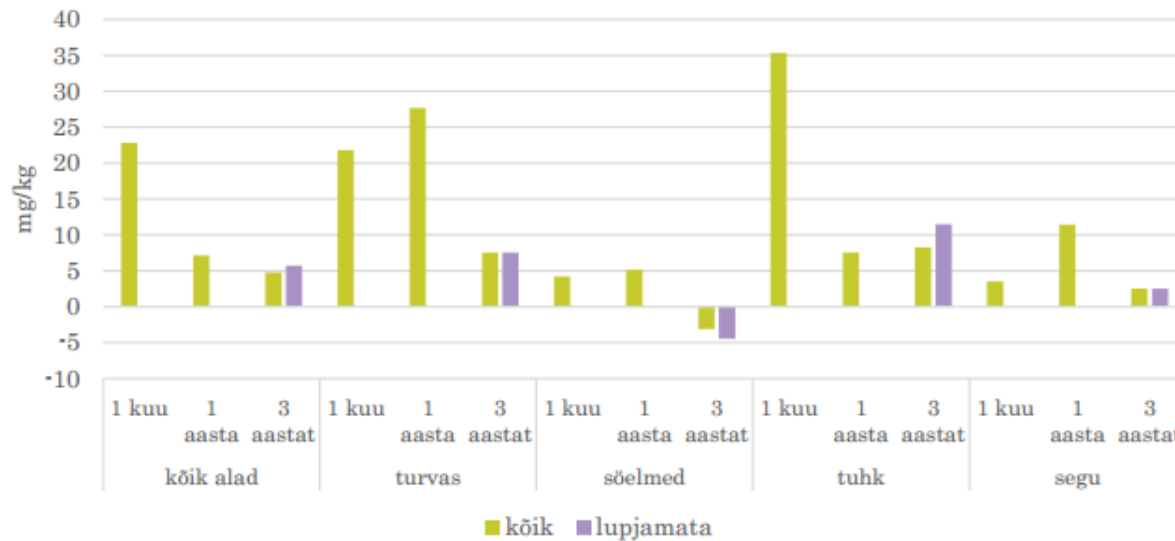
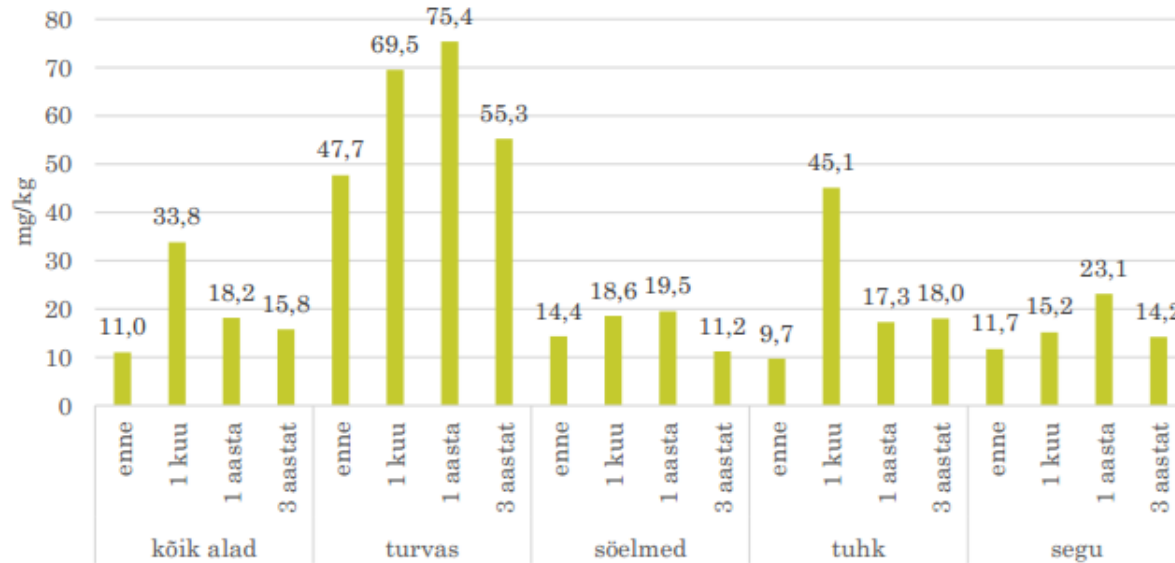
METK, 2024. P. Penu jt. Lubjatarbe määramise täpsustamine ja erinevate lubiväetiste mõju selgitamine erinevatele mullaomadustele ja taimede toitumistingimustele.



Joonis 2. Lupjamise uuringu alade muldade aktiivkihi (0...20 cm) happesus (pHKCL, ülemine joonis) ja selle muutus lühema (kuu) ja pikema (3 aastat) perioodi jooksul erinevate gruppide lõikes

Eesti tootmispõldude uuring

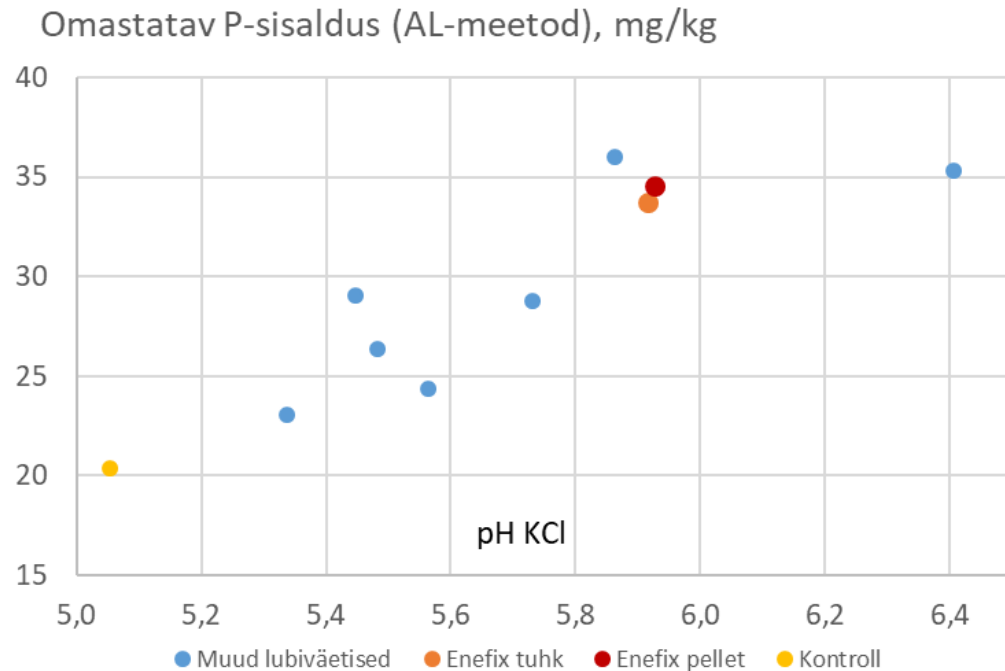
METK, 2024. P. Penu jt. Lubjatarbe määramise täpsustamine ja erinevate lubiväetiste mõju selgitamine erinevatele mullaomadustele ja taimede toitumistingimustele.



Joonis 6. Lupjamise uuringu alade muldade aktiivkihi (0...20 cm) väävlisisaldus (ülemine joonis) ja nende muutus lühema (kuu) ja pikema (3 aastat) perioodi jooksul erinevate gruppide lõikes

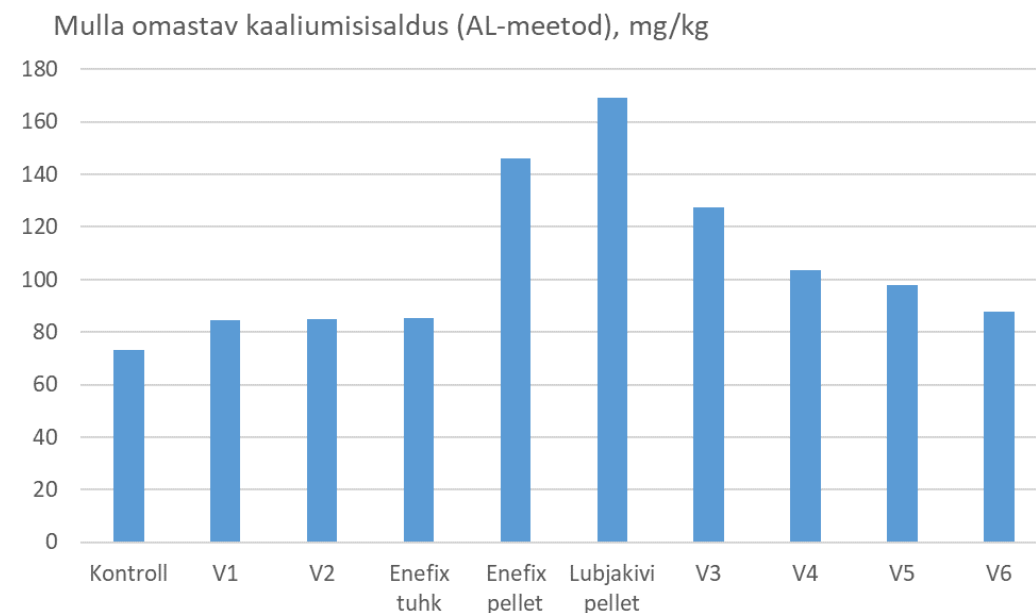
Lubiväetiste katse Tartu lähedal (rajatud 2021. kevadel).

Taimedele omastava P sisaldus 2022. aasta sügisel – mulla lupjamine on muutnud pH-d ja selle kaudu P kättesaasavadust



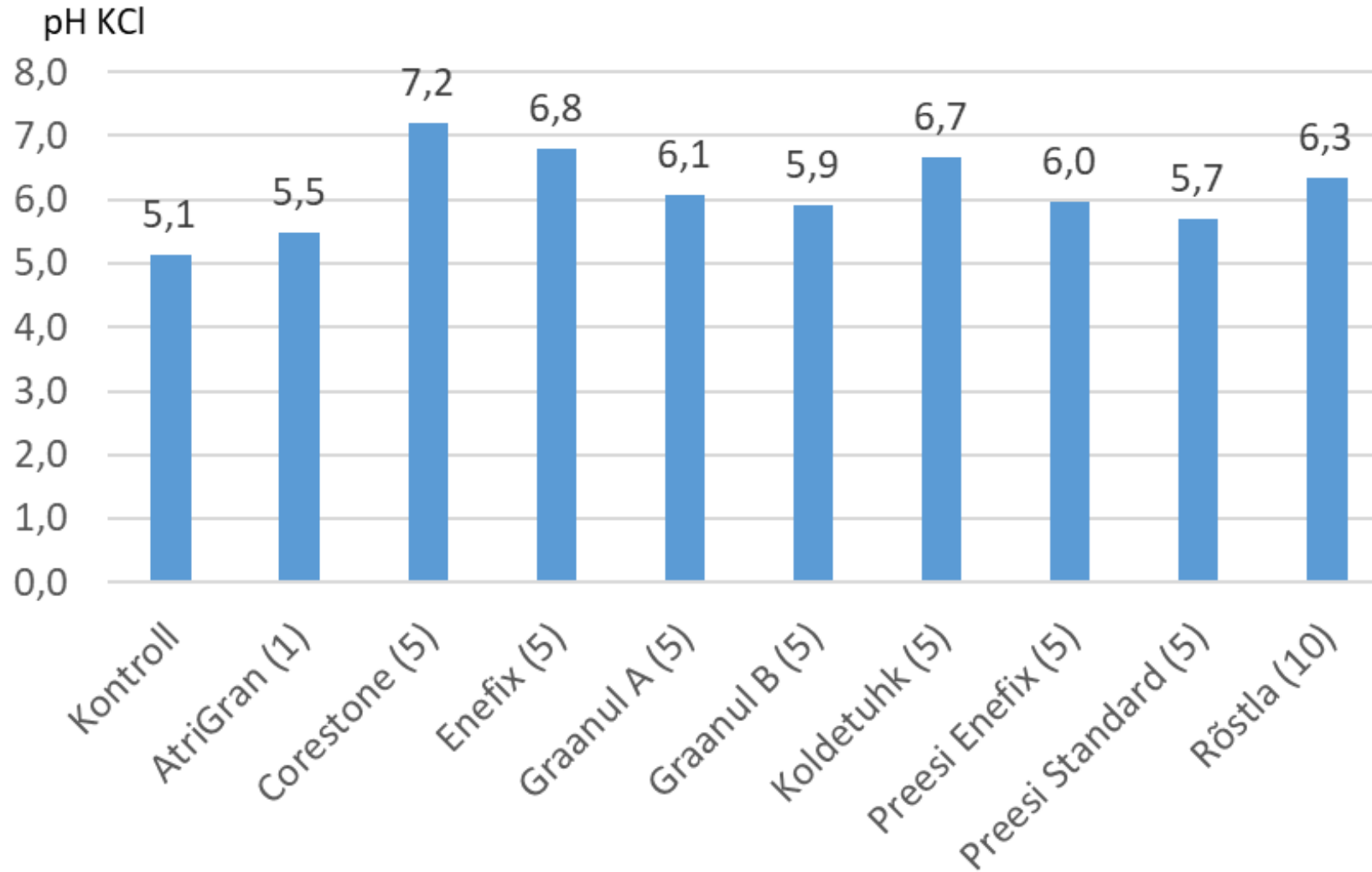
Fotod: Toomas Tõrra

Klastris arendatud prototüüpide eelis – parandab tugevasti kaaliumiga varustatust



Lubiväetiste katse Tartu lähedal (rajatud 2021. kevadel).

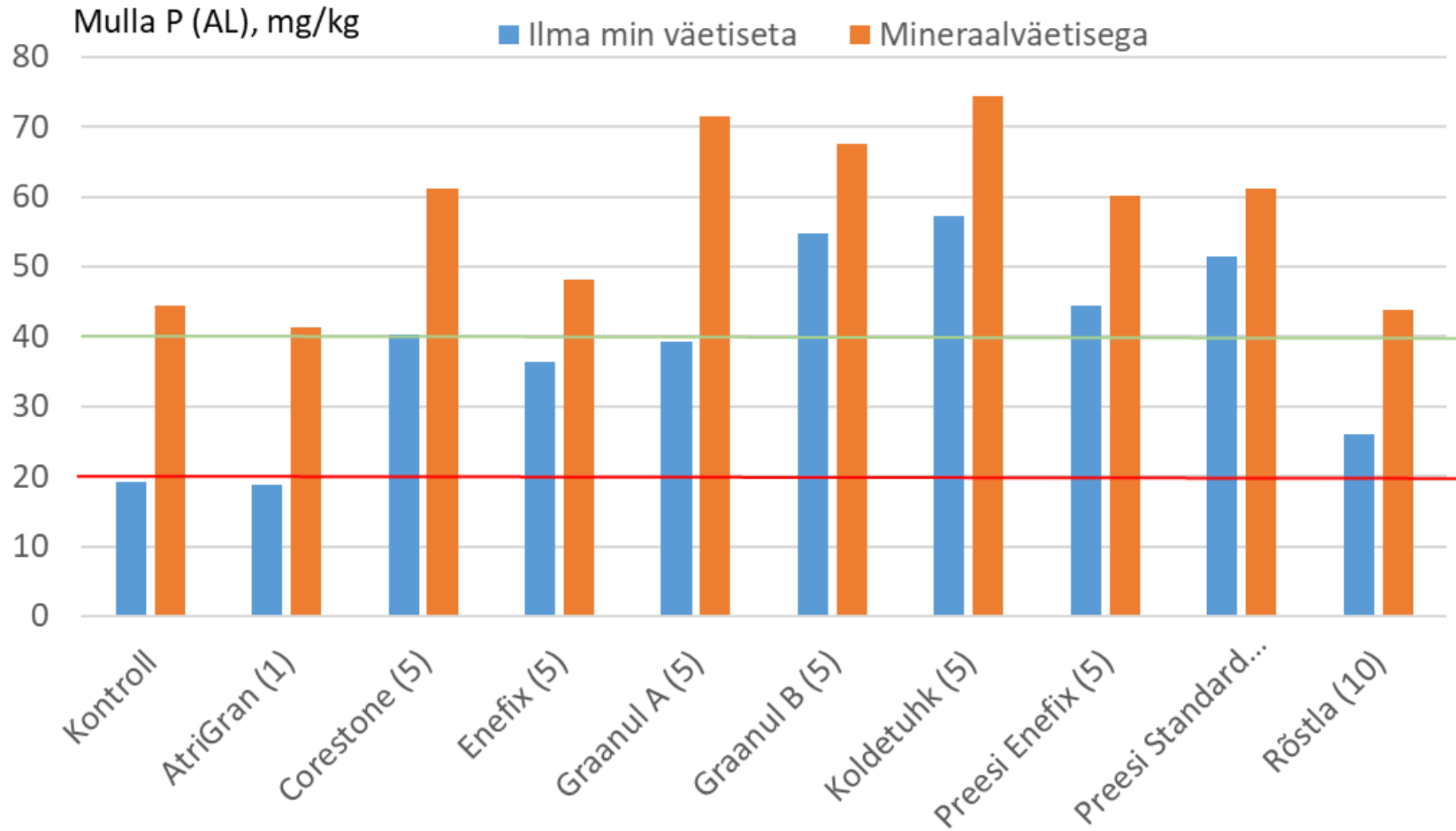
pH 2023. aasta sügisel



19.11.2024

Lubiväetiste katse Tartu lähedal (rajatud 2021. kevadel).

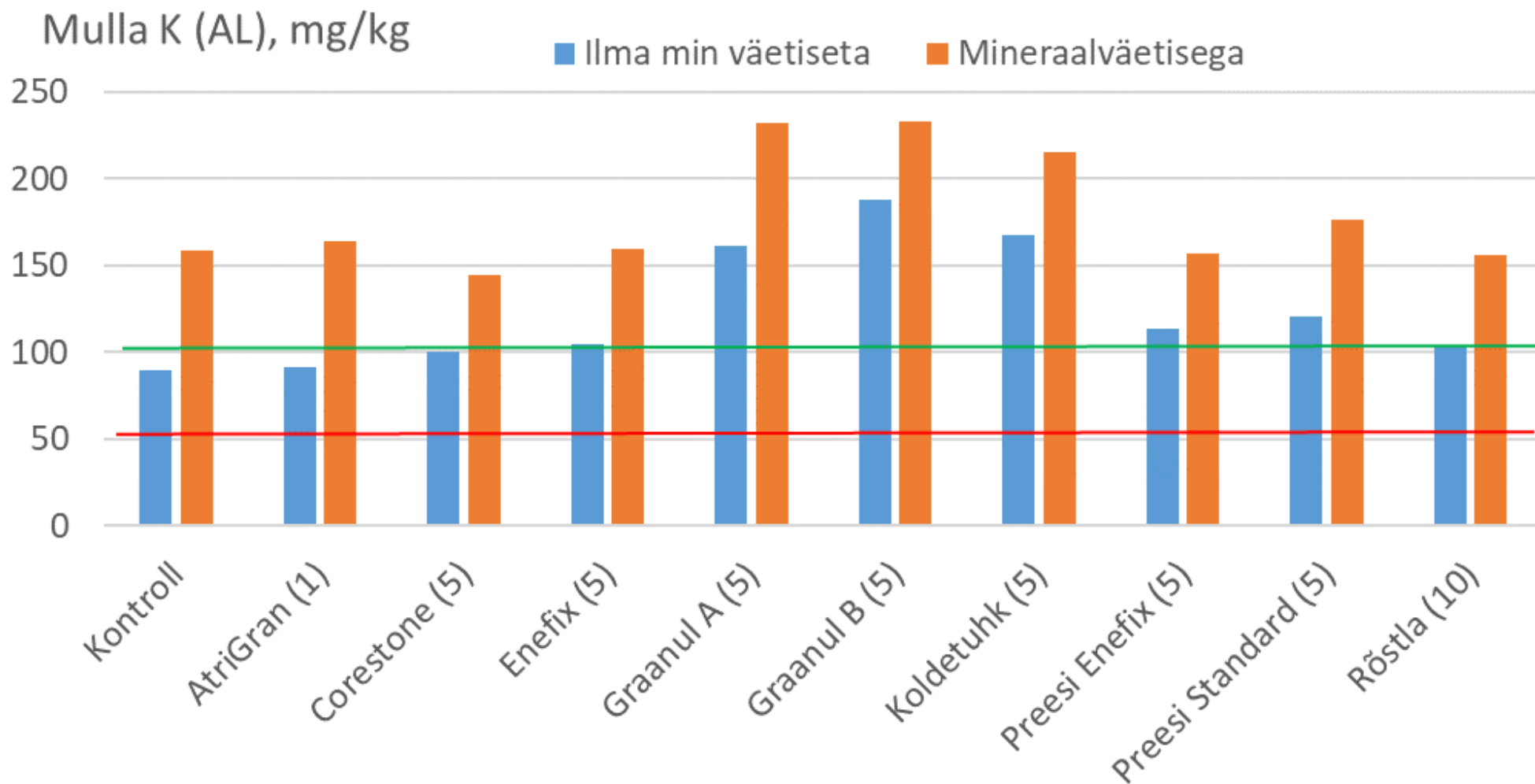
P-sisaldus 2023. aasta sügisel



19.11.2024

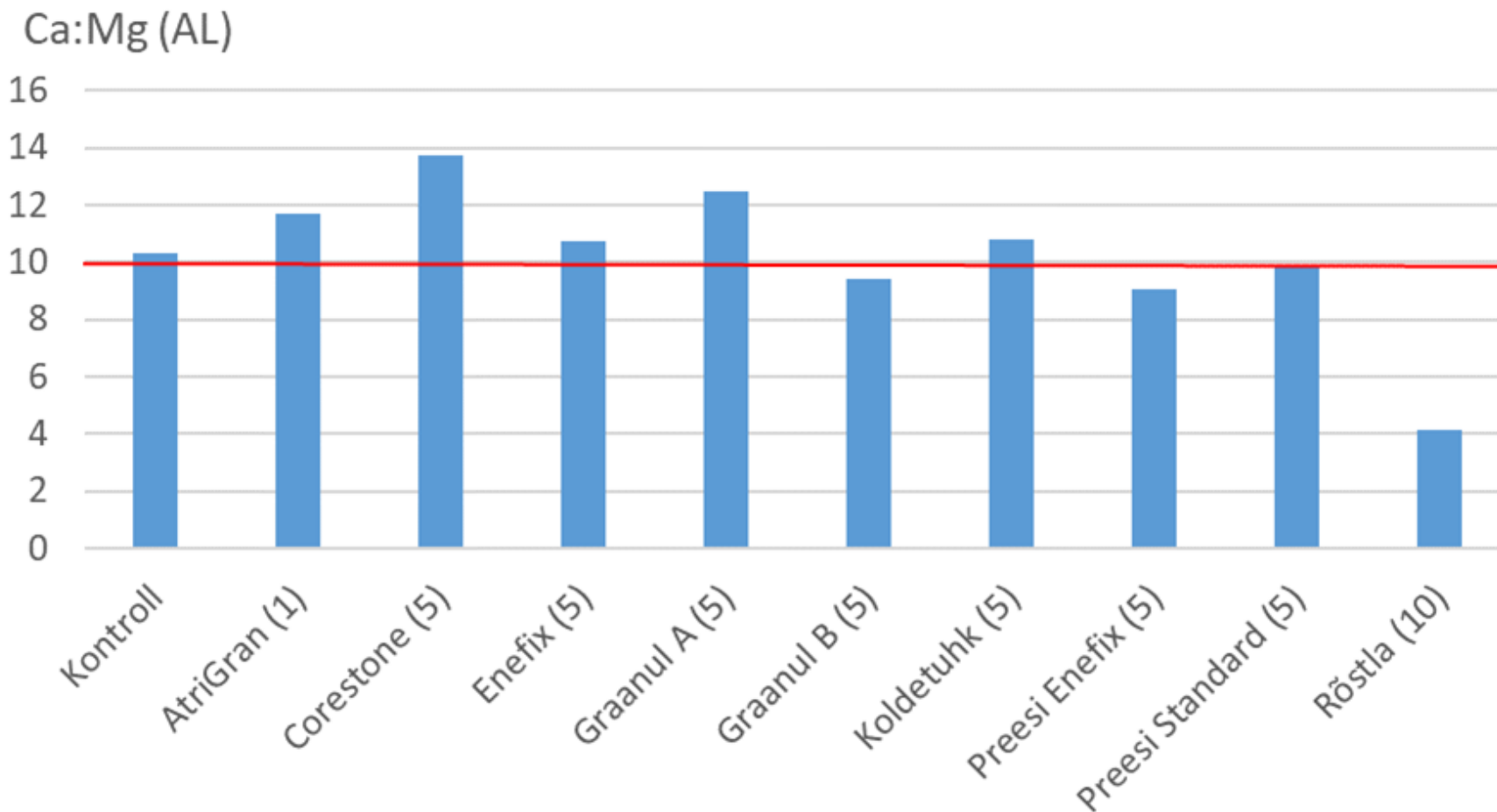
Lubiväetiste katse Tartu lähedal (rajatud 2021. kevadel).

K-sisaldus 2023. aasta sügisel



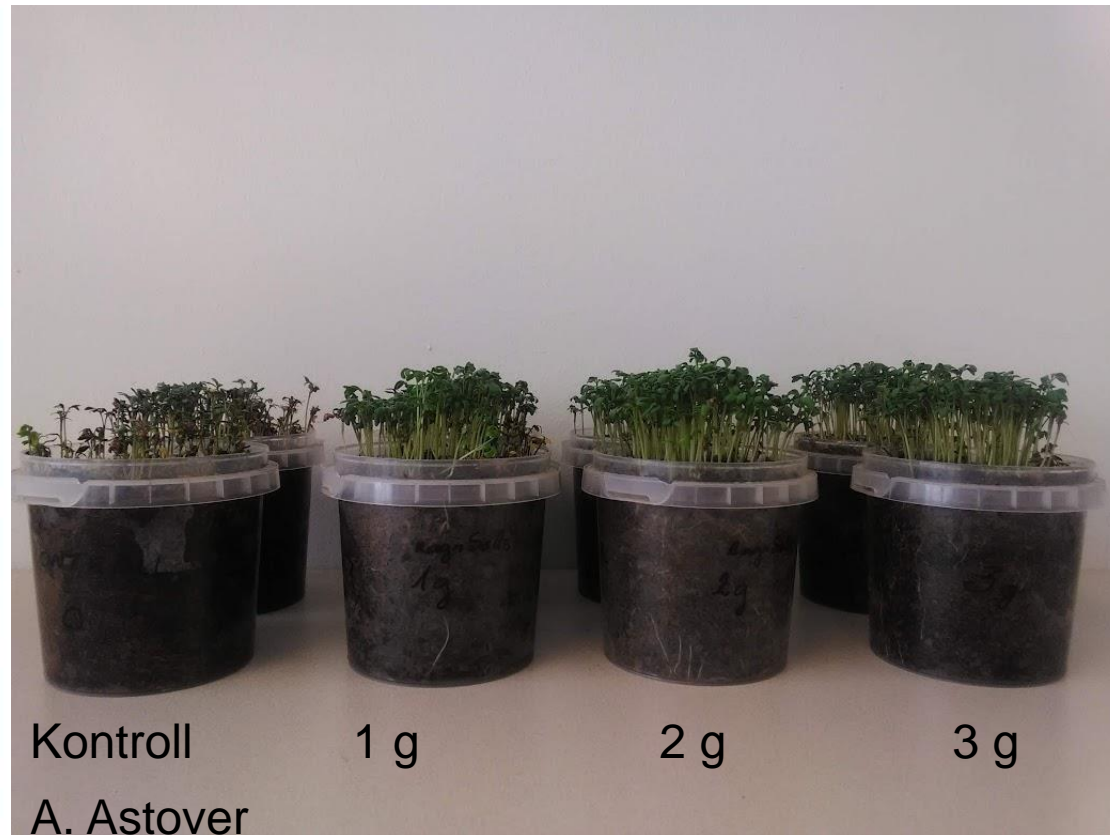
Lubiväetiste katse Tartu lähedal (rajatud 2021. kevadel).

Ca:Mg suhtarv 2023. aasta sügisel



Põlevkivituha ümbertöötlemisel tekkiva kõrvalsaaduse mõju mulla reaktsioonile ja toiteelementide sisaldusele (2022...2024)

- Esimesed katsed tehtud



Ragn-Sells, Maaülikool ja põllumajandusettevõtjad testivad lahendust väetisekriisile

Narva rajatav Ragn-Sellsi põlevkivituhkade väärindamise tehas võib pakkuda leevendust väetisekriisile. Koostöös Eesti Maaülikooli ja põllumajandusettevõtjatega alustatakse sel sügisel testidega, kuidas saab tulevikutehase kõrvalmaterjali abil kõige efektiivsemalt tõsta Eesti põldude viljakust.

Aastakümnete jooksul Ida-Virumaal elektritootmisest tekkinud jääk ehk põlevkivituhk ei ole põllumeestele väetise alternatiivina võõras materjal. Huvi põlevkivituhaga põlde lubjata on tõusnud just viimasel ajal, kui väetiste hinnad ja kättesaadavus on muutunud ülemaailmseks probleemiks.

Ragn-Sellsi OSA projekti müügijuhi **Lauri Laanemäe** sõnul suudab nende unikaalne lahendus

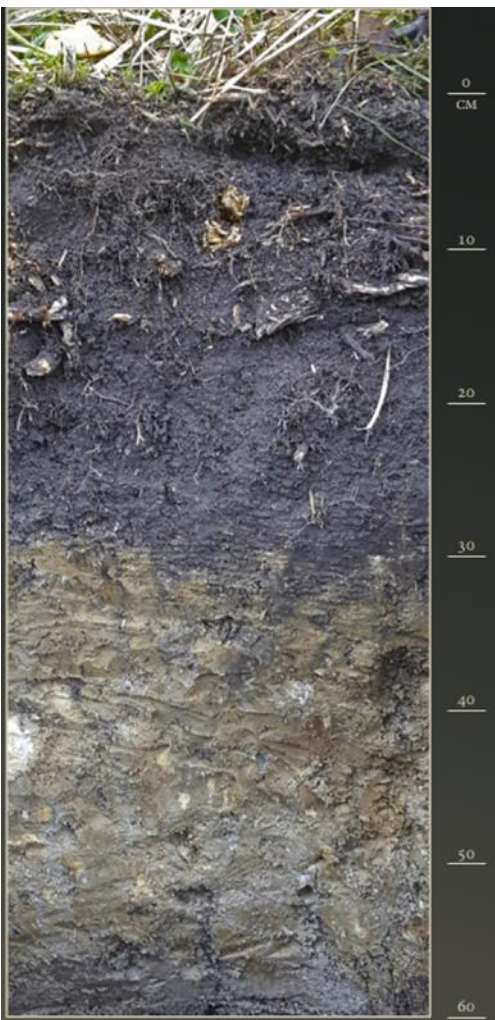
<https://www.osaservice.ee/>

- Tunne oma...
 - mulda,
 - taimi/külvikorda,
 - (lubi)väetist

Ilma nende eripärasid ja omadusi teadmata pole võimalik teadlikult toimetada.

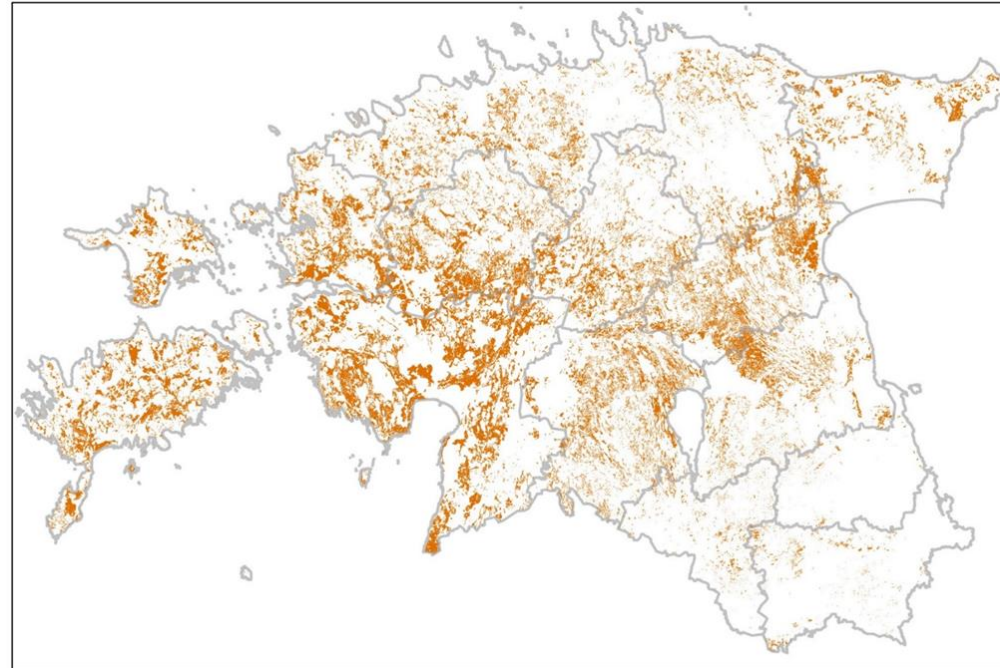
Aasta muld 2024

Leostunud gleimuld – märg rikkus



Alar Astover, professor

E-mail: alar.astover@emu.ee



Euroopa Maaelu Arengu
Põllumajandusfond:
Euroopa investeeringud
maapiirkondadesse



Kaasrahastatud
Euroopa Liit

METK

Maaelu
Teadmuskeskus

19.11.2024



Üleilmne
Mullapäev

**Tulekul XV Mullapäev
5. detsember 2024
Tartus Maaülikooli aulas
“Mullaandmest otsusteni”**

<https://pk.emu.ee/struktuur/mullateadus/mullapaev/>

19.11.2024