



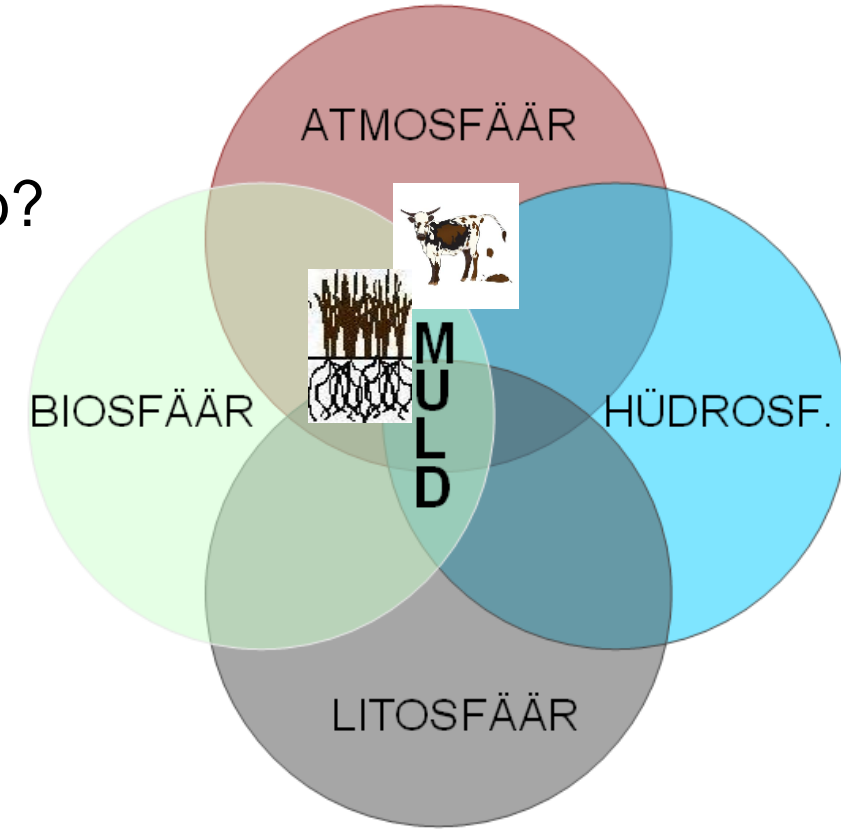
Põllu toitaineringe ja tasakaalustatud väetamine Täna N (ja P) fookusega

**Alar Astover, professor
mullateaduse õppetool**

2. detsember 2024

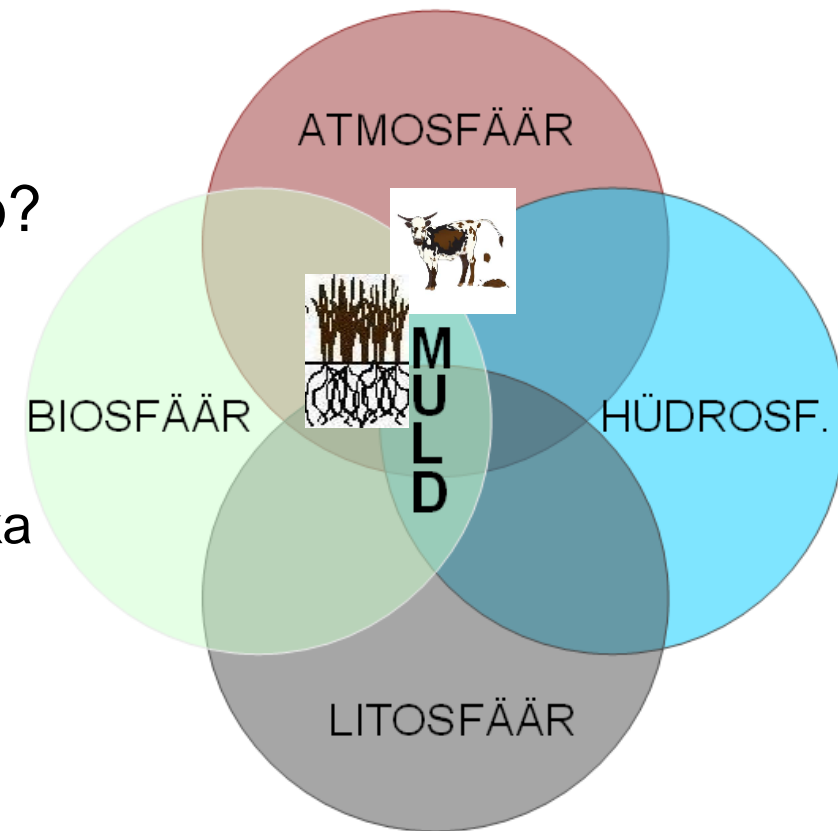
Põllumajandus ja keskkonnamõju

- Iga inimtegevus, sh põllumajandus mõjutab paratamult looduskeskkonda
- Mis mida või keda (**vesi**, õhk, muld, elustik) ohustab?



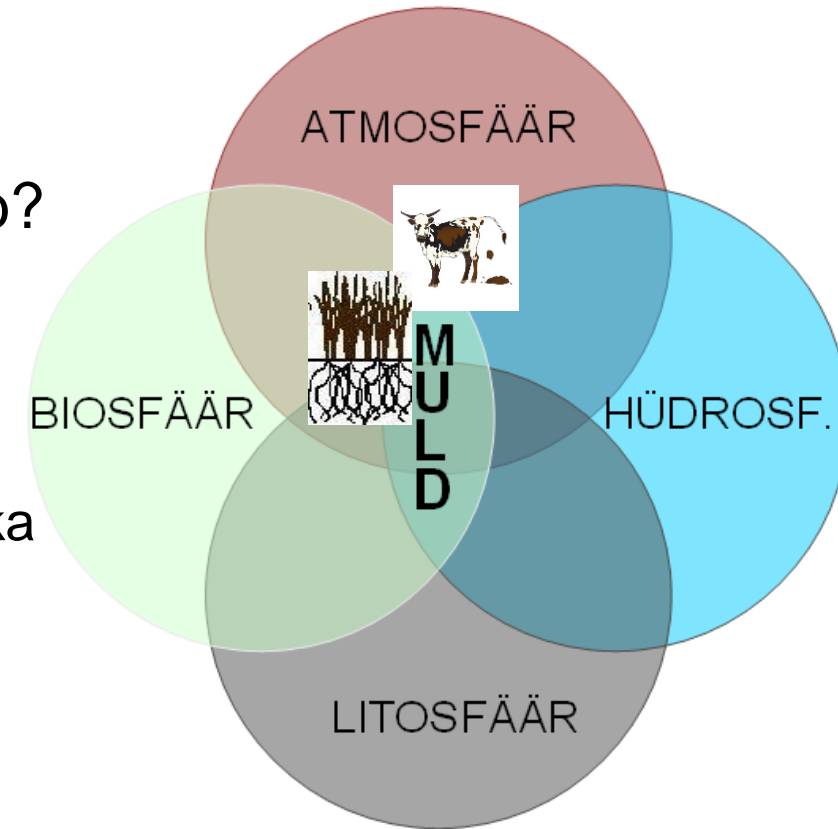
Põllumajandus ja keskkonnamõju

- Iga inimtegevus, sh põllumajandus mõjutab paratamult looduskeskkonda
- Mis mida või keda (**vesi**, õhk, muld, elustik) ohustab?
- Mis ohustab veekeskkonda?
 - Saasteained (pestitsiidid ja nende laguneproduktid, ravimijäägid, raskmetallid, mikro/nanoplast, ...)
 - **Toiteelemendid N ja P liigses koguses** (need ringlevad ka inim mõjuga ökosüsteemis, ent põllumajanduses suuremad vood ja kadude riskid suurenevad)



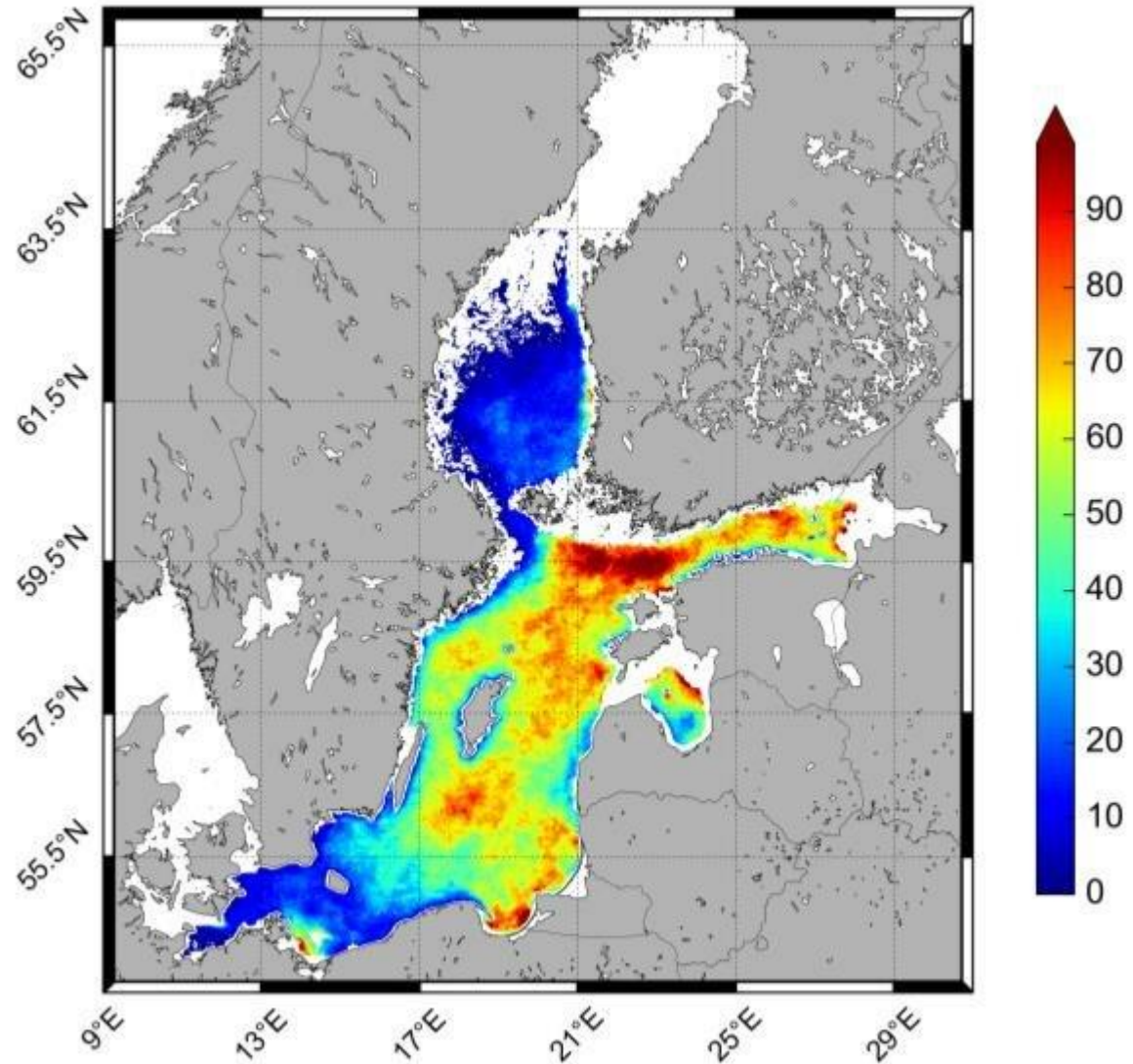
Põllumajandus ja keskkonnamõju

- Iga inimtegevus, sh põllumajandus mõjutab paratamult looduskeskkonda
- Mis mida või keda (**vesi**, õhk, muld, elustik) ohustab?
- Mis ohustab veekeskkonda?
 - Saasteained (pestitsiidid ja nende laguproduktid, ravimijäägid, raskmetallid, mikro/nanoplast, ...)
 - **Toiteelemendid N ja P liigses koguses** (need ringlevad ka inim mõjuta ökosüsteemis, ent põllumajanduses suuremad vood ja kadude riskid suurenevad)
- Punktreostus, hajukoormus
- Ainete vood ja muundumise protsessid olemuselt siiski kõik ülimalt lokaalsed! Seda eriti taim-muld süsteemis.



- Läänemeri õitseb

Päevade arv, mil juuni kuni august on tuvastatud tsüanobakterite ohtrus

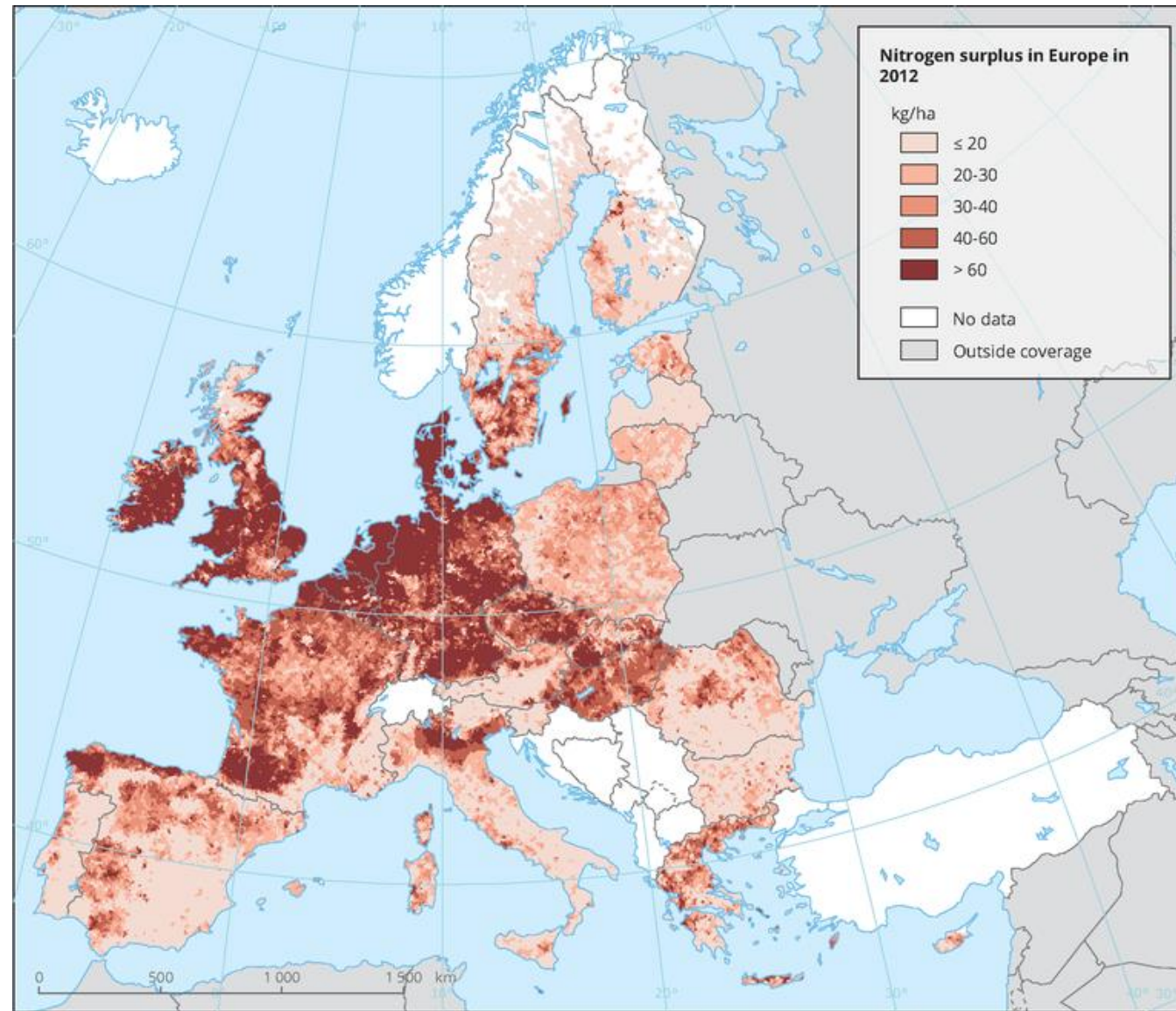


The number of days of detected surface accumulations of cyanobacteria in June-August using satellite remote sensing in years 2002-2015, NASA Aqua-MODIS processed by SMHI.

Karlson, Bengt & Eilola, Kari & Johansson, Johannes & Linders, Johanna & Mohlin, Malin & Willstrand Wranne, Anna & Wählström, Iréne. (2017). Distribution of cyanobacteria blooms in the Baltic Sea.

2.12.2024

Lämmastiku bilanss põllumajandusmaal, kg/ha

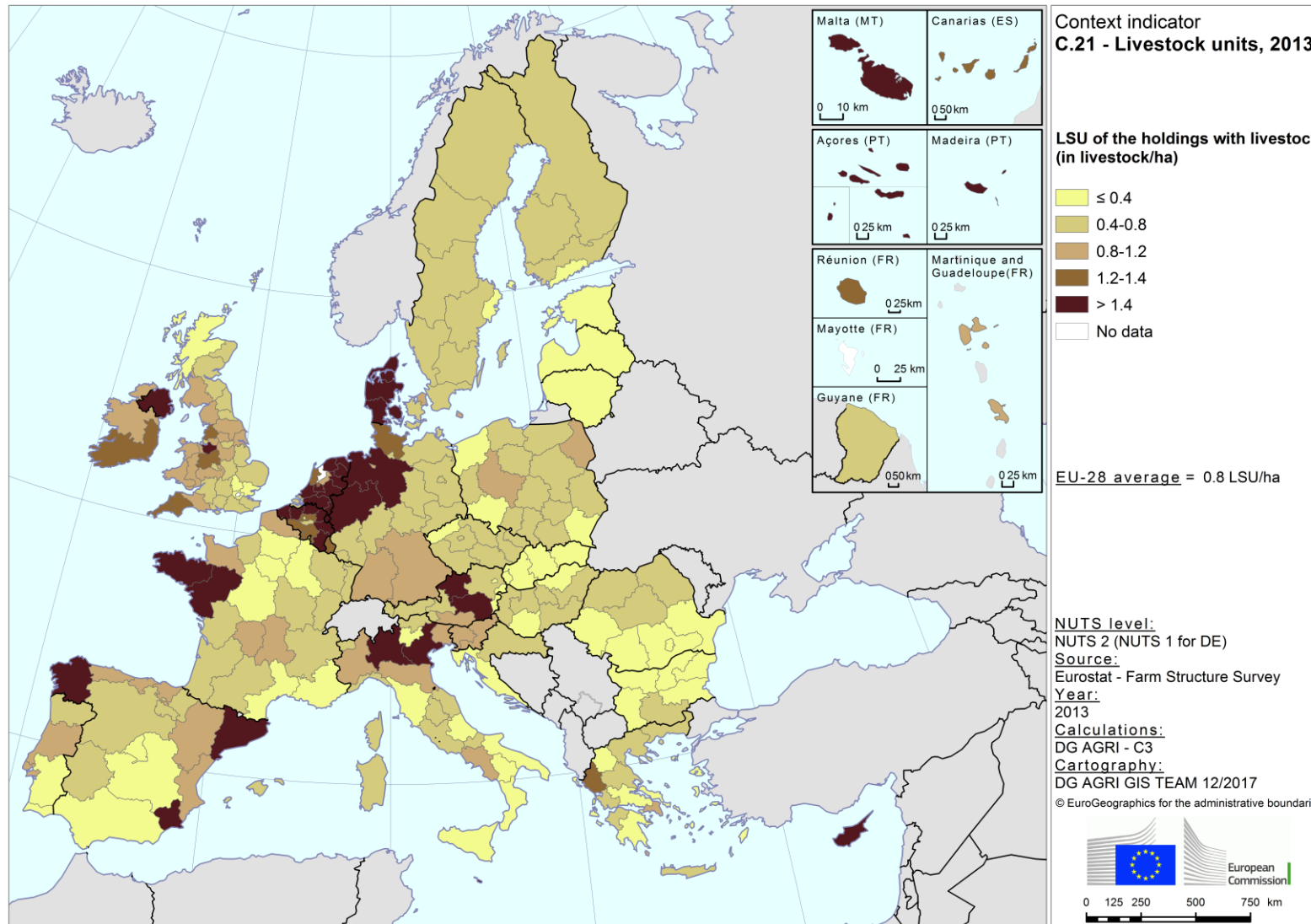


Reference data: ©ESRI

https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/nitrogen-surplus-in-europe-in-2012/124040-map3-1-map-wa-nitrogen_v05_cs6.eps

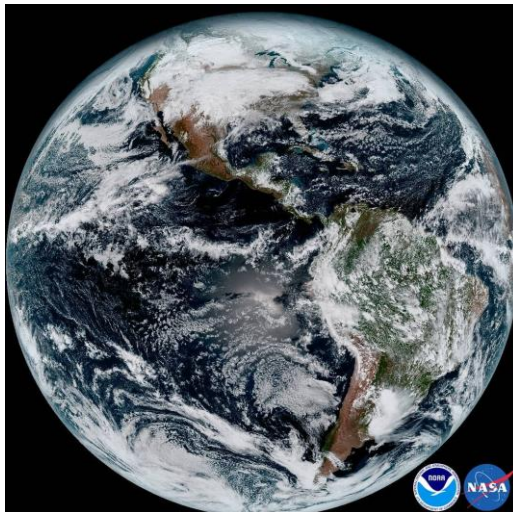
2.12.2024

Loomkoormus (lü/ha)



2.12.2024

Mõtlemisega globaalselt, tegemise lokaalselt kooskõlas mulla ja taimega!



<https://www.nasa.gov/image-feature/>



XGIS Maaamet, kõik õigused kaitsitud.

<http://xgis.maaamet.ee>

1:10 000 mullastikukaardi väljavõte

... aga tagasi mikromaailma ja mulda

- Taimetoiteelemendid
- Taimetoitained

	Toiteelement	Omastamine toitainena
Mittemineraalsed	C	CO_2 või HCO_3^-
	H	H_2O
	O	CO_2 või O_2 , osaliselt H_2O
Mittemetallid	N	NO_3^- ja NH_4^+
	S	SO_4^{2-}
	P	PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-
	B	BO_3^{3-}
	Si	SiO_2^-
Leelismetallid	K	K^+
	Na	Na^+
	Ca	Ca^{2+}
	Mg	Mg^{2+}
Raskmetallid	Fe	Fe^{2+}
	Mn	Mn^{2+}
	Cu	Cu^{2+}
	Zn	Zn^{2+}
	Mo	MoO_4^{2-}

17+ hädavajalikku taimetoiteelementi

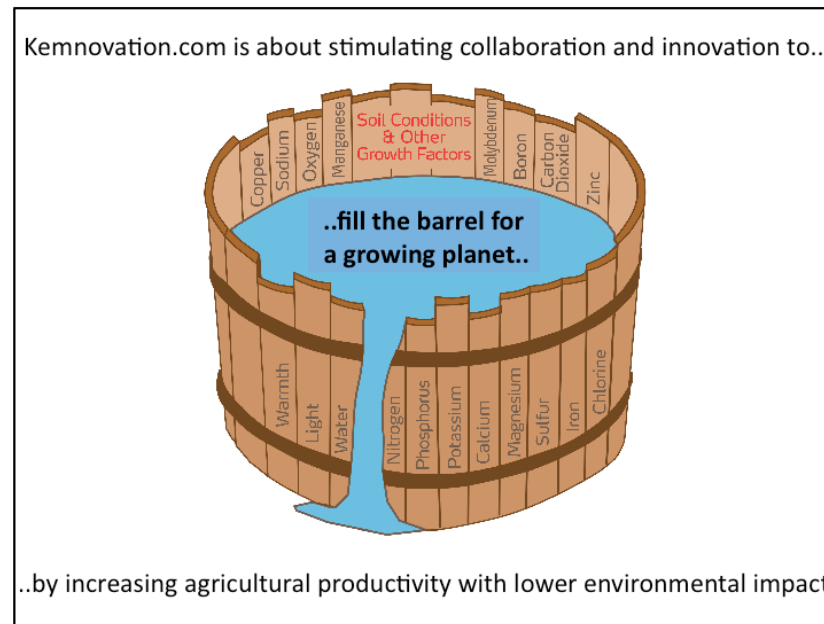
Taimetoiteelement	Taimetoitaine (peamised omastamise vormid)
Süsinik - C	CO ₂ , H ₂ CO ₃
Vesinik - H	H ⁺ , OH ⁻ , H ₂ O
Hapnik - O	O ₂
Lämmastik - N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , (aminohapped)
Fosfor - P	HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻
Kaalium - K	K ⁺
Kaltsium - Ca	Ca ²⁺
Magneesium - Mg	Mg ²⁺
Väävel - S	SO ₄ ⁻
Boor - B	H ₃ BO ₃ , BO ₃ ⁻
Vask - Cu	Cu ²⁺
Raud - Fe	Fe ²⁺ , Fe ³⁺
Mangaan - Mn	Mn ²⁺
Tsink - Zn	Zn ²⁺
Molübdeen - Mo	MoO ₄ ⁻
Kloor - Cl	Cl ⁻
Koobalt - Co	Co ²⁺
Nikkel - Ni	Ni ²⁺

Taimede toitumisviisid:

- Lahustunud ioonidena (peamiselt juurte kaudu mullalahusest) – lämmastik nt NH₄⁺ ja NO₃⁻
 - Difusiooniga
 - Vee massivooga
- Lehtede kaudu
- Sümbioos mükoriisaga

... aga taimele ja mullaelustikule ei piisa ainult sellest, et taldrik on toiduga täidetud, vaid ruum (muld) peab ka soe, ilus ja mugav olema ...
toitumistingimused on rohkemat kui toiteelemendid

... seega muld peab laiemas vaates "heas" seisundis olema



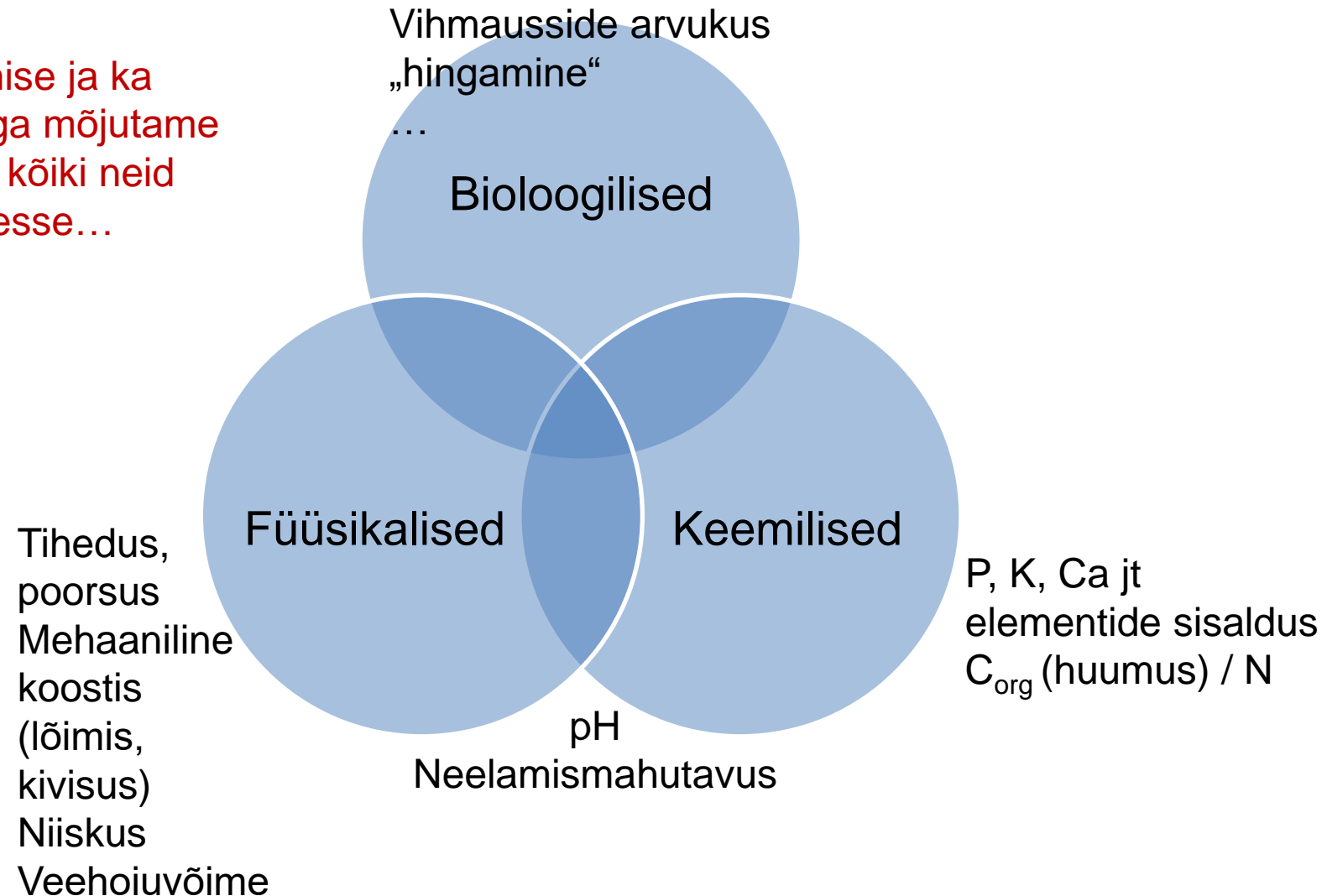
<https://kemnovation.com/crop-nutrition/>

2.12.2024

Mulla kvaliteeti üksiku näitajaga võimatu hinnata

Mulla omadused ja nende indikaatorid (ainult näitlikustav nimekiri)

Väetiste kasutamise ja ka mittekasutamisega mõjutame otse või kaudselt kõiki neid näitajaid ja protsesse...



Toitainete/elementide liikuvus mullas ja omastamine taimede poolt

Väga liikuvad
(leostumise oht suur)

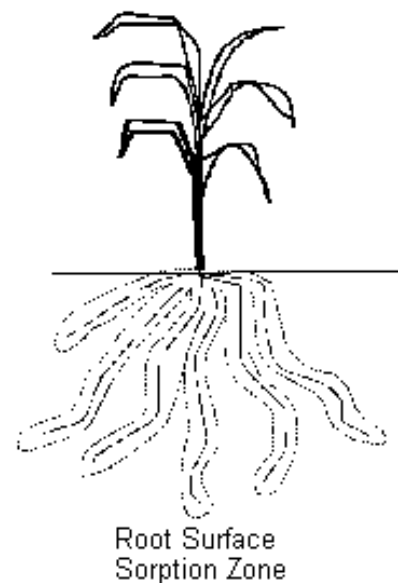
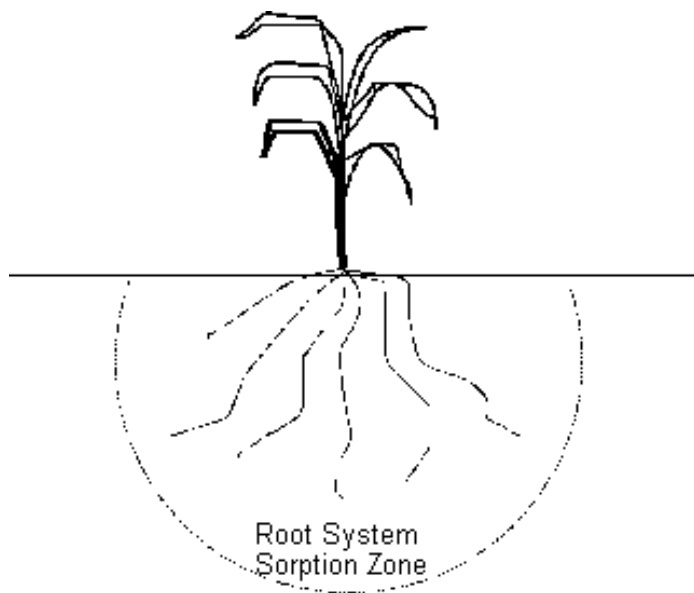
NO_3^- , S, B

Keskmiselt liikuvad

NH_4^+ , K, Ca, Mg, Mo

Väheliikuvad

P, Cu, Fe, Mn, Zn



<https://soil5813.okstate.edu/BOOK.htm>

- NH_4^+ omastamise kaugus juure tsoonist

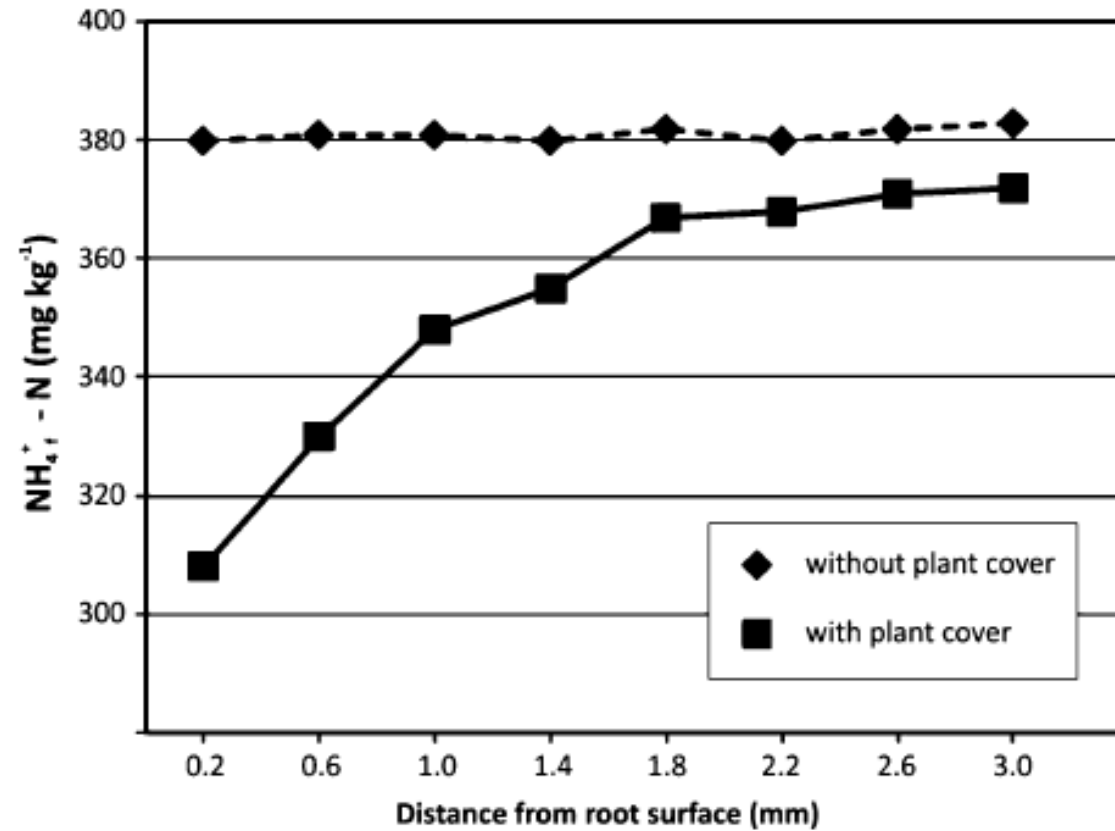
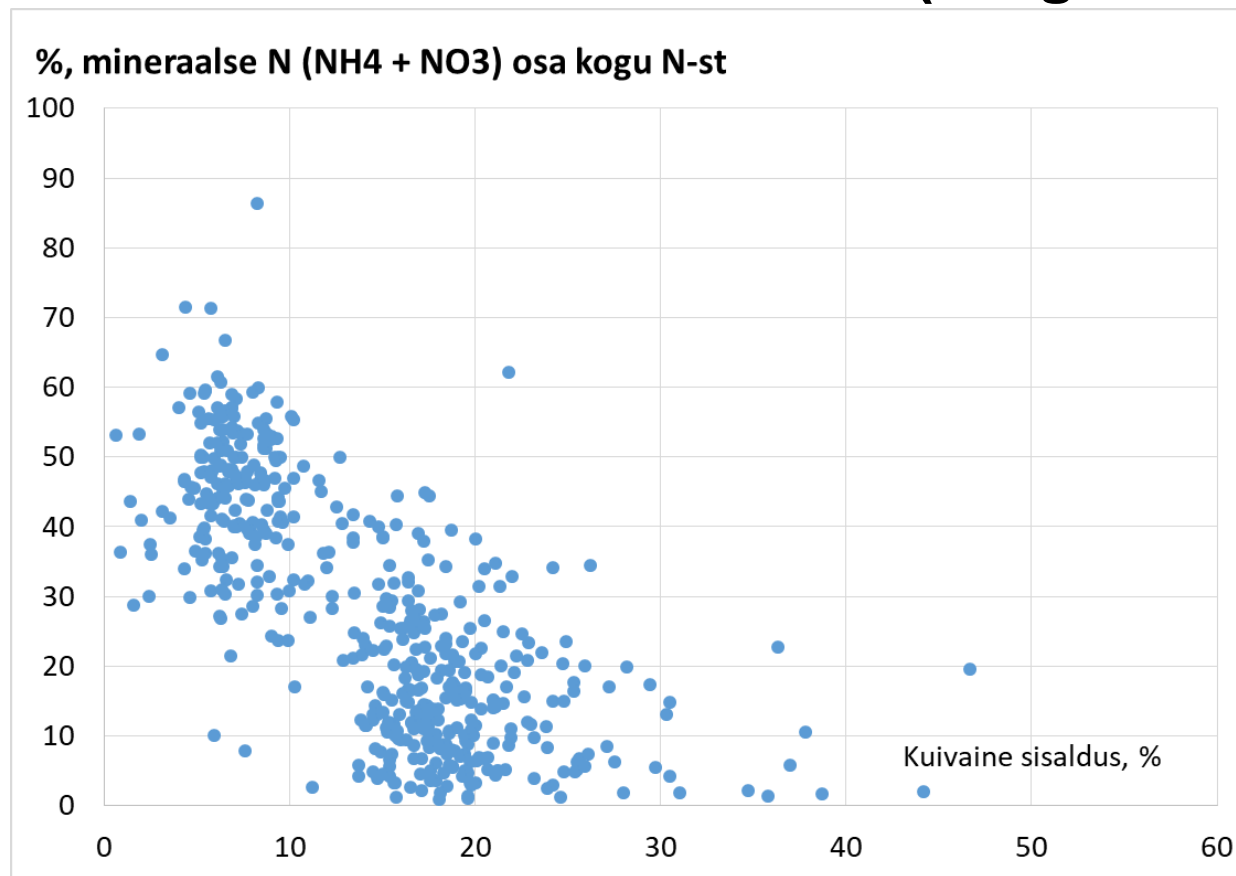


Fig. 2 Depletion profile of NH_4^+ -N in the rhizosphere of oilseed rape in a soil with high amount of expandable clay minerals (57% clay and 17% of smectites and vermiculite in the clay fraction; source: Scherer and Ahrens 1996)

Nieder et al. 2011. Biol Fertil Soils (2011) 47:1–14

Lahustunud N osa orgaanilistes väetistes (sõnnikuanalüüside tulemused, PMK 2009-12)

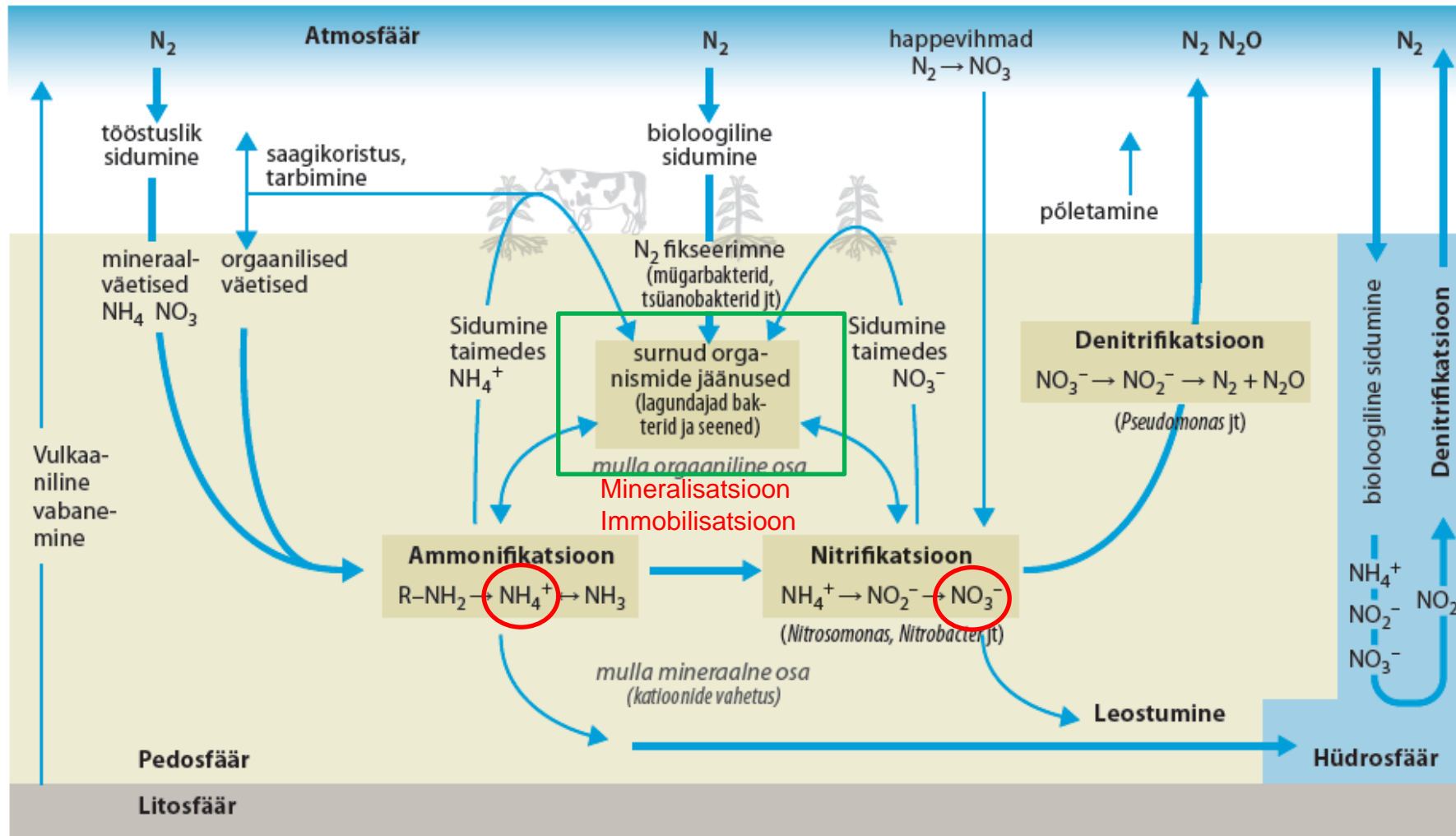
Valdav osa mineraalsest N-st ammooniumina (seega ei allu leostumisele???)



2.12.2024

Lämmastik muld-taim süsteemis

- Peamiselt orgaanilise aine koostises.
- Eesti mineraalmuldade N üldsisaldus on keskmiselt 0,1...0,3% ehk 3000...9000 kg/ha. Taimedele omastatavana sellest aastas ainult (0,5)1...3%.



- Soodsates tingimustes muutub “sõnniku” ammonium mullas kiiresti nitraadiks

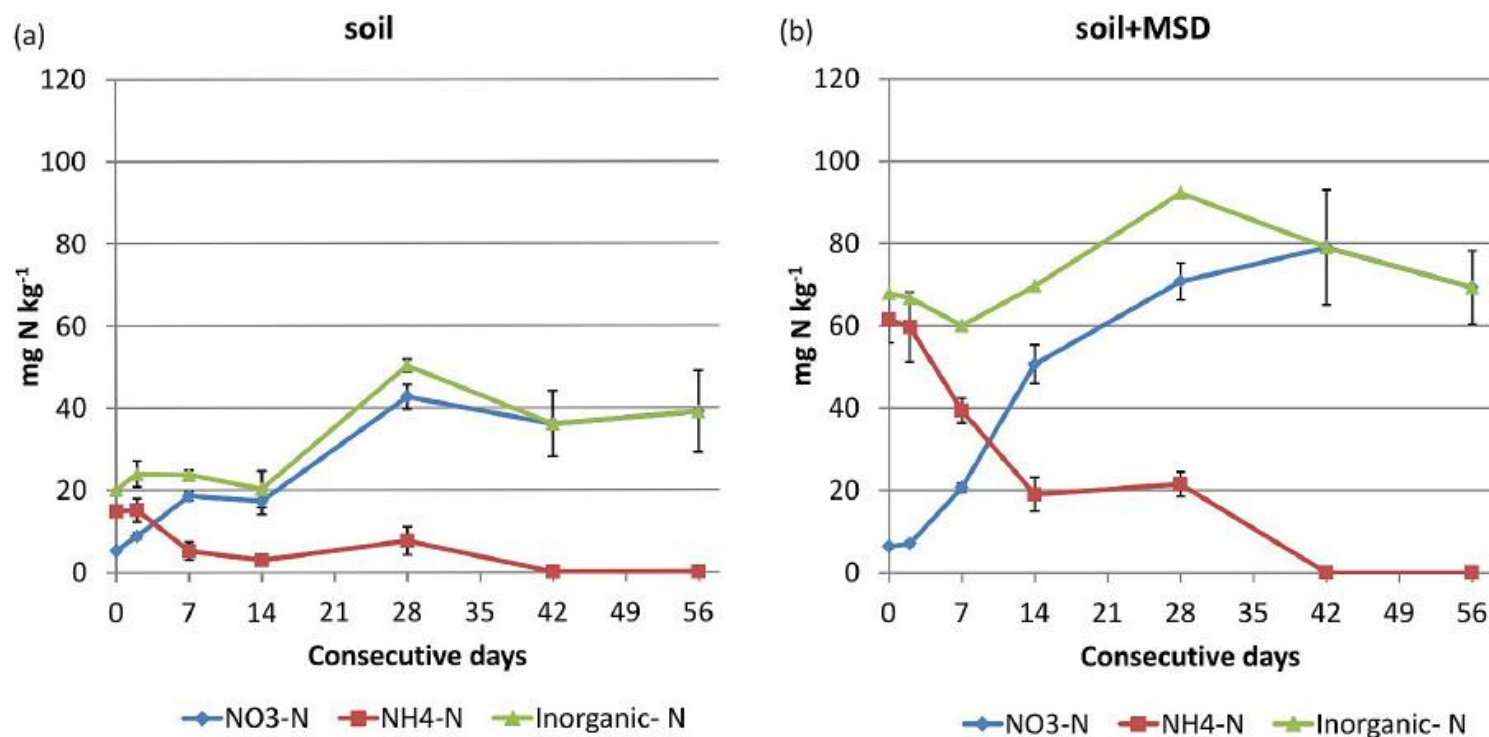


Figure 1. Changes in NO₃-N, NH₄-N and inorganic-N content in control soil (a) and in soil treated with digestate (b) in the incubation experiment

Agnieszka Wysocka-Czubaszek. Journal of Ecological Engineering Vol. 20(1), 2019

NP liikuvus ja kaod mullast sõltuvad

- Mulla/põllu omadused, geoloogia
 - Lõimis, koresus, mulla/pinnakatte tüsedus, дренаaž, reljeef...

NP liikuvus ja kaod mullast sõltuvad

- Mulla/põllu omadused, geoloogia
 - Lõimis, koresus, mulla/pinnakatte tüsedus, дренаaz, reljeef...
- Kliima, ilmastik
 - Sademed (temperatuur)

NP liikuvus ja kaod mullast sõltuvad

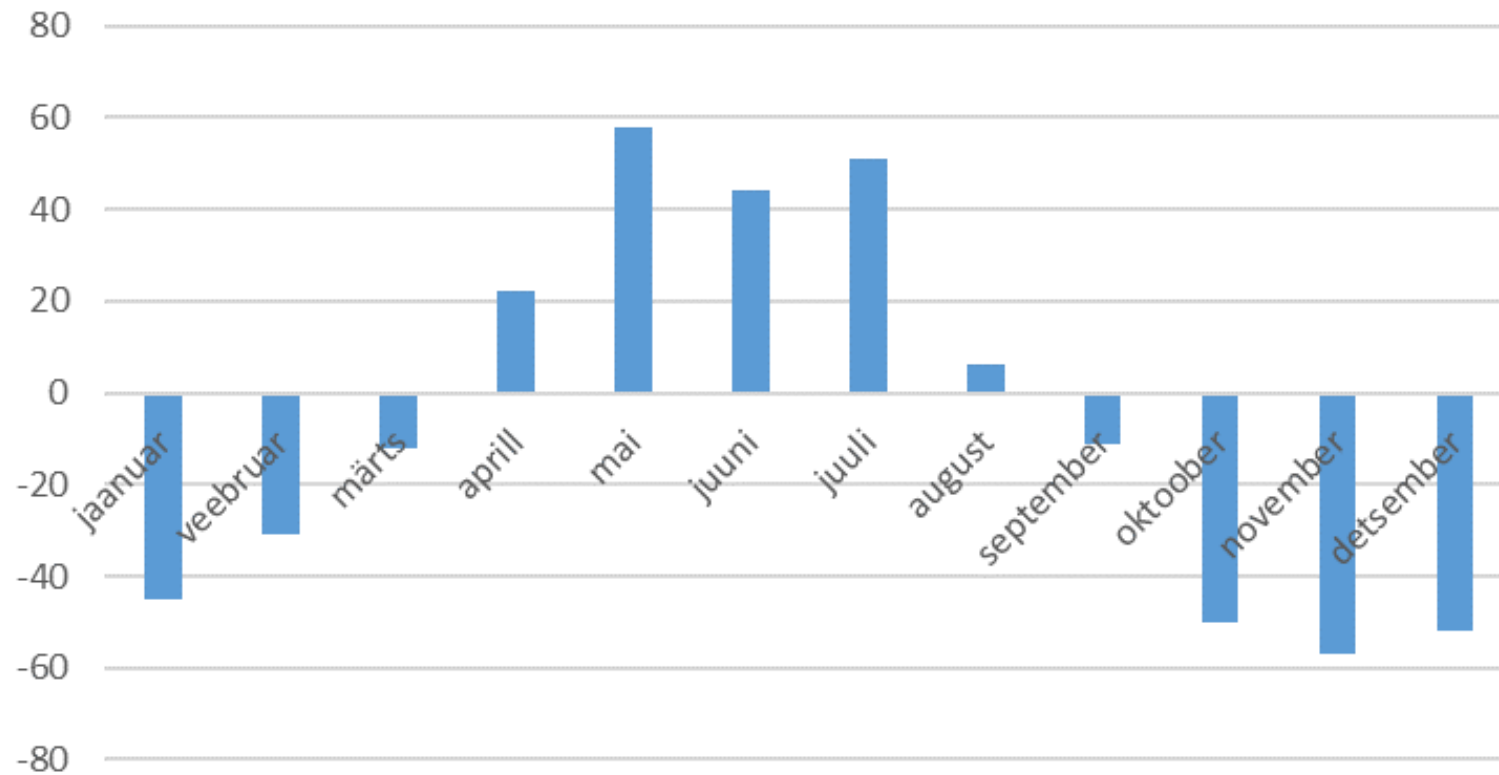
- Mulla/põllu omadused, geoloogia
 - Lõimis, koresus, mulla/pinnakatte tüsedus, drenaaž, reljeef...
- Kliima, ilmastik
 - Sademed (temperatuur)
- Väetise liik, omadused, kasutusnorm
 - Mineraalväetis, orgaaniline väetis (tahe, läga, haljasväetis)

NP liikuvus ja kaod mullast sõltuvad

- Mulla/põllu omadused, geoloogia
 - Lõimimis, koresus, mulla/pinnakatte tüsedus, drenaaž, reljeef...
- Kliima, ilmastik
 - Sademed (temperatuur)
- Väetise liik, omadused, kasutusnorm
 - Mineraalväetis, orgaaniline väetis (tahe, läga, haljasväetis)
- **Tarbijate olemasolu ja tegusus** (taim, mullaelustik – sünkroonsus nende vajadustega)

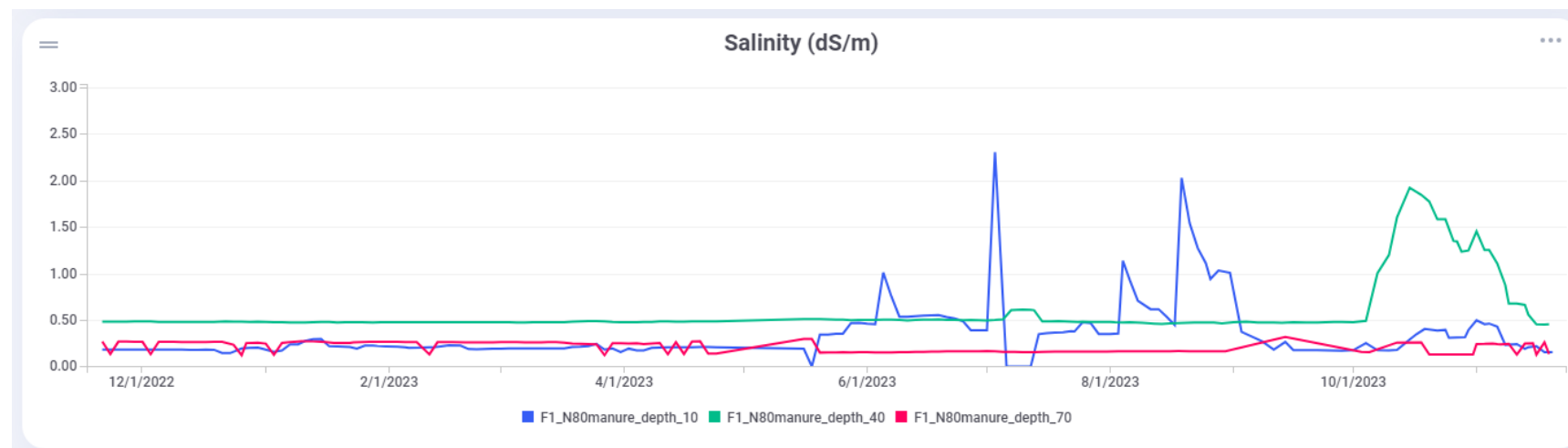
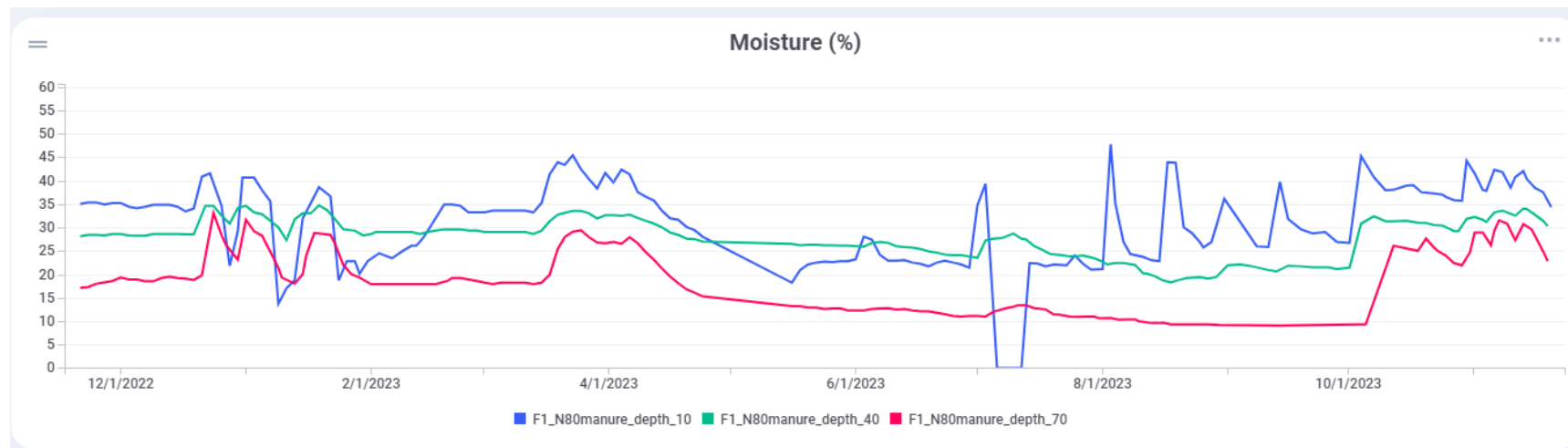
Eesti kliima, ilmastik

Aurumine miinus sademed, mm (2001-2020)



Lähteandmed: EMHI

- Mullasensorid IOSDV väetiskatses (Tartu)
- Sorgo, 80 kg N + sõnnik
- 10 cm sügavus
- 40 cm sügavus
- 70 cm sügavus



Mulla lõimis

(jaotus mehhaanilise koostise alusel)



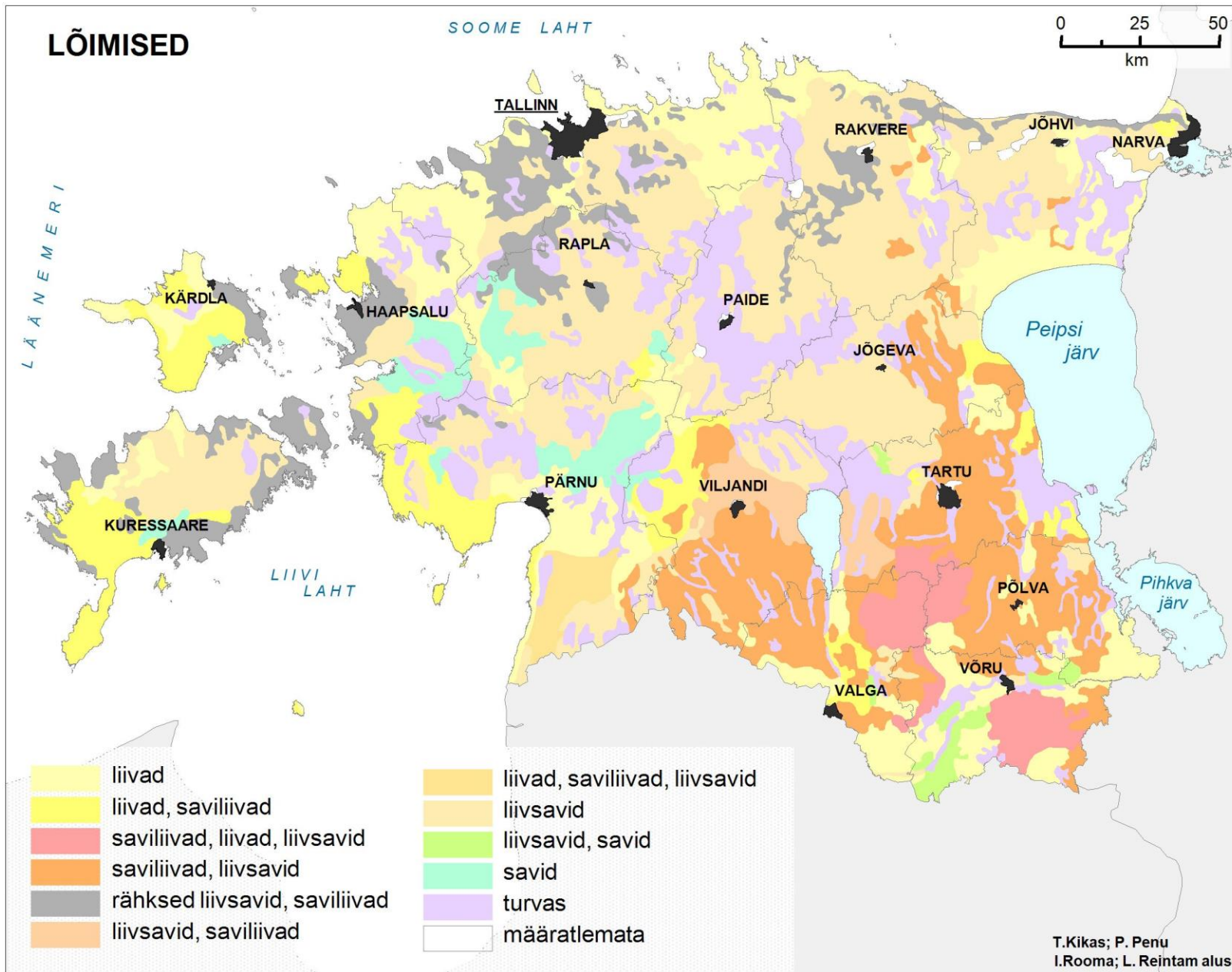
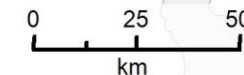
Sobilik enamikele kultuurtaimedele

Kerged lõimised

Rasked lõimised

LÕIMISED

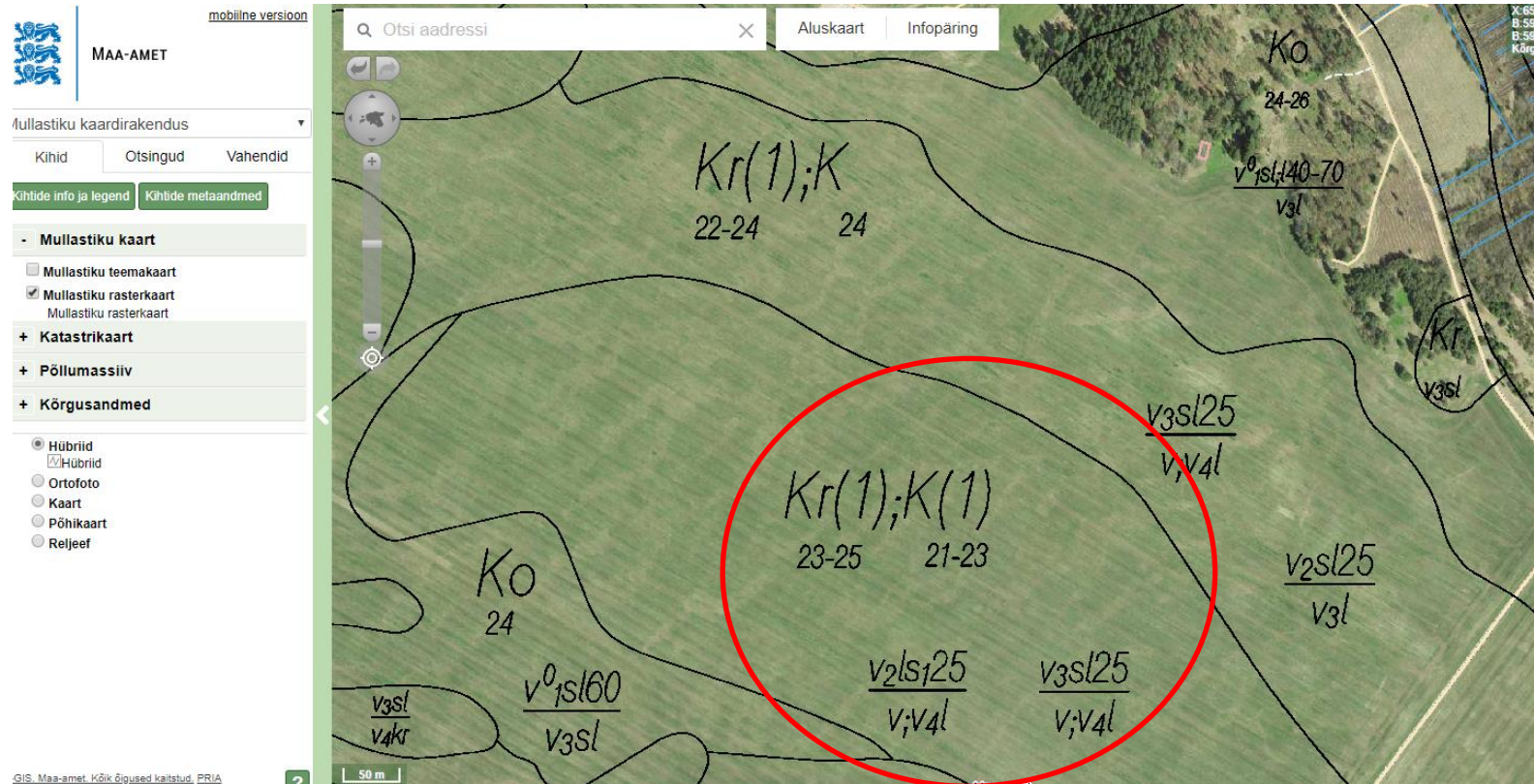
SOOME LAHT



T.Kikas; P. Penu
I.Rooma; L. Reintam alusel

2.12.2024

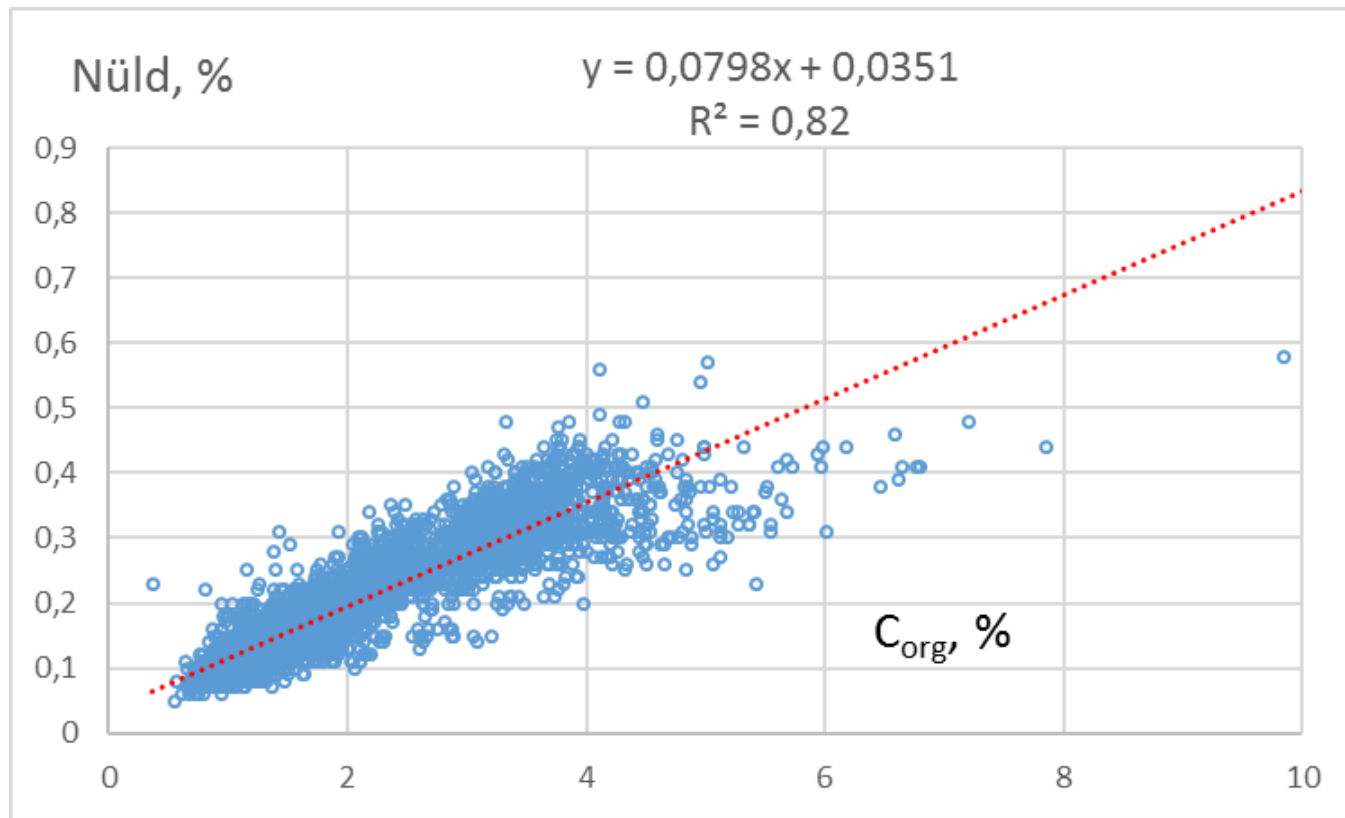
Tunne mulda...



Kas sellisel põllul on leostumise risk pigem väike või suur?

A väike ... D suur

Seos mulla orgaanilise süsiniku ja üldlämmastiku sisalduse vahel (põllumuldade seirealade andmebaas n=6521)



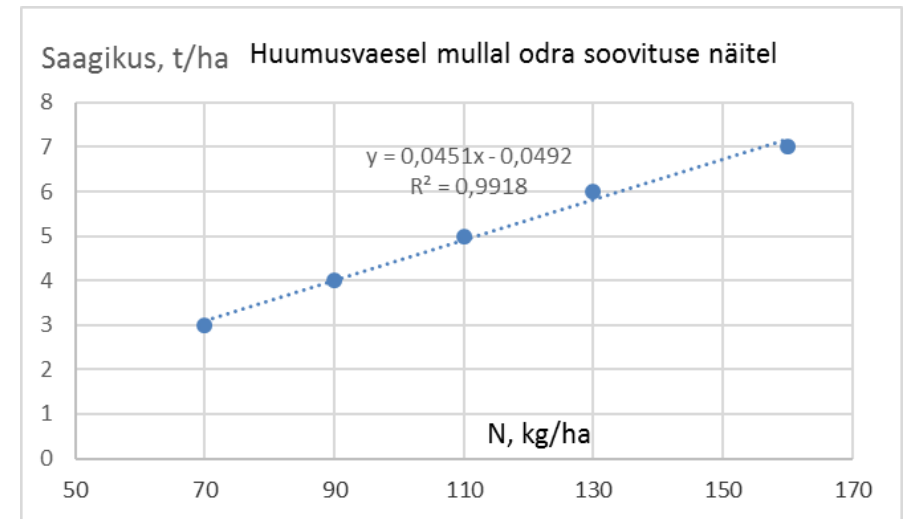
- See võimaldab väeiste kasutamist mulla orgaanilise süsiniku alusel eristada ja hinnata N kadude riski

Väetamise ABC (2014)

- Kolm range piiriga klassi
- Saagiga eemaldatud asendamise loogikal
- Tegelik seos saagikusega niimoodi lineaarne pole

Tabel 18. Kultuuride väetamine lämmastikuga

Kultuur	Planeeritav saak, t/ha	Lämmastiku tarve		
		Mulla orgaanilise C sisaldus, %		
		<1	1...2	>2
		vaja anda taimetoiteelementi, kg/ha		
Suviteravili				
Suvinisu	3,0	90	80	70
	4,0	115	105	95
	5,0	140	130	120
	6,0	–*	155	145
	7,0	–*	200	190
Oder				
	3,0	70	65	60
	4,0	90	85	75
	5,0	110	100	90
	6,0	130	120	110
	7,0	160	150	140
Kaer				
	3,0	75	65	55
	4,0	90	80	70
	5,0	110	100	90
	6,0	130	120	110
	7,0	155	145	135



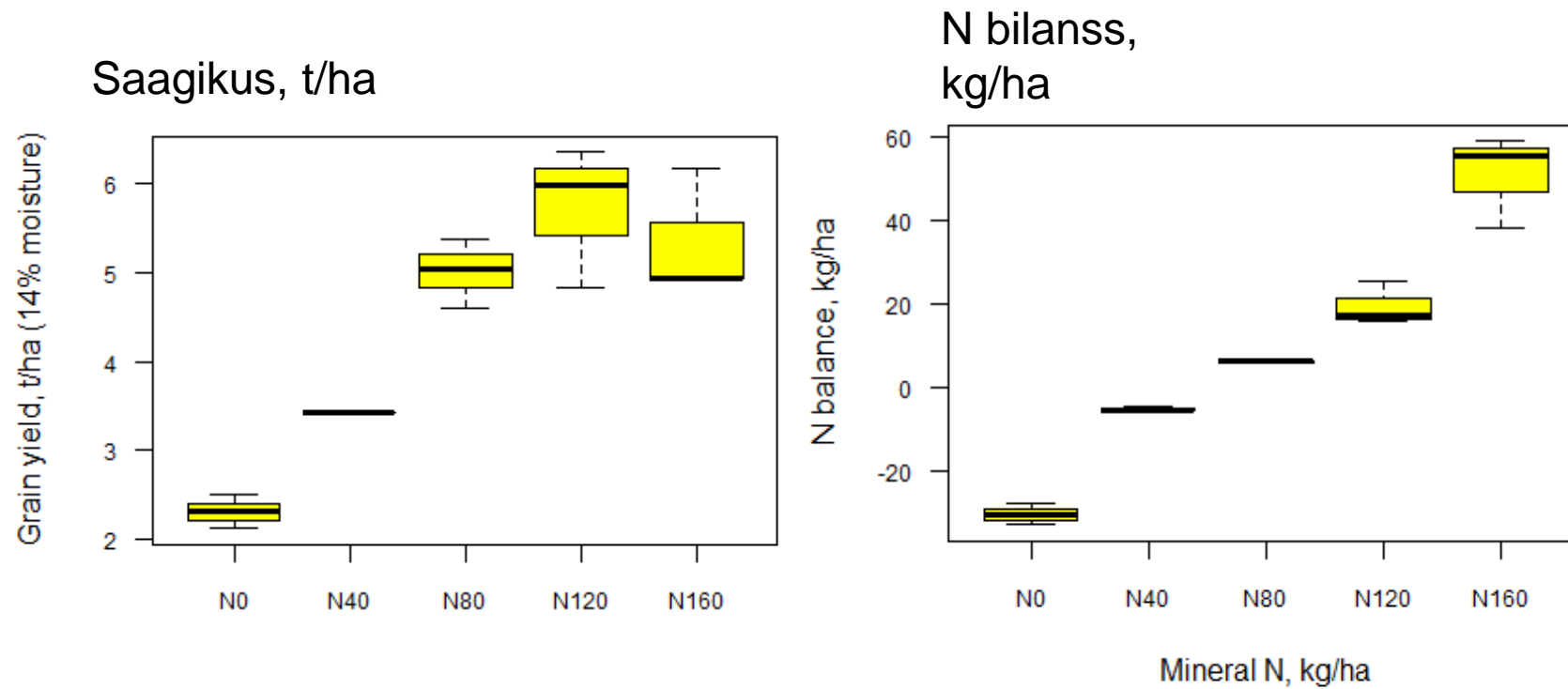


Corg 29% Corg 5,2% Corg 2,4%
 Nüld 2,18% Nüld 0,46% Nüld 0,23%

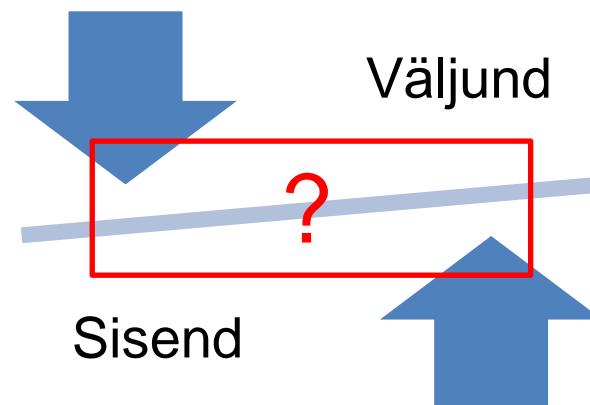
2.12.2024

Põldkatse odraga 2015. aastal

Tartu, C_{org} 1,1%



- **Bilanss** on arvutuslik näitaja, mis leitakse **ajas ja ruumis kokkulepitud süsteemi piires konkreetse elemendi sisendite ja väljundite vahena.**
- Seda arvestatakse enamasti elemendi üldkoguste alusel.



Miks on vaja lämmastiku bilanssi arvestada?

- Kohustus

- keskkonnasõbraliku majandamise toetuse (edaspidi KSM);
RT I, 29.12.2022, 12 “Perioodi 2023–2027 keskkonnasõbraliku majandamise toetus”.

§ 11. Lämmastikubilansi koostamine (jõustub alates 2025)

- Vajadus

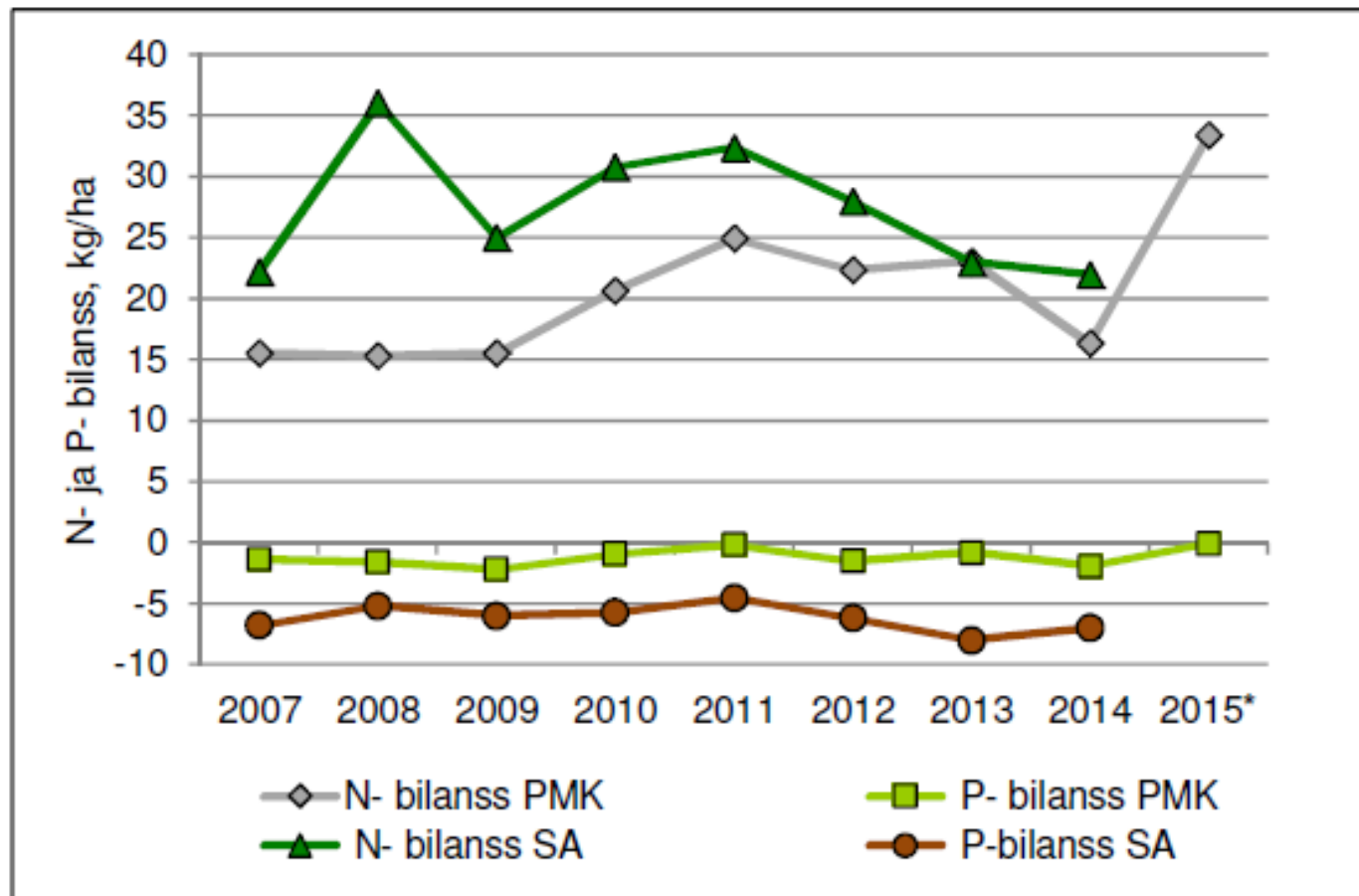
- Eluks hädavajalik element
- **Saagikus, saagi kvaliteet**
- **Väetisel/toiteelemendil on hind (u 1 eur/kg N)**
- Negatiivne mõju keskkonnale (risk suurem kui bilanss tasakaalust väljas)
 - Mulla seisund (sh mullaelustik)
 - **Kaod vette ja õhku** (sh tugev kasvuhoonegaas N₂O)
- ...

- Kui suur bilansi üleküllus (*surplus*) on ohuks?

Interpretation	Nitrogen surplus (kg/ha/yr)		
	Cropping systems	Mixed crop-livestock systems, 1 LSU/ha	Mixed crop-livestock systems, 2 LSU/ha
Very high	>120	>160	>200
High	80-120	120-160	160-200
Modest	50-80	90-120	130-160
Low	20-50	60-90	100-130
Very low	<20	<60	<100

Figure 17 Tentative scheme for the interpretation of N surplus values of crop production systems and mixed crop-livestock production systems with 1 and 2 livestock units (LSU) per ha. Proposed target values are tentative.

EU Nitrogen Expert Panel (2015) Nitrogen Use Efficiency (NUE) - an indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems. Wageningen University, Alterra, PO Box 47, NL-6700 Wageningen, Netherlands.



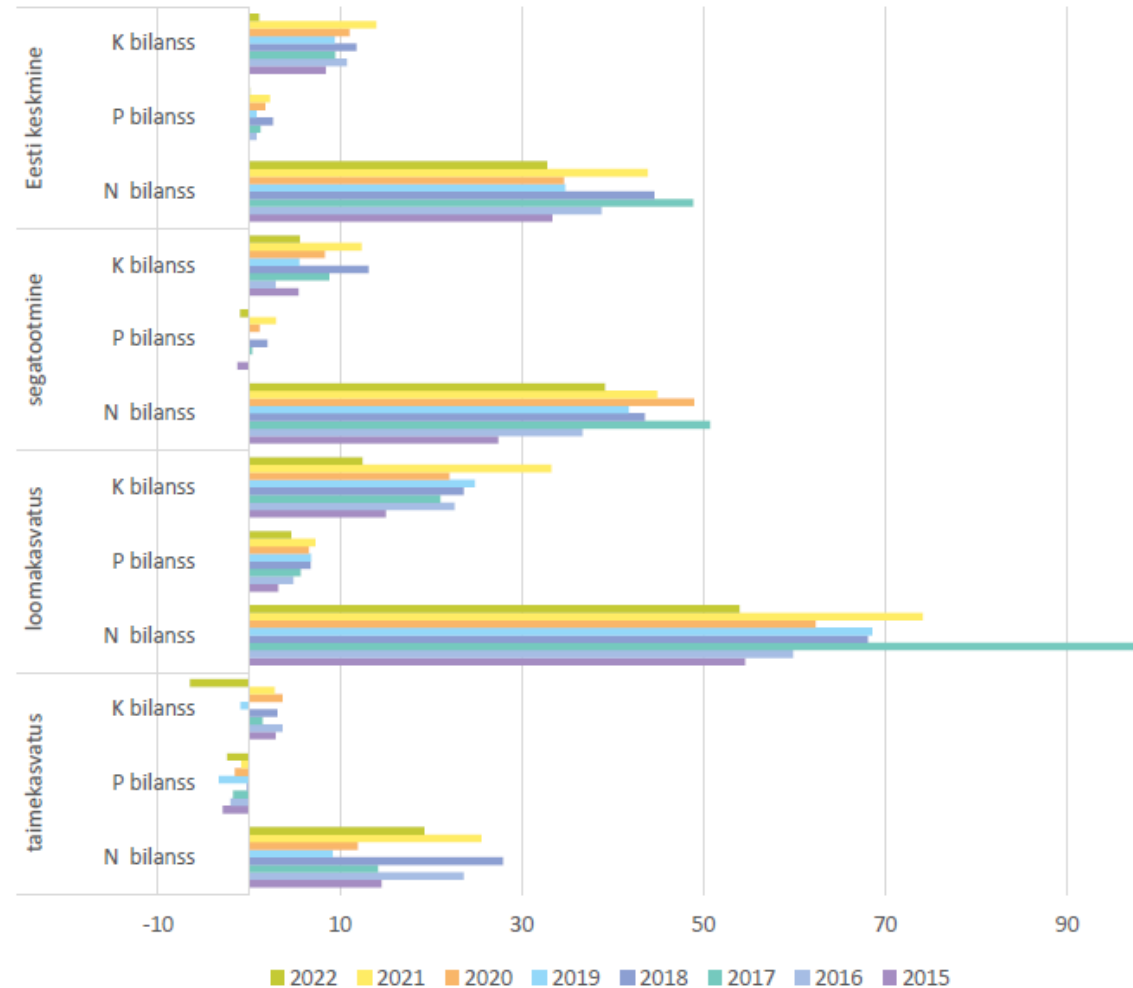
Joonis 48. Lämmastiku ja fosfori bilanss Statistikaameti ja PMK seireettevõtete andmetel aastatel 2004-2015 (Statistikaamet, 2017) viimane täiendus 28.01.2015

2015*. a muudeti PMK seirevalimit (2007.-2014. a valimis~120 ettevõtet, 2015. aastast valimis 661 ettevõtet, laiendatud tulemustel esindatud 7580 põllumajandustootjat)

Põllumajandusuuringute Keskus, 2017

Taluvärava toiteelementide bilansi uuring

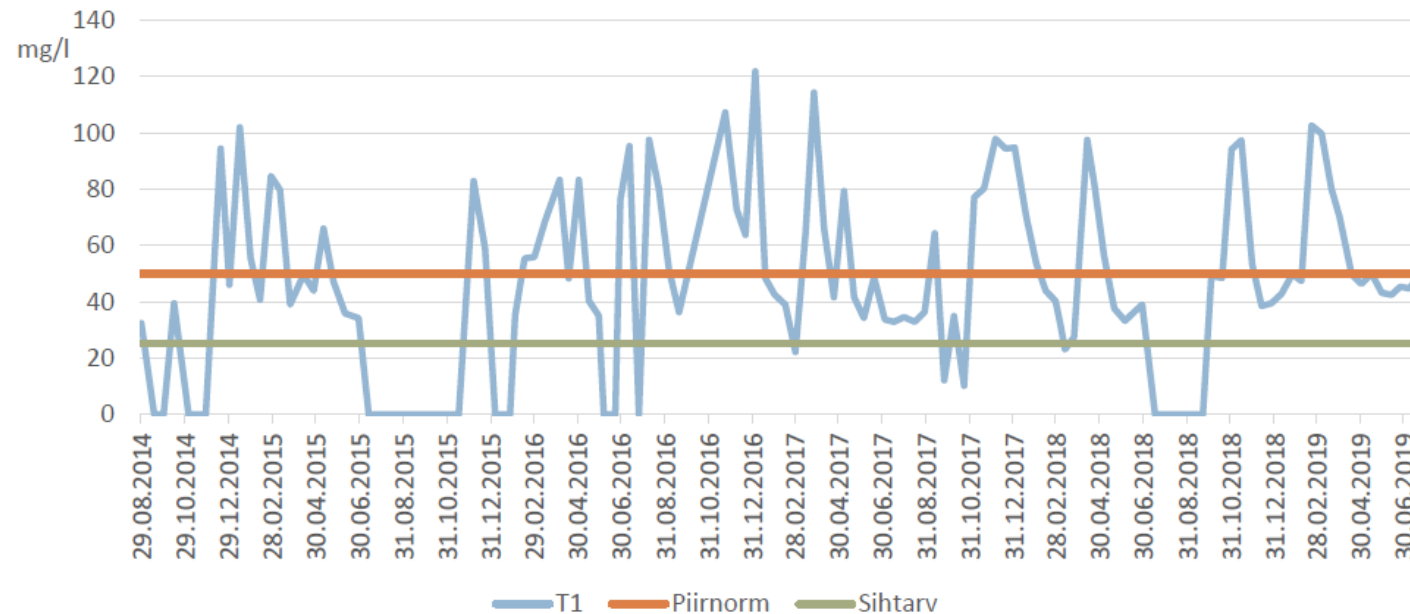
Põllumajandusettevõtete lämmastiku, fosfori ja kaaliumi bilanss tootmistüübi perioodil 2015-2022 (METK, 2024)



https://metk.agri.ee/teadus-uuringud-projektid/agroökoloogia/vesi?view_instance=0¤t_page=1#toiteelementide-bila

2.12.2024

- Põldude drenivee seira-ala näide...
 - Bilanss ülekülluses ja vesi liiga nitraadirohke



Joonis 1. Nitraatiooni sisaldus Tartumaa KSM seirepõllu (T1) drenivees perioodil 2014-2019

PMK, 2019

Põllu tasandi NPK kalkulaator • Hetkel Exceli tööriistana

Eesti Maaülikool www.emu.ee Estonian University of Life Sciences										Kaalutud keskmine			AM
Arvuta rida										Bilanss (kg/ha)			Hinnangud bilansi tulemusele
Põllu number	Põllu nimi	Põllu-massiiv	Kultuur	Pind (ha)	Aasta	Külvise-norm (kg/ha)	Saagikus (kg/ha)	Koristatav saagiosa	Proteiini % kuiv-aines	N	P	K	N
Teraviljad													
6			suvinisu	1		200	5000	terad	14,7	23	-2	2	Suure N-tarbega mullal tasakaalus bilanss. Oled jätkusuutlik.
7			suvinisu	1		200	5000	terad ja põhk	14,7	9	-6	-37	Suure N-tarbega mullal tasakaalus bilanss. Oled jätkusuutlik.
Muud													
9			taliraps	1		8	3200			30	14	98	
Kaunviljad													
11										0	0	0	
Heintaimed													
13			liblikõieliste ja kõrreliste segu	1			10000	märgsilo kuni loomiseni		-63	-33	-284	Suure N-tarbega mullal tugevasti negatiivne bilanss. Saagi moodustumine mulla orgaanilise aine N arvelt.

<https://pk.emu.ee/struktuur/mullateadus/teadustoo/mullakalkulaatorid/>

STRUKTUUR - MULLATEADUSE ÕPETOOL - TEADUSTOOL - C JA NPK KALKULAATORID -

- Juhtimine
- Aianduse õppetool
- Elurikkuse ja loodusturismi õppetool
- Hüdrobioloogia ja kalanduse õppetool
- Keskonnakaitse ja maastikukorralduse õppetool
- Maastikuarhitektuuri õppetool
- Mullateaduse õppetool
 - Üldinfo
 - Töötajad
 - Teadustöö
 - C ja NPK kalkulaatorid
 - Publikatsioonid
 - Projektid
 - Doktorandid
 - Kaitstud doktoritööd
 - Mullalabor
 - Õppetöö

C ja NPK kalkulaatorid

Huumusbilansi kalkulaator

Muldade tasakaalustatud sisukuseisund on nii agronoomilistest, ökoloogilistest kui ka kliima aspektidest lähtuvalt üha suurema tähelepanu keskmes. Sõna huumus on praktiliselt juurdunud, ent tegelikult määratakse laboris otseselt mulla orgaanilise sisukuse kontsentratsioon ja huumuseisisaldus on selle leitud arvutuslik väärtus. Käesolevas kalkulaatoris on tulemused väljendatud mulla orgaanilise sisukuna (C_{org}).

C_{org} bilanss sõltub eelkõige tootmistasemest, mullast, kasvatatavast kultuurist ja väetamisest. Varasemate uuringute meta-analüüsiga töötati välja ja täiustati koefitsientide ja arvutusalgortime, mis arvestavad erinevate agrotehnoloogiate (harimisviisid, tahe- ja vedelsõnniku kasutamine, hajasväetised, kompostid, vahekultuurid, põhumajandus jne) mõju mulla C_{org} bilansile.

Kalkulaatori saab kasutada mineraalmuldade C_{org} bilansi ja varu arutamiseks. Lähtandmetena on vaja sisestada huumuskühi tusedus, orgaanilise sisukuse kontsentratsioon, mulla lõimis, kultuuri valk, põhisaaigi suurus ning väetamise andmed. Kalkulaator võimaldab saada vastuse üksiku põllu tasandil kui ka kogu kuli ka põldude/kulvkorra keskmisena.

Programm töötab tabelarvutusprogrammi MS Excel baasil ja sisaldab makrosid, mille kasutus on vaja lubada. Kalkulaator on tasuta kasutamiseks ja levitamiseks. Kalkulaatori arendamises on oluline panuse andnud prof. Hugo Roostalu, dotsent Enn Lauringson, prof. Alar Astover jpt. Tagasiside ja lähem teave: Alar Astover, alar.astover@emu.ee

• Huumusbilansi kalkulaator versioon 2.0 alla laadimine siit (pakitud .zip failina)

NPK põllupõhise bilansi kalkulaator

Käesolev põllupõhine NPK bilansi kalkulaator on välja töötatud lihtsustatud üldbilansi põhimõttel. Väljundina võetakse arvesse põhi- ja kõrvalsaagiga eemaldatavad kogused, mis sõltuvad saagi suuruselt ja vastava tootelemendi kontsentratsioonist saagis. Sisenditena võetakse arvesse mineraal- ja orgaanilised väetised ning liblikõieliste kultuuride poolt õhust seotav lämmastik. Ajalise arvestuse aluseks on konkreetse kultuuri kogu kasvutsükli periood. Kalkulaatori lihtsustatud bilansi ja tagastamise osakaalu (sisendi suhe eemaldamises) alusel annab kalkulaator tulemustele kvalitatilised sõnalised hinnangud sõltuvalt konkreetse põllu mulla omadustest ja väetistarbest. Kalkulaatori kasutajal on soovi korral võimalik ise muuta vastava kultuuri saagi N/proteiini-, P- ja K-sisalduse väikeväärtusi, orgaaniliste väetiste koostist jms koefitsiente.

Programm töötab tabelarvutusprogrammi MS Excel baasil ja sisaldab makrosid, mille kasutus on vaja lubada. Kalkulaator on tasuta kasutamiseks ja levitamiseks. Tagasiside ja lähem teave: Alar Astover, alar.astover@emu.ee

• NPK põllupõhise kalkulaatori versiooni 1.0 alla laadimine siit (pakitud .zip failina)

Arendused e-põlluraamatu süsteemidega seostamiseks töös

Testime hetkel toimimist LIFE CleanEst projekti raames

<https://pk.emu.ee/struktuur/mullateadus/teadustoo/mullakalkulaatorid/>

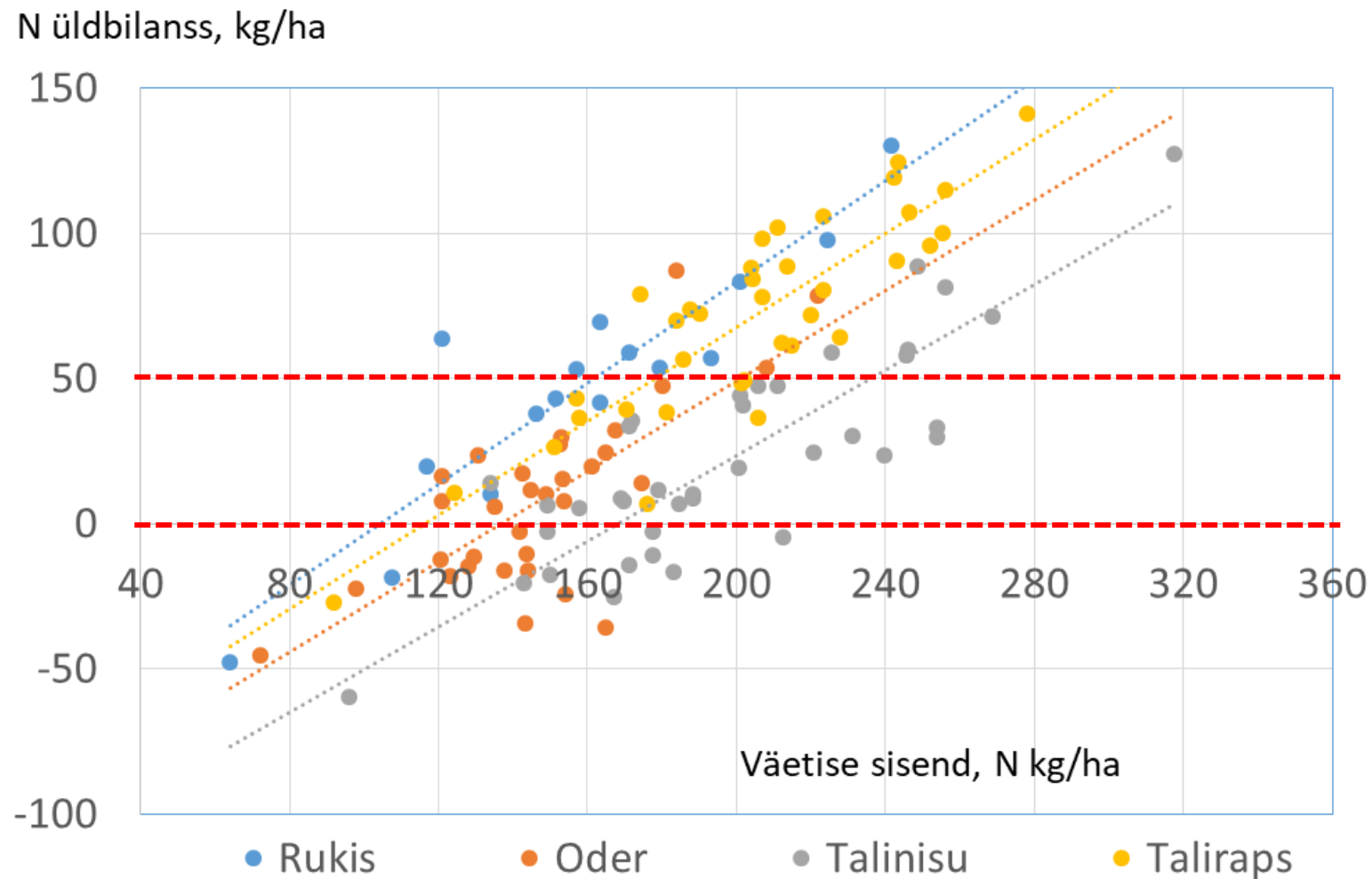
2.12.2024



Lihtsustatud N bilanss

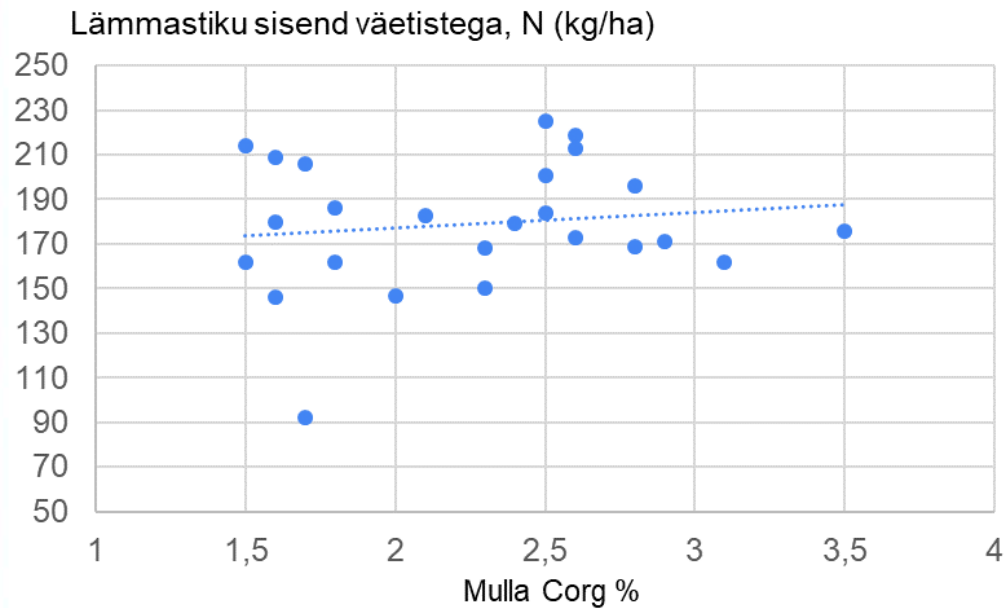
2017-2020 viljelusvõistluse
põllud

- Sisend väetistega – teradega eemaldamine

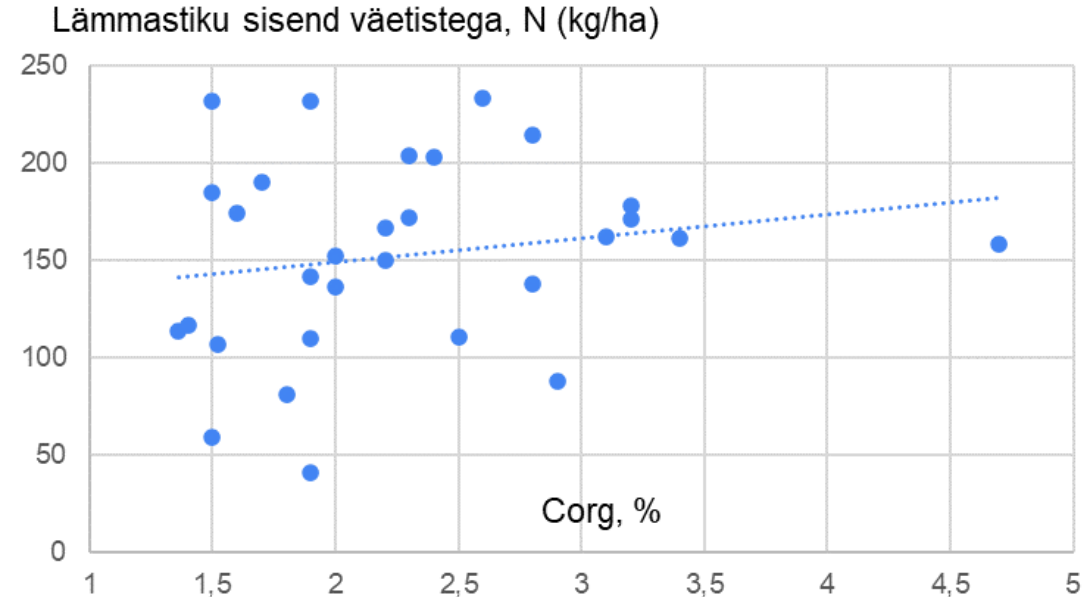


Mulla orgaanilise süsiniku ja N väetisnormi seos

- Viljelusvõistluse näide



2023 võistluspõllud (teraviljad ja raps)

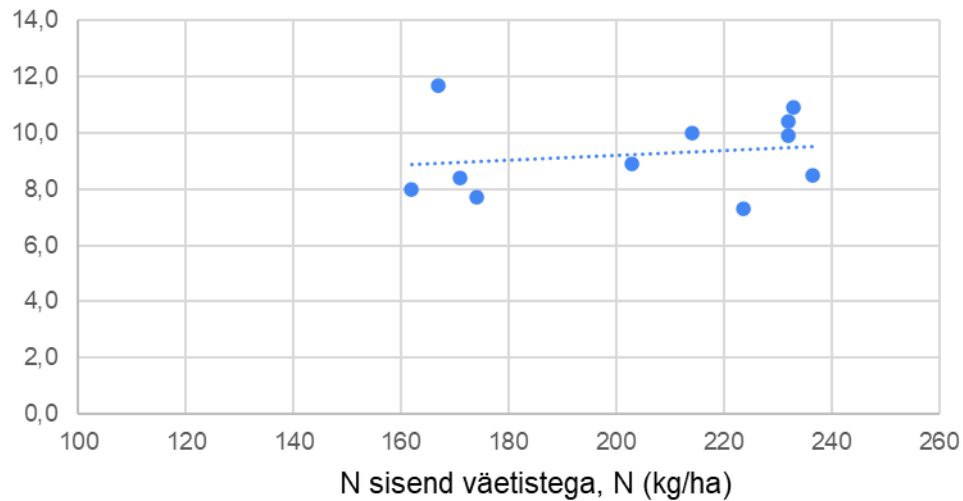


2024 võistluspõllud (teraviljad ja raps)

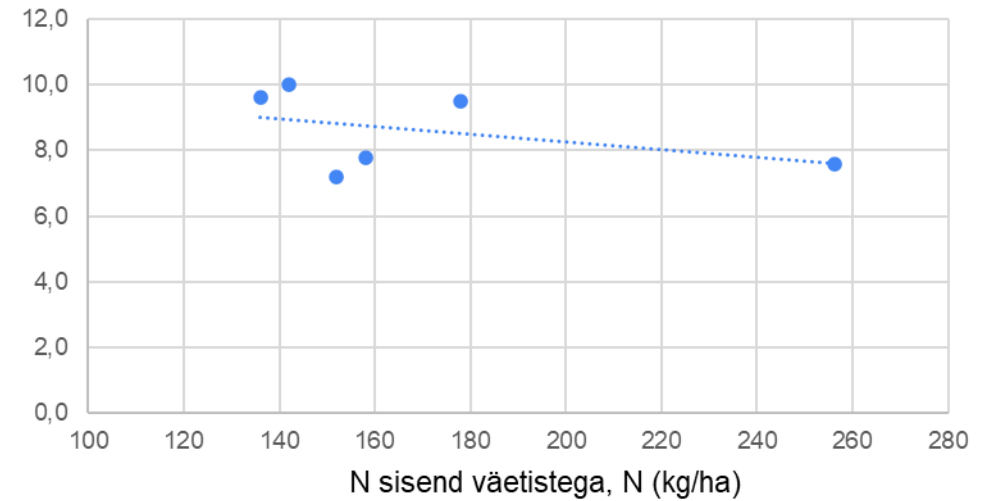


- N sisend väetistega versus saagikus. Viljelusvõistlus 2024.

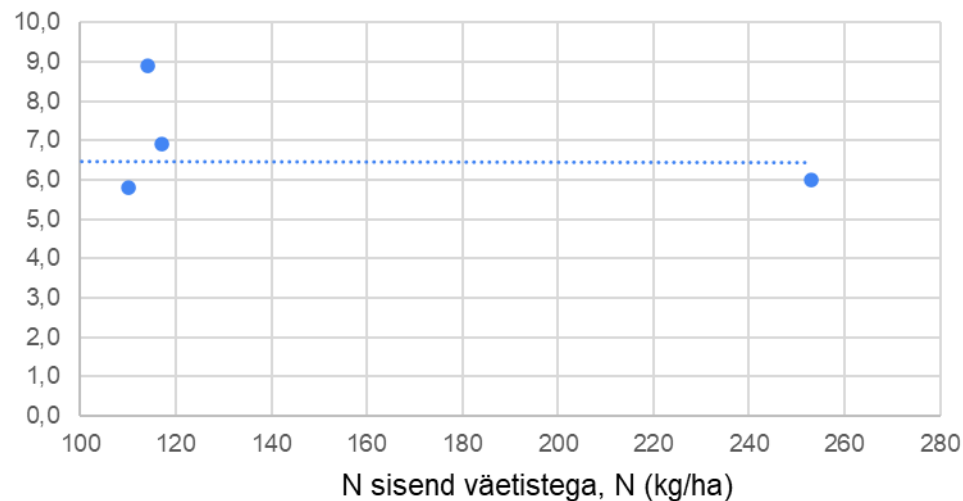
Talinisu saagikus, t/ha



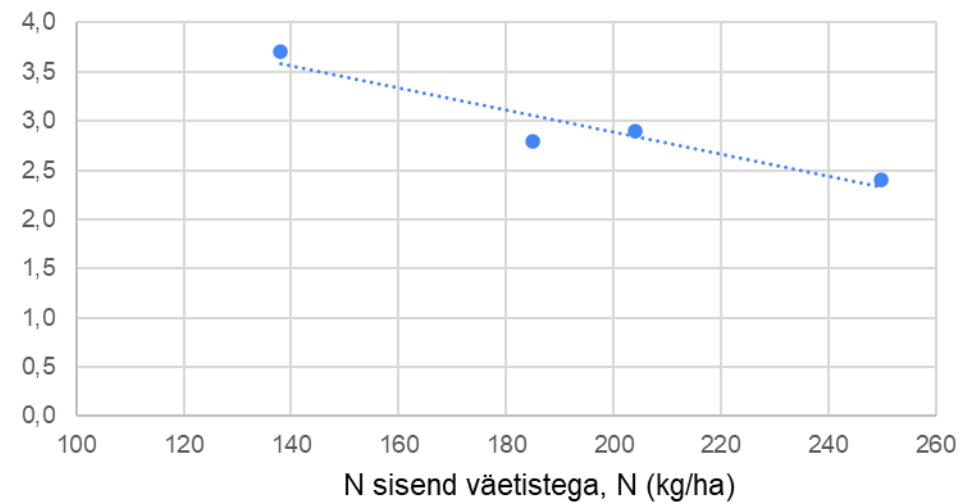
Taliodra saagikus, t/ha



Kaera saagikus, t/ha



Talirapsi saagikus, t/ha



Viljelusvõistlus

Lihtsustatud NPK bilanss, kg/ha (keskmine)

2024	Lihtsustatud bilanss, kg/ha		
	N	P	K
Teraviljad	18	-10	-1
Taliraps	76	-10	0
Kaer	5	-7	1

Suurim, väikseim

2024	N	P	K
Suurim	181	17	49
Väikseim	-93	-26	-36

2023	N	P	K
Suurim	116	18	112
Väikseim	-76	-53	-109
2022	N	P	K
Suurim	194	31	173
Väikseim	-183	-33	-66

- Veekaitsemeetmed ...?

- Tasakaalus väetamine, 4Õ

- õige koht (taim, muld)
- õige väetis,
- õige kogus,
- õige aeg.

- Tegus tarbija (toimekas ja õnnelik taim) –
maaparanduse/kuivenduse roll selle tagamisel

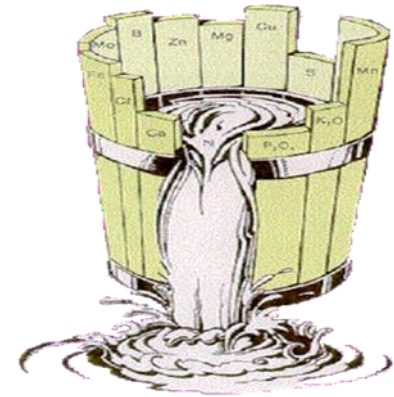
- ...

- Vahe/järelkultuurid

- Puhvertsoonid

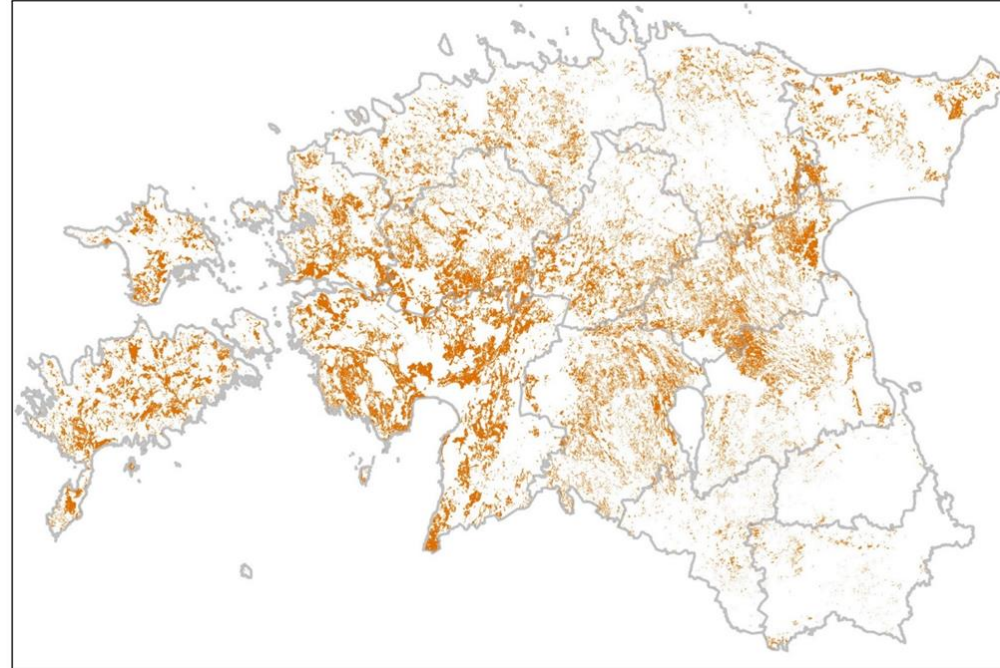
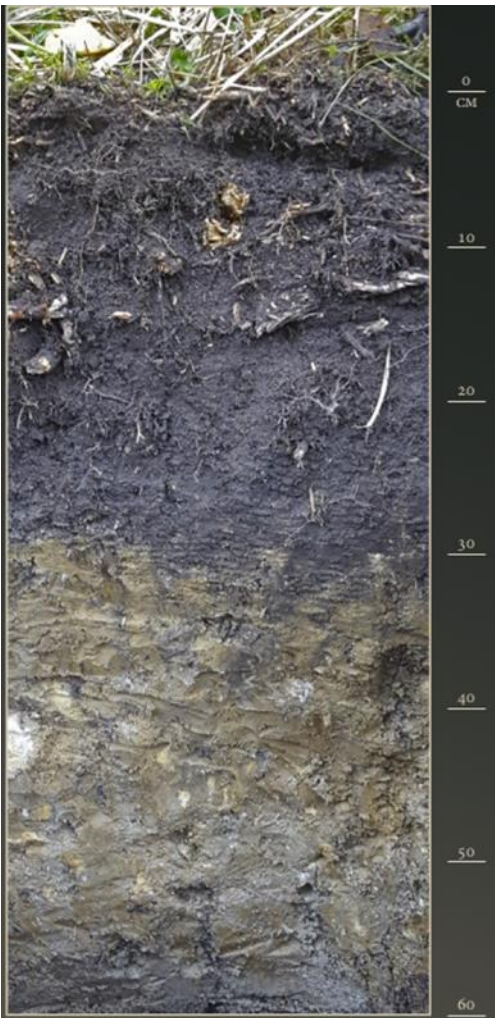
- Lupjamine

- ...



Aasta muld 2024

Leostunud gleimuld – märg rikkus



Euroopa Maaelu Arengu
Põllumajandusfond:
Euroopa investeringud
maapiirkondadesse

Alar Astover, professor

E-mail: alar.astover@emu.ee

2.12.2024



Üleilmne
Mullapäev

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

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

2.12.2024