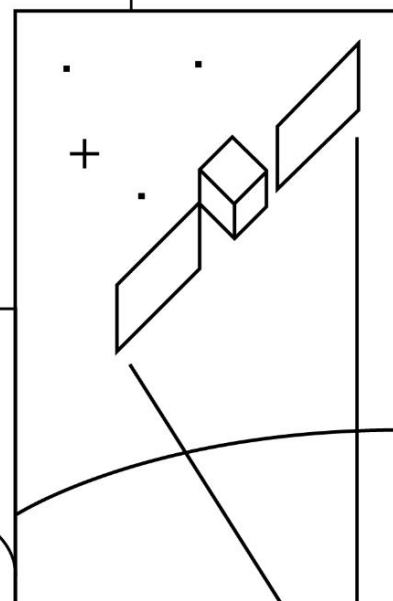
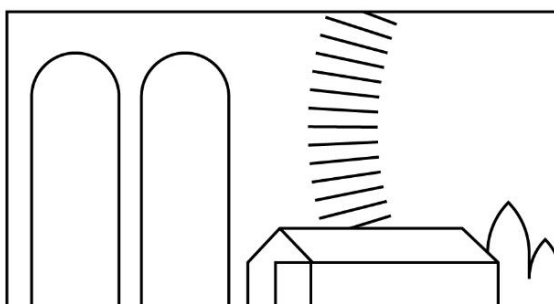
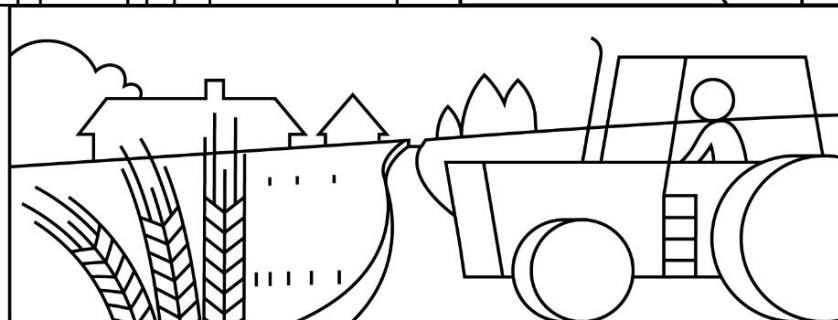


Mulla NO<sub>3</sub> (nitraatlämmastiku) ja SO<sub>4</sub> sisalduse muutus ja dünaamika nitraaditundliku ala põllumuldades aastatel 2011-2022 erineva maakasutuse (põllukultuurid, rohumaa) korral ning mullas leiduvate taimetoiteelementide (P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, B, Nmin) happesuse ja orgaanilise aine fooni ja pikaajalisemate muutuste selgitamine

Eesti maaelu arengukava 2014-2020 4. ja 5. prioriteedi 2022. aasta hindamistegevuste raames läbi viidud uuring



Euroopa Maaelu Arengu  
Põllumajandusfond:  
Euroopa investeeringud  
maapiirkondadesse



## Sisukord

|                            |    |
|----------------------------|----|
| Jooniste loetelu .....     | 2  |
| Lisade loetelu .....       | 2  |
| Lühikokkuvõte .....        | 3  |
| Uuringu eesmärk .....      | 4  |
| Tulemused ja arutelu ..... | 4  |
| Kokkuvõte .....            | 23 |

## Jooniste loetelu

|  |    |
|--|----|
| Joonis 1. Adavere uurimisalade mineraalse lämmastiku (N <sub>min</sub> , ülemine joonis), liikuva fosfori (keskmise joonis) ja liikuva kaaliumi (alumise joonis) keskmine sisaldus ja dünaamika mulla erinevates kihtides perioodil 2017-2022. ....  | 6  |
| Joonis 2. Tartu uurimisalade mineraalse lämmastiku (N <sub>min</sub> , ülemine joonis), liikuva fosfori (keskmise joonis) ja liikuva kaaliumi (alumise joonis) keskmine sisaldus ja dünaamika mulla erinevates kihtides perioodil 2017-2021. ....  | 8  |
| Joonis 3. Mineraalse lämmastiku (ülemine joonis), liikuva fosfori (keskmise joonis) ja liikuva kaaliumi (alumise joonis) kogused kg/ha ja muutus erinevates mullakihtides Adavere alade keskmisena 2011-2022 ja Tartu alade keskmisena 2017-2022 perioodil .....   | 10 |
| Joonis 4. Mineraalse lämmastiku keskmine sisaldus ja dünaamika mulla erinevates kihtides Adavere (ülemine joonis) ja Tartu proovialadel (alumise joonis) perioodil 2022-2023 .....   | 13 |
| Joonis 5. Liikuva fosfori keskmine sisaldus ning dünaamika mulla erinevates kihtides Adavere (ülemine joonis) ja Tartu proovialadel (alumise joonis) perioodil 2022-2023 .....   | 14 |
| Joonis 6. Kaaliumiga väetamine ja liikuva kaaliumi keskmine sisaldus ning dünaamika mulla erinevates kihtides Adavere (ülemine joonis) ja Tartu proovialadel (alumise joonis) perioodil 2020-2021 .....  | 15 |
| Joonis 7. Väevliga väetamine, sisaldus ja dünaamika Adavere (ülemine joonis) ja Tartu proovialadel (alumise joonis) perioodil 2022-2023 .....  | 17 |
| Joonis 8. N <sub>min</sub> sisalduse muutus mullaprofiili 30-90 kihtides sügisperioodi kahe prooviaja (september ja jaanur) vahel Adavere alade keskmisena (ülemine joonis) ja Tartu seirealadel keskmisena (alumise joonis). Numbriga on tähistatud koristusjärgne N <sub>min</sub> sisaldus mulla ülemises 0-30 cm kihis. .... | 18 |
| Joonis 9. Liikuva P sisalduse muutus mullaprofiili 30-90 kihis sügisperioodi kahe prooviaja (september ja jaanur) vahel Adavere alade keskmisena (ülemine joonis) ja Tartu seirealadel keskmisena (alumise joonis). Numbriga on tähistatud koristusjärgne P sisaldus mulla ülemises 0-30 cm kihis. ....                          | 19 |
| Joonis 10. Haljava seireala väetamine ja erinevate mullakihtide mineraalse lämmastiku ning väevli (ülemine joonis), liikuva fosfori ja kaaliumi (alumise joonis) sisaldus ja dünaamika perioodil 2020-2021 .....   | 22 |
| Joonis 11. Haljava seireala väetamine ja erinevate mullakihtide liikuva vase ja boori sisaldus ja dünaamika 2021-2022... ..  | 23 |

## Lisade loetelu

Lisa 1. Adavere ja Tartu uurimisalade põldude kultuurid 2022. aastal ja nende väetamine 2020-2022. aastatel vastavalt põlluraamatute andmetele

Lisa 2. Adavere ja Tartu uurimisalade sademed 2011-2022

## Lühikokkuvõte

---

2022. aasta saagile kasutati NTA alal paiknevate Adavere seirepõldude väetamiseks keskmiselt 142 kg/ha, Tartu ala põldudele 95 kg/ha lämmastikku. Väetamise tase oli Adavere aladel kõrgem ja Tartu aladel madalam aastate keskmisest tasemest. Aastate keskmisena suurenes Nmin sisaldus nii Adavere kui Tartu alade alumises mullakihis sügisperioodil 1,7 korda, kuid käesoleval aastal vastav näitaja Tartu aladel hoopis vähenes. Sügisperioodil vähenes Adavere aladel mineraalse lämmastiku kogus ülemises mullakihis leostumise ja omastamise tulemusena 28 kg/ha, mille tagajärjel suurenes keskmises kihis Nmin kogus 5 kg/ha võrra ja alumises mullakihis 7 kg/ha võrra. Viie aasta keskmisena oli detsembriks Tartu aladel kogunenud keskmisesse ja alumisse mullakihti kokku 111 kg/ha mineraalset lämmastikku

Tartu alade alumises kihis suureneb aastate keskmisena liikuva P sisaldus sügisperioodil 1,86 korda, vegetatsiooni jooksul väheneb ca 1,5 korda. Digestaadist pärit K liigub alumistesse kihtidesse väga kiiresti ja suures koguses, alumiste kihtide K-sisaldus suureneb sügisperioodil kuni 5 korda! Raskema lõimise ja kõrgel väetusfoonil on alumistes mullakihtidest Nmin sisaldus isegi suurem kui ülemises mullakihis. Sügisel mulda lisatud väävel liigub kiiresti alumistesse mullakihtidesse ja ei mõjuta pikaajaliselt mulla väävlisisaldust ülemises kihis. Madala K-sisaldusega muldades ei toimu märkimisväärtset muutust sügavamates mullakihtides ning peamiselt toimub K leostumine kõrge K-sisaldusega muldades suhteliselt kõrgel väetusfoonil. Leostumine toimub peamiselt talveperioodil, vähemal määral ka sügisperioodil. Vääveli sisaldus on oluliselt kõrgem orgaanikarikkas turvasmullas, kus S leostus suuremal määral. Alumistes mullakihtides akumuleerub 18-30% ülemise kihi koristusjärgsest Nmin sisaldusest. Reoveesette kasutamine suurendab mulla Cu ja B sisaldust.

## Uuringu eesmärk

Uuringu eesmärgiks on jälgida kergestiliikuvate lämmastikuvormide (nitraatlämmastik ja ammooniumlämmastik) ehk mineraalse lämmastiku (Nmin) sisalduse muutust nitraaditundlikul alal ja võrdlusena Tartumaa ning Harjumaa põllumuldades, selgitamaks võimalikku nitraatide leostumise ohtu erineva maakasutuse, mullastiku ja ilmastikutingimuste korral. Teise olulise eesmärgina selgitatakse väävlil kui suhteliselt liikuva toiteelemendi sisalduse muutust mullas. Kolmandaks eesmärgiks on jälgida ka ülejäänud olulisemate taimetoiteelementide sisalduse dünaamikat mulla vertikaalprofiilis ning selgitada seaduspärasused, mille alusel saab parandada väetamise planeerimist.

Uuring on otseselt seotud MAK 2014-2020 prioriteetide 4 ja 5 ettenähtud eesmärkide täitmisega ja nendega seotud meetmete arendamisega. Eeskätt on uuring suunatud küsimuste lahendamiseks, mis puudutavad veekeskkonna kaitset mineraalse lämmastiku võimaliku leostumise suhtes ning teiste olulisemate toiteelementide liikuvust mulla vertikaalprofiilis ja laiemas plaanis aitab väetamise optimeerimisega kaasa mulla- ja veekaitsele.

Prognoosimaks võimalikku leostumise ohtu on oluline teada, kuidas muutuvad sellega seotud erinevad mullaparametrid. Sellest lähtudes on võimalik hinnata potentsiaalset mineraalse lämmastiku, taimedele omastatava väävlil ja teiste toiteelementide liikumist mulla vertikaalprofiilis ning potentsiaalset leostumist sõltuvalt maakasutusest, agrotehnoloogiast, ilmastikust ja mullastikust.

## Tulemused ja arutelu

2011. aastal alustati ning 2022. aastal jätkati Nmin sisalduse muutuste uuringutega sügavamates mullakihtides erinevatel tootmispõldudel selgitamaks toitainete liikuvust ja potentsiaalse leostumise võimalikkust, koguseid ja seaduspärasid. 2022. aastal teostati uuringuid NTA piirkonna kolmel (Adavere 2, 4, 5), Tartu piirkonna kahel (Tartu 1, 2) ja Harjumaa ühel (Haljava) põllumassiivil. Proovide kogumise ajad ja erinevused alade vahel on kirjeldatud metoodika osas. 2022-23. aastal koguti proovid järgmistel kuupäevadel- 4.01, 03.04, 21.06, 26.08 (tinglikult joonistel september) ja 29.08 (Haljava), 17.11 ja 18.11 (Haljava) ning 02.01.23 (joonistel detsember).

Põldude maakasutuse ning väetamise andmed viimaste aastate kohta on esitatud tabelis (Lisa 1). Üldistatud andmed väetamise kohta viimasel kuuel aastal näitavad (Tabel 1) kõrgemaid väetisnorme Tartu aladel, kuid viimasel kahel aastal olid need timuti kasvatamisel oluliselt väiksemad kui aastate keskmisena.

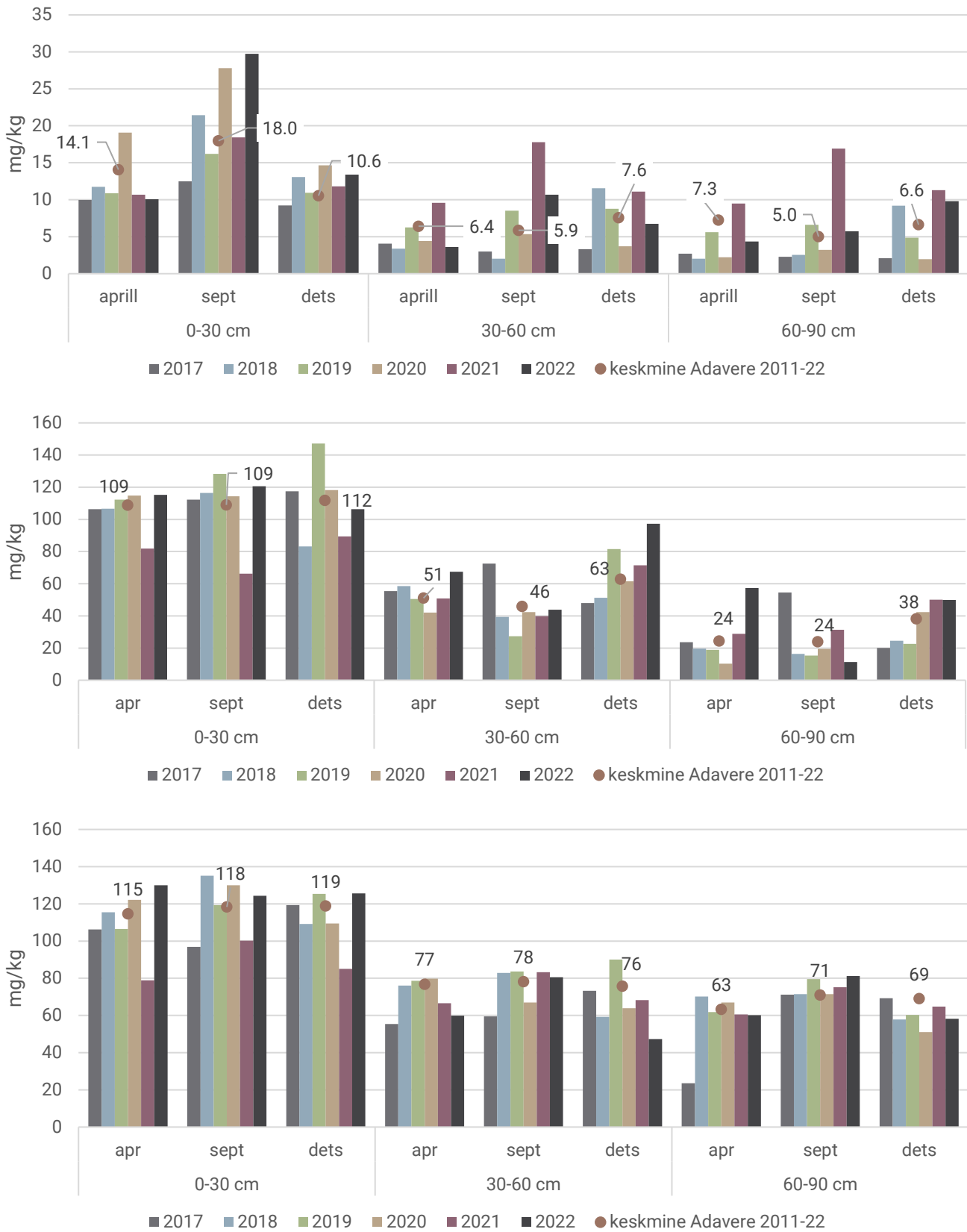
Tabel 1. Väetamise andmed alade ja uurimisaastate lõikes

| Ala     | Aasta           | N kg/ha | P kg/ha    | K kg/ha   | S kg/ha   |
|---------|-----------------|---------|------------|-----------|-----------|
| Adavere | 2017            | 70      | 4          | 32        | 1.4       |
|         | 2018            | 121     | 3.4        | 13.6      | 0         |
|         | 2019            | 127     | 7          | 96        | 4.7       |
|         | 2020            | 121     | 12.6       | 72        | 0         |
|         | 2021            | 102     | 10         | 27        | 17        |
|         | 2022            | 142     | 7          | 33        | 9         |
|         | <b>keskmine</b> |         | <b>114</b> | <b>7</b>  | <b>46</b> |
| Tartu   | 2017            | 169     | 28         | 61        | 20        |
|         | 2018            | 280     | 45         | 156       | 28        |
|         | 2019            | 245     | 27         | 106       | 13.5      |
|         | 2020            | 166     | 35         | 78        | 6.5       |
|         | 2021            | 60      | 6          | 31        | 16        |
|         | 2022            | 95      | 11         | 60        | 5         |
|         | <b>keskmine</b> |         | <b>169</b> | <b>25</b> | <b>82</b> |
| Haljava | 2020            | 71      | 14         | 123       | 9         |
|         | 2021            | 179     | 6          | 0         | 24        |
|         | 2022            | 140     | 11         | 40        | 0         |
|         | <b>keskmine</b> |         | <b>130</b> | <b>10</b> | <b>54</b> |

Toiteelementide liikumine mullaprofiilis sõltub lisaks väetamisele ja kultuurile eeskätt sademete hulgast ja jaotumisest ning vastavatest andmetest selgub (Lisa 2), et uurimisaastate suurim sademete hulk oli Adaveres 2012. aastal ja Tartus 2017. aastal ning kõige kuivem oli mõlemal alal 2018. aastal. Leostumise suhtes kõige kriitilisemal ajal ehk sügisperioodil oli kõige sademetevaesem 2014. aastal Adaveres, 2022. aastal Tartus ja enim oli sademeid 2017. aasta sügisel. Käesoleva perioodi eripäraks oli asjaolu, et 2022/23 sügistel tuli lumikate detsembri algul umbes kuuks ajaks ja seejärel sulas. Lumikatte ajal vett mulda ei lisandu ja seega toiteelementide liikumine vertikaalses mullaprofiilis oli pigem vähene ja liikumine toimub olemasoleva vee arvelt. Adavere ja Tartu sademete näitajate võrdluses oli Tartumaal sademeid 2022. aastal ca 90 mm ja sügisperioodil ca 30 mm vähem. Seega oli sademete poolest leostumistingimused tänu suuremale vee hulgale soodsam Adavere alal.

Adavere alade erinevate mullakihtide Nmin sisaldus erinevatel aegadel aastate keskmisena näitas (Joonis 1), et 2022. aastal oli ülemises mullakihis Nmin sisaldus varakevadel keskmisest madalamal tasemel, kuid septembriks aastate võrdluses kõige kõrgemal ning detsembriks vähenes keskmise taseme lähedale. Väetamise andmetest selgus, et kahel Adavere alal kasutati lämmastikku normiga 160 kg/ha ja kuna oli väga kuiv suve teine pool, siis jäi ilmselgelt osa sellest omastamata ja kuivades tingimustes ei liikunud suuremas koguses ka mullaprofiilis allapoole. Üllatuslikult ei kajastu ülemise kihi tulemustes oktoobri lõpul mulda lisatud vedelsõnniku mineraalne lämmastik. Keskmises kihis oli kõrgeim sisaldus septembris ning vähenes detsembriks veidi ehk sügisperioodil mineraalse lämmastiku sisalduse suurenemist selles kihis ei toimunud või toimus kiiremini ja seega joonisel ei kajastu. Alumises kihis oli kõrgeim Nmin sisaldus sügisperioodi lõpul ning 2022. aastal kõrgem ka aastate keskmisest ja suurenes sügisperioodil ca 1,7 korda. Aastate keskmine vastav näitaja oli 1,3 ehk suhteliselt kõrge Nmin väetamise foonil liikus Nmin rohkem alumistesse kihtidesse võrreldes aastate keskmisega. Seega oli Nmin liikumine sügisperioodil märgatav küll sügavamas kihis, kuid keskmises kihis toimus liikumine juba eelnevalt ja seetõttu joonisel ei kajastu.

**Alumise kihi Nmin  
sisaldus suurenes  
2022.a. Adavere aladel  
sügisperioodil 1,7  
korda, aastate  
keskmisena 1,3 korda.**



Joonis 1. Adavere uurimisalade mineraalse lämmastiku (Nmin, ülemine joonis), liikuva fosfori (keskmise joonis) ja liikuva kaaliumi (alumise joonis) keskmine sisaldus ja dünaamika mulla erinevates kihtides perioodil 2017-2022

Liikuva P sisaldus ülemises mullakihis oli aastate keskmisega võrreldes 2022. aastal suhteliselt sarnane ja aasta lõikes küllaltki stabiilne. Kuigi oktoobri lõpus lisati kahele alale vedelsõnnikut, siis sügisperioodi lõpuks oli P sisaldus hoopis kahanenud ning madalam kui paljude aastate keskmine. Keskmises mullakihis näeme suurt tõusu sügisperioodil, mille lõpuks oli liikuva P sisaldus oluliselt kõrgem kui paljude aastate keskmine ja suure tõenäosusega näeme siin ka vedelsõnnikust pärit P mõju. Samasugune tendents valitseb ka alumises mullakihis, kus sügisperioodil sisaldus tõuseb

**Vedelsõnnikust pärit P liigub ca kahe kuu jooksul mulla alumistesse kihtidesse.**

oluliselt rohkem kui paljude aastate keskmine. Seega liigub vedelsõnnikust pärit P kahe kuuga alumistesse mullakihtidesse ja ülemise mullakihi P sisaldus praktiliselt ei muutu.

Aastate keskmisena oli ülemise mullakihi liikuva K sisaldus suhteliselt stabiilne ja alla optimaalse sisalduse (130 mg/kg). Sügisperioodil jäi K-sisaldus praktiliselt muutumatuks ehk kahe põllu vedelsõnnikust pärit K mõju ülemise kihi tulemustes ei kajastu. Keskmises mullakihis oli kõrgeim sisaldus augustis (joonisel september) peale kultuuride koristamist ja sügisperioodil vähenes oluliselt rohkem kui aastate keskmisena. Samasugune loogika

kehtis ka alumises kihis toimunud muutuste kohta. Seega vastupidiselt fosforile toimus K-sisalduse vähenemine alumistes mullakihtides ja seega leostumisohtu ei tekkinud või oli see toimunud proovivõtuvahelisel perioodil. Ilmselt on see põhjustatud ka liikuva K suhteliselt madalast sisaldusest nende põldude muldades.

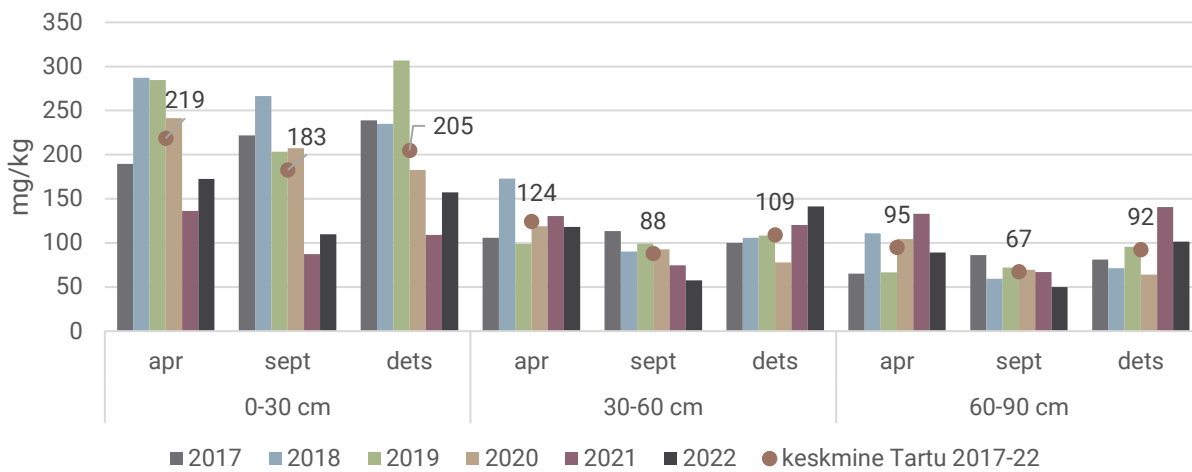
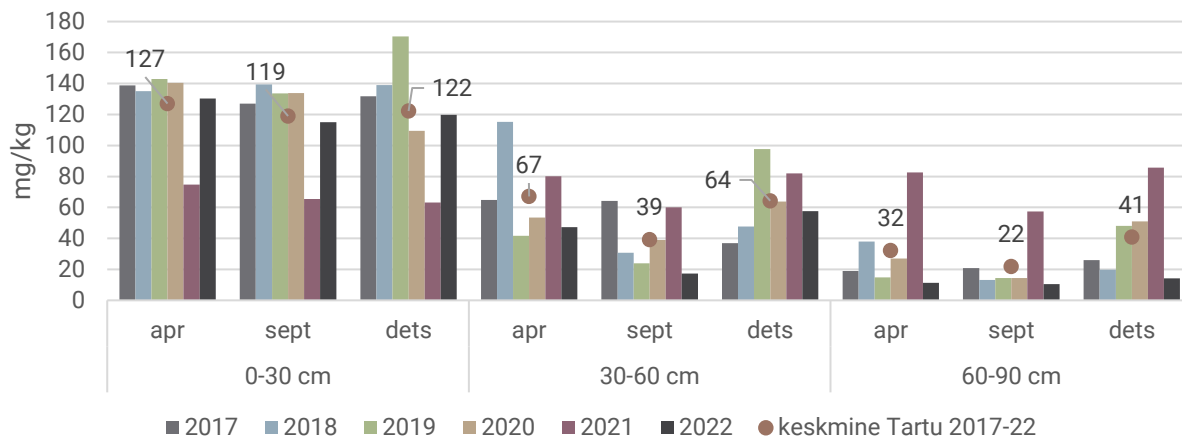
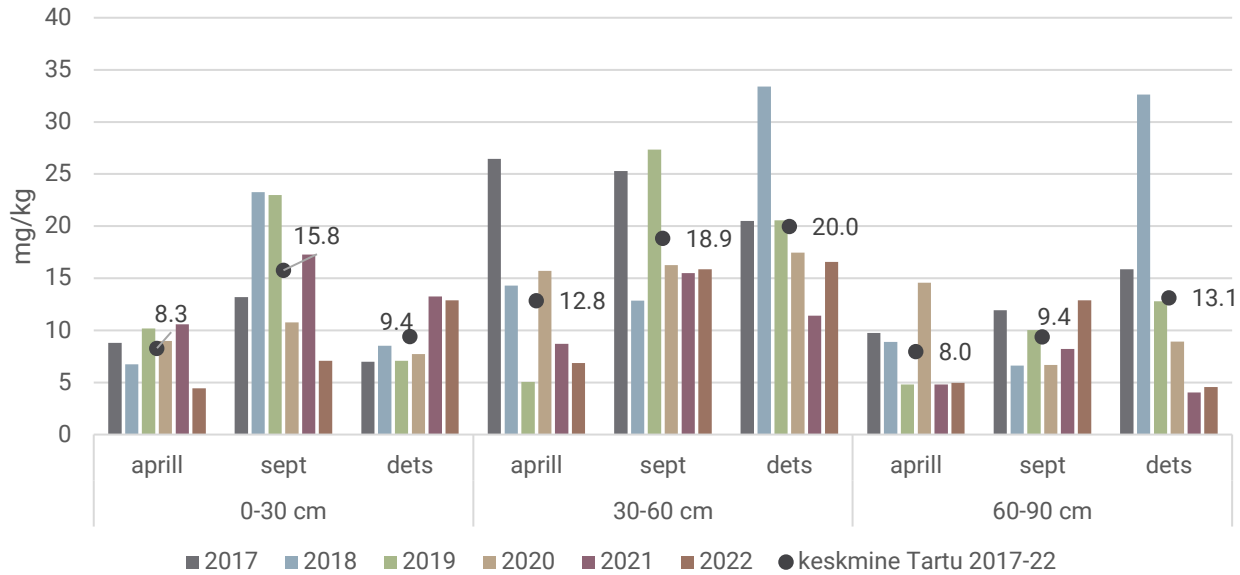
Tartu aladel on uuringut läbi viidud kuuel aastal ja need põllud erinevad Adavere aladest eeskätt lõimisel raskemate ning reaktsioonilt veidi happelisemate muldadega, kus kasvatati eelnevatel aastatel valdavalt põllukultuure suhteliselt kõrgel väetusfoonil. Lisaks kasutati neil aladel eelnevatel aastatel orgaanilisi väetisi digestaati ja vedelsõnnikut. Viimasel kahel aastal oli neil põldudel lühiajalised rohumaad ja kultuuriks timut.

Tartu alade keskmine N väetamise norm oli käesoleval aastal oluliselt madalam kui eelnevatel aastatel, kuid veidi kõrgem kui eelmisel aastal ning seda näitab ka ülemise kihi Nmin väiksem sisaldus kui aastate keskmine ning sügisperioodil ülemises kihis näitaja suurenes ja tõusis kõrgemale kui paljude aastate keskmine (Joonis 2). Põhjuseks oli mõlemal põllul toimunud sügisene väetamine.

**Nmin sisaldus vähenes sel aastal Tartu aladel alumises kihis sügisperioodil 2,8 korda, kuid aastate keskmisena suureneb 1,4 korda.**

Keskmises mullakihis toimub aastate keskmisena sügisepriodil Nmin sisalduse väikene tõus, kuid sel aastal näitaja sügisperioodil praktiliselt ei muutunud. Suurenemine toimus sarnaselt aastate keskmisele suveperioodil ning järelkult jäi mingi osa Nmin mullas kasutamata – ilmselt põua tõttu. Keskmises kihis oli kõikidel aegadel Nmin sisaldus kõrgem kui ülemises kihis, sest aktiivne Nmin tarbimine toimub ülemises kihis ja mingil määral liigub Nmin alati filtratsiooniga allapoole. Alumises kihis vähenes

Nmin sisaldus sügisperioodil oluliselt ning järelkult sellise väetamise taseme juures kõrreliste heintaimede korral Nmin leostumise risk praktiliselt puudub.



Joonis 2. Tartu uurimisalade mineraalse lämmastiku (Nmin, ülemine joonis), liikuva fosfori (keskmine joonis) ja liikuva kaaliumi (alumine joonis) keskmine sisaldus ja dünaamika mulla erinevates kihtides perioodil 2017-2022

Liikuva fosfori sisaldus ülemises kihis oli aastate keskmisena väga kõrge ja suhteliselt stabiilne, kuid 2021. aasta suveperioodil vähenes madala P väetamise foonil näitaja oluliselt. 2022. aastal P sisaldus taastus enamvähem endisel väga kõrgel tasemel väetamise suurenemise tõttu ja tegelikult ei vaja muld fosforiga väetamist mõned aastad. Keskmises mullakihis langes septembriks P sisaldus ülimadalale tasemele, kuid sügisperioodil suurenes 3,4 korda, mis viitab kõrge P-sisaldusega muldades sügisel madala normiga väetatud mullal toimuvale P liikumisele mullaprofiilis. Alumise kihi P sisaldused olid igal ajahetkel oluliselt madalamad võrreldes eelnevate aastate keskmisega ning sisaldus suurenes sügisperioodil veidi, kuid näitaja jäi oluliselt madalamaks kui eelnevatel aastatel.

**Tartu alade alumises kihis suureneb liikuva P sisaldus sügisperioodil keskmisena 1,8 korda, vegetatsioonijooksul väheneb ca 1,5 korda.**

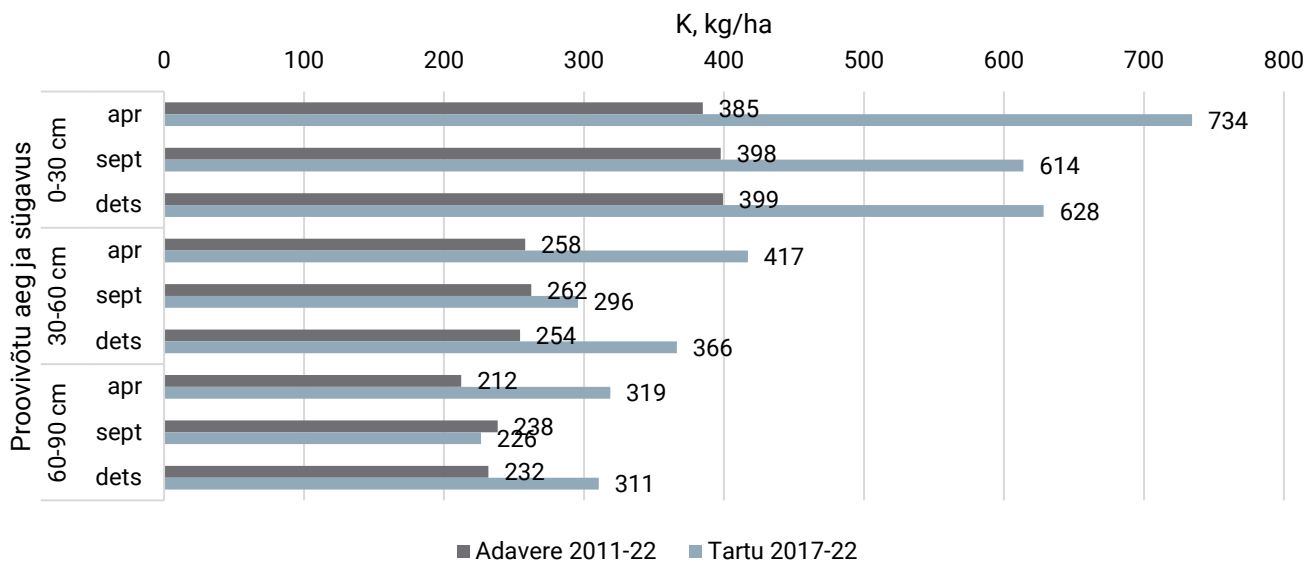
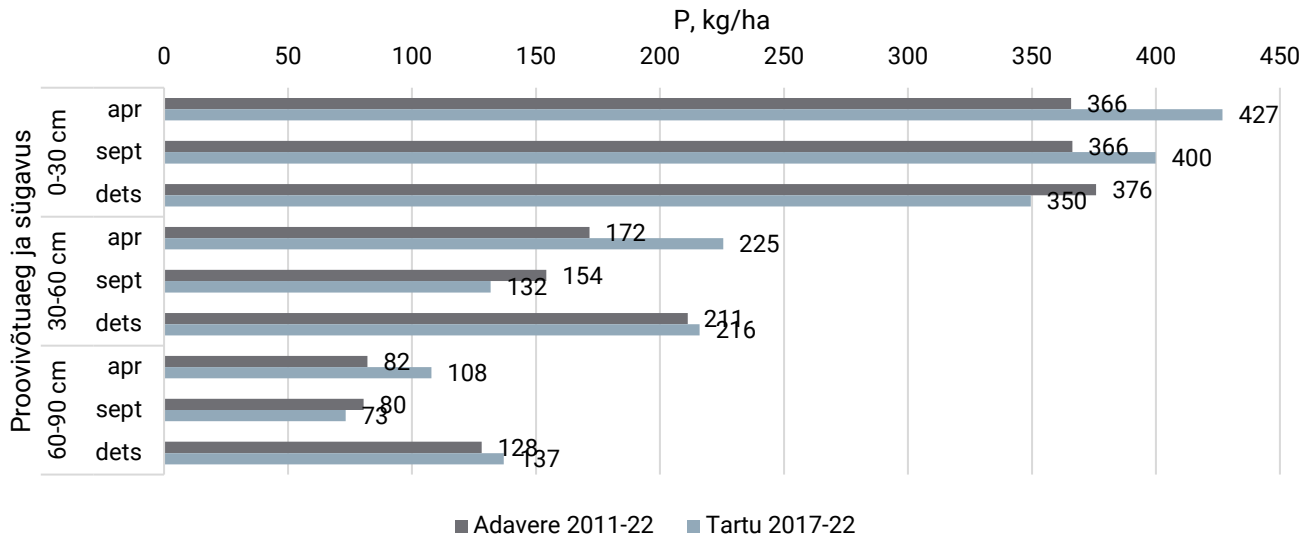
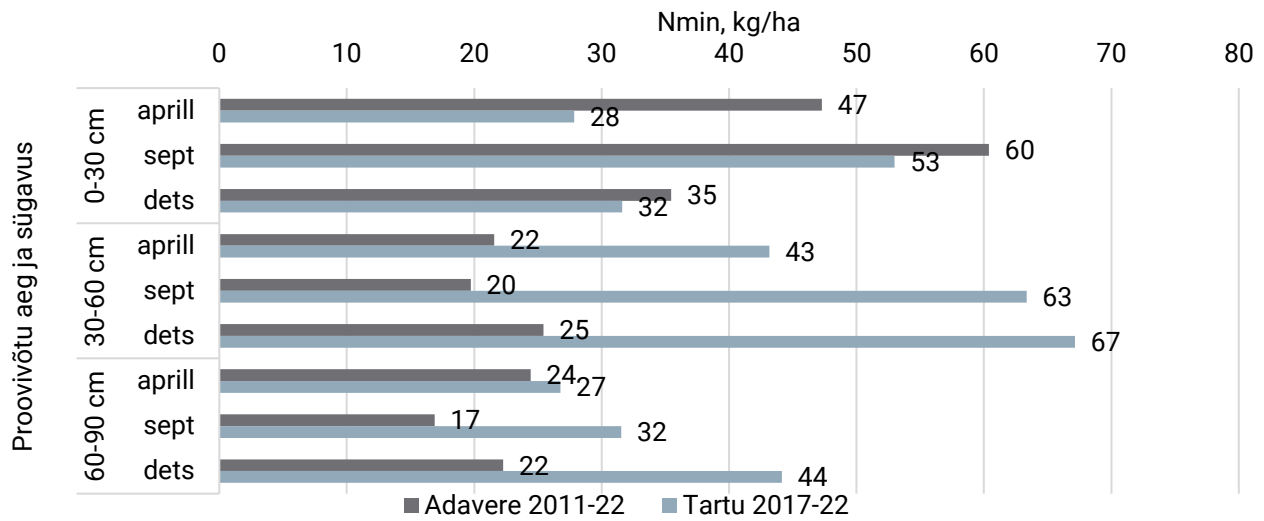
Liikuva kaaliumi sisaldus ülemises kihis oli madalam kui aastate keskmisena ning langes suveperioodil järsult. See näitab kõrreliste heintaimede head K tarbimist, sest K väetistega juurde ei lisatud. Sügisperioodil K sisaldus tõusis, sest ühel põllul lisati peale sügisest proovide võtmist mulda täiendavalt K ning samal ajal vähenes ka tarbimine ja pigem toimus orgaanilise aina lagunemine. Siiski langes keskmine K-sisaldus võrreldes paljude aastate keskmisega, mis näitab veelkord K head omastamist heintaimede poolt. Keskmises mullakihis suurenes K sisaldus sügisperioodil ca 2,4 korda ehk enam kui eelnevatel aastatel keskmiselt ja detsembriks oli sisaldus aastate kõrgeim. Septembris lisati ühele põllule oluline kogus K mineraalväetisega ning teisele põllule oktoobris digestaadiga ja seetõttu liigub päris suur osa sellest mullaprofiilis allapoole juba sügise jooksul ning põhimõtteliselt sama kordub ka alumises mullakihis.

Paljude aastate keskmistest mineraalse lämmastiku kogustest ja nende muutustest erinevates mullakihtides selgub (Joonis 3), et mullas on igal ajahetkel märkimisväärne kogus mineraalset lämmastikku. Sügisperioodil vähenes Adavere aladel keskmisena mineraalse lämmastiku kogus ülemises mullakihis peamiselt leostumise ning taimede omastamise tulemusena 25 kg/ha, mille tagajärjel suurenes järgmises kihis N<sub>min</sub> kogus 5 kg/ha võrra ja alumises mullakihis samuti 5 kg/ha võrra ning osa liikus veel kiiremini uuritavast sügavusest mullaprofiilis allapoole. 2022. aastal kasutati väetamiseks lämmastikku keskmiselt põllu kohta 142 kg/ha (eelmistel aastatel vastavalt 102 ja 121 kg/ha) ja ligikaudu 1/3 sellest mineraalse lämmastiku kogusest leidis detsembris alumistes mullakihtides ja need ei ole taimede toitumise seisukohast kasutatavad. Adavere alade iseloomustamisel tuleb meeles pidada, et ühel põllul on levinud lämmastikurikas turbamuld ja

**Tartu aladel oli alumistesse mullakihtidesse kogunenud sügisperioodi lõpuks 111 kg/ha N<sub>min</sub>, mida taimed ei saa enam kasutada.**

seega ülemises kihis N<sub>min</sub> sisaldus suhteliselt kõrge ka ilma väetamata. Tartu aladel on ülemises mullakihis üldiselt N<sub>min</sub> kogus seetõttu väiksem, kuid alumistes kihtides kordades suurem kui Adavere alade aastate keskmine, mis viitab oluliselt suuremale toitainete liikumisele mulla vertikaalprofiilis allapoole ning mulla ülemise mullakihi väiksemale N<sub>min</sub> sidumise võimele. Viimane omakorda tähendab antud uurimisaladel mitmel juhul N väetamist ebaõigel ajal (näiteks digestaat või mineraalväetis sügisel) ja kultuuride reaalsest tarbimisest suuremates kogustes. Viimasel kahel aastal on väiksemaid N väetisnorme timut küllaltki hästi sidunud. Sügisperioodil vähenes

ülemises kihis N<sub>min</sub> sisaldus 28 kg/ha võrra ja suurenes keskmise ja alumise kihi N<sub>min</sub> kogus kokku 16 kg/ha võrra. Võrreldes eelmise aastaga on liikumine oluliselt vähenenud seoses eeltoodud põhjustega. Tähelepanuväärne on olukord, kus detsembris oli alumises mullakihis mineraalset lämmastikku rohkem kui ülemises mullakihis. Detsembriks oli kogunenud keskmisesse ja alumisse mullakihti kokku 111 kg/ha mineraalset lämmastikku, millest muld suudab siduda ainult ca 30% ning ülejäänud liigub veelgi allapoole ja pole kindlasti enam edaspidi taimedele kättesaadav.



Joonis 3. Mineraalse lämmastiku (ülemine joonis), liikuva fosfori (keskmine joonis) ja liikuva kaaliumi (alumine joonis) kogused kg/ha ja muutus erinevates mullakihtides Adavere alade keskmisena 2011-2022 ja Tartu alade keskmisena 2017-2022 perioodil

Liikva PK kogused mullas on oluliselt suuremad kui Nmin ja mõlema elemendi puhul oli alade võrdluses ülemises kihis PK kogused üldiselt veidi suuremad Tartu aladel ja eriti suur oli vahe kaaliumi kogustes. Erinevus liikva PK ja Nmin koguste muutustes ülemises kihis seisneb eeskätt selles, et kui Nmin vähenes sügisperioodil, siis ülemise kihi PK olid pigem stabiilsed või isegi suurenevad. Eeskätt on see tingitud PK väiksemast liikuvusest mullas. Alumistes kihtides olid erinevused piirkondade vahel väiksemad või teatud juhtudel ka puudusid. Fosfori puhul toimub suurem liikumine allapoole sügisperioodil, kus P sisaldus suurenes keskmises ja sügavamas kihis nii Adavere kui ka Tartu aladel. Talveperioodil detsembrist aprillini üldiselt P sisaldus vähenes, välja arvatud Tartu aladel keskmises kihis. Talveperioodil suurenes samuti K sisaldus Tartu aladel oluliselt keskmises mullakihis ning seega kõrge K-sisalduse ja väetamise foonil jätkub K liikumine allapoole ka kevadtalvisel perioodil ja jõuab keskmisesse mullakihti. Adavere aladel oli K sisaldus alumistes kihtides aasta lõikes stabiilne. Huvitav on see, et kuigi kaaliumi sisaldus ülemises kihis on ca 2 korda suurem Tartu aladel, siis alumistes kihtides on Tartu ja Adavere K kogused küllalt sarnased. Ilmselt viitab see Tartu alade oluliselt kõrgemale väetamise tasemele ja nende elementide aeglasemale liikuvusele mullas ehk mulla paremale sidumisvõimele alumistes kihtides.

Oluline on jälgida ka võimalikke erinevusi Nmin ja teiste oluliste toiteelementide liikuvuses sõltuvalt konkreetse põllu maakasutusest ja väetamisest. Joonis 4 on esitatud kõikide põldude erinevate mullakihtide Nmin sisaldused perioodil jaanuar 2022 kuni jaanuar 2023. Lämmastikuga väetamise aeg ja kogused 2022. aastal on toodud tabelis 1 (vt Lisa 1).

Perioodi jooksul kasutati Adavere 2 ja 5 aladel talinisu väetamiseks lämmastikku kevadel mineraalväetistega 163 kg/ha ja sügisel lisaks vedelsõnnikuga 26-29. oktoobril 51 kg/ha. Adavere 4 ala rohumaal väetisi ei kasutatud ning tegemist on turvasmullaga.

**Kõrge Nmin sisaldusega turbamullal toimub ka ilma väetamata ja puuduliku PK varustatusega Nmin liikumine alumistesse kihtidesse.**

Jooniselt selgub, et kõrreliste heintaimede põllul Adavere 4 alal ilma väetamata turvasmullal oli kogu perioodi jooksul kõikides kihtides Nmin sisaldus kõrgem kui oluliselt kõrgema väetusfooniga talinisu mineraalmullaga põllul. See ilmestab hästi turvasmulla mõju Nmin sisaldusele ning selgitab hästi miks N väetamisel peaks vaatama ka kindlasti mulla Corg sisaldust. Turvas on teatavasti mineraliseerudes hea lämmastiku allikas. Vaatamata väetiste mittekasutamisele liikus Adavere 4 alal sügisperioodil Nmin mullaprofiili alumistesse kihtidesse. Huvitavad on siinjuures novembrikuu kõrgemad sisaldused võrreldes jaanuariga, sest tulenevalt lumikattest

detsembris ei toimunud detsembris Nmin liikumist allapoole ja jaanuari alguseks oli Nmin sisaldus kõikides kihtides vähenenud. Seega toimus peamine Nmin liikumine perioodil september-november, kui olid soodsad tingimused orgaanilise aine lagunemiseks ja mulda lisandus piisavalt vett. Lisaks oli põua tõttu Nmin vajadus väiksem (väga kõrge Nmin sisaldus augusti lõpus) ja teisalt on selle põhjuseks põllu väga madal PK tase, mille tagajärjel on raskendatud Nmin omastamine ning seetõttu liigub suhteliselt suur osa orgaanilise aine lagunemisel tekkinud Nmin mullaprofiilis allapoole. Seega võib soodsatel tingimustel sügisperioodil ka väetamata turvasmullal toimuda oluline Nmin liikumine ülemistest kihtidest allapoole ja olla potentsiaalne leostumise allikas ka ilma väetamata põllul.

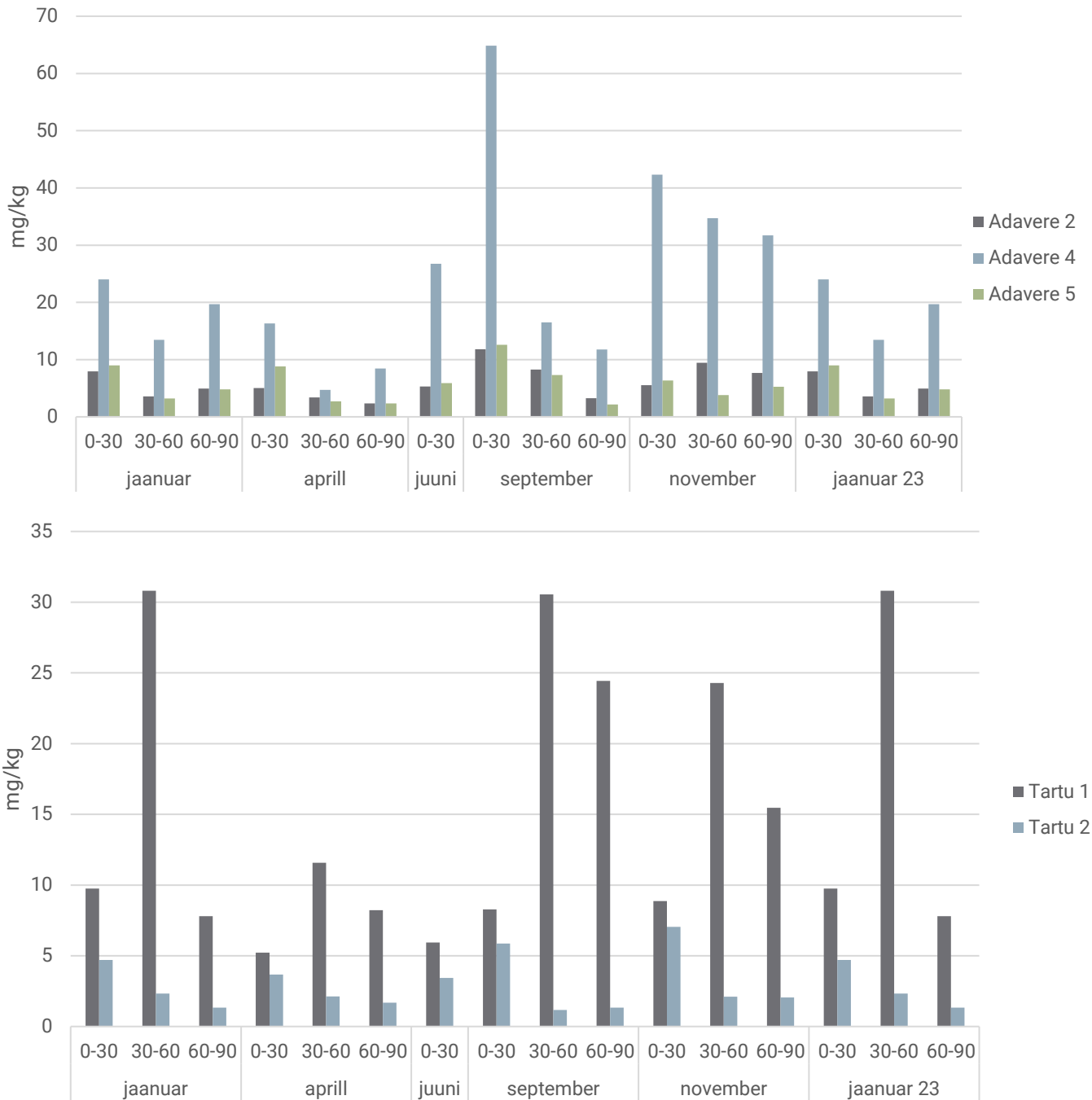
Teistel aladel kasutati talivilja väetamiseks oluliselt suuremas koguses mineraalset lämmastikku, kuid selle tulemusena ei toimunud märkimisväärset Nmin liikumist allapoole. Vähesel määral suurenes Nmin sisaldus perioodil september-november põldude keskmises ja alumises mullakihis ja ilmselt oli see seotud taliviljale kasutatud N väetistest tuleneva liikumisega. Jaanuariks suurenes ülemises kihis Nmin sisaldus mõlemal põllul ja see viitab leostumistingimuste halvenemisele, sest enamuse detsembrist kattis põlde lumikate, kuid maapind oli sula ja orgaanilise aine lagunes mingil määral. Siiski jäi kõikides kihtides Nmin tase väga madalaks ehk talivilji suutis lisatud Nmin ära tarbida antud väetamise

**Oktoobri lõpus mulda lisatud vedelsõnnikust ja digestaadist pärit Nmin liikus mullaprofiilis allapoole väga kiiresti – mõne nädalaga.**

juures. Oktoobri lõpus lisati mõlemale põllule vedelsõnnikut, kuid huvitaval kombel ei kajastu see praktiliselt üldse mullaproovi tulemustes – isegi ülemise kihi Nmin sisaldus on madalam kui septembris peale talivilja koristamist. Novembrikuu proovid koguti ca 3 nädalat peale vedelsõnniku mulda viimist ja peaks siiski näitama olulist Nmin sisalduse tõusu, kuid ka detsembriks oli see tõus ülemises kihis väga väike. Ainukese seletusena liikus Nmin mullaprofiilis allapoole veelgi kiiremini.

Tartu aladel oli Nmin väetamise tase 2022. aastal madalam kui varasematel aastatel, kuid veidi suurem kui eelmisel aastal ja mõlemal alal oli kultuuriks timut. Väetamise

erinevus seisnes selles, et Tartu 1 alal väetati põldu kevadel normiga 68 kg/ha ja septembris kasutati lisaks mineraalväetisega 7,5 kg/ha lämmastikku. Tartu 2 alal oli kevadine norm poole väiksem ehk 34 kg/ha ja sügisel kasutati oktoobri lõpus digestaati, millega viidi mulda 80 kg/ha lämmastikku. Kõikidel sügavustel ja proovivõtuaegadel oli kõrgem Nmin sisaldus suurema N väetamise normiga Tartu 1 alal. Suur erinevus kahe ala vahel on ka alumiste kihtide Nmin sisalduses, kus Tartu 1 alal on alates koristusjärgsest näitajast Nmin sisaldus oluliselt kõrgem alumistes mullakihtides, mis viitab Nmin ülejäägile mullas ja liikumisele allpoole isegi suhteliselt tagasihoidliku väetamise korral. Oluline on siinjuures märkida, et alumiste kihtide Nmin sisaldus oli kõrgem kui ülemises mullakihis ning kõrgeim oli sisaldus augusti lõpus ja detsembris, kui Nmin sisaldus oli 3 korda kõrgem kui ülemises mullakihis ja see viitab mullaprofiilis allpool olevale lämmastikku paremini siduvale raskema lõimisega kihile. Nmin nn ülejääk oli ilmselt tingitud ka valitsenud põuast, mis raskendas taimede lämmastiku omastamist. Perioodil september-november alumiste kihtide näitaja Tartu 1 alal väheneb ja kuni jaanuarini keskmises kihis veidi suureneb saavutades kogu perioodi kõrgeima näitaja. Arvestades lumikatet detsembris, siis ilmselt mullas oleva niiskuse toimeel liikus Nmin veidi küll keskmisesse kihti, kuid sealt allapoole mitte, sest filtratsioon vähenes oluliselt. Tartu 2 alal oli Nmin sisaldus alumistes kihtides väga madal ja märkimisväärset liikumist ei toimunud isegi peale digestaadi lisamist oktoobri lõpus ja jaanuari alguseks oli ülemises kihis Nmin sisaldus hoopis vähenenud. Seega võib arvata, et digestaadist pärit Nmin liigub sügisperioodil mullaprofiilis väga kiiresti meie uurimissügavusest allapoole.

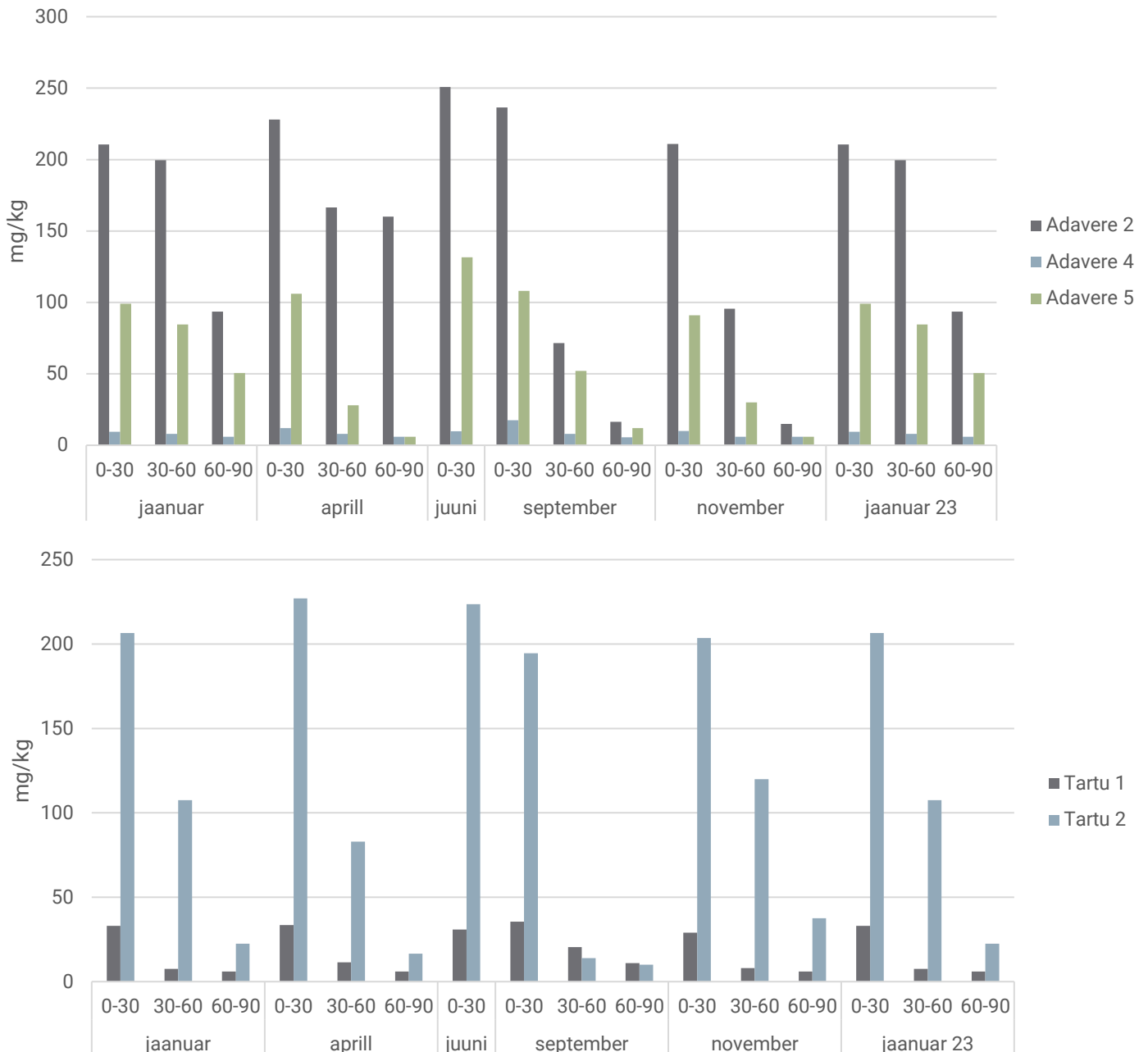


Joonis 4. Mineraalse lämmastiku keskmine sisaldus ja dünaamika mulla erinevates kihtides Adavere (ülemine joonis) ja Tartu proovialadel (alumine joonis) perioodil 2022-2023

Lisaks mineraalsele lämmastikule analüüsiti ka teiste toitelementide sisalduse muutust erinevates mullakihtides ning sõltuvalt põllust võib teatud kogus liikuvat fosforit leostumise tulemusena jõuda mulla alumistesse kihtidesse (Joonis 5). Samas erinesid liikuva P ja Nmin sisalduse dünaamikad oluliselt. Adavere 4 alal P väetisi ei kasutatud, Adavere 2 ja 5 aladel lisati fosforit mulda hilissügisel vedelsõnnikuga 11 kg/ha. Adavere 4 alal pole P-väetisi kasutatud juba mitu aastat ja seetõttu on erinevate kihtide P sisaldused ja muutused kogu profiili ulatuses minimaalsed ning kindlasti on fosfor sellel põllul taimede toitumist limiteerivaks teguriks, mille tagajärjel on raskendatud ka teiste toitelementide omastamine ning suureneb nende potentsiaalse leostumise oht.

**Mulla kõrge P sisalduse korral toimub fosfori liikumine talvise taimkattega põllul alumistesse kihtidesse ka tagasihoidliku väetamise korral.**

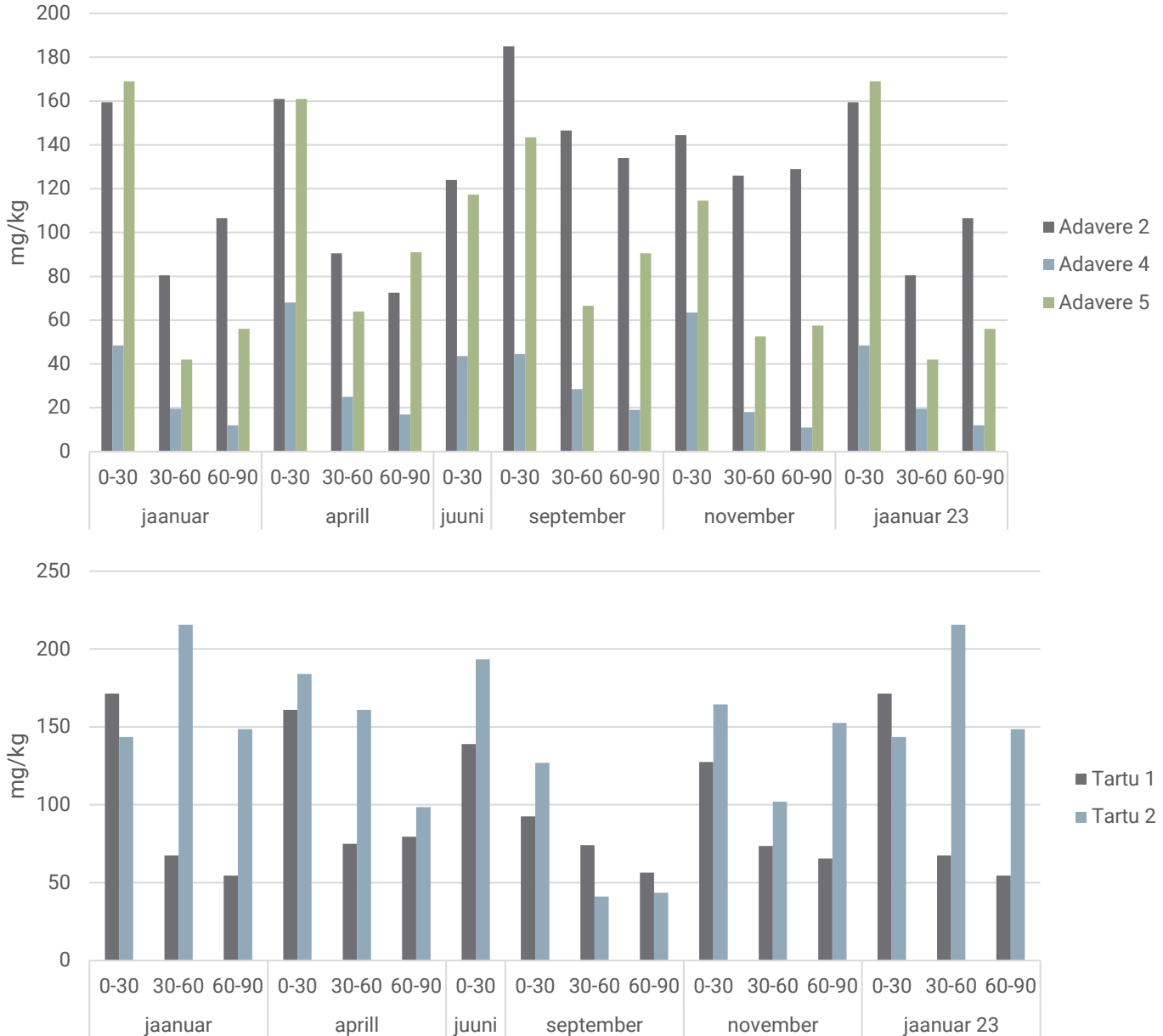
Teistel Adavere aladel on mullas P sisaldus optimaalsest kõrgem ning seetõttu tagasihoidlikum fosforiga väetamine igati õigustatud. Kuigi vedelsõnnikuga lisati mulda fosforit, siis kummalgi alal ei kajastu see ülemises mullakihis, sest septembrist kuni jaanuarini on sisaldus ülemises kihis praktiliselt võrdne. Mõlemal alal toimus sügisperioodil oluline P sisalduse tõus alumistes kihtides ehk vedelsõnnikust pärit P liigub suhteliselt kiiresti ülemisest 30 cm mullakihist allapoole. Novembriks oli suurenenud keskmise kihi P sisaldus ja jaanuariks jätkus sama tendents ka alumistes kihtides, ulatudes kõige alumises kihis ligi pooleni ülemise kihi P sisaldusest. Adavere 5 alal on põhimõtteliselt samad trendid, kuid P absoluutne sisaldus oli oluliselt madalam ja erinevusena perioodil september-november liikumist allapoole ei toimunud. Mida kõrgem on P sisaldus mulla ülemises kihis, seda suurem ja kiirem oli P liikumine allapoole.



Joonis 5. Liikuva fosfori keskmine sisaldus ning dünaamika mulla erinevates kihtides Adavere (ülemine joonis) ja Tartu proovialadel (alumine joonis) perioodil 2022-2023

Tartu alad erinevad nii liikuva P sisalduse kui selle muutustega erinevates mullakihtides. Tartu 1 ala mulda lisati fosforit mineraalväetisega sügisel (7,5 kg/ha) ja Tartu 2 alal hilissügisel digestaadiga 13 kg/ha. Tartu 1 alal P kevadel ei lisatud, ei toimunud ka P sisalduse langust kogu perioodi jooksul ning P sisaldus püsis vaatamata vähesele P lisamisele praktiliselt

samal madalal tasemel ka kogu sügisperioodi kõikides kihtides. Seega timuti poolt ei tarvitatud suuremas koguses fosforit. Tartu 2 alal toimus aga P sisalduse väike langus augusti lõpus, kuid vaatamata kasutatud digestaadile sügisperioodil praktiliselt ei suurenenud. Suurim muutus toimus Tartu 2 ala alumistes kihtides perioodil september-november, kui P sisaldus suurenes 8,5 korda ning alumises kihis 3,7 korda! Jaanuariks vähenes näitaja mõlemas kihis. Seega liigub digestaadist pärit P väga kiiresti sügisperioodil mullaprofiilis allapoole ja ei jää mullavarusid täiendama ülemisse, aktiivsesse mullakihti.



Joonis 6. Kaaliumiga väetamine ja liikuva kaaliumi keskmine sisaldus ning dünaamika mulla erinevates kihtides Adavere (ülemine joonis) ja Tartu proovialadel (alumine joonis) perioodil 2020-2021

Liikuva K sisaldus (Joonis 6) ja liikuvus mullas oli kõikides kihtides madalaim väetamata rohumaal Adavere 4 alal. Vaatamata väetamise puudumisele ei toimunud olulist K sisalduse langust ülemises mullakihis, kuid selle tase oli ca 2 korda madalam kui optimaalne. Adavere teistel aladel lisati hillisügisel vedelsõnnikuga 49 kg/ha kaaliumi ning üldiselt oli ülemises mullakihis K sisaldus sarnane kogu perioodi vältel ja nende põldude kaaliumi tase optimaalne. Vaatamata oktoobris lisatud K ei suurenenud elemendi sisaldus, vaid alumistes kihtides isegi vähenes. Novembris ehk 3 nädalat peale vedelsõnniku kasutamist oli ülemises kihis K sisaldus isegi väiksem võrreldes koristusjärgse näitajaga. Keskmises mullakihis langes mõlemal alal K sisaldus kogu sügistalvise perioodi jooksul ehk allapoole K sisaldus ei suurenenud. Suhteliselt kõrge K

sisaldus alumistes kihtides oli seotud savisisalduse suurenemisega. Kaaliumi lisamine mulda normiga 49 kg/ha keskmise K-sisaldusega mullas ei põhjusta üldiselt K täiendavat liikumist mullaprofiilis allapoole. Vedelsõnnikust pärit K oleks pidanud siiski mullaprofiilis kajastuma ja jääb võimalus selle kiireks liikumiseks allpoole. Kahjuks ei ole seda võimalik kontrollida.

Tartu aladel oli K sisaldus optimaalne ja Tartu 1 ala väetati septembri algul 37 kg/ha kaaliumi ja Tartu 2 alal kasutati oktoobri lõpus digestaati, millega lisati mulda 82 kg/ha kaaliumi. Mõlemal alal oli madalaim K sisaldus augusti lõpus ning suurenes sügisperioodil. Oluline erinevus väetamisest tingituna avaldus sügisperioodil alumistes kihtides, kus Tartu 1 alal olid muutused minimaalsed, kuid Tartu 2 alal suurenes keskmise kihi K-sisaldus perioodil september-jaanuar enam kui 5 korda ja alumises kihis 3,4 korda. Digestaadist pärit K liigub sügisperioodil alumistesse kihtidesse suhteliselt kiiresti (novembrikuu poovid võeti 3 nädalt ära digestaadi mulda vimist) ja see jätkub ka olukorras, kus lumi on katnud maapinda. Allapoole liikuvad K kogused on siinjuures märkimisväärsed.

**Digestaadist pärit K liigub alumistesse kihtidesse väga kiiresti ja suures koguses, alumiste kihtide K sisaldus suureneb sügisperioodil kuni 5 korda.**

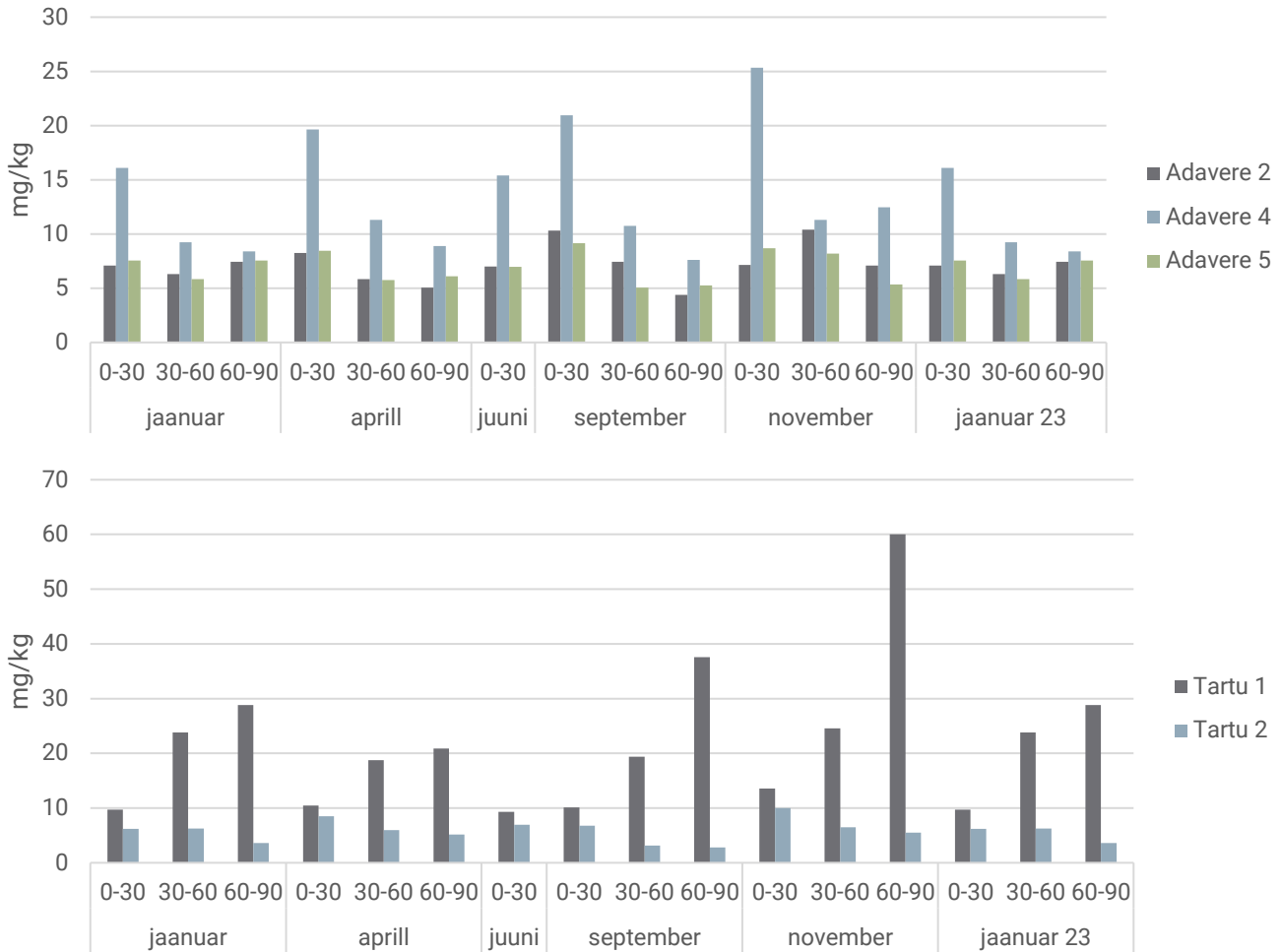
Liikuva kaaliumi sisaldus mulla erinevates sügavuskihtides näitas, et madala K-sisaldusega muldades ei toimu märkimisväärset muutust sügavamates mullakihtides ka juhul kui sügisel mulda K lisada ning peamiselt toimub K leostumine kõrgema K sisaldusega muldades digestaadi kasutamisel.

Mullas kergesti liikuvatest toiteelementidest on mineraalse lämmastiku kõrval kindlasti üks olulisemaid väävel. Kuna põllumajanduskultuuride vääveli tarbimine ja väetamine on erinev, siis käsitletakse mulla väävlisisalduse dünaamikat põldude lõikes sarnaselt teistele toiteelementidele (Joonis 6). Adavere 2 ja 5 alade mulda väetati väävliga mai algul normiga 14 kg/ha ja Adavere 4 ala väävliga ei väetatud. Kõrgeima S sisaldusega oli turvasmullal paiknev Adavere 4 ala ning kõige rohkem sisaldus väävlit mullas ülemises kihis novembris ning vääveli liikumise dünaamika oli sarnane eelmise aastaga.

**Sügisel mulda lisatud väävel liigub kiiresti alumistesse mullakihtidesse ja ei mõjuta mulla väävlisisaldust.**

Ülejäänud aladel oli S sisaldus ülemises kihis oluliselt madalam, ülemises kihis oli kõrgeim näitaja koristusjärgselt ja sügisperioodil veidi vähenes. Keskmises kihis oli mõlemal alal madalaim sisaldus koristusjärgselt, kuid perioodil september-november suurenes sisaldus Adavere 2 ja 5 aladel. Seega jäi mingi osa väävlit kultuuride poolt kasutamata või mineraliseerus mulda sügisel ja liikus allapoole. Perioodil november-jaanuar keskmises kihis sisaldus vähenes, kuid nagu eelnevalt juba kirjeldatud, siis oli enamuse sellest ajast maa kaetud lumega ja täiendavat vett mulda ei lisandunud.

Alumises kihis oli mõlemal alal sisaldus madalaim septembris ja suurenes kuni jaanuarini veidi. Võrreldes 2022. aasta jaanuariga oli kõikidel aladel väävlisisaldus praktiliselt samal tasemel.

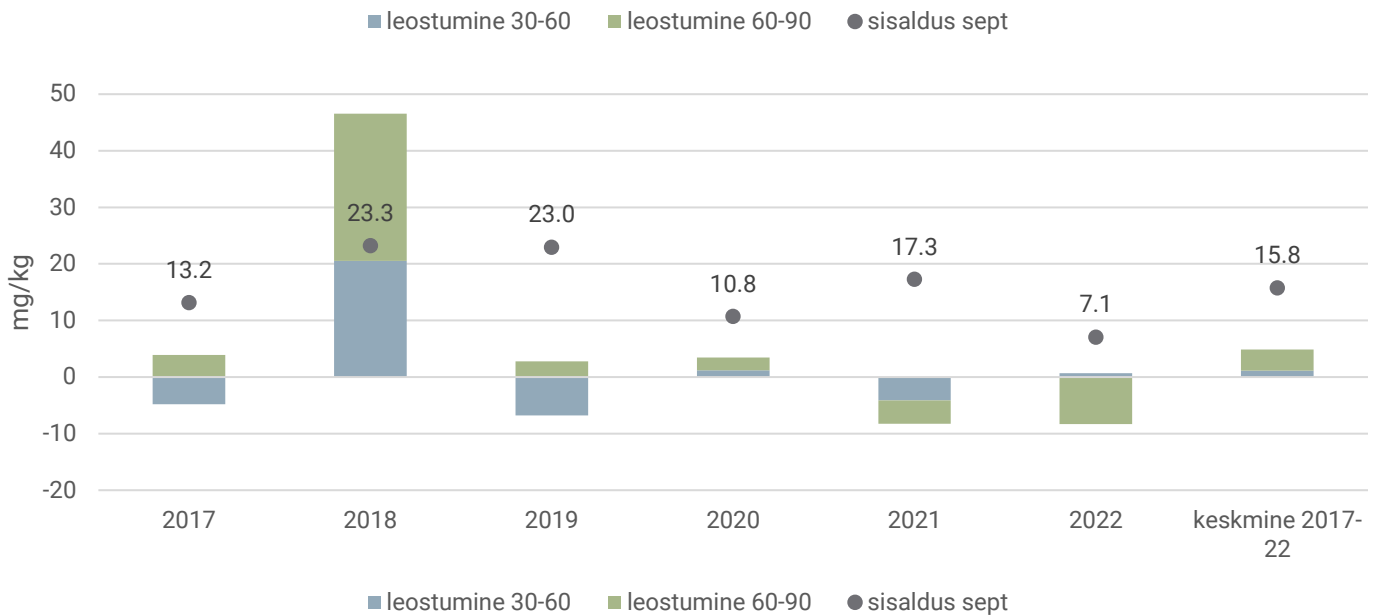
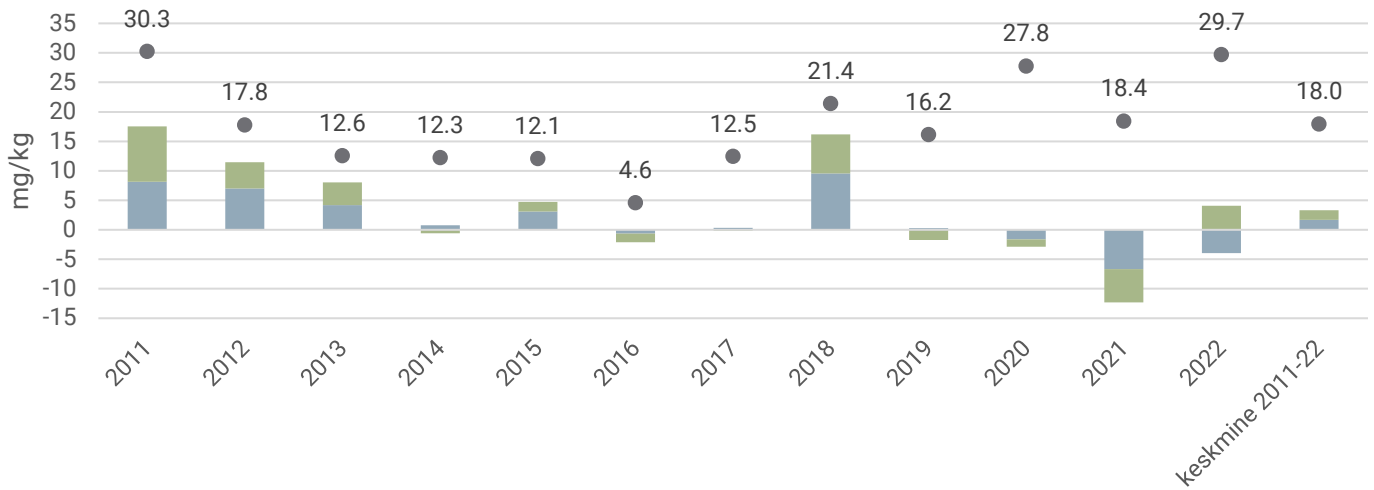


Joonis 7. Väevli sisaldus ja dünaamika Adavere (ülemine joonis) ja Tartu prooviajaladel (alumine joonis) perioodil 2022-2023

Tartu alasid väetati väävliga erinevalt ja sellest lähtuvalt liikus element mullas erinevalt. Tartu 1 ala väetati 2. septembril normiga 10 kg/ha väävlit ja Tartu 2 ala väävliga ei väetatud. Ülemise kihi S sisaldus oli mõlemal alal kogu perioodi jooksul suhteliselt madal ning kõrgeim oli näitaja novembris. Kuigi Tartu 1 ala väetati väävliga ka sügisel, siis ülemises kihis sisaldus oluliselt ei tõusnud. Keskmises kihis on Tartu 1 ala S sisaldus oluliselt kõrgem nii ülemise kihi kui ka Tartu 2 ala sisaldusest, mis viitab selle kihi suuremale savisisaldusele ehk selline muld suudab toiteelemente paremini siduda. Keskmise kihi S sisaldused muutusid sügisperioodil vähe. Alumises kihis on S sisaldus Tartu 1 alal veel kõrgem ja vahe Tartu 2 alaga väga suur. See vastab igati antud mulla geenetilise-morfoloogilistele omadustele, kus savisisaldus allpool suureneb ja selles kihis asub valdavalt ka sisseuhtehorisont. Eriti suur hüpe (1,6 korda) toimus vahemikus september-november ja selle põhjuseks oli ilmselt 2. septembril mulda lisatud väävel ning seega liigub sügisperioodil väävel mullaprofiilis allapoole väga kiiresti ning seega on küsitav tema positiivne mõju timutile. Jaanuariks on sisaldus alumises kihis oluliselt langenud. Tartu 2 alal ei lisatud sügisel väävlit ja seal on alumistes kihtides sisaldus väga madal ning muutused väikesed.

Käesolevas aruandes selgitame aastate lõikes erinevate toiteelementide liikumist alumistesse kihtidesse sügisperioodil septembrist-jaanuarini kihtide lõikes Nmin sisalduse muutuse alusel (Joonis 7). Kui näitaja oli joonisel positiivne, siis suurenes alumiste kihtide vastava näitaja sisaldus. Kui kuhjumist allapoole ei toimunud, on tegemist joonisel negatiivse tulemusega. Taustaks esitasime vastava toiteelemendi koristusjärgse toiteelemendi sisalduse ülemises 0-30 cm mullakihis. Adavere aladel oli kuni 2018. aastani uuringus 5 põldu ja hiljem 3 põldu, millest üks oli turvasmullal püsirohumaa ja 2 põldu olid mineraalmullal. Olulise nüansina on viimastel aastatel Adavere põldudel kasvatatud talivilja. Kuni 2018 aastani suurenes Adavere aladel peamiselt sügisperioodil Nmin sisaldus keskmises ja alumises mullakihis. Perioodil 2019-2022 näitaja pigem vähenes ehk liikumine allapoole oli minimaalne või puudus. Siiski ei saa välja tuua otsest seost koristusjärgse Nmin sisalduse ja dünaamika osas alumistes kihtides, sest see sõltub veel lisaks sügisest väetamisest,

kultuurist ja sademetest. Siiski võib täheldada kõrgema koristusjärgse Nmin sisaldusega aastatel 2011 ja 2018 ka suuremat liikumist allapoole. 2018. aastal võis selle põhjuseks olla sisseküntud ristik kahel põllul, kus lämmastikurikas orgaaniline aine lagunes ja mulda lisandus selle käigus ohtralt mineraalset lämmastikku. Kuigi viimastel aastatel oli Nmin nn baastase eelnevast perioodist kõrgem, siis allapoole liikuvad kogused vähenesid oluliselt või puudusid sootuks. Selle põhjuseks oli talviljade kasvatamine viimasel kolmel aastal ja see selgitab hästi teadaolevat fakti, et talvise taimkattega on võimalik edukalt vähendada Nmin leostumist mullaprofiilis. Keskmisena oli mõlemas kihis Nmin liikumine praktiliselt võrdne ja sisaldus suurenes suhteliselt vähe, moodustades ca 18% koristusjärgse Nmin sisaldusest ülemises kihis.



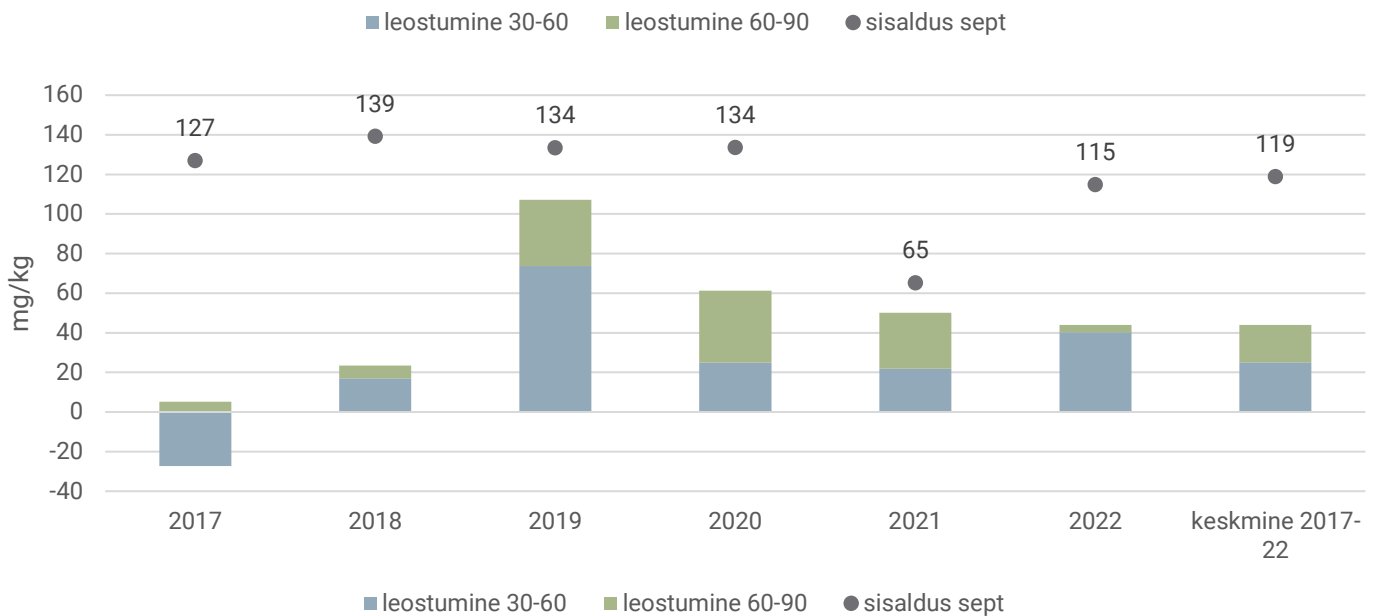
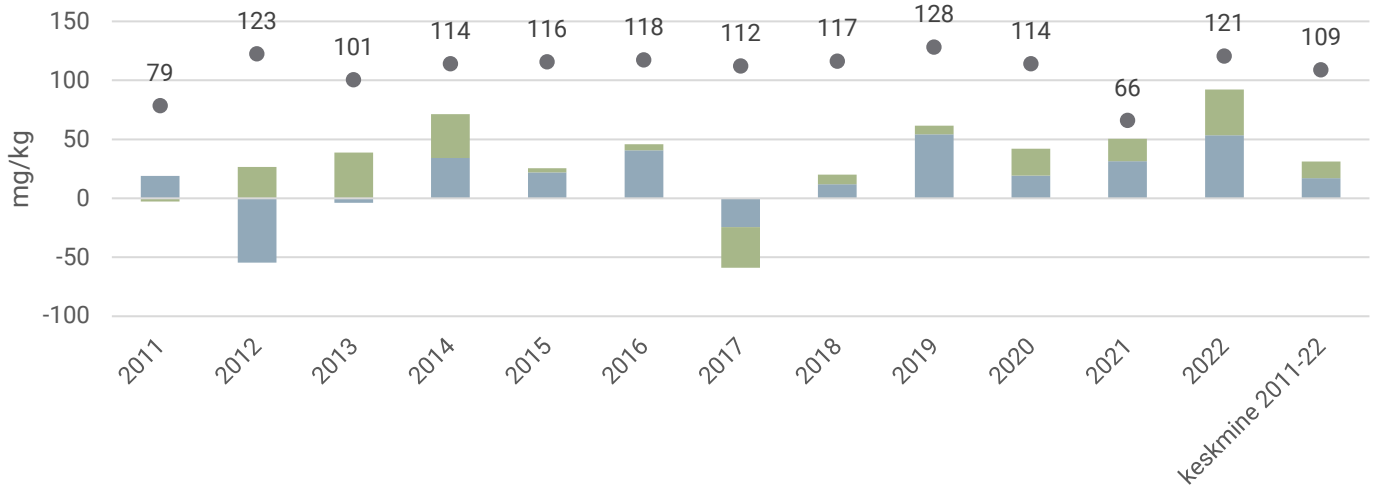
Joonis 8. Nmin sisalduse muutus mullaprofiili 30-90 kihtides sügisperioodi kahe prooviaja (september ja jaanuar) vahel Adavere alade keskmisena (ülemine joonis) ja Tartu seirealadel keskmisena (alumine joonis). Numbriga on tähistatud koristusjärgne Nmin sisaldus mulla ülemises 0-30 cm kihis

**Alumistes mullakihtides akumuleerub 18-30% ülemise kihi koristusjärgsest Nmin sisaldusest.**

Tartu aladel eristub teistest oluliselt 2018. aasta, kus ühel alal kasutati samal põllul digestaati nii kevadel kui sügisel ja sellest tulenevalt oli põllul väga kõrge Nmin sisaldus ülemises mullakihtis. sellest tulenevalt suurenes näitaja sügisperioodil oluliselt ka alumistes mullakihtides, mis ületas oluliselt Nmin sisalduse koristusjärgselt. Võrreldes Adavere aladega on keskmine Nmin sisaldus Tartu aladel veidi madalam, kuid alumiste kihtide sisaldus suureneb veidi enam, moodustas nn

baastasemest ca 30%. Viimasel kolmel aastal oli liikuvus alumistesse kihtidesse tagasihoidlik või puudus. Põhjuseks oluliselt madalamad väetamise normid ning timuti kasvatamine.

Sama skeemi järgi vaatlesime ka mulla liikuva P sisalduse muutust mulla alumistes kihtides sügiselvisel perioodil ja selle võimalikku seost koristusjärgse ülemise kihi P sisaldusega. P sisaldus ülemises kihis oli aastate jooksul suhteliselt stabiilne, paari üksiku kõikumisega. Kuigi 2021. aastal oli sisaldus suhteliselt madal, siis alumistes kihtides toimus siiski P sisalduse suurenemine. Suurim oli leostumine allapoole 2022. aastal ning ilmselt oli see tingitud oktoobris mulda lisatud vedelsõnnikust ja allapoole liikunud P moodustas nn baastasemest koguni 76%. Aastate keskmisena oli vastav näitaja 28% ning ainult kahel aastal toimus sügisperioodil liikuva P sisalduse vähenemine.

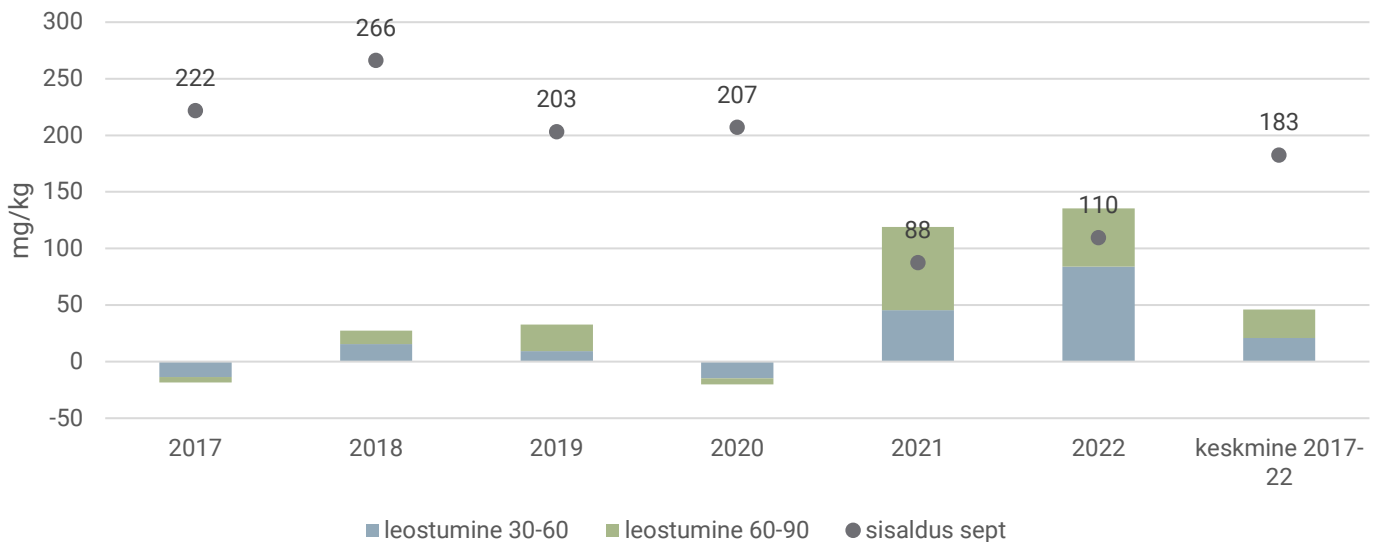
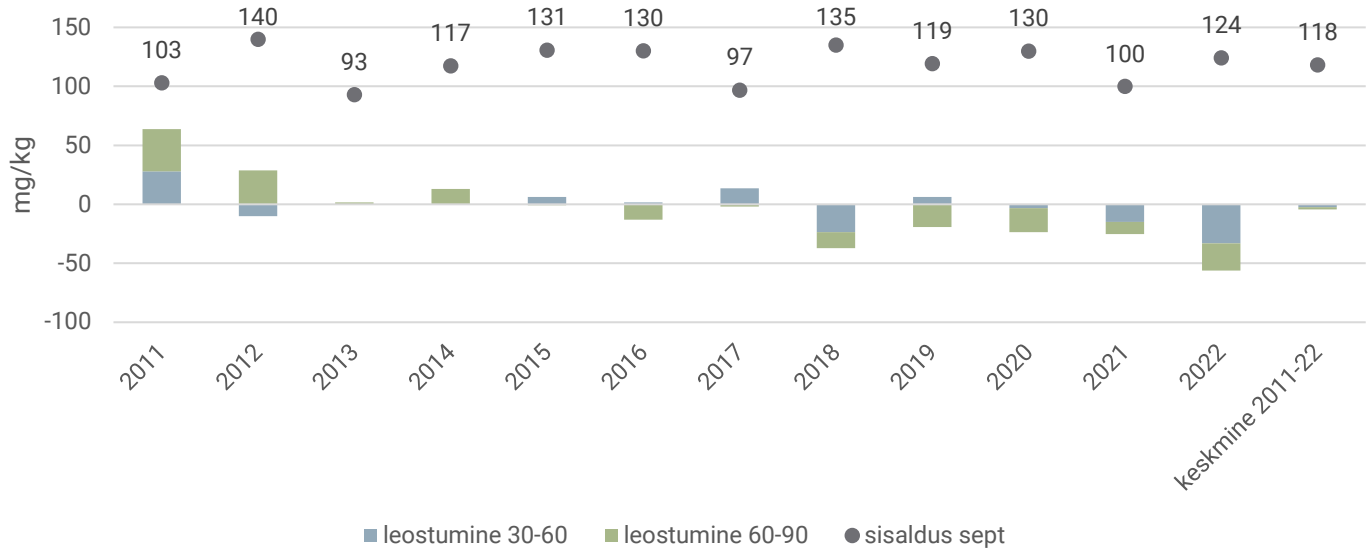


Joonis 9. Liikuva P sisalduse muutus mullaprofiili 30-90 kihis sügisperioodi kahe prooviaja (september ja jaanuar) vahel Adavere alade keskmisena (ülemine joonis) ja Tartu seirealade keskmisena (alumine joonis). Numbriga on tähistatud koristusjärgne P sisaldus mulla ülemises 0-30 cm kihis

Tartu aladel vähenes liikuva P sisaldus ainult ühel aastal ja teistel aastatel alumiste kihtide P-sisaldus suurenes, kõige rohkem 2019. aastal, kui alumiste kihtide summaarne sisalduse suurenemine moodustas ca 80% baastasemest. 2019. aasta keskmisena lisati mulda suhteliselt suur kogus fosforit – 45 kg/ha ja kuna mulla ülemise kihi P-sisaldus oli kõrge, siis leostus fosforit alumistesse kihtidesse. Aastate keskmisena oli Tartu alade koristusjärgne ülemise kihi liikuva P sisaldus 119 mg/kg ja alumiste kihtide suurenemine kokku 44,1 mg/kg ehk see moodustas 37% ülemise kihi sisaldusest. Mõlema

piirkonna põldudel suureneb aastate keskmisena veidi enam keskmise kihi (30-60 cm) liikuva P sisaldus, alumises kihis oli tõus madalam.

Liikuva K sisaldus mulla ülemises kihis koristusjärgselt Adavere alade keskmisena oli aastate lõikes optimaalsest madalam (Joonis 8). Perioodi alguses domineeris pigem alumiste kihtide K-sisalduse suurenemine, kuid viimastel aastatel näitaja alumistes mullakihtides sügisperioodil vähenes, mille põhjuseks oli eelnevalt viidatud talvise taimkatte kasutamine ning vähenenud K väetamise normid. Kuna ülemises kihis on K-sisaldus optimaalsest madalam, siis loogiliselt ei teki ka mullas kasutamata kaaliumi ning leostumine allapoole oli minimaalne – aastate keskmisena püsis K-sisaldus alumistes kihtides praktiliselt samal tasemel.



Joonis 9. Liikuva K sisalduse muutus mullaprofiili 30-90 kihis sügisperioodi kahe prooviaja (september ja jaanuar) vahel Adavere alade keskmisena (ülemine joonis) ja Tartu seirealadel keskmisena (alumine joonis). Numbriga on tähistatud koristusjärgne K-sisaldus mulla ülemises 0-30 cm kihis

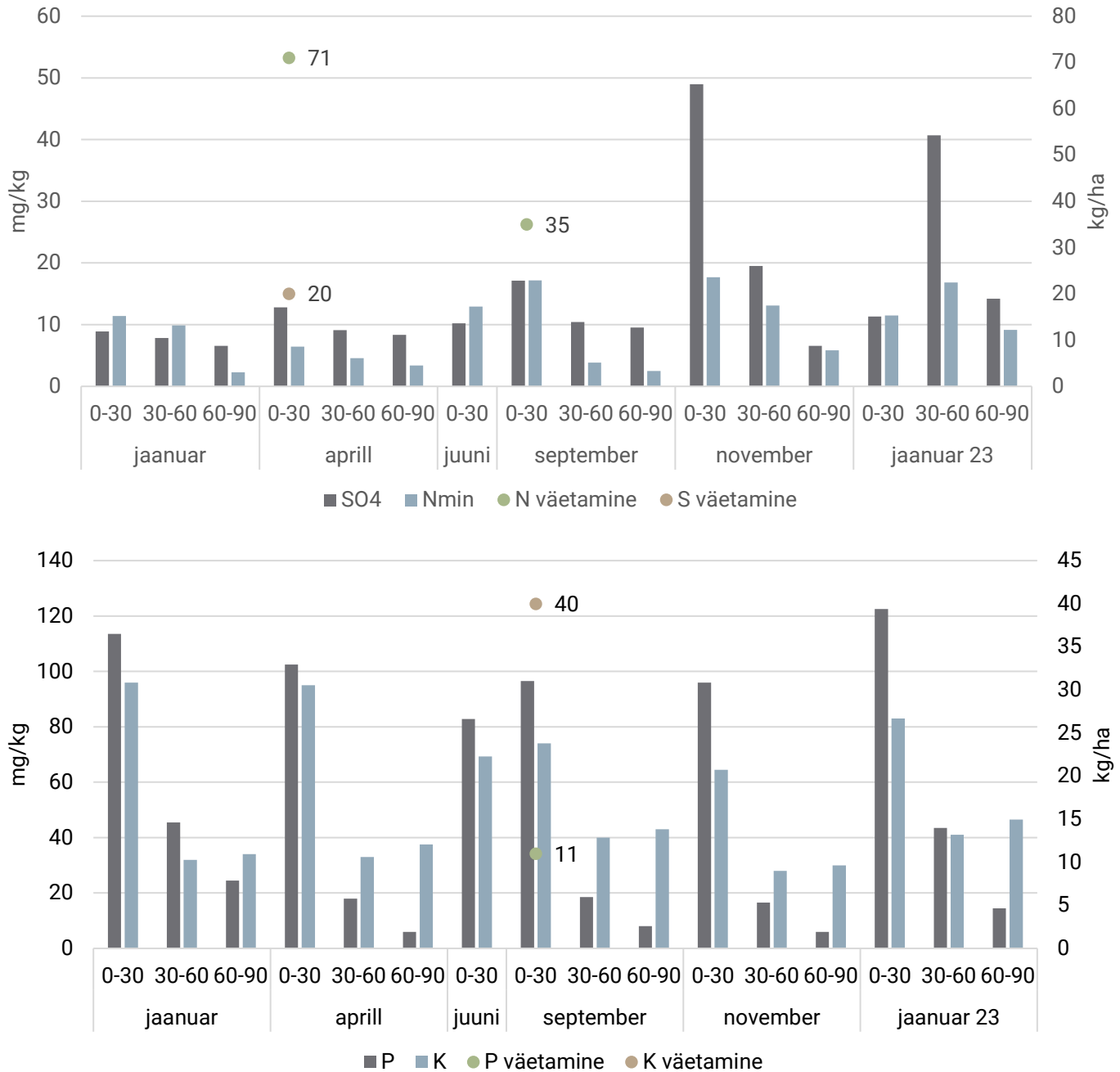
Vastupidiselt Adavere aladele oli esimestel aastatel K liikuvus mullas pigem väike, kuid kahel viimasel aastal on alumiste kihtide näitaja suurenenud sügisperioodil oluliselt, kusjuures baastase langes oluliselt. Selle põhjuseks oli põllul kasvatatud timut kui väga hea K tarbija ühelt poolt ning valdavalt sügisene väetamine teiselt poolt. Sellisel juhul toimub märkimisväärne K liikumine alimistesse mullakihtidesse sügistasvisel perioodil ning ülemise kihi K-sisaldus langeb oluliselt. Eriti suur oli liikuvus 2022. aastal, kui ühel põllul kasutati oktoobri lõpus väetisena digestaati. Aastate keskmisena moodustas alumiste

kihtide K-sisalduse suurenemine ca 25% baastaseme K-sisaldusest ülemises mullakihis ning veidi rohkem liikus K kõige sügavamas kihis 60-90 cm.

2019. aastal alustasime ja käesoleval aastal jätkasime sarnast uuringut Harjumaal Haljava uurimisalal. 2022. a saagiks lisati mulda talinisule mineraalset lämmastikku mineraalväetistega kevadel normiga 71 kg/ha (lisaks varakevadel vedelväetisega 32 kg/ha) ning väävlit aprillis normiga 20 kg/ha. Augusti keskel kasutati talivilja eelselt orgaanilise väetisena reoveesetet 5 t/ha (N35P11K40), kuid kahjuks puuduvad andmed selle materjali vääveli sisalduse kohta.

Väävli sisaldus mulla ülemises kihis vähenes veidi perioodil aprill-juuni, kuid sügisperioodil suurenes ca 2,8 korda (Joonis 9). Kuigi väävlit ei lisatud, siis septembriks ülemises kihis näitaja veidi suurenes ja ilmselt on see tingitud koristusjärgsest mineralisatsioonist tulenevast muutusest. Novembriks kasvas S-sisaldus suhteliselt palju ja selle põhjuseks oli ilmselt väetamiseks kasutatud reoveesettes leiduv väävel, kuid kahjuks pole andmeid vääveli sisaldusest settes. Olulised muutused toimusid jaanuariks, kus ülemise kihi sisaldus langes tavalisele tasemele, kuid oluliselt suurenes keskmise ja alumise kihi S-sisaldus. Seega liikus mulla ülemises kihis sisalduv väävel sügisperioodil kiiresti alumistesse kihtidesse ja ilmselt suudab ka külvatud taliraps teatud osa omastada ning arvestades liikunud S kogust, siis oli reoveesettes suhteliselt suur kogus väävlit.

Ülemises kihis oli perioodil aprill-juuni Nmin sisaldus mullas suurenenud ca 2 korda ning mõõdukas tõus jätkus kuni augusti lõpuni settest pärit lämmastiku lagunemisega seoses. Sama tase säilis novembrini, kuid langes seejärel jaanuariks. 35 kg/ha mulda lisatud lämmastik peaks suurendama ülemise kihi Nmin sisaldust oluliselt, kuid tegelikult sellest muutust ei toimu. Põhjuseks on ilmselt talirapsi poolt aktiivne Nmin tarbimine ja teisalt suhteliselt aeglane mineraliseerumine settest. Kuni septembrini oli alumiste kihtide sisaldus minimaalne ehk Nmin liikumist mulla alumistesse kihtidesse ei toimu, kuid novembris ja jaanuaris suurenes mõlema kihi Nmin sisaldus. Kuna sel perioodil aktiivset vegetatsiooni enam ei toimu, siis liigub vabanev Nmin mullaprofiilis allapoole, kuid kogused on suhteliselt väikesed.



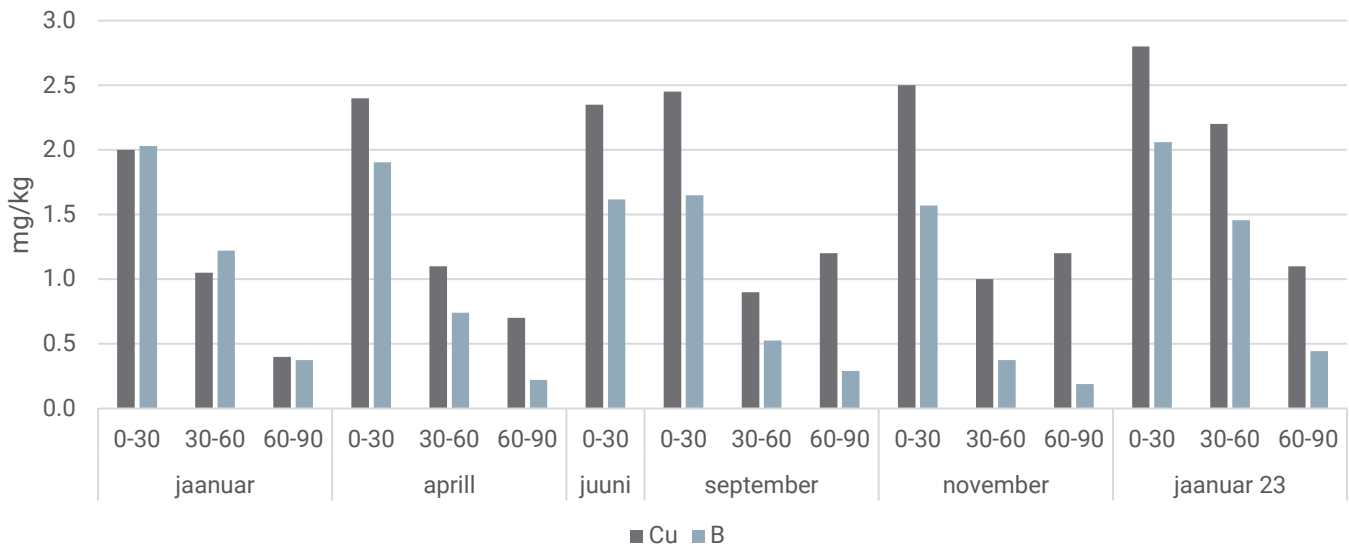
Joonis 10. Haljava seireala väetamine ja erinevate mullakihtide mineraalse lämmastiku ning väevli (ülemine joonis), liikuva fosfori ja kaaliumi (alumine joonis) sisaldus ja dünaamika perioodil 2022-2023

Väetistega lisati mulda fosforit enne talirapsi külvamist reoveesetega ca 11 kg/ha ning liikuva P sisaldus mulla ülemises kihis oli üldiselt kõrge ja mulla varustatus fosforiga seega väga hea. Juuniks toimus pidev P-sisalduse langus ülemises kihis, kuid väetamise järgselt näitaja tõusis veidi. Novembriks oli sisaldus stabiilne, kuid detsembriks tõusis ca 20 mg/kg võrra ja põhjuseks taaskord settega lisatud P ning teisalt vegetatsiooni lõpp, mil taimed enam toiteelemente ei vajanud. Perioodi lõpuks oli P-sisaldus veidi kõrgem kui eelmisel aastal samal ajal ehk üldine P-sisaldus ülemises kihis ei ole langenud. Alumistes kihtides on märgata olulisemaid muutusi vaid perioodil november-jaanuar, mille jooksul suurenesid nii keskmise kui alumise kihi liikuva P sisaldused enam kui 2 korda saavutades pea sama taseme mis aasta tagasi. Mullas oleva liikuva K dünaamika oli sarnane fosforile ja perioodi lõpuks suurenes K-sisaldus mullas tänu sette

mineraliseerumisele. Kuna ülemise mullakihi K-sisaldus oli suhteliselt madal, siis kaalium liikus alumistesse kihtidesse vähem kui fosforit. Siiski suurenes veidi perioodil november-jaanuar liikuva K sisaldus nii keskmises kui alumises kihis.

Kuna käesoleval aastal kasutati orgaanilise väetisena reoveeset, siis vaatleme kahe mikrolemendi sisaldust mullas ja nende dünaamikat (Joonis 10). Vase sisaldus mulla ülemises kihis on suhteliselt kõrge ja ülemises kihis suure perioodi lõpuks 1,4 korda. Kuigi vahetult peale sette lisamist Cu-sisalduse suurenemist ei toimu, siis jaanuariks Cu sisaldus siiski tõuseb veidi. Keskmises kihis oli kogu vaadeldud perioodi jooksul Cu-sisaldus küllaltki stabiilne, kuid jaanuariks suurenes võrreldes novembriga ca 2 korda. Järelikult sisaldab sete märkimisväärses koguses vaske. Täpselt sama kehtib ka boori puhul, perioodil november-jaanuar suurenes B sisaldus kõikides kihtides, kuid nii keskmises kui alumises kihis oluliselt rohkem kui vase puhul. Seega leidub reoveesettes märkimisväärses koguses ka boori.

Reoveesette kasutamine suurendab mulla Cu ja B sisaldust.



Joonis 11. Haljava seireala erinevate mullakihtide liikuva vase ja boori sisaldus ja dünaamika perioodil 2022-2023

## Kokkuvõte

- 2022. aasta saagile kasutati NTA alal paiknevate Adavere seirepõldude väetamiseks keskmiselt 142 kg/ha, Tartu ala põldudele 95 kg/ha lämmastikku. Väetamise tase oli Adavere aladel kõrgem ja Tartu aladel madalam aastate keskmisest tasemest
- Aastate keskmisena suurenes Nmin sisaldus nii Adavere kui Tartu alade alumises mullakihis sügisperioodil 1,7 korda. Käesoleval aastal vastav näitaja Tartu aladel hoopis vähenes
- Sügisperioodil vähenes Adavere aladel mineraalse lämmastiku kogus ülemises mullakihis leostumise ja omastamise tulemusena 28 kg/ha, mille tagajärjel suurenes keskmises kihis Nmin kogus 5 kg/ha võrra ja alumises mullakihis 7 kg/ha võrra
- Viie aasta keskmisena oli detsembriks Tartu aladel kogunenud keskmisesse ja alumisse mullakihti kokku 111 kg/ha mineraalset lämmastikku
- Tartu alade alumises kihis suureneb liikuva P sisaldus sügisperioodil keskmisena 1,86 korda, vegetatsiooni jooksul väheneb ca 1,5 korda
- Digestaadist pärit K liigub alumistesse kihtidesse väga kiiresti ja suures koguses, alumiste kihtide K-sisaldus suureneb sügisperioodil kuni 5 korda

- Raskema lõimise ja kõrge väetusfooniga on alumistes mullakihtidest Nmin sisaldus suurem kui ülemises mullakihis
- Sügisel mulda lisatud väävel liigub kiiresti alumistesse mullakihtidesse ja ei mõjuta mulla väävlisisaldust
- Madala K-sisaldusega muldades ei toimu märkimisväärset muutust sügavamates mullakihtides ning peamiselt toimub K leostumine kõrge K-sisaldusega muldades suhteliselt kõrgel väetusfoonil. Leostumine toimub peamiselt talveperioodil, vähemal määral ka sügisperioodil
- Väävli sisaldus on oluliselt kõrgem orgaanikarikkas mullas ning seal toimub ka selle leostumine suuremal määral.
- Alumistes mullakihtides akumulereub 18-30% ülemise kihi koristusjärgsest Nmin sisaldusest
- Reoveesette kasutamine suurendab mulla Cu ja B sisaldust