Taimetoiteelementide bilansid – põllupõhise lämmastiku, fosfori ja kaaliumi bilansikalkulaatori juhendmaterjal

Juhendmaterjal põllumajandustootjale (C10.2)

Tartu 2022

Koostanud:

Alar Astover, Karin Kauer

Eesti Maaülikool, põllumajandus- ja keskkonnainstituut, mullateaduse õppetool

Juhendmaterjal on valminud LIFE IP CleanEST projekti raames, mida rahastavad Euroopa Komisjoni LIFE programm ja Eesti riik. LIFE programmi rahastusleping nr LIFE17 IPE/EE/000007. Aruanne kajastab autori seisukohti ja Euroopa Komisjon ei vastuta sisu kasutamise eest.

Sisukord

Kokkuvõte 4

Summary 5

Краткое описание 6

1. Sissejuhatus ja põhimõisted 8

2. Lämmastikuringe mullas 9

3. Fosforiringe mullas 11

4. Kaaliumiringe mullas 12

5. Taimetoiteelementide bilansid 13

6. Põllupõhise NPK kalkulaatori kasutamine ja tulemuste tõlgendamine 16

7. Tulemused ja nende tõlgendamine 18

8. NPK kalkulaatori kasutamise näited konkreetsetel tootmispõldudel 20

Kokkuvõte

Käesoleva juhendmaterjalis käsitletakse põllumajanduses olulisemate makroelementide lämmastiku (N), fosfori (P) ja kaaliumi (K) ringe ja bilansiarvestusega seotud aspekte. Nende elementide piisavas koguses, sobivas vormis ja õigel ajal kättesaadavus taimedele ja mullaelustikule määrab põllukultuuride saagikuse, samas võib nende liigne ülekõllus viia kadudeni kas vette või õhku. Bilansi ülekõllus on kaudne näitaja suurenenud toitainete kadude riskist ning pikaajaline puudus pärsib saaki ning mullaviljakust. Põllu tasandi toiteelementide bilansitulemusi saab kasutada väetamise optimeerimiseks, tootmise tõhususe ja võimalike keskkonnamõjude hinnanguteks.

Käesolevas juhendmaterjalis antakse lühiülevaade põllupõhise NPK kalkulaatori kasutamiseks ning tulemuste tõlgendamiseks. Kalkulaator annab toiteelementide kaupa järgmised vastused: sisendid kokku (kg/ha), väljundid kokku (kg/ha), lihtsustatud üldbilanss (kg/ha), kvalitatiivne hinnang bilansiväärtusele.

Tulemused sõltuvad kasvatatavast kultuurist, saagikusest ja väetamisest. Kalkulaatorit saab hetkel kasutada enamlevinud põllukultuuride, heintaimede ning köögiviljade jaoks. Kalkulaator töötab MS Excel tabelarvutusprogrammis. Kasutajal on võimalik kõiki saagi ja väetiste keemilise koostise vaikeväärtusi ise muuta.

Kvalitatiivsed hinnangud bilansi tulemustele annab kalkulaator mulla väetistarvet ja toiteelemendi tagastamise osakaalu arvestades. Mõõdukas defitsiit ja ülekõllus võib olla jätkusuutlik nii keskkonna, mullaviljakuse kui ka tasuvuse vaates ning sisukamad järeldused saab teha enamasti saab teha mitme aasta, nt külvikorra keskmisena.

Summary

This guideline addresses the aspects of cycles and balance calculation specifics of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K), the most important macronutrients in agriculture. The availability of these elements in sufficient quantities, in a suitable form and in a synchrony for plant needs and soil biota determines the yield of crops, while their surplus can lead to losses in either water or air. Balance surplus is an indirect indicator of increased risk of nutrient losses, and long-term shortages hamper yields and soil fertility. Field-level nutrient balance results can be used to optimize fertilization, assess production efficiency and potential environmental impacts.

This guide provides a brief overview on using the field-based NPK calculator and interpreting the results. The calculator gives the following answers by nutrients: total inputs (kg/ha), total outputs (kg/ha), simplified general balance (kg/ha), qualitative estimate of the balance value.

The results depend on the crop, the yield and the fertilization. The calculator is currently available for the most common crops, grasses and vegetables. The calculator works in MS Excel spreadsheet program. The user can change all default values for the chemical composition of the crop and fertilizers.

Qualitative estimates of the balance results are given by the calculator taking into account the soil nutrient status and the proportion of nutrient returns. Moderate deficit and surplus can be sustainable in terms of the environment, soil fertility and profitability, and more meaningful conclusions can usually be drawn as an average over several years, eg crop rotation.

Краткое описание

Инструкция по использованию агрохимического калькулятора NPK для расчёта баланса азота, фосфора и калия

Руководство для производителя сельскохозяйственной продукции (C10.2)

В данном руководстве рассматриваются основные аспекты, связанные с расчетом циклов и баланса важнейших для сельскохозяйственной деятельности макроэлементов, азота (N), фосфора (P) и калия (K). Присутствие данных элементов в достаточном количестве, подходящей форме, а также их доступность растениям и почвенному покрову в нужное время определяют урожайность сельскохозяйственных культур, в то время как чрезмерное количество может привести к ненужной потере этих элементов путем их вымывания водой или испарения в воздух. Нарушение баланса и присутствие излишка макроэлементов косвенно свидетельствует о повышении риска их потери, что в дальнейшем приведёт к снижению урожайности и ухудшению плодородности почвы. Результаты расчёта баланса питательных элементов для конкретного сельскохозяйственного объекта могут быть использованы для оптимизации процесса внесения удобрений, повышения производительности и оценки возможного влияния сельскохозяйственной деятельности на окружающую среду.

Данное руководство представляет собой краткий обзор использования и интерпретации результатов калькулятора NPK для конкретного сельскохозяйственного объекта. Калькулятор по каждому питательному элементу проводит следующие расчеты: общие исходные данные (кг/ га), общие выходные данные (кг/ га), упрощённый общий баланс количества элементов (кг/ га), качественная оценка показателей.

Результаты зависят от выращиваемой культуры, урожайности и количества внесённых удобрений. Данный калькулятор можно использовать для большинства сельскохозяйственных культур, кормовых трав и овощей. Калькулятор работает с использованием компьютерной программы для обработки таблиц MS Excel. Пользователь может изменять исходные данные о химическом составе сельскохозяйственной культуры и удобрений.

Калькулятор рассчитывает и даёт качественную оценку результатам баланса с учетом уровня потребления почвой удобрений и количества питательных веществ, вернувшихся в неё. Умеренный

дефицит или избыток питательных веществ в почве может быть обоснован с точки зрения охраны окружающей среды, плодородности почвы, а также прибыльности сельскохозяйственной деятельности. Какие-либо серьёзные выводы можно делать только по прошествии нескольких лет, рассчитывая средний показатель по результатам нескольких посевов.

1. Sissejuhatus ja põhimõisted

Elutegevuse toimimiseks on hädavajalikud mitmed keemilised elemendid, mille vood ja tasakaal on võtmetähtsusega ökosüsteemi toimekuse ja seisundi kujunemisel. Nende elementide piisavas koguses, sobivas vormis ja õigel ajal kättesaadavus taimedele ja mullaelustikule määrab suuresti põllukultuuride saagikuse, samas võib nende liigne ülekällus viia kadudeni kas vette või õhku. Veekaitse vaates loetakse kõige olulisemaks lämmastiku (N) ja fosfori (P) üle arvepidamist, ent kestliku põllumajanduse vaates on tähtsad ka paljud teised elemendid. Käesolevas juhendmaterjalis käsitletakse põllumajanduses ja eelkõige taimekasvu jaoks olulisemate makroelementide N, P ja kaaliumi (K) ringe ja bilansiarvestusega seotud aspekte. Bilansiarvutuse tulemusi saab kasutada väetamise optimeerimiseks, tootmise tõhususe ja võimaliku keskkonnamõju hinnanguteks.

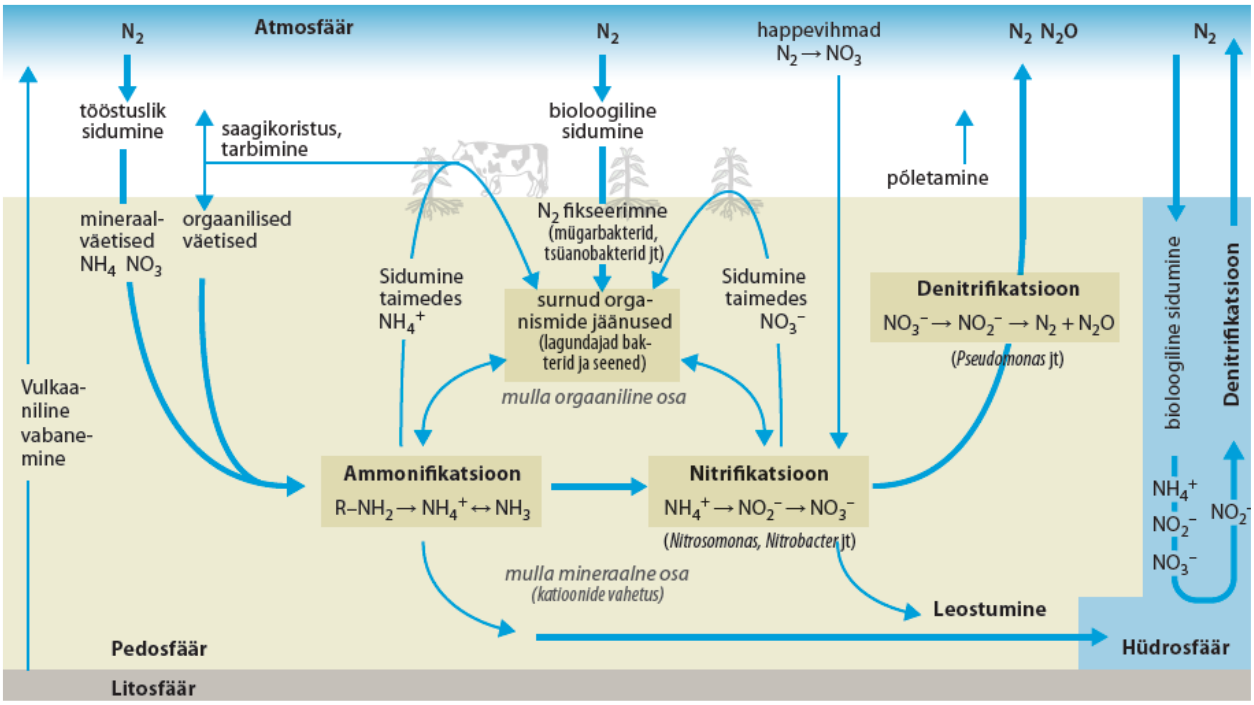
Taimetoiteelementideks nimetatakse keemilisi elemente, mis on vajalikud taime kasvamiseks ja arenemiseks ning millest ühtegi ei ole talle omaste funktsioonide tõttu võimalik asendada mõne teise keemilise elemendiga.

Taimetoitained on ioonid või molekulid, millena taim neid elemente omastab. Mittemineraalseid elemente (H, C, O) omastab taim veest ja süsihappegaasist. Mineraalseid elemente saab taim peamiselt mullast lahustunud ioonide kujul – anioonidena (nt NO_3^-, $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}) või katioonidena (nt NH_4^+, K^+). Ka toitainete leostumine läbi mulla leiab aset samal kujul olevate lahustunud ioonidena või osaliselt ka tahkete osakeste koostises.

Bilanss on arvutuslik näitaja, mis leitakse ajas ja ruumis kokkulepitud süsteemi piires konkreetse elemendi sisendite ja väljundite vahena. Kui toiteelementide arvestuse aja osas on metoodikad enamasti sarnased (aluseks on kas kalendriaasta või kultuurtaime kasvatamise tsükli kestvus), siis olulised erinevused võivad sesinada selles, et mis sisendid ja väljundid arvesse võetakse ning kas süsteemi piiriks on näiteks riik, piirkond, ettevõte või üksik põld.

2. Lämmastikuringe mullas

Looduses toimub pidev lämmastikuühendite muundumine ja ringe (joonis 1). See ringe on üsna keerukas, sest N võib esineda ka mitmetes gaasilistes vormides. Kõige suuremad N-varud on atmosfääris, mis koosneb ca 78% ulatuses molekulaarsest lämmastikust (N_2). Sellest tulenevalt on globaalne N-varu põhimõtteliselt lõpmatu, ent sellest hoolimata peab hoolikas olema selle ringe tasakaalus hoidmisel, sest looduslike protsesside ja inimtegevuse koostoimel võivad teatud N-vormide liigsed vood halvendada veekeskkonna või atmosfääri kvaliteeti. Muld-taim süsteemi satub N atmosfäärist kas sademetega (meie tingimustes 4–7 kg N/ha aastas), mulla mikroorganismide vahendusel, orgaaniliste väetistega või tööstuslikult toodetud mineraalväetiste N kaudu. Kuna kõik elusorganismid ja nende jäänused sisaldavad lämmastikku, siis loomulikult on ka kõigil orgaanilistel väetistel ülimalt suur roll maismaa N-ringe kujunemisel.



Joonis 1. Lämmastikuringe mullas.

Mulla lämmastiku üldvaru võib olla üsna suur, ent valdavalt on see orgaanilise aine koostises ning sealt lagunemise käigus vabanev taimedele omastava ammoonium- (NH_4^+) või nitraatiooni (NO_3^-) osakaal on väike (<1–2% aastas). Need on peamised vormid, kuidas taimed lämmastikku mullast omastavad. Väheses

koguses võivad taimed juurte kaudu omastada ka lahustunud aminohappeid. Elusorganismides ongi lämmastik peamiselt valkude (aminohapete) koostises.

Mullas toimub orgaanilise aine muundumine mullaelustiku osalusel ja lämmastiku vabanemist reguleerivad peamiselt bakterid. Orgaanilisest ainest N mineraliseerumise esimene etapp on **ammonifikatsioon** (NH_4^+ teke). Vabanenud NH_4^+ on toiduks taimedele ja mikroorganismidele, osa sellest seotakse mulla tahke osaga (mulla kolloidide pinnal, mis on valdavalt negatiivse laenguga ja suudavad teha asendusneeldumist katioonidega). Tänu asendusneeldumise võimele mulla tahkes osas pole ammooniumioon mullas väga liikuv ning selle kadu leostumise kaudu on enamasti tühine. Küll saab selle kadu mullast toimuda tahkete osakeste ärakande teel (**erosioon**). Elusorganismide või mulla kolloidide poolt sidumata ammoonium muundatakse soodsates tingimustes nitrifitseerivate bakterite poolt kiiresti nitraatiooniks – seda mulla N mineraliseerumise teist etappi nimetatakse **nitrifikatsiooniks** (NO_3^- vabanemine). Kuna kolloidi pindadel NO_3^- ei neeldu, siis liigub elusorganismide poolt tarbimata jäänud osa veega kaasa ning sellest tulenevalt on nitraatioon tundlik **leostumise** (lahustunud ühendite veretikaalne ärakanne mullast läbi nõrguva veega) suhtes. Sellest tulenevalt on ülimalt oluline, et väetiste kasutus ja mulla majandamine laiemalt tagaks nitraatiooni vabanemise sünkroonsuse tarbijate, st taimede ja mullaelustiku vajadusega. Väljakutse on selles, et märkimisväärne nitrifikatsioon võib toimuda aegadel, kus taimekasv ja N tarbimine on tagasihoidlik (sügis-talv-kevad periood). Kuna N vabanemine toimub ka mullaomasest orgaanilisest ainest, siis teatud ulatuses on leostumine paratamatu ka looduslikel aladel. Põllumajandusmaal peab olema eriti hoolas, et täiendavad vood nii mineraal- kui ka orgaaniliste väetiste kasutamisest, ei põhjustaks ülemäärast N vabanemist ajal, mil aktiivset taimekasvu ei toimu.

Liigniisketes tingimustes võib aset leida **denitrifikatsioon**, kus nitraatioon muundatakse taas molekulaarseks lämmastikuks (N_2) või dilämmastikoksiidiks (N_2O, väga tugev kasvuhoonegaas). Seega lämmastiku kaod võivad esineda ka lendumise teel. Lisaks võib oluline lämmastikukadu aset leida orgaaniliste väetiste käitlemisel enne mulda viimist, seda eelkõige vedelsõnnikust ammoniaagi (NH_3) lendumise kaudu.

Mitmekesised võimalused lämmastiku kadudeks teevad raskeks bilansi ülekülluse üks-ühele seostamise leostumisega. Samuti on vaja arvestada, et kõik lämmastiku muundumise protsessid on määratud spetsiifiliste mulla mikroorganismide toimekusega ja see sõltub omakorda paljudest teguritest (mulla niiskus- ja õhurežiim, temperatuur, pH jne). Toitainete kadude võimalus veekeskkonda sõltub veel olulisel määral järgmistest teguritest:

- *Põllu ja mulla omadused*. Õhukese pinnakattega, kerge lõimisega, kivistel ja kõrge põhjaveetasemega muldadel on suurem risk leostumiseks. Toiteainerikastel muldadel on suurem mullaomane N, P jt elementide varu, millest toimub samuti mineralisatsioon, mis loob bilansi ülekülluse korral suurendatud riski kadudeks.

- *Ilmastikutingimused*. Peamiselt sademete hulk ja jaotus. Leostumine saab toimuda perioodidel, mil sademete hulk on suurem kui aurumine ja omastamine taimede poolt – Eestis peamiselt ajavahemikus septembrist aprillini. Ilma taimkatteta mullal võivad intensiivsed sademed põhjustada erosiooni.

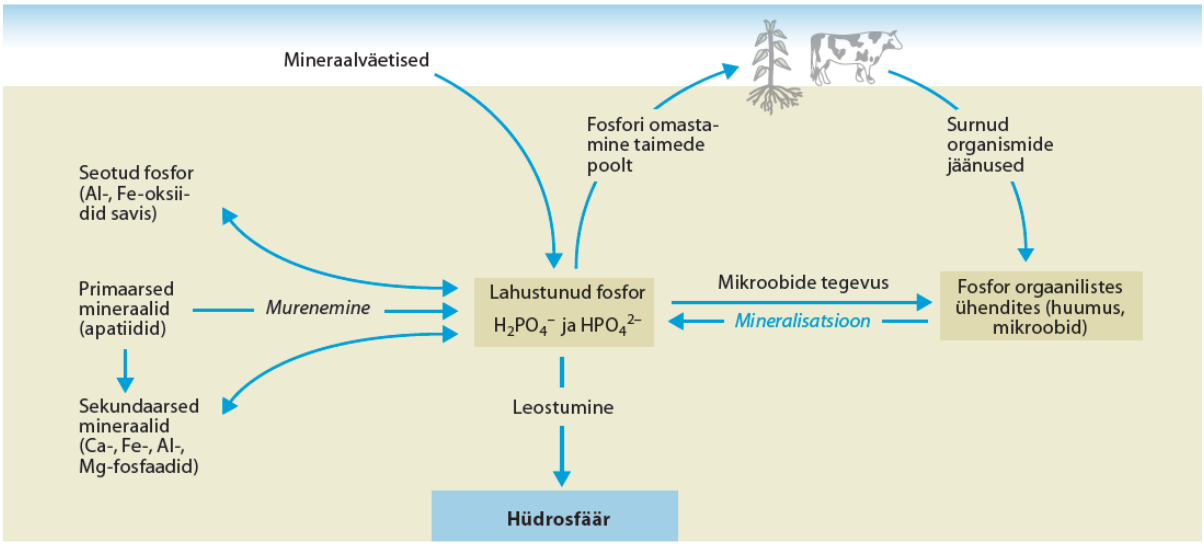
- *Väetiste omadused*. Mineraalväetistes on lämmastik valdavalt juba kergesti omastatavates vormides ning piisava mullaniiskuse korral on võimalik saavutada hea sünkroonsus taime vajadustega. Orgaaniliste väetiste omadused võivad olla väga erinevad nii toitainete sisalduse kui ka nende vormide osas. Üldiselt on vedelsõnniku kasutamine seotud suurema riskiga N kadudeks veekeskkonda kui tahesõnnikud või stabiliseerunud kompostid.

- *Taimejäänuste majandamine*. Põhu ja haljasväetiste majandamise kaudu saab olulisel määral mõjutada mulla N-ringet. Süsinikurikka materjali (nt põhk) lagundamine on aeganõudvam ja selle käigus seovad bakterid mullast rohkem lämmastikku kui seda samaaegselt vabaneb, nii on teatud ulatuses võimalik vähendada N-bilansi liiast tulenevat leostumise riski. Lämmastikurikka materjali puhul (nt liblikõielised haljasväetisena) on lagunemine kiirem ja lämmastikku vabaneb rohkem kui bakterid seda enda tarbeks vajavad ning sel juhul on oluline leostumise vähendamiseks tagada sünkroonsus taime vajadustega.

3. Fosforiringe mullas

Võrreldes lämmastikuga on fosforiringe lihtsam, sest selles puudub gaasiline faas (joonis 2). Fosfor on elusorganismidele hädavajalik element. Selle ressursid on piiratud ja pärinevad algselt maakoore mineraalsest osast. Enamikes muldades on suurem osa P üldvarust seotud mulla mineraalse osaga (60–80%) ja orgaanilise ainega (20–40%). Lahustunud ühenditena leidub fosforit väga vähe, sest elusorganismide poolt omastamata jääv lahustunud P seotakse tugevasti kas keemiliselt või füüsikalis-keemiliselt mulla tahke osaga. Ka suurem osa mineraalväetistega mulda viidud fosforist seotakse kiiresti ja tugevasti. Seetõttu on P mullas väga vähe liikuv ning kaod leostumise teel on enamasti väiksed. Mulla P sidumisvõimel on omad piirid, seega P-rikastel muldadel võib bilansi oluline üleküllus suurendada kadusid.

Eriti tähelepanelik peab olema väikese P sidumisvõime ning kõrge põhjaveetasemega liivmuldadel ja turvasmuldadel. P suuremad kaod võivad aset leida tahkete osakeste pinnalt ärakande ehk erosioonina. Vee-erosioon saab aset leida eelõige taimkatteta mullal, mis on kallaklikul alal ja/või vähese vee läbilaskvusega (tihenenud mullad, savised mullad). Savimullas võivad kuivades tekkida praod, mille kaudu võib intensiivsete sademete korral aset leida tahkete osakeste ja sh P ärakanne läbi mulla.



Joonis 2. Fosforiringe mullas.

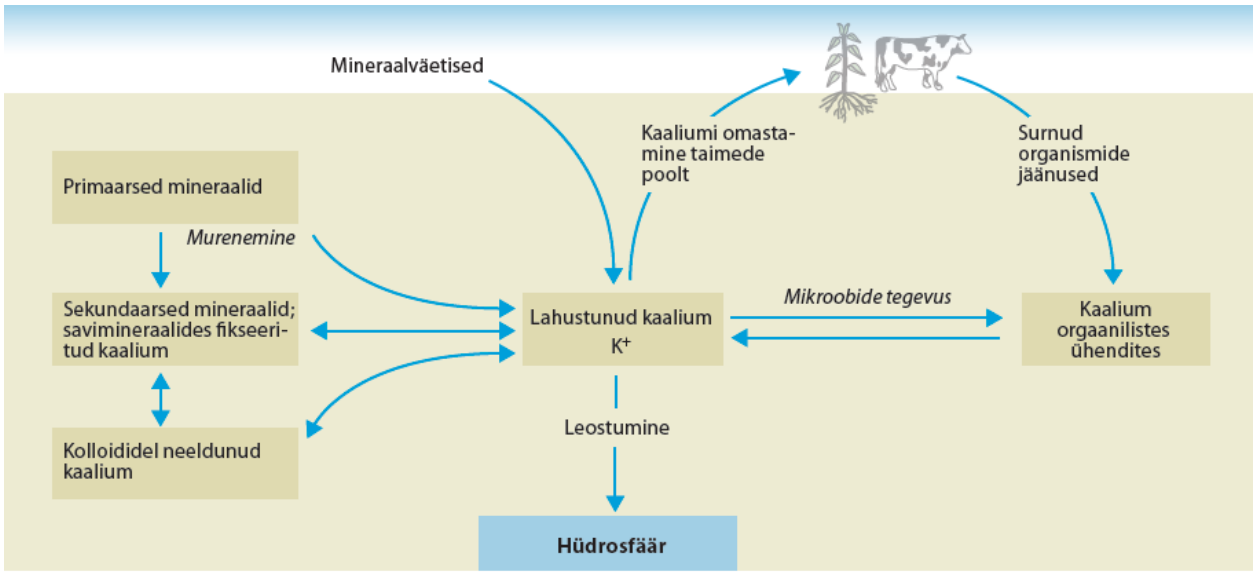
Taimedele omastava P osa määramiseks on kasutusel väga mitmeid analüüsimeetodeid, seetõttu on oluline kasutada konkreetsele meetodile kohandatud väetistarbe gradatsiooni. Arvestama peab, et suure taimede poolt omastatava P-sisalduse korral ei pruugi väetiste kasutamine agronoomiliselt ega majanduslikult tõhus olla ning pikaajalist suurt bilansi ülekülluslust tuleks vältida.

4. Kaaliumiringe mullas

Kaaliumiringe on võrdlemisi lihtne – sel puudub gaasiline faas ning seda ei seota mullas nii tugevasti kui fosforit. Kuna kaaliumil pole soovimatuid mõjusid õhu ja vee kvaliteedile, siis ei loeta seda keskkonda ohustavaks. Küll on aga K ülimalt oluline elusorganismide ainevahetuses ning selle tasakaal mullas määrab ära taimekasvatuse tõhususe. Kaaliumiga varustatus aitab suurendada ka N, P jt toitelementide omastamist ning seeläbi vähendada keskkonna suhtes tundlike ainete kadusid.

Mulla kaalium pärineb valdavalt mulla mineraalsest osast (joonis 3). K üldvaru võib mullas olla üsna suur, ent lahustunud kujul kaaliumioonina (K^+), st ka taimede poolt omastaval kujul on sellest siiski väike osa.

Katioonina saab toimuda K asendusneeldumine mulla tahke osa kolloididel. Enamikel muldadel on võimekus K küllalt hästi siduda ja seetõttu ei ole leostumise risk väga suur. Kerge lõimisega ja huumusvaesed mullad on väikse K sidumisvõimega ja neil võib bilansi ülekülluse korral aset leida märkimisväärne leostumine.



Joonis 3. Kaaliumiringe mullas.

5. Taimetoiteelementide bilansid

Praktikas rakendatavat bilansiarvestust on võimalik teha elementide üldkoguste alusel, mis ei kajasta üksühele taimetoitainete seisundit ja liikuvust mullas. See on ka peamine põhjus, miks bilansi ülekülllust ei saa otseselt võrdsustada leostumisega ega bilansi puudujääki lühiajalises vaates võrdsustada mullaviljakuse langusega.

Bilanss leitakse ajas ja ruumis kokkulepitud süsteemi piires konkreetse elemendi sisendite ja väljundite vahena. Arvutusmetoodikad erinevad märkimisväärselt sellest poolest, et mis sisendid ja väljundid arvesse võetakse ning milline on süsteemi ruumiline eristamine (riik, piirkond, ettevõte või üksik põld).

Kaks praktikas enamlevinumat lähenemist taimetoiteelementide bilansside arvestamiseks on järgmised:

- **Taluvärava bilanss** (*farm gate budget*) on arvutus, kus süsteemi piiriks on põllumajandusettevõte. Sisendid (nt ostetud väetised) ja väljundid (nt müüdud toodang) võetakse arvesse kalendriaasta vaates peamiselt raamatupidamislikele andmetele tuginedes.

- **Maa bilanss** (*land budget*) ja **mulla bilanss** (*soil surface budget*) on arvutused, kus süsteemi piiriks on tinglikult põllumajandusmaa või mulla pind. Sellist arvepidamist tehakse riigi/regiooni tasandil (OECD/Eurostat ühine metoodika N ja P bilansi arvestamiseks) ning samu põhimõtteid rakendatakse ka põllu tasemel arvutusteks. Kui P osas on maa ja mulla bilansid võrdväärsed, siis N puhul võib sõltuvalt sõnnikumajanduse arvestuse detailisusest esineda erisusi. Maa bilansi korral võidakse arvestada sõnniku käitlemisel tekkivate N kadudega atmosfääri enne selle mulda viimist. Mulla bilansi korral võetakse sisendina arvesse mulda viidud kogused. Väetiste, sh sõnniku kasutamisega kaasnevast võimalikust hajukoormusest veekogumitele annab kõige parema hinnangu põllu tasandi mulla bilanss.

Täieliku bilansi juures peab arvesse võtma ka kaod, mis võivad aset leida läbi erosiooni, lämmastiku lendumise gaasiliste ühenditena ja leostumise (tabel 1). Kuna nende kadude arvestus on seotud väga suure määramatusega, siis lihtsustatud bilansi puhul neid arvesse ei võeta.

Põllupõhise NPK bilansikalkulaatoris võetakse sisendina arvesse väetiste kasutus ja liblikõieliste kultuuride poolt õhust seotav lämmastik ning väljundina saagiga eemaldamine. Osade põllukultuuride puhul võetakse arvesse ka seemnetega mulda viidud kogused.

Tabel 1. Olulisemad mulla toiteelementide bilansi sisendid ja väljundid ning nende arvestuse määramatus. *Kaldkirjas* on tekkeallikad, mida käesolevas põllupõhises kalkulaatoris ei arvestata.

	Tekkeallikad	Määramatus (suur, keskmine, väike)
Sisendid	Mineraalväetised	Väike
	Orgaanilised väetised:	
	sõnnik	Keskmine
	kompost jms	Keskmine
	loomade väljaheiteid karjatamisel	Suur
	Seemned	Väike/keskmine
	N bioloogiline sidumine õhust (kuni >200 kg N/ha)	Suur
	Sademed (4–7 kg N/ha)	Väike
	Mulla pealekanne	Suur
Väljundid	Saagiga eemaldamine:	
	terad	Väike/keskmine
	põhk	Keskmine/suur
	haljasmass niiteline	Keskmine/suur
	haljasmass karjatamisel	Suur
	Leostumine	Suur
	Lendumine (N kadu õhku)	Suur
	Mulla ärakanne (erosioon)	Suur

6. Põllupõhise NPK kalkulaatori kasutamine ja tulemuste tõlgendamine

Bilansikalkulaatori olemasolev versioon töötab tabelarvutusprogrammiga MS Excel ning selle kasutamisel on vaja lubada makrode kasutamine. Kalkulaator on alla laaditav siit.

Kalkulaator aitab leida N, P ja K lihtsustatud üldbilansi põllu tasandil. Bilansi tulemused sõltuvad kasvatatavast kultuurist, saagikusest ja väetamisest. Kalkulaatorit saab hetkel kasutada enamlevinud põllukultuuride, heintaimede ning köögiviljade jaoks. Tulemustele kvalitatiivse hinnangu saamiseks on vaja sisestada ka mulla andmed.

Kultuuri valik. Kultuurid on jaotatud erinevatesse rühmadesse: teraviljad, muud kultuurid, kaunviljad, heintaimed. Esmalt valitakse lahtri aktiviseerimisel avanevast valikmenüüst kasvatatav kultuur ja sisestatakse selle kasvupind (ha). Testimise eesmärgil võib sisestada nt 1.

Külvisenorm. Osade kultuuride puhul on vaja sisestada külvil-istutusel kasutatud seemnete kogus (kg/ha).

Saagikus. Sisestada tuleb kultuuri koristatav põhisaak (nt nisu terasaagikus kg/ha) või haljasväetistel teha saagitaseme valik (väike, keskmine, suur). Saagid tuleb sisestada standardniiskuse juures – tera- ja kaunviljad 14% niiskust, õlikultuurid 9% niiskust. Heintaimede saak tuleb sisestada vastavalt haljasmassi, märgsilo, närbsilo või kuiva heina kogusena (kg/ha).

Koristatav saagiosa. Valikud on: terad (põllult eemaldatakse ainult terad); terad ja põhk (lisaks teradele eemaldatakse ka põhk); haljasmass (maapealse biomassi tervikkoristus). Heintaimede juures tuleb valida, millena saak koristati (haljasmass, märgsilo, närbsilo, kuivsilo, hein) ja taimiku koristusaegne kasvufaas.

Proteiinisisaldus. Kalkulaator sätestab sõltuvalt kultuurist saagi proteiinisisalduse (st N sisalduse) vaikeväärtusena ise. Kui on täpsemalt teada konkreetse saagi (aasta/põllu) proteiinisisaldus (% kuivaines), siis on võimalik ja otstarbekas seda ise muuta. Kuna saagi proteiinisisaldus võib suurel määral sõltuda väetiste kasutusest, ilmast, sordist jm teguritest, siis vaikeväärtuse asemel tegeliku tulemuse kasutamine annab oluliselt paremini tegelikkusele vastava N bilansi.

Allakülvid. Teravilja allakülvi korral on vaja valida kas allakülvi haljasmass jääb põllule või koristatakse ning valida hinnanguline saagitase (väike, keskmine, suur).

Vahekultuurid liblikõielistega. Kui põhikultuuri järel külvatakse vahekultuure, mille hulgas on ka liblikõielisi, siis tuleb teha valik “jah”. Kui vahekultuuri ei külvatud või oli see ilma liblikõielisteta või kasvanud biomass oli väga väike, siis tuleb teha valik “ei”.

Mulla andmed. Nende andmete alusel eristatakse hinnangud bilansi tulemustele. Vaja on valida mulla lõimiseklass, sisestada orgaanilise süsiniku sisaldus (Corg, %), taimedele omastatava P- ja K-sisaldus (mg/kg, hetkel toimub eristamine Mehlich-3 meetodil määratud sisalduse alusel).

Orgaaniline väetis. Kui põllul orgaanilisi väetisi ei kasutatud tuleb teha valik “ei”. Valiku “jah” korral, tuleb valida sõnnikuliike esmalt eristav loomarühm või muu (nt kompostid vms). Seejärel valida sõnniku tüüp (vedelsõnnik, poolvedelsõnnik jne). Muu orgaanilise väetise puhul valida tüübiks määratlemata. Seejärel sisestada summaarne kasutusnorm (t/ha või m^3/ha). Sõnniku puhul leitakse kuivaine ja toiteelementide sisaldus eelmääratletud vaikeväärtuste abil N, P ja K sisend mulda. Vastavaid vaikeväärtusi on võimalik kasutajal ise muuta – kuivainesisaldust põhiarvutustabelis ning toiteainesisaldusi töölehel „Kasutaja tabelid“. Muu orgaanilise väetise puhul tuleb seal vastavad näitajad ise sisestada.

Mineraalväetiste NPK sisend. Sisestage kultuuri kogu kasvutsükli kohta kasutatud mineraalväetiste N, P ja K summaarne sisend elemendina (kg/ha). Tavaliselt on erinevate väetiste kasutamise summaarne toiteelementide kogus põlluraamatus juba leitud (N ja P osas on see veeseaduse nõuete alusel kohustuslik). P ja K puhul tuleb olla tähelepanelik, et kogused ei oleks esitatud mitte oksiidina (P_2O_5, K_2O), vaid võrdväärselt elemendiks teisendatuna.

Vaikeväärtuste muutmine töölehel „Kasutaja tabelid“. Eelmääratud orgaaniliste väetiste N, P ja K sisaldusi on võimalik kasutajal ise muuta. Kui on olemas konkreetse orgaanilise väetise laboranalüüside tulemused, siis on soovitatav neid andmeid kasutada vaikeväärtuste asemel. Samuti saab ise muuta saagi keemilise koostise näitajaid. Saagi proteiinisisalduse määratlemine võimaldab oluliselt täpsustada N bilanssi. Saagi P- ja K-sisaldused on enamike põllukultuuride puhul üsna stabiilsed, ent vajadusel saab ka neid vaikeväärtuseid korrigeerida.

7. Tulemused ja nende tõlgendamine

Kalkulaator annab toiteelementide kaupa järgmised vastused:

- sisendid kokku (kg/ha),
- väljundid kokku (kg/ha),
- lihtsustatud üldbilanss (kg/ha),
- kvalitatiivne hinnang bilansiväärtusele.

Üksiku aasta ja kultuuri vaates pole võimalik ega peagi olema eesmärk, et bilanss oleks täpselt null. Mõõdukas defitsiit ja üleküllus võib olla jätkusuutlik nii keskkonna, mullaviljakuse kui ka tasuvuse vaates. Mis piires lugeda bilanssi jätkusuutlikuks sõltub kontekstist – suuresti põllu ja mulla omadustest ning väetamise aspektidest (väetise liik, kasutusnormid, ajastus).

Sisukamad järeldused saab teha mitme aasta, nt külvikorra keskmisena. Eriti kehtib see P- ja K-bilansi kohta, kus ühe aasta miinus või üleküllus ei ole veel määrav – üksiku aasta miinus ei tähenda otsekoheselt mullaviljakuse langust ning üleküllusega ei pruugi kaasneda kadude kasvu. N-bilansi liigne üleküllus (>+40–70 kg N/ha) võib anda märku suurenenud riskist lämmastiku kadudeks, seda juhul kui bilansi üleküllus on põhjustatud vedelsõnniku ja/või mineraalväetiste kasutusest ning väetise kasutus ajastus pole piisavalt kooskõlas taime vajadustega.

Käesolevas kalkulaatoris on bilansiväärtustele kvalitatiivsed hinnangud antud mulla väetistarvet ja toiteelemendi tagastamise osakaalu (sisendi suhe väljundisse) arvestades. Mulla lämmastikuga varustatuse klassid moodustati orgaanilise süsiniku sisalduse (C_{org}) alusel (<1%; 1–2,2%; 2,2–3,2%; 3,2–5%; >5%). Väikese C_{org} sisaldusega muld on suurema lämmastikutarbega kui orgaanilise aine rikas muld. Mulla P- ja K-väetistarbe klassid ja sellele vastavad hinnangud lähtuvad Mehlich-3 meetodi gradatsioonist.

Näiteks mullale, mille orgaanilise süsiniku sisaldus on vahemikus 2,2–3,2%, antakse hinnang, et N bilanss on tasakaalus ja majandamine selle näitaja alusel jätkusuutlik, kui tagastamine on võrreldes saagiga eemaldamisega 91 kuni 136%. Kui muld on süsiniku- ja seega ka lämmastikurikkam, loetakse jätkusuutlikuks väiksemat tagastamise üleküllust – mullal C_{org}-sisaldusega >5% on selleks piiriks 116% ning

kui tagastamine on üle 150%, siis antakse hinnang „Väga N-rikkal mullal suur N üleküllus. Vedelsõnniku ja/või mineraalse N kasutamisel suur leostumine oht.“

Kalkulaatorit saab kasutada täiendava vahendina väetamisplaani koostamisel aga ka juba rakendatud viljeluspraktikate jätkusuutlikkuse hindamiseks. Toitelementide defitsiit või võimalik kadu mullast pole mitte ainult ökoloogiline ja agronoomiline probleem, vaid see mõjutab otseselt tootmise tasuvust. Mulda arvestav tasakaalustatud väetamine ja külvikord tagavad pikaajaliselt stabiilse ja võimetekohase saagikuse, vähese keskkonnamõju ning majandusliku efektiivsuse.

8. NPK kalkulaatori kasutamise näited konkreetsetel tootmispõldudel

<u>Näide 1.</u> Segatootja, vedelsõnniku kasutus.

Aastad: 2015–2019. Külvikord: taliraps – talinisu – mais – suvioder – suvinisu. Teraviljapõhk jäeti mulda. Talirapsi, talinisu ja maisi põllul kasutati vedelsõnnikut 30 m^3/ha. Mulla andmed: C_{org} 2,9 %; P 227 mg/kg; K 534 mg/kg; keskmine liivsavi lõimis.

Tulemused. Keskmisena olid kõigi elementide bilansid positiivsed. Talirapsi ja talinisu põllul anti lisaks vedelsõnnikule oluline kogus N ka mineraalväetistega. Neil aastatel jäi N bilanss oluliselt ülekõllusse, mis võis suurendada kadude riski. Kuna tegu on toitelementidega hästi või isegi väga hästi varustatud mullaga, siis nii tasuvuse kui ka keskkonnahoiu vaates võiks kaaluda vedelsõnniku kasutuse aastatel vähendada mineraalväetiste kasutust.

www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

																				Keskmine				
																				54	10	17		
Arvuta rida		Lisa	Kustuta	Puhasta rida			Saak			Mineraalväetiste NPK sisend			Sisendid kokku (kg/ha)			Eemaldamine kokku (kg/ha)			Bilanss (kg/ha)			Hinnangud bilansi tulemusele		
Põllu number	Põllu nimi	Põllu-massiiv	Kultuur	Pind (ha)	Aasta	Saagikus (kg/ha)	Koristatav saagiosa	Proteiini % kuivaines	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	
Teraviljad																								
			talinisu	20,5	2016	5800	terad	14,7	144	0	0	291,3	37,5	123,9	117,2	20,9	27,3	174	17	97	Keskmise N-tarbega mullal suur N ülekõllus. Vedelsõnniku ja/või mineraalse N kasutamisel võib suureneda leostumine.	Väga suure P-sisaldusega mullal positiivne bilanss. Lähe P-väetiste kasutus nii keskkonna kui ka tasuvuse vaates.	Vä ka
			suvioder	20,5	2018	3800	terad	13,2	50	3	0	54,5	3,9	1,3	68,8	13,3	19,0	-14	-9	-18	Lämmastikuga hästi varustatud mullal negatiivne bilanss. Saagi moodustumine mulla orgaanilise aine N arvelt.	Väga suure P-sisaldusega mullal tugevasti negatiivne bilanss. Lühiajaliselt aktsepteeritav, pikemas perspektiivis mulla P-varu vähenemine.	Oj jät
			suvinisu	20,5	2019	3500	terad	14,7	39	0	0	44,1	0,9	1,2	70,7	12,6	16,5	-27	-12	-15	Keskmise N-tarbega mullal tugevasti negatiivne bilanss. Saagi moodustumine mulla orgaanilise aine N arvelt.	Väga suure P-sisaldusega mullal tugevasti negatiivne bilanss. Lühiajaliselt aktsepteeritav, pikemas perspektiivis mulla P-varu vähenemine.	Vä ak
Muud																								
			taliraps	20,5	2015	4400	terad	24,1	157	23	0	299,3	59,6	122,7	154,4	31,7	34,3	145	28	88	Keskmise N-tarbega mullal suur N ülekõllus. Vedelsõnniku ja/või mineraalse N kasutamisel võib suureneda leostumine.	Väga suure P-sisaldusega mullal positiivne bilanss. Lähe P-väetiste kasutus nii keskkonna kui ka tasuvuse vaates.	Vä ka
			mais	20,5	2017	50000	haljasmass		46	27	0	188,2	63,8	122,9	195,0	35,0	190,0	-7	29	-67	Keskmise N-tarbega mullal tasakaalus bilanss. Oled jätkusuutlik.	Väga suure P-sisaldusega mullal positiivne bilanss. Lähe P-väetiste kasutus nii keskkonna kui ka tasuvuse vaates.	Vä pe

Näide 2. Segatootja,vedelsõnniku kasutus.

Aastad: 2015–2020. Külvikord: talinisu – suvioder – talinisu – põlduba – taliraps – talinisu. Põhk jäeti mulda. Talinisul kasutati vedelsõnnikut – 2017.a. 20 m^3/ha ja 2020.a. 15 m^3/ha. Mulla andmed: C_{org} 2,0 %; P 156 mg/kg; K 179 mg/kg; saviliiv lõimis.

Tulemused. Aastate keskmisena oli N bilanss mõõdukalt positiivne (+22 kg N/ha) ja leostumise riski võib lugeda väikseks ka vedelsõnnikut saanud põldudel. Tootja on vedelsõnniku kasutamisel asjatundlikult vähendanud mineraalväetisega antud lämmastikukogust. P-bilanss oli väheses miinuses, mis on kõrget mulla P-sisalduse taset arvestades aktsepteeritav. K-bilanss oli mõõdukalt positiivne, mis võimaldab hoida mulla väga head K-sisalduse taset.

www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

																		Keskmine				
																		22	-3	24		
Arvuta rida		Lisa	Kustuta	Puhasta rida			Saak			Mineraalväetiste NPK sisend			Sisendid kokku (kg/ha)			Eemaldamine kokku (kg/ha)			Bilanss (kg/ha)			Hinnangud bilansi tulemusele	
Põllu number	Põllu nimi	Põllu-massiiv	Kultuur	Pind (ha)	Aasta	Saagikus (kg/ha)	Koristatav saagiosa	Proteiini % kuiv-aines	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P
Teraviljad																						
			talinisu	10,66	2015	5500	terad	14,7	127	0	0	130,8	0,7	0,9	111,1	19,8	25,9	20	-19	-25	Suure N-tarbega mullal tasakaalus bilanss. Oled jätkusuutlik.	Väga suure P-sisaldusega mullal tugevasti negatiivne bilanss. Lühiajaliselt aktsepteeritav, pikemas perspektiivis mulla P-varu vähenemine.
			suvioder	10,66	2016	4600	terad	13,2	117	9	30	120,4	9,7	31,0	83,3	16,1	23,0	37	-6	8	Suure N-tarbega mullal positiivne bilanss. Vedelsõnniku ja/või mineraalse N kasutamine peab olema sünkroonis taime vajadusega, vastasel juhul mõõdukas leostumise suurenemise oht.	Väga suure P-sisaldusega mullal negatiivne bilanss. Akstsepteeritav, pikemas perspektiivis mulla P-varu vähenemine.
			talinisu	10,66	2017	5800	terad	14,7	75	0	0	173,2	25,0	82,6	117,2	20,9	27,3	56	4	55	Suure N-tarbega mullal positiivne bilanss. Vedelsõnniku ja/või mineraalse N kasutamine peab olema sünkroonis taime vajadusega, vastasel juhul mõõdukas leostumise suurenemise oht.	Väga suure P-sisaldusega mullal tasakaaluliline bilanss. Tõenäoliselt suudad hoida head seisundit. P-väetiste kasutmine ei pruugi olla tasuv.
			talinisu	10,66	2020	7400	terad	14,7	91	17	50	165,5	35,9	112,1	149,5	26,6	34,8	16	9	77	Suure N-tarbega mullal tasakaalus bilanss. Oled jätkusuutlik.	Väga suure P-sisaldusega mullal tasakaaluliline bilanss. Tõenäoliselt suudad hoida head seisundit. P-väetiste kasutmine ei pruugi olla tasuv.
Muud																						
			taliraps	10,66	2019	2390	terad	24,1	105	26	75	105,1	26,0	75,0	83,9	17,2	18,6	21	9	56	Suure N-tarbega mullal tasakaalus bilanss. Oled jätkusuutlik.	Väga suure P-sisaldusega mullal positiivne bilanss. Liigne P-väetiste kasutus nii keskkonna kui ka tasuvuse vaates.
Kaunviljad																						
			hernes	10,66	2018	3060	terad	25,8	0	0	0	89,8	0,9	2,2	108,6	13,2	32,7	-19	-12	-30	Suure N-tarbega mullal negatiivne bilanss. Saagi moodustumine mulla orgaanilise aine N arvelt.	Väga suure P-sisaldusega mullal tugevasti negatiivne bilanss. Lühiajaliselt aktsepteeritav, pikemas perspektiivis mulla P-varu vähenemine.

Näide 3. Mahetootja.

Aastad: 2015–2019. Külvikord: talirüps – rukis – kaer (ristiku allakülviga) – punane ristik (haljasväetiseks) – suvinisu. Põhk jäeti mulda. Mulla andmed: C_{org} 2,6 %; P 194 mg/kg; K 193 mg/kg; kerge saviliiv lõimis.

Tulemused. Aastate keskmisena olid kõigi toiteelementide bilansid miinuses. Külvikorda on võetud haljasväetiseks ristik, mis vähendas N-bilansi puudujääki ning tagas järgnenud suvinisu parema saagitaseme (4,4 t/ha). Kuna muid väetised ei kasutatud, siis teiste teraviljade saagitaset (2,2 t/ha) limiteeris tõenäoliselt eelkõige N kättesaadavus. Mulla P-bilanss on tugevalt negatiivne, ent kuna muld on väga P-rikas, siis lühiajaliselt on see aktsepteeritav ja see pruugi märkimisväärselt piirata saagitaset. K-bilanss on mõõdukalt negatiivne. Arvestades mulla suurt K-sisaldust on ei pruugi see veel saaki oluliselt pärssida, ent pikaajalises vaates võib kaasneda mulla K-varu vähenemine. Saagitaseme hoidmise, suurendamise ja mullaviljakuse säilitamise eesmärgil oleks vaja tootjal kaaluda mahetootmisse lubatud väetiste kasutamist. Pikemas perspektiivis pole selline majandamine jätkusuutlik.

www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

																		Keskmine					
																		-43	-8	-11			
Arvuta rida		Lisa	Kustuta	Puhasta rida			Saak			Mineraalväetiste NPK sisend			Sisendid kokku (kg/ha)			Eemaldamine kokku (kg/ha)			Bilanss (kg/ha)			Hinnangud bilansi tulemusele		
Põllu number	Põllu nimi	Põllu-massiiv	Kultuur	Pind (ha)	Aasta	Saagikus (kg/ha)	Koristatav saagiosa	Proteiini % kuiv-aines	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	
Teraviljad																							
			rukis	24,21	2016	2200	terad	12,6	0	0	0	3,0	0,6	0,8	38,3	7,5	10,3	-35	-7	-10	Keskmise N-tarbega mullal tugevasti negatiivne bilanss. Saagi moodustumine mulla orgaanilise aine N arvelt.	Väga suure P-sisaldusega mullal tugevasti negatiivne bilanss. Lühiajaliselt aktsepteeritav, pikemas perspektiivis mulla P-varu vähenemine.	Suure K-sisaldusega mu Pikaajaliselt pole jätkus
			kaer	24,12	2017	2200	terad	14,0	0	0	0	3,1	0,6	0,8	42,4	7,7	10,3	-39	-7	-10	Keskmise N-tarbega mullal tugevasti negatiivne bilanss. Saagi moodustumine mulla orgaanilise aine N arvelt.	Väga suure P-sisaldusega mullal tugevasti negatiivne bilanss. Lühiajaliselt aktsepteeritav, pikemas perspektiivis mulla P-varu vähenemine.	Suure K-sisaldusega mu Pikaajaliselt pole jätkus
			suvinisu	24,12	2019	4300	terad	14,7	0	0	0	5,1	0,9	1,2	86,9	15,5	20,2	-82	-15	-19	Keskmise N-tarbega mullal tugevasti negatiivne bilanss. Saagi moodustumine mulla orgaanilise aine N arvelt.	Väga suure P-sisaldusega mullal tugevasti negatiivne bilanss. Lühiajaliselt aktsepteeritav, pikemas perspektiivis mulla P-varu vähenemine.	Suure K-sisaldusega mu Pikaajaliselt pole jätkus
Muud																							
			taliraps	24,12	2015	500	terad	24,1	0	0	0	0,1	0,0	0,0	17,6	3,6	3,9	-17	-4	-4	Keskmise N-tarbega mullal tugevasti negatiivne bilanss. Saagi moodustumine mulla orgaanilise aine N arvelt.	Väga suure P-sisaldusega mullal tugevasti negatiivne bilanss. Lühiajaliselt aktsepteeritav, pikemas perspektiivis mulla P-varu vähenemine.	Suure K-sisaldusega mu Pikaajaliselt pole jätkus
Kaunviljad																							
												0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0			
Heintaimed																							
												0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0			
Kõõgiviljad																							
												0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0			
Haljasväetis libliköielistega																							
			keskmine biomass	24,12	2018				0	0	0	107,6	0,0	0,0	0	0	0	108	0	0	Keskmise N-tarbega mullal suur N üleküllus. Vedelsõnniku ja/või mineraalse N kasutamisel võib suureneda leostumine.		

Taimetoiteelementide bilansid – põllupõhise lämmastiku, fosfori ja kaaliumi bilansikalkulaatori juhendmaterjal. Alar Astover, Karin Kauer. Eesti Maaülikool, 2022.

Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences