

Projekti „Eelanalüüs ja ettepaneku koostamine projekti „Huumusbilansi kalkulaatori edasiarendus ja taimetoitainete bilansikalkulaatori arendus põllu- ning taluvärrava (ettevõtte) põhisenä“ tellimiseks ning huumusbilansi kalkulaatori edasiarendus“ lõpparuanne:

Projekti juht: Alar Astover

(ees- ja perekonnanimi)

Asutus: Eesti Maaülikool, põllumajandus- ja keskkonnainstituut
(programmis lubatud taotleja)

Projekti juhi kontaktandmed: tel 7313546, mob 5122824, alar.astover@emu.ee
(telefon, posti ja e-posti aadress)

Projektitulemuste lühikokkuvõte:

Toiteelementide ja huumuse/süsiniku voogude ning bilansside arvestamine on üha olulisem nii rahvusvaheliste kokkulepete täitmisel kui ka põllumajandustootmise kestlikkuse tagamisel ja konkurentsivõime suurendamisel. Nende arvutuste teostamiseks on vajadus kohalikesse tingimustesse kohandatud abivahendite järele. Otstarbekas on jätkata olemasolevate abivahendite täiendamist ning jõuda võimalikult asukohapõhiste lahendusteni. Kalkulaatorite intensiivsele välja töötamise ja testimise faasile peab järgnema: 1) täiendkoolitused huvirühmadele kalkulaatorite kasutamise ja tõlgendamise osas; 2) pidev kaasajastamine vastavalt tagasisidele, uuenevale teabele ja seadusandlikele suunistele.

(tulemused, soovitud, kuni 600 tähekohta)

Projektitulemuste lühikokkuvõte inglise keeles:

Accounting of humus/carbon and nutrient balances is with increasing importance in context of the global and EU climate/environmental agreements and also for ensuring sustainability of production and promoting competitiveness of agricultural enterprises. There is need for locally developed and adopted nutrient balance calculations tools. It's reasonable to continue development of existing tools with the aim to have finally as much as possible site-specific solutions. After intensive first intensive development and testing phase following steps should be taken: (i) intensive education of stakeholders about proper use of tools and interpretation of results; (ii) continuous updating according to users feedback, new knowledge and legislative guidelines.

(tulemused, soovitud, kuni 600 tähekohta)

Kogu projektiperioodi finantsaruanne, koos kulude selgitusega¹:

Kululiik	Periood 2015	Periood ...	KOKKU
Personalikulud, puhkusetasu	5195,20		5195,20
töövõtulepingu alusel makstud tasud	597,10		597,10
palga ja töötasuga seotud maksud	1957,80		1957,80
transpordikulu	249,90		249,90
lähetuskulud			
hoonete, maa, vahendite, teadusaparatuuri, instrumentide, seadmete, inventari	-		-

¹ Projekti elluviimiseks tehtavad kulud peavad olema tegevustega otseselt seotud ja elluviimiseks vältimatult vajalikud

ostmise, liisimise, kaasajastamise, paigalduse kulud			
teadusaparatuuri, instrumentide, seadmete, inventari hoolduskulud	-		-
lepingulise teadustegevuse, välistest allikatest ostetud, litsentsitud teadmiste ja patentide kulud	-		-
ostetud tööde (analüüside) kulud	-		-
muud tegevuskulud	-		-
tarkvaralitsentsid, juurdepääsumaksud	-		-
erialaspetsiifilise tarkvara kulud	-		-
üldkulud ²	2000		2000
käibemaks			
KOKKU	10000		10000

Projektis esitatud eesmärkide saavutamine (sh kasutatud metoodika):

Teaduskirjanduse, aruannete ja olemasolevate bilansiarvutuste abivahendite läbitöötamise tulemusena koostati ülevaade toiteelementide bilansi arvestamise metoodikatest ja anti hinnangud edasiste arendustööde vajadusele Eesti kontekstis. Testiti ja täiendati huumusbilansi kalkulaatorit.

Uuringu tulemused:

Toiteelementide bilansside arvepidamine

Põllumajanduses tähtsustatakse üha enam toiteelementide tasakaalustatud ringlust, mis toetaks nii tootmise keskkonnamõju kahanemist kui ka suuremat agronoomilist ja majanduslikku efektiivsust piirkondlikul või üksiku ettevõtte tasandil. Toiteelementide-, süsinikuvoogude ja bilansi arvutused leiavad üha laialdasemat kasutust ning vajadus abivahendite järgi, mis aitaks neid arvutusi teostada, on suur. Bilansiarvutuste vajadus tuleneb ühelt poolt soovist saada teavet maakasutuse ja põllumajandustootmise keskkonnamõjust. Sel eesmärgil on N ja P bilansi tulemid olulised indikaatorid rahvusvahelises võrdluses (EL, OECD liikmesriigid). HELCOM 2013.a. ministrite kohtumise kokkuleppe tulemusena peavad talu tasandi N ja P bilansiarvutused olema rakendatud hiljemalt 2018. aastaks (HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration 2013). Mulla orgaanilise aine ja selle püsivama osa huumuse bilanss on aga tihedalt seotud üleilmsete kliimapoliitika kokkulepete (nt Kyoto protokoll) täitmise ja aruandlusega. Lisaks laiemale ühiskondlikule hüvele pakuvad toiteelementide ja huumuse bilansiarvutused väärtuslikku teavet põllumajandustootjale väetamise ja maakasutuse efektiivsuse kohta ning selle info kompleksne rakendamine võimaldab optimeerida tootmissisendite kasutust ja majanduslikku tulukust.

Toiteelementide bilansi arvutamiseks on kasutusel mitmeid meetodeid, millel kõigil oma

² Üldkulud on projekti elluviimisega kaudselt seotud kulud (kontoritarvete ja -tehnik kulud), sealhulgas taristu ülalpidamise kulud (vee, kütte jm kulud) ja amortisatsioonikulu. Üldkulu ei tohi arvestada teistelt teadus- ja arendusasutustelt või laboratooriumitelt tellitud tööde maksumuselt (allhankelt).

tugevused ja puudused. Kõige enam teostatakse bilansiarvutusi lämmastiku ja fosfori kohta kuna liigsete kadude korral põhjustavad nad veekogude eutrofeerumist. Üle maailma on suurem osa senistest bilansikalkulaatorite arendustest tulenenud keskkonnakaitse seadusandluse suunistest, mille põhieesmärk on vähendada põllumajandustootmises N ja P üleküllust. Agronoomilisest ja majanduslikust aspektist lähtudes on otstarbekas siiski arvestada ka teiste taimetoiteelementide bilansse ning pikaajalise defitsiidiga kaasnevat produktiivsuse ja mullaviljakuse vähenemise ohtu. Kuigi keskkonna seadusandlus on fokusseeritud liiga tugevalt positiivse bilansi vältimisele, siis meie regioonis on produktiivsuse ja mullaviljakuse osas väga oluline tähelepanu pöörata ka pikaajalisest negatiivsest bilansist tulenevatele ohtudele (Astover 2007; Csatho et al 2007). Oluline on toiteelementide bilansitulemuste asjakohane ja meetodikat arvestava tõlgendamine (Öborn et al 2003; Halberg et al 2005; Cherry et al 2012). Lihtsustatud meetoditega arvatud bilansi üleküllust on küllalt raske üksüheselt võrdsustada negatiivse keskkonnamõjuga - kadudega leostumise ja lämmastiku puhul ka lendumise teel (Öborn et al 2003). Mida suurema ala kohta bilanss on arvutatud, seda keerukam on selle seostamine võimaliku keskkonnamõjuga, sest need seosed sõltuvad kohaspetsiifilistest ilmastiku-, mullatingimustest ja maakasutusest (Oenema et al 2003). Tavaliselt siiski bilansi ülekülluse vähendamise kahaneb ka negatiivne keskkonnamõju (Oenema et al 2005; Salo et al 2006).

Toiteelementide bilansside arvutamise levinuim viis on leida see lihtsustatud meetodil süsteemi sisse viidud ja sealt eemaldatud toiteelementide koguste vahena. Süsteemist eemaldamisena arvestatakse toodanguna eemaldatud toiteelementide kogust. Sellist lihtsat lahendust saab rakendada väga mitmetel ruumilistel tasanditel – põld, talu, valgala, vald, maakond, riik, regioon, maailm. Sellise lihtsustatud lähenemisel põhinevad enamasti riigi tasandi NP bilansiarvutused (sh Eurostat/OECD meetodika) ja nn taluvärava bilansi arvestus (*farm gate balance*). OECD meetodika puhul piiritletakse süsteem mulla/maa pinnaga, st arvutus teostatakse mulda viidud ja sealt eemaldatud toiteelementide vahena (*soil surface balance*) (Kremer 2013). Taimekasvatusele spetsialiseerunud tootmise puhul annab see enamasti samaväärse tulemuse kui taluvärava bilansi meetod. Arvutustulemuste erinevused seisnevad eelkõige: 1) süsteemi piiride määratlemises; 2) sisendallikate arvestamises (nt kas N puhul atmosfäärset depositsiooni sademetega võetakse arvesse või mitte); 3) sisendite ja väljundite kvantitatiivses ning kvalitatiivses arvestamises. Nii sisend- kui ka väljundkoguste arvestamisel võib kõigil ruumilistel tasemetel esineda palju määramatust. Riigi tasemel arvutuste aluseks on tavapäraselt ametliku statistika andmed. Nendes on sisendite osas suurim määramatus orgaaniliste väetiste andmetes ning väljundite osas rohumaade saagiväärtuste osas. Sisendite ja väljundite toiteelementide kontsentratsioonide erinevate väärtuste rakendamine mõjutab tulemusi väga suures ulatuses (Oenema et al 2013). HELCOM 2013 kokkuleppe alusel peavad liikmesriigid määratlema eri liiki sõnnikute standardiseeritud toiteelementide sisaldused, et harmoniseerida arvutustulemusi. Bilansi arvutuspõhimõtete ühtsustamise vajadus on tõstatud nii EL, HELCOM aruteludes kui ka paljudes teadusartiklites (Oenema et al 2003; Cobo et al 2010). Samas sagedasti rõhutatakse, et ühtlustatud saavad olla ainult arvutusmeetodika põhimõtted (süsteemi ajalis-ruumiline piiritlemine, sisendite ja väljundite valik), ent kohaldamine peab toimuma ikka võimalikult asukohapõhiselt kohalikke mullastik-kliimaatilisi jm tingumusi arvestavalt.

Riigi, regiooni, talu tasandil mulla või taluvärava meetodiga arvatud toiteelementide bilansi tulemused annavad üldise hinnangu ressursside kasutamise efektiivsusele ja võimalikust keskkonnamõju riskist (Leip et al 2011). OECD meetodika alusel Eesti põllumajandusmaa keskmisena mulla lämmastiku bilanss mõõdukalt positiivne (2008-2012. aasta keskmisena +30 kg N/ha) ja fosfori osas tugevalt negatiivne (-5,5 kg P/ha). Samuti meil riigi keskmisena tugevalt negatiivne mulla kaaliumi bilanss (Astover 2007). Fosfori ja kaaliumi bilansi puudujääk on omane mitmetele Kesk- ja Ida-Euroopa riikidele (Csatho et al 2007).

Lihtsustatud meetodil leitud lämmastiku üldbilanss peabki mulla normaalseks talitlemiseks mõõdukalt positiivne olema, sest lisaks kultuurtaimele vajab ka mulla väga mitmekesine makro- ja mikrofauna oma elutegevuseks lämmastikku ning eluslooduses on võimatu saavutada olukorda, kus lämmastiku leostumine või lendumine täielikult puuduks. Sellega peab arvestama ka seadusandluse väljatöötamisel. Saksamaa väetiste kasutust reguleerivas

seadusandluse alusel (*Düngegesetz*) on põllumajandusmaal soovituslik lämmastiku bilansi üleküllus kolme aasta keskmisena kuni 60 kg N/ha. Fosfori puhul on aktsepteeritud üleküllus kuue aasta keskmisena kuni 9 kg P/ha (va suure fosforisisaldusega muldadel).

Kindlasti ei anna meie riigi keskmised põllumajandusmaa N ja P bilansi väärtused alused väita, et konkreetsetes piirkonnas, talus või põllul ei esineks ebaefektiivset väetiskasutust ning keskkonnamõju mineerimisvõimalused puuduvad. Riigi tasandi bilanss võimaldab võrrelda meie üldist tausta ja olukorda teiste piirkondade/riikidega, ent mitte enamat. Talu/tootja tasandil leitud toiteelementide bilansid võimaldavad hinnata ressursside kasutuse efektiivsust ja keskkonnamõju võimalikke riske mõnevõrra täpsemalt ja asukohta arvestavamalt, ent ei pruugi siiski veel anda teavet tootmisotsuste ja väetamisplaani muutmiseks. Taluvärava toiteelementide bilansse (NPK) on OECD metoodika alusel maaelu arengukava püsihindamise raames valitud ettevõtetes teostanud Põllumajandusuuringute Keskus (M. Särekanno). Lämmastiku bilanss seiretegevõtete keskmisena aastatel 2007-2013 oli 15-25 kg N/ha. Fosfori ja kaaliumi bilanss on seiretegevõtete keskmisena negatiivne (Särekanno 2015).

Taimakasvatustes toimuvad toiteainete muundumise protsessid (sh kaod leostumise ja lendumisenä) konkreetsetel põllul mulla mikrotasandil. Toiteelementide voogude ja bilansi arvutused nii detailsel ruumilisel tasandil pole põllumajandustootmises siiski rakendatavad. Tavaviljeluses on väiksemaiks ruumiliseks otsustasandiks põld/külvikorraväli, mille kohta registreeritakse põlluraamatu andmed ja tehakse väetamisplaan. Täppisviljeluse andmevoogude kasutamine omab potentsiaali ka põllusiseste erisuste arvestamiseks. Põllu tasand võimaldab bilansiarvutustes edukalt rakendada mullast ja agrotehnikast tulenevaid erisusi. Eestis on mullaspetsiifiliste lahenduste koostamiseks piisavalt hea alusandmestik suuremõõtkavalise digiteeritud mullakaardi (Suuster et al 2011) ja põllumaaade järjepideva agrokeemilise monitooringu näol olemas. Põllu tasandi mullaspetsiifilised bilansiarvutused võimaldaks asukohapõhiselt hinnata ja optimeerida väetiskasutust nii agronoomia, majanduse kui ka keskkonnakaitse aspektidest lähtuvalt. Kui talu tasandi bilanss võib aga ei pruugi anda meile vastust tasakaalustamata väetamisest, siis põllupõhisel arvestusel selguvad probleemsed kohad ning tekib võimalus selle teabe otsusprotsessides rakendamiseks. Põllupõhise arvutustulemite summeerimisel on kaalutud keskmisena lihtne leida vastused suurematele ruumilistele tasanditele (talu, piirkond). Põllupõhise arvestuse kitsaskoht on, et see ei kajasta toiteelementide voogusid loomakasvatuse ja sönnikukäitlemise ahelas (Cherry et al 2012). Seega loomakasvatusega segatootmise korral on tervikpildi saamiseks asjakohane täiendavalt lauda tasandi bilansiarvutuste teostamine. Üldine taluvärava bilanss ei võimalda kahjuks hinnata kas kitsaskohad tulenevad loomakasvatuse poolelt (söötmise, sönnikumajandus) või ebaõigest väetamisest. Kaaluda võib taluvärava bilansi metoodika täiendamist lauda ja põllu alaosa diferentseerimisega, ent väetamise asukohapõhiseks optimeerimiseks ei paku ka see lahend piisavalt teavet.

Lisaks ruumilise tasandi eristamise olulisusele tuleb silmas pidada, et taimakasvatustes ei saa põhjapõhnevaid järeldusi bilansitulemitest teha üksiku aasta alusel (Öborn et al 2003; Cherry et al 2012; Bengtsson et al 2015). Hinnangud peaksid tuginema vähemalt kolme aasta või külvikorra keskmisele. See on eriti oluline kui arvutusi tehakse põllu tasandil. Talu, regiooni või riigi tasandil bilansitulemid võivad teatud juhtudel olla informatiivsed ka lühema ajaperioodi kohta. Taluvärava meetodi puhul võivad aastalõpu väetiste ja söötade ostud väga suures ulatuses näiliselt suurendada arvutuslikku bilansi üleküllust, kuigi nende sisendite tegelik kasutus jääb järgmisse aastasse. Mitme aasta keskmisena selliste olemuselt raamatupidamislike moonutuste mõju tasandub ja võimalus ekslikeks tõlgendusteks väheneb. Pikemate aegridade korral pakub väärtuslikku teavet kumulatiivse bilansi arvestamine. Seda tehakse enamasti mullas väheliikuvamate elementide (nt P ja K) kohta.

Keerukamad toiteelementide voogude ja bilansiarvestuse meetodid ei piirdu ainult süsteemi sisendi ja väljundi vahe leidmisega, vaid arvestavad teatud ulatuses süsteemi piires toimuvaid protsesse ja vorme (nt toiteelementide mineralisatsioon mullavarudest, omastamine taimede poolt, denitrifikatsioon ja lämmastiku lendumine, leostumine jne). Nende mudelite keerukuse astmed võivad väga suurtes piirides erineda – alates sellest kui lihtsalt mõnda koefitsienti diferentseeritakse näiteks mulla lõimisest lähtuvalt kuni selleni välja, et mitmed näitajad

muutuvad nii ajas kui ka ruumis. Arvukalt on maailmas koostatud mudeleid CN ringe modelleerimiseks. C ja N vood ja muundumise protsessid on looduses tihedalt seotud. Seetõttu neid käsitletakse tavaliselt koos ning Batlle-Aguilar et al (2011) ülevaate alusel on võimalik on eristada umbes 250 erineva keerukuse ja matemaatilistele kirjeldustele vastavat mudelit. Tuntumad C ja/või N simulatsiooniprogrammid on: [CENTURY](#), [CANDY](#), [RothC](#), [ICBM](#), [DNDC](#), [DAISY](#). Mõned neist on edasi arendatud ka teiste elementide ringite modelleerimiseks, nii näiteks saab CENTURY abil modelleerida ka P ja S voogusid. Mulla CN simulatsiooni/prognoosimudelid eeldavad tavaliselt arvukalt spetsiifilisi sisendandmeid, mille kättesaadavus põllu/talu tasandil on piiritletud. Seetõttu pole nende lausaldane rakendamine igapäevases põllumajanduspraktikas võimalik ega põhjendatud. ICBM mudeli testimine Eesti Maaülikooli põllumajanduse- ja keskkonnainstituudi kolme pikaajalise põldkatse andmetel näitas, et mudeli rakendamiseks Eesti tingimustes peab seda kohandama leides sobivamad lagunemiskonstandid (Lauringson et al 2015).

Põllumajanduspraktikas kasutamiseks on nii süsiniku(huumuse) kui ka mineraalsete makroelementide (peamiselt NPK) voogude ja bilansside arvestamiseks koostatud lihtsustatud mudeleid ja lahendusi, mis arvestavad konkreetsetes piirkonnas/riigis sisendandmete kättesaadavuse, agrotehnoloogia eripäradega ja mullastik-kliimaatiliste tingimustega. Nende puhul püütakse arvutustest kasutatavaid parameetreid diferentseerida vähemalt mullast ja väetamisest lähtuvalt. Sellel põhimõttel on väljatöötatud ka Maaülikooli huumusbilansi kalkulaator (Lauringson et al 2015). Saksamaal on CANDY mudeli alusel koostatud lihtsustatud variant ([CCB mudel](#)), mis on mõeldud just põllumajanduspraktikas ja nõuandeteenistuses kasutamiseks (Franko et al 2011).

Rakenduslikest tööriistadest on paljud arvutustabelid lihtsustatud meetodil kas taluvärava või harvem põllu tasandil bilansi leidmiseks. Kasutajaliides võib olla nii tabelarvutusprogrammi faili, iseseisva tarkvarana või veebilahenduse. Olgu siinkohal toodu mõned näited: [TEHO Plus](#) (Soome), [Baltic Deal NPK kalkulaator](#) (Eesti), [Whole Farm Nutrient Balance Calculator](#), [Ellinbank Farm Nutrient Balance](#) (USA), [Nährstoffbilanz Bayern](#) (Saksamaa), [Greppa Näringen](#) projekt (Focus on Nutrients, Rootsi). Rootsi Greppa Näringen projektis pole fookus mitte ainult tehnilisel abivahendil, vaid tootjate juures nõuandeteenistuse konsulentide poolt tehtaval sisulisel analüüsil ja soovitusel. Nii on Rootsi talude kohta koostatud üle 13 tuhande toiteelementide bilansi arvutuse ja need on kogutud ühtsesse andmebaasi (Greppa Näringen 2011). Üha enam arendatakse bilansiarvutusi abistavaid programme suurema diferentseerimise suunas ning eesmärgiga, et need poleks eraldisseisvad lahendused ja ainult tagantjärele teadmiseks, vaid moodustaks ühe osa terviklikust toitainete majandamisotsuste tugisüsteemist. Sagedasti on loodud lahendusi, kus bilansiarvestuse võimekus on üks osa komplekssemast toiteainete majandamise ja väetamise planeerimise tarkvarast. Need võivad olla alateemade kaupa omavahel ühilduvate töölehtedena tabelarvutusprogrammi failis (enamasti Excelis) või ka koostatud eraldi tarkvaralahendusena. Näitena võib tuua: [BEFU](#) – Eine Grundlage des bedarfsgerechten Nährstoffeinsatzes für den konventionellen und ökologischen Landbau (Saksamaa), [Nährstoffvergleich NRW](#) (Saksamaa), [Nutrient Management Calculators](#) (UK), [PLANET](#) (UK), [Manure Management Planner](#) (USA).

Enamikes riikides on toiteelementide bilansiarvestuste teostamine vabatahtlik ja nõuandva suunitlusega. Erand on Šveits, kus see on juba väetisplaani koostamise kohustuslik osa. See eeldab ühtse metoodika reglementeerimist ja juhiste järjepidevat uuendamist. Iga (kasvu-)aasta kohta antakse välja uuendatud juhised. Šveitsis on antud nimekiri justkui akrediteeritud abivahenditest/kalkulaatoritest, mida aktsepteeritakse vastaval kalendriaasta toiteelementide arvepidamisel ([Berechnung der Suisse-Bilanz](#)). Taanis toimub iga-aastaselt uuendatavate juhiste alusel väetisplaani koostamine ning selle alusel leiab aset mineraalse lämmastikväetise kvoodi eraldamine.

Põllumajanduse süsiniku ja lämmastiku ringes võivad esineda üsna suured kaod lendumise teel. Kasvuhoonegaaside emissioonide arvestamine põllumajandusest on rahvusvahelises ja kohalikus kontekstis üha olulisem. Talu ja eriti ka põllu tasandil kasvuhoonegaaside heitmekoguste arvestamise lähteandmed kattuvad suures osas nendega, mis on vajalikud huumuse/toiteelementide bilansside leidmiseks. Mujal maailmas on juba olemas selliseid

arvutuste abivahendeid arendatud (nt [Cool Farm Tool](#)). Kasvuhoonegaaside emissiooni kalkulaatorite arendamist ja seostamist huumuse/toiteelementide kalkulaatoritega tasub kaaluda ka Eestis. EL taastuvenergia direktiivi (2009/28/EC) järgi on liikmesriikidel kohustus leida põllumajandusliku tooraine viljelusest (nt rapsi biodiislikasvatamisel) tekkivad tüüpilised kasvuhoonegaaside heitkoguste väärtused. Eestis on need emissiooniväärtused nii rapsi kui teraviljade osas peaaegu kõigis maakondades keskmisena suuremad kui direktiivis toodud vaikeväärtused (Astover et al 2015). Tegelikud emissiooniväärtused konkreetsel tootjal ja põllul võivad olla aga maakonna keskmisest märgatavalt erinevad. Seega aitaks talu/põllupõhine kasvuhoonegaaside arvestamine oluliselt kaasa keskkonnamõju hindamisele, selle raporteerimisele kui ka bioenergia eesmärgil viljeletud kultuuride ekspordile.

Taluvärava NPK bilansi kalkulaator

Baltic Deal projekti raames on koostöös Põllumajandusuuringute Keskusega välja töötatud Eesti alusandmete alusel taluvärava meetodil põhinev NPK bilansi kalkulaator (<http://www.pikk.ee/balticdeal/praktikad/vaetamine>). Taluvärava bilansi leidmiseks on see usaldusväärsete lähteandmete olemasolul praktikas kasutatav. Vajadus on kaasajastada arvutuste aluseks olevaid koefitsiente (toiteelementide kontsentratsioonid koefitsiente, N mikrobioloogiline fiksatsioon), mitmekesistada kultuuride ja toodete nimistut. Koefitsientide diferentseerimine sordist, mullast ja agrotehnikast (väetamine, taimekaitse, mullaharimine) lähtuvalt on taluvärava meetodika juures komplitseeritud ning need arendused on mõistlik teha põllupõhise bilansiarvutuste abivahendite juurde. Valdav osa koefitsientide on pärit üsna vanadest allikatest, mis ei pruugi enam tänapäeval muutunud sortide, agrotehnika jms juures kohast tulemust anda. Kaaluda võib meetodika arendamist, mis võimaldaks taime- ja loomakasvatuse segatootmise korral eristada bilansis lauda ja põllu tulemid.

Huumusbilansi kalkulaatori testimine ja täiendamine

Aastatel 2013-2014 töötati Eesti Maaülikoolis välja mullaspetsiifiline huumusbilansi kalkulaatori esimene versioon (<http://pk.emu.ee/struktuur/muld/teadustoo/huumusbilansi-kalkulaator/>). Programm on loodud tabelarvutusprogrammi MS Excel tarkvara baasil. Huumusbilanss 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, haljasväetised, kompostid, vahekultuurid, põhu eemaldamine või muldaviimine jne) mõju mulla huumusbilansile. Kalkulaatoris on kasutajal vaja huumusvaru hetkeseisu leidmiseks lähteandmetena sisestada huumuskihi tusedus, orgaanilise süsiniku või huumusesisaldus ja mulla lõimis. Kalkulaatori esimest versiooni saab kasutada mineraalmuldadel huumusbilansi arvutamiseks. Kalkulaatori tulem väljendatakse huumusbilansina: huumust kg/ha aastas ja huumusvaru muutusena (% algsest huumusvarust aastas). Kalkulaator võimaldab anda tulemit konkreetse kõlviku kui ka kogu kõlvikorra kohta.

Käesoleva projekti üks eesmärk oli kalkulaatori esimese versiooni testimine ja täiendamine.

Huumusbilansi kalkulaatorit testiti nii maaülikooli koos tudengitega õppetöö raames kui ka tootjate ja nõustajatega. Huumusbilansi kalkulaatorit tutvustati põllumajandussaaduste tootmise ja aianduse bakalaureuse (45) ja magistri astme (17) üliõpilastele. Üliõpilased testisid kalkulaatorit eelnevalt koostatud erinevate kõlvikordade raames. Hiljem andsid üliõpilased tagasiside ja hinnangu kalkulaatori toimimisele ja soovitusel täiustamiseks. Kalkulaatorit on tutvustatud mitmetel seminaridel (dets 2014 ja mai 2015) nõustajatele. Konsulent Eili Rajapuu testis kalkulaatorite mitmete tootjate juures. Esitatud täiustamise soovitusel on kalkulaatori uude versiooni sisse viidud.

Järgnevalt toimetamata kujul väljavõtted tagasiside ja soovitusel üliõpilastelt ja tootjatelt:

Kasutamine lihtne

Arusaadav ja ei teki probleeme kasutamisel

Natuke kohanemist vajas aga arusaadav

Hea, et tabelis on abistavad märkmed

Praktikas hea kasutada, peale paariaastast analüüsi saaks rohkem ettepanekuid teha

Õppepäeval tootjatega huumusbilansi kalkulaator „läbi mängida“

Hea, et kalkulaator annab võimalused momendi olukorra põllu ja külvikorrapärase huumusbilansi arvutamiseks ja erinevate variantide läbikatsetamiseks huumusbilansi korrastamiseks. Samuti on hea, et kalkulaatoriga saab kavandada huumusbilansi korrastamiseks kavandatavaid agrotehnilisi võtteid.

Lihtne kasutada ja see on heaks abimeheks põllumehel oma külvikordades huumusbilansi korrastamiseks.

Excelis on seda hea kasutada, kuid lõpptulemuse võiks teha programmis, mis oleks kastajasõbralikum ja hea kujundusega.

Valikuvõimalusi juurde luua.

Võiks kompaktsemaks teha.

Kultuuri lahter võiks tahapoole kerides olla nähtav.

Köögiviljad osa sisse.

Valikuvõimaluste juurde ka bilansi kujunemine turvasmuldadel (eelkõige hästilagunenud turvasmuldadel).

Kalkulaatori põhjalik testimine toimus Puide talu tootmispõldude näitajate alusel. Huumusbilansi andmete kogumisel olid tegev Ahti Nurm. Töö tegemisel oli suur abi ettevõtte juhi Mati Nurm'e jagatud informatsioonil. Töötati läbi kogu info mis puudutab mullaproove, mullaharimisvõtteid, väetamist, väetustarvet, külvikorda, saagikust. Testimise läbiviimiseks kasutati kolme viimase aasta saagikusi. Töö tegemisel koguti andmed iga kõlviku põhiselt. Vajalikud andmed analüüsiks olid: põllu suurus, kultuur, saagikus, mullalõimis, huumushorisondi tusedus, koresus, lämmastikväetise kogus kogu vegetatsiooni perioodi kohta ja sellele N väetise kogusele liideti peale koristust antava lämmastiku kogus, mis laotatakse peale koristust enne kõrrekoorimist. Kuna talus pööratakse väga olulist tähelepanu väetamisele (nii makro- kui mikroelementide osas), siis on ka saagikused suhteliselt kõrged. Eelkõige mõjutas tulemusi kasutatav viljavaheldus. Parim huumus seisund oli talus viljavahelduslii hernes-tervili-raps kasutamisel, huumusekulu keskmisena -114,8 kg/ha/a ja huumusvaru muutus -0,11% üldvarust (tabel 1).

Tabel 1. Puide talu erinevate viljavahelduste huumusbilanss aastatel 2012–2014

Viljavaheldus	Pind, ha	Keskmine huumusevaru t/ha	Huumuse kulu kg/ha/a	Huumuse kulu üldvarust,%
Raps-teravili-raps	53,54	96,1	-416,9	-0,47
Teravili-raps-teravili	336,03	90,8	-519,9	-0,35
Hernes-teravili-raps	123,81	98,1	-114,8	-0,11
Teravili-hernes-teravili	150,65	83,5	-118,0	-0,12
Teravili-teravili-teravili	37,83	66,1	-598,6	-0,91
Kokku talu	701,86	89,6	-358,5	-0,30

Huumusbilansi kalkulaatorisse sisse viidud sisulised täiendused

1. Lisatud on köögiviljakultuuride valikuvõimalus.

Kalkulaatori abil saab nüüd hinnata 24 enamlevinud köögivilja kultuuri mõju huumusbilansile. Kuna köögiviljade andmebaas ei võimalda momendil sellist lahendust pakkuda kui nt teraviljade, kartuli ja rapsiga, siis on kalkulaatoris lihtsustatud variant. Eeskujuna on kasutatud VDLUFA huumusbilansi mudelit (Engels et al 2010; Ebertseder et al 2014), kuid seda on täiendatud ja kohandatud ning arvatud meie oludesse sobivad

huumusbilansi muutused. Köögiviljad on jaotatud kasvuaegse mullaharimise intensiivsuse, orgaanika moodustamisvõime ja taimevarise hulgast sõltuvalt viide rühma. Kuna koostaud kalkulaator kajastab huumusseisundi muutusi lämmastiku aktiivbilansist lähtuvat, siis ka köögiviljakultuuride juures on põhiliseks agrotehnika valikuvõimaluseks lämmastikuga väetamine. Kultuuri ja väetamise mõju huumusbilansile on toodud tabelis 2.

Tabel 2. Kultuuri ja väetamise mõju huumusbilansile huumust kg/ha/a

Kultuurigrupid/Kultuurid	Valikud	
	N väetis jah	N väetis ei
	Huumust kg/ha/a	Huumust kg/ha/a
1. grupp Peakapsas, lillkapsas, brokoli, kurk, kõrvits, porrulauk, suvekõrvits	-1330	-1700
2. grupp Küüslauk, kaalikas, porgand, mustjuur, punapeet, suhkrumais, rabarber,	-960	-1350
3. grupp Till, salati liigid, redis, sibul, nuikapsas, maitse- ja ravimtaimed, päevalill,	-480	-680
4. grupp maasikas*	-300	-500
5. grupp aeduba, hernes roheliselt koristades,	0	-200

Köögiviljade huumusbilansi mõju huumusbilansile saab kasutada kalkulaatori valikuvõimalustena veel: mullaharimise mõju, orgaanilise väetise sh vahekultuuride mõju.

2. Muudeti vahekultuuride valikuvõimalust.

Eelmises versioonis ei olnud võimalik orgaanilist väetist ja vahekultuure ühe kultuuri piires samaaegselt valida. See võimalus lisati. Lisati võimalus valida vahekultuuride sügisese ja talvise pinnakaetuse korral. Kuna andmeid on vaja veel koguda, siis kalkulaatori valikus erinevused vahekultuuride valiku osas ei kajastu.

3. Viidi sisse piirangud tahe- ja vedelsõnniku kasutamisel.

Piirangud arvutati lähtudes Veeseadusest: sõnnikuga, sealhulgas töödeldud sõnnikuga, on lubatud anda haritava maa ühe hektari kohta kuni 170 kg lämmastikku. Aluseks võeti Väetamise ABC (Kanger et al 2014) erinevate sõnnikute keskmised toitainete sisaldused (tabel 3). Kuna fosfori osas on ilmselt seaduse täiendused tulemas, siis hetkel lähtuti ainult lämmastikust.

Tabel 3. Veise- ja seasõnnikuga lubatavad sõnnikukogused

	Tahesõnnik		Sügavallapanuga sõnnik		Vedel-sõnnik	
	KA%	20-25%	>25%		<7,9%	
	N%	Sõnnik t/ha	N%	Sõnnik t/ha	N%	Sõnnik t/ha
Veisesõnnik	4,36	39	5,43	31	4,74	36
Seasõnnik	5,5	31	5,94	29	5,5	31

4. Mustkesa

Kalkulaatorisse lisati mustkesa valikuvõimalus. Mustkesa on mulla orgaanilise aine bilansi suhtes üks kulukamaid maakasutuse viise. Huumusbilanss võib enam kui 2-3 t/ha/ha negatiivne olla. Me diferentseerimise hetkel huumuse kulu sõltuvalt algsest huumusvaru tasemest eeldusel, et mida suurema varuga on tegu, seda suurem ka kulu ulatus ja vastupidi. Huumuse kulu 2 t/ha/ha arvestasime mullale, mille algne huumusvaru on 120 t/ha ning iga 10

tonni huumusvaru kohta muutuks kulum 100 kg võrra.

Ettepanekud huumuskalkulaatori edasiseks täiendamiseks

Kalkulaatorisse oleks vaja kaasata ka püsirohumaad, senised mudelid on põllukülvikorra põhised. Lisada tuleks mitmeid väiksema kasvupinnaga kultuure: tritikale, spelta nisu (eeskätt maheviljeluses), õlina, õlituder, tatar. Kasvupinna laienedes ka sojauba. Mitmete kultuuride (kaunviljad, raps, liblikõielised heintaimed) osas tuginevad projekti raames koostatud algoritmid veel väikesel valimil, seega on nende kohta vajalik täiendavate katseandmete kogumine ja seoste edasine täpsustamine. Kalkulaator on välja töötatud mineraalmuldade jaoks. Vajadus on turvasmuldi arvestavate huumusbilansi algoritmide koostamiseks. Kalkulaator on koostatud eeldusel, et niisked mineraalmullad on heas kuivendusseisundis, ent vajadus oleks huumuse kulu ja juurdeteket diferentseerida ka lähtuvalt tegelikust kuivendusseisundist. Vaja oleks luua antud programmile abiliides (juhend) liblikõieliste osakaalu määramiseks eraldi nii külvikorras olevate liblikõieliste-kõrreliste kui ka püsirohumaadele. Liblikõieliste hindaja võiks koosneda erinevate liblikõieliste osakaaluga taimikute fotodest. Fotodega seotud info peab pärinema teadusuuringutest, kus on määratud taimiku tegelik koostus ja leitud liblikõieliste poolt seotud N osakaal. Orgaanilistest väetiste osas tuleb valikut täiendada mõningate alternatiivsete väetistega (digestaat, järvemuda jms) ning sõnnikute osas eristada vastavalt looma liigiti ja allapanumaterjalist lähtuvalt. Kalkulaatorit oleks võimalik täiendada majandusliku mooduliga, mis aitaks leida näiteks ühe kg C/huumuse juurdetekke omahinna vms näitaja.

Projekti eluviimiseks kasutatud töökohtade arv, tööülesannete kirjeldus ja jaotus uurimisgrupi liikmete vahel:

Projekti eelarvest finantseeriti järgmiste isikute palgakulusid. Alar Astover – projekti koordineerimine ja aruandlus (0,5 töökuud); Enn Lauringson – huumusbilansi kalkulaatori testimine, täiendused ja aruandlus (2,0 töökuud); Indrek Suitso – andmete kogumine ja analüüs (2,0 töökuud); Diego de Cima – meetodikate võrdlev analüüs (0,6 töökuud töövõtulepinguga).

Projektiga seotud taristu kasutamine projekti elluviimisel:

-

Soovitused ja ettepanekud:

Toiteelementide ja huumuse/süsiniku voogude ning bilansside arvestamine on üha olulisem nii rahvusvaheliste kokkulepete (HELCOM, EL direktiivid, Kyoto protokoll) täitmisel kui ka põllumajandustootmise kestlikkuse tagamisel ja konkurentsivõime suurendamisel. Vajadus on kohalikesse tingimustesse kohandatud abivahendite järele nende arvutuste teostamisel. Erineva taseme (talude, põldude) ja meetodiga (lihtsustatud, asukoha/mullapõhine) bilansiarvestused täiendavad üksteist ning nende kohane rakendamine koos sisulise nõuandega aitab hinnata tootmise keskkonnamõju ja optimeerida toiteainete/väetiste kasutust. Otstarbekas on jätkata olemasolevate abivahendite täiendamist ning jõuda võimalikult asukohapõhiste lahendusteni. Abivahendite/kalkulaatorite intensiivsele välja töötamise ja testimise faasile peab järgnema: 1) täiendkoolitused nende kasutamise ja tõlgendamise osas; 2) pidev kaasajastamine vastavalt tagasisidele, uuenevale teabele ja seadusandlikele suunistele. Arendatavad kalkulaatorid ja nendes rakendatavad andmevood loovad head eeldused ka põllumajandustootmisest pärinevate kasvuhoonegaaside arvestamiseks talu või põllu tasandil.

Võimalikud alateemad ja arenduste etapid

- 1) Taluvärava NPK bilansiarvutustabelite kaasajastamine. Periood 2016(2017). Hinnanguline tegevuse maksumus 10 tuhat eurot.
- 2) Põllupõhise huumusbilansi kalkulaatori arendustööd. Periood 2016-2017. Hinnanguline tegevuse maksumus 25 tuhat eurot.
- 3) Põllupõhise NPK kalkulaatori väljatöötamine. Võimalusega laiendada teistele

elementidele. Periood 2016-2018 või 2017-2019. Hinnanguline tegevuse maksumus 20 tuhat eurot aastas.

- 4) Talu/põllupõhise kasvuhoonegaaside emissioonikalkulaatori väljatöötamine. Periood 2017-2019.

Muud olulised asjaolud:

Kalkulaatorite intensiivses väljatöötamise ja testimise faasis on otstarbekas jätkata tabelarvutusprogrammidel (nt Excel) tuginevate lahenduste arendamist. See aitab muudatusi ilma suurte IT personalikuludeta jooksvalt sisse viia. Rakenduste küpsusfaasis tuleb kaaluda spetsiifiliste tarkvaralahenduste programmeerimist ning ühildamist näiteks serveripõhiste geoinfosüsteemidega. Pikemaajalisem eesmärk ei saa olla mitte üksikute eraldiseisvate abivahendite koostamine, vaid kaasaegne andmehaldust ja otsustusi toetav tugisüsteem, mis aitaks saavutada põllumajanduses tasakaalustatud toiteainete ringet, minimeerida tootmise keskkonnamõju ning tõhustada ressursside (sh maa, söödad, väetised) kasutust.

Kasutatud kirjandus

- Astover, A. 2007. Land use and soil management in Estonian agriculture during the transition from the Soviet period to the EU and its current optimisation by the spatial agro-economic decision support system. Doktoritöö. 144 lk.
- Astover, A., Lauringson, E., Shanskiy, M. 2015. Rapsi, nisu, rukki, odra ja tritikale viljeluse keskmiste kasvuhoonegaaside heitkoguste arvutamise meetodika väljatöötamine ja rakendamine Eestis. Projekti aruanne. 37 lk.
- Battle-Aguilar, J., Brovelli, A., Porporato, A., Barry, D.A. 2011. Modelling soil carbon and nitrogen cycles during land use change. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 31, 251–274.
- Bengtsson, H., Watson, C.A., Jonsson, S., Öborn, I. 2015. Quantifying annual variations in field scale element flows and balances is essential for sustainable nutrient management in farming systems, *Biological Agriculture & Horticulture*, DOI: 10.1080/01448765.2015.1074110
- Cherry, K., Mooneya, S.J., Ramsdena, S., Shepherd, M.A. Using field and farm nitrogen budgets to assess the effectiveness of actions mitigating N loss to water. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 147 (2012) 82– 88.
- Ebertseder, Engels, Heyn, Reinhold, Brock, Fürstenfeld, Hülsbergen, Isermann, Kolbe, Leithold, Schmid, Schweitzer, Willms, Zimmer. 2014. Humusbilanzierung. Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/11-Humusbilanzierung.pdf>
- Engels, C., Reinhold, J., Ebertseder, T., Heyn, J. 2010. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben. Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Einflussfaktoren und deren Auswirkungen. <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/SchlussberichtGesamt201010.pdf>
- Franko, U., Kolbe, H., Thiel, E., Liess, E. 2011. Multi-site validation of a soil organic matter model for arable fields based on generally available input data. *Geoderma*, 166(1): 119–134.
- Greppa Nürtingen. 2011. Focus on Nutrients 10 years – a decade of advice benefiting agriculture and the environment. 35 p.
- HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration. 2013. HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration: Taking Further Action to Implement the Baltic Sea Action Plan - Reaching Good Environmental Status for a Healthy Baltic Sea. 20 p.
- Kanger, J., Kevvai, T., Kevvai, L., Kärblane, H., Astover, A., Ilumäe, E., Lauringson, E., Loide, V., Penu, P., Sepp, K., Talgre, L., Tamm, U. 2014. Väetamise ABC. 50 lk.
- Kremer, A.M. 2013. Nutrient Budgets – Methodology and Handbook. Version 1.02. Eurostat and OECD, Luxembourg. 112 p.
- Lauringson et al. 2015. Huumusbilansi mudel taimekasvatuse jätkusuutlikkuse hindamise töövahendina. Projekti aruanne. 58 lk.
- Leip, A., Britz, W., Weiss, F., de Vries, W. 2011. Farm, land, and soil nitrogen budgets for agriculture in Europe calculated with CAPRI. *Environmental Pollution*, 159(11): 3243–3253.
- Oenema, O., Kros, H., de Vries, W. 2003. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *Eur. J. Agron.* 20: 3–16.
- Oenema, O., van Liere, L., Schoumans, O. 2005. Effects of lowering nitrogen and phosphorus surpluses in agriculture on the quality of groundwater and surface water in the Netherlands. *J. Hydrol.* 304, 289–301.
- Salo, T., Turtola, E. 2006. Nitrogen balance as an indicator of nitrogen leaching in Finland. *Agric. Ecosys. Environ.* 113(1–4): 98–107.

- Suuster, E.; Astover, A.; Roostalu, H.; Penu, P. 2011. Suuremõõtkavalisest mullastikukaardist maakasutuse otsusteni. Kadaja, Jüri (Toim.). Agronoomia 2010/2011: 223-230.
- Särekanno, M. 2015. 2014. aastal teostatud uuringu „Taluvärava toiteelementide bilanss ja kasutus“ kokkuvõte (2007-2013 aasta kohta). Saku. 18 p.
- Tunney, H., Csatho, P., Ehlert, P. 2003. Approaches to calculating P balance at the field scale in Europe. J. Plant Nutr. Soil Sci. 166 (4): 438–446.
- Öborn, I., Edwards, A.C., Witter, E., Oenema, O., Ivarsson, K., Withers, P.J.A., Nilsson, S.I., Richert-Stinzing, A. 2003. Element balances as tool for sustainable nutrient management: a critical appraisal of their merits and limitations within an agronomic and environmental context. Eur. J. Agron. 20: 211–225.