

Projekti “Tera- ja kaunviljade ning õlikultuuride satelliitnavigatsiooni- põhise täppisviljelustehnoloogia kasutusvõimaluste uuring Eesti oludes” lõpparuanne

Töös osalesid: Tamm, Kalvi (2,50), Võsa Taavi (1,43), Vettik, Raivo (0,89), Jüri Kadaja (0,20), Arvi Kallas (0,18), Gennadi Bogun (0,19), Jüri Haabpiht (0,19), Ilmar Karjane (0,16), Peeter Viil (0,03), Valdek Loko (0,13), Anne-Lii Sakk(0,41).

Kestus: 2002–2006

Probleem

Tera- ja kaunviljade ning õlikultuuride satelliitnavigatsioonipõhise täppisviljelus-tehnoloogia kasutusvõimalused Eestis.

Eesmärgid

- 1) Maaõhust täppisviljelustehnoloogia alal siiani tehtu üldistamine ja tutvustamine Eesti põllumajandustootjale
- 2) Selgitada täppisviljelustehnoloogia rakendamiseks:
 - vajalikud eeldused;
 - sobivad masinad ja seadmed;
 - sobivad infotehnoloogilise riist- ja tarkvarad;
 - piisav majanduslik efektiivsus.

TEGEVUSED JA PÕHITULEMUSED

1. Täppisviljeluse alase teabe kogumine, süstematiseerimine ja tutvustamine

Eesmärk: selgitada, millised on muu maailma kogemused täppisviljeluseks vajalike eelduste, masinate, tarkvara ja majanduslik efektiivsuse osas.

Info kogumiseks kasutati interneti, erialakirjandust ja kontakteeruti täppisviljelust uurivate välisriikide teadlastega.

Tegevuse tulemusena selgitati järgnev.

1.1. Infotehnoloogilised vahendid

1.1.1. GPS-vastuvõtuseadmed ehk navigerid;

Täppisviljeluses on kõige järgneva aluseks asukoha määramine navigeri abil. Naviger on DGPS-vastuvõturi eestikeelne nimetus. Asukoha üheseks määramiseks on kasutusel DGPS-navigerid, mis GPS (Global Position System – ülemaailmne asukohamääramise süsteem) ja korrektsioonisignaali alusel arvutavad välja ühese geograafilise asukoha. Ilma korrektsioonita GPS-naviger pole põllumajanduses realselt kasutatav, kuna selle viga võib soodsates oludes ulatuda 10 meetrini, ebasoodsates oludes ka 25 meetrini. Kaasaegse navigeri viga sõltub kasutatava korrektsioonisignaali allikast:

- 1) üldkättesaadav EGNOS võimaldab vähendada vea alla 1 meetri. EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service – Euroopat kattev geostatsionaarne navigatsioonivõrk) on geostatsionaarselt satelliidilt edastatav tasuta korrektsioonisignaali Euroopas ja Põhja-Aafrikas;
- 2) maksuline korrektsioonisignaali võimaldab vea vähendamist alla 50 cm;
- 3) teise statsionaarse navigeri kasutamisel lähemal, kui 5 km tööpaigast, korrektsioonisignaali loomiseks ja selle raadiomodemi abil töönavigerile toimetamisel väheneb viga väärtuseni <10 cm;
- 4) rannikumajaka tasuta signaali kasutamisel suureneb viga kauguse suurenemisel lineaarselt. Iga 100 km kaugust lisab veale 1 m, seega peaks Lääne- ja Loode-Eestis Ristna rannikumajaka kasutamisel viga jääma alla 1 m.

Navigeride kasutamisel on määravaks kasutaja teadmised süsteemi toimimisest ja piirangute olemusest. Arvestades satelliitide nähtavust ja töö iseloomu, on võimalik saavutada DGPS-seadmega vea vähenemine alla 40 cm, kuid neid mitte arvestades on ka kahesagedusliku DGPS-vastuvõturi viga üle meetri. Peamised arvestamist vajavad mõjurid on takistused (puud, tehiskonstruksioonid) ja satelliitide asend taevas ehk konstellatsioon. Viimase mõju pole võimalik kompenseerida, vaid ainult arvestada tööde planeerimisel. Senised mõõtmised on näidanud, et Eesti laiuskraadil on kriitilised kellaajad 12...14 ja

17..19, mil satelliite võib olla vajaliku 4 asemel vaid 2 ja nende tõusunurgad madalad, mis on märgatav ebatäpsuse põhjus.

1.1.2. Kontrolleriid

Asukohaga seotava info kasutamiseks on vaja süsteemi üht või rohkemat kontrolleriit. Reeglina on selleks töomasina juhtarvuti, millele on lisatud asukoha kasutamise funktsioon. Tänapäeval on teraviljakülvikute, väetiselaoturite, taimekaitsepretside ja liikurmasinate varustuses selline juhtarvuti. Hinnavahe navigeriga ühendatava juhtarvuti ja lihtsa juhtpuldil vahel on tihti väike.

Pihuarvutit kasutatakse täppisviljeluses küll eelkõige andmete transpordiks, vaatamiseks ja hoidmiseks, kuid arvutusvõimsuse lisandumine kaasaskantavas seadmes on teinud selle ahvatlevaks töomasina juhtarvutina. Virtuaalsete tehnoradade ja autopiloodi süsteemides kasutavad mõned tootjad pihuarvutit juhtarvutina ja kuvarina. Pihuarvuti kasutamisel tuleb arvestada selle kuvari väikese pinnaga, mis teeb selle jälgimise ebamugavaks. Samas on pihuarvuti korral kasutada sisuliselt piiramatut mahuga märkmik teksti salvestamiseks, millesse on võimalik salvestada ka jooniseid.

1.1.3. Andurid

Juhtarvuti vajab infot erinevatelt anduritelt. Saadud info kas salvestatakse mällu või kasutatakse väljundsignaali väärtuse muutmiseks. Anduritena võiks loetleda järgmised: 1) teraviljakombainil koristatava kultuuri saagikuse ja niiskuse andurid; 2) kartuli- või juurviljakombainil väljalaadimiskonveieril või punkris oleva massi määramise andurid; 3) koristatava materjali hulga ja kiiruse mõõtmise andurid rohusöödakoristusmasinail; 4) punkris oleva materjali kaalu või laotusketaste koormuse mõõtmise andurid orgaanilise või mineraalse väetise laotureil; 5) taimeistiku tiheduse pendelandur; 6) peegeldunud valguse intensiivsuse andur; 7) klorofüllil helendumisintensiivsuse andur; 8) mulla dielektrilise läbitavuse andur jt.

Seoses standardi ISO 11738 ISOBUS kasutuselevõtuga 3. detsembril 2003 on enamus andureid võimelised kasutama ühist andmesidekanalit ja seega lihtsustub erinevate seadmete ühendamine. Standard sätestab nõuded kasutatavale füüsilisele kandjale, kontrolleriile, virtuaalterminaalile ja tarkvarale. Uute seadmete loomisel peavad olema täidetud ülalmainitud standardi nõuded.

1.1.4. Roolimisabistid

Roolimisabisti on seadmete komplekt, mis võimaldab masinat juhtival inimesel väiksema koormusega saavutada paremat juhtimistulemust. Seadmeteks võivad olla märgistid, paralleelsõiduseadmed või automaatsed roolimisüsteemid (autopiloot). Levinuimaks rakenduseks on masinate juhtimine elektroonilise markeeri abil. Seadme eelisteks on lihtsus ja mitmekülgsus. Üha enam leiab kasutust ka töomasina automaatjuhtimine töö-eel. See põhineb kas DGPS kohtmäärangusüsteemil või kohalikel ultrahelianduritel (tuvastavad pinnases eristatava jälje) või pildituvastusseadmete (tuvastavad heleduse või värvi erinevust) ja vabastab masinajuhi rutiinsest tööst masina töö-eel hoidmiseks.

Paralleelsõiduseadmed sobivad juhi töö lihtsustamiseks ja juhtimistäpsuse suurendamiseks markerite kasutamise võimatuse korral näiteks rohumaa pealtväetamisel traktori töökäikude paralleelsuse tagamiseks. Need võib jagada kaheks: 1) autopiloot, mis juhib masinagregaati tööeel täielikult; 2) virtuaalsed tehnorajad, mille korral juhile kuvatakse info masinagregaadi paiknemise kohta sobivale ekraanile.

Autopiloodi kasutamisel vajatakse täiendavat elektrilise juhtimisega hüdromaoturit roolisüsteemis. Selle ülesandeks on automaatse juhtimise korral pöörata juhtrattaid vajalikul määral. Viimasel ajal on hakatud tootma roolisambale kinnitatavaid roolismootoreid, mille ajamullik liigutab rooliratast vastavalt pardaarvutist antavale signaalile.

Virtuaalseteks tehnoradadeks nimetatakse arvuti abil loodavaid tehnoradu, mis eksisteerivad ainult arvuti mälus ja ekraanil. Looduses neid ei eksisteeri, näiteks rohumaa või lauskülvatud põllul. Nende kasutamiseks on vajalik tehnoraja paiknemist märkiv indikaator. Levinumad on diodpaneelid, millel põlevate diodide asend ja hulk iseloomustavad kõrvalekallet. Teise indikaatoritüübina kasutatakse LCDekraani (vedelkristallekraani), millel piktogrammide ja numbritega iseloomustatakse masina paiknemist võrreldes ettenähtuga.

1.1.5. Andmete transport

Saadava info säilitamiseks ja transportimiseks kasutatakse mälukaarte. Vanemad seadmed kasutavad tihti spetsiaalseid, vaid sellele seadmele sobivaid andmekandjaid. Nende eeliseks on tagatud süsteemisene

ühilduvus, kuid puuduseks kõrge hind ja väike maht. Uuemad seadmed kasutavad standardkohaseid PCMCIA või USB mäluseadmeid, mille hinnad on madalamad ja maht oluliselt suurem. PCMCIA eeliseks on adapteri olemasolul mõõtetelt väiksemate (xD, SmartMedia, SecureDigital, MemoryStick) mälukaartitüüpide kasutamise võimalus. Oluliseks puuduseks on kontaktavade ummistumise oht hooletul kasutamisel liivaterade või muu peene prügiga. Kord rikitud kontaktiga kaardilt on andmeid kdosutes tingimustes võimatu välja lugeda ja see kaart on kasutuskõlbmatu. Spetsialistide abiga on võimalik andmeid küll taastada, kuid see on väga kallis töö. Adapter omakorda võimaldab kasutada näiteks digitaalsete fotoaparaatide komplektis olevaid väikesemahulisi (16 või 32 MB) kaarte täppisviljeluse andmete transpordiks. Konkreetne sobivus tuleb igal üksikul juhul määrata spetsialistil, asjatundmatu katsetamine võib lõppeda kaardi ja halvemal juhul kogu seadme rikkumisega. USB mälukaart ehk mälupulk on saavutanud mõne aastaga suure soosingu arvutimaailmas. Selle põhjuseks on madal hind, suur maht, kasutamise hõlpsus ja töökindlus. Uuemad juhtarvutid võimaldavad kasutada mälupulka kas esmase või lisaalvestina. Uue seadme valikult peaks USB mälu kasutamise võimalus olema üks olulisi kriteeriume.

1.1.6. Riistvara andmete töötlemiseks

Andmete töötlemiseks ja hoiustamiseks on vaja kaasaegset kontori- või sülearvutit. Sülearvuti puuduseks on numbriklaviatuuri kasutamise ebamugavus. Kuna seda läheb täppisviljeluse andmetega töötamisel alati tihti vaja, siis on mugav kasutada eraldi paigutatud numbriklahve. Sülearvuti eeliseks lauaarvuti ees on selle mobiilsus. Andmeid on võimalik nii vaadata kui töödelda kontorist eemal. Samas on sülearvutil suurem rikkumise ja varastamise oht. Tänapäevase arvuti protsessori võimsus, operatiivmälu ja kõvaketta maht vastavad täppisviljeluse nõuetele.

Lauaarvuti juures on oluline monitori kvaliteet. Kuna info on tihti visuaalselt kõnekas, peaks kuvarina kasutama vähemalt 17" diagonaaliga lamedat CRTkuvarit (kineskoopkuvar) või LCDkuvarit (vedelkristallkuvar). LCDkuvar on soovitatav, kuna see koormab vähem silmi ja selle geomeetriselised moonutused on väiksemad. LCDkuvari lisaeeliseks on oluliselt väiksem ruumivajadus töölaual. CRTkuvari sügavus on reeglina võrdne selle diagonaaliga. LCD kuvari aeglasem reaktsiooniaeg pole täppisviljeluse liikumatute piltide juures probleemiks. Hoiduma peaks eriti odavatest arvutikomplektidest. Tihti on need koostatud odavaimaist turuolevaist komponentidest, mille koostoimimisvõimet pole pikemalt testitud ja seetõttu ei pruugi konkreetne masin olla probleemideta. Soovitada võib keskmise hinnaklassi nimekate valmistajate (HP, DELL, Fujitsu-Siemens jt.) arvutikomplekte, sest nende korral on tehtud oluliselt põhjalikum katsetamine enne tootmist.

Tähelepanu tuleb pöörata videokaardile, sest täppisviljeluse info on visuaalne ja värviliste kaartide kuvamine odavamate 2D/3D integreeritud videokaartidega võtab aega. Eraldi videokaardil peaks olema vähemalt 64 MB mälu ja kiire videoprotsessor. Uute arvutite korral see probleem kaob, kuna operatsioonisüsteem MS Windos XP eitab videokaardile kõrgemaid nõudmisi, kui täppisviljelustarkvara.

1.1.7. Andmete varundamine

Täppisviljeluses tekib hulgaliselt andmeid, mille säilitamiseks vananenud pehmekeetas ehk diskett enam ei sobi oma aegluse, väikese mahutavuse ja andmete ebakindla säilivuse tõttu. Täppisviljeluse andmebaaside maht on piisavalt väike, et kasutada varukoopiate tegemiseks CD-kirjutajat ja tavalist toorikut mahuga 700 MB. Kuna nii toorikute kui seadmete hinnad on konkurentsi ja tehnoloogia arengu tagajärjel langenud, siis on see hetkel optimaalne viis andmete pikemaajaliseks säilitamiseks. Toorikute tootjad lubavad andmete säilivuseks kallimate mudelite korral sadu aastaid, kuid seda ainult heades tingimustes. Tegelikult säilimisajast veel vaieldamatuid andmeid pole. Ka mõnevõrra kallim kuid oluliselt mahukam DVD on muutunud tavatarbijale taskukohaseks. Samas ei vaja täppisviljeluse andmebaasid DVD-tooriku 4,7 GB ulatuvat mahtu. Andmete säilitamiseks on üsna odavaks võimaluseks välise või sisemise kõvaketta lisamine, millel säilitatakse ainult koopiaid. USBmälu on samuti võimalik koopiate hoidmiseks kasutada, kuid see on kallim ja ebakindlam, kui kõvaketas või CD.

Riistvara alla võiks lisada ka andmekandjate säilitamiseks sobiliku kapi või eraldi ruumi. See võiks olla tulekindel ja piisavalt mahukas, et säilitada ka paberandjail paiknevat olulist infot. Andmeturbe seisukohast peaks see paiknema arvutist eemal, soovitatavalt teises ehitises. Hea oleks kui säilitatav info paikneks paralleelselt vähemalt kahel andmekandjal, mis asuvad füüsiliselt erinevates kohtades. Nõukogudeaegseid raudkappe ei saa magnetkandjal säilitatava digitaalse info hoidmiseks soovitada, sest nendes kasutatud materjal võib välist magnetvälja võimendada, mis võib rikkuda kõvakettal, mälupulgal või pehmekehtal oleva info.

1.1.9. Tarkvara

Tarkvara abil sooritatakse kogutud andmete haldust ja analüüsi. Selleks kasutatakse: 1) masinate juhtprogramme; 2) analüüsipakette, üldnimetusega GIS (GeoInfoSüsteem), mis omakorda jagunevad kolmeks alagrupiks: a) üldotstarbelised programmipaketid; b) töomasina komplekti kuuluvad programmid ja c) põllumajanduse vajadustele vastavad eripaketid. 3) abiprogramme andmehoolduseks. Nendeks peaks olema vähemalt: a) viirusetõrje; b) andmete varundamise tarkvara ja c) tulemüür internetti ühendatud arvutil.

Juhtprogrammid on juhtarvutites ja andurites olev tarkvara. Anduris on selle ülesandeks primaarmuundurilt tuleva analooginfo muundamine digitaalseks ja selle edastamine nõutavas vormis etteantud kanalit kasutades. Juhtarvutis on programmi ülesandeks võtta vastu anduritelt ja navigerilt saabuvad signaalid ja nende alusel sooritada nõutud toimingud. Toiminguteks võivad olla saadud info salvestamine või selle alusel väljundsignaali genereerimine. Mida rohkemate võimalustega on juhtarvuti, seda keerukamaks muutub seal olev programm. Juhtarvuti programme kasutaja reeglina vahetada ei saa, need on igale juhtarvutile eraldi loodud, selle ehitust ja ülesannet arvestades. Programmi uuendamise võimalus on võimalik ja seda on soovitatav kasutada. Programmi uuendatakse, kui kasutajad leiavad töö käigus programmist vigu ja valmistaja leitud vead parandab. Samuti lisatakse programmi uusi omadusi ja nende kasutuselevõtuks on vaja juhtarvuti tarkvara uuendada. Seda võib teha kasutaja, kuid soovitatav on see töö jätta asjatundja (seadmestiku paigaldanud firma esindaja) hooleks. Nendel peaks olema piisavalt infot ettetulevate eriolukordade võimalikult valutuks likvideerimiseks. Eriti peaks ise uuendamisest loobumist kaaluma juhul, kui lauaarvuti hooldamine üle jõu käib.

Teise täppisviljeluses kasutatava programme grupi moodustab laua- või sülearvutisse paigaldatud analüüsitarkvara. Loodud on üsna võimsaid üldotstarbelisi ruumiinfo töötlemise pakette. Nende puudusteks on kõrge maksumus ja eriteadmiste vajadus nendega töötamiseks. Samas võimaldavad need ulatuslikku analüüsi. Töomasina komplektis kaasatulev tarkvara võimaldab teostada elementaarseid analüüse ja andmetöötlust, kuid selle võimalused on piiratud. Seetõttu on põllumajanduse tarbeks välja töötatud hulgaliselt eripakette, milles on peamine rõhk pandud just andmevahetuse hõlpsusele ja analüüsivõimalustele. Selliste pakettidega on võimalik täppisviljeluses tekkivaid andmeid hallata ja kasutada suhteliselt väheste eriteadmistega. Kõik paketid on põhifunktsioonidelt sarnased, võimaldades andmete importi, süstematiseerimist, analüüsi, eksporti ja arhiveerimist. Erinevused on kasutatavate andmeformaate valikus ja kasutusmugavuses. Kuna iga kasutaja vajadused on erinevad, siis tuleks enne valiku tegemist demoversiooni või kusagile juba installeeritud programmiga töötamist proovida.

GISi omadusi on lisatud mitmetesse põlluraamatu programmidesse. Seal kasutatakse täppisviljeluse infot taustana. Saagikaarte, põllupiire ja töökaartide kokkuvõtteid oskavad praegu kasutada enamuse turul olevatest pakettidest. Kuna eestikeelse "Talutarga" arendus on peatatud, siis selles programmis täppisviljeluse tuge pole. Soomes, Saksamaal ja eelkõige USA-s on programmide valik lai ja igale tootmissuunale on pakkuda spetsialiseeritud programme.

Pihuarvuti tarkvara on reeglina piiratum, rõhuasetusega info kuvamisele ja muutmisele. See on arusaadav, sest pihuarvuti üsna väike ekraan ja kasutamise eripära teeb selle kasutamise andmete põhjalikuks analüüsiks ebamugavaks. Samas sobib pihuarvuti suurepäraselt andmete ühe varukoopia hoidmiseks, andmete muutmiseks ja vaatamiseks välitingimustes.

Lisaks täppisviljeluses vajalikule tarkvarale tuleb andmete rikkumise ja kadumise vältimiseks kasutada lisatarkvara. Operatsioonisüsteemides on reeglina lihtsad vahendid nende ülesannete täitmiseks, kuid nendest ei piisa kaasaegse kiire protsessoriga ja internetti ühendatud arvuti kaitseks. Samas on selle tarkvara paigaldamine ja häälestamine keerukas ja seda peaks tegema spetsialist. Valesti paigaldatud või häälestatud tarkvara loob mulje petlikust turvalisusest ja võib põhjustada loodetud kasu asemel andmete hävimist või rikkumist.

1.2. Täppisviljelustehnoloogia rakendamiseks sobivate masinate ja seadmete valik.

Põhimõtteliselt on täppisviljeluseks sobivad kõik masinad, millel juhtimine toimub elektrooniliste juhtsignaalide alusel ja mis on võimelised kasutama asukohasignaali. Enamasti toodetakse kohtpositsioneerimisinfo eraldipaikneva navigeri abil, kuid turul on ka seadmeid, millesse naviger on sisse ehitatud. Lisaks asukohainfole võib juhtarvuti sisendisse tulla erinevaid signaale masina seadeparameetrite ja töökeskkonna kohta. Nende signaalide, võimaliku varemvalmistatud töökaardi ja asukoha alusel loob juhtarvuti masinale antud tingimustes vajaliku juhtsignaali. Masinat juhtival inimesele on samas alati võimalus juhtsignaali korrigeerida, kui see mingil põhjusel on ebasobiv.

Kuna masinad on kallid, siis tuleb nende soetamisel kaaluda oma tegelikke vajadusi ja võimalusi. Täppisviljeluse seisukohast on masina soetamisel oluline selle elektroonilise juhtimise võimalus. Kui

masina soetamisel on võimalik valida lihtsa juhtpulti ja keerukama juhtarvuti vahel, siis soovitatav on valida viimane. Tihti pole võimalik hiljem juhtpulti juhtarvuti vastu vahetada või on see väga kallis. Samas on hinnavahe tihti väike, jäädes paari % piiresse masina ostuhinnast. Seetõttu on otstarbekas kaaluda, kas praegu kokku hoitud raha kaalub üles võimalikud tulevased kasutuspiirangud. Enamus praegu müüdavatest masinatest on varustatud teatud tasemel elektroonikaga. Selle juhtimiseks kasutatakse vähem või rohkem arvutustehnikat sisaldavat juhtpulti, mida võib keerukamal juhul ka juhtarvutiks nimetada, sellisel juhul on tegemist automaatseid funktsioone võimaldava seadmega. Sellised juhtarvutid võivad olla mitmete erinevate liidestega ehk andmesideühendustega, et vahetada infot teiste analoogsetega. Andmeside võimalus teeb juhtarvutist täppisviljeluses kasutatava. Millist infot ja millises mahus juhtarvuti kasutada suudab, sõltub valmistaja soovist. Erinevatel tootjatel on erinevaid lahendusi turul. Üldise suunana võib välja tuua lõimumise. Arvutustehnika võimsuse areng võimaldab suurendada teostatavate arvutuste hulka ja seetõttu võib üks protsessor teenindada mitut protsessi.

ISOBUS ehk rahvusvaheline standard ISO 11783 on selliste juhtarvutite töö aluseks. Standard määrab millised signaalid andmesiinil liiguvad ja kuidas neid kasutada. Standardi suurimaks plussiks on juhtarvutite standardiseerumine. Masinapetsiifiline juhtarvuti asendub universaalse virtuaalarvuti ehk konsooliga. Konkreetse masina juhtimiseks vajalikud funktsioonid lisab konsooli masina enda kontrolleriis olev tarkvara või loetakse need väliselt andmekandjalt (mälupekk või –kaart). Konsool võib sisaldada enamkasutatavate masinate tarkvara sisemälu, kui selleks on piisavalt mälu mahtu. Konsooli suudavad kasutada kõik ISOBUSiga ühilduvad seadmed. Praegu müüdavad seadmed peaksid olema ISOBUS-ühilduvad, kuid kohustuslik see vaid standardi kehtimahakkamisest alates loodud seadmetele. Valmistajatele on jäetud võimalus müüa odavamaid masinaid, mis on varustatud seadme enda juhtarvutiga. Virtuaalterminali teeb ahvatlevaks juhtarvutite arvu vähenemine. Liitmasina korral võib kabiinides näha muljetavaldavat juhtmete ja juhtarvutite rägastikku. Pultide rohkus lisab juhi tööpinget ja seetõttu kiirendab väsimist. Väsinud juhi töökaliteet langeb.

Täppisviljeluse jaoks pole ISOBUS ainus lahendus, kuid see teeb erinevate seadmete ühendamise süsteemiks oluliselt lihtsamaks. Seetõttu peaks uute seadmete hankimisel ISOBUSiga ühilduvust pidama oluliseks kriteeriumiks. Firmed, kes toetavad ISOBUS-i on näha internetilehel <http://www.isobus.net/>.

2. Navigeride täpsuse testimine

Tegevuse eesmärgiks oli selgitada kas turul pakutavate navigeride asukohamääramise täpsus rahuldab põllutööl esitatavaid kvaliteedinõudeid ja seega sobivust Eestis täppisviljeluse rakendamiseks.

Eestis on põllumehed teraviljapõllu saagikaardi koostamiseks kasutanud DGPS navigeri teraviljakombaini juba alates 2000. aastast. Kasutajatel ja huvilistel tekkis küsimus: kui täpne see kaart siis on? Kuni 2003. aasta kevadeni tuli uskuda navigeride tehnoloogiat, mis erinevaid 10...1 m. 2002. aasta kevadel korraldas EMVI koostöös tootjate ja masinate maaletoojatega võrdluse, kus võrreldi kuut Eestis kasutatavat seadet. Võrdluse eesmärk oli jäljendada reaalsel tööolukorda, kus seadme käivitamise järel sellele üleliigset tähelepanu ei pöörata. Mitmel pool maailmas oli korraldatud katseid, kus oli jälgitud ühe või mitme navigeri tööd pikema aja vältel. Kuid polnud usaldatavaid andmeid erinevate seadmete võrdluse kohta. USAs olid küll üksikud entusiastid võrrelnud kaht seadet omavahel, kuid sellega asi ka piirdus. EMVI katses võrreldi kaht kombainiseadet, kaht monteeritavat ja kaht käsiseadet.

Testitud navigeride andmed.

Käsiseadmed kuulusid hinna ja omaduste poolest skaala erinevatesse otstesse. Korrektsioonsignaali kasutavate seadmetega tehti katsed nii signaaliga kui ilma, et selgitada korrektsioonsignaali mõju täpsusele. Erinevaid korrektsioonsignaali allikaid ei saanud võrrelda, sest ainult Trimble AgGPS 132 oleks olnud võimeline kasutama korrektsioon-signaali nii rannikumajakalt kui satelliidilt, kuid satelliidisignaali oleks pidanud tellima eraldi.

Tabel 1. Testitud navigeride andmed

Naviger	Iseloomustus	Orienteeruv hind EEK	Korrektsioonsignaali võimalus ja kasutus võrdluses
Trimble GeoExplorer 3	Käsiseade	90 000	Jah, ei kasutatud
Magellan GPS 315	Käsiseade	6 000	Ei
Thales Racal	Universaalne	75 000	Jah, kasutati satelliiti*
Holux GM-200	Universaalne	17 000	Ei
Trimble AgGPS 132	Kombainiseade	100 000	Jah, kasutati rannikumajakat
OmniSTAR 7000LR	Kombainiseade	100 000	Jah, kasutati satelliiti

* Vastuvõturi rikke tõttu ei olnud korrektsioonsignaali vastuvõtt korrektne ja mõõtmistulemused on seetõttu võrreldavad korrektsioonsignaali seadmete omadega.

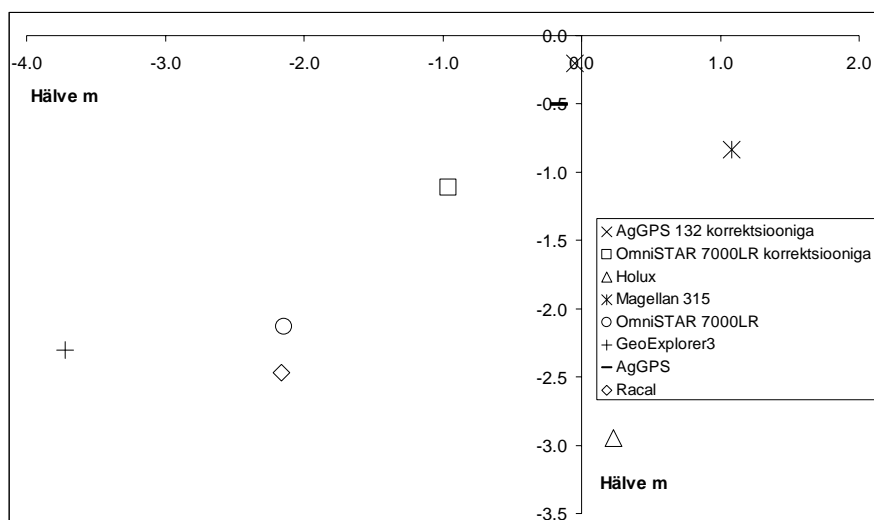
Kõigi navigeridega mõõdeti nii punkti kui pindala. Punktiks valiti Eesti geodeetilise tihendusvõrgu punkt 1467, sest selle koordinaadid on väga täpselt teada. Pindala mõõdeti üle Rapla Maamõõdubüroo poolt (tagatud täpsus 3mm). Punktil mõõdeti 3x5 minutit, pindala mõõdeti üle 3 korda, ühe mõõtmise kestuseks oli samuti umbes 5 minutit. Pindala mõõtmiseks olid naviger, voollallikas ja arvuti paigutatud käsikärule. Korraga töötas ainult üks naviger. Mõõtmised sooritati kolmel päeval, seadmete järjekord mõõtmisel oli juhuslikult muutuv.

Punkti mõõtmine

Tabel 2. Keskised hälbed punktide mõõtmisel

Vastuvõtja	Hälve m			
	1. katse	2. katse	3. katse	Keskmine
AgGPS 132 korrektsiooniga	0.42	0.17	0.44	0.34
AgGPS 132	0.91	0.51	0.50	0.64
OmniSTAR 7000LR korrektsiooniga	1.23	1.25	1.12	1.20
Holux GM-200	3.16	3.39	2.10	2.88
Magellan GPS 315	3.27	2.59	3.06	2.97
OmniSTAR	2.12	4.76	2.80	3.23
GeoExplorer 3	3.04	5.82	3.51	4.12
Thales Racal	2.81	5.61	4.12	4.18

Nagu tabelist 2 näha, on korrektsioonsignaali mõju ilmne. Hälve väheneb ligi kaks korda. Samas on näha ka erineva põlvkonna navigeride täpsuse erinevust. Trimble AgGPS 132 oli uusim seade ja sellele viitavad ka tulemused. Teine korrektsioonsignaali kasutanud seade on tunduvalt suurema hälbega, kuid kasutab ainult 8 satelliidi jälgimist, ülejäänud on 12 kanaliga seadmed. Omamoodi üllatajaks osutus odavaim Magellan GPS 315. Tema keskmine hälve oli väiksem, kui teistel. Samas oli tema üksikute mõõtmistulemuste hajuvus suur, osutudes maksimaalselt 6,8 meetrini. GeoExplorer 3 suur hälve on tingitud sellest, et see seade on ette nähtud korrektsioonsignaali kasutamiseks. Seda signaali pole võimalik kasutada ja seetõttu on ka hälve suur. Iseloomulik on seadmele mõõtmistulemuse paranemine mõõtmistulemuste arvu suurenedes. Seadme algoritm suudab „kohaneda“ asukohaga ja elimineerib edukalt ebatõenäolised tulemused. Veelgi tõhusam on seadme iseeneslik korrigeerimine, mis hakkab mõõdetud punktide keskmise abil korrigeerima punkti koordinaate. Mõõtmisel seda ei rakendatud, kasutati seadmest väljastatavaid koordinaate. Suurima hälbega seade Thales Racal on samuti ette nähtud korrektsioonsignaali kasutamiseks. Kahjuks ei suutnud seade pidevalt signaali vastu võtta ja seetõttu olid mõõtmistulemused hüplevad: kui korrektsioonsignaali oli, siis oli hälve väiksem, kuid signaali kadumisel suurenes hälve tunduvalt



Joonis 1. GPS-navigeride keskmise koordinaadi hälve tegelikust.

Nagu jooniselt näha, on keskmine koordinaat nihutatud tegelikust edelasse. Üksikute mõõtmiste tulemused on samuti sama suunaga. Märkida tuleks erandeid: Holuxi ja Magellani korral ei olnud näha ühtegi eelistatud suunda, hälbed jaotusid üsna juhuslikult. Selle joonise ja üksikute mõõtmistulemuste järgi võib öelda, et GeoExplorer 3-ga mõõtmisi tehakse tegelikult punkt 4 m mõõdetust kirdes. Kahjuks on pidev jälgimine näidanud,

et see 4 m pole mitte kindel mõõt, heades tingimustes võib see hälve olla ka 2 m. Kuid nihe suunal kirdest edelasse jääb muutumatuks.

Pindala mõõtmine.

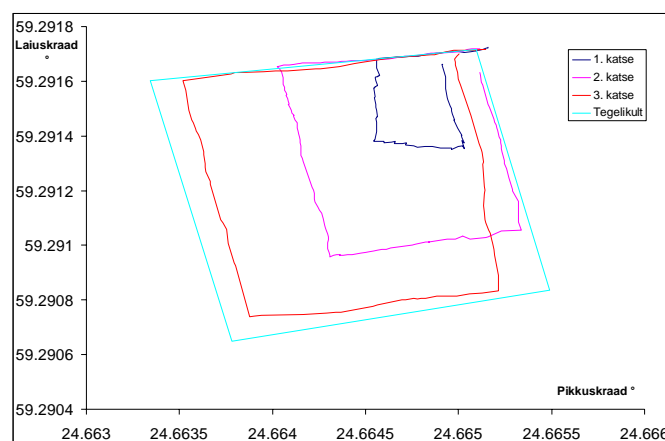
Tabel 3. Katsetatud navigeridega tehtud pindalade mõõtmiste tulemused

Seade	Pindala ha				Vahe ha	Vahe tegelikuga %
	1. katse	2. katse	3. katse	keskmine		
OmniSTAR 7000LR korrektsiooniga	1.030	1.055	1.054	1.046	0.003	0.323
GeoExplorer 3	1.043	1.044	1.055	1.047	0.005	0.435
Holux	1.032	1.072	1.046	1.050	0.007	0.704
OmniSTAR 7000 LR	1.042	1.049	1.061	1.051	0.008	0.745
AgGPS 132 korrektsiooniga	1.058	1.052	1.050	1.053	0.010	1.001
Thales Racal	1.073	1.036	1.061	1.057	0.014	1.317
Magellan GPS 315	0.952	0.996	0.986	0.978	-0.065	-6.188
AgGPS 132	0.085	0.459	0.804	0.449	-0.594	-56.915

Tegelik pindala: 1.043 ha.

Pindala mõõtmise tulemused olid punkti mõõtmise tulemustest tunduvalt erinevad. Stabiilseimaks osutus korrektsiooniga seade. Kuid sellel seadmel on näha üksikuid kõrvalekaldeid ühel katsel, kusjuures teistel seadmetel oli see katse just täpsem. Sama seade ilma korrektsioonisignaali andis omapärase tulemuse: nimelt jagunesid mõõtmistulemused mõlemale poole tegelikku joont. Hea oli käsiseadme GeoExplorer 3 tulemus. Seade polnud kuigi tundlik liikumisele, saadud joon oli teiste seadmete tulemusest sirgem, kuid kannatas põllu kuju. Sama ei saa kahjuks öelda teise käsiseadme Magellan 315 kohta. See seade liikumisel eksis erinevates suundades (sarnaselt punkti mõõtmisel nähtule) ja tulemuseks oli mõõdetud pindala kuju moonustumine. Eriti ilmnes see nurkades pööret sooritades. Eraldi probleemi moodustas Trimble AgGPS ilma korrektsioonisignaali. See naviger ei suutnud esimestel kordadel pindala mõõtmisel saada lähedast tulemust.

Graafiliselt on ühe navigeri mõõtmistulemused on näha joonisel 2. Pindala kuju oli küll äratuntav, kuid suurus oli väga erinev. Oma mõju võib olla tõigal, et see naviger oli seisnud sisse lülitamata saagikoristusest saadik. Kuigi iga naviger sai enne katsete alustamist töötada vähemalt 15 minutit kalendri uuendamise jaoks (see võtab tegelikult 12 min 30 sek), sellest oleks pidanud piisama. Samas korrektsioonisignaali abil oli tulemus tunduvalt parem, erinevus tegelikust oli 100 m². Selgituseks Tõenäoliselt suure hälve põhjuseks oli navigeri käivitumisele järgneva algandmete laadimise viibimine mingil põhjusel. Kordusmõõtmised kaks nädalat hiljem andsid tulemuseks 3. katsel saaduga võrdse tulemuse.



Joonis 2. Pindala mõõtmise tulemused seadmega Trimble AgGPS 132 korrektsioonisignaali kasutamata

Järeldused navigeride täpsuse mõõtmistest: 1) võrdluses osalenud GPS-vastuvõtturete keskmine hälve 5 minuti jooksul jäi alla 5 meetri ja 2) teraviljakombainide GPS-seadmete hälve oli korrektsioonisignaali kasutamisel alla 1 meetri ja 3) piisava täpsuse saamiseks tuleb kasutada korrektsioonisignaali.

3. GPS-seadmetega varustatud põllutööagregaatide töövaatluste tegemine

Vaatluse eesmärk oli selgitada automaatroolimiseseadmega roolitava agregaatide sõidu täpsus ja seega kasutamise sobivus Eesti oludes.

3.1 Autopiloodiga varustatud kartulipanekuagregaadi töomaduste uurimine

Tabel 4. Autopiloodi mõõtmistulemused

<i>Näitaja</i>	<i>Autopilot</i>	<i>Käsijuhtimine</i>
Mõõtmiste arv	69	41
Minimaalne hälve, m	0	0
Keskmine hälve, cm	9,1	14,6
Maksimaalne hälve, cm	26	42
Standardhälve	5,6	10,3
Usalduspiir (95% tõenäosusel)	1,3	3,2
Hälvete d arv, kui $d = 0$ cm, tk	5	5
Hälvete d arv, kui $0 < d \leq 10$ cm, tk	40	11
Hälvete d arv, kui $10 < d \leq 20$ cm, tk	23	14
Hälvete d arv, kui $20 < d \leq 30$ cm, tk	1	8
Hälvete d arv, kui $30 < d$ cm, tk	0	3

Uuriti autopiloodi tööd tegelikes töötingimustes ja võrreldi selle toimimist käsijuhtimisega. Vaatlusalune agregaat koosnes traktorist John Deere 7020 (varustatuna autopiloodiga John Deere AutoTrac) ja kartulipanurist Grimme GL34ZS. Vaatluspõllud paiknesid Kehtnas ja Lelles. Mõõdeti puuterea hälvet ettenähtust piki töökäiku. Mõõtmisi teostati neljas korduses. Mõõtmistulemuste hälve oli autopiloodi kasutamisel oluliselt väiksem. Keskmine hälve käsijuhtimisel oli 14,6 cm ja automaatjuhtimisel 9,1 cm. Lisaks oli üle poole mõõtmistulemusi autopiloodi korral väiksema hälbega, kui 10 cm, ja vaid üks mõõtmistulemus ületas hälbe 20 cm. Käsijuhtimisel oli hälvete jaotus ühtlasem, nagu näha tabelis 4. Lisaks mõõtmistulemustele hinnati visuaalselt ka vagude sirgust ja ühtlikkust. Käsijuhtimise korral oli märgata üksikuid ulatuslikke kõrvalekaldeid. Automaatjuhtimise korral oli tulemus ühtlane ja silmaga polnud kõrvalekaldeid tuvastatavad. Juhtimisviisi mõju agregaatide tootlikkusele ei saanud hinnata, kuna põldudel valitsesid erinevad tingimused ja seetõttu ei õnnestunud saada usaldusväärseid andmeid.

3.2 Automaatroolimiseseadmega külviagregaadi tööajakulude uurimine

Tehti firma John Deere mitmele erinevale jõumasinalale paigaldatud automaatjuhtimissüsteemi töövaatlusi. Vaatlused keskendusid kasutatavusele ja pöörete ajakulule. Kui süstikviisilisel liikumisel kulus kolmemeetrise külvikuga töötamisel külgsilmusega tagasipöördeks 48 sek, siis ribaviisilise töötlemise korral (ribaviisilist töötlemist on ilma automaatjuhtimiseseadmeteta raske ilma suurte ülekateteta või vahedeta teha) kahe töökäigu vahelejätmisel kulus kahe 90° pöörde tegemiseks 28 sek. Samuti tallati nii vähem pöördetega. Ribaviisilisel töötlemisel oli võrreldes silmusega pöördega otsene kulude kokkuhoid 35,08 EEK/ha.

4. Taavi Võsa koostas magistritöö teemal “Põllumajanduses kasutatava GPSvastuvõturi vajalik täpsus”, mille kaitsmine EPMÜ tehnikainstituudis toimus kevadel 2005.

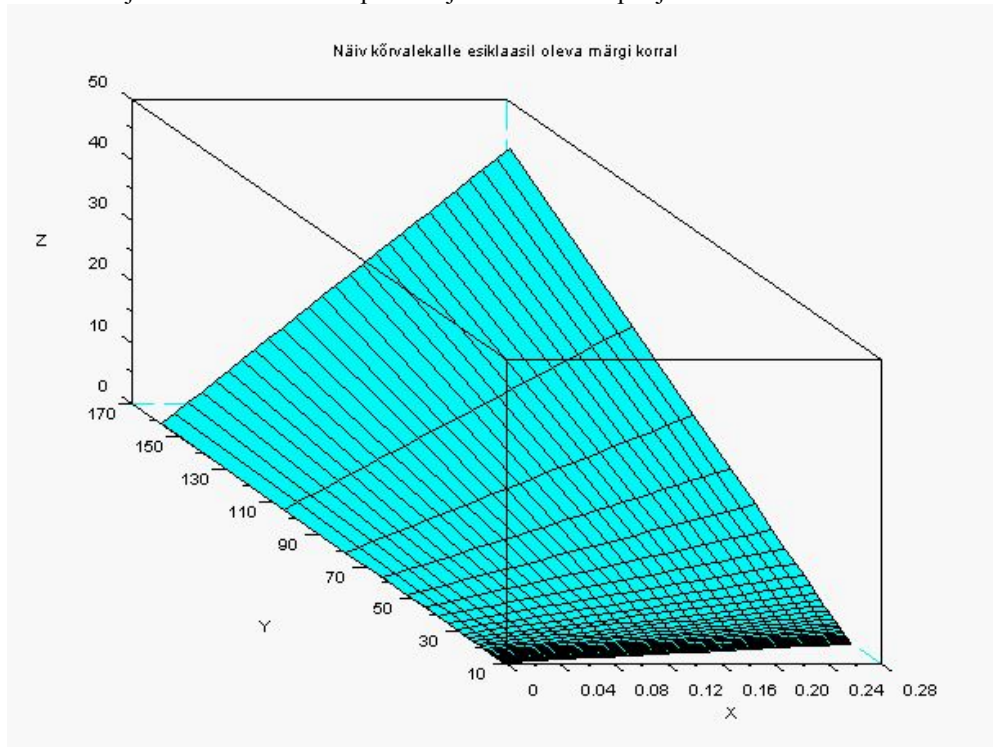
Magistritöö teemaks on automaatjuhtimise rakendamise võimaluste uurimine põllumajanduses. Kaasaegsed seadmed on keerukad ja kallid ning seetõttu tuleb neid efektiivselt rakendada. Üheks efektiivsuse suurendamise võimaluseks on ülekatete vähendamine operatsioonide teostamisel.

Senini on juhtimisega tegelnud inimene, kuid inimese töövõime ajas väheneb ja masina kõikumise tõttu muutub pidevalt juhi hinnang masina asendi kohta. Seetõttu on võimalikud ulatuslikud arvutuslikud kõrvalekaldeid, nagu näha joonisel 3. Tegelikult kõrvalekaldeid nii suureks ei tõuse, kuna juht märkab kõrvalekaldeid ning reageerib sellele. Siiski väsitab selline pingeline tegevus juhti vaimselt ja võib viia tähelepanematuses tingitud vigadeni juhtimisel. Arvestades kasutatavate masinagregaatide massi ja tööde iseloomu, võivad juhtimisvigade tagajärjed olla väga tõsised.

Töös käsitletakse masinagregaadi juhtimist, paiknemist ja selleks kasutatavaid abivahendeid. Kuna kohtmäärangusüsteem ja elektroonika lisandumine on võimaldanud masinagregaadi automaatse juhtimise tööel teha tavakasutajale sobivalt lihtsaks ja töökindlaks, siis käsitleb töö suure osas just automaatse juhtimise probleeme. Lisaks on töös käsitletud inimjuhi töö täpsust mõjutavaid faktoreid ning hinnatud nende mõju ulatust ning iseloomu. Erinevate operatsioonide tarvis on antud tehniliselt lubatavad kõrvalekalde väärtused. Tööst selgub, et automaatjuhtimine tööel võimaldab: 1) vähendada juhtimisel tekkivat hälvet; 2) vähendada juhi

koormust; 3) parandada traktorijuhi töötingimusi; 4) suurendada masinagregaadi tootlikkust ja 5) vähendada masinakulusid töömahu suurenemise arvel.

Seetõttu on automaatjuhtimise kasutamine põllumajanduses täiesti põhjendatud.



Joonis 3. Võimalik arvutuslik kõrvalekalle masina juhtimisel. X – juhi silma kõrvalekalle, Y – vaatekiire pikkus, Z – näiv kõrvalekalle.

5. Teravilja tootmiskulude, omahindade ja tasuvuse prognoositavate väärtuste arvutamine täppisviljelustehnoloogia korral erineva suuruse ja saagikusetasemega tootmisüksuses

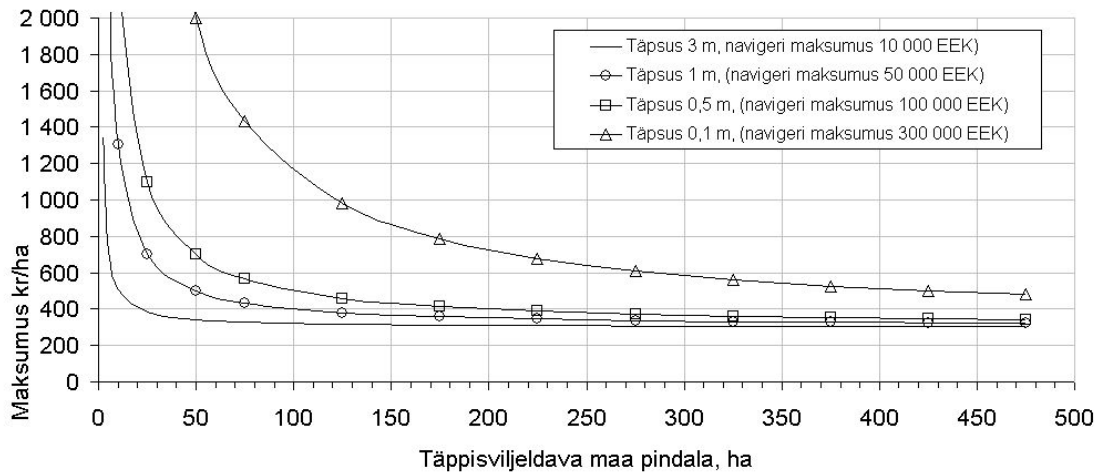
Arvutuste eesmärgiks oli selgitada täppisviljelustehnoloogia kasutamise tasuvus.

5.1. Majanduslik efekt tänu sisendite kokkuhoiule või/ja saagikuse tõusule

Kuna täppisviljeluse põhiideeks on kõikide operatsioonide tegemine vastavalt antud koha vajadustele, siis analüüsiti erineva täpsusega navigeri mõju tootmiskuludele.

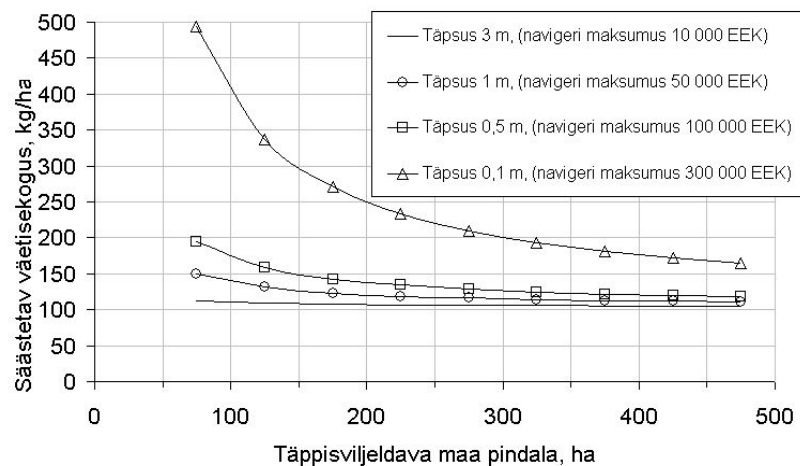
Koostati on tabelarvutusrakendused täppisviljeluse tasuvuse hindamiseks. Rakenduses kasutatavate mudelite abil saab leida, kui suur peaks mingi haritava maa pindala juures vähemalt olema väetiste kokkuhoid või saagikuse kasv, et täppisviljeluse rakendamine hakkaks ära tasuma. Näiteks 250 ha talus tuleks täppisviljeluse rakendamisega seotud kulude katmiseks keskmiselt säästa hektarilt ca 37...75 % (sõltuvalt kasutatava süsteemi hinnast, millest omakorda sõltub täpsus) väetist, eeldusel, et keskmine saagitase säilib (950 ha puhul vastavalt 35...45 %). Kui aga üritada saagikust tõsta, nii et kulud jäävad samaks, siis peaks hektarisaagi (hinnaga 1,7 kr/kg) tõus olema vähemalt 190 ...380 kg/ha (950 ha korral 180...230 kg/ha).

Tulemused on toodud joonistel 4...6.



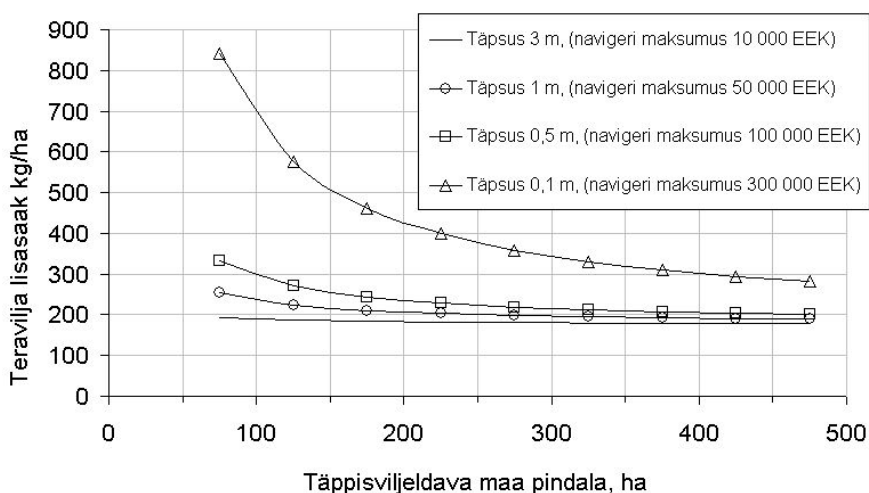
Joonis 4. Navigeri kasutamise hektarimaksumus sõltuvalt tootmismahust

Täiesti ootuspäraselt tõstab navigeri kasutamine tootmiskulusid. Sealjuures on väiksema täpsusega navigeride lisamaksumus alla 400 kr/ha alates 100-hektarise pinna korral. Parema täpsusega naviger, mida oleks võimalik kasutada ka automaatjuhtimisel, on oodatult kallim. Siiski on 300-hektarise talu korral lisakulu 600 kr/ha. See lisakulu tuleks siis tootmiskulude vähenemise või lisasaagi näol tagasi saada.



Joonis 5. Väetisekogus, mis peaks täppisviljelusega saama säästetud, et navigeri kasutuskulusid kompenseerida

Joonisel 5 on näidatud vajalikud säästetavad väetisekogused, kui väetise hinnaks on 3 kr/kg. Praktikas pole Eestis õnnestunud kontrollida, kui palju teatud täpsusega navigeri kasutamine aitaks mingeid tootmissisendeid säästa. Siiski on reaalsem töö kvaliteedi tõusu ja liigse töötlemise vältimisest saadav lisasaak. Vajalik saagikuse tõus (180...500 kg/ha) võib olla realselt saavutatav, kui tehnoloogilisi eeliseid ei nulli tegematajätmised või vead üldises agrotehnikas. Siiski tuleb tähelepanu juhtida kõrge täpsusega navigeri väikesel pinnal kasutamisest tingitud väga suure saagitõusu vajadusega. Seega ei saa pidada põhjendatuks kalli tehnoloogia rakendamist väikeste tootmismahude juures.



Joonis 6. Erineva täpsusega navigeride lisamaksumuse katmiseks vajalik saagitõus

Tehti ka arvutus, mis näitasid, et investeeringute suurenemine GPS-seadmete soetamisel kombainile, väetiselaoturile, viljakülvikutele ja taimekaitsepritsile (kokku ca 400 tuh. krooni) tasub end ära teravilja saagikuste 4...5,5 t/ha ja rapsiseemne saagikuse üle 1,8 t/ha korral juba siis, kui suudetakse väetisi kokku hoida 15% ja taimekaitsevahendeid ainult 15%. Arvutustes on talirukki ja odra müügihind 1700 kr/t, kaeral 1500 kr/t ja rapsiseemnel 3800 kr/t.

Tabel 5. Tootmistulemuste võrdlused GPS-seadmete kasutamise ja mittekasutamise (tava) korral

Nimetus	Talirukis		Oder		Kaer		Raps	
	tava	GPS	tava	GPS	tava	GPS	tava	GPS
Väetisi, kr/ha	1280	1088	1280	1088	1280	1088	1600	1360
Taimek.-vahendid., kr/ha	920	782	920	782	920	782	435	370
Saagikus, t/ha	5	5	5,5	5,5	5,5	5,5	2	2
Kulud kokku, kr/ha	6160	5991	6413	6250	6039	5925	5379	5088
Kasum, kr/t	540	574	599	629	467	488	1290	1436
Saagikus, t/ha	4,0	4,0	4,5	4,5	4,5	4,5	1,8	1,8
Kulud kokku, kr/ha	5995	5826	6248	6090	5885	5771	5313	5022
Kasum, kr/t	291	333	391	427	272	297	1048	1210

5.2 Autopiloodi kasutamise majanduslik efekt

Roolimisautomaadi kasutamisest tulenevad positiivsed efektid

- Roolimisautomaat aitab vähendada roolimisest tingitud ebatäpsusi – ülekattedid ja vahelejätmissi.
- Väheneb seemne, väetiste ja taimekaitsevahendite jaotuse ebaühtlus ja kasvab saagi ühtlus.
- Kui käsitsi roolimisel ei saa täpsust nõudva töö korral kuigi kiiresti sõita, siis roolimisautomaat võimaldab kiirust ja seega tootlust suurendada.
- Roolimisautomaat võimaldab ribaviisilist liikumist, mille puhul saab põllu otsal teha pöörde sobivaimal viisil kiiremini kui süstikviisilise liikumisega. Tootlus seega kasvab.
- Agregaadijuhhi töökoormuse vähenemine, mis on stabiilse töökvaliteedi eelduseks.
- Võimaldab töötada halva nähtavusega tingimustes ja seetõttu paremini ära kasutada tööks agrotehniliselt sobivaimat aega

Uuriti olukorda, kus mõnedel operatsioonidel asendatakse agregaadil süstikviisiline või eeviisiline liikumine ribaviisilise liikumisega, mida oleks autopiloodi abil võimalik sooritada suhteliselt väikeste ülekattede või vahedega. Kuna ribaviisiline liikumine võimaldab arvutuste kohaselt (mida kinnitavad ka töövaatlused, vt punkt 3.2) võrreldes teiste nimetatud liikumisviisidega teha pöördeid väiksema ajakuluga, siis oleks võimalik kuludes kokku hoida ca 10 EEK/ha ja saada samas tööde tegemise aja lühenemisest saadava enamsaagi tõttu 90 EEK/ha tulu, ehk kokku oleks võit 100 EEK/ha aastas. Kui

seadet kasutatakse 500 hektaril, annaks see aastas võitu kokku 50 000 EEK ainult ühe töövõtte muutmiselega.

Kalvi Tamm koostas väitekirja doktorikraadi kaitsmiseks teemal „Teraviljakasvatuse ettevõtte töötulemuste sõltuvus masinapargi koosseisust ja põldude asukohast“. Töös käsitletakse teraviljakasvatuse ettevõtte masinapargi kasutamise mõningaid majanduslikke aspekte – ettevõtte optimaalne suurus vastavalt olemasolevale masinapargile ning suurim põllu ja masinakeskuse vaheline kaugus sõltuvalt põllu pindalast ja põllul kasutatavast tehnoloogiast. Doktoritööga seotud probleemistiku analüüsiks välja töötatud arvutusmeetodid on kasutamist leidnud ka täppisviljeluse tasuvuse hindamisel. Täppisviljeluses kasutatud arvutusskeemid leiavad omakorda kajastamist doktoritöös kui näited väljatöötatud arvutusmeetodikate rakendamise- ja võimalustest.

Rakendamist on leidnud saagikuse ja töö tegemise kalendaarse aja vahelised seosed, et hinnata autopiloodi kasutamisest tekkiva ajavõidu mõju saagikusele. Senised arvutused näitavad olulist pöörete aja lühenedes tingitud majanduslikku efekti.

Teiseks täpse roolimisega seotud positiivseks efektiks on võimalus töid teha vähema põllulesõitude arvuga. Kuna autopiloot võimaldab suurendada tööde tootlust ja mõnel juhul ka mõnevõrra pikendada vahetuse kestust (võimaldades agregaatide täpselt juhtida ka halva nähtavusega oludes), siis on suuri põlde võimalik töödelda vähema vahetuste arvuga kui varem – seega väheneb ühe operatsiooniga seotud põllule ja tagasi sõitude arv ja vähenevad põlluagregaatide transpordiga seotud kulud. Esihõlpselt on valminud tarkvara, mis võimaldab küllaltki kiiresti analüüsida põllu ja masinakeskuse vahelisest kaugusest tingitud kulusid. Selle abil uuriti ka autopiloodi mõju neile kuludele. Varasematest uurimustest on näidanud, et kui varustada põllutööagregaat automaatroolimisega, tänu millele vähenevad ülekatted ja lühenevad pöörete ajad, siis see aitaks suurendada töö tootlikkust. Eeldades, et teraviljakombainil kasvaks tootlus 1,5 ha/h tootlikkusele 1,65 ha/h ja koristatakse põldu suurusega 30 ha 8 km kaugusel masinakeskusest, siis tänu tootluse kasvule on võimalik vähendada vahetuste ja seega põllule sõitude arvu neljalt kolmele ning seega kombaini transportimisekulud oleksid vastavalt 41 EEK/ha ja 31 EEK/ha, otsekulude vähenemine seega 10 EEK/ha.

5.3. Täppisviljelustehnoloogia rakendamise majanduslik efektiivsus mujal maailmas

Internetist ja kirjandusest otsiti teavet ka täppisviljeluse tasuvuse kohta mujal maailmas. Suurbritannias võrreldi (Richard J Godwin et al, 2001) aastatel 1997..2000 lämmastiku asukohapõhist ja ühtlase normiga laotamise tasuvusi. Selle põhjal näiteks on Suurbritannias teraviljakasvatuse täppisviljeluse tasuvuspiir alates 80 ha odavamate süsteemide puhul kuni 200..300 ha-ni keerukamate süsteemide puhul. 250 ha teravilja aluse pindala puhul, kus 30 % maadel kasutatakse täppisviljelust, peaks selle ära tasumiseks saagikuse kasv olema vastavalt 250...1000 kg/ha, vastavalt sellele, kas kasutatakse odavaid või kalleid täppisviljelussüsteeme.

Sakslased nendivad ühe oma täppisviljeluse alase uurimuse tulemusena, et tasuvus ei tule mitte ainult otsese sisendite kokkuhoiu pealt, vaid nende otstarbekama kasutamise pealt. Väetisi ei uhuta minema, kemikaalide sattumine väljapoole kõlvikuid väheneb, saak on ühtlasema kvaliteediga, mullastiku toitainete sisaldus ühtlustub. Selle tulemusena paraneb loodetavasti põllumajanduse maine ülejäänud elanikkonna seas, mis on, sarnaselt Eestiga, probleem ka teistes maades. Tunduvalt keerukam on arvutada rahalist efekti oma põldude paremast tundmaõppimisest, mis ilmselt annab peremehele teatud konkurentsieelise.

Omaette puudusena töid tootjad välja infotehnoloogilise kirjaoskuse vajalikkuse. Vähem probleeme valmistab see üldiselt noorematele talupidajatele, kes on arvutiga rohkem sina peal. Tootmise muutumine füüsiliselt raskest ja mustast tööst kergemaks ja puhtamaks, rõhu kandumisega sõnnikuhargilt arvutiklaviatuurile, võib loota põllumajanduse populaarsuse tõusu noorema põlvkonna seas. Neil on kergem kohaneda uue mõtteviisi ning seadmestikuga.

Samas ei muuda uued nõudmised kehtetuks juba aastasadu kehtinud reegleid: 1) tunne oma põldu; 2) mõtle enne tööle asumist oma tegevus hoolega läbi; 3) analüüsi peale töö tegemist, mis läks õigesti, mis valesti.

Muutub ainult nende nõudmiste täitmiseks sobiv tehnika. Enam pole selleks ainult pliiats ja paber, vaid tänapäeval tehakse analüüsi arvutiekraani taga, olles eelnevalt kogu kasvuaja teinud andmebaasi ülestähendusi toimunu kohta.

Senised uuringud näitavad, et põhilist säästu peaks andma väetiste asukohapõhine annustamine ja eriti N-väetiste osas.

Arendatakse seadmeid taimestiku lämmastikusisalduse kasvuaegseks määramiseks, et selle põhjal anda asukohapõhiselt lisalämmastiku. Näiteks pendelmõõtur ja spektromeeter on jõudnud ka tootmispõllule. Sakslased on leidnud (http://fert.yara.de/de/crop_fertilization/tools_and_services/n-sensor/index.html), et N-Väetise asukohapõhisel andmisel õigel hetkel vajalikus koguses annab: 1) lisasaaki ca 7%, 2) N-väetise säästu 14%, 3) kasvab saagiühtlus, 4) väheneb üleväetamine, 5) toorproteiini tõus 0,5%, 6) koristusaeg 1..5 päeva varem ja 7) kombaini peksutootlus kasvab 15%.

Sakslased on arvutanud roolimisautomaadi tasuvust kui seadme hind on 315 000 EEK ehk püsikuludena 47 000 EEK aastas.

Ja ülekatetest tingitud kadudeks arvestati

<u>Tootmissisendite</u>		<u>Kultuuridele kokku</u>	
Külvisele	- 50 EEK/ha	Talinisu	- 280 EEK/ha
N-väetisele	- 80 EEK/ha	Talioder	- 260 EEK/ha
Põhiväetisele	- 180 EEK/ha	Talinisu lägaga	- 300 EEK/ha
Taimekaitsele	- 85 EEK/ha	Rohumaa	- 310 EEK/ha

Juhul kui 50% talivilvi, 25% suvivili ja 25% raps, siis hakkas süsteem ennast ära tasuma alates 180 ha haritavast maast

6. Täppisviljeluse alase tarkvarapaketi SSToolbox kasutusvõimaluste selgitamine

Täppisviljeluse rakendamine toob tootjale kaasa hulgaliselt uusi ja keeruka olemusega probleeme, mille lahendamine pole enamikule tootjaist jõukohane ega majanduslikult otstarbekas. Kalli ja keeruka seadmestiku efektiivsemaks rakendamiseks peaks tootjaid nõustama spetsiaalne üksus, mille ülesandeks oleks tootjatele täislahenduste pakkumine. Masinamüüjad on senini pakkunud margisiseseid lahendusi, mille ühilduvus teiste süsteemidega on praktikas probleeme tekitav. Probleemide lahendamine nõuab põhjalikke teadmisi arvutustehnikast, programmeerimisest ja elektroonikast.

EMVI teadurid tegelevadki selles osas teadmiste ja kogemuste kogumisega ning et aidata põllumajandustootjaid saagi- ja mullakaartidel olevate andmeid töödelda, soetati tarkvara SSToolbox 3.4. (edaspidi SST). Tarkvara valimiseks külastati põllumajandusnäitust Agritechnica 2003. Programm sisaldab juba algselt eelsisestatud Eesti aluskaarti kontuurkaardi näol. Süsteemi on võimalik sisestada N arv põllumajandustootjaid, kellel võib olla N arv tootmisüksusi ehk ettevõtteid. Sisestatud ettevõtteid seotakse koordinaatide kaudu Eesti aluskaardiga. Ettevõtte omakorda jagatakse majandusaastate järgi ja aastad põldudeks. Ülevaatlikult on kogu see andmestruktuur näha lisaprogrammis FarmCrawler, mis on abivahendiks ettevõtete andmete haldamiseks (import, eksport, turvakoopiad ja nende taastamine).

SST võimaldab ettevõttele sisestada aluskaardiks aerofoto või digikaardi, mida omakorda on võimalik siduda saagikaartide, mullaanalüüsi kaartide, mullastikukaartidega ja satelliidikaartidega. Saagikaarte on võimalik analüüsida aastate lõikes ja lasta genereerida saagikustsoonid. Mullaanalüüsiandmete põhjal on võimalik lasta genereerida põldude tsoonikaardid analüüsitud mullaomaduste kaupa (näiteks pH-kaart, P-kaart jne). Põllukaardil on võimalik näidata kultuuride jaotust. Kogu eelnimetatud kompleks võimaldab analüüsida ja plaanida maakasutust põldude kaupa ning koostada väetamis- ja pritsimiskaarte, mida oleks võimalik kasutada täppisviljeluse rakendamiseks. EMVI teadurid on alustanud mõningate tootjate saagikaartide sisestamist ja esialgsed kogemused näitavad, et ilma eelneva töötluseta on võimalik sisestada ainult osa saagikaardi formaate. Mõningaid formaate (näiteks John Deere formaadid) pole praegu võimalik otse sisestada, kuna SST-l puudub Eesti ala kohta vastav litsents ja seega tuleb need kaardid näiteks John Deere enda kaardiprogrammiga JDOOffice konverteerida SST importformaati, soovitatavalt .ArcInfo .MIF või .SHP.

Kogemused näitavad ka, et SST-sse on võimalik sisestada ka mullaanalüüsi, lasuvustiheduse ja taimede klorofüllisisalduse andmed. Samuti on võimalik sisestada muude andmetega seotud kaardikihte, kui need andmed esitada programmile mõistetavas failiformaadis

Programmi SSToolbox on sisestati mõningate tootjate saagikaarte ning vaatluspõllu mõõtmiste tulemused. Senised analüüsid pole andnud alust seaduspärasuste väljatoomiseks, aastate mõju on ületanud heterogeensuse mõju. Kuna tootjatel on olemas alles ühe täieliku viljavahelduse andmed, tuleks andmete sisestamist programmi jätkata veel vähemalt kahe viljavahelduse jooksul.

Programmis on võimalik kasutada Eestis kehtivat koordinaatsüsteemi L-EST-97.

7. Vaatluspõllu mulla omaduste ja taimeistiku varieeruvuse määramine

Tegevuse eesmärgiks oli saada erinevaid asukohapõhiseid andmeid ja uurida nende põhjal vaatluspõllu mulla ja taimede omaduste ruumilist varieeruvust.

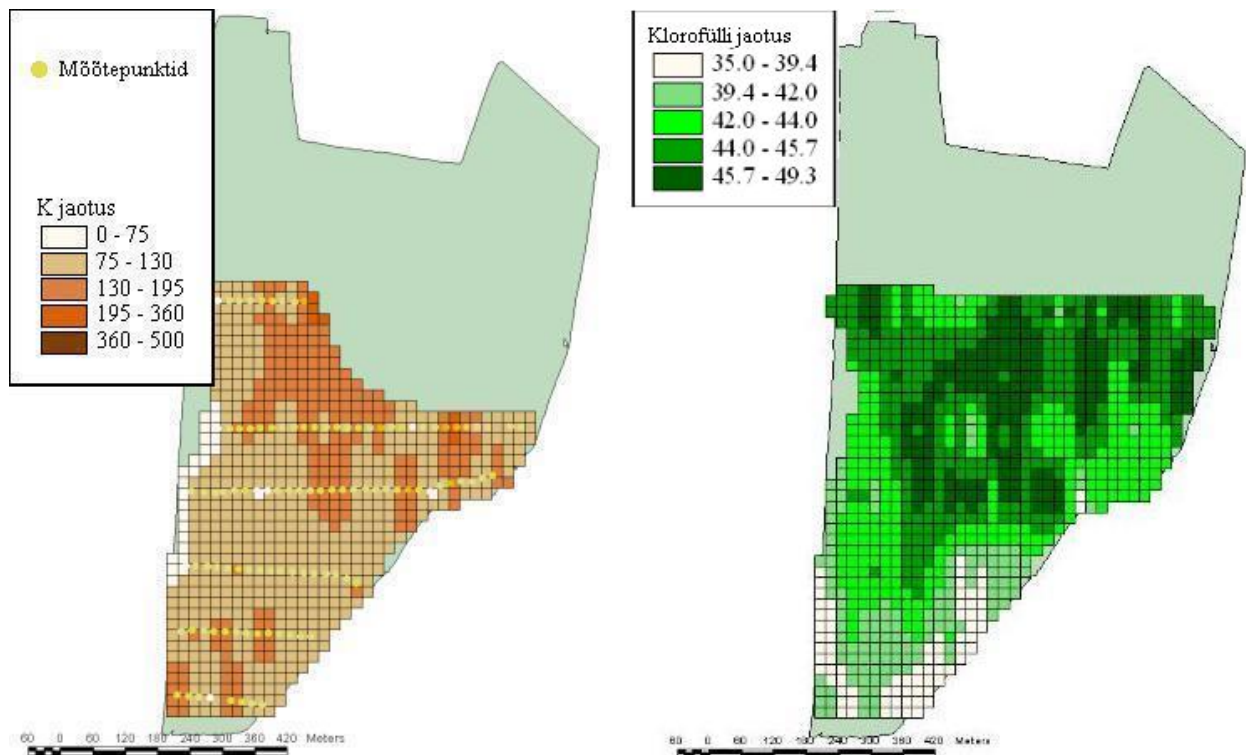
Asukohapõhised mõõtmised teraviljapõllul:

Vaatlusaluseks põlluks on Jaak Läänemetsa põld, Lääne-Virumaa lõunaosas, suurusega 65 ha. Mõõdeti 3 korda taimede klorofüllisisaldust: 15. juunil ja 23. juulil odra Annabel lipulehest 2004 aastal ja 27. juunil 2006 aastal rapsi ülemistes lehtedes. Pärast teraviljakoristust 2004 aastal mõõdeti 9.septembril vaadeldaval põllul mulla kõvadust, temperatuuri, niiskust ja võeti mullaproovid edasiseks analüüsimiseks. Mõõtmistel on esindatud 160 põllupunkti 7 punktireal, mille vahe on ca 110 m ja punktide vahe reas on ca. 20m. Punktide asukohad määrati GPS navigeri abil. Lisaks soetati 2004 aasta varasügisel perkomeeter mulla dielektrilise läbitavuse mõõtmiseks ja tehti ka esimesed mõõtmised samal põllul, kus teiste parameetrite mõõtmisedki. Mõõtmiste käigus koguti 107 mullaproovi, mis analüüsiti PMK Agrokeemia laboris. Analüüsitulemustena saadi iga punkti pH, P, K, Ca ja Mg sisaldused. Nagu tabelis 6 näha, on kõikumised põllu pinnal ulatuslikud.

Tabel 6. Kokkuvõte vaatlusalusel põllul tehtud mõõtmiste tulemustest

Näitaja	Suurim	Vähim	Keskmine	SD	PD ₀₅
Lasuvustihedus Mg m ⁻³	1,59	1,15	1,46	0,1	0,02
Mahuline niiskus %	31,9	22,4	28,4	1,9	0,3
Mulla pH _{KCl}	7,2	5,4	6,09	0,37	0,07
P sisaldus mg kg ⁻¹	135,0	23,0	70,0	17,8	3,34
K sisaldus mg kg ⁻¹	246,0	58,0	119,1	37,2	6,98
Ca sisaldus mg kg ⁻¹	3710,0	1050,0	1766,1	395,2	74,19
Mg sisaldus mg kg ⁻¹	105,0	23,0	46,4	10,6	1,99
Klorofüllisisaldus I	49,9	36,4	44,52	2,65	0,5
Klorofüllisisaldus II	48,3	34,7	41,01	2,5	0,47
Klorofüllisisaldus III	59,4	40,5	48,1	2,7	0,42
Elektrijuhtivus mkS m ⁻¹	22,9	15,6	20,33	1,54	0,29
Dielektriline läbitavus	130,0	21,0	66,7	18,06	3,39
Hektarisaak 2000 aastal kg	8236	1	3355	2760	18,9
Hektarisaak 2001 aastal kg	5920	1	2859	1265	7,7
Hektarisaak 2002 aastal kg	4635	1	2838	1054	7
Hektarisaak 2004 aastal kg	5425	1	3140	1437	9,5

Saadud andmed sisestati GIS tarkvarasse SSToolbox. Mõõtmispiirkonnas võis täheldada nii mulla kui taimeistiku omaduste varieeruvust läbi mitme suurusklassi. Näiteks joonisel 7 on näha põllul 3 kaaliumitarbe klassiga piirkonda. Senise analüüsi põhjal ei leitud olulist korrelatsiooni saagikuse ja põllu mulla omaduste vahel. Põhjuseks võib siin olla saagiandmete ebapiisav kvaliteet. Saagiandmete kvaliteeti võivad mõjutada mitmed põhjused: 1) saagikaardi kvaliteet ja objektiivsus sõltub oluliselt kombaineri tegevusest põllul –kas saagi kaardistamine toimub ka põllul tühisõitude ajal või osalise haardelaiusega töötamisel jne.; 2) kas saagikaardi järeltöötlemisel suudetakse välja filtreerida GPS-st ja kombaineri tegevusest tingitud anomaaliad.



Joonis. 7. Vaatlushõllu mulla K sisalduse ja odra klorofüllindeksi varieeruvus 2004 aasta mõõtmiste kohaselt

8. Küsitlus täppisviljeluse kasutamise kohta Eestis

Tegevuse eesmärk oli koguda andmeid täppisviljeluse tehnoloogia kasutajate kohta.

Eestis on täppisviljeluse rakendamisest vähe positiivseid kogemusi. Peamisteks probleemideks on teabe vähesus ja praktiliste kogemuste puudumine. Oma osa on tehnika ebakindlusel ja olulisel erinevusel senikasutatust. Tavalisi, elektroonikat mittesisaldavaid masinaid juhtima harjunud inimesel kulub aega arvutitega kohanemiseks. Kuid täppisviljelus põhineb just arvutustehnikal. Senised küsitlused on näidanud, et masinate pakutavaid võimalusi kasutatakse vähe või üldse mitte. Probleemi lähemaks uurimiseks tehti küsitlus põllumajandustootjate hulgas.

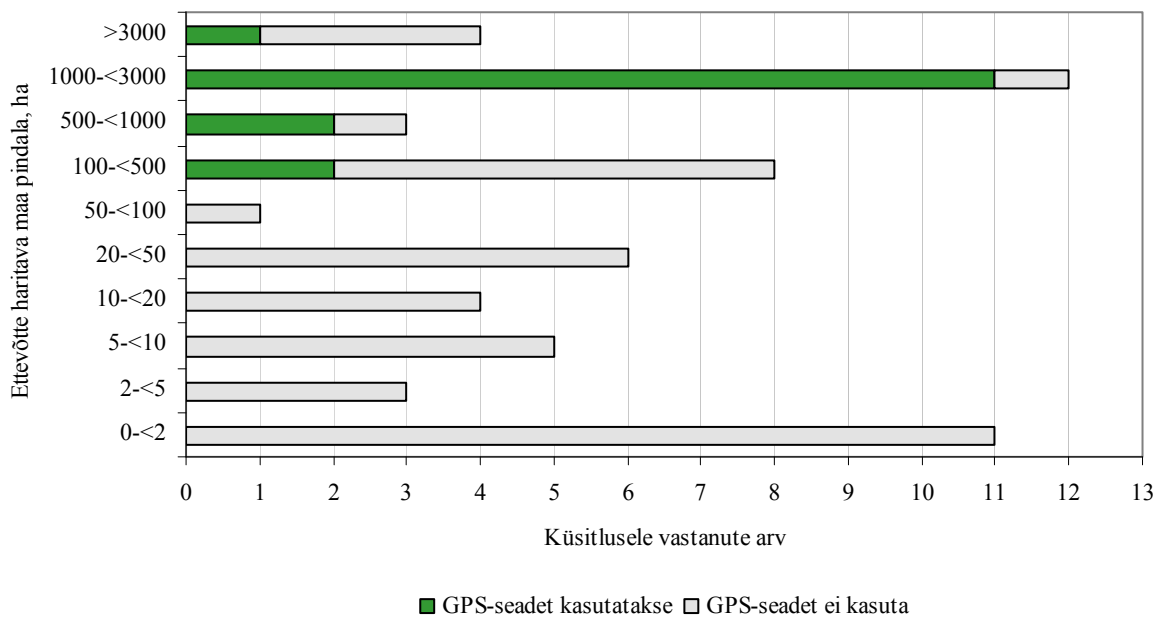
Internetist otsiti 517 juriidilise või füüsilise isiku e-posti aadressi, kes eeldatavalt tegelevad põllul taimekasvatusega. Neist 65 kohta tuli meiliseveritest teade, et sellist aadressi pole olemas. Seega pidid emaili kätte saama 452 adreassaati. Nendest omakorda küsimusele vastuse saatsid 73 inimest ehk 16,1%.

Tabel 7. Täppisviljeluse küsitluses esitatud küsimused ja neile jaatavalt vastanute arv ja protsentuaalne osa küsitlusele vastanutest.

Küsimus	Vastas „Jah“	
1. Kas te kasutate GPS-seadmeid seose põllumajandusliku tegevusega?	16	21,9%
2. Kas te kasutate GPS-i saagikoristusel?	4	5,47%
3. Kas te kasutate GPS-i väetise laotamisel?	8	10,9%
4. Kas te kasutate GPS-i agregaadid täpsemaks roolimiseks?	7	9,6%
5. Kas te kasutate GPS-i muudel operatsioonidel? Kui, siis millistel?	12	16,4%
6. Kui suur on teie ettevõtte haritava maa pindala	-	-

Kuuendale küsimusele anti vastuseid vahemikus 1... 10 116 ha. Vastanute jaotus pindalade järgi on näha joonisel 8. Tabelist 7 on näha, et paljud jaatavalt vastanud on kasutanud GPS-i muudel operatsioonidel (5. küsimus). Osa vastajaist märkis selleks puitsimisoperatsiooni, kuid enamasti vastati sellele küsimusele, et kasutavad GPS-i veel mingi põllupunkti (piiripunktid, liigniisked kohad) asukoha või põllu pindala määramisel.

Tänu küsitlusele tekkis meil GPS-seadmete kasutajate andmebaas, mida on võimalik edaspidi kasutada, et täpsemalt uurida, millised on Eesti põllumeeste kogemused täppisviljeluse rakendamisel.



Joonis 8. Täppisviljeluse küsitlusele vastanute jaotus suurusklasside järgi

9. Info levitamine täppisviljelustehnoloogia rakendamiskogemuste kohta

Tegevuse eesmärk oli tutvustada põllumeestele, nõustajatele, teistele teaduritele ja muudele täppisviljeluse huvilistele projekti käigus saadud uusi teadmisi.

1. Avaldati 15 artiklit erinevates paber- ja internetiväljaannetes
2. Koostati täppisviljeluse alane peatükk uue põllunduse mehhaniseerimise käsiraamatu tarvis.
3. 5 õppepäeval tehti ettekanne täppisviljelusega seotud teemal (2 tehnoloogiapäeval, 2 Kehtnas, 1 Rapla taluliidus).

JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD

Millele peaks IT-täppisviljeluse kasutusele võtmise eel mõtlema?

- 1) Kas ollakse arvatiga piisavalt tuttav, et seda töövahendina kasutada? Kõige suurem probleem on andmete rohkus ehk vajadus arvuti kasutamise järele. Pole mõeldav kõigi vajalike analüüside tegemine peast või pliitsi ja paberi abil. Vajalik on arvuti koos sobiva tarkvaraga. Hetkel pole veel kindlat suunda olemas, igal pakkujal on oma nägemus, mida tarkvara peaks tegema. Siiski on aru saadud, et ainult kombainiga kaasa tulnud programmikesest ei piisa otsuste tegemiseks.
- 2) Millise strateegia valin. Võimalikust kolmest on enamlevinud kasumi maksimeerimine, ehk analüüsil on mõõtühikuks kroon. Seoses üha kasvava kemiseerimisega on kasvamas loodushoidliku eesmärgi tähtsus ja taandumas kasumi maksimeerimine. Peamine põhjus selleks on inimeste soov maksta veidi enam toodete eest, mille kasvatamiseks pole kasutatud teatud piirist enam kemikaale. Oma osa on kindlasti ka keskkonnatoetustel, mida maksavad nii EL kui kohalikud valitsused Euroopas.
- 3) Kui täpset navigeri vajan? Praegu on turul saada nii 3 kui 0,1 m täpsusega navigere. Nende hind on kooskõlas nende täpsusega. Seega tuleb mõtiskleda, milleks hakatakse seda seadet kasutama. Saagi kaardistamiseks ja väetamiseks piisab ka meetrisest täpsusest, kuid külviks või taimekaitsetöödeks peaks asukoha täpsus olema suurusjärgus paarkümmend cm. Seadmed selle tagamiseks on olemas, kuid määravaks saab hind ja oluliseks muutub müüjapoolne tugi. Süsteem on keerukas ja vigade võimalusi mitmeid. Seega peaks olema tootjal võimalus saada kusagilt nõu, kui tekivad probleemid.
- 4) Mida teen elektroonika tõrke korral? Asukoha määramise seadmetik lisab juba enne keerukale seadmele uue komponendi. Keerukatel süsteemidel on kalduvus tõrkuda kõige ebasobivamal hetkel. Tuleks enda jaoks selgeks teha, kuidas käituda GPSi rikke korral. Kas jääda andmetest ilma või riskida saagiga? Kuna signaaliga varustavad süsteemid on muutunud aja jooksul aina töökindlamaks, siis jääb loot, et see olukord esineb järjest harvem.

- 5) Kas tahan juurde õppida? IT-täppisviljelus nõuab masinajuhtidelt oskusi ja tahtmist, et vastavaid seadmeid kasutada. Kui on olemas vajalikud seadmed aga inimesed ei oska või ei taha neid järjepidevalt kasutada, siis on investering täppisviljelusse olnud mõttetu. Seega nõuab täppisviljeluse kasutamine juhtide koolitamist ja andmete järjekindlat kogumist.
- 6) Kas kasutada põldudel paiknormiga pritsimist, väetamist jne? Põldude varieeruvus peaks olema kriteerium, mis näitab, kas tarbenormi reguleerimist vastavalt asukohale tasub kasutada. Selge on, et ühtlaste kasvutingimustega põllul pole kokkuhoid kuigi suur. Eesti põldudel on aga mullastik niivõrd vahelduv, et tõenäoliselt pole muutnormiga süsteeme mõtet rakendada vaid mõnedel suhteliselt väikestel ja tasastel põldudel. Hoolimata valitud strateegiast ei pruugi täppisviljeluse rakendamine anda kohe tulemusi. Liiga suur on aasta ja juba toimivate protsesside mõju. Kui on soetatud seadmed, aga nende kasutamises kohe kasu ei nähta, võib tekkida pettumus. Esimestel aastatel ongi rohkem andmete kogumise faas ja seejärel saab neid analüüsima hakata. Nagu eelpool mainitud, on vajalikuks andmete hulgas 3, alles siis võib loota, et hälbe suunda on võimalik määrata.

Muud tegevuste põhjal tekkinud järeldused ja soovitused

1. Eestile iseloomulikud heterogeensed mullad on oluliseks eelduseks, et heal tasemel põllumajandustootjatel oleks võimalik saada kohtspetsiifilise info kasutamisega põllutöödel märgatavat majanduslikku efekti, mistõttu tuleks täppisviljelustehnoloogiat edasi uurida.
2. Eesti põllumajandustootjal on piisava kapitali olemasolul võimalik soetada täppisviljeluseks vajalikke põllutöömasinaid ja infotehnoloogilisi vahendeid.
3. Kogu Eestis on võimalik asukoha määramine agrotehnilistele nõuetele piisava täpsusega.
4. Täppisviljelustehnoloogiat on soovitatav kasutada alates vähemalt 150 ha haritavaal maal, täpsusega 0,1 m seadmete korral peaks see pindala olema vähemalt 300 ha.
5. Täppisviljelusega seotud kulude katmiseks piisab teatud juhtudel 300 kg/ha lisasaagist või vähemalt 35 % väetiste kokkuhoiust.
6. Mõõtmised ja töövaatlused põllul näitavad, et automaatjuhtimisega hõlbib agregaat etteantud sihist vähem kui käsitsijuhtimise korral. Käsijuhtimise korral oli märgata üksikuid ulatuslikke kõrvalekaldeid. Ettepanek oleks edaspidistel mõõtmistel ka need suured kõrvalekaldeid üle mõõta ja põhjused fikseerida, et oleks võimalik teha ettepanekuid selliste kõrvalekallete vältimiseks.
7. Automaatjuhtimiseadmete kasutamine töökäigul aitab lühendada pöörete sooritamise aega ja seega vähendada töökulusid ning tõsta keskmist saagikust. Ka katsemõõtmised kinnitavad oletust, et võrreldes süstikviisilise liikumisega on põllu ribaviisilisel töötlemisel võimalik pöoretel aega kokku hoida. Täpselt ja kiiresti ribaviisiliselt töötada aga on võimalik ainult roolimisabi seadme toel.
8. Autopiloodi majanduslik efekt ilmneb mõningatel juhtudel ka põllutööagregaatide transpordikulude vähenemises
9. Uurimist vajaks, kuidas õigustab ennast Eesti põldudel tehnika, mis võimaldab lämmastiku lisaväetamisel reaalajas määrata mingi põllupunkti taimestiku proteiinisaldust ja seega väetist doseerida vastavalt tarbele.
10. Jätkata tuleks tootjate saagikaartide kogumist. Peatähelepanu tuleb pöörata erinevate mõjurite uurimisele täppisviljeluse valguses Eesti erinevates piirkondades.
11. SSToolBox-i andmetöötlusvõimalusi on võimalik kasutada asukohaandmetega seotud põlluandmete analüüsimiseks ja põllutööagregaatidele töökaartide koostamiseks. Samuti peaks seda tarkvara kasutama ka EMVI teistel uurimissuundadel.
12. Täppisviljeluse küsitlusel selgus, et ca 22 % küsitlusele vastanud Eesti põllumajandustootjatest mingil moel kasutavad GPS-seadmeid.
13. Uurida tuleks ka asukohapõhist mullaharimise võimalusi: Optimaalseks taimekasvuks on vajalikud pinnase õhustatus ja hapnikuga varustatus. Hapnikupuudus ja kobestamisvajadus ei tule aga ainult, nagu sageli arvatakse, mehaanilisest koormusest tingitud tihenemisest nagu näiteks sõidujäljed või tehnorajad, vaid ka loomulikust pinnase tihenemisest. Praktikast on tegemist pinnastega, mida tuleb pidevalt kindla aja tagant künnikihi sügavuselt kobestada ja ka sellised pinnaseid, mis ei vaja kobestamist. Mitmed uurimisgrupid on maailmas uurinud võimalusi kasutada paikteavet ka mullaharimisel. Anduriga mõõdetakse mulla pindmise kihi juhtivust lõimisest sõltuvalt ja annab seega teavet kui sügavalt antud kohas oleks vaja harida. Peensavi või savi sisaldav muld on ära tuntav kõrge elektrijuhtivuse tõttu ja on eristatav madala elektrijuhtivusega liivamullast. Kihilistel muldadel otsustab peal asetsev muld harimissügavuse üle. Savi liiva peal vajab madalamat töötlust ja liiv savi peal sügavamalt töötlust.

Uuringu tulemusi saab kasutada 1) täppisviljeluse rakendamise võimaluste üle otsustamiseks; 2) täppisviljeluseks vajalike vahendite valikul ja 3) nende vahendite kasutamise majandusliku efektiivsuse leidmiseks.

PROJEKTIGA HAAKUVAD TEADUSTEEMAD, GRANDID, DOKTORI- JA MAGISTRITÖÖD, JÄRELDOKTORITE UURIMISTEEMAD, LEPINGUD, PATENDID:

1. **Võsa, T.** Masinagregaadi juhtimise vajalik täpsus ja navigeri valik selle saavutamiseks. Väitekiri tehnikateaduse magistri kraadi taotlemiseks põllumajandustehnika erialal. Eesti Põllumajanduse Ülikool 2005.
2. **Võsa, T.** Energiakultuuride kasvatamise tehnoloogiad. Doktoritöö teema.
3. **Tamm, K.** Teraviljakasvatuse ettevõtte töötulemuste sõltuvus masinapargi koosseisust ja põldude asukohast. Doktoritöö teema.
4. **Kadaja, J.** Kohtspetsiifilise informatsiooni kasutamine kartuli produktiooniprotsessi mudelis. ETF Grant 6092
5. **Nugis, E.** Kohtspetsiifilise informatsiooni põhised statistilise dünaamika meetodid põllunduslike tootmistehnoloogiate ja looduses kasutatavate liikurmasinate logistika täiustamisel ning kaasnevad mulla-, maastiku- ja keskkonnakaitse aspektid. ETF grant 6888.

TEEMA RAAMES ILMUNUD PUBLIKATSIOONID:

Artiklid ja konverentside ettekannete tekstid rahvusvahelise levikuga retsenseeritavates ajakirjades ja kogumikes

Nugis, E., Viil, P., Kadaja, J., Müüripeal, M., Võsa, T. Satellite Navigation Based Precision Farming and Prognostics of Agroecological Consequences. International Soil Tillage Research Organisation 16 th Triennial Conference Soil Management for Sustainability. 14-18 July 2003. Brisbane, Australia. p. 103.

Eesti väljaannetes avaldatud artiklid ja ettekannete tekstid

- Kallas, A.** Kas täppisviljelus on Eestis tasuv? – Maamajandus, 1, 2002, 28-30.
- Võsa, T.** Eesti Põllumajanduses kasutatavate GPS vastuvõtjurite võrdlus. - EPMÜ Tehnikateaduskond, 2002, 67.
- Tamm, K., Võsa, T.** Täppisviljeluse võimalusi ja probleeme. - Maamajandus, 2003, 5, 28-30.
- Tamm, K., Võsa, T.** Elektroonika abistab. - Aastavakk'2004, 2003, lk 102-103.
- Tamm, K., Võsa, T.** Vaadates pinna alla. - Aastavakk'2004, 2003, lk 99.
- Tamm, K., Võsa, T.** Tark mees taskus. – Aastavakk'2004, 2003, lk 104-105.
- Võsa, T.** GPS vastuvõtjurite täpsus Eestis. - Maamajandus, 2003, 1, 14-17.
- Võsa, T.** Täppisviljeluse mitu palet. - Aastavakk'2004, 2003, lk 100-101.
- Tamm, K.** Saagikaarte analüüsitakse eritarkvaraga. - Maamajandus, 2004, 6, 28-29.
- Tamm, K., Võsa, T.** Uued arukad masinad vähendavad tööpinget. - AASTAVAKK'2005, 2004, lk 74-79.
- Võsa, T.** Täppisviljeluse võimalusi. – Agronoomia 2004. Teadustööde kogumik nr. 219, Tartu, 2004, lk. 25–27.
- Tamm, K., Võsa, T.** Ühtlaselt haritud põllu omaduste tegelik varieeruvus. - Teadustööde kogumik nr 220, Agronoomia 2005, lk 18-20.
- Tamm, K., Võsa, T.** Nihked täppisviljeluses. - AASTAVAKK'2006, 2005, lk 111-112.
- Tamm, K., Võsa, T.** Asukohapõhine mullaharimine. - *Agronoomia 2006*, lk. 14-18.
- Tamm, K., Võsa, T.** 2006. Täppisviljeluse eeldused ja tasuvus Eesti tingimustes. – EMVI teadustööde kogumik nr 71 *Taimekasvatust*, Saku, lk 275-282.