

TERAVILJAKASVATUSETTEVÖTTE TÖÖTULEMUSTE SÕLTUVUS MASINAPARGI KOOSSEISUST JA PÕLDUDE ASUKOHAST

Kalvi Tamm

Eesti Maaviljeluse Instituut, Kalvi.Tamm@eria.ee

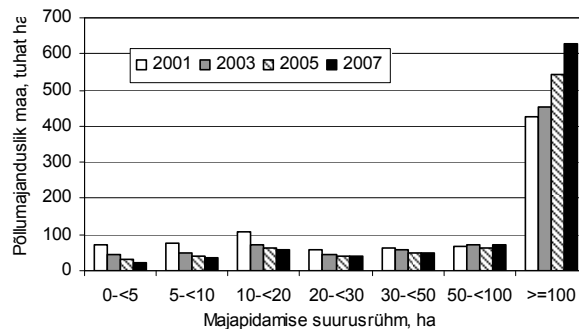
ABSTRACT. This is an overview paper about thesis for applying for the degree of Doctor of Philosophy in Agricultural Machinery; defended on 2009 in Estonian University of Life Sciences.

The dominant trend of enlarging the production area of farms is causing a growth in transportation costs making the profitability of cultivating distant plots questionable. The aim of this study was to provide a method to evaluate the rationality of using a plot depending on its distance, area and cultivation technology. A mathematical model was composed to calculate the total costs depending on the distance to the plot. The transportation costs of machines and materials, cost of management travel and timeliness costs are taken into account in the model to enable determination of the maximum distance or the minimum area of the plot necessary for profitable cultivation. On the basis of the calculations performed by means of the model, it can be concluded that the profitable distance increases with plot size. In the economic conditions used in the thesis, the economically maximum distance for plots over 25 ha falls within the interval of 18–25 km. Simulations allow us to conclude that the growth in yield and selling price of the production allow an increase in the limit value of driving costs and, thus, the profitable distance of the plot; on the other hand, it means also an increase of timeliness costs as a limitation for extending distance. Exploitation of more distant plots can be uneconomical in coming years because of increasing fuel costs.

Keywords: farm size, plot, distance, transport costs, timeliness, economic evaluation, mathematical models.

Sissejuhatus

Järjest teravnevas konkurentsipüüavad põllumehed tootmist laiendada, mis tähendab muuhulgas kasutatava maa pindala suurendamist. Aastail 2001 kuni 2007 kasvab Eestis suurte, üle 100-hektariliste ja vähenes väikesete, alla 50 ha pindalaga majapidamiste osa summaarses põllumaas (joonis 1) (Statistics Estonia, 2009). Sarnaseid arenguid võib märgata mujalgi maailmas: näiteks Soomes (Suomi *et al.*, 2003), Ungaris (Burger, 2001), USA-s (Schnitkey, 2005) ja Inglismaal (Burton, Walford, 2005).



Joonis 1. Põllumajandusmaa jaotuse kujunemine Eestis erinevalt majapidamiste suurusest

Figure 1. Division of agricultural land according to farm sizes by the year.

Peamine põhjus, miks tootjad maad ostavad või rendivad, on võimalus suurendada oma kasumit (Gwyer *et al.* 2005). Tootmise laiendamine mõjutab tavaliselt nii väljaminekuid kui sissetulekuid. Haritava maa suurenedes kasvab masinate kasutamise tõhusus ja muutumatu masinapargi puhul vähenevad püsikulud hektari kohta. Samas aga võivad suurenedes masinate hoolduse ja remondiga seotud väljaminekud.

Tootmispinna suurendamine mõjutab ka transpordikulu osa toodangu omahinnas. Vahemaade pikenedes transpordikulu kasvab (Steinsholt, 1997). Teatud tingimustel võib see ületada tootmispinna avardumisega kaasneva tulude suurenemise ning ettevõtte kasum hakkab vähenema.

Maakasutuse tõhustamine ja teised probleemid, mis on seotud muuhulgas energia, tööjõu ja teiste tootmisvahendite kallinemisega, tekitavad vajaduse luua otsuseid toetavaid süsteeme põllumajandusliku tootmise analüüsimiseks ja kavandamiseks. Mitmed uurijad (Bouma *et al.*, 1998) on leidnud, et tuleks koostada meetod põllumajandusettevõtte maa-ala optimaalse suuruse leidmiseks. Oluliseks meetodiks on siin matemaatiline modelleerimine. 1990-ndate lõpupoolel koostas Eesti Põllumajandusülikooli põllumajandusliku tootmise modelleerimise töögrupp arvutusmeetodi ringikujulise talu kasumi leidmiseks olenevalt selle suurusest (Asi *et al.*, 1999). Kryachkov ja Sharova (2005) uurisid Venemaal Kurski piirkonna põllumajandusettevõtete optimaalset suurust ja leidsid koefitsiendid, mille abil prognoosida transpordikuludid lähtuvalt ettevõtte suurusest. Esitati ka matemaatiline mudel projekteeritava talu tõhususe leidmiseks lähtuvalt tootismahust.

Nende uurimuste eesmärk on olnud koostada meetod ettevõtte maa-ala optimaalse suuruse leidmiseks. Küsitav on aga selle parameetri rakendatavus tootmises. Kas põllumees peaks loobuma kaugemal asuvate maade

kasutamise ning üritama n-õ ringi sisse jäävad alad tootmisesse hõivata? Tegelikuses on konkreetsed põllud nii omaduste kui kasvatatavate kultuuride ja seega töömahtude ning tootmiskulude osas erinevad (Jabarin, Eppin, 1994). Põllu omadustest on antud kontekstis oluline selle suurus. PRIA andmeil oli Eestis 2008. aastal 156,157 deklareeritud põllust 46,339 väiksemad kui üks ja 107,909 väiksemad kui viis hektarit. Keskmine põllu suurus on 5.64 ha. Seega on väikseid põlde palju. Aaltonen *et al.* (1999) andmeil asub EL-is enamik põldusid lähemal kui 3.7 km keskusest, Soomes aga 6.6 km. Eesti kohta sellised andmed puuduvad. Tõenäoliselt ei tasu aga masinakeskusest kaugel asuvat väikest põldu kasutusele võtta – sõidukulud võivad osutada nii suureks, et kasumit pole sellelt maatikilt võimalik saada isegi juhul, kui see asub n-õ optimaalse ringi sees. Tootmise kavandamisel on vaja meetodit, milles analüüsitakse põllu kaugusest sõltuvaid kulusid arvestades pindala ja viljelustehnoloogiat.

Oma ülevaates agrologistikaalastest uurimustest märgib Hahn (2006), et sellealased teoreetilised käsitlused on kirjanduses ikka veel haruldus. Ka Morlon ja Trouche (2005) leiavad, et vastavad teadustekstid on vaevalt kättesaadavad ning olemasolevad põhinevad vananenud lihtsustatud skeemidel ning mudelitel, mis pole kaasaja tingimustes enam praktikas rakendatavad.

Siiski võib kirjandusest leida viiteid uurimustest, mis taimekasvatuse probleeme käsitledes lähtuvad ka vahe-maast. Ühe esimese uurimuse selles vallas on teadaolevalt teinud Saksa ökonomist Johann Hermann von Thünen (1783–1850), kes koostas mudeli, mille abil kirjeldatakse maakasutust lähtuvalt kaugusest linna turuplat-sini (Crosier, 2009). Selle mudeli kohaselt peaks keskset turgu ümbritsema ringjad, kindla põllumajandusliku tootmissuunaga maa-alad. Turule lähimal tuleks viljeleda tootmist, mille tulem on suurima kasumiga, aga keeru-kaim transportida. Kauguse suurenedes muutub toodangu liik aina vähetasuvamaks, kuid lihtsamini teisaldatava-maks. Thüneni esitatud lähenemine on ilmekas näide kaugusepõhisest gradientanalüüsist (näiteks maa rendi muutus lähtuvalt selle kaugusest linna keskusest).

Põldude ja ettevõtte keskuse vahelise kauguse mõju nii ettevõtte kasumile kui kultuuride jaotusele põldudel on uurinud de Garis De Lisle (1982). Uurimus viidi läbi Manitoba farmide põhjal, kasutades põllumajanduskul-tuuride kindlustusagentide kogutud andmeid. Tulemu-sena selgus, et kultuuride valikut põldudele mõjutavad nii põllu kaugus talu keskusest kui mullaviljakus. Orga-nisatsiooniliste ja viljeluslike ümberkorraldustega on võimalik kauguse mõju kasumile kompenseerida. Myyrä ja Pietola (2002) hindasid PROBIT-mudeli abil Soome põllumeeste otsuseid tootmissuuna valikul läh-tuvalt põllu suuruselt ja kaugusest keskuseni. Uurimu-sest ilmneb, et väikesed põllutükid ja suur kaugus mõju-tasid oluliselt taluniku valikut viia enamik maid teravilja või rohu maade alla. Harasimowicz (1997) on kirjelda-nud hindamisüsteemi, kus põllu kaugus keskusest on üks tegur, mis mõjutab põllumajandusliku maa kasumi-potentsiaali iseloomustavat hinnet. Selle parameetri puhul hinnatakse kaugemal asuvaid põlde vähem vää-rtuslikeks kui ligemaid.

Paraku ei sisalda ükski teadaolev uurimus meetodit põllu kasutamise otstarbekuse hindamiseks selle kaugu-sest sõltuvate kulude põhjal. Käesoleva uurimuse ees-märk on koostada matemaatiline mudel nende kulude arvutamiseks ja seega ka põllu kasutamise otstarbekuse hindamiseks. Mudel arvestab agregaatide ja materjalide transpordikulu, tulukadu põllutööde aja pikenemisest ning kulu organisatsioonilistele sõitudele. See on reali-seeritud tarkvaras 'Põllu kaugus', mille abil on võimalik suhteliselt kiiresti hinnata erinevate tehnoloogiate kasu-tamise majanduslikku otstarbekust teatud põllul, lähtu-valt selle kaugusest ja suuruselt. Artikkel annab ülevaa-te koostatud mudelist ning selle rakendusest erinevate mullaharimistehnoloogiate puhul. Mudelkatsete abil hinnatakse kütuse ja saagi hinna ning saagikuse mõju põllu majanduslikult lubatavale suurimale kaugusele. Arutelus käsitletakse põllu kasutamise valikuid lähtuvalt kaugusest.

Mudel

Põllu kaugusest sõltuvad majandusnäitajad

Tulenevalt eesmärgist koostada matemaatiline mudel põllu kasutamise otstarbekuse hindamiseks lähtuvalt kaugusest, keskendusin ainult sellest tegurist sõltuvatele majandusnäitajatele. Muudest tootmiskuludest eristasin maatikki kaugusest põhjustatud väljaminekud: põllutöö-masinate ja materjalide transpordi ning organisatsiooni-liste sõitudega seotud kulud. Lisaks väljaminekutele mõjutab kaugus ka sissetulekuid. Kauguse kasvades väheneb põllutöömehi päevatootlus, suureneb tööpäe-vade arv ning tööde tegemise aja hälbimine optimaalsest ajast ja seetõttu langeb ettevõtte keskmine saagikus. Sellest tingitud tulukadu arvestan samuti kuluna. Seega:

$$K_h = U + V + M + \Delta B, \quad (1)$$

kus K_h on kaugusest sõltuvate kulude summa, kr ha⁻¹; U põllutöömehi masinate masinakeskusest põllule ja tagasisõidu kulud, kr ha⁻¹; V kulud materjalide veoks põllule ja sealt ära, kr ha⁻¹; M kulud organisatsioonilistele sõitudele, kr ha⁻¹ ja ΔB kaugusest tingitud tulukadu, kr ha⁻¹.

Põllu kasutamise otstarbekuse hindamine

Teatud kaugusega põllu kasutamine on majanduslikult otstarbekas juhul, kui kaugusega seotud kulud K_h jäävad madalamaks teatud maksimaalsest piirväärtusest $K_{h,max}$ ($K_h \leq K_{h,max}$). Viimane on määratav valemiga

$$K_{h,max} = T - K_m, \quad (2)$$

kus T on prognoositav tulu, kr ha⁻¹ ja K_m kaugusest mit-tesõltuvad kulud (väetis, seeme, pestitsiidid, põllutööd), kr ha⁻¹. Kui mudeli kasutaja soovib arvestada ka toot-miskasumit ja -riski, tuleb need lisada K_m -ile.

Selgitamaks majanduslikult põhjendatud suurim va-hemaa keskusest teatud pindala ja tehnoloogiaga põllu-ni, tuleb leida selle kauguse väärtus $K_{h,max}$ korral. Kuna kaugus ei ole K_h arvutamiseks koostatud võrrandite süs-teemist analüütiliselt leitav, kasutasin iteratiivset meeto-

dit. Sellega leitakse kaugus, mille korral kulude summa on lähim piirväärtusele ehk $K_h \rightarrow K_{h,max}$. Selle meetodi puhul rakendatakse mudeli kasutaja kogemuste põhjal määratud tolerantsi δ , millesse mahtumisel arvutusprotseduur lõpetatakse ehk täidetud peab olema tingimus:

$$|K_h - K_{h,max}| \leq \delta. \quad (3)$$

Kui valem (3) kehtib, siis K_h arvutamisel kasutatud põllu kaugus ongi majanduslikult põhjendatud suurim vahemaa keskusest maatükini teatud pindala ja tehnoloogia korral.

Iteratiivse meetodi puhul rakendatakse alglahti leidmist, lõikajate meetodit (Weisstein, 2006a) ja lõigu poolitamist (Weisstein, 2006b). Senised arvutuste tulemused on näidanud, et rahuldava lahendi leidmiseks piisab 50 arvutustsükli kasutamisest. Mudeli testimise tulemusel sain lahendi otsimiseks järgneva skeemi: 1. tsükkel – alglahti leidmine, 2.–5. tsükkel – lõikajate meetod ja 6.–50. tsükkel – lõigu poolitamise meetod.

Väikseim põllu pindala on leitav sarnase algoritmi abil. Erinevus on vaid selles, et algselt määratakse kindel kaugus d ja siis otsitakse sellele vastavat väikseimat põllu pindala teatud piirkulu $K_{h,max}$ korral. Kui kaugus on suhteliselt suur või piirkulu suhteliselt väike, võib juhtuda, et minimaalne põllu pindala pole leitav.

Ülevaade kaugusest sõltuvate kulude arvutusmudelid

Käesolevas uurimuses mõeldakse põllu kauguse all põllumajandusmasinaga läbitava lühima teekonna pikkust ettevõtte masinakeskusest põllu lähima sissesõidupunkti. Kuigi mõnes ettevõttes asub osa tootmishooneid, nagu loomakasvatushooned või saagi järeltöötlemise ja hoiustamiskohad, keskusest eraldi, eeldati esialgse arvutusskeemi loomisel lihtsustusena, et kõik põlluga seotud sõidud lähtuvad keskusest. Kulude summa arvutusmudeli koostamisel peeti silmas, et arvestatakse kogu tehnoloogiaga, mida vaadeldaval põllul saagiaasta kestel rakendatakse. Mudel koosneb neljast osast: agregaatide transpordikulu, materjalide veokulu, organisatsiooniliste sõitudega seotud kulu ja tulukadu kevadtööde venimisest.

Agregaatide transpordikulude arvutamisel arvestatakse võimalusega, et ühte tööd võidakse teha mitme erineva agregaadiga mitme tööpäeva vältel. Eeldatud on, et tööpäeva lõpus juht sõidab agregaadiga keskusesse tagasi. Transpordikulu arvutusskeem põhineb agregaadid tühisõidu tunnihinnal, arvestades masinate teel liikumise kulusid (Witney, 1988; Hunt, 2001).

Materjalide veo puhul arvestatakse, et ühe nimetuse transportimiseks võidakse kasutada mitut veotsükli ja erinevat sõidukit. Veoseid eristatakse kandevõime kasutamise klasside järgi. See määrab järelvankri kandevõime kasutamise teguri (ATK 1984). Veokulu arvutusskeem põhineb veoki sõidutunni hinnal, mille leidmisel peetakse silmas kütusekulu sõltuvust masina koormatusest veotsükli erinevatel etappidel (Grisso *et al*, 2006).

Organisatsiooniliste sõitudega seotud väljaminekute arvutusskeemi koostamisel eeldatakse, et sõiduki koormus ei muutu oluliselt kogu põllulkäigu vältel. Vaja on

teada, mitu sõitu saagiaastal vaadeldavale põllule mingi liiklusvahendiga tehakse, masinate keskmist kiirust ja sõidutunni hindu.

Tulu ja põllu kauguse vahelise seose leidmisel lähtusin uurimustest (Giunta *et al.*, 2007; Haller, 1969; Karmin, 1975; Toro, 2005), mille kohaselt saagikus sõltub põllutööde tegemise ajast (päevades):

$$h_t = h_{max} (1 - bt^2), \quad (4)$$

kus h_t on kultuuri saagikus t päeval seemendatud alalt, h_{max} saagikus külviks sobivaimal päeval, b külviaja ajastamatuses tingitud saagilangust arvestav regressioonitegur ja t sobivaimast külvipäevast hõlbitud päevade arv.

Vahemaade suurenedes kulub üha enam tööpäevast põllule ja tagasi sõiduks. Sellega seoses lüheneb aeg, mis tööpäevast jääb töö tegemiseks põllul, ja kasvab päevade arv, mis on vajalik, et töö saaks põllul tehtud. Pikema tööperioodiga kaasneb üha suurem hõlbimine tööde tegemiseks sobivast ajast ja sellest tingitud saagikuse langus. Piisava põhjalikkusega on Eestis uuritud vaid külviaja ja saagikuse vahelist seost (Tamm, 1999). Sellest lähtuvalt arvestab mudel praegu külvieelse mullaharimis- ja külviagregaatide sõidu aja mõju saagikusele.

Mudeleksperimentide tulemused

Mullaharimise tehnoloogiate mõju

Mudeli abil võrreldi mullaharimisviisi mõju kaugusest tingitud kuludele (tabel 1). Minimeeritud harimisel on tööde ja seega agregaatide sõitude arv väiksem kui tava tehnoloogial, otsekülvi puhul veelgi väiksem. Arvutustest selgus aga, et tehnoloogiate võrdluses oli põllu suurima kauguse erinevus siiski väike (joonis 2a). Agregaatide transpordi ja organisatsiooniliste sõitude kulu on otsekülvil küll teiste tehnoloogiatega võrreldes väiksem, kuid materjalide veokulu kasvas (tabel 1). Põhjuseks on asjaolu, et suurema tööde arvu ja seega ka traktori suurema aastakoormuse korral on püsikulude osa traktori tunnihinnas väiksem. Seega võrreldi tegelikult olukordi, kus on palju töid madalama tunnihinnaga ja vähe töid kõrgema tunnihinnaga.

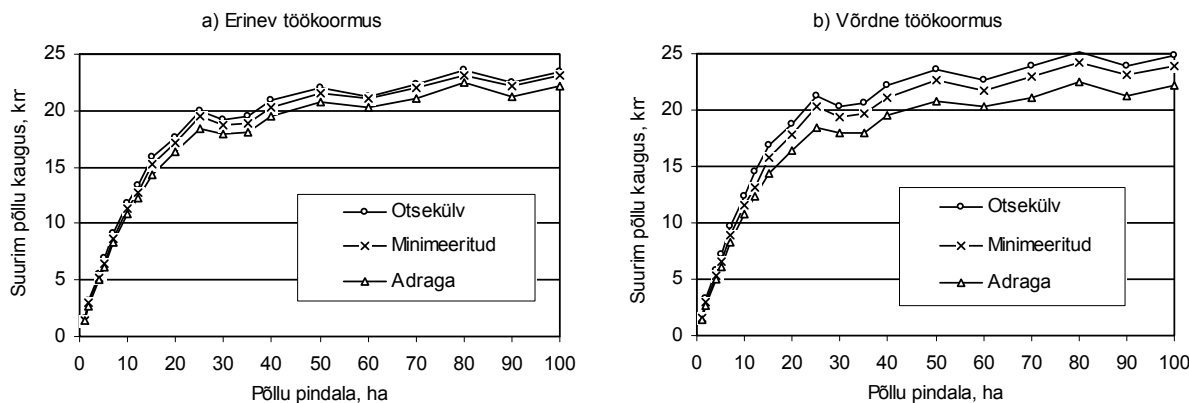
Tabel 1. Kaugusest tingitud kulud 20 km kaugusel asuva 16 ha suuruse põllu korral, kr ha⁻¹

Table 1. Costs (kr ha⁻¹) depending on distance if the plot distance is 20 km and area is 16 ha

Kulu nimetus	Tavaharimine	Miniharimine	Otsekülv
Agregaatide sõidukulu U	300	250	220
Materjalide vedu V	416	456	469
Saagilangusest tingitud tulukadu, AB	147	147	147
Organisatsioonilised kulud M	185	151	128
Kokku K_h	1,047	1,004	964

Võrdluseks simuleeriti olukorda, kus eeldatakse, et kõigi tehnoloogiate korral on masinate aastane töökoormus ja tunnihind sama suur kui tavaharimisel. Sel juhul vähenevad kõik kulud, välja arvatud tulukadu, koos tööde arvu vähenemisega ja erinevused põllu maksimaalse kauguse osas on mõnevõrra suuremad (joonis 2b) kui

erineva aastase töökoormuse korral. Näiteks 30 ha pindalaga põllul on erinevate töökoormuste korral tavaharimisel, miniharimisel ja otsekülvil maksimaalsed põllu kaugused vastavalt 17,9, 18,7 ja 19,2 km. Masinate ühesuguse töökoormuse korral on need kaugused 17,9, 19,4 ja 20,4 km.



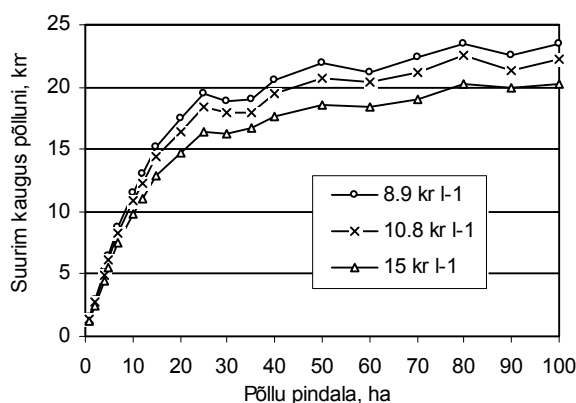
Joonis 2. Põllu suurima kauguse sõltuvus põllu pindalast erinevate harimistehnoloogiate korral, kui kaugusest sõltuvad kulud ei tohi ületada $1,000 \text{ kr ha}^{-1}$. Masinate aastane töökoormus a) sõltub tehnoloogiast, b) on kõik tehnoloogiate puhul sama mis adraga tehnoloogias

Figure 2. The maximum plot distance dependency on plot area in the case of different tillage technologies if costs depending on the distance should not exceed $1,000 \text{ kr ha}^{-1}$. The yearly workload of machines a) depends on the technology, b) are for all technologies same as in conventional tillage

Sõltuvalt põllu pindalast muutub maksimaalne kaugus kindla $K_{h,max}$ korral esialgu peaaegu võrdeliselt kuni põllu suuruseni umbes 15 ha. Edasi kasv küll mõnevõrra aeglustub, kuid jätkub intensiivselt kuni põllu pindalani 20 ha, et seejärel aeglustudes läheneda asümptootiliselt mingile piirväärtusele. Eestile omastes majandustingimustes, millele antud töös vaadeldud lähteandmed ligikaudu vastavad, jääb suurim tasuv kaugus suuremate põldude korral vahemikku 18–25 km. Kõveratel esinevad jõnksud (joonis 2) on tingitud mingi tööga või materjalide veoga seotud sõidukordade arvu muutusest.

Kütuse hinna mõju

Kütuse hinna mõju uurimiseks simuleeriti tavaharimise tehnoloogiat ja masinate tunnihinnad arvatati kolmel kütusehinna tasemel (joonis 3). Eestis on lubatud põllumajanduslikus tootmises kasutada eriotstarbelist diislikütust, mille aktsiis on väiksem kui diislikütuse tavaarbijatel. 2008. aasta alguses Eestis kütuseaktsiisid tõusid. Eriotstarbeline kütuse hind enne ja pärast aktsiisitõusu olid vastavalt umbes $8,9$ ja $10,8 \text{ kr l}^{-1}$. Kolmas hinnatase lähtub eeldusest, et põllumees kasutab tavaarbijale määratud kütust hinnaga 15 kr l^{-1} . Pindala suurenedes mõjutab kütuse hind põllu suurimat kaugust kasvavalt teatud maani – antud juhul kuni umbes 25 km-ni, kust alates kauguste vahed erinevatel hinnatasetel jäävad ligilähedasel samaks. Näiteks 30 ha pindalaga põllul on kütuse madalaimast kõrgeima hinnatasemeni suuremad kaugused vastavalt 18,7, 17,9 ja 16,2 km. Seega, mida kõrgem on kütuse hind, seda enam peab põllumees kaaluma kaugete põldude kasutamise otstarbekust.



Joonis 3. Põllu maksimaalse kauguse sõltuvus põllu pindalast kütuse erinevate hindade korral. Kaugusest tingitud kulude lubatavaks piiriks on võetud $1,000 \text{ kr ha}^{-1}$.

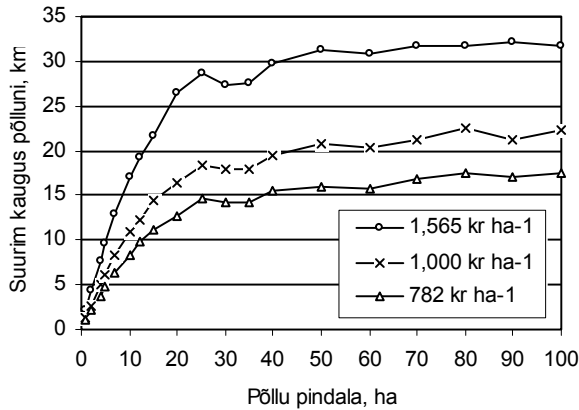
Figure 3. The maximum plot distance dependency on plot area using different fuel prices. The costs depending on the distance should not exceed $1,000 \text{ kr ha}^{-1}$.

Seega on olemas oht, et üldise kütusehinna tõusu taustal muutuvad kaugemal asuvad, kuid seni majanduslikult kasu toonud põllud, ebamajanduslikeks. See võib juhtuda ka kütuseaktsiiside tõusu tulemusena, kui kompensatsiooni ei paku toodangu hinna ja saagikuse tõus.

Teravilja hinna ja saagikuse mõju

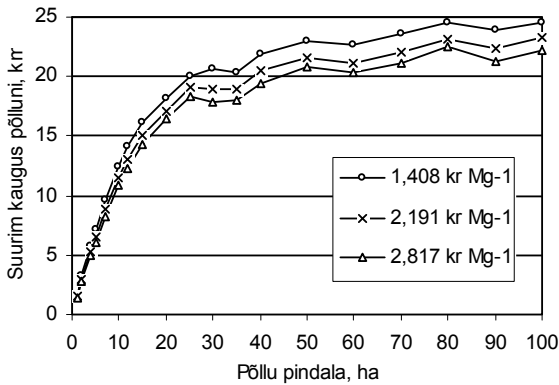
Teravilja müügihind ja saagikus mõjutavad põllult saadavat tulu ja seega piiri, milleni võivad kaugusest tingitud kulud ulatuda (valem 2). Kulude piirväärtus omab põllu maksimaalsele kaugusele märkimisväärset mõju (joonis 4). Antud mudelkatses on 30 ha pindalaga põllul kulude piirväärtuste 100, 64 ja 50 kr ha^{-1} korral maksimaalsed kaugused vastavalt 27,3, 17,9 ja 14,1 km. Piiri

suurendamine 50 kr ha^{-1} võrra võimaldab sel juhul kasutada 13 km kaugemal asuvat põldu.



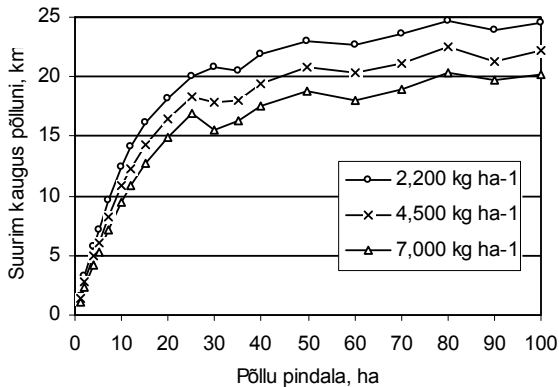
Joonis 4. Põllu maksimaalse kauguse sõltuvus põllu pindalast tavatehnoloogia korral, kui kaugusest tingitud kulude lubatavaks piiriks on 1,565, 1,000 ja 782 kr ha^{-1}

Figure 4. The maximum plot distance dependency on field area in the case of conventional technology if the costs depending on the distance should not exceed 1,565, 1,000 ja 782 kr ha^{-1}



Joonis 5. Põllu suurima kauguse sõltuvus põllu pindalast erinevate teravilja hindade korral. Kaugusest tingitud kulude lubatavaks piiriks on võetud $1,000 \text{ kr ha}^{-1}$ ja teravilja saagikuseks on $4,5 \text{ kg ha}^{-1}$

Figure 5. The maximum plot distance dependency on plot area in the case of unlike grain prices. The costs depending on the distance should not exceed $1,000 \text{ kr ha}^{-1}$ and grain yield is $4,500 \text{ kg ha}^{-1}$



Joonis 6. Põllu suurima kauguse sõltuvus põllu pindalast erinevate teraviljasaagikuste korral. Kaugusest tingitud kulude lubatavaks piiriks on võetud $1,000 \text{ kr ha}^{-1}$ ja teravilja hinnaks on $2,817 \text{ kr Mg}^{-1}$

Figure 6. The maximum field distance dependency on plot area in case of unlike grain yields. The costs depending on the distance should not exceed 64 kr ha^{-1} and grain price is $2,817 \text{ kr Mg}^{-1}$

Teisalt aga suureneb koos müügihinna ja saagikuse kasvuga ka tulukaadu ühe hilinetud külvipäeva kohta (joonis 5 ja 6). Seega on külvitööde õigeaegsus ja sõitudele kuluva aja minimeerimine olulisem just kõrge saagipotentsiaaliga põldudel. See tähendab, et kõrge saagipotentsiaaliga põllule tuleks külviagregaat toimetada võimalikult kiiresti ja võimalusel seemendada seda ilma vahepealsete keskusesse sõitudeta.

Keskmiselt sõltub maksimaalse kauguse muutus näitearvutustes uuritud parameetritest järgnevalt: 1) 1.38 km kuludepiiri 100 kr ha^{-1} kohta (kuludepiir on summa, mida on võimalik kasutada kaugusest sõltuvate kulude katmiseks); 2) 1.26 km saagi hinna 1 kr kg^{-1} kohta; 3) 0.7 km teraviljasaagi 1 t ha^{-1} kohta ja 4) 0.36 km kütuse hinna 1 kr l^{-1} kohta.

Võrreldes omavahel kaugusest sõltuvaid kulusid, selgub, et materjalide veokulud on võrreldes teiste kululiikidega oluliselt suuremad (tabel 1) ja väikseimad on organisatsioonilistest sõitudest tingitud kulud. Mineeraalväetistele põhinevas teraviljakasvatuses langeb saagi veole põhiline osa materjalide veokuludest. Võrreldes omavahel agregaatide sõidukulud, ilmnes, et neist moodustab märkimisväärse osa kombaini sõidukulu. Kui 16 ha põllu kaugus oli 20 km ja põllule tuli sõita kahel päeval, siis kombaini sõidukulud moodustasid 30% adraga-tehnoloogia korral, kaks künniagregaat kokku 20 % ja ülejäänud põllutööriistad igatüki ca 5% agregaatide sõidukuludest.

Väitekirjas esitatud põllu kauguse majandusliku hindamise meetodika koostamisel ilmnes, et selle meetodika rakendamisel tuleb arvestada teatud tingimustega: 1) masinad sõidavad põllu ja masinakeskuse vahet tööpäeva sees ja 2) põllutööagregaat sõidab tööpäeva lõpus alati masinakeskusesse tagasi.

Koostatud mudel vajab edasist arendamist. Praegu arvestab mudel seoses põllu kaugusega ainult külvitööde mõju tulukaole, kuid tulevikus vajab mudel täiendamist ka teiste tööde osas. Lisaks tuleks luua algoritm, mille abil oleks, juhul kui põld on suurem kui vahetuse tootlus, võimalik otsustada, kas oleks otstarbekaim põllult naasta, jääda põllu lähisteile ööbima või sooritada töö mitme järjestikulise vahetuse vältel. Põllu kauguse analüüsiks koostatud mudel ja selle põhjal loodud tarkvara on praktiliseks abivahendiks põllumehel, teadurile või nõustajale, võimaldades võrrelda erinevate tehnoloogiliste võtete mõju kaugusega seotud kuludele.

Arutelu põllu kasutamise valikutest sõltuvalt kaugusest

Mitmes uurimuses on selgitatud põldude struktuuri mõju kultuuride valikule (De Garis de Lisle 1982; Myyrä, Pietola 2002). Teraviljade transpordikulud on väiksemad kui näiteks kartulil ja seega on seda otstarbekam viljeleda ettevõtte keskusest kaugemal põldudel. Juba 19 sajandil soovitas von Thünen oma mudelite põhjal turule lähemal viljeleda (Crosier 2009) kallemaid ja suurema transpordikuluga kultuure. Sarnane suundumus ilmnes käesoleva mudeliga tehtud teravilja hinna ja saagikuse analüüsist – iga lisanduva külvipäevaga kaasneb

tulukadu, lisaks kaasneb täiendav külvi transpordikulu. Samuti suureneb saagikusega ka terade transpordikulu. Seega, kõrgema saagikuse ja müügihinnaga kultuure peaks viljelema ettevõtte keskusele lähemal.

Käesolevas uurimuse mudeleksperimentides kasutatud tingimuste korral on suurte põldude majanduslikult suurim kaugus vahemikus 18–25 km. Lötjönen *et al.* (2003) ja teised analüüsid tootmiskulusid teraviljakoristusel, arvestades muuhulgas ka põllu suurust ja kaugust. Nad leidsid, et ühe töötaja korral on majanduslik suurim kaugus väiksem kui 10 km. Kui koristusel osaleb kaks töötajat, on majanduslik kaugus 20–30 km.

Kultuurist sõltuvad saagikus ja tulu. Suvi- ja taliviljade külvi ajastamatuse tegurid on erinevad (regressioonitegur *b* valemis 4). Taliviljad on külvi hilinemise suhtes enam tundlikud kui suviviljad. Kaugemale teraviljapõllule on sõiduaeg ja seetõttu ka külviperiood pikem. Viimane tingib aga keskmise saagikuse languse ja seetõttu peaks talivilju viljelema keskusele lähemal kui suvivilju.

Taliviljasid väetatakse sõnnikuga. Arvestades kaugust, on ka see oluline tegur põllu valikul. Sõnniku transport on võrreldes mineraalväetisega kallid (Tamm, Vettik, 2007) ja taliviljade kasvatamiseks tuleks valida sõnnikuhoidlale lähemal asuvad põllud.

Tulemused näitavad, et majanduslik suurim põllu kaugus kasvab teatud maani koos põllu suurusega. Seetõttu on otstarbekas ühendada kauged väiksemad põllud või otsida võimalust kasutada lähedastel põldudel sama tehnoloogiat. Arvutused näitavad, et ühendamist tasuks kaaluda põldudel suurusega alla 25 ha. Kapfer ja Kantelhardt (2008) arvutasid põldude struktuuri parandamise eesmärgil majanduslike võtmetegurite väärtusi ja leidsid, et põllu suurus peaks olema vähemalt 20 ha.

Lötjönen *et al.* (2003) märgivad, et otstarbekas oleks rakendada masinate ühiskasutust. Eri ettevõtete, kuid sama tehnoloogiaga naaberpõllud on võimalik korraga töödelda sama masinaga. Teine võimalus, et põllumees harib talle lähedal asuva põllu, mis kuulub kokkuleppepartnerile, aga asub tolle keskusest kaugel.

Kaugematel põldudel tuleks eelistada tehnoloogiaid, mille korral põllul tehtavate tööde ja seega sinna sõitude arv oleks võimalikult väike nagu näiteks otsekülvi korral. Väitekirjas vaadeldud tehnoloogiate korral pidi adraga-tehnoloogias põllul sõitma 10, miniharimise korral 8 ja otsekülvi korral 6 põllutöö agregaati. Sellest tulenev põllule sõitude kulu on vastavalt 300, 250 ja 220 kr ha⁻¹.

Masinate valikul tuleks kaugematel põldudel eelistada suurema tootlikkusega masinaid, kuna see aitab vähendada just suurematel põldudel tööpäevade ja seega põllule sõitude arvu. Samas tuleb siin arvestada, et suurema tootlusega masinate transpordikulud on üldiselt suuremad kui väiksema tootlusega masinate. Seega peab otsus lähtuma transpordikulude analüüsist.

Kasutatud kirjandus

Aaltonen, J., Järvenpää, M., Klemola E., Laurila, I. 1999. Viljan korjuu-, kuivaus- ja logistiikkakustannukset Suo-

- messa. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Selvityksiä 2/1999, 22 p.
- Asi, M., Möller, H., Soonets, K., Tamm, K., Vettik, R. 1999. Optimization of crop-growing farm and its machinery park parameters. Actual tasks on agricultural engineering. *Proceedings of 27. International Symposium on Agricultural Engineering*// Opatija, Croatia, p. 21–27.
- ATK 1984. Põllumajandustööde normid. Mehhaniseeritud tööd. Eesti NSV ATK Info- ja Juurutusvalitsus, 383 lk.
- Bouma, J., Varallyay, G., Batjes, N. H. 1998. Principal land use changes anticipated in Europe. *Agriculture Ecosystems & Environment* 67 (2–3), p. 103–119.
- Burger, A. 2001. Agricultural development and land concentration in a central European country: a case study of Hungary. *Land Use Policy* 18 (3), p. 259–268.
- Burton, R. J. F., Walford, N. 2005. Multiple succession and land division on family farms in the South East of England: A counterbalance to agricultural concentration? *Journal Of Rural Studies* 21 (3), p. 335–347.
- Crosier, S. 2009. Johann-Heinrich von Thünen: Balancing Land-Use Allocation with Transport Cost By Scott Crosier. Cited 26 January 2009. Updated 1 January 2009. Available on the Internet: <http://www.csiss.org/classics/content/9>.
- Garis De Lisle, D. de. 1982. Effects of Distance on Cropping Patterns Internal to the Farm. *Annals of the Association of American Geographers* 72 (1), p. 88–98.
- Giunta, F., Motzo, R., Pruneddu, G. 2007. Trends since 1900 in the yield potential of Italian-bred durum wheat. *European Journal of Agronomy* 27 (1), p.12–24.
- Grisso, R. D., David H. Vaughan, D.H., Roberson, G. T. 2006. Method for Fuel Prediction for Specific Tractor Models. ASABE Paper No. 061089. St. Joseph, Mich.: ASABE.
- Gwyer, B., King, T., McKenzie, B., Stothers, S. 2005. Land Expansion: Establishing Values and Options. Manitoba Agriculture, Food and Rural Initiatives. Cited 30 August 2007. Updated May 2005. Available on the Internet: <http://www.gov.mb.ca/agriculture/financial/farm/cap07s01.html>
- Hahn, J. 2006. Logistik. Jahrbuch Agrartechnik/Yearbook Agricultural Engineering. Band 18. VDMA Landtechnik/VDI-MEG/ KTBL. Landwirtschaftsverlag. p. 52–58.
- Haller, E. 1969. Idanemiskeskonna mõju põllukultuuride saagile. Tallinn, 275 lk.
- Harasimowicz S. 1997. Influence of plot and farm characteristics on the value of land. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kollataja w Krakowie. Geodezja* (Poland), no. 16, p. 77–85.
- Hunt, D. 2001. Farm power and machinery management. – 10th ed. Iowa. 368 p.
- Jabarin, A. S., Epplin, F. M. 1994. Impacts of land fragmentation on the cost of producing wheat in the rain-fed region of northern Jordan. *Agricultural Economics* 11 (2–3), p. 191–196.
- Kapfer, M., Kantelhardt, J. 2008. A method to calculate economic key figures with regard to plot structure improvements. The 82nd Annual Conference of the Agricultural Economics Society Royal Agricultural College. 31st March to 2nd April 2008. Cirencester, UK. Cited 29. 04.2009. Updated 02.04.2008. Available on the Internet: http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/36858/2/Kapfer_kantelhardt.pdf.
- Karmin, M. 1975. Mullaharimise ja külvi kvaliteet. Tallinn: Valgus, 118 lk.
- Kryachkov, I., Sharova, N. 2005. Justification of optimal sizes of agricultural enterprises. *Mezhdunarodnyi Sel'skokhozyaistvennyi Zhurnal*, 4, p. 30–33.

- Lötjönen, T., Suomi, P., Mikkola, H. J. 2003. Modelling of grain harvesting from field to storage. Management and technology applications to empower agriculture and agro-food systems *XXX CIOSTA-CIGR V Congress Proceedings* Turin, Italy September 22–24, 2003 : volume 1, p 395–399.
- Morlon, P., Trouche, G. 2005. New stakes of field work logistics for annual crops in French conditions. II. The spatial organization of crops: Examples and questions. *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*. 14 (3), p. 305–11.
- Myyrä, S., Pietola, K. 2002. Economic importance of parcel structure on Finnish farms. *Agricultural and Food Science in Finland* 11 (3), p. 163–173.
- Schnitkey, G. 2005. Growth in farm size. Farm business management. Farm Economics Facts and Opinions. University of Illinois Extension. Cited 28 August 2007. Updated 25 Juny 2005. Available on the Internet: http://www.farmdoc.uiuc.edu/manage/newsletters/fefo05_12/fefo05_12.html
- Statistics Estonia. 2009b. Agricultural land by size class and legal form of holder. Cited 25 January 2009. Updated 17 April 2008. Available on the Internet: <http://www.stat.ee/agriculture>.
- Steinsholt, H. 1997. Calculation system for working time need at changes in field size, field shape and distance within the farm area. *Informasjonsmoete i Landbruksoekonomi 1997*, Oslo (Norway), 4–5 Nov 1997.
- Suomi, P., Lötjönen, T., Mikkola, H. 2003. Modelling of grain harvesting and storing. *Nordic Association of Agricultural Scientists 22nd Congress*, July 1–4 2003, Turku, Finland.
- Tamm, K. 1999. Optimierung der Grundparameter des Getreideanbaubetriebes nach der Belastung des Maschinenparks. Eine Dissertation zur Erlangung des Magistergrades. Estnische Landwirtschaftliche Universität. p. 76.
- Tamm, K., Vettik, R. 2007. Distance and costs of transportation to the field if slurry is used for fertilising. *Agronomy 2007*, Saku, p. 155–58.
- Toro, A. de. 2005. Influences on timeliness costs and their variability on arable farms. *Biosystems Engineering* 92 (1), p. 1–13.
- Weisstein, E. W. 2006a. 'Secant Method'. From MathWorld--A Wolfram Web Resource. Cited 18 December 2007. Updated 24 March 2006. Available on the Internet: <http://mathworld.wolfram.com/SecantMethod.html>.
- Weisstein, E. W. 2006b. 'Bisection'. From MathWorld--A Wolfram Web Resource. Cited 18 December 2007. Updated 1 March 2004. Available on the Internet: <http://mathworld.wolfram.com/Bisection.html>
- Witney, B. 1988. *Choosing and Using Farm Machines*. New York. 412 p.

The Dependence on the Structure of Machinery and the Locality of Plots on Cereal Farm Work Activities

K. Tamm

Eesti Maaviljeluse Instituut, Kalvi.Tamm@eria.ee

The methods of agrological analysis facilitate evaluation of the role of transportation distance in the production results of an agricultural enterprise. Information from the studies of the influence of the plot distance on the profit potential of the plot can assist farmers' decisions about employing different cultivation technologies. The method presented in this study enables farmers to estimate the options of using a particular technology depending on the size and distance of the plot as well as to determine the maximum value of the distance or minimum value of the plot size. The calculation method presented in this paper is realised in software. One can consider plot distance and area while making decisions about the usage of arable land and thus support the competitiveness of the farm.

On the basis of the calculations performed by means of the model, it can be concluded that the economically profitable distance grows proportionally with plot size. Under the present Estonian economical conditions, in the farm with an average yield level, the increase in maximum plot distance continues until the plot area reaches 20 ha, with larger plot sizes the distance remains in the interval 18–25 km.

The results of the simulations show that tillage technology has more influence on the maximum distance when yearly workloads of machines are equal in all technologies, as compared to the case when the workload depends on technology. The calculation outcomes also show that the prognosticated price of fuel must be taken into account when making plot-related decisions. Using distant plots that have been cost-effective until now may become unprofitable due to higher fuel cost. Larger yield or selling price of production are increasing the limit value of costs and, thus, increasing the profitable distance of the plot; on the other hand, the income losses are increasing due to timeliness of operations, lessening the tendency to increase distance.

The composed model needs further elaboration. Today, the model considers only the sowing works influence on the income loss related to driving distance, but in the future the model needs to be complemented with other operations; for example, to address driving not only starting from the compound, but also from other points on the farm. It would also be beneficial to create the possibility to evaluate which conditions would be most rational: to return to the farm compound with the application aggregate after the work day, leave it close to the plot, or perform the operation in several consecutive shifts.