

## AGROTEHNILISTE VÕTETE MÕJU MULLA FÜSIKALISTELE OMADUSTELE

E. Lauringson, H. Vipper, L. Talgre

**ABSTRACT.** *The effect of farming techniques on soil physical properties.* This research was conducted at the trial fields of the Department of Field Crop Husbandry of the Estonian Agricultural University. The trial was carried out on the moderately moist slightly podzolised sandy clay soils of the experimental field over 16 years (1982–1997). The effect of farming techniques was investigated in three eight-field crop rotation systems (the first round of rotation in 1982–1989, the second in 1990–1997).

Farming techniques are important determinants of soil properties. The soils of south and central Estonia, with their relatively low humus content and poor texture, thicken quickly and are therefore vulnerable to treading. Consequently, short-term measures are insufficient to improve them. The inclusion of mixture of red clover and timothy in crop rotation improved soil hydrophysical properties and increased the share of waterproof aggregates in soil texture. The improvement of texture is attributable first and foremost to the great root mass of mixture of red clover and timothy in the soil. The growth and root mass of mixture of red clover and timothy depended on the depth of autumn ploughing prior to the sowing of the cover crop (barley) ( $r=0.95^{**}$ ). The effect of crop rotation on soil physical properties was more evident before spring tillage.

The differentiation of soil bulk density in the ploughed layer was most evident in the rotation of cereals. Abundant use of organic fertilisation (in the cereal-potato rotation) and larger amounts of plant litter (in the cereal-mixture of red clover and timothy-potato rotation) ensured higher humus content and more favourable physical properties for the soil.

Loosening with stubble cultivator compared to ploughing ensured better soil hydrophysical properties only in the 0–8 cm soil layer. Water content in the 16–24 cm layer did not differ under different tillage techniques; however, ploughed soil evidenced better aeration.

**Keywords:** crop rotation, soil tillage, soil bulk density, ploughing, stubble cultivator, loosening.

### Sissejuhatus

Mullaviljakus on mulla põhiline spetsiifiline kvalitatiivne omadus, mis avaldub selle võimes rahuldada taimede nõudeid kasvutingimuste suhtes. Agrotsönooside produktiivsus sõltub eksisteerivate ökoloogiliste ressursside iseärasustest. Olenevalt olukorrast võib fütoproduktiooni limiteerivaks kujuneda ükskõik milline kasvufaktor, kuid selle tegelik kriitilisuse lävi sõltub siiski kõikide kasvufaktorite koosmõjust.

Mulla lasuvustihedus on üks sagedamini mõõdetavaid mulla kvaliteedi näitajaid agrotehnilistes katsetes. Mulla lasuvustihedus, millega on otseselt seotud mulla hüdrofüüsikalised omadused, iseloomustab ka mullaviljakust. Hüdrofüüsikalised näitajad mõjutavad omakorda kõiki mullaprotsesse, vee liikumist ja omastatavust mullas ning seega ka bioproduktiooni.

J. Arvidsson ja I. Hakansson (Arvidsson, Hakansson, 1991) jagavad tihendamise mõju mullale kolme gruppi: 1) lühiajalised mõjud, otseselt seotud lasuvustihedusega ja künnikihiga; 2) künnikihi struktuuri kahjustuse mõjud, mis püsivad pärast kündmist ja 3) aluspinnase tihendamise mõjud. Mulla tihenemise kutsub peamiselt esile kas harimine (liigniiske või liigkuiva mulla harimisel) või liiklus (liigtallamine) (Nugis, *et al.*, 2000; McBride *et al.*, 2002). Paljud tänapäeva rasked harimismasinad põhjustavad muldade tihenemist. Väga tavaline on horisontaalse tihenemine tsooni moodustumine või tihenemine kihi tekkimine 20–30 cm sügavusel, kui igal aastal künda sama sügavalt. Hõlmadrage märga mulda kündes põhjustab hõlmadra tald horisontaalseid taimejuurtele läbitungimatuid kihte. Tähtsaim tihenemise probleem on siiski seotud traktori tagumise ratta liikumisega avatud vaos, mis põhjustab tihenemine kihi tekke veelgi sügavamates mullakihtides (näiteks 30 cm või rohkem).

Tihenemine allpool künni kihti on üldiselt suurem probleem, kuna see ei ole kergesti isekorrigeeruv (näiteks külmumise-sulamise, märgumise-kuivamise tsüklid) ja selle likvideerimine on võimalik vaid sügavkobestamise abil.

Maaviljelusnõuete puudulikkuse tõttu halvenes (eriti just suure erisurvega põllumajandusmasinate kasutamise tõttu) 1980ndatel aastatel Eestis põllumuldade agroökoloogiline seisund. Ebaõigete harimisvõtete tulemusena lõhuti meie põllumuldade künnikihi mulla struktuur niivõrd, et muldade tasakaaluline lasuvustihedus on oluliselt suurem põllukultuuridele ettenähtud tasemest (Nugis, Lehtveer, 1991).

Põllukultuuride saagikuse ja mulla lasuvustiheduse vahelise seose analüüs näitas, et optimaalseks lasuvustiheduseks on 1,20–1,35 g cm<sup>-3</sup> (Kitse, 1978). Mudelkatse põhjal selgus, et pärast kevadist mullaharimist

katseala muld tihenes kiiresti ja nagu Lõuna-Eesti muldadele tüüpiline, ulatus tasakaaluline lasuvustihedus 1,45–1,50 g cm<sup>-3</sup> (Vipper, Lauringson, 1987). Mõned uurijad loevad 1,35–1,50 g cm<sup>-3</sup> suurusel lasuvustihedust kergete liivsavimullale juba eelkriitiliseks (Nugis, Lehtveer, 1991).

Erinevate kultuuride viljelemisega kaasnev masindegradatsiooni suhteline koormus mullale on erinev. Talinisu ja kartuli külvieelsel tavaharimisel tallatakse masinataga vastavalt 41 ja 104% põllupinnast, külvi järgselt ulatub see juba 104 ja 148%-ni (Kuipers, 1987). Liigtallamise mõjul ei halvene mitte üksnes mulla hüdrofüüsikalised näitajad, vaid pidurduvad ka bioloogilised protsessid (Whalley *et al.*, 1995). Juurte osakaalu vähenemist tihenenud mullas on täheldanud mitmed autorid (Lehfeldt, 1988). Tihedam seos on esinenud saagi ja künnikihialuse kihi juurestatuse vahel.

Nii tsiiseldamist kui hõlmadruga kündi kasutatakse mulla kobestamiseks, kuid hõlmadruga kündi peetakse tõhusamaks, see keerab ka mulla ümber, seejuures liidab taimejäägid, umbrohud ja väetised. Sarnast lasuvustihedust kobestamisel ja hõlmadruga künnil on ilmnenud mitmetes uurimustes (Comia *et al.*, 1994; Arvidsson, 1997; Arshad *et al.*, 1999; Stancevičius *et al.*, 1999). On leitud ka, et erinevad mullaharimisviisid mõjutavad lasuvustihedust suhteliselt vähe (Šimaskaite, 2000; Viil, 2002).

Mitmete uurijate töödes leidis viiteid, et kultiveerimine kobestab siiski mulda halvemini kui hõlmadruga kündmine (Sommer, Zach, 1992; Carter, 1996; Carter *et al.*, 1998). Tüükultivaatoriga kobestatud mullal on täheldatud ka suuremat mulla kõvadust kui hõlmadruga kündmise korral (Munkholm *et al.*, 2001).

On ka andmeid, kus aastaid pindkobestamist kasutades jäi alumise kihi lasuvustihedus samasuguseks nagu igal aastal küntud mullal (Stancevičius *et al.*, 2000). Kultiveerimata muld saavutas oma loomuliku tiheduse ning ei tihenenud enam. Kultiveerimata mulla kobeduse tagavad ka vihmaussid. Vastavalt E. Ekebergi ja H. C. F. Riley andmetele (Ekeberg, Riley, 1997) oli kobestatud mullas vihmausside arvukus ja kaal suurem kui tavapäraselt haritud mullas.

Minnesota korraldatud uurimus näitas, et tavaharimisega võrreldes mulla lasuvustihedus pindmise kobestamise käigus kahe aasta jooksul suurenes, kuid neljandal aastal muutus samasuguseks ning edaspidi oli kobestusjärgne lasuvustihedus väiksem kui künni korral (Arshad *et al.*, 1999).

**Võtmesõnad:** külvikord, mullaharimine, lasuvustihedus, kündmine, tüükultivaatoriga kobestamine.

## Materjal ja meetodika

Uurimistöo aluseks on pikaajalised põldkatsed, kus uuriti viljavahelduse ja erinevate agrotehniliste võtete mõju mulla omadustele ja produktiivsusele. Bioloogiliste, sealhulgas ka agronoomiliste probleemide objektiivseks lahendamiseks on vaja pikka uurimisperioodi. Eriti oluline on see mullaomadusi mõjutavate faktorite (külvikorrad, väetamine, mullaharimine, umbrohutõrje jt) puhul, mille mõju on kumulatiivse iseloomuga.

Uurimus toimus EPMÜ taimekasvatuse instituudi katsepõldudel Eerikal. Agrotehniliste võtete mõju selgitati kolmel viljavaheldusfoonil (8-väljalised külvikorrad, esimene rotatsioon 1982–1989, teine 1990–1997).

A – kaer, oder, rukis, oder, kaer, oder, rukis, oder;

B – punane ristik + timut, punane ristik + timut, rukis, oder, kaer, kartul, suvinisu, oder;

C – kartul, kartul, suvinisu, oder, kartul, kartul, suvinisu, oder.

Viljavaheldustes selgitati künnisügavuse mõju mulla omadustele (harimissügavused teraviljadel 16–17 cm, 20–21 cm, 24–25 cm; kartulil 20–21 cm, 24–25 cm ja 28–29 cm). Viljavahelduses A uuriti täiendavalt sügiskünni asendamise võimalusi sama sügava kobestamisega (tüükultivaatoriga ZKU-2,6).

Katsed korraldati neljas korduses 75 m<sup>2</sup> suurusel katselappidel.

Katse toimus ebastabiilse niiskuse režiimiga kahkjäl, kerge liivsavi lõimisega mullal (*Podzoluvisols* – FAO-UNESCO) (Kõlli, Lemetti, 1999). Künnikihi tihedus oli 27–29 cm, pH<sub>KCl</sub> 5,6–5,7 ja mulla tasakaaluline lasuvustihedus 1,45–1,50 g cm<sup>-3</sup>.

Mineraalväetisi kasutati järgmiselt: 1. rotatsioon N-80, P-45, K-66 kg ha<sup>-1</sup>; 2. rotatsioon N-60, P-26, K-50 kg ha<sup>-1</sup>. Sõnnikuga väetati talirukist ja kartulit – 60 t ha<sup>-1</sup>.

### Määramised.

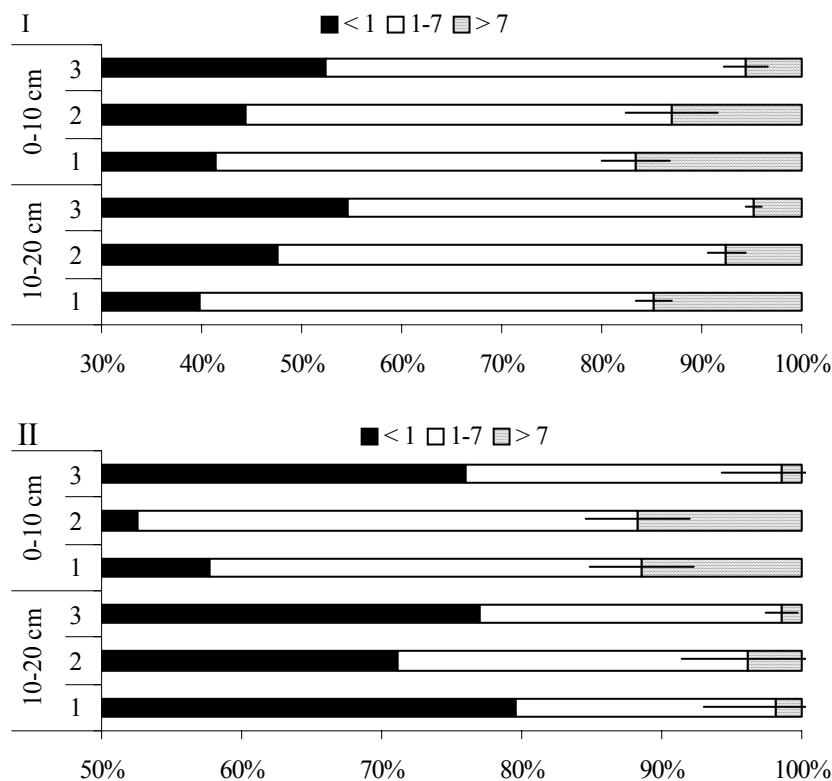
**Mulla kaaluline veesisaldus** (V<sub>0%</sub>) määrati vegetatsiooniperioodi jooksul kahel-kolmel korral samaaegselt lasuvustiheduse (D<sub>m</sub>) määramisega (mais, juunis, augustis). Saadud andmete alusel arvutati mulla mahuline veesisaldus (W<sub>0%</sub>) ja veevaru, kasutades üldlevinud valemeid (Kitse, 1978; Vipper, 1989).

**Mulla lasuvustihedus (D<sub>m</sub>)** määrati aastatel 1982–1995 Litvinovi silindrite (50 cm<sup>3</sup>) meetodil vähemalt kolmel korral vegetatsiooniperioodi jooksul (mais, juunis, juulis) kaheksas korduses 4–8; 14–18 ja 24–28 cm sügavusest. Aastatel 1995–1997 määrati mulla lasuvustihedus vegetatsiooniperioodil kolmel korral 70×70 cm raamiga kolmest sügavusest. See meetod annab võrreldes varem kasutatud silindriga täpsemad tulemused mulla lasuvustihedusest, eriti siis, kui on tegemist mulda ebahühtlaselt kobestava tüükultivaatoriga.

Võetud mullaproovide **makroagregaatide** kvantitatiivne ja kvalitatiivne analüüs tehti Savinovi meetodil.

## Katsetulemused ja arutelu

Kultuuristatud mulla üheks olulisemaks omaduseks on struktuursus, eriti aga just selle vastupidavus vee mõjule. Antud katses avaldasid kesatüübid küllaltki erinevat mõju suhtelisel veekindlate struktuuriagregaatide sisaldusele. Kuivsoelumisega määrates ei esinenud kesapõldudel talivilja külvi eel olulisi erinevusi (joonis 1). Mehaaniliselt moodustunud mullastruktuur puruneb aga juba vähese vee ja mehaanilise surve all. Vastupidav mullastruktuur tekib mullaelustiku intensiivse tegevuse ja säästliku mullaharimise tulemusena. Muldade suhtelisel veekindl struktuur oli parim põldheinakesal, eriti ülemises 0–10 cm kihis, kus agronoomiliselt kõige väärtuslikumate mullaagregaatide (1–7 mm) osatähtsus oli 34,6%. Odrakesal oli see 30,9% ja mustkesal 22,5%.



1 – odrakesa / fallowed barley field; 2 – põldheinakesa / fallowed red clover-timothy field; 3 – mustkesa / summer fallow

**Joonis 1.** Erinevate kesatüüpide mõju mulla struktuursusele (I) ja struktuuriagregaatide veekindlusele (II)  
**Figure 1.** The effect of different types of fallow on soil structure (I) and water-tightness of structural aggregates (II)

Mullastruktuur saab säilida ja paraneda üksnes nendes agroökosüsteemides, mis tagastavad piisava koguse taimevarist põllumulda. Koristusjärgselt põllule jääva orgaanilise aine ja lasuvustiheduse vahel on tihe korrelatiivne seos (Streltšenko jt, 1989). Samasugune lasuvustiheduse vähenemise efekt saadakse põldkatsetes orgaanilise väetise andmisega (Asmus *et al.*, 1987).

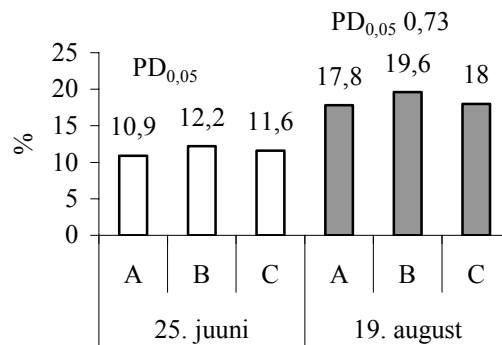
Juurtemassi määramised näitasid, et mulla struktuuri paranemine oli tingitud eelkõige põldheina suurest juurtemassist, kusjuures 0–10 cm kihis paiknes kogu juuremassist 73,2–78,8% e keskmiselt 6,6 tonni absoluutkuivi juuri hektari kohta (Vipper, Lauringson, 1986).

Põldheina juurtemassi mõjutas oluliselt kattevilja (oder) külville eelnenud sügiskünni sügavus ( $r=0,95^{**}$ ). Nii oli 0–40 cm mullakihi 24–25 cm künni korral juuri 30,9% rohkem kui madala (16–17 cm) künni korral. Suurem juurtemass ei mõjutanud mitte ainult mulla füüsikalisi omadusi, vaid ka mulla bioloogilisi omadusi ja saaki.

Viljavahelduslülide viimase kultuuri (oder) koristuse järel tehtud määramised 1985. aastal näitasid, et nelja-aastase katseperioodi jooksul ei ilmnenud ühegi katsefaktori kumulatiivset mõju mulla lasuvustihedusele (Vipper, Lauringson, 1987). See kinnitab, et Lõuna- ja Kesk-Eesti suhtelisel huumusvaeses ning halva struktuuriga mullad tihenevad kiiresti, on seega tallamisõrnad ja nende oluliseks parandamiseks ei piisa lühikesel perioodil rakendatavatest abinõudest.

Viljavahelduse positiivne mõju ilmnes selgemalt mulla veesisalduse näitajates. Nii oli keskmisest sademeterikkamal 1985. aastal mulla veesisaldus tunduvalt suurem viljavahelduse B korral (joonis 2), kus oli eelnevalt kahel aastal kasvatatud põldheina. Väikseim mulla veesisaldus ilmnes teravilja monokultuurses viljavahelduses (A). Et viljavaheldus B sai eelnevalt sama palju sõnnikut ( $60 \text{ t ha}^{-1}$ ) kui viljavaheldus A ja kaks

korda vähem kui viljavaheldus C ( $120 \text{ t ha}^{-1}$ ), siis ilmneb selgelt põldheina kasvatamisest tingitud vee kinnipidamisvõime suurenemine. Suurem orgaanilise aine sisaldus (toidu olemasolu) ja niiskem muld tagasid ka selle intensiivsema bioloogilise tegevuse. Mida suurem oli mulla veesisaldus, seda rohkem oli mullas vihmausse (juuni  $r=0,99^*$ , august  $r=0,93^*$ ).

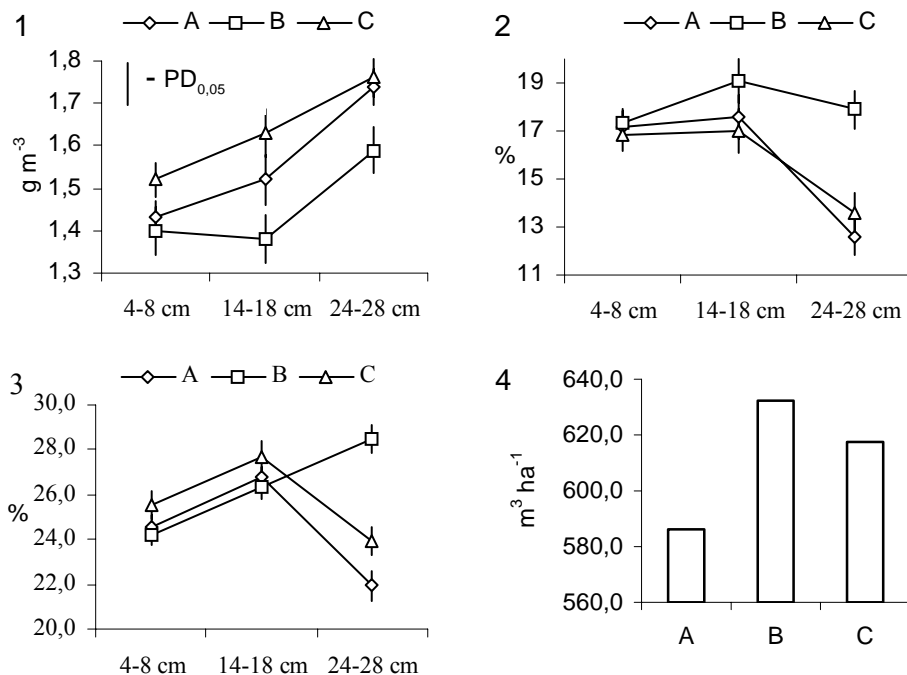


A, B, C – viljavaheldused / crop rotation

**Joonis 2.** Viljavahelduse mõju mulla kaalulisele veesisaldusele 1985. aastal  
**Figure 2.** The effect of crop rotation on soil water content by weight in 1985

Viljavaheldussüsteemide rotatsiooni teises lülis (aastatel 1986–1989) vähenes põldheina kasvatamisest tingitud positiivne mõju ning erinevates viljavaheldustes mulla füüsikalised ja hüdrofüüsikalised näitajad ühtlustusid.

Ka teise rotatsiooni kestel (1990–1997) oli märgatav viljavahelduse B mulla füüsikalisi omadusi parandav toime. Kui esimeses rotatsioonis (1982–1989) ei ilmenud usutavalt põldheina muldakobestava toime kestev järelmõju, siis teises rotatsioonis avaldus kobestav mõju veel kolm aastat pärast põldheina kasvatamist – 1995. aastal (joonis 3).



4–8 cm, 14–18 cm, 24–28 cm – määramissügavused / soil layer

**Joonis 3.** Viljavahelduse mõju harimiseelsele mulla lasuvustihedusele (1), kaalulisele veesisaldusele (2), mahulisele veesisaldusele (3) ja summaarsele veevarule (4) 1995. aastal (sügiskünnisügavus 21–22 cm)  
**Figure 3.** The effect of crop rotation on pre-tillage soil bulk density (1), water content by weight (2), water content by volume (3) and total water content (4) in 1995 (autumn tillage depth 21–22 cm)

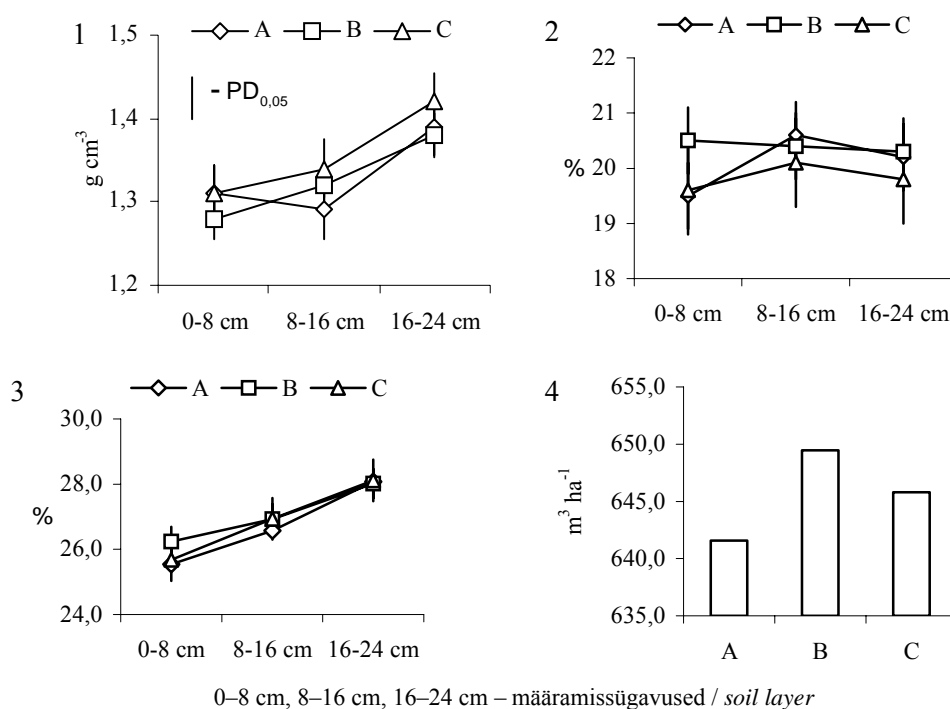
See positiivne mõju tuli ilmsiks eriti enne kevadist mullaharimist. Väiksem mulla tihedus ( $0,12\text{--}0,23 \text{ g cm}^{-3}$ ) tagas ka suurema mulla veesisalduse ja suurema veevaru künnikihis. Kasutades traditsioonilist kevadist mullaharimist (suhteliselt palju harimiskordi), "nullitakse" sageli eelnevate kultuuride muldakobestav toime.

Mulda säästva harimise korral (kombineeritud masinad) on võimalik eelkultuuride positiivset mõju säilitada vegetatsiooniperioodi lõpuni. Mulla parem struktuursus ja väiksem tihedus tagas ka suurema veevaru mullas.

Teise rotatsiooni lõpuaastal (1997) ei ilmnenud olulisi erinevusi mulla kobestamise osas erinevates viljavaheldustes enne kevadisi mullaharimisi (joonis 4) ega ka teravilja võrsumisaegsel määramisel.

Mulla lasuvustiheduse diferentseerumine künnikihis avaldus kõige enam viljavahelduses A. Suurem orgaanilise massi juurdeviimine (viljavaheldus C) ja taimejäänused (põldhein viljavahelduses B) tagasid ka suurema huumusevaru ja ühtlasemad mulla füüsikalised omadused. Ka kirjanduse andmetel ei avalda viljavaheldusliku külvikorra tingimustes erinevad harimissügavused mulla lasuvustihedusele oluliselt mõju (Ausmane *et al.*, 2000).

Erinevad künnisügavused ei põhjustanud erinevusi lasuvustiheduses määramissügavustel 0–8 cm ja 8–16 cm (iga-aastases ümberpööratavas kihis). Küll aga mõjutab erinev harimissügavus kihti, mis jääb otseselt küntud kihi alla või jääb osaliselt töötlemata (16–24 cm). Kündmata kihile avaldas tihendavat mõju harimistöödel kasutatav tehnika, eriti aga traktori ratta surve künnivaos ja adra talla tihendav mõju künnil. Kui seda kihti töödeldi osaliselt (künnisügavus 21–22 cm), siis vähenes lasuvustihedus 0,03–0,05 g cm<sup>-3</sup>. Kündes mulda 24–25 cm sügavuselt (kogu uuritud kiht töödeldi), vähenes lasuvustihedus 0,07–0,14 g cm<sup>-3</sup>.



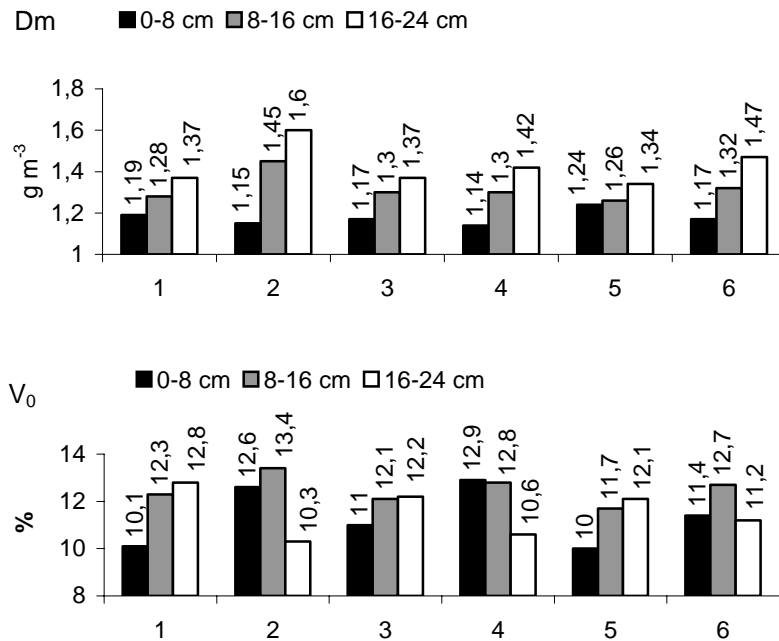
**Joonis 4.** Viljavahelduse mõju harimiseelsele mulla lasuvustihedusele (1), kaalulisele veesisaldusele (2), mahulisele veesisaldusele (3) ja summaarsele veevarule (4) 1997. aastal (sügiskünnisügavus 21–22 cm)

**Figure 4.** The effect of crop rotation on pre-tillage soil bulk density (1), water content by weight (2), water content by volume (3) and total water content (4) in 1997 (autumn tillage depth 21–22 cm)

Katses kasutati ka perioodiliselt künni asendamist tüükultivaatoriga sama sügava kobestamisega (kobestamine, künd, 3 aastat kobestamist, künd, 5 aastat kobestamist). Katseperioodi esimestel aastatel ei ilmnenud olulisi erinevusi, kui võrreldi kevadisi ja taimede vegetatsiooniperioodi aegseid mullatihedusi põldudel, kus oli kasutatud tavapäraselt mullaharimist või vähendatud harimist. Pikemaajalisel madalama sügavusega sügiskünni kasutamisel ja künni asendamisel tüükultivaatoriga kobestamisega ilmsid ka mulla lasuvustiheduses variantidevahelised erinevused.

Analüüsidest katses kasutatud agrotehnika mõju mulla lasuvustihedusele kahel viimasel aastal kasvanud kultuuri (talivilja – rukis ja suvivili – oder) korral, selgub, et tüükultivaatoriga haritud ülemine mullakiht (0–8 cm) oli kobedam kui tavapäraselt haritud katsealal (joonised 5, 6 ja 7). Põhjuseks on erinevad tehnoloogilised protsessid. Kui kasutatakse sügavkünni, siis seotakse enamik taimejäänustest künnikihi sügavamate kihtidega, aga kui kasutatakse kobestamist, siis jäävad need jäänused ülemisse kihti. See teebki võimalikuks ülemise kihi väiksema lasuvustiheduse.

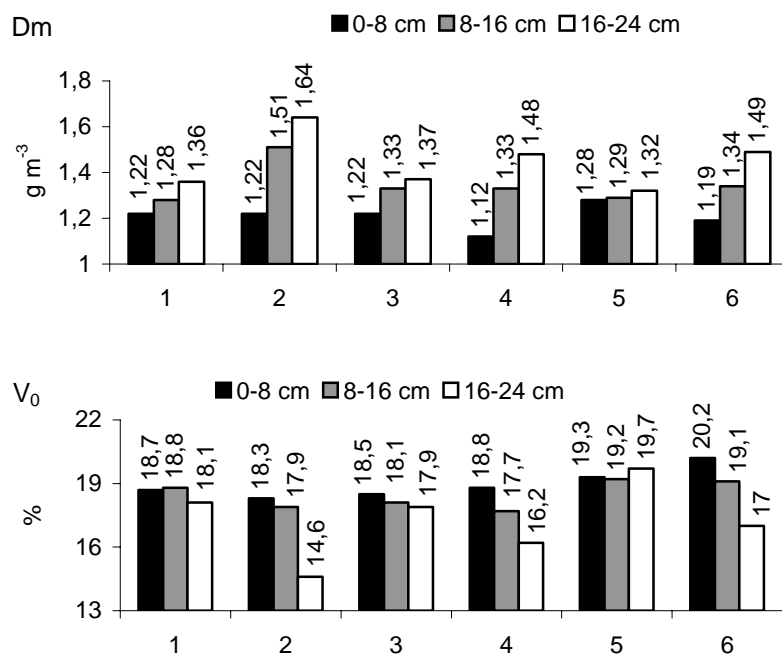
Ülemise mullakihi lasuvustihedus sõltus samuti eelnevast kultuurist. Odrakesa puhul jääb võrreldes taliviljaga vähem taimejäänuseid mulda ja see kajastus ka kobestamisjärgses lasuvustiheduses. Odrakesajärgselt oli tüükultivaatoriga kobestades ülemise mullakihi (0–8 cm) lasuvustihedus 0,03–0,07 g cm<sup>-3</sup> väiksem kui künnil, talirukkile järgneval kevadel aga keskmisena 0,14 g cm<sup>-3</sup> väiksem.



1 – künd / ploughing 16–17 cm; 2 – tüükultivaatoriga kobestamine / loosening with a stubble cultivator 16–17 cm; 3 – künd / ploughing 21–22 cm; 4 – tüükultivaatoriga kobestamine / loosening with a stubble cultivator 21–22 cm; 5 – künd / ploughing 24–25 cm; 6 – tüükultivaatoriga kobestamine / loosening with a stubble cultivator 24–25 cm

**Joonis 5.** Erineva sügisese mullaharimise mõju lasuvustihedusele (Dm) ja kaalulisele (V<sub>0</sub>) veesisaldusele talirukkipõllul külvijärgselt 1995. a

**Figure 5.** The effect of different autumn tillage techniques on bulk density (Dm) and water content by weight (V<sub>0</sub>) in a winter rye field after sowing in 1995



**Joonis 6.** Erineva sügisese mullaharimise mõju lasuvustihedusele (Dm) ja kaalulisele (V<sub>0</sub>) veesisaldusele talirukkipõllul 1996. a mais

**Figure 6.** The effect of different autumn tillage techniques on bulk density (Dm) and water content by weight (V<sub>0</sub>) in a winter rye field in May, 1995

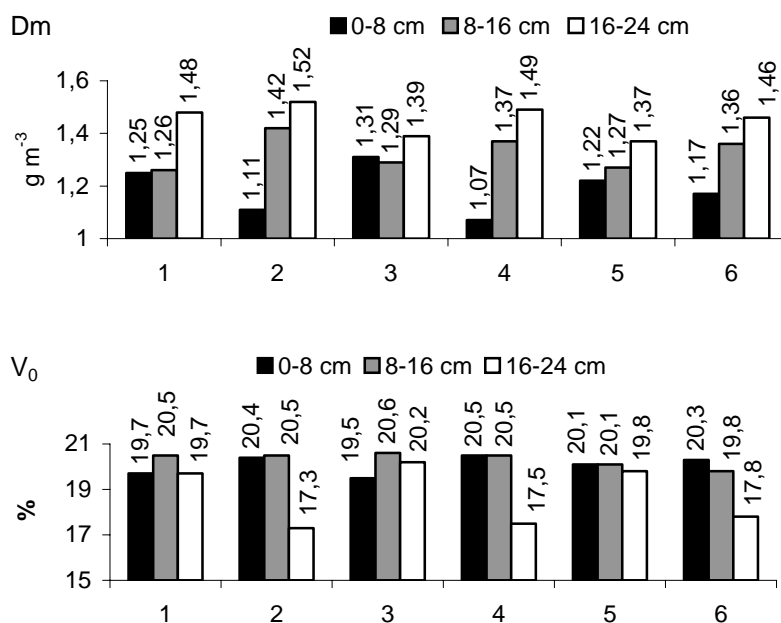
Pindmise mullakihi suhteliselt väiksem lasuvustihedus ilmnas rukkipõllul ka kevadisel määramisel (1996. a kevad), kuid mitte odrapõllul kuu möödudes külvist (joonis 8).

Kündmiseta viljelemise puhul ilmneb tavaliselt kobestamisaluse mullakihi tiheduse suurenemine (Rasmussen, 1999). Olenevalt kobestamise sügavusest on tihenenud kiht tekkinud pindmisel harimisel 5–15 cm sügavusel (Rasmussen, 1999; Munkholm *et al.*, 2001), künniga sama sügavusel kobestamisel aga 10–30 cm sügavusel (Arvidsson, 1997; Šimanskaite, 2000).

Selgelt ilmnes selline mõju ka Eerikal korraldatud katses. Tüükultivaatoriga kobestamisel tihenes muld tunduvalt rohkem kui künnil, kus mulda hariti 16–17 cm sügavuselt. Mulla lasuvustihedus suurenes võrreldes sügiskünniga talirukkipõllul (16–17 cm sügavuselt harides) 8–16 cm kihis 0,17–0,23 g cm<sup>-3</sup> ja 16–24 cm kihis 0,23–0,28 g cm<sup>-3</sup>. Harides mulda 21–22 cm ja 24–25 cm sügavuselt, ulatusid erinevused lasuvustiheduses kuni 0,17 g cm<sup>-3</sup>. Seejuures ühtlasema lasuvustihedusega oli 8–16 cm kiht. Odrapõllul olid erinevused suuremad madalama harimissügavuse juures (8–16 cm kihis 0,16–0,22 g cm<sup>-3</sup>). Enam erinesid tiheduse näitajad odrapõllul 8–16 cm kihis. Arvatavasti põhjustasid selle eelneva aasta rukki taimejäänused, mis künniga viidi sügavamasse kihti, tüükultivaatoriga kobestades aga jäid pindmisse kihti. Et enne sügisest põhiharimist oli põllul tehtud kõrrekoorimine, mis segas juba eelnevalt tüü, siis põrati künniga taimejäänused 16–24 cm kihti osaliselt (lasuvustiheduse erinevused 0,02–0,1 g cm<sup>-3</sup>). Selliselt jaotatuna toimub tüü ühtlasem mullaga segamine ja normaalne mikrobioloogiline tegevus. Mida suurem on tüüjäänuste hulk ja mida kontsentreeritum on teraviljakasvatus, seda sügavamalt peaksime kõrrekoorimise tegema. Tüüjäänuste lagunemine sõltub sügisese segamise intensiivsusest. Koorimise tulemusena on lagunemine ligikaudu 50% intensiivsem (Wilcke, 1983).

Rukki külvile eelneva künni parem mulda kobestav mõju säilis ka hilisemal vegetatsiooniperioodil. Eelnev tendents ilmnes ka odral, kuid erinevused mullatiheduses muutusid väiksemaks.

Odrapõllul tiheneb muld kiiremini kui rukkipõllul, sest kevadise mullaharimise käigus mulla veevaru väheneb. Harimisjärgselt on muld kobe ainult lühikeseks ajaks. Erinevused mullatiheduses muutusid katseperioodi vältel väiksemaks, sest toimus mulla loomulik tihenemine. Rukkikoosluse juurestik hoiab talvitumisejärgse pindmise mullakihi lasuvustiheduse juuli III dekaadini alla tasakaalulise lasuvustiheduse alampiiri. Odra korral ületatakse see lävi juba juuli alguses (Kanal, Vipper, 1994).

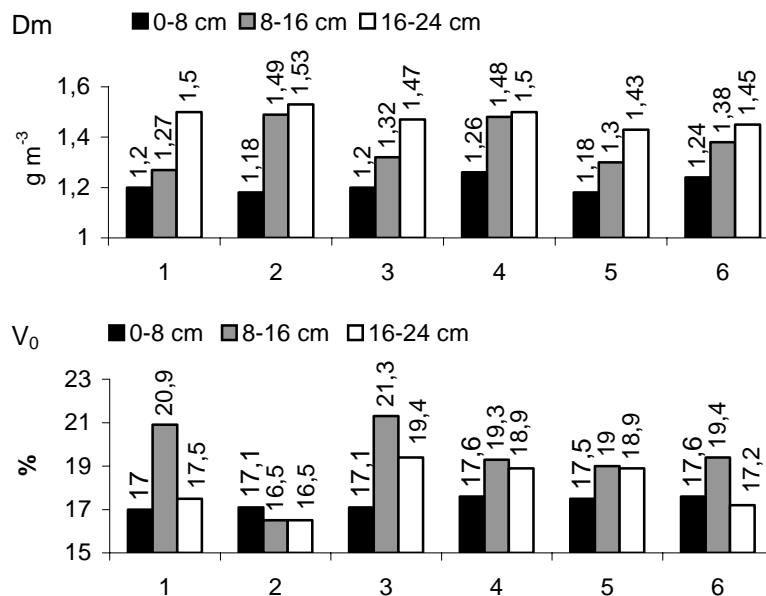


**Joonis 7.** Erineva sügisese mullaharimise mõju lasuvustihedusele ( $D_m$ ) ja kaalulisele ( $V_0$ ) veesisaldusele harimiseelselt (1997. a aprilli III dek)

**Figure 7.** The effect of different autumn tillage techniques on soil bulk density ( $D_m$ ) and water content by weight ( $V_0$ ) before tillage (3<sup>rd</sup> decade of April, 1997)

Enamik uurijaid on jõudnud järeldusele, et pindmise harimise korral on ülemises kihis (0–10 cm) mulla veesisaldus suurem kui künnil (Aura, 1999), kuid künnikihi alaosas (10–20 cm) oli veesisaldus suurem pärast kündi (Rasmussen, 1999; Lauringson *et al.*, 2001). Taimejäänused mullapinnal vähendavad aurumist ja kobestatud mulla veekinnipidamisvõime on suurem. Suurte makropooride väiksem hulk ja keskmiste, vett hoidvate pooride suurem hulk on samuti võimalikud põhjused suuremale veesisaldusele ülemistes mullakihtides pindmise kobestamise puhul (Rasmussen, 1999). Suurem veesisaldus ülemistes mullakihtides ja väiksem aurustumine on väärtuslikud piirkondades, kus kevadel pärast külvi on vähe sademeid. Mõned uurijad on saanud tulemuseks, et vähendatud harimisega muld kuivab kevadel kiiremini, mis lubab varem külvamisega alustada (Stancevičius *et al.*, 1999). Soomes on leitud, et eriti savistel muldadel võib ülemise mullakihi suur veesisaldus seemnete idanemist aeglustada (Rasmussen, 1999).

Katses ilmnes samuti sügise sügise tükultivaatoriga harimise mulla veevaru suurendav toime 0–8 cm kihis, võrreldes künniga. Suurem mulla kaaluline veesisaldus avaldus harimiseelselt (odral 3%) või siis vahetult pärast külvi (rukki 18,2%). Võib eeldada, et sademeterohkes kliimas on sügisesest mullaharimisest tingitud kobestamise mõju lühiajaline. Kanada teadlaste andmetel vähenes viie kuu jooksul sügavkobestuse efekt 30–60% (Carter, 1996). Sügisel saavutatud kobestuse efekt elimineeritakse sageli kevadtööde käigus (Kanal, Vipper, 1994). Et kevadel on külvele tavaliselt piisavalt sademeid, siis tükultivaatoriga kobestatud pindmise kihi veidi suurem veevaru ei mõjuta oluliselt idanemist. Sademete vaese kevade korral ja kesade harimisel annab see aga teraviljade idanemiseks eelised. Teraviljade hilisemates kasvufaasides (talirukki kevadel ja odral võrsumise ajal) mulla veesisaldus 0–8 cm kihis ühtlustus. Lasuvustiheduse ja ka veesisalduse ühtlustamisele aitas kindlasti kaasa ka keskmisest veidi suurem sademete hulk nendel perioodidel.



**Joonis 8.** Erineva sügise mullaharimise mõju lasuvustihedusele ( $D_m$ ) ja kaalulisele ( $V_0$ ) veesisaldusele odra võrsumise ajal (1997. a mai III dek)

**Figure 8.** The effect of different autumn tillage techniques on soil bulk density ( $D_m$ ) and water content by weight ( $V_0$ ) before tillage (3<sup>rd</sup> decade of May, 1997)

Katses oli künnivariantide puhul kaaluline mulla veesisaldus 16–24 cm mullakihis tunduvalt suurem kui tükultivaatoriga kobestamisel. Kündmine viis orgaanika ning see tagas ka kobedama ja strukturesema mulla ning taimede soodsama niiskusrežiimi.

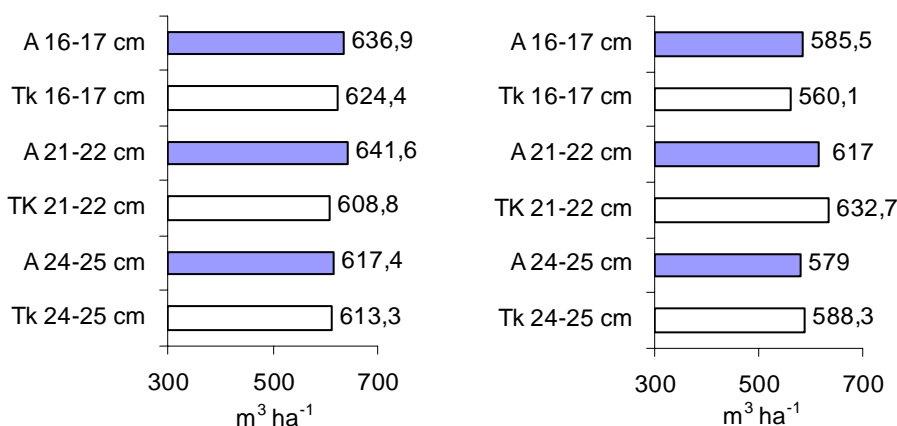
Võttes vaatluse alla mulla mahulise veesisalduse ja üldise veevaru künnikihis (joonis 9) selgub, et mulla veevaru erinevate harimisvõtete korral oluliselt ei erine. Suurema veesisalduse korral on pindmine kobestamine soodustanud juurtesüsteemide sügavamale levikut varasulvel (Aura, 1999). Probleemid võivad tekkida kuivematel perioodidel. Vaatamata sellele, et künni asendamisel kobestamisega kaldub olema allpool künnikihti tavapärasest haritud mullast parem pooride säilivus ja struktuurselt homogeensem muld (Comia *et al.*, 1994), on künnikihi alaosa tihenendunud ja taimejuurte areng sealses kihis häiritud.

Pikaajalises plaanis on pindharimine aidanud säilitada haritava kihi all püsivaid mullapoores (Kouwenhoven *et al.*, 2002), mida enamasti loovad sügavale kaevuvad ja pinnal toituvad vihmaussid, nagu *Lumbricus terrestris* (Epperlein, Metz, 1998; Chan, 2001). Pinnal toituvad vihmaussid eelistavad mullapinnal või selle lähedal olevaid taimejääke, mille teket soodustab pindmine harimine. Haritava kihi all paiknevad poorid suurendavad mulla veemavuse ja -talletamise võimet ning soodustavad juurte kasvu (Aura, 1999; Rasmussen, 1999; Schjonning, Rasmussen, 2000).

Selles katses eelnevalt mainitud tendentsid ei ilmnenu. Haritava kihi all tihenes muld ja selline mullatihedus ei soodustanud ka vihmausside intensiivset tegutsemist.

Mõned autorid soovivad mahepõllumajanduse puhul künnist üldse loobuda. Alumiste mullakihtide tihenemist võib pidada üsna oluliseks ohuks mahepõllumajanduse edukusele, mis on laialt levinud probleem Taanis (Schjonning, Rasmussen, 1989). Uuringud on tõestanud, et mahetalunikel on üldjuhul samasugused probleemid mulla tihenemisega nagu tavapõllumajandusel (Schjonning *et al.*, 2002).





1997. a aprilli III dek, harimiseelselt  
1997. 3<sup>rd</sup> decade of April, before tillage

1997. a mai III dek, odrapõllul  
1997. 3<sup>rd</sup> decade of May, barley field

A – sügiskünd / autumn ploughing; Tk – tüükultivaatoriga kobestamine / loosening with a stubble cultivator

**Joonis 9.** Mullaharimise mõju mulla veevarule künnikihis

**Figure 9.** The effect of tillage on soil water supply in the ploughed layer

### Kokkuvõte ja järeldused

- Pärast nelja-aastast katseperioodi näitasid tehtud uuringud, et mulla agrotehnilised võtted ei mõjutanud kumulatiivselt mulla lasuvustihedust. See kinnitab, et Lõuna- ja Kesk-Eesti suhteliselt huumusvaesed ning halva struktuuriga mullad tihenevad kiiresti, on seega tallamisõrnad, ja nende oluliseks parandamiseks ei piisa lühikesel perioodil rakendatavatest abinõudest.
- Mulla veekindlate struktuuriagregaatide sisaldus sõltus kesatüübist. Kõige soodsamaks kujunes mulla struktuursus põldheinakesal, eriti ülemises 0–10 cm kihis, kus agronoomiliselt seisukohalt kõige väärtuslikumate veekindlate mullaagregaatide (1–7 mm) sisaldus oli 34,6%. Suhteliselt püsivama struktuursuse kujunemine põldheinajärgselt oli tingitud eelkõige heintaimede suuremast juurtemassist. Suurem juurtemass ei mõjutanud mitte ainult mulla füüsikalisi omadusi, vaid ka mulla bioloogilisi omadusi ja saaki.
- Teravilja-põldheina-kartuli viljavahelduse mulla füüsikalisi omadusi parandav toime ilmnes tugevamini teise rotatsiooni kestel (1990–1997). Selgemalt avaldus positiivne mõju enne kevadisi mullaharimisi. Väiksem mulla tihedus (vähenemine 0,12–0,23 g cm<sup>-3</sup>) tagas ka suurema veevaru künnikihis.
- Erinev künnisügavus ei mõjutanud mulla lasuvustihedust 0–8 cm ja 8–16 cm (iga-aastases ümberpööratavas kihis) sügavustel. Erinev harimissügavus mõjutas kihti, mis jäi otseselt küntud kihi alla või jäi osaliselt töötlemata (16–24 cm). Kui 16–24 cm kihti töödeldi osaliselt (künnisügavus 21–22 cm), siis vähenes lasuvustihedus 0,03–0,05 g cm<sup>-3</sup>. Kündes mulda 24–25 cm sügavuselt (kogu uuritud kiht töödeldi), vähenes lasuvustihedus 0,07–0,14 g cm<sup>-3</sup>. Kõikides viljavaheldustes avaldus sügavama sügisese künni mulda kobestav mõju.
- Katseperioodi esimestel aastatel ei ilmnud mullatiheduses olulisi erinevusi, kui võrreldi tavapärasest mullaharimist vähendatud harimisega. Pikemaajalisel künni asendamisel tüükultivaatoriga kobestamisega ilmnemise vahelised erinevused mulla lasuvustiheduse osas. Tüükultivaatoriga haritud ülemine mullakiht (0–8 cm) oli kobedam kui tavapäraselt haritud mullal. Tüükultivaatoriga kobestamisel tihenes muld tunduvalt rohkem kui künnil, kus mulda hariti vaid 16–17 cm sügavuselt.
- Tüükultivaatoriga kobestamine tagas künniga võrreldes paremad hüdrofüüsikalised näitajad 0–8 cm mullakihis. Kobedam mullakiht tagas parema aeratsiooni, suurema mulla veevaru ja seega soodsamad tingimused seemnete idanemiseks. Kuigi mulla veevaru 16–24 cm kihis erinevate harimisviiside korral oluliselt ei erinenud, tagas künn siiski väiksemast lasuvustihedusest tulenevalt parema aeratsiooni ja seega taimede parema õhu ja veega varustatuse.
- Mullaharimisalaste uurimiste põhjal võib järeldada, et mullaharimise kvaliteedi ja efektiivsuse tõstmisel omab suurimat tähtsust selle diferentseeritus vastavalt konkreetsetele mullastik-kliimaatilistele tingimustele, kusjuures erilist tähelepanu tuleb pöörata mullaharimise minimeerimise oskuslikule rakendamisele. Üldjuhul võib väita, et praeguse umbrohtumuse taseme juures tuleb sügisese mullaharimise kvaliteetsele ja õigeaegsele läbiviimisele pöörata erilist tähelepanu. Sügisese mullaharimisega luuakse reaalne võimalus kevadise ja isegi kasvuaegse mullaharimise intensiivsuse (harimiskordade arv ja harimissügavus) vähendamiseks.

## Kirjandus

- Arshad, M. A., Franzluebbbers, A. J., Azooz, R. H. 1999. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. – *Soil & Tillage Resesearch*, 53, 41–47.
- Arvidsson, J. 1997. Soil Compaction in Agricultural – from Soil Stress to Plant Stress. – Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala.
- Arvidsson, J., Hakansson, I. 1991. A model for estimating crop yield losses caused by soil compaction. – *Soil & Tillage Resesearch*, 20, 319–332.
- Asmus, F., Kittelmann, G., Görlitz, H. 1987. Einfluss langjähriger organischer Düngung auf physikalische Eigenschaften einer Tiefland-Fahlerde. – *Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde*, 1, 41–46.
- Aura, E. 1999. Effects of shallow tillage on physical properties of clay soil and growth of spring cereals in dry and moist summers in southern Finland. – *Soil & Tilage Research*, 50, 169–176.
- Ausmane, M., Gusane, V., Krogere, R., Liepins, J., Melngalvis, I., Rubenis, E. 2000. Results on investigations of reducing ploughing depth in crop rotation. – The results of long-term field experiments in Baltic States. Jelgava, 19–25.
- Carter, M. R. 1996. Characterization of soil physical properties and organic matter under long-term primary tillage in a humid climate. – *Soil & Tillage Research*, 38, 251–261.
- Carter, M. R., Sanderson, J. B., MacLeod, J. A. 1998. Influence of time and tillage on soil physical attributes in potato rotations in Prince Edward Island. – *Soil & Tillage Research*, 49, 127–137.
- Chan, K. Y. 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity – implications for functioning in soils. – *Soil & Tillage Research*, 57, 179–191.
- Comia, R. A., Stenberg, M., Nelson, P., Rydberg, T., Hakansson, I. 1994. Soil & crop responses to different tillage systems. – *Soil & Tillage Research*, 29, 335–355.
- Ekeberg, E., Riley, H. C. F. 1997. Tillage intensity effects on soil properties and crop yields in a long-term trial on morainic loam soil in south-east Norway. – *Soil & Tillage Research*, 42, 277–293.
- Epperlein, J., Metz, R. 1998. Unverzichtbare Herlfer im Boden. – *Landwirtschaft ohne Pflug*, 4, 13–15.
- Kanal, A., Vipper, H. 1994. Näivleetunud mulla humushorisoni lasuvustiheduse muutumisest vegetatsiooni-perioodil. – *Agraarteadus*, 4, lk 319–404.
- Kitse, E. 1978. Mullavesi. – Tallinn: Valgus, 142 lk.
- Kouwenhoven, J. K., Perdok, D. U., Boer, J., Oomen, G. J. M. 2002. Soil management by shallow mouldboard ploughing in Netherlands. – *Soil & Tillage Research*, 65, 125–139.
- Kuipers, H. 1987. Soil compaction in arable farming. – *Transactions 13<sup>th</sup> Cong. Int. Soli. Sci. Hamburg*, vol. 5, 310–327.
- Kõlli, R., Lemetti, I. 1999. Eesti muldade lühiiseloostus. 1. Normaalsed mineraalmullad. Tartu, 122 lk.
- Lauringson, E., Talgre, L., Kuill, T., Vipper, H., Hirsnik, L. 2001. The effect of the minimisation of autumn tillage on soil properties and yield. – *Proceedings of the International Conference. Conference on Sustainable Agriculture in Baltic States. Tartu*, 104–112.
- Lehlfeldt, J. 1988. Auswirkungen von Krumenverdichtungen auf die Durchwurzelbarkeit sandiger und lehmiger Bodensubstrate bei Anbau verschiedener Kulturpflanzen. – *Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde*, 8, 533–539.
- McBride, R. A., Martin H., Kennedy, B. Soil compaction. – <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/crops/facts/88-082.htm> (07.02.02).
- Munkholm, L. J., Schjonning, P., Rasmussen, K. J. 2001. Non-inversion tillage effects on soil mechanical properties of a humid sandy loam. – *Soil Tillage Research*, 62, 1–14.
- Nugis, E., Kuht, J., Lauringson, E., Lehtveer, R. 2000. Complex Assiessment Of Subsoil Compaction and Loosening. – *ISTRO 2000. 15 th Conference of the International soil tillage research organization. Fort Worth, Texas, USA. 2-7 July 2000. "Tillage at the Threshold of the 21<sup>st</sup> Century: Looking Ahead". CD-ROM*, 10 p.
- Nugis, E., Lehtveer, R. 1991. Eesti muldade masindegredatsiooni ulatuses. – *Mullakaitse probleeme Eestis. Tallinn: Valgus*, 63–76.
- Rasmussen, K. J. 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. – *Soil & Tillage Research*, 53, 3–14.
- Schjonning, P., Rasmussen, K. J. 1989. Long-term reduced cultivation. I. Soil strength and stability. – *Soil & Tillage Research*, 15, 79–90.
- Schjonning, P., Rasmussen, K. J. 2000. Soil strength and pore characteristics for direct drilled and ploughed soils. – *Soil & Tillage Research*, 57, 69–82.
- Schjonning, R., Elmholt, S., Munkholm, L. J., Deboz, K. 2002. Soil quality aspects of humid sandy loams as influenced by organic and conventional long-term management. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88, 195–214.
- Sommer, C., Zach, M. 1992. Managing traffic-induced soil compaction by using conservation tillage. – *Soil & Tillage Research*, 24, 319–336.

- Stancevičius, A., Špokiene, N., Jodaugiene, D., Trečiokas, K., Raudonius, S. 1999. The effects of reduced tillage on winter wheat and agrophysical soil properties. Agroecological optimization of husbandry technologies. – Proceedings of international scientific conference. Jelgava, 157–165.
- Stancevičius, A., Špokiene, N., Raudonius, S., Trečiokas, K., Jodaugiene, D., Kemesius, J. 2000. Results on investigations of reducing ploughing depth in crop rotation. – The results of long-term field experiments in Baltic States. Jelgava, 133–146.
- Streltšenko jt: Стрельченко В. П., Кожушко Н. П., Хризмал С. Л. 1989. Влияние органических остатков на плотность легких дерново-подзолистых почв. – Почвоведение, 9, с. 52–57.
- Šimanskaite, D. 2000. Effectiveness of the use of a chisel cultivator KČ-5,1 in a crop rotation on a light loamy soil. – The results of long-term field experiments in Baltic States. Jelgava, 147–154.
- Whalley, W. R., Dumitru, E., Dexter, A. R. 1995. Biological effects of soli compaction. – Soil & Tillage Research, 35, 53–68.
- Viiil, P. 2002. Kas loobuda kündmisest. – Maamajandus. Jaanuar, 23–24.
- Wilcke, J. 1983. Bodenphysik, Strohdüngung und Bodenarbeitsung. – Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft, 309–332.
- Vipper, H. 1989. Maaviljeluse praktikum. – Tallinn: Valgus, 372 lk.
- Vipper, H., Lauringson, E. 1986. Kesatüüpide ja agrotehnika mõjust mulla omadustele, umbrohtumusele ja talirukki saagile. – Teaduse saavutusi ja eesrindlikke kogemusi põllumajanduses, 8, 3–14.
- Vipper, H., Lauringson, E. 1987. Erinevate agrokomplekside mõjust mulla omadustele. – Teaduse saavutusi ja eesrindlikke kogemusi põllumajanduses, 1, 3–14.

## The effect of farming techniques on soil physical properties

E. Lauringson, H. Vipper, L. Talgre

### Summary

This research was conducted in the trial fields of the Department of Field Crop Husbandry of the Estonian Agricultural University at Eerika. The trials were carried out on moderately moist slightly podzolised sandy clay soils over 16 years (1982–1997).

The trials involved three crop rotations:

1. A – cereal monoculture rotation (oats, early barley, winter rye (manure 60 t/ha<sup>-1</sup>), barley, oats, early barley, winter rye (manure 60 t/ha<sup>-1</sup>) and barley),
2. B – rotation including 25% of a mixture of red clover and timothy (red clover-timothy mixture I, red clover-timothy mixture II, winter rye (manure 60 t/ha<sup>-1</sup>), barley, oats, potato (manure 60 t/ha<sup>-1</sup>), spring wheat and barley),
3. C – rotation involving cereals (50%) and potato (50%) (potato (manure 60 t/ha<sup>-1</sup>), potato (manure 60 t/ha<sup>-1</sup>), spring wheat, barley, potato (manure 60 t/ha<sup>-1</sup>), potato (manure 60 t/ha<sup>-1</sup>), spring wheat and barley).

Three different ploughing depths were used: 1) low (cereals 16–17 cm, root crops 21–22 cm), 2) medium (cereals 21–22 cm, root crops 24–25 cm, 3) deep (cereals 24–25 cm, root crops 28–29 cm). In Rotation A, ploughing was replaced with stubble cultivator tillage.

The depth of the ploughed layer was 27–29 cm, pH<sub>KCl</sub> 5.6–5.7 and the equilibrium bulk density of the soil 1.45–1.50 g cm<sup>-3</sup>. The average humus content of the humus layer upon the establishment of the trial was 18.8 g kg<sup>-1</sup>.

The results of the research were as follows:

Soil fertility is a basic, specific and qualitative property of the soil, which is expressed in its capacity to satisfy the needs of the plants concerning growth conditions. The productivity of agricultural communities is contingent on the characteristics of the existing ecological resources. Depending on the situation, any growth factor may prove to be inhibitive of phytoproduction; nevertheless, the actual critical threshold depends on the combined effect of all the growth factors.

The relatively watertight structure of the soils was at its best in a fallowed red clover-timothy field, particularly in its upper 0–10 cm layer, where the proportion of the agronomically most valuable soil aggregates (1–7 mm) was 34.6%. The respective figure for a fallowed barley field was 30.9% and for an autumn-ploughed fallow 22.5% (Figure 1). The root weights determined demonstrated that the improvement of soil structure was foremost due to the large root mass of red clover-timothy; 73.2–78.8% of the entire root mass was situated in the 0–10 cm layer, accounting for 6.6 tons of absolutely dry roots per hectare on average. The root weight of red clover-timothy was strongly influenced by the depth of autumn ploughing prior to the sowing of the cover crop (barley) ( $r=0.95^{**}$ ). Thus, under the ploughing depth of 24–25 cm, the quantity of roots in the 0–40 cm soil layer was greater by 30.9% than under shallow ploughing (16–17 cm).

Post-harvest data on the last crop in the rotations (barley) for 1985 showed that during the four-year trial period no trial factor had a cumulative effect on soil bulk density. The soils of south and central Estonia, with

their relatively low humus content and poor texture, thicken quickly and are therefore vulnerable to treading. Consequently, short-term measures are insufficient to improve them. The positive effect of crop rotation was more evident in terms of soil water content parameters. Thus, in 1985, which saw more precipitation than the average, soil water content was considerably greater in the crop rotation where red clover-timothy had been grown previously for two years (B) (Figure 2).

During the second rotation (1990–1997) Rotation B was observed to considerably improve soil physical properties. No sustained soil-loosening aftereffect of red clover-timothy was reliably evidenced in the first rotation (1982–1989) whereas in the second rotation the aftereffect was observed as late as three years following the growing of red clover-timothy – in 1995 (Figure 3). The effect of crop rotation on soil physical properties was more evident before spring tillage. In the cereal-red clover and timothy-potato rotation, soil bulk density was lower by 0.12–0.23 g cm<sup>-3</sup> yet the ploughed layer water content was higher. In the final year of the second rotation (1997) no substantial differences in soil loosening were observed in different rotations, neither before spring tillage (Figure 4) nor during cereal sprouting.

Differentiation of soil bulk density in the ploughed layer was most evident in the rotation of cereals. Abundant use of organic fertilisation (in the cereal-potato rotation) and larger amounts of plant litter (in the cereal-red clover and timothy-potato rotation) ensured higher humus content and more favourable physical properties for the soil. Different tillage depths influenced the layer that was immediately below the ploughed layer or that remained partly untilled (16–24 cm). Deeper autumn ploughing reduced soil bulk density in all the crop rotations.

An analysis of the effect of the farming techniques used in the trial on soil bulk density under the crops grown in the two final years (winter cereal-rye and spring cereal-barley) reveals that on a trial plot tilled with stubble cultivator the topsoil layer (0–8 cm) was looser than on a plot tilled using conventional techniques (Figures 5, 6, and 7). A relatively smaller bulk density of the topsoil layer was also observed in a rye field during spring determination but not in a barley field after a month from sowing (Figure 8). At the tillage depth of 16–17 cm, soil bulk density increased by 0.17–0.23 g cm<sup>-3</sup> in the 8–16 cm layer and by 0.23–0.28 g cm<sup>-3</sup> in the 16–24 cm layer compared to autumn ploughing. At the tillage depths of 21–22 cm and 24–25 cm the differences in bulk density reached up to 0.17 g cm<sup>-3</sup>.

In a barley field, the soil thickens faster than in a rye field due to the decrease in soil water content during spring tillage. After tillage, the soil stays loose for a short time only. Differences in soil density decreased over the trial period due to natural compaction of the soil. The root system of a rye community keeps the bulk density of the post-winter topsoil layer below the equilibrium bulk density minimum until the 3<sup>rd</sup> decade of July. In case of barley, the minimum is exceeded as early as the beginning of July.

The trials also showed that autumn tillage with stubble cultivator increases soil water content in the 0–8 cm layer compared to ploughing. An increase in soil water content by weight was evidenced before tillage (by 3% under barley) or immediately after sowing (by 18.2% under rye). In the trial, soil water content by weight in the 16–24 cm layer was considerably greater in the ploughing variants than when using stubble cultivator loosening. Ploughing took the organic matter deeper down, which also ensured looser and better-structured soil and a more favourable moisture regime for plants. An examination of soil water content by volume and the overall water supply in the ploughed layer (Figure 9) shows no significant differences in soil water supply under different tillage techniques.

It may be concluded from studies on tillage that the use of different tillage techniques in accordance with the specifics of the soil and the weather conditions is of first importance in improving soil tillage quality and efficiency. In particular, attention must be paid to the skilful implementation of minimised tillage. In general, it may be maintained that at the current level of weediness special attention shall be paid to the timely employment of high-quality autumn tillage. Autumn tillage will create a possibility to decrease the intensity (the number of rounds and the depth) of tillage in spring and even during the growth period.