

# TEADUSTÖÖD

## NÄIVLEETUNUD PÕLLUMULLA HUUMUSHORISONDI LASUVUSTIHEDUSE MUUTUMISEST VEGETATSIOONIPERIOODIL

A. Kanal, H. Vipper

Mulla lasuvustihedus, millega on otseselt seotud mulla hüdrofüüsikalised näitajad, iseloomustab oluliselt ka mullaviljakust. Hüdrofüüsikalised näitajad mõjutavad omakorda kõiki mullaprotsesse ja seega ka bioproduktiooni. Mulla lasuvustihedus on väga keerulises sõltuvuses mulla lõimisest, huumusesisaldusest, struktuuri vastupidavusest, lasuvuse iseloomust, sademetest, kultuurist ja mulla veesisalduse muutumisest.

Agrotsönooside suurema produktiivsuse aluseks on eksisteerivate ökoloogiliste ressursside iseärasuste arvestamine ja heaperemehelik kasutamine. Olenevalt olukorrast võib fütoproduktiooni limiteerivaks kujuneda ükskõik milline taime kasvufaktor, kuid selle tegelik kriitilisuse lävi sõltub siiski kõikide kasvutegurite koosmõjust.

Suurtootmisele iseloomulike hiidmasinate, maaviljelusnõuete vajakajäämiste ja ajastamisraskuste tingimustes hakkas tunduvat halvenema põllumuldade agroökoloogiline seisund. Intensiivse harimisega on meie põllumuldade künnikihi mulla struktuur lõhutud niivõrd, et tasakaaluline lasuvustihedus on suurem kui kultuuride optimaalne lasuvustihedus (Nugis, Lehtveer, 1991). Lasuvustiheduse optimaalsust seostatakse põllukultuuride suurima produktiivsusega (Bondarev, Medvedjev, 1980; Medvedjev, 1982) või eiratakse muld-taim süsteemi bioloogilist osa ja lähenetakse kui keerukale poorsuse süsteemile, kus oluline on üksnes vee ja õhu vaherkord (Dojarenko, 1963; Katšinski, 1965, 1970; Kuznetsova, 1990).

Erinevate uurijate vahel ei esine olulisi eriarvamusi parasniiskete keskmise lõimisega põllumuldade optimaalse lasuvustiheduse osas: olenevalt huumusesisaldusest oleks see liivsavidel 1,03...1,36 g cm<sup>-3</sup> (Kuznetsova, 1990); teraviljapõldudel 1,33 g cm<sup>-3</sup> (Medvedjev, 1990). Põllukultuuride saagikuse ja mulla lasuvustiheduse vahelise seose analüüs näitas, et optimaalseks lasuvustiheduseks on 1,20...1,35 g cm<sup>-3</sup> (Kitse, 1978). Lehtveeru (1989) arvates peaks normaalse huumusesisaldusega künnikihi lasuvustihedus olema alla 1,30 g cm<sup>-3</sup>.

Mudelkatse põhjal selgus, et Eerika katseala mullal saavutatud harimisjärgne lasuvustihedus 1,05 g cm<sup>-3</sup> suurenes suhteliselt kiiresti ja Lõuna-Eesti muldadele tüüpiline tasakaaluline lasuvustihedus ulatus 1,45...1,50 g cm<sup>-3</sup> (Vipper, Lauringson, 1987). Mõned uurijad loevad 1,35...1,50 g cm<sup>-3</sup> suurust lasuvustihedust kergele liivsavimullale juba eelkriitiliseks (Nugis, Lehtveer, 1991). Mida suurem on erinevus tegeliku ja optimaalse agroökoloogilise lasuvustiheduse vahel, seda tundlikum on viimane väärmõjutuste suhtes. Kuna muld-taim-süsteemis toimub pidev, kuid muutliku intensiivsusega aine- ja energiavahetus, tuleb ka lasuvustiheduse optimaalset väärtust vaadelda kui muutuvat suurust (Dolgov jt., 1968; Revut jt., 1971; Medvedjev, 1990). Antud uurimus käsitleb lasuvustihedust kui mullaviljakuse ühte muutuvat kompleksnäitajat Eerika katsepõldude näitel.

Millised tegurid mõjutavad mulla lasuvustihedust parasniisketel põllumaadel?

### Ökoloogilised tegurid

Mulla lasuvustiheduse suuruse määrab ära, kui veesisalduse mõju elimineerida, tema orgaanilise aine (huumuse) ja vähesel määral ka füüsikalise savi sisaldus (Molope, 1987; Korschnes, 1988; Kuznetsova, Danilova, 1988; Kozin, 1989; Kuznetsova, 1990; Kitse, 1991; Manrique, Jones, 1991).

Orgaanilistest ühenditest, mis pärinevad taimsest või biotilisest materjalist, on olulisemad kleep- ja tsementeerivad materjalid mullaosakeste agregateerumisel (Tisdall, Oades, 1982). Veele vastupidavate mullaagregaatide osa ei ole määratud niivõrd üldsüsiniku sisaldusega, kui võrd teatud süsiniku fraktsiooniga (Perfect, Kay, 1990; Bohne, 1991; Diné et al., 1991). Seega orgaaniline aine (süsinik) määrab ära mulla bioenergeetilise, kui ka agregateerumistaseme, mis loob eeldused taim-muld-süsteemi tegusaks talitluseks. Juurtest pärineval süsinikul on põllumaade süsiniku käibes domineeriv roll (Richter et al., 1990).

Juured stabiliseerivad otseselt mulla struktuuri (Russel, 1977) ning põllukultuuride põhiline juurtemass asub künnikihis (Pohjanheimo, Heinonen, 1960; Stankov, 1964; Kõlli, 1970; Klemjašova, 1971; Roskošanski, 1976; Steen et al., 1987; Hansson et al., 1992). Seega juurestatuse mõju avaldub mulla lasuvustihedusele nii otseselt kui ka kaudselt, kuid kuna valdavad põllukultuurid on üheaastased, jääb nende juurestiku mõju lühiaegseks.

Bioloogilistest teguritest suudavad mullas mesopoores luua vaid taimejuured ja vihmaussid, kusjuures viimaste tegevuse positiivne mõju mulla mikroagregateerumisele ja viimaste stabiilsusele on üldteada (Henk, 1989). Seevastu vihmausside ja mulla üldpoorsuse vaheline seos on mõneti ebaselge: mesopoorid luuakse makro- ja mikropooride arvelt ja üldpoorsus ei suurene (Frede, 1991) või suureneb ka üldpoorsus (Syer, Springfelt, 1984). Vihmausside aktiivne tegevus soodustab sageli, kuid mitte alati põllukultuuride juurte arengut (Logsdon, Linden, 1992). Jaapani (Keiko, Hajima, 1990) uuringud kinnitavad, et putukate, hulkjalgsede ning isegi vihmausside tegevust hakkab piirama lasuvustihedus üle  $0,7 \text{ g cm}^{-3}$ . Arvestades mullaharimist on vähe tõenäoline, et mesofauna suudaks põllumuldade lasuvustihedust oluliselt reguleerida.

Saksamaa uurimustes on tõdetud, et mulla bioloogilise aktiivsuse maksimum ja sellega kaasnev mullaagregaatide suurem stabiilsus on ilmastikust sõltuv ja enamasti on seda täheldatud suve teisel poolel või hilissuvel (Peschke, 1968; Loh, 1983). Bullock et al. (1988) leidsid, et mullaagregaatide stabiilsus suureneb kevadel-suvel ning seeärel väheneb kuni mulla külmumiseni. Lasuvustiheduse iseregulatsioonile on oluline ka mulla taaskobestumisvõime, mis sõltub tihenemise määrast, kuid keskmiselt vajab tihenunud vähehuumuslik kamar-leetmuld 4...5-kordset veega küllastumist ja läbikuivamist (Kuznetsova, Danilova, 1988). Kõige soodsam mulla taaskobestumisele on, kui muld külmub veega küllastunud olekus ja talvel lisandub vähe sademeid, talvised liigsademed põhjustavad mulla tihenemist (Unger, 1991). Ka Rootsi tingimustes on täheldatud kuivade aastate suuremat mõju muldade künnikihi taaskobestumisele võrreldes märgade aastatega (Hakansson, 1966; Edling, Fergedal, 1972). Talvisest külmumisest saavutatud kobestumine kaob tolmjatel lõimistel juba kevadise mullasulamise käigus (Czeratzki, 1956; Kay et al., 1985).

### Agrotehnoloogilised tegurid

Mullastruktuuri säilimine ja paranemine saab toimuda üksnes nendes agroökosüsteemides millised tagastavad piisava koguse taimevarist põllumulda (Black, 1973; Voroney et al., 1989). Koristusjärgselt põllule jääva orgaanilise aine ja kergete kamar-leetmuldade lasuvustiheduse vahel on tihe korrelatiivne seos (Streltšenko jt., 1989), samasugust mulla mahumassi vähenemise efekti annab põldkatsetes sõnniku kasutamine (Franken, Hurtmans, 1985; Asmus et al., 1987; Körschnes, 1988; Panov jt., 1990; Kapionis jt., 1990; Afanasjev, 1990). Põllumaade küllaldane orgaaniline ja mineraalne väetamine võib anda märgatava, kuid ainult lühiajalise mullastruktuuri paranemise efekti, kuna orgaaniline aine toitaînerikkas keskkonnas kiiresti laguneb (Boguslavski, 1976).

Harimine lõhub mulla struktuuriagregaatide ja ühtlasi suurendab mikrofloora osa, kes orgaanilise aine puudujäägil vähendab huumushorisoni stabiilsust (Molope, 1987). Võib eeldada, et sademeterohkes kliimas on sügisest mullaharimisest tingitud kobestumine lühiajaline. Kanada uurimustel vähenes viie kuu jooksul sügavkobestuse efekt juba 30...60 % (Carter, 1988) või sügiskünnil saavutatud kobestuseefekt  $0,005 \text{ g cm}^{-3}$  elimineeritakse 0,5 m kihis juba kevadtööde käigus (Johnson et al., 1989). Siiski on traditsioonilisel (künniga) mullaharimisel künnikihi lasuvustihedus  $0,10 \text{ g cm}^{-3}$  võrra madalam kui otsekülvi puhul (Bochert, 1988; Hammel, 1989). Kündmise põhipuudus on künnikihi aluskihtide tihenemine, huumushorisoni agregateerumise ja diferentseerumise

häirimine, mikrofloora ning mesofauna arvukuse vähenemine; plussiks otsekülvi ees on suurem niiskusesisaldus ja parem juurte areng (Bochert, 1988).

Erinevate põllukultuuride viljelemisega kaasnev masindegredatsiooni suhteline koormus mullale on erinev: külvieelsel harimisel talinisul ja kartulil on see vastavalt 41 ja 104 %, ulatudes siis peale külvi juba 104 ja 148 %-ni (Kuipers, 1986). Teraviljapõllu agrotehnoloogiast tingitud tallamise intensiivsus kasvuperioodil on 2,5-, kartulil ja peedil seevastu 5...8-kordne (Domzal, Hodara, 1990).

Kinnitatatud mulla taaskobestumine võtab aastaid: veoauto ülesõiduga tihenendud kamarleetmulla taaskobestumist esialgsele tasemele ei toimunud 3 aasta jooksul (Šeptuhov, 1979); DT-75 ja T-150K jälgedel asuvatel prooviajaladel ei toimunud olulist paranemist 2 aasta vältel (Saranin jt., 1984).

Liigtallamise mõjul ei halvene mitte üksnes mulla hüdrofüüsikalised näitajad, vaid pidurduvad ka bioloogilised protsessid. Dannowski (1989) uuringutes kartuli, talinisul, talirukki ja odraga toimus vegetatsiooniperioodil kõigi kultuuride puhul põllumulla tehnoloogiline tihenemine, millega kaasnes juurtiheduse vähenemine mullas. Juurte osakaalu vähenemist tihenendud mullas on täheldanud paljud autorid (Rex, 1984; Dumbeck, 1986; Erbach, 1987; Pflieger et al., 1988, Lehfeltd, 1988). Künnikihi juurestatuse ja kultuuri saagi vahel ei ilmnenud positiivset korrelatsiooni (Rex et al., 1985; Logsdon, Linden, 1992); seevastu künnikihi alumise kihi juurestatusel on oluliselt parem seos saagiga (Harrach et al., 1987; Harrach, Vorderbrügge, 1991).

Seega maaviljeleja huvides toimuva mullaharimise positiivne mõju jääb enamasti lühiaegseks ja ühekülgseks. Mulla iseregulatsioonivõime kahjustamise kompenseerimine saab võimalikuks üksnes mulla organo-mineraalse toitainete käibe reguleerimise ning saldo tasakaalustamise abil.

1982. a. rajati EPA (nüüd EPMÜ) maaviljeluse kateedri poolt väga laiaulatuslik ja mitmekesine külvikordade ja mullaharimise põldkatse. Kolmest sügavusest (1...9; 11...19; 21...29 cm) määrati igal aastal vähemalt kolmel korral ka lasuvustihedus. Igas sügavuses määrati lasuvustihedus vähemalt neljas korduses, kusjuures korduse moodustas nelja üksikproovi keskmine tulemus. Lasuvustiheduse üksikmääramiste arv ligineb 7000-le (Mullaharimise ja..., 1989). Proov võeti Litvinovi silindri (50 cm<sup>3</sup>) abil ja pärast absoluutkuivaks kuivatamist leiti lasuvustihedus kaalanalüütiliselt. Proovide võtmise sügavus kattus valdavalt huumushorisoni tusedusega ning selle põhinäitajad on erinevate autorite andmetel on toodud tabelis 1.

Tabel 1

Näivleetunud põllumuldade huumushorisoni üldnäitajad / Some characteristics of humushorizon of podzoluvisols

Näitaja Item	Ühik Unit	Eerika			Tartu NS
		Reintam 1970	Vipper, Lauringson 1987	Kanal et al. 1992	Rooma 1987
Tüsedus / Thickness	cm	21	23...25	30	28
Huumus / Humus	%	1,7...1,8	2,1...2,5	1,6...2,3	1,9
Füüsikaline savi / Physical clay	%	20,8...23,2	21,3	20,4	18,9

Valdavalt oli tegemist saviliivale lähedase kerge liivsaviilõimisega. Aastatega on mullaharimise käigus huumushorison märgatavalt түsenendud, tootmispõldude näivleetunud muldadel on see viimasel aastakümnel keskmiselt kasvanud 21-lt 28-le cm-le (Rooma, 1987).

Arvata võib, et madala huumusesisaldusega põllumuldade künnikihi түsendamise oluliselt ei paranda ega ühtlusta nende agrofüüsikalisi omadusi, vaid nende ebaühtlikkus kasvab veelgi. Seda kinnitavad Tartu NS tootmis põldude püsiuurimisaladel läbiviidud katsed, kus juba kolme aasta möödudes on märgata üheaegselt nii künnihorisoni mõningast түsenemist, tihenemist kui ka huumusesisalduse tõusu (Rooma, Rohtmets, 1988). Samuti on Tartu piirkonna põllumuldi uurinud prof. R. Kõlli järeldanud, et peamiseks negatiivseks nähtuseks on huumuskatte kvaliteedi ebaühtlus ja tendentsid selle süvenemisele (Kõlli, 1989).

Milline võiks olla teoreetiliselt üks etalonpõllumuld? Nugise ja Lehtveeru (1990) mulla füüsikalist seisundit iseloomustavate parameetrite optimeerimise tulemuseks ("ideaalseks") kujunes 5 % huumuse-, 30 % füüsikalise savi sisaldusega 40 cm түsedune huumushorison, mille lasuvustihedus oleks 1,20 g cm<sup>-3</sup>. Seega näivleeturud põllumulla huumushorisoni parameetrid ei vasta kaugeltki nendele nõuetele.

Tabelis 2 on esitatud erinevate autorite lasuvustiheduse andmed Lõuna-Eestis tihti esinevate näivleeturud muldade kohta.

Tabel 2

Näivleeturud mulla lasuvustihedus g cm<sup>-3</sup> / Bulk density of podzoluvisols g cm<sup>-3</sup>

Sügavus, cm Depth, cm	Mets / Forest		Põld / Field		
	Roostalu 1973 sügavkaeve	Roostalu 1973 sügavkaeve	Kitse 1978 n=25	Teras 1987 n=25	Rooma, Rohtmets 1988 n=160
0...10	1,08	1,46	1,49	1,46	1,46...1,48
10...20	1,28	1,55	1,49	1,46	–
20...30	1,37*	1,65*	1,51*	1,49*	1,50...1,64*

\* Künnikihi horisoni mahumass

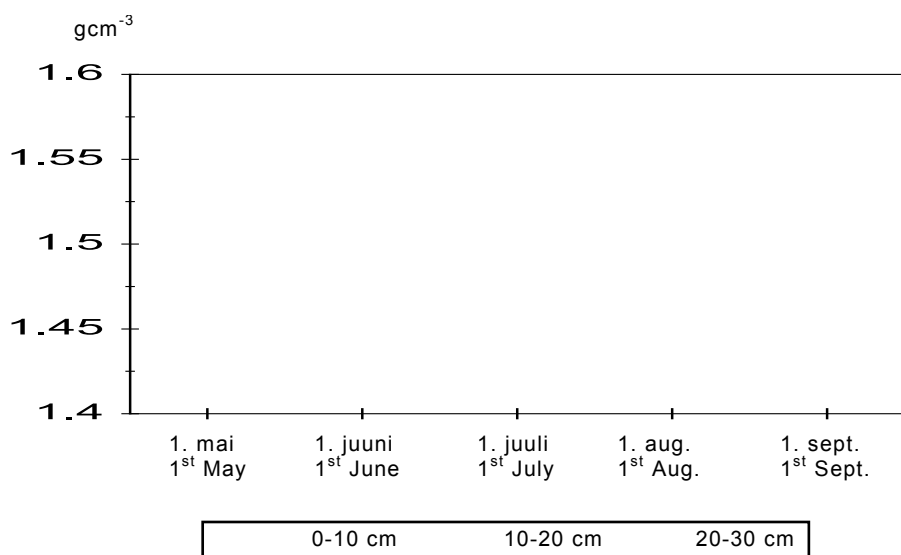
Huumushorisoni lasuvustihedus metsas erineb tänu orgaanilise aine ja juurte diferentseerunud jaotumisele tunduvalt põllumaa lasuvustihedusest. Selline lasuvustihedus vastaks hästi ka eespool toodud teoreetiliselt optimeeritud põllumullale. Näivleeturud põllumullale omane lasuvustihedus on tunduvalt suurem kui erinevate autorite poolt väljapakutud optimaalne.

Arvestades kõike eespool toodut ja seda, et lasuvustiheduse määramisandmete võrreldavus oleneb suuresti mulla veesisaldusest, kujunesid ka erinevate aastate alusel koostatud lasuvustiheduse valimid küllalt ebaühtlaseks. Ka Dolgoprudnoje uurimisjaama pikaajalistel andmetel kõigub tasakaaluline lasuvustihedus aastati 1,35...1,47 g cm<sup>-3</sup> (Panov jt., 1990).

Lasuvustiheduse dünaamika analüüsil võeti sõltumatuks muutujaks päevade arv pentaadide kaupa ja sõltuvaks suuruseks lasuvustihedus. Andmetöötlusel kasutati sirge, parabooli ja hüperbooli võrrandit ja vastavalt korrelatsioonikordajale (r) jäädid valdavalt ruutvõrrandi juurde. Kuna lähteandmete hajuvus oli suur, prooviti leida tunnustevahelist seost kogu valimile (1...30 cm) või ka grupeeriti sügavuste kaupa 1...20 cm ning 10...30 cm, kuid sügavuste ühendamine ei andnud ühtegi seose tugevnemist. Saavutatud tulemuste seose tugevust ehk tihedust iseloomustav korrelatsioonikordaja (r) on Piirsalu (1982) järgi vahemikus 0,2...0,4 tagasihoidlik kuni keskmine – 0,4...0,6. Korrelatsioonikordaja statistilise usaldatavuse määramisel 95 % tõenäosuse juures kasutati ühepoolset kriteeriumi (Piirsalu, 1982).

Mullatiheduse suhtes tolerantsemad põllukultuurid on teraviljad, isegi kui keskmised ei ole optimaalsed, siis põllumuldade huumuskatte suur heterogeensus eeldab, et teatud

põlluosadel on tagatud soodsad tingimused bioproduksiooniks. Enamasti vajavad teraviljapõllud külvijärgset mulla tihendamist rullimise teel, teatud juhtudel on ülemäära tihenendunud põllumullal täheldatud isegi teraviljade toitumisrežiimi paranemist (Goldberg et al., 1983; Holmes et al., 1983; Voorhes, 1985). Poola autorite andmetel varieerub rullitud rukkipõllu külvijärgne lasuvustihedus suures ulatuses: 1,31...1,56 g cm<sup>-3</sup> (Sienkiewics et al., 1988). Peale talvitumist (joon. 1) jääb see mai alguses erinevatel uurimissügavustel küllalt ühtlase vahemikku 1,45...1,48 g cm<sup>-3</sup>, mis põhimõtteliselt ühtib tabelis 2 toodud koristusjärgsetelt kõrrepõldudelt võetud proovide analüüsandmetega. Pindmise mullakihi lasuvustiheduse (y<sub>1</sub>) allumine antud võrrandile (r=0,21) jääb aga vähe usaldatavaks. Sügavaima määramispiirkonna tihenemine (y<sub>3</sub>) allus hästi ka sirge võrrandile (r=0,41), sest olulist masindegradatsiooni pärast pealtväetamist taliviljapõldudel ei toimu ning rukki juurestikust asub selles tsoonis ainult 6,2...8,5 % (Kõlli, 1970). Koristamisjärgselt (augusti 2. dekaad) jäi kõrrepõllu lasuvustihedus kogu uurimissügavuse ulatuses vahemikku 1,47...1,57 g cm<sup>-3</sup>. Võrdluseks: põldkatses (Kanal et al., 1992) talinisuga, kus kasutati orgaanilist väetist, oli lasuvustihedus 10...20 cm sügavusel 5. juunil 1,51 ja 3. augustil 1,50 g cm<sup>-3</sup>. Seega hoiavad taliviljad suvisel vegetatsiooniperioodil künnikihi lasuvustiheduse küllalt ühtlase.



$$y_1 = 1,448 - 0,0003x + 6,53 \times 10^{-6}x^2 \quad n=56 \quad r=0,21^*$$

$$y_2 = 1,456 + 0,0004x + 1,48 \times 10^{-6}x^2 \quad n=56 \quad r=0,35$$

$$y_3 = 1,477 + 0,0008x \quad n=56 \quad r=0,41$$

\* - mitteoluline (p>0,05) / nonsignificant (p>0,05)

x – päevade arv vegetatsiooniperioodi algusest / No. of days from the beginning of vegetation period

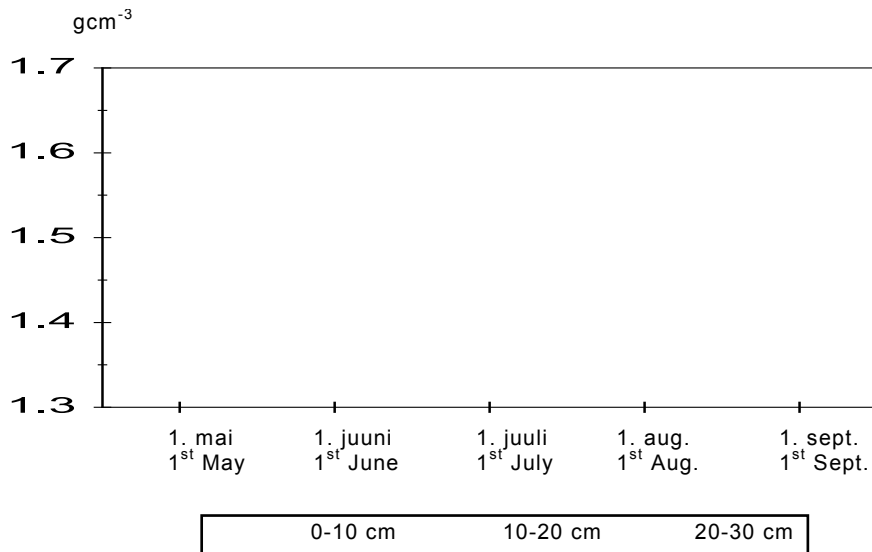
Joonis 1. Rukkipõllu pindmise mullakihi lasuvustihedus (y) g cm<sup>-3</sup>

Figure 1. Topsoil bulk density (y) of the rye field g cm<sup>-3</sup>

Vaatamata asjaolule, et 59...67 % rukki juurestikust asub pindmises 10-cm kihis (Kõlli, 1970), ei ole siiski märgata mulla olulist kobestumist teraviljade maksimaalse juurtemassi perioodil, mis enamasti esineb peale loomist (Gregory et al., 1978; Buyanovski et al., 1989) või analoogselt meie tingimustes rukkil vahaküpsuses (Kõlli, Rästa, 1978). Samas võib nõustuda Frankeni ja Hurtmansi (1985) arvamusega, et talinisu loob endale soodsa kasvukeskkonna piimküpsuse faasiks ning seejärel juurte mullastruktuuri parandav tegevus peatub. Muld hakkab märgatavalt tihenema peale koristust, sest koristusega vabastatakse mullapind järsku taimkattest, muutub evapotranspiratsioon ning juurte mass mullas hakkab muundumise teel vähenema. Suve lõpul suurenenud mullaveevaru arvel ei ole kergematel

lõimistel loota ka olulist paisumist, mida on täheldatud ka Eesti savilõimistel (Paas, 1991). Seevastu künnikihi aluse horisondi tihenemisest ja sagenenud vihmadest tingitud ülaveest võib näivleetunud mulla puuduliku struktuuriga huumushorisont veelgi tiheneda.

Odrapõllul seevastu luuakse soodsad agrofüüsikalised tingimused kevadise mullaharimise käigus, kus külvisügavus kobestatakse, kuid alumised seeläbi paratamatult tihendatakse (joon. 2). Nimelt külvi järgne 0...5 cm väiksem ja 10...15 cm suurem vertikaalne lasuvustihedus eristas oluliselt teraviljakülve rohumaadest (Currie, 1984). Seetõttu on mullakihtide lasuvustiheduskõverate kujud erinevad: kobestatud pindmine tiheneb, kuid kokku surutud 10...30 cm kiht mõnevõrra kobestub vegetatsiooniperioodi vältel.



$$y_1 = 1,315 + 0,0037x + 1,8 \times 10^{-5}x^2 \quad n=84 \quad r=0,58$$

$$y_2 = 1,575 - 0,0016x + 1,31 \times 10^{-5}x^2 \quad n=84 \quad r=0,28$$

$$y_3 = 1,631 - 0,0029x + 2,48 \times 10^{-5}x^2 \quad n=84 \quad r=0,50$$

$x$  – päevade arv vegetatsiooniperioodi algusest / No. of days from the beginning of vegetation period

Joonis 2. Odrapõllu pindmise mullakihi lasuvustihedus ( $y$ ) g cm<sup>-3</sup>

Figure 2. Topsoil bulk density ( $y$ ) of the barley fields g cm<sup>-3</sup>

Mõneti sarnaseid tulemusi on saadud ka rasketel lõimistel Rootsis, kus vegetatsiooniperioodil toimus 0...5-cm ja 20...25-cm künnikihis tihenemine, kuid 10...15 cm sügavusel kobestumine (Lindström, McAfee, 1989). Ka odrakülvidel ei säili külvielse harimisega loodud (kirjanduses väljapakutud optimaalne) lasuvustihedus kuigi kaua, keskmiselt kaks nädalat pärast külvi, ehkki siis on vähe sademeid, mis võiksid pindmist künnikihti oluliselt tihendada. Valdav enamus odrajuuri asub pindmises kuni 10-cm kihis (Kõlli, 1970; Andersen et al., 1992), kuid nad ei suuda säilitada harimisega loodud mullale mitteomast lasuvustihedust. Rootsi uurijate andmetel toimub odrajuurte vertikaalses jaotumises oluline muutus vegetatsiooniperioodi teisel poolel (juuni III). Kui 0...10-cm kihi juurestatus oluliselt ei muutu, siis sügavamal seevastu toimub tunduv juurdekasv (Hansson et al., 1992). Erandjuhtudel, vihmutuse kui ka põua tingimustes see siiski ei avaldunud. Silmas pidades, et odra juurte fütomassi kulminatsioon on ainult mõnevõrra varasem maapealsest,

tavaliselt juuli III dekaadis (Kõlli, 1982), siis näeme jooniselt 2, et suvel künnikihi alaosa muld tiheneb. Näiteks Rootsi liivmuldadel vähenes odrajuurte mass juuli 2. dekaadist septembrini 2,5...3 korda (Steen, Wünsche, 1990).

Odrapõllul tiheneb muld kiiremini kui rukkipõllul, kuna kevadine mullaharimine tingib ka kevadise mulla veevaru suuremaid kulutusi, samuti on erinev kevad-suvine evapotranspiratsioon ning toimima hakkab ka iga isereguleeruva süsteemi tasakaalu poole püüdlamise printsiip. Kevadine mullaharimine ja odrakoosluse kiire areng seostub lasuvustiheduse muutumisega vegetatsiooniperioodil paremini kui ületalvitunud rukkipõllu lasuvustihedus. Rukkikoosluse juurestik hoiab talvitumisjärgse pindmise mullakihi lasuvustiheduse juuli III dekaadini alla tasakaalulise lasuvustiheduse alampiiri  $1,46 \text{ g cm}^{-3}$ . Odra korral ületatakse see lävi juba juuli alguses. Tihenemine võib aastati olla vägagi erinev, näiteks orgaaniliste väetiste põldkatsel (oder 'Elo' 1990. a. septembris) saadi 10...20 cm sügavusel keskmiseks ( $n=56$ ) lasuvustiheduseks  $1,43 \text{ g cm}^{-3}$ .

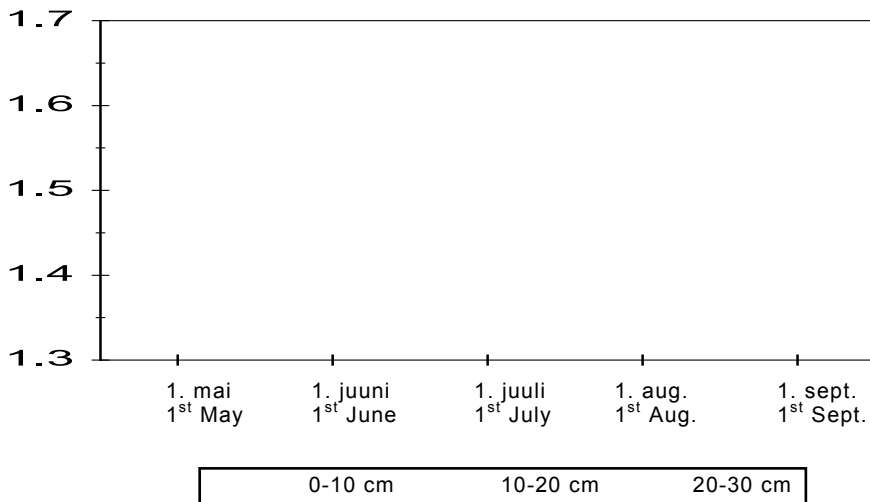
Kevad-suvisel kasvuperioodil on rukkipõllul künnikihi tihedus vähe diferentseerunud ja alaosas vähem tihenenu kui odral. Vegetatsiooniperioodi lõpuks on põldude lasuvustiheduse seisund ligilähedane, kuna mulla veevarud kui ka bioloogiline aktiivsus on ühtlustunud. Koristusjärgsel kõrrepõllul tuleb põllumulla tasakaalulise lasuvustiheduse määramisel arvestada juurte suremisest tingitud tihenemist. Teraviljapõldudele on iseloomulik lasuvustiheduse suur varieerumine 10...20 cm sügavuses kihis, mis ilmselt on tingitud erinevast juurestatusest ning suviteraviljadel ka külvielse harimise ebahühtlikkusest.

Vegetatsiooniperioodi vältel erinevatel Eesti muldadel tehtud uurimistest selgus, et ainult kolmel juhul viieteistkümnest osutus mulla füüsikaline seisund kartulile rahuldavaks (Nugis, Lehtveer, 1988). Kartulikasvatusel on mulla tiheduse mõju oluline taime all asuvas 0,2 m raadiusega ruumis (Medvedjev, 1990), sest kartulijuurte põhimass asub 5...15-cm vaosügavuses (Kõlli, 1970; Vos, Groenwold, 1986; Steen et al., 1987; Mackie-Dawson et al., 1990). Kartulijuured ei ulatu enamasti sügavamale kui 30 cm ning sellele eelnevas 10-cm kihis asub kõigest ca 5 % juurtest (Kõlli, 1970; Mackie-Dawson et al., 1990).

Suve alguse kartulipõldu iseloomustab, vaatamata kevadisele korduskünnile, alumiste uurimissügavuste ebaoluline kobestumine võrreldes odrapõlluga. Korduv vaheltharimine kobestab üksnes pindmist vaakihti ja põhjustab selle alumise uurimissügavuse aeglasemat tihenemist kui odrapõllul (joon. 3). Arvestades kartuli aeglasemat arengut lubavad käesolevad uurimistulemused jagada Kuilli (1982) arvamust, et kartulikasvatamisel algavad mullaharimise minimeerimise võimalused neil muldadel, mille tasakaaluline lasuvustihedus jääb allapoole  $1,15 \text{ g cm}^{-3}$ .

Kartulipõllu vaheltharimine tagab pindmise 1...10-cm mullakihi tasakaalulise lasuvustiheduse alampiiri  $1,46 \text{ g cm}^{-3}$  säilimise kuni augusti III dekaadini, samuti jääb ka järgneva kihi (11...20 cm) lasuvustihedus alla  $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ . Vaosisese 1...20 cm lasuvustiheduse märgatav ühtlustumine augusti lõpuks kinnitab ka kartuli põhijuurestiku lokaliseerumist selles mullaruumis. Lasuvustiheduse vähenemine alumistes sügavustes langeb kokku kartulitaime fütomassi formeerumise tipp-perioodiga. Seda kinnitavad ka Rootsi uurimused, et kartuli juurtiheduse kõverad on sarnase kujuga, kuigi kõverate lagipunkti saabumine on aastati erinev (Steen et al., 1987).

$\text{gcm}^{-3}$



$$y_1 = 1,343 + 0,0013x - 3,3 \times 10^{-6}x^2 \quad n=40 \quad r=0,57$$

$$y_2 = 1,516 + 3,06 \times 10^{-5}x - 4,7 \times 10^{-6}x^2 \quad n=40 \quad r=0,33$$

$$y_3 = 1,589 + 0,0006x - 1,2 \times 10^{-6}x^2 \quad n=40 \quad r=0,49$$

$x$  – päevade arv vegetatsiooniperioodi algusest / No. of days from the beginning of vegetation period

Joonis 3. Kartulipõllu pindmise mullakihi lasuvustihedus ( $y$ )  $\text{g cm}^{-3}$ .

Figure 3. Topsoil bulk density ( $y$ ) of the potato field  $\text{g cm}^{-3}$ .

Uuritud põllukultuuride künnikiht oli lasuvustiheduse alusel vertikaalselt diferentseerunud ja muutub vegetatsiooniperioodil fütomassi formeerumise iseärasustest tingituna erinevalt. Põllumulla huumushorisondi soodsaim lasuvustiheduslik seisund saavutatakse kultuuride fütomassi kulminatsiooni vahetus läheduses. Enamasti on sellel ajajärgul nii juurte aktiivsus kui ka eripind kõige suurem ning seega toimub kõige intensiivsem taime ja mulla vaheline vastastikune mõjutamine. Kevadine mullaharimine põhjustas tugevama seose lasuvustiheduse ja vegetatsiooniperioodi päevade arvu vahel, kuna sügisel tehtud külvide korral jäi see seos tagasihoidlikumaks. Taliviljapõllule oli iseloomulik maapinnalähedase (1...10 cm), odra- ja kartulipõllule 11...20-cm mullakihi lasuvustiheduse suhteliselt suur varieerumine.

Kinnitust leidsid ka eelnevate uurimuste tulemused, et näivleetunud põllumuldade ülemine horisont on kiiresti tihenev ja tasakaaluline lasuvustihedus suhteliselt kõrge, mis on määratud juba geneetilis-litoloogilise eripäraga. Künnikihi lasuvustihedus kui ka tema optimaalne seisund muutub vegetatsiooniperioodil sõltuvalt agroökoloogilistest tausttingimustest kui ka taim-muld-süsteemi talitlemise aktiivsusest. Suurtootmise tingimustes on põllumuldade huumushorisontide agroökoloogiline seisund halvenenud, kuid ohtu, et lasuvustihedus hakkab põldudel bioproduktiooni pidurdama, võib esineda üksnes lokaalselt ning sedagi äärmuslikes ilmastiku- või maaharimistingimustes.



- Afanasjev: Афанасьев Н. И. Основные проблемы физики дерново-подзолистых почв БССР и пути их решения. - Почвоведение, № 5, с. 128...138, 1990.
- Andersen, M. N., Jensen, C. R., Lösch, R. The interaction effects of potassium and drought in field-grown barley. - Acta Agric. Scand. Section B. Soil and Plant Science, vol. 42, p. 34...44, 1992.
- Asmus, F., Kittelmann, G., Görlitz, H. Einfluß langjähriger organischer Düngung auf physikalische Eigenschaften einer Tieflehm-Fahlerde. - Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Bd. 1, S. 41...46, 1987.
- Black, A. L. Soil properties associated with crop residue management in a wheat-fallow rotation. - Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 37, p. 943...946, 1973.
- Boguslavski, E. V., Debruck, J., Zadrazill, F. Der Einfluß langjähriger Stroh- und Gründüngung sowie Stickstoffdüngung auf Faktoren der Bodenfruchtbarkeit. - Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde, Bd. 143, S. 249...258, 1976.
- Bochert, H. Bodenphysikalische Veränderungen eines Lößbodens bei langjährigen pflugloser Bewirtschaftung. - Bayer. Landwirt. Jahrbuch, Bd. 7, S. 813...824, 1988.
- Bohne, H. Stabilität des Bodengefüges unter Einfluß der Bodennutzungs-Voraussetzungen, Anforderungen, Möglichkeiten. - Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 204, Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Band 2. Bodengefüge. - München und Berlin, Verlag Paul Parey, S. 43...54, 1991.
- Bondarev, Medvedjev: Бондарев А. Г., Медведев В. В. Некоторые пути определения оптимальных параметров агрофизических свойств почв. - Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почв. - Тр. Почв. ин-та им. В. В. Докучева, с. 85...98, 1980.
- Bullock, M. S., Kemper, W. D., Nelson, S. D. Soil cohesion as affected by freezing, water content, time and tillage. - Soil Soc. Am. J., vol. 52, p. 770...776, 1988.
- Buyanovski, G. A., Wagner, G. H., Gantzer, J. C. Soil respiration in a winter wheat ecosystem. - Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 50, p. 338...344, 1986.
- Carter, M. R. Penetration resistance to characterize the depth and persistence of soil loosening in tillage studies. - Can. J. Soil Sci., vol. 4, p. 657...668, 1988.
- Czeratzki, W. Zur Wirkung des Frostes auf die Struktur des Bodens. - Z. Pflanzenernährung Düng. Bodenk. Bd. 72, S. 15...32, 1956.
- Currie, J. A. The physical environment in the seedbed. - Asp. Appl. Biol., vol. 7, p. 33...54, 1984.
- Dannowski, M. Die Kennzeichnung von Schadverdichtungen in Krümenböden mit Hilfe von Durchwurzelungsuntersuchungen unter Laborbedingungen. - Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Bd. 5, S. 277...278, 1989.
- Dinel, H., Mehuys, G. R., Levesque, M. Influence of humic and fibric materials on the aggregation and aggregate stability of the Lacustrine silty. - Soil Science, vol. 151, p. 146...158, 1991.
- Dojarenko: Дояренко Ф. Г. Избранные сочинения. - Москва, Изд. с-х. литературы, 1963.
- Dolgov jt.: Долгов С. И., Модина С. А., Личманов Б. Г. Изучение оптимального (для культурных растений) сложения почвы. - III Делегатский съезд почвоведов. Москва, Наука, с. 21, 1968.
- Domzal, H., Hodara, J. Intensity of soil compaction under wheeled machinery and agricultural tools in highly mechanized farms. - Zesz. probl. post. nauk. rol. vol. 388, p. 21...27, 1990.
- Dumbeck, G. Bodenphysikalische und funktionelle Aspekte der Packungsdichte von Böden. - Diss. Gießener Bodenkundliche Abhandlungen., Bd. 3, 1986. - 236 S.
- Edling, P., Fergedal, L. Model experiments on soil compaction 1968...1969. - Swed. Univ. Agric. Sci. Div. Soil Manag., Report 31. 1972. - 71 pp.
- Erbach, D. C. Soil compaction and plant growth. SAE Tech. Pap. Sem. No 872012, p. 1...6, 1987.
- Franken, H., Hurtmanns, E. Der Einfluß langjähriger Düngungsmaßnahmen auf die Dynamik der Bodenstruktur. - Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde. Bd. 148, S. 159...168, 1985.

- Frede, H. G. Gefügebildende Wirkung natürlicher Kräfte auf schluffreichen Böden. - Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 204. Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Band 2. Bodengefüge. - München und Berlin, Verlag Paul Parey, S. 55...69, 1991.
- Goldberg, S. P., Smith, K. A., Holmes, J. C. The effect of soil compaction, form of nitrogen fertilizer and fertilizer placement on the availability of manganese to barley. - J. Sci. Fd. Agric., Bd. 34, S. 657...670, 1983.
- Gregory, P. J., McGowan, M., Biscoe, P. V., Hunter, B. Water relations of winter wheat 1. Growth of the root system. - J. Agric. Sci., Camb. vol. 91, p. 91...102, 1978.
- Hakansson, I. Experiments with different degrees of compaction in the topsoil and upper part of the subsoil. - Grundförbättring vol. 19, p. 281...332, 1966.
- Hansson, A. C., Steen, E., Andren, O. Root growth of daily irrigated and fertilized barley investigated with ingrowth cores, soil cores and minirhizotrons. - Swedish J. of Agric. Research, vol. 22, p. 141...152, 1992.
- Hammel, J. E. Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in Northern Idaho. - Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 5, p. 1515...1519, 1989.
- Harrach, T., Keil, B., Vorderbrügge, Th. The influence of soil structure on rooting, nutrient uptake and yield formation. - Proc. 20 th Colloq. Int. Potash Inst., Bern., p. 303...320, 1987.
- Harrach, T., Vorderbrügge, Th. Die Wurzelentwicklung von Kulturpflanzen in Beziehung zum Bodentyp und Bodenfüge. - Berichte über Landwirtschaft. 204., Sonderheft. Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Band 2 Bodengefüge. - Hamburg und Berlin, Verlag Paul Parey, S. 69...81, 1991.
- Henk, U. 1989. Untersuchungen zur Regentropferosion und Stabilität von Bodenagregaten. - Landschaftsgenese und Landschaftsökologie, Bd. 15, S. 197, 1989.
- Holmes, J. C., Donald, A. H., Chapman, W., Lang, R. W., Smith, K. A., Franklin, M. F. Effects of soil compaction, seed depth, from N fertilizer, fertilizer placement and manganese availability on barley. - J. Sci. Fd. Agric., vol. 34, p. 671...684, 1983.
- Johnson, B. S., Ericson, A. E. and Voorhes, W. B. Physical conditions of a Lake Plain soil as affected by deep tillage and wheel traffic. - Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 53, p. 1545...1551, 1989.
- Kanal, A., Kuldkepp, P., Lüllman, A. Erinevate orgaanilise väetise liikide efektiivsusest külvikorras. - Teaduslik-praktilise konverentsi materjalid. - Tartu, 30. nov. 1990. Tallinn, Eesti Põllumajanduse Infokeskus, 1992.
- Карюнис jt.: Капионис В. А., Зейлигер А. М., Смирнов Г. В., Карева О. В. Изменение физических свойств дерново-подзолистой почвы под влиянием органических удобрений и способов обработки. - Почвоведение, № 5, с. 139...152, 1990.
- Katšinski: Качинский Н. А. Физика почвы. - М. Высшая школа, Ч. 1, с. 169...192, Ч. 2, с. 3...31, 1965.
- Kay, B.D., Grant, C.D., Groenvelt, P.P. Significance of ground freezing on soil bulk density under zero soil tillage. - Soil Sci. Soc. Amer. J., vol. 49, p. 973...978, 1985.
- Kitse, E. Mullavesi. - Tallinn, Valgus, lk. 32...35, 1978.
- Kitse, E. Mullavee kaitsest. - Mullakaitse probleem Eestis. - Tallinn, Valgus, lk.29...36, 1991.
- Klemjašova: Клемяшова Т. Г. Влияние удобрений на накопление корневых и пожнивных остатков культурами зерно-картофельного севооборота на дерново-подзолистой почве. - Почвоведение, № 5, с. 19...24, 1971.
- Kozin: Козин В. К. Расчет равновесной плотности почв. - Почвоведение, № 1, с. 153...156, 1989.
- Kuill, T. Mullaharimise minimeerimise võimalusi kartuli agrotehnikas. - Põllumajanduskultuuride produktiivsuse suurendamine. - Vabariikliku teadusliku konverentsi teesid. Tartu, lk. 42...44, 1982.
- Kuipers, H. Soil compaction in arable farming. - Trans. 13th Cong. Int. Soc. Soil Sci. Hamburg, 13...20 Aug. 1986, vol. 5, p. 310...327, 1987.
- Kuznetsova: Кузнецова И. В. Об оптимальной плотности почв. - Почвоведение, № 5, с. 43...53, 1990.
- Kuznetsova, Danilova: Кузнецова И. В., Данилова В. И. О разуплотнении почв под влиянием процессов набухания-усадки. - Почвоведение, № 6, с. 59...70, 1988.

- Kõlli: Кылли Р. Количество, динамика и зольный состав фитомассы сельскохозяйственных культур. - Сб. науч. трудов ЭСХА № 65, с. 262...277, 1970.
- Kõlli: Кылли Р. Доля урожая от первичной продукции агроэкосистем. - Сб. науч. трудов ЭСХА. Вопросы биологии и повышения урожайности полевых культур. № 133, Тарту, с. 78...92, 1982.
- Kõlli, R. Negatiivsetest nähtustest põllumuldade huumuskattes. - Põllumajandus ja keskkonnakaitse. Teaduslik rakendusliku konverentsi 6...7. aprill 1989 ettekanded. Tallinn - Elva, lk. 37...41, 1989.
- Kõlli, Rasta: Кылли Р. Э., Раста. Динамика образования опада у зерновых культур. Сб. науч. трудов ЭСХА № 122, с. 83...94, 1978.
- Körschne, M. Die Abhängigkeit der Trocken-rohdichte vom  $C_1$ - und Feinteilgehalt von Mineralböden. - Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Bd. 6, S. 363...367, 1988.
- Lehfeldt, J. Auswirkungen von Krumenverdichtungen auf die Durchwurzelbarkeit sandiger und lehmiger Bodensubstrate bei Anbau verschiedener Kulturpflanzen. - Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Bd. 8, S. 533...539, 1988.
- Lehtveer, R. Eesti NSV mullastik arvudes VII. Põllumuldade tallatusest. - Eesti NSV Riiklik Agrotööstuskomitee. RPI 'Eesti Põllumajandusprojekt' - Tallinn, Eesti NSV Riikliku Agrotööstuskomitee Info- ja Juurutusvalitsus, lk. 22...39, 1988.
- Lehtveer, R. Eesti NSV mullastik arvudes VIII. Põllumuldade tallatusest. - Eesti NSV Riiklik Agrotööstuskomitee. RPI 'Eesti Põllumajandusprojekt' - Tallinn, Eesti NSV Riikliku Agrotööstuskomitee Info- ja Juurutusvalitsus, lk. 63...77, 1989.
- Lindström, J., McAfee, A. Aeration studies on arable soil. 2. The effect of grass ley of cereal on the structure of a heavy clay. - Swedish J. Agric. Research, vol. 19, p. 155...161, 1989.
- Logsdon, S. D., Linden, D. R. Interactions of earthworms with soil physical conditions influencing plant growth. - Soil Science, vol. 154, p. 330...338, 1992.
- Loh, M. Auswirkungen verschiedener Zwischenfrüchte auf die Aggregatstabilität einer Braunerde aus Löß. - Diss. Bonn, 1983.
- Mackie-Dawson, L. A., Millard, P., Robinson, D. Nutrient uptake by potato crops grown on two soils with contrasting physical properties. - Plant and Soil, vol. 125, p. 159...168, 1990.
- Manrique, L. M., Jones, C. A. Bulk density of soils in relation to soil physical and chemical properties. - Soil Sci. Soc. Amer. J., vol. 2, p. 476...481, 1991.
- Medvedjev: Медведев В. В. Теоретические и прикладные основы оптимизаций физических свойств черноземов. - Афтореф. док. дисс., 1982. - 47 с.
- Medvedjev: Медведев В. В. Изменчивость оптимальной плотности сложения почв и ее причины. - Почвоведение, № 5, с. 20...29, 1990.
- Molope, M. B. Soil aggregate stability: the contribution of biological and physical processes. - S. Afr. J. Plant and Soil, vol. 3, p. 121...126, 1987.
- Mullaharimise ja kompleksse umbrohutõrje diferentseerimise teoreetiliste aluste ja praktiliste võtete täiustamine erinevates põllukülvikordades. - Maaviljeluse kateedri lepingulise uurimistöe aruanded 1982...89. Lepingu vastutav täitja H. Vipper.
- Nugis, Lehtveer: Нугис, Э., Лехтвеер, Р. К вопросу определения аэрационной пористости почв в картофельной борозде. - Состояние воздушного режима почвы и плодородие. - Таллинн, Управление инф. и вред. Госуд. агропром. ком. ЭССР, с. 8, 1988.
- Nugis, E., Lehtveer, R. Mulla füüsikalist seisundit iseloomustavate parameetrite optimeerimisest. - Maaviljeluse ökoloogilised probleemid. Vabariikliku teaduslik-praktilise konverentsi teesid. - Tartu, lk. 63...66, 1990.
- Nugis, E., Lehtveer, R. Eesti muldade masindegreatsiooni ulatusest. - Mullakaitse probleemid Eestis. - Tallinn. Valgus, lk. 63...76, 1991.
- Paas, A. Muldade omaduste ja režiimide muutumine kuivendamisel ja ülesharimisel. - Agraarteadus II, nr. 3: lk. 231...248, 1991.

- Panov jt.: Панов Н. П., Байбеков Р. Ф., Амочева З. В. Изменение плотности дерново-подзолистых почв при длительном применении удобрений. - Мат. док. науч. конф. с-х. фак. Ун-та дружбы народов. - Москва, с. 14...15, 1990.
- Peschke, H. Zur Dynamik der Bodenstruktur eines Oderbruchstandortes unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses unterschiedlicher Stickstoffdüngung. - Diss., Berlin, 1968.
- Piirsalu, H. Statistika üldteooria III. - Tartu, Eesti Põllumajanduse Akadeemia rotaprint, 1982. - 116 lk.
- Pohjanheimo, O., Heinonen, R. The effect of irrigation on root development, water use, nitrogen uptake and yield characteristic of several barley varieties. - Acta Agralia Fennica, vol. 95, 1960 - 20 pp.
- Reintam: Рейнтам Л. Характеристика некоторых почв на красно-бурой морене и вопросы разграничения дерново-подзолистого, псевдо-подзолистого и буроземного типов. - Сб. науч. трудов ЭСХА № 65, с. 193...231, 1970.
- Revut jt.: Ревут И. Б., Соколовская Н. А., Васильев А. М. Структура и плотности почвы-основные параметры, кондиционирующие почвенные условия жизни растений. - Пути регулирования почвенных условий растений. - Ленинград, Гидрометеоздат, с. 51...126, 1971.
- Rex, M. Der Einfluß der Durchwurzelbarkeit des Bodens auf den Ertrag und den Nährstoffentzug von Getreide. - Dissertation, Gießener Bodenkundliche Abhandlungen, Bd. 1, S. 232, 1984.
- Rex, M., Harrach, T., Nemeth, K. The influence of rooting density in the soil on Pre-removal by cereals on soils with different yield potential. - Plant and Soil, vol. 83, p. 127...132, 1985.
- Richter, D. D., Barbar, L. I., Huston, M. A., Jaeger, M. Effects of annual tillage on organic carbon in a fine textured Udalf: The importance of root dynamics to soil carbon storage. - Soil Science, vol. 149, p. 78...83, 1990.
- Rooma, I. Eesti NSV mullastik arvudes VI. - Eesti NSV Riiklik Agrotööstuskomitee. RPI Eesti Põllumajandusprojekt. - Tallinn, Eesti NSV Riikliku Agrotööstuskomitee Info- ja juurutusvalitsus, lk. 35...52, 1987.
- Roostalu: Роосталу Х. Водно-воздушный режимы почв буроземного и псевдоподзолистого типов Эстонской ССР. - Канд. дисс. Tartu, 1973. - 261 с.
- Roskošanski: Роскошанский А. Д. Уточнение метода определения количества корневых остатков в почве с помощью введения контрольных площадок. - Почвоведение, № 6, с. 55...59, 1976.
- Russel, R. S. Plant root systems. - Mc Graw-Hill Book Co. Maidenhead Breakshire, 1977.
- Saranin jt.: Саранин К. И., Шептухов В. Н., Квашнинин-Самарин И.С., Ковалев А. И. Изменение физических свойств дерново-подзолистой почвы под воздействием ходовых систем МТА и приемы разуплотнения. - Плодородие почв и ее изменение при уплотнении и разуплотнении. - Тр. Почв. ин-та им. В. В. Докучева, М., с. 34...41, 1984.
- Sienkewics, J., Jablonski, W., Wlodek, S. Działanie waloania na niektóre fizyczne właściwości gleby lekkiej i plonowanie ryty. - Zesz. probl. post. nauk. rol. № 356, с. 215...222, 1988.
- Stankov: Станков Н. З. Корневая система полевых культур. - Москва, с. 116...119, 1964.
- Steen, E., Andren, O., Al Windi, I. Reduced growth of potato roots caused by Metribuzin. - Swedish J. Agric. Research, vol. 17, p. 1...46, 1987.
- Steen, E., Wünsche, U. Root growth dynamics of barley and wheat in field trials after CCC application. - Swedish J. Agric. Research, vol. 20, p. 57...62, 1990.
- Streltšenko jt.: Стрельченко В. П., Кожушко Н. П., Хризман С. Л. Влияние органических остатков на плотность легких дерново-подзолистых почв. - Почвоведение, № 9, с. 52...57, 1989.
- Syer, J. K., Springfelt, J. A. Earthworms and soil fertility. - Plant and Soil, vol. 76, p. 93...104, 1984.
- Šeptuhov: Шептухов В. Н. Влияние уплотняющего действия сельскохозяйственных машин на изменению физических, физико-механических свойств и плодородие

- дерново-подзолистых и пойменных почв (на примере Московской обл.).  
Афтореф. канд. дисс. М., 1979. - 28 с.
- Teras, T. Eesti mullastik arvudes VI. ENSV põllumuldade lasuvustihedusest. - RPI Eesti Põllumajandusprojekt. Tallinn, Eesti NSV Riikliku Agrotööstuskomitee Info- ja Juurutusvalitsus, lk. 17...28, 1987.
- Unger, P. Overwinter changes in physical properties of tillage soil. - Soil Sci. Soc. Amer. J., vol. 3, p. 778...782, 1991.
- Vipper, H. Eesti NSV muldade lasuvustiheduse dünaamikast ja mehhaanilise surve taluvusest. - Mulla vesi ja füüsikaline seisund intensiivse põllumajandustootmise tingimustes. - Tartu, lk. 64...68, 1988.
- Vipper, H., Lauringson, E. Erinevate agrokomplekside mõjust mulla omadustele. - Maaviljelus I. - Tallinn, Eesti NSV Riikliku Agrotööstuskomitee Info- ja Juurutusvalitsus, lk. 3...14, 1987.
- Voorhes, W.B. Some effects of soil compaction on root growth, nutrient uptake and yield. - 15th North Cent. Ext. Ind. Workshop Bull. 279, Bridgeton, MO. Oct. 31. Potash and Phosphate Inst., Manhattan, Ks, p.58...65, 1985.
- Voroney, R.P., Paul, E.A., Anderson, D.W. Decomposition of wheat straw and stabilization of microbial products. - Can. Soil Sci. vol. 69, p. 63...77, 1989.
- Vos, J., Groenwold, J. Root growth of potato crops on marine-clay soils. - Plant and soil. vol. 94, p. 17...33, 1986.

## THE BULK DENSITY OF PODZOLUVISOLS UNDER DIFFERENT CROPS

A. Kanal, H. Vipper

### Summary

Since 1982, bulk density (BD) under different crops and soil tillage systems was investigated in the Departments of Soil Science and Soil Management. BD was determined by the method of Litvinov with a cylinder of 50 cm<sup>3</sup>, in 4...6 repetitions. Soil samples were taken from different depths of humus layer (0...10 cm, 10...20 cm and 20...30 cm).

The characteristics of humus horizon of the soil of the experimental fields (Podzoluvisol) according to different authors are presented in Table 1. The bulk density of the soils in earlier studies are given in Table 2.

Mathematical analyses of the experimental data show that the variability of soil BD is quite high to due to different moisture content in different years. Proceeding from the results of regression analyses, BD in the plough layer can be calculated according to the equations given in the figures.

Summing up, it must be pointed out that, the BD in the fields balances between 1.48 and 1.54 g cm<sup>-3</sup>. The changes in bulk density in different depths of the plough layer have different character.

On the rye fields the BD of 1...10 cm layer stays on the spring level since the middle dough stage. The lower part of the plough layer has continuous tendency to compaction.

In case of barley the upper part of the plough layer has trend to compaction, but deeper part on the contrary, to loosening since anthesis (July III). Afterwards, the BD stabilized and after the harvesting increased.

On the potato field the BD at lower depths was relatively high and even showed a light tendency to increase during the intertillage period. Only after the last tillage, loosening occurred since harvest.

## ОБ ИЗМЕНЕНИИ ПЛОТНОСТИ СЛОЖЕНИЯ В ГУМУСОМ ГОРИЗОНТЕ ПСЕВДОПОДСОЛИСТОЙ ПОЛЕВОЙ ПОЧВЫ В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА

А. Канал, Х. Виппер

### Резюме

Для изучения закономерности изменения плотности сложения пахотного слоя (ПСПС) псевдоподзолистых почв под однолетние культуры использовали многолетние данные кафедр почвоведения и земледелия ЭСХА (теперь ЭСХУ). Выявлено, что в разных глубинах пахотного слоя (0...10, 10...20, 20...30 см) кривые плотности изменяются по разному в течение весенне-летней вегетации. Изменение ПСПС лучше характеризуется по квадратному уравнению, где независимой величиной является ПСПС. Найденные квадратные уравнения приведены вместе с рисунками.

Подтвердилось, что псевдоподзолистые почвы, которые характерны для Южной-Эстонии, имеют сравнительно высокую равновесную ПСПС и быстро подвергаются уплотнению. Высокая гетерогенность ПСПС объясняется различающимся в разные годы водным режимом и неоднородностью пахотного горизонта почвы. Под озимой рожью ПСПС характеризуется однородностью в весне, постепенное уплотнение происходит в глубине ниже 10 см. Верхний слой держится до восковой спелости ржа однородным на весеннем уровне и после этого начинает уплотняться. Верхний слой почвы ячменного поля (0...10 см) уплотняется, а глубже залегающие слои разрыхляются до цветения и это соотношение держится до уборки. На картофельном поле ПСПС нижних слоев держится или слегка повышается до последней вспашки, после этого начинается заметное разрыхление. Поверхностный слой уплотняется равномерно и в конце августа перед уборкой ПСПС картофельной борозды становится более однородным по сравнению с начальным состоянием.

ПСПС как комплексный фактор является одним из важных показателей плодородия почвы, состояние которого зависит от состояния развития культуры и агроэкологической ситуации на поле. Опасность того, что ПСПС начинает непосредственно органичивать биопродуктивность почвы, небольшая, так как такое уплотнение почвы имеет локальный характер и она встречается только в экстремальных условиях.