

MUUTUSED ODRA TOITAINETE TARBIMISES SÕLTUVALT LIIGTIHENDATUD MULLA AGROÖKOLOOGILISEST SEISUNDIST

E. Reintam, J. Kuht

ABSTRACT. *Changes in barley (*Hordeum vulgare* L.) nutrients uptake depending on agroecological conditions of overcompacted soil.* Soil compaction is one of most harmful soil degradation phenomena. The main objective of this work was to investigate the effect of different machinery use and overriding times on soil properties and barley (*Hordeum vulgare* L.) and weeds nutrient uptake. Data were collected from Estonian Agricultural University research field (58°23'N, 26°44'E) with different levels of soil compaction (4 levels) on sandy loam soil in 1997, 1998, 2001 and 2002. The results of two different field experiment showed that the most important factors at moment of soil compaction were inflation pressure caused by machinery, times of passage and soil moisture. Compaction with 4.9 Mg tractor did not cause any significant increase of soil bulk density in the first year at soil moisture 11% in either variants and in most soil layers. The second year overriding 1-, 3- and 6-times by 4.9 Mg tractor at 20% soil moisture increased the soil bulk density from 1.49 Mg m⁻³ in control variant to 1.64 Mg m⁻³ in most compacted variants. At the same time the compaction with 17.4 Mg tractor caused drastic changes in soil bulk density and penetration resistance in all soil layers already with two times compaction in first year. The total porosity of soil decreased more than 70% compared with uncompacted area. The nutrient uptake by plants was almost the same with given fertilizers (N80, P40, K40) by normal soil bulk density. In dense soil the uptake of nutrients was reduced up to 70%. Soil compaction decreased competitiveness of barley and increased share of weeds from 20% up to 53%. More than half from accumulated nutrients on dense soil was in weeds. The reducing of nutrient yield was connected not only with lower shoot yield but also with decreased nutrient content in dry matter. Final effect of soil compaction on plant productivity depends from soil moisture at compaction time and from weather conditions during vegetation period.

Keywords: heavy machinery, compaction, nutrients, barley (*Hordeum vulgare* L.) weeds.

Sissejuhatus

Inimene on aegade jooksul muutnud loodust vastavalt oma vajadustele, luues looduslike asemele kultuur-ökosüsteeme eesmärgiga saada taimedelt võimalikult suuremaid saake. Kuid tootja peaks oma tegevuses nägema mitte üksnes maksimaalset saaki, vaid kindlasti teadma seda, milliseid tagajärgi põhjustab tema poolt kasutatud tehnoloogia mullale ning põllu- ja seda ümbritsevale kooslusele tervikuna. Raske põllumajandustehnikaga sagedaste ülesõitude tulemiks põllul on tallatud muld, lõppastmes aga surnuks tallatud muld. Mulla tihendamine mõjutab kõiki mulla omadusi ja funktsioone, mis halvenevad nii huumushorisondis kui ka sellest sügavamal (Håkansson *et al.*, 1989; Smith, Dickson, 1990; Wood *et al.*, 1991; Nugis, Lehtveer, 1991; Arvidsson, 1997; Gysi *et al.*, 2000). Mullaomaduste halvenemine mõjutab esmajoonel taimkatte juuresüsteemi väljakujunemist (Raghavan *et al.*, 1979; Unger, Kaspar, 1994), kuna põhiprobleem tihendatud märjas mullas on vähene õhustatus (Eriksson, 1985; O'Sullivan, Ball, 1993). Tänu pärsitud juurekavale ei ole kultuurtaimed võimelised tihendatud mullast piisavalt toitaineid omastama. Tulemuseks on saagikadu (Lipiec, Simota, 1994; Arvidsson, 1999; Aura, 1999) ja looduse reostamine väetistega antud vabade toiteelementidega (Bakken *et al.*, 1987; Stepniewski *et al.*, 1994; Lipiec, Stepniewski, 1995). Mulla tihendamisega väheneb ka kultuurtaimede konkurentsivõime umbrohtudega (Kuht *et al.*, 1999; Reintam, Kuht, 2002). Paljudel umbrohtudel on väiksem toitainete vajadus kui kultuurtaimedel (Di Tomaso, 1995), kuid suurem toitainete sisaldus taimedes (Shahi, 1978; Quasem, Khattari, 1993; Quasem, Hill, 1993; Parylak, 1996; Kuht, Reintam, 2001). Osa umbrohuliikidest on ka mulla tallamise suhtes palju tolerantsemad kui kultuurtaimed.

Töö eesmärgiks oli uurida mulla tallamise otsemõju mulla omadustele ja odra (*Hordeum vulgare* L.) ning umbrohtude toitainete tarbimisele.

Märksõnad: raske põllumajandustehnika, mulla tallamine, toitained, oder (*Hordeum vulgare* L.), umbrohud.

Materjal ja meetodika

Andmed koguti Eesti Põllumajandusülikooli katsealalt Eerikal kahkjalt liivsavimullalt 1997., 1998., 2001. ja 2002. aastal.

Põldkatsed

1997. ja 1998. 1997. aasta kevadel tihendati muld enne külvi traktoriga K-700 (kogukaal 17,4 Mg) jälg jälje kõrval põllust 2-, 4- ja 6-kordse ülesõitmise teel. Sellega tekitati mullale surve 6,5–10,0 kN m⁻².

1998. aastal kasutati mulla tihendamiseks traktorit MTZ-52, millega sõideti põllust üle 1, 2 ja 3 korda samadel variantidel, kus 1997. aastal tihendati vastavalt 2, 4 ja 6 korda. Põllul kujunes neli katsevarianti, millest üks oli ilma spetsiaalse tihendamiseta ehk kontroll. Katse väetusfoon oli 1997. aastal N80, P40, K40. Väetisena kasutati kompleksväetist KEMIRA NPK 18:9:9, mida külvati pneumoväetiskülvikuga 445 kg hektarile. 1998. aastal katseala ei väetatud. Põld valmistati külviks ette kevadel kultivaatori ja libisti (1998. a) abil. Oder 'Teele' külvati reaskülvikuga normiga 450 idanevat seemet m²-le ja koristati augusti lõpus kombainiga Sampo. Pärast teraviljakoristust 1997. ja 1998. aastal põld künti.

2001. ja 2002. aasta kevadel tihendati muld enne külvi frontaalkopaga varustatud traktoriga (kogukaal 4,9 Mg) jälg jälje kõrval põllust 1-, 3- ja 6-kordse ülesõitmisel teel 150 kPa rehvirõhu juures. Enne külvi põld kultiveeriti. Oder 'Elo' külvati normiga 450 idanevat seemet m²-le. Kummalgi katseaastal herbitsiide ja väetisi ei kasutatud. Pärast teraviljakoristust kombainiga Sampo põld künti.

Mullastik. Katsealade mullaks määrati pruun kahkjass liivsavimuld (*Fragi-Stagnic Luvisol WRB* järgi), kus diagnostilistest horisontidest leidsid huumushorisont (A), amorfse raua sisseuhtehorisont (Baf), näivleetunud horisont (Egl) ja sisseuhtehorisont (B2). Katsealade mulla füüsikalised ja agrokeemilised omadused on toodud tabelis 1.

Proovide võtmine. Proovid taimede fütotsünoosi koosseisu, arvukuse ja massi määramiseks võeti odra loomisfaasis kõikidelt katsevariantidelt neljas korduses 0,25 m² suuruselt lapilt. Proovist loendati erinevad liigid, need mõõdeti ja kaaluti. Spetsiaalsed taimeproovid võeti toitainete määramiseks. Mulla lasuvustihedus mõõdeti silindrite meetodil 50 cm³ silindritega 4 kihist: 0–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm ja 30–40 cm. Mulla kõvadus mõõdeti koonilise otsaga Alexi penetromeetriga iga 5 cm-ses kihis kuni 45 cm-ni.

Ilmastik. Ilmastikuolud katseaastatel odra kasvuperioodil (maist augustini) olid küllaltki erinevad. 1997. (123 mm sademeid, keskm õhutemp 15,7 °C) ja 2002. (163 mm sademeid, keskm õhutemp 17,4 °C) aastal oli soe ja kuiv ning 1998. (245 mm sademeid, keskm õhutemp 14,6 °C) ja 2001. (373 mm sademeid, keskm õhutemp 15,8 °C) aastal jahedam ning vihmane.

Laboratoorsed tööd

Taimse materjali keskmised proovid kuivatati õhukuivaks, seejärel määrati kuivaine termostaadis 105 °C juures. Jahvatatud materjal märgtuhastati kontsentreeritud väävelhappega. Saadud väävelhappelisest lahusest määrati lämmastik, fosfor, kaalium. Üldlämmastik määrati Kjeldahli järgi märgtuhastatud taimeproovides oleva ammoniumlämmastiku kontsentreeritud naatriumhüdrosiidiga väljatõrjumisel ja kinnipüüdmisel boorhappes. Fosfor määrati kolorimeetriselt kollase fosfor-molübdiaat ühendi põhjal. Kaalium määrati pärast väävelhappelise lahuse lahendamist destilleeritud veega (1:4) leekfotomeetriselt.

Andmete variatsioon-statistiline analüüs

Kogutud katseandmed töödeldi dispersioonanalüüsil ja leiti piirdiferentsid variantidevahelise usutavuse hindamiseks (tabel 1).

Tabel 1. Katsealade mullastiku füüsikalised ja agrokeemilised omadused

Table 1. Soil physical and agrochemical properties of experiment fields

Näitaja Item	1997/1998		2001/2002	
	huumushorisont humus layer	alusmuld subsoil	huumushorisont humus layer	alusmuld subsoil
Tüsedus/Thickness, cm	27±2	52±5	32±3	50±2
Huumus/Humus, %	2,6±0,3	–	2,6±0,2	–
C, %	1,5±0,1	–	1,4±0,1	–
N, %	0,14±0,01	–	0,11±0,01	–
C:N	10,70	–	12,42	–
K, mg kg ⁻¹	140±10	53±2	164±44	89±15
P, mg kg ⁻¹	126±21	76±35	183±19	20±13
Ca, mg kg ⁻¹	1450±152	764±289	674±56	644±59
Mg, mg kg ⁻¹	81±7	84±32	101±19	181±33
Ca:Mg	18	9	67	36
pH _{KCl}	5,2±0,2	4,9±0,4	6,2±0,2	5,9±0,2
Lii/Sand, ø 2,0–0,02 mm, %	49,2±3,2	46,6±9,7	67,9±0,8	63,3±6,6
Tolm/Silt, ø 0,02–0,002 mm, %	42,8±1,8	36,2±0,4	22,9±0,8	16,4±3,2
Savi/Clay, ø < 0,002 mm, %	8,0±0,4	17,2±0,5	9,2±0,5	20,3±0,9

Tulemuste järel on toodud ± standardhälve / After value is indicated ± standard deviation

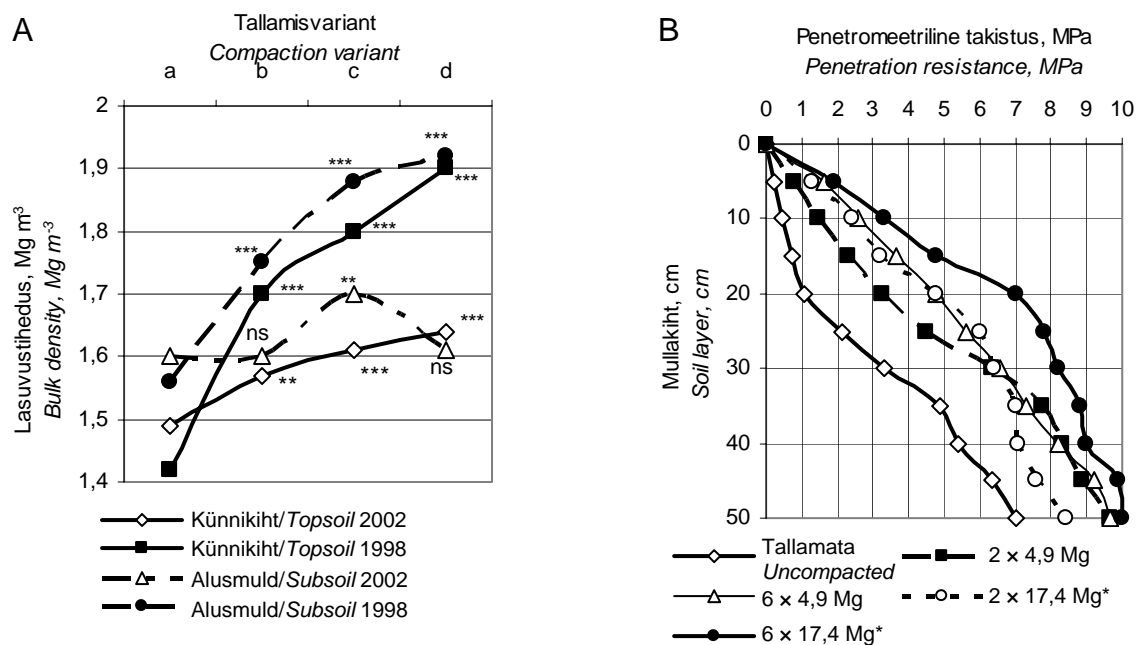
Uurimistöö tulemused

Tihendamise mõju mulla omadustele

Kahe erineva põldkatse tulemused näitasid, et tähtsaimad faktorid mulla tallamise momendil olid traktori kaal, ülesõitide arv ja mulla niiskus. Mulla tallamine 4,9 Mg traktoriga esimesel aastal ei põhjustanud usutavaid erinevusi enamikus uuritud mullakihtides. Mulla tallamise momendil oli muld suhteliselt kuiv (11%) ja järgnev vegetatsiooniperiood oli vihmane. Usutav mõju (PD_{95} järgi) oli ainult 10–20 cm-ses mullakihis. Teisel aastal 4,9 Mg traktoriga põllust 1-, 3- ja 6-kordse ülesõiduga 20%-lise mullaniiskuse juures tõusis mulla lasuvustihedus 1,49 $Mg\ m^{-3}$ -lt kontrollvariandil 1,64 $Mg\ m^{-3}$ kuuekordsel põllust ülesõidul (joonis 1 A). Mulla kõvadus tõusis rohkem kui 3 MPa juba 20 cm-ses kihis (joonis 1 B). Muutused künnikihi lasuvustiheduses ja ka kõvaduses olid usutavad kõikides variantides ja ka tallamisvariantide endi vahel. Mulla tallamine 4,9 Mg traktoriga ei põhjustanud aga usutavaid muutusi künnikihi aluse kihis (30–40 cm) lasuvustiheduses (joonis 1 A).

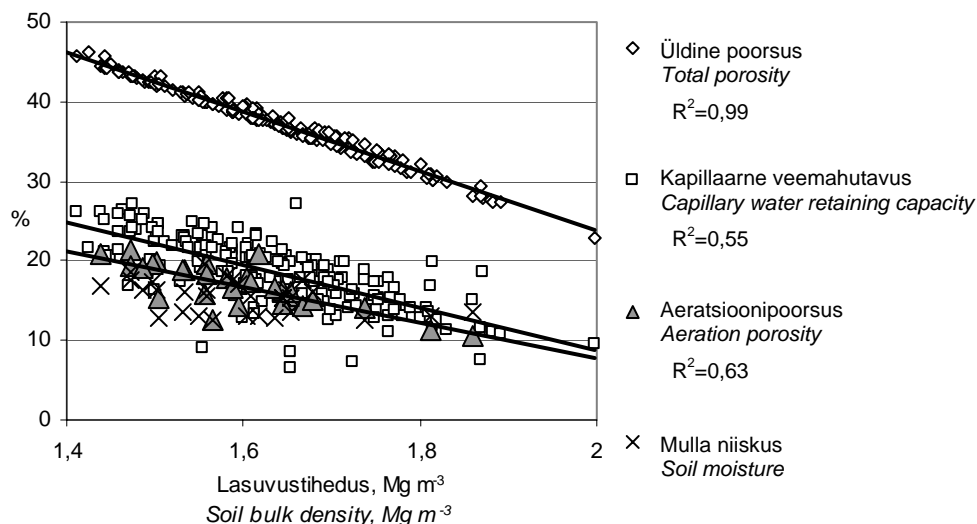
Küll olid aga usutavad erinevused mulla kõvaduses võrreldes tallamata alaga, kuid mitte variantide endi vahel (joonis 1 B). Samal ajal põhjustas juba kahekordne põllust ülesõit 17,4 Mg traktoriga järsu mulla lasuvustiheduse ja kõvaduse suurenemise kõikides mullakihtides (joonis 1 A ja B). Muutused olid ka statistiliselt usutavad kõikide tallamisvariantide vahel. Kui 4,9 Mg-ne traktor põhjustas muutusi eeskätt kuni 30 cm-ses mullakihis, siis 17,4 Mg-ne traktor avaldas mõju ka künnikihi alusele kihile.

Tihendamisega mõjutatakse ka teisi mulla omadusi peale lasuvustiheduse ja kõvaduse. Lasuvustihedusest sõltuvad kõik mulla poorsuse liigid. Meie katsetes vähenes üldine poorsus tihendatud alal kuni 70% võrreldes tihendamata alaga (joonis 2). Mulla aeratsioonipoorsus sõltub lisaks lasuvustihedusele ka mulla veesisaldusest. Nii ei olnud seost mulla lasuvustiheduse ja aeratsioonipoorsuse vahel 5–15% mullaniiskuse juures. Tugev seos ($r=0,79$) oli muldades, milles oli üle 15% niiskust (joonis 2). Kapillaarse veemahutavuse ja lasuvustiheduse vaheline seos oli tugev iga mõõdetud mullaniiskuse juures ($r=0,74$).



Joonis 1. Erinevate masinatega kahe aasta tallamise otsemõju mulla lasuvustihedusele (A) künnikihis (0–30 cm) ja sellele järgnevas kihis (alusmullas, 30–40 cm) ning mulla kõvadusele (B) erinevates mullakihtides (20% mullaniiskuse juures). Joonisel A: *** – usutav 99,9%, ** – usutav 99,0%, * – usutav 95% ja ns – erinevused ei ole usutavad; a – kontroll; b – tallatud 2 x 1997. a 17,4 Mg ja 1998. a 1 x 3,4 Mg, 2001. ja 2002. a 1 x 4,9 Mg traktoriga; c – tallatud 4 x 1997. a 17,4 Mg ja 1998. a 2 x 3,4 Mg, 2001. ja 2002. a 3 x 4,9 Mg traktoriga; d – tallatud 6 x 1997. a 17,4 Mg ja 1998. a 3 x 3,4 Mg, 2001. ja 2002. a 6 x 4,9 Mg traktoriga. Joonisel B: * – 1997. aasta andmed

Figure 1. Effect of two years direct soil compaction with different machinery on soil bulk density (A) in topsoil (0–30 cm layer) and subsoil (30–40 cm layer) and on penetration resistance (B) in different soil layers (at 20% soil moisture). Figure A: *** = $P < 0.001$, ** = $P < 0.01$, * = $P < 0.05$ and ns = not significant; a – uncompacted; b – compacted in 1997. 2 x by 17.4 Mg and in 1998. 1 x by 3.4 Mg, in 2001. and 2002. 1 x by 4.9 Mg tractor; c – compacted in 1997 4 x by 17.4 Mg and 1998. 2 x by 3.4 Mg, in 2001. and 2002. 3 x by 4.9 Mg tractor; d – compacted in 1997. 6 x by 17.4 Mg and in 1998. by 3.4 Mg, in 2001. and 2002. 6 x by 4.9 Mg tractor. Figure B: * – 1997. year datas

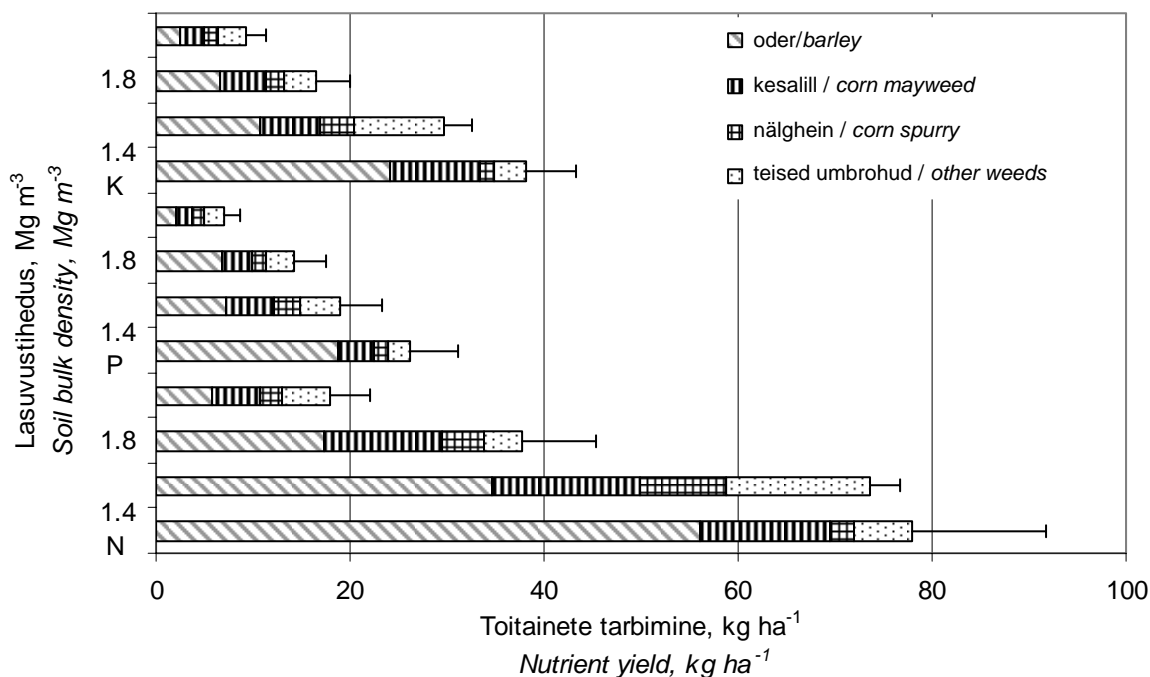


Joonis 2. Seos mulla lasuvustiheduse üldise poorsuse, kapillaarse veemahutavuse ja aeratsioonipoorsuse vahel (2001. ja 2002. aasta andmetel)

Figure 2. Correlation of soil bulk density with total porosity, capillary retaining capacity and aeration porosity (datas of 2001 and 2002)

Tihendamise mõju taimede toitainete omastamisele ja umbrohtudele

Tänu mulla kõvaduse suurenemisele, pärsitud juuresüsteemile ning anaeroobsetele tingimustele suurenes toitainete kadu mullast seoses taimede võimetusega neid piisavalt siduda. Normaalse tihedusega (1,4 Mg m⁻³) mullal oli taimedes (oder koos umbrohtudega) akumulereeritud toitainete kogus võrdeline väetistega mulda viidud toitainete kogusega (joonis 3). Väetistega anti lämmastikku 80, fosforit 40 ja kaaliumi 40 kg ha⁻¹, taimedes akumulereeriti lämmastikku 77,9, fosforit 26,2 ja kaaliumi 38,1 kg ha⁻¹.



Joonis 3. Odra (*Hordeum vulgare* L.), kesalille (*Matricaria inodora* L.), nälgheina (*Spergula arvensis* L.) ja teiste umbrohtude toitainete saak (kg ha⁻¹) kuivmassis sõltuvalt mulla lasuvustihedusest kuival aastal (123 mm sademeid maist augustini); standardhälve (n = 4) on antud kogusaagi kohta

Figure 3. Nutrient yield (kg ha⁻¹ in dry weight) of barley (*Hordeum vulgare* L.), corn mayweed (*Matricaria inodora* L.), corn spurry (*Spergula arvensis* L.), and other weeds shoots depending on soil bulk density in dry year (123 mm of rain from May to August); SDEV (n = 4) is given for total nutrient yield

Tihedas mullas oli toitainete omastamine kuni 70% väiksem. Mulla tihendamine vähendas ka odra konkurentsivõimet ja suurendas umbrohtude osa fütotsünoosis 20%-lt kontrollalal kuni 53%-ni kuuekordse tallamise foonil. Rohkem kui pool omastatud toitainetest oli tallatud alal umbrohtudes (joonis 3). Erinevused toitainete (N, P, K) saagis sõltuvalt taime liigist ja mulla lasuvustihedusest olid usutavad ka statistiliselt. Toitainete saaki seoses mulla tiheduse suurenemisega vähendasid nii väiksem kuivmass kui ka toitainete sisaldus kuivaines. Umbrohtudest oli kõige toitainerikkam harilik nälghein (*Spergula arvensis* L.). Ka suurenes tallatud aladel fütotsünoosis tallamist taluvate umbrohtude, nagu näiteks suur teeleht (*Plantago major* L.) ja harilik kesalill (*Matricaria inodora* L.), osakaal. Domineerivateks umbrohuliikideks 16 liigist olid harilik kesalill ja harilik nälghein.

Arutelu

Tihendamise mõju mulla omadustele

Raskete traktoritega põllust ülesõitmisega kahjulik mõju mulla omadustele ja taimedele sõltub mulla niiskusest ja ilmastikutingimustest tallamise hetkel ning järgneval vegetatsiooniperioodil. Kuiv muld on tallamise suhtes vastupidavam kui märg. Ka sõltub tallamise negatiivne mõju konkreetse mulla omadustest. Mida suurem on mulla savisisaldus ja niiskus, seda rohkem avaldab raske tehnika mõju mullale ja taimedele (Arvidsson, 1997). Kuiv suvi pärast vihmast harimisperioodi teeb olukorra veelgi hullemaks, sest märjalt tihendatud muld kuivab ning avaldab tugevat vastupanu taimede juurtele. Sama on täheldanud ka Alakukku (1997). Künnikihi aluse mulla tihenemine võib aga saaki vähendada ka vihmase aastal (Alakukku, 1997), arvatavasti tänu vähesele õhustatusele ja gaaside liikumisele (Simojoki *et al.*, 1991). Katsetes Eerikal ei olnud 4,9 Mg traktoriga põllust ülesõidul olulist mõju mullaomadustele ja taimedele, kui mulla niiskus tallamise ajal oli alla 11% ning järgnes vihmane kasvuperiood. Märg muld ei ole nii kõva ja taimede juured said vabamalt mulda tungida. Kui aga mulla niiskus oli tallamise ajal üle 15% ning järgnes põuane suvi, oli tallamise mõju suur.

Tallamise käigus lõhutakse mullaagregaadid, mis viib suurte pooride vähenemiseni ja tänu sellele ka lasuvustiheduse ja mulla kõvaduse suurenemiseni (Eriksson, 1985; Gysi *et al.*, 2000). Kuht *et al.* (1999) leidsid, et tihendamise tagajärjel vähenes agronoomiliselt efektiivsete (0,25–7 mm) mullaagregaatide hulk olenevalt katsevariandist 11,5–14,4%. Tihendamine suurendab ka sidemeid mullaosakeste vahel, surudes neid üksteisele üha lähemale, kuni moodustuvad uued mullaagregaadid (Guerif, 1994). Suuremad poorid surutakse väiksemaks, kuid väiksemad poorid ei ole tallamise suhtes nii tundlikud (Eriksson, 1985). Nii võib muld taluda paremini edaspidist tallamist. Mulla õhustatust näitab kõige paremini õhuga täidetud pooride hulk mullas ehk aeratsioonipoorsus. Stepniewski *et al.* (1994) järgi tähendab üle 25%-line aeratsioonipoorsus mulla head õhustatust, 10–25% võib osutada teatud tingimustes limiteerivaks faktoriks ning alla 10% näitab õhupuudust mullas. Mulla tihendamine mõjutab ka keemilisi ja bioloogilisi protsesse mullas (Bouwman, Arts, 2000; Buck *et al.*, 2000).

Mulla tihendamine ei mõjuta oluliselt tugevalt seotud vee hulka mullas, kuid vähendab oluliselt nõrgalt seotud vee hulka (Håkansson *et al.*, 1989) ja seega ka taimedele kättesaadava vee hulka. Mulla tihendamisel kapillaarne veemahutavus esialgu suureneb, kuid edasise tihendamise käigus hakkab vähenema (O'Sullivan, Ball, 1993; Kuht, Reintam, 2001). Katsetes Eerikal kerge liivsaviilõimisega mullal on suurim kapillaarne veemahutavus täheldatud lasuvustihedusel 1,4 Mg m⁻³ (Kuht, Reintam, 2001).

Tihendamine kergema kui 4 Mg traktoriga avaldab põhiliselt negatiivset mõju künnikihile (0–30 cm), kuid traktorid üle 10 Mg mõjutavad ka künnikihi alust mulda (Arvidsson, 1997; Alakukku, 1997). Looduslikud protsessid, nagu külmumine-sulamine, kuivamine-märgumine ja mullaelustik, aitavad kaasa mulla kobestamisele. Aura (1983) leidis, et külmumine ja külmumine likvideerisid 20 cm-se mullakihi tihese, mis oli põhjustatud 3 Mg traktorist, juba järgmiseks kevadeks. Kui aga künnikiht on korduvalt tihendatud, siis võib näiteks savimuldadel see protsess kesta 5 aastat (Håkansson, Danfors, 1981). Tavalised harimisvõtted ei likvideeri aga künnikihi aluse mulla tihedust. Sügavkobestamine on kallis ning annab harva piisava ja kestva tulemuse. Sügavkobestiga kobestatud muld tiheneb taas kahe aasta jooksul ning selle füüsikalised omadused võivad olla veelgi halvemad kui enne (Kooistra, Boersma, 1994). Blake *et al.* (1976) leidsid, et alusmulla tihenemine oli liivsavimullal märgatav veel 9 aastat pärast tallamist. Ka Soomes avaldas mulla tihendamine veel 9 aastat pärast tallamist mõju teraviljade saagile ja lämmastiku omastamisele (Alakukku, 1996; Alakukku, Elonen, 1996). Rootsisis saavutas tihendatud põld kontrollalaga sama saagitaseme 4–5 aastat pärast tallamist (Arvidsson, Håkansson, 1996).

Tihendamise mõju taimede toitainete omastamisele ja umbrohtudele

Taimede nigel kasv ja toitainete omastamine tihedamal mullal on seotud ebasoodsate tingimustega juurte arenguks. Tänu pooride läbimõõdu vähenemisele ja suurenenud mehaanilisele vastupanule on pärsitud juurte areng ja levimine mullas (Raghavan *et al.*, 1979; Unger, Kaspar, 1994). Enamik taimejuuri ei suuda tungida mulda, mille lasuvustihedus on üle 1,9 Mg m⁻³ (Konoplev, 1966). Nõrk ja väikese ulatusega juuresüsteem on mulla tallamise juures üks tähtsamaid aspekte, kuna sellel on otsene majanduslik mõju taimede saagile (Arvidsson, 1997).

Mulla tihendamine mõjutab nii kultuurtaimi kui ka umbrohtusid. Väheneb nii varte mass kui ka nende toitainetesisaldus. Mulla õhustatus mõjutab esmajoones mineraalse lämmastiku hulka mullas ning seda seoses lämmastiku mineralisatsiooniga ja denitrifikatsiooniga (Lipiec, Stepniewski, 1995). Denitrifikatsioon on anaeroobne protsess ja seeläbi suureneb tihendamise tingitud vähese õhustatuse juures (Bakken *et al.*, 1987; Stepniewski *et al.*, 1994), põhjustades lämmastiku kadu mullast. Vähene aeratsioon võib takistada juurte moodustumist, vähendada juurte veeimamisvõimet ning põhjustada morfoloogilisi ja hormonaalseid muudatusi taimedes (Salisbury, Ross, 1992) ning seeläbi vähendada vee ja toitainete omastamist. Eriti võib see mõjutada toitaineid, mis liiguvad taimedesse difusiooni teel nagu fosfor (Lipiec, Stepniewski, 1995). Mulla tihendamine tekitab taimedele stressi, mille tagajärjel tõuseb rakumahla pH (Roos *et al.*, 1998; Gruwel *et al.*, 2001; Loogus, 2001) ja väheneb toitainete omastamine (Kosegarten *et al.*, 2001).

Enamikul umbrohtudest on toitainetesisaldus kuivaines suurem kui odral. Ka katsetes kõrvitsa, põldoa, kapsa ning tomatiga on kindlaks tehtud paljude umbrohtude suurem toitainetesisaldus nii taime juurtes kui ka maapealsetes osades, mis varieerus liigiti. Sealjuures olenes umbrohtude toitainete omastamine ka kultuurist, millega koos nad kasvasid. Valge hanemalts (*Chenopodium album* L.) ja harilik ristirohi (*Senecio vulgaris* L.) olid tõsisemad konkurendid kõigi kultuuride puhul tähtsamate toiteelementide osas (Quasem, Khattari, 1993; Quasem, Hill, 1993). Paljude umbrohtude väiksem lämmastikuvajadus annab neile eelise konkurentsis teraviljadega (Di Tomaso, 1995). Idanevate umbrohuseemnete hulk oleneb nende tihedusest ja eluvõimest, kuid ka kohalikest mullaomadustest (Wilson *et al.*, 1985). Kesalill, domineeriv liik 1997. ja 1998. aasta katsealal, kasvab kõikvõimalikes mullatingimustes, kuid eelistab tihedamat ja raskema lõimisega mulda. Nälghein esineb sageli väheviljakatel muldadel, eriti kohtades põllul, kus kultuurtaimed kiratsevad ja nende kasv on hõre (Reintam, Kuht, 2002).

Järeldused

Raske põllumajandustehnika kasutamisest põhjustatud liigtihendamine halvendab mulla agroökoloogilist seisundit. Väheneb ka agrotehniliste võtete efektiivsus. Selle tulemusena on häiritud kultuurtaimede toitumine, vähenevad saagid ja suureneb põldude umbrohtumus. Et tallamise mõju mullale ja taimedele oleneb lisaks masina survele ka mulla niiskustingimustest ja kasvuperioodi ilmastikust, siis on oluline õige tehnoloogia valik, harimistööde ajastamine ja liigtihenemist vältivate abinõude rakendamine.

Tänuavaldused

Artikkel on valminud Eesti Teadusfondi grandi nr 5418 toetusel.

Kasutatud kirjandus

- Alakukku, L. 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. Long-term effect on the properties of fine-textured and organic soils. – *Soil Till. Res.*, 37, (4), p. 223–238.
- Alakukku, L. 1997. Long-term soil compaction due to high axle load traffic. – Academic Dissertation. Agricultural Research Centre of Finland, Institute of Crop and Soil Science, Helsinki, 55 pp.
- Alakukku, L., Elonen, P. 1996. Long-term effect of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops. – *Soil Till. Res.*, 36 (3–4), p. 141–152.
- Arvidsson, J. 1997. Soil compaction in agriculture – from soil stress to plant stress. – Doctoral thesis. Agraria 41, SLU, Uppsala.
- Arvidsson, J. 1999. Nutrient uptake and growth of barley as affected by soil compaction. – *Plant and Soil*, 208, p. 9–19.
- Arvidsson, J., Håkansson, I. 1996. Do effects of soil compaction persist after ploughing? Results from 21 long-term field experiments in Sweden. – *Soil Tillage Res.*, 39 (3–4), p. 175–197.
- Aura, E. 1983. Soil compaction by the tractor in spring and its effect on soil porosity. – *Journal of Scientific Agricultural Society of Finland*, 55, p. 91–107.
- Aura, E. 1999. Effects of shallow tillage on physical properties of clay soil and growth of spring cereals in dry and moist summer in southern Finland. – *Soil Tillage Res.*, 50, p. 169–176.
- Bakken, L. R., Børresen, T., Njøs, A. 1987. Effect of soil compaction by tractor traffic on soil structure, denitrification and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). – *J. Soil Sci.*, 38, p. 541–552.
- Blake, G. R., Nelson, W. W., Allmaras, R. R. 1976. Persistence of subsoil compaction in a Mollisol. – *Soil Science Society of America Journal*, 40, p. 943–948.
- Bouwman, L. A., Arts, W. B. M. 2000. Effect of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties. – *Applied Soil Ecology*, 14 (3), p. 213–222.
- Buck, C., Langmaack, M., Schrader, S. 2000. Influence of mulch and soil compaction on earthworm cast properties. – *Applied Soil Ecology*, 14 (3), p. 223–229.
- Di Tomaso, J. M. 1995. Approaches for improving crop competitiveness through the manipulation of fertilization strategies. – *Weed Sci.*, 43, p. 491–497.

- Eriksson, J. 1985. Markpackning och rotmiljö. (Soil compaction and root environment.) – Report 76, Division of Agricultural Hydrotechnics, Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. (In Swedish, with English summary.)
- Gruwel, M. L. H., Rauw, V. L., Loewen, M., Abrams, S. R. 2001. Effect of Sodium Chloride on plant cells; a ^{31}P and ^{23}Na NMR system to study salt tolerance. – *Plant Science*, 160, p. 785–794.
- Guerif, J. 1994. Effects of compaction on soil strength parameters. – *Soil Compaction in Crop Production*. Eds. B.D. Soane, C. van Ouwerkerk. Elsevier, Amsterdam.
- Gysi, M., Klubertanz, G., Vulliet, L. 2000. Compaction of an Eutric Cambisol under heavy wheel traffic in Switzerland – field data and modelling. – *Soil Tillage Res.*, 56, p. 117–129.
- Håkansson, I., Danfors, B. 1981. Effect of heavy traffic on soil conditions and crop growth. – *Proceedings of 7th International Conference: International Society for Terrain-vehicles System*, August 16–20, 1981, Calgary, Alberta, Canada, Proceedings 1, p. 239–253.
- Håkansson, I., Voorhees, W. B., Riley, H. 1989. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. – *Soil Tillage Res.*, 11, p. 239–282.
- Konoplev, V. P. 1966. Reaktsija kulturnyh rastenij na uplotnenie potchvy. – *Selskoje hozjajstvo za rubezhom*, № 2.
- Kooistra, M. J., Boersma, O. H. 1994. Subsoil compaction in Dutch marine sandy loams: loosening practices and effects. – *Soil Tillage Res.*, 29, p. 237–247.
- Kosegarten, H., Hoffmann, B., Mengel, K. 2001. The paramount influence of nitrate in increasing apoplastic pH of young sunflower leaves to induce Fe deficiency chlorosis, and the re-greening effect brought by acidic foilar sprays. – *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 164, p. 155–163.
- Kuht, J., Lopp, K., Nugis, E. 1999. Influence of soil compaction by hard tractor on the soil properties. – *Proceedings of international conference: Agroecological Optimization of Husbandry Technologies*, 8–10 July 1999 in Jelgava, Latvia, p. 20–27.
- Kuht, J., Reintam, E. 2001. The effect of deeprooted plant growth on the qualities of overcompacted soils. – *Sustaining the Global Farm*. Eds. D.E. Stott, R.H. Mohtar, G.C. Steinhardt. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting, May 24–29, 1999, West Lafayette, IN. CD-ROM. p. 632–636.
- Lipiec, J., Simota, C. 1994. Role of soil and climate factors in influencing crop responses to soil compaction in central and eastern Europe. – *Soil Compaction in Crop Production*. Eds. B.D. Soane, C. van Ouwerkerk, Elsevier, Amsterdam.
- Lipiec, J., Stepniewski, W. 1995. Effect of soil compaction and tillage system on uptake and losses of nutrients. – *Soil Tillage Res.*, 35, p. 37–52.
- Loogus, H. 2001. The change of cellular fluid pH of plant depending on soil bulk density. – *Proceedings of International Conference of BSB of ISTRO and Meeting of Working Group 3 of the INCO Copernicus Concerted Action on Subsoil Compaction on Modern Ways of Soil Tillage and Assessment of Soil Compaction and Seedbed Quality*, EAU, Tartu, p. 198–204.
- Nugis, E., Lehtveer, R. 1991. Eesti muldade masindegradatsiooni ulatused. – *Mullakaitseprobleeme Eestis*. ETA Looduskaitse Komisjon, Tallinn, 63–75.
- O’Sullivan, M. F., Ball, B. C. 1993. The shape of the water release characteristic as affected by tillage, compaction and soil type. – *Soil Tillage Res.*, 25, p. 339–349.
- Parylak, D. 1996. Competitive uptake of nutrients by spring barley and weeds. (Polish, summary in English) – *Agricultural Academy, Wrochlaw (Poland)*. Dept. of Soil and Plant Cultivation. *Fragmenta-Agronomica (Poland)*, 13 (4), p. 68–74.
- Quasem, R. J., Hill, T. A. 1993. Nutrient accumulation of tomato (*Lycopersicum esculentum*), fat-hen (*Chenopodium album*) and groundsel (*Senecio vulgaris*) in relation to root characteristics. – *Jordan Univ., Amman (Jordan), London Univ., London (United Kingdom)*. *Dirasat (Jordan)* 20B (3), p. 195–207.
- Quasem, R. J., Khattari, S. K. 1993. Competition on nutrients between weeds and their associated vegetable crops. – *Jordan Univ., Amman (Jordan)*. *Dirasat (Jordan)*, 20B (4), p. 18–32.
- Raghavan, G. S. V., Mc Kyes, E., Baxter, R., Gendron, G. 1979. Traffic soil-plant (maize) relations. – *Journal Terramechanic*, 16, p. 181–189.
- Reintam, E., Kuht, J. 2002. Impact of soil compaction and sowing density of barley on uptake of nutrients. – *Proceedings of International Scientific and Practical Conference: Scientific aspects of organic farming*. Latvia University of Agriculture, Faculty of Agriculture. March 21–22, 2002, Jelgava, Latvia, p. 167–171.
- Roos, W., Evers, S., Hieke, M., Tschöpe, M., Schumann, B. 1998. Shifts of intracellular pH distribution as a part of the signal mechanism leading to the elicitation of benzophenanthridine alkaloids. – *Plant Physiol.*, 118, p. 349–364.
- Salisbury, F. B., Ross, C. W. 1992. *Plant Physiology* (Fourth edition). Wadsworth Publishing Company, Belmont, California, U.S.A.
- Shahi, H. N. 1978. Competitive effect of *Chenopodium album* for soil moisture and nutrients in wheat. *International Pest Control*, 20 (4), p. 14–16.

- Simojoki, A., Jaakkola, A., Alakukku, L. 1991. Effect of compaction on soil air in a pot experiment and in the field. – *Soil Tillage Res.*, 19, p. 175–186.
- Smith, D. L. O., Dickson, J. W. 1990. Contribution of vehicle weight and ground pressure to soil compaction. – *J. Agric. Eng. Res.*, 46, p. 13–29.
- Stepniewski, W., Gliniski, J., Ball, B. C. 1994. Effect of soil compaction on soil aeration properties. – *Soil compaction in crop production*. Eds. B.D. Soane, C. van Ouwerkerk. Elsevier, Amsterdam.
- Unger, P. W., Kaspar, T. C. 1994. Soil compaction and root growth: a review. – *Agron. J.*, 86, p. 759–766.
- Wilson, R. G., Kerr, E. D., Nelson, L. A. 1985. Potential for using weed seed content in the soil to predict future weed problems. – *Weed Sci.*, 32, p. 33–71.
- Wood, R. K., Morgan, M. T., Holmes, R. G., Brodbeck, K. N., Carpenter, T. G., Reeder, R. C. 1991. Soil physical properties as affected by traffic: Single, dual, and flotation tyres. – *ASAE*, 36, p. 2363–2369.

Changes in barley (*Hordeum vulgare* L.) nutrients uptake depending on agroecological conditions of overcompacted soil

E. Reintam, J. Kuht

Summary

Soil compaction is one of most harmful soil degradation phenomena. Soil compaction, caused by heavy machinery during the tillage, affects all soil properties and processes in plough layer and even deeper. The main problem in compact dry soil is high mechanical resistance to root growth, while the major problem in compact wet soil is poor aeration. Because of reduced root system the cultural plants are not able to take up a sufficient amount of nutrients from compacted soil. The result of that is decreased yield and nature pollution with free nutrients given with fertilizers.

The main objective of this work was to investigate the effect of different machinery use and overriding times on soil properties and barley (*Hordeum vulgare* L.) and weeds nutrient uptake. Data were collected from Estonian Agricultural University research field (58°23'N, 26°44'E) with different levels of soil compaction (4 levels) on sandy loam soil in 1997, 1998, 2001 and 2002. Soil compaction was made before sowing time. In 1997 and 1998 the soil was compacted by heavy weight tractor (total weight 17.4 Mg) 2-, 4- and 6-times. In 2001 and 2002 the tractor with total weight 3.9 Mg were used for soil compaction 1-, 3- and 6-times. The method used was a multiple tyre-to-tyre passing. Tillage before the sowing with cultivator was made. Drilling of barley with 450 germinating seeds per m² was done. Space between two rows was 0.12 m. From mineral fertilizers complex fertilizer N80, P40 and K40 was used in 1997. No herbicides were used. The samples of soil and plants were taken from a plot of 0.25 square meters (n=4). The types of components were determined, counted, measured and weighed. Soil bulk density was measured with 50 cm³ cylinders in 10 cm layers up to 40 cm. At the same layers soil moisture, pH_{KCl}, carbon, nitrogen, phosphorus and potassium content were measured (results in table 1). Penetration resistance was measured with Alex penetrometer in every 5 cm layer up to 45 cm. For the chemical analysis of plants the Kjeldhal method was used to determine the content of total nitrogen. The content of phosphorus was determined colorimetrically on the basis of yellow phosphorus-molybdate. Potassium content was determined by flame photometer in dipping solution diluted with distilled water.

The results of two different field experiment showed that the most important factors at moment of soil compaction were inflation pressure caused by machinery, times of passage and soil moisture. Compaction with 4.9 Mg tractor did not cause any significant increase of soil bulk density in the first year at soil moisture 11% in either variants and in most soil layers. The second year overriding 1-, 3- and 6-times by 4.9 Mg tractor at 20% soil moisture increased the soil bulk density from 1.49 Mg m⁻³ in control variant to 1.64 Mg m⁻³ in most compacted variants (Figure 1 A). At the same time the compaction with 17.4 Mg tractor caused drastic changes in soil bulk density and penetration resistance in all soil layers already with two times compaction in first year (Figure 1 A). The penetration resistance increased more than 3 MPa in 20 cm layer. Differences between all variants were significant (P<0.05) in topsoil (Figure 1 B).

Soil compaction with 4.9 Mg tractor did not cause significant differences of soil bulk density in subsoil (30–40 cm). There was still significant effect on penetration resistance compared to uncompacted area, but not between compaction variants. At the same time the compaction with 17.4 Mg tractor caused drastic changes in soil bulk density and penetration resistance in all soil layers already with two times passage (Figure 1 A and B). In result of 6-times compaction with 17.4 Mg tractor increased the soil bulk density and penetration resistance up to 1.9 g cm⁻³ and 8 MPa, respectively in topsoil and up to 2.0 g cm⁻³ and 10 MPa, respectively in subsoil.

Soil compaction decreased the total porosity of soil more than 70% compared with uncompacted area (Figure 2). There was no direct correlation between soil bulk density and aeration porosity at 5–15% soil moisture. The correlation was high (R²=0.63) in soils with more than 15% moisture (Figure 2), where was more

free water. In earlier experiments we got the aeration porosity of soil less than 3.1%, even zero at 19% soil moisture at bulk density 1.8 g cm^{-3} . The correlation between soil bulk density and capillary water retaining capacity was high at any point of soil moisture ($R^2=0.55$).

The nutrient uptake by plants was almost the same with given fertilizers (N80, P40, K40) by normal soil bulk density. In dense soil the uptake of nutrients was reduced up to 70% (Figure 3). Soil compaction decreased competitiveness of barley and increased share of weeds from 20% up to 53%. More than half from accumulated nutrients on dense soil was in weeds. The reducing of nutrient yield was connected not only with lower shoot yield but also with decreased nutrient content in dry matter.

Final effect of soil compaction on plant productivity depends from soil moisture at compaction time and from weather conditions during vegetation period.