

Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Lauksaimniecības fakultāte

Latvia University of Agriculture
Faculty of Agriculture



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

GUNDEGA DINABURGA

**AUGSNES NEVIENDABĪGUMA UN RELJEFA
ATŠĶIRĪBU IETEKME UZ ZIEMAS KVIEŠU
(*Triticum aestivum* L.) RAŽU**

**SOIL HETEROGENEITY AND TOPOGRAPHY
EFFECT ON WINTER WHEAT
(*Triticum aestivum* L.) YIELD**

Promocijas darba **KOPSAVILKUMS**
Dr. agr. zinātniskā grāda iegūšanai

SUMMARY

of the Doctoral thesis for the scientific degree Dr. agr.

paraksts / signature

Jelgava 2011

Darba zinātniskais vadītājs / *Scientific supervisor:*

prof., Dr. agr. Dainis Lapiņš

Darba zinātniskais konsultants / *Scientific advisor:*

Dr. agr. Jānis Kopmanis

Darba recenzenti / *Reviewers:*

prof., Dr. agr. Aleksandrs Adamovičs

prof., Dr. habil. agr. Antons Ruža

Dr. agr. Līga Lepse

Disertācijas aizstāvēšana paredzēta Latvijas Lauksaimniecības universitātes Lauksaimniecības nozares Laukkopības apakšnozares promocijas padomes atklātā sēdē 2012. gada 13. aprīlī plkst. 10:00, LLU 123. auditorijā, Lielā ielā 2, Jelgavā.

The defence of thesis in open session of the Promotion Board of Agriculture will be held on April 13, 2012 at 10:00 AM in the room 123, Latvia University of Agriculture, Liela Street 2, Jelgava, Latvia.

Ar zinātnisko darbu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā, Jelgavā, Lielā ielā 2.

Atsauksmes sūtīt Lauksaimniecības zinātņu nozares Laukkopības apakšnozares promocijas padomes sekretārei Dr. agr. Maijai Ausmanei, Lielā ielā 2, Jelgava, LV-3001.

The thesis is available at the Fundamental Library of the Latvia University of Agriculture, Liela Street 2, Jelgava.

References are welcome to send: Dr. agr. Maija Ausmane, the Secretary of the Promotion Board, Latvia University of Agriculture, Liela Street 2, Jelgava, LV-3001, Jelgava.

SATURS / CONTENT

IEVADS.....	4
PĒTĪJUMA APSTĀKĻI UN METODIKA	6
PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN ANALĪZE	9
Reljefa ietekme uz augsnes agroķīmisko īpašību atšķirībām.....	9
Reljefa ietekme uz augsnes agrofizikālo īpašību atšķirībām	11
Ražu veidojošie elementi atšķirīga reljefa apstākļos	20
Tehniskās iespējas mazināt augsnes neviendabīguma ietekmi	23
SECINĀJUMI.....	27
ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA / APPROBATION OF THE SCIENTIFIC PAPER.....	29
INTRODUCTION	32
MATERIALS AND METHODS	34
RESULTS AND DISCUSSION	37
The effect of relief on differences of soil agrochemical properties ..	37
The effect of relief on differences of soil agro-physical properties ..	39
Yield forming elements under conditions of relief differences	44
Technical possibilities to decrease the effect of soil heterogeneity ..	47
CONCLUSIONS.....	49

IEVADS

Ģeogrāfiski Latvija atrodas graudaugu audzēšanai vidēji labvēlīgā zonā. Graudkopībai Latvijas teritorijā vienmēr bijusi un arī turpmāk saglabāsies prioritāra nozīme, ievērojot graudu produktu īpašo lomu kopējā pārtikas bilancē.

Kvieši pieder pie visvecākajiem kultūraugiem, plašāk audzētajām un vērtīgākajām labībām. Ziemas kvieši ir mērena klimata plastisks kultūraugs, kas piemērots audzēšanai dažādos apstākļos. Latvijā ziemas kviešu platības saskaņā ar oficiālajiem statistikas datiem 2009. un 2010. gadā bija 212.4 un 221.3 tūkstoši ha.

Latvijas augsnes pēc savām īpašībām ir ļoti nevienmērīgas, dažāda ir to auglība un ražotspēja. Bieži vienas saimniecības robežās ir platības ar atšķirīgu augsnes granulometrisko sastāvu, dažādu organisko un augu barības vielu saturu. Nereti jaunapgūtās platības apvienotas kopā ar iekoptām, līdz ar to augsnes īpašības dažādās lauka daļās ir atšķirīgas. Prasmīgi saimniekojot, šo augsnes nevienmērību var izlīdzināt un iegūt labas ražas visā lauka platībā.

Līdzšinējie pētījumu rezultāti citās Eiropas Savienības (ES) valstīs, t.sk. Latvijā liecina, ka ir uzkrāti zinātnisko pētījumu rezultāti par augsnes apstākļu (tilpummasas, aramkārtas sakārtas blīvuma, organisko vielu satura, granulometriskā sastāva, aramkārtas biezuma u.c.) ietekmi uz labību ražām, kā arī sniegts šo faktoru raksturojums saistībā ar augsnes apstrādes diferences iespēju teorētiskajiem aspektiem.

Latvijā ir arī dati par augsnes apstākļu ietekmi uz labību ražām ievērojot vienīgās atšķirības principus izlīdzināta lauka mezoreljeфа un iepriekš nosaukto rādītāju apstākļos, taču šie dati un to profesionālā interpretācija ir ar ierobežotām atkārtojamības iespējām ražošanas apstākļos un ar lielu visu iepriekš nosaukto faktoriālo pazīmju variēšanu. Salīdzinoši maz ir datu par augstuma virs jūras līmeņa, kā arī reljeфа formu kā faktora ietekmes vērtējumu uz labību attīstību, bez rekomendācijām par reljeфа formu radikālu pārveidošanu.

Tikai pēdējos gados, pateicoties agrofizikālo īpašību izpētes instrumentālā nodrošinājuma kvalitātes izmaiņām, ir veikti pētījumi par augsnes mitrumu, kā ražu atšķirību veidojošo faktoru ar pietiekošu atkārtojumu skaitu.

Latvijas Lauksaimniecības universitātes Augsnes un augu zinātņu institūta pēdējo gadu pētījumu rezultāti liecināja, ka lēmumu atbalsta sistēmas izstrāde faktoru kolinearitātes apstākļos nav vienkāršs process. Tika aprobežta ražošanas apstākļiem piemērotākā izpētes metodoloģija lietojot globālās pozicionēšanas (GPS) un lokālās

ģeogrāfiskās informācijas sistēmu (ĢIS), bet augsnes agrofizikālo īpašību pamatrādītāju grupā aramkārtas sakārtas blīvumu noteikšanu aizvieto ar operatīvāk iegūstamiem datiem par augsnes penetrometriskās pretestības atšķirībām un augsnes mitruma noteikšanai lietojot sensoru tehnoloģijas. Ražošanas apstākļos tas atvieglo apstrādes diferences lēmumu pieņemšanu un tai vairāk piemērotāko kritēriju izvēli.

Eiropas Savienības un arī Amerikas Savienoto Valstu firmu un universitāšu zinātniskās darbības rezultātā ir panākts programmatūras un sensoru tehnikas nodrošinājums ražu karšu ieguvei, lokālām ĢIS vajadzībām izveidotas programmas digitālo karšu, tajā skaitā tehnoloģiju diferences, veikšanai. Atsevišķu ES universitāšu darba rezultātā (Bonnas, Ķīles u.c.) ir izstrādāti moduļi tehnoloģiju diferences izpildei, izmantojot GPS. To mehāniska pārnese uz Latvijas apstākļiem nav profesionāli un zinātniski pamatojama vispirms atšķirīgo meteoroloģisko un arī augšņu apstākļu dēļ.

Darba hipotēze

Reljefa nevienmērīgums un augsnes īpašību variācijas būtiski ietekmē ražas veidošanos, taču to ietekmi var mazināt pielietojot precīzās laukkopības tehnoloģijas.

Pētījuma mērķis

Noskaidrot reljefa un augšņu īpašību radītā nevienmērīguma ietekmi uz ziemas kviešu ražu, ar mērķi diferencēt laukkopības tehnoloģijas, lietojot globālās pozicionēšanas (GPS) un ģeogrāfiskās informācijas sistēmas (ĢIS) elementus.

Darba uzdevumi:

1. noskaidrot reljefa ietekmi uz augsnes agroķīmiskajām un agrofizikālajām īpašībām, un šo variāciju radīto lauka nevienmērīgumu;
2. noskaidrot lauka nevienmērīguma ietekmi uz ziemas kviešu ražu;
3. novērtēt tehniskās iespējas pakāpeniski izlīdzināt lauka nevienmērīguma ietekmi.

Pētījuma novitāte:

1. skaidrota reljefa un mainīgu augsnes īpašību ietekme uz ziemas kviešu ražas veidošanos;
2. vērtētas iespējas mazināt augsnes un reljefa nevienmērīguma ietekmi, lietojot GPS un ĢIS piedāvātās iespējas;

3. novērtēta parciālo korelāciju aprēķinu pielietošanas iespējas augsnes neviendabīguma ietekmes vērtējumā.

Pētījuma rezultāti apkopoti un atspoguļoti 9 publikācijās latviešu, angļu un krievu valodā, tai skaitā starptautisko konferenču, simpoziju un zinātnisko semināru recenzētas starptautiskās publikācijas. Par zinātniskā darba rezultātiem sniegti 10 mutiski referāti un 1 stenda ziņojums starptautiskās zinātniskās konferencēs.

Pētījums veikts, pateicoties Latvijas Zinātnes padomes projekta Nr. 09.1448 un Izglītības Zinātnes ministrijas projekta Nr. 06.6-xi 13 finansējumam.

Pētījums veikts ar Eiropas Sociālā Fonda apakšaktivitātes „Atbalsts doktora studiju programmu īstenošanai” projekta „Atbalsts LLU doktora studiju īstenošanai” mērķfinansējuma atbalstu. Vienošanās Nr. 2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017.

PĒTĪJUMA APSTĀKĻI UN METODIKA

Lauka eksperimentu bāze bija Latvijas Lauksaimniecības universitātes mācību un pētījumu saimniecība „Vecauce”, kur 2004. gadā iekārtots izmēģinājums Kurpnieku laukā, kurā ar GPS atlikti 47 stacionāri novērojumu punkti (50 × 50 m) pavasarī ziemas rapša (*Brassica napus* ssp. *oleifera*) sējumā. Divus gadus (2005. un 2006.) pēc tam sēklaudzēšanai audzēti ziemas kvieši (*Triticum aestivum* L.) šķirne ‘Tarso’.

Punktu koordinātu noteikšanā izmantots pozicionētājs Garmin iQ 3600 (plaukstdators) ar AGROCOM programmatūras AgroMAP Professional nodrošinājumu, kas ļāva noteikt punktus lauka apstākļos ar precizitāti ± 3 m, un noteikt lauka kontūru - robežas. No plaukstdatora esošā informācija pārnesta portatīvajā datorā, ar specializēto datorprogrammu AgroMAP Professional. Programmā ievadot attiecīgo mērījumu datus iegūtas kartogrammas par augu barības elementu saturu, augsnes mitruma saturu, augsnes penetrometrisko pretestību dažādos dziļumos, ražu u.c. Visas digitālās kartogrammas bija ar garuma un platuma grādu koordinātēm. Pēc ražas kartes izveidošanas sekoja nākamie informācijas ievākšanas posmi lauka raksturošanai un ražas diferences cēloņu noteikšanai.

Novērojumiem paredzētajos stacionārajos piesaistes punktos noteikti šādi rādītāji: augsnes mitrums, %, no augsnes poru kopējā tilpuma, augsnes slāņos no 0 līdz 45 cm (0 - 5; 20 - 25; 40 - 45). Augsnes mitrums 2005. un 2006. gada rudenī noteikts augsnes slānī no

0 - 5 un 20 - 25 cm, bet 2006. un 2007. gada pavasarī trijos dziļumos. Mitruma saturs augsnē noteikts ar rokas mitruma mērīšanas ierīci HH2 (Moisture Meter Version 2.1), 3 atkārtojumos, katrā piesaistes punktā. Iekārtas mērījumu kļūda $\pm 3\%$. Mitruma mērītājs ir sensora tipa, kuru iedziļinot augsnē tiek nofiksēts attiecīgā augšnes slāņa mitruma saturs un reģistrēts mērinstrumenta displejā.

Augsnes penetrometriskā pretestība, $N\ cm^{-2}$, noteikta augšnes slāņos no 0 līdz 50 cm (0 - 10; 10 - 20; 20 - 30; 30 - 40; 40 - 50) ar Eijkelkamp rokas penetrometru, 4 atkārtojumos, katrā piesaistes punktā. Rokas penetrometrs ir indikatīvs mērinstruments, lai spriestu par augšnes penetrācijas pretestību. Iekārtas mērījumu kļūda $\pm 8\%$. Atkarībā no augšnes blīvuma izmanto maināmus uzgaļus 1 vai 2, maksimālais mērījumu dziļums bez urbšanas 50 cm. Vienmērīgi spiežot uz penetrometra rokturiem ar konstantu ātrumu $2\ cm\ s^{-1}$, iedziļina konusu augsnē un nolasa konkrēto mērījumu. Augšnes mitrums un penetrometriskā pretestība noteikta rudenī pēc ziemas kviešu sējas un pavasarī atsākoties veģetācijai AS 11-12 un AS 25-29 (augu attīstības stadijās).

Augsnes granulometriskais sastāvs, kurš pētījumā raksturots ar augšnes daļiņām $< 0.01\ mm$, noteikts lauka apstākļos ar lauka metodi. Augsne samitrināta līdz biezas pastas stāvoklim, starp plaukstām izveidota bumbiņa, no tās turpmāk - stienītis, no kura savukārt izveidots gredzens. Atkarībā no bumbiņas, stienīša un gredzenīša izskata un stiprības noteikts augšnes granulometriskais sastāvs.

Humusa akumulācijas horizonts - (Ap) noteikts lauka apstākļos.

Noteikts arī karbonātu sākšanās dziļums, cm. Augšnes granulometriskais sastāvs, Ap horizonta biezums un karbonātu sākšanās dziļums noteikts katrā piesaistes punktā 3 vietās, 2005. gada pavasarī.

Punktu augstums virs jūras līmeņa (vjl.), m, noteikts izmantojot mērinstrumentu Trimble GeoXT ar precizitāti 0.5 m, katrā piesaistes punktā 2009. gada pavasarī.

Katrā piesaistes punktā pēc randomizācijas izvēles principa izrakti 10 ziemas kviešu augi. Augu paraugi paņemti rudenī AS 11-12 pēc ziemas kviešu sējas un pavasarī atsākoties veģetācijai AS 25-29, kuri pēc tam analizēti laboratorijas apstākļos Augšnes un augu zinātņu institūta Laukkopības nodaļā. Augiem noteikts dīgstu skaits rudenī, $gab.\ m^2$ (lauka apstākļos ar uzskaites rāmīti $0.20 \times 0.50\ m$), galveno sakņu garums rudenī, cm (ar lineālu izmērot galvenās saknes garumu), un auga masa rudenī un pavasarī, g (ar svēršanas metodi), un cerošanas koeficients pavasarī. Parametri izanalizēti katram augam un aprēķināta vidējā vērtība.

Darba izpildes gaitā analizēta arī ziemas kviešu karoglapa, izmantojot skeneri un specializēto datorprogrammu WinFOLIA, noteikts ziemas kviešu karoglapas laukums, cm^2 , katrā piesaistes punktā 5 galvenajiem stiebiem AS 43-45.

Ziemas kvieši novākti ar graudaugu kombainu „CLAAS LEXION 420” GPS, kas bija aprīkots ar diviem sensoriem, kuri uzskaitīja iekultās masas daudzumu un noteica tās mitrumu novākšanas laikā. Kombaina graudu mitruma sensoru mērījumi kontrolēti un salīdzināti graudu pirmapstrādes punktā pirms kaltēšanas ar mitruma noteicēju Supertech Agroline. Pirms graudu ražas pirmapstrādes noteica arī tās tīrību. Kombaina ražu kartes izejmateriāla veidošanai izmantoja 6×20 m GPS sensoru darbības automatizēto CLAAS sistēmu. Graudu ražu kartes sakarību analīze veidota pamatojoties uz kombaina centrālās elektroniskās vadības sistēmā uzkrātās un pēc tam koriģētās informācijas (ražas dati izteikti pie 100% tīrības un 14% standartmitruma) saistības ar iekultās masas mitruma un tīrības rādītājiem, apstrādājot tos programmā AgroMAP Professional, kuru izmantojot veikta arī digitālo kartogrammu izveide.

Augsnes paraugi agroķīmiskajām analīzēm aramkārtā ņemti ar zondi fosfora un kālija satura, mg kg^{-1} , tāpat arī organiskās vielas, g kg^{-1} , un augsnes reakcijas pH KCl noteikšanai 20 cm dziļumā. Paraugi ņemti 14.08.2006. pēc ražas novākšanas katrā GPS piesaistes punktā 3 vietās vidējā parauga veidošanai. Augsnes paraugu analīzes veiktas VSIA „Agroķīmisko pētījumu centrs” laboratorijā. Augiem izmantojamā fosfora un kālija saturs noteikts izmantojot Egnera - Rīma (DL) metodi (LV ST ZM 82 - 97). Organisko vielu saturs noteikts fotometriski ar Tjurina metodi (LV ST ZM 80 - 97). Augsnes reakcija noteikta potenciometriski 1 M KCl suspensijā (LV ST ZM 81 - 97; LVS ISO 10390:2002).

Augšņu vispārējam raksturojumam laukā 2010. gada 23. un 24. augustā izrakti trīs dziļie augsnes atsegumi. Paugura virsotnes daļā: tipiskā velēnu karbonātaugsne (*Hypocutani-Hypocalcic Luvisol (Hypochromic)*), paugura nogāzes vidusdaļā uz sateci: tipiskā velēnu karbonātaugsne ar virsējās glejošanās pazīmēm 122 - 181 cm augsnes slānī (*Bathystagni-Luvic Phaeozem (Abruptic, Calcaric)*) un paugura nogāzes lejasdaļā ar sateci: trūdaini kūdrainā glejaugsne (*Ombri-Sapric Histosol (Hypereutric)*).

Pētījuma rezultāti un analīze sadaļā par pamatu ņemtas piecas ūdens notes grupas: paugura virsotnes punkti kā ūdensšķirtne; nogāze ar noteci uz pakāji ar dubultsateci un vaļējo meliorācijas sistēmu; nogāzes lejasdaļas zemākie punkti pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas un nogāzes pakājes pēdējie punkti ar izteiktu dubultsateci,

kurās iekļauti 4 - 21 punkti, kas raksturoja Kurpnieku lauka augšņu neviendabīgumu un reljefa atšķirību ietekmi. Aprēķinos konstatēts, ka nepastāv būtiskas atšķirības starp nogāžu slīpumiem ūdens noteces nogāžu grupās, tāpēc darbā datu analīzē šis rādītājs netika izmantots.

Datu matemātiskā apstrāde veikta izmantojot Microsoft Excel un SPSS datu apstrādes programmas, veicot aprakstošo statistiku, korelācijas un parciālās korelācijas analīzes. Humusa akumulācijas (Ap) horizonta biezuma un augsnes organisko vielu satura rādītāji grupēti 2 vērtību kategorijās: zem vidējās un virs vidējās vērtības. Tie bija aritmētiskie vidējie attiecīgi starp vidējo un minimālo, kā arī vidējo un maksimālo rādītāju vērtībām. Savukārt ražu grupu dalījumam par pamatu ņemti ražu kartogrammu dati.

PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN ANALĪZE

Reljefa ietekme uz augsnes agroķīmisko īpašību atšķirībām

Organisko vielu saturs augsnē. Latvijas apstākļiem raksturīgos morēnu pauguros ar beznoteces starppauguru ieplakām pazīmju savstarpējās iedarbības skaidrojumā primārā nozīme bija punktu augstumam. Tie iekļāva sevī sekojošus elementus - paugura virsotni kā ūdens šķirtni, nogāzes ar dubultsateci un vaļējo meliorācijas sistēmu, un nogāzes ar izteiktu dubultsateci (ieplakas). Pētījuma apstākļos uzskatāmi parādījās ilgstošā laika gaitā izveidotās atšķirības augsnes organisko vielu saturam un Ap horizonta biezumam, kas saistās ar paugurainēs notiekošajiem augšņu erozijas procesiem.

Pēc ūdens noteces punktu sadalījuma, paugura virsotnes punkti kā ūdensšķirtne raksturojās ar būtiski augstāku augstumu virs jūras līmeņa (vjl.) - 103.1 m, tam pakāpeniski samazinoties nogāzes virzienā un viszemāko augstumu sasniedzot nogāzes lejasdaļas pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas - 94.5 m, vjl. Kurpnieku laukā organisko vielu saturs nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci bija 47.0 g kg⁻¹, būtiski augstāks ($P < 0.05$) nekā paugura virsotnes punktos - 21.5 g kg⁻¹. Savukārt atšķirības organisko vielu saturā nogāzē ar noteci uz pakāji ar dubultsateci, vaļējo meliorācijas sistēmu un nogāzes lejasdaļas zemāko punktu pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas bija nebūtiskas.

Būtiski augstāku augsnes organisko vielu saturu nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci var skaidrot ar to, ka organisko vielu saturs agrotehniskās erozijas un ūdens plūsmas rezultātā no paugura augstākajām vietām bija nonests uz zemākajām. Šajās vietās tas bija divreiz augstāks, nekā paugura virsotnes punktos. Lielāks

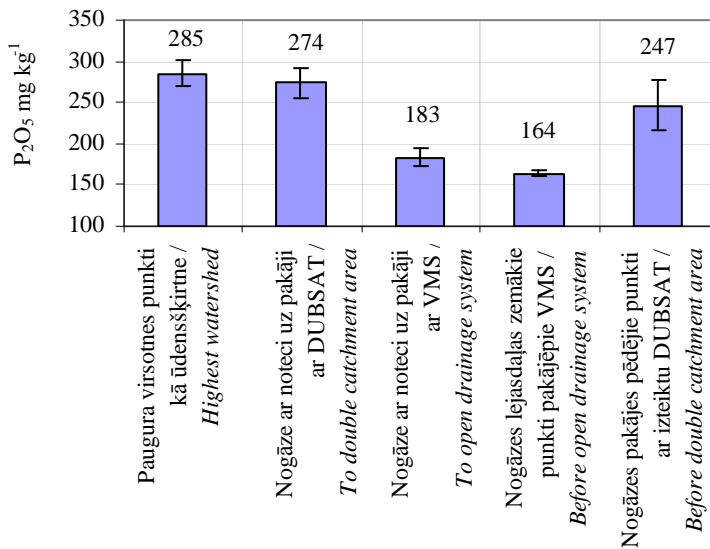
mitruma saturs bija - mikroieplakā, nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci, kas vēl vairāk veicināja augsnes neviendabīgumu, jo paaugstinātā mitruma dēļ laukā bija izveidojošies atšķirīgi augsnes tipi. Organisko vielu satura rādītāju izkliede vislielākā bija starp ūdens noteces punktu izvietojuma grupām.

Augsnes reakcija. Nogāzē ar noteci uz pakāji ar vaļējo meliorācijas sistēmu konstatēta būtiski zemāka augsnes reakcija pH KCl 6.5, nekā nogāzē ar noteci uz pakāji ar dubultsateci pH KCl 6.8. Tās bija arī vienīgās konstatētās būtiskās starpības. Augsnes reakcija 0 - 20 cm augsnes slānī visās ūdens noteces grupās raksturojās kā normāla, jo augsnes reakcija bija lielāka par 6.3. Nogāzē ar noteci uz pakāji un nogāzes lejasdaļas zemāko punktu pakājē ar un pie vaļējās meliorācijas sistēmas augsnes reakcija bija zemāka nekā pārējās trijās ūdens noteces grupās, ko var skaidrot ar atšķirīgo karbonātu sāksnās dziļumu augsnē. Tas arī pamato, ka ir iespējams veikt diferencētu augsnes uzturošo kaļķošanu.

Augiem izmantojamā kālija saturs. Būtiski ($P < 0.05$) augstāks kālija saturs (234 mg kg^{-1}) aramkārtas 0 - 20 cm slānī konstatēts nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci. Paugura virsotnes ūdensšķirtnes daļā bija būtiski augstāks kālija saturs 211 mg kg^{-1} , nekā nogāzē ar noteci uz pakāji ar vaļējo meliorācijas sistēmu - 155 mg kg^{-1} . Būtiski viszemākais K_2O saturs - 140 mg kg^{-1} augsnes 0 - 20 cm slānī konstatēts nogāzes lejasdaļas zemākajos punktos pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas.

Kālija saturs augsnē bija augstāks paugura virsotnē un nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci, ko var skaidrot ar to, ka šajās ūdens noteces grupās bija vairāk māla daļiņu. Kālijs ir mobils un ar nokrišņu ūdeni ieskalojas dziļākajos augsnes slāņos. Zemo kālija saturu 140 mg kg^{-1} - nogāzes lejasdaļas zemāko punktu pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas iespējams var skaidrot ar to, ka visi procesi intensīvāk notiek pie vaļējās meliorācijas sistēmas (aizplūst projām) nekā dubultsatecē, kur viss koncentrējās ilgākā laika periodā.

Augiem izmantojamā fosfora saturs. Būtiski ($P < 0.05$) augstāks P_2O_5 saturs augsnē 0 - 20 cm slānī, konstatēts paugura virsotnes ūdensšķirtnes daļā - 285 mg kg^{-1} un nogāzē ar noteci uz pakāji ar dubultsateci - 274 mg kg^{-1} . Būtiski zemāks P_2O_5 saturs - 164 mg kg^{-1} - bija nogāzes lejasdaļas zemākajos punktos pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas (1. att.).



Noteces punktu izvietojums / Location of run-off points

1. att. Fosfora saturs, mg kg⁻¹, 0 - 20 cm augsnes slānī raksturojums ūdens noteces grupās.

Apzīmējumi: DUBSAT - dubultsatece; VMS - vaļējā meliorācijas sistēma.

Fig. 1. Characterisation of phosphorus content, mg kg⁻¹, in 0 - 20 cm soil layer in water run-off groups.

Reljefa ietekme uz augsnes agrofizikālo īpašību atšķirībām

Augsnes daļiņas < 0.01 mm. Augsnes daļiņu < 0.01 mm raksturojums liecināja, ka būtiski zemāks to sastāvs bija nogāzē ar noteci uz pakāji ar dubultsateci (20.2), bet būtiski augstāks - paugura virsotnes daļā - 33.3. Augsnes granulometriskais sastāvs ietekmē fosfora uzņemšanu un iestrādātā mēslojuma efektivitāti. Pieaugot māla daļiņu saturam augsnē, pieaug arī fosfora fiksācija.

Humusa akumulācijas horizonts. Humusa akumulācijas (Ap) horizonts ūdens noteces grupās būtiski lielāks bija nogāzes lejasdaļas zemāko punktu pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas - 43 cm, bet būtiski zemāks - nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci 35 cm. To var skaidrot ar to, ka agrotehniskās erozijas

ietekmē augsne sistemātiski tiek nobīdīta pa nogāzi uz leju ar lauksaimniecības mašīnām, kas arī rada nevēlamu diferencēšanos un augsnes auglības samazināšanos. Atšķirība Ap horizonta biežumā paugura virsotnē salīdzinot ar nogāzes lejasdaļas zemākajiem punktiem pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas bija 7 cm ($P < 0.05$). Arī vēja erozijas un nokrišņu ietekmē Ap horizonts no augstākajām ūdens noteces punktu vietām tiek nonests uz zemākajām - būtisku atšķirību nav, bet ir vērojamas tendences. Iespējams to var skaidrot ar to, ka iepriekšējos gados šajā laukā nebija veikta tik intensīva augsnes apstrāde.

Augsnes mitruma atšķirību ietekme uz ziemas kviešu attīstību un ražu. Augsnes mitruma ietekmes vērtējuma secība izvēlēta saistībā ar ziemas kviešu attīstību, to parādot kopsavilkuma skatījumā 2006. un 2007. gada ražai. Konstatēts, ka rudenī, ziemas kviešu attīstības stadijās - AS 11-12 augsnes mitruma atšķirību ietekme uz ziemas kviešu attīstību raksturojošiem rādītājiem bija būtiska tikai 2006. gada apstākļos, ko raksturoja neliels nokrišņu daudzums (1. tabula). Būtiski ($P < 0.05$) ziemas kviešu attīstību 2006. gada rudenī ietekmēja galveno sakņu garums 0 - 5 un 20 - 25 cm augsnes slānī $r_{yx} = -0.401$ un $r_{yx} = -0.409$.

1. tabula / Table 1

Augsnes mitruma (x) ietekme uz ziemas kviešu attīstības rādītājiem (y) 2006. un 2007. gada ražai

The effect of soil humidity (x) on the development indices (y) of winter wheat for the yield 2006 and 2007

Rezultējošās pazīmes (y) / Resulting characteristics	Augsnes slānī 0 - 5 cm / In soil layer		Augsnes slānī 20 - 25 cm / In soil layer	
	r_{yx}	P vērtība / value	r_{yx}	P vērtība / value
ietekmes vērtējums 2006. gada ražai / effect evaluation for the yield 2006				
Ziemas kviešu auga masa / Fresh weight of plant	-0.278	0.095	-0.233	0.164
Galveno sakņu garums / Root length	-0.401	0.013	-0.409	0.011
ietekmes vērtējums 2007. gada ražai / effect evaluation for the yield 2007				
Ziemas kviešu auga masa / Fresh weight of plant	-0.100	0.499	-0.178	0.229
Galveno sakņu garums / Root length	-0.108	0.469	-0.010	0.942

Augsnes mitruma vērtējums 2006. gadā liecināja, ka augsnes mitrumam 0 - 5 cm augsnes slānī būtiski pozitīva ietekme bija uz ziemas kviešu cerošanas koeficientu $r_{yx} = 0.312$, karoglapas laukumu $r_{yx} = 0.464$ un ziemas kviešu ražu $r_{yx} = 0.471$, bet 20 - 25 un 40 - 45 cm dziļā augsnes slānī uz karoglapas laukumu $r_{yx} = 0.535$, $r_{yx} = 0.483$ un ziemas kviešu ražu $r_{yx} = 0.371$, $r_{yx} = 0.469$ (2. tabula).

2. tabula / Table 2

**Augsnes mitruma (x) ietekmes vērtējums ziemas kviešiem
2006. gadā**

Evaluation of soil moisture (x) effect on winter wheat during 2006

Rezultējošās pazīmes (y) / Resulting characteristics	Augsnes slānī 0 - 5 cm / In soil layer	Augsnes slānī 20 - 25 cm / In soil layer	Augsnes slānī 40 - 45 cm / In soil layer
	r_{yx}		
Cerošanas koeficients / Coefficient of tillering	0.312*	0.196	0.198
Ziemas kviešu auga masa / Fresh weight of plant	0.038	0.038	-0.024
Sakņu masa / Mass of roots	-0.096	-0.140	-0.068
Karoglapas laukums / Area of flag leaf	0.464**	0.535**	0.483**
Ziemas kviešu raža / Winter wheat yield	0.471**	0.371*	0.469**

Ticamības līmenis / Probability: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

Labībām augsnē ir jābūt pietiekamam mitruma saturam dīgšanas - cerošanas laikā rudenī un cerošanas - stiebrošanas sākumā pavasarī. Vēlāk neliels ūdens deficīts augsnē ir pat vēlams, kas arī apstiprinājās pētījuma laikā. To pamato pētījuma laikā aprēķinātie hidrotermiskie koeficienti (HTK). 2005. gada septembrī HTK bija 0.89 - nepietiekams mitrinājums, bet savukārt augusta mēnesī HTK 3.07 - pārlietu mitrs un arī oktobrī pēc ziemas kviešu sadīgšanas HTK 1.58 - mitrums pietiekams. Arī pavasarī atsākoties veģetācijai 2006. gada aprīlī HTK 1.17 - mitrums pietiekams. Savukārt vasaras mēnešos līdz ziemas kviešu kulšanai HTK raksturojās kā ļoti sauss, bet augustā HTK - pārlietu mitrs. Pietiekams mitruma saturs augsnē pozitīvi ietekmēja arī pārējos ražu veidojošos elementus, jo īpaši karoglapas laukumu un pašu ražu. Arī ziemas kviešu raža 2006. gadā, bija būtiski lielāka kā 2007. gadā.

Savukārt 2007. gada sakarību vērtējums liecināja, ka augsnes slāņos no 0 līdz 45 cm būtiski pozitīva ($P < 0.01$) ietekme augsnes

mitrumam bija uz karoglapas laukumu, bet augsnes slānī no 40 - 45 cm uz sakņu masu $r_{yx} = 0.318$ ($P < 0.05$) un 20 - 25 un 40 - 45 cm slānī uz - ziemas kviešu ražu $r_{yx} = 0.299$, $r_{yx} = 0.340$ ($P < 0.05$).

Sakarību izpētes rezultāti starp augsnes mitruma un ziemas kviešu karoglapas laukuma atšķirībām parādīja, ka 2006. gadā tikai pie ražu dalījuma virs 7 t ha^{-1} karoglapas laukumu pozitīvi ietekmēja augsnes mitrums 0 - 5 cm dziļumā pavasarī ($P < 0.05$). Bet 2007. gadā mitruma ietekme bija būtiski augsta ($P < 0.01$) visos augsnes slāņos gan sējas gada rudenī, gan pavasarī. Tas pamato to, ka kultūraugiem nozīmīgs ir mitrums ne vien aramkārtā, bet arī zemaramkārtā.

Augsnes neviendabīguma rādītāju ietekmes vērtējums uz augsnes mitruma atšķirībām. Korelatīvo sakarību analīze liecināja, ka sakarībām starp punktu augstumu, m , vjl. un augsnes mitrumu, raksturojot tos ar lineārajiem korelāciju koeficientiem r_{yx} , abos pētījuma gados bija kopīgs raksturs - palielinātam punktu augstumam atbilst pazemināts augsnes mitruma saturs, ko var skaidrot ar nokrišņu ūdens noteci.

Konstatēts, ka no pārējo trīs pazīmju - Ap horizonta biezuma, augsnes daļiņu $< 0.01 \text{ mm}$ un organisko vielu satura atšķirībām būtiska ietekme uz augsnes mitrumu visos augsnes slāņos gan rudenī, gan pavasarī bija tieši organisko vielu saturam. Tas sakrīt ar pētnieku S. K. Roy, S. Shibusawa un T. Okayama sacīto, ka augsnes zemaramkārtā parasti tiek noteikta būtiska korelācija starp augsnes mitrumu un organiskās vielas saturu. Konstatēts, ka būtiska ietekme uz augsnes mitrumu rudenī 20 - 25 cm augsnes slānī bija augsnes daļiņu $< 0.01 \text{ mm}$ saturam - $r_{yx} = 0.202$ un pavasarī Ap horizonta biezumam - $r_{yx} = 0.243$.

Sakarību starp augsnes mitrumu un pētāmajiem faktoriem pamato arī tas, ka abos pētījuma gados starp punktu augstuma atšķirībām virs jūras līmeņa un ziemas kviešu ražu konstatēta būtiska negatīva korelācija (palielinoties punktu augstumam samazinājās raža) un 2006. gadā, kad nokrišņu daudzums bija no abiem gadiem viszemākais, konstatētajām sakarībām bija arī paaugstināts un būtisks ticamības līmenis ($P < 0.01$). Lietojot parciālās korelācijas koeficientu, aprēķinus, kuros tiek izslēgta punktu augstuma, m , virs jūras līmeņa ietekme, konstatēts, ka mainīga organisko vielu satura ietekme uz augsnes mitruma atšķirībām 2006. un 2007. gada ražai nemazinās.

Punktu augstuma virs jūras līmeņa negatīvā ietekme uz augsnes mitruma atšķirībām bija augstāka 2006. gada apstākļos ar pazeminātu nokrišņu daudzumu. 2006. gada pavasarī, organisko vielu satura ietekme uz augsnes mitruma atšķirībām bija lielāka visos augsnes slāņos nekā

rudenī, bet 2007. gada apstākļos - pavasarī augsnes slānī no 40 līdz 45 cm.

Iepriekšējais pazīmju savstarpējo korelatīvo sakarību vērtējums liecināja, ka augsnes mitruma atšķirības 40 - 45 cm augsnes slānī abos pētījuma gados būtiski un pozitīvi ietekmēja ziemas kviešu ražu.

Konstatēts, ka visās ūdens noteces grupās 2005. gada rudenī augsnes slāņos 0 - 5 un 20 - 25 cm bija zems, < 25% augsnes mitrums, pie kam būtiski mazāks ($P < 0.05$) tas bija paugura virsotnes punktos - 18.9 un 19.2%, bet būtiski pieauga nogāzes virzienā un nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci bija visaugstākais - 23.2 un 24.1%. Savukārt 2006. gada rudenī augsnes mitruma saturs 0 - 5 cm augsnes slānī bija būtiski augstāks nekā 20 - 25 cm augsnes slānī un analogi kā 2005. gada rudenī būtiski zemāks bija paugura virsotnes punktos - 24.9 un 22.5%, un nogāzes virzienā pakāpeniski pieauga. 2005. gada rudenī augsnes mitrums 20 - 25 cm augsnes slānī bija lielāks nekā 0 - 5 cm slānī, bet 2006. gada rudenī 0 - 5 cm slānī augstāks nekā 20 - 25 cm augsnes slānī. Novērotas izteiktas un būtiskas atšķirības augsnes mitruma saturā abos pētījuma gados.

2006. un 2007. gada pavasarī augsnes mitruma saturs būtiski zemāks bija 0 - 5 cm augsnes slānī un dziļākos slāņos pakāpeniski pieauga. Analogi kā 2005. un 2006. gada rudenī arī pavasarī mitruma saturs būtiski zemāks bija paugura virsotnes daļā abos pētījuma gados robežās no 12.6 - 18.3%, bet būtiski augstāks tas bija nogāzes pakājes punktos ar izteiktu dubultsateci, robežās no 17.8 - 23.3%.

Augsnes neviendabīguma rādītāju nozīme augsnes penetrometriskās pretestības atšķirību veidošanā. Augsnes penetrometriskā pretestība ir viens no augsnes agrofizikālajiem rādītājiem, kas norāda uz augsnes sablīvēšanos un tieši var ietekmēt augu attīstību, jo pārlietu daudz sablīvētā augsnē ir apgrūtināta kultūraugu attīstība. Abos ziemas kviešu audzēšanas gados augsnes penetrometriskā pretestība izmainās atkarībā no augsnes mitruma, ja augsnē mitruma saturs ir zemāks, tad penetrometriskā pretestība ir augstāka, bet, ja augsnes mitruma saturs ir augstāks, kas tieši raksturojās ar bagātīgiem nokrišņiem 2007. gadā, tad penetrometriskā pretestība samazinās. Tas ir atkarīgs arī no tā, kurā augsnes slānī izveidojas sablīvējums, kurā mitrums uzkrājas vairāk. Jāņem arī vērā, ka ziemas kviešu sējumos ziemošanas periodā sala ietekmē izmainās augsnes penetrometriskā pretestība.

Augsnes penetrometriskās pretestības atšķirības ietekmē viss faktoru komplekss, tomēr prioritārā nozīme bija punktu augstumam virs jūras līmeņa. No pētījumā iekļautajiem faktoriem augsnes penetrometriskās pretestības atšķirību veidošanā ziemas kviešu sējumos

rudenī - augsnes virskārtā būtiska ($P < 0.01$) negatīva ietekme bija augsnes mitrumam 0 - 5 un 20 - 25 cm augsnes slānī $r_{yx} = -0.505$ un $r_{yx} = -0.419$. Augstuma atšķirību būtiska ($P < 0.01$) pozitīva ietekme konstatēta augsnes pretestībai ($r_{yx} = 0.247$) 10 - 20 cm slānī, kā arī būtiski negatīvi augsnes penetrometrisko pretestību šajā slānī ietekmēja organisko vielu saturs ($r_{yx} = -0.254$) atšķirības ($P < 0.01$) un augsnes mitrums 20 - 25 cm augsnes slānī - $r_{yx} = -0.193$ ($P < 0.05$).

Parciālās korelācijas aprēķini (3. tabula) izslēdzot punktu augstuma ietekmi, samazināja augsnes mitruma nozīmi 0 - 5 cm slānī $r_{yx5 \cdot x1} = -0.499$ un 20 - 25 cm slānī $r_{yx6 \cdot x1} = -0.415$ ($P < 0.01$) uz augsnes penetrometrisko pretestību. Izmantojot punktu augstumu kā izslēguma faktoru, palielinājās organisko vielu saturs ietekmes uz penetrometrisko pretestību 10 - 20 cm augsnes slānī $r_{yx3 \cdot x1} = -0.177$ ticamības līmenis no $P < 0.01$ uz $P < 0.05$.

3. tabula / Table 3

Augsnes neviendabīguma rādītāju (x) sakarības ar augsnes penetrometrisko pretestību (y) izslēdzot punktu augstuma (x1) ietekmi rudenī 2006. gada ražai

Interconnections of soil heterogeneity indices (x) with soil penetrometric resistance (y) excluding the effect of point height (x1) on the yield 2006, in autumn

Augsnes neviendabīguma rādītāji (x) / <i>Soil heterogeneity indices</i>	Korelāciju raksturlielumi / <i>Correlation</i>	Pretestība, 0 - 10 cm, 20.10.2005. / <i>Penetrometric resistance</i>	Pretestība, 10 - 20 cm, 20.10.2005. / <i>Penetrometric resistance</i>
Ap horizonts (x2) / <i>Thickness of humus horizon</i>	$r_{yx2 \cdot x1}$	-0.109	-0.054
Organisko vielu saturs (x3) / <i>Organic matter content</i>	$r_{yx3 \cdot x1}$	0.045	-0.177*
Augsnes daļiņas <0.01 mm (x4) / <i>Granulometric composition</i>	$r_{yx4 \cdot x1}$	-0.085	-0.137
Augsnes mitrums 0 - 5 cm (x5) / <i>Soil moisture</i>	$r_{yx5 \cdot x1}$	-0.499**	-0.052
Augsnes mitrums 20 - 25 cm (x6) / <i>Soil moisture</i>	$r_{yx6 \cdot x1}$	-0.415**	-0.116

Ticamības līmenis / Probability: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

Lineārās korelācijas aprēķini par faktoru ietekmi augsnes penetrometriskās pretestības atšķirību veidošanā ziemas kviešu sējumos zemaramkārtā pavasarī 2006. gada ražai parādīja augsto, pozitīvo un

būtisko ($P < 0.01$) augstuma atšķirību ietekmi, kā arī augsnes mitruma 20 - 25 cm slānī būtisku negatīvu ietekmi $r_{yx} = -0.180$.

Parciālās korelācijas aprēķini, izslēdzot punktu augstumu, neizmainīja augsnes mitruma atšķirību ietekmi zemaramkārtā no 20 līdz 50 cm augsnes slānī uz augsnes penetrometrisko pretestību. Netika konstatētas būtiskas sakarības starp Ap horizonta biežumu un augsnes penetrometriskās pretestības atšķirībām.

Augsnes mitrumam, organisko vielu saturam un Ap horizonta biežumam bija savstarpējas korelatīvas sakarības. To nozīme parādījās arī augsnes penetrometriskās pretestības vērtējumā ūdens noteces grupās. Augsnes penetrometriskā pretestība paugura virsotnes daļā (197 N cm^{-2}), nogāzē ar noteci uz pakāji ar dubultsateci (149 N cm^{-2}) un vaļējo meliorācijas sistēmu (152 N cm^{-2}), nogāzes lejasdaļas zemākajos punktos pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas (133 N cm^{-2}) un nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci (141 N cm^{-2}) 2005. gada rudenī 0 - 5 cm slānī bija būtiski ($P < 0.05$) lielāka, nekā 2006. gada rudenī šajā pat augsnes slānī. Savukārt 10 - 20 cm augsnes slānī nogāzē ar noteci uz pakāji ar dubultsateci (252 N cm^{-2}) un vaļējo meliorācijas sistēmu (209 N cm^{-2}), un nogāzes lejasdaļas zemākajos punktos pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas (209 N cm^{-2}) augsnes penetrometriskā pretestība 2006. gada rudenī bija būtiski lielāka kā 2005. gada rudenī. Augsnes penetrometriskā pretestība 20 - 30 cm augsnes slānī visās ūdens noteces grupās būtiski lielāka bija 2005. gada rudenī ar izņēmumu nogāzē ar noteci uz pakāji ar dubultsateci (478 N cm^{-2}), kur pretestība 2006. gada rudenī bija būtiski augstāka nekā 2005. gadā.

2006. gada pavasarī ar pazeminātu nokrišņu daudzumu paugura virsotnes daļā 30 - 40 cm augsnes slānī bija būtiski ($P < 0.05$) lielāka augsnes penetrometriskā pretestība (512 N cm^{-2}) nekā 2007. gada pavasarī (317 N cm^{-2}). Visās ūdens noteces grupās abos pētījuma gados 30 - 40 cm slānī augsnes penetrometriskā pretestība bija būtiski lielāka nekā 20 - 30 cm augsnes slānī, ar izņēmumu 2007. gada pavasarī, kad nogāzes lejasdaļas zemāko punktu pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas (243 N cm^{-2}) penetrometriskā pretestība lielāka bija 20 - 30 cm augsnes slānī, nevis 30 - 40 cm slānī (235 N cm^{-2}). Savukārt augsnes slāņos no 0 - 10, 10 - 20 un 40 - 50 cm dziļumā būtiskas atšķirības augsnes penetrometriskās pretestības izmaiņās netika konstatētas.

Ņemot vērā, ka 2005. gada augustā pirms ziemas kviešu sējas tika veikta augsnes dziļirdināšana, augsnes penetrometriskā pretestība pētījuma gados ir samazinājusies, tas pamato, ka pēcietekme pastāv. Jāņem vērā arī tas, ka ziemas kviešu priekšaugšs bija ziemas rapsis, kas raksturojas ar dziļu sakņu sistēmu.

Augsnes mitruma un penetrometriskās pretestības sakarības ar ražu. Parciālie korelāciju koeficienti precizēja faktoru ietekmes vērtējumu un liecināja, ka augsnes penetrometriskās pretestības, kā faktora ietekmes izslēgšana 2005. un 2006. gada rudenī augsnes slāņos no 0 līdz 30 cm, augsnes mitruma ietekmi uz ziemas kviešu ražu paaugstināja (4. tabula). Analogas sakarības konstatētas arī 2006. un 2007. gada pavasarī 40 - 50 cm augsnes slānī un 2006. gadā 0 - 10 cm augsnes slānī. Savukārt korelāciju sakarības bez izslēguma faktora pamato augsnes mitruma lielo nozīmi ražas veidošanās procesā. Ziemas kviešu ražu pozitīvi ietekmēja augsnes mitrums gan sējas gada rudenī, gan pavasarī ($P < 0.05$; $P < 0.01$).

4. tabula / Table 4

Korelāciju sakarības starp ziemas kviešu ražu un augsnes mitrumu ar un bez izslēguma faktora - augsnes penetrometriskās pretestības izmantošanu

Correlation between winter wheat yield and soil moisture with and without exclusion factor - soil penetrometric resistance

Gads / Year	Augsnes slānis cm, augsnes mitruma un pretestības noteikšanas laiks / Soil layer cm, soil moisture and resistance determination time	Bez izslēguma faktora / Without exclusion factor	Ar pretestības ietekmes izslēgumu / With exclusion of resistance effect
2005.	0 - 10, rudenī / <i>in autumn</i>	0.477**	0.494**
2006.		0.344*	0.357*
2005.	20 - 30, rudenī / <i>in autumn</i>	0.545**	0.499**
2006.		0.268	0.307*
2006.	0 - 10, pavasarī / <i>in spring</i>	0.471**	0.456**
2007.		0.229	0.197
2006.	20 - 30, pavasarī / <i>in spring</i>	0.371*	0.257
2007.		0.300*	0.212
2006.	40 - 50, pavasarī / <i>in spring</i>	0.469**	0.444**
2007.		0.340*	0.302*

Ticamības līmenis / Probability: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

Savukārt, ja kā izslēguma faktoru izmanto augsnes mitrumu, augsnes penetrometriskās pretestības būtiska ietekme uz ziemas kviešu ražu netika konstatēta ($P > 0.05$). Savukārt korelāciju sakarības bez izslēguma faktora pamato augsnes penetrometriskās pretestības negatīvo ietekmi ražas veidošanās procesā. Ziemas kviešu ražu būtiski negatīvi ietekmēja augsnes penetrometriskā pretestība 2005. gada rudenī

20 - 30 cm augsnes slānī, un 2006. un 2007. gada pavasarī ($P < 0.05$) analogā augsnes slānī.

Augsnes mitruma un penetrometriskās pretestības savstarpējās sakarības 2005. un 2006. gada rudenī atspoguļoja to, ka augsnes penetrometrisko pretestību 0 - 10 cm augsnes slānī augsnes mitrums būtiski neietekmēja (5. tabula). Savukārt 20 - 30 cm slānī augsnes penetrometrisko pretestību būtiski ietekmēja augsnes mitrums ($r_{yx} = -0.291$) 2005. gada rudenī ($P < 0.05$) un augsnes mitrums 2006. gada rudenī gan 0 - 5, gan 20 - 25 cm augsnes slānī ($P < 0.01$).

5. tabula / Table 5

Augsnes mitruma un penetrometriskās pretestības korelatīvās sakarības rudenī

Interconnections of soil moisture and penetrometric resistance in autumn

Gads / Year	Augsnes slānis, mitruma un pretestības noteikšanas laiks / Soil layer cm, soil moisture and resistance determination time	Pretestība, 0 - 10 cm / Penetrometric resistance	Pretestība, 20 - 30 cm / Penetrometric resistance
2006. g. ražai / Yield	0 - 5 cm, 20.10.05.	-0.032	-0.291*
	20 - 25 cm, 20.10.05.	-0.067	-0.262
2007. g. ražai / Yield	0 - 5 cm, 11.10.06.	-0.066	-0.581**
	20 - 25 cm, 11.10.06.	-0.227	-0.749**

Ticamības līmenis / Probability: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

Augsnes mitruma un penetrometriskās pretestības savstarpējās sakarības pavasarī atspoguļoja to, ka pavasara sakarībām bija lielāka nozīme nekā rudens. 2006. gada pavasarī augsnes penetrometrisko pretestību 0 - 10 cm augsnes slānī būtiski ietekmēja augsnes mitrums 20 - 25 un 40 - 45 cm slānī ($P < 0.05$). Pretestību 20 - 30 cm augsnes slānī būtiski ietekmēja augsnes mitrums no 0 līdz 45 cm. Savukārt būtiskas augsnes penetrometriskās pretestības un augsnes mitruma sakarības 40 - 50 cm augsnes slānī netika konstatētas.

2007. gada pavasarī augsnes penetrometrisko pretestību 0 - 10 cm augsnes slānī būtiski ietekmēja augsnes mitrums no 0 līdz 45 cm ($P < 0.01$). Pretestību 20 - 30 cm augsnes slānī būtiski ietekmēja augsnes mitrums 20 - 25 un 40 - 45 cm. Savukārt būtiskas augsnes penetrometriskās pretestības un augsnes mitruma sakarības 40 - 50 cm augsnes slānī konstatētas no 0 līdz 45 cm.

Ražu veidojošie elementi atšķirīga reljefa apstākļos

Ziemas kviešu dīgstu skaits. Ziemas kviešu dīgstu skaits 2005. gada rudenī, būtiski zemāks bija paugura virsotnes punktos - 307.7 gab. m², bet būtiski ($P < 0.05$) augstāks - nogāzē ar noteci uz pakāji ar dubultsateci - 361.2 gab. m². Savukārt 2006. gada rudenī, būtiski zemāks ziemas kviešu dīgstu skaits bija nogāzes lejasdaļas zemākajos punktos pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas - 283.0 gab. m², bet būtiski augstāks nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci 387.0 gab. m². 2006. gada rudenī starp pirmajām trijām ūdens noteces grupām nebija būtisku atšķirību.

Ziemas kviešu dīgstu skaita izmaiņas sējas gada rudenos iespējams skaidrot ar atšķirīgajiem meteoroloģiskajiem apstākļiem pētījuma gados. Kopumā vērtējot lielāks ziemas kviešu dīgtu skaits bija 2006. gada rudenī, oktobra mēnesī, kad tika ņemti augu paraugi - siltais laiks veicināja ziemāju attīstību, gaisa temperatūra 9.2 °C, un vidējā nokrišņu summa 71.6 mm.

Cerošanas koeficients. Viens no ziemas kviešu ražu veidojošiem elementiem bija cerošanas koeficients. 2006. gada pavasarī būtiski zemāks tas bija paugura virsotne punktos (2.9), bet būtiski ($P < 0.05$) augstāks nogāzes daļā ar noteci uz pakāji ar dubultsateci (3.3) un nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci - 3.2. Savukārt 2007. gada dati liecina, ka cerošanas koeficients būtiski augstāks bija paugura virsotnes punktos un nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci (2.3), bet pārējās trijās ūdens noteces grupās - 2.1.

Cerošanas koeficienta salīdzinājums pa gadiem liecina, ka būtiski zemāks tas bija 2007. gada pavasarī, ko var skaidrot ar meteoroloģiskiem apstākļiem. Jo 2007. gada pavasaris bija vēls ar palielinātu mitruma daudzumu un auksts. Aprīļa trešajā dekādē saceroja ziemāju sējumi, kas nebija cerojuši rudenī. Vidējā gaisa temperatūra aprīlī bija 5.2 °C, kas bija viszemākā pētījuma gados. Savukārt nokrišņi 31 mm un 9. aprīlī reģistrēts sniegs, tas arī kavēja ziemāju attīstību. Abos pētījuma gados būtiski augstāks tas bija nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci.

Ziemas kviešu auga masa. Ziemas kviešu auga masa 2005. gada rudenī bija būtiski ($P < 0.05$) lielāka nekā 2006. gada rudenī, analogas sakarības pa gadiem vērojamas arī ar ziemas kviešu cerošanas koeficientu un sakņu garumu. 2005. gada rudenī būtiski mazāka tā bija nogāzē ar noteci uz pakāji ar vaļējo meliorācijas sistēmu 0.093 g, bet būtiski lielāka - paugura virsotnes daļā 0.105 g. Savukārt 2006. gada

rudenī būtiskas sakarības starp ziemas kviešu auga masu ūdens noteces grupās netika konstatētas.

Savukārt 2006. un 2007. gada pavasarī ziemas kviešu auga masa būtiski augstāka bija 2007. gada pavasarī salīdzinot ar rudens rādītājiem. 2006. gada pavasarī auga masa būtiski lielāka bija nogāzē ar noteci uz pakāji ar dubultsateci 0.437 g, bet būtiski mazāka - nogāzes lejasdaļas zemāko punktu pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas 0.354 g. Bet 2007. gada pavasarī ziemas kviešu auga masa būtiski lielāka bija paugura virsotnē 0.697 g, bet būtiski mazāka - nogāzē ar noteci uz pakāji ar vaļejo meliorācijas sistēmu 0.566 g.

Ziemas kviešu galveno sakņu garums. Ziemas kviešu saknes 2005. gada rudenī bija būtiski ($P < 0.05$) garākas nekā 2006. gada rudenī. 2005. gada rudenī būtiskas sakņu garuma atšķirības bija vērojamas nogāzes lejasdaļas zemākajos punktos, kur sakņu garums bija būtiski garāks (14.38 cm) un nogāzes pakājes pēdējos punktos, kur tas bija būtiski īsāks (12.44 cm). Analogas sakarības konstatētas arī 2006. gada rudenī starp abām ūdens noteces grupām. Savukārt starp pirmajām trijām ūdens noteces grupām abos pētījuma gados nebija būtisku atšķirību.

Ziemas kviešu karoglapas laukums. Ziemas kviešu karoglapas laukums būtiski ($P < 0.05$) lielāks bija 2007. gadā salīdzinot ar 2006. gadu. 2006. gadā būtiski zemāks karoglapas laukums bija nogāzē ar noteci uz pakāji ar dubultsateci 14.7 cm², bet būtiski augstāks - nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci 17.9 cm². 2007. gadā būtiski zemāks ziemas kviešu karoglapas laukums bija paugura virsotnē - 15.6 cm², bet būtiski augstāks - nogāzes lejasdaļas zemāko punktu pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas 17.9 cm².

Karoglapas laukums lielāks bija 2007. gadā, savukārt ziemas kviešu raža lielāka bija 2006. gadā. Aprēķinu rezultāti liecināja, ka, jo lielāks karoglapas laukums, jo augstāka raža. To iespējams var skaidrot ar meteoroloģiskajiem apstākļiem veģetācijas periodā. Lai arī 2007. gads raksturojās ar pārlietu mitru vai pietiekamu mitruma daudzumu augsnē (pēc HTK), tas tomēr nelabvēlīgi ietekmēja ziemas kviešu ražu.

Pētījuma laikā konstatēts, ka no trijām izdalītajām ražu grupām karoglapas laukuma būtiskā ietekme ($P < 0.05$) uz ziemas kviešu ražu bija pie augstākā ražu līmeņa, t.i. virs 7.00 t ha⁻¹, $r_{yx} = 0.436$ un $r_{xy} = 0.461$ (6. tabula). Pie ražu grupām līdz 7.00 t ha⁻¹ karoglapas laukuma būtiskā ietekme uz ziemas kviešu ražu netika konstatēta.

**Ziemas kviešu karoglapas laukuma (x) sakarību ar ražu (y)
vērtējums ražu lieluma grupās**
*Evaluation of interconnection between area of winter wheat flag leaf
(x) and yield (y) in yield groups*

Parciālās korelācijas varianti / <i>Partial correlation</i>	Ražu grupas / <i>Yield groups</i>	r_{yx}	P vērtība / <i>value</i>
Izslēdzot augstuma atšķirību ietekmi / <i>Excluding the effect of height differences</i>	< 5.00 t ha ⁻¹	0.222	0.2044
	5.00 - 7.00 t ha ⁻¹	-0.171	0.1281
	> 7.00 t ha ⁻¹	0.436	0.0400
Neizslēdzot augstuma atšķirību ietekmi / <i>Not excluding the effect of height differences</i>	< 5.00 t ha ⁻¹	0.228	0.1896
	5.00 - 7.00 t ha ⁻¹	-0.097	0.2580
	> 7.00 t ha ⁻¹	0.461	0.0271

Pozitīvo un būtisko karoglapas laukuma nozīmi nemazināja arī parciālās korelācijas aprēķinos punktu augstuma atšķirību ietekmes izslēgšana.

Ziemas kviešu raža. Platību sadalījumu ūdens noteces grupās un atsevišķu grupu teritoriālā attēlojuma lietderīgums vērtēts pēc ziemas kviešu ražu atšķirībām. Ziemas kviešu ražas dati 2006. un 2007. gadā liecināja, ka būtiski ($P < 0.05$) augstāka ziemas kviešu raža bija 2006. gadā, kas raksturojās ar pazeminātu nokrišņu daudzumu. 2006. gada ražu dati liecināja, ka būtiski augstāka ziemas kviešu raža 8.64 t ha⁻¹ bija nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci, ko raksturoja trūdainā kūdrainā glejaugsne un nogāzes lejasdaļas zemākajos punktos pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas - 7.08 t ha⁻¹, bet viszemākā tā bija paugura virsotnes daļā - 5.42 t ha⁻¹, ko raksturoja tipiskā velēnu karbonātaugsne. Savukārt 2007. gadā, ražu starpība nogāzes vidusdaļā un nogāzes lejasdaļā ar sateci uz vaļējo meliorācijas sistēmu un dubultsateci nebija būtiska. Analogi kā 2006. gadā viszemākā tā bija paugura virsotnes daļā - 4.31 t ha⁻¹.

Augsnes agroķīmisko rādītāju ietekme uz ziemas kviešu ražu. Būtiska ietekme uz ziemas kviešu ražu abos pētījuma gados bija organisko vielu saturam (7. tabula), 2006. gadā organisko vielu saturs $r_{yx} = 0.406$ ($P < 0.01$) un 2007. gadā - $r_{yx} = 0.302$ ($P < 0.05$).

Augsnes agroķīmisko rādītāju ietekme uz ziemas kviešu ražu
The effect of soil agrochemical indices on winter wheat yield

Augsnes agroķīmiskie rādītāji / Soil agrochemical indices	2006. g. ražai / Yield		2007. g. ražai / Yield	
	r_{yx}	P vērtība / value	r_{yx}	P vērtība / value
Organisko vielu saturs / Organic matter content	0.406	0.0077	0.302	0.0195
pH KCl	0.132	0.2241	0.181	0.1121
P ₂ O ₅	-0.083	0.6375	0.169	0.2572
K ₂ O	0.052	0.7682	0.033	0.8246

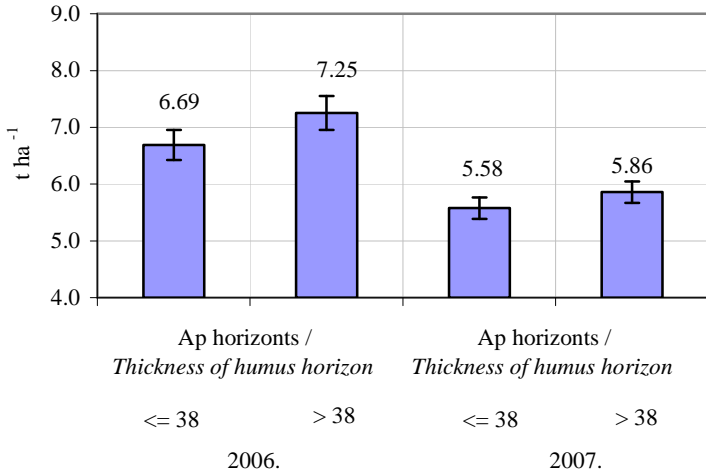
Pārējiem agroķīmiskajiem rādītājiem būtiska ietekme uz ziemas kviešu ražu netika konstatēta.

Tehniskās iespējas mazināt augsnes neviendabīguma ietekmi

Datu grupēšana pēc humusa akumulācijas horizonta biezuma. Datu ranžēšana un grupēšana pēc Ap horizonta biezuma ļāva konstatēt, ka ziemas kviešu raža abos pētījuma gados bija būtiski augstāka pie palielināta virs vidējā visā platībā Ap horizonta biezuma (2. att.), pie kam 2006. gadā ziemas kviešu raža pie lielāka Ap horizonta biezuma (7.25 t ha⁻¹) bija būtiski ($P < 0.05$) augstāka nekā 2007. gadā (5.86 t ha⁻¹). Platību daļās ar palielinātu organisko vielu saturu un lielāku Ap horizontu bija arī pazemināta augsnes penetrometriskā pretestība 40 - 50 cm dziļumā.

Izmantojot par augsnes pamatapstrādes diferences kritēriju Ap horizonta biezuma vidējo vērtību 38 cm, platība, kur ar zemu ražošanas risku iespējama apstrādes dziļuma samazināšana sastādītu 47.9% no kopējās, pie kam risks pret iespējamo ražu samazināšanos tiek pilnībā nodrošināts. To apstiprina arī tas, ka ziemas kviešu ražas abos pētījuma gados platību daļās ar palielinātu virs vidējā Ap horizonta biezumu bija būtiski augstākas nekā platību daļā ar Ap horizonta biezumu zem vidējā.

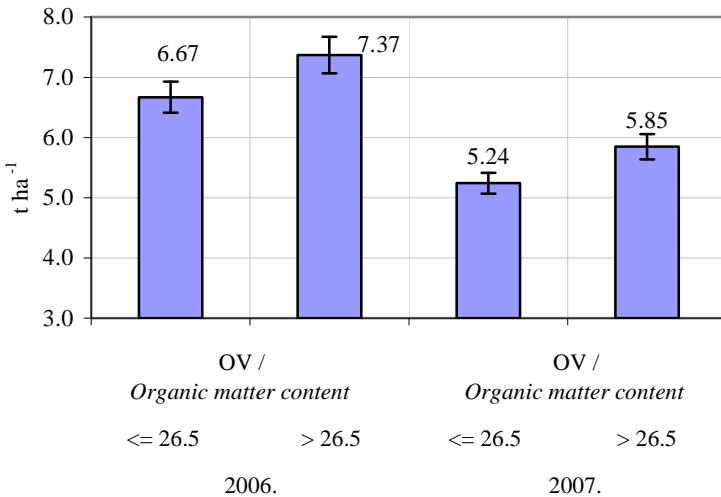
Kritēriju lietojuma izvēlei par augsnes apstrādes dziļuma samazināšanu izmantoti iepriekšējo gadu no 2001. līdz 2010. gadam pētījumu rezultāti no MPS „Vecauce”, kā arī LLU Laukkopības katedras pētījumu rezultātu apkopojums par resursus taupošām augsnes apstrādes sistēmām (Lapinsh, Berzinsh, Gaile et al., 2001; et al.).



Ap horizonta biezuma, cm, daļījuma grupas un gadi /
 Thickness of humus horizon, cm, division groups and years

2. att. Ziemas kviešu raža, t ha⁻¹, atkarībā no Ap horizonta biezuma augsnē, par diferences kritēriju izmantojot vidējo rādītāju 38 cm.
 Fig. 2. Winter wheat yield, t ha⁻¹, depending on thickness of humus horizon in soil; difference criteria is the average index 38 cm.

Datu grupēšana pēc organisko vielu satura augsnē. Pētījumā no ziemas kviešu ražu veidojošiem faktoriem organiskās vielas satura atšķirības līdztekus Ap horizonta biezumam bija tie faktori, kuriem lēmumu pieņemšanas sistēmā par augsnes apstrādes diferenci bija būtiska nozīme raugoties no ziemas kviešu ražu lieluma (3. att.). Datu ranžēšana un grupēšana divās pamatgrupās: virs un zem vidējā organisko vielu satura lāva konstatēt, ka ziemas kviešu raža abos pētījuma gados bija būtiski augstāka pie palielināta, virs vidējā visā platībā organiskās vielas satura augsnē (> 26.5 g kg⁻¹), bet būtiski lielākas ražas datu atšķirības sekmēja gadi saistībā ar meteoroloģiskajiem apstākļiem (3. att.).



Organisko vielu saturs, g kg⁻¹, daļjuma grupas un gadi /
Organic matter content, division groups and years

3. att. Ziemas kviešu raža, t ha⁻¹, atkarībā no organiskās vielas (OV) satura augsnē, par diferences kritēriju izmantojot vidējo rādītāju 26.5 g kg⁻¹.

Fig. 3. Winter wheat yield, t ha⁻¹, depending on organic matter content in soil; difference criteria is the average index 26.5 g kg⁻¹.

Platību daļa, kur būtu iespējama augsnes apstrādes dziļuma samazināšana sastādītu 34.6% no pētījumā iekļautās platības, ja kā augsnes pamatapstrādes dziļuma diferences kritēriju Kurpnieku laukā lietotu organisko vielu vidējo saturu, kas bija 26.5 g kg⁻¹.

Datu grupēšana pēc augsnes reakcijas. Pēc augsnes reakcijas digitālās kartogrammas datiem, Kurpnieku laukā no piecām augsnes reakcijas grupām dominēja trīs. Augsnes reakcijas grupa - normāla sastādīja 78.5%, vāji skāba - 17.2% un vidēji skāba - 4.4%. Kartogramma pamato, ka uzturošā kaļķošana nav jāveic, ja augsnes reakcija virs 6.3 pie granulometriskā satura sM un organisko vielu saturs < 50 g kg⁻¹. Laukā 4.4% jāveic pamatkaļķošana, kur pH vidēji skāba, granulometriskais sastāvs sM un organisko vielu saturs šajos punktos 19 un 21 g kg⁻¹ pēc normatīviem paredz, ka nepieciešamā kaļķu norma vidēji 4.25 - 5.05 t ha⁻¹ tīrs sauss CaCO₃.

Datu grupēšana pēc augiem izmantojamā fosfora satura.

Pēc augiem izmantojamā fosfora satura digitālā kartogramma parāda, ka Kurpnieku laukā no piecām augiem izmantojamā fosfora satura grupām dominēja trīs. Augiem izmantojamā fosfora satura grupa - ļoti augsta sastādīja 48.5%, augsta - 46.2% un vidēja - 5.4%. Tas pamato to, ka laukā 4.4% no platības nepieciešams izlīdzināt augsnes reakciju, kā rezultātā uzlabosies fosfora saturs augsnē, jo skābā augsnē augi to nespēj uzņemt. Pēc augsnes reakcijas izlīdzināšanas iespējams veikt fosfora mēslojuma normu diferenci audzētajiem kultūraugiem.

Datu grupēšana pēc augiem izmantojamā kālija satura.

Augiem izmantojamā kālija satura digitālā kartogramma parāda, ka Kurpnieku laukā no piecām augiem izmantojamā kālija satura grupām dominēja trīs. Augiem izmantojamā kālija satura grupa - ļoti augsta sastādīja 0.8%, augsta - 47.9% un vidēja - 51.3%. Arī kālija mēslojuma normas iespējams diferencēt pēc kālija nodrošinājuma satura augsnē un audzējamā kultūrauga. Galvenais faktors, kas noteica kālija un arī fosfora satura atšķirības aramkārtā bija augsnes mezoreljeļa izraisītās nokrišņu ūdens plūsmas darbības rezultāts. Aramkārtā tas vidēji četrās augsnes monitoringa līnijās bija būtiski zemāks platību daļās, kuras raksturojas ar noteces iespēju vaļējā meliorācijas sistēmā nekā ūdens šķirtnes punktos.

SECINĀJUMI

1. Neviendabīga reljefa apstākļos paugura virsotnes ūdensšķirtnes daļā 0 - 20 cm slānī konstatēts augstāks P_2O_5 un K_2O saturs, nekā nogāzē ar noteci uz vaļējo meliorācijas sistēmu. Nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci bija augstāks K_2O un organisko vielu saturs, kā arī P_2O_5 saturs. Savukārt tikai 4.4% nogāzē ar noteci uz pakāji ar vaļējo meliorācijas sistēmu no pētījuma platības bija ziemas kviešiem neatbilstoša augsnes reakcija.

2. Ziemas kviešu raža pozitīvi korelēja ar augsnes mitrumu, bet negatīvi ar penetrometrisko pretestību. Paugura virsotnes daļā 30 - 40 cm augsnes slānī penetrometriskā pretestība bija lielāka sausā - 2006. gada (512 N cm^{-2}) nekā pietiekama mitruma 2007. gada pavasarī (317 N cm^{-2}). Rudenī un arī pavasarī augsnes mitruma saturs zemāks bija paugura virsotnes daļā, nekā nogāzes pakājes punktos ar izteiktu dubultsateci.

3. Parciālo korelāciju sakarību izpētē starp augsnes mitrumu, augsnes pretestību un ražu, kā izslēguma faktoru izmantojot augsnes mitrumu, augsnes penetrometriskās pretestības ietekme uz ziemas kviešu ražu vairs netika konstatēta, jo palielinoties augsnes mitrumam augsnes penetrometriskā pretestība samazinājās. Augsnes penetrometriskās pretestības mērījumu zemaramkārtā izmantošanas lietderību digitālo kartogrammu sastādīšanai augsnes dziļirdināšanas diferencei nosaka izvēlētais novērojumu laiks, ar pamatkritēriju, lai augsnes mitrums nebūtu augstāks par 20%.

4. Par augsnes pamatapstrādes diferences kritēriju izmantojot Ap horizonta biezuma vidējo vērtību - 38 cm, platība, kur ar zemu ražošanas risku iespējama augsnes apstrādes dziļuma samazināšana sastādītu 47.9% no pētījumā iekļautās platības. Savukārt, ja par augsnes pamatapstrādes diferences kritēriju izmantotu organisko vielu vidējo saturu - 26.5 g kg^{-1} , platība, kur ar zemu ražošanas risku iespējama augsnes apstrādes dziļuma samazināšana sastādītu 34.6% no pētījumā iekļautās platības.

5. Augstāka ziemas kviešu raža bija 2006. gadā, kas raksturojās ar pazeminātu nokrišņu daudzumu visā veģetācijas periodā. Netika konstatētas būtiskas atšķirības ziemas kviešu dīgstu skaitam un cerošanas koeficientam atkarībā no reljefa. Ziemas kviešu galvenās saknes, kā arī kviešu auga masa pietiekama mitruma 2005. gada rudenī bija būtiski lielāka nekā pārlietu mitrā 2006. gada rudenī.

6. Augsnes mitruma atšķirībām pavasarī 20 - 25 un 40 - 45 cm augsnes slānī pētījuma gados bija būtiski pozitīva ietekme uz ziemas kviešu karoglapas laukuma lielumu un ziemas kviešu ražu. Parciālo korelāciju sakarību izpētē starp ziemas kviešu karoglapas laukumu un ražu, kā izslēguma faktoros izmantojot punktu augstumu vai arī augsnes mitrumu, konstatēts, ka šo izslēguma faktoru atšķirības mazina karoglapas ietekmes pozitīvo nozīmi uz ziemas kviešu ražu.

7. Atšķirīga reljefa un augšņu apstākļos ziemas kviešu audzēšanas tehnoloģijas iespējams optimizēt attiecībā uz augsnes agroķīmiskajām īpašībām: skābumu, P_2O_5 un K_2O saturu. Augsnes pamatapstrādi principā iespējams optimizēt ņemot vērā Ap horizonta biezumu un organisko vielu saturu.

ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA / APPROBATION OF THE SCIENTIFIC PAPER

Publikācijas / Publications

1. Лапиньш Д., Динабурга Г., Плуме А., Вилде А., Берзиньш А., Ручиньш А., Королева Е. (2009) Исследование эффективности точного земледелия и проблемы его внедрения в производство. **В кн.:** *Материалы 6-й международной научно-практической конференции: „Экология и сельскохозяйственная техника“*. 13 - 14 мая 2009 г., Санкт-Петербург, с. 16 - 22.
2. Dinaburga G., Lapins D. (2009) The Impact of Soil Penetration Resistance on Winter Wheat Yield and Development. **In:** *Proceedings of 15th International Scientific Conference „Research for Rural Development 2009“*, Jelgava: LLU, May 20 - 22, 2009. p. 50 - 56.
3. Dinaburga G., Lapiņš D., Bērziņš A. (2009) Neregulējamo faktoru ietekme uz ziemas kviešu augšanu un attīstību. **No:** *VII starptautiskās zinātniski praktiskās konferences materiāliem „Vide. Tehnoloģija. Resursi.”* 1. sējums, Rēzekne: Rēzeknes augstskola, 25. - 27. jūnijs 2009, 92. - 99. lpp.
4. Dinaburga G., Lapiņš D. (2009) Augsnes agroķīmisko rādītāju ietekme uz ziemas kviešu augšanu un ražu. **No:** *Zinātniskā semināra „Ražas svētki Vecauce - 2009: Latvijas Lauksaimniecības universitātei - 70” rakstu krājums*, Jelgava, LLU, 30. - 33. lpp.
5. Dinaburga G., Lapiņš D., Kopmanis J. (2010) Evaluation of effect of unregulated factors on development and yield of winter wheat. **In:** *Proceedings of the 38th International Symposium on Agricultural Engineering „Actual Tasks on Agricultural Engineering”*, Opatija, Croatia, February 22 - 26, 2010. Ed. by S. Košutić. No. 38, p. 225 - 234.
6. Lapiņš D., Dinaburga G., Kopmanis J., Bērziņš A. (2010) Assessment of statistical description, linear relationships and technological optimization for sowing depth of winter wheat as yield affecting factor. **In:** *Proceedings of the 4th International Scientific Conference „Applied Information and Communication Technologies”*, Jelgava: LLU, April 22 - 23, 2010. p. 102 - 109. **(Diskā)**
7. Dinaburga G., Lapins D., Kopmanis J. (2010) Effect of differences in soil moisture to winter wheat yield. **In:** *Proceedings of 16th International Scientific Conference „Research for Rural Development 2010”*, Jelgava: LLU, May 19 - 21, No. 1. 2010. p. 22 - 27.

8. Dinaburga G., Lapiņš D., Kopmanis J. (2010) Differences in soil agrochemical indicators of winter wheat in importance to technological reasons for the difference mapping. *In: Proceedings of 9th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*, Jelgava: LLU, May 27 - 28, 2010. p. 79 - 84.
9. Dinaburga G., Lapiņš D., Berzins A., Kopmanis J., Plume A. (2010) Interconnection of altitude of stationary GPS observation points and soil moisture with formation of winter wheat grain yield. Risks in agriculture: „Environmental and Economic Consequences”, Tallinn, Estonia, June 8 - 10, 2010. p. 403 - 408.
10. Dinaburga G., Lapiņš D. (2010) Neregulējamo edafisko faktoru ietekme uz augsnes mitrumu. *No: Zinātniskā semināra „Ražas svētki Vecauce - 2010: Zināšanas - visdrošākais ieguldījums darbam un dzīvei” rakstu krājums*, Jelgava, LLU, 25. - 28. lpp.
11. Лапиньш Д., Динабурга Г., Плуме А., Берзиньш А., Королева Е. (2010) Обоснование, перспективы и проблемы внедрения в производство приемов точного земледелия. *В кн.: Материалы Международной научно-технической конференции: „Внедрение информационных систем, использующих спутниковую навигацию, в технологиях аграрного комплекса. Опыт и перспективы”*. 11 - 12 ноября 2010 г., Беларусь, Гомель. с. 42 - 47.

Referāti konferencēs / Oral presentations

1. Лапиньш Д., Динабурга Г., Плуме А., Вилде А., Берзиньш А., Ручиньш А., Королева Е. Исследование эффективности точного земледелия и проблемы его внедрения в производство. Starptautiska zinātniskā konference „Экология и сельскохозяйственная техника”, Krievija, Sanktpēterburga, 2009. g. 13. - 14. maijs.
2. Dinaburga G., Lapins D. The Impact of Soil Penetration Resistance on Winter Wheat Yield and Development. Starptautiska zinātniskā konference „Zinātne Lauku attīstībai 2009”, Latvija, Jelgava, 2009. g. 20. - 22. maijs.
3. Dinaburga G., Lapiņš D., Bērziņš A. Neregulējamo faktoru ietekme uz ziemas kviešu augšanu un attīstību. Starptautiska zinātniskā konference „Vide. Tehnoloģija. Resursi.”, Latvija, Rēzekne, 2009. g. 25. - 27. jūnijs.
4. Dinaburga G., Lapiņš D. Augsnes agroķīmisko rādītāju ietekme uz ziemas kviešu augšanu un ražu. Zinātnisks seminārs „Ražas svētki ‘Vecauce - 2009’: Latvijas Lauksaimniecības universitātei - 70”, Latvija, Vecauce, 2009. g. 5. novembris.

5. Dinaburga G., Lapiņš D., Kopmanis J. Evaluation of effect of unregulated factors on development and yield of winter wheat. Starptautisks simpozijs Lauksaimniecības inženierzinātnēs „Actual Tasks on Agricultural Engineering”, Horvātija, Opātija, 2010. g. 22. - 26. februāris.
6. Lapiņš D., Dinaburga G., Kopmanis J., Bērziņš A. (2010) Assessment of statistical description, linear relationships and technological optimization for sowing depth of winter wheat as yield affecting factor. Starptautiska zinātniskā konference „Applied Information and Communication Technologies”, Latvija, Jelgava, 2010. g. 22. - 23. aprīlis.
7. Dinaburga G., Lapiņš D., Kopmanis J. Effect of differences in soil moisture to winter wheat yield. Starptautiska zinātniskā konference „Zinātne Lauku attīstībai 2010”, Latvija, Jelgava, 2010. g. 19. - 21. maijs.
8. Dinaburga G., Lapiņš D., Kopmanis J. (2010) Differences in soil agrochemical indicators of winter wheat in importance to technological reasons for the difference mapping. Starptautiska zinātniskā konference „Engineering for Rural Development”, Latvija, Jelgava, 2010. g. 27. - 28. maijs.
9. Dinaburga G., Lapiņš D., Berzins A., Kopmanis J., Plume A. Interconnection of altitude of stationary GPS observation points and soil moisture with formation of winter wheat grain yield. Starptautiska zinātniskā konference „Environmental and Economic Consequences”, Igaunija, Tallina, 2010. g. 8. - 10. jūnijs.
10. Лапиньш Д., Динабург Г., Плуме А., Берзиньш А., Королева Е. Обоснование, перспективы и проблемы внедрения в производство приемов точного земледелия. Starptautiska zinātniskā konference „Внедрение информационных систем, использующих спутниковую навигацию, в технологиях аграрного комплекса”, Baltkrievija, Gomeļa, 2010. g. 11. - 12. novembris.

Stenda referāti / Poster presentations

1. Dinaburga G., Lapiņš D. Neregulējamo edafisko faktoru ietekme uz augsnes mitrumu. Zinātnisks seminārs „Ražas svētki ‘Vecauce - 2010’: Zināšanas - visdrošākais ieguldījums darbam un dzīvei”, Latvija, Vecauce, 2010. g. 4. novembris.

INTRODUCTION

Geographically Latvia is located in the area advantageous for crop growing. Grain-farming has always been and will remain a priority in the territory of Latvia, taking into account the peculiar role of grain products into the overall food balance sheet.

Wheat belongs to one of the oldest cultivated plants, to one of the most widely grown and most valuable grains. Winter wheat is a plant that likes temperate climate and it is a plastic cultivated plant, suitable for growing in different conditions. According to statistical data in 2009 and 2010 drilled areas of winter wheat in Latvia were 212.4 and 221.3 thousand ha.

Soils in Latvia are highly heterogeneous, their fertility and productivity is also varying. Very often in the borders of one farm there are areas with different soil grading composition, different organic and plant nutrient content. Often newly acquired areas are combined with cultivated areas, wherewith soil characteristics differ in different field areas. With a proficient management it is possible to even out this soil heterogeneity and to obtain good yields in the whole field.

Present research results in other European Union (EU) countries, including Latvia, show that there are research results accumulated on the effect of soil condition (volume weight, density of topsoil layers, organic matter content, grading composition, thickness of topsoil, and others) on grain yields, as well as the description of these factors is given, regarding theoretical aspects of possibilities of tillage differences. In Latvia has collected data on the effect of soil conditions on grain yields taking into account the only difference principle of flattened field's mezo-relief and indices mentioned before, but this data and their professional interpretation in production conditions is with limited repeating possibilities and with wide variation of factors mentioned before. There is relatively few data on the evaluation of the effect of height above sea level, as well as relief form as a factor on the development of grain, without any recommendations on radical changes of the relief form.

Only during recent years owing quality changes of instrumental provision of agro-physical characteristic investigation, researches on soil moisture, as a factor creating yield differences with a sufficient number of repetitions have been carried out.

Latvia University of Agriculture Soil and Plant Science Institute recent research results showed that the establishment of decision support system under the conditions of factor co-linearity is not an easy process. Research methodology, more suitable for production

conditions, was approbated, using global positioning (GPS) and local geographical information system (GIS), but in the group of basic indices of soil agro-physical characteristics, determination of topsoil layer density was replaced

with more operative data on soil penetrometric resistance differences and determination of soil moisture using sensor technologies. Under the conditions of production it facilitates decision making on processing differences and choosing of more appropriate criteria.

Scientific activities of companies and universities in European Union and also United States of America has led to provision of software and sensor mechanics of yield maps, programs made for local GIS needs for making digital maps, including those for implementation of differences of technology. As a result of some EU universities activities (Bonn, Kiel, and other) modules for technology difference performance, by using GPS, have been manufactured. Its mechanical transfer to conditions of Latvia is not professionally and scientifically proven because of different meteorological and soil conditions.

Hypothesis

Heterogeneity of relief and variations of soil characteristics significantly affect formation of yield, but its effect can be decreased by applying precise agricultural technologies.

Aim of the research to clarify the effect of heterogeneity caused by relief and soil characteristics on winter wheat yield, with the aim to differentiate agricultural technologies, by using global positioning (GPS) and geographical information systems' (GIS) elements.

Investigation tasks:

1. to clarify the effect of relief on soil agrochemical and agro-physical characteristics, and heterogeneity of fields caused by these variations;
2. to clarify the effect of field heterogeneity on winter wheat yield;
3. to evaluate technical possibilities to gradually flatten the effect of field heterogeneity.

Novelty of investigations:

1. the effect of heterogeneity caused by relief and soil characteristics on forming of winter wheat yield has been clarified;

2. possibilities to diminish the effect of soil and relief heterogeneity using GPS and GIS has been evaluated;
3. possibilities to apply partial correlation analyses in soil heterogeneity impact evaluation have been assessed.

Research results are collected and reflected in 9 publications in Latvian, English and Russian languages, including reviewed international publications of international conferences, symposiums, and scientific seminars. Research results have been reported in 10 oral and 1 poster presentations in international scientific conferences.

Research has been carried out owing the funding of Latvia Scientific Board project No. 09.1448 and Ministry of Education and Science project No. 06.6-xi 13.

Research has been developed with support of European Social Fund activity “Support to Doctoral studies” project “Support to the implementation of LLU doctors”. Contract No. 2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017.

MATERIALS AND METHODS

The field experiment basis was Latvia University of Agriculture Research and Study Farm „Vecauce”, where a trial was established in 2004 in the field Kurpinieki, where 47 stationary observation points (50 × 50 m) were set aside with GPS in spring in a winter rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera*) sowing. During the next two years (2005 and 2006) winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar ‘Tarso’ has been grown for seed production.

Palmtop computer Garmin iQ 3600 with AGROCOM software AgroMAP Professional was used in determining point coordinates, allowing to determine points in field conditions with the preciseness ± 3 m, and to determine field outline - borders. Information from the palmtop computer has been transferred to laptop by using specialized computer software AgroMAP Professional. After measuring data input in the software, cartograms on plant nutrition element content, soil moisture content, soil penetrometric resistance in different depths, on yield, etc., have been obtained. All digital cartograms were with longitude and latitude degree coordinates. After yield map establishment, next information collection stages followed for field characterisation and for determining causes of yield difference.

In the stationary observation points such indices have been determined: soil moisture, % from soil pore total capacity, in soil layers

from 0 until 45 cm (0 - 5; 20 - 25; 40 - 45). Soil moisture during autumn 2005 and 2006 was determined in the soil layer from 0 - 5 and 20 - 25 cm, but during spring 2006 and 2007 in three depths. Moisture content in soil was determined with moisture meter HH2 (Moisture Meter Version 2.1), in 3 replications, in every observation point. Measuring error of the equipment was $\pm 3\%$. Moisture meter is of sensor type, and after deepening into soil it fixes moisture content of corresponding soil layer and data are registered onto the display of the device.

Soil penetrometric resistance, $N\ cm^{-2}$, is determined in soil layers from 0 until 50 cm (0 - 10; 10 - 20; 20 - 30; 30 - 40; 40 - 50) with Eijkelkamp hand penetrometer, in 4 replications in every observation point. Hand penetrometer is indicative measuring device for measuring soil penetrometric resistance. Measuring error of the device was $\pm 8\%$. Removable end caps 1 or 2 are used depending on soil density, maximum measuring depth without drilling was 50 cm. By steadily pushing on the handles of the penetrometer with a constant speed of $2\ cm\ s^{-1}$, cone is deepened in soil and the specific measurement is read. Soil moisture and penetrometric resistance are determined in autumn after the sowing of winter wheat and again in spring after renewal of vegetation - BBCH 11-12 and BBCH 25-29 (plant development stages).

Soil grading composition, in research described with soil particles $< 0.01\ mm$, has been determined in field conditions with the field method. Soil has been moistened to a state of thick paste; a ball has been made between the palms, from the ball a stick, from which a ring has been made. Soil grading composition has been determined depending on the look and resistance of the ball, stick and the ring.

Humus accumulation horizon - (Ap) has been determined in field conditions.

The starting depth (cm) of carbonates has also been determined. Soil grading composition, density of Ap horizon and the starting depth of carbonates have been determined in every observation point in 3 places, during spring 2005.

Height of points above sea level (asl), m, has been determined by using a measuring device Trimble GeoXT with the precision of 0.5 m in every observation point during spring 2009.

Using principle of randomisation 10 winter wheat plants have been dug out in every observation point. Plant samples have been taken in autumn at BBCH 11-12 and in spring after renewal of vegetation at BBCH 25-29, and afterwards analysed under laboratory conditions. Number, pieces on m^2 (under field conditions with a frame $0.20 \times 0.50\ m$) of sprouts of every plant has been determined in autumn. The length of

main roots, cm (by measuring the length of the main root with a ruler), was determined also in autumn, and plant mass, g (with a weighing method) was determined in autumn and spring. Tillering coefficient was determined in spring. Parameters for every plant have been analysed and the average value has been calculated.

Within the research also the winter wheat flag leaf has been analysed by using a scanner and specialised computer software WinFOLIA. Area, cm², of the winter wheat flag leaf has been determined in every observation point for 5 main stems at BBCH 43-45.

Winter wheat had been harvested with a grain harvester “CLAAS LEXION 420”, equipped with two sensors that counted the volume of threshed mass and determined its moisture during harvesting. Measurements of grain moisture sensors have been controlled and compared in grain first stage processing point before drying with moisture meter Supertech Agroline. Before the first stage processing of yield its cleanness has been determined. For the creation of yield map source material from automated CLAAS system with 6 × 20 m GPS sensor has been used. Analysis of grain yield map coherences has been created on the basis of information (yield data submitted with 100% cleanness and 14% standard moisture) link with moisture and cleanness indices of threshed mass that has been saved and afterwards corrected in the combine’s central electronic control system; data processing has been done with a computer software AgroMAP Professional that has helped also in creation of digital cartograms.

Soil samples from topsoil for agrochemical analyses have been taken with a probe to determine phosphorus and potassium content, mg kg⁻¹, as well as organic matter, g kg⁻¹, and soil reaction pH KCl in the depth of 20 cm. Samples for average sample creation have been taken on August 14, 2006 after harvesting, in every observation point, in 3 replications. Soil sample analyses have been done in the laboratory of VSIA “Agrochemical Research Centre”. Phosphorus and potassium content available for plants has been determined by using Egner - Rima (DL) method (LV ST ZM 82 - 97). Organic matter content has been photometrically determined with Tjurin method (LV ST ZM 80 - 97). Soil reaction has been potentiometrically determined in 1 M KCl suspension (LV ST ZM 81 - 97; LVS ISO 10390:2002).

For the general description of soils in the field, three deep soil detritions have been dug on August 23 and 24, 2010. On the top part of the field: typic sod-calcareous soil (*Hypocutani-Hypocalcic Luvisol (Hypochromic)*), in the middle slope part of the hummock to confluence: typic sod-calcareous soil with indications to top gleying in the soil layer of 122 - 181 cm (*Bathystagni-Luvic Phaeozem (Abruptic, Calcaric)*) and

on the lower part of the hummock with confluence: mucky-humus gley soil (*Ombri-Sapric Histosol (Hypereutric)*).

Five water cumulative flow groups have been taken as the basis for analyses of results: highest watershed; slope to double catchment and open drainage system; slope lowest points before open drainage system and slope final points before double catchment area, where 4 - 21 points are included, characterising soil heterogeneity and the effect of relief differences in field Kurpnieki. Calculations show no significant differences between slope inclinations in flow groups, therefore this index has not been used in data analyses.

Mathematical data processing was done using Microsoft Excel and SPSS data processing software, performing descriptive statistics, correlations and partial correlation analyses. Indices of humus accumulation horizon density and soil organic matter content have been grouped in 2 value categories: below average and above average value. Yield cartogram data have been taken as the basis of division into yield groups.

RESULTS AND DISCUSSION

The effect of relief on differences of soil agrochemical properties

Organic matter content in soil. Description point height was of primary meaning in moraine hummocks with waterless depressions between hummocks in conditions of Latvia. They included such elements - highest watershed, slope to double catchment area and open drainage system, and with an explicit double catchment area (depressions). During the research differences, which have been established during the course of time, in soil organic matter content and Ap horizon density appeared; these are associated with soil erosion processes in hummocks.

After the division of slope points, highest watershed was characterised with a significantly higher height above sea level (asl) - 103.1 m, by gradually decreasing in the slope direction and reaching its lowest height at the bottom of the slope to open drainage system - 94.5 m, asl. In the field Kurpnieki organic matter content in the last slope points with double catchment area was 47.0 g kg^{-1} , significantly higher ($P < 0.05$) than in the top points - 21.5 g kg^{-1} . But differences of organic matter content in slope to double catchment area, open drainage system and in slope before open drainage system were insignificant.

Significantly higher soil organic matter content in slope before double catchment area can be explained with the fact that organic matter

content as a result of agro-technical erosion and water flow had been brought down from the top points to the lowest points. In these areas it was two times higher than in the top points. Higher moisture content was in the micro depression, in the slope before double catchment area that further contributed to soil heterogeneity, because different soil types had been established in the field as a result of increased moisture. Highest dispersion of organic matter content indices was between water run-off point placement groups.

Soil reaction. In the slope to open drainage system a significantly lower soil reaction pH KCl 6.5 than to double catchment area pH KCl 6.8 has been stated. There were the only significant differences. Soil reaction in 0 - 20 cm soil layer in all slope groups was characterised as normal, because soil reaction was greater than 6.3. In the slope with and before open drainage system soil reaction was lower than in the other three water run-off groups, which can be explained by differences in the depths of carbonate beginning. It also substantiates the presumption that it is possible to carry out a differentiated soil maintenance liming.

Content of potassium useful for plants. Significantly ($P < 0.05$) higher potassium content (234 mg kg^{-1}) in topsoil 0 - 20 cm layer has been stated in slope before double catchment area. In highest watershed the potassium content was significantly higher 211 mg kg^{-1} , than in slope to open drainage system - 155 mg kg^{-1} . The significantly lowest K_2O content - 140 mg kg^{-1} in 0 - 20 cm soil layer has been stated in slope before open drainage system.

Potassium content in soil was higher in highest watershed and in slope before double catchment area, that could be explained with more clay particles. Potassium is mobile and with rain water it flushes in deeper soil layers. Low potassium content 140 mg kg^{-1} in slope before open drainage system can be explained with the fact that all processes are more intense near the open drainage system (drain away) than in double catchment area where the processes take longer period of time.

Content of phosphorus useful for plants. Significantly ($P < 0.05$) higher P_2O_5 content in 0 - 20 cm soil layer was stated in the highest watershed - 285 mg kg^{-1} and in slope before double catchment area - 274 mg kg^{-1} . Significantly lower P_2O_5 content - 164 mg kg^{-1} - was stated in lowest slope points before open drainage system (Fig. 1).

The effect of relief on differences of soil agro-physical properties

Soil particles < 0.01 mm. Characterisation of soil particles < 0.01 mm indicates that their content was significantly lower in slope to double catchment area (20.2), but it was significantly higher (33.3.) in the highest watershed. Soil grading composition had an effect on receiving of phosphorus and on the efficiency of deposited fertilizer. If the clay particle content in soil increases, also the fixation of phosphorus increases.

Humus accumulation horizon. Humus accumulation (Ap) horizon among water run-off groups was significantly higher (43 cm) in lowest points before open drainage system, but significantly lower (35 cm) in last points before double catchment area. This could be explained with the fact that under impact of agro-technical erosion soil is systematically offset down the slope with agricultural machinery, thus leading to undesirable differentiation and decrease in soil fertility. Difference of Ap horizon density in the highest watershed in comparison with that in lowest points before open drainage system was 7 cm ($P < 0.05$). Also under the influence of wind erosion and precipitation Ap horizon is being drifted from the highest watersheds to the lowest - no significant differences, but tendencies have been noticed. It could be explained with the fact that during previous years this field had not been intensely cultivated.

The effect of soil moisture differences on the development of winter wheat and yield. The order of evaluation of soil moisture influence has been chosen according to winter wheat development, showing it as a summary for the yield 2006 and 2007. It was stated that during autumn, in winter wheat development stages BBCH 11-12, the effect of soil moisture differences on the development of winter wheat characterization indices was significant only in conditions of 2006, characterised with small amount of precipitation (Table 1). Winter wheat development during autumn 2006 was significantly ($P < 0.05$) affected by the length of main root 0 - 5 and 20 - 25 cm in soil layer $r_{yx} = -0.401$ and $r_{yx} = -0.409$.

Evaluation of soil moisture in 2006 showed that soil moisture in 0 - 5 cm soil layer had a significantly positive effect on tillering coefficient of winter wheat $r_{yx} = 0.312$, on the area of flag leaf $r_{yx} = 0.464$ and on the winter wheat yield $r_{yx} = 0.471$, but in 20 - 25 and 40 - 45 cm soil layer on the area of flag leaf $r_{yx} = 0.535$, $r_{yx} = 0.483$ and on winter wheat yield $r_{yx} = 0.371$, $r_{yx} = 0.469$ (Table 2).

There should be sufficient moisture content in soil for grains - during tillering in autumn and during tillering - the beginning of stem elongation in spring. Later a little water deficit in soil is even desirable, which approved also during the research. It is affirmed by hydrothermal coefficients (HTC) calculated during the research. In September 2005 HTC was 0.89 - not sufficient moisture, but in August HTC was 3.07 - too moist, and in October after germination of winter wheat HTC was 1.58 - sufficient moisture. Also in spring, April 2006, after renewal of vegetation HTC was 1.17 - sufficient moisture. During summer months until winter wheat harvesting HTC can be characterised as very dry, but during August HTC was too high - too moist. Sufficient soil moisture had a positive effect on other yield forming elements, especially on the area of flag leaf and the yield itself. Winter wheat yield in 2006 was significantly higher than in 2007.

Evaluation of interconnections in 2007 showed that in soil layers 0 - 45 cm soil moisture had a significantly positive ($P < 0.01$) effect on the area of flag leaf, but in soil layer 40 - 45 cm on root mass $r_{yx} = 0.318$ ($P < 0.05$) and in layers 20 - 25 and 40 - 45 cm on winter wheat yield $r_{yx} = 0.299$, $r_{yx} = 0.340$ ($P < 0.05$).

The results of interconnection research between the differences of soil moisture and area of winter wheat flag leaf showed that during 2006 only when grain yield was above 7 t ha^{-1} soil moisture in depth of 0 - 5 cm ($P < 0.05$) in spring had a positive effect on the area of flag leaf. But during 2007 the effect of soil moisture was significantly high ($P < 0.01$) in all soil layers both during during autumn of sowing year and during spring. This justifies that moisture is important for plants not only in topsoil, but also under topsoil.

Evaluation of the effect of soil heterogeneity indices on differences in soil moisture. The analysis of correlative interconnection showed that interconnections between point height, m above sea level, and soil moisture in both trial years were of common character - increased point height corresponded to decreased soil moisture content that can be explained with precipitation water run-off.

It was stated that from the differences of other three characteristics - density of Ap horizon, soil particles < 0.01 mm and organic matter content - only organic matter content had a significant effect on soil moisture in all soil layers both during autumn and spring. It coincides with the research of S. K. Roy, S. Shibusawa and T. Okayama, that usually a significant correlation between soil moisture and organic matter content is found in subsoil. It was stated that soil particle < 0.01 mm content $r_{yx} = 0.202$ and density of

Ap horizon $r_{yx} = 0.243$ had a significant effect on soil moisture in 20 - 25 cm soil layer in autumn and in spring accordingly.

The interconnection between soil moisture and factors studied is also based on the negative correlation found between the differences of point height above sea level and winter wheat yield (if point height increased, yield decreased) during both research years, and during 2006, when the amount of precipitation was lowest from both research years the credibility level of interconnections was significantly higher ($P < 0.01$). When using partial correlation calculations where the effect of height, m above sea level, is excluded, it was stated that the effect of organic matter content on the differences of soil moisture did not decrease for yield 2006 and 2007.

The negative effect of point height above sea level on the differences of soil moisture was higher under conditions of year 2006 with a decreased amount of precipitation. During spring 2006 the effect of organic matter content on the differences of soil moisture was higher in all soil layers than during autumn, but under conditions of year 2007 - only in spring in soil layer 40 - 45 cm.

Previous characteristics' evaluation of correlative interconnections showed that the differences of soil moisture in 40 - 45 cm soil layer during both research years had a significant and positive effect on winter wheat yield.

It was stated that in all water run-off groups during autumn 2005 in soil layers 0 - 5 and 20 - 25 cm soil moisture was low < 25%, and it was significantly lower ($P < 0.05$) on highest watersheds - 18.9 and 19.2%, but increased significantly in the direction of slope, and was the highest in the last points before double catchment area - 23.2 and 24.1%, respectively. During autumn 2006 soil moisture content in 0 - 5 cm soil layer was significantly higher than in 20 - 25 cm soil layer and analogous to the autumn 2005 - significantly lower in highest watersheds - 24.9 and 22.5%, but gradually increased in the direction of slope. During autumn 2005 soil moisture in 20 - 25 cm soil layer was higher than in 0 - 5 cm layer, but during autumn 2006 it was higher in 0 - 5 cm soil layer than in 20 - 25 cm layer. During both research years significant differences in soil moisture content had been observed.

During spring 2006 and 2007 soil moisture content was significantly lower in 0 - 5 cm soil layer but gradually increased in deeper layers. Analogous to autumn 2005 and 2006, also in spring during both research years moisture content was significantly lower in highest watersheds from 12.6 - 18.3%, but it was significantly higher in points before double catchment area from 17.8 - 23.3%.

The significance of soil heterogeneity indices in creation of soil penetrometric resistance differences. Soil penetrometric resistance is one of soil agro-physical indices that indicates soil compaction and can affect plant development directly, because in soil that is too compacted plant development is inconvenient. During both years of winter wheat growing soil penetrometric resistance changed depending on soil moisture: if moisture content in soil was lower, penetrometric resistance was higher, but if soil moisture content was higher, that directly characterises with rich precipitation during 2007, penetrometric resistance decreased. It depends also on soil layer where the compaction develops, where more moisture accumulates. It should be taken into account that in winter wheat sowings during wintering period under the effect of frost soil penetrometric resistance changes.

Whole factor complex has an effect on soil penetrometric resistance differences, but height above sea level had a priority significance. From the factors included in the research in creation of differences in soil penetrometric resistance in winter wheat sowings in autumn - soil moisture in topsoil in 0 - 5 and 20 - 25 cm $r_{yx} = -0.505$ and $r_{yx} = -0.419$ layers had a significant negative effect ($P < 0.01$). A significant positive effect ($P < 0.01$) was stated in height differences in resistance ($r_{yx} = 0.247$) in 10 - 20 cm layer. Soil penetrometric resistance in this layer was negatively affected by differences ($P < 0.01$) in organic matter content ($r_{yx} = -0.254$) and soil moisture in 20 - 25 cm soil layer - $r_{yx} = -0.193$ ($P < 0.05$).

Calculations of partial correlation (Table 3) excluding the effect of point height, decreased the effect of soil moisture in 0 - 5 cm layer $r_{yx5 \cdot x1} = -0.499$ and in 20 - 25 cm layer $r_{yx6 \cdot x1} = -0.415$ ($P < 0.01$) on soil penetrometric resistance. By using point height as the exclusion factor, the effect of organic matter content on penetrometric resistance in 10 - 20 cm soil layer $r_{yx3 \cdot x1} = -0.177$, decreased credibility level from ($P < 0.01$) to ($P < 0.05$).

Linear correlation calculations on the effect of factors on the creation of soil penetrometric differences in winter wheat sowings in subsoil for yield 2006 in spring showed a high, positively significant ($P < 0.01$) effect of height differences, as well as a negatively significant $r_{yx} = -0.180$ effect of soil moisture in 20 - 25 cm layer.

Partial correlation calculations, excluding point height, did not change the effect of soil moisture in subsoil from 20 to 50 cm on soil penetrometric resistance. No significant interconnections between Ap horizon and soil penetrometric resistance differences were found.

Soil moisture, organic matter content, and density of Ap horizon had correlative interconnections. Their significance

appeared also in the evaluation of soil penetrometric resistance in water run-off groups. Soil penetrometric resistance in the highest watershed (197 N cm^{-2}), in slope to double catchment area (149 N cm^{-2}) and open drainage system (152 N cm^{-2}), in lowest points before open drainage system (133 N cm^{-2}) and before double catchment area (141 N cm^{-2}) during autumn 2005 in 0 - 5 cm layer was significantly ($P < 0.05$) higher than during autumn 2006 in the same soil layer. But in 10 - 20 cm soil layer in slope to double catchment area (252 N cm^{-2}) and to open drainage system (209 N cm^{-2}), and in lowest points before open drainage system (209 N cm^{-2}) soil penetrometric resistance during autumn 2006 was significantly higher than during autumn 2005. Soil penetrometric resistance in 20 - 30 cm soil layer in all water run-off groups was significantly higher during autumn 2005, excluding slope to double catchment area (478 N cm^{-2}), where the resistance was significantly higher during autumn 2006 than in year 2005.

Spring 2006 had a decreased precipitation amount, and in the highest watersheds, in 30 - 40 cm soil layer the soil penetrometric resistance (512 N cm^{-2}) was significantly ($P < 0.05$) higher than during spring 2007 (317 N cm^{-2}). During both research years soil penetrometric resistance was significantly higher in 30 - 40 cm layer than in 20 - 30 cm layer, excluding spring 2007, when soil penetrometric resistance was higher in lowest points before open drainage system (243 N cm^{-2}) in 20 - 30 cm soil layer, not in 30 - 40 cm layer (235 N cm^{-2}). But in layer from 0 - 10, 10 - 20 and 40 - 50 cm no significant differences of soil penetrometric resistance were found.

Taking into account the deep soil loosening before winter wheat sowing in 2005, soil penetrometric resistance has decreased during research years, thus substantiating that there is a dilatory effect. It should be taken into account that before winter wheat in the field winter rape had been grown, which is characterised by a deep root system.

Soil moisture and penetrometric resistance interconnections with yield. Partial correlation coefficients specified the evaluation of factor effect and showed that exclusion of soil penetrometric resistance as a factor increased the effect of soil moisture on winter wheat yield during autumn 2005 and 2006 in soil layers from 0 to 30 cm (Table 4). Analogous interconnection was determined also during spring 2006 and 2007 in 40 - 50 cm soil layer and during 2006 in 0 - 10 cm soil layer. But correlation interconnections without exclusion of factor substantiate the importance of soil moisture in yield formation process. Winter wheat yield was positively affected by soil moisture both during sowing year autumn and spring ($P < 0.05$; $P < 0.01$).

But if soil moisture is used as exclusion factor, no significant effect of soil penetrometric resistance on winter wheat yield had been determined ($P > 0.05$). Correlation interconnections without exclusion factor substantiate the negative effect of soil penetrometric resistance in yield formation process. Winter wheat yield was significantly negatively affected by soil penetrometric resistance during autumn 2005 in 20 - 30 cm soil layer, and during spring 2006 and 2007 ($P < 0.05$) in analogue soil layer.

Interconnections of soil moisture and penetrometric resistance during autumn 2005 and 2006 showed that soil penetrometric resistance in 0 - 10 cm soil layer had not been significantly affected by soil moisture (Table 5). But in 20 - 30 cm soil layer penetrometric resistance was significantly affected ($r_{yx} = -0.291$) by soil moisture during autumn 2005 ($P < 0.05$) and during autumn 2006 both in 0 - 5, and in 20 - 25 soil layer ($P < 0.01$).

Interconnections of soil moisture and penetrometric resistance during spring showed that spring interconnections were more significant than those in autumn. Soil penetrometric resistance was significantly affected in 0 - 10 cm soil layer by soil moisture in 20 - 25 and 40 - 45 cm layer ($P < 0.05$) during spring 2006. Resistance in 20 - 30 cm soil layer was significantly affected by soil moisture from 0 until 45 cm. But no significant interconnections between soil penetrometric resistance and soil moisture in 40 - 50 cm layer were found.

Soil penetrometric resistance in 0 - 10 cm soil layer was significantly affected by soil moisture in layer from 0 until 45 cm ($P < 0.01$) during spring 2007. Resistance in 20 - 30 cm soil layer was significantly affected by soil moisture in 20 - 25 and 40 - 45 cm layers. Significant interconnections between soil penetrometric resistance and soil moisture in 40 - 50 cm soil layer were stated in layer from 0 until 45 cm.

Yield forming elements under conditions of relief differences

Winter wheat germination. Number of winter wheat shoots was significantly lower in the highest watersheds - 307.7 pieces per m^2 , but significantly ($P < 0.05$) higher in slope to double catchment area - 361.2 pieces per m^2 during autumn 2005. But the number of winter wheat shoots was significantly lower in lowest points before open drainage system - 283.0 pieces per m^2 , and significantly higher in lowest points before double catchment area 387.0 pieces per m^2 during autumn 2006. No significant differences were found between the first three water run-off groups during autumn 2006.

Changes in winter wheat germination in autumns of the drilling year can be explained with different meteorological conditions during trial years. Generally evaluating, higher number of winter wheat shoots was in autumn 2006, in October, when the plant samples had been taken - warm weather stimulated the development of winter wheat; air temperature was 9.2 °C, and average amount of precipitation was 71.6 mm.

Coefficient of tillering. One of the winter wheat yield forming elements is tillering coefficient. It was significantly lower on the highest watershed (2.9), but significantly ($P < 0.05$) higher in slope to double catchment area (3.3) and in last points before double catchment area - 3.2 during spring 2006. But data of 2007 show that tillering coefficient was significantly higher in the highest watershed and in last points before double catchment area (2.3), but in other three water run-off groups it was 2.1.

Comparison of tillering coefficient through years shows that it was significantly lower in spring 2007, what can be explained with meteorological conditions, as spring 2007 was late and with increased amount of moisture, and cold. During the third ten-day period of April winter wheat was in tillering stage. The average air temperature in April was 5.2 °C - lowest during research years. But average precipitation was 31 mm and snow had been registered on April 9, delaying the development of winter wheat. It was significantly higher in last points before double catchment area during both research years.

Plant mass of winter wheat. Plant mass of winter wheat was significantly ($P < 0.05$) higher during autumn 2005 than it was during autumn 2006, analogous coherence through years have been noticed for tillering coefficient and root length. It was significantly lower in slope to open drainage system 0.093 g during autumn 2005, but significantly higher on the highest watershed 0.105 g. No significant coherence between winter wheat plant mass in water run-off groups were found during autumn 2006.

Winter wheat plant mass was significantly higher in spring 2007 if compared with autumn indices. In spring 2006 plant mass was significantly higher in slope to double catchment area 0.437 g, but significantly lower in lowest points before open drainage system 0.354 g. In spring 2007 winter wheat plant mass was significantly higher in the highest watershed 0.697 g, but significantly lower in slope to open drainage system 0.566 g.

Root length of winter wheat. In autumn 2005 roots of winter wheat were significantly ($P < 0.05$) longer than in autumn 2006. In autumn 2005 significant differences in root length were noticed in lowest points, where roots were significantly longer (14.38 cm), and in last points of slope, where they were significantly shorter (12.44 cm). Analogous coherences between both water run-off groups have been noticed also in during autumn 2006. But no significant differences between the first three water run-off groups were noticed during both research years.

Area of flag leaf. Area of winter wheat flag leaf was significantly ($P < 0.05$) higher in the year 2007 than in 2006. During 2006 a significantly lower area of winter wheat flag leaf was noticed in slope to double catchment area 14.7 cm², but it was significantly higher in last points before double catchment area 17.9 cm². During 2007 area of winter wheat flag leaf was significantly lower in the highest watershed 15.6 cm², but it was significantly higher in lowest points before open drainage system 17.9 cm².

Area of winter wheat flag leaf was higher during 2007, but winter wheat yield was higher during 2006. Calculation results showed - the higher area of flag leaf, the higher yield. It could be explained with meteorological conditions during vegetation period. Although the year 2007 is characterised as being too moist or having enough moisture in soil (after HTK), it had a negative effect on winter wheat yield.

During the research it was stated that from the three displayed yield groups area of flag leaf had a significant effect ($P < 0.05$) on winter wheat yield, if the yield level was higher, i.e. above 7.00 t ha⁻¹, $r_{yx} = 0.436$ and $r_{yx} = 0.461$ (Table 6). No significant effect of area of flag leaf on winter wheat yield was found in yield groups till 7.00 t ha⁻¹.

The exclusion of the effect of point height differences in partial correlation calculations did not change the positive significance of area of flag leaf.

Winter wheat yield. The area division in water run-off groups and usefulness of territorial representation of separate groups has been evaluated by differences in winter wheat yields. The 2006 and 2007 winter wheat yield data showed that significantly ($P < 0.05$) higher winter wheat yield was obtained in 2006, which was characterised with lower amount of precipitation. The 2006 yield data showed that a significantly higher winter wheat yield 8.64 t ha⁻¹ was obtained in last points before double catchment area, which is characterised with humus peaty gleyic soil, and in lowest points before open drainage system 7.08 t ha⁻¹, but it was the lowest in the highest watershed 5.42 t ha⁻¹,

which is characterised with typical turf carbonate soil. But there were no significant differences between yields in slope to open drainage system and to double catchment area in 2007. Analogous to 2006, it was the lowest in the highest watershed 4.31 t ha^{-1} .

The effect of soil agrochemical properties on winter wheat yield. Organic matter content had a significant effect on winter wheat yield during both research years (Table 7). During 2006 organic matter content was $r_{yx} = 0.406$ ($P < 0.01$), and during 2007 it was $-r_{yx} = 0.302$ ($P < 0.05$).

Other agrochemical properties had no significant effect on winter wheat yield.

Technical possibilities to decrease the effect of soil heterogeneity

Data grouping after the density of humus accumulation horizon. Data ranging and grouping after the density of Ap horizon allowed to state that winter wheat yield was significantly higher if the density of Ap horizon was higher than average in both research years (Fig. 2), and during 2006 winter wheat yield to a higher density of Ap horizon (7.25 t ha^{-1}) was significantly ($P < 0.05$) higher than in 2007 (5.86 t ha^{-1}). In area parts with higher organic matter content and higher density of Ap horizon soil penetrometric resistance was decreased in 40 - 50 cm depth.

By using the average value (38 cm) of density of Ap horizon as the criteria of soil tillage difference, area, where with a low production risk it would be possible to decrease the depth of soil tillage, would draw up to 47.9% from the total; risk of possible yield decrease is fully ensured. It is also stated with the fact that winter wheat yield in the areas with higher average density of Ap horizon was significantly higher than in areas where the density of Ap horizon was below the average during both research years.

As a choice of criteria usage on decrease of depth of soil tillage, trial results of previous years from 2001 until 2010 from RSF „Vecauce”, as well as research result summary on resource saving soil tillage systems from LUA Agriculture department have been used (Lapins, Berzins, Gaile et al., 2001; et al.).

Data grouping after organic matter content in soil. From the winter wheat yield forming factors in the research, differences in organic matter content together with density of Ap horizon were the factors that had a significant meaning in deciding upon soil tillage difference from

the winter wheat yield volume point of view (Fig. 3). Data ranging and grouping into two basic groups, above and below the average organic matter content, allowed to state that winter wheat yield was significantly higher if the organic matter content in soil was above the average ($> 26.5 \text{ g kg}^{-1}$), but greater differences in yield data were found in connection with meteorological conditions (Fig. 3) during both research years.

Area, where it would be possible to decrease depth of soil tillage, would draw up to 34.6% from research area, if organic matter average content (that was 26.5 g kg^{-1}) was used as depth of soil tillage difference criteria in field Kurpnieki.

Data grouping after soil reaction. According to data from soil reaction digital cartogram, three out of five soil reaction groups were dominating in field Kurpnieki. Soil reaction group: normal draw up to 78.5%, lightly acidic - 17.2% and medium acidic - 4.4%. Cartogram states that maintenance liming is not necessary if soil reaction is above 6.3 by grading content sM and organic matter content $< 50 \text{ g kg}^{-1}$. In 4.4% of field basic liming is needed because pH is medium acidic, grading content is sM and organic matter content in these points is 19 and 21 g kg^{-1} ; according to regulations the lime norm needed in average is $4.25 - 5.05 \text{ t ha}^{-1}$ of pure dry CaCO_3 .

Data grouping after phosphorus content. According to data from phosphorus content useful for plants three out of five phosphorus groups were dominating. Phosphorus content group - very high drew up to 48.5%, high - 46.2% and medium - 5.4%. It states the fact that in 4.4% from field area soil reaction must be evened; as a result phosphorus content in soil would improve, because plants are not able to receive it in acidic soil. After evening the soil reactions it is possible to manage phosphorus fertilizer doses difference for plants.

Data grouping after potassium content. According to data from potassium content useful for plants, three out of five potassium content groups were dominant in field Kurpnieki. Potassium content group: very high drew up to 0.8%, high - 47.9% and medium - 51.3%. It is also possible to differentiate potassium fertilizer doses according to potassium content in soil and plants grown. The main factor setting the differences of potassium and phosphorus content in topsoil was the result of precipitation water flow created by soil mesorelief. It was significantly lower in four monitoring lines in topsoil in areas that were characterised by open drainage system than by watershed points.

CONCLUSIONS

1. Under the conditions of heterogeneous relief in the highest watershed in 0 - 20 cm layer, higher P_2O_5 and K_2O content than in slope to open drainage system has been determined. In last points before double catchment area K_2O and organic matter content, as well as P_2O_5 content was higher. But only 4.4% from the research area with slope to open drainage system had inadequate soil reaction for winter wheat growing.

2. Winter wheat yield had a positive correlation with soil moisture, but a negative correlation with penetrometric resistance. In the highest watershed in 30 - 40 cm soil layer the penetrometric resistance was higher during a dry year - 2006 (512 N cm^{-2}) than during a year with enough moisture - spring 2007 (317 N cm^{-2}). In autumn and also in spring soil moisture content was lower in the highest watershed than in slope before double catchment area.

3. In partial correlation between soil moisture, soil penetrometric resistance and yield, using soil moisture as an exclusion factor, no effect of soil penetrometric resistance on winter wheat yield was determined, as by increasing soil moisture soil penetrometric resistance decreased. Time of observation sets the usefulness of measurements of penetrometric resistance in subsoil layer for creation of digital cartograms for determination of soil deep loosening difference, with the basic criteria, so that the soil moisture would not be higher than 20%.

4. If the average density of Ap horizon (38 cm) was used as the soil tillage difference criteria, area, where it would be possible to decrease the depth of soil tillage with low productivity risk, would draw up to 47.9% from research area. But, if organic matter average content (26.5 g kg^{-1}) was used as the soil tillage difference criteria, area, where it would be possible to decrease the depth of soil tillage with low productivity risk, would draw up to 34.6% from research area.

5. Higher winter wheat yield was obtained in 2006, that is characterised as having decreased amount of precipitation during vegetation period. No significant differences in number of winter wheat shoots and tillering coefficient depending on relief were found. Winter wheat root, as well as plant mass during autumn with enough moisture in 2005 was significantly higher than during too moist autumn of 2006.

6. Differences of soil moisture in spring in 20 - 25 and 40 - 45 cm soil layer had a significantly positive effect on area of winter wheat flag leaf and winter wheat yield. Partial correlation between area of winter wheat flag leaf and yield, by using point height or soil moisture as exclusion factors, shows that the differences of these exclusion factors decrease the significance of the positive flag leaf effect on winter wheat yield.

7. It is possible to optimise the winter wheat growing technologies under the conditions of different relief and soils referring to soil agrochemical properties: soil reaction, P_2O_5 and K_2O content. It is possible to optimise soil tillage by taking into account the density of Ap horizon and organic matter content.