

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
Lauksaimniecības fakultāte
Augsnes un augu zinātņu institūts



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

GUNDEGA DINABURGA

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

PROMOCIJAS DARBS

Dr. agr. zinātniskā grāda iegūšanai

Promocijas darba vadītājs _____ profesors, Dr. agr. Dainis Lapiņš

Promocijas darba konsultants _____ Dr. agr. Jānis Kopmanis

Promocijas darba autore _____ Mg. agr. Gundega Dinaburga

Jelgava 2011

ANOTĀCIJA

Dinaburga G. (2011) *Augsnes neviendabīguma un reljefa atšķirību ietekme uz ziemas kviešu (*Triticum aestivum* L.) ražu*: zinātniskais darbs doktora grāda ieguvei. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Jelgava: LLU. 114 lpp.

Pētījums par augsnes neviendabīgumu un reljefa atšķirību ietekmi uz ziemas kviešu ražu izmantojot precīzās laukkopības elementus veikts Mācību un pētījumu saimniecībā (MPS) „Vecauce” Kurpnieku laukā (Ziemeļu platums 56°28' un Austrumu garums 22°55'). Pētījums iekārtots 2004. gadā neizlīdzināta reljefa un augšņu īpašību apstākļos. Ziemas kvieši audzēti 2005. - 2006. un 2006. - 2007. gada veģetācijas periodā.

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

Darba uzdevumi:

- noskaidrot reljefa ietekmi uz augsnes agroķīmiskajām un agrofizikālajām īpašībām, un šo variāciju radīto lauka neviendabīgumu;
- noskaidrot lauka neviendabīguma ietekmi uz ziemas kviešu ražu;
- novērtēt tehniskās iespējas pakāpeniski izlīdzināt lauka neviendabīguma ietekmi.

Pētījuma novitāte:

- skaidrota reljefa un mainīgu augsnes īpašību ietekme uz ziemas kviešu ražas veidošanos;
- vērtētas iespējas mazināt augsnes un reljefa neviendabīguma ietekmi, lietojot GPS un ĢIS piedāvātās iespējas;
- novērtēta parciālo korelāciju aprēķinu pielietošanas iespējas augsnes neviendabīguma ietekmes vērtējumā.

Promocijas darbs strukturēts 3 nodaļās:

1. nodaļa literatūras apskats, kas sakārtots piecās apakšnodaļās, kurās atspoguļota informācija par ziemas kviešu augšanas apstākļu prasībām; augsnes auglību ietekmējošiem faktoriem; augsnes neviendabīgumu, tā noteikšanas metodēm un samazināšanas iespējām;
2. nodaļa pētījuma apstākļi un metodika. Raksturoti pētījuma apstākļi un novērojumu izpildes metodika MPS „Vecauce” Kurpnieku laukā atkārtotā ziemas kviešu sēklaudzēšanas sējumā. Sniegts lauka un augšņu vispārējs raksturojums. Raksturoti agrometeoroloģiskie apstākļi, pētījumā lietotā agrotehnika un datu matemātiskās apstrādes metodes;
3. nodaļa pētījuma rezultāti izkārtoti četrās apakšnodaļās, kuras iedalītas sīkāk. Analizēti pētījuma rezultāti par augsnes agroķīmisko un agrofizikālo īpašību ietekmi uz ražu neviendabīga reljefa apstākļos. Analizēta ražu veidojošo elementu ietekme uz ziemas kviešu ražu neviendabīga reljefa apstākļos. Izvērtētas tehniskās iespējas mazināt augsnes neviendabīguma ietekmi.

Tab. 18, att. 31, bibl. 203 nos., piel.7.

ABSTRACT

Dinaburga G. (2011) *Soil heterogeneity and topography effect on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield*: Doctoral Thesis Paper. Latvia University of Agriculture. Jelgava: LLU. 114 p., incl. 18 tables, 31 figures, bibliography 203 titles, 7 annexes.

Research on soil heterogeneity and the effect of relief differences on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield has been carried out in Research and Study Farm (RSF) „Vecauce” field Kurpnieki (Northern latitude 56°28' and Eastern longitude 22°55') by using elements of precision agriculture. Research has been settled in 2004 in conditions of uneven relief and soil characteristics. Winter wheat was grown in vegetation periods from 2005 - 2006 and from 2006 - 2007.

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:

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

Novelty of investigations:

- the effect of heterogeneity caused by relief and soil characteristics on forming of winter wheat yield has been clarified;
- possibilities to diminish the effect of soil and relief heterogeneity using GPS and GIS has been evaluated;
- possibilities to apply partial correlation calculation in soil heterogeneity impact evaluation have been assessed.

The thesis consist of 3 chapters:

- chapter 1 literature review arranged in five sub-chapters, reflecting information on factors affecting winter wheat growing condition requirements; factors affecting soil fertility; soil heterogeneity, its detection methods and reduction possibilities;
- chapter 2 research conditions and methodology. Research conditions and execution methodology of RSF „Vecauce” field Kurpnieki repeated field of winter wheat growing volume has been characterised. General description of field and soils has been given. Agro-meteorological conditions, agricultural technology used in the research and mathematical data processing methods have been described;
- chapter 3 research results are arranged in four sub-chapters that are subdivided. Research results on the effect of soil agro-chemical and agro-physical characteristics on the yield in conditions of heterogeneous relief have been analysed. Results on the effect of yield forming elements on winter wheat in conditions of heterogeneous relief have been analysed. Technical possibilities to mitigate the effect of soil heterogeneity have been evaluated.

TABULU SARAKSTS

	lpp.
2.1. Augšņu agroķīmiskie rādītāji Kurpnieku laukā 14.08.2006.	70
2.2. Hidrotermiskā koeficienta vērtības pētījuma gados	73
3.1. Augsnes mitruma (x) ietekme uz ziemas kviešu attīstības rādītājiem (y) 2006. un 2007. gada ražai	83
3.2. Augsnes mitruma (x) ietekmes vērtējums ziemas kviešiem 2006. gadā	83
3.3. Augsnes mitruma (x) ietekmes vērtējums ziemas kviešiem 2007. gadā	84
3.4. Augsnes neviendabīguma rādītāju (x) un augsnes mitruma (y) korelatīvās sakarības 2006. un 2007. gadā	85
3.5. Ap horizonta biezuma (x_2) un organiskās vielas satura (x_3) ietekmes izmaiņas augsnes mitruma (y) atšķirību veidošanā, izslēdzot augstuma virs jūras līmeņa (x_1) ietekmi	86
3.6. Punktu augstuma virs jūras līmeņa un organiskās vielas satura (x) ietekme augsnes mitruma (y) atšķirību veidošanā 2006. un 2007. gada ražai	86
3.7. Augsnes neviendabīguma rādītāju (x) ietekme augsnes penetrometriskās pretestības atšķirību (y) veidošanā ziemas kviešu sējumos rudenī 2006. gada ražai	89
3.8. Augsnes neviendabīguma rādītāju (x) sakarības ar augsnes penetrometrisko pretestību (y) izslēdzot punktu augstuma (x_1) ietekmi rudenī 2006. gada ražai	90
3.9. Augsnes neviendabīguma rādītāju (x) ietekme augsnes penetrometriskās pretestības atšķirību (y) veidošanā ziemas kviešu sējumos zemaramkārtā pavasarī 2006. gada ražai	90
3.10. Augsnes neviendabīguma rādītāju (x) sakarības ar augsnes penetrometrisko pretestību zemaramkārtā (y) izslēdzot punktu augstuma (x_1) ietekmi pavasarī 2006. gada ražai	91
3.11. Korelāciju sakarības starp ziemas kviešu ražu un augsnes mitrumu ar un bez izslēguma faktora - augsnes penetrometriskās pretestības izmantošanu	94
3.12. Korelāciju sakarības starp ziemas kviešu ražu un augsnes penetrometrisko pretestību ar un bez izslēguma faktora - augsnes mitruma izmantošanu	95
3.13. Augsnes mitruma un penetrometriskās pretestības korelatīvās sakarības rudenī	95
3.14. Augsnes mitruma un penetrometriskās pretestības korelatīvās sakarības pavasarī	96
3.15. Ziemas kviešu karoglapas laukuma (x) sakarību ar ražu (y) vērtējums ražu lieluma grupās	102
3.16. Augsnes agroķīmisko rādītāju ietekme uz ziemas kviešu ražu	104

ATTĒLU SARAKSTS

	lpp.
2.1. Kurpnieku lauka virsmas reljefa un profilbedru atrašanās vietas.	67
2.2. Kurpnieku lauka profilbedru atsegums (foto D. Lapiņš).	69
2.3. Vidējā diennakts gaisa temperatūra 2005., 2006. un 2007. gados, °C (pēc Vecauces Metpoles datiem un ilggadīgie novērojumi pēc Dobeles HMS).	74
2.4. Vidējais nokrišņu daudzums 2005., 2006. un 2007. gados, mm (pēc Vecauces Metpoles datiem un ilggadīgie novērojumi pēc Dobeles HMS).	75
3.1. Punktu augstuma, m, vjl. un organiskās vielas saturs, g kg ⁻¹ , sakarības.	76
3.2. Punktu augstuma m, vjl. raksturojums, ūdens noteces grupās.	77
3.3. Organisko vielu saturs, g kg ⁻¹ , 0 - 20 cm augsnes slānī raksturojums ūdens noteces grupās.	78
3.4. Augsnes reakcijas, 0 - 20 cm augsnes slānī raksturojums ūdens noteces grupās.	78
3.5. Fosfora saturs, mg kg ⁻¹ , 0 - 20 cm augsnes slānī raksturojums ūdens noteces grupās.	79
3.6. Kālija saturs, mg kg ⁻¹ , 0 - 20 cm augsnes slānī raksturojums ūdens noteces grupās.	80
3.7. Augsnes daļiņu < 0.01 mm raksturojums ūdens noteces grupās.	81
3.8. Humusa akumulācijas horizonta, cm, raksturojums ūdens noteces grupās.	82
3.9. Augsnes mitruma (<i>x</i>) sakarības ar ziemas kviešu karoglapas laukumu (<i>y</i>) un to izmaiņas atkarībā no ziemas kviešu ražu līmeņiem: * <i>P</i> < 0.05; ** <i>P</i> < 0.01.	84
3.10. Augsnes mitruma, %, raksturojums 2005. un 2006. gada rudenī 0 - 5 un 20 - 25 cm augsnes slānī ūdens noteces grupās.	87
3.11. Augsnes mitruma, %, raksturojums 2006. un 2007. gada pavasarī 0 - 5, 20 - 25 un 40 - 45 cm augsnes slānī ūdens noteces grupās.	88
3.12. Augsnes penetrometriskās pretestības, N cm ⁻² , raksturojums 2005. un 2006. gada rudenī 0 - 10, 20 - 30 un 30 - 40 cm augsnes slānī ūdens noteces grupās.	92
3.13. Augsnes penetrometriskās pretestības, N cm ⁻² , raksturojums 2006. un 2007. gada pavasarī 20 - 30 un 30 - 40 cm augsnes slānī ūdens noteces grupās.	93
3.14. Dīgstu skaita, gab. m ² , raksturojums 2005. un 2006. gada rudenī ūdens noteces grupās.	97
3.15. Cerošanas koeficienta raksturojums 2006. un 2007. gada pavasarī ūdens noteces grupās.	98
3.16. Auga masas, g, raksturojums 2005. un 2006. gada rudenī ūdens noteces grupās.	99
3.17. Auga masas, g, raksturojums 2006. un 2007. gada pavasarī ūdens noteces grupās.	100
3.18. Sakņu garuma, cm, raksturojums 2005. un 2006. gada rudenī ūdens noteces grupās.	101

3.19.	Karoglapas laukuma, cm^2 , raksturojums 2006. un 2007. gada vasarā ūdens noteces grupās.	lpp. 102
3.20.	Ziemas kviešu ražas, t ha^{-1} , raksturojums ūdens noteces grupās.	103
3.21.	Ziemas kviešu raža, t ha^{-1} , atkarībā no Ap horizonta biezuma augsnē, par diferences kritēriju izmantojot vidējo rādītāju 38 cm.	105
3.22.	Humusa akumulācijas horizonta digitālās kartogrammas variants.	106
3.23.	Ziemas kviešu raža, t ha^{-1} , atkarībā no organiskās vielas satura augsnē, par diferences kritēriju izmantojot vidējo rādītāju 26.5 g kg^{-1} .	107
3.24.	Organisko vielu satura digitālās kartogrammas variants.	108
3.25.	Augsnes reakcijas nodrošinājuma grupu digitālā kartogramma tās diferencētai lietošanai.	109
3.26.	P_2O_5 satura nodrošinājuma grupu digitālā kartogramma tā diferencētai lietošanai.	110
3.27.	K_2O satura nodrošinājuma grupu digitālā kartogramma tā diferencētai lietošanai.	111

SATURS

IEVADS.....	9
1. LITERATŪRAS APSKATS.....	11
1.1. Ziemas kviešu augšanas apstākļu prasības.....	11
1.1.1. Augsnes auglība un to ietekmējošie faktori.....	15
1.1.2. Augsnes agroķīmiskās īpašības.....	15
1.1.3. Augsnes agrofizikālās īpašības.....	23
1.2. Augsnes nevien dabīgums un tā ietekme uz ziemas kviešu agrotehniku.....	40
1.3. Metodes augsnes nevien dabīguma noteikšanai.....	48
1.4. Iespējas un pasākumi augsnes nevien dabīguma samazināšanai.....	55
1.5. Literatūras apskata kopsavilkums.....	62
2. PĒTĪJUMA APSTĀKĻI UN METODIKA.....	64
2.1. Pētījuma un analīžu metodika.....	64
2.2. Lauka raksturojums un pētījumā lietotā agrotehnika.....	67
2.2.1. Lauka un augšņu vispārējs raksturojums.....	67
2.2.2. Pētījumā lietotā agrotehnika.....	71
2.3. Meteoroloģisko apstākļu raksturojums.....	72
3. PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN ANALĪZE.....	76
3.1. Reljefa ietekme uz augsnes agroķīmisko īpašību atšķirībām.....	76
3.1.1. Organisko vielu saturs augsnē.....	76
3.1.2. Augsnes reakcija.....	78
3.1.3. Augiem izmantojamā fosfora saturs.....	79
3.1.4. Augiem izmantojamā kālija saturs.....	79
3.2. Reljefa ietekme uz augsnes agrofizikālo īpašību atšķirībām.....	81
3.2.1. Augsnes daļiņas < 0.01 mm.....	81
3.2.2. Humusa akumulācijas horizonts.....	82
3.2.3. Augsnes mitruma saturs.....	82
3.2.4. Augsnes penetrometriskā pretestība.....	89
3.3. Ražu veidojošie elementi atšķirīga reljefa apstākļos.....	97
3.3.1. Ziemas kviešu dīgstu skaits.....	97
3.3.2. Cerošanas koeficients.....	98
3.3.3. Ziemas kviešu auga masa.....	99
3.3.4. Ziemas kviešu galveno sakņu garums.....	100
3.3.5. Ziemas kviešu karoglapas laukums.....	101
3.3.6. Ziemas kviešu raža.....	103
3.4. Tehniskās iespējas mazināt augsnes nevien dabīguma ietekmi.....	105
3.4.1. Datu grupēšana pēc humusa akumulācijas horizonta biezuma.....	105
3.4.2. Datu grupēšana pēc organisko vielu satura augsnē.....	107
3.4.3. Datu grupēšana pēc augsnes reakcijas.....	108
3.4.4. Datu grupēšana pēc augiem izmantojamā fosfora satura.....	109
3.4.5. Datu grupēšana pēc augiem izmantojamā kālija satura.....	110
SECINĀJUMI.....	113
PATEICĪBAS.....	114
IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI.....	115
PIELIKUMI.....	130

DARBĀ IZMANTOTO SAĪSINĀJUMU SKAIDROJUMS

°C	temperatūra pēc Celsija skalas
AAK	augšnes adsorbcijas kapacitāte
Ag.	Austrumu garums
Ap	humusa akumulācijas horizonts
AS	attīstības stadija
Cu	varš
DUBSAT	dubultsatece
ES	Eiropas savienība
GIS	globālās informācijas sistēma
GPS	globālās pozicionēšanas sistēma
ĢIS	ģeogrāfiskās informācijas sistēma
HMS	hidrometeoroloģiskā stacija
HTK	hidrotermiskais koeficients
iS	irdena smilts
K	kālijs
K ₂ O	kālija saturs oksīdu veidā
LLU	Latvijas Lauksaimniecības universitāte
M	māls
Mg	magnijs
Mn	mangāns
MPS	mācību un pētījumu saimniecība
mS	mālsmilts
N	slāpekļlis
OV	organiskā viela
P	fosfors
$P < 0.01$	ticamības līmenis > 99%
$P < 0.05$	ticamības līmenis > 95%
P ₂ O ₅	fosfora saturs oksīdu veidā
pH KCl	augšnes reakcija
r_{yx}	korelācijas koeficients
R^2	determinācijas koeficients
sM	smilšmāls
vjl.	virs jūras līmeņa
VMS	vaļējā meliorācijas sistēma
Z	Ziemeļi
Zn	cinks
Zp.	Ziemeļu platums

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 bilanci.

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 granulometrisku 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 atkarotāmības 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 atkarotāmību 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 aprobēta ražošanas apstākļiem piemērotākā izpētes metodoloģija lietojot globālās pozicionēšanas (GPS) un lokālās ģeogrāfiskās informācijas sistēmu (GIS), bet augsnes agrofizikālo īpašību pamatrādītāju grupā aramkārtas sakārtas blīvumu noteikšanu aizvietojo 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 GIS 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 nevienādīgums 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 nevienādīguma ietekmi uz ziemas kviešu ražu, ar mērķi diferencēt laukkopības tehnoloģijas, lietojot globālās pozicionēšanas (GPS) un ģeogrāfiskās informācijas sistēmas (GIS) elementus.

Darba uzdevumi:

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

Pētījuma novitāte:

1. skaidrota reljefa un mainīgu augsnes īpašību ietekme uz ziemas kviešu ražas veidošanos;
2. vērtētas iespējas mazināt augsnes un reljefa nevienādīguma ietekmi, lietojot GPS un GIS piedāvātās iespējas;
3. novērtēta parciālo korelāciju aprēķinu pielietošanas iespējas augsnes nevienādīguma 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.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Ziemas kviešu augšanas apstākļu prasības

Ziemas kviešu bioloģiskās īpatnības. Ziemas kvieši ir vieni no visražīgākajiem graudaugiem. Augstu ražu iegūšanai tiem nepieciešams nodrošināt labus augšanas apstākļus. Sakņu sistēma ziemas kviešiem ir ar vidējām barības vielu izmantošanas iespējām un vājāk attīstīta nekā ziemas rudziem. Ziemas kvieši ir jutīgi pret augsnes skābumu. Ziemas kviešu audzēšanai vispiemērotākās ir smagas un vidēji smagas granulometriskā sastāva augsnes ar pietiekamu humusa saturu un augsnes reakciju pH KCl 6.5 - 7.5. Maz piemērotas ziemas kviešu audzēšanai ir pārāk mitras, ar humusu un karbonātiem nabadzīgas māla augsnes, sausas smilts, kā arī kūdras augsnes. Lietojot pietiekami lielas kūtsmēslu devas, augstas ziemas kviešu ražas iespējams iegūt arī samērā viegla granulometriskā sastāva augsnēs, piemēram, mālsmiltī (Lindermanis, 1957; Bonāts, 1980; Boruks, 1987).

Ziemas kvieši cieš vairāk no sala bezsniega ziemās, no straujām temperatūras svārstībām agros pavasaros, no ilgas atrašanās zem sniega segas un citiem nelabvēlīgiem apstākļiem. Cerošanas spējas ziemas kviešiem ir ļoti labas. Tie cero tikpat labi rudenī kā pavasarī. Ziemas kviešu pārziemošanu ievērojami ietekmē cerošanas mezgla izveidošanās dziļums. Cerošanas mezgls ziemas kviešiem izveidojas noteiktā, šķirnei raksturīgā dziļumā. Jo ziemcietīgāka ir šķirne, jo dziļāk tai izveidojas cerošanas mezgls. Tāpēc, sējot ziemas kviešus, sēklas jāiestrādā vismaz tik dziļi, lai tās atrastos dziļāk par cerošanas mezgla izveidošanās slāni. Augsnes kārtā virs cerošanas mezgla pasargā augus kā no sala, tā arī no kaitīgām temperatūras svārstībām agrā pavasarī. Ziemas kvieši raksturojas kā samērā sausumizturīgs augs. Labas ražas var iegūt, ja augsnē ir pietiekams, bet ne pārmērīgs ūdens daudzums. Kvieši ir pašapputes augi, tomēr var notikt daļēja svešappute. Ja ziedēšanas laikā augiem trūkst mitruma vai barības vielu, samazinās graudu skaits vārpās (Lindermanis, 1957; Bonāts, 1980; Boruks, 1987).

Ziemas kviešiem, salīdzinot ar rudziem, ir daudz īsāki un stingrāki, pret veldri izturīgāki stiebi. Tas dod iespēju ziemas kviešus izvietot labi mēslojātās, auglīgās augsnēs un iegūt augstas graudu ražas. Augstu ražu iegūšanai liela nozīme ir šķirnei. Intensīva šķirne labos augšanas apstākļos paaugstina ražu par 20 - 25% un vairāk, salīdzinot ar vecām, mazvērtīgām un mazražīgām šķirnēm. Šķirnei jābūt piemērotai vietējiem klimata un augsnes apstākļiem. Augstraīgai šķirnei jābūt, ar labu graudu kvalitāti, ar vietējiem apstākļiem piemērotu augšanas ilgumu, izturīgai pret veldri, slimībām un kaitēkļiem, ziemcietīgai, sausumizturīgai, izturīgai pret graudu izbiršanu un graudu izdīgšanu vārpās, spējīgai izmantot augšanas apstākļus un mēslojumu (Lindermanis, 1957; Bonāts, 1980; Boruks, 1987).

Pētījumu rezultāti rāda, ka graudaugu, to skaitā arī ziemas kviešu graudu ražas ir atkarīgas no augsnes īpašībām - augsnes tipa, granulometriskā sastāva, augsnes reakcijas, augiem uzņemamā fosfora un kālija, trūdvielu satura un aramkārtas biezuma, kā arī no augšņu iekultivēšanas pakāpes. Pie tam izmēģinājumos iegūtā ražu starpība atkarībā no šīm augsnes īpašībām ir liela. Tas liecina, ka sējumu pareizai izvietošanai daudzus gadījumos ir izšķiroša nozīme augstu ražu iegūšanā. Ziemas kviešiem izraugāmas ar trūdvielām bagātas iekultivētas smilšmāla vai arī mālsmilts velēnu karbonātu augsnes. Pēc K. Špoģa datiem ziemas kvieši velēnu karbonātu augsnēs (4.6 t ha^{-1}) dod daudz augstāku graudu ražu nekā ziemas rudzi (3.7 t ha^{-1}). Līdzīgus rezultātus ieguvis arī J. Rubenis savos izmēģinājumos - velēnu karbonātu augsnēs

iegūtas par 12% augstākas ziemas kviešu graudu ražas nekā citos augšņu tipos. Ziemas kviešu sējumiem paredzētām augsnē jābūt labi sastrādātām ar dziļu aramkārtu un pietiekamu trūdvielu saturu. Tie audzējami līdzenās nosusinātās platībās, kas necieš no lieka mitruma. Lai iegūtu augstas ziemas kviešu graudu ražas, ļoti svarīgi pareizi izvēlēties arī piemērotus priekšaugus. Pareizas augsekas un pareiza agrotehniski pamatota kultūraugu secība šajās augsekās ir ļoti svarīgs agrotehnisks pasākums (Bonāts, 1980; Boruks, 1987).

Ziemājiem augsnes apstrādes paņēmienus lielā mērā nosaka priekšaugi. Aršanas nokavēšana stipri pazemina ziemāju graudu ražas sevišķi smagās un blīvās augsnēs. Arot augsni neilgi pirms ziemāju sējas - septembra sākumā, graudu ražas pazeminās par 0.7 - 1.0 t ha⁻¹ (Bonāts, 1980; Boruks, 1987).

Ziemāju izvietošana augsekā. Augsnes apstrādes paņēmieni un dziļumu izvēle ziemājiem lielā mērā atkarīga no augsnes granulometriskā sastāva, meteoroloģiskajiem apstākļiem, bet galvenokārt no ziemāju priekšauga un tā novākšanas termiņa. Lai varētu iegūt augstas ziemāju ražas, ļoti svarīgi pareizi izvēlēties priekšaugu. Pareizu augseku ieviešana nodrošina vislabākos augšanas apstākļus visiem audzējamajiem kultūraugiem, līdz ar to tiek ierobežota nezāļu, augu slimību un kaitēkļu izplatība. Izvietojot ziemājus augsekā, galvenā prasība ir, lai priekšaugi lauku atbrīvotu savlaicīgi un lai atliktu laiks augsnes sagatavošanai pirms ziemāju sējas. Viena no labākajām vietām augsekā ziemājiem ir melnā papuve. Melnajā papuvē vislabāk var ierobežot nezāles, iestrādāt lielas organisko mēsļu devas un uzkrāt mitrumu. Melnā papuve sevišķi piemērota nezāļainām smagām un vidēji smagām māla augsnēm ar sliktām fizikālām īpašībām. Melnā papuve ir piemērotākā vieta augu sekā augsnes kaļķošanai, aramkārtas padziļināšanai, akmeņu novākšanai, augsnes virskārtas nolīdzināšanai un meliorācijas darbu veikšanai. Arvien palielinoties graudaugu īpatsvaram sējumu struktūrā, daļu ziemāju nākas izvietot pēc graudaugiem - pašiem ziemājiem, vasarājiem. Šos priekšaugus novāc salīdzinoši vēlu, augsnes īpašības tie augšanas laikā neuzlabo, un augsnes auglības palielināšana laikā līdz ziemāju sējai arī nav reāla (Lindermanis, 1957; Klovāns, Kroģere, 1978; Bonāts, 1980).

Pētījumos konstatēts, ka, atstājot lauku papuvē, augsnes fizikālās īpašības uzlabojas arī daudz īsākā laikā. Ieviešot papuvi, samazinājusies augsnes tilpummasa, panākta arī tās īpatnējās pretestības samazināšanās (Lampurlanes, Cantero-Martinez, 2003).

Ziemāju mēslošana. Ziemāju ražības paaugstināšanā ļoti liela nozīme ir to mēslošanai. Ar kultūraugu ražām katru gadu no augsnes tiek paņemti lieli barības vielu daudzumi. Ja šīs barības vielas augsnē neatdotu atpakaļ ar mēslojumu, tad augsne tiktu arvien vairāk noplicināta un dotu zemas ražas. Iestrādājot augsnē dažāda veida mēslošanas līdzekļus, uzlabojas augu apgāde ar barības vielām, ceļas augsnes auglība un līdz ar to tiek nodrošinātas augstas lauksaimniecības kultūraugu ražas. Augi mēslojumu labāk izmanto struktūraugsnēs, kurās ir labi mitruma un gaisa apstākļi. Bezstruktūrainās, saputekļotās un slikti apstrādātās augsnēs mēslojuma ietekme uz kultūraugu ražām samazinās (Lindermanis, 1957; Bonāts, 1980; Boruks, 1987).

Augsnes kaļķošana novērš augu barības vielu izskalošanos no aramkārtas, veicina trūdvielu saglabāšanos augsnē, padara smagās māla augsnes irdenākas, bet vieglās smilts augsnes saistīgākas, veicina augsnes sīkbūtņu darbību, uzlabo minerālmēsļu izmantošanu utt. Uz augsnes kaļķošanu sevišķi atsaucīgi ir ziemas kvieši. Skābās augsnes nav piemērotas ziemas kvieši audzēšanai. Ziemas kvieši nebūtu audzējami tādos laukos, kur augsnes reakcija zemāka par 5.5. Viens no galvenajiem

ziemas kviešu mazražības un sliktas ziemošanas cēloņiem ir arī nepietiekama skābo augšņu kaļķošana (Lindermanis, 1957; Bonāts, 1980).

Ziemas kvieši ir prasīgs kultūraugs, un augstas graudu ražas nav iegūstamas bez pietiekama organiskā un minerālā mēslojuma. Organiskie mēsli ne vien apgādā augus ar tiem nepieciešamām barības vielām, bet uzlabo arī augsnes fizikālās īpašības un aktivizē augsnes sīkbūtņu darbību. Augsne parasti satur diezgan daudz dažādu barības vielu, kas atrodas augiem grūti izmantojamā formā. Mikrobioloģisko procesu ietekmē šie augu barības vielu resursi pamazām pārvēršas augiem pieejamā formā un līdz ar to ceļ augsnes auglību. Visizplatītākais ziemāju mēslošanas līdzeklis ir kūtsmēsli. Tā kā ziemāju augšanas laiks ir samērā garš, tad šajā laikā sīkbūtņu ietekmē kūtsmēsli paspēj diezgan labi sadalīties un pārveidoties augiem uzņemamā veidā. Kūtsmēsli iedarbības rezultātā ražas paaugstinās ne tikai tam kultūraugam, kuru mēslo, bet arī pēcaugam. Ziemājiem ieteicams dot 50 - 60 t ha⁻¹ labu kūtsmēsli, tos iestrādājot 18 - 20 cm dziļi. Pirmajā gadā augi parasti izmanto līdz 50% no kūtsmēslos esošajām barības vielām. Pēc K. Bamberga pētījumiem katra tonna kūtsmēsli devusi vidēji 18.3 - 23.7 kg ha⁻¹ ziemas kviešu graudu pieaugumu. Visvairāk uz trūdvielu satura pieaugumu reagē ziemas kvieši. Ja trūdvielas augsnē palielinājušās no 10 - 15 g kg⁻¹ uz 26 - 30, graudu raža kviešiem pieaugusi par 1.8 t ha⁻¹, bet rudziem - 1.5 t ha⁻¹. Līdzīgas tendences graudaugu ražībā ir, palielinoties aramkārtas biežumam. Ja aramkārtas pārsniedz 25 cm, graudu raža ziemājiem pieaug par 0.5 - 0.6 t ha⁻¹, bet vasarājiem par 0.2 - 0.3 t ha⁻¹ salīdzinājumā ar ražu, ko iegūst no sējumiem laukos ar seklāku aramkārtu. Izmēģinājumu rezultāti pārliecinoši parāda, ka tādas augsnes kvalitatīvās īpašības kā aramkārtas biežums, trūdvielu saturs, augsnes iekultivēšanas pakāpe un augu barības vielu saturs visvairāk ietekmē ziemāju, bet jo īpaši ziemas kviešu ražības pieaugumu (Klovāns, Kroģere, 1978; Bonāts, 1980; Boruks, 1987).

Fosfors ir ļoti nepieciešama barības viela augu augšanas sākuma periodā. Sakarā ar to liela nozīme ir fosfora mēsli izsēšanai kultūraugu sēklu tuvumā. Kāliju minerālaugsnes, it sevišķi māla augsnes, satur tādos daudzumos, kas pilnīgi var apmierināt ziemāju vajadzības. Visbiežāk kālija trūkst vieglās smiltis un purva augsnēs. Kālija un fosfora minerālmēsli jācenšas iestrādāt jau rudenī pirms ziemāju sējas, jo tiem ir liela nozīme augu ziemcietības paaugstināšanā (Bonāts, 1980).

Fosfora minerālmēsliem ir liela nozīme ziemas kviešu ražas un kvalitātes paaugstināšanā. Ziemas kviešiem ražība pie augsta P₂O₅ nodrošinājuma augsnē salīdzinot ar ļoti zemu pieaugusi par 1.8 t ha⁻¹, bet rudziem par 1.3 t ha⁻¹. Fosfora minerālmēsli ietekme nav viennozīmīga, jo vienā gadījumā tie var uzlabot graudu kvalitāti, bet citā neatstāt nekādu būtisku ietekmi. Pozitīvu efektu tie dod, ievērojot pareizu slāpekļa un kālija attiecību augsnē un mēslošanas līdzekļos. Ziemas kviešu raža un kvalitāte ir arī atkarīga no nodrošinājuma ar barības vielām noteiktās attīstības fāzēs. Graudaugiem tāda ir cerošanas fāzes beigas, kad īslaicīgs barības elementu iztrūkums netiek kompensēts ar vēlāku mēslojuma iestrādi (Bonāts, 1980; Boruks, 1987; Dorbe, Vucāns, 1999).

Mitrums. Ziemāju pārziemošana lielā mērā atkarīga no augsnes mitruma stāvokļa. Pārmērīgs augsnes mitrums ir kaitīgs augu pārziemošanai. Sevišķi bīstama ir sējumu applūšana rudenī. Labs mitruma stāvoklis ir drenētās un no dabas caurlaidīgās augsnēs. Šādās augsnēs ziemāji pārziemo nesalīdzināmi labāk nekā slapjās un nedrenētās augsnēs. Tāpēc drenētās augsnēs ziemāju audzēšana jāuzskata par vispiemērotākām. Ja augsne ziemāju laukā nav drenēta, tad rudenī pirms ziemāju sējas jāsavied kārtībā vaļējie grāvji (Lindermanis, 1957; Bonāts, 1980; Boruks, 1987).

No **izsušanas** ziemāju sējumi visvairāk cieš tajos gadījumos, kad sniegs biežā kārtā uzsnieg uz nesasalušas vai maz sasalušas augsnes, vai arī tas saglabājas uz sējumiem līdz vēlam pavasarim. Šeit ļoti liela nozīme var būt lauka reljefam, jo ielejās, kalnu ziemeļu nogāzēs, mežmalās un citās no vēja aizsargātās vietās sniegs parasti sakrājas lielākā daudzumā nekā kalnu virsotnēs un citās atklātās vietās. Tāpēc bieži sastopama parādība, ka augstākās un klajākās lauka vietās ziemāji labi pārziemo, bet zemākās un aizvēja vietās tie stipri cieš no izsušanas. No izsušanas ziemāju sējumi cieš visās augsnēs. Tomēr novērojumi rāda, ka labas struktūras augsnēs, kas nav pārsātinātas ar ūdeni, ziemāji no izsušanas cieš mazāk, jo šādās augsnēs atrodas vairāk gaisa. Sakarā ar to, ka ziemāji no izsušanas struktūraugsnēs cieš mazāk, liela nozīme cīņā ar šo plaši izplatīto ziemāju bojā ejas cēloni ir pareizām augsekām, sistemātiskai daudzgadīgo zāļu audzēšanai, plašai organisko mēsļu lietošanai un augsnes kaļķošanai, jo visi šie agrotehniskie pasākumi ievērojami uzlabo augsnes struktūru. Augu izturību pret izsušanu paaugstina arī bagātīgs fosfora un kālija mēslojums. Ļoti liela nozīme cīņā ar izsušanu ir arī pareizam sējas laikam un izsējas normai (Bonāts, 1980; Boruks, 1987).

Latvijas apstākļos ziemāju sējumi **izslīkšanas** dēļ lielākā vai mazākā mērā cieš katru gadu. Parasti šos ziemāju sējumu bojājumus neievēro, jo tie izkļiedēti sīku laukumiņu veidā pa visu lauku. Ziemāju sējumu izslīkšana lielā mērā atkarīga no lauka mikroreljefa. Ja lauka virspuse ir līdzena, bez iedobumiem un ieplakām un laukam ir arī neliels kritums, tad šādos apstākļos atkušņu ūdeņi ātri noplūst un ziemāji neizslīkst. Ziemāju sējumi mazāk izslīkst labas struktūras augsnēs, kas parasti uzrāda arī labu ūdenscaurlaidību. Liela kūtsmēsļu deva arī ievērojami ierobežo ziemāju izslīkšanu (Lindermanis, 1957; Bonāts, 1980; Boruks, 1987).

Liela nozīme ir arī augsnes meliorācijai, jo meliorētās augsnēs atkušņu ūdeņi noplūst daudz ātrāk. Uz ziemāju sējumiem ilgi stāvošie atkušņu ūdeņi slikti ietekmē arī augsnes īpašības: augsne izskalojas, tai zūd struktūra, samazinās augsnes aberācija, kā arī izskalojas augu barības vielas (Lindermanis, 1957; Bonāts, 1980).

Agrotehniskie pasākumi. Lai ziemāju sējumiem varētu nodrošināt labu pārziemošanu, ļoti svarīgi ir pielietot visu agrotehnisko pasākumu kompleksu, kas paredzēts augstu ražu iegūšanai. Svarīgākie no šiem agrotehniskajiem pasākumiem, kam liela nozīme pārziemošanas apstākļu uzlabošanā, ir šādi: pareizas augsekas, kas nodrošina spēcīgu un veselīgu augu attīstību; pareizs kultūraugu izvietojums attiecībā pret lauka reljefu; papuvju savlaicīga uzāršana un augsnes apstrādāšana pirms ziemāju sējas; racionāla mēslošanas līdzekļu lietošanas sistēma, kas veicina ziemcietības paaugstināšanos; labākajos termiņos izdarīta ziemāju sēja, lietojot augstas kvalitātes sēklas materiālu un labākos sēšanas paņēmienus; ziemcietīgu šķirņu audzēšana; ziemāju sējumu pareiza kopšana rudens, ziemas un pavasara periodā (Bonāts, 1980).

Ziemāji parasti nenogatavojas visos laukos vienlaicīgi. Viegļās smilts augsnēs ziemāji nogatavojas ātrāk nekā smagās māla augsnēs, dienvidu nogāzēs - ātrāk nekā ziemeļu nogāzēs. Labības nogatavošanās atkarīga arī no klimata apstākļiem: karsts un sauss laiks to paātrina, auksts un lietains laiks - aizkavē. Nogatavošanās laiku tāpat ietekmē ziemājiem dotais mēslojuma veids un devas lielums, kā arī ziemāju sējas laiks (Lindermanis, 1957; Bonāts, 1980).

Tikai līdzenā laukā kvalitatīvi var veikt visus agrotehniskos pasākumus. Kultūraugu sēklu iesēšana vienmērīgā dziļumā un vienmērīgi dīgsti ir iespējami tikai līdzenā laukā. Kultūraugu kopšanas un novākšanas darbu ražīgums un kvalitāte stipri atkarīgi no lauka virsmas. Mikroieplakās augus parasti apber ar augsni, ko mašīnu darbīgās daļas pārvieta no augstākām vietām. Nelīdzenā laukā apgrūtināta kombainu darbība, mazinās darba ražīgums, ir lieli ražas zudumi. Augu augšanas faktori (sevišķi

ūdens un barības vielas) vislabāk darbojas līdzenā laukā. Mikroieplakās, kas nereti aizņem 5 - 15% no saimniecības aramzemes, iegūst tikai pusi no iespējamās ražas, bet ziemāju un daudzgadīgo augu sējumi rudenos un pavasaros tajās bieži pilnīgi izslīkst. Tāpēc lauka virsmas līdzināšana ir ļoti svarīgs, neatliekams un ekonomiski izdevīgs kultūrtehnisks pasākums, kā arī augsnes apstrādes paņēmieni. Lauka planēšana galvenokārt veicama, to masivizējot, bet šļūksana - augsnes apstrādes gaitā (Klovāns, Kroģere, 1978; Bonāts, 1980; Boruks, 1987).

Ziemāji un daudzgadīgās zāles ir piemērotākie kultūraugi tūrumiem stāvās nogāzēs, kur intensīvi darbojas kā ūdens, tā arī agrotehniskā erozija un kur svarīgi iespējami retāk pārart platību un iznīcināt augu segu. Erozijas ziņā ziemāji piemērotāki stāvākām nogāzēm, tāpēc ka rudenī lietus laikā veido stabilu zelmeni, kas ievērojami kavē arī pavasara sniega kušanas un lietusgāzu radīto eroziju. Protams, jāizraugās tādas ziemāju sugas un šķirnes, kas piemērotas īpatnējiem ziemošanas apstākļiem paugurainā reljefā ar tā nevienmērīgo sniega segu. Turklāt ziemāji nepieciešami kā virsaugs, pasējot daudzgadīgās zāles, kas ir galvenie kultūraugi stāvajās nogāzēs. Lielākās grūtības rada ziemāju novākšana. Stāvu nogāžu pamatkultūraugs ir ilggadīgās zāles, kas praktiski novērš gan ūdens, gan arī agrotehnisko eroziju un pilnībā nodrošina prasību izmantot nogāzes intensīvai lopbarības ražošanai. Atkarībā no apstākļiem šeit ierīkojamas kultivētās ganības un pļavas, zāļu sēklu lauki utt. (Boruks, Brīvkalns, Stalbovs, 1967).

1.1.1. Augsnes auglība un to ietekmējošie faktori

Augsnes auglību veido un nosaka daudzi dažādi faktori. Augsnes auglība - augsnes spēja nodrošināt augus ar barības elementiem un ūdeni, apgādāt sakņu sistēmu ar gaisu un siltumu, kā arī augsnes spēja veidot labvēlīgu fizikāli ķīmisko vidi normālai augu augšanai un attīstībai. **Nozīmīgākie:** 1. augsnes fizikālās īpašības - tilpummasa, struktūra, augsnes mitruma režīms. Šo īpašību grupu lielā mērā nosaka dotās augsnes tips, tās granulometriskais sastāvs, augsnes gruntsūdens līmenis, kā arī augsnes apstrāde. Šīs īpašības ir svarīgas, lai augsnē veidotos kultūraugiem labvēlīgs ūdens un gaisa režīms, kā arī tās būtiski nosaka citus augsnes auglības faktoros;

2. augsnes agroķīmiskās īpašības: humusa saturs augsnē, augsnes reakcijas (pH), augiem nepieciešamo barības elementu daudzums augsnē, augsnes spēja saistīt vielas u.c. Tās nosaka citas augsnes īpašības, kā arī tieši ietekmē augu barošanu, t.i., augiem nepieciešamo ķīmisko elementu uzņemšanu no apkārtējās vides (augšņu, gaisa, ūdens). Agroķīmiskās īpašības ir atkarīgas ne tikai no augsnes veida un granulometriskā sastāva, bet ļoti lielā mērā arī no cilvēka darbības - augšņu kalpošanas, mēslošanas u.c.

1.1.2. Augsnes agroķīmiskās īpašības

Pētījumu veikšanai un precīzās laukkopības sistēmas ieviešanai nepieciešama augšņu agroķīmisko īpašību pamatrādītāju (augšņu pH, organisko vielu (OV), augiem uzņemamā fosfora, kālija un apmaiņas magnija satura) noteikšana, lai pēc iegūtajiem rādītājiem veiktu augšņu grupēšanu pēc to īpašībām pārskatāmā sistēmā, izgatavotu kartes augsnes mēslošanas mašīnu datorizētai vadībai atbilstoši dotajai programmai un globālās pozicionēšanas sistēmai (GPS). Šo rādītāju iegūšanai nepieciešams noņemt daudz augsnes paraugu agroķīmisko analīžu veikšanai, un tas ar roku darbu ir grūti izpildāms. Šā uzdevuma atvieglošanai domātas mobilas iekārtas augsnes paraugu

mehанизētai noņemšanai ar vietas fiksēšanu GPS koordinātās (Vilde, Ruciņš, Viesturs, 2008)^{1, 2}.

Ražas lielumu katrā konkrētā audzēšanas vietā bez visiem citiem ražu ietekmējošiem faktoriem lielā mērā nosaka dažādu agroķīmikāliju izmantošana veģetācijas periodā. Pirmkārt, tas ir sabalansēts mēslojums. Fosfora un kālija optimizācija ir vienkāršāka, un šie elementi ir ievērojami stabilāki augsnē (Ruža, 1996).

Latvijas augsnes pēc savas izcelsmes ir nabadzīgas ar minerālajām augu barības vielām, it sevišķi fosforu un slāpekli. Augi fosforu izmanto kā no minerālajiem, tā arī no organiskajiem savienojumiem. Fosfors augos veicina vielu maiņas procesus, aktivizē augu elpošanu un fotosintēzi, piedalās citās fizioloģiskajās norisēs, kā organisko vielu sintēzē. Fosfora trūkums augsnē izsauc augu reproduktīvo un veģetatīvo augu augšanas un attīstības bremsēšanu. Kālija nozīme augu attīstībā ir saistīta ar vielu maiņas procesiem. Kālija ietekmē augos palielinās osmotiskais spiediens un notiek pastiprināta ogļhidrātu uzkrāšanās. Tā rezultātā pieaug augu salizturība. Trūkstot kālijam augsnē, notiek vecāko augu daļu atmiršana, lapu forma deformējas, to malās veidojas brūni plankumi, kuri pakāpeniski saplūst, lapas nobrūnē un nokalst (Bonāts, 1980; Black, 1993; Tisdale, Nelson, Beaton et al., 1993; Skromanis, Reinfelde, Timbare, 1994).

Augsnē ievadītie minerālmēsli pakļauti tur notiekošajiem procesiem. No izšķīdušajiem barības elementiem augi uzņem tikai zināmu daļu, bet pārējā daļa vai nu saistās augsnē bioloģiskā, fizikāli ķīmiskā un ķīmiskā formā, vai arī ar filtrācijas ūdeņiem aizplūst uz gruntsūdeni un ūdenstilpnēm. No makroelementiem, kuri nonāk augsnē ar mēslojumu, vislabāk saistās fosfors. Arī daļa kālija kā apmaiņas katjons saistās augsnes koloidālajā kompleksā, daļa fiksējas minerālu režģī un neliela daļa izskalojas. Augsnē saistītie barības elementi nav zuduši, tie veido augsnes barības vielu rezerves, kuras pakāpeniski atkal kļūst augiem izmantojamas. Zudumā iet tikai vielas, kas izskalojas, t.i., pāriet ģeoloģiskajā vielu apritē. Kaļķošana un mēslošana (ar organiskajiem un minerālmēsliem) uzlabo augšņu agroķīmiskās īpašības - neitralizē skābo reakciju, palielina apmaiņas bāzu (kalcija, magnija, kālija) kopējo daudzumu, paaugstina augiem uzņemamo barības elementu saturu, t.i., augsne kļūst auglīgāka. Jo lielāks augsnē ir saistītājkomplekss (trūdvielas, māla daļiņas), jo lielāku augu barības vielu daudzumu tā var pasargāt no izskalošanās (Brīvkalns, 1978).

Katram lauksaimniecības kultūraugam raksturīgs samērā noteikts augsnes reakcijas intervāls, kurā tas vislabāk aug un attīstās, turklāt smagās augsnēs šis intervāls ir tuvāks neitrālai augsnes reakcijai. Optimālais augsnes reakcijas intervāls ir atkarīgs arī no augsnes nodrošinājuma ar fosforu un kāliju - jo vairāk augsnē ir fosfora, jo vairāk augiem optimālā augsnes reakcija novirzās uz neitrālas reakcijas pusi, turpretim kālija satura palielināšanās augsnē augiem optimālo pH intervālu novirza pretējā virzienā. Visu kultūraugu ražība palielinās, ja palielinās kustīgā fosfora un kālija saturs, ražības pieaugums būs lielāks, ja abu šo barības elementu masu attiecība augsnē būs sabalansēta. Jo augsne ir skābāka, jo maksimāli iespējamo ražību var sasniegt pie relatīvi zemāka fosfora satura, turklāt šī ražība nebūs augsta. Tāpēc nav nozīmes censties pastiprināti uzkrāt augsnē fosforu, kamēr nav uzlabota augsnes reakcija. Lielākā daļa kultūraugu maksimālo ražību sasniedz jau tad, kad kustīgā fosfora (P₂O₅) saturs augsnē ir 120 - 150 mg kg⁻¹; tikai intensīvas tehnoloģijas apstākļos, ja lieto lielas

¹ Agrocom Guidance and autosteering [tiešsaiste] [skatīts 2011. g. 2. okt.]. Pieejams: http://www.agrocom.com/uploads/tx_clagrocom/agrocom_lenken_en_01.pdf

² Telematic in Agriculture [tiešsaiste] [skatīts 2011. g. 2. okt.]. Pieejams: <http://en.wikipedia.org/wiki/Telematics>

slāpekļa un kālija devas, augsnes fosfora loma pieaug; kultūraugu raža turpina palielināties, pieaugot augsnes fosfora saturam pat līdz 200 - 250 mg kg⁻¹. Palielinoties fosfora saturam augsnē, ražība vairāk palielināsies smagāka granulometriskā sastāva augsnēs nekā vieglā smilts augsnē. Slāpekļa mēslojums parasti dod 40 - 60% no kopīgā ražas pieauguma, kas ir sasniegts, lietojot minerālmēslus, slāpekļa efekts relatīvi vislielākais ir smilts augsnēs, ja vien pietiek mitruma. Slāpekļa iedarbība lielā mērā ir atkarīga no augu nodrošinājuma ar fosforu un kāliju. Ar fosforu nabadzīgās augsnēs ražas pieaugums no slāpekļa mēslojuma ir niecīgs, mijiedarbība slāpekļis (N) × fosfors (P) ir pozitīva. Uzlabojoties augu barošanās apstākļiem ar kāliju, pastiprinās slāpekļa iedarbība uz ražu, un arī šajā gadījumā mijiedarbība slāpekļis (N) × kālijs (K) ir pozitīva. Ja augsnei ir palielināts skābums, iegūtā raža ir neliela. Tā kā lauksaimnieciskajā ražošanā slāpekļa mēsli tiek lietoti galvenokārt amonija savienojumu veidā, tad, uzlabojoties augsnes reakcijai, slāpekļa mēslojuma efekts visiem kultūraugiem palielinās, mijiedarbība N × pH ir pozitīva. Fosfora mēslojums var dod 20 - 35% no kopējā ražas pieauguma, ko iegūst minerālmēsli lietošanas rezultātā; nepieciešams tas ir skābās, ar fosforu nabadzīgās augsnēs, taču kopējais ražas lielums šādos nogabalos tomēr ir mazs. Ja augsnes pH skaitlis palielinās, fosfora mēslojuma vajadzība samazinās, mijiedarbība P × pH ir negatīva. Jo labāk augsne ir nodrošināta ar augiem viegli uzņemamo P₂O₅, jo vairāk samazinās fosfora mēslojuma ietekme. Ja augsnē ir palielināts augiem viegli uzņemamā kālija saturs, tad prasības pēc fosfora mēslojuma samazinās. Slāpekļa mēslojums krasi palielina fosfora mēslojuma efektivitāti, taču nedaudz to pastiprina arī vienlaicīgi dots kālija mēslojums, mijiedarbība P × K ir pozitīva. Kālija mēslojuma sākotnējais efekts neiekultivētās augsnēs ir samērā mazs, tā nozīme palielinās augsnēs ar labām agroķīmiskajām īpašībām. Kālija mēslojuma efektivitāte palielinās, palielinoties augsnes pH skaitlim, mijiedarbība K × pH ir pozitīva. Bagātīgs augsnes nodrošinājums ar augiem viegli uzņemamo kāliju samazina kālija mēslojuma efektivitāti. Bagātīgs augiem viegli uzņemamā fosfora saturs augsnē palielina kālija mēslojuma iedarbību (Daiga, Ozola, Vēvers u.c., 1990).

Pastāv P₂O₅ korelācija ar trūdvielu saturu augsnē, ar augsnes mikrobioloģisko aktivitāti, kas ietekmē augu iespējas izmantot augsnes slāpekli. Jo augsne ir bagātāka ar fosforu, jo pilnīgāk tiek izmantots slāpekļa mēslojums, daļa no augu vajadzības pēc slāpekļa sedz augsnes N krājumi (Daiga, Ozola, Vēvers u.c., 1990).

Par galveno augiem izmantojamā fosfora imobilizācijas cēloni uzskata tā saistīšanos augsnē augiem grūti izmantojamos savienojumos. Mazāk nozīmīga ir fosfora ieskalošanās dziļākos augsnes slāņos un virspusēja noskalošanās pauguraina reljefa apstākļos (Daiga, Ozola, Vēvers u.c., 1990).

Palielinoties māla daļiņu saturam augsnē, kālija fiksācija tajā var palielināties. Atšķirībā no fosfora fiksācijas šī parādība vērtējama pozitīvi, jo augsnē saistītais kālijs augiem ir relatīvi labāk izmantojams nekā augsnē saistītais fosfors. Turklāt šādās augsnēs kālijs samērā maz pakļauts izskalošanās procesiem. Tāpēc kālija uzkrājuma koeficienti samazinās virzienā no māla augsnēm uz smilts augsnēm. Kālija uzkrājuma koeficienti pieaug, augsnes reakcijai kļūstot skābākai. Tāpat tie pieaug, ja palielinās K₂O saturs augsnē. Savu maksimumu (99%) kālija uzkrājuma koeficienti sasniedz nokārtota mitruma režīma apstākļos karbonātisko mālaino augšņu grupā pie iespējami mazākas skābuma pakāpes un iespējami augstāka K₂O satura augsnē (Daiga, Ozola, Vēvers u.c., 1990; Baize, 1993).

Agronomiski, P ir viens no trijiem augu barības elementiem, kopā ar N un K. Augos P ietilpst kā neorganisko, tā organisko savienojumu veidā. Fosfors aktīvi

piedalās visos augu dzīvības procesos. Visvairāk fosfora ir reproduktīvajos orgānos un augošajās auga daļās, kur notiek intensīvi organisko vielu sintēzes procesi. Fosfors veicina augu nobriešanu, paātrina olbaltumvielu sadalīšanos vecajās lapās un sadalīšanās produktu pārvietošanos uz reprodukcijas orgāniem. Fosfors uzlabo augu ūdens režīmu un veicina ūdens ekonomiskāku izlietošanu. No vecajām lapām fosfors spēj pārvietoties uz jaunajām augu daļām, kur notiek tā otrreizēja izmantošana (Anghinoni, Barber, 1980a; 1980b; Bonāts, 1980; Black, 1993; Jones, 1998).

Fosfors veicina augu sakņu sistēmas attīstību un palielina graudaugu cerošanas intensitāti. Tāpēc augi to attīstības pašā sākumā ir visjutīgākie pret fosfora trūkumu. Fosfors uzlabo arī ziemāju pārziemošanu, jo P ietekmē rudenī augu cerošanas mezglos uzkrājas vairāk ogļhidrātu. Tāpēc augu augšanu un attīstību ļoti sekmē neliels viegli izmantojams P minerālmēsļu daudzums, kas iestrādāts rindās kultūraugu sējas laikā. Bagātīgs P mēslojums paātrina augu nobriešanu, stimulē apaugļošanu, ražas veidošanu un tās ienākšanu. Fosfora minerālmēslojums būtiski izmaina ražas struktūru cilvēkam vēlamajā virzienā - ražā palielinās saimnieciski vērtīgākās, reproduktīvās daļas īpatsvars. Graudaugi vislielāko fosfora daudzumu uzņem stiebrošanas un vārpošanas fāzēs (Anghinoni, Barber, 1980a; 1980b; Bonāts, 1980; Black, 1993; Jones, 1998).

Pēc A. Riekstiņa apkopotiem datiem kopējais K daudzums auglīgākajā 0 - 50 cm augsnes slānī ir 10 reižu lielāks nekā P. Pamatrādītāji vairumā gadījumu sniedz pietiekamu informāciju par dažādu zemes izmantošanas veidu augsnes kvalitāti, uz to pamata varēs plānot kalpošanas, mēslošanas un citus augsnes auglības palielināšanas darbus (Riekstiņš, 2008).

Noteiktiem augsnes auglības rādītājiem (pH, OV saturam) ir liela ekoloģiska nozīme, tāpēc šo rādītāju optimums ir būtisks arī no vides saudzēšanas/aizsardzības viedokļa (Baize, 1993).

Arī augsnes reakcijai (optimāli - tuvu neitrālai) ir pozitīva agroekoloģiska nozīme, jo tā stimulē attīstītas un noturīgas augu segas izveidošanu, veicina agronomiski labvēlīgas augsnes struktūras izveidi, veicina mikrobioloģisko aktivitāti labvēlīgā virzienā, samazina smago metālu un pesticīdu atlieku kustīgumu u.c. Augsnes auglības uzturēšanai un uzlabošanai ir jāizvēlas attiecīgai situācijai piemērotas metodes. Jānodrošina optimāls augsnes pH līmenis, ņemot vērā augsnes tipu un granulometriskā sastāva grupu. Jānodrošina optimāls augu barības elementu saturs augsnē. Jāveicina labvēlīga augsnes bioloģiskā aktivitāte, izvēloties piemērotu augu maiņu, mēslošanas līdzekļu lietošanu un citus pasākumus. Jāizvairās no augsnes piesārņošanas, kas var notikt, nepareizi lietojot mēslošanas līdzekļus. Jācenšas uzturēt agronomiski vēlamu augsnes sakārtas blīvumu (Bonāts, 1980; Baize, 1993).

Augsnes reakcijas nozīme augu attīstībā ir saistīta galvenokārt ar mikroorganismu dzīvības procesiem. Paaugstināts augsnes skābums samazina nitrifikatoru un slāpekļa saistītāju baktēriju darbību. Arī stipri sārmaina augsnes reakcija traucē mikroorganismu attīstību. Augsnes vides reakcija ietekmē augu barības vielu uzņemšanu augos. Augsnēs ar skābu augsnes vides reakciju veidojas viegli šķīstošie savienojumi un notiek to pastiprināta izskalošanās no virskārtas dziļākos augsnes horizontos, kādi it sevišķi nav piemēroti ziemas kviešu audzēšanai. Skābās augsnēs netiek pilnīgi izmantotas ar kūtsmēsliem un minerālmēsliem ienestās augu barības vielas. Palielinās veselībai bīstamo radioaktīvo un smago metālu uzņemšana augos. Bez tam skābās augsnēs, kurās trūkst kalcijs un magnijs, pasliktinās fizikālās īpašības - veidojas nelabvēlīgs mitruma un gaisa režīms, neveidojas izturīga, drupataina augsnes struktūra (Skromanis, Reinfelde, Timbare, 1994).

Augsnes OV un māla saturs ir parametri, kuri mainās lēni, kamēr augsnes nitrātu saturs mainās salīdzinoši ātri. Savukārt P, K saturu un reakciju raksturo vidēji īslaicīga mainība (Pilesjo, Thylen, Persson, 2005).

Čehijā veiktajā izmēģinājumā augsnes paraugi agroķīmiskajām analīzēm ņemti aramkārtā no 0 līdz 30 cm dziļumam, koordinātu tīklā 40 × 40 m. Izmēģinājumi iekārtoti divos laukos, kur vidējais P saturs bija 25.6 un 34.1 mg kg⁻¹, K saturs 211.4 un 141.3 mg kg⁻¹ un pH 7.2 un 6.4. Krasas atšķirības ir vērojamas K saturā pa laukiem, ko zinātnieki izskaidro ar neregulāru minerālmēslu lietošanu pagātnē. Augsnes īpašību variācijas laukā ir cēlonis mijiedarbībai starp atsevišķiem neatkarīgajiem augsnes veidošanās procesiem, tādiem kā ģeoloģija, reljefs, klimats u.c. (Brodsky, Vanek, Boruvka et al., 2004).

Francijā veiktā izmēģinājumā laika posmā no 1998. līdz 2000. gadam, ziemas kviešu sējumā pozitīva lineāra korelācija konstatēta starp N un P₂O₅ ($r_{yx} = 0.84$) un negatīva starp N un augiem pieejamo ūdens daudzumu ($r_{yx} = -0.74$). Konstatēts pozitīvs korelācijas koeficients starp K₂O un P₂O₅ ($r_{yx} = 0.76$) un negatīvs starp P₂O₅ un augiem pieejamo ūdens daudzumu ($r_{yx} = -0.70$). Savukārt sakarības ar pH KCl netika konstatētas (Bourennane, Nicoullaud, Couturier et al., 2003).

Anglijā iekārtotā izmēģinājumā augsnes barības vielām, pH un OV saturam bija savstarpēja saistība saimniecības zonās. Ziemas miežu un kviešu raža 1997. gadā bija ievērojami zemāka nekā 1996. gadā, lai gan šajā gadā tika konstatēts lielāks nokrišņu daudzums. Tas ir izskaidrojams ar to, ka 1997. gadā novēroti sala bojājumi, ražas starpība bijusi 1 - 5 t ha⁻¹. Izmēģinājumā OV, P, K, pH, varš (Cu), magnijs (Mg), mangāns (Mn) un cinks (Zn) noteikts rudenī un pavasarī, 5 m rādiusā no novērojuma punkta 50 m tīklā. Izmēģinājumā tika konstatētas būtiskas atšķirības starp Cu, Mg, Mn un Zn saturu dažādās zonās. Dažas no tām tuvojās rekomendētajam minimālajam līmenim. Klāstera analīze starp ražu un elektromagnētiskās indukcijas datiem saimniecības zonās parādīja atšķirības augsnes barības vielu saturā. Šāds zonu sadalījums ir labs priekšnosacījums augsnes paraugu analizēšanai un atbilstoši vietai piemērotu minerālmēslu lietošanai. Izmēģinājumā konstatēta sakritība starp augsnes un ražas mainīgumu sausajās sezonās. Augsta māla satura augsnēs slapjos gados zems ražas iznākums norāda uz pārmērīgu augsnes mitrumu. Augsnes apstākļi bija pamatā īslaicīgai sezonālo faktoru ietekmei. Tāpēc ir nepieciešams novērtēt ražas mainīgumu katrā laukā katru gadu (Taylor, Wood, Earl et al., 2003).

Anglijā veiktajā izmēģinājumā konstatēts, ka lauka daļās, kurās iegūta augstāka labību raža, bija laba ūdens ietilpība, augsts OV saturs, labs P un K nodrošinājums, kā rezultātā iegūta arī augstāka blakusprodukcija - saknes, rugāji, kas pēc sadalīšanās atstāja augsnē barības vielas pēcaugam (Moore, 1997).

Spānijā laika posmā no 1999. līdz 2001. gadam iekārtoti izmēģinājumi divos laukos, vienā atlikti 49, otrā 78 punkti 50 × 50 m labību sējumos. Izmēģinājuma laukos punktu relatīvais augstums virs jūras līmeņa bija 773.20 - 808.80 m; organisko vielu saturs robežās no 0.19 līdz 1.29%; pH KCl no 6.95 līdz 9.10; fosfora saturs 8.17 - 154.40 mg kg⁻¹; kālija saturs 37.00 - 312.10 mg kg⁻¹ un māla daļiņu saturs 15.80 - 46.90%. Izmēģinājumā analizētos augsnes parametrus raksturo relatīvais punktu augstums, m, virs jūras līmeņa pirmajā laukā ar 49 punktiem $R^2 = 0.84$ (determinācijas koeficients - rāda, kādu daļu no kopējās rezultatīvās pazīmes izklides izskaidro faktoriālā pazīme) un otrajā laukā ar 78 punktiem $R^2 = 0.92$; OV saturs $R^2 = 0.41$ un $R^2 = 0.83$; pH KCl $R^2 = 0.52$ un $R^2 = 0.81$; P saturs $R^2 = 0.46$ un $R^2 = 0.63$; K saturs $R^2 = 0.67$ un $R^2 = 0.94$ un māla daļiņu saturs $R^2 = 0.86$ un $R^2 = 0.57$. Spānijā veiktajā izmēģinājumā analizētie rādītāji bija galvenie augsnes auglību noteicošie

lielumi: N, P, K, kā arī OV saturs, pH, augsnes daļiņu lielums un topogrāfiskais augstums. Analīzē uzsvars likts uz OV, N, P un K saturu augsnē, tāpēc, ka šie rādītāji ir būtiski graudaugu audzētājiem. Visi rādītāji, izņemot topogrāfiskais augstums un pH, uzrādīja augstus variāciju koeficientus. Slāpekļa satura un pH rādītāji visticamāk neatbilda normālajam sadalījumam vienā no paraugu ņemšanas vietām, bet kopumā pa visām vietām neuzrādīja šo tendenci. Organiskās vielas satura rādītāji bija zemi, kas liecina, ka šis varētu būt viens no galvenajiem faktoriem, kas noteica labību ražas mainību. Smilts saturs uzrādīja negatīvu korelāciju ar OV saturu, pH un N saturu. Topogrāfiskais augstums uzrādīja vāju korelāciju ar N un OV saturu (Vieira, Villa, Vazquez et al., 2007).

Zviedrijā veiktajos izmēģinājumos zinātnieki konstatējuši pozitīvu korelāciju starp māla saturu un OV saturu augsnē. Kālija un P mainīgā apgāde bāzējas uz ražu līmeņiem un augsnes analīzēm. Labs K, Mg un Cu saturs bieži pozitīvi korelē ar māla saturu augsnē. Nākotnē, kad barības vielu saturs tiks iznests no lauka, to varēs atbilstoši apgādāt ar makroelementiem sabalansējot N, P, K, sēra minerālmēslus, kas ir galvenais aizvietotājs un ko var aprēķināt no ražu kartes (Gustafsson, 2002).

Amerikas Savienotajās Valstīs plaši lieto augsnes pH ManagerTM ierīci, lai noteiktu augsnes reakciju lauka apstākļos, vienā hektārā veicot vairāk kā 20 mērījumus ar tiešsaistes augsnes sensoru. Iegūtie rezultāti izmantojot šīs divas metodes bija ar nelielām atšķirībām, korelācijas koeficients bija lielāks nekā 0.4. Atšķirības starp šīm divām metodēm var izskaidrot ar tiešsaistes augsnes sensoru mērījumiem un atšķirīgiem augsnes paraugiem. Atšķirības starp divām noteikšanas metodēm var tikt izskaidrotas ar tiešsaistes mērīšanu un augsnes paraugu noņemšanu līdz pat 7 m un atšķirīgiem dziļumiem. Kopējais salīdzinājums norādīja uz relatīvi ciešu korelāciju ($R^2 = 0.80$) ar lineārās regresijas taisni tuvinātu vienam. Kopējā vidējo kvadrātu kļūda bija 0.38 un atradās diapazonā no 0.28 līdz 0.55 pH dažādos laukos (Lund, Adamchuk, Collings et al., 2005).

Izmantojot augsnes tiešsaistes sensoru noteikta augsnē izmantojamā fosfora sakarība ar kukurūzas ražu ($R^2 = 0.73$ un 0.75). Šos sensorus iespējams izmantot, lai salīdzinoši ātri varētu noteikt P saturu augsnes paraugā laboratorijas un lauka apstākļos. Rekomendētā P minerālmēslu deva ir 30 kg ha^{-1} , bet lietojot augsnes tiešsaistes sensoru 25.75 kg ha^{-1} , kas ir par 4.25 kg mazāk kā rekomendētā deva (Maleki, Mouazen, Ketelaere et al., 2007).

Atšķirīgi topogrāfiskie parametri izskaidro telpiskās mainības atšķirības augsnes īpašībās un ražā. Reljefa pacēlums ir saistīts ar visiem augsni raksturojošiem parametriem. Tas šķiet loģiski, kamēr augsnes īpašības savstarpēji nekorelē. Piemēram, Zviedrijā veiktā pētījumā korelācijas koeficients starp pH un ražu bija 0.24. Arī OV un Mg saturam konstatēta tieša sakarība ar reljefa pacēlumu. Ir jāatzīmē, ka konstatēta relatīvi cieša sakarība starp nosusināto platību un ražu. Teritorijas ar mazāku nosusināto platību deva zemāku ražu kā teritorijas ar lielāku nosusināto platību. Tas var būt saistīts ar augsnes mitrumu un, ka izmēģinājuma gadi bija relatīvi sausi (1992. - 1994.). Tas arī norāda, ka dažādi parametri ir jāanalizē atsevišķi, lai noteiktu atšķirīgas zonas un izskaidrotu dažādu augsnes īpašību telpisko variēšanu. Reljefa pacēlums un nosusinātā platība bijuši vispiemērotākie rādītāji, lai nodalītu zonas, kas raksturo OV, māla, P, K, Mg satura, pH un ražas izmaiņas (Pilesjo, Thylen, Persson, 2005).

Vairāki pētījumi uzrāda, ka augsnes pH telpiskās atkarības amplitūda var būt mazāka kā 100 m vienai tīkla šūnai ar kopējo tās platību 1 ha. Piemēram, dažos gadījumos semivariogrammas amplitūda (maksimālā distance starp telpisko atkarību) var būt 21 m, kamēr, dažos laukos, izmaiņas pH intervālā var tikt novērotas attālumā,

kas ir mazāks par 12 m. Biežāka paraugu ņemšana parasti nav praktiska, sakarā ar lielām paraugu ņemšanas un analīžu izmaksām. Mēģināts uzlabot augsnes paraugu ņemšanas telpisko prognozēšanu, lietojot vēl precīzākas ģeostatiskās metodes. Šie pieņēmumi prasa biežāku paraugu ņemšanu kā parastā 1 ha intensitāte, un tāpēc nevar tikt lietotas ražošanā (Bianchini, Mallarino, 2002; Lund, Adamchuk, Collings et al., 2005).

Pastāv arī alternatīva izmantojot tiešsaistes augsnes sensorus, tādējādi palielinot kartēšanas blīvumu un relatīvi samazinot izmaksas. Iegūtie rezultāti liecina par augstu korelāciju ar standarta laboratorijas mērījumiem ($R^2 > 0.92$) un automātisko augsnes reakcijas kartēšanas sistēmu izmantojot tiešsaistes augsnes sensoru (Lund, Adamchuk, Collings et al., 2005).

Augsnes struktūra un fizikālās īpašības ietekmē ūdens kustību augsnē un pieejamību kultūraugiem. Mūsdienās plaši pieejamas ir augsnes ķīmisko īpašību izpētes kartes. Savukārt, augsnes fizikālās īpašības un to pārmaiņas ir reti noteiktas. Turklāt, zināšanas par ātri veicamām augsnes fizikālo īpašību mērījumu metodēm ir limitētas (Alakukku, Jaakkola, Hanninen et al., 2002; Wetterlind, Stenberg, Söderström, 2008).

Lielākā daļā pētījumu izmantoti paraugi tikai no augsnes virsējā slāņa, kas balstīts uz pieņēmumu, ka augsnes izmantošanas efekts atspoguļojas tikai augsnes virsējā slāņa dažu desmitu centimetru zonā (Kalbitz, 2001).

Tradicionāli augsnes īpašības nosaka analizējot augsnes paraugus, papildinot tos ar augsnes kartēm vai aerofotogrāfijām (Vrindts, Reyniers, Darius et al., 2003).

Bieži nozīmīgas atšķirības šķērsām laukam var atrast aramkārtā, kur cēloņu atšķirības ir labību dīgšanā, barības vielu un ūdens pieejamībā, kas ietekmē labību augšanu. Augsnes aramkārtas heterogenitātes cēloņi ir erozija, virsmas blīvējums, barības vielu minearalizācija un ūdens bilance. Optimālai labību augšanai ir nepieciešama atbilstoša augsnes apstrāde, sēklas gultnes sagatavošana, minerālmēsļu un herbicīdu lietošana (Selige, Natscher, Schmidhalter, 2003).

Organisko vielu saturs. Viens no galvenajiem augsnes auglību raksturojošiem rādītājiem ir organisko vielu saturs. No organisko vielu satura augsnē ir atkarīgi augu barības vielu krājumi, augsnes absorbcijas spēja, augsnes fizikālās un bioloģiskās īpašības. Šo augsnēm visraksturīgāko sastāvdaļu daudzums un īpašības ir atkarīgas no daudziem faktoriem, kuru vidū sevišķa nozīme ir organisko atlieku devējiem augiem, mitruma apstākļiem un augšņu cilmiežu ķīmiskajam sastāvam. Par augsnes organiskajām vielām parasti sauc visu augsnes organisko vielu kopumu, kurā ietilpst dažādās pakāpēs sadalījušās augu atliekas. Par trūdvielām jeb humusu sauc to augsnes organisko vielu daļu, kura izveidojusies no organisko atlieku (augu un dzīvnieku) sadalīšanās produktiem (trūdkābes u.c. organiskie savienojumi) un saistījusies ar augsnes minerālvienām (kalciju, dzelzi, alumīniju, duļķu daļiņām) pret noārdīšanos izturīgos savienojumos. Trūdvielas ir viena no būtiski svarīgākajām augsnes sastāvdaļām, kura atšķir augsni no ieža. To daudzums augsnē un kvalitāte ietekmē augsnes bioloģiskās un arī visas pārējās īpašības. Trūdvielas ir galvenais augsnes auglību noteicošais komponents. Augsnē noritošo procesu rezultātā nepārtraukti mainās kā trūdvielu daudzums, tā arī to kvalitāte. Taču šīs izmaiņas notiek lēni un ir grūti ietekmējamas. Humificēšanos veicina kalcija un slāpekļa krājumi augu atliekās un augsnē, kā arī pārmaiņus notiekoša augšņu samitrināšanās un izžūšana. Liela nozīme trūdvielu veidošanā ir mikroorganismiem, sliekām u.c. augsnes faunas pārstāvjiem (Brīvkalns, 1978; Bonāts, 1980; Daiga, Ozola, Vēvers u.c., 1990; Riekstiņš, 2008).

Augsnes organisko vielu izejmateriāls ir augu un dzīvnieku atliekas. Šo atlieku veids, ķīmiskais sastāvs un ikgadējais daudzums ir atkarīgs no augu cenozes un to

attīstības. Lielākās augu atlieku veida, sastāva un daudzuma atšķirības ir vērojamas mežos, platībās ar dabiskajiem zālājiem un lauksaimniecības kultūraugiem. Aptuveni vienādos klimatiskajos apstākļos savvaļas augu cenozes ieviešas un attīstās galvenokārt atkarībā no vietas mitruma apstākļiem un augsnes cilmiežu granulometriskā un ķīmiskā sastāva (Brīvkalns, 1978; Bonāts, 1980).

Organiskajai vielai ir liela ietekme uz augsnes bioloģiskajām, fizikālajām un fizikāli ķīmiskajām īpašībām, t.i., augsnes organiskās vielas daudzums un sastāvs tieši vai netieši ietekmē visas agronomiski vērtīgākās augsne īpašības. Ar augsnes OV humifikāciju cieši saistīta trūdvielu uzkrāšana augsnes velēnā. Organiskās vielas satur gandrīz visus augu barībai nepieciešamos makro un mikro elementus (Riekstiņš, 2008).

Smagās granulometriskā sastāva augsnes labāk spēj saglabāt mitrumu un uzkrāt augu barības elementus, turpretī viegla granulometriskā sastāva augsnēm šādas īpašības mazāk izteiktas. Pieaugot trūdvielas saturam augsnes īpašības vairumā gadījumu uzlabojas. Augsts trūdvielu saturs palielina augsnes katjonu apmaiņas spēju (augsnē adsorbcijas kapacitāti), tādējādi samazinās katjonu formā esošo augu barības elementu kustīgums un izskalošanās risks. Trūdvielas uzlabo augsnes struktūru, kas palielina ūdeņu infiltrācijas spēju, spēju akumulēt ūdens krājumus un samazina augu barības elementu izskalošanās risku (Lauksaimniecības un vides riska, 2005).

Viens no galvenajiem neregulējamiem faktoriem, kas nosaka nokrišņu ūdens iztvaikošanas produktivitāti, ir trūdvielu saturs augsnē, ko var palielināt tikai vairāku gadu mērķtiecīga darba rezultātā. Augsekā un trūdvielām bagātās, iekultivētās augsnēs kultūraugu ražas pa gadiem ir stabilākas. Jo vairāk augsnē ir trūdvielas, jo vairāk tā spēj saistīt ūdeni, kurš savukārt ziemā sasilstot un izplešoties uzirdina augsni. Gadījumos, kad ziemas ir siltas, augsne dziļi nesasalst pavasaros tā ir blīva (Lapiņš, 1997).

Organiskās vielas saturam augsnē ir pozitīva agroekoloģiskā nozīme, jo tas stabilizē mitruma apstākļus un augsnes struktūru, samazina sakārtas blīvumu, samazina iespēju izskalošies barības elementiem no augu sakņu zonas, uztur augstu augsnes bioloģisko aktivitāti, kas veicina barības elementu izmantošanos, pesticīdu sadalīšanos, samazina kaitīgo vielu kustīgumu augsnē u.c. (Oades, 1984).

Organiskās vielas pozitīvi ietekmē augsnes struktūru, aramkārtas dziļumu, augsnes blīvumu, ūdens uzsūkšanās un noturētspēju, ūdens un gaisa kustību augsnē un uzlabo augsnes kvalitāti. Augsnē OV palīdz saistīt kopā augsnes daļiņas, pieaug augsnes agregātu noturība, tā ir krātuve augu barības vielām un samazina arī augsnes noteci un erozijas iespējas³.

Lauka izmēģinājumos ar dažādu augsnes apstrādes dziļumu lielas organiskās vielas satura izmaiņas parasti netiek atzīmētas. Valda uzskats, ka, atsakoties no aršanas, OV uzkrājas augsnes virsējā 10 - 15 cm slānī, kur organiskās vielas saturs ir par dažām procenta desmitdaļām lielāks nekā aramkārtas apakšējā daļā (Hubbard, Jordan, 1996; Gavito, Curtis, Mikkelsen et al., 2001).

Vairāki zinātnieki ir vienprātīgi, ka intensīva augsnes iridīnāšana veicina trūda noārdīšanos. Tāpat tiek atzīts, ka virspusēja (6 - 10 cm dziļa) augsnes apstrāde ar šķīvjū ecēšām, frēzēm, vēršējlobītājiem u.c., kas iestrādā rugājus un citas augu atliekas aramkārtas virsējā slānī, veicina to ātrāku sadalīšanos, salīdzinot ar iearšanu 22 - 25 cm dziļumā (Carter, 1996).

Vācijā veiktajos izmēģinājumos augsnes struktūra un OV saturs šķērsām laukam tika noteikts lietojot lauka spektrometru un aviācijas hiperspektrālo attēlojumu ar mērķi,

³ Crop Fertilization Improves Soil Quality, Enviro-Briefs, [tiešsaiste] [skatīts 2011. g. 24. sept.].
<http://www.ppi-ppic.org/enviro-briefs>

lai uzlabotu precīzu augsnes kartēšanu. Divi nozīmīgi augsnes parametri laukkopībā ir OV un māla saturs, kas korelē ar spektrālajām īpašībām. Abus parametrus var noteikt vienlaikus (Ben-Dor, Banin, 1995; Selige, Natscher, Schmidhalter, 2003; Udelhover, Emmerling, Jamer, 2003).

1.1.3. Augsnes agrofizikālās īpašības

Augsnes fizikālās īpašības - augsnes īpašības, procesi un reakcijas, kuras radījuši fizikāli spēki un kuras var aprakstīt un izteikt ar fizikāliem terminiem vai vienādojumiem. Augsnei kā dispersam dabas ķermenim piemīt noteiktas fizikālās un fizikāli mehāniskās īpašības, kuras nosaka granulometriskais sastāvs, humusvielu daudzums, ūdens saturs u.c. Fizikālās un fizikāli mehāniskās īpašības nosaka dažādu procesu norisi augsnē, ietekmējot augu augšanu un attīstību. Platībās, kur agroķīmiskās īpašības ir tuvas optimālajām, par lauksaimniecības kultūraugu ražības līmeni limitējošo faktoru var kļūt augšņu fizikālās īpašības - blīvums (sinonīmi - augsnes cietās fāzes īpatsvars, īpatnējais blīvums), cieto daļiņu tilpummasa, tilpummasa, sakārtas blīvums (Klovāns, Kroģere, 1978; Hill, 1990; Melngalvis, Liepiņš, Ausmane, 2001; Līpenīte, Kārklīš, 2011).

Terminoloģiju un rakstību formu dažādi autori izejot no laika perioda, kad zinātniskie pētījumi ir veikti un publicēti, nosauc un izsaka atšķirīgās mērvienībās: g cm^{-3} ; g/cm^3 , t m^{-3} ; t/m^3 ; bet pēc pārejas uz SI mērvienību sistēmu vēlams lietot: $\text{kg m}^{-3} \times 10^3$.

Augsnes tilpummasa - dabiskas, absolūti sausas neizjauktas sakārtas augsnes parauga vienas tilpuma vienības masa. Parasti tā tiek attiecināta uz smalkzemes frakciju. Augsnes skeleta daļiņu aizņemto tilpumu un masu no aprēķiniem izslēdz (pēc A. Kārklīņa). Augsnes tilpummasa kā dabiski porainas augsnes tilpuma vienības masa kalpo par augsnes porainības un sablīvētības indikatoru.

Augsnes apstrādes laikā augsne tiek sadalīta dažāda lieluma agregātos. Šie agregāti augu augšanas laikā tiek pakļauti dažādu apstākļu ietekmei, piemēram, nokrišņu ūdens darbībai un ziemas salam, līdz ar to mainās augsnes struktūra un tilpummasa. Pētījumi par augsnes struktūras un tilpummasas izmaiņām veģetācijas perioda laikā veikti Saratovā 20. gadsimta 60 - to gadu sākumā dažādu kultūraugu sējumos vairākus gadus pēc kārtas (ziemas rudzi, vasaras kvieši, kukurūza, vasaras mieži un viens lauks atstāts papuvē). Augšņu izpētē izmantoja 100 cm^3 metāla cilindrus 8 atkārtojumos un divos dziļumos, 0 - 10 un 10 - 20 cm, aramkārtā. Visus izmēģinājumus veica vienlaicīgi un tie tika pieskaņoti vasaras miežu sējumu attīstībai. Paraugus ņēma laikā, kad miežu sējumi bija tikko sadīguši un pirms to novākšanas. Pētījuma rezultāti norādīja uz augsnes sablīvēšanos veģetācijas perioda laikā visos variantos. Atzīmēts tika fakts, ka izmēģinājumos vasarā, kad bija vērojams lielāks nokrišņu daudzums, sablīvējums attiecīgi arī bija izteiktāks. Izmēģinājumā konstatēts fakts, ka dažādos sējumos ir vērojama atšķirīga sablīvējuma dinamika. Pretēji apgalvojumam par to, ka pēc kukurūzas ir vērojama irdena augsne, pierādījās fakts, ka situācija ir analogiska kā graudaugu sējumos. Tāpat tika konstatēta mazāka pretestība papuvē. Tas varētu būt izskaidrojams ar to, ka augsnē bez augiem ir vairāk mitruma nekā sējumos. Izteiktas tilpummasas izmaiņas tika novērotas ziemas rudzu un vasaras miežu sējumos. Par iemeslu šādām izmaiņām varētu kalpot priekšauga izvēle. Rudzi tika sēti pēc papuves, bet mieži pēc kukurūzas un rudziem. Izmēģinājumā pēc rudziem augsnes tilpummasa miežu sējumos bija mazāka nekā sējumos pēc kukurūzas. Turpretī

pirms ražas novākšanas būtiskas atšķirības augsnes tilpummasā starp kultūraugu sējumiem netika novērotas - abos sējumos augsnes tilpummasa bija palielinājusies. Atšķirības bija vērojamas tikai pa gadiem - ar nokrišņiem bagātākajos gados augsnes tilpummasa arī bija lielāka. Atzīmēts, ka mitrākajos gados augsnes mitrums ir lielāks laukos, kuros ir veikta aršana aramkārtas dziļumā, turpretī sausākās vasarās lielāks mitruma daudzums ir laukos, kur veikta minimālā apstrāde. Vadoties no novērojumiem, var pieņemt, ka nokrišņi ir galvenais faktors, kas veicina augsnes sablīvēšanos. Pētīta arī augsnes sablīvēšanās pie dažādiem augsnes apstrādes veidiem un apstrādes dziļumiem. Izmēģinājumā izmantota apvēršanas un bezapvēršanas augsnes apstrāde. Rezultāti parādīja, ka bezapvēršanas tehnoloģijas pielietošana rada mazliet blīvāku augsni pavasarī, bet veģetācijas perioda laikā šī augsne sablīvējas nedaudz mazāk nekā pie apvēršanas. Tāpat atšķiras augsnes blīvums pa slāņiem. Visblīvākais slānis ir augsnes virskārtā līdz 20 cm dziļumam, dziļākajos slāņos sakārtas blīvums samazinās. Variantos ar aršanu 20 - 22 cm un lobīšanu 8 - 10 cm bija novērota intensīvāka augsnes sablīvēšanās tieši pie seklās apstrādes. Atzīmēta arī zemaramkārtas sablīvēšanās, kas vedina domāt, ka ir vēl kādi apstākļi, kas sablīvē augsni veģetācijas perioda laikā (Макаренко, 1985).

Dabiskas sakārtas augsnes tilpumā ietilpst gan augsnes cietā fāze (minerālā un organiskā daļa), gan arī augsnes tukšumi. Tādējādi tilpummasa raksturo augsnes kopējo porainību. Tā ir atkarīga no citām augsnes īpašībām, tās pašsablīvēšanās, augsnes dzīvnieku darbības u.c. apstākļiem. Zema tilpummasa (parasti mazāka par $1.3 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$) galvenokārt norāda uz porainu augsni. Augstākas tilpummasas rādītāji (blīvāka augsne) liecina par sliktākiem apstākļiem augu sakņu attīstībai, samazinātu gaisa piekļuvi, nelabvēlīgiem hidroloģiskiem faktoriem (piemēram, samazinātu ūdens filtrāciju) (Līpenīte, Kārklīšs, 2011).

Augsnes struktūra ir mainīga. Struktūras izmaiņas ir vērojamas gan dabisku faktoru, gan cilvēka darbības rezultātā. Platībās, kur norisinās saimnieciskā darbība, tiek novēroti dažāda veida sablīvējumi. Var izveidoties vienlaidus sablīvējumi, kad augsne sablīvējas vienādi visā laukā, kā arī vietējas nozīmes sablīvējumi, kad augsne sablīvējas kādā lauka vietā. Tāpat ir vērojamas situācijas, kad augsne ir sablīvēta līdz noteiktam dziļumam vai arī pa slāņiem. Ir augsnes, kas ir jau ģenētiski blīvas. Tās ir veidojušās iežu dēdēšanas apstākļos, piemēram, māli. Taču atšķirīga sablīvēšanās ir vērojama dažāda granulometriskā sastāva augsnēs. Galvenie augšņu sablīvēšanās cēloņi ir augsnes apstrāde un tai izmantotā tehnika, ķīmisko vielu ietekme, augsnes struktūras saistvielu samazināšanās, klimatiskie faktori - sasalums, atkušņi (Smilga, 2000).

Ja augsne ir pārāk irdena, varbūt negatīvas sekas: augu saknes neizveido nepieciešamo kontaktu ar augsni, lielajās nekapilārajās porās un tukšumos veidojas nevajadzīgie sakņu izlocījumi; augsnei dabiski blīvējoties, tiek sarauta augu sakņu sistēma. Ziemāji, iesēti svaigi uzartā un kultivētā augsnē rudenī, kad pietiek mitruma un siltuma, ātri izveido plašu sakņu sistēmu, kur vēlāk, rudens lietavu ietekmē augsnei intensīvi blīvējoties, tiek stipri bojāta un, ziemāji bargākās ziemās izsalst. Pārāk irdena augsnes kārtā visā tās dziļumā pastiprināti zaudē mitrumu, ko gaisa strāvas, cirkulējot lielajās nekapilārajās porās un tukšumos, iznes tvaiku veidā, tāpēc aršana vai pārāršana pavasara - vasaras periodā, kā arī kultivēšana un lobīšana sausā laikā jāveic agregātā ar šļūcēm, ecēšām vai veltņiem (Klovāns, Kroģere, 1978; Līpenīte, Kārklīšs, 2011).

Pārāk blīvas augsnes negatīvās sekas izpaužas šādi: augu saknes iespiežoties un izvietojoties, sastop lielu pretestību, aptverot nelielu augsnes masu; nokrišņu ūdens iesūkšanās notiek lēni, lielākā daļa notek pa lauka virsmu, izraisot augsnes eroziju un zemās porainības dēļ blīvā augsnē ūdens krājums ir neliels. Zinātnieku pētījumi parāda,

ka, jo blīvāka augsne, jo mazāks ir augiem pieejamā ūdens krājums, tātad stipri mazāks par kopējo, jau tā nelielo ūdens krājumu. Blīvā augsnē nenotiek normāla gāzu apmaiņa starp augsnes un atmosfēras gaisu, uzkrājas augiem, mikroorganismiem un augsnes faunai kaitīgas (toksiskas) vielas, tiek ierobežots nitrifikācijas process, traucēta aerobo mikroorganismu darbība u.c. (Klovāns, Kroģere, 1978; Smilga, 2000).

Agrotehniski pieļaujama fizikālās augsnes gatavības mitruma intervāls vidēja granulometriskā sastāva minerālaugsnēm ir 12 - 21% pret absolūti sausas augsnes masu. Tāpēc ne vienmēr kapilārās poras ir pildītas ar ūdeni, daļēji tajās var būt arī gaiss. Mālainas, ar organiskām vielām bagātas augsnes tilpumu maina stiprāk nekā viegla granulometriskā sastāva un ar organiskām vielām nabadzīgas augsnes (Klovāns, Kroģere, 1978).

Augsnes blīvums - viens no nozīmīgākajiem augsnes fizikālajiem rādītājiem, kas raksturo cietās fāzes (daļiņu) tilpummasu. Pēc blīvuma netieši var spriest par organisko vielu daudzumu minerālaugsnēs, jo minerālās daļas blīvums parasti ir $2.56 - 2.76 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$, bet organiskai vielai tas var būt pat $0.9 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ un zemāks. Jo vairāk organisko vielu satur augsne, jo mazāks ir tās blīvums, - un otrādi (Klovāns, Kroģere, 1978).

Augsnes sakārtas blīvums ir absolūti sausas, dabiski porainas augsnes tilpuma vienības masa, kuru koriģē māla saturs augsnē un var izteikt iepriekš minētās mērvienībās. Daudzās publikācijās termins *sakārtas blīvums* un *tilpummasa* tiek lietoti kā sinonīmi (Klovāns, Kroģere, 1978) un arī tāpat lietoti dažādi to mērvienību rakstību veidi, neievērojot SI sistēmas prasības. Tikai vienā no beidzamajām publikācijām (Līpenīte, Kārklīšs, 2011) parādās iepriekš minēto terminu precīzs skaidrojums.

Sakārtas blīvumu (L_d , $\text{kg m}^{-3} \times 10^3$) aprēķina pēc formulas:

$$L_d = D + 0.009 \times C, \quad (1)$$

kur

D, kg m^{-3} - augsnes tilpummasa;

C, % - māla saturs.

Augsnes sakārtas blīvums ir svarīgs rādītājs. Sakārtas blīvums ietekmē daudzas citas īpašības. Šajā jomā plašus pētījumus veikuši profesoru K. Krūmiņa un K. Brīvkalna doktoranti un zinātniskie līdzstrādnieki. Daudzo izmēģinājumu rezultāti parāda, ka minerālaugšņu (ar trūdvielu saturu 20 - 30 g kg^{-1}) optimālais sakārtas blīvums ļoti daudzu laukaugu audzēšanai ir $1.20 - 1.40 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$. Minētajās robežās dažādiem kultūraugiem tas var būt dažāds. Augsnē ar šādu blīvumu ir labs ūdens, gaisa, barības vielu un siltuma režīms, kā arī vislabāk norisinās mikrobioloģiskie procesi. Pēc literatūras datiem tiek izdalītas trīs sakārtas blīvuma klases: zema - $< 1.40 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$, vidēja $1.40 - 1.75 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ un augsta - $> 1.75 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$. Augsnes, kuru sakārtas blīvums ir lielāks par $1.75 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$, tiek uzskatītas par sablīvētām, un to gaisietilpība gandrīz vienmēr ir mazāka par 10% vai bieži pat mazāka par 5%. Mūsu republikas minerālaugšņu sakārtas blīvums parasti pārsniedz optimālo blīvumu, t.i., uzirdināta augsne galvenokārt dabisko blīvēšanas faktoru ietekmē pakāpeniski sablīvējas līdz t.s. līdzsvara blīvumam. Turpretī arī sablīvēta augsne dabisko irdinošo faktoru ietekmē ar laiku uzirdinās. Dabiskie augsni blīvējoši faktori ir nokrišņu un vēja darbība, kā arī augsnes pašsvars, t.i., gravitācijas iedarbība. Dabiskie irdinošie faktori ir sāls, augsnes briešanas un žūšanas norises, augu sakņu, sīkbūtņu, slieku, kukaiņu un to kāpuru darbība. Sevišķa nozīme ir ziemas salam. Augsnē esošam ūdenim sasalstot, tas palielinās tilpumā apmēram par 0.1 un savstarpēji attālina agregātus. Pēc ledus atkušanas augsne kļūst irdenāka. Ziemas sāls augsni irdina spēcīgi un vienmērīgi visā sasaluma kārtā. Tātad augsnes līdzsvara blīvums tiek sasniegts un arī uzturēts dabisko

blīvējošo un irdinošo faktoru mijiedarbībā. Līdzsvara blīvums gada laikā nedaudz mainās, piemēram, mitrai augsnei sasilstot, tā uzirdinās, vēlāk pakāpeniski sablīvējas. Latvijas minerālaugšņu līdzsvara blīvums ir apmēram $1.45 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$, tātad pārsniedz optimālo sakārtas blīvumu, tāpēc tās ik gadus jāapstrādā pietiekami intensīvi. Sakarā ar samērā neizturīgo aramkārtas sakārtu (maz ūdensizturīgo struktūras agregātu) pavasarī izveidotais optimālais blīvums ar pēcsējas apstrādes u.c. paņēmieniem jā saglabā visā veģetācijas laikā (Klovāns, Kroģere, 1978; Jones, Spoor, Thomasson, 2003; Spoor, Tijink, Weiskopf, 2003; Kaufmann, Tobias, Schulin, 2010; Līpenīte, Kārkliņš, 2011).

Latvijā augšņu aramkārtas sakārtas blīvums ir plašā intervālā no $0.4 - 0.8 \times 10^3$ līdz $1.5 - 1.6 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$. Sakārtas blīvums ir mazāks augsnēm ar palielinātu organisko vielu saturu. Visās augsnēs nav iespējama viena unificēta augsnes apstrādes sistēma. Tā diferencējama atkarībā no OV satura augsnē un tās granulometriskā sastāva. Atsevišķās, ar OV bagātās augsnēs aršana un cita veida augsnes irdināšana nav nepieciešama. Tā ir pat bremsējošs faktors augstu kultūraugu ražu ieguvē. Piemēram, augšņu sakārtas blīvums pie atšķirīga OV satura un granulometriskā sastāva grupām ir atšķirīgs (skat. 1.1. tab.) (Lapiņš, Kažotnieks, 1998).

1.1. tabula

Aptuvens augsnes sakārtas blīvums, $\text{kg m}^{-3} \times 10^3$, atkarībā no organisko vielu satura un granulometriskā sastāva Latvijā (Lapiņš D., Kažotnieks J., 1998)

OV saturs, g kg^{-1}	Granulometriskais sastāvs			
	smilts, grants	mālsmilts	smilšmāls	māls
1.0 - 6.0	1.3 - 1.5	1.5 - 1.6	1.7 - 1.8	1.9 - 2.0
6.0 - 13.0	1.2 - 1.4	1.4 - 1.5	1.6 - 1.7	1.8 - 1.9
13.0 - 20.0	1.1 - 1.3	1.3 - 1.5	1.5 - 1.6	1.7 - 1.8
20.0 - 28.0	1.0 - 1.2	1.2 - 1.4	1.4 - 1.6	1.6 - 1.8
28.0 - 36.0	1.0 - 1.2	1.1 - 1.3	1.3 - 1.4	1.5 - 1.7
36.0 - 44.0	1.0 - 1.2	1.0 - 1.2	1.2 - 1.4	1.4 - 1.6
44.0 - 50.0	0.9 - 1.1	1.0 - 1.2	1.1 - 1.3	1.3 - 1.5
50.0 - 100.0	0.8 - 1.0	0.9 - 1.1	1.0 - 1.2	1.0 - 1.2

Kultūraugiem ir iespējams labi augt un attīstīties tikai labvēlīgos fizikālos, ķīmiskos un bioloģiskos apstākļos. Tāpēc augsnes uzturēšana irdenā stāvoklī un noteiktā blīvumā ir svarīgs priekšnoteikums augstvērtīgas ražas ieguvei (Труфанов, 1989).

Augsnes sakārta - augsnes fizikāls stāvoklis, ko nosaka ne tikai tās tilpummasa, bet arī granulometriskais sastāvs. Sakārta veido noteiktu ūdens un gaisa režīmu augsnē, un tā ir atkarīga gan no augsnes granulometriskā sastāva, gan humusa satura un augsnes struktūras (pēc A. Kārkliņa). Augsnes tilpummasa lielā mērā nosaka augšņu ūdens un gaisa režīmu, tajā skaitā ūdens vertikālo migrāciju, sakņu izplatību un citus augu augšanas apstākļus. Bez tam blīvuma rādītāji tiek izmantoti augšņu masas, augu barības vielu un mitruma krājumu, laistīšanas devu aprēķinos. Augšņu sakārtas blīvums ir nozīmīgs augšņu auglības rādītājs. Augsnes tilpummasa galvenokārt ir atkarīga no OV satura (Klovāns, Kroģere, 1978).

Augsnes struktūras uzlabošanas pasākumus ieteic veikt, kad augsnes sakārtas blīvums pārsniedz $1.5 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$. Labai kultūraugu augšanai, vidēji smagai augsnei vēlamijs sakārtas blīvums ir $1.3 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$. Šādu augsnes sakārtas blīvumu ir grūti

nodrošināt māla augsnēs. Tāpat mālainās augsnēs ir problēmas nodrošināt ūdenscaurlaidīgu augsnes zemaramkārtas struktūru. Latvijas klimatiskajos apstākļos sala darbības rezultātā veiktā irdināšana nav tik izteikta. Sala ietekmi mazina arī augsnes zemsedze un neuzirdinātā aramkārtā. Līdz ar to augsnēs, kurās nenotiek cilvēka saimnieciskā darbība vērojami sablīvēšanās procesi, kā rezultātā pasliktinās augsnes ūdens režīms (Smilga, 2000).

Augsnes sakārtas blīvums un ūdens saturs augsnē vairakkārt mainās kultūraugu augšanas laikā. Savukārt augsnes ūdeni ietekmē kultūraugu lapotne, iztvaikošanas koeficients un nokrišņi. Nogāzēs augsnes sakārtas blīvumu ietekmē arī nevienāda lauksaimniecības tehnikas noslodze sakarā ar lielāku tehnikas ritošās daļas vadošā tilta riteņu saskari ar augsni. Iegūtie rezultāti parāda, ka augsnes sakārtas blīvums pozitīvi korelē ar augsnes penetrometrisko pretestību gan pavasarī, gan rudenī. Savukārt augsnes penetrometriskā pretestība negatīvi korelē ar ūdens saturu. Novērotās tendences un būtiskas korelācijas trūkums vairumā gadījumu starp augsnes penetrometrisko pretestību un ūdens saturu augsnē norāda, ka sakarības starp mainīgajiem lielumiem ir daudz komplicētākas, lai to raksturotu tikai ar korelāciju. Palielinoties ūdens saturam augsnē, augsnes penetrometriskā pretestība samazinās. Korelāciju analīze uzrāda, ka būtisks augsnes ūdens satura efekts uz augsnes penetrometrisko pretestību parādās tikai tad, kad ūdens saturs ir vienādā vai lielākā līmenī kā ūdens ietilpība (Ferrero, Usowicz, Lipiec, 2005).

Augsnes mitruma režīms un sablīvēšanās. Augsnes mitruma režīms - ūdens veidu (higroskopiskais, plēvīšu, kapilārais, brīvais) un daudzuma dinamika gada laikā augsnes slānī, kurā izvietojas galvenā augu sakņu masa. **Augsnes mitrums** - ūdens, kas atrodas augsnes porās, plaisās un citos tukšumos (pēc A. Kārklīņa).

Augu attīstībā būtiska nozīme ir ūdens un augu barības vielu daudzuma kopsakarībai. Tomēr daudz ūdens un barības vielu vien vēl nenodrošina optimālus auglības apstākļus augsnē. Lai kultūraugi varētu normāli attīstīties, augsnē jābūt arī noteiktam gaisa daudzumam (20 - 40% no poru tilpuma) un jānotiek augsnes un atmosfēras gaisa apmaiņai. Tāpēc pārmitrās augsnēs, arī tad, ja barības vielu pietiek, kultūraugu ražas ir zemas. Ideāli būtu, ja augsnes trūdvielu horizontā, kur koncentrējas (sevišķi, augsni mēslojot) augu barības vielas, ikvienam kultūraugam pastāvīgi būtu pieejams optimāls ūdens daudzums (Brīvkalns, 1978).

Lauka apstākļos veģetācijas perioda sākumā augsne parasti ir stipri mitra. Īsākā vai ilgākā laikā (tas atkarīgs no augsnes ūdenscauralaidības u.c. tās īpašībām) mitruma saturs augsnes horizontos samazinās līdz lauka mitrumietilpības stāvoklim, t.i., augsnē paliek tik daudz ūdens, cik tā var noturēt kapilārspēki u.tml. faktori. Periodiski nokrišņi augsnes mitruma daudzumu palielina, bet savukārt augu transpirācija un izgarošana tieši no augsnes to samazina. Spēja saistīt ūdeni (lauka mitrumietilpība) dažādām augsnēm ir visai dažāda. Vismazākā tā ir organiskām vielām nabadzīgām viegla granulometriskā sastāva augsnēm. Smaga granulometriskā sastāva (māla) augsnes spēj saistīt daudz ūdens, bet šo augšņu sliktās fizikālās īpašības (blīvums, sīkporainība, lielais augiem neuzņemamā mitruma saturs u.c.) samazina iespēju augu saknēm šo mitrumu efektīvi izmantot. Labi mitruma apstākļi ir raksturīgi automorfām un drenētām pushidromorfām vidēja granulometriskā sastāva (viegla un vidēja smilšmāla, arī ar mālsmilts virskārtu) augsnēm, jo tās pa lielākai daļai labi spēj saistīt mitrumu, ir porozas un ūdenscaurlaidīgas. Izmatojot pareizu agrotehniku, augsnes fizikālās īpašības tiek uzlabotas un augsnes virskārtas ilgstošas pārmitrināšanās gadījumi kļūst retāki (Brīvkalns, 1978).

Veģetācijas periodā, izņemot pārmitrus gadus, nokrišņu nav tik daudz, lai tie varētu samitrināt visu augsnes profilu tādā mērā, ka ūdens sāktu filtrēties, t.i., notecētu par drenām. Periodiskais lietus visbiežāk samitrina tikai augsnes virskārtu, un arī tad ne visu trūdvielu horizontu. Aktīvajā veģetācijas periodā, kad gaisa temperatūra ir virs 10°, no augsnes un augiem iztvaikojušais ūdens daudzums parasti pārsniedz nokrišņu ūdens daudzumu, tāpēc augi izmanto augsnes mitruma rezerves. Iestājoties ilgstošākiem bezlietus periodiem, ūdens daudzums augsnē var tuvojies kritiskā mitruma stāvoklim, kad augi jau sāk vīst. Ūdens trūkumu visvairāk izjūt viegla un smaga granulometriskā sastāva augsnēs lauksaimniecības kultūraugi ar seklu sakņu sistēmu. Periods, kad ūdens rezerves augsnē stipri novirzās no augu optimālai attīstībai vajadzīgā mitruma stāvokļa, augi vairs nevar intensīvi izmantot augsnē esošās barības vielas. Tāpēc gan pārāk slapjās, gan arī sausās vasarās augsts agrofons nevar nodrošināt augtas ražas (Brīvkalns, 1978).

Augiem uzņemamo mitruma daudzumu augsnē var palielināt arī, augsni iekultivējot, t.i., palielinot tās dabisko spēju saistīt mitrumu, pie tam neierobežojot liekā mitruma filtrāciju. Tas panākams, palielinot organisko vielu daudzumu automorfo augšņu trūdvielu horizontā, irdinot augsnes apakškārtu u.tml. (Brīvkalns, 1978).

Svarīgs faktors, kas ietekmē visu kultūraugu ražību, ir mitruma režīms. Atkarībā no augsnes mitruma režīma mainās augu augšanas apstākļi, minerālmēsļu izmantošana un arī pati kultūraugu audzēšanas tehnoloģija. Visas lauksaimnieciski izmantojamo zemju platības atkarībā no to mitruma stāvokļa ir sadalītas 6 grupās, šīs grupas ir kodētas un katrai grupai noteiktas pazīmes, pēc kurām speciālisti var konstatēt attiecīgā darba nogabala atbilstību vienam vai otram mitruma režīmam. Dažādi kultūraugi dažādi reaģē uz augsnes mitruma apstākļiem. To ietekmi uz ražu izsaka ar mitruma režīma ražas korekcijas koeficientiem, kas dažādām kultūraugu grupām ir atšķirīgi. Nogabalos, kuros ir dabiski normāls mitruma režīms vai arī kuri ir kvalitatīvi meliorēti ar segto drenāžu, mitruma režīma ražas korekcijas koeficients ir 1.0. Novirzes no normāla mitruma režīma gan uz sausuma, gan mitruma palielināšanās pusi ražu samazina, un šādos gadījumos šis koeficients ir mazāks par 1.0. Mitruma režīma ražas korekcijas koeficientu lielums ir atkarīgs arī no augsnes granulometriskā sastāva: smagās augsnēs augi vairāk cieš no pārlieta mitruma nekā vieglās augsnēs, savukārt vieglās augsnēs augi parasti cieš no sausuma (Daiga, Ozola, Vēvers u.c., 1990).

Augsnes gatave aršanai ir stipri atkarīga no mitruma satura. Labākais augsnes mitrums ir tad, kad augsne arot labi sadrūp un nelīp pie arkla. Pārlicīgi mitras augsnes arot nedrūp, bet ziežas, deformējas un izžūstot sacietē lielos gabalos. Arot sausu augsni, tā lūst lielos gabalos un daļēji saputekļojas. Kā vienā tā otrā gadījumā aruma kvalitāte ir slikta un arklu vilkmes spēka izlietojums palielinās 1 - 2 reizes. Optimālais mitruma saturs robežojas ar zemāko un augstāko mitruma saturu, kuru pārkāpjot aršanas kvalitāte pasliktinās. Māla augsnes aršanai ir par sausām, ja to mitruma saturs ir mazāks par 15%, bet par mitrām, ja mitruma saturs lielāks par 24%. Smagās augsnēs optimālais aršanas mitrums pastāv īsu laiku, tāpēc tās rudenī ir jāuzar agrāk, jo vēlāk pie paaugstinātiem nokrišņiem, aršana var būt neiespējama un nekvalitatīva (Sniedze, 1968).

Daudzviet Baltijas jūras reģionā un arī Baltkrievijā raksturīgas smagas augsnes ar podzolēšanās un glejošanās pazīmēm. Šajās augsnēs ir raksturīgi nelabvēlīgi mitruma apstākļi, piemēram, augsta pretestība, sagrauta struktūra. Līdz ar to augsnē ar potenciāli augstu ražību tiek iegūtas zemas ražas. Viens no iemesliem, kas izsauc ražas kritumu šajās augsnēs pateicoties iepriekšminētajiem apstākļiem, ir pārmērīga mitruma dēļ bojāti sējumi. Parasti to var novērot pavasaros, ziemāju laukos, kad uz laukiem ir

novērojamas peļķes, kas var tur atrasties pat vairākas nedēļas, tādējādi apgrūtinot arī sējumu kopšanas darbus pavasara periodā. Parasti šādos gadījumos problēmas atrisinājumu redz esošas meliorācijas sistēmas darbības uzlabošanā, vai jaunas sistēmas ierīkošanā. Taču meliorācijas sistēma viena pati nespēj veikt funkcijas, kas palīdzētu veikt liekā mitruma aizvadīšanu no lauka. Vēl ir nepieciešams veikt agromelioratīvos un agrotehniskos darbus. Zinātnieku ilggadīgi pētījumi ir pierādījuši, ka visefektīvākais paņēmieni drenāžas darbības uzlabošanā ir augsnes dziļirdināšana. Šis augsnes apstrādes paņēmieni pastiprina drenāžas darbību un uzlabo augsnes gaisa apstākļus, līdz ar to arī palielinās lielāku ražu iegūšanas iespējamība. Ir noskaidrots, ka vispiemērotākais laiks, lai veiktu dziļirdināšanu ir vasaras un rudens periods, kad vēl nav sākušās rudens lietavas un augsnes zemaramkārtas mitrums ir 60 - 80% no pilnas mitrumietilpības. Dziļirdināšana ir jāveic perpendikulāri drenu virzienam. Dziļirdināšanas veikšana ir atkarīga no sablīvējuma dziļuma un augsnes horizontiem (Иванов, Коробова, 1969).

Virszemes ūdens noteces sadalījuma vienmērību ļoti nosaka lauka mikroreljefa izlīdzinātība, iepriekš veiktās augsnes apstrādes izpilde un tās virziena saskaņošana ar nogāzes slīpumu. It sevišķi tas sakāms par lietu karstās, saulainās vasaras dienās. Liels nokrišņu daudzums īsā laika periodā tiks sadalīts vairāk vai mazāk vienmērīgi, ja: lauka mikroreljefs ir izlīdzināts, kas panākams ar virsmas planēšanu un šļūkšanu; lauks nav pievelts ar gludo veltni, tādējādi, it sevišķi smagākās augsnēs; augsnes pirmssējas un sējas gaitā izveidotās riteņu sliedes ir šķērsām nogāžu slīpuma virzienam. Pretēja darbība krasi palielina erozijas procesus. Labu efektu dod dubultotu traktora riteņu lietošana; kultūraugiem, kuriem ir rindstarpas, rindas - vagas jāveido vismaz šķērsām nogāzes virzienam. Augsnes produktīvā mitruma izmantošanas iespējas ļoti atkarīgas no kultūraugu sakņu sistēmas attīstības dinamikas. Kultūraugiem nozīmīgs ir tieši sākotnējās attīstības posms, jo nereti Latvijā aprīļa beigās un maija sākumā ir izteikti maz nokrišņu, augsnes virskārta ātri izžūst (Lapiņš, 1997; Riekstiņš, 2008).

Pēc saņemtā mitruma daudzuma zemes platības iedala trīs grupās: 1. automorfās - šīs platības mitrumu iegūst tikai no nokrišņiem; 2. pushidromorfās - mitrumu saņem ne vien ar nokrišņiem, bet arī ar ūdeņiem, kas pieplūst no apkārtnes, kā arī no periodiski augsta gruntsūdens; 3. hidromorfās - pastāvīgi mitrās platības (pastāvīgi augsts gruntsūdens līmenis). Minēto mitruma apstākļu tapšanā liela nozīme ir reljefam: automorfī mitruma apstākļi dominē uz pauguriem, pushidromorfī - pauguru nogāžu lejasdaļās u.c. platībās ar pazeminātu reljefu, bet hidromorfī - starppauguru iepakās u.c. relatīvi zemās platībās (Brīvkalns, 1978).

Atšķirīga ir kultūraugu sakņu sistēma to vēlākās attīstības fāzēs pat vienas grupas augu ietvaros. Ūdens nodrošinājuma kritiskie periodi kultūraugiem ir tad, kad veidojās produktivitātes komponenti - ražas kvantitātes un kvalitātes elementi. Visiem kultūraugiem ļoti nozīmīgs ir sējas laiks un meteoroloģiskie apstākļi pēc tās, jo tas nosaka sēklu laukdīdzību un turpmāko augu skaitu, tā izlīdzinātības pakāpi laukā. Graudkopības praksē ir ļoti svarīgi, kādos apstākļos norit cerošana, jo turpinās produktīvo stiebru skaita veidošanās, kā arī tiek likti pamati graudu skaitam vārpā - veidojās vārpiņu aizmetņi. Mitruma deficīts šādos apstākļos ir ļoti nevēlama parādība. Palielinātas kūtsmēsļu devas sekmē augsnes spēju saistīt nokrišņus, palielina produktīvā mitruma krājumus augsnē, palielina augsnē arī vīšanas mitrumu (Ruža, 1996; Lapiņš, 1997).

Visstraujāk mitrumu zaudē smagāka granulometriskā sastāva augsnes. Augsnes virskārtas sekla uzirdināšana pat 2.5 cm dziļumā samazina iztvaikotā ūdens daudzumu gandrīz par 50%. Irdināšanas dziļuma palielināšana līdz 5.0 cm mitruma zudumus

samazina vairs tikai nedaudz. Ūdens iztvaikošanas ātrums un iztvaikotā ūdens daudzums no vienas un tās pašas augsnes ir dinamiski mainīgs lielums. Tomēr iezīmējas kopīgas likumsakarības:

1. jo lielāks lauka virsmas laukums, jo lielāka iztvaikošanas virsma un lielāki mitruma zudumi;
2. jo lielāks augsnes virskārtas mitrums, jo lielāka ūdens masa un straujāk iztvaiko vienos un tajos pašos apstākļos;
3. jo augstāk ir gruntsūdens līmenis, jo labāk kapilāru tīkls augsnē nodrošina tā pievadīšanu virskārtai, jo lielāka augsnes spēja iztvaikot ūdeni;
4. ja augsne ir mitra, tad virskārtas uzirdināšana mitruma zudumus palielina (arī augsnes apžūšanu paātrina);
5. sausākām augsnēm virskārtas uzirdināšana izjauc augsnes virskārtā kapilāru tīklu un mitruma piekļūšanu līdz tai no dziļākiem augsnes slāņiem;
6. sarežģīti procesi notiek augsnē saistībā ar atšķirīgu atsevišķu augsnes slāņu temperatūras starpībām. Augsnes virsējam slānim naktīs atdziestot un apakšējiem saglabājot savu siltumu, ūdens tvaiki kondensējas uz augšējo slāņu virsmām, daļa izplūst pa porām laukā (Lapiņš, 1997; Riekstiņš, 2008).

Gruntsūdens pa kapilāriem paceļas uz augšu lēni un sasniedz lauka virsmu, ja tas atrodas sekli (40 - 80 cm dziļumā). Pareizi ir uzskatīt, ka nevis gruntsūdens pa kapilāriem paceļas pie kultūraugu saknēm, bet kultūraugu saknes savā attīstībā virzās dziļumā pretim gruntsūdenim. Vēl augsnes mitruma zudumus izraisa vējš, jo lielāks vēja ātrums, jo lielāki mitruma zudumi, augsne ātrāk apžūst, kā arī nogāzes slīpums un virziens - ziemeļu nogāzes vienmēr iesilst un apžūst pavasaros vēlāk nekā dienvidu. Tas attiecas arī uz lauka mikroreljefu (aruma slejas, dobes). Pamatoti uzskata, ka nezāles viena kilograma sausnas veidošanai patērē 3 - 5 reizes vairāk mitruma nekā kultūraugi (Lapiņš, 1997).

Augsnes mitrums nosaka daudzus nozīmīgus faktoros augsne - augi sistēmā. No agronomiskā viedokļa tas ietver sēklu dīgšanu, transpirāciju, OV mineralizāciju, virsmas noteci, izskalošanos un graudu ražu. Izstrādāti vairāki modeļi, lai simulētu šos procesus, kuri balstās uz algoritmiem ar mainīgu sarežģītības pakāpi, aprakstot dinamisko augsnes mitruma raksturu laika un telpiskā skalā. Svarīgi ir pārbaudīt augsnes mitruma modeļu darbību agronomijā sākot no lauka līdz pat reģiona mērogam un no ikdienas līdz pat gadalaika maiņai. Lauka mērogā modeļi tiek lietoti apūdeņošanai, nodrošinot efektīvu apūdeņošanas ūdens izmantošanu un tādējādi palielinot graudu ražu. Modeļi tiek lietoti arī lai noteiktu graudu ražas līmeni, kas bāzējas uz labību augšanas laikā pieejamo ūdeni. Modeļus lieto, lai noteiktu arī ūdens izmantošanās koeficientu un ražas indeksu (Akinremi, McGinn, 1996).

Vieglajās augsnēs augu augšanu limitē mitruma un barības vielu trūkums, ko rada augšņu minerālvielu maza noturība, tādēļ augsnes sagatavošanas tehnoloģijas kritērijs ir komplekss rādītājs - augsnes absorbcijas kapacitāte, kas pieaug, palielinoties OV un fizikālā māla daļiņu saturam augsnē. Augu augšanai optimāls stāvoklis veidojas, ja augsnē ir ap 25% gaisa un 25% ūdens. To panāk, izveidojot pietiekami irdenu augsnes sakārtu, ko raksturo ar sakārtas blīvumu (minerālaugsnēm $1.00 - 1.35 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ aramkārtā, bet $1.40 - 1.60 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ zemaramkārtā). Ar augsnes strādāšanu var samazināt sakārtas blīvumu par $0.1 - 0.3 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$. Jāizvairās apstrādāt pārāk mitras augsnes, kuru mitruma saturs pārsniedz 0.7 - 0.8 reizes lauka mitruma kapacitāti, lai to ar traktora riteņiem nevēlami nesablīvētu (Feiza, Cesevicius, 2006).

Augsnes mitruma mērijumi veikti Lietuvā, mitruma saturu augsnē nosakot ar svēršanas (masas) metodi, katrā lauciņā četros atkārtojumos un četros slāņos: 0 - 5, 5 - 10, 10 - 15, 15 - 20 cm. Augsnes mitruma mērijumi veikti ziemas kviešiem pēc veģetācijas atjaunošanās pavasarī un pēc tam ik pēc 10 (± 1) dienām līdz stiebrošanai. Visos izmēģinājuma gados lielas augsnes mitruma novirzes visās augsnes apstrādes sistēmās tika konstatētas aramkārtā 0 - 5 cm dziļumā, kuru visvairāk ietekmēja meteoroloģiskie apstākļi. Nepietiekamā nokrišņu daudzuma uz augsnes virskārtas un vēja ietekmē ātri kļuva sausi arī dziļākie augsnes slāņi. Tas ir īpaši svarīgi, lai aramkārtā būtu pietiekams mitruma daudzums pēc kultūraugu sējas, lai tiktu nodrošināta vienmērīga sēklu dīgšana. Māla augsnē, veicot konvenciālo augsnes apstrādes sistēmu kultūraugu augšanas periodā, mitruma saturs aramkārtā vidēji pazeminājās par 29.9%, seklā augsnes apstrādē par 38.8% un veicot tiešo sēju 37.4%, bet smilšmāla augsnē attiecīgi par 32.4%, 29.8% un 17.2%. Konstatēts, ka tiešajā augsnes apstrādes sistēmā augsne absorbē mitrumu lēnāk, savukārt bezlietus apstākļos augsne ir spējīga saglabāt mitrumu ilgāk zemaramkārtā. Rezultātā varam secināt - pieņemot, ka notiks sasilšana, augsnes mitruma saturs augsnē būs atkarīgs no augsnes apstrādes sistēmas izvēles. Lietojot tiešo sēju tas būs viens no ceļiem ekonomiskai mitruma saglabāšanai (Feiziene, Feiza, Lazauskas et al., 2007; Kadžiene, 2009).

Mālsmilts augsnē, 0 - 10 cm dziļumā, neatkarīgi no augsnes apstrādes sistēmas, kur augsnes mitrums mainās diapazona robežās 5.7 - 18.4%, augsnes penetrometriskā pretestība mainās pretējā virzienā un bija vidēji 18 N cm⁻²; 10 - 20 cm slānī augsnes mitruma saturs mainās no 8.0 līdz 17.8%, bet penetrometriskās pretestības izmaiņas bija 2.5 reizes augstākas nekā 0 - 10 cm slānī. Tiešajā augsnes apstrādes sistēmā augsnes penetrometriskā pretestība bija 2.1 - 3.0 reizes augstāka 0 - 10 cm slānī un 1.2 - 1.7 reizes augstāka 10 - 20 cm slānī salīdzinot ar konvenciālo un seklo augsnes apstrādes sistēmu. Savukārt smilšmāla augsnē 0 - 10 cm slānī neatkarīgi no augsnes apstrādes sistēmas, kur augsnes mitrums mainījās diapazona robežās no 6.3 - 18.6%, augsnes penetrometriskā pretestība mainījās pretēji - vidēji 17 N cm⁻² un 10 - 20 cm slānī, kur mitruma saturs mainījās no 6.7 - 17.3%, augsnes penetrometriskās pretestības izmaiņas bija divreiz lielākas. Tiešajā augsnes apstrādes sistēmā augsnes penetrometriskās pretestības izmaiņas bija 1.3 - 1.5 reizes lielākas 0 - 10 cm slānī salīdzinot ar konvenciālo un seklo augsnes apstrādes sistēmu (Kadžiene, 2009).

Tāpat Lietuvā veiktajos izmēģinājumos konstatētas sekojošas kopsakarības starp augsnes fizikālajām īpašībām: mālsmilts augsnē, 0 - 10 cm dziļumā augsnes mitrums palielinājās no 10.05 līdz 18.36%, penetrometriskā pretestība palielinājās diapazonā no 38 līdz 208 N cm⁻², bet augsnes gaiscaurlaidība pazeminājās līdz 80% (no 18.19 līdz 3.57 L min⁻¹). Savukārt 10 - 20 cm augsnes slānī, augsnes mitruma saturs palielinājās robežās no 13.74 līdz 17.76%, augsnes pretestība palielinājās robežās no 55 līdz 337 N cm⁻² un augsnes gaiscaurlaidība pazeminājās apmēram tāpat kā 0 - 10 cm dziļumā, t.i. līdz 80% (no 19.33 līdz 3.86 L min⁻¹). Smilšmāla augsnē, 0 - 10 cm dziļumā augsnes mitrums palielinājās no 6.10 līdz 15.22%, augsnes penetrometriskā pretestība palielinājās robežās no 23 līdz 273 N cm⁻² un augsnes gaiscaurlaidība pazeminājās līdz 57% (no 13.98 līdz 5.98 L min⁻¹). Savukārt 10 - 20 cm augsnes slānī augsnes mitruma saturs palielinājās robežās no 10.21 līdz 15.50%, augsnes pretestība palielinājās robežās no 23 līdz 554 N cm⁻². Savukārt augsnes gaiscaurlaidība pazeminājās vairāk nekā 0 - 10 cm dziļumā, t.i. līdz 69% (no 17.48 līdz 5.48 L min⁻¹) (Kadžiene, 2009).

Amerikas Savienotajās Valstīs iekārtotā izmēģinājumā augsnes slānī 0 - 30 cm dziļumā, noteiktais augsnes mitrums 2004. gada 25. jūnijā bija 11.97%, kas bija būtiski

augstāks par 29. augustā noteikto augsnes mitrumu 10.09% ($P < 0.0001$). Savukārt veicot mitruma mērījumus otrajā augsnes slānī 30 - 66 cm dziļumam, 29. augustā noteiktais augsnes mitrums (17.10%) bija būtiski augstāks nekā 25. jūnijā veicot pirmos mērījumus (15.23%) ($P < 0.0001$) (Tekeste, Raper, Schwab, 2005).

Bauskas rajona Beibežu meliorācijas izmēģinājumu stacijā pētījumos konstatēts, ka irdināšana sekmē vienmērīgu mitruma izvietojumu augsnē un ūdens akumulāciju, kas ir ļoti nozīmīga pavasara un vasaras periodā, īpaši laikā, kad nav nokrišņu. Izmēģinājuma gadā marta beigās mitruma saturs augsnes aramkārtā bija ap 34%, bet zemaramkārtā 40 - 100 cm dziļumā 28% no pilnas mitrumietilpības neirdinātajā variantā, irdinātajā variantā attiecīgi 29 un 30%. Vasarā, irdinātajā variantā papildus tika akumulēti vairāk kā 50 mm produktīvā ūdens, kas ir ļoti nozīmīgi augiem intensīva mitruma patēriņa apstākļos (Иванов, Коробова, 1969).

Ir novērota arī pārmērīga augsnes mitruma nelabvēlīgā ietekme uz augsnes faunu, piemēram, augsnē esošās baktērijas lielāko aktivitāti sasniedz pie 60% mitruma tajā, bet pie 90% to aktivitāte ir tuvu nullei. Ilgāka applūduma gadījumā var iet bojā sliedas, pieaug anaerobo baktēriju darbības intensitāte un notiek augsnes glejošanās. Līdz ar to var secināt, ka augsnēs, kurās nav noregulēts mitruma režīms, bioloģiskā aktivitāte ir zemāka un ir iespējama augsnes sablīvēšanās. Melioratīva rakstura augsnes sablīvējuma noteikšanai izmanto šādus kvalitatīvos rādītājus: tilpummasu; poru struktūru; filtrācijas koeficientu un sablīvētā slāņa biezumu (Smilga, 2000).

Augsts relatīvā ūdens saturs samazina augsnes poru piepildījumu ar gaisu un ierobežo N piekļuvi saknēm, palielinās barības vielu izskalošanās no sakņu zonas un pieaug atmosfēras zudumi - denitrifikācija un iztvaikošana. Augsnes sablīvēšanās ir saistīta ar augstu tilpummasu, augsnes pretestību un mazu poru tilpumu. Rezultātā šie faktori samazina augsnes aerāciju, traucē sakņu augšanu, samazina ūdens un barības vielu efektivitāti (Turpin, Lapen, Gregorich et al., 2003).

Augsnes porainība ir visu poru tilpums, izteikts procentos no kopējā augsnes tilpuma. Izšķir kapilāro porainību (diametrs < 0.03 mm) un nekapilāro porainību (diametrs > 0.03 mm). Pa kapilāriem kapilāro spēku ietekmē ūdens no rezervēm ceļas uz augšu. Nekapilārās poras pārsvarā pildītas ar gaisu. Ilgstošu nokrišņu laikā arī nekapilārās porās var atrasties ūdens, tāpat kā sausā laikā gaiss daļēji var ieņemt vietu kapilārās porās. Jo lielāks augsnes sakārtas blīvums, jo mazāka porainība, - un otrādi (Klovāns, Kroģere, 1978).

Smagāka granulometriskā sastāva augsnēm ir lielāks lipīgums, kurš sāk izpausties pie apmēram 40% mitruma, maksimumu sasniedzot pie 80% mitruma no pilnās ūdens kapacitātes. Augsnei, kurai mitruma pakāpe ir 30 - 70% no pilnās ūdens ietilpības, īpatnējā pretestība ir tieši proporcionāla augsnes cietībai. Arī fizikālā gatavība ir cieši saistīta ar augsnes mitrumu, granulometrisko sastāvu u.c. īpašībām. Smagām augsnēm optimālā mitruma, t.i., fizikālās gatavības mitruma intervāls ir šaurs 50 - 60% no augsnes pilnās ūdensietilpības. Vieglāka granulometriskā sastāva trūdvielām bagātu, strukturainu augšņu apstrādes optimālā mitruma intervāls ir stipri plašāks, apmēram 40 - 70% no pilnas ūdensietilpības. Zinātnieki norāda, ka agrotehniski pieļaujama mitruma intervāls, apstrādājot velēnu podzolētās vidēji smaga granulometriskā sastāva augsnes, ir 12 - 21% no absolūti sausas augsnes masas. Minētais intervāls palielinās līdz ar organisko vielu satura un ūdensizturīgo agregātu daudzuma palielināšanos augsnē (Klovāns, Kroģere, 1978).

Smagāka granulometriskā sastāva augšņu cietība samazinās, palielinoties to mitrumam. Jo irdenāka un organiskām vielām bagātāka augsne, jo mazāka to cietība, jo vieglāk tā apstrādājama (Klovāns, Kroģere, 1978).

Augsne ir ģenētisko horizontu kopums. Arī zemaramkārtas horizontiem ražas veidošanā ir liela nozīme. No dziļākajiem horizontiem augi saņem daļu barības vielu un ūdeni. Bet sausā laikā, kad aramkārtas mitruma saturs tuvojas kritiskam, zemaramkārtas horizontiem ir izšķirošā nozīme ražas veidošanā. Sevišķa nozīme dziļākiem horizontiem ir ūdens rezervju veidošanā un tā piegādē pa kapilāriem augu saknēm. Tāpēc slānis starp gruntsūdens līmeni un aramkārtu ir pēdējā saikne, pa kuru ūdens pa kapilāriem var pārvietoties no apakšas uz augšu, sasniedzot pat daudzu metru augstumu (Klovāns, Kroģere, 1978).

Apstrādājot mitru augsni pavasarī, tehnikas blīvējošā ietekme ir 1.2 m un pat vēl lielākā dziļumā. Lai iegūtu augstas un stabilas visu kultūraugu ražas, jāuzlabo arī zemaramkārtas ģenētisko horizontu īpašības, nekādā gadījumā nepieļaujot to pasliktināšanos, sevišķi sakarā ar lieljaudas tehnikas masveida lietošanu. Tas ir svarīgs agronomijas, kā arī lauksaimniecības mehanizācijas un meliorācijas uzdevums. Ražu lielums, darba ražīgums un kvalitāte ir atkarīgi arī no lauka konfigurācijas, to lieluma, izvietojuma un reljefa apstākļiem u.c. (Klovāns, Kroģere, 1978).

Mitruma apstākļu uzlabošana visā augsnes profilā, augsnes gaisa režīma uzlabošana - tas viss sekmē augu barības elementu uzņemšanu un rezultātā ir iespējams celt kultūraugu ražību pat par 20 - 30%. Baltkrievijā veiktā izmēģinājumā pēc dziļirdināšanas ziemas kviešu raža pieauga par 0.8 t ha⁻¹, kartupeļiem 2.7 t ha⁻¹ (Иванов, Коробова, 1969).

Augsnes sablīvēšanās - augsnes poru apjoma samazināšanās un tilpummasas palielināšanās, daļiņām nonākot ciešākā kontaktā citai ar citu (pēc A. Kārkliņa). Augsnes sablīvēšanās samazina makroporu īpatsvaru un pārtrauc poru sistēmu. Sablīvēšanās vienmēr nav kaitīga. Smago augšņu pieņemama sablīvēšanās var uzlabot augšņu ūdens aizturēšanas spēju un nepiesātinātas augsnes ūdens vadāmību. Pirmssējas apstrādes pievešana uzlabo sēklu un augsnes savstarpējo kontaktu. Augsnes īpašības, apstrādei izmantotās iekārtas un audzēšanas īstenošana (grāvji, noteces, darbu ieplānošana, augu maiņa) ietekmē to, kā laukos tiek sablīvēta augsne. Sablīvēšanās risks vislielākais ir tad, ja uz slapjas augsnes brauc ar smagām iekārtām un riepās ir liels spiediens. Kritisks darba posms ir agrā un vēlā augsnes apstrāde, mēslojuma izkliešana un vēlā ražas novākšana (Schaffer, Stauber, Miller et al., 2006).

Augsnes sablīvēšanās ietekmē samazinās augsnes auglība, kā rezultātā augiem ir pieejams mazāks barības vielu daudzums. Kā rezultātā, kultūraugiem ir nepieciešams palielināt papildmēslojuma daudzumu, kas sadārdzina ražošanas izmaksas (Hamza, Anderson, 2005).

Apstrādājot augsni slapjā laikā, augsnes sablīvēšanās var sasniegt 1.5 m dziļumu. Šo apstākli pastiprina apstrādes tehnikas vibrācijas, izmantojamās tehnikas masa, gaisa spiediens riepās un augsnes granulometriskais sastāvs. Viens no augsnes sablīvēšanās iemesliem ir tehnikas masa. Ražotājfirmas akcentu liek uz dažādu palīgiekārtu uzmontēšanu uz lauksaimniecības mašīnām, bet netiek domāts par izmantojamās tehnikas masas samazināšanu. Tehnikai pārbraucot pār lauku, augsnē tiek iespiestas pēdas, zem kurām, pēc vairāku autoru domām ietekme ir vērojama vairāk kā metra dziļumā (Smilga, 2000; Ansorge, Godwin, 2006).

Platībās, kurās notiek cilvēka darbība, pārsvarā raksturīga mehāniskas dabas sablīvējuma rašanās tehnikas darbības rezultātā. Visbiežāk ir vērojams augsnes sablīvējums, jeb t.s. aruma zole. Aruma zole veidojas arot katru gadu nemainīgā dziļumā un slapjā augsnē. Aruma zoles veidošanos ietekmē arkla lemeša konstrukcija. Arot slapjā laikā ar lemesi tiek aizsmērētas augsnes poras un tās kļūst ūdensnecaurlaidīgas. Augsnes ūdens, kas pārvieta putekļus u.c. sīkās daļiņas augsnē,

aiznesot tās līdz aruma zolei, nespēj to pārvarēt un paliek aramkārtā, līdz ar to notiek aramkārtas sablīvēšanās pēc izžūšanas. Rezultātā var izrādīties tā, ka augu saknēm šī aramkārtā ir nepārvarama un augi netiek pie barības vielām un mitruma, kas atrodas augsnes dziļākajos slāņos. Atkarībā no augsnes apstrādes agregāta konstrukcijas, agregāta masas, apstrāžu skaita nemainīgā dziļumā, mitruma satura un augsnes granulometriskā sastāva aruma zoles biezums var būt no 12 - 17 cm. Ir vērojama arī augsnes virskārtas sablīvēšanās gadījumos, kad pēc lietus seko sausuma periodi. Tas var izsaukt augsnes eroziju lietus laikā. Virskārtas sablīvējums rada arī problēmas augsnes gaisa apmaiņā, kā rezultātā augsnē var uzkrāties augu saknēm un augsnes mikroorganismiem bīstams CO₂ daudzums (Klovāns, Kroģere, 1978; Трыфанов, 1989; Smilga 1997; Smilga, 2000).

Sarātovā iekārtotā izmēģinājumā mazajos lauciņos tika pētīta augsnes sablīvējuma ietekme uz kultūraugiem dažāda dziļuma augsnes apstrādes fonā. Augsnes blīvēšana notika dažos lauciņos rudenī un citos pavasarī. Blīvēšanu veica noņemot augsni un atsevišķi blīvējot to ik pa 10 cm slāņiem aramkārtas dziļumā. Lauciņa izmērs 8 m², atkārtojumu skaits - trīs. Vasaras kviešu sējumos izmēģinājumus iekārtoja rudenī. Augsnes tilpummasu noteica pirms sējas un pirms ražas novākšanas. Rezultāti parādīja, ka lauciņos, kuros nav veikta blīvēšana ir mazāka tilpummasa nekā blīvētajos. Tika atzīmēts fakts, ka palielināts nokrišņu daudzums pa gadiem rudens - ziemas periodā ir sekmējis augsnes sablīvēšanos. Blīvētajos lauciņos atšķirības pa gadiem netika konstatētas. Pavasara blīvēšana sevi attaisnoja reizē ar augsnes apstrādi, taču jāatzīmē, ka dziļāka augsnes apstrāde deva arī vislielāko ražas pieaugumu līdz pat 4.5 t ha⁻¹. No šo pētījumu rezultātiem izriet, ka augsnes sablīvēšanos izsauc vesels faktoru kopums. Kā galvenos faktorus var minēt nokrišņus, augsnes mitrumu, audzējamos kultūraugus, augsnes apstrādes dziļumu un paņēmienu. Šo faktoru kopējo saistību noteikšana ir pietiekami sarežģīta, tāpēc pēc šī izmēģinājuma veicēju domām augsnes tilpummasas rādītāju izmantošana kompleksai augsnes auglības noteikšanai ir diezgan nosacīta. Neraugoties uz to, ir skaidrs, ka tilpummasa ietekmē mikrobioloģisko aktivitāti augsnē un kultūraugu ražību, bet ir grūti izdalīt tiešo ietekmi, kā arī uzturēt nemainīgus tilpummasas rādītājus augu veģetācijas perioda garumā (Макаренко, 1985).

Augšņu sablīvēšanās ir atzīta par vienu no galvenajām problēmām, kas samazina kultūraugu ražu. Visā pasaulē augšņu sablīvēšanās sagādā problēmas lauksaimnieciskajā ražošanā. Pēc aptuveniem datiem, pasaulē ir vairāk nekā 80 miljoni ha lauksaimniecības zemes, kur sablīvēšanās dēļ nav nodrošināta potenciālā produktivitāte, un aptuveni 30 miljoni ha no tās atrodas Eiropā. Pārmērīgi sablīvētie augsnes slāņi var samazināt augsnes aerāciju un augsnes ūdens iesūkšanos, kas savukārt var paātrināt eroziju un noteci. Zemnieki ik gadu augsni apstrādā vienā dziļumā. Vairāki zinātnieki atklājuši, ka augsnes rūsakmens slāņi ir lielisks pierādījums telpiskajam mainīgumam laukā. Vietai pieskaņota augsnes apstrāde potenciāli samazina augsnes apstrādei nepieciešamo enerģiju un dod degvielas ietaupījumu salīdzinot ar konvencionālo augsnes apstrādes sistēmu. Zinātnieks Rapers aprēķinājis, ka apmēram par 50% samazinās enerģijas daudzums samazinot augsnes apstrādes dziļumu (aptuveni 18 cm) salīdzinot ar dziļirdināšanu (aptuveni 33 cm). Augsnes apstrādes pasākumi ir atkarīgi no ekonomiskas pieejas, ērtas un precīzas augsnes izpētes, saimniekošanas sistēmas, lauku izvietojuma un piemērotas augsnes apstrādes (Tekeste, Raper, Schwab, 2005).

Augsnes sablīvēšanās ir komplekss fenomens daudzos gadījumos, kas ir atbildīgs par ražas samazināšanos un apkārtējās vides ietekmi, ierobežojot kultūraugu sakņu tilpumu un pazeminot augsnes auglību. Augsnes sablīvēšanās procesam ir saistība

ar apkārtējo vidi. Augsnes sablīvēšanās telpiski mainīgā struktūra ļauj identificēt homogēnās vietas laukā un augsnes apstrādes intensitātes sablīvēšanās pakāpi saistībā ar izveidotajām kartēm (Rooney, Stelford, Landolt, 1999; Busscher, Frederick, Bauer, 2000; Basso, Sartori, Bertocco et al., 2003a; 2003b).

Augsnes sablīvējums būtiski pazemina ražošanas spējas - samazinot augsnes porainību, radot šķēršļus gaisa, ūdens, barības vielu kustībai augsnē un samazinot sakņu iespīšanās spēju. Augsnes sablīvējums samazina kultūraugu lapu parādīšanos un augsnes pārklāšanu, saīsina lapotnes pārklājuma ilgumu un ierobežo gaismas aizturēšanu, kā rezultātā samazinās kultūraugu raža. Graudu ražas samazinājums ir izskaidrojams ar augsnes sablīvēšanos, atšķirīgiem klimata apstākļiem un augsnes granulometrisku sastāvu no smilts līdz mālam. Turklāt, augsnes zemaramkārtā kļūst sablīvētāka augsnes slāņos, kur netiek novērsta ūdens iesūkšanās no dziļākiem augsnes slāņiem, rezultātā samazinot augsnes pretestību aramkārtā un ražu. Tāpēc zinātniekus interesē, kā novērst augsnes zemaramkārtas sablīvējumu un atrast piemērotas augsnes apstrādes metodes sablīvētajiem augsnes slāņiem (Tekin, Kul, Okursoy, 2008).

Augsnes dziļirdināšana ir ļoti dārga un darbietilpīga un tā ietekmē augsnes fizikālo īpašību pasliktināšanos. Savukārt veicot vietai pieskaņotu augsnes dziļirdināšanu var noteikt ieplakas un augsnes slīpumu, pārbaudē redzēt, kurš no faktoriem ir nelabvēlīgi ietekmējis labību ražu un kavējis sakņu attīstīšanos (Verschoore, Pieters, Seps et al., 2003; Domsch, Boess, Ehlert et al., 2005).

Augsnes sablīvēšanās ir process, kurā samazinās augsnes poru tilpums. Šī procesa ietekmē mainās aramkārtas struktūra, pārveidojas augsni veidojošo agregātu lielums un forma, izmainās poru tilpums gan agregātu iekšienē, gan starp tiem. Augsnes sablīvēšanos var izraisīt dabas parādības kā mitras augsnes sasalšana u.c. Sablīvēšanos nepārprotami ietekmē cilvēka darbība (Dofosse, Richard, 2002).

Dabīgie faktori, kas veicina augsnes sablīvēšanos ir augsts māla saturs augsnē, pārlietu liels mitrums bez dabiskās drenāžas, augšējo augsnes horizontu spiediens uz apakšējiem, zems OV saturs augsnē, lietusgāzes, sakņu spiediens u.c. (Труфанов, 1989).

Pie mākslīgajiem augsnes sablīvēšanās cēloņiem ir jāpieskaita smagās tehnikas izmantošana, kas rodas lauksaimniecības intensifikācijas iespaidā, nepietiekams aršanas dziļums, lieka tehnikas pārvietošanās pa lauku, tehnikas pārvietošanās paaugstināta augsnes mitruma apstākļos, lauka apstrāde neatbilstošos mitruma apstākļos, organiskās masas ienese augsnē nepietiekamā apjomā, nepiemērota augu maiņa, bezmaiņas sējumi, neatbilstošs minerālā mēslojuma sastāvs. Piemēram, palielināta minerālā mēslojuma lietošana izspiež no augsnes saistības kompleksa kalcija un magnija katjonus un trūdvielas pāriet vieglāk šķīstošās formās, pasliktinās un pat noārdās augsnes struktūra (Труфанов, 1989).

Augsnes dziļirdināšana veicina mitruma uzkrāšanos augsnē, samazina vēja un ūdens erozijas ietekmi. Atkarībā no pielietotā čizeļagregāta iespējama arī organisko vielu jeb humusa pārvietošanās pa augsnes horizontiem, kā rezultātā paaugstinās kultūraugu ražība (Труфанов, 1989).

Blīvās augsnēs nevēlami uzkrājas ogļskābā gāze, kas kavē sēklu dīgšanu, kā arī derīgo sīkbūtnu un slieku darbību. Irdena un optimāli mitra augsne ar labu gaisa apmaiņu ir nepieciešama slieku un citu derīgo organismu darbībai. Gaisu mīlošie jeb aerobie mikroorganismi sablīvētās augsnēs nevar normāli elpot un darboties. Šie mikroorganismi veic augu atlieku mineralizāciju, no amonjaka veido nitrātus, no atmosfēras saista slāpekli augiem uzņemamā veidā (Riekstiņš, 2008).

Dažādos apstākļos veiktie pētījumi liecina, ka augsnes zemaramkārtas irdināšanai var būt labvēlīgas, bez izmaiņām vai negatīvas sekas. Ja augsnes īpašības pieļauj un lietotie rīki spēj augsnes apakškārtas struktūru uzlabot, tad irdināšana ceļ ražas par 25 - 35% (Riekstiņš, 2008).

Pārāk biežā tehnikas pārvietošanās pa lauku, intensīvā augkopība, īstermiņa augsekas sistēmu pielietošana, intensīva ganīšana un nepiemērota augsnes apsaimniekošana noved pie augsnes sablīvēšanās, kura ietekmē augsnes svarīgākās īpašības - porainību, blīvumu, mehānisko pretestību un augiem pieejamo ūdens daudzumu. Sablīvētā augsnes kārtā neļauj nokrišņu ūdenim notecēt dziļākos slāņos. Arī augu saknēm ir grūti izspiesties cauri aruma zolei, tāpēc tās izvietojas galvenokārt augsnes virsējā slānī. Ja šis augsnes slānis veģetācijas perioda laikā izžūst, augi cieš no mitruma deficīta, jo ir apgrūtināta piekļuve mitruma krājumiem no dziļākajiem slāņiem. Sablīvēts augsnes slānis zemaramkārtas nenoregulēta mitruma režīma dēļ saīsina augsnes apstrādes optimālos termiņus pavasarī un var negatīvi ietekmēt vidi, jo paaugstinās slāpekļa izskalošanās iespējamība. No agronomijas viedokļa augsnes sablīvēšanās rezultātā samazinās kultūraugu sakņu augšana un attīstība, līdz ar to, samazinās arī kultūraugu raža. Palielināts augsnes blīvums var saglabāties ilgstošu laika periodu, kā rezultātā, augsnes auglība var tikt ietekmēta ilgtermiņā (Trükmann, Reintam, Kuht et al., 2008).

Augsnes dziļirdināšanas rezultātā aruma zole tiek iznīcināta. Rezultātā izveidojas labvēlīgi apstākļi optimālam ūdens - gaisa režīmam. Ilgstoša sausuma periodā kultūraugu saknēm ir iespējas iekļūt un izmantot augsnes mitrumu, kas atrodas dziļākajos augsnes slāņos, bet ilgstoša lietus vai spēcīgu lietusgāzu laikā liekais nokrišņu ūdens no augšējiem augsnes slāņiem var iekļūt zemākajos slāņos. Tādā veidā mitruma iztvaikošana no augšējiem augsnes slāņiem tiek krasi samazināta, augsnē izveidojas labvēlīgas attiecības starp gaisu un ūdeni, un kopā ar to izveidojas arī optimāli apstākļi, kādi ir nepieciešami kultūraugu augšanai (Трыфанов, 1989).

Ražu pieaugumu ļoti lielā mērā ietekmē augšņu ķīmiskais un mehāniskais sastāvs, kā arī augšņu porozitāte, sakārtas blīvums un produktīvā mitruma krājumi vasaras periodā. Augstas, ekonomiski izdevīgas kultūraugu ražas jānotur līmenī nevien ar augstām slāpekļa, fosfora un kālija mēslojuma devām, bet gan ar organiskām vielām bagātāku humuskārtu un vielu bioloģiskās aprites intensitāti augsnē. Savlaicīgai efektīvu augu aizsardzības līdzekļu pielietošanai un augsni mazāk blīvējošas agrotehnikas ieviešanai var būt tikai pozitīva nozīme (Mežals, 1999; Dorbe, Livmanis, Rulle u.c., 2000).

Augsnes penetrometriskā pretestība. No augsnes apstrādes viedokļa augsnes īpatnējā pretestība ir svarīga augsnes agrotehniska (mehāniska) īpašība, kas nosaka ar kādu spēku augsne pretojas deformācijai. Tā nosaka augsnes apstrādes darbam nepieciešamo vilces spēku - enerģijas apjomu. Augsnes īpatnējā pretestība stipri ietekmē aršanas darbu. Augsnes ar lielu īpatnējo pretestību ir ne vien grūtāk uzart, bet tās arī drūp sliktāk nekā augsnes ar mazāku pretestību. Augsnes ar lielu īpatnējo pretestību ir smagas augsnes, taču ar mazu īpatnējo pretestību vieglas. Augsnes īpatnējā pretestība palielinās, izmainoties mitruma saturam. Slapjās, kā arī sausās augsnēs īpatnējā pretestība var palielināties pat par 50% un vairāk. Lauka kultūraugiem vajadzīgais aramkārtas dziļums ir 22 - 24 cm. Šādā aramkārtā augi ir nodrošināti ar vajadzīgo mitrumu un barības vielām (Sniedze, 1968).

Augsnes penetrometriskā pretestība ir nozīmīga mehāniskā īpašība, kuru var lietot kā indikatoru augsnes sablīvēšanās noteikšanai. Augsnes pretestība raksturo daudzus aspektus lauksaimniecības zemēs, piemēram, augsnes apstrādes darbarīku

izvēli u.c. Augsnes penetrometriskās pretestības noteikšana ir viena no plašāk pielietotajām metodēm, lai noteiktu augsnes pretestību sakņu augšanas zonā un atšķirīgos augsnes slāņos. Mērījumu rezultātus no penetrometra var iegūt ļoti ātri, salīdzinot ar citiem mērījumiem (Vanags, Minasny, McBratney, 2004).

Augsnes mehāniskā pretestība var ietekmēt sablīvēšanos, augsnes struktūru, ūdens daudzumu un citus agronomiskos rādītājus. Augsnes sablīvēšanās traucē kultūraugu sakņu attīstību un ūdens plūsmu augsnē, kā rezultātā samazinās kultūraugu raža. Augsnes blīvēšanās ir bieži novērota veicot augsnes mehāniskās pretestības mērījumus, lietojot standartizēto vertikālo augsnes penetrometru. Savukārt jaunākā prototipa sistēma tika attīstīta izstrādājot tiešsaistes augsnes sensoru, kas dod precīzu mehāniskās pretestības attēlojumu laukā, salīdzinot ar uz vietas bāzētu penetrometru. Iegūtos datus var salīdzināt ar ražas kartēm un citām ierīcēm, nosakot augsnes mehāniskās pretestības mainību. Papildus sensori ir aprīkoti ar augsnes mehāniskās pretestības kartēšanas komponentiem, palielinot vērtību tiešsaistes augsnes sensoru kartēm un paredzot spēju sadalīt atsevišķās agronomiski svarīgās īpašībās. Piemēram, pievienojot augsni atstarojošus un kondensatora bāzes sensorus, tiek paredzēta iespēja noteikt augsnes krāsu, kas bieži saistās ar OV saturu un mērīt augsnes dielektrisko konstanci, kura ir saistīta ar augsnes ūdens saturu (Adamchuk, Christenson, 2005).

Augsnes penetrometriskās pretestības mērījumi parasti ir saistīti ar mitruma saturu augsnē un augsnes sakārtas blīvumu. Tāpēc zinātnieki attīsta metodes, kas saistītas ar augsnes sablīvēšanos un augsnes mitruma satura pētīšanu. Izmēģinājumos noskaidrots, ka vairāk mainīgas augsnes īpašības ir augsnes penetrometriskā pretestība, turpretim mazāk mainīgs parametrs ir augsnes tilpummasa. Vairāki pētījumi atklāj, ka augsnes penetrometriskā pretestība mainās lauka robežās. Punktu datu krāšana ar augstu precizitāti no visa lauka, ģeogrāfiska rakstura augsnes sablīvējuma kartes uzrāda ilgāka laika rezultātus. Izmēģinājumos vairāk tiek lietoti hidrauliskie penetrometri ar elektrisku aprīkojumu augsnes sablīvējuma karšu veidošanai. Augsnes sablīvējuma kartes ļauj gan zinātniekiem, gan zemniekiem precīzi noteikt augsnes sablīvējuma vietas. Pēc kartēm zemnieki var novērot kā augsnes sablīvējums mainās dažādās lauka vietās un augsnes slāņos. Šī informācija ir nozīmīga lēmumu pieņemšanas sistēmā pielietojot mainīgu augsnes apstrādes sistēmu, tādējādi gūstot labumu un samazinot saimniekošanas izmaksas (Tekin, Kul, Okursoy, 2008).

Augsnes sablīvēšanos parasti nosaka ar penetrometriskās pretestības mērījumiem. Vienkāršākais penetrometrs ir koniska tipa, kas ir aprīkots ar spēka sensoru. Standarta penetrometra konuss ir 30° leņķis ar 2.54 mm bāzes diametru. Lai noteiktu augsnes sablīvējumu ir vairākas metodes, gan no sarežģītām, kas aprīkotas traktoram līdz pat vienkāršākai metodei, augsnes pretestību nosakot ar rokas penetrometru (Tekin, Kul, Okursoy, 2008).

Konusa penetrometrs ir vienkārša un lēta ierīce, ar kuru ātri var veikt augsnes pretestības mērījumus. Galvenie faktori, kas nosaka konusa indeksu ir augsnes sakārtas blīvums, mitruma saturs, augsnes tips un augsnes struktūra (Busscher, Bauer, Camp et al., 1997; Domsch, Boess, Ehlert et al., 2005).

Izmantojot augsnes penetrometru var izpētīt lielu platību vai atsevišķas šīs platības daļas, kur augsnes sablīvēšanās ir paredzama, jo šī metode ir efektīva, kur vienkopus jānosaka arī augsnes mitruma saturs (Domsch, Boess, Ehlert et al., 2005).

Mācību un pētījumu saimniecībā (MPS) „Vecauce” veiktajos izmēģinājumos zinātnieki noskaidrojuši, ka vismazākā augsnes pretestība ziemas kviešu sējumos labību cerošanas fāzē visos dziļumos bija aršanu izpildot tieši pirms sējas. Augsnes apakškārtas blīvētāja ietekme konstatējama tikai 20 - 25 cm dziļumā. Variantos, kur sēja

veikta bez augsnes apvēršanas, augsnes pretestība bija lielāka nekā agrā un vēlā arumā. Sējas tehnoloģijas mazāk nekā augsnes apstrāde veidoja atšķirības augsnes pretestībā dažādos dziļumos līdz 25 cm. Sēja ar disku sējmašīnu, kur kompleksajā agregātā ietilpst arī šļūce un gumijotie veltni, kas darbojas visā sējmašīnas darba platumā, palielināja augsnes pretestību līdz 15 cm dziļumam salīdzinājumā ar variantu, kur izpildīta augsnes frēzēšana vienlaicīgi ar sēju. Augsnes frēzēšana vienlaicīgi ar sēju nodrošināja ziemas kviešu cerošanas fāzes laikā lielāku augsnes pretestību no 15 līdz 25 cm dziļumam nekā sēju veicot ar disku sējmašīnu. Kombinēto agregātu ar frēzi augsnes irdinošās īpašības bija izteiktas tikai līdz 10 - 25 cm dziļumam. Izmantojot lineārās regresijas koeficientu b_{yx} kā faktoru ietekmes raksturotāju, izmēģinājumā zinātnieki konstatēja, ka palielinātas augsnes pretestības negatīvā ietekme uz laukdīdzību bija izteikta tikai augsnes virsējos slāņos. Augsnes pretestību atšķirību dziļākos augsnes slāņos ietekme uz laukdīdzību bija mazāka un tās negatīvā vērtība samazinājās (Lapiņš, Bērziņš, Gaile u.c., 2003).

Augsnes pretestībai, kas noteikta sējas dienā, bija mazs, nebūtisks lineāro sakarību r_{yx} ciešums ar sējas dziļumu. Arī varbūtības līmenis, ka augsnes pretestības atšķirības ietekmē ziemas kviešu dīgstu skaita un viena dīgsta masas rādītāju diferenci, bija zems ($P < 0.05$). Lineāro sakarību ciešuma rādītāju vērtības un to varbūtības līmenis starp augsnes pretestības un ziemas kviešu attīstības rādītāju atšķirībām palielinājās labību cerošanas fāzes laikā. 2000. gada izmēģinājumu apstākļos augsnes pretestības sakarības r_{yx} ar ziemas kviešu cerošanas koeficientu, auga un sakņu masu, galveno sakņu garumu un skaitu labību cerošanas fāzes laikā bija ar augstāku varbūtības līmeni un dažos gadījumos būtiskas $P < 0.05$. Konstatēts, ka palielināta augsnes pretestība 0 - 10 cm augsnes slāņos bija kavējusi labību galveno sānsakņu attīstību, kā arī samazinājusi cerošanas koeficientu. Lineāro sakarību ciešuma rādītāju varbūtība starp augsnes pretestību un viena auga kopējo masu ziemas kviešu cerošanas fāzē bija zema $P < 0.05$ (Lapiņš, Bērziņš, Gaile u.c., 2003).

Augsnes penetrometriskās pretestības mērījumi veikti arī Lietuvā, augsnes pretestību nosakot ar mērinstrumentu „Fieldsout”, katrā lauciņā četros atkārtojumos un augsnes slāņos: 0 - 5, 5 - 10, 10 - 15, 15 - 20 cm. Pretestības mērījumi veikti ziemas kviešiem pēc veģetācijas atjaunošanās pavasarī un pēc tam ik pēc 10 (± 1) dienām līdz stiebrošanai. Augsnes penetrometriskā pretestība aramkārtā ir atkarīga no augsnes apstrādes sistēmas izvēles, augsnes mitruma satura un blīvuma. Abos izmēģinājumos neatkarīgi no augsnes blīvuma un augu augšanas, augsnes penetrometriskā pretestība palielinājās augu augšanas laikā. Izņēmums bija 2008. gads, kad viegla smilšmāla augsnē pēc ilgstoša 38 dienu sausuma, spēcīgi sāka līt un augsnes penetrometriskā pretestība sāka samazināties. Vairāk iezīmējās augsnes penetrometriskās pretestības palielinājums dziļākajos slāņos, t.i. 10 - 15 un 15 - 20 cm dziļumā. Aramkārtā augsnes penetrometrisko pretestību ietekmēja laika apstākļi, augu saknes un citi faktori. Dziļākos augsnes slāņos mitruma režīms bija stabils, saknes nedaudz iespiedās tajā, tāpēc augsnes penetrometriskās pretestības novirze augu augšanas laikā nebija liela. Abos izmēģinājuma gados augsnes penetrometriskās pretestības novirze 10 - 20 cm dziļumā tiešajā sējā bija zemāka nekā konvencionālajā augsnes apstrādes sistēmā. Aramkārtā 0 - 10 cm dziļumā augsnes penetrometriskās pretestības novirze bija līdzīga visā apstrādes sistēmā (Kadžiene, 2009).

Poliņā veiktie pētījumi par augsnes penetrometrisko pretestību, augsnes blīvumu un mitruma izmaiņām četrām ziemas kviešu šķirnēm ('Elena', 'Maltanka', 'Kobra' un 'Izolda') veikti no 1999. līdz 2002. gadam. Mērīts un analizēts auga garums, vārpu skaits uz m^2 , graudu skaits vārpā, 1000 graudu masa un vārpas garums. Multiplās regresijas analīze parāda, ka ziemas kviešu raža bija atkarīga no graudu masas vārpā.

Mazāka ietekme bija 1000 graudu masai, graudu skaitam vārpā un vārpu skaitam uz m². Parciālajam korelācijas koeficientam starp augsnes penetrometrisko pretestību un augsnes mitrumu bija negatīva sakarība ar fizikālajām augsnes īpašībām un ziemas kviešu ražu. Korelācijas analīzes rezultāti parādīja, ka mainības ražas komponentos 47% gadījumu ir atkarīgas no divām galvenajām augsnes fizikālajām īpašībām. Izmēģinājumos vislielākā ietekme uz ziemas kviešu ražas struktūrelementiem bija augsnes mitrumam un penetrometriskajai pretestībai. Samazinot augsnes mitruma piegādi, konstatēts, ka galvenokārt samazinājās graudu skaits vārpā uz laukuma vienību (Weber, Zalewski, Hryn'czuk, 2004).

Augsnes fizikālās īpašības visvairāk ietekmē augsnes apstrāde. Pētījumos konstatēts, ka minimāla augsnes apstrāde palielina augsnes infiltrācijas spēju, samazina virszemes noteci, aizsargā augsni no ūdens erozijas, samazina zemaramkārtas sablīvēšanu, izmaina ūdens režīmu augsnē un palielina augsnes stabilitāti (Hill, 1990; Czyz, Dexter, 2008).

Kopsavilkums. Ziemas kvieši ir piemēroti audzēšanai Latvijas apstākļos. Pēc literatūras datiem, lai iegūtu augstas ziemas kviešu ražas svarīgs priekšnoteikums - pareizas augsekas un agrotehnikas ievērošana. Literatūrā tiek uzsvērts, ka viena no labākajām vietām augsekā ziemas kviešiem ir melnā papuve. Diemžēl intensīvas ražošanas apstākļos, tas netiek praktizēts, jo tiek zaudēts viens ražas gads, liela energoietilpība augšņu apstrādes procesā. Ziemas kviešiem vienmēr vislabākie priekšaugi būs tie, kas iespējami agri atbrīvo lauku sējai, labi nomāc nezāles un atstāj labu pēcietekmi uz kviešu graudu ražām. Arī kūtsmēsli lietošana graudaugu audzēšanā pēdējos gados ir strauji samazinājusies, jo samazinājies lopu skaits. Pēdējos gados palielinājušās aramzemes platības, kurās graudaugu salmus iestrādā augsnē. Jāatceras, ka vienlaicīgi ar salmu iestrādi jādod arī slāpekļa mēslojums, lai veicinātu mikroorganismu aktīvu darbību, salmu un pēcplaujas atlieku noārdīšanu līdz trūdvielām. Kā pozitīva tendence ir atzīmējams fakts, ka pēdējos gados palielinās zaļmēslojuma augu īpatsvars graudaugu augsekās. Tiem ir īpaša nozīme organisko vielu satura saglabāšanā augsnē un labu augsnes fizikālo un arī ķīmisko īpašību nodrošināšanā. Šim nolūkam galvenokārt izmanto ātraudzīgos tauriņziežu un krustziežu dzimtas kultūraugus. Kā organisko mēslojumu ziemājiem veiksmīgi var izmantot - šķidrmēslus, vircu, dažādus kompostus u.c. Ziemājiem neiesaka augsnē iestrādāt graudaugu salmus. Mikroorganismi, sadalot salmus, pastiprināti patērē augsnē esošo slāpekli, kā rezultātā ziemāji lēnāk attīstās, sliktāk pārziemo un var samazināties graudu ražība. Daudzas agrotehniskās lietas, ko praktizēja senāk mūsdienās vairs netiek pielietotas.

Tā kā ziemāju augšanas un attīstības periods ir ievērojami garāks nekā vasarājiem, tad, nodrošinot optimālu barības vielu daudzumu visā veģetācijas periodā, iespējams sasniegt pat 5.0 - 8.0 t ha⁻¹ graudu ražu. Lai sasniegtu plānotās ziemāju graudaugu ražas un nodrošinātu kvalitatīvu graudu ieguvī, jāņem vērā esošās augsnes agroķīmiskās īpašības un labību sugas prasības pēc barības vielām.

Ziemāji ir viens no piemērotākajiem kultūraugiem tūrumiem stāvās nogāzēs, tāpēc, ka rudenī lietus laikā veido stabili zelmeni, kas ievērojami kavē arī pavasara sniega kušanas un lietusgāžu radīto eroziju.

Augsnes auglību veido un nosaka daudzi dažādi faktori. Nozīmīgākie: augsnes fizikālās īpašības - tilpummasa, struktūra, augsnes mitruma režīms un augsnes agroķīmiskās īpašības - organisko vielu saturs augsnē, augsnes reakcija, augiem

nepieciešamo barības elementu daudzums augsnē, augsnes spēja saistīt vielas u.c. Tās arī nosaka citas augsnes īpašības, kā arī tieši ietekmē augu barošanos.

1.2. Augsnes neviendabīgums un tā ietekme uz ziemas kviešu agrotehniku

Augsnes neviendabīgums - augsnes īpašību nevienmērīga izplatība noteiktā teritorijā (pēc Wikipēdijas). Neviendabīgums izpaužas, kad relatīvi mazos apgabalos krasi mainās augsnes granulometriskais sastāvs, auglība, topogrāfija, mitrums, drenētība u.c. Ar izmēģinājumu vietas tipiskumu saprot klimatiskos, augšņu un reljefa apstākļu atbilstību attiecīgajiem zonas apstākļiem (Kumar, Stohlgren, Chong, 2006).

Klimata tipiskums. Rajona vai zonas ietvaros visvairāk variē mikroklimata apstākļi. Mikroklimatu ietekmē ūdensšķirtne, nogāzes ekspozīcija, palienas, purvi, ezeri, upes, meži, ēkas utt. Parasti izmēģinājuma darbā vairāk nākas rēķināties nevis ar klimata, bet gan ar meteoroloģiskajām īpatnībām. Laika apstākļi mainās krasāk un bieži ietekmē izmēģinājuma rezultātus vairāk nekā klimata maiņas, jo klimats parasti ir pastāvīgāks (Rubenis, Liepa, 1976).

Augsnes tipiskums. Katrs rajons vai zona, sevišķi nemelnzemes joslas apstākļos, raksturojas ar visai ievērojamu augšņu tipu un augšņu veidu dažādību. Nosakot augsnes tipiskumu, jāievēro arī augsnes iekultivēšanas pakāpe, granulometriskais sastāvs, aramkārtas dziļums, barības vielu rezerves, augsnes reakcija, gruntsūdens dziļums un citi nozīmīgi rādītāji (Rubenis, Liepa, 1976).

Klimats. Klimats un laikapstākļi ir ļoti būtiski faktori, kas ietekmē augsnes veidošanās procesus. Klimats raksturo ilggadējus vidējos laikapstākļus noteiktā vietā. Latvijas apstākļos klimats augšņu veidošanos ietekmējis galvenokārt ar nokrišņu daudzumu, kā arī ar to teritoriālo sadalījumu. Gaisa vidējo temperatūru ietekmē arī reljefs. No klimata ir atkarīga augsnes sasilšana, atkušana, atdzišana, sasalšana, ūdens filtrācija, gruntsūdens dziļums un tā līmeņa svārstības. Klimats ietekmē organisko vielu veidošanos, mineralizāciju, minerālu dēdēšanu un šķīstošo vielu pārvietošanos. Klimata netiešā ietekme uz augsnes veidošanos izpaužas veģetācijas attīstībā, kas savukārt būtiski ietekmē augsnes veidošanās procesus. Piemēram, mitrās vietās pakāpeniski uzkrājas organiskā masa, kas anaerobos apstākļos sadalās (Kārkliņš, 2008).

Ražu veidošanā līdz ar augsni liela nozīme ir arī klimatam, it sevišķi tādiem klimata elementiem kā temperatūrai un nokrišņiem. Klimats nosaka kultūraugu vai to šķirņu audzēšanas zonu robežas un sadalījumu pa rajoniem. Ļoti liela nozīme ražu veidošanā ir arī teritoriālajiem faktoriem - reljefam, augsnes mitruma apstākļiem, akmeņainībai, zemes gabala platībai un konfigurācijai. Sevišķa nozīme intensīvas saimniekošanas apstākļos ir mitruma apstākļiem. No klimata un teritoriālajiem faktoriem atkarīgs tas, cik lielā mērā ražošanā var izmantot augsnes auglību. Sakarā ar to klimats un teritoriālie apstākļi ir uzlūkojami par augsnes auglības realizācijas nosacījumiem. Augsne, klimats un teritoriālie apstākļi kopā veido augu augšanas ārējo vidi un nosaka zemes kā lauksaimnieciskās ražošanas līdzekļa kvalitāti (Boruks, Brīvkalns, Stalbovs, 1967).

Ražas svārstību galvenais cēlonis ir meteoroloģisko apstākļu nevienmērība, kas izsauc gan pozitīvas, gan negatīvas novirzes no vidējās ražas. Ražas svārstības ir atšķirīgas ne vien katram kultūraugam, bet arī vienam un tam pašam kultūraugam dažādos augšņu rajonos. Ražas stabilitātei un svārstīgumam lauksaimnieciskajā ražošanā ir ļoti liela nozīme, jo ietekmē ražošanas plānu kvalitāti, to sekmīgu realizēšanu un ražošanas vienmērīgu attīstību. Ražas svārstības tikpat lielā mērā kā

ražas absolūtie lielumi rāda kāda kultūrauga noderīgumu audzēšanai, jo atsevišķās zonās, rajonos un saimniecībās izraugās ne vien ražīgākos kultūraugus, bet tieši tos, kuru raža dotajos apstākļos ir stabilāka (Boruks, Brīvkalns, Stalbovs, 1967).

Reljefs. Augsnes veidošanās procesos reljefa nozīme ir dažāda, bet galvenokārt reljefs ietekmē vietas klimata apstākļus. No reljefa arī lielā mērā ir atkarīgs nokrišņu ūdens sadalījums. Reljefs ietekmē augsnes masas pārvietošanos ar ūdens un vēja palīdzību. Atkarībā no nogāžu slīpuma var mainīties viena un tā paša augsnes apakštipa īpašības - horizontu biezums, organisko vielu saturs, reakcija u.c. Paugurainā reljefā ir arī nevienāds siltuma daudzums, ko saņem nogāzes. Latvijas reljefam ir raksturīgs zems hipsotermiskais stāvoklis - 0 - 311.6 m virs jūras līmeņa (vjl.). Makroformas. Reljefa lielformas - Latvijas augstienes un zemienes. Augstienēm raksturīgi pauguri un paugurgrēdas ar starpaugstieņu ieplakām un pazeminājumiem. Zemienes pārsvarā ir līdzenas vai nedaudz viļņotas, to augstuma starpība ir neliela. Makroformas nosaka pēc fiziogēogrāfiskās kartes un lieto Latvijā pieņemto teritorijas fiziogēogrāfisko iedalījumu dabas rajonos un apvidos. Mezoformas - raksturo vietas reljefu 100 - 300 ha platībā un tāpēc tās pēta lokālā līmenī, vērojot konkrētas ainavas reljefa elementus un to kombinācijas dabā, kā arī pēc topogrāfiskās kartes ar horizontālēm (ieteicamais mērogs 1: 50 000 vai lielāks). Mezoformas var būt pauguri, kurus pēc pamatnes platuma iedala sīkos (< 200 m), vidējos (200 - 500 m) un lielpauguros (> 500 m). Lielpauguru reljefs parasti ir raksturīgs augstieņu augstākajās daļās, kur tie veido ledāja reljefa hipsometriki visaugstāko līmeni. Sastopamas arī pauguru virknes un masīvi (Kārklīņš, 2008).

Reljefs ir svarīgākais eroziju ietekmējošais dabas faktors, kas apvieno vairāku citu faktoru ietekmi. Reljefs ir ne vien augšņu veidošanās faktors, bet tam ir arī svarīga ekoloģiska nozīme - tas gan tieši, gan netieši ietekmē kultūraugu ražību un audzēšanas tehnoloģiju. Reljefs ietekmē ūdens, agrotehniskās, vēja erozijas intensitāti. Svarīgākie reljefa rādītāji ir relatīvais augstums, nogāzes slīpums, forma un garums. Relatīvais augstums - augstumu starpība pa vertikāli starp diviem punktiem. Ļoti liela nozīme ir arī mikroreljefam - sīkām ieplakām un paaugstinājumiem, saaruma un izaruma vagām u.c., jo tie ietekmē augu augšanu un attīstību (Stalbovs, 1974; Rubenis, Liepa, 1976).

Lai nodrošinātu labu ziemošanu, ziemāju laukiem jābūt līdzeniem. Platības ar neizlīdzinātu mikroreljefu pirms aršanas jāplanē. Planēšanas nozīmi raksturo šādi izmēģinājumu dati, ja ziemas kviešu raža mikroreljefa paaugstinājumos bijusi 4.1 t ha⁻¹, tad mikroreljefa ieplakās tikai 1.6 t ha⁻¹. Izlīdzinot lauka mikroreljefu, jācenšas saglabāt pietiekami biezu aramkārtu visā lauka platībā (Boruks, 1987).

Nogāzes slīpums. Nogāzes slīpums daudzējādā ziņā ietekmē labības, kā arī tehnisko kultūraugu augšanas ekoloģiskos apstākļus, it sevišķi audzēšanas tehnoloģiju. Savukārt nogāzēs izpaužas augsnes erozija jeb augsnes auglīgās virskārtas sistemātiska nostumšana pa nogāzi uz leju ar augsnes apstrādes rīkiem, kā arī noskalojoties ar lietus ūdeņiem. Rezultātā šeit izveidojas erodētas augsnes, kam raksturīgs zems trūdvielu saturs, sliktas fizikālās īpašības, neliels un svārstīgs produktīvā mitruma krājums. Šādās platībās veicama kapitālā ielabošana, lietojot melioratīvo kūdrošanu, kas dod iespēju iegūt augstas un stabilas graudaugu ražas. Ja šie pasākumi nav veikti, šādas platības nav piemērotas graudaugu audzēšanai pēc intensīvās tehnoloģijas. Vispilnīgāk šīs tehnoloģijas prasībām atbilst līdzenas platības ar slīpumu līdz 2°, kā viļņains reljefs ar nogāžu slīpumu 3 - 5°. Nogāzes ar slīpumu 5 - 7° izmantojamas izņēmuma gadījumos, un tajās tehnoloģiskās sliedes jāveido šaurā leņķi pret nogāzes kritumu. Braucot paralēli horizontālēm, traktors noslīd un nav iespējams nodrošināt precīzu smidzinātāja darbu. Braucot pa nogāzi uz leju, neapsētās tehnoloģiskās sliedes savāc virsējo noteci un rodas izskalojumi. Bez tam, braucot pa nogāzi uz augšu, iespējama traktora buksēšana, kas arī

krasi samazina smidzinātāja darba kvalitāti. Līdz ar to, nogāzes slīpums raksturo svarīgus augu augšanas, sējumu kopšanas un augsnes aizsardzības jautājumus. Jo jaudīgāka un ražīgāka ir lauksaimniecības tehnika, jo tās efektīvo izmantošanu vairāk ierobežo šķēršļots reljefs (Boruks, 1987).

Viļņotam reljefam raksturīgi pacēlumi ar slīpumu 3 - 5°. Uz tipiska morēnu smilšmāla cilmieža ir izplatītas normāla profila augsnes, ūdens erozijas procesi izteikti vāji un augsnes attīstību būtiski neietekmē. Specifiskos apstākļos arī platībā ar lēzeni viļņotu reljefu vērojama ūdens erozija: vietās, kur augsne veidojas uz putekļaina mālsmits vai smilšmāla cilmieža, galvenokārt gludās un garās nogāzēs, kā arī gadījumos, kad pēkšņi pazeminās erozijas bāze. Viļņotam reljefam raksturīgas ir mikroreljefa formas, kuru pacēlumos augsne tiek noārdīta un pakāpeniski pārbīdīta ieplaciņās agrotehniskās erozijas ietekmē (Stalbovs, 1974).

Nogāžu slīpumi virs 5° raksturīgi paugurainam reljefam. Lēzenās nogāzēs (slīpums 6 - 10°) izplatītas vāji un vidēji erodētas augsnes, kuras veidojas agrotehniskās un ūdens erozijas mijiedarbībā. Lauksaimniecības kultūraugu audzēšanas tehnoloģija lielā mērā atkarīga no nogāzes slīpuma. Tas nozīmē, ka lēzenās nogāzes nav piemērotas rušināmaugu audzēšanai, tie jāizvieto līdzenās platībās. Iepriekšējo gadu pētījumi (1957.) liecina, ka strādājot ar graudu kombainu 10° stāvā nogāzē, zudumi sasniedz 20% ražas (Stalbovs, 1974).

Augsnes erozija ir viens no galvenajiem augsnes degradācijas veidiem, kas rada ilglaicīgu augsnes produktivitātes samazināšanos vai tās pilnīgu iznīcināšanu. Erozijas procesu attīstību ietekmē augsnes īpašības, kā, piemēram, ūdens infiltrācijas spēja, vietas topogrāfija, nogāzes garums un slīpums, nokrišņu daudzums, ilgums un intensitāte, kā arī veģetācijas īpatnības. Tiek uzsvērts, ka augsnes masas zudumiem, kas radušies erozijas rezultātā, vajadzētu būt līdzsvarā ar augsnes veidošanās procesos notiekošo iežu dēdēšanas apjomu. Taču atšķirībā, piemēram, no augsnes organisko vielu satura izmaiņām, erozija augsnes kvalitāti var izmainīt ļoti īsā laikā (Lal, 1998).

Mikroreljefs. Mikroreljefu raksturo nelieli reljefa pacēlumi un ielieces, kuru relatīvā augstuma starpība nepārsniedz 1 m. Mikroieplakas sekmē nokrišņu un sniega ūdeņu uzkrāšanos. Visvairāk mikroreljefs ietekmē ziemājus. Tie izmirst, izretinās vai pat pilnīgi iet bojā. Piemēram, Zemgales līdzenumā mikroreljefa pazeminājumi aizņem 15 - 30% no kopējās lauka platības un ražas samazināšanās mikroreljefa dēļ sasniedz 20% vai vairāk. Ražas zudumi atkarīgi no augsnes granulometriskā sastāva un lielāki tie ir smagās māla augsnēs. Ražas struktūras analīzes rāda, ka mikroreljefa paaugstinājumos ziemāju laukos saglabājas vairāk augu, tie labāk cero, augiem vārpas ir garākas, vārpas veidojas vairāk graudu un tie ir rupjāki. Turpretim mikroreljefa ieplakās bieži ir izteiktas glejošanās pazīmes, augsne ir daudz blīvāka, vasarā tā sakalst un plaisā, bet mitros rudenos un pavasaros ir pārmitra vai pat slapja. Izteikts mikroreljefs ierobežo lauksaimniecības tehnikas efektīvu izmantošanu, jo samazinās darba ātrums. Bez tam plattvēriena darba agregātiem pat nelielas reljefa virsmas svārstības stipri samazina darba kvalitāti. Tas attiecas ne vien uz augsnes apstrādāšanu, bet arī uz sēju, labību kopšanu un novākšanu (Boruks, 1987).

Reljefa ietekme uz mikroklimatu, augsnes īpašībām, citiem augsnes procesiem un specifiskām augsnes izcelšanās pazīmēm ir dažāda. Iespējas saimniecības specializācijai un darbības virzienam ir atkarīgas no reljefa. Reljefs nosaka augsnes auglību un lauksaimniecības zemes vērtību. Tas ievērojami ietekmē arī ūdens un vēja eroziju. Attīstītājās valstīs, modernās tehnoloģijas kultūraugu audzēšanai ir komplicētas mozaikas modeļa pārskatā par augsnes robežām - augsnes apstrādes diferencēšanu laukā. Vairāki pētījumi par augsnes neviendabīgumu ir veikti Eiropā. Humusa saturs,

aramkārtas biežums un atšķirīgi mikroreljefa elementi nosaka ietekmi uz graudaugu ražu. Humusa sastāvs atstāj ietekmi uz augsnes ūdens režīmu. Pēc zinātnieku domām skala par augsnes un lauksaimniecības zemju pārskatu būtu laba informācija, lai paaugstinātu saimniekošanas efektivitāti. Mikroreljefs atstāj ietekmi uz humusa stāvokli un augsnes agroķīmiskajām īpašībām. Graudaugu produktivitāte bija atšķirīga par 1.3 - 2.6 reizēm vietās, kur reljefs ar paugurainēm bija spilgti izteikts un graudaugu raža pazeminājās no 1.1 līdz 1.8 reizēm salīdzinot ar līdzenumiem (Shpedt, Nikitina, 2009).

Noraujot augsnes segu pauguru virsotnē, trūdvielu horizonts tur tiek iznīcināts, bet, nostumjot pa nogāzi uz leju, tas tiek aprakts noaru kāplē, kur kultūraugiem ir nepieejams un tādējādi iziet no bioloģiskās aprites. Agrotehniskā erozija, nemitīgi pārjaucot un pārbīdot augsnes masu pa nogāzi uz leju, sekmē augsnes sīkāko daļiņu pārskalošanu. Sniegam kūstot, kā arī pēc intensīvām lietusegāzēm, kuru ietekme katru gadu nav vienāda, nogāzē īslaicīgi veidojas virsējā notece, kas ūdens erozijas produktus aizskalo pāri kāplei, un tie nogulsņējas nelielā beznoteku ieplakā (Stalbovs, 1974).

Pieaugot tehniskajām un ekonomiskajām iespējām, cilvēks aizvien vairāk ietekmē augsnes attīstību un pārveido augsnes īpašības sev vēlamā virzienā. Tomēr nepareiza ražošanas tehnoloģija lauksaimniecībā, celtniecībā un zemes dziļu bagātības izmantošanā var radīt tehnisko jeb tehnogēno eroziju, t.i., augsnes noārdīšanu ar tehniskajiem līdzekļiem. Viens no tehniskās erozijas paveidiem ir agrotehniskā erozija - augsnes sistemātiska nobīdīšana pa nogāzi uz leju ar lauksaimniecības mašīnām un rīkiem, kas rada augsnes īpašību nevēlamu diferencēšanos un auglības samazināšanos. Agrotehniskā erozija Latvijas paugurainēs ir visizplatītākais augsnes erozijas paveids. Ūdens erozijas attīstība ir cieši saistīta ar meteoroloģiskajiem apstākļiem, tā atkarīga no nokrišņu daudzuma, to intensitātes, un tādēļ šīs erozijas izpausme sausos un lietainos gadalaikos ir stipri atšķirīga. Turpretim agrotehniskās erozijas produkti uzkrājas lēnām, bet sistemātiski, un tos maz iespaido meteoroloģiskie apstākļi. Agrotehniskā erozija ir atkarīga no zemes izmantošanas veida un kultūraugu audzēšanas vēsturiskās attīstības. Agrotehniskajai erozijai ir raksturīgs nemitīgs ietekmes pieaugums, kas saistīts ar lauksaimniecības tehnikas modernizēšanos (Stalbovs, 1974; Wilhelm, Bouzerzour, Power, 1989).

Arot nogāžu tīrumus ar zirgvilkmi, parasti strādāja pa horizontāli, vēršot velēnu no kalna uz leju, tātad sistemātiski, no gada gadā, pauguru un pacēlumu augšdaļā augsnes masa lemeša platumā tika nošķelta un pārbīdīta pa nogāzi uz leju. Pats par sevi saprotams, ka nogāžu tīrumos agrotehnisko eroziju jeb augsnes masas sistemātisku pārbīdīšanu pa nogāzi uz leju veicināja arī pārējie augsnes apstrādes paņēmieni. Tas veicināja erodēto augšņu rašanos pauguru virsotnēs un nogāžu izliecēs. Nogāzēs veidojās krasi kontrastainu erodēto un delūvija uznesumu augšņu mozaīka. Tātad, augsni sastrādājot, nogāžu platībās tiek veikts sistemātisks plantācijas process, kam milzīga nozīme nogāžu augsnes segas attīstībā. Agrotehniskā erozija manāmi pazemina paugura virsotnes, sistemātiski aizpilda ielieces, pagarina un nogludina pauguru nogāzes (Stalbovs, 1974).

Nogludinot pauguru nogāzes, agrotehniskās erozijas ietekmē rodas jaunas - cilvēka radītas jeb antropogēnas - reljefa iezīmes. Pie tām vispirms jāmin t.s. noaru kāples - agrotehniskās erozijas produktu akumulācijas formas. Noaru kāples izveidojas uz tīruma un pļavas robežas, kad, arot pirmo vagu, augsne tiek pārstumta uz tīruma malu. Gadu laikā šāds saarums paugura nogāzē, pārejas joslā starp tīrumu un pļavu, izveido stāvu kraujiņu ar izteiktu lūzuma līniju. Kraujiņas slīpums ir visai konstants, visumā atbilst grunts dabiskās noturības robežai un svārstās no 35° līdz 40°. Šāda noaru kāple, pakāpeniski virzoties virsū pļavai, pauguru nogāzē var sasniegt 2 - 3 m

augstumu, tādējādi samazinot nogāzes slīpumu un būtiski ierobežojot ūdens erozijas attīstību. Ja augsni apstrādā pa horizontāli, lai samazinātu ūdens erozijas intensitāti, tad, velēnu vēršot uz augšu, arums var būt kvalitatīvs tikai nogāzēs, kuru slīpums nepārsniedz 5 - 7°. Ja nogāzes stāvākas, tad parastajiem arkliem bez pagarinātajām vērstuvēm nav iespējams kvalitatīvs arums, jo aramsloksne ne vien netiek pilnīgi apvērsta, bet dažkārt pat atslīd atpakaļ vagā. Šāds aršanas veids iespējams tikai sīkos, sarežģītas konfigurācijas pauguros, kur jāpielieto figurēšana. Plašākās nogāzēs, lai velēnu vērstu tikai uz vienu pusi, nepieciešami īpaši maiņvērsēji arkli, (Stalbovs, 1974).

Pētot agrotehniskās erozijas produktu pārvietošanos nogāžu tīrumā ar slīpumu 8 - 10°, Lietuvā konstatētas šādas sakarības. Arot slejās šķērsām nogāzei, pa horizontāli pretējos virzienos pārvietoto zemes masu starpība ir 24.3%, jo daļa pret nogāzi vērstās augsnes gravitācijas spēka ietekmē nobirst uz leju. Arī arot pa nogāzi, respektīvi, šķērsām horizontālēm divos virzienos, augsne ievērojami pārbīdās (18.6%) pa nogāzi uz leju (Stalbovs, 1974).

Zinātnieku apkopotie agroķīmiskie analīžu dati liecina, ka erozijas produkti ne vien atšķiras pēc novietojuma reljefā, bet tiem ir arī krasi diferencētas ķīmiskās īpašības un granulometriskais sastāvs. Augu uzturvielas pieaug virzienā pa nogāzi uz leju (1.2. tab.). Minētā tendence raksturīga tikai agrotehniskās erozijas produktiem, kas pārvietošanās un akumulācijas procesā virsējās noteces ietekmē tiek atduļķoti. Līdz ar virsējo noteci ūdens erozijas produkti, kas satur augu uzturvielu galveno masu, tiek aizskaloti un nogulsnēti starppauguru ieplakā. Par to spilgti liecina atšķirības augšņu granulometriskajā sastāvā, kur ūdens erozijas produktos fizikālā māla (tā daļiņas sīkākas par 0.01 mm) daudzums salīdzinājumā ar neerodēto pauguru virsotni palielinājies 3.7 reizes, bet salīdzinājumā ar agrotehniskās erozijas produktiem - tikai 2.9 reizes. Šie skaitļi rāda, ka ūdens erozijas produktu akumulācija daļēji noris arī noaru kāplē, bet, ņemot vērā, ka fizikālā māla daudzums ir palielinājies tikai no 7.6 līdz 10%, var secināt, ka ūdens erozijas produktu īpatsvars kāplē nav liels (Stalbovs, 1974).

1.2. tabula

Augsnes agroķīmisko īpašību izmaiņa erozijas ietekmē atkarībā no novietojuma reljefā (Stalbovs, 1974)

Novietojums reljefā	Augsnes daļiņas < 0.01 mm, %	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cu	Zn	Mn	Mo
		mg 100 g augsnes		mg 100 g augsnes			
Līdzena virsotne	7.6	10.6	12.5	1.28	0.100	66.25	0.05
14° stāva nogāze	5.3	5.0	9.0	-	-	-	-
Nogāzes piekāje	8.1	4.0	7.0	-	-	-	-
Noaru kāple	10.0	5.0	6.0	1.60	0.195	57.00	0.23
Pārpurvota ieplaka	28.6	8.7	27.0	5.28	0.340	22.50	0.06

Regulāri apstrādājot nogāzi, to pakļauj ūdens postošajai darbībai. Ūdens erozijas intensitāte ir tieši proporcionāla pa nogāzi uz leju noplūstošā ūdens daudzumam un straumes ātruma kvadrātam, tātad ir atkarīga no nogāzes garuma un slīpuma leņķa. Ūdens erozija visintensīvākā ir nogāzes lejas daļā, kur ūdens daudzums un noteces ātrums ir vislielākais. Ūdens erozijas produkti nosēžas vēdekļveidīgi nogāzes pakājē vai arī starppauguru ieplakās; pēdējās parasti erozijas produkti daļēji pārklāj tur sastopamās augsnes vai arī sajaucas ar tām. Ūdens erozija visvairāk izpaužas pavasarī, sniega kušanas laikā, kad augsne vēl sasalusi un ūdeņi pa tās virsu strauji noplūst strautos un upēs. Tāpat ūdens erozija ir novērojama stipru lietusgāžu laikā. Ūdens erozijas produkti - sanesas starppauguru ieplakās un pauguru pakājēs visbiežāk ir ar augu barības vielām

samērā labi nodrošināti smilšmāli. Latvijā vēl biežāk nekā ūdens erozija novērojama augsnes nobīdīšana no pauguru virsotnēm vai stāvajām nogāzēm uz leju augsnes apstrādes procesā. Abu erozijas veidu rezultātā pauguru virsotnē un stāvajās nogāzēs atsedzas smilšmāli, bet virskārtas mālsmits tiek nobīdīta tūruma malā, veidojot tur t.s. noaruma kāpli (Boruks, Brīvkalns, Stalbovs, 1967; Shelton, Dickey, Jasa et al., 1992; Si, Farrell, 2004).

Augsnes attīstība paugurainē lielā mērā atkarīga no virsējās noteces un erozijas produktu pārvietošanās pa nogāzi uz leju smaguma spēka iespaidā. Tādi vielu transporta nosacījumi ir ļoti mainīgi, un to raksturošanai nepietiek tikai norādīt nogāzes elementa topogrāfiju, piemēram, „nogāzes vidusdaļa”, jo nogāžu saposmējuma, mikroreljefa, agrotehnikas un citu apstākļu dēļ nogāzes vidusdaļā var norisināties ļoti intensīvi erozijas vai delūvija veidošanās procesi, kā iespējams dinamisks to līdzsvara stāvoklis. Nogāzes augšdaļa atrodas neatkarīgā, autonomā jeb eluviālā novietojumā, kuram nav materiālu pieplūdes, bet erozijas produkti no tā tiek transportēti prom pa nogāzi uz leju. Erozijas procesos, izmainoties nogāžu slīpumam, lēzenākās vietās augsnes noārdīšanās intensitāte samazinās. Kaut arī augsnes virskārtas materiāls pārvietojas pa nogāzi uz leju, tomēr iestājies zināms līdzsvars, kura ietekmē augsnes noārdīšanās neprogresē (Stalbovs, 1974; Rubenis, Liepa, 1976).

Erodēto augšņu produktivitātes samazināšanās saistīta ar zemo trūdvielu saturu, kas krasi pasliktina augu barošanās apstākļus, bet it īpaši augsnes fizikālās īpašības. Erodēta augsne ir blīva, ar vāju ūdens infiltrācijas spēju un kapacitāti un tādēļ parasti nespēj nodrošināt kultūraugus ar optimālai attīstībai nepieciešamo mitrumu. Sezonālais produktīvā mitruma trūkums ir viens no galvenajiem erodētas augsnes zemās un svārstīgās produktivitātes cēloņiem (Stalbovs, 1974; Ausmane, Liepiņš, Melngalvis, 2004; Kroģere, Liepiņš, Ausmane u.c., 2005).

Pauguru virsotnes pakļautas vēja ietekmei, tādēļ sniega sega daļēji tiek nopūsta ieplakās. Ūdens rezerves, sniega segai kūstot, vairāk erodētās virsotnēs un izliektās nogāzēs ir niecīgas. Iestājoties atkusnim, it sevišķi saulainās dienās, sniega kušana vispirms iesākas un visstraujāk noris pauguru virsotnēs. Tās parasti atbrīvojas no sniega segas tad, kad augsne vēl sasalusi, tādēļ kušanas ūdeņi noplūst pa nogāzi un tikai neliela daļa iesūcas erodētajā augsnē. Sniega kušanas ātrums bez tam vēl ir atkarīgs no nogāžu izvietojuma un slīpuma. Vispirms nokūst sniegs pret dienvidiem vērstajās, stāvākajās nogāzēs, kur, sniegam strauji kūstot, veidojas intensīva virsējā notece. Pret ziemeļiem vērstajās nogāzēs sniega kušana un ūdeņu infiltrācija notiek pakāpeniski (Stalbovs, 1974; Lyon, Smith, 1992).

Nevienmērīgais sniega segas sadalījums un virsējā notece krasi sadala nokrišņu masu atkarībā no novietojuma uz reljefa. Minētā iemesla dēļ starppauguru ieplakās un reljefa ieliecēs pieplūst ievērojams ūdens daudzums, kas nespēj īsā laikā iesūkties. Tajās veidojas īslaicīgi virsējo ūdeņu sastrēgumi, kā arī spiedes jeb īslaicīgi darbojošies avotu ūdens izplūdumi, kas sagādā daudz grūtību augsnes apstrādāšanā pavasarī. Deluviālie ūdeņi var izplūst visnegaidītākajās vietās, pat pauguru virsotņu tuvumā (Stalbovs, 1974; Shelton, Dickey, Jasa et al., 1992; Si, Farrell, 2004; Ferrara, Trevisiol, Acutis et al., 2009).

Lai saglabātu mitrumu erodētajā augsnē, svarīgi ir to savlaicīgi sastrādāt. Tomēr nogāžu tūruma apstrādāšana, it sevišķi sīkpauguru reljefa apstākļos, praktiski reti iespējama izlases veidā, un tehniku šeit iespējams izmantot tikai tad, kad apžuvušas arī reljefa ielieces. Šai laikā pauguru virsotnes jau ir pārkaltušas, un niecīgās ūdens kapacitātes dēļ erodētā augsne dažkārt nespēj nodrošināt pat sēklu uzdīgšanai nepieciešamo produktīvā mitruma daudzumu. Turpretim delūvija augsnē, kur dziļā un

trūdainā akumulācijas horizonta ūdens kapacitāte ir liela, mitruma apstākļi ir optimāli. Mitruma rezerves šeit papildina gan virsējie, gan deluviālie noteces ūdeņi. Tāpēc labība nogāžu lejas daļās sadīgst ātri un vienmērīgi, bet erodētajās platībās zelmenis ir rets un redzami atpaliek kā pēc vitalitātes, tā arī pēc attīstības fāzēm. Sausākās vasarās labības sējumi pauguros aizkalst, turpretim nogāžu piekāpēs, kur miruma rezerves ir lielākas, labība vēl tikko sasniegusi piengatavību. Aizkalstu sējumus neglābj arī pērkona lietus, jo ļoti intensīvi, bet īslaicīgi nokrišņi erodētas augsnes slikto fizikālo īpašību dēļ būtiski nepapildina augsnes produktīvo mitrumu. Labības nevienmērīga nobriešana sagādā lielus zaudējumus, jo paugurainēs tās novākšana izlases veidā praktiski nav iespējama. Vāji erodētā augsnē salīdzinājumā ar analogu neerodētu augsni graudaugu ražība caurmērā pazeminās par 10 - 15%, vidēji erodēta - par 20 - 40%, stipri erodēta - par 40 - 60%, bet tiešais darba laika izlietojums vidēji un vāji erodētā augsnē pieaug divas reizes (Stalbovs, 1974).

Latvijā ir diezgan ievērojamas paugurainas platības, kur vērojama vidēja un pat stipra erozija. R. Stalbovs uzskata, ka te vainīgs ne tik daudz ūdens, kas noskalo trūdkārtu no pauguru virsotnēm, cik nepareiza agrotehnika - galvenokārt nepareiza augsnes apstrāde. Gadu desmitus sistemātiski ar darbarīkiem raušot augsni pa nogāzi lejup, paugura virsotnēs trūdkārta arvien samazinās, it sevišķi mālainās augsnēs. Lai novērstu augsnes eroziju, pirmkārt, jālieto palielinātas organisko mēsļu devas pauguru virsotnēs, otrkārt, ja nogāžu slīpums pārsniedz 5°, - jāievieš speciālas preterozijas augsekas. Tajās paredz galvenokārt daudzgadīgās zāles un graudaugus (ziemājus vairāk nekā vasarājus, jo tie labāk nosedz un aizsargā augsni rudens un pavasara periodos), bet izvairās no rušināmaugiem. Augsni apstrādājot, jācenšas maksimāli saglabāt tās struktūru - nesaputekļot to ar daudzkārtīgu apstrādi, it īpaši nepiemērotos mitruma apstākļos. Rugaiņu lobīšanu labāk veikt ar šķīvju lobītājiem, nevis lemešu, lai mazāk bojātu rugājus, kas augsni aizsargā. Jār pēc iespējas šķērsām nogāzēm, pa horizontālēm, pie tam velēna jāvērs uz augšu, nevis otrādi. Diemžēl nogāzēs ar lielāku slīpumu parastie arkli nenodrošina apmierinošu kvalitāti - velēna krīt atpakaļ. Nepieciešami speciāli arkli šādu nogāžu aršanai. Tā kā augsnes mitrums pauguru virsotnēs un lejasdaļā krasi atšķiras, pavasarī apstrāde jāuzsāk izlases veidā (Boruks, Brīvkalns, Stalbovs, 1967; Klovāns, Kroģere, 1978).

Augsnes cilmieži un granulometriskais sastāvs. No cilmiežiem augsnes manto savu pirmējo vielu sastāvu un daudzas īpašības. Automorfajās augsnēs, sevišķi uz mālainiem (smilšmāla, māla) cilmiežiem, tās lielā mērā saglabājas arī tad, kad profili ir jau pilnīgi izveidojušies. Kā cilmiežu, tā arī augšņu ķīmisko sastāvu un fizikālās īpašības lielā mērā raksturo granulometriskais sastāvs. Viegla granulometriskā sastāva augsnes (smilts, saistīgas smiltis, daļēji mālsmilts) ir ķīmiski nabadzīgas, bet mālainās (smilšmāla, māla) augsnes - bagātas. Pēc fizikālajām īpašībām un ūdens režīma kā stipri viegla, tā arī smaga granulometriskā sastāva augsnes ir sliktākas par augsnēm ar vidēju (viegla un vidēja smilšmāla) granulometrisko sastāvu. Tāpēc agronomiski labākās ir automorfās (velēnu karbonātu, velēnu podzolētās augsnes u.c.) un pushidromorfās (velēngleja, velēnu podzolētās gleja u.c.) augsnes ar vidēju granulometrisko sastāvu. Zināmas korektūras šajā augšņu granulometriskā sastāva vispārīgajā novērtējumā rada dažāda granulometriskā sastāva horizontu vai cilmiežu kārtu mija, gruntsūdens līmeņa dziļums un mēslošana. Latvijā augsnes cilmieži veido ledāja un tā kušanas ūdeņu nogulumu (glaciālie nogulumu), kā arī Baltijas jūras dažādu attīstības stadiju nogulumu, vēja pārpūstie, upju, ezeru un purvu nogulumu. Pēc ķīmiskajām un fizikālajām īpašībām augsnes ar šādu no cilmiežiem mantotu granulometrisko sastāvu ir visai dažādas un to agronomiskā kvalitāte ir atkarīga no tā, pie kāda augšņu tipa tās pieder. Pastiprinoties

glejošanās procesiem, visvairāk mainās cilmiežu fizikālās īpašības - palielinās (sevišķi mālainajiem cilmiežiem) blīvums un samazinās ūdenscaurlaidība. Augsnes segas struktūra, kas sastāv no dažādu tipu augsnēm, visbiežāk novērojama pauguraina reljefa teritorijās ar mainīgiem mitruma apstākļiem, kā arī teritorijās ar stipri atšķirīgiem augšņu cilmiežiem (Stalbovs, 1974; Brīvkalns, 1978).

Augsni veidojošos cilmiežus var iedalīt divās lielās grupās: 1. nesaistītas (irdenas) iežu daļiņas, galvenokārt nogulumieži, vai arī 2. iežu irdne, kura uzgulst vienlaidus cietam pamatiezim, no kura šī irdne ir veidojusies, piemēram, smilšakmens, kaļķakmens un dolomīts, kas veido seklas augsnes. Var būt arī dažādas starpstadijas, piemēram, cilmiezis sastāv daļēji no vienlaidus cieta pamatieža un no iežu irdnes, kura var būt pārvietota (atnesta) vai arī nonesta (Kārklīšs, 2008).

Viena no svarīgākajām augsnes īpašībām, kas nosaka citas augsnes īpašības, ir tās granulometriskais sastāvs. Augsnes minerāli nosaka augsnes granulometrisko sastāvu, t.i., augsnes iedalījumu atbilstoši minerālo daļiņu izmēriem. Augsnes granulometriskais sastāvs ir viens no nozīmīgākajiem faktoriem, kas nosaka augsnes fizikālās un hidrofizikālās īpašības (sakārtu, struktūru, ūdenscaurlaidību u.c.), augsnes aerofizikālās un termofizikālās īpašības, produktīvo ūdens daudzumu, augu barības vielu krājumus. Latvijā, tāpat kā citās valstīs, augsnes iedalījumam pēc granulometriskā sastāva izmanto tā saukto Kačinska shēmu, kas ievērojami atšķiras no starptautiski lietotās gan daļiņu lieluma definīcijās, gan augšņu grupējumā. Papildus tam, iedalot augsnes pēc granulometriskā sastāva pēc Kačinska shēmas, vērā tiek ņemta tikai vienas daļiņu apvienotās frakcijas īpatsvars, tā sauktais fizikālais māls, t.i. daļiņas ar izmēriem < 0.01 mm. Tas nedod pietiekošu priekšstatu par augsnes īpašībām, jo klasifikācijas sistēma ir pārlietu vienkāršota. Izmantojot FAO shēmu (arī *Soil Tahonomy*), augsnes granulometriskā sastāva iedalījumam jāievēro trīs parametru - māla (< 0.002 mm), putekļu (0.002 - 0.005 mm) un smilts (0.005 - 2.00 mm) relatīvā attiecība augsnē. Augsnes granulometriskā sastāva klasifikācijai izmanto trijstūrveida nomogrammu (Kārklīšs, 1997).

Kopsavilkums. Latvijas Republika atrodas palielinātā nokrišņu zonā, jo ik gadus vidēji saņem 600 - 700 mm nokrišņu. No tiem ap 200 - 210 mm ir „lieki”, kas jānovada ar drenāžu. Ap 75 - 90% lauksaimniecībā izmantojamo zemju platību atkarībā no izmantošanas veida prasa nosusināšanu. Mitruma regulēšana īpaši nepieciešama smaga granulometriskā sastāva augsnēs ar augstu gruntsūdens līmeni, lēzenos laukos un reljefa zemākajās vietās. Nosusināšana pazemina un stabilizē gruntsūdens līmeni laukos un tādējādi uzlabo augsnes aerāciju. Tas veicina optimālu augsnes, gaisa un mitruma režīmu sakņu zonā un ziemāju sakņu iespiešanos dziļākos zemaramkārtas slāņos. Lai arī kopējā nokrišņu summa Latvijas agroklimatiskajos apstākļos ir augsta, atsevišķos gados to nevienmērīgais sadalījums veģetācijas periodā var būtiski samazināt graudaugu ražību un kvalitāti.

Augsnes neviendabīgumu nosaka reljefs, ko raksturo atšķirīgs gruntsūdens līmenis; augsnes veidošanās procesi; augsnes apstrādes sistēma; izmantošanas veids u.c. Arī augšņu agroķīmiskā izpēte bāzējas uz augsnes neviendabīgumu.

Iespējas saimniecības specializācijai un darbības virzienam ir atkarīgas no reljefa. Reljefs nosaka augsnes auglību un lauksaimniecības zemes vērtību, tas ir svarīgākais eroziju ietekmējošais dabas faktors, kas apvieno vairāku citu faktoru ietekmi. Reljefs ir ne vien augšņu veidošanās faktors, bet tam ir arī svarīga ekoloģiska nozīme - tas gan tieši, gan netieši ietekmē kultūraugu ražību un audzēšanas tehnoloģiju. Tas ietekmē arī ūdens, agrotehniskās un vēja erozijas intensitāti.

Latvijā ir diezgan ievērojamas paugurainas platības, kur vērojama vidēja un pat stipra erozija. R. Stalbovs uzskata, ka te vainīgs ne tik daudz ūdens, kas noskalo trūdķārtu no pauguru virsotnēm, cik nepareiza agrotehnika - galvenokārt nepareiza augsnes apstrāde. Ziemājus nedrīkst sēt augsnē, kas pēc aršanas nav nosēdusies. Sekas tam var būt sakņu saraušana, zemei sasalstot un atkūstot rudenī vai pavasarī. Pareizā laikā un secībā veikti augsnes apstrādes paņēmieni veido noteiktu apstrādes sistēmu, kam jānodrošina izmaksu samazināšana, augšņu un vides aizsardzība.

Lai mazinātu augsnes neviendabīgumu, pētāmajās platībās zinātnieki iesaka lietot izlīdzinošos sējumus. Tie atšķiras no parastajiem ražošanas sējumiem ar rūpīgāku un vienveidīgāku agrotehniku. Izlīdzinošie sējumi palīdz novērst atšķirīgu priekšaugu un citu mazāk ietekmīgu agrotehnisko pasākumu radīto augsnes auglības neviendabīgumu. Vislielāko efektu izlīdzinošie sējumi nodrošina augstas agrotehnikas apstākļos, ja tos lieto 2 - 3 gadus, ievērojot augu sekā pieņemto kultūraugu maiņas secību.

1.3. Metodes augsnes neviendabīguma noteikšanai

Ražas kartes. Viens no precīzās laukkopības pamatelementiem ir ražas karte. Precīzās laukkopības apgūšanas secība atkarībā no konkrētajiem apstākļiem, saimniecības iespējām un tehniskā nodrošinājuma var būt atšķirīga. Iepriekšminēto ciklu ietvaros to var sākt ar lauka nogabalu ražas nevienmērības noteikšanu ar tiešiem mērījumiem aprīkotu kombainu vai netiešiem mērījumiem aerofotometriskā vai sensoru lietojuma veidā. Tomēr to parasti sāk ar audzējamā kultūrauga, visbiežāk graudaugu, ražas nevienmērības noteikšanu, reģistrējot to koordinātu sistēmā, noteiktā intervālā. Šim nolūkam izmanto kombainu, kam uzstādītas ierīces, kas vienlaikus fiksē vairākus rādītājus: kombaina atrašanās vietu laukā, vadoties no GPS un diferenciālās globālās pozicionēšanas sistēmas signāliem, ar precizitāti līdz metram, kulšanas procesā iegūtās masas birumu un mitruma saturu (Lachapelle, Cannon, Gehue et al., 1994; Searcy, 1997; Zhang, Wang, Wang, 2002; Noack, Muhr, Demmel, 2003; Vilde, Rucins, Skrastins et al., 2005d; Domsch, Heisig, Witzke, 2007).

Ražas kartēšana ir ilgstoši mērījumi, kuri ietver labību ražas uzskaiti lauka robežās, ko veicis kombains, kurš ir aprīkots ar atbilstošu aparātūru. Ražu kartes rezultātus lieto daudzi zemnieki ar mērķi, lai paaugstinātu ražu vietās, kurās tā ir zema. Ražu kartes aizvien vairāk kļūst par nozīmīgu informācijas avotu (Moore, 1997; Blackmore, Moore, 1999; Ess, Morgan, Parsons, 2003; Noack, Muhr, Demmel, 2003; Jaynes, Colvin, Kaspar, 2005).

Lai izveidotu labību informatīvo karti, nepieciešams graudu mitruma nolasītājs un graudu masas daudzuma sensors, kā arī GPS atrašanās vietas uztvērējs ar displeja terminālu, kas atrodas kombaina kabīnē. Mobils kartes procesors un dators nodrošina datu savākšanu, lai tālāk specializētā datorprogrammā iegūtos datus analizētu (Lachapelle, Cannon, Gehue et al., 1994; Searcy, 1997; Hoeft, Nafziger, Johnson et al., 2000; Vilde, Lapins, Berzins et al., 2005; Lapins, Vilde, Berzins et al., 2006; Domsch, Heisig, Witzke, 2007).

Tālāk, ievadot šos datus personālajā datorā, ar speciālas programmas palīdzību iegūst ražas karti ar dažādiem izvēlētiem ražas līmeņu nogabaliem, kas attēloti dažādās krāsās konkrētai labībai, atkarībā no graudu biruma attiecīgajā vietā, un nosacīti raksturo šo nogabalu auglības līmeņus, bet neatklāj ražas atšķirības cēloņus. Ja visā sējumu platībā lietota viena un tā pati audzēšanas tehnoloģija, to nediferencējot, ražas

kartē tās lielumi ir tieši proporcionāli ražošanas pašizmaksai. Tas dod iespēju ātri un operatīvi izveidot ražošanas izmaksu kartes. Ražošanas pašizmaksu un citas ekonomiska rakstura kartes ļauj rast diferencētu tehnoloģiju pamatojumu katrā laukā (Lachapelle, Cannon, Gehue et al., 1994; Searcy, 1997).

Pēc ražas kartes izveidošanas seko informācijas ievākšana lauka raksturošanai un ražas diferences cēloņu noteikšanai. Katra parauga noņemšanas vieta ar GPS signālu uztvērēju tiek fiksēta koordinātēs. Tad notiek visas iegūtās informācijas apstrāde. Datorā, izmantojot attiecīgas programmas, papildu ražas kartei veido analizējamā lauka kartes: topogrāfisko, kas ietver informāciju par lauka reljefu, augsnes agroķīmisko īpašību u.c. kartes (Lachapelle, Cannon, Gehue et al., 1994; Searcy, 1997; Blackmore, 2002; Zhang, Wang, Wang, 2002; Ess, Morgan, Parsons, 2003).

Pēc karšu izveides iespējams uzskatāmi vērot un vērtēt esošo situāciju. Proti, ražas kartē, redzot vietas ar zemāku ražību, skaidrot tās iemeslus pēc attiecīgās vietas raksturojuma, augsnes agroķīmiskā sastāva (barības vielu nodrošinājuma, augsnes reakcijas), OV satura, granulometriskā sastāva kartēm u.c. rādītājiem. Tādējādi ir iespēja vienkāršoti konstatēt ražu ietekmējošos faktorus, kas varētu būt, piemēram, palielināts augsnes, tostarp zemamarkārtas sakārtas blīvums, zema, mitra vieta un citi nelabvēlīgi faktori. Atsevišķas kartes var gūt individuālu lietojumu tehnoloģisko operāciju diferencēšanai visā platībā. Savukārt ražu limitējošo faktoru ietekmes lieluma noteikšanā labus rezultātus nodrošina korelāciju un regresiju analīze, kuras pamatnozīme ir noteikt ražu ietekmējošos faktorus (Blackmore, Moore, 1999; Blackmore, 2002; Zhang, Wang, Wang, 2002; Ess, Morgan, Parsons, 2003; Lapins, Vilde, Berzins et al., 2006).

Kad veikta ražību ietekmējošo faktoru analīze, tiek skaidroti nepieciešamie pasākumi plānojamā ražības līmeņa sasniegšanai katrā konkrētā lauka nogabalā: augsnes apstrādes un nezāļu ierobežošanas veidi u.c. Piemēram, augsnes mehāniskās apstrādes procesā var tikt mainīts tās apstrādes raksturs, proti, atkarībā no atrašanās vietas laukā mainīts aršanas vai kultivēšanas dziļums, variētas mēslojuma devas - utt. (James, Godwin, 2003; Welsh, Wood, Godwin et al., 2003; Vilde, Lapins, Berzins et al., 2005; Whitlock, 2006).

Austrālijā apkopotā informācija par ražu kartēm atklāja, ka laukā, kurā ir 100 ha ziemas kviešu, raža tipiski mainās no 0.4 līdz 4.0 t ha⁻¹ (Blackmore, Moore, 1999; Wong, Lyle, 2003; Domsch, Heisig, Witzke, 2007).

Ražu kartes savu pielietojamību iegūst pēc ražas novākšanas. Augsnes paraugu ņemšana un analizēšana ir dārga, bet daudzi augsnes parametri, kā augsnes organiskās vielas saturs un horizontu dziļums nemainās ilgākā laika periodā (Blackmore, Moore, 1999; Ess, Morgan, Parsons, 2003).

Ražu kartē graudu kulšanas laikā, tiek ieviestas kļūdas, ko pieļauj tilpuma bāzes sensors acumirkīgi nosakot ražu. Ražu kartes kļūdas saistītas ar mainīgu graudu tilpumu un mitruma saturu. Ražas monitors tiek pārbaudīts ar produkcijas partijas masas precizitāti 0.4%, bet graudu plūsmas precizitāte paredz standartnovirzi $\pm 3\%$ ar tipisku kļūdas diapazonu $\pm 6\%$. Ražu karte dod precīzus rādītājus par ražu līmeņiem 20 - 25 m² lielā laukuma vienībā (Moore, 1997).

Ražu kartes atspoguļo sistemātisku un nejaušu ražu pārmaiņu pirmsākumus, kas ir lielu kļūdu iemesli ražas uzskaites un kartēšanas procesā. Procesa vispārīgā struktūra ietver informāciju par vairāku gadu ražu kartēm, ieskaitot neapstrādāto datu filtrēšanu, standartizāciju, interpolāciju, klasifikāciju un pēc klasifikācijas veikto datu filtrēšanu. Uzlabotās tehnoloģijas ļauj veikt objektīvāku ražas kartēšanu, kas ir nozīmīgākais datu slāņa algoritms, lai norādītu mainīgo normas produkcijas izlietojumam. Iegūtie ražas

kartes dati ir atkarīgi no ražas monitoringa sistēmas. Ražas dati satur sistemātiskus un nejaušus ražas pirmdokumentu mērījumus, ietverot mainīgu ražas saistību ar klimatu un augsnes īpašībām; saimniecības izraisītu ražas mainību un mērījumu kļūdas, kas saistās ar ražas kartēšanas procesu. Produkcijas izlietojums kultūraugu audzēšanas sistēmā bieži bāzējas uz algoritmiem, kas ietver ražas novērtējumu un ir saistīts ar augu nepieciešamību pēc barības vielām un ūdens (Dobermann, Ping, Simbahan et al., 2003; Noack, Muhr, Demmel, 2003).

Literatūrā norādīts, ka nepieciešami vismaz piecu gadu ražas kartes uzskaites dati, lai noteiktu stabilas saimniekošanas zonas. Tradicionāli augsnes kartes tiek sastādītas mērogā 1:20000 un 1:200000, bet tās nav piemērotas detalizētas informācijas ieguvei par lauku neviendabīgumu (Robert, 1993; Lamb, Dowdy, Anderson et al., 1997; Boydell, McBratney, 2002).

Vācijā veiktā izmēģinājumā noskaidrots, ka graudu un salmu ražas standartnovirze variē $\pm 3.3\%$ un 11.1% robežās. Graudu mitrums variē $11.0 - 16.6\%$ robežās. Mazāks mitruma saturs bija lauka reljefa augstākajās vietās (Bottinger, Wacker, Hermann, 2006).

Salmu raža ir vairāk mainīga nekā graudu raža un korelācijas koeficienti apliecina, ka graudu un salmu ražas attiecība mainās visā laukā (Misotten, Strubbe, DeBaerdemaeker, 1997; Ehlert, Kraatz, Horn, 2003).

Digitālā augšņu kartēšana ar atšķirīgām metodēm tiek izmantota precīzajā laukkopībā arvien vairāk. Telpiskā kultūraugu lapotnes heterogenitāte var tikt izmantota kā norāde par augsnes īpašībām, ja klimatiskie apstākļi un reljefs ir zināms. Iegūtā ražu karte apvieno konkrētās vietas blakusparādības. Līdz ar to ir grūti spriest par kādu konkrētu augsnes īpašību, vadoties tikai no ražu kartēm, un to izmantošana ir apgrūtināta sakarā ar ilggadēju laika apstākļu maiņām, izmaiņām sējumu kopšanas apstākļos un slimību klātbūtnes. Lapu laukuma indekss ziemāju graudaugiem, kas iegūts, izmantojot sensoru tehniku, varētu būt labāks rādītājs par augsnes īpašībām nekā ražu kartes, jo tas ir neatkarīgs no kombaina darbības, tam ir lielāka telpiskā izšķirtspēja (pat līdz 1 m) un rādītāji neprasa interpolāciju (Kuhn, Brenning, Wehrhan et al., 2009).

Aerofoto. Arvien vairāk arī laukkopībā izmanto dažādus sensorus, procesorus, mikročipus un ierīces, kas veic dažādus mērījumus, datu nolasīšanu, uzkrāšanu, apstrādi un analīzi matemātisko modulāciju ceļā. Līdz ar to rodas iespējas palielināt iegūstamās un apstrādājamās informācijas apjomu, padziļināt tās analīzi un izmantot šo informāciju pamatotu lēmumu pieņemšanai dažādu norišu precīzākai vadīšanai un citu uzdevumu risināšanai. Šajā ziņā izņēmums nav arī lauksaimniecība. Viens no šādiem risinājumiem ir precīzā laukkopība, izmantojot GPS (Boess, Heineke, Kues, 2003; Pedersen, 2003; Vrindts, Reyniers, Darius et al., 2003; Vilde, Rucins, Skrastins et al., 2005; Vilde, Rucins, Skrastins et al., 2005a; Domsch, Heisig, Witzke, 2007).

Precīzajā lauksaimniecībā plaši izmanto arī aerofoto. Aerofotogrāfijas ir mazāk atkarīgas no meteoroloģiskajiem apstākļiem salīdzinājumā ar satelītattēliem. Tādejādi ir iespējams uzņemt fotogrāfijas jebkurā interesējošā augu augšanas stadijā. Ar aerofotogrāfijām un satelītu attēliem iespējams kontrolēt lielas platības īsā laikā (Blackmore, Moore, 1999; Pedersen, 2003; Wong, Lyle, 2003).

Aerofoto attēlus izmanto, lai veiktu visaptverošus novērtējumus paredzamajai ražai, kam seko lēmumu pieņemšana par turpmākiem sējumu kopšanas darbiem vai piemērojot attiecīgos augšanas modeļus dažādos apstākļos un kalkulejot iespējamo ražu konkrētā reģionā. Taču ražu kartes var aizvietot ar aerofoto attēliem tikai tad, ja pastāv precīza korelācija starp attēla parametriem tādiem kā biomasa un kultūraugu raža, ar

attiecīgā lauka apskati (Reyniers, Vrindts, De Baerdemaeker, 2006; Domsch, Heisig, Witzke, 2007).

Nezāļu uzskaitē prasa laiku, līdz ar to, nepieciešams pilnveidot kameras un analīzes metodes, kuras atšķir kultūraugus no nezālēm. Piemēram, diferencētai augu aizsardzības līdzekļu lietošanai ir 50 - 70% ietaupījums. Augu aizsardzības līdzekļu lietošanas pamatā ir zemnieku pieredze, ražu kartes, topogrāfija un lauka izvietojums. Satelītu attēli ir grūti pārskatāmi, jo katrs attēls ir ļoti liels un prasa tālāko procesu formatēšanu, ko ir ļoti grūti nodrošināt zemniekiem. Aerofotogrāfijām ir dažas priekšrocības salīdzinājumā ar satelītu attēliem un tām ir augstāka izšķirtspēja. Tomēr piemērota laika izvēlēšanās, elastīgums un ticamība nav optimāla praktiskai lietošanai salīdzinājumā ar uz traktoriem uzmontētiem sensoriem. Labāka un ātrāka pieeja zemeņa noteikšanai ir uz traktora uzstādītam sensoram (Pedersen, Fountas, Blackmore et al., 2003).

Precīzā lauksaimniecība ir ieviešama un izmantojama zemes platībās, kur satelītu datu bāze sniedz būtisku devumu, tādējādi palīdzot zemniekiem lēmumu pieņemšanā. Būtiskākais, ko iegūst no satelītattēliem ir biofizikālie parametri, tādi kā karoglapas laukuma indekss vai hlorofila saturs atšķirīgās kultūraugu attīstības stadijās, ko var iekļaut attiecīgos agronomiskos moduļos un sniegt rekomendācijas. Šāda veida sistēmas ir Vācijā, Francijā, ASV u.c. (Coquil, Bordes, 2005).

Sensori. Labi attīstīti un plaši pielietoti ir arī sensoru, kas tiek uzstādīti uz saimniecību tehnikas, piemēram, uz traktoriem. Zemnieki šo sistēmu var lietot jebkurā laikā. Šī sistēma strādā pat mākoņainos apstākļos un mērījumu ģeogrāfiskās norādes var tikt iegūtas ar līdzīgu precizitāti kā ražas kartes. Novērojumus par relatīvi lielām teritorijām var iegūt no satelīta. Labāka datu ieguve no sensoru tehnikas visticamāk palielina zemnieku interesi par precīzo lauksaimniecību (Wendroth, Giebel, Penayewtukhiw et al., 2005).

Pēdējā laikā svārsta tipa sensoru tiek plaši izmantoti dažādās kultūraugu attīstības stadijās un apstākļos. Sensors ir uzmontēts traktora priekšpusē un tas kopā kultūraugu virsmu un galvenokārt ir paredzēts dalītai slāpekļa minerālmēsli lietošanai. Salīdzinājumā ar svārsta sensoriem, starp augsnes elektrisko vadītspēju un graudu ražas mērījumiem pastāv atšķirīga korelācija. Informācija par augu biomasas sadalījumu laukā ir nepieciešama atsevišķām precīzās laukkopības darbībām. Iedarbīgs un laika taupīšanas mērinstruments ir sensors, kurš ir nepieciešams, lai noteiktu augu biomasu un ražu. Augu biomasas noteikšana ir svarīga, lai varētu optimizēt agroķīmiskos līdzekļus, uzlabot saimniekošanas sistēmu un apkārtējās vides aizsardzību. Praktiskos saimniekošanas apstākļos iespējams neviendabīgums ir no ražu kartēm (Ehlert, Kraatz, Horn, 2003).

Vācijā veikts izmēģinājums ar svārsta sensoru piecos laukos ar kopējo platību 154 ha (režģa izmēri 36 × 36 m), kur augu biomasu tika sadalīta četrās klasēs: 0 - 0.67; 0.67 - 1.00; 1.00 - 1.33 un > 1.33, nosakot katras klases vidējo vērtību. Noskaidrots, ka korelācija starp augu zaļo masu un svārsta leņķa mērījumiem bija $R^2 < 0.89$. Korelācijas koeficients starp svārsta leņķi un kombaina ražas uzskaites mērījumiem bija $R^2 = 0.50$. Sensors ir piemērots slāpekļa mēslojuma lietošanai graudaugiem laikā, kad augsnes mitrums ir galvenais ražu limitējošais faktors. Izmantojot šādu pieeju var veikt slāpekļa mēslojuma diferenci. Tādējādi tas ietaupa naudu zemniekiem un samazina pazemes ūdens piesārņošanu (Ehlert, Kraatz, Horn, 2003).

Ultraskaņas sensori ir piemēroti kultūraugu uzbūves mērīšanai. Jaunākie pētījumi Japānā 2002. gadā liecināja, ka ultraskaņas sensori ir piemēroti sojas pupu un labību mērījumiem (Scotford, Miller, 2003b).

Minerālmēslu, fungicīdu un augu augšanas regulatoru lietošana ietekmē ziemas kviešus to augšanas dažādās stadijās. Zinātnieki Scotford un Miller norāda, ka augu augstuma mērījumiem var lietot veģetācijas indeksu un ultraskaņu vai labību augšanas monitoringu, kas ir pamats, lai veiktu lēmumu pieņemšanu konkrētam laukam. Ar mērķi izveidota šāda sistēma, lai varētu izmērīt zelmeni laukā un lietot augu aizsardzības līdzekļus atbilstoši augu attīstības stadijai (Scotford, Miller, 2003a).

Amerikas Savienotajās Valstīs plaši izmanto tehnikas kombinēšanu, piemēram, lai noteiktu dzinumu skaitu uz kvadrātmetru un lapu laukuma indeksu ziemas kviešiem. Izmantojot sakarības, kas iegūtas pirmajā izmēģinājumā gadā, noteikts, ka uz transportlīdzekļa piestiprināts sensors var tikt izmantots, lai noteiktu dzinumu skaitu ar precizitāti ± 130 dzinumi uz m^2 un lapu laukuma indeksu ar precizitāti ± 0.74 vienības, lietojot to nākošos divus veģetācijas periodus bez papildus kalibrēšanas. Šī kombinētā sensoru pieeja palīdzēja novērot ziemas kviešu attīstību visā veģetācijas periodā, arī pēc 31. etapa, kas tradicionāli ir robeža, lai izmatotu spektrālo tehniku. Lietojot veģetācijas indeksa variāciju koeficienta kombināciju ar ultraskaņas auga garuma mērījumiem varēja noteikt arī dzinumu skaitu un lapu laukuma indeksu bez papildus kalibrācijas. Iegūtie lielumi var tikt tieši izmantoti, lai atvieglotu agronomisko lēmumu pieņemšanu (Scotford, Miller, 2005).

Tālvadības sensori ir perspektīvs līdzeklis, lai raksturotu labību ražas telpiskās atšķirības, augu agrīnās attīstības stadijās. Fotouzņēmumi ar tālvadības sensoru, kas piestiprināts pie lidmašīnas, iegūti graudaugu sešu lapu stadijā. Regresijas modelis izskaidro 42 - 45% no iegūstamās graudu ražas (Inman, Khosla, Lefsky et al., 2005).

Hydro N sensors paredzēts augu nodrošinājuma ar N un biomasas noteikšanai laukaugiem, N papildmēslojuma devu variēšanai, izmantojot atstarojuma spektrālo analīzi. Tas tiek uzmontēts uz traktora kabīnes jumta un raida četrus staru kūļus. Hydro N sensora darbību nosacīti var iedalīt trīs posmos: N nodrošinājuma mērīšana; mērījumu apstrāde datorā N vajadzības un papildmēslojuma devas noteikšanai; programmēta papildmēslojuma sējmašīnas darbības vadīšana. Hydro N sensors mēra un izvērtē no augu masas saņemtā atstarojuma spektru, tā redzamo un neredzamo (infrasarkanā) daļu. Tādējādi var noteikt hlorofila daudzumu augos - ar N labāk apgādāti augi gaismu atstaro mazāk. Pēc infrasarkanā starojuma intensitātes nosaka augu virszemes biomasu. Atkarībā no augu N nodrošinājuma un virszemes biomasas lieluma tiek variēta izsējamā N mēslojuma deva - mazāka ($10 - 20 \text{ kg ha}^{-1}$) vai lielāka (līdz 120 kg ha^{-1}), ja nodrošinājums nav pietiekams. Hydro N sensors izmantojams arī proteīna satura noteikšanai miežos, lai vērtētu to noderīgumu iesala ražošanai, retardantu un desikantu lietošanai (Kerstin, 2008; Vilde, Ruciņš, Viesturs, 2008)⁴.

Augu virszemes biomasas mērītāji var būt spektrālie (šim nolūkam izmantojams Hydro N sensors), ultraskaņas un mehāniskie (svārstveida masas mērītāji). Ultraskaņas augu biomasas daudzuma mērīšanai iekārta uzmontēta mašīnas vai traktora priekšpusē un tās novietojums laukā ir tehnoloģisko sliežu veidotajām lauka slejām pa vidu (Vilde, Ruciņš, Viesturs, 2008)^{4; 5}.

Mērīšanas precizitātei parametri tiek iegūti 50 reizes sekundē un saglabāti klēpj datorā, un iekārta atrodas 0.8 m attālumā no lauka virsmas. Iekārtas uzdevums ir

⁴ Hydro N sensors [tiešsaiste] [skatīts 2011. g. 2. okt.]. Pieejams: <http://www.ca.uky.edu/ukrec/RR%202006-07/RR06-07%20pg64.pdf>

⁵ Ultrasonic sensors [tiešsaiste] [skatīts 2011. g. 2. okt.]. Pieejams: <http://www.sensormag.com/sensors/acoustic-ultrasound/choosing-ultrasonic-sensor-proximity-or-distance-measurement-825>

iegūt precīzus datus lauka apstrādei ar ķīmikālijām. Tāda veida sensoru sistēma ir piemērojama vēlai graudaugu lauka apstrādei ar slāpekli, kad mitrums ir auga attīstības galvenais ierobežojošais faktors. Lai to panāktu, nelabvēlīgākās lauka vietās mēslojuma daudzums tiek samazināts (Vilde, Ruciņš, Viesturs, 2008).

Lai apkopotu un savāktu datus īstermiņa un ilgtermiņa vadības lēmumu pieņemšanai, lieto tiešos, netiešos un attālinātos sensorus - uztvērējus. Tiešie uztvērēji darbojas tiešā sasaistē ar GPS. Apsekojot laukus ar tiešajiem sensoriem var precīzi noteikt - mitrumu u.c. Attālinātie sensori - uztvērēji tiek izmantoti, ja nepieciešami dati par vietām, kas atrodas tālu un, kur nav iespēja piebraukt. Attālināto datu savākšanai izmanto satelītu vai aviācijas informāciju. Šādā veidā pēta - lauka topogrāfiju, augu dīgļspēju u.c. Netiešie sensori - uztvērēji sniedz informāciju, kuru iegūst laiku pa laikam, piemēram, pēc ražas novākšanas t.i., kaitēkļu daudzums, nezāles, sezonas faktoru ietekme⁶.

Attīstot tiešsaistes augsnes sensorus precīzajā laukkopībā ir nozīmīgs progress, kas ir veikts pēdējos gados. Elektrisko un elektromagnētisko sensoru lietošana kartēšanas procesā ir komerciāli pieejama, tā ir lieliska iespēja izziņāt augsnes fizikālo īpašību neviendabīgumu (Adamchuk, Christenson, 2005; Adamchuk, Hummel, Morgan et al., 2005).

Tiešsaistes augsnes sensori un mērījumu sistēmas, kas ievāc datus ar vienādu vai līdzīgu telpisko izšķirtspēju, pagaidām nav pieejami vairumam agronomiski nozīmīgu augsnes īpašību noteikšanai, taču atsevišķa to izstrāde jau ir sākta, piemēram, lai noteiktu augsnes reakciju un kaļķošanas vajadzību (Viscarra, Gilbertson, Thylen et al., 2005).

Tiešsaistes augsnes sensors ir piemērots organiskās vielas satura noteikšanai lauka apstākļos. Šis sensors ir radīts, lai atvieglotu augsnes iedarbības herbicīdu lietošanu dažādās devās un/vai, lai lietotu mēslojuma maisījumus tiešsaistes režīmā, bez iepriekš sagatavotu karšu izmantošanas. Mitrums var ietekmēt sensora darbību, bet tas nav nozīmīgs. Papildus zinātnieki ir izstrādājuši iespējas ar šo sensoru noteikt N, P, K un pH saturu augsnē (Ess, Morgan, Parsons, 2003; Vitharana, Van Meirvenne, Simpson et al., 2008).

Lai mērītu augsnes tilpumu populāra pieeja ir izmantot elektrisko vadītspēju. Elektriskā vadītspēja ir vispārējs augsnes apstākļu indekss un zinātnieki tiecas izmērīt atsevišķas augsnes īpašības lietojot progresīvas tehnoloģijas, tādas kā jonu-selektīvos elektrodus un kapacitātes ierīces. Cita pieeja ir lietot optiskos vai spektroskopiskos sensorus pēc iespējas neagresīvus augsnes īpašību mērītājus. Zinātnieki izgatavojuši pārnēsājamu augsnes OV satura sensoru - izmantojot vienkāršu viļņa garuma fotodiodi, kas precīzi nosaka organiskās vielas saturu no 1.5 līdz 6.0%. Vairāki zinātnieki izpētījuši iespējamo spektrālo attēlojumu uzrādot un nosakot OV un mitruma saturu augsnes virskārtā. Zinātnieki arī attīstījuši penetrometru, kas vienlaicīgi nosaka gan augsnes blīvumu, gan augsnes mitruma saturu. Izstrādāts arī reālā laika augsnes spektrofotometrs, kas ir paredzēts mainīgu karšu veidošanai ar vairākām atsevišķām augsnes īpašībām. Attīstot praktiskām vajadzībām augsnes sensorus, ieguvums ir izmaksu samazināšanās un iespēja dziļāk veikt mērījumus (Shibusawa, Ehara, Okayama et al., 2005).

Vācijā veiktajos izmēģinājumos zinātnieki izmanto traktoru, kurš ir aprīkots ar kultūraugu skeneri. Savukārt kalibrēšanas izmēģinājumos mazos lauciņos galvenokārt

⁶ Precision farming - What is precision farming? [tiešsaiste] [skatīts 2011. g. 2. okt.] Pieejams: <http://www.dpi.qld.gov.au/fieldcrops/3165.html>

lieto rokas spektrometru, lai paņemtu augu biomasas paraugus un noteiktu N saturu augos (Schmidhalter, Jungert, Bredemeier et al., 2003).

Kapacitātes sensori tiek lietoti, lai izmērītu augos esošo mitruma saturu. Saskaņā ar zinātnieku veiktu pētījumu, mitruma satura efektu var kompensēt nosakot kapacitāti divām tālāk esošām frekvencēm (Trautz, Kielhorn, 2006).

Lauka īpašo apstrādi var veikt izmantojot priekšapstrādes kartes tehnoloģiju un laika sensoru. Priekšapstrādes kartes tehnoloģija iespējama divos slāņos, kuros tādi sensori kā augsnes konusa penetrometrs vai augsnes elektriskā konduktivitāte var tikt izmantoti, lai izveidotu kartes, kurās atspoguļotu attiecīgo augsnes slāņa dziļumu. Pamatojoties uz šo augsnes priekšapstrādes karti, apstrādājot augsni, augsnes apstrādes kontroles sistēmā var konstatēt zemaramkārtas slāņu izvietojumu un dziļumu. Izmantojot laika sensoru, notiek tieša kontrole, apstrādājot augsni, tiek noteikta augsnes apakšslāņa vieta un dziļums. Klemsonas universitātē ir izveidota iekārta, ar kuru var veikt kontroles funkcijas, apstrādājot augsni. Iekārta sastāv no trīs atsevišķām sekcijām, kas ir kalibrētas laboratorijā. Tādā veidā 20.23 ha lielam laukam var izveidot TESTPOINT programmā lauka izpētes karti dažās stundās. Tā visa rezultātā ir iespējams: noteikt optimālo augsnes apstrādi, izmantojot augsnes penetrometru, kontrolēt augsnes apstrādi, ņemot vērā augsnes fizikālās īpašības, ietaupīt 42.8% uz enerģijas izmantošanas procesiem un 28.4% uz degvielas izmantošanu⁶.

Sensoru lietošanai laukkopībā vajag mazāk līdzekļu, nekā izmantojot GPS, taču pašreiz plašāk tos izmanto tikai nezāļu ierobežošanā un kultūraugu papildmēslošanā, pamatojoties uz augsnes vai lapu virsmas krāsas atšķirībām (Dohmen, Matte, 2002; Vilde, Lapins, Dinaburga et al., 2008; Vanags, Minasny, McBratney, 2004).

Kopsavilkums. Pastāv vairākas metodes augsnes neviendabīguma noteikšanai, izmantojot ražu kartes, aerofoto, sensorus u.c. Tomēr parasti sāk ar audzējamā kultūrauga, visbiežāk graudaugu, ražas nevienmērības noteikšanu, reģistrējot to koordinātu sistēmā, noteiktā intervālā. Pēc karšu izveides iespējams uzskatāmi vērot un vērtēt esošo situāciju. Ražas kartē, redzot vietas ar zemāku ražību, skaidrot tās iemeslus pēc attiecīgās vietas raksturojuma, augsnes agroķīmiskā sastāva, organisko vielu satura, granulometriskā sastāva kartēm u.c. rādītājiem. Atsevišķas kartes iespējams izmantot tehnoloģisko operāciju diferencēšanai visā platībā.

Savukārt aerofotogrāfijas ir mazāk atkarīgas no meteoroloģiskajiem apstākļiem salīdzinājumā ar satelītattēliem. Tādejādi ir iespējams uzņemt fotogrāfijas jebkurā interesējošā augu augšanas stadijā. Ar aerofotogrāfijām un satelītu attēliem iespējams kontrolēt lielas platības īsā laikā.

Izmantojot sensorus iespējams strādāt pat mākoņainos apstākļos un mērījumu ģeogrāfiskās norādes var tikt iegūtas ar līdzīgu precizitāti kā ražas kartes. Novērojumus par relatīvi lielām teritorijām var iegūt no satelīta. Labāka datu ieguve no sensoru tehnikas visticamāk palielina zemnieku interesi par precīzo lauksaimniecību.

Šīs metodes arvien vairāk tiek ieviestas lielajās zemnieku saimniecībās un ir nākotnes tehnoloģija, kas tiks izmantota aizvien lielākā mērogā.

⁶ Precision farming - What is precision farming? [tiešsaiste] [skatīts 2011. g. 2. okt.]. Pieejams: <http://www.dpi.qld.gov.au/fieldcrops/3165.html>

1.4. Iespējas un pasākumi augsnes neviendabīguma samazināšanai

Tie, kas nodarbojas ar lauksaimniecību, katru dienu izjūt, ka lauksaimniecības tehnika, darbaspēks, dzīvnieki, kā arī lopbarība, sēklas, mēslošanas līdzekļi u.c. kļūst arvien dārgāki. Diemžēl tajā pašā laikā šie resursi netiek racionāli izmantoti. Piemēram, mēslošanas līdzekļus tīrumos izkļiedē pēc vidējām normām, kaut arī augsnes auglība dažādās lauka vietās atšķiras; govīs fermās baro, vadoties pēc vidējā izslaukuma, lai gan produktivitāte ir atšķirīga, utt. Pateicoties pētījumiem dažādās lauksaimniecības zinātņu nozarēs, kā arī sasniegumiem datortehnikā un informācijas tehnoloģiju jomā, ir iespējams lauksaimniecības tehnoloģijas būtiski uzlabot (Stafford, 2000; Vilde, Rucins, Skrastins et al., 2005b; Vilde, Lapins, Berzins et al., 2005).

Mūsdienu izpratnē precīzā lauksaimniecība ir uz plašu, vispusīgu, precīzu un savlaicīgu informāciju balstīta saimniekošana laukos, sākot ar stratēģijas noteikšanu, ražošanas plānošanu, produkcijas ražošanu, pēcapstrādi, uzglabāšanu un beidzot ar tās realizāciju. Precīzā lauksaimniecība iedalās: precīzā laukkopība, precīzā augkopība, precīzā dārzkopība un precīzā lopkopība. Tā ir cieši saistīta ar jauno informācijas tehnoloģiju - globālās informācijas sistēmas (GIS) un GPS - attīstību un izmantošanu (Lachapelle, Cannon, Gehue et al., 1994; Stafford, 2000; Zhang, Wang, Wang, 2002; Vilde, Rucins, Skrastins et al., 2005a, 2005b; Лачуга, 2005; Личман, 2005; Мальцев, 2005).

Precīzās lauksaimniecības mērķis - palielināt saimniecības ienākumus, veicināt peļņu un samazināt ietekmi uz apkārtējo vidi. Lai gan starptautiski atzīts, ka precīzā lauksaimniecība, izmantojot GPS, ir nākotnes lauksaimniecība, tomēr GPS un GIS izmantošana nav vienīgais precīzās lauksaimniecības attīstības virziens tehnoloģiju agroekonomiskajai un agroekoloģiskajai optimizācijai. Precīzās lauksaimniecības nozarēs ar mazāku līdzekļu ieguldījumu var lietot sensorus, kas darbojas uz datu bāzes informācijas pamata, un citus tehnoloģiskus risinājumus. Precīzā lauksaimniecība prasa vākt, glabāt, sadalīt un analizēt lielu daudzumu no telpiski piesaistītiem datiem. Šo datu apstrādes procesā bieži nepieciešams veikt datu transformāciju starp atšķirīgām datorprogrammām. Šķēršļi precīzajā lauksaimniecībā ir kompleksie datu modeļi, formāti un datorsistēmu nesaderība (Lachapelle, Cannon, Gehue et al., 1994; Zhang, Wang, Wang, 2002; Vrindts, Reyniers, Darius et al., 2003; Мальцев, 2005; Maleki, Mouazen, Ramon et al., 2006; Rataj, Havrankova, 2006; Nash, Korduan, Bill, 2007; Kerstin, 2008).

Precīzā laukkopībā lauki netiek uzskatīti par auglības ziņā viendabīgām jeb homogēnām platībām, kuru auglību raksturo vidējie rādītāji, bet katrs konkrēts lauks uztverts kā no dažāda auglības līmeņa nogabaliem sastāvošs, kuru vēlamās (plānojamās) auglības nodrošināšanai nepieciešami atšķirīgi vai specifiski tehnoloģiskie risinājumi - mēslojuma veids un devas, nezāļu ierobežošanas paņēmieni, melioratīvie pasākumi, augsnes apstrādes veidi u.c. (Rehnberg, 2002; Zhang, Wang, Wang, 2002; Pedersen, 2003; Vrindts, Reyniers, Darius et al., 2003; Vilde, Lapins, Berzins et al., 2005; Vilde, Rucins, Skrastins et al., 2005c; Личман, 2005; Петрушин, Якушев, 2005; Салынский, Макаров, Терентьев, 2005; Kerstin, 2008; Демьяненко, Кирсанов, 2010; Кобелев, 2010; Якушев, 2010).

Precīzās laukkopības būtību visprecīzāk formulējuši vācieši, dēvējot to par vietai pieskaņotu augkopību. Lai īstenotu šādu sistēmu, no lauka kopplatības jāizdala un, izmantojot Zemes pavadoņu signālus un datorizāciju, precīzi jāfiksē tā nogabali, jānosaka to specifika, atbilstoša saimniecības vadības sistēma, attiecīgi reaģējot uz platības nogabalu kvalitatīvajām īpašībām. Augsnes izpētes procesā tiek noteiktas

augsnes īpašības, kas ir viens no galvenajiem precīzās laukkopības uzdevumiem (Vilde, Rucins, Skrastins et al., 2005a, 2005b; Nash, Korduan, Bill, 2007; Kerstin, 2008).

Precīzās lauksaimniecības saimniekošanas sistēmā būtiska nozīme - precīzi raksturot un novērtēt kultūraugu ražu ietekmējošos faktorus. Vietai pieskaņotas saimniekošanas zonas var definēt kā homogēnus apakšreģionus, kam ir līdzīgi ražu ietekmējošie faktori (Inman, Khosla, Lefsky et al., 2005).

Precīzajā laukkopībā ir jāveic arī cita veida izpēte, lai varētu veikt lēmumu pieņemšanas atbalsta sistēmu, kas iesaka zemniekiem:

1. izmantot pēc iespējas vienkāršākas metodes;
2. sadarboties ar citiem lauksaimniekiem, dibināt domu klubus informācijas apmaiņai;
3. veikt pierakstus, kaut vai minimāli, lai pēc tam būtu vieglāk izdarīt secinājumus;
4. saglabāt analīžu rezultātu kopijas, lai varētu izmēģināt, piemēram, ražas kartes variācijas;
5. datu vākšanu veikt gadu no gada un par katru lauku, tad būs vieglāk salīdzināt rezultātus un pieņemt pareizos lēmumus;
6. kalibrēt mērāmos instrumentus, lai tie pēc iespējas būtu precīzāki;
7. ietvert rādītājus, lai iegūtu vairāk datu (Hoefl, Nafziger, Johnson et al., 2000).

Vairāki zinātnieki atzīst, ka precīzā laukkopība, nozīmē pareizu darbību, pareizā vietā un pareizā laikā, - ir efektīvākais veids laukkopības nozares vispusīgas, agroekoloģiski un agroekonomiski pamatotas attīstības paātrināšanai. Precīzās laukkopības sistēmas galvenie elementi un to sasaiste tiek iedalīta ilgstoša cikla un sezonāla cikla pasākumos. Pirmo uzdevums paaugstināt augsnes potenciālo auglību, otro - sezonālo vajadzību nodrošināšana konkrētu laukaugu augšanai un attīstībai, lai sasniegtu plānoto ražību un iegūtu kvalitatīvu produkciju (Searcy, 1997; Stafford, 2000; Zhang, Wang, Wang, 2002; Vilde, Lapins, Berzins et al., 2005; Vilde, Lapins, Berzins et al., 2006; Vilde, Rucins, Skrastins et al., 2005d; Мальцев, 2005; Whitlock, 2006).

Precīzās laukkopības elementi izmantojami augsnes mēslošanas procesā, kas parasti ietver darbietilpīgu augsnes paraugu ņemšanu, dārgas laboratorijas analīzes un citas jaunas metodes, lai noteiktu augsnes neviendabīgumu un pieņemtu attiecīgo lēmumu (Roy, Shibusawa, Okayama, 2005).

Precīzo lauksaimniecību bieži vien iedala četrās daļās: datu ievākšana, analizēšana, lēmumu pieņemšana un novērtēšana. Divi svarīgi priekšnosacījumi, kas jāievēro precīzās lauksaimniecības jomā ir: precīzi mērījumi izmēģinājuma variantos un precīza iegūto mērījumu interpretācija virzot uz pareizu saimniekošanas stratēģiju (Taylor, Wood, Earl et al., 2003; Pilesjo, Thylen, Persson, 2005).

Grūtības precīzās laukkopības realizācijai praksē nosaka tas, ka līdztekus nepieciešams veikt daudz mērījumu un analīžu, kam seko iegūto datu interpretācija, kas ir zinātniska un darbietilpīga, tāpēc arī salīdzinoši dārga. Jāiegulda līdzekļi aparatūras un mašīnu papildaprīkojuma iegādei, kas var atmaksāties vairāku gadu laikā un tikai strādājot lielākās platībās. Precīzā laukkopība neizslēdz laika apstākļu kā neregulējama faktora ietekmi uz darba rezultātiem (Stafford, 2000; Vilde, Lapins, Berzins et al., 2005; Lapins, Rucins, Vilde et al., 2006; Lapins, Vilde, Berzins et al., 2006).

Precīzās laukkopības sistēmas lietderības pamatojumam ir četri galvenie aspekti. 1. Ražas apjoma kāpināšana, kas panākama novēršot ražu kāpinājumu limitējošos faktorus. Tā iespējams, piemēram, apzināt attiecīgās platības nogabalu augsnes auglības līmeni un datorizēti koriģēt minerālmēsli izsējas devas atkarībā no nogabala atrašanās vietas tūrumā (to var panākt ar GPS un attiecīgu lauksaimniecības tehniku). Tātad, nepalielinot (vai pat nesamazinot) minerālmēsli izsējas apjomu, bet to

attiecīgi diferencējot, iespējams palielināt kopražu (Zhang, Wang, Wang, 2002; Pedersen, 2003; Delin, 2005; Lund, Adamchuk, Collings et al., 2005; Roy, Shibusawa, Okayama, 2005; Vilde, Lapins, Berzins et al., 2005; Салынский, Макаров, Терентьев, 2005; Lapins, Vilde, Berzins et al., 2006; Link, Graeff, Batchelor et al., 2006; Вилде, Лапинс, Берзинс и др., 2006; Lapins, Vilde, Berzins et al., 2008a; Vilde, Lapins, Dinaburga et al., 2010).

2. Materiālo ieguldījumu samazināšana. Zinot ražu ietekmējošos faktoros, lauka ietvaros ir iespēja aprēķināt konkrētā nogabala ražas kāpināšanas optimālo risinājumu. Piemēram, zinot, kur atrodas ar vārpatu (*Elytrigia repens*) piesārņotās platības, ir iespēja ar herbicīdiem apsmidzināt tikai šīs vietas, tādējādi ekonomējot līdzekļus (Rehnberg, 2002; Vrindts, Reyniers, Darius et al., 2003; Лачуга, 2005; Lund, Adamchuk, Collings et al., 2005; Roy, Shibusawa, Okayama, 2005; Vilde, Lapins, Berzins et al., 2005; Вилде, Лапинс, Берзинс и др., 2006; Lapins, Vilde, Berzins et al., 2008a; 2008b).

3. Ekonomiskais izdevīgums. Iegūstot ražu ar mazāku materiālo līdzekļu ieguldījumu, panāk augstāku produkcijas ražošanas rentabilitāti. Esošā programmatūra dod iespēju kalkulēt arī ekonomiski pamatotu investīciju līmeni, līdz kuram tās vislabāk atmaksājas, sastādīt ražošanas izmaksas, prognozējamo un gūto ienākumu karti pa lauka nogabaliem (Searcy, 1997; Blackmore, 2002; Rehnberg, 2002; Zhang, Wang, Wang, 2002; Vrindts, Reyniers, Darius et al., 2003; Roy, Shibusawa, Okayama, 2005; Vilde, Lapins, Berzins et al., 2005; Лачуга, 2005; Петрушин, Якушев, 2005; Якушев, 2005; Begiebing, Bach, Wehrhan et al., 2006; Lapins, Vilde, Berzins et al., 2006; Wagner, Schneider, 2006; Lapins, Vilde, Berzins et al., 2008a; 2008b).

4. Ekoloģiskie apsvērumi. Precīzas saimniekošanas rezultātā tiek novērsta atsevišķu platību pārmēslošana, augu aizsardzības ķimikāliju pārdozēšana un cita nevēlama, neapzināta rīcība (Searcy, 1997; Blackmore, 2002; Rehnberg, 2002; Delin, 2005; Roy, Shibusawa, Okayama, 2005; Vilde, Lapins, Berzins et al., 2005; Лачуга, 2005; Петрушин, Якушев, 2005; Якушев, 2005; Begiebing, Bach, Wehrhan, et al., 2006; Lapins, Vilde, Berzins et al., 2006; Кобелев, 2010).

Ģeogrāfiskās informācijas sistēmas (GIS) ir paredzētas, lai glabātu, analizētu un apstrādātu liela apjoma ģeogrāfiska rakstura informāciju, un ir īpaši piemērotas lauksaimniecības ietekmes uz vidi novērtēšanai. Vides riska faktoru izpētei un to ietekmes novērtēšanai noteiktā ģeogrāfiskā telpā lielas priekšrocības datu ievadē, apstrādē un matemātiskās analīzēs ir GIS tehnoloģiju lietošanai. Lietojot GIS tehnoloģijas, iespējams veikt daudzfaktoru riska analīzi, lai noteiktu lauksaimniecības iespējamo ietekmi uz vidi. Tās ļauj apstrādāt un izpētīt lielu skaitu ietekmes faktoru, samazina subjektivitātes iespējamību, nodrošina precīzu riska modelēšanu, tai ir plašas analīzes rezultātu atainošanas iespējas (Lauksaimniecības un vides riska ..., 2005).

Ģeogrāfiskās informācijas sistēma - ir dažādas datorprogrammas, kuras veido informācijas bāzi par ģeogrāfiskajiem apgabaliem. Atkarībā no programmas veida var iegūt datus par noteiktu ģeogrāfisku vietu gan laika periodā, gan arī kvalitatīvos un kvantitatīvos rezultātus. Ir arī vienkāršākas un lētākas datorprogrammas, kurās lietotājs datus ievada pēc atmiņas pats. Izmantojot dažādus uztvērējus, programmas sadārdzinās, bet ir iespēja iegūt dažāda veida analītiskus datus par konkrētu lauku. Piemēram, var iegūt augsnes slāņu izpētes testu rezultātus, sēklu dīgtspējas rādītājus u.c. Uz lauksaimniecības tehnikas tiek uzstādītas iekārtas, ar kurām var veikt mērījumus izmantojot GPS un GIS. Jāņem vērā, ka lauksaimniecības tehnika pārvietojas, raidītāji mainās un mērīšanas iekārtām ir jāspēj precīzi mērīt. Paši lauksaimnieki nevar iztikt tikai ar datu analīzi. Viņiem ir nepieciešami papildus pakalpojumi no attiecīgajiem

specializētajiem dienestiem - neatkarīgiem konsultantiem, ķīmiķiem, piegādātājiem. Piemēram, lai sastādītu ĢIS programmu kartes veidošanai, programmētājam jāizprot graudu ražošanas process. Ražas kartogrāfijā ir ļoti svarīgi, lai no lauksaimniekiem, kuri strādā lauksaimniecības jomā savāktu datus ilgākā laika periodā. Piecdesmit gadu perioda dati dod precīzāku informāciju, lai izveidotu produkcijas kartes un līdz ar to analizētu kā uzlabot ražīgumu, mēslojot augsni u.c. Arhivējot datus par visām operācijām, kas ir veiktas uz lauka, daudz labāk var pieņemt lēmumus kā panākt lielākas graudaugu ražas. Daudzi dati tiek uzglabāti karšu veidā un tiek vākti visu sezonas laiku, kamēr notiek kultūraugu augšana. Informāciju par lauku jāapkopo pamatojoties uz GPS (Hoeft, Nafziger, Johnson et al., 2000).

Katrai telpiskai datu kopai ĢIS datu krātuvē jāatbilst trijiem galvenajiem nosacījumiem: objektiem jābūt attēlojamiem ar koordinātām vai jau jāsatur iepriekš uzmērītas koordinātas; objektam jābūt aprakstošiem jeb atribūtu dati; grafiskajiem elementiem, kuri attēlo apvidus objektus, jābūt topoloģiski sakārtotiem. Aprakstošie jeb atribūtu dati nav obligāti visiem slāņiem (piemēram, kartes noformējuma elementiem), bet tie ir absolūti nepieciešami tām datu kopām, kuras tiek pētītas, lai izdarītu spriedumu par lēmuma pieņemšanas pamatotību. Piemēram, atribūti ir vajadzīgi zemes vienībām (grafikas elements - daudzstūris), lai noskaidrotu zemes kadastrālo vērtību un atļauto izmantošanas veidu, kas ir būtisks lēmuma pieņemšanas kritērijs. Koordinātas var uzskatīt par obligāto atribūtu, bez kura nav iespējama grafikas elementa attēlošana kartē. Ģeogrāfiskās informācijas sistēmas uzdevums ir piegādāt rīku, ar kuru var aprēķināt iespējamās parādības attīstības scenārijus (vadības lēmumu atbalsta funkcija). Amatpersonai, pārvaldniekam vai īpašniekam tiek piedāvāti zinātniski pamatoti parādību attīstības scenāriji, sniegtas prognozes un ieteikumu komplekti, kas bāzēti uz ĢIS datu statistisko analīzi¹.

Tagad GPS sistēma tiek lietota visā pasaulē - gan militāriem, gan arī civiliem mērķiem. Ar tās palīdzību tiek veikta arī zemes virsmas precīza kartēšana u.c. Vietas koordināšu precīzākai noteikšanai papildus tiek izmantotas virszemes signālu korekcijas stacijas. Izmantotas iekārtas GPS datu, precīza laika, kā arī apstrādātās platības, laukaugu ražības, augsnes mitruma u.c. - rādītāju fiksēšanai (Persson, Skovsgaard, 2003; Vilde, Rucins, Skrastins, et al., 2005; Мальцев, 2005; Balsari, Tamagnone, Marucco, 2006; Nienaber, Diekhans, 2006; Whitlock, 2006; Adamchuk, Hoy, Meyer et al., 2007).

Arī Latvijā izstrādāta jauna tehnoloģija augšņu agroķīmiskajā izpētē, lietojot GPS. Tā izmantota Latvijā pirmās digitālās augšņu agroķīmiskās kartes (Bauskas rajona Codes pagastā) sagatavošanai un izdošanai (Valsts Agroķīmisko pētījumu centrs) (Latvijas zinātnes sasniegumi ..., 2007).

Globālās pozicionēšanas sistēmas tehnoloģiju sekmīgai realizācijai nepieciešams atbilstošs materiāli tehniskais nodrošinājums: mašīnas, agregāti, ierīces, datortehnika, programmas. Lai GPS tehnoloģiju ieviešanai būtu vajadzīgā atdeve, saimniecībā tās jāpārziņa pienācīgā līmenī.

Tehnoloģiju pārzināšana ietver: GPS tehnoloģiju ieviešanas secību; ilgtspējīgas precīzās saimniekošanas vadības sistēmu; platību pārzināšanu; augmaiņas plānošanu; ražības izmaiņu monitoringu; vajadzīgo dokumentāciju (lauku pases); informatīvo pārvaldi (sistemātisku datu iegūšanu un izmantošanu) lauku un

¹ Agrocom Guidance and autosteering [tiešsaiste] [skatīts 2011. g. 2. okt.]. Pieejams: http://www.agrocom.com/uploads/tx_clagrocom/agrocom_lenken_en_01.pdf

saimniecības līmenī; agregātu braucienu un transportlīdzekļu izmantošanas loģistiku (Vilde, Ruciņš, Viesturs, 2008).

Platību pārzināšanā ietilpst: informācija par lauka viendabīgumu; augsnes sagatavošanas optimizācija ar specifisku modelēšanu, sēju un ķīmikāliju lietošanu; sējas laika optimizēšana; ikgadējā ražības kontrole; melioratīvie darbi (Vilde, Ruciņš, Viesturs, 2008).

Lauka pasē parasti tiek ietverti šādi dati: saimniecības nosaukums un adrese; lauka nosaukums un platība; nogabalu numurs un to platība; lauka identifikācijas kods; augsnes tips; audzējamais kultūraugs; priekšaugi; lauka izmantošanas pasākumi (mēslošana, apstrāde, augu aizsardzība, ražas novākšana u.c.), darbu veicēji; piezīmes par laika apstākļiem u.c. faktoriem, kas ietekmējuši ražas veidošanos. Lauka pasē var būt lauka karte ar veikto pasākumu (paraugu ņemšanas) vietu koordinātām, analīžu datiem (Vilde, Ruciņš, Viesturs, 2008).

Pareizi diferencēta mēslošanas sistēma. Mēslošana ir viens no svarīgākajiem pasākumiem erodēto augšņu iekultivēšanā un aizsardzībā. Pareizi mēslojot, bez lieliem kapitālieguldījumiem iespējams krasi uzlabot erodēto augšņu produktivitāti un iegūt lielu ekonomisko efektu, jo mēslojums erodētās augsnēs bieži dod lielāku ražas pieaugumu nekā līdzīgās neerodētās augsnēs. Pat nelielā nogāzē augšņu īpašības erozijas ietekmē ir krasi diferencētas. Paugura virsotne un stāvākās nogāžu daļas ir spilgti brūnā krāsā, kas labi saskatāma nesazēlušā tīrumā. Šim nolūkam jāizmanto agroķīmiskās kartogrammas. Paugurainēs mēslošana, tāpat kā visi pārējie agrotehniskie pasākumi, jādiferencē atkarībā no reljefa. Paugurainos apvidos pat nelielā nogāzes platībā iegūst visai atšķirīgas ražas. Vismazākā raža ir stāvu nogāžu augšdaļā, turpretim nogāžu pakājēs tā atkarīga no audzējamā kultūrauga un meteoroloģiskajiem apstākļiem var būt trīs un vairāk reīžu lielāka. Tātad, lai mainīgos apstākļos iegūtu izlīdzinātu ražu, nepieciešams atbilstošs diferencēts mēslojums. Nedrīkst aizmirst, ka nogāžu lejas daļā jau uzkrājušies trūdkārtas sanesumi biezā kārtā, turklāt pēc pirmā lietus tās saņems daļu savāktās vietās iestrādātā mēslojuma. Diferencēti jālieto arī minerālmēsli: erodētajās platībās par 30 - 50% jāpalielina slāpekļa deva, to atbilstoši samazinot uznesuma augsnēs. Kālija mēsli visvairāk vajadzīgi ir nogāžu lejas daļā, jo parasti uznesumu augsnēm ir viegls granulometriskais sastāvs. Fosfora saturs turpretim ir zems kā erodētajās, tā arī delūvija augsnēs, tādēļ fosfors izsējams vienmērīgi pa visu nogāzi. Erodētajās augsnēs ir ļoti maz trūdvielu, tāpēc augu attīstība šeit pilnīgi atkarīga no slāpekļa mēsliem, kas vislielāko efektu dod ar kūtsmēsliem. Ar organiskajiem mēsliem vienlaikus risina divus vienlīdz svarīgus erodēto augšņu ielabošanas jautājumus - palielina barības vielu krājumus un normalizē nelabvēlīgo mitruma režīmu. Tīrumam paredzētā mēslošanas līdzekļu deva jākoncentrē erodētajās platībās ar tādu aprēķinu, lai tā šeit sasniegtu 150 tonnas uz 1 ha. Nogāžu lejas daļā deva pakāpeniski jāsamazina, jo pēc lielākas lietusegāzes daļa mēsli papildinās jau tā lielos trūdvielu un tātad arī slāpekļa krājumus uznesumu augsnēs (Boruks, Brīvkalns, Stalbovs, 1967; Stalbovs, 1974).

Papildmēslojuma devas lielumu nepieciešams diferencēt ne tikai pa atsevišķiem laukiem, bet arī viena lauka dažādās vietās dodams dažāda lieluma papildmēslojums. Tajos laukos vai lauka vietās, kur ziemāji ir sliktā stāvoklī, tiem jānodod palielināts papildmēslojums. Slikti pārziemojušie ziemāju sējumi pavasarī pastiprināti jāmēslo, sevišķi ar slāpekli. Ziemāju sējumu papildmēslošanu ieteicams izdarīt divos paņēmienos. Pirmo reizi papildmēslojumu agri pavasarī dod visa lauka platībā, bet otro reizi papildmēslojumu izlases veidā (diferencēti) dod tajās lauka vietās, kur ziemāji vāji attīstās. Ar papildmēslojuma palīdzību jācenšas panākt izlīdzinātu zelmeni un laba augu attīstība visā ziemāju laukā (Lindermanis, 1957).

Atbilstoši augšņu agroķīmiskajām īpašībām jādiferencē arī kaļķošana. Vislielāko efektu kaļķošana dod nogāžu pakājēs, kur skābajās uznesumu augsnes uzlabo augsnes reakciju un augu uzturvielu izmantošanu. Bieži nelielā nogāzē, kuras garums ir tikai 50 metru, erodētai virsotnei pH KCl ir 6.8, bet nogāzes vidusdaļā tas samazinās līdz 4.8 vai 4.2. Tātad nogāžu tīrumos kaļķošanas materiāls jāizsēj nevis vienlaidus visā platībā, bet jākoncentrē skābajās uznesumu, kā arī vidēji un vāji erodētajās augsnēs. Pareizi diferencēts mēslojums ir viens no svarīgākajiem erodēto augšņu auglības saglabāšanas un uzlabošanas priekšnoteikumiem (Boruks, Brīvkalns, Stalbovs, 1967; Stalbovs, 1974).

No vienas puses, dalītā minerālmēsli lietošana palielina labību ražu, bet no otras puses, augsnes paraugu noņemšanā lietojot tradicionālo metodi, nevar pārbaudīt/kontrolēt augu barības līdzekļu mainīgumu laukā (Maleki, Van Holm, Merckx et al., 2006). Līdz ar to, jāizmanto sensorus dalītai minerālmēsli lietošanai. Plaši izplatīti ir tiešsaistes un infrasarkanu staru augsnes sensori (Mouazen, De Baerdemaeker, Ramon, 2005).

Atbilstošu un sabalansētu minerālmēsli lietošana ir produktīva, uzlabojot augsnes īpašības, kā rezultātā mazāk produktīvas teritorijas var mēslojot atkārtoti. Minerālmēsli lietošanas pamatā ražas potenciāls ir saistīts ar augsnes īpašībām, tādām kā augiem pieejamais ūdens daudzums, kas var optimizēt ražu atbilstoši minerālmēsliem un samazināt iespējamus pazemes un virszemes ūdens zudumus (Bourennane, Nicoulaud, Couturier et al., 2003; Werner, Roth, Kuhn et al., 2003).

Amerikas Savienotajās Valstīs - Kentuki 2003. un 2004. gadā veikts izmēģinājums, lai noskaidrotu augsnes pH, P un K saturu augsnē, ar mērķi, lai varētu veikt precīzu minerālmēsli izkliedēšanu un kaļķojamā materiāla iestrādāšanu, tādējādi saudzējot apkārtējo vidi un ietaupot resursus. Izmēģinājums aptvēra 46 augmaīņas laukus ar kukurūzu (*Zea mays* L.) un sojas pupām (*Glycine max* L. Merrill). Vidējais lauka lielums 22 ha, diapazonā no 14 līdz 52 ha, bet kopējā platība 997 ha, kuros veikta augsnes agroķīmisko īpašību izpēte - noteikts pH, K un P saturs. Tikai trijos laukos no 46 nebija jāsniedz rekomendācijas par kaļķojamā materiāla, K un P lietošanu. Starp visiem 46 laukiem, lauku vidējām P un K vērtībām konstatēta būtiska pozitīva ($P < 0.05$) attiecība. Pa visiem 46 laukiem vidējā vērtība un variācijas koeficients bija nesaistīts ($P > 0.10$). Augsnes pH variācijas koeficients bija robežās no 3 līdz 11%, vidēji 5.7%, P no 18 līdz 50%, vidēji 33% un K no 10 līdz 48%, vidēji 22%. Paraugu ņemšanas (pēc iepriekš sastādītas tīkveida shēmas) pozitīvais ieguvums bijis ievērojami zemāks gadījumā, kad mazāk kā 25% no lauka ir bijis apstrādāts ar mēslojumu vai veikta kaļķošana. Līdzīgs efekts novērots, kad vairāk kā 75% no lauka veikta kaļķošana un/vai mēslošana. Kukurūzas un sojas laukiem šajā reģionā paraugu ņemšana tīkla veidā un „precīzi” ieteikumi būs ar pozitīvu ietekmi gadījumos, ja iepriekšējā randomizētā paraugu ņemšanā (5 paraugi laukā) konstatēts, ka pH 6.1 ± 0.3 ; P saturs $30 \pm 10 \text{ mg kg}^{-1}$ un/vai K saturs $130 \pm 30 \text{ mg kg}^{-1}$ (Grove, Pena-Yewtukhiw, 2007).

Vairāki zinātnieki Austrālijā noskaidrojuši, ka, veicot dalīto minerālmēsli izsēšanu, samazinās investīcijas visā lauka platībā, nekā veicot vienmērīgu to izsēšanu, kas arī sasaucas ar precīzās laukkopības definīciju (Chan, Hummel, Brouer, 1994).

Beļģijā iekārtotā izmēģinājumā iegūtā kukurūzas raža liecina, ka, lietojot minerālmēsli izsēšanas dalīto variantu ar diferencētām devām, iegūta būtiski augstāka raža ($P = 0.02$) salīdzinot ar vienmērīgu minerālmēsli izsēšanas variantu. Vidējā raža dalītajā variantā bija 8.34 un vienmērīgi izsējot 8.06 t ha⁻¹ (Maleki, Mouazen, Ketelaere et al., 2007).

Daži ražu un tehnoloģiju diferenci noteicošo faktoru izpētes metodikas aspekti nosaka:

1. jo mazāks attālums starp punktiem, jo precīzāka karte, piemēram, salīdzinājumam attālums starp punktiem 2 - 3 vai 60 - 100 m;
2. jo kompleksāka faktoru izpēte, jo lielāka garantija, ka tehnoloģiju diference būs ekonomiski un ekoloģiski pamatotāka;
3. jānosaka ražu ietekmējošie, minimumā esošie faktori;
4. pētāmie faktori jāgrupē regulējamos, neregulējamos un daļēji regulējamos;
5. faktoru grupējums izmantojams tehnoloģiju diferencē;
6. faktoru ietekmes skaitlisko salīdzinošo lielumu nosaka ar regresiju analīzes palīdzību (Lapins, Vilde, Berzins et al., 2007; Vilde, Ruciņš, Viesturs, 2008).

Kad veikta ražu ietekmējošo faktoru analīze, tiek skaidroti nepieciešamie pasākumi lauka ražības līmeņa izlīdzināšanai, to paaugstinot nogabalos ar zemāku ražību. Pēc izveidotajām kartēm tiek izstrādātas atbilstošas uzdevumu kartes plānojamā ražības līmeņa sasniegšanai katrā konkrētā lauka nogabalā: mēslojuma devas, augsnes apstrādes un nezāļu ierobežošanas veidi, melioratīvie pasākumi u.c. Piemēram, balstoties uz augsnes penetrometriskās pretestības variāciju kartēm, kas nosacīti raksturo tās blīvumu, izstrādā uzdevumu karti tās blīvuma optimizēšanai: blīvāko nogabalu intensīvākai apstrādei, piemēram, frēzēšana blīvās zemaramkārtas dziļirdināšanai (Vilde, Ruciņš, Viesturs, 2008).

Vadoties pēc augsnes reakcijas variāciju kartes, izstrādā pasākumus tās normalizēšanai, paredzot skābāko augšņu nogabalu kaļķošanu. Līdzīgi pēc kālija nodrošinājuma kartes variē tā devas, to attiecīgi palielinot nogabaliem ar mazāku kālija nodrošinājumu. Līdzīgi plāno arī citu mēslojumu (N, P, Ca, mikroelementu) devas un to variēšanu pa lauka nogabaliem. Variēta slāpekļa mēslojuma devu lietošana nodrošina vienmērīgāku graudu nogatavošanos, tādējādi iespējams par 12 - 15% ražīgāks kombaina darbs un mazāki zudumi. Sakarā ar graudu vienmērīgāku nogatavošanos ir mazāks enerģijas patēriņš to kaltēšanā (Vilde, Ruciņš, Viesturs, 2008).

Balstoties uz šādā veidā iegūtajām uzdevumu kartēm, tiek izstrādāts un datu reģistrācijas kartēs fiksēts rīcības plāns, kas attiecas uz konkrētās platības mehānisko apstrādi, mēslojumu, herbicīdu lietojumu, kā arī paredzētā kultūrauga sēklu izsējas daudzuma koriģēšanu u.c. pasākumiem, vadoties pēc vēlamā rezultāta. Piemēram, diferencētai minerālmēslu lietošanai, fosfora mēslojumam ir ekonomiska, ekoloģiska un agronomiska rakstura priekšrocības. Tālāk, izmantojot šo datu reģistrācijas kartes un GPS iespējas, ar attiecīgu mašīnu aprīkojumu tiek panākts, ka vajadzīgie pasākumi tiek precīzi izpildīti atbilstoši konkrētās vietas vajadzībām, lai kāpinātu ražu un ietaupītu līdzekļus. Piemēram, augsnes mehāniskās apstrādes procesā var tikt mainīts tās apstrādes raksturs, proti, atkarībā no atrašanās vietas laukā mainīts aršanas vai kultivēšanas dziļums; mēslošanā - atkarībā no barības vielu vajadzības variētas mēslojuma devas utt. Līdzīgā veidā var tikt sastādītas veicamo pasākumu izdevumu, ienākumu, prognozējamās ražas u.c. kartes (Maleki, Mouazen, Ramon et al., 2006; Maleki, Mouazen, Ketelaere et al., 2007; Vilde, Ruciņš, Viesturs, 2008).

Ieskatu par tehnoloģiju diferencēšanas nozīmi un iespējām saimniecībā var gūt pēc sējumu aerofotogrāfijām, to dešifrēšanas materiāliem un turpmākās izpētes (Vilde, Lapins, Berzins et al., 2005; Lapins, Vilde, Berzins et al., 2008b).

Kopsavilkums. Precīzā laukkopībā lauki netiek uzskatīti par auglības ziņā viendabīgām jeb homogēnām platībām, kuru auglību raksturo vidējie rādītāji, bet katrs konkrēts lauks uztverts kā no dažāda auglības līmeņa nogabaliem sastāvošs, kuru vēlamās auglības nodrošināšanai nepieciešami atšķirīgi vai specifiski tehnoloģiskie

risinājumi - mēslojuma veids un devas, nezāļu ierobežošanas paņēmieni, melioratīvie pasākumi, augsnes apstrādes veidi u.c.

Mēslošana ir viens no svarīgākajiem pasākumiem erodēto augšņu iekultivēšanā un aizsardzībā. Pareizi mēslojot, bez lieliem kapitālieguldījumiem iespējams krasi uzlabot erodēto augšņu produktivitāti un iegūt lielu ekonomisko efektu, jo mēslojums erodētās augsnēs bieži dod lielāku ražas pieaugumu nekā līdzīgās neerodētās augsnēs. Pat nelielā nogāzē augšņu īpašības erozijas ietekmē ir krasi diferencētas. Paugura virsotne un stāvākās nogāžu daļas ir spilgti brūnā krāsā, kas labi saskatāma nesazēlušā tūrumā. Šim nolūkam jāizmanto agroķīmiskās kartogrammas. Paugurainās mēslošana, tāpat kā visi pārējie agrotehniskie pasākumi, jādiferencē atkarībā no reljefa. Paugurainos apvidos pat nelielā nogāzes platībā iegūst visai atšķirīgas ražas. Vismazākā raža ir stāvu nogāžu augšdaļā, turpretim nogāžu pakājēs tā atkarīga no audzējamā kultūrauga un meteoroloģiskajiem apstākļiem. Diferencēti jālieto arī minerālmēsli, jo pareizi diferencēts mēslojums ir viens no svarīgākajiem erodēto augšņu auglības saglabāšanas un uzlabošanas priekšnoteikumiem.

1.5. Literatūras apskata kopsavilkums

Lai arī kopumā Latvijas agroekoloģiskie apstākļi ir piemēroti labību audzēšanai, katrai no graudaugu sugām ir savas specifiskās prasības. Visām ziemāju labībām - kviešiem, rudziem, tritikālei, miežiem - būtisks rādītājs ir ziemcietība (izturība pret izslīkšanu, izsušanu, izsalšanu, sniega pelējumu u.c.). Tas lielā mērā ir atkarīgs no tā, vai augi pirms ziemošanas ir norūdījušies. Augos ir jāuzkrājas cukuriem un citiem viegli šķīstošiem savienojumiem, kas būs rezerves barības vielas ziemas periodā.

Ziemas kvieši Latvijas apstākļos biežāk nekā rudzi cieš no sala un temperatūras svārstībām, tādēļ kviešiem būtiski ir ievērot zonai optimālos sējas termiņus, lai augi paspētu sacerot, uzkrāt barības vielas un norūdīties. Ziemas kvieši, salīdzinot ar rudziem, ir jutīgāki pret augsnes skābumu. Optimālākie apstākļi ziemas kviešu audzēšanai Latvijā ir Zemgales zonā. Lai arī Latvijas teritorija nav liela, tomēr tās austrumu, centrālā un rietumu daļa atšķiras cita no citas ar reljefu, augsni un klimatu. Šie apstākļi ir jāņem vērā, izvēloties šķirnes un audzēšanas tehnoloģiju.

No faktoriem, kas ietekmē augu attīstību veģetācijas periodā, īpaši uzsverami ir tie, kas raksturīgi konkrētai graudaugu audzēšanas vietai, bet nav atkarīgi no izvēlētajā audzēšanas tehnoloģijas, t.i.: gaisa temperatūra; augsnes mitrums (nokrišņi un to sadalījums); gaismas intensitāte; augsne (barības vielu nodrošinājums, sastāvs, struktūra). Šo apstākļu ietekme summējas, un katrā konkrētā audzēšanas vietā tā būs nedaudz, bet bieži vien būtiski atšķirīga. Piemēram, graudaugiem mitruma trūkums, īpaši aktīvās attīstības fāzēs var traucēt graudu ražas struktūrelementu normālu veidošanos un aprūtināt barības vielu uzņemšanu no augsnes. Bieži vien tas ir par iemeslu mazefektīvai papildmēslojuma izmantošanai. Lai nodrošinātu normālu sēklu sadīgšanu, augsnes mitrumam jābūt 40 - 60% no pilnas augsnes ūdensietilpības.

Ziemas kvieši Latvijas apstākļos ir viens no ienesīgākajiem kultūraugiem, kas piemērots audzēšanai mūsu klimata apstākļos. To pamato arī augsnes auglību noteicošiem faktori - augsnes fizikālās un agroķīmiskās īpašības. Pēc literatūras datiem ziemāji ir viens no piemērotākajiem kultūraugiem tūrumiem stāvās nogāzēs - neizlīdzināta reljefa apstākļos. Augsnes neviendabīgumu raksturo daudzi un dažādi apstākļi. Šis jautājums jau tika pētīts daudzus gadus atpakaļ un vēl joprojām ir aktuāls mūsdienās, jo Latvijā ir salīdzinoši daudz lauksaimniecībā izmantojamās zemes, kuru

raksturo augsnes neviendabīgums. Pateicoties mūsdienu tehnoloģiju straujajai attīstībai, tiek atvieglots paraugu noņemšanas, analizēšanas un pats izpētes process. Līdz ar to, tas ir priekšnoteikums pētījumu padziļinātai izpētei. Mūsdienās pastāv vairākas metodes augsnes neviendabīguma noteikšanai, piemēram, izmantojot ražu kartes, aerofoto, sensorus u.c. Kā viens no šiem priekšnoteikumiem varētu būt arī diferences kartogrammu izmantošana - augsnes pamatapstrādes dziļuma, minerālmēsļu, augu aizsardzības līdzekļu lietošanā. Tā ir nākotnes saimniekošanas sistēma, kas jau ienāk un aizvien plašāk ienāks Latvijā.

2. PĒTĪJUMA APSTĀKĻI UN METODIKA

2.1. Pētījuma un analīžu metodika

Lauka eksperimentu bāze bija Latvijas Lauksaimniecības universitātes (LLU) MPS „Vecauce”, kur 2004. gadā iekārtots izmēģinājums Kurpnieku laukā (1. pielikuma, 1., 2. att.), 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’. Ziemas kviešu šķirne ‘Tarso’ izveidota Svalöf Weibull selekcijas un sēklkopības grupas meitas uzņēmumā Vācijā - Saatucht Hadmersleben GmbH. Šķirne pirmo reizi reģistrēta 1994. gadā. ‘Tarso’ ir maizes kviešu šķirne ar augstu ražošanas potenciālu. Sevišķi pārliecinošus rezultātus šķirne uzrāda attiecībā uz izturību pret sausumu un sadīgšanu vārpās, līdz ar to nodrošinot augstus un stabilus krišanas skaitļa rādītājus, izcilo veldres izturību un labo ziemcietību. Šķirnes izmēģināšana Latvijas šķirņu salīdzināšanas sistēmā uzsākta 1999. gadā. Ar 2003. gadu ‘Tarso’ iekļauta Latvijas šķirņu katalogā (Strazdiņa, 2010)⁷. 2010. gada 25. marta laikrakstā „Latvijas Vēstnesis” publicēta Valsts augu aizsardzības dienesta informācija: par šķirņu svītrosānu no Latvijas augu šķirņu kataloga, kurā iekļauta arī ziemas kviešu šķirne ‘Tarso’. Šķirņu svītrosānas iemesls no Latvijas augu šķirņu kataloga - šķirnes pārstāvja iesniegums un Nacionālā augu šķirņu padome nav atzinusi, ka šķirnei ir būtiska nozīme lauksaimniecībā, kā arī nav pieteikts cits šķirnes pārstāvis⁸.

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 (1. pielikuma turpinājuma, 3. att.)⁹. 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 ± 3%. Mitruma mērītājs ir sensora tipa, kuru iedziļinot augsnē tiek nofiksēts attiecīgā augsnes slāņa mitruma saturs un reģistrēts mērīinstrumenta displejā (1. pielikuma turpinājuma, 4. att.)¹⁰.

⁷ Latvijas Sēklaudzētāju asociācija [tiešsaiste] [skatīts 2011. g. 2. okt.]. Pieejams: <http://www.seklaudzetaji.lv>

⁸ Latvijas Vēstnesis [tiešsaiste] [skatīts 2010. g. 21. sept.]. Pieejams: <http://www.likumi.lv>

⁹ Garmin iQ 3600 [tiešsaiste] [skatīts 2011. g. 2. okt.]. Pieejams: <http://www.gpsinformation.org/dale/Palm/iQue3600.htm>

¹⁰ Moisture Meter type HH2 [tiešsaiste] [skatīts 2011. g. 2. okt.]. Pieejams: http://somet.pl/pdf/11/Miernik_HH2.pdf

Augsnes penetrometriskā pretestība, $N\text{ cm}^{-2}$, noteikta augsnes 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 augsnes penetrācijas pretestību. Iekārtas mērījumu kļūda $\pm 8\%$. Atkarībā no augsnes 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 (1. pielikuma nobeiguma, 5. att.). Augsnes mitrums un penetrometriskā pretestība noteikta rudenī pēc ziemas kviešu sējas un pavasarī atsākoties veģetācijai - augu attīstības stadijās AS 11-12 un AS 25-29 (Eiropas un Vidusjūras augu, 1997)¹¹.

Augsnes granulometriskais sastāvs, kurš pētījumā raksturots ar augsnes daļiņām $< 0.01\text{ mm}$, noteikts lauka apstākļos ar lauka metodi. Augsne tika samitrināta līdz biezas pastas stāvoklim, starp plaukstām izveidota bumbiņa, no tās turpmāk - stienītis, no kura savukārt izveidots gredzens. Atkarībā no bumbiņas, stienīša un gredzentiņa izskata un stiprības noteikts augsnes granulometriskais sastāvs¹².

Humusa akumulācijas horizonts (Ap) noteikts lauka apstākļos. Augsnē tika iedzīta zonde un noteikts Ap horizonts, tā dziļums, cm.

Noteikts arī karbonātu sākšanās dziļums, cm¹².

Augsnes 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 (1. pielikuma nobeiguma 6. att.)¹³.

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 (Eiropas un Vidusjūras augu, 1997), kuri pēc tam analizēti laboratorijas apstākļos Augsnes un augu zinātņu institūta Laukkopības nodaļā. Augiem noteikts dīgstu skaits rudenī, gab. m^2 (lauka apstākļos ar uzskaites rāmīti $0.20 \times 0.50\text{ m}$), 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 stiebriem AS 43-45, (Eiropas un Vidusjūras augu, 1997)¹⁴.

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 laikā¹⁵. Kombaina graudu mitruma sensoru mērījumi

¹¹ Hand Penetrometer Eijkelkamp [tiešsaiste] [skatīts 2011. g. 2. okt.]. Pieejams: <http://www.surechem.com.my/download/eijkelkamp/P1/P1-50e.pdf>

¹² Augsnes zinātne. Mācību prakses programma un metodiskie norādījumi (1999). A. Kārklīņa red. K. Bambergs, A. Kārklīņš, A. Kurčins, J. Livmanis, G. Mežals, R. Skujāns, G. Šņickovska. Jelgava: LLU. 86 lpp.

¹³ Trimble GeoXT [tiešsaiste] [skatīts 2011. g. 2. okt.]. Pieejams: <http://www.trimble.com/geoxh.shtml>

¹⁴ WinFolia [tiešsaiste] [skatīts 2010. g. 2. okt.]. Pieejams: <http://www.regentinstruments.com/products/Brochures/WinFOLIA.pdf>

¹⁵ Claas Lexion [tiešsaiste] [skatīts 2011. g. 2. okt.]. Pieejams: <http://www.agrocom.com/de/lenksysteme/lenken-per-gps.html>

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 0 - 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). Kustīgo fosforu un kāliju no augsnes ekstrahē ar 0.02 M kalcija laktāta šķīdumu, kurš buferēts ar 5 M HCl šķīdumu līdz pH 3.5 - 3.7, augsnes un šķīduma attiecība 1 : 50. Fosfora daudzumu izvilcē nosaka fosformolibdēnzilā kompleksa veidā fotometriski, kālija daudzumu - ar liesmas fotometru. Pieļaujamās novirzes fosfora saturam no vidējā aritmētiskā ir 20%, ja P_2O_5 ir līdz 50 mg kg^{-1} , 15% - ja P_2O_5 ir no 50 - 100 mg kg^{-1} , 10% - ja P_2O_5 ir lielāks par 100 mg kg^{-1} . Pieļaujamās novirzes kālija saturam no vidējā aritmētiskā: 15% - ja K_2O ir līdz 50 mg kg^{-1} , 10% - ja K_2O ir no 50 - 200 mg kg^{-1} un 7% - ja K_2O lielāks par 200 mg kg^{-1} (Metodiskie norādījumi, 2005).

Augsnē, kurā organisko vielu saturs ir līdz 150 g kg^{-1} , organisko vielu saturu nosaka, oksidējot augsni ar kālija dihromāta ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) šķīdumu sērskābē un izveidojušos trīsvērtīgo hromu, kas ir ekvivalents organisko vielu daudzumam, nosaka fotometriski ar Tjurina metodi (LV ST ZM 80 - 97). Pieļaujamā novirze no vidējā aritmētiskā 15% pie organisko vielu satura līdz 50 g kg^{-1} , 7% - pie organisko vielu satura virs 50 g kg^{-1} (Metodiskie norādījumi, 2005).

Augsnes reakcija noteikta potenciometriski 1 M KCl suspensijā, augsnes un šķīduma tilpuma attiecība ir 1 : 5 (LV ST ZM 81 - 97; LVS ISO 10390:2002). Rezultātus pieraksta ar precizitāti līdz 0.1 pH vienībai (Metodiskie norādījumi, 2005).

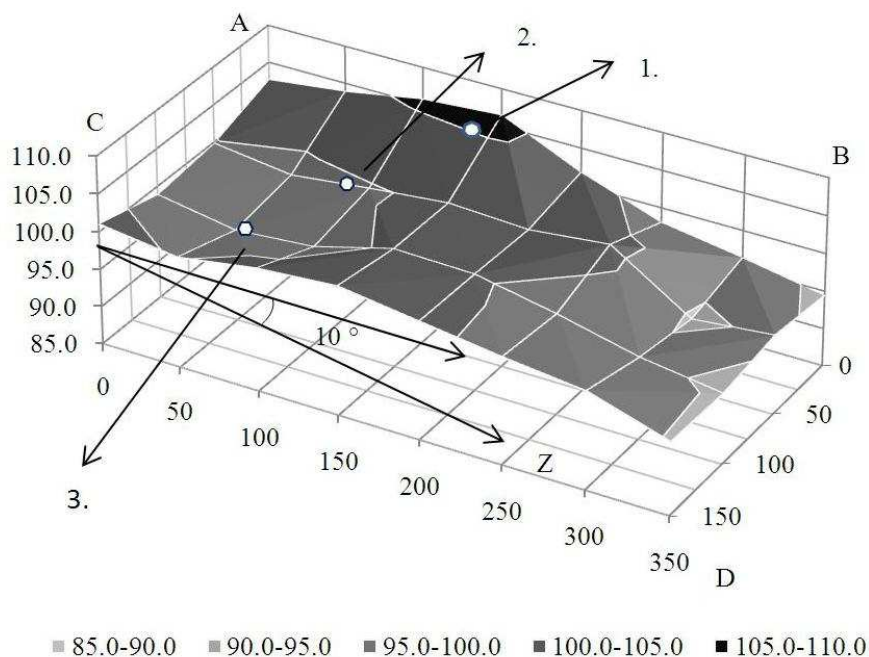
Augšņu vispārējam raksturojumam laukā 2010. gada 23. un 24. augustā izrakti trīs atsegumi. Paugura virsotnes daļā: tipiskā velēnu karbonātaugsne (*Hypocutani-Hypocalcic Luvisol (Hypochromic)*), paugura nogāzes vidusdaļā uz sateci: tipiskā velēnu karbonātaugsne ar virsējās glejošanās pazīmēm 122 - 181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

Datu matemātiskā apstrāde veikta izmantojot Microsoft Excel un SPSS datu apstrādes programmas, veicot aprakstošo statistiku, korelācijas un parciālās korelācijas analīzes (Arhipova, Bāliņa, 2003). 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.

2.2. Lauka raksturojums un pētījumā lietotā agrotehnika

2.2.1. Lauka un augšņu vispārējs raksturojums

Platību raksturo dažāda izmēra ieapaļi, iegareni pauguri ar diametru līdz 500 m, visbiežāk nesimetriski, ar lēzenām līdz 5% nogāzēm un beznoteces ieplakām (Augsnes diagnostika, 2008). To attēlojuma versijai izmantota 3D (augstums, garums, platums) diagramma MS Excel versijā (2.1. att.). Attēla veidošana šajā versijā iespējama, ja no stacionārajiem novērojumu punktiem izmanto tikai tos, kuri platībā veido nosacītu taisnleņķa koordinātu tīklu ar attālumu starp punktiem 50 m.



2.1. att. Kurpnieku lauka virsmas reljefa un profilbedru atrašanās vieta.

Apzīmējumi: punkts A 56°28'48.47" Ziemeļu platums (Zp.) un 22°55'08.12" Austrumu garums (Ag.); punkts B 56°28'59.80" Zp. un 22°55'08.21" Ag.; punkts C 56°28'48.52" Zp. un 22°55'17.13" Ag.; punkts D 56°28'59.84" Zp. un 22°55'16.60" Ag.; 1., 2., 3. profilbedru vietas laukā; un nogāzes virziena ekspozīcija 10°.

Atbilstoši Latvijas teritorijas reģionālajai rajonēšanai lauksaimniecības vajadzībām Auces pagasts ir iedalīts pirmā reģiona otrajā mikroreģionā (pavisam pirmajā reģionā ietilpst trīs mikroreģioni, kuri atšķiras ar ūdeņiem pārskaloto mālu daudzumu un akmeņainību). Pirmais reģions raksturojas ar ražošanai labvēlīgiem dabas un ekonomiskajiem apstākļiem. Reģiona reljefs līdzens, un tajā sastopamas galvenokārt auglīgākās valstī velēnu karbonāta un velēnu glejotās karbonātiskās augsnes uz ūdeņu pārskalotiem māla (M), tāpat arī smilšmāla (sM) nogulumiem. Vietām, īpaši reģiona augšdaļā ir arī mālsmilts (mS) nogulumi. Pirmā reģiona rietumdaļa kļūst pauguraināka, te sāk parādīties arī nelīdzens reljefs un akmeņi, tāpat arī velēnu podzolētās augsnes. Augsnes kādreiz bijušas pārmitras, pēc tam nosusinātas ar vaļējiem grāvjiem, bet 70. - 89. gadam drenētas un nosusināšanas (meliorācijas) īpatsvars ir lielākais valstī, vidēji 89%, bet atsevišķās saimniecībās variē 80 - 96% robežās. Augsnes meliorācijas rezultātā ir nokārtots ne tikai mitruma režīms, bet izveidoti arī lieli vienlaidus tūruma

masīvi ar labām tehnoloģiskām īpašībām, pie kam apstrādājamās slejas garums ir 1000 m un vairāk. Augsnes akmeņainība neliela, izņemot Dobeles apkārtni, kur tā ir liela. Augsnes kvalitātes vērtējums 1. reģionā ir augstākais valstī un sasniedz aramzemē 62 balles, pie kam 93% no lauksaimniecībā izmantojamām zemēm ir aramzeme, bet dabīgo pļavu un ganību daļa ir necīga. Zemes lielākoties ir labi iekultivētas. Kultūraugu ražība Zemgales līdzenuma saimniecībās ir augstākā un ražošanas izmaksas uz produkcijas vienību zemākās valstī (Boruks, 2004).

Apkopojot iepriekš teikto, var secināt, ka atbilstoši reljefam un augšņu segai Vecauce atrodas apvidū, kas ir piemērots lauksaimnieciskajai darbībai. Viena no lauksaimniecības specializācijas nozarēm šajā apvidū ir un acīmredzot arī būs labību audzēšana.

Dobeles rajons ietilpst divos augšņu rajonos. Tā austrumu daļa atrodas Zemgales līdzenumā un rietumu daļa - Kurzemes morēnas pauguraines un līdzenuma rajonā. Augšņu cilmieži Zemgales līdzenuma daļā ir ledus ezera baseina bezakmeņu nogulumi, bet Kurzemes morēnu pauguraines un līdzenuma daļā - pamatmorēnas nogulumi. Zemgales līdzenuma daļā pārsvarā ir velēnu karbonātaugsnes, kas aizņem 41.6% no rajona kopplatības. Otrajā augšņu rajonā dominē podzolaugsnes - 26.6%, no tām 7.4% ir vidēji un stipri erodētās. Glejaugsnes ir pārstāvētas abos augšņu rajonos un no kopplatības aizņem 27.4%, podzolēto glejaugsņu platība ir 1.2%, neliels ir arī brūnaugsņu (1%) un zemā purva kūdraugsņu īpatsvars - 2.2% (Timbare, Reinfelde, 2007).

Augšņu dabiskās drenāžās apstākļi vidēji. Rajonā pārsvarā ir putekļu smilšmāla augsnes - 65.9% no kopējās platības, kā arī salīdzinoši liels māla augšņu īpatsvars - 14.2%. Mālsmilts augsnes aizņem 15.5%, smilts - 2.2%, kūdra - 2.2% no kopējās platības. Velēnu karbonātaugsnes kopā ar drenētajām glejaugsnēm pieskaitāmas Latvijas auglīgākajām augsnēm. Augšņu iekultivēšanas pakāpe tīrumos ir laba. Organisko vielu daudzums aramkārtā ir vidēji 70 t ha⁻¹. Zems (zem 16 g kg⁻¹) OV saturs ir 18.5% platību. Vidēji un stipri skābās augsnes, kur nepieciešama pamatkaļķošana, ir tikai 2% no lauksaimniecībā izmantojamo zemju platības (Timbare, Reinfelde, 2007).

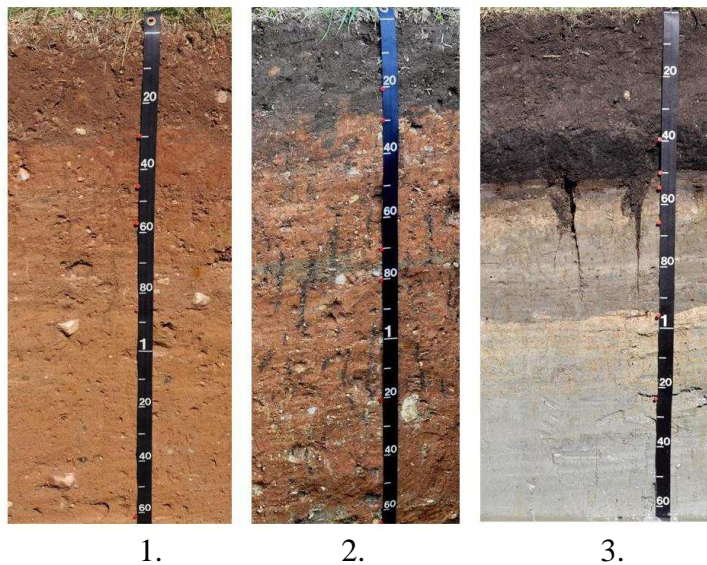
Dobeles rajona augsnes raksturo salīdzinoši augsta augsnes adsorbcijas kapacitāte (AAK), kas ir komplekss agroekoloģisks rādītājs, kas raksturo augu barības elementu spēju saistīties augsnē, to kustīguma pakāpi un iespējamo katjonu vertikālo un horizontālo migrāciju kopā ar ūdens plūsmu. Jo no augsnes adsorbcijas kapacitātes lieluma ir atkarīgs kultūraugu barošanās režīms (barības vielu saturs un tā uzņemšana augos), augsnes fizikālās, bioloģiskās un citas īpašības. Liela nozīme adsorbcijas kapacitātei ir augsnes buferspējas uzturēšanā, kas nosaka minerālmēsļu un citu agroķīmikāliju lietošanas ekoloģisko drošību. Auces pagastā apsekotā platība sastādīja 2.4 tūkstošus hektārus, zema AAK bija 4.9%, vidēja - 53.7%, paaugstināta vai augsta - 41.4% lauksaimniecībā izmantojamai zemei (Skromanis, Reinfelde, Timbare, 1994; Timbare, Reinfelde, 2007).

Vecauce atrodas Viduslatvijas zemienes Vadakstes līdzenuma ZR daļā. Mūsdienu reljefu, kā arī augšņu cilmiežus galvenokārt veido glaciālie nogulumi. Viļņoti līdzenumi mijas ar saposmotiem līdzenumiem un paugurainēm. Morēnu pauguri ar beznoteces starppauguru ieplakām. Pētījums veikts Kurpnieku laukā (Ziemeļu platums 56°28'48.47" un Austrumu garums 22°55'08.12"), 2.36 km attālumā no Vecauces pils. Augšņu vispārējam raksturojumam 2010. gada 23. un 24. augustā Kurpnieku laukā tika izrakti trīs augsnes atsegumi (2.2. att. un 5., 6. un 7. pielikums). Augšņu raksturošanai veikti dziļie augšņu atsegumi, kuriem veikts detalizēts morfoloģiskais apraksts, fizikāli-

ķīmiskās analīzes un izdarīta augšņu klasifikācija, atbilstoši Latvijas un starptautiskajam klasifikatoram (Latvijas augšņu, 2009).

Paugura virsotnes daļā augsne vidēji iekultivēta, labi drenēta, reljefs vidēji stāvs paugurs. Raksturīga aktīva, vāji erodēta plaknes erozija. Vienlaidu augsnes slāņa nonese. Erodētā platība 10 - 25%. Augsnes aramkārtā 30 cm dziļā, smaga mālsmilts. Augsnes reakcija 7.41 (neitrāla), organisko vielu saturs 15.1 g kg⁻¹, augiem izmantojamā fosfora saturs (P₂O₅) - 413.5 (ļoti augsts), kālija saturs (K₂O) - 218.0 mg kg⁻¹ (augsts). Atbilstoši Latvijas klasifikatoram (2009) - tipiskā velēnu karbonātaugsne (*Hypocutani-Hypocalcic Luvisol (Hypochromic)*), bet atbilstoši starptautiskajam klasifikatoram (WRB 2006) - *Hypopisocalcic Luvisol (Epiabruptic, Hypereutric)*. Augsnes morfoloģiskais raksturojums dots 5. pielikumā (profila reģistrācijas numurs - DO0090).

Paugura vidusdaļā augsne vidēji iekultivēta, labi drenēta, reljefs saposmots līdzenums. Raksturīga aktīva, vidēji erodēta ūdens sanesumu erozija. Erodētā platība 5 - 10%. Augsnes aramkārtā 32 cm dziļā, smaga mālsmilts. Augsnes reakcija 6.97 (neitrāla), organisko vielu saturs 22.6 g kg⁻¹, augiem izmantojamā fosfora saturs (P₂O₅) - 321.5 (ļoti augsts), kālija saturs (K₂O) - 209.5 mg kg⁻¹ (augsts). Atbilstoši Latvijas klasifikatoram (2009) - tipiskā velēnu karbonātaugsne ar virsējās glejošanās pazīmēm 122 - 181 cm augsnes slānī (*Bathystagni-Luvic Phaeozem (Abruptic, Calcaric)*), bet atbilstoši starptautiskajam klasifikatoram (WRB 2006) - *Luvic Hypopisocalcic Bathystagnic Phaeozem (Epiabruptic, Calcaric, Bathychromic, Hyponovic)*. Augsnes morfoloģiskais raksturojums dots 6. pielikumā (profila reģistrācijas numurs - DO0091).



2.2. att. Kurpnieku lauka profilbedru atsegums (foto D. Lapiņš).

Apzīmējumi: 1. - paugura virsotnes daļā: tipiskā velēnu karbonātaugsne (*Hypocutani-Hypocalcic Luvisol (Hypochromic)*); 2. - paugura nogāzes vidusdaļā uz sateci: tipiskā velēnu karbonātaugsne ar virsējās glejošanās pazīmēm 122 - 181 cm augsnes slānī (*Bathystagni-Luvic Phaeozem (Abruptic, Calcaric)*); 3. - paugura nogāzes lejas daļā ar sateci: trūdaini kūdrainā glejaugsne (*Ombri-Sapric Histosol (Hypereutric)*).

Paugura lejas daļā augsne vidēji iekultivēta, labi drenēta, reljefs vidēji stāva ieleja. Raksturīga aktīva, vidēji erodēta ūdens sanesumu erozija. Erodētā platība 5 - 10%. Augsnes aramkārtā 40 cm dziļā, smilšmāls. Augsnes reakcija 6.99 (neitrāla),

organisko vielu saturs 281.9 g kg⁻¹, augiem izmantojamā fosfora saturs (P₂O₅) - 135.5 (zems), kālija saturs (K₂O) - 130.5 mg kg⁻¹ (zems). Atbilstoši Latvijas klasifikatoram (2009) - trūdaini kūdrainā glejgaugsne (*Ombri-Sapric Histosol (Hypereutric)*), bet atbilstoši starptautiskajam klasifikatoram (WRB 2006) - *Hemic Ombric Histosol (Calcaric, Hypereutric, Drainic, Novic)*. Augsnes morfoloģiskais raksturojums dots 7. pielikumā (profila reģistrācijas numurs - DO0092).

Augsnes piemērotas lauksaimnieciskai izmantošanai, galvenokārt, graudaugiem, rapsim un kukurūzai.

Lauka auglības raksturojums. Lauks meliorēts (1. pielikuma, 2. att.), mēslojums un apstrādāts. Punktu augstums vjl. no 94.4 līdz 106.7 m. Humusa akumulācijas horizonta biezums 23.5 - 50.0 cm. Platība, nosusināta ar segto drenāžu. Kopumā platībā erozijas pakāpe vērtējama kā vidēji erodēta, jo skaidri samana virsējo horizontu nonešana un daļēji ir izjauktas arī augsnes biotiskās funkcijas. Augšņu dažādība viena lauka robežās ir liela, šie trīs augšņu tipi ar karbonātu saturu līdz 50 cm dziļumam bija raksturojošie visā laukā.

Laukā izdalītas sešas augsnes auglības novērtējuma gradāciju grupas, kurās raksturoti augšņu agroķīmiskie rādītāji, kuri analizēti VSIA „Agroķīmisko pētījumu centrs” laboratorijā (2. pielikums). Katrā augsnes auglības novērtējuma gradāciju grupā iekļauti blakus esošie 6 - 10 stacionārie novērojumu punkti, kuros veiktas analīzes, dati apkopoti (2.1. tab.).

2.1. tabula

Augšņu agroķīmiskie rādītāji Kurpnieku laukā 14.08.2006.

Grupa	OV saturs, g kg ⁻¹	pH KCl	P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹	K ₂ O, mg kg ⁻¹
1.	21 - 46	6.0 - 7.1	164 - 394	118 - 212
2.	14 - 35	6.2 - 7.4	146 - 457	102 - 222
3.	18 - 31	6.0 - 7.0	158 - 328	134 - 259
4.	19 - 91	5.8 - 7.3	132 - 324	114 - 333
5.	19 - 46	5.4 - 7.2	114 - 353	104 - 230
6.	19 - 29	5.5 - 7.3	102 - 278	121 - 238

Kurpnieku laukā noteiktais augsnes granulometriskais sastāvs bija smilšmāls (sM), mālsmilts (mS) un irdena smilts (iS), bet pārsvarā dominēja smilšmāls, tikai atsevišķos punktos mS un iS. Visās sešās augsnes auglības novērtējuma gradāciju grupās organisko vielu saturs bija robežās no nepietiekoša līdz paaugstinātam un sestajā grupā no nepietiekoša līdz optimālam. Nepietiekošs organisko vielu saturs pie sM raksturojās ar OV saturu (< 25 g kg⁻¹), paaugstināts - 31 - 100 g kg⁻¹ un optimāls tā saturs no 25 līdz 30 g kg⁻¹. Visaugstākais organisko vielu saturs 91 g kg⁻¹ bija ceturtajā augsnes auglības novērtējuma gradāciju grupā, kuru raksturoja 22. novērojumu punkts. Augsnes reakcija augsnes gradāciju grupās raksturojās kā vāji (5.8 - 6.3) vai vidēji (5.4 - 5.7) skāba līdz normālai (> 6.3), nevienā augsnes auglības novērtējuma grupā tā nebija skāba vai stipri skāba (2.1. tab.). Augiem izmantojamā fosfora saturs trijās augsnes gradāciju grupās bija augsts (131 - 220 mg kg⁻¹) - ļoti augsts (> 220 mg kg⁻¹) un otrās trijās vidējs (71 - 130 mg kg⁻¹) - ļoti augsts. Savukārt augiem izmantojamais kālija saturs piecās augsnes auglības novērtējuma gradācijas grupās raksturojās kā vidējs (91 - 180 mg kg⁻¹) līdz augsts (181 - 305 mg kg⁻¹) un 4. gradāciju grupā kā vidējs līdz ļoti augsts (> 305 mg kg⁻¹) (Metodiskie norādījumi, 2005). Nevienā no augsnes

auglības novērtējuma gradāciju grupām ne fosfora, ne kālija saturs neraksturojās kā ļoti zems vai zems. Tas norāda uz to, ka augiem izmantojamais fosfors un kālijs bija optimumā.

No literatūras ir zināms, ka ziemas kviešu audzēšanai piemērotas velēnu karbonātaugsnes, ar organisko vielu bagātas ($17 - 30 \text{ g kg}^{-1}$) smilšmāla vai mālsmilts augsnes ar pietiekami biezu aramkārtu ($\geq 25 \text{ cm}$) un neitrālu vai vāji skābu (pH KCl $6.5 - 7.0$) augsnes reakciju (Bonāts, 1980; Boruks, 1987). Atsaucoties uz literatūrā aprakstītajiem rādītājiem var secināt, ka Kurpnieku lauks ir piemērots ziemas kviešu audzēšanai. Ziemas kvieši ir plaši audzēti kultūraugs Latvijā, kurš pateicoties stabilu ražu ieguvei nes peļņu, un nereti tos audzē arī pauguraina reljefa apstākļos, tikai neizlīdzināta reljefa apstākļos slapjos rudenos var rasties grūtības ar ražas novākšanu.

Pētījuma rezultāti un analīze sadaļā par pamatu ņemtas piecas ūdens noteces 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 katrā iekļauti no 4 līdz 21 punkts, kas raksturoja Kurpnieku lauka augšņu neviendabīgumu un reljefa atšķirību ietekmi. Aprēķinos konstatēts, ka nepastāv būtiskas atšķirības starp nogāžu slīpumiem ūdens noteces nogāžu grupās (3. pielikums), tāpēc darbā datu analīzē šis rādītājs netika izmantots.

2.2.2. Pētījumā lietotā agrotehnika

2004. gada rudenī laukā tika iesēts ziemas rapsis šķirne 'Elixir'. 2005. gada 16. augustā veikta dziļirdināšana pēc ziemas rapša, izmantojot dziļirdinātāju „KVERNELAND CLE” ar darba platumu 3.6 m. Dziļirdināšana veikta šādos variantos: 50 cm dziļumā nogāzes virzienā un 50 cm dziļumā šķērsām nogāzes virzienam, 35 cm dziļumā nogāzes virzienā un atstājot kontroles variantu. Un 29. augustā uzsākta aršana izmantojot seškorpusu maiņvērsējarklu „OVERUM KCELSIOR”, aršanas dziļums 18 cm.

2005. gada rudenī no 16. līdz 18. septembrim iesēti ziemas kvieši šķirne 'Tarso', izsējas norma $400 \text{ dīgstoši graudi uz m}^2$; izmantojot augsnes apstrādes un sējas agregātu „AMAZONE D8-45 SUPER” agregātā ar frēzi - „AMAZONE KG 452”. Rudenī lietoti minerālmēsli $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ attiecībās 6:26:30, izsējas norma 300 kg ha^{-1} (N 29.0, P 54.9 un K 120.5 kg), izmantojot pneimatisko minerālmēsli izkliešanas mašīnu „AMAZONE 2A-M Compact 1000”. 2006. gada pavasarī dots papildmēslojums pirmo reizi 18. aprīlī amonija nitrāts 200 kg ha^{-1} (N 68 kg); otro reizi 15. maijā amonija nitrāts - 200 kg ha^{-1} (N 68 kg). 2006. gada 30. aprīlī lietoti herbicīdi: logrāns 35 g ha^{-1} (darbīgā viela 1-[2-(2-hloretoksi)fenilsulfonil]-3-(4-metoksi-6-metil-1,3,5-triazin-2-il) urīnviela), pīrims 0.07 kg ha^{-1} (darbīgā viela 2, 6, 8-triuloro-5-metoksi-s-triazolo[1,5-c]pirimidin-2-sulfonilīds); 11. jūnijā lietots fungicīds bampers 0.5 L ha^{-1} (darbīgā viela 1-[2-(2,4-dihlorfenil)-4propil-1.3-diooksalan-2-yl-metil]-1H-1.2.4-triazols (diastereomeru maisījums), izmantojot smidzinātāju „AMAZONE UG 2200 NOVA”. No 9. līdz 10. augustam veikta kulšana izmantojot kombainu „CLASS LEXION 420”. Salmi sapresēti un ruloni aizvesti no lauka. No 20. līdz 24. augustam veikta augsnes aršana izmantojot seškorpusu maiņvērsējarklu „OVERUM KCELSIOR”, aršanas dziļums 20 cm.

2006. gada rudenī no 25. līdz 26. septembrim atkārtoti iesēti ziemas kvieši 'Tarso', izsējas norma $400 \text{ dīgstoši graudi uz m}^2$; izmantojot augsnes apstrādes un sējas

agregātu „AMAZONE D8-45 SUPER” agregātā ar frēzi - „AMAZONE KG 452”, ar darba platumu 4.5 m. 2007. gada pavasarī dots papildmēslojums pirmo reizi 27. martā amonija nitrāts 200 kg ha⁻¹ (N 68 kg); otro reizi 16. maijā amonija nitrāts 200 kg ha⁻¹, izmantojot pneimatisko minerālmēslu izkļiedētāju „AMAZONE 2A-M Compact 1000”, ar darba platumu 18 m. 2007. gada 28. aprīlī lietots herbicīds: logrāns 35 g ha⁻¹ (darbīgā viela 1-[2-(2-hloretoksi)fenilsulfonil]-3-(4-metoksi-6-metil-1,3,5-triazin-2-il) urīnviela), lietojot smidzinātāju „AMAZONE UG 2200 NOVA”. No 2. līdz 5. augustam veikta novākšana izmantojot kombainu „CLAAS LEXION 420”. Salmi sapresēti un ruloni aizvesti no lauka.

2.3. Meteoroloģisko apstākļu raksturojums

Meteoroloģisko apstākļu raksturojumam pētījuma veikšanas gados izmantoti MPS „Vecauce” Metpoles dati. Vidējās gaisa temperatūras un nokrišņu daudzums pētījuma gados parādīti 2.3. un 2.4. attēlos, 4. pielikuma 1. un 2. tabulā. Rādītāji salīdzināti ar ilggadīgiem vidējiem, kas iegūti no Dobeles hidrometeoroloģiskās stacijas (HMS), 4. pielikuma nobeiguma 3. tabula.

Lai arī Latvijas teritorija nav liela, tomēr tās austrumu, centrālā un rietumu daļa atšķiras cita no citas ar reljefu, augsni un klimatu. Šie apstākļi ir jāņem vērā, izvēloties šķirnes un audzēšanas tehnoloģiju. Ja visu Latvijas teritoriju nosacīti sadala piecās agroklimatiskās joslās, tad, piemēram, Zemgales zonā pavasaris iestājas ļoti savlaicīgi, bet smaga granulometriskā sastāva augsnes un augstais gruntsūdens līmenis sēju daudzviet ļauj iesākt tikai aprīļa beigās. Ziemās bieži novēro atkušņus, kas veido uz sējumiem lāmas. Savukārt vasarā šeit ir vairāk saulaino dienu un augstāka vidējā gaisa temperatūra. Kaut arī kopējā nokrišņu summa Latvijas agroklimatiskajos apstākļos ir augsta, atsevišķos gados to nevienmērīgais sadalījums veģetācijas periodā var būtiski samazināt graudaugu ražību un kvalitāti.

Galvenie izmantotie rādītāji, kas raksturoja laikapstākļus, bija gaisa vidējā, kā arī maksimālā un minimālā temperatūra un nokrišņu daudzums pa dekādēm, kā arī hidrotermiskais koeficients (HTK). Agrometeoroloģijā teritorijas mitruma apstākļu vērtēšanai iesaka rādītāju hidrotermisko koeficientu (Čirkovs, 1978), jo tas rāda noteikta perioda (piemēram, veģetācijas perioda) nokrišņu daudzuma un iztvaikojamības attiecību. Hidrotermisko koeficientu (HTK) aprēķina pēc formulas:

$$HTK = \frac{\sum N}{\sum t > 10^{\circ} C} \times 10, \quad (2)$$

kur

$\sum N$ - nokrišņu summa attiecīgajā periodā, mm;

$\sum t > 10^{\circ} C$ - aktīvo temperatūru summa virs 10 °C tajā pašā periodā.

Ja:

- HTK no 1.0 līdz 2.0 - mitrums ir pietiekams;
- HTK > 2.0 - pārlietu mitrs;
- HTK < 1.0 - nepietiekams mitrinājums;
- HTK no 1.0 līdz 0.7 - sauss;
- HTK no 0.7 līdz 0.4 - ļoti sauss.

Aprēķinot hidrotermisko koeficientu Vecaucē, 2005. gada veģetācijas periodā tas bija 2.12, 2006. - 1.22 un 2007. - 1.64 (2.2. tab.). Ziemas kviešu audzēšanai

2005. gadā bija augsts mitruma nodrošinājums, bet 2006. un 2007. gadā mitrums bija tikai pietiekams. Kopumā tas ziemas kviešu augšanu negatīvi neietekmēja, jo ziemas kvieši raksturojas kā samērā sausumizturīgs kultūraugs.

2.2. tabula

Hidrotermiskā koeficienta vērtības pētījuma gados

Periods	2005.	2006.	2007.
Aprīlis	0.95	1.17	2.09
Maijs	1.22	0.76	1.35
Jūnijs	1.13	0.49	2.02
Jūlijs	4.05	0.20	0.98
Augusts	3.07	2.75	1.07
Septembris	0.89	1.10	2.13
Oktobris	1.58	2.50	3.14
Veģetācijas periodā	2.12	1.22	1.64

Labas ražas var iegūt, ja augsnē ir pietiekams, bet ne pārmērīgs ūdens daudzums dīgšanas - cerošanas laikā rudenī un cerošanas - stiebrošanas sākumā pavasarī. Vēlāk neliels ūdens deficīts augsnē ir pat vēlams. Savukārt palielināts mitrums vēlākās augšanas un attīstības stadijās veicina veģetatīvās masas īpatsvara pieaugumu kopražā, sējumu veldrēšanos un slimību pastiprinātu izplatību. Bagātīgi nokrišņi nav vēlami labību nogatavošanās - novākšanas laikā. Labvēlīgos laikapstākļos, kad gaisa mitrums ir ap 50% un temperatūra 16 - 21 °C, graudi ienākas 30 - 35 dienās. Sausā un karstā laikā šis periods saīsinās, bet vēsā un lietainā - var aizkavēties par 40 dienām un vairāk (Ruža, 1996).

2005. gadā septembris bija silts, saulains sevišķi mēneša pirmajā pusē, kas nodrošināja labu ziemāju sadīgšanu, ko sekmēja arī augusta mēnesī izkritušie nokrišņi 106.4 mm. Labvēlīgos apstākļos rudenī ziemas kvieši sadīgst 7 - 8 dienās. Optimālā temperatūra sēklu dīgšanai lauka apstākļos 1. grupas labībām ir 8 - 12 °C. Mēneša vidējā gaisa temperatūra bija 13.3 °C, kas tuva normai vai 1.8 °C virs normas (11.5 °C). Nokrišņu daudzums zem normas - 35.6 mm.

Oktobris bija salīdzinoši silts, mēneša vidējā gaisa temperatūra 7.3 °C, kas bija 0.5 °C virs normas (6.8 °C), bet vidējā nokrišņu summa sastādīja 35.4 mm, kas bija zem normas oktobra mēnesī konstatētajiem ilggadīgajiem rādītājiem (53 mm).

Vislabāk ziemāju cerošana un iesakņošanās noris 6 - 10 °C temperatūrā. Kad temperatūra pazeminās līdz 2 - 3 °C, kvieši cerošanu pārtrauc vai arī cero nepilnīgi un iesakņojas vāji. Šādu sējumu ziemcietība ir nepietiekama. Lai gan augu cerošana turpinās pavasarī, tomēr iegūtās graudu ražas ir daudz zemākas nekā no rudenī labi attīstītiem sējumiem (Bonāts, 1980).

2006. gadā vidējā gaisa temperatūra aprīlī bija 5.8 °C, kas bija par 0.9 °C augstāka par normu (4.9 °C), bet vidējā nokrišņu summa 20.4 mm. Ziemāju veģetācija atjaunojās periodā no 16. līdz 24. aprīlim.

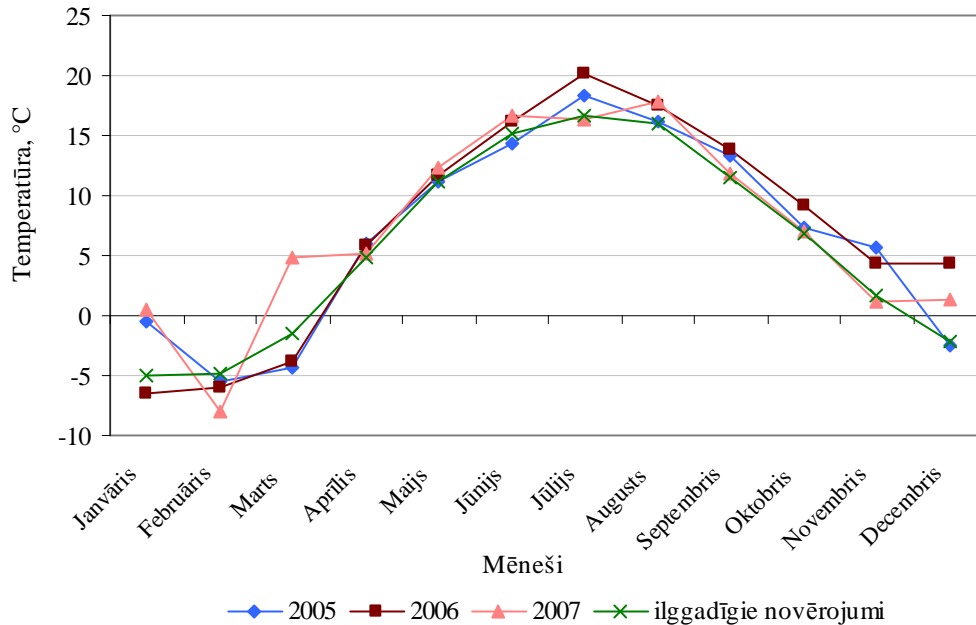
Maijā vidējā gaisa temperatūra sastādīja 11.6 °C, kas bija par 0.4 °C augstāka par normu (11.2 °C), bet vidējā nokrišņu summa 27.6 mm.

Jūnijs bija silts un saulains, vidējā gaisa temperatūra bija par 1.1 °C augstāka par normu (15.1 °C), bet vidējā nokrišņu summa sastādīja 24.2 mm.

2006. gada jūlijā gaisa temperatūra ar katru dekādi pieauga un normas rādītājus vidēji pārsniedza par 3.5 °C, bet apgriezti proporcionāli ar katru dekādi saruka nokrišņu daudzums.

Arī augusta mēnesī vidējā gaisa temperatūra 2006. gadā par 1.5 °C pārsniedza ilggadīgos novērojumos konstatēto un vidējā nokrišņu summa arī augsta 150.0 mm.

Septembrī vidējā gaisa temperatūra 2006. gadā sasniedza 13.9 °C, kas bija 2.4 °C virs normas (11.5 °C), kopumā vidējā nokrišņu summa bija 46 mm. Septembris raksturojās ar mitruma deficītu augsnē mēneša pirmajā pusē, ar biežām salnām - otrajā un tas kavēja ziemāju optimālo sējas laiku.



2.3. att. Vidējā diennakts gaisa temperatūra 2005., 2006. un 2007. gados, °C (pēc Vecauces Metpoles datiem un ilggadīgie novērojumi pēc Dobeles HMS).

Siltais laiks 2006. gada oktobrī veicināja ziemāju attīstību. Mēneša vidējā gaisa temperatūra 9.2 °C, bija par 2.4 °C virs normas (6.8 °C). Oktobris raksturojās ar salīdzinoši augstu nokrišņu daudzumu, vidējā nokrišņu summa 71.6 mm.

2007. gadā 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.

Maija vidējā gaisa temperatūra sasniedza 12.3 °C, kas bija par 1.1 °C augstāka par normu. Vidējā nokrišņu summa sastādīja 51.8 mm.

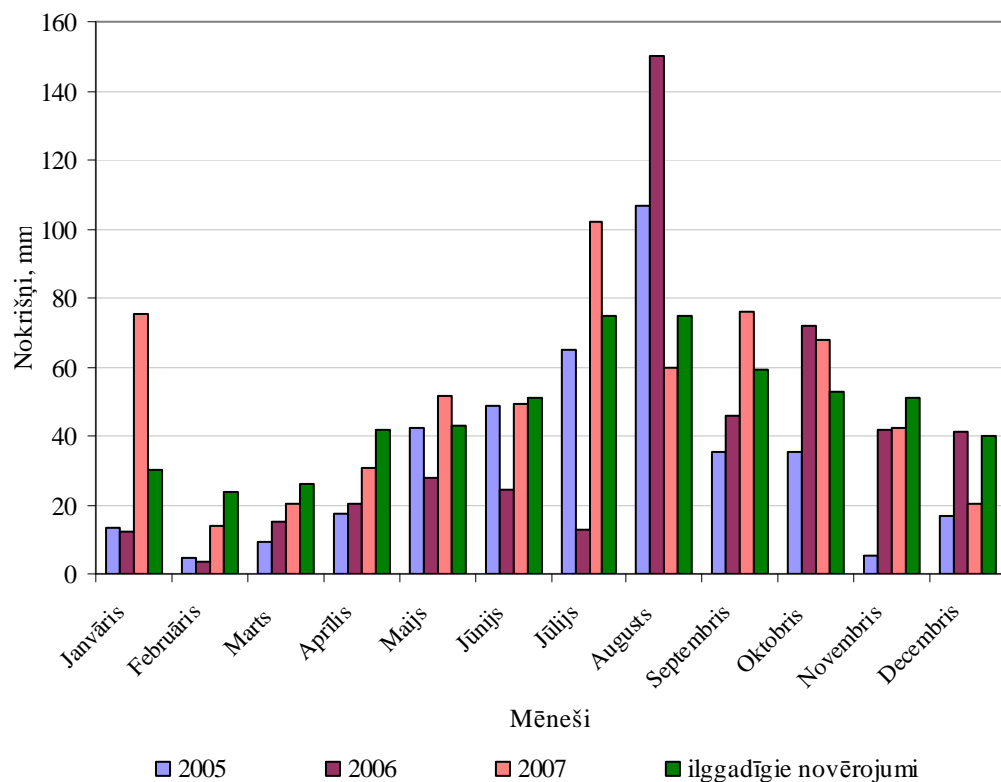
Jūnija vidējā gaisa temperatūra sasniedza 16.6 °C, kas ir 1.5 °C augstāka par normu. Vidējā nokrišņu summa 49.4 mm. Gan temperatūra, gan nokrišņu daudzums pētījuma gados maija un jūnija mēnesī bija visaugstākais 2007. gadā.

Savukārt 2007. gada jūlijā vidējā gaisa temperatūra bija 16.3 °C, kas bija -0.3 °C zemāka par normu (16.6 °C), viszemākā no pētījuma gadiem, vidējā nokrišņu summa 102.2 mm, kas bija par 27.2 mm augstāka par normu (75 mm).

Augusta vidējā gaisa temperatūra: 17.9 °C, kas bija par 1.9 °C augstāka par normu (16.0 °C). Vidējā nokrišņu summa nokritās līdz 59.8 mm un nesasniedza normu 75 mm.

Neraugoties uz vidējās gaisa temperatūras un nokrišņu daudzuma atšķirībām ziemošanas laikā, 2006. un 2007. gada pavasarī netika konstatēti ziemas kviešu sējumu bojājumi pētījumā (2.3. un 2.4. att.). Vienīgi 2006. gada janvāra mēnesis raksturojās ar ļoti augstu nokrišņu daudzumu 75.2 mm (norma 30 mm).

Visām ziemāju labībām - rudziem, kviešiem, tritikālei, miežiem - būtisks rādītājs ir ziemcietība (izturība pret izslīkšanu, izsušanu, izsalšanu, sniega pelējumu u.c.). Tas lielā mērā ir atkarīgs no tā, vai augi pirms ziemošanas ir norūdījušies. Augos ir jāuzkrājas cukuriem un citiem viegli šķīstošiem savienojumiem, kas būs rezerves barības vielas ziemas periodā. Ja pirms sala 3 - 4 nedēļas dienā temperatūra ir ap + 6 - 10 °C, bet naktī ap 0 °C, un pēc tam seko neliela sala (-2 -5 °C) periods, graudaugi būs ļoti sagatavojušies ziemošanai. 20 cm bieza sniega sega pasargā ziemas kviešus pat no mīnus 30 °C un zemākas temperatūras. Labāko rūdījumu augi iegūst, ja tos iesēj piemērotos termiņos ļoti sagatavotā un mēsloātā augsnē (Bonāts, 1980; Boruks, 1987).



2.4. att. Vidējais nokrišņu daudzums 2005., 2006. un 2007. gados, mm (pēc Vecauces Metpoles datiem un ilggadīgie novērojumi pēc Dobeles HMS).

Dobeles rajona klimatiskie apstākļi nedaudz kontinentālāki nekā pārējā Latvijas teritorijā. Aktīvo temperatūru (virs 10 °C) summa ir 2000 °C. Bezsalnu periods 135 - 140 dienas. Īsāks tas Kurzemes morēnu pauguraines un līdzenuma daļā. Gada nokrišņu summa 600 - 650 mm (Timbare, Reinfelde, 2007).

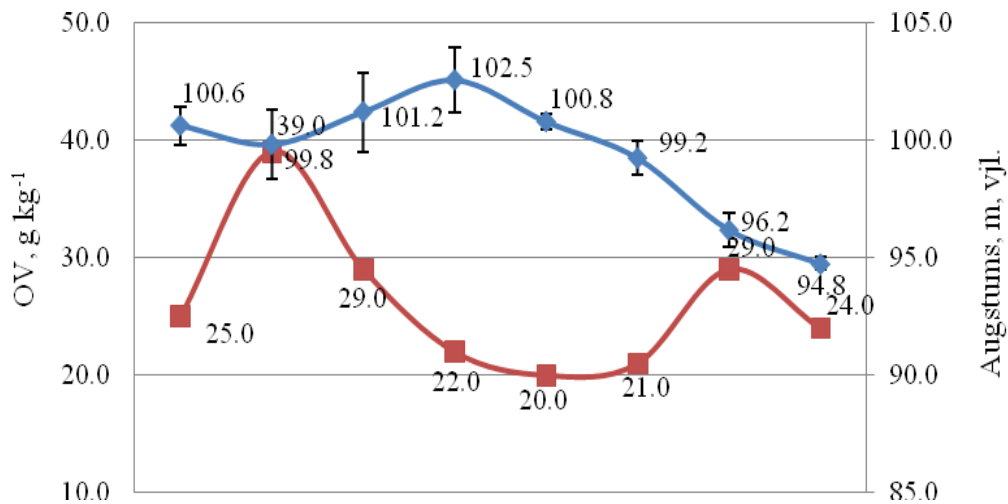
3. PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN ANALĪZE

3.1. Reljefa ietekme uz augsnes agroķīmisko īpašību atšķirībām

3.1.1. 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). Vislabāk situāciju raksturoja trīsdimensiju virsmas attēls, kurā izmantoti novērojumu paralēlo līniju punkti (2. 1. att.).

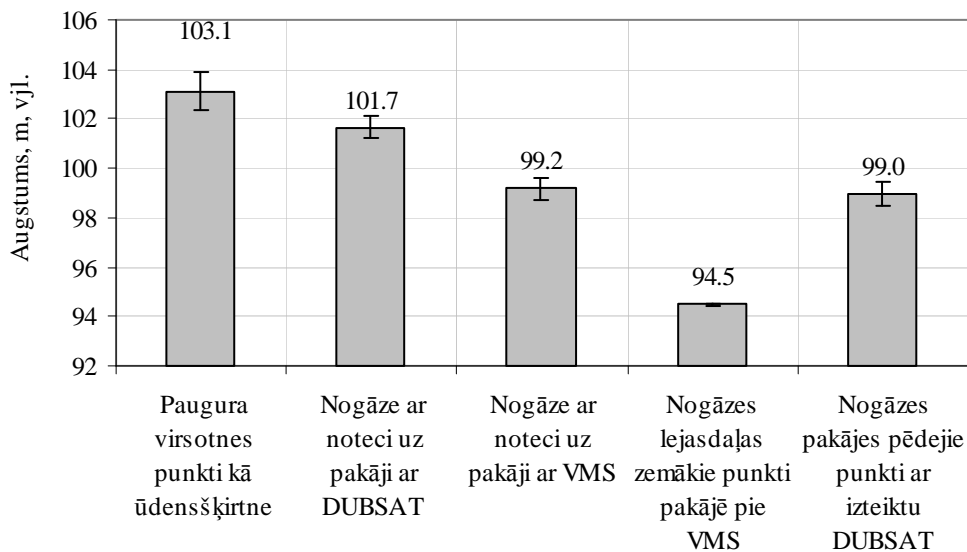
Pētījuma apstākļos uzskatāmi parādījās ilgstošā laika gaitā izveidotās atšķirības augsnes organisko vielu saturam (3.1. un 3.8. att.) un Ap horizonta biezumam, kas saistās ar paugurainēs notiekošajiem augšņu erozijas procesiem.



3.1. att. Punktu augstuma, m, vjl. un organiskās vielas satura, g kg⁻¹, sakarības.

Punktu augstuma starpību galvenā ietekme bija uz ūdens noteces procesiem - reljefa zemākajām vietām, kas parasti rezultējas ilgstošākā laika posmā. Pamatojoties uz ieteikumiem (Augsnes diagnostika, 2008) par platību grupējuma kritērijiem pēc ūdens noteces procesiem, pētījuma platībā bija iespējams izdalīt 5 grupas (3.2. att.).

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.



Noteces punktu izvietojums

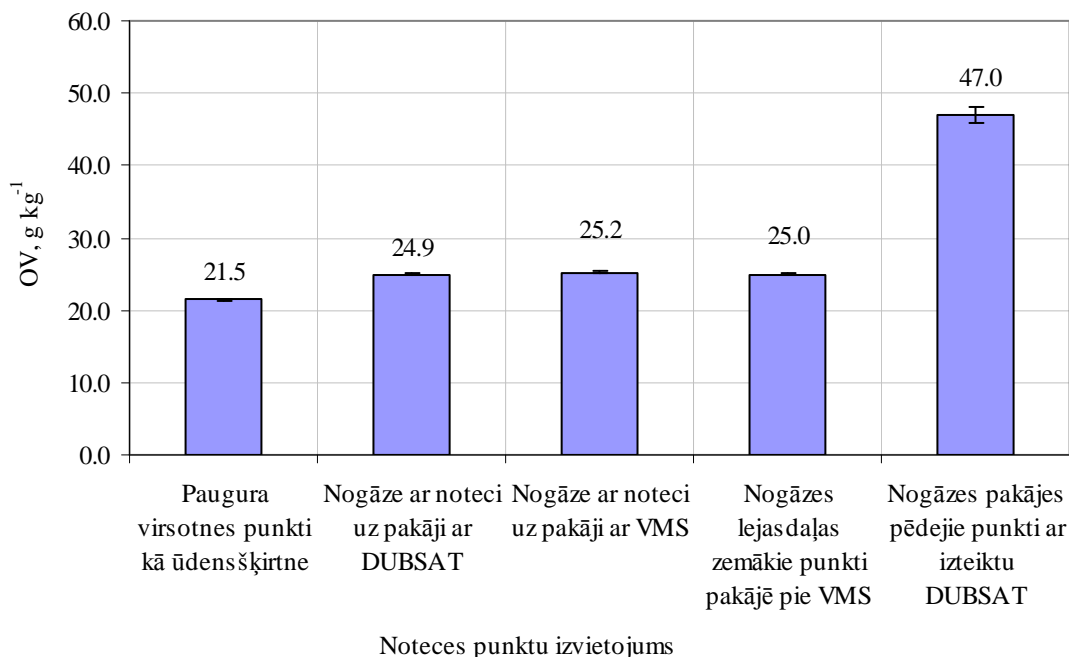
3.2. att. Punktu augstuma m, vjl. raksturojums, ūdens noteces grupās.

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

Viens no galvenajiem augsnes auglību raksturojošiem rādītājiem ir organisko vielu saturs. Jo no organisko vielu satura augsnē ir atkarīgi augu barības vielu krājumi, augsnes adsorbcijas spēja, augsnes fizikālās un bioloģiskās īpašības. Auglīgās velēnu karbonātu augsnes, salīdzinot ar velēnu podzolētajām, ir bagātākas ar organiskajām vielām. Vidējais organisko vielu saturs tajās, atkarībā no augsnes granulometriskā sastāva, ir no 20.0 - 21.0 g kg⁻¹. Palielināta mitruma ietekmē velēnu gleja un velēnu podzolētajās gleja augsnēs notiek pastiprināta organiskās masas uzkrāšanās, vidējais organisko vielu saturs šajās augsnēs ir robežās no 25.0 - 31.0 g kg⁻¹ (Skromanis, Reinfelde, Timbare, 1994). Tas arī apstiprinās konkrētajā pētījumā, jo paugura virsotnē dominē tipiskā velēnu karbonātaugsne un OV saturs 21.5 g kg⁻¹, bet nogāzes lejasdaļā - trūdaini kūdrainā glejaugsne ar organisko vielu saturu 25.0 - 47.0 g kg⁻¹.

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. To var skaidrot ar atšķirīgiem augsnes tipiem - trūdaini kūdrainā glejaugsne nogāzes pakājē, bet tipiskā velēnu karbonātaugsne paugura virsotnē. 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 (3.3. att.).

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. Šajā vietā tas bija divreiz augstāks, nekā paugura virsotnes punktos, kur arī bija lielāks mitruma saturs - mikroieplaka, kas vēl vairāk veicināja augsnes neviendabīgumu. Arī izkliede nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci bija vislielākā starp ūdens noteces punktu izvietojuma grupām, jo paaugstinātā mitruma dēļ laukā bija izveidojušies atšķirīgi augsnes tipi.

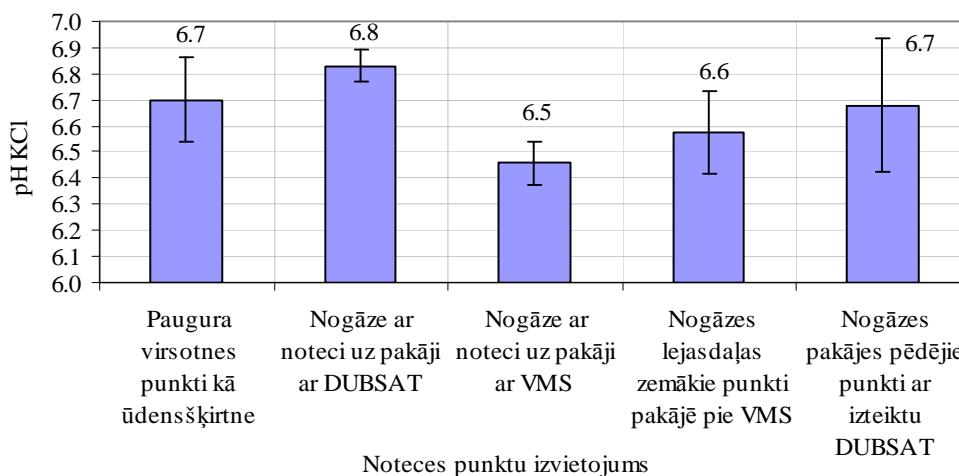


3.3. att. Organisko vielu saturs, g kg⁻¹, 0 - 20 cm augsnes slānī raksturojums ūdens noteces grupās.

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

3.1.2. 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 (3.4. att.). Tās bija arī vienīgās konstatētās būtiskās starpības.



3.4. att. Augsnes reakcijas, 0 - 20 cm augsnes slānī raksturojums ūdens noteces grupās.

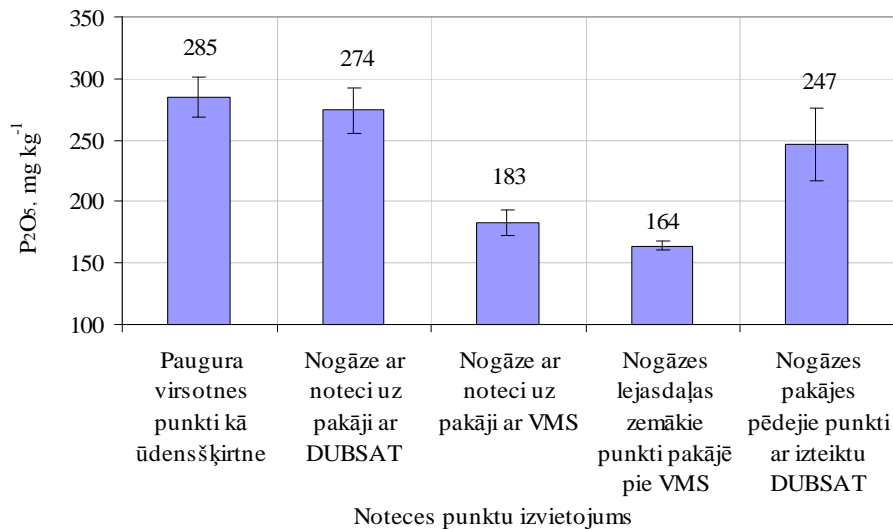
Apzīmējumi: DUBSAT - dubultsatece; VMS - vaļējā meliorācijas sistēma.

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.

3.1.3. 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 (3.5. att.).



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

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

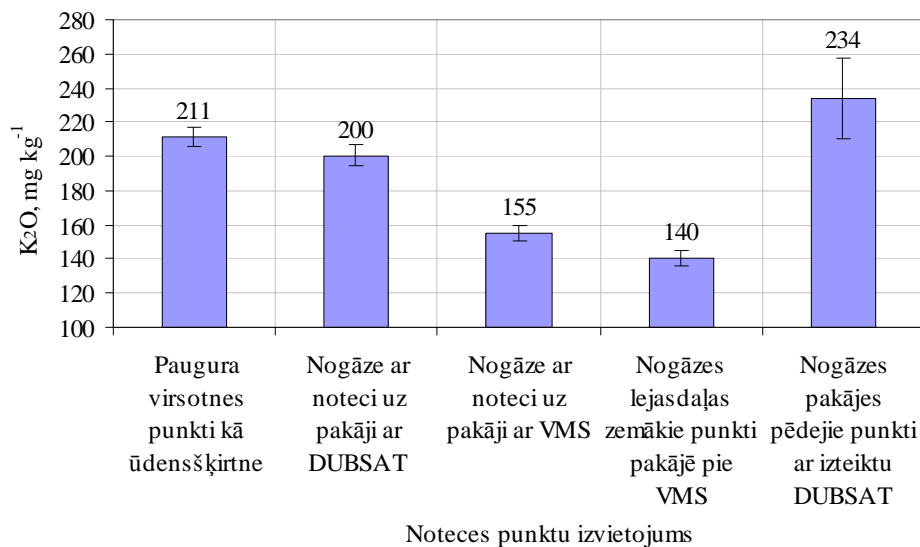
Latvijas augsnes pēc savas izcelsmes ir nabadzīgas ar minerālajām augu barības vielām, it sevišķi ar fosforu un slāpekli. Augi fosforu izmanto kā no minerālajiem, tā arī no organiskajiem savienojumiem (Skromanis, Reinfelds, Timbare, 1994).

Augiem izmantojamais fosfors ir viens no nozīmīgākajiem augsnes parametriem, kas nosaka graudu ražu: $R^2 = 0.45$. Determinācijas koeficients rāda, ka 45% no kopējās labību graudu ražu izkliedes var izskaidrot ar augiem izmantojamā fosfora atšķirībām (Vrindts, Reyniers, Darius et al., 2003).

3.1.4. 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

K₂O saturs - 140 mg kg⁻¹ augsnes 0 - 20 cm slānī konstatēts nogāzes lejasdaļas zemākajos punktos pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas (3.6. att.).



3.6. att. Kālija satura, mg kg⁻¹, 0 - 20 cm augsnes slānī raksturojums ūdens noteces grupās.

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

Smaga granulometriskā sastāva augsnēs, kas bagātas ar māla daļiņām, augi visumā ir labāk nodrošināti ar kāliju nekā viegla granulometriskā sastāva augsnēs, jo smagajās augsnēs salīdzinājumā ar vieglajām augsnēm ir daudz vairāk grūti apmaināmā kālija, kas potenciāli spējīgs pāriet apmaināmajā kālijā (Tisdale, Nelson, Beaton et al., 1993). 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, kas pētījumā raksturojās arī ar vislielāko izkliedi - nogāzes pakājes pēdejie punkti ar izteiktu dubultsateci. 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.

Literatūrā norādīts, ka erozijas produkti ne vien atšķiras pēc novietojuma reljefā, bet tiem ir arī krasi diferencētas ķīmiskās īpašības un granulometriskais sastāvs. Augu uzturvielas pieaug virzienā pa nogāzi uz leju, līdzienā virsotnē K₂O 106, bet P₂O₅ 125 mg kg⁻¹ un augsnes daļiņas < 0.01 mm 7.6%; 14° stāvā nogāzē K₂O 50, bet P₂O₅ 90 mg kg⁻¹ un < 0.01 mm 5.3%; nogāzes pakājē K₂O 40, bet P₂O₅ 70 mg kg⁻¹ un < 0.01 mm 8.1%; noaru kāplē K₂O 50, bet P₂O₅ 60 mg kg⁻¹ un < 0.01 mm 10.0%; pārpurvota ieplaka K₂O 87, bet P₂O₅ 27 mg kg⁻¹ un < 0.01 mm 28.6%. Minētā tendence raksturīga tikai agrotehniskās erozijas produktiem, kas pārvietošanās un akumulācijas procesā virsējās noteces ietekmē tiek atduļķoti. Līdz ar virsējo noteci ūdens erozijas produkti, kas satur augu uzturvielu galveno masu, tiek aizskaloti un nogulsnēti starppauguru ieplakā (Stalbovs, 1974). Konkrētajā pētījumā tas neapstiprinājās, iespējams to var skaidrot ar fosfora zemo mobilitāti augsnē. Diemžēl autors savā darbā nebija norādījis kāda bija augsnes reakcija. Fosfors augsnē atrodas gan augsnes organiskajā, gan minerālajā daļā un tas ir atkarīgs no organisko vielu satura un augsnes

granulometriskā sastāva. Ūdens noteces grupās, kurās bija zemāka augsnes reakcija bija arī zemāks fosfora saturs.

Kopsavilkums. Reljefa ietekme uz augsnes agroķīmiskajām īpašībām pētījuma laukā bija krasi atšķirīga. Augiem izmantojamā P_2O_5 saturs būtiski augstāks bija paugura virsotnē, savukārt organisko vielu un K_2O saturs - nogāzes pakājē ar izteiktu dubultsateci, bet augsnes reakcija - nogāzē ar noteci uz pakāji ar dubultsateci.

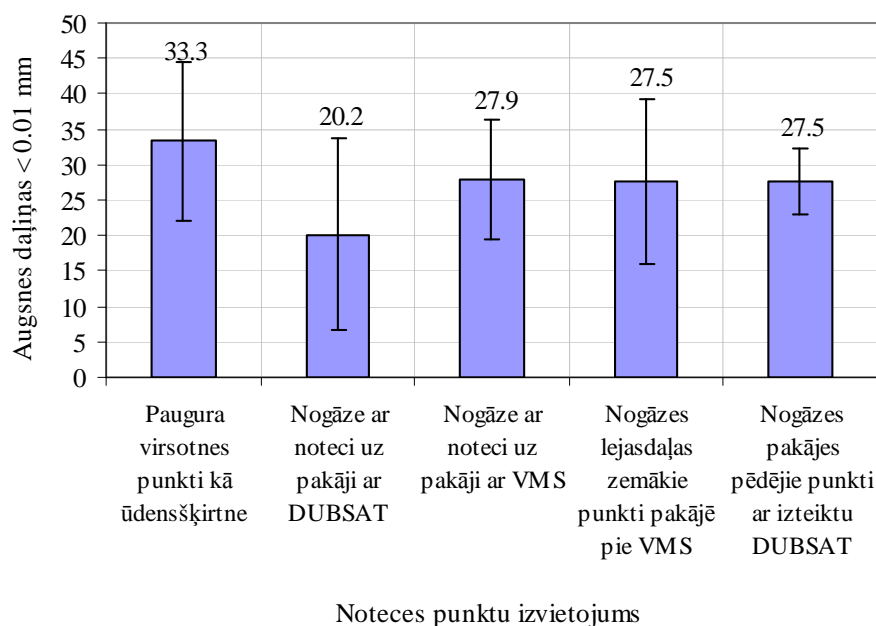
3.2. Reljefa ietekme uz augsnes agrofizikālo īpašību atšķirībām

3.2.1. 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 (3.7. att.).

Augsnes granulometriskais sastāvs ietekmē fosfora uzņemšanu un iestrādātā mēslojuma efektivitāti. Pieaugot māla daļiņu saturam augsnē, pieaug arī fosfora fiksācija. Literatūrā norādīts, ka ūdens erozijas produktos augsnes daļiņu < 0.01 mm daudzums salīdzinājumā ar neerodēto pauguru virsotni palielinājies 3.7 reizes, bet salīdzinājumā ar agrotehniskās erozijas produktiem - tikai 2.9 reizes. Šie skaitļi rāda, ka ūdens erozijas produktu akumulācija daļēji noris arī noaru kāplē, bet, ņemot vērā, ka augsnes daļiņu < 0.01 daudzums ir palielinājies tikai no 7.6 līdz 10%, var secināt, ka ūdens erozijas produktu īpatsvars kāplē nav liels (Stalbovs, 1974).

Literatūrā norādīts, ka augsnēs ar paaugstinātu daļiņu, kuras < 0.01 mm un organisko vielu saturu ir augstāka augsnes adsorbcijas kapacitāte (AAK). Vienāda granulometriskā sastāva augsnēs ar skābu vides reakciju AAK ir mazāka nekā neitrālās augsnēs (Colemann, Weld, McCracken, 1959; Skromanis, Reinfelde, Timbare, 1994).

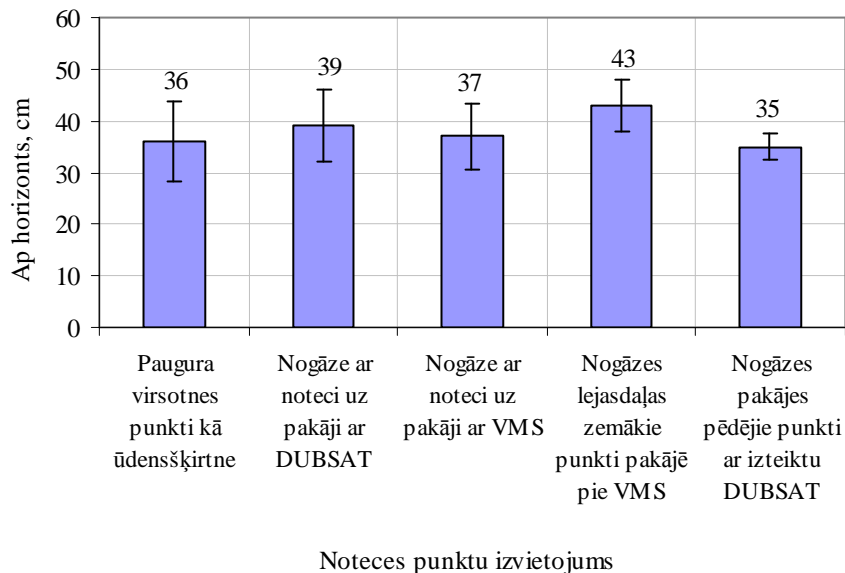


3.7. att. Augsnes daļiņu < 0.01 mm raksturojums ūdens noteces grupās.

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

3.2.2. 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 (3.8. att.).



3.8. att. Humusa akumulācijas horizonta, cm, raksturojums ūdens noteces grupās.
Apzīmējumi: DUBSAT - dubultsatece; VMS - vaļējā meliorācijas sistēma.

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 biezumā 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.

3.2.3. Augsnes mitruma saturs

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 (3.1. tab.). 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 $r_{yx} = -0.409$ (korelācijas koeficients).

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

Rezultējošās pazīmes (y)	Augsnes slānī 0 - 5 cm		Augsnes slānī 20 - 25 cm	
	r_{yx}	P vērtība	r_{yx}	P vērtība
ietekmes vērtējums 2006. gada ražai				
Ziemas kviešu auga masa	-0.278	0.095	-0.233	0.164
Galveno sakņu garums	-0.401*	0.013	-0.409*	0.011
ietekmes vērtējums 2007. gada ražai				
Ziemas kviešu auga masa	-0.100	0.499	-0.178	0.229
Galveno sakņu garums	-0.108	0.469	-0.010	0.942

Apzīmējumi: * $P < 0.05$

Šajā gadījumā ir agronomiski sarežģīti negatīvām, bet būtiskām sakarībām 2006. gada ražas veidošanās procesā rast pamatojumu, ja analīzes procesā netiek iesaistīts sējas dziļums. 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 $r_{yx} = 0.371$, $r_{yx} = 0.469$ (3.2. tab.).

Literatūrā norādīts, lai iegūtu labu ražu, labībām augsnē ir jābūt pietiekamam mitruma saturam dīgšanas - cerošanas laikā rudenī un cerošanas - stiebrošanas sākumā pavasarī. Vēlāk neliels ūdens deficīts augsnē ir pat vēlams (Ruža, 1996), kas arī apstiprinājās pētījuma laikā. To pamato pētījuma laikā aprēķinātie hidrotermiskie koeficienti. 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 (2.2. tab.). Arī pavasarī atsākoties veģetācijai 2006. gada aprīlī HTK 1.17 - mitrums pietiekams (2.2. tab.). 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.

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

Rezultējošās pazīmes (y)	Augsnes slānī 0 - 5 cm		Augsnes slānī 20 - 25 cm		Augsnes slānī 40 - 45 cm	
	r_{yx}	P vērtība	r_{yx}	P vērtība	r_{yx}	P vērtība
Cerošanas koeficients	0.312*	0.0325	0.196	0.1869	0.198	0.1827
Ziemas kviešu auga masa	0.038	0.7968	0.038	0.7992	-0.024	0.8723
Sakņu masa	-0.096	0.5201	-0.140	0.3466	-0.068	0.6504
Karoglapas laukums	0.464**	0.0010	0.535**	0.0001	0.483**	0.0006
Ziemas kviešu raža	0.471**	0.0043	0.371*	0.0284	0.469**	0.0045

Apzīmējumi: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

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 $r_{yx} = 0.299$, $r_{yx} = 0.340$ ($P < 0.05$) (3.3. tab.).

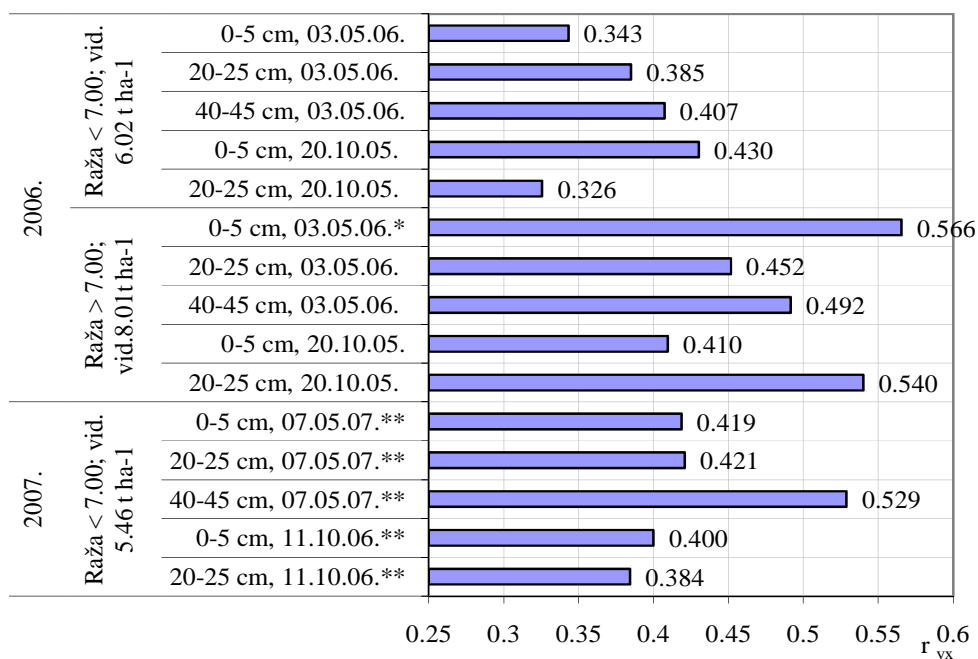
3.3. tabula

Augsnes mitruma (x) ietekmes vērtējums ziemas kviešiem 2007. gadā

Rezultējošās pazīmes (y)	Augsnes slānī 0 - 5 cm		Augsnes slānī 20 - 25 cm		Augsnes slānī 40 - 45 cm	
	r_{yx}	P vērtība	r_{yx}	P vērtība	r_{yx}	P vērtība
Cerošanas koeficients	0.056	0.7072	0.039	0.7919	0.178	0.2293
Ziemas kviešu auga masa	0.161	0.2786	0.179	0.2276	0.244	0.0978
Sakņu masa	0.233	0.1147	0.268	0.0683	0.318*	0.0294
Karoglapas laukums	0.419**	0.0033	0.421**	0.0032	0.529**	0.0001
Ziemas kviešu raža	0.228	0.1223	0.299*	0.0407	0.340*	0.0192

Apzīmējumi: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

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 (3.9. att.). Tas pamato to, ka kultūraugiem nozīmīgs ir mitrums ne vien aramkārtā, bet arī zemaramkārtā.



3.9. att. Augsnes mitruma (x) sakarības ar ziemas kviešu karoglapas laukumu (y) un to izmaiņas atkarībā no ziemas kviešu ražu līmeņiem: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

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 mm un organisko vielu satura atšķirībām būtiska ietekme uz augsnes mitrumu visos augsnes slāņos gan rudenī, gan pavasarī bija tieši organisko vielu saturam (3.4. tab.). Tas sakrīt ar citu pētnieku sacīto, ka augsnes zemaramkārtā parasti tiek noteikta būtiska korelācija starp augsnes mitrumu un organiskās vielas saturu (Roy, Shibusawa, Okayama, 2005). Konstatēts, ka būtiska ietekme uz augsnes mitrumu rudenī 20 - 25 cm augsnes slānī bija augsnes daļiņu < 0.01 mm saturam - $r_{yx} = 0.202$ un pavasarī Ap horizonta biezumam - $r_{yx} = 0.243$.

3.4. tabula

Augsnes neviendabīguma rādītāju (x) un augsnes mitruma (y) korelatīvās sakarības 2006. un 2007. gadā

Augsnes neviendabīguma rādītāji (x)	Augsnes mitrums rudenī, AS 11-12		Augsnes mitrums pavasarī, AS 25-29		
	augsnis slāņos, cm				
	0 - 5	20 - 25	0 - 5	20 - 25	40 - 45
Augstums ($x1$)	-0.239*	-0.356*	-0.402*	-0.452*	-0.487*
Ap horizonts ($x2$)	-0.000	0.001	0.168	0.243*	0.156
Organisko vielu saturs ($x3$)	0.387*	0.530*	0.531*	0.513*	0.640*
Augsnes daļiņas < 0.01 mm ($x4$)	0.113	0.202*	-0.072	-0.139	-0.109

Apzīmējumi: * $P < 0.05$

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 ($x1$) ietekme, konstatēts, ka mainīga organisko vielu satura ietekme uz augsnes mitruma atšķirībām 2006. un 2007. gada ražai nemazinās (3.5. tab.).

**Ap horizonta biezuma (x_2) un organiskās vielas satura (x_3) ietekmes izmaiņas
augšnes mitruma (y) atšķirību veidošanā, izslēdzot augstuma virs jūras līmeņa (x_1)
ietekmi**

Augsnes neviendabīguma rādītāji (x)	Korelāciju raksturlielumi	Augsnes mitrums rudenī, AS 11-12		Augsnes mitrums pavasarī, AS 25-29		
		augšnes slāņos, cm				
		0 - 5	20 - 25	0 - 5	20 - 25	40 - 45
Ap horizonts (x_2)	$r_{yx_2 \cdot x_1}$	-0.040	-0.059	0.116	0.195	0.091
OV saturs (x_3)	$r_{yx_3 \cdot x_1}$	0.328*	0.454*	0.443*	0.409*	0.559*

Apzīmējumi: * $P < 0.05$

Punktu augstuma virs jūras līmeņa negatīvā ietekme uz augšnes mitruma atšķirībām bija augstāka 2006. gada apstākļos ar pazeminātu nokrišņu daudzumu. 2006. gada pavasarī, organisko vielu saturs ietekme uz augšnes mitruma atšķirībām bija lielāka visos augšnes slāņos nekā rudenī, bet 2007. gada apstākļos - pavasarī augšnes slānī no 40 līdz 45 cm (3.6. tab.).

**Punktu augstuma virs jūras līmeņa un organiskās vielas satura (x) ietekme
augšnes mitruma (y) atšķirību veidošanā 2006. un 2007. gada ražai**

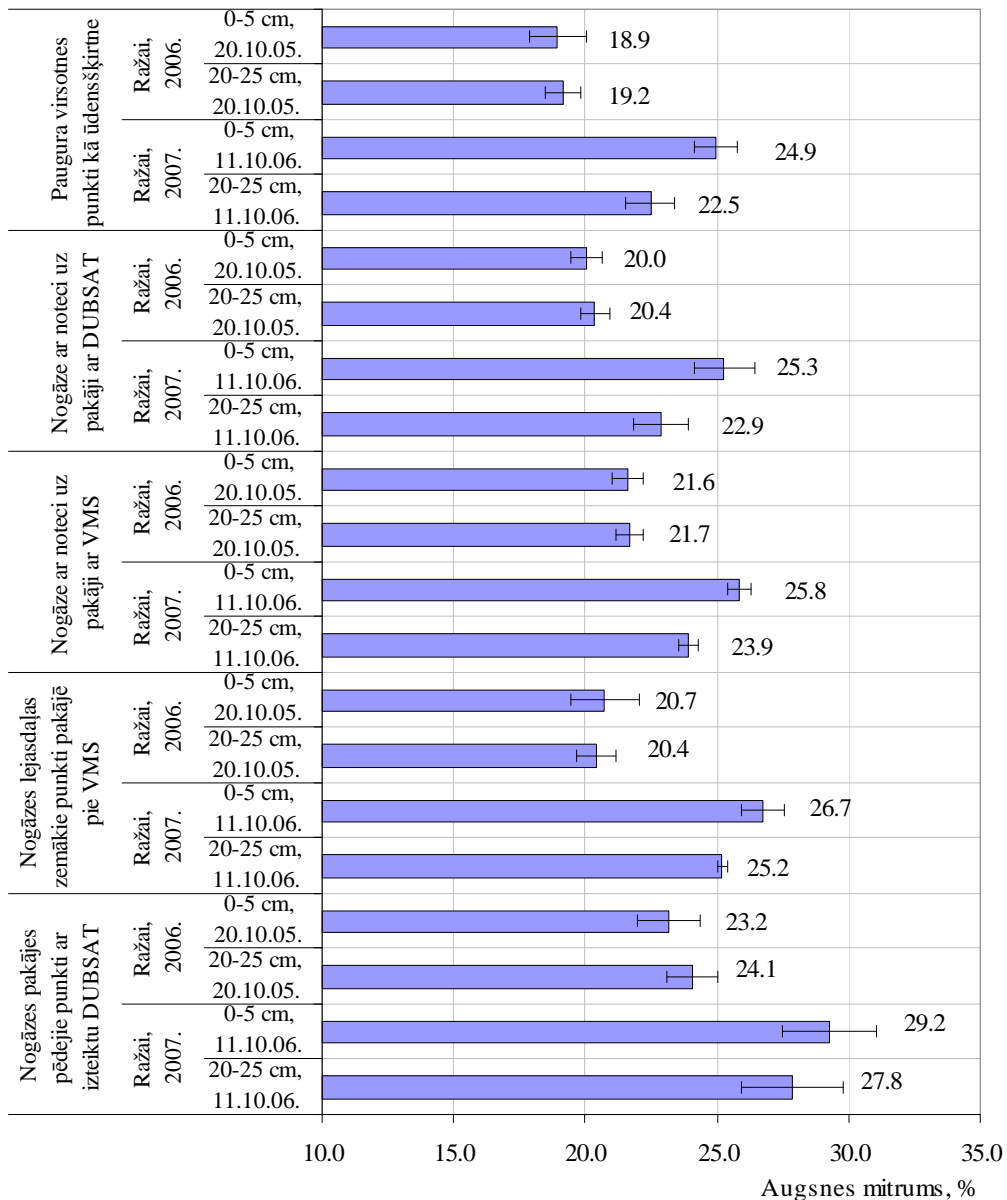
Augsnes slāņi, mitrums (y) un tā noteikšanas laiks	Augsnes neviendabīguma rādītāji (x)			
	2006. g. ražai		2007. g. ražai	
	augstums	OV saturs	augstums	OV saturs
0 - 5 cm, rudenī	-0.351*	0.523**	-0.304*	0.533**
20 - 25 cm, rudenī	-0.371*	0.573**	-0.436**	0.631**
0 - 5 cm, pavasarī	-0.455**	0.684**	-0.395**	0.429**
20 - 25 cm, pavasarī	-0.515**	0.600**	-0.420**	0.462**
40 - 45 cm, pavasarī	-0.523**	0.656**	-0.512**	0.704**

Apzīmējumi: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

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

Virszemes ūdens noteces sadalījuma vienmērību ļoti nosaka lauka mikroreljefa izlīdzinātība, iepriekš veiktās augšnes apstrādes izpilde un tās virziena saskaņošana ar nogāzes slīpumu. It sevišķi tas sakāms par lietu karstās, saulainās vasaras dienās. Liels nokrišņu daudzums īsā laika periodā tiks sadalīts vairāk vai mazāk vienmērīgi, ja: lauka mikroreljefs ir izlīdzināts, kas panākams ar virsmas planēšanu un šļūkšanu; lauks nav pievelts ar gludo veltni, it sevišķi smagākās augsnēs; augšnes pirmssējas un sējas gaitā izveidotās riteņu sliedes ir šķērsām nogāžu slīpuma virzienam. Pretēja darbība krasi palielina erozijas procesus. Augšnes produktīvā mitruma izmantošanas iespējas ļoti atkarīgas no kultūraugu sakņu sistēmas attīstības dinamikas. Kultūraugiem nozīmīgs ir tieši sākotnējās attīstības posms, jo nereti Latvijā aprīļa beigās un maija sākumā ir izteikti maz nokrišņu, augšnes virskārta ātri izžūst (Lapiņš, 1997; Riekstiņš, 2008).

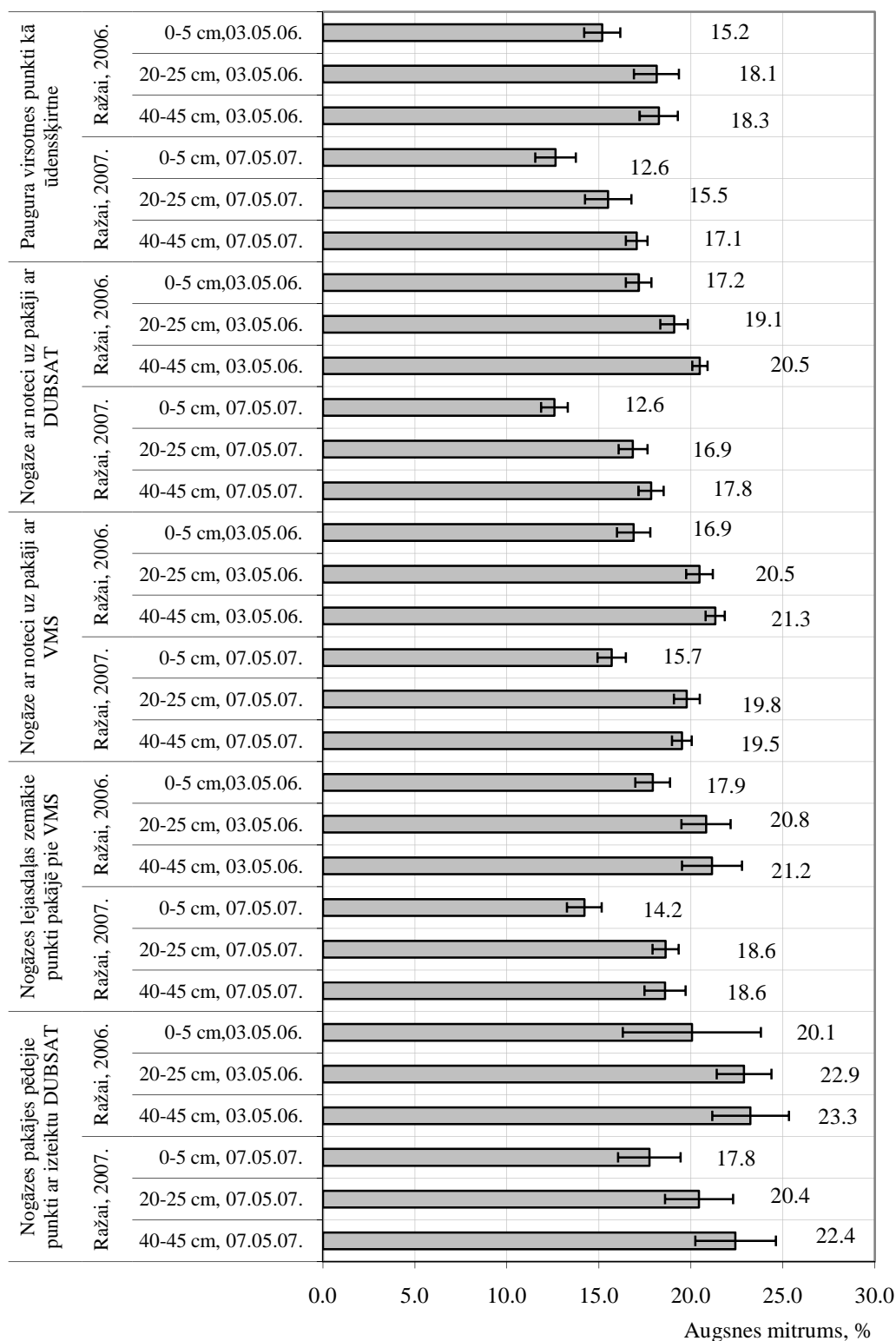
Konstatēts, ka visās ūdens noteces grupās 2005. gada rudenī abos augsnes slāņos bija zems, < 25% augsnes mitrums, pie kam būtiski mazāks ($P < 0.05$) tas bija paugura virsotnes punktos - 18.9 un 19.2%, bet būtiski pieauga nogāzes virzienā un nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci bija visaugstākais - 23.2 un 24.1% (3.10. att.). 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. Mitruma saturs < 25% pamatojums: Klovāns, Kroģere, 1978.



3.10. att. Augsnes mitruma, %, raksturojums 2005. un 2006. gada rudenī 0 - 5 un 20 - 25 cm augsnes slānī ūdens noteces grupās.

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

Augsnes mitruma atšķirības 2005. un 2006. gada rudenī un 2006. un 2007. gada pavasarī mitruma noteikšanas slāņos liecināja, ka ar augstāku mitruma saturu augsnē raksturojās 2006. gada pavasaris (3.11. att.).



3.11. att. Augsnes mitruma, %, raksturojums 2006. un 2007. gada pavasarī 0 - 5, 20 - 25 un 40 - 45 cm augsnes slānī ūdens noteces grupās.

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

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% (3.11. att.).

Kurpnieku laukā 2006. gada pavasarī noteiktais augsnes mitruma saturs 0 - 45 cm slānī bija augstāks nekā 2007. gada pavasarī, bet abos pētījuma gados tas nerasniedza 25% (Dinaburga, Lapins, Berzins et al., 2008).

3.2.4. Augsnes penetrometriskā pretestība

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 $r_{yx} = -0.419$ (3.7. tab.). 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 - $r_{yx} = -0.193$ ($P < 0.05$).

3.7. tabula

Augsnes neviendabīguma rādītāju (x) ietekme augsnes penetrometriskās pretestības atšķirību (y) veidošanā ziemas kviešu sējumos rudenī 2006. gada ražai

Augsnes neviendabīguma rādītāji (x)	Pretestība, 0 - 10 cm, 20.10.2005.		Pretestība, 10 - 20 cm, 20.10.2005.	
	r_{yx}	P vērtība	r_{yx}	P vērtība
Augstums (x1)	0.094	0.1836	0.247**	0.0082
Ap horizonts (x2)	-0.123	0.1190	-0.090	0.1922
Organisko vielu saturs (x3)	0.004	0.4832	-0.254**	0.0067
Augsnes daļiņas < 0.01 mm (x4)	-0.082	0.2146	-0.127	0.1118
Augsnes mitrums 0 - 5 cm (x5)	-0.505**	0.0000	-0.108	0.1500
Augsnes mitrums 20 - 25 cm (x6)	-0.419**	0.0000	-0.193*	0.0308

Apzīmējumi: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

Parciālās korelācijas aprēķini (3.8. tab.) 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 $P < 0.05$ (3.7. un 3.8. tab.).

3.8. tabula

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

Augsnes neviendabīguma rādītāji (x)	Korelāciju raksturlielumi	Pretestība, 0 - 10 cm, 20.10.2005.	Pretestība, 10 - 20 cm, 20.10.2005.
Ap horizonts (x2)	$r_{yx2 \cdot x1}$	-0.109	-0.054
Organisko vielu saturs (x3)	$r_{yx3 \cdot x1}$	0.045	-0.177*
Augsnes daļiņas < 0.01 mm (x4)	$r_{yx4 \cdot x1}$	-0.085	-0.137
Augsnes mitrums 0 - 5 cm (x5)	$r_{yx5 \cdot x1}$	-0.499**	-0.052
Augsnes mitrums 20 - 25 cm (x6)	$r_{yx6 \cdot x1}$	-0.415**	-0.116

Apzīmējumi: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

Sakarību ar penetrometrisko pretestību ražas gadu pavasarī vērtējumā ņemts vērā, ka organisko vielu saturs un augsnes daļiņas < 0.01 mm bija noteiktas aramkārtā, bet galvenā nozīme pavasarī ir zemaramkārtai.

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 (3.9. tab.), kā arī augsnes mitruma 20 - 25 cm slānī būtisku negatīvu ietekmi $r_{yx} = -0.180$.

3.9. tabula

Augsnes neviendabīguma rādītāju (x) ietekme augsnes penetrometriskās pretestības atšķirību (y) veidošanā ziemas kviešu sējumos zemaramkārtā pavasarī 2006. gada ražai

Augsnes neviendabīguma rādītāji (x)	Pretestība, 20 - 30 cm, 03.05.2006.	Pretestība, 30 - 40 cm, 03.05.2006.	Pretestība, 40 - 50 cm, 03.05.2006.
	r_{yx}	r_{yx}	r_{yx}
Augstums (x1)	0.294**	0.243**	0.234*
Ap horizonts (x2)	-0.102	-0.033	-0.006
Augsnes mitrums 0 - 5 cm (x5)	-0.152	-0.005	0.014
Augsnes mitrums 20 - 25 cm (x6)	-0.180*	-0.009	0.045

Apzīmējumi: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

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 biezumu un augsnes penetrometriskās pretestības atšķirībām (3.10. tab.).

3.10. tabula

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

Augsnes neviendabīguma rādītāji (x)	Korelāciju raksturlielumi	Pretestība, 20 - 30 cm, 03.05.2006.	Pretestība, 30 - 40 cm, 03.05.2006.	Pretestība, 40 - 50 cm, 03.05.2006.
Ap horizonts ($x2$)	$r_{yx2 \cdot x1}$	-0.059	0.004	0.032
Augsnes mitrums 0 - 5 cm ($x5$)	$r_{yx5 \cdot x1}$	-0.022	0.120	0.138
Augsnes mitrums 20 - 25 cm ($x6$)	$r_{yx6 \cdot x1}$	-0.043	0.128	0.188*

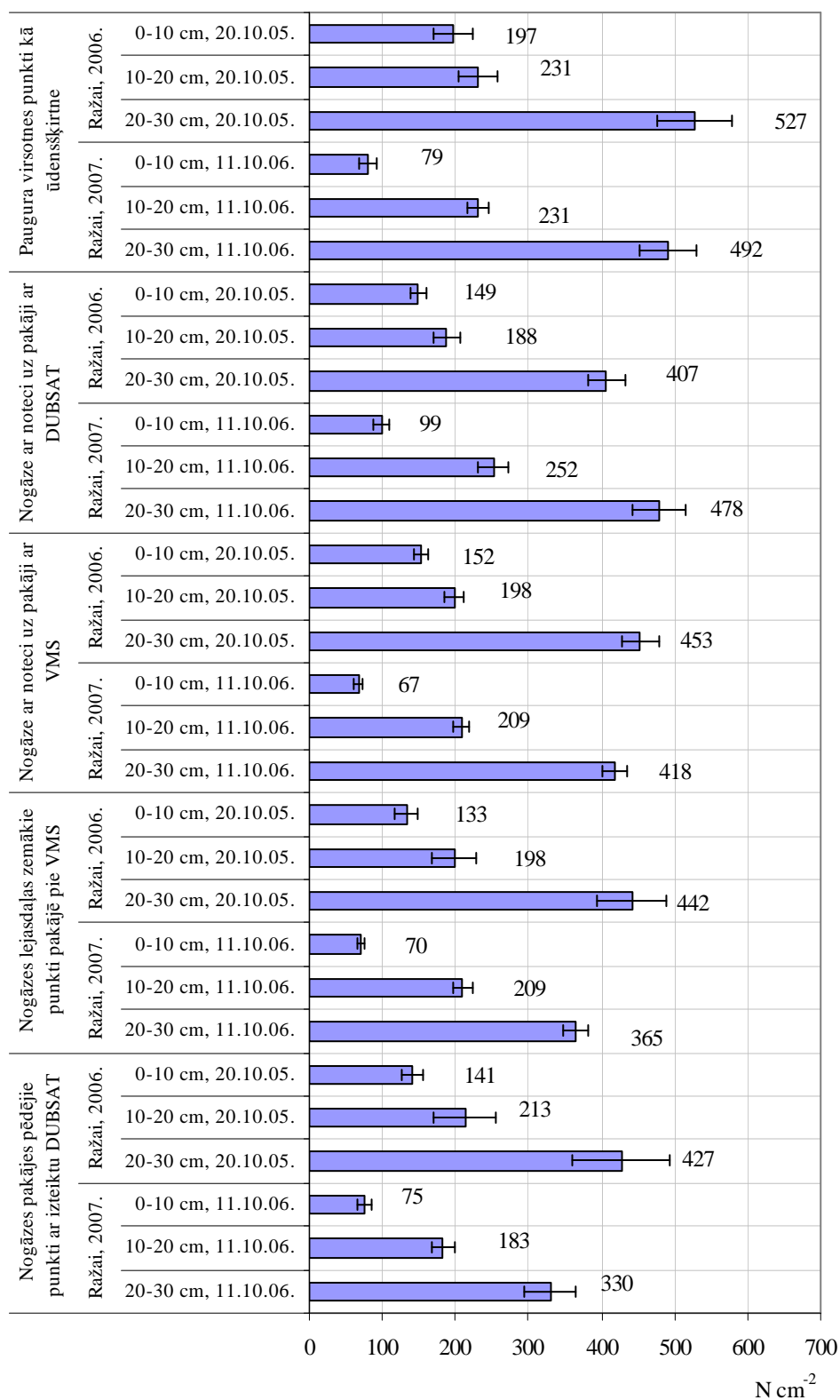
Apzīmējumi: * $P < 0.05$

No agronomiskā viedokļa augsnes penetrometrisko pretestību iespējams regulēt visos augsnes slāņos tikai līdz ziemas kviešu sējai ar augsnes pamatapstrādes un pirmssējas apstrādes dziļuma un paņēmieni izvēli. Ziemas kviešu sējumos augsnes penetrometriskās pretestības regulēšana vairs nav iespējama. Tāpēc, ņemot vērā augsnes mitruma atšķirību sezonālītāti, kā arī augsnes mitruma un penetrometriskās pretestības kopējās sakarības (3.11. tab.) jāizvēlas augsnes pretestības noteikšanas laiks lēmumu pieņemšanai par dziļirdināšanu, kad augsnes mitrums zemaramkārtā un vispirms aruma zoles slānī nav lielāks par 20%. To pamato arī iepriekš publicētie pētījuma rezultāti (Lapiņš, Bērziņš, Kopmanis u.c., 2004; Lapins, Berzins, Kopmanis et al., 2005b; Plume, Dinaburga, Kopmanis et al., 2009).

Lietuvā veiktā izmēģinājumā vairāk iezīmējās augsnes penetrometriskās pretestības palielinājums dziļākajos slāņos, t.i. 10 - 15 un 15 - 20 cm dziļumā. Tiešajā augsnes apstrādes sistēmā augsnes penetrometriskā pretestība 0 - 20 cm dziļumā bija divreiz augstāka māla augsnē un 1.7 reizes augstāka smilšmāla augsnē salīdzinot ar konvenciālo augsnes apstrādes sistēmu, lietojot aršanu (Kadžiene, 2009).

Augsnes mitrumam, organisko vielu saturam un Ap horizonta biezumam bija savstarpējas korelatīvas sakarības. To nozīme parādījās arī augsnes penetrometriskās pretestības vērtējumā ūdens noteces grupās (3.12. att.).

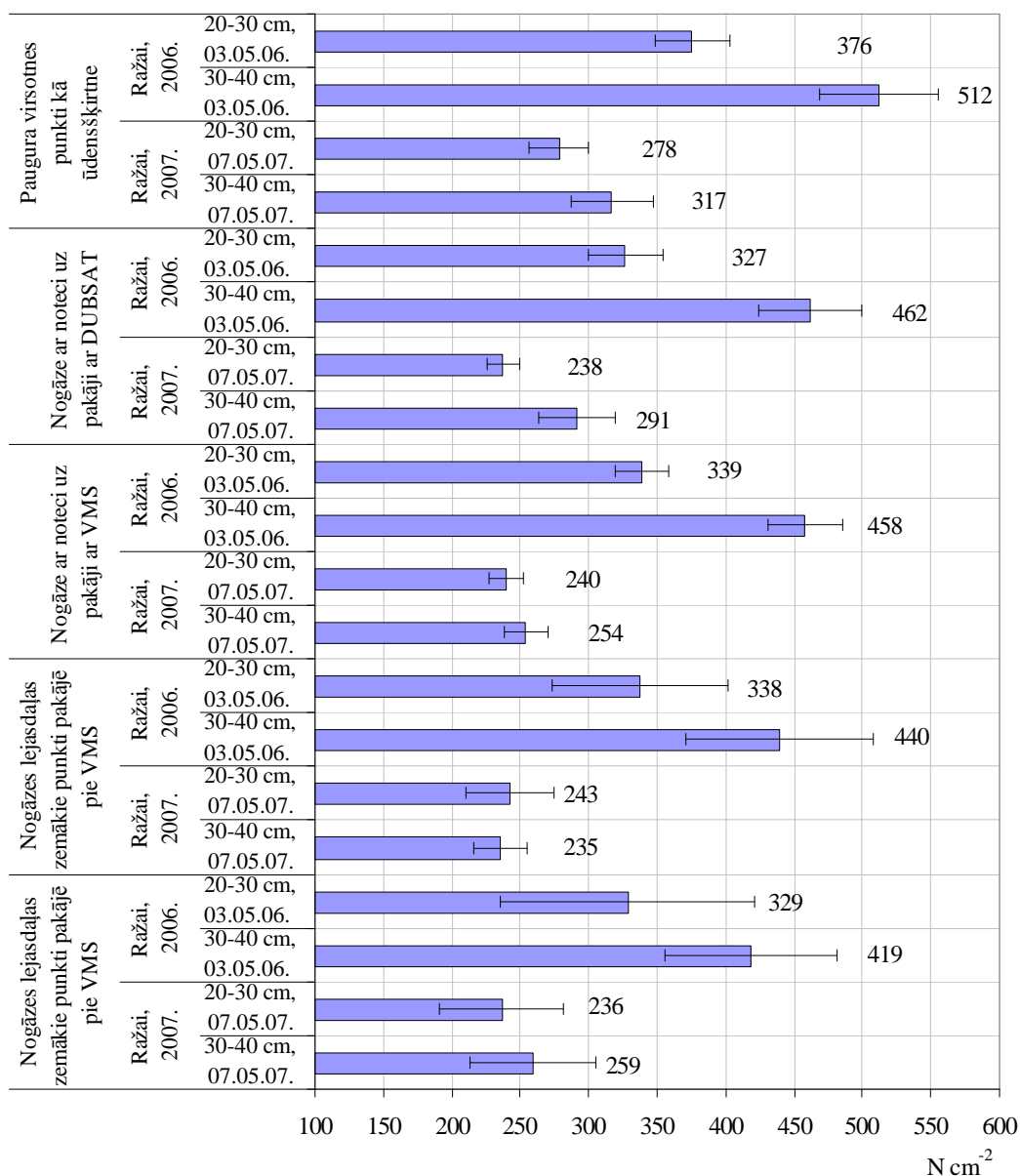
Augsnes penetrometriskā pretestība paugura virsotnes daļā (197 N cm^{-2}), nogāzē ar noteci uz pakāji ar dubultsateci (149 N cm^{-2}) un vaļējo meliorācijas sistēmu (152 N cm^{-2}), nogāzes lejasdaļas zemākajos punktos pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas (133 N cm^{-2}) un nogāzes pakājes pēdējos 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 (3.12. att.).



3.12. att. Augsnes penetrometriskās pretestības, N cm⁻², raksturojums 2005. un 2006. gada rudenī 0 - 10, 20 - 30 un 30 - 40 cm augsnes slānī ūdens noteces grupās. Apzīmējumi: DUBSAT - dubultsatece; VMS - vaļējā meliorācijas sistēma.

Konstatēts, ka 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}) (3.13. att.). Savukārt augsnes slāņos no 0 - 10, 10 - 20 un 40 - 50 cm dziļumā būtiskas atšķirības augsnes penetrometriskās pretestības izmaiņās netika konstatētas.



3.13. att. Augsnes penetrometriskās pretestības, N cm^{-2} , raksturojums 2006. un 2007. gada pavasarī 20 - 30 un 30 - 40 cm augsnes slānī ūdens noteces grupās.

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

Kurpnieku laukā konstatēts, ka palielinātas augsnes zemaramkārtas pretestības virs 600 N cm^{-2} negatīvā ietekme parādās uz ziemas kviešu ražu, pretestību nosakot

pavasārī. Izpildot augsnes dziļirdināšanu 50 cm dziļumā nogāzes virzienā iegūtā ziemas kviešu raža 6.86 t ha^{-1} bija būtiski augstāka, nekā dziļirdināšanu izpildot tikai 35 cm dziļumā un arī nogāzes virzienā (Dinaburga, 2007).

Kontekstā ar iepriekš minēto var secināt, ka augsnes penetrometriskā pretestība pētījuma gados ir samazinājusies, augsnes dziļirdināšana tika veikta 2005. gada augustā un tās 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 (3.11. tab.). 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 ($P < 0.05$; $P < 0.01$).

3.11. tabula

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

Gads	Augsnes slānis cm, augsnes mitruma un pretestības noteikšanas laiks	Bez izslēguma faktora	Ar pretestības ietekmes izslēgumu
2005.	0 - 10, rudenī	0.477**	0.494**
2006.		0.344*	0.357*
2005.	20 - 30, rudenī	0.545**	0.499**
2006.		0.268	0.307*
2006.	0 - 10, pavasarī	0.471**	0.456**
2007.		0.229	0.197
2006.	20 - 30, pavasarī	0.371*	0.257
2007.		0.300*	0.212
2006.	40 - 50, pavasarī	0.469**	0.444**
2007.		0.340*	0.302*

Apzīmējumi: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

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 (3.12. tab.).

Korelāciju sakarības starp ziemas kviešu ražu un augsnes penetrometrisko pretestību ar un bez izslēguma faktora - augsnes mitruma izmantošanu

Gads	Augsnes slānis cm, augsnes mitruma un pretestības noteikšanas laiks	Bez izslēguma faktora	Ar mitruma ietekmes izslēgumu
2005.	0 - 10, rudenī	-0.227	-0.268
2006.		0.134	0.168
2005.	20 - 30, rudenī	-0.385*	-0.300
2006.		-0.088	0.177
2006.	0 - 10, pavasarī	-0.132	-0.017
2007.		-0.120	-0.021
2006.	20 - 30, pavasarī	-0.366*	-0.250
2007.		-0.311*	-0.228
2006.	40 - 50, pavasarī	-0.184	-0.073
2007.		-0.167	-0.029

Apzīmējumi: * $P < 0.05$

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 (3.13. tab.). 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 ($P < 0.01$).

Augsnes mitruma un penetrometriskās pretestības korelatīvās sakarības rudenī

Gads	Augsnes slānis, mitruma un pretestības noteikšanas laiks	Pretestība, 0 - 10 cm	Pretestība, 20 - 30 cm
2006. g. ražai	0 - 5 cm, 20.10.05.	-0.032	-0.291*
	20 - 25 cm, 20.10.05.	-0.067	-0.262
2007. g. ražai	0 - 5 cm, 11.10.06.	-0.066	-0.581**
	20 - 25 cm, 11.10.06.	-0.227	-0.749**

Apzīmējumi: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

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 (3.14. tab.).

Augsnes mitruma un penetrometriskās pretestības korelatīvās sakarības pavasarī

Gads	Augsnes slānis, mitruma un pretestības noteikšanas laiks	Pretestība, 0 - 10 cm	Pretestība, 20 - 30 cm	Pretestība, 40 - 50 cm
2006. g. ražai	0 - 5 cm, 03.05.06.	-0.243	-0.439**	-0.187
	20 - 25 cm, 03.05.06.	-0.353*	-0.341*	-0.161
	40 - 45 cm, 03.05.06.	-0.291*	-0.471**	-0.248
2007. g. ražai	0 - 5 cm, 07.05.07.	-0.442**	-0.270	-0.370*
	20 - 25 cm, 07.05.07.	-0.537**	-0.360*	-0.369*
	40 - 45 cm, 07.05.07.	-0.429**	-0.436**	-0.418**

Apzīmējumi: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

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 (3.14. tab.).

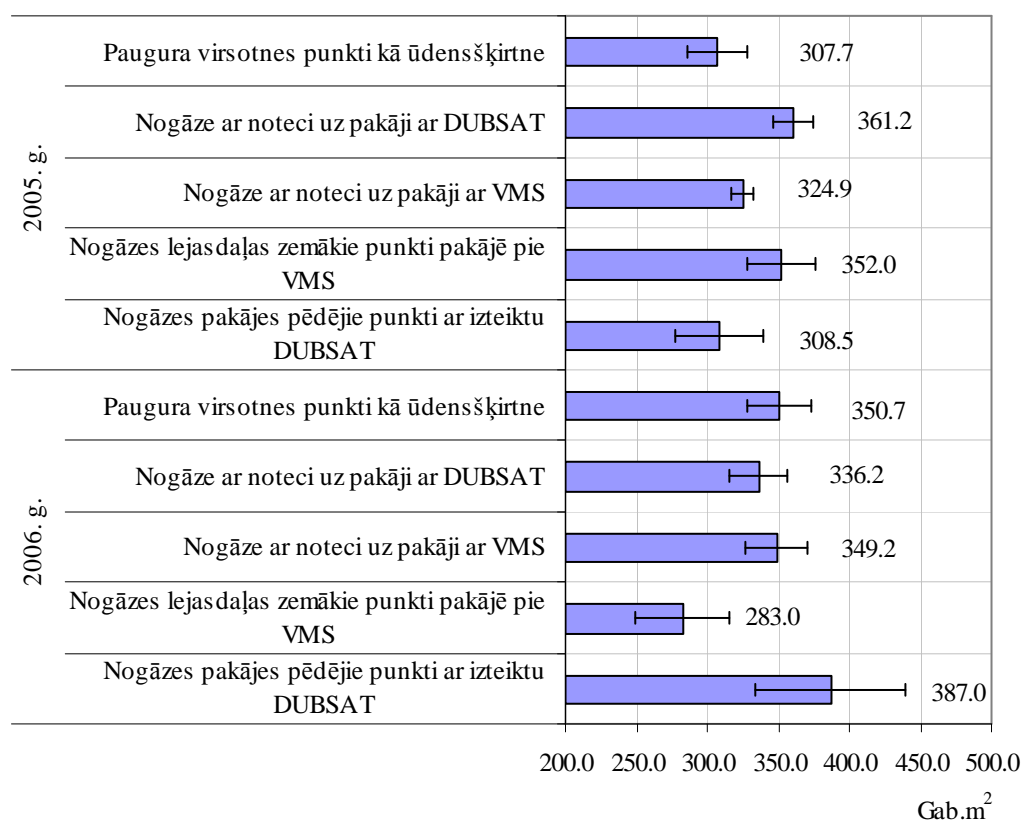
Kopsavilkums. Sarežģīta reljefa ietekme uz augsnes agrofizikālajām īpašībām pētījuma laukā bija krasi atšķirīga. Augsnes daļiņu saturs < 0.01 m būtiski augstāks bija paugura virsotnes punktā, savukārt humusa akumulācijas horizonts - nogāzes lejasdaļas zemāko punktu pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas. Gan augsnes mitruma saturs, gan augsnes penetrometriskā pretestība, kas noteikta sējas gada rudenī un pēc tam pavasaros visās ūdens noteces grupās būtiski lielāka bija 2006. gada rudenī un 2006. gada pavasarī. Būtiska ietekme uz augsnes mitrumu rudenī 20 - 25 cm augsnes slānī bija augsnes daļiņu < 0.01 mm saturam un pavasarī Ap horizonta biezumam. Augsnes penetrometriskās pretestības atšķirību veidošanā ziemas kviešu sējumos rudenī - augsnes virskārtā būtiska negatīva ietekme bija augsnes mitrumam 0 - 5 un 20 - 25 cm augsnes slānī.

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. 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. Savukārt, ja kā izslēguma faktoru izmanto augsnes mitrumu, augsnes penetrometriskās pretestības būtiska ietekme uz ziemas kviešu ražu netika konstatēta. 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 analogā augsnes slānī.

3.3. Ražu veidojošie elementi atšķirīga reljefa apstākļos

3.3.1. 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 (3.14. att.). 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.



3.14. att. Dīgstu skaita, gab. m², raksturojums 2005. un 2006. gada rudenī ūdens noteces grupās.

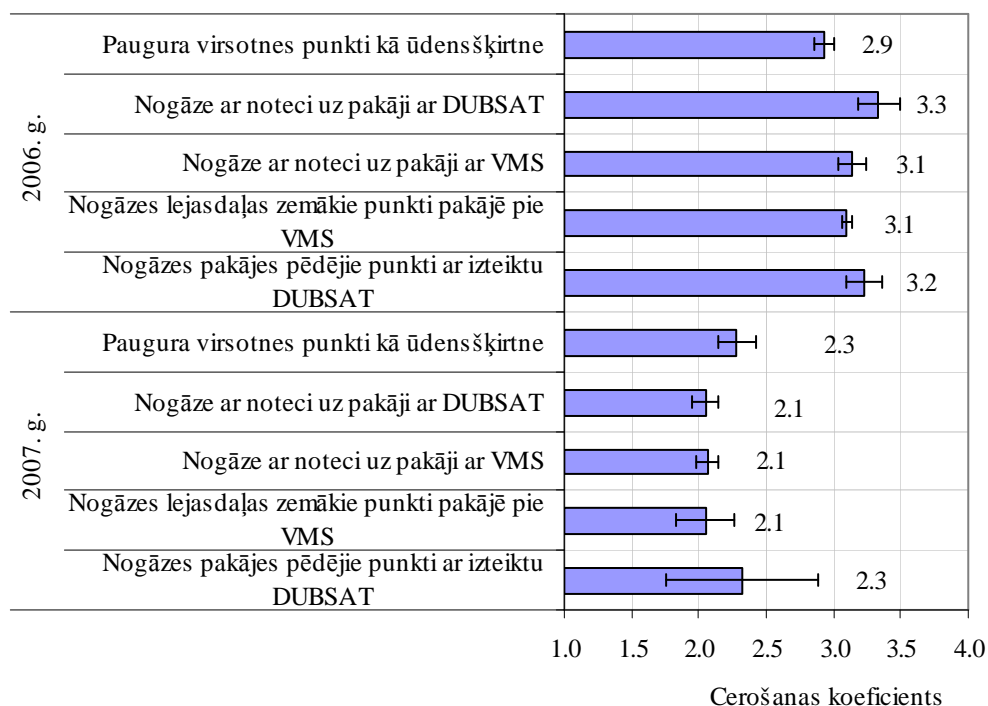
Apzīmējumi: DUBSAT - dubultsatece; VMS - vaļējā meliorācijas sistēma.

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.

Ziemas kviešu augšana diennaktī nenotiek vienmērīgi, bet augu augšanas intensitāte dažādās diennakts stundās mainās un to ļoti ietekmē arī ārējie apstākļi (gaisa temperatūra, nokrišņu daudzums, gaisa relatīvais mitrums u.c. faktori). Ārējie faktori, kas ikdienā visvairāk ietekmē augu augšanu un attīstību, ir gaisa temperatūra un relatīvais mitrums. Šie abi rādītāji būtiski ietekmē ziemas kviešu augšanu visas diennakts laikā (Oboļeviča, Ruža, 2004).

3.3.2. Cerošanas koeficients

Viens no ziemas kviešu ražu veidojošiem elementiem bija cerošanas koeficients. 2006. gada pavasarī (3.15. att.) 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.



3.15. att. Cerošanas koeficienta raksturojums 2006. un 2007. gada pavasarī ūdens noteces grupās.

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

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 (2.4. att.), tas arī kavēja ziemāju attīstību. Abos pētījuma gados būtiski augstāks cerošanas koeficients bija nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci.

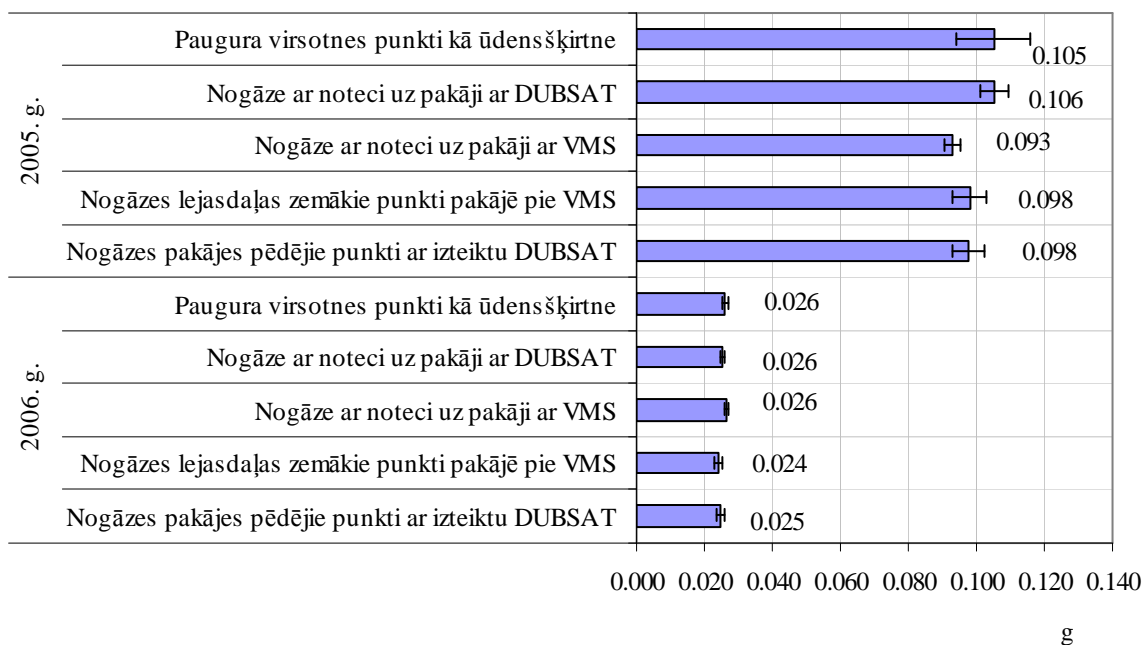
Labību cerošanas intensitāti raksturo cerošanas koeficients, kas normālas biežības sējumā ir 1.5 - 3.0. Ja cerošanas koeficients ir liels (> 10 , ļoti rets sējums), rudenī graudu raža nogatavosies nevienmērīgāk, bet, ja šķirne necero vai arī cero ļoti vāji, tās ražība būs daudz nestabilāka, salīdzinot ar labi cerojošām šķirnēm, - izretotā sējumā strauji samazināsies vārpu skaits uz platības vienību. No graudaugu sugām labi cero ziemas rudzi, ziemas kvieši, vasaras mieži, bet vājāk - auzas un vasaras kvieši. Tāpat ievērojamas atšķirības pastāv starp šķirnēm. Kā blakus apstākļi augu cerošanu

būtiski ietekmē arī mitruma un barības vielu nodrošinājums augsnē, gaismas un temperatūras režīms, izsējas norma un sējas kvalitāte u.c. (Bonāts, 1980; Boruks, 1987).

Augu augšana ārēji izpaužas ar ritmiskām svārstībām un periodismu. Šīs svārstības galvenokārt nosaka „pulksteņmehānisms”, kas ir ieprogrammēts auga gēnos, tomēr katrai sugai šis ritms var būt atšķirīgs un to var ietekmēt arī ārējās vides faktori. Ziemas kviešu augšana dažādās fenoloģiskajās fāzēs ir atšķirīga. Cerošanas fāzes laikā labības garumā aug lēnāk, bet, sākot ar stiebrošanas fāzi, augšanas ātrums un diennakts pieaugums palielinās. Pēc ziedēšanas (notiek īsi pirms vārpošanas vai vārpošanas laikā) ziemas kviešiem turpinās stiebru augšana garumā, tomēr gandrīz pilnīgi tiek pārtraukta lapu un sakņu augšana un auga turpmākā attīstība saistās galvenokārt ar graudu veidošanās un nogatavošanās procesu. Zinātnieki noskaidrojuši, ka cerošanas fāzes beigās un stiebrošanas fāzes sākumā (AS 30-31) kviešiem intensīvākā augšana visos gados notika laikā no plkst. 12⁰⁰ līdz 18⁰⁰, bet pēc plkst. 18⁰⁰ tā strauji samazinājās. Savukārt rīta stundās pēc plkst. 6⁰⁰ augšanas intensitāte atkal palielinājās, kulmināciju sasniedzot pusdienas laikā (Oboļeviča, Ruža, 2004).

3.3.3. Ziemas kviešu auga masa

Ziemas kviešu auga masa 2005. gada rudenī bija būtiski ($P < 0.05$) lielāka nekā 2006. gada rudenī (3.16. att.), analogas sakarības pa gadiem vērojamas arī ar ziemas kviešu cerošanas koeficientu un galveno 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 (3.16. att.).



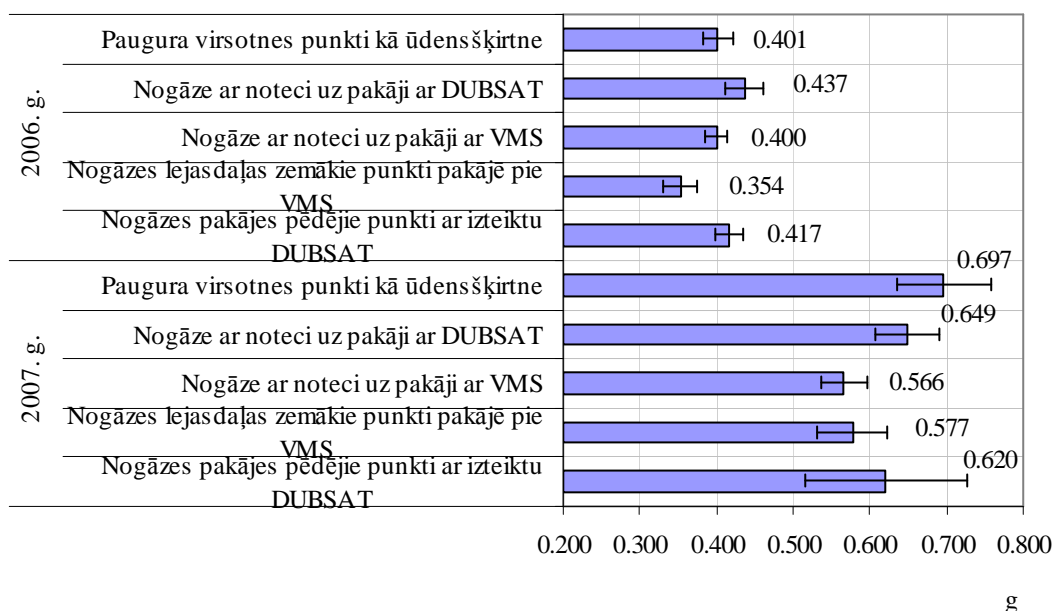
3.16. att. Auga masas, g, raksturojums 2005. un 2006. gada rudenī ūdens noteces grupās.

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

Savukārt 2006. un 2007. gada pavasarī ziemas kviešu auga masa būtiski augstāka bija 2007. gada pavasarī (3.17. att.) 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.

Arī ziemas kviešu auga masas izmaiņas pa gadiem var skaidrot ar meteoroloģiskajiem apstākļiem (2.3. un 2.4. att.).

Cieša korelācija konstatēta starp kultūrauga biomasu un vidējo auga garumu ziemas kviešiem ($R^2 = 0.96$). Rapsim, ziemas rudziem un ziemas kviešiem lineārās regresijas determinācijas koeficients bija augstāks par $R^2 > 0.90$. Auga garums, lapu klājums un biomasu ir svarīgi rādītāji, kas raksturo sējumu stāvokli. Balstoties uz šiem rādītājiem, var aptuveni novērtēt gaidāmo ražas lielumu, optimizēt nepieciešamo mēslojuma un augu aizsardzības līdzekļu daudzumu (Ehlert, Dammer, 2006).



3.17. att. Auga masas, g, raksturojums 2006. un 2007. gada pavasarī ūdens noteces grupās.

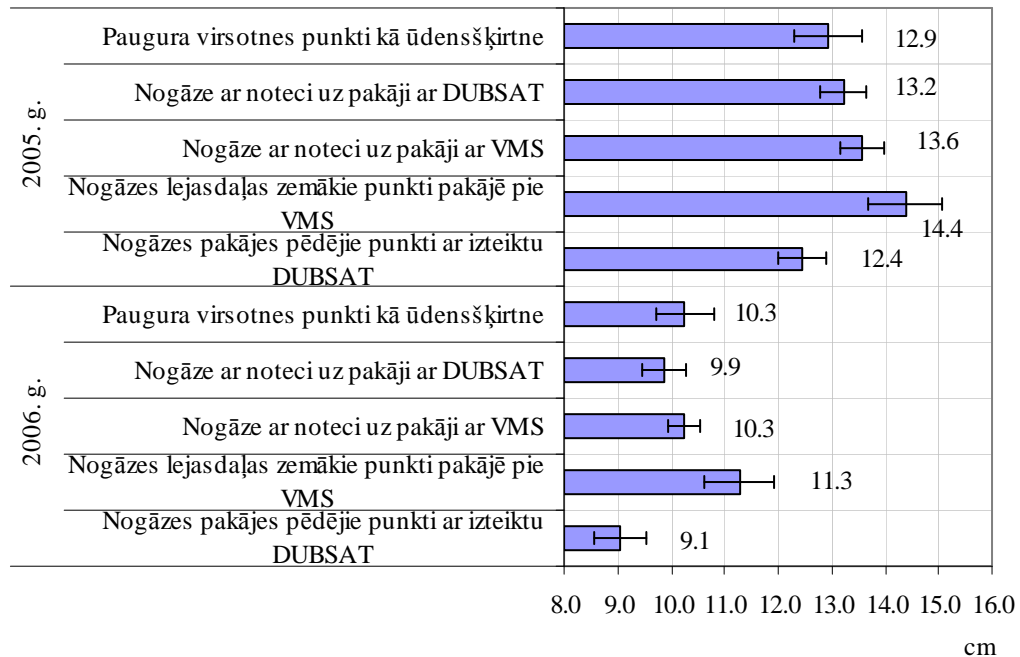
Apzīmējumi: DUBSAT - dubultsatece; VMS - vaļējā meliorācijas sistēma.

3.3.4. Ziemas kviešu galveno sakņu garums

Ziemas kviešu saknes 2005. gada rudenī bija būtiski ($P < 0.05$) garākas nekā 2006. gada rudenī (3.18. att.). 2005. gada rudenī būtiskas sakņu garuma atšķirības bija vērojamas nogāzes lejasdaļas zemākajos punktos, kur sakņu garums bija būtiski garāks (14.4 cm) un nogāzes pakājes pēdējos punktos, kur tas bija būtiski īsāks (12.4 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 galveno sakņu garumu iespējams var skaidrot ar aprēķināto hidrotermisko koeficientu sējas gada rudenī (2.2. tab.) un sējas laiku. 2005. gada

septembrī HTK bija 0.89, bet 2006. gada sējas rudenī 1.10. 2005. gada septembrī ziemas kviešus iesēja līdz 20. septembrim, bet 2006. gada rudenī pēc 20. septembra.



3.18. att. Sakņu garuma, cm, raksturojums 2005. un 2006. gada rudenī ūdens noteces grupās.

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

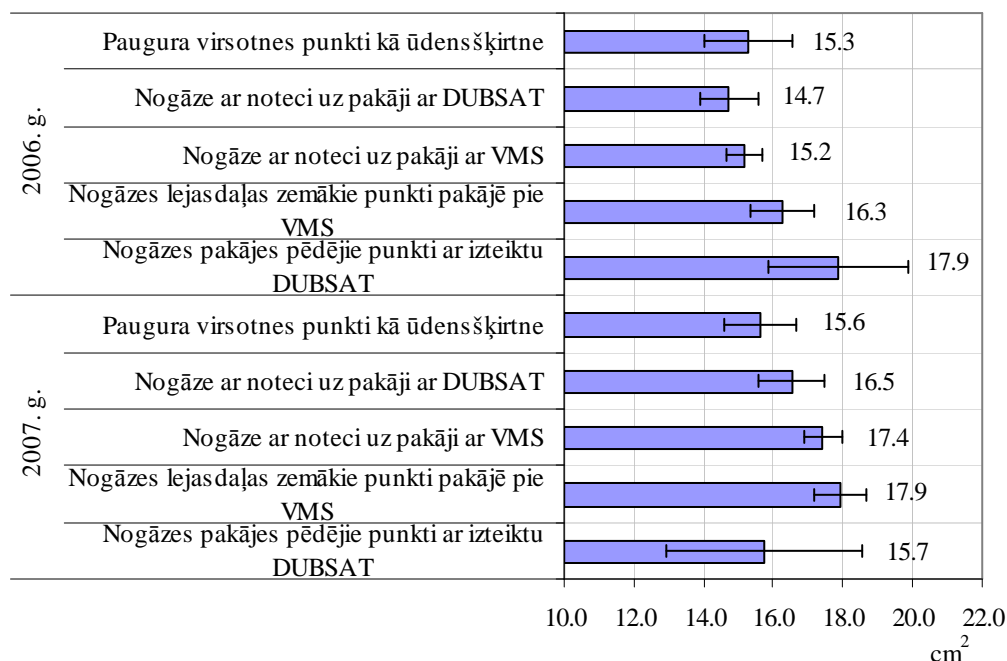
Svarīga loma augu augšanā un attīstībā ir augsnes produktīvajam mitrumam, tomēr šis rādītājs vienas diennakts pieauguma dinamiku kviešiem tik būtiski neietekmē. Zinātnieki uzsver, ka būtiskas izmaiņas var rasties ilgstoša sausuma periodā, kad produktīvā mitruma krājumi augsnē sāk izsīkt un augi var nonākt sausuma stresā. Piemēram, šādi apstākļi radās 1999. gada pavasarī, kad nokrišņu daudzums aprīlī bija tikai puse no klimatiskās normas, arī maijā lietus nolija tikai mēneša pēdējā dekādē (Oboļeviča, Ruža, 2004).

3.3.5. Ziemas kviešu karoglapas laukums

Ziemas kviešu karoglapas laukums būtiski ($P < 0.05$) lielāks bija 2007. gadā salīdzinot ar 2006. gadu (3.19. att.). 2006. gadā būtiski mazāks karoglapas laukums bija nogāzē ar noteci uz pakāji ar dubultsateci 14.7 cm^2 , bet būtiski augstāks - nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci 17.9 cm^2 . 2007. gadā būtiski mazāks ziemas kviešu karoglapas laukums bija paugura virsotnē - 15.6 cm^2 , bet būtiski augstāks - nogāzes lejasdaļas zemāko punktu pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas 17.9 cm^2 .

Karoglapas laukums lielāks bija 2007. gadā, savukārt ziemas kviešu raža lielāka bija 2006. gadā (3.20. att.). Aprēķinu rezultāti (3.19. un 3.20. att.) 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.

Karoglapas fāzē augšanas ritms jau būtiski atšķirās no iepriekšējām attīstības stadijām. Zinātnieki konstatējuši, ka šajā fāzē augu augšanas maksimums tika sasniegts ap plkst. 12⁰⁰, bet pēc tam augi „devās diendusā”, kas ilga līdz plkst. 18⁰⁰ pēcpusdienā. Pēc plkst. 18⁰⁰ augu augšanas intensitāte strauji pieauga, otru kulmināciju sasniedzot ap plkst. 21⁰⁰, kam sekoja strauja augšanas intensitātes samazināšanās, minimumu sasniedzot naktī ap plkst. 3⁰⁰. Uz rīta pusi, laikā no plkst. 3⁰⁰ līdz 6⁰⁰, augšana atkal strauji atjaunojās, bet pēc plkst. 6⁰⁰ augšanas temps kļuva nedaudz lēnāks un vienmērīgāks (Oboļeviča, Ruža, 2004).



3.19. att. Karoglapas laukuma, cm², raksturojums 2006. un 2007. gada vasarā ūdens noteces grupās.

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

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 $r_{yx} = 0.461$ (3.15. tab.). Pie ražu grupām līdz 7.00 t ha⁻¹ karoglapas laukuma būtiskā ietekme uz ziemas kviešu ražu netika konstatēta.

3.15. tabula

Ziemas kviešu karoglapas laukuma (x) sakarību ar ražu (y) vērtējums ražu lieluma grupās

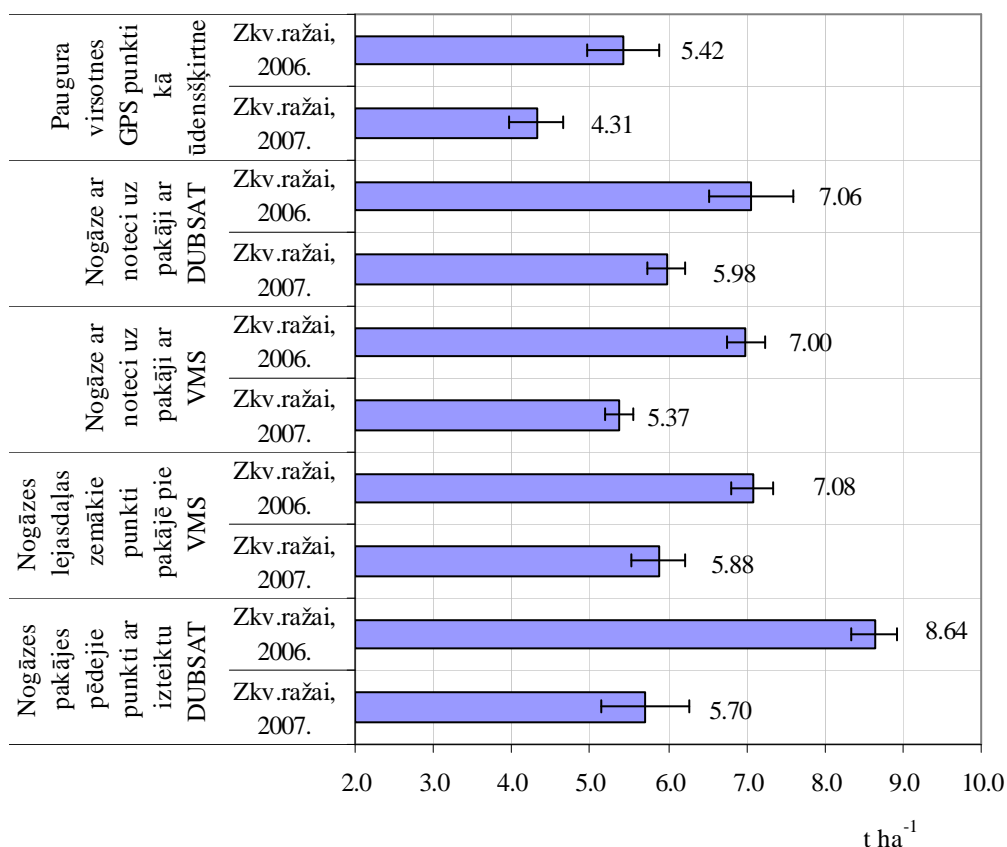
Korelācijas varianti	Ražu grupas	r_{yx}	P vērtība
Izslēdzot augstuma atšķirību ietekmi	< 5.00 t ha ⁻¹	0.222	0.2044
	no 5.00 līdz 7.00 t ha ⁻¹	-0.171	0.1281
	> 7.00 t ha ⁻¹	0.436*	0.0400
Neizslēdzot augstuma atšķirību ietekmi	< 5.00 t ha ⁻¹	0.228	0.1896
	no 5.00 līdz 7.00 t ha ⁻¹	-0.097	0.2580
	> 7.00 t ha ⁻¹	0.461*	0.0271

Apzīmējumi: * $P < 0.05$

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

3.3.6. Ziemas kviešu raža

Platību sadalījumu ūdens noteces grupās un atsevišķu grupu teritoriālā attēlojuma lietderīgums vērtēts pēc ziemas kviešu ražu atšķirībām (3.20. att.). 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 trūdaini kūdrainā glejaugne 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 (3.20. att.).



3.20. att. Ziemas kviešu ražas, t ha^{-1} , raksturojums ūdens noteces grupās.

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

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} (3.20. att.). Kultūraugu ražu formēšanā 10 - 25% rezultāta ir atkarīgs no izvēlētās šķirnes. Tas nav svarīgs ražību noteicošais faktors, tomēr jāatceras, ka ražu raksturo ne tikai ievāktās tonnas, bet arī iegūtās produkcijas kvalitāte. Tad šķirņu izvēles principi kļūst divtik svarīgi.

Savukārt vislielāko ietekmi kultūraugu ražas formēšanā - 30 - 50% apmērā nodrošina mēslošana un augu aizsardzība, ja ir noregulēti pārējie augšanas apstākļi (Bonāts, 1980).

Karoglapai ir nozīmīga ietekme uz graudu masu ($R^2 = 0.64$) un tā ir galvenā fotosintēzes norises vieta graudu veidošanās periodā. Zinātnieki J. H. Monyo un W. J. Whittington (1973, citēts no Dere, Yildirim, 2006) norāda, ka karoglapa ir potenciālais indikators labību ražas veidošanās procesā un tai ir dominējošā loma, un tās lielums ir svarīgs (Dere, Yildirim, 2006).

Kviešu graudu ražas atkarība no karoglapas laukuma un ilguma pirms un pēc vārpu attīstības bija labi konstatēta jau 1963. un 1967. gadā. Rezultātos pierādās, ka karoglapai ir ļoti liela nozīme graudu ražas veidošanās procesā (Monyo, Whittington, 1972).

Zinātnieki T. Mahmood un M. A. Chowdhry (2002, citēts no Rahim, Salam, Saeed et al., 2006) novērojuši, ka ģenētiskajā kontrolē atrasta pozitīva sakarība starp karoglapas laukumu, 1000 graudu masu un graudu ražu (Rahim, Salam, Saeed et al., 2006).

Arī Polijā veiktos izmēģinājumos vislielākā ietekme uz ziemas kviešu ražu un tās struktūrelementiem bija augsnes mitrumam un penetrometriskajai pretestībai. Samazinot augsnes mitruma piegādi samazinājās galvenokārt graudu skaits vārpā uz laukuma vienību (Weber, Zalewski, Hryn'czuk, 2004).

Latvijas Lauksaimniecības universitātes mācību un pētījumu saimniecībā Pēterlauki analizējot sakarību starp ziemas kviešu ražu un tās struktūrelementiem, noskaidrots, ka cieša korelācija pastāv starp 1000 graudu masu ($r_{yx} = 0.74$) un ražu, kā arī starp graudu skaitu vārpā ($r_{yx} = 0.68$) un ražu, bet starp produktīvo stiebru skaitu, vienas vārpas masu un ražu 1998. gada izmēģinājumos būtiska korelācija netika konstatēta (Dorbe, Vucāns, 1999).

Augsnes agroķīmisko rādītāju ietekme uz ziemas kviešu ražu. Būtiska ietekme uz ziemas kviešu ražu abos pētījuma gados bija organisko vielu saturam (3.16. tab.), 2006. gadā organisko vielu saturs $r_{yx} = 0.406$ ($P < 0.01$) un 2007. gadā - $r_{yx} = 0.302$ ($P < 0.05$). Pārējiem agroķīmiskajiem rādītājiem būtiska ietekme uz ziemas kviešu ražu netika konstatēta.

3.16. tabula

Augsnes agroķīmisko rādītāju ietekme uz ziemas kviešu ražu

Augsnes agroķīmiskie rādītāji	2006. g. ražai		2007. g. ražai	
	r_{yx}	P vērtība	r_{yx}	P vērtība
Organisko vielu saturs	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

Apzīmējumi: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

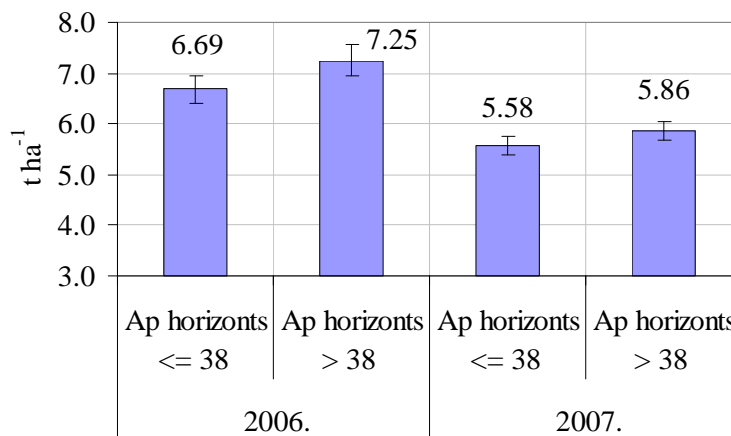
Kopsavilkums. Ziemas kviešu dīgstu skaitu 2005. gada rudenī būtiski augstāks bija nogāzē ar noteci uz pakāji ar dubultsateci, bet 2006. gada rudenī - nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci. Analogas sakarības konstatētas arī ar ziemas kviešu cerošanas koeficientu. Ziemas kviešu auga masa sējas gada rudenī abos pētījuma gados bija būtiski mazāka, nekā pavasarī. Krasas auga masas atšķirības bija vērojamas pavasarī. Ziemas kviešu saknes sējas gada rudenī būtiski garākas bija nogāzes lejasdaļas

zemāko punktu pakājē pie vaļējās meliorācijas sistēmas, bet būtiski īsākas abos pētījuma gados - nogāzes pakājes pēdējos punktos ar izteiktu dubultsateci. Karoglapas laukums lielāks bija 2007. gadā, savukārt ziemas kviešu raža lielāka bija 2006. gadā. Karoglapas laukuma būtiskā ietekme uz ziemas kviešu ražu konstatēta tikai virs 7.00 t ha⁻¹. Pie ražu grupām līdz 7.00 t ha⁻¹ karoglapas laukuma būtiskā ietekme uz ziemas kviešu ražu pētījumu gados netika konstatēta. Savukārt no agroķīmiskajiem rādītājiem būtiska ietekme uz ziemas kviešu ražu bija tikai organisko vielu saturam.

3.4. Tehniskās iespējas mazināt augsnes neviendabīguma ietekmi

3.4.1. 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 (3.21. 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. Analoga sakarība konstatēta 2005. un 2006. gada pētījuma apstākļos Kurpnieku laukā (Dinaburga, 2007; Lapins, Vilde, Berzins et al., 2007; Lapins, Vilde, Berzins et al., 2008a; Vilde, Lapins, Dinaburga et al., 2008).

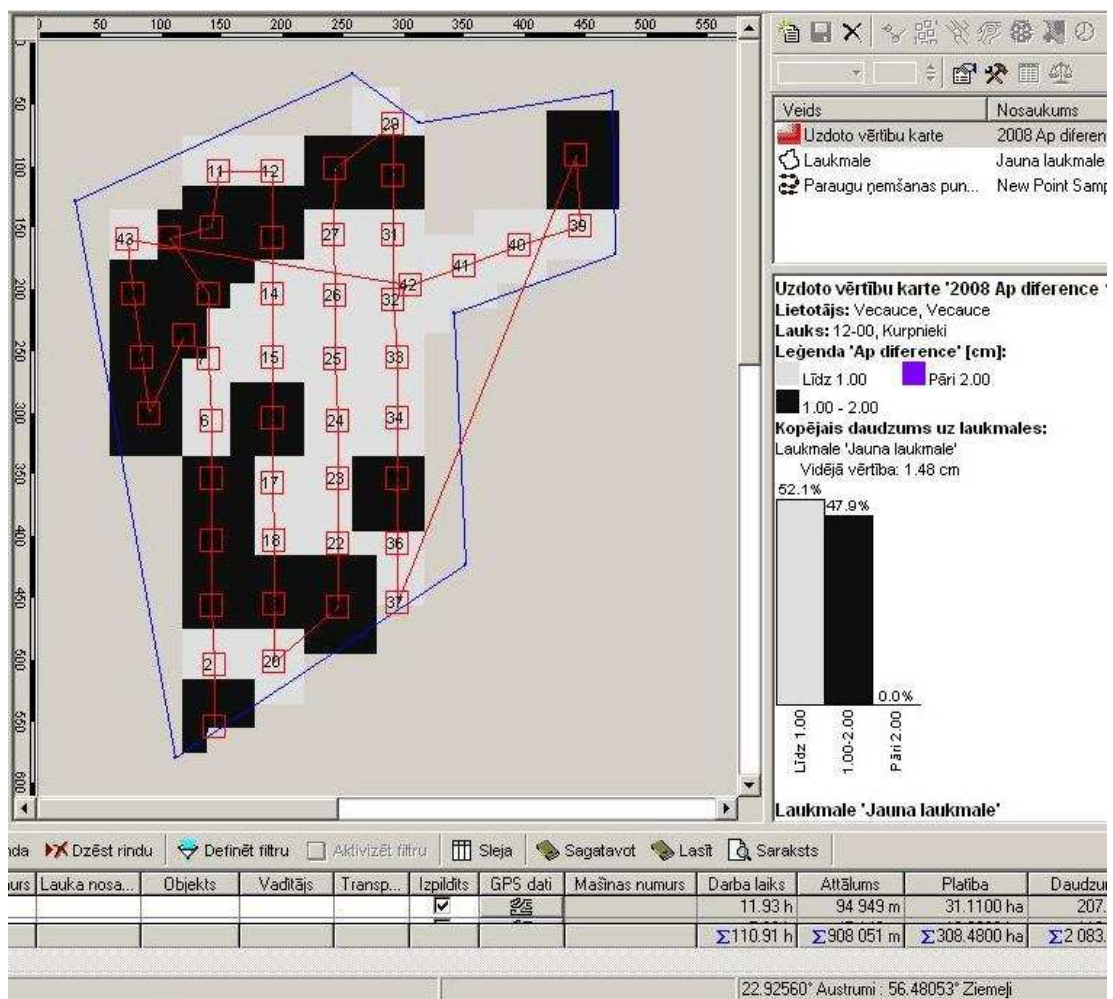


Ap horizonta biezuma, cm, daļjuma grupas un gadi

3.21. att. Ziemas kviešu raža, t ha⁻¹, atkarībā no Ap horizonta biezuma augsnē, par diferences kritēriju izmantojot vidējo rādītāju 38 cm.

Izmantojot par augsnes pamatapstrādes diferences kritēriju Ap horizonta biezuma vidējo vērtību 38 cm, platība, kur ar ļoti zemu ražošanas risku iespējama apstrādes dziļuma samazināšana sastādītu 47.9% no kopējās (3.22. att.), 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 (3.22. att.).

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. Ražošanas izmēģinājumi par augsnes apstrādes, sējas sistēmu optimizācijas iespējām bija ierīkoti MPS „Vecaucē” Kurpnieku laukam radniecīgos apstākļos. Konstatēts, ka tradicionālai augsnes apstrādei ar velēnas vai rugaines apvēršanu rudens arumā 22 - 24 cm dziļumā nav būtisku priekšrocību salīdzinot ar minimālo augsnes apstrādi pirms sējas no 12 līdz 15 cm. To apstiprināja arī pētījuma rezultāti Glūdaiņu laukā tā pauguraines virsotnes daļā. Minimālās augsnes apstrādes pozitīvais efekts bija lielāks gados ar pazeminātu nokrišņu daudzumu, kad konstatēta rudens aruma negatīvā ietekme - lietojot sējmašīnu Amazone Super, kas nav nodrošināta kompleksajā agregātā ar veltniem atšķirībā no Rapid. Jo zem sēklu gultnes tika izveidots irdens augsnes slānis, kas nenodrošināja ūdens kapilāro pacelšanos no zemamkārtas. Tāpēc uzdoto vērtību digitālo kartogrammu 3.22. un 3.24. versijām ir vairāki tehnoloģiskās izpildes iespējamie varianti. No tiem optimālākais - visas platības, tajā skaitā arī paugura virsotnes seklā apstrāde līdz 15 cm, bet platību daļā ar palielinātu organiskās vielas saturu un Ap horizontu - augsnes pieveļšana (Lapiņš, Bērziņš, Gaile et al., 2001; Lapiņš, Bērziņš, Gaile et al., 2001a; Lapiņš, Bērziņš, Gaile et al., 2001b; Lapiņš, Bērziņš, Gaile u.c., 2003a; Lapiņš, Bērziņš, Gaile u.c., 2003b; Lapiņš, Bērziņš, Kopmanis u.c., 2004; Lapins, Berzins, Kopmanis et al., 2005a).



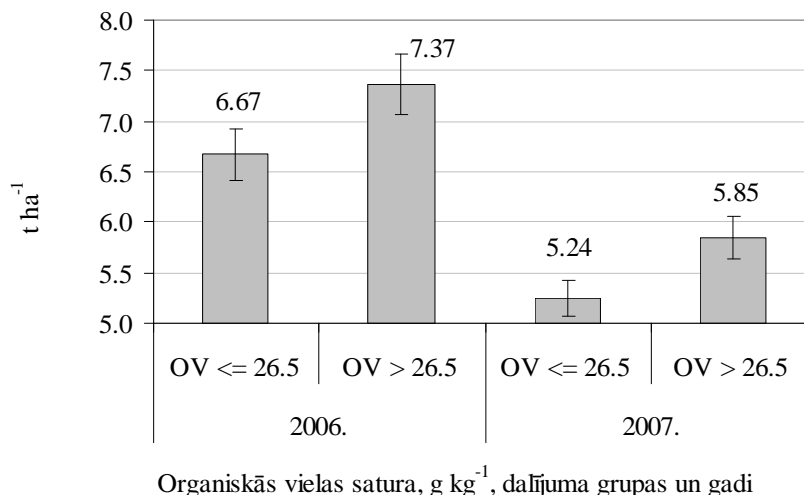
3.22. att. Humusa akumulācijas horizonta digitālās kartogrammas variants.

Literatūrā apkopoti rezultāti par agrotehniskās erozijas produktu pārvietošanos nogāžu tīrumā ar slīpumu 8 - 10°. Lietuvā konstatētas šādas sakarības: arot slejās šķērsām nogāzei pa horizontāli pretējos virzienos pārvietoto zemes masu starpība ir 24.3%, jo daļa pret nogāzi vērstās augsnes gravitācijas spēka ietekmē nobirst uz leju. Arī arot pa nogāzi, respektīvi, šķērsām horizontālēm divos virzienos, augsne ievērojami pārbīdās (18.6%) pa nogāzi uz leju (Stalbovs, 1974).

Šo pētījuma rezultātu apstiprina arī jau publicētie dati un to analīze, kur norādīts, ka Kurpnieku laukā augsnes pirmssējas un arī pamatapstrādes dziļuma diferencei piemērota būtu Ap horizonta biezuma kartogramma, kuras lietojums ļautu atbilstoši vietai samazināt pamatapstrādes dziļumu, ja Ap horizonta biezums būtu lielāks par 36 cm. Pētījumā konstatēts, ka GPS punktos ar palielinātu Ap horizonta biezumu bija arī paaugstināts organiskās vielas saturs, kas kopumā mazina augsnes pirmssējas un pamatapstrādes minimalizācijas lietojuma risku attiecībā uz ziemas kviešu ražām (Dinaburga, 2007; Lapins, Vilde, Berzins et al., 2007; Lapins, Vilde, Berzins et al., 2008b; Lapins, Vilde, Berzins, Dinaburga et al., 2008; Vilde, Lapins, Dinaburga et al., 2008).

3.4.2. Datu grupēšana pēc organisko vielu satura augsnē

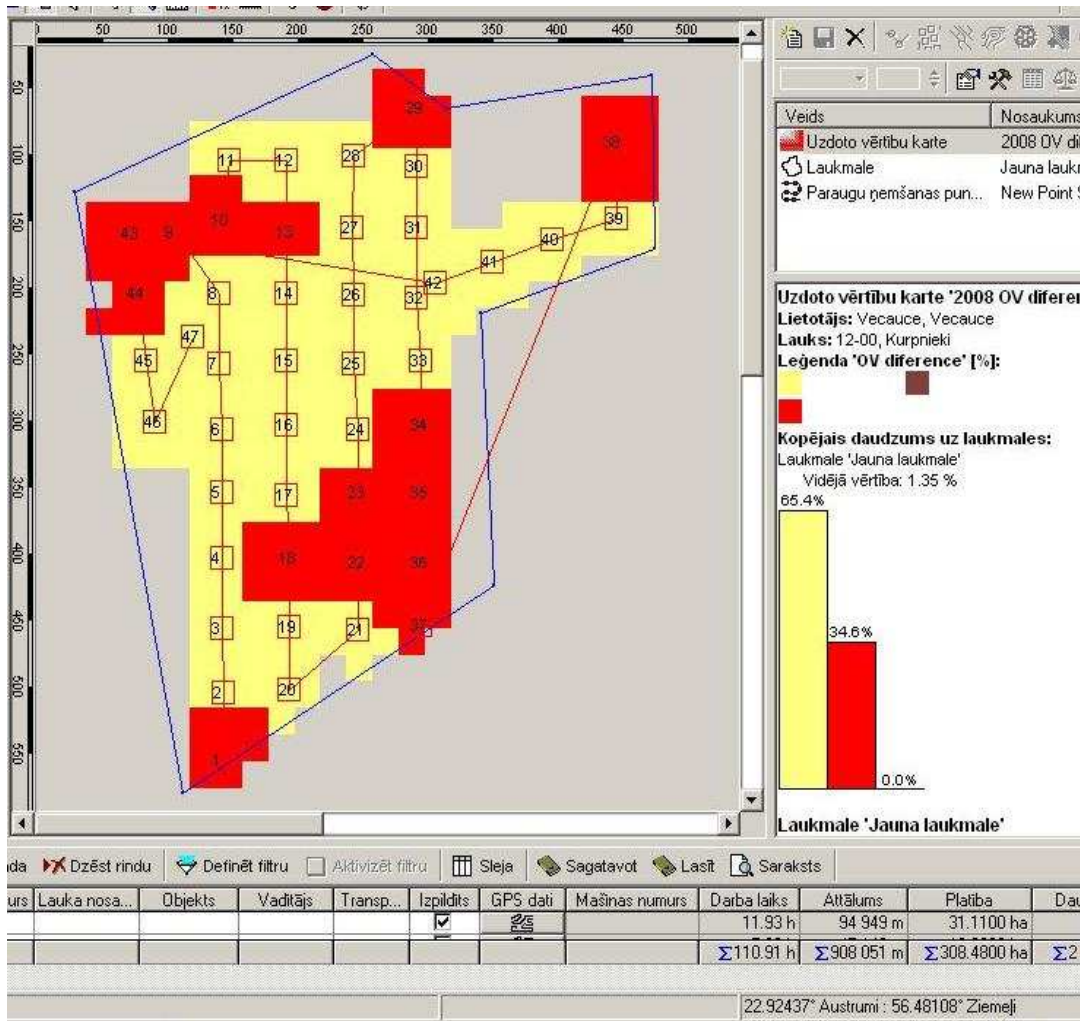
Pētījumā no ziemas kviešu ražu veidojošiem faktoriem organiskās vielas satura atšķirības līdztekus Ap horizonta biezumam bija tie faktori, kuriem lēmumu pieņemšanas sistēmā par augsnes apstrādes diferenci bija būtiska nozīme raugoties no ziemas kviešu ražu lieluma (3.23. att.). Datu ranžēšana un grupēšana divās pamatgrupās: virs un zem vidējā organisko vielu satura ļāva konstatēt, ka ziemas kviešu raža abos pētījuma gados bija būtiski augstāka pie palielināta, virs vidējā visā platībā organiskās vielas satura augsnē ($> 26.5 \text{ g kg}^{-1}$), bet būtiski lielākas ražas datu atšķirības sekmēja gadi saistībā ar meteoroloģiskajiem apstākļiem (3.23. att.).



3.23. att. Ziemas kviešu raža, t ha^{-1} , atkarībā no organiskās vielas satura augsnē, par diferences kritēriju izmantojot vidējo rādītāju 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

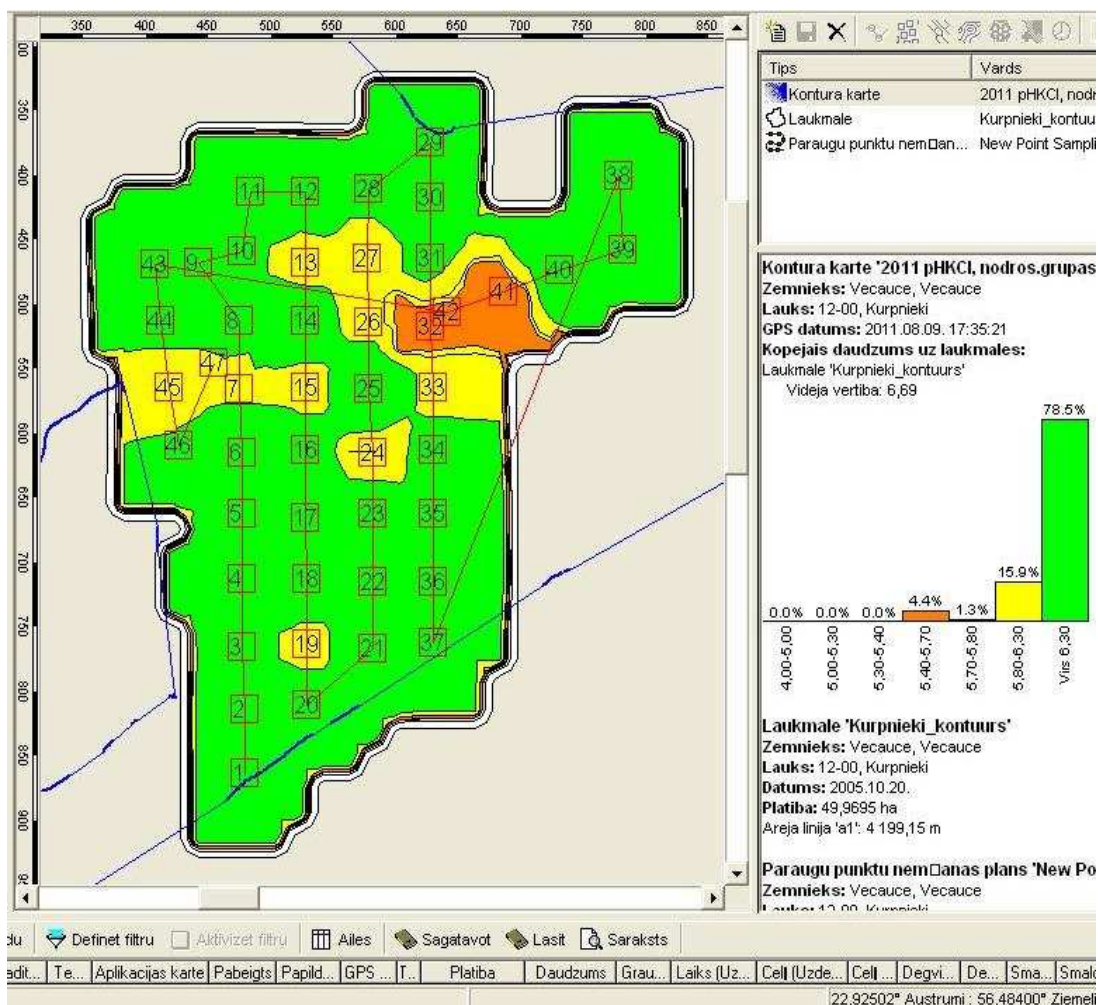
diferences kritēriju Kurpnieku laukā lietotu organisko vielu vidējo saturu, kas bija 26.5 g kg^{-1} (3.24. att.).



3.24. att. Organisko vielu satura digitālās kartogrammas variants.

3.4.3. Datu grupēšana pēc augsnes reakcijas

Tīrumu, pļavu un ganību augšņu iedalījums pēc augsnes reakcijas, pie granulometriskā sastāva - smilšmāls un organisko vielu saturs $< 50 \text{ g kg}^{-1}$, iedalās 5 grupās: normāla > 6.3 ; vāji skāba $5.8 - 6.3$; vidēji skāba $5.4 - 5.7$; skāba $5.0 - 5.3$ un stipri skāba < 5.0 (Metodiskie norādījumi, 2005). Augsnes reakcijas digitālā kartogramma (3.25. att.) parāda, ka 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%. Diemžēl datorprogramma neļauj izveidot tikai šīs 5 nodrošinājuma grupas un pa vidu iekļauj vēl citas grupas. Augsnes reakcijas nodrošinājuma grupa $5.70 - 5.80$ (1.3%) ir jāapvieno ar $5.80 - 6.30$ (15.5%), jo tā raksturo vāji skābo nodrošinājuma grupu.

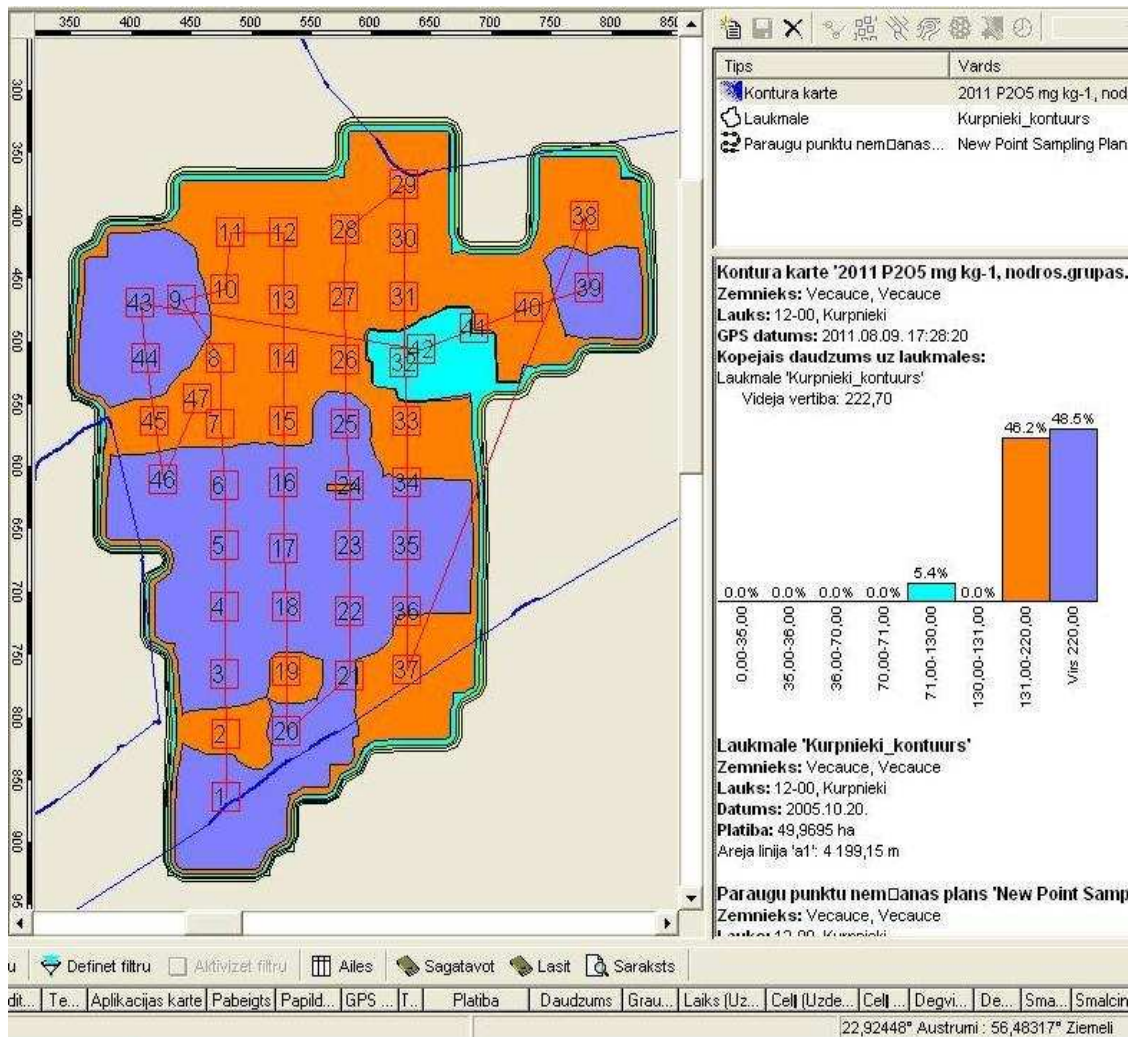


3.25. att. Augsnes reakcijas nodrošinājuma grupu digitālā kartogramma tās diferencētai lietošanai.

Kartogramma pamato, ka uzturošā kaļķošana nav jāveic, ja augsnes reakcija virs 6.3 pie granulometriskā satura sM un organisko vielu saturs $< 50 \text{ g kg}^{-1}$ (Metodiskie norādījumi, 2005). 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 (Metodiskie norādījumi, 2005), ka nepieciešamā kaļķu norma vidēji 4.25 - 5.05 t ha^{-1} tīrs sauss CaCO_3 .

3.4.4. Datu grupēšana pēc augiem izmantojamā fosfora satura

Savukārt tīrumu, pļavu un ganību augšņu iedalījums pēc augiem izmantojamā fosfora satura, pie granulometriskā sastāva - smilšmāls un organisko vielu saturs $< 50 \text{ g kg}^{-1}$, iedalās 5 grupās: ļoti zema ≤ 35 ; zema 36 - 70; vidēja 71 - 130; augsta 131 - 220 un ļoti augsta > 220 (Metodiskie norādījumi, 2005). Augiem izmantojamā fosfora satura digitālā kartogramma (3.26. att.) parāda, ka Kurpnieku laukā no piecām augiem izmantojamā fosfora satura grupām dominē trīs. Augiem izmantojamā fosfora satura grupa - ļoti augsta sastādīja 48.5%, augsta - 46.2% un vidēja - 5.4%.



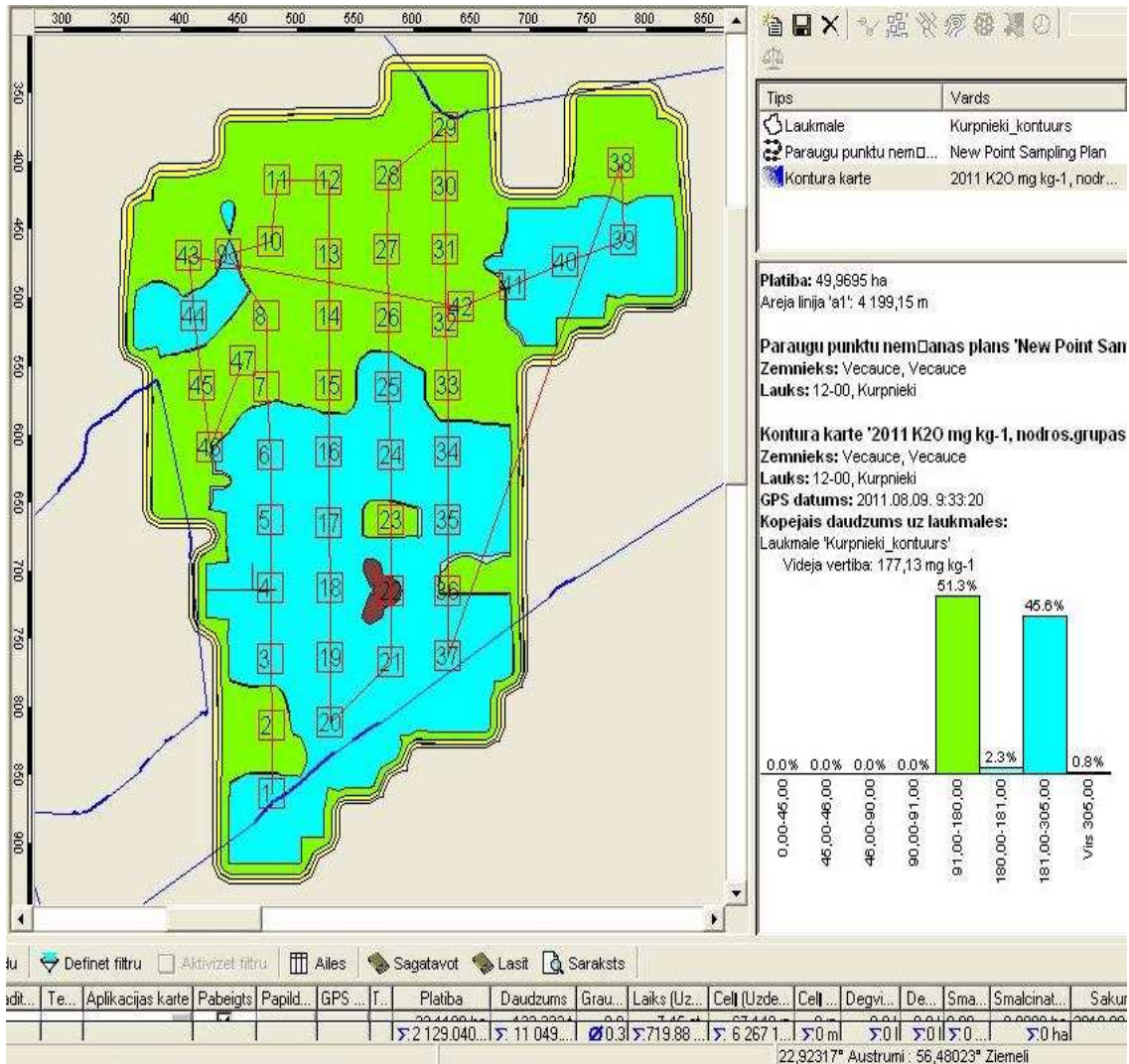
3.26. att. P₂O₅ satura nodrošinājuma grupu digitālā kartogramma tā diferencētai lietošanai.

Kaļķotās augsnēs, uzlabojoties augsnes reakcijai, uzlabojas fosfora uzņemšana augos. Kaļķošanas rezultātā it sevišķi jūtami palielinās augiem izmantojamā fosfora daudzums augsnē. Pētījumi rāda, ka kaļķošana palielina augiem viegli izmantojamā fosfora daudzumu augsnē par 1 - 2 mg 100 g augsnes, bet dotos fosfora minerālmēslus aptuveni neitrālās augsnēs augi izmanto par 2 - 5% labāk nekā skābās augsnēs (Skromanis, Reinfeldē, Timbare, 1994.). Tas pamato to, ka laukā 4.4% no platības nepieciešams izlīdzināt augsnes reakciju, kā rezultātā uzlabosies fosfora pieejamība augiem, jo skābā augsnē augi to nespēj uzņemt. Pēc augsnes reakcijas izlīdzināšanas iespējams veikt fosfora mēslojuma normu diferenci audzētajiem kultūraugiem.

3.4.5. Datu grupēšana pēc augiem izmantojamā kālija satura

Savukārt tīrumu, pļavu un ganību augšņu iedalījums pēc augiem izmantojamā kālija satura, pie granulometriskā sastāva - smilšmāls un organisko vielu saturs < 50 g kg⁻¹, iedalās 5 grupās: ļoti zema ≤ 45; zema 46 - 90; vidēja 91 - 180; augsta 181 - 305 un ļoti augsta > 305 (Metodiskie norādījumi, 2005). Augiem

izmantojamā kālija satura digitālā kartogramma (3.27. att.) parāda, ka Kurpnieku laukā no piecām augiem izmantojamā kālija satura grupām dominē trīs. Augiem izmantojamā kālija satura grupa - ļoti augsta sastādīja 0.8%, augsta - 47.9% un vidēja - 51.3%. Diemžēl arī šajā gadījumā programma neļāva izveidot tikai 5 nodrošinājuma grupas, bet sadalīja histogrammu sīkāk. Kālija satura nodrošinājuma grupa 180.00 - 181.00 (2.3%) ir jāapvieno ar 181.00 - 305.00 (45.6%), jo tā raksturo augsto kālija nodrošinājuma grupu.



3.27. att. K₂O satura nodrošinājuma grupu digitālā kartogramma tā diferencētai lietošanai.

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.

Kopsavilkums. Par augsnes pamatapstrādes diferences kritēriju laukā iespējams izmantot gan Ap horizonta biezumu, gan organisko vielu satura vidējo vērtību. Tās arī pamato, ka ziemas kviešu ražas abos pētījuma gados platību daļās ar palielinātu virs vidējā Ap horizonta biezumu un organisko vielu saturu bija būtiski augstākas nekā platību daļā zem vidējā to satura.

Kurpnieku lauka augšņu agroķīmisko rādītāju kartogrammas parāda, ka no piecām agroķīmisko rādītāju grupām laukā dominēja trīs: pH KCl - normāla, vāji skāba un vidēji skāba; P_2O_5 un K_2O - ļoti augsta, augsta un vidēja. Gan fosfora, gan kālija mēslojuma normas iespējams diferencēt pēc to nodrošinājuma satura augsnē un audzējamā kultūrauga.

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 pārlieku 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.

PATEICĪBAS

Vēlos izteikt pateicību Augšnes un augu zinātņu un Agrobiotehnoloģijas institūta kolēģiem: Aldim Kārkliņam, Inārai Līpenītei, Andrim Bērziņam, Maijai Ausmanei, Indulim Melngalvim, Aigaram Plūmem, Zintai Gailei, Antonam Ružam, Inārai Turkai, Inai Alsiņai, Renātei Sanžarevskai, Anitai Sprincinai, Inārai Rižakovai, Dinai Grantai u.c., kursabiedrenei Valentīnai Surikovai pētījuma veikšanā un sniegtajiem padomiem. Paldies MPS „Vecauce” agronomēm un palīgiem.

Pateicība Lauksaimniecības zinātniskā institūta profesoram Arvīdam Vildem par vērtīgajiem literatūras avotiem precīzās lauksaimniecības jomā.

Esmu pateicīga sava darba konsultantam Jānim Kopmanim par neatsveramo palīdzību kopīgo publikāciju tapšanā un manuskripta izskatīšanā.

Paldies sadarbības partneriem precīzās lauksaimniecības jomā firmai KoneKesco - Jānim Ceram par rīkotajiem semināriem un finansiālu atbalstu konferences apmeklējumam Horvātijā. Firmai AgriCon - Gatim Bērziņam par iespēju apmeklēt AgriCon mātes uzņēmumu Jahnā, Vācijā.

Sevišķi liels paldies manai ģimenei par sapratni, atbalstu un doto iespēju studēt. Sirsnīgs paldies manam draugam Aigaram Putniekam par palīdzību darba noformēšanā, atbalstu un uzmundrinājumu studiju laikā un darba sagatavošanas periodā.

IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI

1. Adamchuk V. I., Christenson P. T. (2005) An integrated system for mapping soil physical properties on-the-go: the mechanical sensing component. **In:** *Precision Agriculture (ECPA) 2005. Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture. Precision agriculture '05*. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 449 - 456.
2. Adamchuk V. I., Hoy R. M., Meyer G. E., Kocher M. F. (2007) GPS-based auto-guidance test program development. **In:** *6th European Conference on Precision Agriculture*. June 3 - 6, 2007, Skiathos, Greece. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 425 - 432.
3. Adamchuk V. I., Hummel J. W., Morgan M. T., Upadhyaya S. K. (2005) On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. No. 44, p. 71 - 91.
4. Akinremi O. O., McGinn S. M. (1996) Usage of soil moisture models in agronomic research. *Canadian Journal of Soil Science*, No. 76 (3), p. 285 - 295.
5. Alakukku L., Jaakkola A., Hanninen P., Ristolainen A. (2002) Relationship between spatial variability of soil physical properties and yield - MaSa - Study. **In:** *NJF seminar 336 „Implementation of Precision Farming in Practical Agriculture”*. Abstracts. Skara, Sweden, June 10 - 12, 2002, p. 18 - 19. [tiešsaiste] [skatīts 2010. g. 25. maijā] Pieejams: [http://www.njf.nu/filebank/files/20070121\\$185817\\$fil\\$Lba1SZDamYh3bzP7koFR.pdf](http://www.njf.nu/filebank/files/20070121$185817$fil$Lba1SZDamYh3bzP7koFR.pdf)
6. Anghinoni I., Barber S. A. (1980a) Predicting the most efficient phosphorus placement for corn. *Soil Science Society of America Journal*. No. 44, p. 1016 - 1020.
7. Anghinoni I., Barber S. A. (1980b) Phosphorus application rate and distribution in the soil and phosphorus uptake by corn. *Soil Science Society of America Journal*. No. 44, p. 1041 - 1044.
8. Ansorge D., Godwin R. (2006) High Axle Load - Track - Tire Comparison. **In:** *Soil Management for Sustainability*. Advances in GeoEcology 38. R. Horn, H. Fleige, S. Peth, X. Peng (eds). Follow-up series of CATENA Supplements. Reiskirchen, Germany, p. 9 - 15.
9. Arhipova I., Bāliņa S. (2003) *Statistika ekonomijā. Risinājumi ar SPSS un Microsoft Excel*. Rīga: Datorzinību centrs. 352 lpp.
10. Ausmane M., Liepiņš J., Melngalvis I. (2004) Possibilities of Soil Tillage Optimisation. *Vagos*. Research papers. Lithuanian University of Agriculture. Kaunas: Akademija. No. 64 (17), p. 7 - 12.
11. Baize D. (1993) *Soil Science Analyses: A Guide to Current Use*. Wiley. 192 p.
12. Balsari P., Tamagnone M., Marucco P. (2006) Field tests on GPS lightbar guidance systems for agricultural machines. **In:** *Agricultural Engineering for a Better World: Book of abstracts*. September 3 - 7, 2006, Bonn, p. 335 - 336.
13. Basso B., Sartori L., Bertocco M., Oliviero G. (2003a) Evaluation and simulation of variable depth tillage effects on yield and soil physical properties. **In:** *Programme book of the joint conference of ECPA - ECPLF*. Edited by A. Werner, A. Jarfe. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 162.

14. Basso B., Sartori L., Bertocco M., Oliviero G. (2003b) Evaluation of variable depth tillage: economic aspects and simulation of long term effects on soil organic matter and soil physical properties. **In:** *Precision Agriculture: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*. June 15 - 19, 2003, Berlin (Germany). Ed. by J. Stafford, A. Werner. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 61 - 67.
15. Begiebing S., Bach H., Wehrhan M., Mauser W. (2006) Hyperspectral, Directional Remote Sensing Data and the Canopy Reflectance Model SLC. **In:** *Agricultural Engineering for a Better World: Book of abstracts*. September 3 - 7, 2006, Bonn, p. 317 - 318.
16. Ben-Dor E., Banin A. (1995) Near-Infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. *Soil Science Society of America Journal*. No. 59, p. 364 - 372.
17. Bianchini A. A., Mallarino A. P. (2002) Soil-sampling alternatives and variable-rate liming for a soybean-corn rotation. *Agronomy Journal*. No. 94 (6), p. 1355 - 1366.
18. Black C. A. (1993) *Soil Fertility Evaluation and Control*. Lewis Publishers. 746 p.
19. Blackmore S. (2002) Developing the Principles of Precision Farming. Denmark [tiešsaiste] [skatīts 2010. g. 15. augustā]. Pieejams: <http://www.cpf.kvl.dk>
20. Blackmore S., Moore M. (1999) Remedial Correction of Yield Map Data. *Precision Agriculture*. No. 1, p. 53 - 66.
21. Boess J., Heineke H.-J., Kues J. (2003) Digital soil maps: A requirement for precision agriculture. **In:** *Programme book of the joint conference of ECPA - ECPLF*. Ed. by A. Werner, A. Jarfe. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 166.
22. Bonāts I. (1980) *Kviešu audzēšana*. Rīga: Avots. 105 lpp.
23. Boruks A. (1987) *Intensīvās tehnoloģijas augkopībā*. Rīga: Avots. 151 lpp.
24. Boruks A. (2004) *Dabas apstākļi un to ietekme uz agrovidi Latvijā*. Rīga. 166 lpp.
25. Boruks A., Brīvkalns K., Stalbovs R. (1967) *Zeme un ražība*. Rīga: Liesma. 198 lpp.
26. Bottinger S., Wacker P., Hermann W. (2006) Small Scaling Differences in Yield and other Parameters for Winter Wheat. **In:** *Agricultural Engineering for a Better World: Book of abstracts*. September 3 - 7, 2006, Bonn, p. 357 - 358.
27. Bourennane H., Nicoullaud B., Couturier A., King D. (2003) Assessment of spatial correlation between wheat yields and some physical and chemical soil properties. **In:** *Precision Agriculture: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*. June 15 - 19, 2003, Berlin (Germany). Ed. by J. Stafford, A. Werner. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 95 - 101.
28. Boydell B., McBratney A. B. (2002) Identifying potential within-field management zones from cotton-yield estimates. *Precision Agriculture*. Vol. 3, No. 1, p. 9 - 23.
29. Brīvkalns K. (1978) *Iepazīsim mūsu augsnes*. Rīga: Zinātne. 64 lpp.
30. Brodsky L., Vanek V., Boruvka L., Szakova J. (2004) Consistency of spatial dependence of soil chemical properties in two fields: a geostatistical study. *Plant, Soil and Environment*. Vol. 50, No. 11, p. 507 - 512.
31. Busscher W. J., Bauer P. J., Camp C. R., Sojka R. E. (1997) Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil & Tillage Research*. Vol. 43, No. 3 - 4, p. 205 - 217.
32. Busscher W. J., Frederick J. R., Bauer P. J. (2000) Timing Effects of Deep Tillage on Penetration Resistance and Wheat and Soybean Yield. *Soil Science Society of America Journal*. No. 64, p. 999 - 1003.

33. Carter M. R. (1996) Characterization of Soil Physical Properties and Organic Matter: Long - Term Primary Tillage in a Humid Climate. *Soil and Tillage Research*. No. 33, p. 251 - 263.
34. Chan M. D., Hummel J. W., Brouer B. H. (1994) Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. *Soil Science Society of America Journal*. No. 58, p. 1240 - 1248.
35. Čirkovs J. (1978) *Lauksaimniecības meteoroloģijas pamati*. Rīga: Zvaigzne. 186 lpp.
36. Colemann N., Weld S., McCracken R. (1959) Cationexchange capacity and exchangeable cations in Piedmont Soils of Nordin Carolina. *Soil Science Society of America Proceedings*. Vol. 23, No. 2, p. 121 - 126.
37. Coquil, B. and Bordes, J.-P. (2005) FARMSTAR: an efficient decision support tool for near real time crop management from satellite images. **In:** *Precision Agriculture (ECPA) 2005. Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 873 - 880.
38. Czyz E. A., Dexter A. R. (2008) Soil physical properties under winter wheat grown with different tillage systems at selected locations. *International Agrophysics*. Vol. 22, p. 191 - 200.
39. Daiga Z., Ozola M., Vēvers E., Zake I. (1990) *Informacionālās skaitļošanas sistēmas "Augsne - raža" izmantošana*. Rīga: Zinātne. 134 lpp.
40. Delin S. (2005) *Site-specific Nitrogen Fertilization Demand in Relation to Plant Available Soil Nitrogen and Water*. Doctoral thesis. Swedish university of Agricultural Sciences. Skara. 55 p.
41. Dere S., Yildirim M. B. (2006) Predicting of Combining Ability for Length, Width and Area of Flag Leaf Area and Grain Yield per Plant in Bread Wheat with Respect to Diallel Analysis. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. Vol. 43, No. 1, p. 21 - 32.
42. Dinaburga G. (2007) *Augsnes dziļirdināšanas efektivitātes vērtējums ziemas kviešiem izmantojot precīzās laukkopības tehnoloģijas: zinātniskais darbs maģistra grāda ieguvei*. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Augsnes un augu zinātņu institūts; zin. vad. D. Lapiņš. Jelgava. 64 lpp.
43. Dinaburga G., Lapins D., Berzins A., Plume A. (2008) Efficiency Estimation of Soil Deep-Tillage for Winter Wheat by Using Precision Technologies of Crop Cultivation. *Latvian Journal of Agronomy*. No. 11, p. 211 - 217.
44. Dobermann A., Ping J. L., Simbahan G. C., Adamchuk V. I. (2003) Processing of yield map data for delineating yield zones. **In:** *Precision Agriculture: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*. June 15 - 19, 2003, Berlin (Germany). Ed. by J. Stafford, A. Werner. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 177 - 185.
45. Dofossez P., Richard G. (2002) Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. *Soil and Tillage Research*. Vol. 67, No. 1, p. 41 - 64.
46. Dohmen B., Matte F. (2002) *The use of airborne videography and other information sources in Precision farming* [tiešsaiste] [skatīts 2010. g. 18. augustā]. Pieejams: [http://www.agriculturadeprecision.org/cursos/IIITallerInternacional/Dohmen%20y%20Matte%20\(Agrosat%20Chile\)%20Procisur%201719%20Dic%202002.pdf](http://www.agriculturadeprecision.org/cursos/IIITallerInternacional/Dohmen%20y%20Matte%20(Agrosat%20Chile)%20Procisur%201719%20Dic%202002.pdf)

47. Domsch H., Boess J., Ehlert D., Wuttig H.-J. (2005) Evaluation of the penetration resistance along a transect. *In: Precision Agriculture (ECPA) 2005. Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 465 - 472.
48. Domsch H., Heisig M., Witzke K. (2007) Estimation of yield maps using yield data from a few tracks of a combine harvester and aerial images. *In: 6th European Conference on Precision Agriculture*. June 3 - 6, 2007, Skiathos, Greece. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 289 - 296.
49. Dorbe A., Livmanis J., Rulle S., Vucāns R. (2000) Mēslojuma ietekme uz vasaras kviešu ražu un ķīmisko sastāvu. *Agronomijas Vēstis*. Nr. 2, 19. - 21. lpp.
50. Dorbe A., Vucāns R. (1999) Fosfora mēslojuma normu ietekme uz ziemas kviešu ražu un kvalitātes rādītājiem. *Agronomijas Vēstis*. No. 1, 47. - 51. lpp.
51. Ehlert D., Dammer K. H. (2006) Wide-scale testing of the Crop-Meter for site-specific farming. *Precision Agriculture*. Vol. 7, No. 2, p. 101 - 115.
52. Ehlert D., Kraatz S., Horn H.-J. (2003) Improvement of the pendulum-meter for measuring crop biomass. *In: Precision Agriculture: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*. June 15 - 19, 2003, Berlin (Germany). Ed. by J. Stafford, A. Werner. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 199 - 204.
53. *Eiropas un Vidusjūras augu aizsardzības organizācijas (EAAO) Augu attīstības stadiju noteicējs* (1997). Rīga, LR ZM. 4. - 12. lpp.
54. Ess D. R., Morgan M. T., Parsons S. D. (2003) *Implementing Site-Specific Management: Map- Versus Sensor- Based Variable Rate Application*. Purdue Extension. Educational Materials Catalog. Knowledge to Go, 1-888-EXT-INFO, p. 49. [tiešsaiste] [skatīts 2010. g. 18. augustā]. Pieejams: <http://www.extension.purdue.edu/extmedia/AE/SSM-2-W.pdf>
55. Feiza V., Cesevicius G. (2006) Soil Physical Properties: An Approach to Optimize Tillage in Crop Production System in Lithuanian. *In: Soil Management For Sustainability*. Advances in GeoEcology 38. R. Horn, H. Fleige., S. Peth, X. Peng (eds). Follow-up series of CATENA Supplements. Reiskirchen, Germany, p. 355 - 361.
56. Feiziene D., Feiza V., Lazauskas S., Kadžiene G., Šimanskaite D., Deveikyte I. (2007) The influence of soil management on soil properties and yield of crop rotation. *Žemdirbyste - Agriculture*. Vol. 94, Nr. 3, p. 129 - 145.
57. Ferrara R. M., Trevisiol P., Acutis M., Rana G., Richter G. M., Baggaley N. (2009) Topographic impacts on wheat yields under climate change: two contrasted case studies in Europe. *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 99, No. 1 - 2, p. 53 - 65.
58. Ferrero A., Usowicz B., Lipiec J. (2005) Spatial distribution of bulk density and water content of soil and their influence on penetration resistance in hillslope vineyard. *In: Proceedings of 9th International Conference on Agrophysics "Environment and Food Safety"*, Poland: Lublin, August 28 - 31. 2005, p. 41 - 43.
59. Gavito M. E., Curtis P. S., Mikkelsen T. N., Jakobsen I. (2001) Interactive Effects of Soil Temperature, Atmospheric Carbon Dioxide and Soil N on Root Development, Biomass and Nutrient Uptake of Winter Wheat During Vegetative Growth. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 52, No. 362, p. 1913 - 1923.
60. Grove J. H., Pena-Yewtukhiw E. M. (2007) The potential of "precision" recommendations for site-specific phosphorus, potassium and lime applications. *In: 6th European Conference on Precision Agriculture*. June 3 - 6, 2007, Skiathos, Greece. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 689 - 695.

61. Gustafsson K. (2002) Liming and P and K fertilisation in precision agriculture. *In: NJF seminar 336 "Implementation of Precision Farming in Practical Agriculture"*, held in Skara, Sweden, June 10 - 12, 2002, p. 13. [tiešsaiste] [skatīts 2010. g. 25. maijā]. Pieejams: [http://www.njf.nu/filebank/files/20070121\\$185817\\$fil\\$Lba1SZDAmYh3bzP7koFR.pdf](http://www.njf.nu/filebank/files/20070121$185817$fil$Lba1SZDAmYh3bzP7koFR.pdf)
62. Hamza M. A., Anderson W. K. (2005) Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*. Vol. 82, No. 2, p. 121 - 145.
63. Hill R. L. (1990) Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 54, p. 161 - 166.
64. Hoelt G. R., Nafziger D. E., Johnson R. R., Aldrich R. S. (2000) *Modern Corn and Soybean Production*. Champaign IL: MCSP Publications, p. 235 - 245.
65. Hubbard V. C., Jordan D. (1996) Nitrogen Recovery by Corn From Nitrogen - 15 Labeled Wheat Residues and Intact Roots and Soil. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 60, No. 6, p. 1405 - 1410.
66. Inman D., Khosla R., Lefsky M., Westfall D. G. (2005) Early season grain yield prediction using remote sensing and site-specific management zones. *In: Precision Agriculture (ECPA) 2005. Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 835 - 841.
67. James I. T., Godwin R. J. (2003) Soil, Water and Yield Relationships in Developing Strategies for the Precision Application of Nitrogen Fertiliser to Winter Barley. *Biosystems Engineering*. Vol. 84, No. 4, p. 467 - 480.
68. Jaynes D. B., Colvin T. S., Kaspar T. C. (2005) Identifying potential soybean management zones from multi-year yield data. *Computers and Electronics in Agriculture*. No. 46, p. 309 - 327.
69. Jones J. B. (1998) *Plant Nutrition. Manual*. CRC Press LLC. 149 p.
70. Jones R. J. A., Spoor G., Thomasson A. J. (2003) Vulnerability of subsoils in Europe to compaction: a preliminary analysis. *Soil and Tillage Research*. Vol. 73, No. 1 - 2, p. 131 - 143.
71. Kadziene G. (2009) *Integrated assessment of the variation of soil properties in different soil tillage - fertilization systems: summary of doctoral dissertation: Biomedical sciences, Agronomy (06 B): (26.03.09)*. Kaunas: LUA. 18 p.
72. Kalbitz K. (2001) Properties of organic matter in soil solution in a German fen area as dependent on land use and depth. *Geoderma*. No. 104, p. 203 - 214.
73. Kārklīņš A. (1997) *Augsnes resursi un mēslošanas līdzekļu lietošanas pētījumi ilgtspējīgas lauksaimniecības apstākļos: zinātniskā darba kopsavilkums Dr. h. lauks. zinātniskā grāda iegūšanai*. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Jelgava. 113 lpp.
74. Kārklīņš A. (2008) *Augsnes diagnostika un apraksts*. Jelgava: LLU. 336 lpp.
75. Kaufmann M., Tobias S., Schulin R. (2010) Comparison of critical limits for crop plant growth based on different indicators for the state of soil compaction. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. Vol. 173, No. 4, p. 573 - 583.
76. Kerstin G. (2008) *Use of sensor technologies to estimate and assess the effects of various plant diseases on crop growth and development*. Dissertation in fulfilment of the requirement for the degree "Doctor der Agrarwissenschaften". University of Hohenheim. 170 p.
77. Klovāns J., Kroģere R. (1978) *Racionāla augsnes apstrāde*. Rīga: Liesma. 202 lpp.

78. Kroģere R., Liepiņš J., Ausmane M., Melngalvis I. (2005) Augšnes pamatapstrādes minimalizācija augsekā I Augsekas produktivitāte. *Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti*. Nr. 13 (308), 18. - 25. lpp.
79. Kuhn J., Brenning A., Wehrhan M., Koszinski S., Sommer M. (2009) Interpretation of electrical conductivity patterns by soil properties and geological maps for precision agriculture. *Precision Agriculture*. No. 10, p. 490 - 507.
80. Kumar S., Stohlgren T. J., Chong G. W. (2006) Spatial heterogeneity influences native and nonnative plant species richness. *Ecology*. Vol. 12, No. 87, p. 3186 - 3199.
81. Lachapelle G., Cannon M.E., Gehue H., Goddard T., Penney D. (1994) GPS system integration and field approaches in precision farming. *Navigation*. Vol. 41, No. 3, p. 323 - 335.
82. Lal R. (1998) Soil erosion impact on agronomic productivity and environmental quality. *Critical Reviews in Plant Science*. Vol. 17, No. 4, p. 319 - 464.
83. Lamb J. A., Dowdy R. H., Anderson J. L., Rehm G. W. (1997) Spatial and temporal stability of corn grain yields. *Journal of Production Agriculture*. No. 10, p. 410 - 414.
84. Lampurlanes J., Cantero-Martinez C. (2003) Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop Management systems and their relationship with barley root growth. *Agronomy Journal*. Vol. 95, p. 526 - 536.
85. Lapiņš D. (1997) *Zemkopības likumi, augu dzīves faktoru regulēšana laukkopībā*. Jelgava: Ozolnieki. 48 lpp.
86. Lapiņš D., Bērziņš A., Gaile Z., Koroļova J. (2001a) Effect of Soil Tillage and Sowing Technologies on Winter Wheat. *In: Proceedings of the 3rd International Conference "Environment. Technology. Resources"*. June 19 - 21, 2001, Rēzekne, RA Izdevniecība, p. 61 - 65.
87. Lapiņš D., Bērziņš A., Gaile Z., Koroļova J., Sprincina A. (2001b) Effectivity of Soil Tillage and Sowing Technologies of Winter Wheat. *In: Proceedings of the International Conference "Sustainable Agriculture in Baltic States"*. June 28 - 30, 2001, Tartu, Estonia, p. 88 - 93.
88. Lapiņš D., Bērziņš A., Gaile Z., Koroļova J., Sprincina A. (2003a) Augšnes apstrādes un sējas tehnoloģiju ietekme uz ziemas kviešu ražas veidošanos. *Agronomijas Vēstis*. Nr. 5, 100. -108. lpp.
89. Lapiņš D., Bērziņš A., Gaile Z., Oboļeviča D., Grenovska K., Koroļova J., Sprincina A., Kopmanis J. (2003b) Augšnes apstrādes un sējas tehnoloģiju ietekme uz ziemas kviešu graudu ražu un tās kvalitāti. *Agronomijas Vēstis*. Nr. 5, 109. -116. lpp.
90. Lapins D., Berzins A., Kopmanis J., Melngalvis I., Sanzarevska R. (2005a) Possibilities of soil tillage and sowing technologies optimisation in spring barley. *Latvian Journal of Agronomy*. No. 8, p. 211 - 215.
91. Lapiņš D., Bērziņš A., Kopmanis J., Oboļeviča D., Sprincina A. (2004) Ziemas kviešu graudu raža atkarībā no augšnes dziļirdināšanas un sējas tehnoloģijām. *Agronomijas Vēstis*. Nr. 6, 94. - 101. lpp.
92. Lapins D., Berzins A., Kopmanis J., Sprincina A. (2005b) Soil resistance in winter wheat sowing as dependent on soil tillage and sowing technologies. *Latvian Journal of Agronomy*. No. 8, p. 206 - 210.
93. Lapiņš D., Kažotnieks J. (1998) *Augšnes apstrāde*. Ozolnieki: LLKC. 97 lpp.

94. Lapins D., Rucins A., Vilde A., Cesnieks S., Berzins A., Aizsilnieks A., Kopmanis J., Plume A. (2006) Investigations in precision agriculture in Latvia: Soil tillage management. **In:** *NJF Seminar 378 „Tillage systems for the benefit of agriculture and the environment”: Book of abstracts*. May 29 - 31, 2006, Odense, Denmark, p. 168 - 176.
95. Lapins D., Vilde A., Berzins A., Dinaburga G., Plume A., Rucins A. (2008a) Investigations of Technologies for the Precision Agriculture and Estimation their Efficiency. **In:** *Proceedings of the 13th International Conference “Biosystems Engineering and Processes in Agriculture”*. September 25 - 26, 2008, Raudondvaris. No. 13, p. 157 - 161.
96. Lapins D., Vilde A., Berzins A., Plume A., Dinaburga G. (2007) Criteria For the Site Specific Soil Tillage. **In:** *Proceedings of the 6th International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”*, May 24 - 25, 2007, Jelgava: LLU, p. 268 - 275.
97. Lapins D., Vilde A., Berzins A., Plume A., Dinaburga G. (2008b) The Choice of the Differentiation Criteria of Soil Tillage Using the Geographic Information System (GIS). *Latvian Journal of Agronomy*. No. 10, p. 51 - 57.
98. Lapins D., Vilde A., Berzins A., Plume A., Rucins A. (2006) Investigations in Precision Agriculture in Latvia Studies of Soil Properties and Tillage. **In:** *Soil management for sustainability: 17th International soil tillage research conference*, 28 August - 2 September, 2006, Kiel. ISTRO. Reiskirchen. (Advances in GeoEcology: a cooperating series of the International Union of soil science; vol. 38), p. 223 - 232.
99. Lapinsh D., Berzinsh A., Gaile Z., Korolova J. (2001) Soil tillage and sowing technologies for spring barley and winter wheat. **In:** *1st International Conference of BSB of ISTRO. Meeting of Working Group 3 of the INCO - COPERNICUS “Concerted Action on Subsoil Compaction”*. August 21 - 24, 2001, Estonia, Tartu, p. 150 - 160.
100. *Latvijas augšņu noteicējs* (2009). A. Kārklīņa red. A. Kārklīšs, I. Gemste, H. Mežals, O. Nikodemus, R. Skujāns. Jelgava: LLU. 240 lpp.
101. *Latvijas zinātnes sasniegumi 2006. gadā* (2007). *Terra*. Nr. 2, 41. lpp.
102. Lauksaimniecības un vides riska modelēšana ar ĢIS metodēm (2005). P. Bušmanis, V. Jansons, A. Kārklīšs, D. Kiršteina. **No:** *Riski lauksaimniecībā un privātajā mežsaimniecībā*. P. Rivžas red. Jelgava: LLU: TU, 363. - 384. lpp.
103. Lindermanis J. (1957) *Ziemāji un to audzēšanas agrotehnika*. Rīga: Latvijas valsts izdevniecība. 85 lpp.
104. Link J., Graeff S., Batchelor W. D., Claupein W. (2006) Performance of a precision farming crop growth model in three different regions. **In:** *CIGR WORLD CONGRESS Agricultural Engineering for a Better World: Book of abstracts*. September 3 - 7, 2006, Bonn, Germany, p. 315 - 316.
105. Līpenīte I., Kārklīšs A. (2011) Augsnes kvalitāte zemes izmantošanas maiņas kontekstā II. Augsnes fizikālās un agroķīmiskās īpašības. *Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti*. Nr. 26 (321), 18. - 32. lpp.
106. Lund E. D., Adamchuk V. I., Collings K. L., Drummond P. E., Christy C. D. (2005) Development of soil pH and lime requirement maps using on-the-go soil sensors. **In:** *Precision Agriculture (ECPA) 2005. Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 457 - 464.

107. Lyon D. J., Smith J. A. (1992) Wind erosion control. *In: Conservation Tillage Systems and Management. Crop Residue Management with No-till, Ridge-till, Mulch-till.* MidWest Plan Service: Agricultural and Biosystems Engineering Department, p. 12 - 14.
108. Maleki M. R., Mouazen A. M., Ketelaere B. De., Ramon H., Baerdemaeker J. De. (2007) Development and evaluation of an on-the-go visible and near infrared soil sensor-based variable rate phosphorus fertilization system. *In: 6th European Conference on Precision Agriculture.* June 3 - 6, 2007, Skiathos, Greece. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 705 - 711.
109. Maleki M. R., Mouazen A. M., Ramon H., Baerdemaeker J. De. (2006) Optimisation of Variable Rate Application System of Soil Phosphorus Using On-line VIS-NIR Sensor. *In: CIGR, EurAgEng, VDI-MEG; FAO World Congress 2006; Agricultural Engineering for a better World: Book of abstracts.* 3 - 7 September, 2006, Bonn, Germany, p. 295 - 296.
110. Maleki M. R., Van Holm L., Merckx R., Ramon H., De Baerdemaeker J., Mouazen A. M. (2006) Phosphorus Sensing for Fresh Soils Using Visible and Near Infrared Spectroscopy. *Biosystems Engineering.* Vol. 95, No. 3, p. 425 - 436.
111. Melngalvis I., Liepiņš J., Ausmane M. (2001) Aršanas dziļuma samazināšanas ietekme uz augsnes agrofizikālajām īpašībām un graudaugu ražu. *Agronomijas Vēstis.* Nr. 3, 103. - 107. lpp.
112. *Metodiskie norādījumi augšņu agroķīmiskajai izpētei un izpētes rezultātu novērtēšanai* (2005). Rīga: LR ZM. 38 lpp.
113. Mežals G. (1999) Dažas svarīgākās Pēterlauku augšņu īpašības. *Agronomijas Vēstis.* No. 1, 77. - 81. lpp.
114. Misotten B., Strubbe G., DeBaerdemaeker J. (1997) Straw yield mapping: A tool for interpretation of grain yield differences within a field. *In: Precision Agriculture '97: Proceedings of the 1th European Conference on Precision Agriculture.* Ed. by J.V. Stafford, UK: Bios Scientific Publishers, p. 735 - 742.
115. Monyo J. H., Whittington W. J. (1972) Genotypic Differences in Flag Leaf Area and Their Contribution to Grain Yield in Wheat. *Euphytica.* No. 22, p. 600 - 606.
116. Moore M. (1997) An Investigation into the Accuracy of Yield Maps and Their Subsequent Use in Crop Management. Ph. D. thesis, Cranfield University. 371 p. [tiešsaiste] [skatīts 2010. g. 8. jūnijā] Pieejams: http://www.cpf.kvl.dk/Papers/Mark_Moore_Thesis/03Abstract.pdf
117. Mouazen A. M., De Baerdemaeker J., Ramon H. (2005) Towards development of on-the-go soil moisture content sensor using a fibre-type NIR spectrophotometer. *Soil & Tillage Research.* No. 80, p. 171 - 183.
118. Nash E., Korduan P., Bill R. (2007) Optimising data flows in precision agriculture using open geospatial web services. *In: 6th European Conference on Precision Agriculture.* June 3 - 6, 2007, Skiathos, Greece. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 753 - 759.
119. Nienaber G., Diekhans Dr. N. (2006) Accuracy analysis of GPS based autoguidance systems. *In: Agricultural Engineering for a Better Word: Book of abstracts.* September 3 - 7, 2006, Bonn, p. 335 - 336.
120. Noack P. O., Muhr T., Demmel M. (2003) Relative accuracy of different yield mapping systems installed on a single combine harvester. *In: Precision Agriculture: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA).* June 15 - 19, 2003, Berlin (Germany). Ed. by J. Stafford, A. Werner. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 451 - 456.

121. Oades J. M. (1984) Soil organic matter and structural stability mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*. No. 76, p. 319 - 337.
122. Oboļeviča D., Ruža A. (2004) Ziemas kviešu augšanas diennakts ritmu izmaiņu pētījumi veģetācijas periodā. *Agronomijas Vēstis*. Nr. 6, 53. - 60. lpp.
123. Pedersen S. M. (2003) *Precision farming - Technology assessment of site-specific input application in cereals*: doctoral dissertation. Technical University of Denmark. Denmark. 343 p.
124. Pedersen S. M., Fountas S., Blackmore S., Pedersen J. L., Pedersen H. H. (2003) Adoption of precision farming in Denmark. **In:** *Precision Agriculture: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*. June 15 - 19, 2003, Berlin (Germany). Ed. by J. Stafford, A. Werner. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 533 - 538.
125. Persson K., Skovsgaard H. (2003) Use of guidance systems in precision agriculture. **In:** *Programme book of the joint conference of ECPA - ECPLF*. Ed. by A. Werner, A. Jarfe. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 123 - 127.
126. Pilesjo P., Thylen L., Persson A. (2005) Topographical data for delineation of agricultural management zones. **In:** *Precision Agriculture (ECPA) 2005. Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 819 - 826.
127. Plume A., Dinaburga G., Kopmanis J., Lapins D., Berzins A. (2009) Effect of Soil Deep Ploughing on Winter Wheat Depending on Soil Conditions. **In:** *Proceedings of the 8th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. May 28 - 29, 2009, Jelgava: LLU, p. 27 - 31.
128. Rahim M. A., Salam A., Saeed A., Shakeel A., Abbas G. (2006) Combining Ability for Flag Leaf Area, Yield and Components Bread Wheat. *Journal of Agricultural Research*. Vol. 44, No. 3, p. 175 - 180.
129. Rataj V., Havrankova J. (2006) Farm Production Planning Based on 4-years Site-specific Information. **In:** *Agricultural Engineering for a Better World: Book of abstracts*. September 3 - 7, 2006, Bonn, p. 375 - 376.
130. Rehnberg G. (2002) A farmer's experience with precision agriculture: a farm in Southern Finland. **In:** *NJF seminar 336 “Implementation of Precision Farming in Practical Agriculture”*, held in Skara, Sweden, June 10 - 12, 2002. p. 30 - 31. [tiešsaiste] [skatīts 2010.g. 25. maijā] Pieejams: [http://www.njf.nu/filebank/files/20070121\\$185817\\$fil\\$Lba1SZDAmYh3bzP7koFR.pdf](http://www.njf.nu/filebank/files/20070121$185817$fil$Lba1SZDAmYh3bzP7koFR.pdf)
131. Reyniers M., Vrindts E., De Baerdemaeker J. (2006) Comparison of an aerial-based system and an on the ground continuous measuring device to predict yield of winter wheat. *European Journal of Agronomy*. Vol. 24, No. 2, p. 87 - 94.
132. Riekstiņš A. (2008) *Laukkopība*. Talsi: Valsts Stendes graudaugu selekcijas institūts. 416 lpp.
133. Robert P. (1993) Characterization of soil conditions at the field level for soil specific management. *Geoderma*. No. 60, p. 57 - 72.
134. Rooney D., Stelford M., Landolt D. (1999) *Site-Specific Soil Compaction Mapping Using a Digital Penetrometer. Site-Specific Management Guidelines on CD* [tiešsaiste] [skatīts 2010. g. 18. augustā] Pieejams: <http://ppi-store.stores.yahoo.net/sitmanguid.html>

135. Roy S. K., Shibusawa S., Okayama T. (2005) Site-specific soil properties prediction using hyperspectral signatures of topsoil coverage and underground image by real-time soil spectrophotometer. *In: Precision Agriculture (ECPA) 2005. Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 529 - 536.
136. Rubenis J., Liepa I. (1976) *Agronomisko izmēģinājumu metodikas pamati*. Rīga: Zvaigzne. 179 lpp.
137. Ruža A. (1996) *Kviešu un miežu ražas un tās kvalitātes agroekoloģiskais pamatojums: zinātniskā darba kopsavilkums Dr. h. lauks. zinātniskā grāda iegūšanai*. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Jelgava: LLU. 75 lpp.
138. Schaffer B., Stauber M., Miller R., Schulin R. (2006) Compaction - Induced Changes in Macro-Pore Structure of Restored Soil. *In: Soil Management For Sustainability*. R. Horn, H. Fleige, S. Peth, X. Peng (eds). Advances in GeoEcology 38. Follow-up series of CATENA Supplements, Reiskirchen, Germany, p. 31 - 38.
139. Schmidhalter U., Jungert S., Bredemeier C., Gutser R., Manhart R., Mistele B., Gerl G. (2003) Field-scale validation of a tractor based multispectral crop scanner to determine biomass and nitrogen uptake of winter wheat. *In: Precision Agriculture: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*. June 15 - 19, 2003, Berlin (Germany). Ed. by J. Stafford, A. Werner. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 615 - 619.
140. Scotford I. M., Miller P. C. H. (2003a) Characterisation of winter wheat using measurements of normalised difference vegetation index and crop height. *In: Precision Agriculture: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*. June 15 - 19, 2003, Berlin (Germany). Ed. by J. Stafford, A. Werner. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 621 - 626.
141. Scotford I. M., Miller P. C. H. (2003b) Monitoring the growth of winter wheat using measurements of normalised difference vegetation index (NDVI) and crop height. *In: Precision Agriculture: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*. June 15 - 19, 2003, Berlin (Germany). Ed. by J. Stafford, A. Werner. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 627 - 632.
142. Scotford I. M., Miller P. C. H. (2005) Vehicle mounted sensors for estimating tiller density and leaf area index (LAI) of winter wheat. *In: Precision Agriculture (ECPA) 2005. Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 201 - 208.
143. Searcy S. W. (1997) *Precision Farming: A New Approach to Crop Management*. Texas Agricultural Extension Service [tiešsaiste] [skatīts 2010. g. 21. septembrī]. Pieejams: <http://txprecag.tamu.edu/content/pub/pf-ncm.pdf>
144. Selige T., Natscher L., Schmidhalter U. (2003) Spatial detection of topsoil properties using hyperspectral sensing. *In: Precision Agriculture: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*. June 15 - 19, 2003, Berlin (Germany). Ed. by J. Stafford, A. Werner. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 633 - 638.
145. Shelton D. P., Dickey E. C., Jasa P. J., Hirschi M. C., Brown L. C. (1992) Water erosion. *In: Conservation Tillage Systems and Management. Crop Residue Management with No-till, Ridge-till, Mulch-till*. MidWest Plan Service: Agricultural and Biosystems Engineering Department, p. 8 - 11.

146. Shibusawa S., Ehara K., Okayama T., Umeda H., Hirako S. (2005) A real-time multi-spectral soil sensor: predictability of soil moisture and organic matter content in a small field. **In:** *Precision Agriculture (ECPA) 2005. Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 495 - 502.
147. Shpedt A. A., Nikitina V. I. (2009) The Influence of Microrelief on the Agrochemical Properties of Chernozems and the Yield of Spring Wheat and Barley. *Eurasian Soil Science*. Vol. 42, No. 8, p. 909 - 915.
148. Si B. C., Farrell R. E. (2004) Scale-dependent relationship between wheat yield and topographic indices: A wavelet approach. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 68, No. 2, p. 577 - 587.
149. Skromanis A., Reinfelde L., Timbare R. (1994) *Latvijas augšņu agroķīmiskās īpašības (1959. - 1990. gads)*. Rīga: Ražība. 105 lpp.
150. Smilga H. (1997) *Smago augšņu susināšana*. Jelgava: LLU. 323 lpp.
151. Smilga H. (2000) *Māls un meliorācija*. Jelgava: LLU. 130 lpp.
152. Sniedze R. (1968) *Arsim pareizi*. Rīga: Liesma. 62 lpp.
153. Spoor G., Tijink F. G. J., Weisskopf P. (2003) Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. *Soil and Tillage Research*. Vol. 73, No. 1 - 2, p. 175 - 182.
154. Stafford J. V. (2000) Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol. 76, No. 3, p. 267 - 275.
155. Stalbovs R. (1974) *Augsnes erozijas Latvijas PSRS*. Rīga: Zinātne. 79 lpp.
156. Strazdiņa V. (2010) *Kviešu selekcija Latvijā. Wheat Breeding in Latvia*. Talsi: APL. 95 lpp.
157. Taylor J. C., Wood G. A., Earl R., Godwin R. J. (2003) Soil Factors and their Influence on Within-field Crop Variability, Part II: Spatial Analysis and Determination of Management Zones. *Biosystems Engineering*. Vol. 84, No. 4, p. 441 - 453.
158. Tekeste M. Z., Raper R. L., Schwab E. B. (2005) Spatial Variability of Soil Cone Penetration Resistance as Influenced by Soil Moisture on Pacolet Sandy Loam Soil in the Southeastern United States. **In:** *Proceedings of 27th Southern Conservation Tillage Systems Conference*, Clemson University, June 27 - 29, 2005, p. 73 - 83.
159. Tekin Y., Kul B., Okursoy R. (2008) Sensing and 3D Mapping of Soil Compaction. *Sensors*. No. 8, p. 3447 - 3459.
160. Timbare R., Reinfelde L. (2007) *Latvijas augšņu īpašības un vides drošība*. Rīga, LR ZM. 72 lpp.
161. Tisdale S. L., Nelson W. L., Beaton J. D., Havlin J. L. (1993) *Soil Fertility and Fertilizers*. Macmillan Publishing Co: Prentice-Hall. 634 p.
162. Trautz D., Kielhorn A. (2006) The need for special precision farming techniques in organic farming - Current technology and outlook. **In:** *Agricultural Engineering for a Better World: Book of abstracts*. September 3 - 7, 2006, Bonn, p. 373 - 374.
163. Trükmann K., Reintam E., Kuht J., Nugis E., Edesi L. (2008) Effect of soil compaction on growth of narrow-leaved lupine, oilseed rape and spring barley on sand loam soil. *Agronomy Research*. Vol. 6, No. 1, p. 101 - 108.
164. Turpin K. M., Lapen D. R., Gregorich E. G., Topp G. C., McLaughlin N. B., Curnoe W. E., Robin M. J. L. (2003) Application of multivariate adaptive regression splines (MARS) in precision agriculture. **In:** *Precision Agriculture: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*. June 15 - 19, 2003, Berlin (Germany). Ed. by J. Stafford, A. Werner. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 677 - 682.

165. Udelhover T., Emmerling C., Jamer T. (2003) Quantitative analysis of soil chemical properties with diffuse reflectance spectrometry and partial least-square regression: A feasibility study. *Plant and Soil*. No. 251, p. 319 - 329.
166. Vanags C., Minasny B., McBratney A. B. (2004) *The dynamic penetrometer for assessment of soil mechanical resistance* [tiešsaiste] [skatīts 2010. g. 3. septembrī]. Pieejams: http://scholar.google.lv/scholar?q=The+dynamic+penetrometer+for+assessment+of+soil+mechanical+resistance.&hl=lv&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar
167. Verschoore R., Pieters J. G., Seps T., Spriet Y., Vangeyte J. (2003) Development of a sensor for continuous soil resistance measurement. *In: Precision Agriculture: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*. June 15 - 19, 2003, Berlin (Germany). Ed. by J. Stafford, A. Werner. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 689 - 695.
168. Vieira S. R., Villa C. E., Vazquez E. V., Gonzalez A. P. (2007) Geospatial analysis of soil fertility data sampled in two consecutive years in Castilla, Spain. *In: 6th European Conference on Precision Agriculture*. June 3 - 6, 2007, Skiathos, Greece. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 257 - 263.
169. Vilde A., Lapins D., Berzins A., Rucins A., Plume A., Repsons J., Aizsilnieks A., Kopmanis J., Skrastins M., Cesnieks S. (2005) Investigations in Precision Agriculture. *In: Proceedings of the International Scientific Conference "Problems of Agrarian Research Development in Common European Space"*. Agrārās zinātnes attīstības problēmas ES vienotā telpā: starptautiskās zinātniskās konferences materiāli. 27. - 28. maijs, 2005, Jelgava. LZA Lauksaimniecības un meža zinātņu nodaļa. Latvijas Lauksaimniecības un meža zinātņu akadēmija. Jelgava: LLU, 47. - 55. lpp.
170. Vilde A., Lapins D., Dinaburga G., Rucins A., Cesnieks S., Berzins A., Plume A., Repsons J. (2008) Investigation of Technologies for Precision Agriculture and Estimation of Their Efficiency. *In: Proceedings of the 10th International congress on mechanization and energy in agriculture*, 14 - 17 October, 2008, Antalya-Türkiye. Akdeniz University. Faculty of Agriculture. Antalya, p. 585 - 591.
171. Vilde A., Lapins D., Dinaburga G., Rucins A., Cesnieks S., Pirs E., Berzins A., Plume A., Kopmanis J. (2010) Some Investigations in Precision Agriculture. *In: Proceedings of the 9th International scientific conference "Engineering for Rural Development"*, May 27 - 28, 2010, Jelgava. Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Institute of Mechanics. Jelgava: LLU. Vol. 9, p. 58 - 61.
172. Vilde A., Rucins A., Skrastins M., Cesnieks S., Lapins D., Berzins A., Aizsilnieks A., Kopmanis J., Plume A. (2005) Investigations in Precision Agriculture in Latvia. *In: Proceedings of the EurAgEng 10th International conference "New technological processes and investigation methods for agricultural engineering"*, 8 - 9 September, 2005, Raudondvaris, Lithuania. Raudondvaris: Lithuania Academia Scientiarum. No. 10, p. 32 - 38.
173. Vilde A., Rucins A., Skrastins M., Cesnieks S., Lapins D., Berzins A., Aizsilnieks A., Kopmanis J., Plume A., Upmacis D., Cers J. (2005a) Investigations in precision agriculture in Latvia. Soil tillage management. *In: International scientific seminar reports "Recent results and future challenges in soil tillage research"*, October 20 - 21, 2005, Žemės dirbimo tyrimų dabartis ir perspektyvos: Tarptautinės mokslinės konferencijos: pranešimai, 20 - 21, 10, 2005, Kaunas. Lietuvos žemės ūkio universitetas. Kaunas: Akadēmija, p. 92 - 96.

174. Vilde A., Rucins A., Skrastins M., Cesnieks S., Lapins D., Berzins A., Aizsilnieks A., Kopmanis J., Plume A., Upmacis D., Cers J. (2005b) Investigations in Precision Agriculture in Latvia. **No:** *Starptautiskā zinātniskā konference „Inženierproblēmas lauksaimniecībā” (Proceedings of the International Scientific Conference „Agricultural Engineering Problems”)*: rakstu krājums, 2. - 3. jūnijs, 2005, Jelgava. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Tehniskā fakultāte. Mehānikas inst. Jelgava: LLU, 36. - 42. lpp.
175. Vilde A., Rucins A., Skrastins M., Lapins D., Kopmanis J. (2005c) Precision Agriculture in Latvia. **In:** *Book of abstracts: Trends, Results, Problems and Visions. European Joint Conference of the 5th European Conference on Precision Agriculture and the 2nd European Conference on Precision Livestock Farming (ECPA-ECPLF)*, 9 - 11 June 2005, Uppsala, Sweden. Swedish Institute of Agricultural and Environmental, p. 312 - 313.
176. Vilde A., Rucins A., Skrastins M., Lapins D., Kopmanis J. (2005d) Precision agriculture using GPS. **In:** *Ecology and agricultural machinery: Proceedings of the 4th international scientific and practical conference, “Environmental aspects of plant production, mobile power units and farm machines” = Экология и сельскохозяйственная техника: материалы 4-ой научно-практической конференции*, 25 - 26 мая 2005 г., Санкт-Петербург. Российская Академия сельскохозяйственных наук. - Санкт-Петербург, 2005. Том 2: Экологические аспекты производства продукции растениеводства, мобильной энергетики и сельскохозяйственных машин, с. 34 - 42.
177. Vilde A., Ruciņš Ā., Viesturs D. (2008) *Globālās pozicionēšanas tehnoloģijas lauksaimniecībā*. Jelgava: LLU. 47 lpp.
178. Viscarra R. A., Gilbertson M., Thylen L., Hansen O., McVey S., McBratney A. B. (2005) Field measurements of soil pH and lime requirement using an on-the-go soil pH and lime requirement measurement system. **In:** *Precision Agriculture (ECPA) 2005. Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 511 - 520.
179. Vitharana U. W. A., Van Meirvenne M., Simpson D., Cockx L., De Baerdemaeker J. (2008) Key soil and topographic properties to delineate potential management classes for precision agriculture in the European loess area. *Geoderma*. No. 143, p. 206 - 215.
180. Vrindts E., Reyniers M., Darius P., De Baerdemaeker J., Gilot M., Sadaoui Y., Frankinet M., Hanquet B., Destain M.-F. (2003) Analysis of Soil and Crop Properties for Precision Agriculture for Winter Wheat. *Biosystems Engineering*. Vol. 85, No. 2, p. 141 - 152.
181. Wagner P., Schneider M. (2006) Prerequisites for the Adoption of new Technologies - the Example of Precision Agriculture. World congress: Agricultural Engineering for a Better World. **In:** *Agricultural Engineering for a Better World: Book of abstracts*. September 3 - 7, 2006, Bonn, p. 371 - 372.
182. Weber R., Zalewski D., Hryn'czuk B. (2004) Influence of the soil penetration resistance, bulk density and moisture on some components of winter wheat yield. *International Agrophysics*. Vol. 18, No. 1, p. 91 - 96.
183. Welsh J. P., Wood G. A., Godwin R. J., Taylor J. C., Earl R., S. Blackmore S., Knight S. M. (2003) Developing Strategies for Spatially Variable Nitrogen Application in Cereals Part I: Winter Barley. *Biosystems Engineering*. Vol. 84, No. 4, p. 481 - 494.

184. Wendroth O., Giebel A., Pena-Yewtukhiw E., Kersebaum K. C., Schwab G. J., Reuter H. I., Murdock L. W., Stombaugh T. S. (2005) Spectral relation between NDVI and grain yield: impact of spatial resolution and measurement device. *In: Precision Agriculture (ECPA) 2005. Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Ed. by J.V. Stafford. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 731 - 739.
185. Werner A., Roth R., Kuhn J., Voßhenrich H.-H., Sommer C., Wenkel K. O., Brozio S., Gebbers R., Dammer K.-H., Ehlert D. (2003) Integrated management of soil and crop in precision agriculture. *In: Programme book of the joint conference of ECPA - ECPLF*. Ed. by A. Werner, A. Jarfe. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 823. - 824.
186. Wetterlind J., Stenberg B., Söderström M. (2008) The use of near infrared (NIR) spectroscopy to improve soil mapping at the farm scale. *Precision Agriculture*. Vol. 9, No. 1 - 2, p. 57 - 69.
187. Whitlock A. (2006) Precision Farming - Supporting Innovation. *In: Soil Management For Sustainability*. R. Horn, H. Fleige, S. Peth, X. Peng (eds). Advances in GeoEcology 38. Follow-up series of CATENA Supplements, Reiskirchen, Germany, p. 242 - 250.
188. Wilhelm W. W., Bouzerzour H., Power J. F. (1989) Soil disturbance residue management effect on winter wheat growth and yield. *Agronomy Journal*. Vol. 81, p. 581 - 588.
189. Wong M. T. F., Lyle G. (2003) Model for land use decisions based on analysis of yield and soil property maps and remote sensing. *In: Precision Agriculture: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*. June 15 - 19, 2003, Berlin (Germany). Ed. by J. Stafford, A. Werner. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 745 - 749.
190. Zhang N., Wang M., Wang N. (2002) Precision agriculture-worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 36, No. 2 - 3, p.113 - 132.
191. Вилде А., Лапинс Д., Берзинс А., Плюме А., Репсонс Я., Руцинс А., Скрастинс М. (2006) Точное земледелие - путь к ресурсосберегающему хозяйствованию. **В кн.:** Труды 5-ой Международной научно-технической конференции „Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве”, 16 - 17 мая 2006 г. Москва: ГНУ ВИЭСХ, с. 17 - 23.
192. Демьяненко А. В., Кирсанов В. М. (2010) Проблемы внедрения навигационно-информационных технологий в сельскохозяйственном производстве. **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. Гомель, с. 17- 21.
193. Иванов П. К., Коробова Л. И. (1969) Плотность почвы и плодородие. *Теоретические вопросы обработки почвы*. Ленинград: Гидрометеиздат, с. 43 - 45.
194. Кобелев Г. П. (2010) Создание единой системы навигационно-временного обеспечения Республики Беларусь. Роль и место навигационно-временного обеспечения в сельскохозяйственном производстве (тезисы доклада). **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. Гомель, с. 38 - 42.

195. Лачуга Ю. Ф. (2005) Точное земледелие и животноводство - генеральное направление развития сельскохозяйственного производства в 21 веке. **В кн.:** *3-я научно-практическая конференция „Машинные технологии производства продукции в системе точного земледелия и животноводства”*, 16 - 18 июня 2005 г. Москва: Издательство ВИМ, с. 8 - 11.
196. Личман Г. И. (2005) Основные направления фундаментальных и прикладных исследований по точному земледелию. **В кн.:** *3-я научно-практическая конференция „Машинные технологии производства продукции в системе точного земледелия и животноводства”*, 16 - 18 июня 2005 г. Москва: Издательство ВИМ, с. 15 - 24.
197. Макаренко Л. Н. (1985) *Эффективность глубокого рыхления на тяжёлых осушенных почвах в западном регионе СССР*. ВАСХНИИ, с. 18 - 23.
198. Мальцев Ю. В. (2005) Системы позиционирования и условия их применения. **В кн.:** *3-я научно-практическая конференция „Машинные технологии производства продукции в системе точного земледелия и животноводства”*, 16-18 июня 2005 г. Москва: Издательство ВИМ, с. 59 - 64.
199. Петрушин А. Ф., Якушев В. В. (2005) Автоматизированная система поддержки принятия решений в точном земледелии. **В кн.:** *3-я научно-практическая конференция „Машинные технологии производства продукции в системе точного земледелия и животноводства”*, 16 - 18 июня 2005 г. Москва: Издательство ВИМ, с. 218 - 221.
200. Салынский В. Ф., Макаров В. А., Терентьев А. С. (2005) Дифференцированное внесение основной дозы минеральных удобрений с использованием машины-удобрителя с наземным позиционированием. **В кн.:** *3-я научно-практическая конференция „Машинные технологии производства продукции в системе точного земледелия и животноводства”*, 16 - 18 июня 2005 г. Москва: Издательство ВИМ, с. 118 - 121.
201. Труфанов В. В. (1989) *Глубокое чизелевание почвы*. Москва: Агропромиздат. 140 с.
202. Якушев В. В. (2010) Опыт внедрения технологий точного земледелия на опытной станции Агрофизического НИИ РАСХН. Практика и перспективы. **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. Гомель, с. 67 - 72.
203. Якушев В. П. (2005) Состояние, задачи и перспективы развития научных основ и технических средств в системе точного земледелия. **В кн.:** *3-я научно-практическая конференция „Машинные технологии производства продукции в системе точного земледелия и животноводства”*, 16 - 18 июня 2005 г. Москва: Издательство ВИМ, с. 30 - 42.

PIELIKUMI

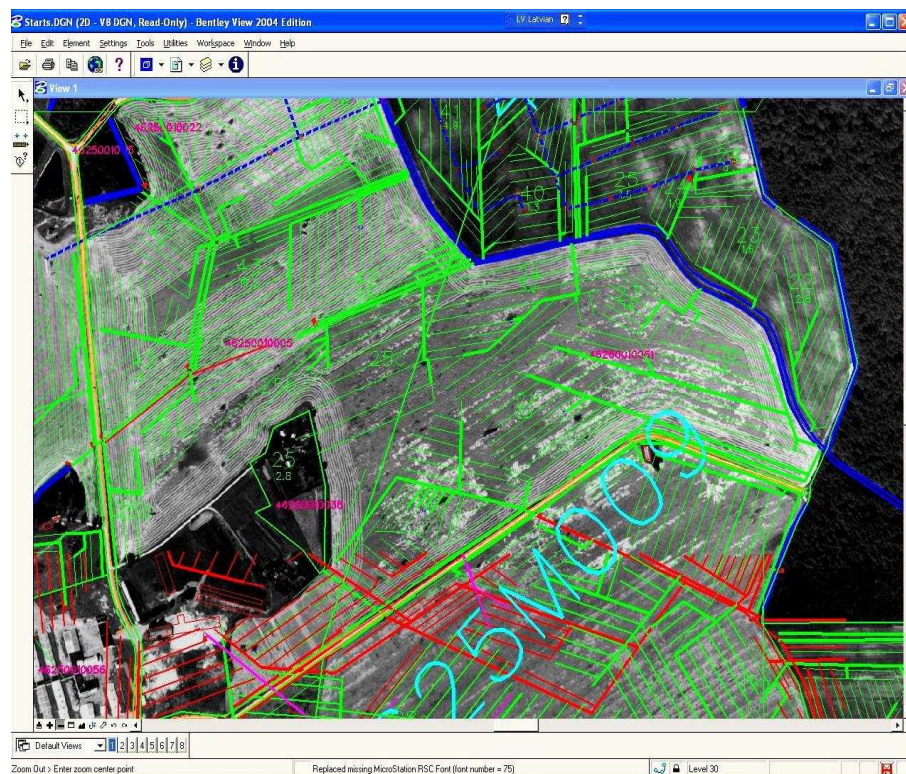
PIELIKUMU SARAKSTS

	lpp.
1. Kurpnieku lauka aerofoto, meliorācijas sistēmas karte un izmantotā aparatūra	132
2. VSIA „Agroķīmisko pētījumu centra”, Analītiskās nodaļas augsnes agroķīmisko analīžu dati	135
3. Nogāžu slīpumi Kurpnieku laukā saistībā ar ūdens noteces grupām uz zemākiem punktiem	136
4. MPS „Vecauce” Metpoles dati un ilggadīgie novērojumi pēc Valsts hidrometeoroloģijas pārvaldes Dobeles meteoroloģiskās stacijas (DHS) datiem	137
5. Vispārīgās ziņas par etalonprofilu un tā atrašanās vietu (1.)	139
6. Vispārīgās ziņas par etalonprofilu un tā atrašanās vietu (2.)	143
7. Vispārīgās ziņas par etalonprofilu un tā atrašanās vietu (3.)	147

Kurpnieku lauka aerofoto, meliorācijas sistēmas karte un izmantotā aparatūra



1. att. Kurpnieku lauka ziemas kviešu sējuma aerofoto 2005. gada rudenī, (foto J. Repsons).



2. att. Kurpnieku lauka meliorācijas sistēmas karte (no MPS „Vecauce” arhīva).



3. att. Plaukstdators Garmin iQ 3600 ar AGROCOM datoru programmatūras AgroMAP Professional nodrošinājumu (foto D. Lapiņš).



4. att. Rokas mitruma mērīšanas ierīce HH2 (Moisture Meter Version 2.1) (foto D. Lapiņš).

1. pielikuma nobeigums



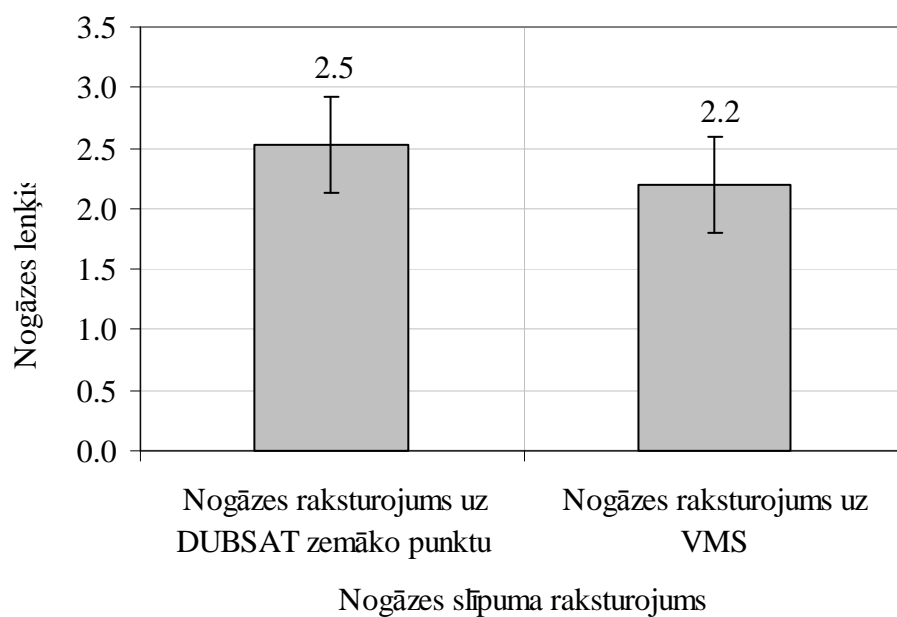
5. att. Firmas Eijkelkamp iekārtas augsnes penetrometriskās pretestības (Eijkelkamp rokas penetrometrs) un tilpummasas noteikšanai (foto A. Bērziņš).



6. att. Punktu augstuma, vjl., m, mērinstruments Trimble GeoXT (foto D. Lapiņš).

**VSIA „Agroķīmisko pētījumu centra”, Analītiskās nodaļas augsnes
agroķīmisko analīžu dati**

Parauga apzīmējums	Reakcija pH KCl	Organiskās vielas saturs, g kg ⁻¹	Ca laktāta ekstraktā	
			K ₂ O, mg kg ⁻¹	P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹
K 1	6.8	31	188	372
K 2	7.0	18	146	151
K 3	6.6	21	195	304
K 4	7.2	18	181	270
K 5	7.1	18	214	457
K 6	7.4	14	222	370
K 7	6.2	19	180	159
K 8	6.4	25	167	174
K 9	6.9	35	198	323
K 10	6.5	35	102	146
K 11	7.2	19	129	176
K 12	6.9	25	152	172
K 13	6.0	31	134	158
K 14	6.9	18	172	156
K 15	6.1	21	161	178
K 16	6.7	21	224	328
K 17	6.9	25	195	315
K 18	7.0	30	242	310
K 19	6.1	23	235	199
K 20	6.9	19	259	245
K 21	7.1	25	202	225
K 22	7.2	91	333	324
K 23	6.9	41	174	231
K 24	5.8	23	210	219
K 25	7.3	19	208	276
K 26	5.9	21	147	139
K 27	5.9	27	114	132
K 28	6.6	27	160	174
K 29	7.2	35	104	161
K 30	6.5	23	138	149
K 31	6.6	21	154	159
K 32	5.4	19	146	114
K 33	6.1	19	167	136
K 34	6.6	31	196	230
K 35	6.9	31	186	353
K 36	7.0	46	178	224
K 37	6.46	29	230	166
K 38	7.08	29	121	161
K 39	7.30	19	238	278
K 40	6.86	19	183	187
K 41	5.51	21	184	129
K 42	5.50	19	148	102
K 43	7.1	46	118	241
K 44	6.5	35	212	394
K 45	6.0	21	155	166
K 46	6.4	21	178	283
K 47	6.3	21	149	164

Nogāžu slīpumi Kurpnieku laukā saistībā ar ūdens noteces grupām uz zemākiem punktiem

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

MPS „Vecauce” Metpoles dati un ilggadīgie novērojumi pēc Valsts hidrometeoroloģijas pārvaldes Dobeles meteoroloģiskās stacijas (DHS) datiem

1. tabula

Vidējā t, °C 2005., 2006., 2007. gadā

Mēneši	2005.	2006.	2007.
Janvāris	-0.5	-6.5	0.5
Februāris	-5.5	-6	-8
Marts	-4.4	-3.8	4.8
Aprīlis	6.0	5.8	5.2
Maijs	11.2	11.6	12.3
Jūnijs	14.3	16.2	16.6
Jūlijs	18.3	20.1	16.3
Augusts	16.1	17.5	17.9
Septembris	13.3	13.9	11.9
Oktobris	7.3	9.2	7.0
Novembris	5.7	4.3	1.2
Decembris	-2.5	4.4	1.4

2. tabula

Nokrišņu summa, mm, 2005., 2006., 2007. gadā

Mēneši	2005.	2006.	2007.
Janvāris	13.2	12	75.2
Februāris	4.6	3.6	13.8
Marts	9	14.8	20.2
Aprīlis	17.2	20.4	31.0
Maijs	42.6	27.6	51.8
Jūnijs	48.6	24.2	49.4
Jūlijs	65.0	13.0	102.2
Augusts	106.4	150.0	59.8
Septembris	35.6	46.0	76.2
Oktobris	35.4	71.6	68.0
Novembris	5.2	41.8	42.6
Decembris	16.8	41.4	20.4

Ilggadīgie novērojumi

Mēneši	Ilggadīgie novērojumi	
	t, °C	nokrišņi, mm
Janvāris	-5.0	30
Februāris	-4.9	24
Marts	-1.5	26
Aprīlis	4.9	42
Maijs	11.2	43
Jūnijs	15.1	51
Jūlijs	16.6	75
Augusts	16.0	75
Septembris	11.5	59
Oktobris	6.8	53
Novembris	1.7	51
Decembris	-2.2	40

Vispārīgās ziņas par etalonprofilu un tā atrašanās vietu (1.)

Reģistrācijas Nr.	DO0090
Apraksta autori	A. Kārklīšs, I. Līpenīte, V. Surikova.
Augsnes apraksta datums	2010. gada 23. augusts.
Tipiskā velēnu karbonātaugsne	VKt (Latvijas klasifikators, 2009).
Hypocutani-Hypocalcic Luvisol (Hypochromic)	Pasaules Augšņu klasifikators, 1998.
Hypopisocalcic Luvisol (Epiabruptic, Hypereutric)	Pasaules Augšņu klasifikators, 2006.
Calcic Luvisol	FAO Unesco, 1974.
Calcic Luvisol	FAO Unesco, 1990.
Typic Hapludalf, Alfisols, Udalfs	ASV augšņu klasifikācijas sistēma <i>Soil Taxonomy</i> , 2010.
Atrašanās vieta	Auces novads, MPS „Vecauce”, Kurpnieku lauks, monitoringa poligons, 2.36 km no Vecauces pils.
Ģeogrāfiskās koordinātas	56° 28.884' Zp. un 22° 55.122' Ag.
Augstums	104 m virs jūras līmeņa.
Fiziogēogrāfiskais raksturojums	Viduslatvijas zemiene, Vadakstes līdzenuma ZR daļa.
Topogrāfija	Sapasmots līdzenums, morēnas pauguri, nogāzes augšdaļa; 6% 90° virzienā 50 m; 5% 230° virzienā 65 m; 5% 140° virzienā 85 m; 4% 350° virzienā 92 m.
Erozija	Aktīva, vāji erodēta plaknes erozija. Vienlaidu augsnes slāņa nonese. Erodētā platība 10 - 25%.
Dabiskā drenētība	Labi drenēta, ūdensšķirtne, pārplūšana nav iespējama, gruntsūdens līmenis - dziļāk par 200 cm.
Klimats	Gada nokrišņu summa - 632 mm, vidējā gaisa temperatūra - + 5.9 °C. Veģetācijas perioda (> 5 °C) ilgums - 194 dienas, aktīvo temperatūru (> 10 °C) summa - 1960, hidrotermiskais koeficients - 1.5.
Augsnes klimats	<i>Frigid</i> temperatūras un <i>udic</i> mitruma režīms.
Cilmiezis	Glaciālie nogulumi.
ZLV, veģetācija	Augmaiņas kultūraugi, apraksta gadā - ziemas rapsis.
Cilvēka ietekme	Meliorēts, mēslots, apstrādāts.
Profila apraksts	
Ap 0 - 30 cm	Brūna (7.5YR 4/3, mitra, 7.5YR 5/4, sausa) smaga, smalka mālsmilts ar maz rupjiem, skaidri kontrastējošiem, skaidru robežu, iesarkani pelēkiem (5YR 5/6) plankumiem; nedaudz vidējas grants, oļu izmēra skeleta daļiņas, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati; vidēji izteikta, vidēja lieluma graudaina struktūra; OV saturs - 1.51%, mitras augsnes konsistence - irstoša,

5. pielikuma turpinājums

sausas - cieta; lipīga līdz ļoti lipīga; plastiska līdz ļoti plastiska; nav pastāvīgu un spilgti izteiktu redoksimorfu pazīmju; porainība - augsta, daudz sīku un ļoti sīku tekstūras poru un sīku, vidēja lieluma eju; daudz ļoti sīkas, sīkas un vidējas augu saknes; maz slieku eju; ļoti stipri karbonātiskas; pH H₂O - 8.03, pH KCl - 7.41; robeža pārejai nākamajā horizontā - skaidra, viļņota.

Bh 30 - 45 cm

Dzelteni sarkana (5YR 5/6, mitra, 5YR 6/4, sausa) smaga, smalka mālsmilts ar maz sīkiem, vāji kontrastējošiem, difūzu robežu, brūniem (7.5YR 5/1) plankumiem; daudz vidējas grants, oļu izmēra skeleta daļiņas, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati un vidēji sadēdējuši dolomīti; vidēji izteikta, vidēja lieluma graudaina struktūra; OV saturs - 0.30%; mitras augsnes konsistence - irstoša, sausas - cieta; lipīga līdz ļoti lipīga; plastiska līdz ļoti plastiska; porainība - vidēja, vidēji daudz sīku un ļoti sīku tekstūras poru un sīku, vidēja lieluma eju, uz horizontālās makroagregātu virsmas vidēji daudz vāji kontrastējošu vienlaidus neregulāru māla un humusa uzklājumu; vērojama nepārtraukta, masīva, sablīvēta, bet nav sacementēta mehāniska sablīvēšanās; ļoti daudz vienlaidus sīku, noapaļoti sfērisku, gan cietu, gan mīkstu, baltu karbonātu konkrēciju un vidēja lieluma mīkstu dzeltenīgi brūnu dzelzs konkrēciju; reducējoši apstākļi un redoksimorfas pazīmes dzelzs oksīdu veidā; vidēji daudz sīkas, ļoti sīkas un ļoti maz sīkas un vidējas augu saknes; maz reliкто sakņu eju; ļoti stipri karbonātiskas; pH H₂O - 8.39, pH KCl - 7.74; robeža pārejai nākamajā horizontā - skaidra, viļņota.

Bt1 45 - 57 cm

Dzelteni sarkana (5YR 5/4, mitra, 5YR 6/3, sausa) viegls māls ar maz sīkiem, vāji kontrastējošiem, difūzu robežu, brūniem (7.5YR 5/1) plankumiem; daudz vidējas grants, oļu izmēra skeleta daļiņas, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati, ļoti sadēdējuši dolomīti un vizla; vidēji izteikta, sīka lieluma stabveida struktūra; OV saturs - 0.28%; mitras augsnes konsistence - cieta, sausas - cieta līdz ļoti cieta; ļoti lipīga; ļoti plastiska; porainība - vidēja, vidēji daudz sīku un ļoti sīku tekstūras poru un sīku, vidēja lieluma eju, uz makroagregātu virsmas daudz izteikti kontrastējošu vienlaidus māla, argilāna uzklājumu; vērojama nepārtraukta, masīva, sablīvēta, bet nav sacementēta mehāniska sablīvēšanās; ļoti daudz vienlaidus sīku, noapaļoti sfērisku, gan cietu, gan mīkstu, baltu karbonātu un rupju dzeltenīgi brūnu dzelzs konkrēciju; reducējoši apstākļi un redoksimorfas pazīmes dzelzs oksīdu veidā; vidēji daudz sīkas, ļoti sīkas un vidējas augu saknes; maz reliкто sakņu eju; ļoti stipri karbonātiskas; pH H₂O - 8.33, pH KCl - 7.55; robeža pārejai nākamajā horizontā - skaidra, gluda.

- Bt2 57 - 85 cm** Brūna (7.5YR 4/3, mitra, 5YR 6/4, sausa) smaga, smalka mālsmilts ar maz sīkiem, skaidri kontrastējošiem, skaidru robežu dzeltenī sarkaniem (10YR 8/3) plankumiem; daudz oļu un sīku akmens izmēra skeleta daļiņu, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati, ļoti sadēdējuši dolomīti un vizla; vidēji izteikta, ļoti rupja izmēra plākšņveida struktūra; OV saturs - 0.13%; mitras un sausas augsnes konsistence - cieta; ļoti lipīga; ļoti plastiska; porainība - vidēja, maz sīku un ļoti sīku tekstūras poru un sīku, vidēja lieluma eju, uz makroagregātu virsmas daudz izteikti kontrastējošu vienlaidus māla, argilāna uzklājumu; vērojama nepārtraukta, masīva, sablīvēta, bet nav sacementēta mehāniska sablīvēšanās; ļoti daudz vienlaidus vidēji lielu, noapaļoti sfērisku, gan cietu, gan mīkstu, baltu karbonātu un rupju dzeltenīgi brūnu dzelzs konkrēciju; reducējoši apstākļi un redoksimorfas pazīmes dzelzs oksīdu veidā; vidēji daudz sīkas, ļoti sīkas un vidējas augu saknes; maz reliкто sakņu eju; ļoti stipri karbonātiskas; pH H₂O - 8.57, pH KCl - 7.81; robeža pārejai nākamajā horizontā - skaidra, gluda.
- Bk1 85 - 160 cm** Brūna (7.5YR 5/4, mitra, 7.5YR 7/3, sausa) smaga, smalka mālsmilts ar maz sīkiem, skaidri kontrastējošiem, skaidru robežu brūniem (7.5YR 8/2) plankumiem; daudz oļu un sīku akmens izmēra skeleta daļiņu, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati, ļoti sadēdējuši dolomīti un vizla; vidēji izteikta, ļoti rupja izmēra plākšņveida struktūra; OV saturs - 0.16%; mitras augsnes konsistence - irstoša, sausas - cieta; ļoti lipīga; ļoti plastiska; porainība - vidēja, maz sīku, ļoti sīku vidēja lieluma tekstūras poru, uz makroagregātu virsmas ļoti daudz vāji kontrastējošu pārtrauktu un neregulāru māla, argilāna uzklājumu; reducējoši apstākļi un redoksimorfas pazīmes dzelzs oksīdu veidā; maz sīko, ļoti sīko un vidējo augu sakņu; maz reliкто sakņu eju; ļoti stipri karbonātiskas; pH H₂O - 8.70, pH KCl - 8.03; robeža pārejai nākamajā horizontā - skaidra, gluda.
- Bk2 160 - 215 cm** Brūna (7.5YR 4/4, mitra, 7.5YR 6/4, sausa) smaga, smalka mālsmilts ar daudz rupjiem, dominējoši kontrastējošiem, asu robežu brūniem (7.5YR 8/3) plankumiem; daudz vidēju un lielu akmeņu izmēra skeleta daļiņu, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati un vidēji sadēdējuši dolomīti; vidēji izteikta, stabveida struktūra; OV saturs - 0.16%, mitras augsnes konsistence - irstoša, sausas - ļoti cieta; ļoti lipīga; ļoti plastiska; porainība - vidēja, maz sīku, ļoti sīku vidēja lieluma tekstūras poru; ļoti daudz vienlaidus vidēji lielu, noapaļoti sfērisku, gan cietu, gan mīkstu, dzeltenīgi brūnu dzelzs konkrēciju; reducējoši apstākļi un redoksimorfas pazīmes dzelzs oksīdu veidā; ļoti stipri karbonātiskas; pH H₂O - 8.71, pH KCl - 8.04.

5. pielikuma nobeigums

Cg 215 - 275 cm (zondējums) Brūna (7.5YR 4/4, mitra, 7.5YR 6/4, sausa) smaga, smalka mālsmilts ar daudz rupjiem, dominējoši kontrastējošiem, asu robežu brūniem (7.5YR 8/3) plankumiem; daudz vidēju un lielu akmeņu izmēra skeleta daļiņu, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati un vidēji sadēdējuši dolomīti; vidēji izteikta, stabveida struktūra; OV saturs - 0.09%, mitras augsnes konsistence - irstoša, sausas - ļoti cieta; ļoti lipīga; ļoti plastiska; porainība - vidēja, maz sīku, ļoti sīku vidēja lieluma tekstūras poru; reducējoši apstākļi un redoksimorfas pazīmes dzelzs oksīdu veidā; ļoti stipri karbonātiskas; pH H₂O - 8.74, pH KCl - 7.99.

Citas pazīmes

Diagnostikas horizonti: Ochric 0 - 30 cm.

Argic 45 - 160 cm.

Diagnostikas pazīmes: Sekundārie karbonāti no 60 cm.

Pēkšņa granulometriskā sastāva maiņa - 45 cm.

Kaļķaini augsnes materiāli - no virspuses.

Pārskaloti morēnas nogulumi šauru lentu veidā.

Amorfie karbonāti (FAO 1974).

Aprakstu sastādīja G. Dinaburga 2011. gada 28. martā. Pēdējās izmaiņas veiktas 2011. gada 20. maijā.

Vispārīgās ziņas par etalonprofilu un tā atrašanās vietu (2.)

Reģistrācijas Nr.	DO0091
Apraksta autori	A. Kārklīšs, I. Līpenīte, V. Surikova.
Augsnes apraksta datums	2010. gada 23. augusts.
Tipiskā velēnu karbonātaugsne ar virsējās glejošanās pazīmēm 122 - 181 cm augsnes slānī	VKt (Latvijas klasifikators, 2009).
Bathystagni-Luvic Phaeozem (Abruptic, Calcaric)	Pasaules Augšņu klasifikators, 1998.
Luvic Hypopisocalcic Bathystagnic Phaeozem (Epiabruptic, Calcaric, Bathychromic, Hyponovic)	Pasaules Augšņu klasifikators, 2006.
Luvic Phaeozem	FAO Unesco, 1974.
Luvic Phaeozem	FAO Unesco, 1990.
Typic Argiudoll, Mollisols, Udolls	ASV augšņu klasifikācijas sistēma <i>Soil Taxonomy</i> , 2010.
Atrašanās vieta	Auces novads, MPS „Vecauce”, Kurpnieku lauks, monitoringa poligons, 2.36 km no Vecauces pils. 56° 28.854' Zp. un 22° 55.146' Ag. 102 m virs jūras līmeņa.
Ģeogrāfiskās koordinātas	
Augstums	
Fizioģeogrāfiskais raksturojums	Viduslatvijas zemiene, Vadakstes līdzenuma ZR daļa.
Topogrāfija	Saposmots līdzenums, morēnas pauguri, nogāzes vidusdaļa; 10% 350° virzienā 64 m; 5% 140° virzienā 50 m; 5% 270° virzienā 50 m; 5% 100° virzienā 112 m.
Erozija	Aktīva, vidēji erodēta ūdens sanesumu erozija. Erodētā platība 5 - 10%.
Dabiskā drenētība	Labi drenēta, pārplūšana nav iespējama, gruntsūdens līmenis - dziļāk par 200 cm.
Klimats	Gada nokrišņu summa - 632 mm, vidējā gaisa temperatūra - +5.9 °C. Veģetācijas perioda (> 5 °C) ilgums - 194 dienas, aktīvo temperatūru (> 10 °C) summa - 1960, hidrotermiskais koeficients - 1.5.
Augsnes klimats	<i>Frigid</i> temperatūras un <i>udic</i> mitruma režīms.
Cilmiezis	Glaciālie nogulumi.
ZLV, veģetācija	Augmaiņas kultūraugi, apraksta gadā - ziemas rapsis.
Cilvēka ietekme	Meliorēts, mēslogs, apstrādāts.

Profila apraksts**Ap 0 - 32 cm**

Brūna (7.5YR 3/2, mitra, 7.5YR 5/3, sausa) smaga, smalka mālsmilts ar maz rupjiem, dominējoši kontrastējošiem, skaidru robežu, brūniem (7.5YR 4/4) plankumiem; vidēji daudz vidējas grants izmēra skeleta daļiņas, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati; vidēji izteikta, graudaina struktūra; OV saturs - 2.26%; mitras augsnes konsistence - irstoša, sausas - cieta; viegli lipīga; plastiska līdz ļoti plastiska; nav pastāvīgu un spilgti izteiktu redoksimorfu pazīmju; porainība - augsta, vidēji daudz sīku un ļoti sīku tekstūras poru un sīku, vidēja lieluma eju; daudz ļoti sīkas, sīkas un vidējas augu saknes; vidēji daudz slieku eju, vērojama cita veida kukaiņu darbība; maz karbonātiskas; pH H₂O - 7.63, pH KCl - 6.97; robeža pārejai nākamajā horizontā - skaidra, viļņota.

Bh 32 - 72 cm

Brūna (7.5YR 4/4, mitra, 7.5YR 6/4, sausa) smags smilšmāls ar daudz vidēji, skaidri kontrastējošiem, skaidru robežu, brūniem (7.5YR 5/1) plankumiem; daudz sīku akmens izmēra skeleta daļiņu, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati un vidēji sadēdējuši dolomīti; vidēji izteikta, sīka un vidēja lieluma noapaļoti prizmatiska struktūra; OV saturs - 0.41%; mitras augsnes konsistence - cieta, sausas - ļoti cieta; ļoti lipīga; ļoti plastiska; nav pastāvīgu un spilgti izteiktu redoksimorfu pazīmju; porainība - vidēja, vidēji daudz sīku un ļoti sīku tekstūras poru un sīku, vidēja lieluma eju un plaisu, uz horizontālās makroagregātu virsmas maz vāji kontrastējošu pārtrauktu un neregulāru māla, argilāna uzklājumu; ļoti maz, ļoti sīku un vienlaidus, noapaļoti sfērisku, mīkstu, baltu karbonātu konkrēciju; daudz sīkas, ļoti sīkas un maz sīkas un vidējas augu saknes; ļoti maz slieku eju, vērojama cita veida kukaiņu darbība; stipri karbonātiskas; pH H₂O - 8.32, pH KCl - 7.70; robeža pārejai nākamajā horizontā - skaidra, viļņota.

Bk 72 - 82 cm

Brūna (7.5YR 5/3, mitra, 7.5YR 7/3, sausa) smilšmāls ar ļoti daudz rupji, skaidri kontrastējošiem - plankumi kā nepārtraukta josla, skaidru robežu, brūniem (7.5YR 5/4) plankumiem un ar ļoti daudz rupji, skaidri kontrastējošiem, skaidru robežu, brūniem (7.5YR 4/4) plankumiem; daudz oļu izmēra skeleta daļiņu, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati un vidēji sadēdējuši dolomīti; vidēji izteikta, riekstveida noapaļoti kubiska struktūra; OV saturs - 0.46%; mitras augsnes konsistence - irstoša, sausas - cieta; ļoti lipīga; ļoti plastiska; nav pastāvīgu un spilgti izteiktu redoksimorfu pazīmju; porainība - vidēja, vidēji daudz sīku un ļoti sīku tekstūras poru un sīku, vidēja lieluma eju un plaisu; ļoti maz, ļoti sīku un vienlaidus, noapaļoti sfērisku, mīkstu, baltu karbonātu konkrēciju; daudz sīkas, ļoti sīkas un vidējas augu saknes; ļoti maz - kokogļu; stipri karbonātiskas; pH H₂O - 8.33, pH KCl - 7.51; robeža pārejai nākamajā horizontā - skaidra, viļņota.

- Bt1 82 - 122 cm** Brūna (7.5YR 4/4, mitra, 7.5YR 6/4, sausa) smaga, smalka mālsmilts ar daudz vidēji, skaidri kontrastējošiem, skaidru robežu, brūniem (7.5YR 3/2) plankumiem; daudz oļu izmēra skeleta daļiņu, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati un vidēji sadēdējuši dolomīti; vāji izteikta, noapaļoti prizmatiska struktūra; OV saturs - 0.20%; mitras augsnes konsistence - cieta, sausas - viegli cieta līdz cieta; lipīga līdz ļoti lipīga; plastiska līdz ļoti plastiska; nav pastāvīgu un spilgti izteiktu redoksimorfu pazīmju; porainība - vidēja, vidēji daudz sīku un ļoti sīku tekstūras poru un sīku, vidēja lieluma eju un plaisu, uz horizontālās makroagregātu virsmas maz vāji kontrastējošu pārtrauktu un neregulāru māla, argilāna uzklājumu; ļoti maz, ļoti sīku un vienkāršus, noapaļoti sfērisku, mīkstu, baltu karbonātu konkrēciju; daudz sīkas, ļoti sīkas un vidējas augu saknes; ļoti maz - kokogļu; vidēji karbonātiskas; pH H₂O - 8.53, pH KCl - 7.83; robeža pārejai nākamajā horizontā - skaidra, viļņota.
- Bt2 122 - 166 cm** Brūna (7.5YR 4/6, mitra, 7.5YR 6/4, sausa) smaga, smalka mālsmilts ar daudz vidēji, skaidri kontrastējošiem, skaidru robežu, dzelteni sarkaniem (10YR 7/1) plankumiem un ar vidēji daudz, skaidri kontrastējošiem, skaidru robežu, brūniem (7.5YR 3/2) plankumiem; ļoti daudz sīku akmens izmēra skeleta daļiņu, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati, vidēji sadēdējuši dolomīti un ļoti sadēdējusi vizla; sīka, vāji izteikta, noapaļoti prizmatiska struktūra; OV saturs - 0.14%; mitras augsnes konsistence - cieta, sausas - ļoti cieta; lipīga līdz ļoti lipīga; plastiska; krāsu salikums, dzelzs oksīdu veidošanās - zaļa rūsa; porainība - vidēja, vidēji daudz sīku un ļoti sīku tekstūras poru un sīku, vidēja lieluma eju, uz makroagregātu virsmas maz vāji kontrastējošu pārtrauktu un neregulāru māla, argilāna uzklājumu; ļoti maz, ļoti sīku un vienkāršus, noapaļoti sfērisku, mīkstu, brūngani melnu mangāna un ļoti maz, sīku un vienkāršus, noapaļoti sfērisku, mīkstu, dzeltenīgi brūnu dzelzs konkrēciju; daudz sīkas, ļoti sīkas un vidējas augu saknes; ļoti maz relikto sakņu; stipri karbonātiskas; pH H₂O - 8.57, pH KCl - 7.75; robeža pārejai nākamajā horizontā - skaidra, viļņota.
- Bg1 166 - 181 cm** Brūna (7.5YR 5/4, mitra, 7.5YR 7/3, sausa) smaga, smalka mālsmilts ar ļoti maz, ļoti sīkiem, vāji kontrastējošiem, difūzu robežu, gaiši dzelteniem (2.5Y 8/2) plankumiem; vidēji daudz sīku akmens izmēra skeleta daļiņu, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati, vidēji sadēdējuši dolomīti un ļoti sadēdējusi vizla; ļoti rupja, ļoti vāji izteikta, graudaina struktūra; OV saturs - 0.09%; mitras augsnes konsistence - irstoša, sausas - cieta līdz ļoti cieta; viegli lipīga līdz lipīga; viegli plastiska; krāsu salikums, dzelzs oksīdu veidošanās - zaļa rūsa; porainība - zema, maz sīku un ļoti sīku tekstūras poru; ļoti maz, sīku un vienkāršus,

6. pielikuma nobeigums

noapaļoti sfērisku, mīkstu, dzeltenīgi brūnu dzelzs konkrēciju; ļoti maz sīkas augu saknes; ļoti stipri karbonātiskas; pH H₂O - 8.78, pH KCl - 8.24; robeža pārejai nākamajā horizontā - skaidra, gluda.

Bg2 181 - 207 cm Iesarkani brūna (5YR 5/6, mitra, 7.5YR 7/4, sausa) smaga, smalka mālsmilts ar ļoti maz, ļoti sīkiem, vāji kontrastējošiem, difūzu robežu, iesarkani pelēkiem (2.5YR 8/2) plankumiem; daudz oļu izmēra skeleta daļiņu, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati, vidēji sadēdējuši dolomīti un ļoti sadēdėjusi vizla; sīka, vāji izteikta, noapaļoti prizmatiska struktūra; OV saturs - 0.06%, mitras augsnes konsistence - cieta, sausas - ļoti cieta; viegli lipīga līdz lipīga; viegli plastiska; nav pastāvīgu un spilgti izteiktu redoksimorfu pazīmju; porainība - zema, maz sīku un ļoti sīku tekstūras poru; ļoti maz, sīku un vienlaidus, noapaļoti sfērisku, mīkstu, dzeltenīgi brūnu dzelzs konkrēciju; ļoti stipri karbonātiskas; pH H₂O - 8.72, pH KCl - 8.03.

Ck 207 - 307 cm (zondējums) Iesarkani brūna (5YR 5/6, mitra, 7.5YR 7/3, sausa) smaga, smalka mālsmilts; daudz oļu izmēra skeleta daļiņu, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati, vidēji sadēdējuši dolomīti un ļoti sadēdėjusi vizla; sīka, vāji izteikta, noapaļoti prizmatiska struktūra; OV saturs - 0.06%, mitras augsnes konsistence - cieta, sausas - ļoti cieta; lipīga līdz ļoti lipīga; ļoti plastiska; nav pastāvīgu un spilgti izteiktu redoksimorfu pazīmju; porainība - zema, maz sīku un ļoti sīku tekstūras poru; ļoti stipri karbonātiskas; pH H₂O - 8.79, pH KCl - 8.07.

Citas pazīmes

Diagnostikas horizonti: Mollic 0 - 32 cm.

Argic 32 - 72 cm.

Diagnostikas pazīmes: Sekundārie karbonāti no 32 cm.

Kaļķaini augsnes materiāli - no virspuses.

Kolūvijs 0 - 32 cm (pārjaukts aršanas laikā).

Pārskaloti morēnas nogulumi šauras lentas veidā 72 - 82 cm.

Plēkšņa granulometriskā sastāva maiņa - no 32 cm.

Amorfie karbonāti (FAO 1974).

Aprakstu sastādīja G. Dinaburga 2011. gada 28. martā. Pēdējās izmaiņas veiktas 2011. gada 20. maijā.

Vispārīgās ziņas par etalonprofilu un tā atrašanās vietu (3.)

Reģistrācijas Nr.	DO0092
Apraksta autori	A. Kārklīšs, I. Līpenīte, V. Surikova.
Augsnes apraksta datums	2010. gada 23. augusts.
Trūdaini kūdrainā glejaugsne	GLa (Latvijas klasifikators, 2009).
Ombri-Sapric Histosol	Pasaules Augšņu klasifikators, 1998.
(Hypereutric)	
Hemic Ombric Histosol	Pasaules Augšņu klasifikators, 2006.
(Calcaric, Hypereutric,	
Drainic, Novic)	
Eutric Histosol	FAO Unesco, 1974.
Terric Histosol	FAO Unesco, 1990.
Limnic Haplohemist, Histosols,	ASV augšņu klasifikācijas sistēma <i>Soil Taxonomy</i> ,
Hemists	2010.
Atrašanās vieta	Auces novads, MPS „Vecauce”, Kurpnieku lauks, monitoringa poligons, 2.36 km no Vecauces pils.
Ģeogrāfiskās koordinātas	56° 28.838' Zp. un 22° 55.249' Ag.
Augstums	100 m virs jūras līmeņa.
Fiziogēogrāfiskais raksturojums	Viduslatvijas zemiene, Vadakstes līdzenuma ZR daļa.
Topogrāfija	Sapasmots līdzenums, morēnas pauguri, nogāzes pakāje; 3% 140° virzienā 60 m; 5% 90° virzienā 30 m; 8% 33° virzienā 137 m; 4% 260° virzienā 50 m.
Erozija	Aktīva, vidēji erodēta ūdens sanesumu erozija. Erodētā platība 5 - 10%.
Dabiskā drenētība	Nepietiekami drenēta, applūstoša katru gadu līdz 15 dienām, gruntsūdens līmenis - 200 cm.
Klimats	Gada nokrišņu summa - 632 mm, vidējā gaisa temperatūra - +5.9 °C. Veģetācijas perioda (> 5 °C) ilgums - 194 dienas, aktīvo temperatūru (> 10 °C) summa - 1960, hidrotermiskais koeficients - 1.5.
Augsnes klimats	<i>Frigid</i> temperatūras un <i>udic</i> mitruma režīms.
Cilmiezis	Ezeru nogulumu (uz morēnas).
ZLV, veģetācija	Augmaiņas kultūraugi, apraksta gadā - ziemas rapsis.
Cilvēka ietekme	Meliorēts, mēslots, apstrādāts.
Profila apraksts	
Ap 0 - 40 cm	Dzelteni sarkans (10YR 3/1, mitra, 7.5YR 4/1, sausa) smilšmāls ar maz sīkiem, skaidri kontrastējošiem, skaidru robežu dzelteni sarkaniem (10YR 5/4) plankumiem; nedaudz oļu izmēra skeleta daļiņu, ko veido noapaļoti, nesadēdējuši vai maz sadēdējuši laukšpati; rupja, vidēji izteikta, graudaina struktūra; OV saturs - 28.19%; mitras augsnes konsistence - irstoša, sausas - cieta; viegli lipīga līdz lipīga; ļoti plastiska; porainība - ļoti augsta, daudz sīku,

7. pielikuma turpinājums

ļoti sīku tekstūras poru un maz sīku, vidēja lieluma eju; nav pastāvīgu un spilgti izteiktu redoksimorfu pazīmju; daudz ļoti sīkas, sīkas un vidējas augu saknes; maz slieku eju un vērojama cita veida kukaiņu darbība; vidēji karbonātiskas; pH H₂O - 7.60, pH KCl - 6.99; robeža pārejai nākamajā horizontā - skaidra, viļņota.

- Ha 40 - 50 cm** Dzelteni sarkana (10YR 2/1, mitra, 7.5YR 2.5/1, sausa); stipra kūdras sadalīšanās pakāpe; sīka, labi izteikta, stabveida struktūra; OV saturs - 84.13%; mitras un sausas augsnes konsistence - cieta; porainība - ļoti augsta, daudz sīku, ļoti sīku tekstūras poru un maz sīku, vidēja lieluma eju; nav pastāvīgu un spilgti izteiktu redoksimorfu pazīmju; daudz ļoti sīkas, sīkas un ļoti maz vidējas augu saknes; maza cita veida kukaiņu darbība; ļoti nedaudz sīku, cietu nesadēdējušu vai viegli sadēdējušu ķieģeļu lausku; karbonātu nav; pH H₂O - 6.99, pH KCl - 6.55; robeža pārejai nākamajā horizontā - skaidra, gluda.
- He 50 - 55 cm** Dzelteni sarkana (10YR 4/3, mitra, 7.5YR 3/1, sausa); vidēja kūdras sadalīšanās pakāpe; vidēja, vāji izteikta, plāksņveida struktūra; OV saturs - 51.47%; mitras augsnes konsistence - cieta, sausas - sevišķi cieta; porainība - augsta, daudz sīku, ļoti sīku tekstūras poru un maz sīku, vidēja lieluma eju; reducējoši apstākļi un redoksimorfas pazīmes dzelzs oksīdu veidā; daudz ļoti sīkas, sīkas un vidējas augu saknes; stipri karbonātiskas; pH H₂O - 7.15, pH KCl - 6.86; robeža pārejai nākamajā horizontā - skaidra, gluda.
- Lm 55 - 66 cm** Dzelteni sarkans (10YR 4/2, mitra, 10YR 7/2, sausa) viegls putekļu māls ar ļoti daudz rupjiem, dominējoši kontrastējošiem, difūzu robežu brūniem (7.5YR 6/1) plankumiem; sīka, ļoti vāji izteikta, stabveida struktūra; OV saturs - 7.31%; mitras augsnes konsistence - irstoša, sausas - cieta; viegli lipīga; viegli plastiska; porainība - vidēja, maz sīku, ļoti sīku tekstūras poru un sīku, vidēja lieluma eju; reducējoši apstākļi un redoksimorfas pazīmes dzelzs oksīdu veidā; daudz relikto sakņu eju, vērojama cita veida kukaiņu darbība; daudz gliemežvāku, atmirušas saknes; ļoti stipri karbonātiskas; pH H₂O - 7.49, pH KCl - 7.36; robeža pārejai nākamajā horizontā - pakāpeniska, viļņota.
- Bkr1 66 - 95 cm** Gaiši dzeltens (2.5Y 5/2, mitra, 2.5YR 6/1, sausa) viegls putekļu māls ar daudz rupjiem, skaidri kontrastējošiem, difūzu robežu, brūniem (7.5YR 7/4) plankumiem un ar ļoti daudz rupjiem, dominējoši kontrastējošiem, difūzu robežu, brūniem (7.5YR 6/1) plankumiem; vidēja, vāji izteikta, noapaļoti prizmatiska struktūra; OV saturs - 6.42%; mitras augsnes konsistence - irstoša, sausas - ļoti cieta; viegli lipīga; viegli plastiska; porainība - zema, maz sīku,

7. pielikuma nobeigums

ļoti sīku tekstūras poru un ļoti maz sīku, vidēja lieluma eju; reducējoši apstākļi un redoksimorfas pazīmes dzelzs oksīdu veidā; vidēji daudz relikto sakņu eju, vērojama cita veida kukaiņu darbība; rupjš, cieti sadēdējis koka gabals; daudz gliemežvāku, atmirušas saknes; daudz veco sakņu kanālu; ļoti stipri karbonātiskas; pH H₂O - 7.49, pH KCl - 7.27; robeža pārejai nākamajā horizontā - krasa, gluda.

Bkr2 95 - 123 cm Gaiši dzeltens (2.5Y 6/2, mitra, 5Y 7/1, sausa) viegls putekļu māls ar daudz vidēja lieluma, dominējoši kontrastējošiem, difūzu robežu brūniem (7.5YR 6/6) plankumiem; vidēja, vāji izteikta, noapaļoti prizmatiska struktūra; OV saturs - 4.30%; mitras augsnes konsistence - brīva, sausas - viegli cieta līdz cieta; viegli lipīga; plastiska; porainība - zema, maz sīku, ļoti sīku tekstūras poru un ļoti maz sīku, vidēja lieluma eju; reducējoši apstākļi un redoksimorfas pazīmes dzelzs oksīdu veidā; vidēji daudz relikto sakņu eju, vērojama cita veida kukaiņu darbība; nedaudz gliemežvāku; daudz veco sakņu kanālu; ļoti stipri karbonātiskas; pH H₂O - 7.55, pH KCl - 7.40; robeža pārejai nākamajā horizontā - skaidra, viļņota.

Bkr3 123 - 180 cm Tumši pelēks (10G 4/1, mitra, 5GY 8/1, sausa) viegls putekļu māls; vidēji līdz labi izteikta struktūra; OV saturs - 2.78%; mitras augsnes konsistence - brīva, sausas - sevišķi cieta; ļoti lipīga; ļoti plastiska; porainība - ļoti zema, maz sīku, ļoti sīku tekstūras poru un ļoti maz sīku, vidēja lieluma eju; reduktomorfas pazīmes; ļoti maz relikto sakņu eju; nedaudz gliemežvāku; daudz veco sakņu kanālu; ļoti stipri karbonātiskas; pH H₂O - 7.57, pH KCl - 7.41.

Citas pazīmes

Diagnostikas horizonti: Histic 0 - 55 cm.
Kontrolsekcija 0 - 130 cm, virsējais slānis 0 - 30 cm; vidējais
Diagnostikas pazīmes: 30 - 90 cm.
Gleja krāsu salikums no 55 cm.
Kaļķaini augsnes materiāli - no virspuses.
Kolūvijs 0 - 40 cm (pārjaukts aršanas laikā).
Artefakti (ķieģeļu lauzka, koka fragmenti) 0 - 50 cm.
Limniskie materiāli 55 - 95 cm (atsevišķi gliemežvāki arī dziļāk).

Aprakstu sastādīja G. Dinaburga 2011. gada 28. martā. Pēdējās izmaiņas veiktas 2011. gada 20. maijā.