

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
TEHNISKĀ FAKULTĀTE
LAUKSAIMNIECĪBAS TEHNIKAS INSTITŪTS
LATVIA UNIVERSITY OF AGRICULTURE
TECHNICAL FACULTY
INSTITUTE OF AGRICULTURE MACHINERY

Mg.sc.ing. Ādolfs Ruciņš

Arklu korpusu optimālo parametru un darba režīma pamatojums

Substantiation of the optimum parameters of the plough bodies and the regimes of operation

Promocijas darba kopsavilkums
Dr.sc.ing. zinātniskā grāda iegūšanai

Summary of promotion paper
for acquiring the Doctor's degree of Engineering Sciences

Jelgava
2007

Darbs izpildīts Latvijas Lauksaimniecības universitātes Tehniskajā fakultātē un Lauksaimniecības tehnikas zinātniskajā institūtā.

The research paper is carried out at the Latvia University of Agriculture Technical faculty and the Research Institute of Agricultural Machinery.

Promocijas darba vadītājs: prof., Dr. habil. sc. ing. **Arvīds Vilde**

Scientific advisor:

Oficiālie recenzenti/Official reviewers:

- prof., Dr. sc. ing. **Ēriks Kronbergs** Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Tehniskā fakultāte, Latvija. / Latvia University of Agriculture, Technical faculty, Latvia.
- vad. pētnieks, Dr. sc. ing. **Pēteris Punculis** Latvijas Lauksaimniecības universitātes aģentūra, Lauksaimniecības tehnikas zinātniskais institūts, Latvija. / Agency of Latvia University of Agriculture, Research Institute of Agricultural Machinery, Latvia.
- nodaļas vadītājs, Dr. **Alģirdas Bakasenas** Lietuvas Lauksaimniecības universitāte, Lauksaimniecības inženierzinātņu institūts, Lietuva. / Lithuanian University of Agriculture, Institute of Agricultural engineering, Lithuania.

Promocijas darba aizstāvēšana notiks Latvijas Lauksaimniecības universitātes Lauksaimniecības nozares Inženierzinātņu apakšnozares promociju padomes atklātā sēdē **2008. gada 15. janvārī, plkst. 10⁰⁰** Jelgavā, J. Čakstes bulv. 5, Tehniskajā fakultātē, 429. auditorijā.

The Promotion Paper will be defended in an open meeting of the Promotion Council of the sub-branch of Engineering Sciences of the branch Agriculture at the Latvia University of Agriculture on **January 15, 2008, at 10 a.m.** in Room 429, Technical faculty, 5 J. Čakstes Blvd., Jelgava.



Promocijas darba izstrāde un noformēšana līdzfinansēta no Eiropas Savienības Sociālā fonda

Doctoral thesis has been worked out by financial support of ESF

Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā, Lielā ielā 2, Jelgavā, LV-3001 un <http://llufb.llu.lv/llu-theses.htm>.

Atsaukmes sūtīt Promocijas padomes sekretāram, profesoram, Dr.sc. ing. Imantam Ziemeļim, LLU Tehniskā fakultāte, J. Čakstes bulv. 5, Jelgava, LV3001.

The Thesis is available at the Fundamental Library of the University of Agriculture, Lielā ielā 2, Jelgava, LV-3001 and <http://llufb.llu.lv/llu-theses.htm>.

Promocijas Padomes priekšsēdētājs: prof., Dr.sc. ing. Juris Priekulis.

References are welcome to be sent to Imants Ziemeļis, Prof., Dr.sc. ing., Secretary of the Promotion Council, Technical faculty, 5 J. Čakstes Blvd., Jelgava, LV-3001.

Head of the Promotion Council: Prof., Dr.sc. ing. Juris Priekulis.

SATURS

PĒTĪJUMA PRIEKŠMETS UN PROBLĒMAS AKTUALITĀTE	5
PĒTĪJUMU MĒRĶIS UN UZDEVUMI.....	5
PĒTĪJUMU OBJEKTS	6
PĒTĪJUMU APJOMS UN SATURS	6
PĒTĪJUMU VISPĀRĒJĀ METODIKA	7
DARBA ZINĀTNISKAIS NOZĪMĪGUMS	7
DARBA TAUTSAIMNIECISKĀ NOZĪMĪBA	8
ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA	8
ARKLU KORPUSU TEORĒTISKIE PĒTĪJUMI	13
Uz arkla korpusu darbojošies spēki.....	13
Arkla korpusa vilces pretestība atkarībā no horizontālās veidules slīpuma.....	19
Lemeša nostatījuma leņķa ietekme uz arkla korpusa pretestību.....	22
Arkla korpusa tvēriena ietekme uz tā vilces pretestību	23
Augsnes fizikāli mehānisko īpašību ietekme uz arklu korpusu vilces pretestību	25
EKSPERIMENTĀLIE PĒTĪJUMI.....	26
Augsnes slīdes pretestības pētījumi.....	27
Datu matemātiskā apstrāde.....	28
Augsnes slīdes pretestības eksperimentālo pētījumu rezultāti.....	28
Arklu korpusu vilces pretestības, optimālo parametru un darba režīmu eksperimentālie pētījumi	31
Modernizēto arklu eksperimentālie pētījumi.....	33
Aršanas izmaksu ekonomiskais pamatojums	36
SECINĀJUMI	37
PUBBLIKĀCIJU SARAKSTS	40
KOPSAVILKUMA NORĀDĒS IZMANTOTĀ LITERATŪRA.....	63

CONTENT

SCIENTIFIC PUBLICATIONS.....	40
THE SUBJECT OF THE INVESTIGATION AND THE TOPICALITY OF THE PROBLEM	46
THE AIM OF THE RESEARCH.....	46
THE OBJECT OF INVESTIGATIONS	47
THE AMOUNT AND CONTENTS OF INVESTIGATIONS	48
GENERAL METHODOLOGY OF INVESTIGATIONS	48
THE SCIENTIFIC NOVELTY OF THE WORK.....	49
THE ECONOMICAL SIGNIFICANCE OF THE WORK.....	50
APPROBATION OF THE SCIENTIFIC WORK.....	50
THEORETICAL RESEARCH OF THE PLOUGH BODY	50
Forces acting on the plough body.....	50
Draft resistance of the plough body depending on the inclination of the horizontal generatrix.....	52
Impact of the share inclination angle on the plough body resistance	54
Impact of the working width of the plough body resistance.....	54
Impact of physical and mechanical properties of soil of the plough body resistance	56
EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS	57
Investigations in the soil sliding resistance	57
Mathematical data processing	57
The results of experimental investigations	58
of the sliding resistance	58
Experimental investigations of the draft resistance, optimal parameters and working modes of the plough body.....	59
Experimental investigations of the improved ploughs	59
Economic justification of the ploughing costs	60
CONCLUSIONS.....	61
REFERENCES USED IN SUMMARY.....	63

PĒTĪJUMA PRIEKŠMETS UN PROBLĒMAS AKTUALITĀTE

No promocijas darbā aplūkoto agrāko pētījumu analīzes, bija secināms, ka arklu korpusu darba un enerģētiskos rādītājus ietekmē korpusu konstruktīvais izveidojums, augsnes fizikāli mehāniskās īpašības un darbības režīms (aršanas ātrums un arkla agregatēšanas veids ar traktoru). Tomēr dažādu autoru izteiktās atziņas ir atšķirīgas, atsevišķos gadījumos pat pretrunīgas. Daudzu faktoru ietekme nav pietiekami izpēta, nav noteikti korpusu optimālie parametri un darbības režīmi.

Augsnes apstrāde ir viens no energoietilpīgākajiem un dārgākajiem procesiem lauksaimnieciskajā ražošanā. Tā prasa 180–320 kWh ha⁻¹ un tai uz katru apstrādāto hektāru izlieto 50–80 kg dīzeļdegvielas, kas ir 20–25% no tās kopizlietojuma lauksaimniecībā [1]. Pie pašreizējām augsnes apstrādes tehnoloģijām un mašīnām tas maksā vidēji 80 Ls ha⁻¹. No visām augsnes apstrādes operācijām visenergoietilpīgākā un arī dārgākā ir aršana. Tā sastāda 26–50% no kopējā enerģijas izlietojuma augsnes apstrādē un maksā 20–46 Ls ha⁻¹ [2, 3]. Lētas, konkurētspējīgas lauksaimniecības produkcijas ražošanai šie izdevumi ir jāsamazina, pilnveidojot aršanas tehnoloģiju, arklu konstruktīvo izveidojumu, to agregatēšanu un izmantošanu. Saistībā ar to tika izvēlēta promocijas darba tēma: „Arklū korpusu optimālo parametru un darba režīma pamatojums”.

Promocijas darbā apskatīti un analizēti līdzšinējie pētījumi par arklū un to galveno darbīgo daļu – korpusu izveidojumu un darbību, to parametru un darba režīmu izvēli un pamatojumu. Vadoties no tiem, pieņemta tālāk veicamo pētījumu nostādne, noskaidroti neskaidrie tālāk pētāmie jautājumi un uzdevumi, izvirzīta pētījumu programma un metodika, noteikts pētījumu apjoms. Izvirzīto uzdevumu risināšanai veikti teorētiskie pētījumi, izmantojot datortehniku. Galvenā vērība veltīta aršanas energoietilpības pētījumiem, to noteicošajiem faktoriem un risinājumiem tās samazināšanai. Eksperimentālie pētījumi veikti teorētisko pētījumu secinājumu apstiprinājumam, arklū konstruktīvo risinājumu, agregatēšanas un izmantošanas pilnveidošanai. Tie veikti arī augšņu fizikāli mehānisko īpašību skaidrošanai saistībā ar to apstrādi.

PĒTĪJUMU MĒRĶIS UN UZDEVUMI

Pētījuma mērķis: veikt teorētiskus un eksperimentālus pētījumus arklū korpusa optimālu parametru un darba režīmu noteikšanai, kas nodrošinātu kvalitatīvu arumu ar minimālu enerģijas, darba un līdzekļu izlietojumu.

Darba mērķa sasniegšanai izvirzīti un risināti šādi uzdevumi:

- analizēt esošos aršanas tehnoloģiskā procesa un arklū korpusu konstruktīvā izveidojuma risinājumus, to parametrus, darba režīmus, vilces pretestību un tos ietekmējošos faktorus;

- veikt teorētiskos pētījumus un iegūt analītiskas sakarības uz arkla korpusu darbojošos spēku un vilces pretestības noteikšanai saistībā ar korpusa parametriem, augsnes fizikāli mehāniskajām īpašībām un darbības režīmu;
- izmantojot analītiskās likumsakarības, izstrādāt datora algoritmu, ar kura palīdzību varētu modelēt arkla korpusa darbību un uz tā darbīgajām daļām darbojošos spēkus, kā arī vilces pretestību;
- veikt uz arkla korpusu darbojošos spēku un vilces pretestības modelēšanu atkarībā no horizontālās veidules slīpuma, sākuma cēlājleņķa lieluma;
- novērtēt augsnes fizikāli mehānisko īpašību, īpaši berzes pretestības ietekmi uz arkla korpusa vilces pretestību;
- noteikt arkla korpusa un tā cēlāj-vērsējvirsmas īpatnējo vilces pretestību atkarībā no korpusa tvēriena;
- izveidot tribometrisko stendu un veikt augsnes slīdes pretestības pa tēraudu izmaiņu analīzi atkarībā no slīdēšanas ātruma un īpatnējā spiediena starp slīdes virsmām;
- veikt arklu korpusu vilces pretestības, optimālo parametru un darba režīmu eksperimentālos pētījumus;
- noskaidrot pretestības samazināšanas iespējas, korpusa darbīgo daļu racionālākas izveides iespēju, to parametru un darba režīmu optimizāciju.

PĒTĪJUMU OBJEKTS

Pētījumu objekts ir arkla korpus, uz to darbojošies spēki, korpusa parametru un darba režīmu ietekme uz tā vilces pretestību, korpusa optimālo parametru pamatošana.

PĒTĪJUMU APJOMS UN SATURS

Vadoties no izvirzītā mērķa, noteikts veicamo pētījumu apjoms, struktūra un saturs:

- iepriekšējo pētījumu apskats un datu analīze;
- teorētiskie pētījumi: uz korpusu darbojošos spēku un korpusa vilces pretestības modelēšana, optimālo parametru un darba režīmu pamatošana;
- laboratorijas eksperimentālie pētījumi par augsnes slīdes pretestību un to ietekmējošiem faktoriem;
- lauka eksperimentālie pētījumi par korpusu parametru un darba režīmu ietekmi uz aršanas energoietilpību;
- pētījumu atziņu ieviešana un pārbaude ražošanā;
- ekonomiskā efektivitāte.

PĒTĪJUMU VISPĀRĒJĀ METODIKA

Arkla korpuss aplūkots kā arkla un aršanas agregāta sastāvdaļa (atsevišķs elements), kura darbību var ietekmēt arkla konstrukcija, komplektācija (priekšlobītāji, stūrgrieži, ripas, sfēriskie, plakanie korpusam pievienojamie naži), agregatēšanas veids ar traktoru un aršanā izmantojamā traktora uzkares iekārtas darbības režīmu regulēšanas iespējas. Tomēr, lai ierobežotu pētījumu apjomu, korpuss pētīts kā atsevišķs ar pārējiem arkla elementiem nesaistīts objekts.

Atbilstoši pieņemtajai hipotēzei un iepriekšējo pētījumu metodiskajiem priekšnosacījumiem pārveidotas analītiskās sakarības un izstrādāts algoritms uz korpusu darbojošos spēku un vilces pretestības modelēšanai, izmantojot datortehniku. Analītisko sakarību un spēku modelēšanas algoritma funkcionēšanas pārbaudei veikts vidējiem aršanas apstākļiem atbilstošs korpusa vilces pretestības un tās komponentu aprēķina piemērs.

Augsnes slīdes pretestības eksperimentālajiem pētījumiem izmantots LLU Lauksaimniecības tehnikas zinātniskajā institūtā izveidotais tribometriskais stends. Pētījumi veikti atbilstoši agrāk aprobētajai metodikai [1]. Pētījumos iegūtajiem rezultātiem lietojot *Microsoft Excel for Window 7.0* programmu aprēķināti variācijas amplitūda, dispersija, standartnovirze un variācijas koeficients.

Lauka eksperimentālie pētījumi veikti ar ieteiktā izveidojuma korpusiem nokomplektētajiem arkliem to enerģētiskajam, agrotehniskajam un daļēji arī ekonomiskajam un ekoloģiskajam novērtējumam. Darbi veikti pēc mašīnu izmēģinājumu stacijās vispārpieņemtām arklu izmēģinājumu programmām un novērtējuma metodēm [1], tās papildinot ar programmām un metodikām atsevišķu korpusa parametru, piemēram, korpusa tvēriena ietekmes specifiskam novērtējumam, kuru plašāks izklāsts dots attiecīgajās nodaļās. Konkrētajos testēšanas apstākļos veiktajiem arklu korpusu konstruktīvo izveidojumu un to darbīgo daļu nostādījuma salīdzinošam enerģētiskajam novērtējumam, aprēķināti to statiskās pretestības un dināmiskās pretestības koeficienti.

DARBA ZINĀTNISKAIS NOZĪMĪGUMS

Iegūtas analītiskas sakarības arkla korpusa vilces pretestības un optimālo parametru noteikšanai sasaistē ar augsnes fizikāli mehāniskajām un tehnoloģiskajām īpašībām. Izstrādāts algoritms arklu korpusu vilces pretestības aprēķināšanai, to konstruktīvā izveidojuma, darba režīma un agregatēšanas veida pamatošanai.

Izveidots tribometriskais stends, kas paredzēts dažādu materiālu, tai skaitā arī augsnes slīdes pretestības mērīšanai un mērījumu rezultātu automātiskai reģistrēšanai.

Veiktie pētījumi pamato atziņu, ka augsnes apstrādes īpatnējo pretestību un līdz ar to arī energoietilpību galvenokārt nosaka vilces pretestības komponentu lielums un izmaiņas raksturs sloksnes atdalīšanai (atgriešanai), augsnes svāra, inerces

spēku un lipīguma izraisītās pretestības pārvarēšanai atkarībā no darbīgo daļu formas un parametriem, darba ātruma, režīma un apstākļiem.

Pētījumu rezultātā ir iegūtas sekojošas novitātes:

Pamatoti arklu korpusu konstruktīvie risinājumi un parametri. Pierādīts, ka arklu korpusi ar lēzenu skrūvveida vērsējvirsmu salīdzinājumā ar kultūrveida vērstuvi nodrošina saistīgu augšņu un zālāju velēnas kvalitatīvu uzaršanu ar mazāku enerģijas patēriņu, īpaši strādājot palielinātā ātrumā. Minimālās vilces pretestības panākšanai lemeša slīpumam pret horizontālo plakni (vagas dibenu) jābūt 24...30 grādu. Optimālais horizontālās veidules slīpums pret vertikālo garenplakni (vagas sienu) vērsējvirsmas sākumdaļā (apakšdaļā), palielinot aršanas ātrumu no 1,5 līdz 3 m s⁻¹, samazinās no 50...60 līdz 30...32 grādiem, bet, lai nodrošinātu pietiekamu aramsloksnes apvēršanu un augu atlieku pilnīgu iestrādi, veidules slīpumam vērstuves augšdaļā jāpalielinās līdz 45...48 grādiem.

Arkliem ar optimāliem korpusu vērsējvirsmas parametriem vilces pretestība ir par 18...22 % mazāka. Korpusu tvēriena palielināšana no 30 cm uz 50 cm samazina aršanas energoietilpību par 14...25 % (degvielas īpatpatēriņu par 3...5 kg ha⁻¹), ceļ darba ražīgumu par 12...16% un samazina izmaksas par 14...20%.

DARBA TAUTSAIMNIECISKĀ NOZĪMĪBA

Pētījumu materiāli izmantoti arklu un to korpusu pilnveidei Baltijas apstākļiem. Atbilstoši tiem arklu korpusus un arklus izgatavoja SIA „AGS” Cēsīs, un SIA „Grauds PI” Ulbrokā.

Pamatoti galvenie virzieni tehnoloģisko operāciju apvienošanai augsnes apstrādē un izstrādāti arkla darbīgo daļu konstruktīvie risinājumi. Tas nodrošina tehnoloģisko operāciju kvalitatīvu izpildi ar minimālu enerģijas patēriņu, augstu darba ražīgumu un ekonomisko efektivitāti.

Balstoties uz pētījumu materiāliem, pamatota Latvijas, kā arī Baltijas un tām līdzīgiem apstākļiem efektīvāku un enerģiju mazāk tērējošu arklu izmantošana augsnes apstrādē, nodrošinot augstu tehnoloģisko procesu izpildes kvalitāti un rezultātā – degvielas ekonomiju 14...30%, darba ražīguma kāpinājumu 15...30% un līdzekļu izlietojuma samazinājumu līdz 20%.

ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA

Par rezultātiem ziņots doktorantu zinātniskajās un zinātniski pētnieciskajās konferencēs LLU, Starptautiskajās konferencēs Vācijā, Zviedrijā, Dānijā, Polijā, Lietuvā, Igaunijā, Krievijā, Ukrainā un Baltkrievijā, semināros ko organizējuši lauksaimniecības tehnikas tirdzniecības uzņēmumi un lauksaimniecības konsultācijas centri.

1. International scientific conference *Save and economical agricultural technologies*. Technical, economical and ecological estimation of up-to-date

- combined soil tillage, fertilizing and sowing machines. Priekuļi, July 25-26, 2002.
2. International scientific conference *Save and economical agricultural technologies*. Impact of physical and mechanical properties of soil on draft resistance of plougs. Priekuļi, July 25-26, 2002.
 3. Третья научно–практическая конференция *Экология и сельскохозяйственная техника*. Влияние физических и механических свойств почвы на тяговое сопротивление плугов. Санкт–Петербург, 5–6 июнь, 2002.
 4. Третья научно–практическая конференция *Экология и сельскохозяйственная техника*. Техничко–экономическая и экологическая оценка современных комбинированных агрегатов для совмещения обработки почвы, внесения удобрений и посева. Санкт–Петербург, 5–6 июнь, 2002.
 5. Третья научно–практическая конференция *Экология и сельскохозяйственная техника*. Усовершенствование плугов для каменистых почв. Санкт–Петербург, 5–6 июнь, 2002.
 6. Международная научно–практическая конференция, посвященная 55– летию образования БелНИИМСХ *Научно–технический прогресс в области механизации, электрификации и автоматизации сельского хозяйства*. Влияние физических и механических свойств почвы на тяговое сопротивление плугов. Минск, 12–14 июнь, 2002.
 7. Международная научно–практическая конференция, посвященная 55– летию образования БелНИИМСХ *Научно–технический прогресс в области механизации, электрификации и автоматизации сельского хозяйства*. Моделирование функционирования плужных корпусов для определения их тягового сопротивления и оптимальных параметров. Минск, 12–14 июнь, 2002 года.
 8. Международная научно–практическая конференция, посвященная 55– летию образования БелНИИМСХ *Научно–технический прогресс в области механизации, электрификации и автоматизации сельского хозяйства*. Влияние влажности и механического состава почвы на энергоемкость и качество ее обработки. Минск, 12–14 июнь, 2002.
 9. Международная научно–практическая конференция, посвященная 55– летию образования БелНИИМСХ *Научно–технический прогресс в области механизации, электрификации и автоматизации сельского хозяйства*. Усовершенствование плугов для каменистых почв. Минск, 12–14 июнь, 2002.
 10. Международная научно–практическая конференция, посвященная 55– летию образования БелНИИМСХ *Научно–технический прогресс в области механизации, электрификации и автоматизации сельского хозяйства*. Техничко–экономическая оценка современных

- комбинированных агрегатов для совмещения обработки почвы, внесения удобрений и посева. Минск, 12–14 июнь, 2002.
11. International scientific conference *Save and economical agricultural technologies*. Impact of Soil Moisture and its Composition on the Energy Consumption and Quality of tillage. Priekuļi, July 25-26, 2002.
 12. X International scientific and technical conference *Technical progress in agricultural production*. Вплив параметрів корпусу плуга на якість обробітку ґрунту та витрату енергії. Glevaha, August 19–22, 2002.
 13. X International scientific and technical conference *Technical progress in agricultural production*. Технічна, економічна та екологічна оцінка сучасних комбіноваих машин . Glevaha, August 19–22, 2002.
 14. EurAgEng International Conference *Progressive Eco–friendly Technological Processes in Agricultural Engineering*. Technical, economical and ecological estimation of up–to–date combined soil tillage, fertilizing and sowing machines. Raudondvaris, September 19–20, 2002.
 15. International Scientific Conference *Motor Vehicle, Logistics, Alternative Fuels*. Estimation of up–to–date combined soil tillage, fertilising and sowing machines. Jelgava, April 24–25, 2003.
 16. International Scientific Conference *Motor Vehicle, Logistics, Alternative Fuels*. Soil tillage minimisation. Jelgava, April 24–25, 2003.
 17. International Scientific Conference *Motor Vehicle, Logistics, Alternative Fuels*./ Impact of soil moisture and composition on its properties and energy consumption of tillage. Jelgava, April 24–25, 2003.
 18. Starptautiskā zinātniskā konference *Zinātne lauku attīstībai 2003*. Mathematical modelling of the operation of plough bodies mould–boards to determine their draft resistance and optimal parameters. Jelgava, 21.–24.maijs, 2003.
 19. *IV International Research and Technical Conference on Motorization and Energetics in Agriculture Motorol'03*. Matematical modelling of the operation of plough bodies to determine their draft resistance and optimal parameters. Lublin–Kyiv, May 21–23, 2003.
 20. *IV International Research and Technical Conference on Motorization and Energetics in Agriculture Motorol'03*. Impact of physical and mechanical properties of soil on the draft resistance of ploughs. Lublin–Kyiv, May 21–23, 2003.
 21. *IV International Research and Technical Conference on Motorization and Energetics in Agriculture Motorol'03*. Technical, economical and ecological estimation of up–to–date combined soil tillage, fertilising and sowing machines. Lublin–Kyiv, May 21–23, 2003.
 22. *IV International Research and Technical Conference on Motorization and Energetics in Agriculture Motorol'03*. Minimisation of soil tillage. Lublin–Kyiv, May 21–23, 2003.

23. *IV International Research and Technical Conference on Motorization and Energetics in Agriculture Motorol'03*. Optimisation parameters of soil tillage aggregates. Lublin–Kyiv, May 21–23, 2003.
24. *4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*. Modelling of the impact of variable soil moisture and its composition on the soil properties, energy consumption and quality of tillage. Berlin, June, 15–18, 2003.
25. IV Starptautiskā zinātniski praktiskā konference. *Vide. Tehnoloģija. Resursi*. Energetical, economical and ecological aspects of soil tillage minimisation. Rēzekne, 26.–28.jūn., 2003.
26. IV Starptautiskā zinātniski praktiskā konference. *Vide. Tehnoloģija. Resursi*. Technical, economical and ecological estimation of up-to-date combined soil tillage, fertilising and sowing machines. Rēzekne, 26.–28. jūn., 2003.
27. *International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial Conference*. Modelling of the impact of variable soil moisture and its composition on the soil properties, energy consumption and quality of tillage. Australia : University of Queensland Brisbane, July 14–18, 2003.
28. *3rd Research and Development Conference of Central and Eastern European Institutes of Agricultural Engineering*. Use of soil tillage equipment under extreme climate deviation from the norm in Latvia. Gödöllő, Hungary, September 11–13, 2003.
29. *International Conference of Science*. Efficiency of the parameter optimisation of soil tillage aggregates. Kaunas (Lithuania), September 17–19, 2003.
30. 4-я Международная научно-техническая конференция *Энергообеспечение им энергосбережение в сельском хозяйстве*. Энергосберегающие технологии и машины для обработки почвы. Москва, 12–13 май, 2004.
31. International Scientific Conference. *Research for Rural Development*. Forces acting on the plough body. Jelgava, May 19–22 May, 2004.
32. Международная научно-практическая конференция *Современные проблемы земледельческой механики*. Технические и технологические решения по снижению энергоемкости обработки почвы. Винница, 17–20 октября, 2004.
33. Международная научно-практическая конференция *Современные проблемы земледельческой механики*. Техничко-экономическая и экологическая оценка современных комбинированных агрегатов для совмещения обработки почвы, внесение удобрений и посева. Винница, 17–20 октября, 2004.
34. Международная научно-практическая конференция *Современные проблемы земледельческой механики*. Forces acting on the plough body. Винница, 17–20 октября, 2004.
35. Starptautiskā zinātniskā konference *Inženierproblēmas lauksaimniecībā*. Soil tillage technologies and machines under extreme conditions. Jelgava, 2.–3. jūn., 2005.

36. *Simulation in Wider Europe. 19th European Conference on modelling and Simulation ECMS 2005*. Modelling forces acting on the plough body. Riga, June 1–4, 2005.
37. *Экология и сельскохозяйственная техника*. 4–я научно–практическая конференция. Минимизация обработки почвы. Санкт–Петербург, 25–26 май, 2005.
38. *Экология и сельскохозяйственная техника*. 4–я научно–практическая конференция. Efficiency of the parameter optimization of soil tillage aggregates. Санкт–Петербург, 25–26 май, 2005.
39. *Экология и сельскохозяйственная техника*. 4–я научно–практическая конференция. Forces acting on the plough body. Санкт–Петербург, 25–26 май, 2005.
40. 5th International Scientific Conference. *Engineering for Rural Development*. Impact of the Plough Body Parameters on the Soil Tillage Efficiency. Jelgava, May 18– 19, 2006.
41. 12th International Scientific Conference. *Research for Rural Development*. Impact of the Share Angle on the Plough Body Resistance. Jelgava, May 17–20, 2006.
42. NJF seminar 378. *Tillage Systems for the Benefit of Agriculture and the Environment*. Impact of the Plough Body Parameters on the Ploughing Efficiency.
43. NJF seminar 378. *Tillage Systems for the Benefit of Agriculture and the Environment*. Minimal Soil Tillage. Nordic Agricultural Academy, Odense, Denmark, May 29–31, 2006.
44. NJF seminar 378. *Tillage Systems for the Benefit of Agriculture and the Environment*. Variation in Soil Tillage Technologies and Machines under Extreme Conditions of Latvia. Nordic Agricultural Academy, Odense, Denmark, May 29–31, 2006.
45. NJF seminar 378. *Tillage Systems for the Benefit of Agriculture and the Environment*. Impact of the Working width of the Plough Body on the Ploughing Efficiency.
46. NJF seminar 378. *Tillage Systems for the Benefit of Agriculture and the Environment*. Simulation of the Forces Acting on the Plough Body. Nordic Agricultural Academy, Odense, Denmark, May 29–31, 2006.
47. NJF seminar 378. *Tillage Systems for the Benefit of Agriculture and the Environment*. Efficiency of the Combined Soil Tillage Machines and Units. Nordic Agricultural Academy, Odense, Denmark, May 29–31, 2006.
48. NJF seminar 378. *Tillage Systems for the Benefit of Agriculture and the Environment*. Efficiency of the Parameter Optimisation of Soil Tillage Units. Nordic Agricultural Academy, Odense, Denmark, May 29–31, 2006.
49. 13th International Scientific Conference. *Research for Rural Development*. Impact of speed on the soil sliding resistance. Jelgava, May 16 –18, 2007.

ARKLU KORPUSU TEORĒTISKIE PĒTĪJUMI

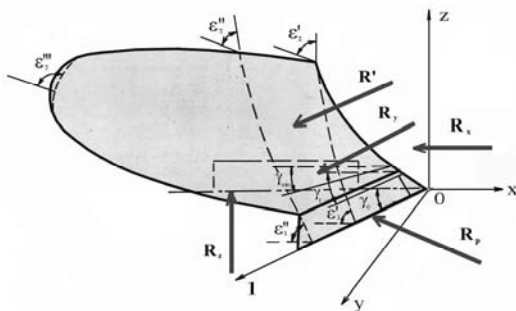
Šajā nodaļā ir dots apskats par veiktajiem teorētiskajiem pētījumiem par uz arkla korpusu darbojošos spēku un vilces pretestības modelēšanu atkarībā no horizontālās veidules slīpuma, sākuma cēlājleņķa lieluma un korpusa tvēriena, kā arī par berzes pretestības ietekmi uz kopējo korpusa vilces pretestību, analizēti rezultāti, kuri iegūti veicot aprēķinus ar datora algoritmu.

Šim nolūkam tika izstrādāta elektroniskā tabula, ar kuru var veikt kompleksus aprēķinus, kas nepieciešami, lai noteiktu kopējo vilces pretestību. Arkla korpusu ģeometriskie parametri un spēka komponentes ir parādīti 1. attēlā.

Uz arkla korpusu darbojošies spēki

Izmantojot analītiskās likumsakarības [4–10], izstrādāts datora algoritms, ar kura palīdzību var modelēt arkla korpusa darbību un uz tā darbīgajām daļām darbojošos spēkus, kā arī vilces pretestību. Šīs likumsakarības ļauj noteikt uz arkla korpusa darbojošos spēkus un vilces pretestību atkarībā no arkla korpusa parametriem, kā arī novērtēt augsnes fizikāli mehānisko īpašību ietekmi uz to.

Uz arkla korpusu darbojošies spēki, to izraisītās reakcijas shematiski parādīti 1. attēlā.



1.att. Arkla korpusa shēma un uz korpusu darbojošies spēki
Fig.1. Scheme of the plough body, its parameters and acting forces

Darba gaitā uz arkla korpusu galvenokārt iedarbojas sekojoši spēki:

- pretestība P (penetration) lemeša iedziļināšanai augsnē (pretestība aramsloksnes atdalīšanai no augsnes masīva);
- uz korpusu (uz lemeša un vērstuves) balstošās augsnes sloksnes svars G ;
- paceļamās augsnes sloksnes izraisītie inerces spēki J ;
- adhēzijas spēks A (augsnas pielipšanas spēks korpusa darbīgajām daļām: lemesim, vērstuvei un sliedeī);
- berzes spēks F ;
- korpusa pašsvars Q (kopā ar attiecīgu arkla svara daļu).

Šo spēku izraisītās reakcijas nosaka korpusa vilces pretestību, respektīvi arkla korpusa vilces pretestība R_x summējas no augsnes sloksnes atgriešanas pretestības R_{Px} , augsnes sloksnes svara izraisītās pretestības R_{Gx} , inerces spēku R_{Jx} , augsnes lipīguma R_{Ax} un paša arkla korpusa svara R_{Qx} (iekļaujot daļu arkla svara) izraisītās pretestības [4].

$$R_x = \sum R_{ix} = R_{Px} + R_{Gx} + R_{Jx} + R_{Ax} + R_{Qx}; \quad (1)$$

Darbīgo daļu vertikālo reakciju R_z un sānu reakciju R_y , nosaka šo pretestību attiecīgo komponentu summa:

$$R_z = \sum R_{iz}; \quad R_y = \sum R_{iy}. \quad (2; 3)$$

Korpusa kopējā vilces pretestība R_x sastāv no vērsējvirsmas R'_x pretestības un atbalsta virsmu (apakšējās un sānu) pretestības R_x :

$$R_x = R'_x + R''_x = \sum R'_{ix} + f_0 (\sum R_{iz} + \sum R_{iy} + p_{Axy} S_{xy} + p_{Axz} S_{xz}), \quad (4)$$

kur: f_0 – augsnes berzes koeficients uz arkla korpusa cēlārvirsmas un atbalsta virsmām / the coefficient of soil friction along the working and supporting surfaces;

p_{Axy} – augsnes pielipšanas īpatnējais spēks uz sānu atbalsta virsmu / specific adhesion force to the lateral supporting;

p_{Axz} – augsnes pielipšanas īpatnējais spēks uz apakšējo atbalsta virsmu / specific adhesion force to the lower supporting;

S_{xy} – sānu atbalsta virsmas laukums / the surface area of the lateral supporting surfaces;

S_{xz} – apakšējās atbalsta virsmas laukums / the surface area of the lower supporting surfaces.

Pretestība, kas veidojas no berzes F_x ir viena no būtiskākajām [8] un pēc analogijas to varētu aprakstīt sekojoši:

$$F'_x = \sum F'_{ix} = F'_{Px} + F'_{Gx} + F'_{Jx} + F'_{Ax} + F'_{Qx} = R'_x - R'_{xo}, \quad (5)$$

$$F''_x = f_0 (R_z + R_y + p_{Axy} S_{xy} + p_{Axz} S_{xz}) = R''_x, \quad (6)$$

$$F_x = F'_x + F''_x. \quad (7)$$

Berzes pretestību var definēt kā starpību starp kopējo pretestību R_x (parciālo pretestību kopējā vērtība) un pretestību R_{x0} gadījumam, kad nav berzes ($f_0=0$).

$$F_{ix} = R_{ix} - R_{ix0}; \quad F_x = R_x - R_{x0}, \quad (8; 9)$$

Berzes pretestības λ_F proporciju parciālajā un kopējā pretestībā nosaka pēc šādas sakarības:

$$\lambda_{F_{ix}} = F_{ix} R_{ix}^{-1}, \quad \lambda_{F_x} = F_x R_x^{-1}. \quad (10; 11)$$

Daļējo un kopējās atbalsta virsmas reakcijas izraisītās vilces pretestības proporciju λ_R vilces pretestībā nosaka ar sakarību:

$$\lambda_{R_i} = R_i R_{ix}^{-1}. \quad (12)$$

Augsnes atgriešanas pretestība R'_{px} ir proporcionāla augsnes cietībai ρ_0 un lemeša asmens virsmas laukumam ω :

$$R'_{px} = k_p \rho_0 \omega = k_p \rho_0 ib, \quad (13)$$

kur: k_p – lemeša asmens formas ietekmes koeficients/ the coefficient involving the impact of the shape of the frontal surface of the ploughshare edge;

i – lemeša griezošās šķautnes biezums / the thickness of the edge;

b – lemeša griezošās šķautnes tvēriens/ the width of the edge.

No formulas (10) redzams, ka augsnes berze gar lemeša šķautni neietekmē tā asmens pretestību.

Asam lemesim (bez aizmugures fāzītes):

$$R_{pz} = 0. \quad (14)$$

Nodiluša (neasa) lemeša, kuram ir aizmugures daļas fāzīte, vertikālā reakcija R_{pz} smagās augsnēs var sasniegt vertikālās reakcijas summāro vērtību, turklāt šī summārā vērtība veidojas no spēkiem, kas darbojas uz arkla korpusa vērsējvirsmu (augšnes gravitācijas un inerces spēkiem) un korpusa svara Q .

Lemeša asmens sānu reakcija R_{py} , tās lielumu ietekmē berzes izraisītā reakcija:

$$R_{py} = k_p \rho_0 ib \operatorname{ctg} (\gamma + \varphi_0), \quad (15)$$

kur: γ – lemeša slīpuma leņķis pret kustības virzienu (vagas sienīņas) / the inclination angle of the edge towards the direction of movement (the wall of the furrow);

φ_0 – berzes leņķis / the angle of friction.

Ja, berzes nav, tad $f_0 = 0$, $\varphi_0 = 0$ un

$$R_{py_0} = k_p \rho_0 ib \operatorname{ctg} \gamma. \quad (16)$$

Augsnes berze gar lemeša asmeni samazina lemeša sānu spiedienu, tas ir arkla korpusa spiedienu uz vāgas sieniņu.

Atbalsta virsmas pretestība augsnes atgriešanai ar lemeša asmeni:

$$R''_{Px} = k_p \rho_0 i b f_0 \operatorname{ctg}(\gamma + \varphi_0) = F''_{Px}. \quad (17)$$

Kopējā aramsloksnes atgriešanas pretestība:

$$R_{Px} = k_p \rho_0 i b [1 + f_0 \operatorname{ctg}(\gamma + \varphi_0)]. \quad (18)$$

Aramsloksnes sānu atgriešanas pretestību nosaka pēc līdzīgām formulām.

Augsnes sloksnes svāra izraisītās reakcijas un vilces pretestība:

$$\begin{aligned} R'_{Gx} &\approx q \delta g k_y r \sin^{-1} \gamma * \\ &* \{ [(\sin \gamma \cos \varepsilon_1 + \cos^2 \gamma \sin^{-1} \gamma) e^{f_0 \sin \gamma (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)} - \\ & - (\sin \gamma \cos \varepsilon_2 + \cos^2 \gamma \sin^{-1} \gamma)] \cos \varepsilon_1 + \\ & + (\cos \varepsilon_1 e^{f_0 \sin \gamma (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)} - \cos \varepsilon_2) (\cos \varepsilon_1 - f_0 \sin \varepsilon_1 \sin \gamma)^{-1} * \\ & * \sin \varepsilon_1 [\sin \varepsilon_1 \sin \gamma + f_0 (\sin^2 \gamma \cos \varepsilon_1 + \cos^2 \gamma)] \}; \end{aligned} \quad (19)$$

$$R_{Gz} \approx q \delta g r \sin^{-1} \gamma (\varepsilon_2 - \varepsilon_1); \quad (20)$$

$$R_{Gy} \approx q \delta g r \sin^{-1} \gamma (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) (\varepsilon_1 + 0.52) \operatorname{ctg} \gamma; \quad (21)$$

$$R''_{Gx} = f_0 (R_{Gz} + R_{Gy}) = F''_{Gx}. \quad (22)$$

Augsnes inerces spēku izraisītā pretestība:

$$\begin{aligned} R'_{Jx} &= q \delta v^2 k_y^{-1} \sin \gamma \{ (\sin \gamma \cos \varepsilon_1 + \cos^2 \gamma \sin^{-1} \gamma) * \\ & * e^{f_0 \sin \gamma (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)} - (\sin \gamma \cos \varepsilon_2 + \cos^2 \gamma \sin^{-1} \gamma) + \\ & + (\cos \varepsilon_1 - f_0 \sin \varepsilon_1 \sin \gamma)^{-1} e^{f_0 \sin \gamma (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)} \\ & \sin \varepsilon_1 [\sin \varepsilon_1 \sin \gamma + f_0 (\sin^2 \gamma \cos \varepsilon_1 + \cos^2 \gamma)] \}; \end{aligned} \quad (23)$$

$$R_{Jz} = q \delta v^2 k_y^{-1} \sin \gamma \sin \varepsilon_2 e^{f_0 \sin \gamma (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}; \quad (24)$$

$$R_{Jy} \approx q \delta v^2 k_y^{-1} \sin \gamma \cos \gamma (1 - \cos \varepsilon_2); \quad (25)$$

$$R''_{Jz} = f_0 (R_{Jz} + R_{Jy}) = F''_{Jx}. \quad (26)$$

Augsnes lipīguma izraisītā pretestība:

$$R'_{Ax} = p_A b r \sin^{-1} \gamma (e^{f_0 \sin \gamma (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)} - 1) * \\ * \{ \sin \gamma \cos \varepsilon_1 + \cos^2 \gamma \sin^{-1} \gamma + (\cos \varepsilon_1 - f_0 \sin \varepsilon_1 \sin \gamma)^{-1} * \\ * \sin \varepsilon_1 [\sin \varepsilon_1 \sin \gamma + f_0 (\sin^2 \gamma \cos \varepsilon_1 + \cos^2 \gamma)] \}; \quad (27)$$

$$R_{Az} = 0; \quad (28)$$

$$R_{Ay} \approx 0; \quad (29)$$

$$R''_{Ax} = f_0 (p_{Axy} S_{xy} + p_{Axz} S_{xz}) = F''_{Ax}, \quad (30)$$

- kur: q – paceļamās augsnes sloksnes šķērsgriezuma laukums / the cross section area of the strip to be lifted;
 δ – augsnes blīvums / the density of soil;
 k_y – augsnes nosēšanās koeficients / the soil compaction coefficient in front of the operating part;
 f_0 – arkla korpusa cēlājvirsmas un atbalsta virsmas berzes koeficients / the soil friction coefficient against the surface of the operating element;
 v – arkla kustības ātrums / the speed of the movement of the plough body;
 p_A – augsnes īpatnējais pielipšanas spēks pie arkla korpusa / the specific force of soil adhesion to the operating surface;
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – cēlājvirsmas sākuma un beigu leņķis / correspondingly the initial and the final angles of the lifting (share- mouldboard) surface;
 g – brīvās krišanas paātrinājums / acceleration caused by gravity.

Augsnes berzes koeficients un īpatnējais pielipšanas spēks nav konstanti lielumi. To vērtības samazinās līdz ar ātruma pieaugumu [11]. Tas ir ņemts vērā aprēķinos.

Arkla korpusa atbalsta virsmu pretestība ir atkarīga no to reakciju lieluma. To vērtība ir atkarīga daudzējādā ziņā no vairākiem nosacījumiem: uzkarināmo iekārtu izveidojuma un darbības pilnīguma, darba režīma u.c. sakarībām.

Pastāv risinājumi vertikālās un arī sānu reakcijas samazināšanai. Tādā kārtā arkla korpusa vilces pretestības dominējošā sastāvdaļa ir vērsējvirsmas pretestība, kuras izpētei galvenokārt ir veltīts šis darbs.

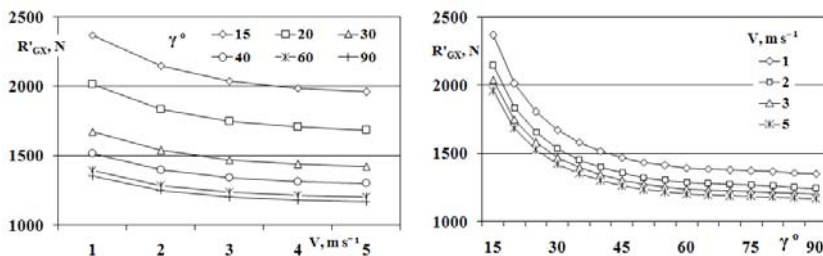
Tālāk izmantojot sakarības (formulas 1–30) piemēra veidā aplūkoti pētījuma rezultāti, kas iegūti, modelējot uz arkla korpusa darbojošos spēkus un vilces pretestību, atkarībā no korpusa parametriem, darba režīma un smilšmāla augšņu fizikāli mehāniskajām īpašībām (1.tabula) [9].

Sākotnējie dati matemātiskās modelēšanas veikšanai
The following values of the basic factors were taken into consideration

Arkla korpusa parametri/Parameters of the plough body:	Mērv.	Vērtības/ Value
Arkla korpusa lemeša un naža asmens biezums/ Thickness of the share blade and knife	m	$i = 0.004$
Augsnes sloksnes pacelšanas sākotnējais slīpuma leņķis/ The initial angle of the lifting strip of soil	grādi	$\varepsilon_1 = 30$
Augsnes sloksnes pacelšanas beigu slīpuma leņķis/ The final angle of the lifting strip of soil	grādi	$\varepsilon_2 = 100$
Leņķis starp darba virsmas horizontālo veiduli un vertikāli garenisko plakni / The angle between the horizontal generatrix of the operating surface and the vertical longitudinal plane	grādi	$\gamma = 15 \dots 90$
Cēlājvirsmas liekuma rādiuss/ The radius of the curvature of the lifting surface	m	$r = 0.5$
Apakšējās atbalsta virsmas laukums/ The area of the lower supporting surface	m ²	$S_{xy} = 0.0157$
Sānu atbalsta virsmas laukums / The area of the lateral supporting surface	m ²	$S_{xz} = 0.068$
Arkla korpusa masa (kopā ar uz to attiecināmo arkla masu)/ The weight of the plough body	kg	$Q = 200$
Augsnes fizikāli mehāniskās īpašības/ Physical and mechanical properties of soil:		
Augsnes cietība / The hardness of soil	MPa	$\rho = 4.1$
Augsnes blīvums / The density of soil	kg m ⁻³	$\delta = 1600$
Nominālais augsnes berzes koeficients pret arkla korpusa darba virsmām / The coefficient of soil friction against the surface of the operating element		$f_0 = 0.4$
Augsnes pielipšanas spēks pie arkla korpusa virsmām/ The adhesion force	kPa	$p_{A0} = 2.5$
Darba apstākļi un režīmi / The mode and status of work:		
Korpusa tvēriens / The ploughing width	m	$b=0.30-0.50$
Lemeša darba tvēriens / The share width	m	$b_l=0.35$
Aršanas dziļums / The ploughing depth	m	$a = 0.20$
Aramsloksnes šķērsgriezuma laukums/ The cross section area of the lifted soil strip	m ²	$q=0.06-0.10$
Augsnes nosēšanās koeficients / The soil compaction coefficient		$k_y = 1.1$
Darba ātrums / The working speed	m s ⁻¹	$v = 1 \dots 5$

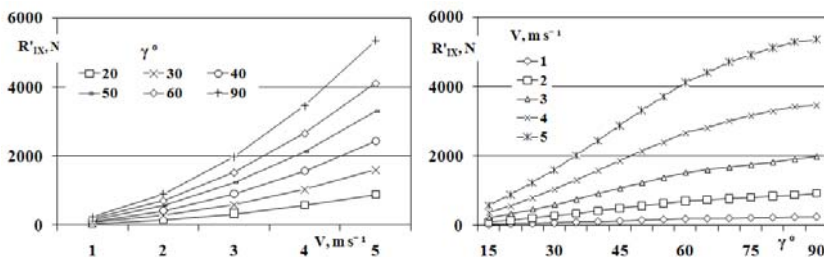
Arkla korpasa vilces pretestība atkarībā no horizontālās veidules slīpuma

Izmantojot izstrādāto datora algoritmu [12], tika modelēta arkla korpasa vilces pretestība un tās komponentu lielums atkarībā no horizontālās veidules slīpuma korpusam ar tvērienu 35 cm. Iegūtie rezultāti parādīti sekojošos grafikos: augsnes svara, inerces spēku un lipīguma izraisītā cēlārvirsmas pretestība parādīta 2. – 4. attēlos, bet korpasa cēlārvirsmas, atbalsta virsmu un korpasa kopējā vilces pretestības aprēķina rezultāti parādīti attēlos 5–7.



2.att. Pacelamās augsnes sloksnes gravitācijas izraisītā cēlārvirsmas vilces pretestība atkarībā no ātruma v un horizontālās veidules slīpuma leņķa γ

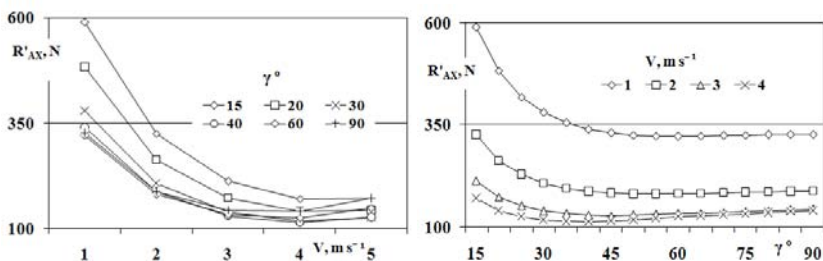
Fig. 2. Draft resistance of the lifting surface caused by the gravity of the soil slice depending on speed v and the inclination angle γ of the horizontal generatrix.



3.att. Pacelamās augsnes sloksnes inerces spēku izraisītā cēlārvirsmas vilces pretestība atkarībā no ātruma v un horizontālās veidules slīpuma leņķa γ

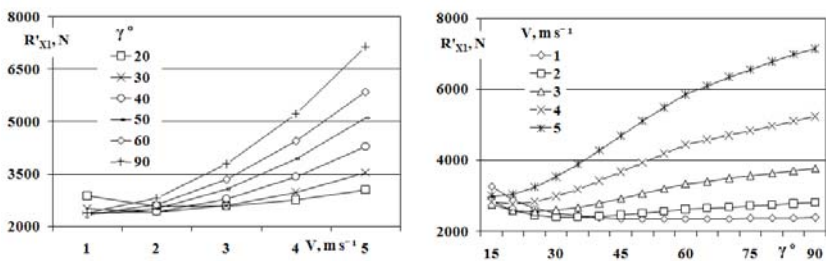
Fig. 3. Draft resistance of the lifting surface caused by the soil inertia forces of the soil slice depending on speed v and the inclination angle γ of the horizontal generatrix

Augsnes inerces spēku izraisītā pretestība, ātrumam pieaugot, palielinās (3.att.) un pie ātruma virs 3...4 m s⁻¹ sāk dominēt pār visām pārējām komponentēm. Faktiskais arkla korpasa vērsējvirsmas horizontālās veidules slīpuma leņķis γ ir robežās no 26 līdz 50⁰. Stāvākas virsmas ($\gamma > 50^0$) attiecas uz buldozera lāpstām.



4.att. Paceļamās augsnes sloksnes pielipšanas spēku izraisītā cēlājvirsmas vilces pretestība atkarībā no ātruma v un horizontālās veidules slīpuma leņķa γ
Fig. 4. Draft resistance of the lifting surface caused by soil adhesion depending on speed v and the inclination angle γ of the horizontal generatrix

No pētījumu materiāliem [10] izriet, ka augsnes svara un pielipšanas spēku izraisīto pretestību vērtības samazinās līdz ar darba ātruma pieaugumu (2 un 4.att.). Tas izskaidrojams ar berzes koeficienta un īpatnējā augsnes pielipšanas spēka samazināšanos, palielinoties augsnes slīdes ātrumam pa korpusa darbīgajām daļām.

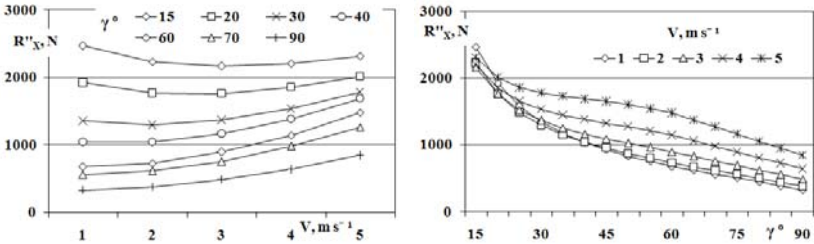


5.att. Augsnes gravitācijas, inerces un pielipšanas spēku izraisītā kopējā cēlājvirsmas vilces pretestība atkarībā no ātruma v un horizontālās veidules slīpuma leņķa γ
Fig. 5. Total draft resistance of the share-mouldboard surface caused by soil gravity, inertia forces, adhesion and share cutting resistance depending on speed v and the inclination angle γ of the horizontal generatrix

Modelēšanā iegūtie dati [8] parāda uz arkla korpusu darbojošos spēku lielumu, sakarības starp tiem, to izmaiņas, to sastāvdaļu izraisīto un kopējo korpusa vilces pretestību atkarībā no darba ātruma v un horizontālās veidules slīpuma leņķa γ lieluma. Sākumā, ātrumam pieaugot, (2...2.5 m s⁻¹) kopējā cēlājvirsmas vilces pretestība palielinās nenozīmīgi, tad pieaug straujāk (5.att.). Stāvākām cēlājvirsmām (pie lielākas γ vērtības) šis pieaugums ir daudz ievērojamāks un intensīvāks.

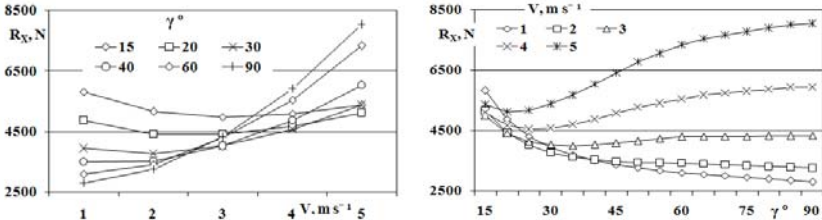
Mitrās smilšmāla augsnēs var būt situācija (īpaši korpusiem ar lēzenu cēlājvirsmu – vērstuvi), ka, palielinoties ātrumam (robežās 1...2 m s⁻¹) vilces pretestība nepieaug, bet pat nedaudzi samazinās. Tāda parādība var notikt, ja

augšnes berzes koeficienta un īpatnējā lipīguma izraisītās pretestības samazinājums, palielinoties ātrumam, ir lielāks, nekā inerces spēku izraisītās pretestības pieaugums šīnī ātrumu diapazonā.



6.att. Atbalsta virsmu kopējā vilces pretestība atkarībā no ātruma v un horizontālās veidules slīpuma leņķa γ

Fig. 6. Total draft resistance of the supporting surfaces depending on speed v and the inclination angle γ of the horizontal generatrix



7.att. Arkla korpusa kopējā vilces pretestība atkarībā no ātruma v un horizontālās veidules slīpuma leņķa γ

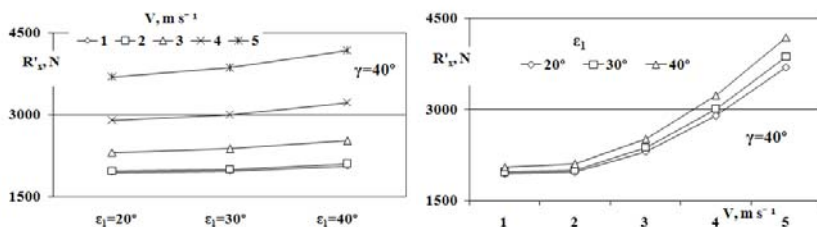
Fig. 7. Total draft resistance of the plough body depending on speed v and the inclination angle γ of the horizontal generatrix

Kad palielinās veidules slīpums (leņķis γ), pretestības, kuras izraisa augšnes svars un pielipšana krītas, bet pretestība ko izraisa inerces spēki palielinās, sevišķi pie lielāka darba ātruma. Pirmā samazinājumu varētu izskaidrot ar faktu, ka stāvākai cēlājvirsmai tās garums samazinās un tāpēc samazinās pa to vienlaicīgi slīdošās augšnes masa. Šis cēlājvirsmas laukuma samazinājums noved arī pie mazākas pretestības, ko izraisa augšnes pielipšana. Tā rezultātā kopējai cēlājvirsmas vilces pretestībai ir izteikts minimums, kas pie lielāka kustības ātruma pārvietojas uz mazākām horizontālās veidules slīpuma vērtībām. Tādējādi, pieaugot ātrumam no 1 līdz 3 m s⁻¹, optimālā cēlājvirsmas horizontālās veidules slīpuma leņķa γ vērtība samazinās no 50° līdz 25° (5. att.).

No dotā piemēra ir redzams (6.att.), ka atbalsta virsmu vilces pretestība ir ievērojama. Tā var sasniegt 25...30% no kopējās arkla korpusa vilces pretestības vai 42...54% no cēlājvirsmas vilces pretestības.

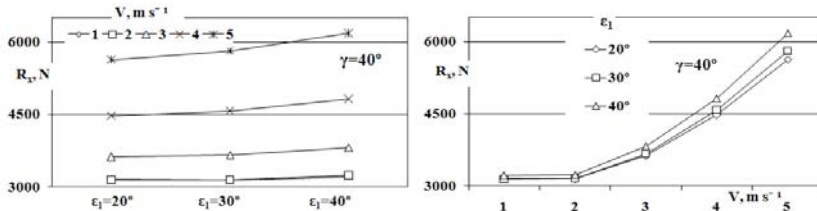
Lemeša nostatījuma leņķa ietekme uz arkla korpusa pretestību

Izmantojot formulās (19) – (30) dotās sakarības, modelēta arkla korpusa vilces pretestība un tās komponentu lielums, atkarībā no lemeša nostatījuma leņķa pret horizontālo plakni (vagas dibenu) ε_l , kas arī ir augsnes sloksnes sākotnējais pacelšanas leņķis. ε_l [12, 17]. Sekojošie grafiki (8., 9. attēli) rāda uz arkla korpusu darbojošos spēku lielumu un to izmaiņu atkarībā no sākuma cēlājleņķa lieluma un kustības ātruma v pie cēlāvirsmas horizontālās veidules slīpuma $\gamma = 40^\circ$.



8.att. Kopējā cēlāvirsmas vilces pretestība, ko izraisa augsnes sloksnes augsnes svars, inerces spēki, un adhēzija atkarībā no sākotnējā pacelšanas leņķa ε_l un ātruma v

Fig. 8. Total draft resistance of the lifting surface caused by soil gravity, inertia forces and adhesion depending on the initial lifting angle ε_l and speed v



9.att. Arkla korpusa kopējā vilces pretestība atkarībā no sākotnējā pacelšanas leņķa ε_l un ātruma v

Fig. 9. Total draft resistance of the plough body depending on the initial lifting angle ε_l of the soil strip and speed v

No grafikiem (att. 8, 9) izriet, ka lemeša slīpuma leņķa ε_l palielināšana noved pie pretestību palielināšanās, kuru izraisa augsnes sloksnes svars, inerces spēki un pielipšana, kā rezultātā arkla korpusa cēlāvirsmas vilces pretestība palielinās par 6 līdz 13% (8.att.). Pretestības pieaugums ir lielāks pie lielākiem ātrumiem.

Lemeša slīpuma leņķa palielināšana noved pie vertikālās reakcijas R_{Gz} , kuru izraisa augsnes sloksnes svars, samazināšanās. Tai ir mazāka ietekme arī uz spēkiem, kurus izraisa inerce un pielipšana, bet tā ved pie sānu reakciju, kuras izraisa visi šie spēki, palielināšanās. Sakarā ar visu to lemeša slīpuma leņķa izmaiņai ir neliela ietekme uz atbalsta virsmu vilces pretestības R_x izmaiņu.

Arkla korpusa kopējās vilces pretestības izmaiņas ir atkarīgas no darba režīma. Ja arkls strādā peldošajā režīmā, tad lemeša slīpuma leņķa palielināšanās palielina arkla korpusa vilces pretestību R_x no 2 līdz 10% (9.att.), bet ja arkls strādā ar spēka regulēšanas ierīci, tad izmaiņas kopējā vilces pretestībā var sekot cēlājvirsmas vilces pretestības izmaiņām (pie kopējās pretestības zemākajām vērtībām peldošajā režīmā).

Iegūtie materiāli rāda, ka palielinot sākotnējo sloksnes pacelšanas leņķi ε_I , vilces pretestība palielinās. Ekonomiskai aršanai sākotnējam augšnes sloksnes pacelšanas leņķim (lemeša slīpuma leņķim attiecībā pret vagas dibenu) jābūt ar minimālo vērtību – 24...30°, bet stabilākam darbam smilšmāla augsnēs optimālā lemeša slīpuma leņķa vērtība varētu būt aptuveni 30° (28...32°).

Arkla korpusa tvēriena ietekme uz tā vilces pretestību

Izmantojot atvasinātās analītiskās likumsakarības, kā arī teorētiskos pētījumus, izstrādātais datora algoritms dod iespēju modelēt arkla korpusa darbību un uz tā darbīgajām daļām darbojošos spēkus, kā arī vilces pretestību [13, 15]. Šīs likumsakarības ļauj noteikt uz arkla korpusa darbojošos spēkus un vilces pretestību atkarībā no arkla korpusa parametriem, tai skaitā arī no korpusa tvēriena.

Arkla korpusa īpatnējā vilces pretestība, attiecināta uz paceļamās aramsloksnes šķērsriezuma laukumu q :

$$\begin{aligned} K_0 &= R_x q^{-1} = (R'_x + R''_x) q^{-1} = (R_{Px} + R_{Gx} + R_{Ix} + R_{Ax} + R_{Qx}) q^{-1} = \\ &= k' = k'' = k_P + k_G + k_I + k_A + k_Q, \end{aligned} \quad (31)$$

kur: k' – cēlājvirsmas īpatnējā vilces pretestība /

specific draft resistance of the working (lifting) surface;

k'' – atbalsta virsmu īpatnējā vilces pretestība /

specific draft resistance of the supporting surfaces;

k_P – īpatnējā vilces pretestība, ko izraisījusi lemeša pretestība /

specific draft resistance caused by the share cutting resistance;

k_G – īpatnējā vilces pretestība, ko izraisījusi paceļamās aramsloksnes masa /

specific draft resistance caused by the weight of the soil strip lifted;

k_I – īpatnējā vilces pretestība, ko izraisījuši paceļamās aramsloksnes inerces spēki / specific draft resistance caused by the inertia forces;

k_A – īpatnējā vilces pretestība ko izraisījusi augšnes adhēzija / specific draft resistance caused by the soil adhesion;

k_Q – īpatnējā vilces pretestība ko izraisījusi paša arkla korpusa svars (iekļaujot daļu no arkla svara) / specific draft resistance caused by the weight of the plough body itself (including a part of the weight of plough).

$$q = ab, \quad (32)$$

kur: a – aršanas dziļums (aramsloksnes biezums) / working depth;

b – darba tvēriens (aramsloksnes platums) / working width.

No veiktajiem pētījumiem [13] seko, ka:

- Īpatnējā pretestība, ko izraisījis paceltās augsnes sloksnes svars;

$$\begin{aligned}
 k_G &= k'_G + k''_G \approx q \delta g k_y r \sin^{-1} \gamma * \\
 &* \left\{ [(\sin \gamma \cos \varepsilon_1 + \cos^2 \gamma \sin^{-1} \gamma) e^{f_0 \sin \gamma (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)} - \right. \\
 & \left. - (\sin \gamma \cos \varepsilon_2 + \cos^2 \gamma \sin^{-1} \gamma)] \cos \varepsilon_1 + \right. \\
 & \left. + (\cos \varepsilon_1 e^{f_0 \sin \gamma (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)} - \cos \varepsilon_2) (\cos \varepsilon_1 - f_0 \sin \varepsilon_1 \sin \gamma)^{-1} * \right. \\
 & \left. * \sin \varepsilon_1 \left[\sin \varepsilon_1 \sin \gamma + f_0 (\sin^2 \gamma \cos \varepsilon_1 + \cos^2 \gamma) \right] \right\} + \\
 & + \delta g r \sin^{-1} \gamma (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) + \delta g r \sin^{-1} \gamma (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) (\varepsilon_1 + 0.52) \text{ctg} \gamma;
 \end{aligned} \tag{33}$$

- Īpatnējā pretestība, ko izraisījusi augsnes inerce;

$$\begin{aligned}
 k_J &= k'_J + k''_J = \delta v^2 k_y^{-1} \sin \gamma \left\{ (\sin \gamma \cos \varepsilon_1 + \cos^2 \gamma \sin^{-1} \gamma) * \right. \\
 & * e^{f_0 \sin \gamma (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)} - (\sin \gamma \cos \varepsilon_2 + \cos^2 \gamma \sin^{-1} \gamma) + \\
 & \left. + (\cos \varepsilon_1 - f_0 \sin \varepsilon_1 \sin \gamma)^{-1} e^{f_0 \sin \gamma (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)} \right. \\
 & \left. \sin \varepsilon_1 \left[\sin \varepsilon_1 \sin \gamma + f_0 (\sin^2 \gamma \cos \varepsilon_1 + \cos^2 \gamma) \right] \right\} + \\
 & + \delta v^2 k_y^{-1} \sin \gamma \sin \varepsilon_2 e^{f_0 \sin \gamma (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)} + \delta v^2 k_y^{-1} \sin \gamma \cos \gamma (1 - \cos^2 \varepsilon_2);
 \end{aligned} \tag{34}$$

- Īpatnējā pretestība, ko izraisījis augsnes lipīgums;

$$\begin{aligned}
 k_A &= k'_A + k''_A = p_A r \sin^{-1} \gamma (e^{f_0 \sin \gamma (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)} - 1) * \\
 & * \left\{ \sin \gamma \cos \varepsilon_1 + \cos^2 \gamma \sin^{-1} \gamma + (\cos \varepsilon_1 - f_0 \sin \varepsilon_1 \sin \gamma)^{-1} * \right. \\
 & * \left. \sin \varepsilon_1 \left[\sin \varepsilon_1 \sin \gamma + f_0 (\sin^2 \gamma \cos \varepsilon_1 + \cos^2 \gamma) \right] \right\} a^{-1} + \\
 & + f_0 (p_{Axy} S_{xy} + p_{Axz} S_{xz}) (ab)^{-1};
 \end{aligned} \tag{35}$$

- Īpatnējā pretestība, ko izraisījis arkla korpusa svars;

$$k_Q = Q_1 (ab)^{-1}; \tag{36}$$

- Īpatnējā pretestība, ko izraisījusi augsnes sloksnes atgriešana;

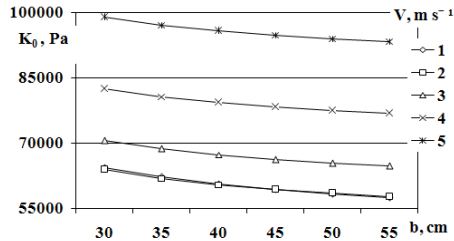
$$k_p = R_{px} (ab)^{-1} = \left[k_s \rho_{0s} i_s b_s \text{ctg}(\gamma + \varphi_0) + k_n \rho_{0n} i_n a_n \right] (ab)^{-1} \tag{37}$$

Īpatnējā pretestība, kuru izraisa augsnes nogriešana ir proporcionāla augsnes cietībai un lemeša šķautnes asumam, kā arī naža virsmas laukumam [16].

Piemēra veidā aplūkoti pētījuma rezultāti, kas iegūti, izpētot uz arkla korpusa darbojošos spēkus un vilces pretestību, pie dažādiem darba platumiem, arot smilšmāla augsnēs. Aprēķini veikti ar datoru pēc formulām 31–37.

Tika ņemtas vērā iepriekšējās nodaļās doto galveno faktoru vērtības, kas ietekmē cēlāj–vērsējvirsmas un arkla korpusa pretestību.

Arkla korpusa īpatnējās vilces pretestības un tās komponentu modelēšanas rezultāti parādīti grafikā (10 attēls).



10.att. Kopējā arkla korpusa K_0 īpatnējā vilces pretestība atkarībā no tvēriena b pie dažādiem darba ātrumiem v

Fig. 10. Total specific draft resistance of the plough body K_0 depending on the body working width b by various speed v

Kopējā aršanas īpatnējā vilces pretestība atkarībā no katra arkla korpusa tvēriena parādīta 10. attēlā.

Arkla korpusu vilces pretestības attēlošana komponentu augsnes sloksnes nogriešanas pretestības, augsnes svara izraisītās pretestības, augsnes inerces un pielīpšanas spēku pretestības summas veidā, ļauj analizēt spēkus, kas darbojas uz cēlājvirsmu, noskaidrot to pārmaiņu raksturu atkarībā no virsmas parametriem un darba režīmiem kā arī novērtēt to proporcionālo lielumu kopējā īpatnējā pretestībā.

No pretestības modelēšanā iegūtajiem materiāliem secināms, ka palielinot korpusa tvērienu no 30 cm līdz 50 cm aršanas īpatnējā pretestība samazinās par 11% (10.attēls). Augsnes lipīgums neietekmē korpusa atbalstvirsmu normālo reakciju lielumu (formulas 31 un 37).

Augsnes fizikāli mehānisko īpašību ietekme uz arklū korpusu vilces pretestību

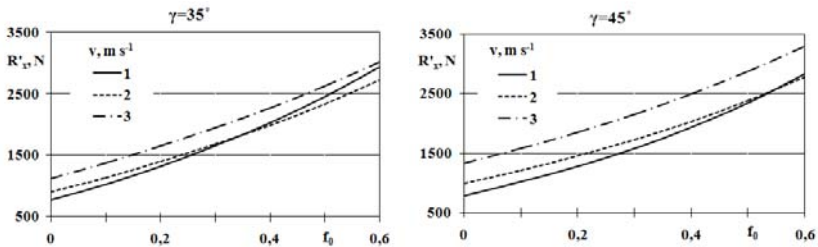
No iepriekšējā pētījuma (formulas 1–30) secināms, ka arkla korpusa vilces pretestība ir atkarīga no tādām augsnes īpašībām kā tās cietība, blīvums, berzes pretestība un lipīgums [21]. Tomēr nebija zināmas analītiskās likumsakarības, kuras ļautu noteikt vērstuves virsmas un arkla korpusa kopumā vilces pretestību atkarībā no tās īpašībām. Augsnes sloksnes atgriešanas pretestība ir proporcionāla augsnes cietībai (formula 13), bet to savukārt ietekmē augsnes mehāniskais sastāvs, mitrums un blīvums. Augsnes sloksnes svara un inerces spēku izraisītā pretestība ir

proporcionāla augsnes blīvumam (formulas 19–26). Augsnes lipīguma izraisītā pretestība ir proporcionāla augsnes īpatnējam lipīgumam (adhēzijas spēkiem starp augsni un darbīgo daļu virsmām) (formulas 27–30), kura lielums savukārt ir atkarīgs no augsnes sastāva, mitruma, temperatūras un slīdes ātruma.

Arī augsnes berzes izraisītā vilces pretestības komponente ir atkarīga no augsnes sastāva, mitruma un slīdes ātruma. Tā būtiski ietekmē arkla korpusa kopējo vilces pretestību. To var noteikt kā starpību starp arkla korpusa (arī tā sastāvdaļu – vērsējvirsmas un atbalstvirsmu) kopējo pretestību R_x un tā pretestību R_{x0} , ja nebūtu berzes pretestības (formulas 8 un 9).

No formulām (20) un (21) redzams, ka augsnes svara izraisīto korpusa atbalsta virsmu normālo reakciju lielums nav atkarīgs no berzes koeficienta.

Kā piemērs (attēls 11) ir parādīta arkla korpusa cēlājvirsmas (lemeša–vērstuves virsmas) vilces pretestība atkarībā no berzes koeficienta lieluma pie dažāda horizontālās veidules slīpuma un slīdes ātruma.



11.att. Arkla korpusa cēlājvirsmas vilces pretestība atkarībā no berzes koeficienta f_0 lieluma pie horizontālās veidules slīpuma $\gamma=35^\circ, 45^\circ$ un dažāda slīdes ātruma v
Fig.11. Impact of the soil friction coefficient f_0 upon the draft resistance of the plough body share-mouldboard (lifting) surface at inclination angles $\gamma=35^\circ, 45^\circ$ of the horizontal generatrices and speeds v

Diagrammās berzes izraisītās vilces pretestības lielums izteikts kā starpība starp kopējo vilces pretestību pie kādas noteiktas berzes koeficienta vērtības un vilces pretestību, kāda tā varētu būt, ja nebūtu berze ($f_0 = 0$).

No pētījuma rezultātiem redzams (10. attēls), ka berzes pretestība sastāda ievērojamu cēlājvirsmas kopējās pretestības daļu. Dotajā piemērā pie berzes koeficienta lieluma $f_0 = 0.4$ tā ir 1100–1200 N un sastāda 55 – 60% no korpusa kopējās vilces pretestības.

EKSPERIMENTĀLIE PĒTĪJUMI

Laboratorijas un lauka eksperimentālie pētījumi tika veikti: pirmie, lai skaidrotu ātruma ietekmi uz augsnes slīdes pretestību, otrie – lai apstiprinātu teorētisko pētījumu rezultātus.

Augsnes slīdes pretestības pētījumi

Eksperimentālo pētījumu veikšanai tika izmantots LLU Lauksaimniecības tehnikas zinātniskajā institūtā (LTZI) izveidotais tribometriskais stends (12. attēls), kas paredzēts dažādu materiālu, tai skaitā arī augsnes slīdes pretestības mērīšanai un mērījumu rezultātu automātiskai reģistrēšanai, secīgi nolasot pētāmā objektā izvietotos sensorus [19].

Slīdes pretestības mērījumu dati tika reģistrēti datu uzkrājējā atkarībā no izvēlētajā kustības ātruma ar 3 – 5 sekunžu intervālu. Slīdes pretestību raksturojošie rādītāji: berzes koeficients un īpatnējais lipīgums datorā tiek aprēķināti pēc formulām (38) – (44).



12.att. Tribometriskais stends un tā sastāvdaļu kopskats
Fig.12. Tribometric test bench and it's assembly

Reģistrācijas blokā aprēķiniem ir ierakstītas sekojošas formulas:

$$f = \frac{F}{G}, \quad (38)$$

$$f = f_0 \left(1 + \frac{p_A}{p} \right), \quad (39)$$

$$f_0 = \text{funkcija}(m, W_0, v, t^0), \quad (40)$$

$$p_A = \text{funkcija}(p, m, W_0, v, t^0), \quad (41)$$

- kur: f – slīdes pretestības koeficients / the resistance coefficient of soil sliding;
 F – slīdes pretestība / sliding resistance;
 G – augsnes svars kopā ar slogotājspēku / the soil weight;
 f_0 – berzes koeficients / the friction coefficient;
 m – augsnes mehāniskais sastāvs / mechanical composition of the soil;
 W_0 – augsnes absolūtais mitrums / absolute humidity of the soil;
 v – kustības (slīdes) ātrums / sliding speed;
 p – īpatnējais spiediens pret slīdes virsmu /
the specific pressure of the layer (soil) upon the surface;
 t^0 – temperatūra / temperature.

$$f_0 = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}; \quad (42)$$

$$f_0 p_A = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}; \quad (43)$$

$$p_A = \frac{f_0 p_A}{f_0}, \quad (44)$$

kur: $x = p^{-1}$; $y = f$

n – mērījumu skaits / the number of measurements;

p_A – augsnes pielipšanas spēks / the specific soil adhesion force.

Iegūtie rezultāti tika automātiski apstrādāti un izdrukāti skaitļu tabulu un diagrammu veidā.

Datu matemātiskā apstrāde

Iegūtajiem rezultātiem tika aprēķināti vidējais aritmētiskais, standartnovirze, dispersija, variācijas koeficients, vidējā aritmētiskā reprezentācijas rādītājs, standartnovirzes reprezentācijas rādītājs, variācijas koeficienta reprezentācijas rādītājs.

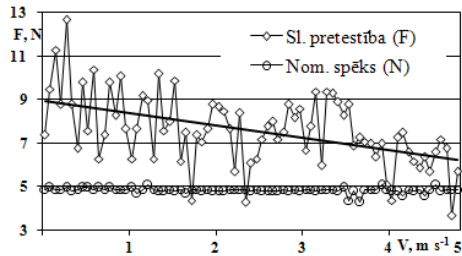
Rādītāji: vidējais aritmētiskais, standartnovirze un dispersija aprēķināti lietojot *Microsoft Excel for Window 7.0* programmu.

Augsnes slīdes pretestības eksperimentālo pētījumu rezultāti

Izmantojot aprēķinu veikšanai formulas (38–44), tika iegūti dati un apstrādājot tos ar speciālu datorprogrammu tika aprēķināta slīdes pretestība, berzes koeficients, īpatnējais lipīgums, kā arī iegūtas līknes, kas apraksta slīdes pretestības koeficienta izmaiņas atkarībā no kustības ātruma (0.5 līdz 5 m s⁻¹), augsnes mitruma un augsnes parauga īpatnējā spiediena uz virsmu (0,06 līdz 0,2 N cm⁻²) [20]. Eksperimentālo mērījumu rezultāti parādīti diagrammās (sk. attēlus 13–16).

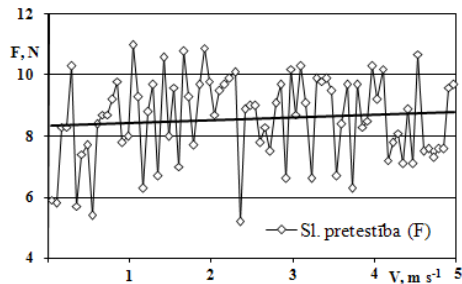
Mitru augšņu slīdes pretestības koeficienta lielums ir atkarīgs no īpatnējā spiediena starp slīdes virsmām. Piemēram, humusa bagātai smilts augsnei pie maza īpatnējā spiediena (0.06 N cm⁻²) un maza slīdes ātruma slīdes pretestības koeficients sasniedz 1.8...2 (13.att.).

Mitras, humusa bagātas smilts augsnes slīdes pretestības pētījuma rezultātiem (13.att.) aprēķināti: variācijas amplitūda $R=3.87$, dispersija $S^2=1.66$, standartnovirze $s=1.21$, variācijas koeficients $V=16\%$.



13.att. Mitras, humusa bagātas smilts augsnes slīdes pretestība atkarībā no ātruma pie īpatnējā spiediena starp virsmām $p = 0.06 \text{ N cm}^{-2}$

Fig. 13. Sliding resistance of wet sandy soil depending on speed and specific pressure of soil upon the surface $p = 0.06 \text{ N cm}^{-2}$



14.att. Sausas, akmeņainas mālsmilts augsnes slīdes pretestība atkarībā no ātruma pie īpatnējā spiediena starp virsmām $p = 0.19 \text{ N cm}^{-2}$

Fig. 14. Sliding resistance of dry rocky sandy loam depending on speed, the specific pressure of soil upon the surface $p = 0.19 \text{ N cm}^{-2}$

Eksperimentālajos pētījumos konstatēts, ka mitru augšņu slīdes pretestība pa tērauda virsmu, palielinot slīdes ātrumu no 0.5 līdz 5 m s^{-1} , samazinās. Atkarībā no augsnes mehāniskā sastāva un mitruma šis samazinājums ir dažāds.

Mitrai, humusa bagātai smilts augsnei un mālsmilts augsnei tas ir 30 – 32 % (13.att.), smilšmāla augsnei – 17 – 20 %, bet māla augsnei tas ir 4 – 6 %. Sākotnēji, palielinoties ātrumam (līdz apmēram $2...2.5 \text{ m s}^{-1}$), slīdes pretestības samazināšanās ir straujāka, vēlāk tā palēninās.

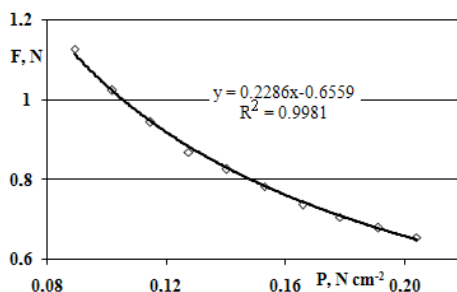
Sausai, humusa bagātai smilts augsnei slīdes pretestības koeficients neatkarīgi no ātruma bija 0.94 (pie īpatnējā spiediena starp virsmām 0.063 N cm^{-2} , mālsmilts augsnei – 0.6, pie īpatnējā spiediena starp virsmām 0.19 N cm^{-2} , (14.att.). Jāpiezīmē, ka sausajā sacietējušajā augsnē ieslēgtie sīkie akmentīni izraisīja slīdes virsmas skrāpēšanu, kas varēja palielināt slīdes pretestības koeficientu. Sausas, akmeņainas mālsmilts augsnes slīdes pretestības (14.att.) eksperimentālā pētījuma rezultātiem aprēķināti: variācijas amplitūda $R=5.8$, dispersija $S^2=2$, standartnovirze $s=1.41$, variācijas koeficients $V=16.53\%$, mitras ($W=15\%$) māla augsnes slīdes pretestības.

Sausu mālsmilts augšņu slīdes pretestība, palielinot slīdes ātrumu, praktiski nemainās vai tikai nedaudz (par 3 %) samazinās (14.att.).

2.tabula/Table 2

Slīdes pretestības koeficienta aprēķina rezultāti
Data for the calculation of the coefficients of friction and specific adhesion

Slīdes pretestība F , N Sliding resistance F , N	8.00	8.20	8.50	8.70	8.90	9.20	9.50	9.80	10.20	10.60
Slogojums P , N Sample weight P , N	7.00	8.00	9.00	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0
Slīdes pretestības koef., f Sliding resist. coef. f	1.14	1.03	0.94	0.87	0.81	0.77	0.73	0.70	0.68	0.66
Īpatnējais spiediens, p / Spec. pressure p , $N\ cm^{-2}$	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.19	0.21



15.att. Mītras māla augsnes ($W=15\%$) slīdes pretestība pie ātruma $v=2\ m\ s^{-1}$ atkarībā no īpatnējā spiediena pret virsmu
Fig. 15. Sliding resistance of wet ($W=15\%$) clay soil depending on the specific pressure between the sliding surfaces at the speed $v=2\ m\ s^{-1}$

Īpatnējam spiedienam palielinoties, slīdes pretestības koeficients samazinās, sākmā strauji, tad samazinājums pakāpeniski palēninās, asimptotiski tiecoties uz noteiktu robežu (15.att.). Šāda slīdes pretestības koeficienta izmaiņa atbilst hiperboliskās regresijas raksturam. Tas dod iespēju, izmantojot mazāko kvadrātu metodi, noteikt šo augšņu berzes koeficienta un īpatnējā pielipšanas spēka lielumu.

Māla augsnei pie slīdes ātruma $2\ m\ s^{-1}$ tie attiecīgi bija 0.288 un $0.26\ N\ cm^{-2}$ (tabulas 2. un 4.), bet humusa bagātai smilts augsnei attiecīgi – 0.321 un $0.158\ N\ cm^{-2}$. Tas rāda, ka humusa bagātai smilts augsnei berzes koeficients pret tēraudu ir lielāks, bet pielipšanas spēks mazāks nekā māla augsnei.

Mitras ($W=15\%$) māla augsnes berzes koeficienta un īpatnējā lipīguma aprēķina rezultāti pie slīdes ātruma $v=2\text{ m s}^{-1}$
Calculation of the coefficient of a sliding resistance wet ($W=15\%$) of clay soil at the sliding speed $v=2\text{ m s}^{-1}$

Mēr. skaits	1/x	f=y	x	xy	x ²
1	0.089	1.143	11.220	12.823	125.888
2	0.102	1.025	9.818	10.063	96.383
3	0.115	0.944	8.727	8.242	76.155
4	0.127	0.870	7.854	6.833	61.685
5	0.140	0.809	7.140	5.777	50.980
6	0.153	0.767	6.545	5.018	42.837
7	0.166	0.731	6.062	4.415	36.500
8	0.178	0.700	5.610	3.927	31.472
9	0.191	0.680	5.236	3.560	27.416
10	0.206	0.663	4.909	3.252	24.096
n=10	–	$\Sigma y=8.331$	$\Sigma x=73.099$	$\Sigma xy=63.448$	$\Sigma x^2=573.412$

4. tabula/Table 4

Mitras ($W=15\%$) māla augsnes berzes koeficienta un īpatnējā lipīguma aprēķins pie slīdes ātruma $v=2\text{ m s}^{-1}$
Calculation of the sliding coefficient, friction coefficient and specific adhesion of wet ($W=15\%$) clay soil at the sliding speed $v=2\text{ m s}^{-1}$

1.	Augsnes berzes koeficients / Soil friction coefficient, f_0	0.288
2.	$f_0 p_A$	0.076
3.	Īpatnējais lipīgums / Specific adhesion p_A , N cm^{-2}	0.261
4.	Kontakvirsmas laukums / Contact surface S , cm^2	78.540
5.	Kustības ātrums / Working speed v (m s^{-1})	2.000

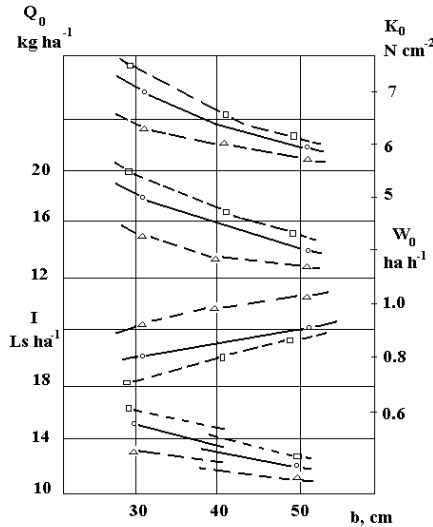
Arklu korpusu vilces pretestības, optimālo parametru un darba režīmu eksperimentālie pētījumi

Pēc LLU Lauksaimniecības tehnikas zinātniskā institūtā izstrādātās metodikas tika veikti pētījumi par arkla korpusa tvēriena ietekmi uz tā vilces pretestību.

Pētījumi ar dažādu arkla, respektīvi, korpusu tvērienu veikti rugaines rudens aršanā pie trim dažādiem aršanas dziļumiem (18...24 cm) un trim ātrumiem ($5.3...9\text{ km h}^{-1}$) [22]. Iegūtie rezultāti parādīti diagrammā (17.att.).

Arkla testēšanā konstatēts, ka pie korpusu tvēriena 50 cm par 14–25%, salīdzinot ar 30 cm tvērienu, samazinās aršanas energoietilpība un degvielas

Īpatpatēriņš. Jo lielāks aršanas dziļums, jo lielāks efekts no korpusa tvēriena palielināšanas (sk. attēlu 17.).



17.att. Kverneland arkla AB – 85 pusskrūves tipa korpusiem Nr. 8 dažādie enerģētisko un ekonomisko vērtību raksturojumi zālajā aršanā smilšmāla augsnē atkarībā no korpusa tvēriena b

Fig. 17. Variations of energetic and economic characteristics of the Kverneland AB-85 plough body with semihelicoidal bodies No 8 depending on the body b width in ploughing grassland on a loamy soil

v – darba ātrums ($8.7 - 9 \text{ km h}^{-1}$); b – korpusa darba tvēriens; K_0 – īpatnējā vilces pretestība, N cm^{-2} ; Q_0 – īpatnējais degvielas patēriņš, kg ha^{-1} ; W_0 – darba ražīgums, ha h^{-1} ;

I – aršanas izmaksas, Ls ha^{-1} ($1 \text{ Ls} = 1.85 \text{ USD}$).

–□– aršanas dziļums 24cm; –○– aršanas dziļums 22cm; –△– aršanas dziļums 19cm.

Working speed $8.7 - 9 \text{ km h}^{-1}$; b – the body width, K_0 – the specific draft resistance, N cm^{-2} ; Q_0 – the specific fuel consumption, kg ha^{-1} ; W_0 – the direct labour productivity, ha h^{-1} ; I – ploughing costs Ls ha^{-1} ($1 \text{ Ls} = 1.85 \text{ USD}$).

Tā, piemēram, smilšmāla augsnē šāda korpusu tvēriena palielināšana pie aršanas dziļuma 18–19 cm samazina degvielas īpatpatēriņu par 2–3 kg ha^{-1} , bet pie dziļuma 24 cm – par 4–5 kg ha^{-1} [16]. Attiecīgi par 12–16% palielinās darba ražīgums un samazinās aršanas izmaksas par 1.80–3.50 Ls ha^{-1} .

Jo lielāks aršanas dziļums, jo lielāks efekts ir sagaidāms, pateicoties lielākam korpusa tvērienam. Šo parādību izraisa lielāka augsnes cietība un blīvums dziļākos augsnes slāņos.

Tādēļ, izmantojot arkļus, kuriem iespējama korpusu tvēriena regulēšana, jāstrādā ar lielāko tvērienu, ja nepieciešams (nepietiekama traktora jauda), samazinot korpusu skaitu.

Salīdzinošam enerģētiskajam raksturojumam noteikti arkla statiskās un dinamiskās pretestības koeficienti dažādam korpusa tvērienam (sk. 5.tabulu).

5.tabula/Table 5

**Maiņtvēriena arkla statiskās pretestības un dinamiskās pretestības koeficienti
(rugaines aršanā)**
**Static and dynamic coefficients of specific resistance of the exchangeable working
width plough (stubble ploughing)**

Modelis / Model	Darba tvēriens / Working width, cm	Apstrādes dziļums / Working depth, cm	Vilces īpatnējā pretestība / Specific draft resistance, N cm ⁻²		Darba ātrums /Working speed, m s ⁻¹		Īpatnējās pretestības koeficienti / Coefficients of specific resistance	
			Rx_1	Rx_2	v_1	v_2	Statiskās / Static, k'_0	Dinamiskās / Dynamic, ϵ_0
AB-85 2 korpusi / 2 body	60	19	5.5	6.4	1.5	2.6	5.05	0.20
	60	24	6.0	7.4	1.5	2.5	5.48	0.22
	80	20	5.1	6.0	1.5	2.5	4.57	0.23
	80	24	5.8	6.5	1.5	2.5	5.41	0.18
	100	18	5.0	5.7	1.5	2.5	4.61	0.18
	100	23	5.2	5.9	1.5	2.4	4.75	0.20

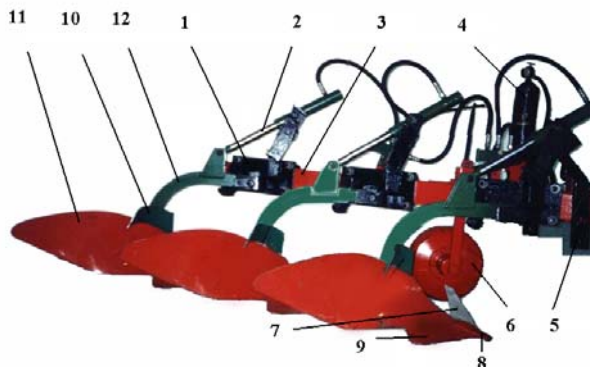
No 5.tabulas datiem redzams, ka pie lielāka korpusa tvēriena statiskās pretestības koeficienti ir mazāki. Dinamiskās pretestības koeficienti pie dažāda korpusa tvēriena ir apmēram vienādi vidēji 0.20 un svārstās apmēram 10% robežās no 0.18 līdz 0.22.

Eksperimentālie pētījumi apstiprina teorētisko pētījumu secinājumus.

Modernizēto arklu eksperimentālie pētījumi

Promocijas darba autoram kā LLU Lauksaimniecības tehnikas zinātniskā institūta pētniekam sadarbībā ar augkopības mehanizācijas speciālistiem rasts risinājums esošo arklu darbīgo daļu pārbūvei, lai ne tikai uzlabotu to darba spējas, bet vienlaicīgi arī pilnveidotu esošo konstrukciju [1].

Arklis PGP-3-35 ar "Kverneland" pusskrūves tipa korpusiem (sk. attēlu 18.) paredzēts akmeņainu augšņu aršanai līdz 27 cm dziļumam.



18.att. Arklis PGP-3-35 ar pusskrūves tipa korpusiem

Fig.18. Plough PGP-3-35 with semi-helicoidal bodies

1 – korpusa balstenis, 2 – hidrocilindrs, 3 – rāmis, 4 – hidropneumoakumulators, 5 – uzkare,
 6 – atbalsta ritenis, 7 – ripas nazis, 8 – kalts, 9 – lemesis, 10 – stūrgriezis, 11 – vērstuve,
 12 – statne. 1 – the strut of the body, 2 – the hydrocylinder, 3 – the frame,
 4 – the hydropneumoaccumulator, 5 – the mounting implement, 6 – the supporting wheel,
 7 – the ring knife, 8 – the chisel, 9 – the ploughshare, 10 – the trashboard,
 11 – the mouldboard, 12 – the strut.

Arkla vilces pretestība, arot daudzgadīgos zālājus ar ātrumu no 1.43 līdz 1.81 m s⁻¹ bija no 15.9 līdz 17.2 kN, bet arot rugaini ar ātrumu no 1.82 līdz 2.16 m s⁻¹, tā bija no 15.9 līdz 16.6 kN.

Darbā ar arklu PGP-3-35 (arklam "Kverneland" korpusi) traktora MTZ-82 motora ekspluatācijas jaudas izmantošanas koeficients bija 57 – 91%, degvielas patēriņš, arot daudzgadīgos zālājus, bija 15.9–17.3 kg ha⁻¹, bet arot rugaini – 14.3–14.6 kg ha⁻¹.

Pēc promocijas darba autora izstrādātās tehniskās dokumentācijas pārbūvēts un modernizēts arklis PGP-7-40 un uz tā bāzes ražotais astoņu korpusu arklis AGK-8-40 (19.att.) paredzēts dažāda mehāniskā sastāva un mitruma augšņu ar dažādu akmeņainību aršanai [1].

Testējot tika iegūti šādi rādītāji: aršanas dziļums 23–27 cm, darba tvēriens 311–316 cm. Augu atlieku iestrādes pilnība 99%, to iestrādes dziļums 11–12 cm [1]. Aramsloksnes apvēršanas leņķis 135–137⁰. Pēc enerģētiskiem mērījumiem traktors K-701, arot rugaini ar darba ātrumu 7.1–8.7 km h⁻¹, patērēja 131–161 kW jaudu, īpatnējais degvielas patēriņš bija 15.7–19.1 kg ha⁻¹, darba ražīgums pamatlaikā bija 2.4 ha h⁻¹ (darba ātrums 7.6 km h⁻¹).

Salīdzinošam enerģētiskajam vērtējumam aprēķināti arkla statiskās un dinamiskās pretestības koeficienti (sk. 6.tabulu).



19.att. Arklis AGK–8–40 ar pusskrūves tipa korpusiem
Fig. 19. Plough AGK–8–40 with semi-helicoidal bodies

1 – rāmis, 2 – ripas nazis, 3 – korpus, 4 – plakanās atsperes aizsardzības mehānisms, 5 – aršanas dziļuma regulēšanas skrūve, 6 un 9 – atbalstriņi, 7 – uzkares vertikālā statne, 8 –statne, 10 – stūrgrieziņš, 11 –aršanas dziļuma regulēšanas skrūve, 12 – tapa.
 1 – the frame, 2 – the disc coulter, 3 – the body, 4 – the flat spring, 5 and 11 – the screw for adjusting the depth of ploughing, 6 and 9 – the supporting wheels, 7 – the vertical strut of the mounting implement, 8 – the beam, 10 – the trashboard, 12 – the pin.

6.tabula/Table 6

Modernizēto arklju enerģētiskie rādītāji
Energetic characteristics of the improved ploughs

Modelis / Model	Lauka raksturojums /Type of the field	Vilces īpatnējā pretestība / Specific draft resistance, $N\ cm^{-2}$		Darba ātrums / Working speed, $m\ s^{-1}$		Īpatnējās pretestības koeficienti / Coefficients of specific resistance	
		Rx_1	Rx_2	v_1	v_2	Statiskās / Static, k'_0	Dinamiskās / Dynamic, ϵ_0
PGP-3-35K	zālājs	6.7	7.0	1.43	1.81	6.2	0.24
PGP-3-35K	rugaine	6.2	6.5	1.82	2.16	5.47	0.22
PLN-3-35K	zālājs	7.3	7.6	1.43	1.8	6.79	0.25
PLN-3-35	zālājs	7.7	8.2	1.33	1.69	6.89	0.46
AGK-8-40	rugaine	5.4	5.7	2.11	2.42	4.45	0.21

Aprēķinātie īpatnējās pretestības statiskais koeficients un dinamiskais koeficients parāda, ka pie aršanas dziļuma 22 cm arklīm ar pusskrūves tipa korpusiem dinamiskās pretestības koeficients ir 0.25, kas salīdzinājumā ar kultūras

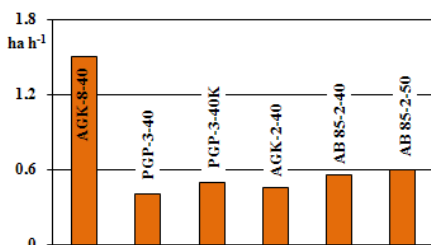
tipa korpusiem ir aptuveni 2 reizes mazāks (sk. 6.tabulu). Tas liecina, ka pusskrūves korpusi ir piemēroti darbam ar lielākiem ātrumiem.

Testēšanas dati apliecina teorētisko pētījumu secinājumu pareizību.

Aršanas izmaksu ekonomiskais pamatojums

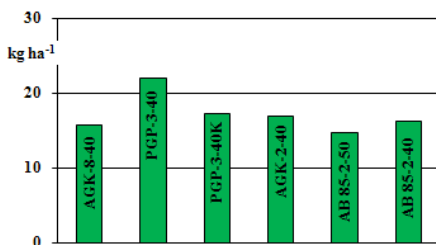
Aršanas izmaksu aprēķinam izmantoti arklu testēšanas rezultātā iegūtie dati un to apstrādei izmantota dator tehnika ar atbilstošu programmu [1].

Salīdzinot aršanas izmaksu vērtējumam modernizētiem arklīm un Kverneland arklam AB – 85 ar pusskrūves tipa korpusiem pie korpusa tvērieniem 35cm un 50cm aprēķināti aršanas darba ražīgums, degvielas patēriņš un kopējās aršanas izmaksas (sk. attēlus 20–22).



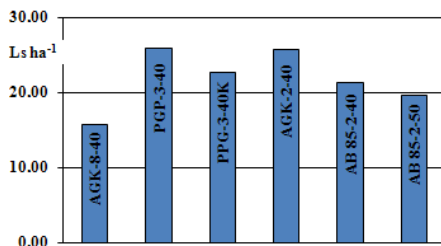
20.att. Darba ražīgums
Fig. 20 Working efficiency

Modernizētam arklam PGP–3–40K ar pusskrūves korpusiem (20.att.) īpatnējais darba ražīgums ir par 25% lielāks nekā arklam PGP–3–40 ar kultūrtaipa korpusiem. Arklam AB ar maināmu darba tvērienu palielinot to no 40 līdz 50cm, degvielas darba ražīgums palielinās par 22%.



21.att. Degvielas patēriņš
Fig. 21 The consumption of fuel

Arkla AGK–8–40 (21.att.) īpatnējais degvielas patēriņš 15.8 kg ha^{-1} liecina par traktora dzinēja optimālu noslodzi. Modernizētam arklam PGP–3–40K ar pusskrūves korpusiem īpatnējais degvielas patēriņš ir par 22% mazāks nekā arklam PGP–3–40 ar kultūrtipa korpusiem. Arklam Kverneland AB–85 ar maināmu darba tvērienu palielinot to no 40 līdz 50cm, degvielas patēriņš samazinās par 14%.



22.att. Kopējās aršanas izmaksas
Fig. 22. The total costs of ploughing

No aprēķina rezultātiem redzams, ka kopējās aršanas izmaksas (22.att.) modernizētam arklam PGP–3–40K ar pusskrūves korpusiem ir par 14% zemākas nekā arklam PGP–3–40 ar kultūrtipa korpusiem. Darba tvēriena palielināšana arklam AB 85 no 40 līdz 50 cm samazina kopējās aršanas izmaksas par 20%.

Arklu modernizēšanas, kā arī jaunu arklu izgatavošanas izmaksas ir 2,5 līdz 4 reizes zemākas nekā jaunu rietumvalstu firmu arklu iegāde.

SECINĀJUMI

1. Veikti teorētiski un eksperimentāli pētījumi par arklu korpusu darbu, augsnes pretestības spēku izraisīto vilces pretestību un to noteicošajiem faktoriem, korpusu parametru, darba režīmu un augsnes fizikāli mehānisko īpašību ietekmi uz aršanas agrotehnikajiem, enerģētiskajiem un ekonomiskajiem rādītājiem, pamatoti korpusu parametru optimālie lielumi un darba režīmi, kas nodrošina kvalitatīvu arumu ar minimālu enerģijas, darba un līdzekļu izlietojumu.
2. Iegūtās analītiskās likumsakarības un izstrādātais datora algoritms ļauj modelēt augsnes iedarbības spēkus uz arkla korpusa darba virsmām, ļauj noteikt arkla korpusa cēlārvirsmas un atbalsta virsmu vilces pretestību atkarībā no augsnes cietības, blīvuma, lipīguma, berzes koeficienta vērtības, kā arī no arkla korpusa parametriem, tā darba ātruma un pamatot korpusa parametru optimālās vērtības, lai iegūtu kvalitatīvu arumu ar minimālu enerģijas patēriņu.
3. Arkla korpusa vilces pretestības traktēšana kā tās komponentu: augsnes sloksnes atgriešanas pretestības, tās masas (svara) izraisītas pretestības, augsnes inerces spēku un pielipšanas spēku izraisīto pretestību summu ļauj

analizēt uz cēlājvirsmu (lemeša–vērstuves virsmu) un atbalstvirsmām (sliedi) darbojošos spēkus, noskaidrot tos ietekmējošos faktoros un to izmaiņu raksturu atkarībā no ātruma un virsmu parametriem, un noteikt to īpatsvaru kopējā pretestībā.

4. Galvenie arkla korpusa parametri, kas ietekmē aršanas efektivitāti ir:
 - cēlāj–vērsējvirsmas sākuma un beigu leņķis,
 - horizontālās veidules slīpuma leņķis attiecībā pret kustības virzienu un tā izmaiņu raksturs;
 - lemeša šķautnes (asmens) biezums;
 - cēlājvirsmas liekuma rādiuss;
 - atbalsta virsmu laukums.
5. Palielinot sākotnējo cēlājleņķi (lemeša slīpuma leņķi attiecībā pret vagas dibenu) vilces pretestība pieaug. Drošam darbam blīvās smilšmāla augsnēs tā optimālā vērtība vidēji ir 30° ($28\dots32^\circ$).
6. Horizontālās veidules slīpuma palielināšana izraisa augsnes svāra un pielipšanas spēku izraisītās vilces pretestības samazināšanos, bet tā palielina inerces spēku izraisīto pretestību, sevišķi pie lielākiem ātrumiem. Smilšmāla augsnēs, ātrumam pieaugot no 1 līdz 3 m s^{-1} , horizontālās veidules slīpuma leņķa optimālā vērtība, kas dod minimālo cēlājvirsmas vilces pretestību, samazinās no 50° līdz 25° .
7. Korpusa atbalsta virsmu vilces pretestība var sasniegt $25\dots30\%$ no kopējās arkla korpusa vilces pretestības jeb $42\dots54\%$ no tā cēlājvirsmas vilces pretestības.
8. Liela ietekme uz arkla korpusa vilces pretestību ir augsnes – metāla virsmas berzes pretestībai. Tā var sasniegt $50\dots60\%$ no kopējās vilces pretestības, ieskaitot, atbalsta virsmu pretestību ($25\dots30\%$). Palielinot horizontālās veidules slīpuma leņķi, kā arī darba ātrumu, samazinās berzes pretestības īpatsvars arkla korpusa kopējā pretestībā.

Nozīmīgākie berzes pretestības un arkla korpusa kopējās vilces pretestības samazināšanas veidi būtu racionālākas korpusa konstrukcijas izveide ar optimāliem parametriem, samazinot atbalsta virsmu reakciju vērtības un antifrikatīvu materiālu izmantošana, darbs optimālā ātrumā.
9. Arkla korpusa īpatnējā vilces pretestība atkarīga no korpusa tvēriena. Palielinot korpusa tvērienu no 30 cm līdz 50 cm pie nemainīga lemeša tvēriena, aršanas īpatnējā pretestība samazinās par $8\dots10\%$. Attiecīgi samazinās degvielas patēriņš un izmaksas, palielinās darba ražīgums. Tāpēc, izmantojot maiņtvēriena arklus, ieteicams strādāt ar to korpusu maksimālo tvērienu, ja nepieciešams, pie nepietiekamas traktora jaudas, samazinot korpusu skaitu.
10. No veiktajiem augsnes slīdes pretestības eksperimentālajiem pētījumiem var secināt, ka:
 - Mītru augšņu slīdes pretestība pa tērauda virsmu, palielinoties slīdes ātrumam, samazinās.

- Sausu augšņu slīdes pretestība pa tērauda virsmu, mainoties slīdes ātrumam, nemainās. Ja augsne satur akmens daļiņas, kas skrāpē virsmu, ātrumam pieaugot, slīdes pretestība var palielināties.
- Mitrū augšņu slīdes pretestība ir atkarīga no īpatnējā spiediena starp virsmām. Spiedienam palielinoties, tā samazinās, asimptotiski tiecoties uz robežlielumu.
- Mitrū augšņu slīdes pretestības izmaiņa atkarībā no īpatnējā spiediena starp virsmām atbilst hiperboliskās regresijas raksturam. Izmantojot mazāko kvadrātu metodi, noteikts šo augšņu berzes koeficienta un īpatnējā pielipšanas spēka lielums.

11. Optimālais aršanas ātrums ar jaunās paaudzes traktoriem, strādājot spēka vai kombinētajā režīmā ir 2...3 m s⁻¹.

12. Eksperimentālie pētījumi apstiprina teorētisko pētījumu atziņas.

13. Optimālie arkla korpusa parametri darbam optimālā režīmā ar ātrumu 2...3 m s⁻¹ ir:

- lemeša nostādījuma slīpums pret vagas dibenu 28°...32°;
- horizontālās veidules slīpums korpusa apakšdaļā 34°...38°, augšgalā – 45°...48°;
- korpusa tvēriens 45...50 cm;
- vērstuves liekuma rādiuss 480...520 mm.

Skrūvveida korpusu izmantošana ar optimāliem parametriem nodrošina kvalitatīvu arumu, samazina vilces pretestību par 12...20%, attiecīgi palielina darba ražīgumu, samazina degvielas patēriņu un aršanas izmaksas.

PUBBLIKĀCIJU SARAKSTS SCIENTIFIC PUBLICATIONS

Publikācijas vispārārtzītos recenzējamos zinātniskos izdevumos:

The publications under established review:

1. Rucins A., Vilde A. Impact of the share inclination angle on the plough body resistance. **In:** *Research for Rural Development*: International scientific conference proceedings, May 19–22, 2006. Jelgava: LLU, 2006, p. 52–57.
2. Rucins A., Vilde A. Impact of the plough body parameters on the soil tillage efficiency **In:** *Development of Agricultural Technologies and Technical means in Ecological and Energetic Aspect*: Proceedings of the international conference, September 14–15, 2006. Book No.11. Raudondvaris : LAS, 2006, p. 42–46.
3. Rucins A., Vilde A. Impact of the plough body parameters on the soil tillage efficiency **In:** *Engineering for Rural Development*: Proceedings 5th international scientific conference. Jelgava: Latvia University of Agriculture Faculty of Engineering, 2006, p. 42–47.
4. Rucins A., Vilde A. Forces acting on the plough body. Ecology and Agricultural Machinery **In:** *Environmental aspects of plant production, mobile power units and farm machines*: proceedings of the 4th international scientific and practical conference, May 25–26, 2005. Vol. 2. Saint-Petersburg, 2005, p. 112–123.
5. Rucins A., Vilde A. Forces acting on plough body **In:** *Research for Rural Development*: International scientific conference Proceedings, May 19–22, 2004. Jelgava: LLU, 2004, p. 40–46.
6. Rucins A., Vilde A. Impact of soil–metal friction on the draft resistance of ploughs **In:** *Research for Rural Development*: International scientific conference Proceedings, May 21–24, 2003. Jelgava: LLU, p. 61–63.
7. Rucins A., Vilde A. Impact of the working width of the plough body on the tillage efficiency **In:** *Research for Rural Development*: international scientific conference proceedings, May 19–22, 2005. Jelgava: LLU, p. 36–42.
8. Pinnis U., Ruciņš Ā., Vilde A., Cēsniņš S. Kombinēto mašīnu tehnoloģiskie varianti augsnes sagatavošanai un sējai **No:** *Spēkrati, Loģistika un Alternatīvās degvielas* : starptaut. zinātniskā konf., 24. apr., 2003 = *Motor Vehicle, Logistics, Alternative Fuels*: international scientific conference, April 24, 2003. Jelgava : LLU, 2003, 127.–131. lpp.
9. Вилде А., Руциньш А., Цесниекс С. Минимализация обработки почвы **No:** *Spēkrati, Loģistika un Alternatīvās degvielas*: starptaut. zinātniskā konf., 24.apr., 2003 = *Motor Vehicle, Logistics, Alternative Fuels*: international scientific conference, April 24, 2003. Jelgava: LLU, 2003, 132–136.lpp.
10. Cesniņš S., Vilde A., Rucins, A., Cesniņš A. Economical efficiency of the parameter optimisation of soil tillage aggregates **No:** *Spēkrati, loģistika un alternatīvās degvielas*: starptaut. zinātniskā konf., 24. apr., 2003 = *Motor*

- Vehicle, Logistics, Alternative Fuels*: international scientific conference, April 24, 2003. Jelgava : LLU, 2003, 146–151. lpp.
11. Вилде А. А., Ручиņш А. А., Пиннис У. Э., Цесниекс С. А. Техничко-экономическая и экологическая оценка современных комбинированных агрегатов для совмещения обработки почвы, внесения удобрений и посева **В кн.:** *Экология сельскохозяйственная техника*: материалы 3-й научно-практической конференции. Т. 1. Санкт-Петербург, 2002, с.63–69.
 12. Вилде А. А., Ручиņш А. А. Влияние физических и механических свойств почвы на тяговое сопротивление плуга. **В кн.:** *Экология сельскохозяйственная*: материалы 3-й научно-практической конференции. Т. 2. Санкт-Петербург, 2002, с. 48–54.
 13. Цесниекс С. А., Вилде А. А., Ручиņш А. А., Цесниекс А. Х. Усовершенствование плугов для каменистых почв. **В кн.:** *Экология сельскохозяйственная техника*: материалы 3-й научно-практической конференции. Т. 3. Санкт-Петербург, 2002, с. 226–231.
 14. Rucins A., Vilde A., Pinnis U., Cesnieks S. Technical, economical and ecological estimation of modern combine soil tillage, fertilising and sowing machines. **In:** *TEKA Commision of Motorization and Power Industry in Agriculture*. Vol.3. Lublin: Polish Academy of Sciences Branch, 2003, p. 221-227.
 15. Rucins A., Vilde A. Mathematical modelling of the operation of plough bodies to determine their draft resistance and optimum parameters. **In:** *TEKA Commision of Motorization and Power Industry in Agriculture*. Vol. 4. Lublin: Polish Academy of Sciences Branch, 2003, p. 177– 84.
 16. Vilde A, Cesnieks S., Rucins A. Minimisation of soil tillage. **In:** *TEKA Commision of Motorization and Power Industry in Agriculture*. Vol. 4. Lublin: Polish Academy of Sciences Branch, 2003, p. 237–242.
 17. Vilde A., Rucins A. The impact of soil physical and mechanical properties on draft resistance of ploughs. **In:** *TEKA Commision of Motorization and Power Industry in Agriculture*. Vol. 4. Lublin: Polish Academy of Sciences Branch, 2003, p. 243–248.
 18. Cesnieks S., Vilde A., Rucins A., Cesnieks A. Optimisation parameters of soil tillage aggregates. **In:** *Mechanization of agricultural production: proceedings of National Agricultural University of Ukraine*. Vol. 15. Kyiv: NAUU, 2003, p. 121–128.
 19. Pinnis U., Ruciņš Ā., Vilde A., Cēsniēks S. Kombinēto mašīnu augsnes apstrādei, mēslošanai un graudaugu sējai ekonomiskais un ekoloģiskais novērtējums. **No:** *Vide. Tehnoloģija. Resursi*: 4. starptaut. zinātniski praktiskās konf. materiāli, 2003.g. 26.– 28.jūn. Rēzekne, 2003, 212.–217. lpp.
 20. Vilde A., Cēsniēks S., Ruciņš Ā., Vilde A. Energetical, economical and ecological aspects of soil tillage minimisation. **In:** *Environment. Technology*.

- Resources*: proceedings of the 4th international scientific and practical conference, June 26–28, 2003. Rēzekne, 2003, p. 293–298.
21. Ruciņš Ā., Vilde A. Mathematical modelling of the operation of plough bodies mould-boards to determine their draft resistance and optimal parameters. **In:** *Research for rural development*: international scientific conference proceedings May 21–24, 2003. Jelgava: Latvia University of agriculture, 2003, p. 64–67.
 22. Vilde A., Rucins A., Skrastins M. Precision agriculture in Europe and Latvia. Trends, results, problems and visions. **In:** *Information technologies and telecommunications for rural development*: proceeding of the international scientific conference, May 6-7, 2004. Jelgava: LLU, 2004, p. 43–49.
 23. Vilde A., Ruciņš Ā., Cēsniēks S. Soil tillage technologies and machines under extreme conditions. **In:** *Agricultural Engineering Problems*: international scientific conference proceedings, June 2–3, 2005. Jelgava: LLU, 2005, p. 32–35.
 24. Vilde A., Ruciņš Ā., Skrastiņš M., Cēsniēks S., Lapiņš D., Bērziņš A., Aizsilnieks A., Kopmanis J., Plūme A., Upmacis D., Cers J. Investigations in precision agriculture in Latvia. **In:** *Agricultural Engineering Problems*: international scientific conference proceedings, June 2–3, 2005, Jelgava = *Inženierproblēmas lauksaimniecībā*: starptaut. zinātniskā konf., 2005.g. 2.–3.jūn. Jelgava: LLU, 2005, 36.–42. lpp.
 25. Vilde A. A., Rucins A. A., Skrastins M. U., Lapins D. K., Kopmanis J. V. Precision Agriculture using GPS. **В кн.:** *Экология и сельскохозяйственная техника*: материалы 4–й научно–практической конференции, 25–26 мая, 2005. Т. 2. Экологические аспекты производства продукции растениеводства, мобильной энергетики и сельскохозяйственных машин, Санкт–Петербург, 2005. = *Ecology and agricultural machinery* : proceedings of the 4th international scientific and practical conference, May 25–26, 2005, Saint–Petersburg. Vol. 2. Environmental aspects of plant production, mobile power units and farm machines. Saint–Petersburg, 2005, p. 34–42.
 26. Вилде А. А., Руциньш А. А., Цесниекс С. А. Минимизация обработки почвы. **В кн.:** *Экология и сельскохозяйственная техника*: материалы 4–й научно–практической конференции, 25–26 мая, 2005. Т. 2. Экологические аспекты производства продукции растениеводства, мобильной энергетики и сельскохозяйственных машин, Санкт–Петербург, 2005. = *Ecology and agricultural machinery*: proceedings of the 4th international scientific and practical conference, May 25–26, 2005, Saint–Petersburg. Vol. 2. Environmental aspects of plant production, mobile power units and farm machines. Saint–Petersburg, 2005, p. 85–91.
 27. Cēsniēks S. A., Vilde A. A., Rucins A. A., Cēsniēks A. H. Efficiency of the parameter optimization of soil tillage aggregates. **В кн.:** *Экология и сельскохозяйственная техника*: материалы 4–й научно–практической

- конференции, 25–26 мая, 2005. Т. 2. Экологические аспекты производства продукции растениеводства, мобильной энергетики и сельскохозяйственных машин, Санкт–Петербург, 2005. = *Ecology and agricultural machinery: proceedings of the 4th international scientific and practical conference*, May 25–26, 2005, Saint–Petersburg. Vol. 2. Environmental aspects of plant production, mobile power units and farm machines. Saint–Petersburg, 2005, p. 91–99.
28. Lapins D., Vilde A., Berzins A., Plume A., Rucins A. Investigations in precision agriculture in Latvia studies of soil properties and tillage. **In:** *Soil management for sustainability*. Reiskirchen, Germany: Catena, [2006], p. 223–232. ISBN 3–923381–52–2, US–ISBN 1–59326–246–9
29. Vilde A., Lapiņš D., Ruciņš A., Cēsniēks S., Bērziņš A., Plūme A., Repsons J., Dinaburga G., Aizsilnieks A., Upmacis D. Precision Agriculture as a Farming System based on wide and versatile information. **In:** *Information technologies for rural development: proceedings of the international conference*, October 19–20, 2006. Jelgava: LLU, 2006, p. 48–61.

Pārējās publikācijas:

The others publications:

1. Вилде А., Рудиныш А. Влияние параметров плужных корпусов на их тяговое сопротивление. **In:** *Engineering: research papers*. [Т.] 5(1). Lithuanien University of Agriculture, 2000, p. 14–21.
2. Vilde A., Rucins A. Impact of physical and mechanical properties of soil on the draft resistance of ploughs. **In:** *Proceedings of the 1st international conference of BSB of ISTRO modern ways of soil tillage and assessment of soil compaction and seedbed quality*, August 21–24, 2001. Tartu: EAU, 2001, p. 107–112.
3. Vilde A., Rucins A. Mathematical modelling of the operation of plough bodies in soil to determinate their draft resistance and optimal parameters. **In:** *Proceedings of the 1st international conference of BSB of ISTRO modern ways of soil tillage and assessment of soil compaction and seedbed quality*, August 21–24, 2001. Tartu: EAU, 2001, p. 117–124.
4. Cesnieks S., Vilde A., Rucins A., Cesnieks A. Improvements in ploughs for rocky soils intended for more efficient work **In:** *Proceedings of the 1st international conference of BSB of ISTRO modern ways of soil tillage and assessment of soil compaction and seedbed quality*, August 21–24, 2001. Tartu: EAU, 2001, p. 161–165.
5. Vilde A., Rucins A. Impact of physical and mechanical properties of soil on the draft resistance of ploughs. **In:** *Proceedings of the international conference EurAgEng*, August 20–21, 2001. Raudondvaris, 2001, p. 55–60.

6. Cesnieks S., Vilde A., Rucins A., Cesnieks A. Improvements in ploughs for rocky soils intended for work with more powerful tractors. **In:** *Proceedings of the international conference EurAgEng*, August 20–21, 2001. Raudondvaris, 2001, p. 69–74.
7. Vilde A., Ruciņš Ā. Augsnis apstrādes tehnoloģisko procesu modelēšana. **No:** *2. Pasaules latviešu zinātnieku kongress: tēzu krājums*, 2001. g., 14.–15. aug., Rīga. Rīga: Latvijas Zinātņu akadēmija, 2001, 473. lpp.
8. Ruciņš Ā. (zin. vad. A. Vilde). Arkla korpusa darbības modelēšana. **No:** *Studentu zinātniskā konference: tēzes*, 2001. g., aprīlī–maijā. Jelgava: LLU, 2001, 118.–119. lpp.
9. Цесниекс С. А., Вилде А. А., Руциньш А. А., Цесниекс А. Х. Модернизация плугов для каменистых почв. **В кн.:** *Земледельческая механика в растениеводстве*. Москва: ВИМ, 2001, с. 74–78.
10. Vilde A., Rucins A. Impact of physical and mechanical properties of soil on the draft resistance of ploughs. **In:** *Physical methods in agriculture, approach to precision and quality*. Prague: Czech University of Agriculture, 2001, p. 330–333.
11. Vilde A., Rucins A., Pinnis U., Cesnieks S. Technical, economical and ecological estimation of up-to-date combined soil tillage, fertilising and sowing machines. **In:** *Progressive eco-friendly technological processes in agricultural engineering: proceedings of the international conference EurAgEng*, September 19–20, 2002. Raudondvaris: 2002, p. 31–36.
12. Cesnieks A., Vilde A., Rucins A., Cesnieks S. Improvements in ploughs for rocky soils. **In:** *Safe and economical agricultural technologies: international scientific conference*, July 25–26, 2002. Priekuļi, 2002, p. 39–41.
13. Vilde A., Rucins A., Pinnis U., Cesnieks S. Technical, economical and ecological estimation of up-to-date combined soil tillage, fertilising and sowing machines. **In:** *Safe and economical agricultural technologies : international scientific conference*, July 25–26, 2002. Priekuļi, 2002, p. 45–47.
14. Vilde A., Rucins A. Impact of physical and mechanical properties of soil on the draft resistance of ploughs. **In:** *Safe and economical agricultural technologies: international scientific conference*, July 25–26, 2002. Priekuļi, 2002, p. 48–50.
15. Ruciņš Ā., Vilde A. Kombinēto aršanas–sējas agregātu novērtējums. **No:** *Studentu zinātniskā konference Latvijas Lauksaimniecības universitātē*, 2002. g., aprīlī–maijā. Jelgava: LLU, 2002, 79. lpp.
16. Cesnieks S., A. Vilde A., Rucins A., Cesnieks A. Efficiency of the parameter optimisation of soil tillage aggregates. **In:** *Engineering: research papers*. [T.] 6(1). Kaunas, 2003, p. 63–68.
17. Вилде А. А., Руциньш А. А., Цесниекс С. А. Энергосберегающие технологии и машины для обработки почвы. **В кн.:** *Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 4-ой Международной научно-технической конференции*, 12–13 мая, 2004, Москва. Ч. 2.

- Энергосберегающие технологии в растениеводстве и мобильной энергетике. Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2004. – 30–34.
18. Вилде А. А., Руциньш А. А., Цесниекс С.А. Технические и технологические решения по снижению энергоемкости обработки почвы. **В кн.:** *Ресурсосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве: сборник статей Международной научно–практической конференции*, 19–21 окт., 2004. Т. 1. Минск, 2004, с. 14–19.
 19. Rucins A., Vilde A. Modelling forces acting on the plough body. **In:** *Simulation in Wider Europe: 19th European conference on modelling and simulation ECMS*, June 1–4, 2005. Riga, 2005, p. 414–419.
 20. Vilde A., Rucins A., Skrastins m., Lapins D., Kopmanis J. Precision agriculture in Latvia. **In:** *Trends, results, problems and visions: book of abstracts 5 ECPA : 2 ECPLF*. Uppsala: Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering, 2005. p. 312–313.
 21. Rucins A., Vilde A. Impact of the working width of the plough body on the tillage efficiency. **В кн.:** *Збірник наукових праць Національного аграрного університету*. Вип. 92. Київ, 2005, с. 91–99.
 22. А. Вилде, Д. Лапинс, А. Берзинс, А. Плюме, Я. Репсонс, А. Руцинс, М. Скрастинс. Точное земледелие – путь к ресурсосберегающему хозяйствованию. **В кн.:** *Труды 5-й Международной научно–технической конференции*. Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2006, с. 17–23.
 23. Вилде А. А., Руциньш А. А., Цесниекс С. А. Технические и технологические решения по снижению энергоемкости обработки почвы. **В кн.:** *Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету*. Вип. 25. Вінниця, 2006, с. 194–200.
 24. Rucins A., Vilde A. Forces acting on the plough body. **В кн.:** *Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету*. Вип. 25. Вінниця, 2006, с. 223–239.
 25. Rucins A., Vilde A. Impact of the share inclination angle on the plough body draft resistance. **In:** *Zemdirbiste/Agriculture*, [vol]. 93, Nr.4, 2006. Kedainiu: Lithuanian University of Agriculture, 2006, p. 166–179.

THE SUBJECT OF THE INVESTIGATION AND THE TOPICALITY OF THE PROBLEM

It was concluded from the analysis of the previous investigations that the indices of the performance of the ploughs and their energetic indices are affected by the design of the plough bodies, the physical and mechanical properties of soil, and the mode of operation (the speed of ploughing and the way of coupling of the plough with the tractor). However the conclusions drawn by various authors are different, in some cases even contradictory. The impact of many factors is not studied sufficiently, the optimum parameters and modes of operation are not determined.

Soil tillage is one of the most energy intensive and expensive processes in agricultural production. At the present soil tillage technologies and machines its average cost is 80 Ls ha⁻¹. The most energy intensive and expensive operation of all the soil tillage operations is ploughing. It constitutes 26–50% of the total energy consumption in soil tillage and costs 20–46 Ls ha⁻¹ [2]. To ensure the production of cheap and competitive agricultural products, these expenses must be reduced by improving the ploughing technology, the design of the ploughs, their aggregation and use. In this connection the theme of the promotion work was chosen: *“Substantiation of the optimum parameters of the plough bodies and the regimes of operation”*.

The promotion work presents a review and an analysis of previous studies of the designs of the plough bodies and their main operating parts, a justification for the choice of their parameters and modes of operation. Guided by them, the target of the present investigation was formulated, the items and tasks to be studied were clarified, the schedule and methods of research were advanced, and the amount of investigations was fixed. Theoretical studies were carried out in order to solve the advanced tasks applying the computer technology. Principal attention was devoted to the studies of energy intensity of ploughing, their crucial factors and the solutions for its reduction. Experimental studies were carried out to confirm the conclusions of theoretical investigations, the improvement of the designs of the ploughs, their aggregation and use. They were conducted also in order to clarify the physical and mechanical properties of soil in their connection with tillage.

THE AIM OF THE RESEARCH

The promotional paper „Substantiation of the optimum parameters of the plough bodies and the modes of operation” by Adolfs Ruciņš was developed during the period of time from the year 2003 till 2007 at the Technical Faculty of Latvia University of Agriculture and the LUA agency of the Research institute of Agricultural Machinery.

The aim of the research work is to determine theoretically and experimentally and substantiate the optimum parameters of the plough body and the modes of operation which would ensure quality ploughing with a minimum consumption of energy, work and finances.

In order to reach the aim of the work, the following tasks were set and solved:

- to analyse the existing solutions of the technological process of ploughing and the designs of the plough bodies, their parameters, modes of operation, the draft resistance, and their affecting factors;
- to carry out theoretical research and obtain analytical regularities in order to determine the forces acting upon the plough body, and the draft resistance in connection with the parameters of the plough body, the physical and mechanical properties of soil and the mode of operation;
- by applying the analytical regularities, to work out a computer algorithm with the help of which it would be possible to simulate the operation of the plough body and the forces acting upon its operating parts, as well as the draft resistance;
- to perform simulation of the forces acting upon the plough body and the draft resistance depending on the inclination angle of the horizontal generatrix, the value of the initial lifting angle, and working width of the plough body;
- to evaluate the impact of the physical and mechanical properties of soil, particularly the friction resistance, upon the draft resistance of the plough body;
- to determine the specific draft resistance of the plough body and its lifting mouldboard share surface depending on the working width of the body;
- to make a tribometric stand and to carry out an analysis of the variations in the soil sliding resistance along a steel surface depending on the speed of sliding and the specific pressure between the sliding surfaces;
- the perform experimental investigations of the draft resistance of the plough bodies, their optimum parameters and modes of operation;
- to search out the possibilities how to decrease resistance, to obtain more rational design of the operating parts of the body, to optimise the parameters and modes of operation.

THE OBJECT OF INVESTIGATIONS

The object of investigations is the plough body, the forces acting upon it, the impact of the body parameters and modes of operation on its draft resistance, justification of the optimum parameters of the plough body.

THE AMOUNT AND CONTENTS OF INVESTIGATIONS

Guided by the advanced target, the amount, structure and contents of the conducted investigations were fixed:

- a review of the previous investigations and analysis of the data;
- theoretical studies: simulation of the forces acting upon the plough body and its draft resistance, justification of optimum parameters and modes of operation;
- experimental laboratory studies in the soil sliding resistance and its affecting factors;
- experimental field studies in the impact of the plough body parameters and modes of operation upon the energy intensity of ploughing;
- introduction and checking of the research results in production.

GENERAL METHODOLOGY OF INVESTIGATIONS

The plough body is regarded as a constituent part (a separate element) of the plough and the ploughing unit the performance of which can be affected by the plough design, completeness (skimmer, trashboard, disc couler, flat knives joined to the body), the way of coupling of the plough with the tractor and the possibilities to adjust the modes of operation of the tractor hang-on equipment used in ploughing. However, in order to limit the amount of investigations, the plough body was studied as a separate object, not connected with the other elements of the plough.

In agreement with the adopted hypothesis and the methodological preconditions of previous investigations analytical correlations were transformed and an algorithm was developed for the simulation of the forces acting upon the plough body and the draft resistance using the computer equipment. In order to check the performance of the analytic correlations and the algorithm simulating the forces, an example for the calculation of the draft resistance and its components was made corresponding to the average ploughing conditions.

The tribometric stand developed at the Research Institute of Agricultural Machinery of the LUA was used for the experimental studies of the sliding resistance of soil. The investigations were conducted in conformity with the previously approved methodology [1].

The experimental field studies were carried out by means of the ploughs equipped with the bodies of a recommended design corresponding to their energetic, agrotechnical and, partly, also economic and ecological parameters. The work was done according to programmes and methods of assessment generally accepted at the machine testing stations [1], with adding programmes and methodologies for specific evaluation of the impact of individual body parameters, such as the working width of the body, a detailed layout of which is given in the respective chapters.

THE SCIENTIFIC NOVELTY OF THE WORK

The applied methods and the obtained regularities allow to justify energy saving technologies and the designs of the operating parts, to work out highly efficient, economical machines and aggregates for the basic and pre-sowing tillage of soil, as well as methods for their efficient use under the Baltic and similar conditions. The obtained analytical correlations were applied in order to determine the draft resistance and the optimum parameters of the operating parts of the machines in connection with physical and mechanical, and technological properties of soil. An algorithm was developed for the calculation of the draft resistance of the operating parts (plough bodies) of the soil tillage machines and aggregates, as well as for the justification of their design, modes of operation and coupling.

The conducted investigations justify a conclusion that the specific soil tillage resistance and, hence, also the energy intensity are determined mainly by the values of the components of the draft resistance and the character of variations in the force applied to cut off a slice of soil, to overcome the resistance caused by the weight of soil, inertia forces and soil adhesion depending on the shape and parameters of the operating parts, the speed of work, its mode and conditions.

The following novelties were obtained as a result of the investigations:

The designs and parameters of ploughs are justified. It was proved that, in contrast to the cultural mouldboards, the plough bodies with a flat helicoidal mouldboard surface ensure coherent quality ploughing of soils and grassy sods with a lesser consumption of energy, particularly, when working at increased speeds. To achieve a minimum draft resistance, the inclination of the share in relation to the horizontal plane (the bottom of the furrow) should be 24...30 degrees. When the speed of ploughing is increased from 1.5 to 3 m s⁻¹, the optimum inclination of the horizontal generatrix in relation to the vertical longitudinal plane (the wall of the furrow) at the initial part of the mouldboard surface (the lower part) decreases from 50...60 to 30...32 degrees, but, in order to ensure sufficient overturning of the arable strip and complete digging in of the plant remnants, the inclination angle of the generatrix at the upper part of the mouldboard should increase to 45...48 degrees.

The draft resistance of the ploughs with optimum parameters of the mouldboard surface of the bodies is by 18...22 % less. Increasing the working width of the bodies from 30 cm to 50 cm decreases the energy intensity of ploughing by 14...25 % (the specific consumption of fuel by 3...5 kg ha⁻¹), raises labour efficiency by 12...16% and decreases the costs by 14...20%.

THE ECONOMICAL SIGNIFICANCE OF THE WORK

The materials of the investigations are used to improve ploughs and their bodies under the Baltic conditions. In correspondence with them, the plough bodies and ploughs are made by SIA „AGS” in Cēsis, and SIA „Graudis PI” at Ulbroka.

The principal directions are substantiated for the unification of technological operations in soil tillage, and the designs of the operating parts the plough are developed. This ensures qualitative performance of the technological operations with a minimum energy consumption, high productivity and economic efficiency.

On the basis of the materials of the investigations, the use of more efficient end less energy consuming ploughs in soil tillage is substantiated for the Latvian, as well as the Baltic and similar conditions ensuring high quality of the technological processes and, as a result, a 14...30% economy of fuel, a 15...30% rise in the labour efficiency, and lesser (down to 20%) costs.

APPROBATION OF THE SCIENTIFIC WORK

Reports about the results were presented at the scientific and scientific research conferences of the doctoral students at the LUA, international conferences in Germany, Sweden, Denmark, Poland, Lithuania, Estonia, Russia, Ukraine and Belarus, at the seminars organised by the trading enterprise of agricultural machinery and agricultural consultations centres.

THEORETICAL RESEARCH OF THE PLOUGH BODY

By using analytical correlations derived as a result of theoretical research [4–10], a computer algorithm has been worked out for simulating the functions of the plough body and the forces exerted by soil upon the operating parts, as well as its draft resistance. These correlations allow to determinate the forces acting on the plough body and its draft resistance depending on the body parameters, as well as to evaluate the impact of the physical and mechanical properties of soil upon it. They considerably influence the draft resistance of the body and, respectively, the energy capacity of ploughing and fuel consumption. The greatest influence upon the draft resistance is exerted by soil hardness, density and slip resistance along the surfaces of the operating parts.

Forces acting on the plough body

It is known from our previous investigation [6, 7, 10] that the draft resistance of ploughs depends on such soil properties as its hardness, density, friction and adhesion. However, there were no analytical correlations that would

enable to determine the draft resistance of the share–mouldboard surface and the plough body, as a whole, depending on their properties.

The objects of the research are the forces acting on the plough body and its draft resistance depending on the body design parameters, as well as the physical and mechanical properties of soil. On the basis of the previous investigations [9] a computer algorithm has been worked out for the simulation of the forces exerted by soil upon the operating (lifting and supporting) surfaces of the plough body, and the draft resistance caused by these forces (Fig. 1).

According to our previous investigations [9], the draft resistance R_x of the plough body is determined by the share cutting resistance R_{px} , the resistance caused by weight R_{Gx} of the strip lifted, by the inertia forces R_{Ix} , by soil adhesion R_{Ax} and by weight R_{Qx} of the plough body itself (including a part of the weight of the plough). However, the latter is not dependent on the plough parameters (see formula 1).

The vertical reaction R_z and the lateral reaction R_y of the operating part are defined by corresponding partial reactions (see formulas 2; 3).

The total draft resistance R_x of the operating part is composed of the resistance of the working surface R'_x and the resistance of the supporting (lower and lateral) surfaces R''_x (see formula 4).

The friction resistance F_x is a constituent part of these reactions and their components [8], and by analogy we can write that (see formulas 5; 6; 7).

The friction resistance of the share-mouldboard surface is defined as the difference between the total resistance (general value of the partial resistance) and the resistance R_{x0} in operation without friction ($f_0 = 0$) (see formulas 8; 9).

Cutting resistance R'_{px} is proportional to soil hardness ρ_0 and the share edge surface area ω (see formula 13).

It is evident from formula (13) that the friction of soil along the edge does not influence the cutting resistance of the edge.

At a sharp ploughshare the vertical reaction of cutting R_{pz} is absent (see formula 14).

At a blunt (threadbare) ploughshare having rear bevel the vertical reaction R_{pz} on the hard soils can reach summary value of vertical reactions, this summary value arising from other forces acting on share-mouldboard surface (soil gravity and inertia) and weight of the body Q .

At an inclined ploughshare a lateral reaction R_{py} arises, its value being affected by the friction reaction (see formula 15).

When friction is absent, $f_0 = 0$, $\varphi_0 = 0$ and (see formula 16).

Friction of soil along the ploughshare edge reduces the lateral pressure of the ploughshare (the pressure of the plough body against the wall of the furrow).

The resistance of the supporting surface (see formula 17).

The total cutting resistance (see formula 18).

The lateral cutting resistance of the knife is determined by formulae, similar to those for the cutting resistance from below. Consequently, similar to the above formulae will also be the formulae defining the impact of friction on the total resistance of the knife.

Forces caused by the weight of the lifting soil strip (see formulas 19; 20; 21; 22).

Forces caused by the soil inertia (see formulas 23; 24; 25; 26).

Forces caused by soil adhesion (see formulas 27; 28; 29;30).

The soil friction coefficient and the specific force of soil adhesion are not constant values. Their values decrease with the increase in speed [11]. This is considered in calculations.

The resistance of the supporting surfaces of the plough body depends on the values of the reacting forces. Yet their value is dependent, in many respects, on the manner of unification and perfection of the hydraulically mounted implements of the tractor. The vertical reaction of the plough with modern tractors having power regulation is transferred to the body of the tractor, and it affects the plough resistance to a considerably lesser degree. There are also solutions for the reduction of the lateral reaction. In such a way, the dominating component of the draft resistance of the plough body is the resistance of its share–mouldboard surface, to the research of which the present work is mainly devoted.

The main parameters of the plough body that determine the ploughing efficiency are the initial and the final soil strip lifting angles on the share–mouldboard surface, the angles of its horizontal generatrix, the radius of this surface and the working width of the body.

The presented work discusses, as an example, the research results of the forces acting on the plough body and the draft resistance caused by those parameters when ploughing loamy soils that predominate in Latvia.

The calculations were carried out with the computer according to the foregoing formulae.

The following values of the basic factors were taken into consideration, which affect the resistance of the share – mouldboard surface and the plough body (Table 1).

Draft resistance of the plough body depending on the inclination of the horizontal generatrix

The inclination angle γ of the horizontal generatrix of the real share-mouldboard surfaces of plough bodies lies between $26^0 \dots 50^0$. Steeper surfaces ($\gamma > 50^0$) refer to the slanting blades of bulldozers.

The calculation results of the draft resistance of the lifting surface and its components are presented in Figs. 2 – 5, the draft resistances of supporting surfaces – in Fig. 6 and the total draft resistance of the plough body – in Fig.7.

The material of the calculations presents the values and correlations of the changes in the forces acting on the share–mouldboard and the supporting surfaces, the draft resistance of the share–mouldboard, and the supporting surfaces, as well as the total resistance of the plough body and its components under working conditions depending on the working speed v and the inclination angle γ of the horizontal generatrix.

It follows from the figures that the values of resistances caused by the weight and soil adhesion decrease with the increase in the operation speed (Figs.2 and 4). This can be explained by the reduction of the friction coefficient and the specific adhesion force of soil while the speed of its slipping along the share-mouldboard surface increases. The resistance caused by the soil inertia forces increases when speed increases (Fig.2), and at speeds over $3 \dots 4 \text{ m s}^{-1}$ these inertia forces start dominating over all the other components. When speed increases (up to the speed of $2 \dots 2.5 \text{ m s}^{-1}$), the summary draft resistance of the share–mouldboard surface increases insignificantly, then grows faster (Fig.4). At a steeper share-mouldboard surface (at great values of angle γ) this growth is more remarkable and intense.

In wet loamy soils there may be cases (at quite a flat share–mouldboard surface) when the draft resistance does not increase but even decreases whereas speed increases (within the range of $1 \dots 2 \text{ m s}^{-1}$). Such a phenomenon may occur when the decrease in resistance due to the lower friction coefficient and specific soil adhesion proceeds more intensely than the growth in the resistance caused by the soil inertia forces within the given range of speeds.

When the inclination of the generatrix is increased (angle γ), resistances because of the soil weight and adhesion fall but the resistance due to the inertia forces increases, particularly in operation at higher speeds. The decrease of the first ones can be explained by the fact that at a steeper share–mouldboard surface its length decreases and because of this there is a decrease in the mass of soil slipping along it. Decreasing the area of its surface leads to a lower resistance due to soil adhesion. As a result, the total draft resistance of the share–mouldboard surface shows a marked minimum, which at a greater operating speed moves towards lower inclination values of the horizontal generatrix. Thus, increasing the speed from 1 to 3 m s^{-1} , the optimum value of angle γ of the share-mouldboard surface decreases from 50° to 25° (Figs. 5 and 7).

From the presented example it is evident (Figs.6 and 7) that the draft resistance of the supporting surfaces is considerable. It can reach $25 \dots 30\%$ of the total plough body draft resistance, or $42 \dots 54\%$ of its share-mouldboard draft resistance (Figs. 6 and 5).

In such way, the deduced analytical correlations and the developed computer algorithm allow simulation of soil coercion upon the share–mouldboard surface of the plough body, taking into consideration its draft resistance in determining the optimum parameters (the inclination of the horizontal generatrix) at minimum resistance.

Impact of the share inclination angle on the plough body resistance

The obtained correlations (19) – (30) show how the initial lifting angle ε_l of the soil strip (the inclination angle of the share) impacts the draft resistance of the share-mouldboard surface, the resistance of the supporting surfaces and of the plough body in totality. The following graphs (Figs.8 and 9) show those changes of the draft resistances depending on the initial lifting angle ε_l at the angle between the horizontal generatrix of the operating surface and the vertical longitudinal plane $\gamma=40^\circ$ and at the different speed v .

From the graphs (Figs. 8 and 9) it follows that increasing of the share inclination angle ε_1 leads to increasing of partial resistances caused by soil strip gravity, inertia forces and adhesion and, as results – increasing the draft resistance R_x of the share mouldboard surface (lifting surface) of the plough body from 6% to 13% (Fig.5). The increase of the resistance is more remarkable at high speeds.

Increasing of the share inclination angle leads to decreasing of the vertical reaction R_x (reaction of the lower supporting surface) caused by soil strip gravity, has less influence on it of the forces caused by inertia and adhesion and leads to increasing of the lateral reactions caused by all these forces. In connection with that the change of the share inclination angle has insignificant influence on the draft resistance R_x of the supporting surfaces.

Changes of the total draft resistance of the plough body depend on the mode of operation. If the plough is working in a floating mode, then increasing of the share inclination angle increase the draft resistance R_x of the plough bodies from 2% to 10% (Fig.9), but if the plough is working with a power regulation means, the changes of the total draft resistance may be followed by the draft resistance changes of the share-mouldboard surface (at lower values of the total resistance the floating mode of operation).

The resistance component R_{px} to the cutting of a soil strip is not included into total resistance of the plough body, which is not dependent on the ploughshare inclination but on its sharpness (thickness of the cutting edge).

For economical ploughing the initial lifting angle of the soil strip (the angle between the share and the furrow bottom) must have a minimal value – $24\dots30^\circ$. A smaller inclination angle is not desirable because of the wear of the share there is a possibility at the blunt (threadbare) ploughshare to obtain a rear bevel which can hinder the plough body from going into soil. For safer work in hard loamy soils its optimal value may be approximately 30° ($28\dots32^\circ$).

Impact of the working width of the plough body resistance

In the literature there is difference of opinions on the impact of plough body working width on its specific draft resistance. F. P. Ciganov in his dissertation has

written that by decreasing the body width specific draft resistance of ploughing decreases [13]. W. R. Gill and G. E. Vanden Berg have opposite views. Their data show that “specific draft generally tended to decrease as size of cut increased” [16]. It has been written in the Kverneland plough prospect that by increasing the furrow width from 35 cm to 45 cm (14” to 18”) the consumption of diesel fuel is reduced by more than 18% and working capacity will increase by up to 30% [16].

The specific draft resistance related to the unit of the area q of the cross section of the lifting soil strip (see formula 31).

From our previous investigations [15] it follows:

- Specific draft resistance caused by the weight of the lifting soil strip (see formula 33).
- Specific resistance caused by the soil inertia (see formula 34).
- Specific resistance caused by soil adhesion (see formula 35).
- Specific resistance caused by weight of the plough body (see formula 36).
- Specific resistance caused by cutting off the soil strip is proportional to soil hardness and the share edge, as well as the knife surface area [21] (see formula 34).

From our previous investigations [8] and formulas (7) – (14) conclusions follow:

- Because the draft resistance of the plough body caused by weight and inertia forces of the lifting soil strip is directly proportional to its cross section area, the changes in working width cause no influence on the specific draft resistance.
- Resistance of the lifting (share-mouldboard) surface caused by soil adhesion is proportional to the body working width (width of the lifting strip), and changes in working width cause no influence on the specific draft resistance. On the contrary, the specific draft resistance of the supporting surfaces caused by soil adhesion is inversely proportional to the cross section area of the soil strip.
- The specific draft resistance caused by the weight of the body itself is inversely proportional to the cross section area of the soil strip. It means that increasing the working width, this partial specific resistance decreases.
- The specific draft resistance caused by cutting off the soil strip can be or cannot be dependent on body working width. At a constant share width increase in the working width decreases the specific draft resistance because the resistance caused by breaking off the soil slice is insignificant in comparison with cutting resistance. If the share width is equal to the working width of the body and varied with the variation of the working width, the specific draft resistance caused by cutting is not dependent of its working width.

The presented work discusses, as an example, the theoretical research results of the forces acting on the plough body and the specific draft resistance of the plough body at its various working widths when ploughing loamy soils that predominate in Latvia.

The calculations were carried out with the computer according to the foregoing formulae.

The following values of the basic factors were taken into consideration, which affect the resistance of the share–mouldboard surface and the plough body Table 1.

The calculation results of the specific draft resistance of the plough body and its components are presented in Fig.10.

The graph (Fig.10) shows how the specific draft resistance and energy consumption in ploughing depends on the working width of each body. Increasing it the energy capacity and specific fuel consumption in ploughing decreases by 10–16%. The greater is the ploughing depth, the greater is the effect due to the increased working width of the body.

Impact of physical and mechanical properties of soil of the plough body resistance

It can be concluded from the previous study (Formulae 1–30) that the draft resistance of the plough body depends on such properties of soil as its hardness, density, frictional resistance and adhesion [21]. However analytical regularities were not known which would allow determination of the draft resistance of the mouldboard surface and the plough body, as a whole, depending on its properties. The cutting resistance of a strip of soil is proportional to the hardness of soil (Formula 13) but it, in its turn, is affected by the mechanical composition of soil, moisture and density. The resistance caused by the weight of the strip of soil and the inertia forces is proportional to the density of soil (Formulae 19–26). The resistance caused by soil adhesion is proportional to the specific adhesion of soil (the adhesion forces between soil and the surface of the operating parts) (Formulae 27–30), its value, in its turn, being dependent on the composition of soil, moisture, temperature, and the sliding velocity.

The draft resistance component caused by the friction of soil is also dependent on the composition of soil, moisture and the sliding velocity. It essentially affects the total draft resistance of the plough body. It can be defined as the difference between the total resistance R_x of the plough body (also its component parts – the mouldboard surface and the supporting surface) and its resistance R_{x0} , in case there is no frictional resistance (Formulae 8 and 9).

It is evident from Formulae (20) and (21) that the value of the normal reactions of the plough body supporting surfaces caused by the weight of soil does not depend on the friction coefficient.

As an example (Figure 11), the draft resistance of the plough body lifting surface (ploughshare–mouldboard surface) is shown depending on the value of the friction coefficient at various inclinations of the horizontal generatrix and sliding velocity.

In the diagrams, the value of the draft resistance caused by friction is expressed as the difference between the total draft resistance at a certain value of

the friction coefficient and the possible draft resistance in case there is friction ($f_0 = 0$).

It is obvious from the research results (Figure 10) that the frictional resistance constitutes a considerable part of the total resistance of the lifting surface. In the given example, when the friction resistance is $f = 0.4$, it is 1100–1200 N and constitutes 55 – 60% of the total draft resistance of the plough body.

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS

Experimental investigations were carried out in the laboratory and on the field: the first ones in order to clarify the impact of velocity upon the sliding resistance of soil, the second ones – to confirm the results of the theoretical research.

Investigations in the soil sliding resistance

A tribometric test bench (Figure 12) was used to conduct experimental investigations. It was developed at the LUA Research Institute of Agricultural Machinery and designed to measure the sliding resistance of various materials, including soil, and to register automatically the results of measurements by consecutive reading the sensors located on the object of research. [19].

The measurement data of the sliding resistance were registered in the data storage depending on the selected speed with a 3 – 5 second interval. The characteristics of the sliding resistance: friction coefficient and the specific adhesion were calculated on the computer according to Formulae (38) – (44).

The obtained results were automatically processed and printed out in the form of the tables of numbers and diagrams.

Mathematical data processing

The sum of variances, the range of the reference set, the variance of the reference set, the smallest variance of the reference set, the greatest variance of the reference set, the arithmetic average, the standard deviation, dispersion, the coefficient of variation, the representation index of the arithmetic average, the representation index of the standard deviation, the representation index of the coefficient of variation were calculated for the obtained results.

The indices: the arithmetic average, the standard deviation and dispersion were calculated by means of *Microsoft Excel for Window 7.0* programme.

The values obtained in experimental investigations were calculated for the wet sandy soil which is rich in humus (Fig. 13) and dry rocky sandy loam (Fig. 14) the coefficient of variation $V=16\%$.

The results of experimental investigations of the sliding resistance

By means of Formulae (38–44), data were obtained which were processed using a special computer programme to determine the sliding resistance, the friction coefficient, the specific adhesion, as well as curves were obtained describing the variations of the sliding resistance coefficient depending on the speed of the plough (0.5 to 5 m s^{-1}), moisture and the specific pressure of the sample of soil upon the mouldboard surface (0.06 to 0.2 N cm^{-2}) [20]. The results of the experimental measurements were shown in diagrams (see Figures 13–16).

The value of the sliding resistance coefficient of wet soils depends on the specific pressure between the sliding surfaces. For instance, sandy soil which is rich in humus the sliding resistance coefficient at a low specific pressure (0.06 N cm^{-2}) and a low sliding velocity reaches $1.8...2$ (Figure 13).

For the research results of the sliding resistance of a wet, sandy soil which is rich in humus (Figure 13) were calculated: the variance amplitude $R=3.87$, dispersion $S^2=1.66$, the standard deviation $s=1.21$, the variance coefficient $V=16\%$.

It was established in the experimental investigations that the sliding resistance of wet soils along a steel surface decreases when the sliding velocity is increased from 0.5 to 5 m s^{-1} . Depending on the mechanical composition of soil and its moisture, this decrease varies.

For a wet sandy soil which is rich in humus and loamy soil it is $30 - 32 \%$ (Figure 13), for a loamy soil – $17 - 20 \%$ but for the clay soil it is $4 - 6 \%$. Initially, when the speed increases (to about $2...2.5 \text{ m s}^{-1}$), the decrease in the sliding resistance is more rapid, afterwards it slows down.

For a sandy soil which is rich in humus the sliding resistance coefficient, irrespective of speed, was 0.94 (at the specific pressure 0.063 N cm^{-2} between the surfaces, for the loamy soil – 0.6 , the specific pressure between the surfaces being 0.19 N cm^{-2} (Figure 14). It should be noted that the tiny stones enclosed in the dry hardened soil caused scraping of the sliding surface, which could raise the value of the sliding resistance coefficient. For the experimental research results of the sliding resistance of a dry rocky soil (Figure 14) were calculated: the variance amplitude $R=5.8$, dispersion $S^2=2$, the standard deviation $s=1.41$, the variance coefficient $V=16.53\%$ of the sliding resistance of a wet ($W=15\%$) loamy soil.

The sliding resistance of dry loam remains practically the same or even decreases a little (by 3%) when the sliding velocity is increased (Figure 14).

When the specific pressure increases, the sliding resistance coefficient decreases rapidly, at first, then the decrease gradually slows down, asymptotically approaching a certain limit (Figure 15). Such a change of the sliding resistance coefficient corresponds to the character of the hyperbolic regression. This allows, by using the method of least squares, to determine the values of the friction coefficient of these soils and the specific adhesion force.

For the clay soil, at the sliding velocity of 2 m s^{-1} , they were correspondingly 0.288 and 0.26 N cm^{-2} (Tables 2 and 4), and for the sandy soil which is rich in humus, correspondingly -0.321 and 0.158 N cm^{-2} . This shows that the friction coefficient of the sandy soil which is rich in humus along a steel surface is higher but the adhesion force - lower than for the clay soil.

Experimental investigations of the draft resistance, optimal parameters and working modes of the plough body

Experimental studies are carried out on the "Kvernelands Vary Width" plough, having bodies working width from 30 cm to 50 cm [13].

In loamy soil increase in the working width of the bodies at the ploughing depth of $18...19 \text{ cm}$ decreases the specific fuel consumption by $2...3 \text{ kg ha}^{-1}$ but at the depth of -24 cm by $4...5 \text{ kg ha}^{-1}$. Correspondingly, there is a rise in labour efficiency, and the ploughing costs fall by $2...4 \text{ Ls ha}^{-1}$ (Fig.17). Therefore, when ploughs are used that have a possibility to vary the working width, it is recommended to work at the maximum width and, if necessary (insufficient power of the tractor), to reduce the number of bodies.

Thus, for example, in the aggregate with the MTZ-82 tractor it is more purposeful to work with the Kverneland AB-85 two-body plough with the working width of each body 50 cm (the total width 1 m) than with three bodies having the width of 33 cm each and the same working width.

Experimental investigations of the improved ploughs

In cooperation with the plant cultivation machinery experts, the author of the promotional work, as a researcher of the LUA Research Institute of Agricultural Machinery, has found a solution for the reconstruction of the operating parts of these ploughs in order not only to raise their working capacity but also to simultaneously perfect the existing designs [1, 22, 23].

The plough PGP-3-35 with the "Kverneland" bodies (see Figure 18.) is designed for ploughing rocky soils to the depth of 27 cm .

The draft resistance of the plough, when ploughing perennial grassland at the speeds from 1.43 to 1.81 m s^{-1} , varied from 15.9 to 17.2 kN , but, when ploughing the stubble-field at the speeds from 1.82 to 2.16 m s^{-1} , it varied from 15.9 to 16.6 kN .

When working with the plough PGP-3-35 (having the "Kverneland" bodies), the efficiency coefficient of the tractor MTZ-82 engine was $57 - 91\%$, the fuel consumption, when ploughing perennial grassland, was $15.9 - 17.3 \text{ kg ha}^{-1}$, but, when ploughing the stubble-field, it was $14.3 - 14.6 \text{ kg ha}^{-1}$.

Using the technical documentation worked out by the author of the promotional work there were rebuilt and improved the plough PGP-7-40 and the eight-body plough AGK-8-40 produced on its basis (Fig. 19) and designed for

ploughing the soils of various mechanical structure and moisture content with various rockiness.

The following characteristics were obtained by testing: the depth of ploughing 23–27 cm, the working with 311–316 cm. The completeness of digging in the plant remnants 99%, the depth of their digging in 11–12 cm [1]. The angle of turning over of the arable strip of land 135–137°. According to the energetic measurements, the tractor K-701, ploughing the stubble-field at the speed 7.1–8.7 km h⁻¹, consumed 131–161 kW power, the specific fuel consumption was 15.7–19.1 kg ha⁻¹, its efficiency during the prime time was 2.4 ha h⁻¹.

The calculated static and the dynamic coefficients of the specific resistance for the comparative testing data at the depth of ploughing 22 cm show that the coefficient of the dynamic resistance of the ploughs with semi-helicoidal bodies is 0.25, which, in contrast to the cultural plough bodies is approximately 2 times lower than (see Table 6). This is a witness that the semi-helicoidal body is adapted for the work at greater speeds. The testing data confirm the correctness of the conclusions of theoretical research.

Economic justification of the ploughing costs

For the calculation of the ploughing costs, there were used the data obtained as a result of testing the ploughs and the computer technology with a corresponding programme for their processing [1].

The specific working efficiency of the improved plough PGP-3-40K with semi-helicoidal bodies (Fig. 20) is by 25% higher than for the plough PGP-3-40 with cultural plough bodies. If the working width of the plough AB with a variable working width is increased from 40 to 50 cm, the working efficiency increases by 22%.

The specific consumption of fuel 15.8 kg ha⁻¹, when working with the plough AGK-8-40 (Fig. 21), indicates the optimum load of the tractor engine. The specific consumption of fuel, when working with the improved plough PGP-3-40K with semi-helicoidal bodies is by 22% lower than for the plough PGP-3-40 with cultural plough bodies. If the working width of the plough AB with a variable working width is increased from 40 to 50 cm, the consumption of fuel falls by 14% [1].

The total costs of ploughing (Fig. 22) using the improved plough PGP-3-40K with semi-helicoidal bodies are by 14% lower than for the plough PGP-3-40 with cultural plough bodies. By increasing the working width of the plough AB 85 from 40 to 50 cm reduces the total ploughing costs by 20%.

The updating costs of the ploughs, as well as the production costs of new ploughs were from 2.5 to 4 times lower than the purchase of new ploughs.

CONCLUSIONS

1. Theoretical and experimental investigations have been carried out into the work of the plough bodies, the draft resistance caused by the soil resistance forces, and the factors which determine them; the impact of the body design parameters, modes of operation, and the physical and mechanical properties of soil on the agrotechnical, energetic and economic indices of ploughing; the optimum values and modes of operation of the plough bodies are substantiated which ensure the quality of ploughing with a minimum consumption of energy, labour and financial means.
2. The obtained analytical regularities and the developed computer algorithms allow to simulate of the forces of soil acting upon the working surfaces of the plough body and determine the draft resistance of the lifting and supporting surface of the mouldboard depending on the soil hardness, density, adhesion, the value of the friction coefficient, as well as the parameters of the plough body design, its working speed, and substantiate the optimum values of the parameters of the plough body in order to obtain qualitative ploughing with minimum consumption of energy.
3. Treating the draft resistance of the plough body as sum of its components: the cutting resistance of the strip of soil, the resistance caused by its mass (weight), the sum of the resistances caused by the inertia and adhesion forces. This allows to analyse the forces acting upon the lifting surface (ploughshare–mouldboard surface), as well as the forces acting upon the support surfaces, to find out the factors affecting them, and the character of their variations depending on the speed and the surface parameters, and to determine their proportion within the total resistance.
4. The main parameters of the plough body affecting the ploughing efficiency are:
 - the initial and the final angle of the lifting surface,
 - the angle of the horizontal generatrix in relation to the direction of the movement and the character of its changes;
 - the thickness of the tip of the share;
 - the radius of the concave lifting surface;
 - the area of the support surface.
5. When the initial lifting angle is increased in relation to the bottom of the furrow), the draft resistance increases. For reliable work in dense loamy soils its optimum value is approximately 30° ($28 \dots 32^\circ$).
6. Increasing the inclination of the horizontal generatrix causes decrease in the draft resistance caused by the weight of soil and adhesion forces but it increases the resistance caused by the inertia forces, particularly at higher speeds. In loamy soils, when the speed increases from 1 to 3 m s⁻¹, the optimum value of the inclination angle of the horizontal generatrix, which

gives the minimum draft resistance find out of the lifting surface, decreases from 50° to 25°.

7. The resistance of the supporting surfaces of the plough body may reach 25...30% of the total draft resistance of the plough body, or 42...54% of the draft resistance of its lifting surface.
8. The draft resistance of the plough body is considerably affected by the friction resistance of the soil-metal surface. It may reach 50...60% of the entire draft resistance including the resistance of the supporting surfaces (25...30%). By increasing the inclination angle of the horizontal generatrix and the working speed, the proportion of the draft resistance in the total resistance of the plough body decreases.

The most significant ways how to decrease the friction resistance and the total draft resistance of the plough body would be the development of a more rational design of the body with optimum parameters, decreased reaction values of the supporting surfaces, the use of antifrictive materials and the replacement of the sliding surfaces with mobile ones, the work at an optimum speed.

9. The specific draft resistance of the plough body depends on its working width. Increasing the working width of the plough body from 30 cm to 50 cm, the working width of the mouldboard share remaining constant, the specific ploughing resistance decreases by 8...10%. The fuel consumption and costs decrease correspondingly, and the labour efficiency increases. Therefore, when reversible ploughs are used, it is recommended to work with a maximum working width of its bodies, if necessary, at an insufficient tractor power, reducing the number of plough bodies.
10. The experimental investigations into the soil sliding resistance allow drawing the following conclusions:
 - The sliding resistance of wet soils along a rough steel surface decreases with the increase in the speed of sliding.
 - The sliding resistance of dry soils along a rough surface remains constant when the speed of sliding changes. If the soil contains stone particles which scrape the surface, the sliding resistance may increase when speed increases.
 - The sliding resistance of wet soils along a rough steel surface depends on the specific pressure between the surfaces. It decreases when pressure grows, asymptotically tending to the marginal value.
 - Variations in the sliding resistance of wet soils depending on the specific pressure between the surfaces corresponds to the character of hyperbolic regression. By using the method of least squares the values of the friction coefficient and the specific adhesion force of these soils are determined.
11. Experimental investigations confirm the results of the theoretical research.
12. The optimum parameters of the plough body for the work at a speed of 2...3 m s⁻¹ are:

- the inclination setting of the ploughshare in relation to the bottom of the furrow is 28°...32°;
 - the inclination of the horizontal generatrix in the lower part of the plough body is 34°...38°, in the upper part is 45°...48°;
 - the working width of the plough body is 45...50 cm;
 - the radius of the concave mouldboard is 480...520 mm.
13. The use of helicoidal plough bodies having optimum parameters ensure the quality of ploughing, reduce the draft resistance by 12...20% increasing correspondingly labour efficiency, decreasing the fuel consumption and the costs of ploughing.

KOPSAVILKUMA NORĀDĒS IZMANTOTĀ LITERATŪRA

REFERENCES USED IN SUMMARY

1. Ruciņš Ā. Pētījumi par kombinēto augsnes apstrādes, mēslošanas un graudaugu sējas agregātu izmantošanas lietderību Latvijas apstākļos: zinātniskais darbs lauksaimniecības tehnikas inženierzinātņu maģistra grāda ieguvei. Jelgava: LLU, 2002. 161 lpp.
2. Rucins A., Vilde A., Pinnis U., Cesnieks S. Technical, economical and ecological estimation of modern combine soil tillage, fertilising and sowing machines. **In:** *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*. Vol. 3. Lublin: Polish Academy of Sciences Branch, 2003, p. 221-227.
3. Vilde A, Cesnieks S., Rucins A. Minimisation of soil tillage. In: TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. Vol. 4. Lublin: Polish Academy of Sciences Branch, 2003, p. 237–242.
4. Rucins A., Vilde A. Impact of the plough body parameters on the soil tillage efficiency **In:** *Development of agricultural technologies and technical means in ecological and energetic aspect*: Proceedings of the international conference, September 14-15, 2006. Book No.11. Raudondvaris: LAS, 2006, p. 42–46.
5. Rucins A., Vilde A. Impact of the plough body parameters on the soil tillage efficiency **In:** *Engineering for rural development*: Proceedings 5th international scientific conference. Jelgava: Latvia University of Agriculture Faculty of Engineering, 2006, p. 42–47.
6. Rucins A., Vilde A. Forces acting on the plough body. Ecology and agricultural machinery **In:** *Environmental aspects of plant production, mobile power units and farm machines*: Proceedings of the 4th international scientific and practical conference, May 25–26, 2005. Vol. 2. Saint-Petersburg, 2005, p. 112–123.
7. Rucins A., Vilde A. Forces acting on plough body **In:** *Research for rural development*: International scientific conference proceedings, May 19–22, 2004. Jelgava: LLU, 2004, p. 40–46.

8. Ruciņš Ā., Vilde A. Mathematical modelling of the operation of plough body's mould-boards to determine their draft resistance and optimal parameters. **In:** *Research for rural development: International scientific conference proceedings*
9. Rucins A., Vilde A. Modelling forces acting on the plough body. **In:** *Simulation in Wider Europe: 19th European conference on modelling and simulation ECMS*, June 1–4, 2005, Riga, 2005, p. 414–419.
10. Rucins A., Vilde A. Forces acting on the plough body. **В кн.:** *Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету*. Вип. 25. Вінниця, 2006, с. 223–239.
11. Руциньш А., Вилде А. Влияние параметров корпуса плуга на эффективность вспашки. Материалы 5-ой международной конференции «Экология и сельскохозяйственная техника», Санкт-Петербург, 15 – 16 мая 2007 года, 282 – 290.
12. Rucins A., Vilde A. Impact of the share inclination angle on the plough body resistance. **In:** *Research for rural development: International scientific conference proceedings*, May 19–22, 2006. Jelgava: LLU, 2006, p. 52–57.
13. Rucins A., Vilde A. Impact of the working width of the plough body on the tillage efficiency **In:** *Research for rural development: International scientific conference proceedings*, May 19-22, 2005. Jelgava: LLU, p. 36–42.
14. Rucins A., Vilde A. Mathematical modelling of the operation of plough bodies to determine their draft resistance and optimum parameters. **In:** *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*. Vol. 4. Lublin: Polish Academy of Sciences Branch, 2003, p. 177– 184.
15. Ruciņš Ā., Vilde A. Mathematical modelling of the operation of plough bodies mould-boards to determine their draft resistance and optimal parameters. **In:** *Research for rural development: International scientific conference proceedings* May 21–24, 2003. Jelgava: Latvia University of agriculture, 2003, p. 64–67.
16. Rucins A., Vilde A. Impact of the working width of the plough body on the tillage efficiency. **В кн.:** *Збірник наукових праць Національного аграрного університету*. Вип. 92. Київ, 2005, с. 91–99.
17. Rucins A., Vilde A. Impact of the share inclination angle on the plough body draft resistance. **In:** *Zemdirbiste/Agriculture*, [vol]. 93, Nr.4, 2006. Kedainiu: Lithuanian University of Agriculture, 2006, p. 166–179.
18. A. Rucins, A. Vilde, J. Nowak. Impact of the share inclination angle on the ploughing resistance. Polish Academy of Sciences Branch in Lublin. “Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture”, Lublin, 2007, 199 – 209.
19. Vilde A., Rucins A., Sevostjanovs G. Impact of speed on the soil sliding resistance. 6th International scientific conference: Engineering for rural development. Proceedings. May 24–25, 2007. Jelgava, 2007, 280–285.

20. Rucins A., Vilde A. Impact of soil–metal friction on the draft resistance of ploughs **In:** *Research for rural development*: International scientific conference proceedings, May 21–24, 2003. Jelgava: LLU, p. 61–63.
21. Vilde A., Rucins A. Impact of physical and mechanical properties of soil on the draft resistance of ploughs. **In:** *Safe and economical agricultural technologies*: international scientific conference, July 25-26, 2002. Priekuļi, 2002, p. 48–50.
22. Valsts Baltijas Mašīnu izmēģināšanas stacijas Testēšanas laboratorija. Testēšanas pārskats Nr. 62–96 (189) par arkla AB–85–8 „Kverneland” (Norvēģija) testēšanu. Priekuļi, 1996. 20. lpp.
23. Valsts Baltijas Mašīnu izmēģināšanas stacijas Testēšanas laboratorija. Testēšanas pārskats Nr. 52–95 (178) par arkla PLN–3–35 ar „Kverneland” (Norvēģija) korpusiem testēšanu. Priekuļi, 1995. 14. lpp.