

MOTOPLOKK-TÜÜPI MUSTIKAKOMBAINI KORJEHASPLI KONSTRUKTSIOON JA ARENDUS

Jüri Olt*, Margus Arak

Eesti Maaülikooli tehnikainstituut, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu;

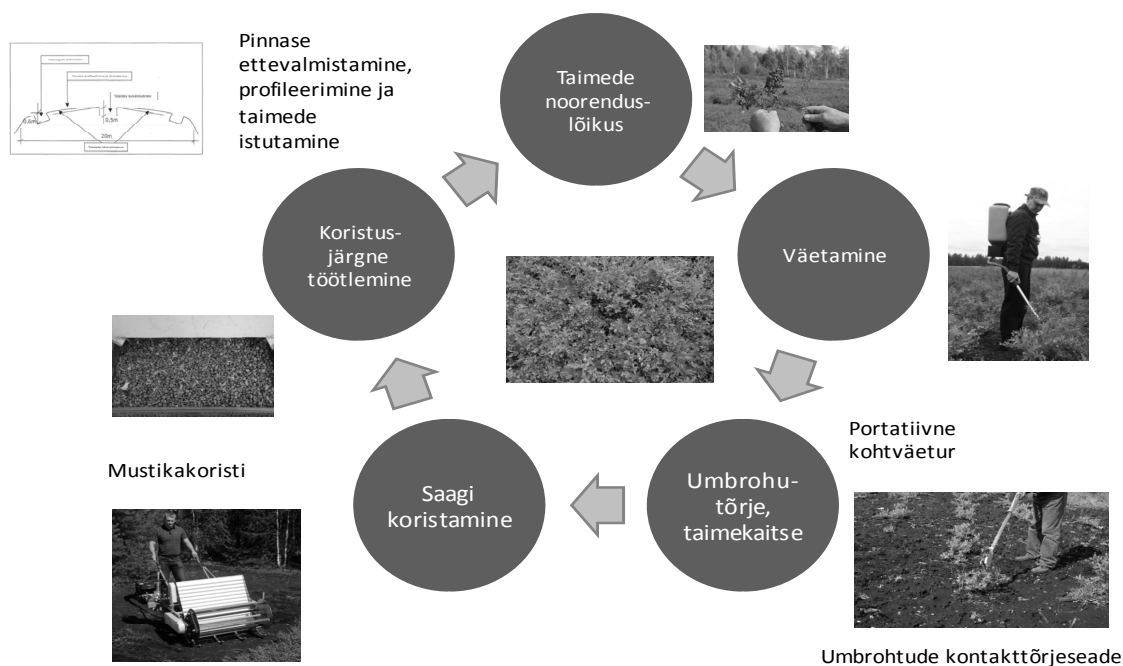
*e-post: jyri.olt@emu.ee

ABSTRACT: This paper approaches the features of designing the picking reel of blueberry harvester. The design of picking rake was based on the resistance of rake teeth to repeated bending during the work process. This quality was evaluated according to the plastic deformation rate of rake teeth material. Repeated bending experiments were performed to test the characteristics of the material of rake teeth, during which the aggressiveness of the bend was modified. An experiment under real-world conditions, i.e. a field experiment, was conducted to examine the results of laboratory experiments.

Keywords: product design, blueberry harvester, picking reel, rake teeth, plastic deformation.

Sissejuhatus

Kultuurmustika viljelustehnoloogia tööoperatsioonid on järgmised: pinnase ettevalmistamine, istikute istutamine, taimede väetamine, istandiku hooldamine, umbrohutõrje, taimekaitse, saagi koristamine, saagi koristusjärgne töötlemine ja taimede madaldus- ehk noorenduslõikus (joonis 1). Mustikaistandiku iga on umbes 30–40 aastat ning pinnase ettevalmistamine ja istutamine on selle perioodi jooksul esmased ning ühekordsed tegevused. Käesolevas töös on keskendunud saagi mehaanilise koristamise mõnele üksikasjale, täpsemalt mustikakombaini konstruktsiooni parendamisele.



Joonis 1. Mustikakasvatuse tehnoloogilised sammud

Figure 1. Technological steps of blueberry production

Mehaanilisele mustikakoristusele esitatavad agronõuded:

- koristada tuleb õigel ajal, marjade täisküpsuses: koristamise sobivaim aeg on juuli lõpp ja augusti algus (Starast *et al*, 2009). Kuna ca 90% marjadest valmib ühel ajal, siis on otstarbekas teha vaid üks korje;
- koristamise kestus peab olema võimalikult lühike, ca 15–20 päeva;
- normaalkoormusel ei tohi mustikakombaini koristuskadu olla üle 5%;

- lisandeid (lehti jt taimejäänuseid) ei tohi marjade hulgas olla üle 15%;
- mehaaniliselt vigastatud (muljutud) marjade arv ei tohi ületada 12%.

Mustikakoristusmasinate põhi- ja üksikfunktsioonid on järgmised:

- marjade vigastusteta eraldamine varte küljest;
- eraldatud marjade suunamine teisalduselemendile, mis viib marjad vartest eraldamise tsoonist välja;

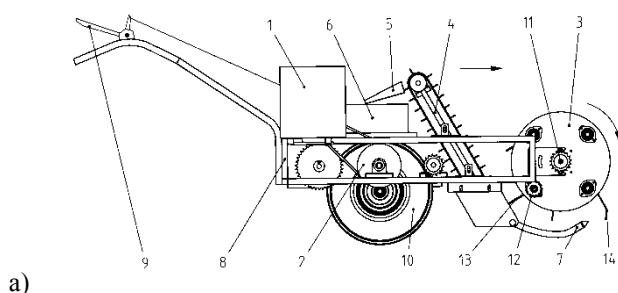
- marjade juhtimine vahetatavas kogumiskasti (kogumiskasti parameetrid peavad olema sellised, et marju nende raskusjõu mõjul ei muljutaks) või konteinerisse;
- kogumiskasti või konteineri kiire vahetamise võimalus;
- masina edasiliikumine rabapinnal, millega seoses koristusmasinale kui liikurmasinale esitatavad peamised nõuded on järgmised: masina sujuv liikumine; väike veere- ja pöördetakistus; veermiku kindel haardumine pinnasega; veermiku väike erisurve; rehvi hea puhastumine; veermiku elementide pikk tööiga; kasutamise lihtsus; kerge hooldatavus ja remonditavus; optimaalne müratase, muutub oluliseks siis, kui liikur töötab suurema kiirusega või suurematel pööretel; ohutusnõuete täitmine; universaalsus, st võimet liikuda ka teistel pinnastel.

- probleemi määratlemine;
- arenduseesmärgi püstistamine;
- sõnastatud probleemile sarnase tüüpprobleemi otsimine, tuntud tehniliste ja tehnoloogiliste lahenduste analüüsimine;
- ideede genereerimine ja sõelumine;
- lahendust vajava probleemi jaoks sobivaima lahenduse valimine.

Turbaraba kandevõime on väike ning seetõttu on mustikakombainina otstarbekas kasutada väikest motoplokk-tüüpi liikurmasinat (joonis 2). Masin sisaldab peamiselt ajamit, mis koosneb 5 hj võimsusega mootorist (1) koos ülekandega (2), parallelogramm tüüpi korjehasplit (3), marjasegu konveierit (4), koondavat trapetsikujulist püstservadega varustatud marjasuunurit (5), vahetatavat marjamahutit (6), kopeerseadist (7), raami (8) masinaelementide ja koostude toetamiseks, juhthoobasid (9) ja kahest rattast koosnevat veermikku (10) (Käis, Olt, 2010).

Materjal ja meetoodika

Mustikakombaini arendamisel kasutati üldtuntud TRIZ meetoodikat (Pahl *et al.*, 2007; Ulrich *et al.*, 2000), mis antud juhul koosnes järgmistest põhisammudest:



Joonis 2. Motoplokk-tüüpi mustikakoristi põhisõlmed ja osad: a – põhimõtteskeem, b – eestvaade masinale; 1 – mootor, 2 – ülekanne, 3 – korjehaspl, 4 – konveier, 5 – marjasuunur, 6 – marjakast, 7 – kopeerseadis, 8 – raam, 9 – juhthoovad, 10 – veermik, 11 – haspli völli, 12 – korjekamm, 13 – varbpiid, 14 – konksjas vedrupi

Figure 2. Main assemblies and parts of a motoblock-type harvester: a – principal scheme, b – front view of the machine; 1 – engine, 2 – power transmission elements, 3 – picking reel, 4 – conveyor, 5 – chute, 6 – berry box, 7 – copying unit, 8 – frame, 9 – steering levers, 10 – wheels, 11 – reel shaft, 12 – picking rake, 13 – rake tooth, 14 – hook spring-tine

Lahendamist vajanud probleemid ja nendest tulenevad arenduseesmärgid olid järgmised:

- probleemi määratlemine: patendidokumendi US6854255 järgi tuntud motoplokk-mustikakombaini korjebiitri ummistumine. Selle probleemi peamisi põhjusi võib olla lopsakates taimedes, mille longus varred paiknevad igas suunas laiali. Tuntud motoplokk-kombaini jäikade piide vahele jäid kinni masina liikumissihiga risti paiknevad varred, mille piid puruks rebisid või maa seest välja tõmbasid;
- uuenduslik eesmärk oli korjekammide varustamine selliste varbpiidega, mis ei rebi taimi puruks, ning korjekammide vahele taime varsi orienteerivate masinaelementide lisamine;
- uuenduslikud lahendused: mustikakombaini tööorgaanite ummistuste ja mustikataimede vigastuste vältimiseks varustati korjehaspl elementidega mustika-

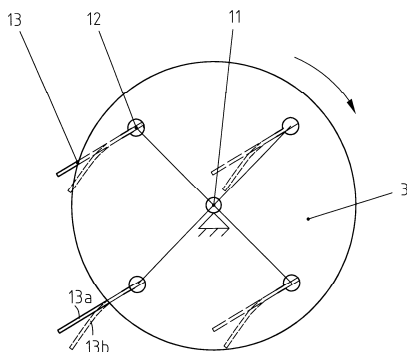
varte orienteerimiseks korjekammi ette. Korjekammi varbpiid kujundati taimevigastuste vältimiseks elastsetena. Elementid mustikavarte orienteerimiseks korjekammi ette on kujundatud konksjate vedrupiidenä. Konksjad vedrupiid on kinnitatud korjekammi hoidiku külge jäigalt, kusjuures iga korjekammi hoidiku külge jäigalt kinnitatud konksja vedrupiina kujundatud element on ette nähtud mustikavarte orienteerimiseks haspli pöörlemisel järgneva korjekammi ette.

Mustikakombaini uue tehnilise lahendusega lisanduvad funktsioonid on:

- longus taimevarte orienteerimine masina liikumise sihis, kuid vastupidises suunas;
- korjeelemendi (näiteks rehiku) suunamine varte vahele või nende alla.

Korjehaspli arendus

Joonise 3 järgi on korjehaspli (3) töölemendid rõhtsad korjekammid (12), mis sisaldavad külgetaste vahele liigendiliselt kinnitatud telgede külge jäigalt kinnitatud korjekammi varbpiisid (13). Korjekammi varbpiid (13) on taimevigastuste vältimiseks kujundati elastsetest materjalist. Korjekammi varbpii (13) võib olla asendis 13a ja 13b. Algasendis (13a) ehk koormamata asendis on korjekammi varbpii sirge ja koormatud asendis (13b) painutatud, nagu kujutatud joonisel 3.



Joonis 3. Mustikakoristi korjehaspli põhimõtteskeem

Figure 3. The principal scheme of the picking reel of blueberry harvester

Juhul kui korjekammi elastne varbpii (13) jääb taimevarre taha kinni või kui korjekammi sihis paiknev taimevars jääb varbpiide otste vahele kinni, siis korjehaspli (3) (joonis 2) pööreldes tekib varbpiidele (13) täiendav koormus ja varbpii paindub läbi ja võtab asendi 13b (joonis 3). Varbpiide (13) paindumisel vabanevad taimevarred varbpiide otste vahelt. Pärast taimevartest vabanemist võtab varbpii (13) tagasi algasendi (13a) kuju. Konksjas vedrupii (14) (joonis 2) on konstruktsioonilt lihtne, see valmistati vedruterasest. Korjekammi elastse varbpii (13) materjal valiti järgmiselt.

Korjekammi varbpiide materjali valik. Korjekammi varbpii (13) materjaliks valiti antud töös ERTACETAL C, mille keemiline struktuur on POM-C, $(CH_2O)_n$. Valik on põhjendatud materjali põhikarakteristikute kaudu, mis tootekataloogi põhjal on järgmised:

- suur mehaaniline tugevus, jäikus, kõvadus ja sitkus;
- suur löögisitkus;
- suur roometugevus;
- suur löögitugevus;
- suurepärase mõõtmete stabiilsus erinevates tingimustes;
- arvestatav kulumiskindlus;
- suurepärase lõiketöödeldavus.

Korjekammi varbpii materjali valitud ERTACETAL C tehnilised andmed on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Materjali ERTACETAL C tehniline iseloomustus (<http://www.gcip.co.uk/pdf/ertacetalc.pdf>)

Table 1. ERTACETAL C Technical Specification (<http://www.gcip.co.uk/pdf/ertacetalc.pdf>)

Omadus/Property	ISO meetod / ISO Methods	Ühik/Unit	ERTACETAL C
Värvus/Colour	–	–	Valge/white
Tihedus/Density	1183	g cm ³	1.41
Tõmbetugevus / Tensile strength	527	N mm ²	68
Elastsusmoodul / Tensile modulus of elasticity	527	N mm ²	3100
Katkevenivus / Elongation at break	527	%	35
Kõvadus/Hardness	Rockwell M	–	84
Sulamistemperatuur / Melting point	–	°C	165

Laborkatsete läbiviimise metoodika

Materjali ERTACETAL C puhul on tegemist elastse materjaliga. Selle tootekataloogis on valida 4 ja 5 mm läbimõõduga ümara ristlõikega materjali vahel (tabel 2). Nende valikute sobivuse kindlakstegemiseks korraldati laborkatse.

Tabel 2. Korjepii katsekehade iseloomustus

Table 2. Characteristics of the specimens of rake tooth

Näitaja/Parameter	Ühik/Unit	Tehniline parameeter / Parameter
Materjal/Material	–	POM-C
Tööpikkus / Working length	mm	125
Läbimõõt / Diameter	mm	4.0 5.0
Hind/Price*	€ m ⁻¹	0.22 0.33
Suhteline hind / Relative price per volume unit	%	100 96

Märkus: *materjalide jooksva meetri hinnad on antud ilma käibemaksuta

Note: *materials prices per meter are given without VAT

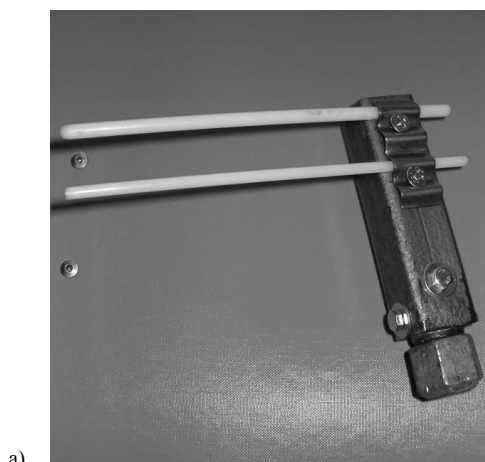
Korjehaspli varbpii materjali sobiva läbimõõdu valikuks korraldati järgmised laborkatsed:

- varbpiide jäävdeformatsiooni selgitamine süstemaatilisel mõõdukul korduvpainutamisel olenevalt materjali läbimõõdust (4 mm ja 5 mm);
- varbpiide vastupidavus nn poolagressiivsel ja agressiivsel painutusrežiimil.

Korduvpainutuse tekitamiseks kasutati universaalset treipinki 1K62. Joonisel 4a toodud laboratoorne katse seadis sisaldas korjekammi fragmenti, mille külge kinnitati parema ülevaatlikkuse saamiseks kaks varbpiid, üks läbimõõduga 4, teine 5 mm. Seega korraldati kahe läbimõõduga varbpii võrdluskatse. Korjekammi fragment paigaldati treipingi padruni külge (joonis 4b). Supordi peal oleva terahoidiku külge kinnitati pöörlemisvõimalusega kunstlikku takistust tekitav rullik, mille

ülesanne oli imiteerida katses varbpiide läbiminekut mustika taimede vahelt ja nende avaldatavat mõju varbpiidele. Selle kaugus korjekammi fragmendi pöörlemisteljest on väiksem varbpää pikkusest ja pöörlemis-

protsessi üleminekul varbpää paindub. Treipingi spindli pöörlemisega imiteeriti varbpiide tööd mustika koristamisel, tekitati nende korduvpainutussükleid.



a)



b)

Joonis 4. Katseseade: a – korjekammi fragment, mille külge on kinnitatud läbimõõduga 4 ja 5 mm varbpiid; b – treipingi pakkide vahele paigutatud korjekammi fragment ja terahoidiku külge kinnitatud rullik

Figure 4. Experimental apparatus: a – fragment of picking rake to which the rake teeth of the diameter of 4 mm and 5 mm were attached; b – fragment of picking rake placed between the jaws of lathe, and roller fastened to the rest

Treipingi spindli pöörlemissageduse n_s määramisel lähtuti järgmisest kaalutlusest. Mustikakombaini ülekande projekteerimisel on oluline arvestada korjebiitri kinemaatilist näitarvu λ , mis avaldub järgmiselt:

$$\lambda = \frac{\omega D}{2v_m},$$

kus ω on nurkkiirus, D – korjebiitri läbimõõt ja v_m – mustikakombaini töökiirus.

Mustikakombaini korjebiitri kinemaatilise näitarvu arvvaartus on selle tehnilise lahenduse puhul $\lambda = 2.5$. See tähendab, et elastsete varbpiidega korjebiiter n-ö rehitseb marjad mustikavarte küljest ära. Kuna korjebiitri nurkkiirus $\omega = 2\pi n_b$, saame korjebiitri pöörlemissageduse n_b avaldada järgmiselt:

$$n_b = \frac{\lambda v_m}{\pi D}.$$

Kuna mustikakombaini töökiirus $v_m = 33.0 \text{ m min}^{-1}$, korjebiitri läbimõõt $D = 0.33 \text{ m}$, siis $n_b = 79.6 \text{ min}^{-1}$. Treipingi spindli pöörlemissageduse määramisel lähtuti tingimusest, et $n_s > n_b$. Treipingi 1K62 spindli lähim võimalik pöörlemissagedus on $n_s = 100 \text{ min}^{-1}$.

Katsetööde tulemused

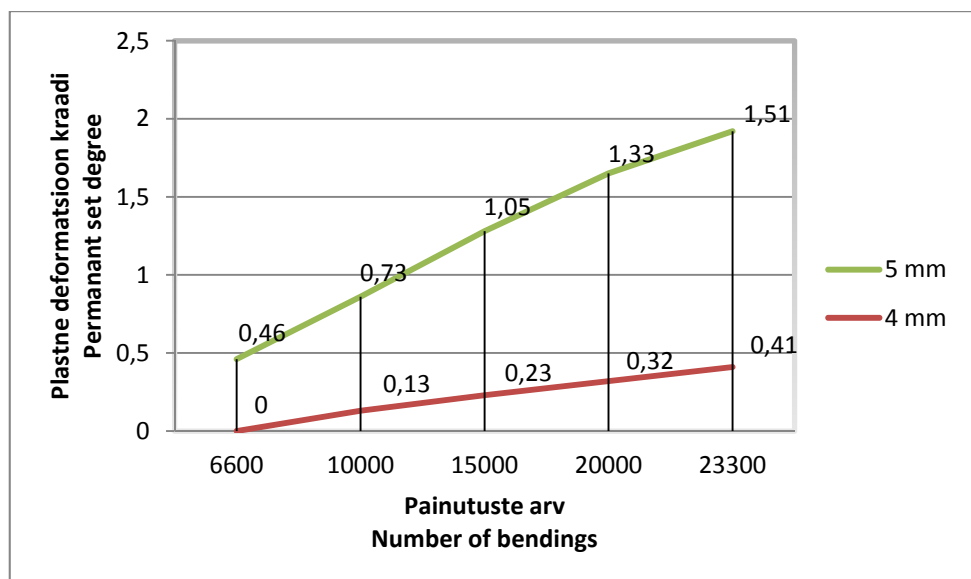
Esimese laborkatse eesmärk oli määrata kindlaks jäävdeformatsiooni määr erineva läbimõõduga varbpiides pärast teatud arvu painutussükleid. Varbpää kinnitusklaambrist asetati pöörlev takistus 119 mm kaugusele ehk piide vabast otsast oli takistuse keskjoonel 6 mm (joonis 5). Takistusrulliku läbimõõt oli 12 mm ning see oli kujundatud võimalusega vabalt pöörelda ümber oma telje.

Jäävdeformatsiooni määr määrati kindlaks varbpiide paindenurga γ kaudu, mis on avaldatav järgnevalt:

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{x}{L},$$

kus x – varbpää vaba otsa kõrvalekalde varbpää pikiteljest ja L – elastse piid pikkus varbpää otsast kuni kinnituskohani.

Varbpiide jäävdeformatsioone mõõdeti nii 4 kui 5 mm läbimõõduga varbpiidel pärast 6,600, 10,000, 15,000, 20,000 ja 23,300 painutussükli. Katse tulemusi peegeldab joonis 5. Selgub, et plastised jäävdeformatsioonid algavad jämedama, s.o 5 mm läbimõõduga materjali puhul varem ja on oluliselt suuremad kui 4 mm läbimõõduga materjali puhul.



Joonis 5. Elastsete varbpiide jääv läbipaine sõltuvalt painutuste arvust

Figure 5. Permanent set of the teeth depending on the number of bends

Teise laborkatse puhul nihutati rullikut varbpiide vabast otsast 12 mm kaugusele, mida käesoleva töö kontekstis võib nimetada poolagressiivseks painutusrežiimiks. Sellel režiimil pidas 5 mm läbimõõduga varbpää vastu 770 painutustsükli, 4 mm läbimõõduga varbpää 1,330 painutustsükli.

Kolmanda laborkatse puhul nihutati rullikut varbpiide vabast otsast 26 mm kaugusele. Sellega imiteeriti nn agressiivset tsüklilist painutusrežiimi. Sellel katsel purunes 5 mm läbimõõduga varbpää juba 40. painutustsükli ajal ja 4 mm läbimõõduga varbpää 52. painutamisel.

Seega, laborkatsete põhjal võib väita, et 4 mm läbimõõduga materjal POM-C on mustikakombaini varbpiide valmistamiseks sobivam.

Laborkatsete tulemuste kontrollimiseks korraldati põldkatse, et testida mustikakombaini varbpiide vastupidavust plastseks deformatsiooniks reaalsetes tingimustes. Katsed viidi läbi Marjasoo talus Rannu vallas. Mustikakombaini korjehaspli varbpiid olid valmistatud 4 mm läbimõõduga materjalist POM-C.

Põldkatse käigus koristati mustikasaak 0.1 ha suurusga masinkoristuseks ettevalmistatud katselapilt. Katse ajal ükski varbpää ei purunenud, kuid ilmnas varbpiide materjali elastne järelmõju. Korjehaspli varbpiide pöörete arv selle katse käigus oli 2,300. Varbpiide vabade otste keskmine kõrvalekalle pikiteljest oli 1.2 mm. Pärast kolmepäevast seismist temperatuuril $T = 20-22^{\circ}\text{C}$ andis uus mõõtmine üllatava tulemuse – 4 mm läbimõõduga varbpiidel oli jääv deformatsioon oli kadunud, nende esialgne asend taastus.

Esmased põldkatsed mustikaistanduses viidi läbi kahel päeval Marjasoo talus Rannu vallas. Tulemused olid järgmised:

- mustikakombaini koristuskadu oli 4.9%;
- lisandite hulk marjasegus oli 7.8%;
- mehaaniliselt vigastatud marjade osa oli 3.6% koristatud marjade kogumassist.

Siinkohal tuleb rõhutada, et tegemist oli esialgse uurinuga, st masina töövõime kontrollimisega. Soovituste andmiseks tuleb põldkatsed läbi viia oluliselt suuremas mahus.

Kokkuvõte

Uudse korjehaspli oluline eelis on konstruktiivse lahenduse lihtsus, taimevarte ja sellega kaasnevalt taimede säästmine koristusprotsessis, kasutajasõbralikkus ja töökindlus. Taimevarte säästmine saavutati tänu polüoksümetüleenist (POM-C) valmistatud elastsete varbpiide kasutuselevõtmisega. Elastsed varbpiid ei rebi taimevarsi puruks ega kisu taimi maa seest välja, vaid painduvad takistuse tekkimisel läbi ja pärast takistuse ületamist taastub nende esialgne kuju. Valitud materjali väsimustugevust ja seoses sellega töökindlust on vaja täiendavalt uurida. See eeldab masina talituslike omaduste põhjalikumat eksperimentaalset kontrollimist tootmisprotsessis oluliselt suuremas mahus, kui see oli püstitatud käesoleva töö käigus. Küll aga tuvastati uurimusega, et 4 mm läbimõõduga materjali (POM-C) erihind mahu kohta on pisut kõrgem kui 5 mm läbimõõduga materjali oma. Siiski on see oma mehaanikalistelt omadustelt antud konstruktsioonis tunduvalt sobilikum.

Kirjandus

- Käis, L. Olt, J. 2010. Low-bush blueberry machine cultivation technology in plantations established on milled peat fields. – *Proceedings of 38th International Conference 'Actual Tasks on Agricultural Engineering'*. Opatija, pp. 148–159.
- Pahl, G., Bitz, W., Feldhusen, J. and Grote, K. H. 2007. Engineering Design. A System Approach. Third Edition. Springer, 617 pp.
- Quadrant EPP Product Data Sheet. Kättesaadav: [http://www.gcip.co.uk/pdf/ertacetalc.pdf].

- Starast, M., Paal, T., Vool, E., Karp, K., Albert, T., Moor, U. 2009. The Productivity of Some Blueberry Cultivars under Estonian Conditions. *Acta Horticulturae*, 810, p. 103–108.
- Ulrich, K.T., Eppinger, S.D. 2000. *Product Design and Development*. Second Edition. McGraw-Hill, 358 pp.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE PICKING REEL OF MOTOBLOCK-TYPE HARVESTER

Jüri Olt, Margus Arak

Summary

An important advantage of the novel picking reel is the simplicity of constructive solution, stem-saving workflow, user-friendliness and performance. Saving the stems was achieved

through introducing elastic rake teeth produced of Polyoxymethylene (POM-C). Elastic rake teeth do not tear the plant stems into shreds nor pull the plants out of the ground, but bend when a barrier occurs and return to their original shape after overcoming barrier resistance. It is necessary to further investigate the fatigue strength of selected material and in this respect, the performance. This requires more detailed experimental examination of the functional properties of the machine in the production process, on a significantly larger scale than in the present study. However, it was found out during the present study that the relative price per volume unit of the material of 4 mm in diameter (POM-C) is slightly higher than the one of the material of 5 mm in diameter, but according to its mechanical properties, it is much more suitable for the present design.