



ENERĢĒTISKO AUGU KONDICIONĒŠANA BIOENERĢIJAS IEGUVEI CONDITIONING OF ENERGY CROPS FOR BIOENERGY PRODUCTION

Ēriks Kronbergs, Mareks Šmits

Latvijas Lauksaimniecības universitātes Tehniskā fakultāte, Mehānikas institūts

J.Čakstes bulv. 5, Jelgava, Latvija, LV 3001

e-pasts: Eriks.Kronbergs@llu.lv, Mareks.Smits@llu.lv

Abstract. *The main steps of rural policy to the development of renewable energy resources are energy crop production. Latvia can provide for the use of approximately 0.36 million ha of the unused now agricultural land for herbaceous energy crop growing. More than 230 million tones of peat are available for solid biofuel production. Peat is recommended as additive because it improves density and burning properties of herbaceous material solid biofuel. Herbaceous stalk material can be harvested in winter season with humidity less than 15% and used for compacting without drying. The aim of experimental investigation is to determine conditioning methods for solid biofuel production with minimum energy consumption. Common reed stalk material is used for experiments, because it experimentally stated ultimate tensile strength is $256 \pm 27 \text{ N mm}^{-2}$. This value testifies that common reeds are twice strongest material than cereal crop stalk materials and conditioning mechanization equipment of common reeds would be useful for other energy crops.*

Keywords: *energy crops, conditioning, bioenergy production*

Ievads

Eiropas Savienības plānos biomasas izmantošana ir paredzēta kā galvenais alternatīvās enerģijas ieguves veids. “Biomassas rīcības plāns” (SEC(2005)1573) paredz, ka biomasas izmantošana jādubulto no 4% enerģijas ieguvē (2005), sasniedzot vismaz 185 mtoe 2010.gadā. Šāds pieaugums tiek stimulēts Eiropas Savienībā, paredzot piemaksu 45 EUR par hektāru, kurā audzē t.s. enerģētiskos augus. Biomasas kurināmā ražošanas ķēdē nozīmīga ir ne tikai pašas enerģētisko augu biomasas ieguve, bet arī pārveidošana vajadzīgā formā ar noteiktām īpašībām – kondicionēšana kurināmā granulu un brikešu izgatavošanai. Cietā biomasas kurināmā ražošanai Skandināvijas valstīs ieteic tā saukto „miežabrāli” (*Phalaris arundinacea*). Šī daudzgadīgā kultūra nodrošina ikgadēju ražību 7-8 t ha⁻¹. Pļaut iesaka nokaltušos stiebrus pavasarī, kuru mitrums tad ir 10-15% un kuriem barības vielu (N, P un K) un citu minerālvielu saturs tad ir vismazākais. Latvijā par enerģētiskiem augiem iesaka arī citas augu šķirnes, ieskaitot ezeru niedres, kuras izplatītas eitrofo ezeru piekrastēs. Enerģētisko augu novākšanai un ķīpošanai izmanto tradicionālās lauksaimniecības mašīnas. Ja paredzēts izgatavot kurināmo pulvera, šķeldas, granulu vai brikešu veidā, tad ir nepieciešams veikt kondicionēšanas operācijas. Par kurināmo galvenokārt iznāk izmantot auga stiebra daļu. Kondicionēšanas operācijas ir stiebru placināšana, smalcināšana un granulēšana vai briketēšana. Projektējot iekārtas šīm kondicionēšanas operācijām, jāzina stiebru materiālu mehāniskās īpašības. Kviešu stiebru materiāla robežizturība stiepē ir $118,7 \pm 8,63 \text{ N mm}^{-2}$, bīdē (cirpē) – $8,47 \pm 0,56 \text{ N mm}^{-2}$, bet elastības modulis – $13,1 \pm 1,34 \text{ GPa}$ un bīdes modulis – $0,643 \pm 0,043 \text{ GPa}$. Niedres ir izturīgāka no minētajiem stiebru materiāliem. To robežizturība stiepē ir $256 \pm 27 \text{ N mm}^{-2}$ un atbilstoši augstākas ir arī pārējo mehānisko parametru vērtības. Tāpēc niedru stiebru materiāla kondicionēšanai noteiktais enerģijas patēriņš var tikt vērtēts kā maksimālais visai enerģētisko augu stiebru materiālu grupai. Smalcināšanā nozīmīga ir griešanas metodes izvēle, paredzot, ka stiebru materiāls sākotnēji kompaktēts dažādas formas un izmēra ķīpās. Agrākos pētījumos jau noskaidrots, ka

racionāli ir smalcināšanā veikt griešanu placinātiem stiebiem, jo enerģijas patēriņš atsevišķa neplacināta niedres stiebra pārgriešanai ir par 0,42 J lielāks nekā placinātam stiebram. Savukārt 6 cm gara tā paša niedres stiebra placināšanas enerģija ir 0,2 J, kas ir mazāk nekā iepriekš minētā starpība enerģijas patēriņā griešanā. Iepriekšēja placināšana tātad ir ieteicama pirms smalcināšanas, ko nav grūti realizēt ar padeves ruļļiem pašā smalcinātājā, ievadot enerģētisko augu masu pietiekami plānā slānī.

Šajā pētījumā salīdzinātas dažādas griešanas metodes, kuras iespējams izmantot enerģētisko augu smalcinātāju projektēšanai. Smalcināšana līdz daļiņu izmēram, mazākam par 3 mm, ir nepieciešama kompaktēšanai. Darbā ir salīdzinātas stiebru materiāla ciršanas un slīdošās griešanas metodes pēc eksperimentālos pētījumos noteiktā īpatnējā enerģijas patēriņa griešanai.

Materiāli un metodes

Enerģētisko augu plašs pielietojums enerģijas ieguvei Latvijā vēl nav uzsākts, taču nepieciešamība bioenerģijas izmantošanai arvien pieaug. Šajā pētījumā par enerģētisko augu izmantotas niedres (*Phragmites Australis*), kuru mehāniskā robežizturība jūtami pārsniedz lauksaimniecībā audzējamo stiebraugu izturību. Eksperimentāli iegūtās mehānisko īpašību vērtības tāpēc ir drošāk pielietojamas nepieciešamo mehānizācijas līdzekļu projektēšanā cietā kurināmā ražošanai. Galvenā hipotēze smalcinātāju griezējiekārtu projektēšanai ir tāda, ka enerģijas patēriņu smalcināšanā nosaka griešanas paņēmiens un berzes spēki, kuri maksimāli jāsamazina. Taču galīgo izvēli griešanas veida noteikšanā jāveic eksperimentāli pēc īpatnējā enerģijas patēriņa šajā operācijā.

Īpatnējo griešanas enerģijas patēriņu uz laukuma vienību E_{scq} stiebru materiālam nosaka:

$$E_{scq} = \frac{E_c}{A}, \quad (1)$$

kur E_{scq} – īpatnējais enerģijas patēriņš uz laukuma vienību, $J \cdot m^{-2}$;

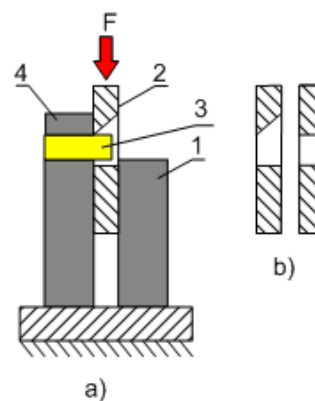
E_c – patērētā griešanas enerģija, J;

A – griešanas laukums, m^2 .

Griešanas pētījumiem izmantota materiālu testēšanas mašīna *Zwick TC-FR2.5TN.D09* ar spēka izšķirtspēju 0,4%, pārvietojuma izšķirtspēju 0,1 μm un maksimālā spēka vērtību 2,5 kN (1.att.), kurai konstruēta speciāla iekārta ciršanas griešanas (bīdes deformācijas) pētījumiem. Ciršanas griešanas pētījumos izmantoja divus nažus ar 20° un 90° asinājuma leņķiem (2.att.).



1.att. Iekārta ciršanas griešanas pētījumiem



2.att. Shēma griešanai ar ciršanu
a) griezējiekārta; b) nažu forma

Griešanu veica placinātiem niedru starpmezglu posmiem, turklāt eksperimentēja, arī saliekot placinātos stiebrus vairākos slāņos un pārgriežot tos ar abu asinājumu nažiem. Ciršanas griešanā patērēto enerģijas aprēķinu nodrošina *Zwick 2.5* programma, integrējot spļiekārtas (naža) vertikālā pārvietojuma spēka diagrammu.

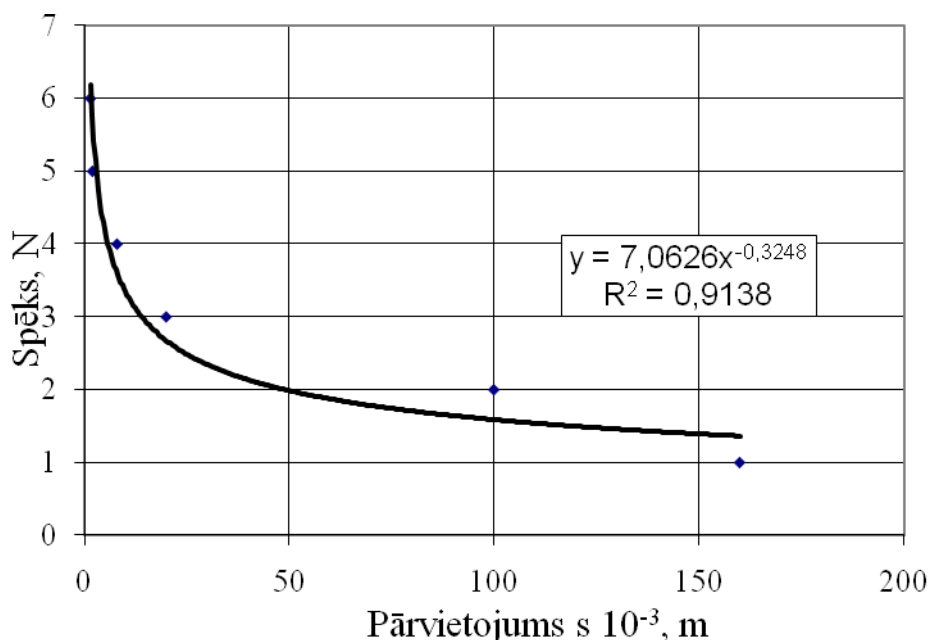
Lopbarības gatavošanai jau izsenis salmu griezējos un stiebru materiālu smalcinātājos rekomendē pielietot slīdošo griešanu, kad piešķir vienlaicīgi kustību paralēli un perpendikulāri naža asmens šķautnei attiecībā pret sagriežamo materiālu. Šo teoriju izstrādājis iepriekšējā gadsimta trīsdesmitajos gados akadēmiķis V. Gorjačkins [1]. Tajā ir aprakstīts arī salma slīdošās griešanas eksperiments. Eksperimentējot ar salma slīdošo griešanu, salmam piespieda asmeni ar spēku N un pārbīdīja salmu gar asmeni par attālumu s līdz salms tika pārgriezts. Iegūtie rezultāti doti 1.tabulā (dati un mērvienības pārveidotas atbilstoši SI).

1.tabula

Salma pārvietojums gar asmeni atkarībā no piespiešanas spēka

| N (N) | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|-----------------------|-----|---|---|----|-----|-----|
| $s \cdot 10^{-3}$ (m) | 1,5 | 2 | 8 | 20 | 100 | 160 |

Atbilstoši šiem datiem iegūstam grafiku (3.att.), izmantojot *Excel* programmas iespējas.



3.att. Asmens piespiešanas spēka un pārvietojuma vērtības slīdošā griešanā

Gorjačkins pamatoti norāda, ka, palielinot slīdēšanas ceļu, ir iespējams samazināt asmens piespiešanas spēku, kas ir sevišķi nozīmīgi, ja salmu griezējam izmanto rokas piedziņu. Paliiek nenoskaidrots, vai, palielinot slīdēšanas ceļu, lielā mērā nepalielinās enerģijas zudumi berzes pārvarēšanai. Kopējo darba patēriņu A šādā slīdošā griešanā var noteikt pēc formulas:

$$A = N \cdot d + f' \cdot N \cdot s, \quad (2)$$

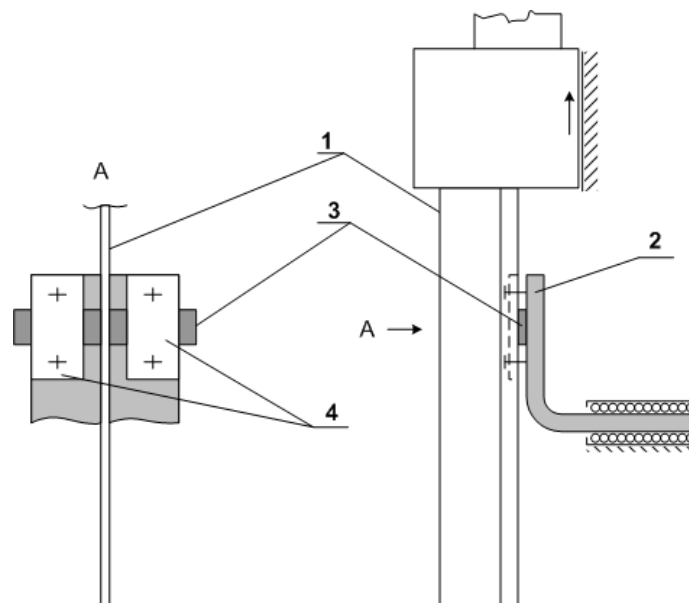
kur: N – asmens piespiešanas spēks, N;

d – neplacināta salma diametrs, m;

f' – reducētais berzes koeficients;

s – pārvietojums gar asmeni, m.

Reducētā berzes koeficienta f' un slīdes darba patēriņa noteikšanai šādā slīdošā griešanā tika izstrādāta papildus iekārta (4.att.) materiālu testēšanas mašīnai *Zwick TC-FR2.5TN.D09*. Griešanai, līdzīgi kā iepriekš, izmantoja placinātas niedres paraugus.

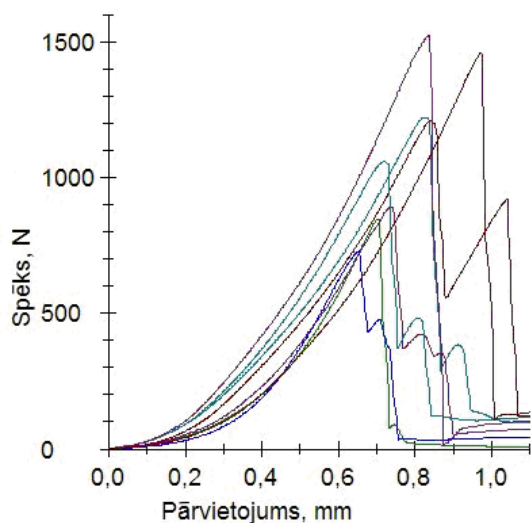


4.att. Iekārta slīdošai griešanai

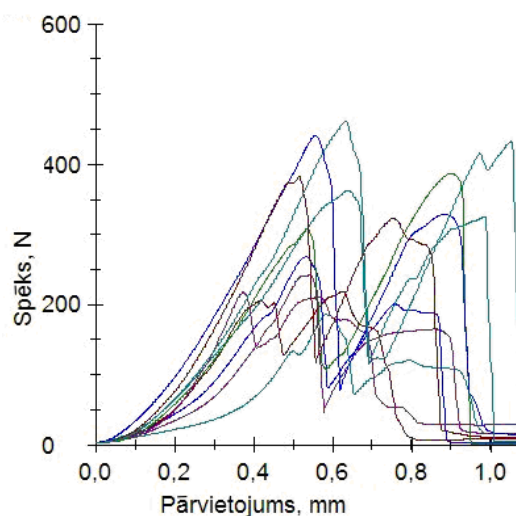
Iekārtā nazis (1) tiek stiprināts Zwick 2.5 kustīgajā spīļiekārtā, bet vertikālais atbalsts (2) parauga (3) stiprināšanai ir ar kustības iespēju perpendikulāri naža asmenim. Paraugu (3) nekustīgi nostiprina ar plāksnēm (4) abās pusēs nazim pie vertikālā atbalsta (2), kurš spiež paraugu pie asmens ar pastāvīgu spēku P. Eksperimentos maina spēka P vērtību ar atsvaru palīdzību. Kustīgās spīļiekārtas vertikālais slīdēšanas pārvietojums iestatīts 0,1 m. Tā kā pie mazām P vērtībām paraugs netiek pārgriezts, bet veidojas iegriezums, tad pēc katra gājiena tiek mērīts iegriezuma dziļums, lai varētu aprēķināt īpatnējo enerģijas patēriņu uz griezuma laukumu. Griešanā patērēto enerģiju berzes pārvarēšanai nodrošina Zwick 2.5 programma, integrējot spīļiekārtas (naža) vertikālā pārvietojuma spēka diagrammu. Šo vertikālā pārvietojuma darba vērtību koriģē, pieskaitot spēka P veikto darbu, ko atrod analītiski pēc iegriezuma dziļuma noteikšanas.

Rezultāti un to izvērtējums

Placinātas niedres ciršanas griešanas rezultāti, griežot ar 90° un 20° asinājuma nažiem, parādīti atbilstoši 5. un 6.attēlā.

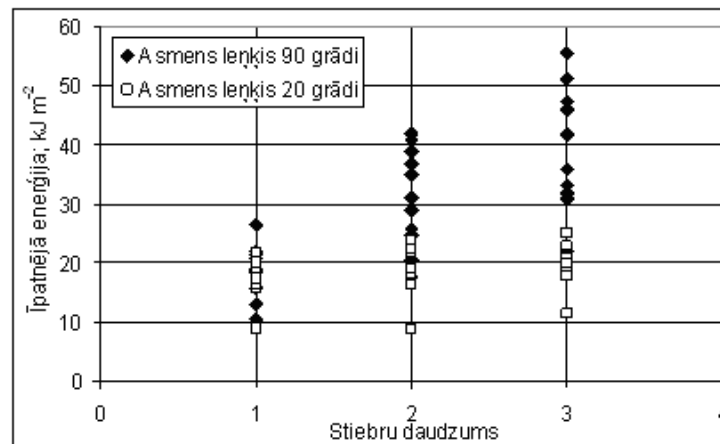


5.att. Griešana ar 90° asinājuma nazi



6.att. Griešana ar 20° asinājuma nazi

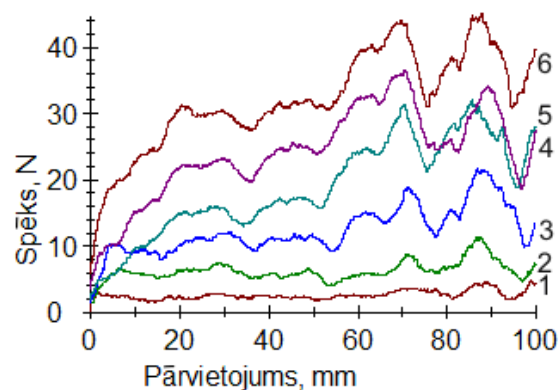
Šeit redzama griešanas spēka izmaiņa atkarībā no naža pārvietojuma. Jāatzīmē, ka, griežot ar 90° asinājuma nazi, griešana notiek divās stiebra plaknēs, tāpēc griešanas spēks vismaz divreiz pārsniedz maksimālā spēka vērtību, griežot ar 20° asinājuma nazi. Attēlotās spēka – pārvietojuma līknes (5. un 6.att.) iegūtas, griežot vienu atsevišķu placinātu niedri. Smalcināšanas praksē stiebru materiāli parasti ir biezākos slāņos, tāpēc eksperimentēja, arī griežot vairākos slāņos saliktus paraugus. Īpatnējais enerģijas patēriņš, griežot ar 90° un 20° asinājuma nažiem (7.att.), mainās atkarībā no niedru skaita slānī.



7.att. Īpatnējais enerģijas patēriņš ciršanas griešanā

Ja griešana notiek vienā placinātu niedru slānī, tad īpatnējais enerģijas patēriņš 90° un 20° asinājuma nažiem būtiski neatšķiras un nepārsniedz 27 kJ m⁻². Projektējot stiebru materiālu smalcinātājus, tāpēc ir ieteicama plāna slāņa materiāla smalcināšana ar 90° asinājuma nažiem, jo nažu asināšana smalcinātājiem ekspluatācijas gaitā ir darbietilpīga. Nažiem ar 20° asinājuma leņķi nodilums un noapaļojums asmenim iestāsies daudz ātrāk nekā ar 90° asinājuma leņķi.

Slīdošās griešanas eksperimentā, eksperimentējot ar 10° asinājuma nazi, iegūtās vilces spēka un naža pārvietojuma pieraksti parādīti 8.attēlā.



8.att. Naža vilces spēks slīdošā griešanā

Līkņu numerācija veikta atbilstoši parauga piespiešanas spēkam pie naža asmens šādi: 1- 5 N; 2- 10 N; 3- 15 N; 4- 20 N; 5- 25 N; 6- 30 N. Naža vilces spēks ir berzes spēks, kas rodas, asmeni pārvietojot un griežot materiālu. Jāatzīmē, ka jau pie piespiešanas spēka asmenim 15 N berzes spēks pārsniedz piespiešanas spēka vērtību. Parastā plaknes virsmu berzē:

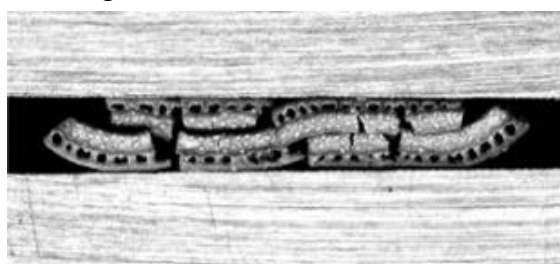
$$F = f \cdot N, \quad (3)$$

kur F – berzes spēks;

f – berzes koeficients;

N – reakcijas spēks perpendikulāri berzes virsmai.

No eksperimentāli iegūtajām līknēm redzams, ja piespiešanas spēks asmenim pārsniedz 20 N, tad reducētais berzes koeficients atbilstoši 8.attēlam ir $f' > 1$. Plakanu virsmu slīdē miežu salmiem pret pulētu tērauda virsmu eksperimentāli noteiktais berzes koeficients [2] mainās $f = 0,16 \dots 0,3$, to mitrumam mainoties no 10-46%. Arī tērauda naža plakanās virsmas slīdē pa niedres virsmu vajadzētu būt līdzīgām berzes koeficienta f vērtībām. Mūsu eksperimentos notiek prizmatiskas (ķīļveidīgas) virsmas slīde, kurā reducētā berzes koeficienta vērtība pieaug nelineāri atkarībā no naža asinājuma leņķa. Jo asinājuma leņķis mazāks, jo tā sauktais reducētais berzes koeficients ir lielāks. Bīdes plāknē darbojas arī adhēzijas spēks, kas mainās atkarībā no naža un griežamā materiāla saskares virsmas. Iespējams tāpēc sākuma posmā vilces spēks pieaug līdz noteiktai vērtībai un pēc tam svārstās ap to. Vilces spēka svārstības izsauc arī naža asinājuma leņķa izmaiņas pa tā garumu un nelielais virsmas rievojums, kas rodas no slīripas graudiem asināšanas procesā. Jāatzīmē arī placinātās niedres neviendabīgā struktūra (9.att.) šķērsgrīzumā. Niedru ārpusē struktūra ir nedaudz cietāka nekā iekšpusē, bet to perifērijā atrodas arī iekšējās ventilācijas kanālu tukšumi, kas ne tikai nodrošina to spēju augt mitrājos, bet jūtami sarežģī šī materiāla struktūru.



9.att. Placinātās niedres šķērsgrīzums

Summējot darbu, kas patērēts naža iespiešanai materiālā un naža slidināšanai pa griezumu, attiecinot to pret iegriezuma šķērsgrīzumu, ir atrasts E_{scq} – īpatnējais enerģijas patēriņš uz laukuma vienību:

$$E_{scq} = \frac{N \cdot b + F_v \cdot s}{b \cdot l}, \quad (4)$$

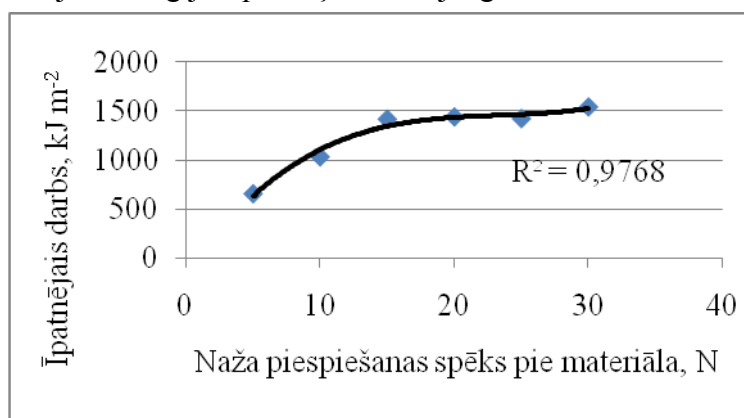
kur N – asmens piespiešanas spēks, N;

F_v – asmens vilces spēks, N;

b, l – placinātās niedres iegriezuma dziļums un platums, m;

s – naža pārvietojums slīdē, m.

10.attēlā redzams, ka, mainot niedres parauga piespiešanas spēku nazim no 5 uz 30 N, īpatnējais enerģijas patēriņš slidošajā griešanā izmainās no 653 uz 1500 kJ m^{-2} .



10.att. Īpatnējais enerģijas patēriņš slidošajā griešanā

Salīdzinot ar ciršanas griešanu, īpatnējais enerģijas patēriņš slīdošajā griešanā daudzreiz lielāks. Šāda atšķirība saistīta ar lielo darba patēriņu berzes pārvarēšanai. Atšķirība no akadēmiķa Gorjačkina pētījumiem ir arī parauga stiprinājumam. Viņa eksperimentos visticamāk paraugs tika stiprināts tikai no vienas puses, ļaujot griezumam atvērties – atbilstoši tā laika salmu griežu konstrukcijai, kur salmus šķipsnām padeva griešanai un nogrieztā daļa atdalījās nokrītot. Mūsu eksperimentā nostiprinātas abas niedru stiebra puses atbilstoši tam, kā smalcina ķīpotu stiebru materiālu, kur stieбри ir savstarpēji saistīti. Jebkurā gadījumā, taupot enerģiju, berzes pārvarēšanu stiebru materiālu kondicionēšanas operācijās ir jācenšas izslēgt, jo tā ir darba procesā zaudētā enerģija. Ciršanas griešanā, kad jāpārvar materiāla robežizturība bīdē un berzes spēki griešanā nav iesaistīti, praktiski ir minimālais enerģijas patēriņš smalcināšanā. Izmantojot slīpo griešanas paņēmienu, ir iespējams samazināt arī maksimālo griešanas spēka vērtību.

Secinājumi

Niedru robežizturība stiepē ir $256 \pm 27 \text{ N mm}^{-2}$, un atbilstoši augstākas ir arī pārējo mehānisko parametru vērtības salīdzinājumā ar Latvijā izplatītajiem stiebru materiāliem, tāpēc niedru stiebru materiāla kondicionēšanai noteiktais enerģijas patēriņš var tikt vērtēts kā maksimālais visai enerģētisko augu stiebru materiālu grupai.

Enerģētisko augu iepriekšēja placināšana ir ieteicama pirms smalcināšanas, ko var realizēt ar padeves ruļļiem pašā smalcinātājā, ievadot augu masu plānā slānī, jo neplacināta stiebru pārgriešanā patērētā enerģija pārsniedz placināta stiebra griešanas enerģiju par 0,42 J. Savukārt 6 cm gara niedru stiebra placināšanas enerģija ir tikai 0,2 J.

Ja griešana ciršanas griešanā notiek vienā placinātu niedru slānī, tad īpatnējais enerģijas patēriņš 90° un 20° asinājuma nažiem būtiski neatšķiras un nepārsniedz 27 kJ m^{-2} . Projektējot stiebru materiālu smalcinātājus ir ieteicama plāna slāņa materiāla smalcināšana ar 90° asinājuma nažiem, jo nažu asināšana smalcinātājiem ekspluatācijas gaitā ir darbietilpīga. Nažiem ar 20° asinājuma leņķi nodilums un noapaļojums asmenim iestājas ātrāk nekā nažiem ar 90° asinājuma leņķi.

Placinātu niedru slīdošajā griešanā, ja parauga piespiešanas spēks asmenim pārsniedz 20 N, berzes koeficients $f > 1$.

Niedres parauga piespiešanas spēku nazim mainot no 5 uz 30 N, īpatnējais enerģijas patēriņš slīdošajā griešanā izmainās no 653 uz 1500 kJ m^{-2} .

Ciršanas griešanā, kad jāpārvar materiāla robežizturība bīdē un berzes spēki griešanā nav iesaistīti, praktiski ir minimālais enerģijas patēriņš smalcināšanā. Izmantojot slīpo griešanas paņēmienu, ir iespējams samazināt arī maksimālo griešanas spēka vērtību.

Summary

Growing of herbaceous energy crops for solid biofuel production in rural area is more preferable, because delayed harvesting in winter time let obtain biomass with humidity less than 15% and content of nutrients (P, K) 50% less than in autumn season. Such material after shredding can be used for compacting without drying for solid biofuel production.

The article presents investigation of reed biomass conditioning processes: flattening and cutting. Necessity to reduce the size of common reeds (*Phragmites australis*) to particles smaller than 3 mm for solid biofuel production is determined by compaction properties of biomass. It was stated that unflattened reed stem cutting energy consumption is 2 times more us flattened stem cutting energy, therefore flattened reed stems are recommended for shredding.

Two methods of flattened reed cutting were investigated experimentally – slash cutting and sliding cutting. Ultimate cutting stress for knife with cutting edge angle 20° is twice lower than cutting stress for knife with cutting edge angle 90° . There are not sufficient difference

(2.4 kJ m⁻²) in the slash cutting energy consumption values for single flattened reed stalk layer cutting with knife edge angles 20° and 90°. Thin herbaceous biomass layer cutting is recommended for shredder design.

For sliding cutting specific energy consumption is more sufficient - 653 – 1500 kJ m⁻².

Friction energy is the main wasted energy in sliding cutting. For friction coefficient value knife angle and specimen fixation type play the main importance.

For flattened reed material shredder design slash cutting with inclined knife is recommended.

Pateicība

Autori pateicas Latvijas Zinātnes padomei par finansējumu granta tēmai 05. 1598, kas ļāva materiāli nodrošināt šo pētījumu.

Literatūra

1. Горячкин В. Теория соломорезки и силосорезки. В сборнике Теория конструкция и производство сельскохозяйственных машин. Т4. М. Сельхозгиз, 1936. с.226-263.
2. Afzalinia S., Roberge M. Physical and mechanical properties of selected forage materials. Canadian Biosystems engineering. Volume 49. 2007. pp.223-227.