

Kopsavilkums par 2. pārskata periodā veiktajām darbībām

Projekta Nr.	2010/0306/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/128
Projekta nosaukums	Mehanizācijas līdzekļu izstrāde enerģētisko augu kurināmā kondicionēšanai
Finansējuma saņēmējs	Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Smalcināšanas procesa teorētiskā izpēte

Smalcināšana ir mehānisks process, kurā ārējo spēku iedarbes rezultātā notiek cieta ķermeņa sadalīšana atsevišķās sastāvdaļās.

Lopbarība, kā jebkurš augu izcelsmes materiāls, sastāv no diviem struktūras elementiem: šķiedrām (skeleta) un pildvielām. Slodzes ietekmē abi šie elementi deformējas, turklāt šķiedras deformējas kā elastīgs, bet pildviela – kā plastisks materiāls. lai materiālu sagrautu, t.i., notiktu tā smalcināšana, attiecīgai lopbarības daļīnai pieliktajam ārējam spēkam ir jābūt lielākam par daļīnas iekšējiem molekulārajiem spēkiem. Ja ārējo spēku iedarbe ir triecienveida, ar nelielu iedarbes ilgumu, tad materiāla sagraušanai pretojas gan tā šķiedras, gan pildviela, bet ja šo spēku iedarbe ir ilgstoša, tad materiāla izturību nosaka galvenokārt šķiedras, jo pildviela deformējas plastiski.

Smalcināšanas priekšrocības ir kompaktais darbīgās daļas izveidojums, vienmērīgā slodze uz darba vārpstu, kā arī vienkāršā piedziņa, jo iespējams veserīšu rotoru darbināt ar tādu pašu apgriezību skaitu kā piedziņas elektromotoram, to vārpstas saslēdzot tieši bez reduktora starpniecības. Galvenie trūkumi ir augstā energoietilpība, darbīgās daļas intensīva izdīšana, kā arī nevienmērīgs pārstrādātā produkta smalcinājums.

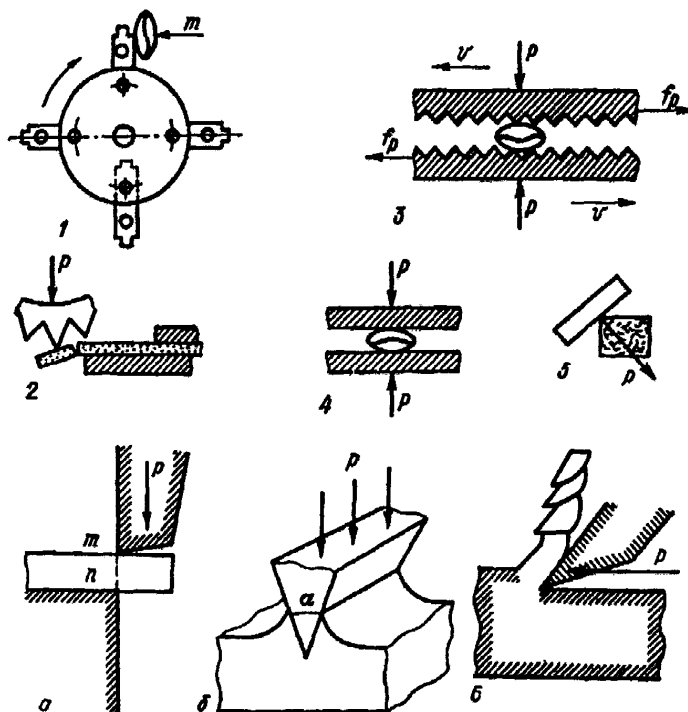
Par smalcināšanu sauc procesu cieta ķermeņa sadalīšanu daļās mehāniskā veidā, t.i. pieliekot ārējo spēku, kas pārāks par molekulāro saķeršanās spēku.

Smalcināšanas rezultātā veidojas daudzas daļīnas ar stipri paplašinātu virsmas laukumu. Smalcināšanu var raksturot kā procesa veikšanu jaunu lopbarības daļīnu virsmu palielināšanai.

Smalcināšanas veidi

Smalcināšanas veidi ir parādīti 1. attēlā: smalcināšana ar triecienu, šķelšanu, saberšanu, placināšanu un griešanu ar asmeni, griezni vai puansonu.

Lai noteiktu smalcināšanas veidu un smalcinātāja darba orgānu konstrukciju vispirms ir jāzina lopbarības fizikāli mehāniskās īpašības un jāizvēlas tāds iedarbības veids uz pārstrādājamo materiālu, pie kura būs sasniegti vismazākie spriegumi un enerģijas patēriņš. No iepriekšējā izriet, ka šķelšana, saberšana vai griešana ir izdevīgāka, jo atšķelšanas graužošie spriegumi τ_{gr} ir mazāki par normāliem spriegumiem σ_{gr} .



1. att. Lopbarības smalcināšanas veidi

Enerģijas patēriņš smalcināšanas procesā

Lai aprēķinātu smalcināšanas darbu, jau iepriekšējos gadsimtos tika izvirzītas divas teorijas: virsmas un tilpuma.

Virsmas teoriju izstrādāja vācu pētnieks P. Ritingers (1867), izejot no tā, ka materiāla smalcināšanai nepieciešamais darbs ir tieši proporcionāls jaunizveidotajam virsmas laukumam. Ja darbs A_0 tiek patērēts, lai izveidotu jaunas virsmas laukuma vienību, tad smalcināšanas procesa patērētais pilnais darbs pēc Ritingera ir:

$$A_r = A_0 \Delta S = 6A_0 D^2 (\lambda - 1). \quad (1)$$

Smalcināšanas pakāpe var mainīties plašās robežās un ir atkarīga no materiāla īpašībām un lieluma, smalcināšanas veida un smalcinātāja konstruktīvām īpašībām.

Tilpuma teoriju izstrādāja krievu zinātnieks V. L. Kirpičs (1874), kuru vēlāk pielietoja izrakteņu smalcināšanā vācu zinātnieks prof. F. Kiks (1885).

Pēc Kirpiča – Kika pētījumiem, patērētais darbs A_k smalcināšanai ir tieši proporcionāls deformējamo daļiņu tilpumam ΔV , t.i. $A_k = f(\Delta V)$. Deformētās daļiņas tilpums ΔV ir proporcionāls visa gabala sākotnējam V , t.i. $\Delta V = K_1 V$. Sekojoši,

$$A_k = K_2 V = K_2 \rho m = K'_k m \quad (2)$$

kur: K_k un K'_k – Kirpiča – Kika proporcionalitātes koeficienti;

m – smalcināmā gabala masa, kg.

Kirpiča – Kika tilpuma teorija dod precīzākus rezultātus rupja materiāla smalcināšanā, kur lielākā daļa enerģija tiek tērēta ķermeņa elastīgai deformācijai, bet īpatnējais virsmas laukums izmainās nenoīmīgi.

Pamatojoties uz F. Kirka un P. Ritingera pētījumiem, padomju akadēmiķis P. Rebinders 1928. g. noskaidroja, ka materiāla smalcināšanai ir jāpatērē darbs, kurš nepieciešams gan tā deformēšanai, gan jaunu virsmu veidošanai.

$$A = A_v + A_s = k\Delta V + \alpha\Delta S \quad (3)$$

kur: A – darba patēriņš materiāla smalcināšanai;
 A_v – darba patēriņš materiāla deformēšanai;
 A_s – darba patēriņš jaunu virsmu veidošanai;
 k, α – proporcionalitātes koeficienti;
 ΔV – materiāla deformētās daļas tilpums;
 ΔS – jauno virsmu laukums.

Trešo teoriju izstrādāja F. Bonds (1952) izdarot pieņēmumu, ka patērētais darbs smalcināšanā ir proporcionāls vidējam ģeometriskajam no smalcināmā materiāla gabala tilpuma un virsmas laukuma

$$A_v = K\sqrt{VS} = K\sqrt{K_k D^3} \sqrt{K_r D^2} = K_v D^{2.5}$$

Pēc pārveidošanas iegūstam

$$A_v = K_v[(1/\sqrt{d}) - (1/\sqrt{D})] \quad (4)$$

Vēlāk krievu pētnieks A.K.Pundkvists (1956) un amerikāņu pētnieks P. Čarlz izstrādāja empīrisku vienādojumu

$$dA = -Cd(d\delta / \delta^z) \quad (5)$$

kur: A – darbs;
 δ – raksturojošais izmērs [gabalam D vai daļiņai d];
 C un z – koeficienti.

Formulu (3) sauc par smalcināšanas pamatlikumu. Tā raksturo procesa teorētisko būtību, taču praktiskajiem aprēķiniem maz noderīga, jo satur eksperimentāli nenosakāmus lielumus. Tādēļ prof. S. Meļņikovs 1952. g. ieteica formulu pārveidot šādi:

$$A = A_v + A_s = c_v \lg \lambda^3 + c_s (\lambda - 1) \quad (6)$$

kur: c_v, c_s – proporcionalitātes koeficienti, kuriem ir īpatnējā darba vienība, $J \text{ kg}^{-1}$;
 λ – smalcināšanas pakāpe, $\lambda = D/d$.

Taču sakarā ar pārstrādājamās lopbarības neviendabību un darbīgo daļu atšķirīgo iedarbību faktiskais smalcināšanai patērētais darbs ir lielāks un tā aprēķinā ir jāņem vērā koeficients c_{piel} . Tāpēc var rakstīt, ka

$$A_{smalc} = c_{piel} [c_v \lg \lambda^3 + c_s (\lambda - 1)] \quad (7)$$

Iegūto formulu var izmantot dažādu lopbarības smalcinātāju savstarpējai salīdzināšanai pēc ieguldītā darba patēriņa. Diemžēl praksē lietot to ir neērti, tāpēc, ka grūti noteikt koeficientu c_v, c_s, c_{piel} skaitliskās vērtības. Tādēļ to pārveido, attiecīgos koeficientus savstarpēji sareizinot, t.i.,

$$A_{smalc} = c_1 \lg \lambda^3 + c_2 (\lambda - 1). \quad (8)$$

Šeit c_1 un c_2 ir eksperimentāli koeficienti, kurus nosaka izmēģinājumu rezultātā. Piemēram, pārstrādājot miežus, $c_1 = 10 \dots 13$, bet $c_2 = 6 \dots 9 \text{ kJ kg}^{-1}$.

Vairāki zinātnieki ir aprēķinājuši, ka plāvēj smalcinātāja, kurš sasmalcināto masu uz transportlīdzekļa piekabi padod ar gaisa ventilatora palīdzību, jaudas sadalījums ir sekojošs: 20 % nopļaušana un materiāla padeve, 40 % sasmalcināšanai un 40 % gaisa plūsmas radīšanai.

Smalcināšanai nepieciešamo jaudu var aprēķināt pēc šādas formulas:

$$P_c = \frac{1000 C_f F_{max} m_f}{\rho_f L_c} \quad (9)$$

kur: P_c – smalcināšanai nepieciešamā jauda, kW;

m_f – padeve, kg s^{-1} ;

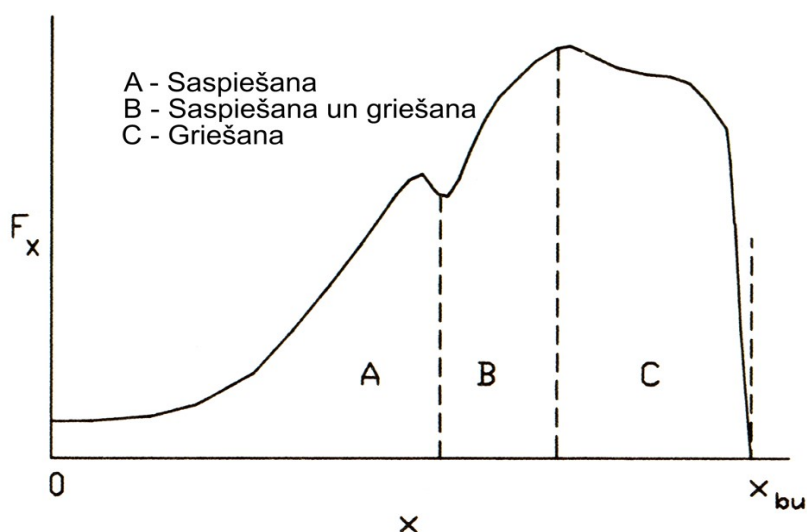
ρ – materiāla blīvums, kg m^{-3} ;

L_c – smalcināšanas garums, mm;

F_{max} – maksimālais īpatnējais griešanas spēks, N mm^{-1} ;

C_f – koeficients.

Timotiņa salmu griešanas spēka un pārvietojuma diagramma taisnai ciršanai ir parādīta (2. att.).



2. Timotiņa salmu ciršanas spēka un pārvietojuma diagramma

Īpatnējo griešanas enerģiju aprēķina pēc sekojošās formulas:

$$E_{sc} = \frac{1000 C_f F_{max}}{\rho_f} \quad (10)$$

kur: E_{sc} – īpatnējā griešanas enerģija uz pretgriezēja garuma vienību, Jm kg^{-1} .

Smalcinātāja prototipa konstrukcijas izstrāde

Patentu meklējumā izskatīti un izanalizēti sekojoši smalcinātāju konstruktīvie varianti:

1. CA 395 400 Smalcinātājs ar daudzdisku rotoru uz kuriem montēti spirālveida naži.
2. EP 1 532 860 A1 Griezējrotors ar diskiem un segmentveida nažiem.
3. EP 1 245 142 A1 Prizmatisku ķīpu smalcinātājs – griezējdiski ar daudziem nažiem.

4. FR 2 765 773 A1 Smalcinātājs ar daudzdisku griezēju un kustīgu pamatni.
5. DE 195 17 308 A1 Smalcinātājs ar ciklisku salmu padevi.
6. PCT/GB 90/02000 Trumuļa tipa smalcinātājs ar rievotiem veserīšiem.
7. EP 0 371 681 A1 Trumuļa tipa smalcinātājs ar diviem diskveida griežējiem.
8. CA 1 248 432 Trumuļa tipa smalcinātājs ar vienu diskveida griezēju.
9. US 2 590 056 Smalcinātājs un rotors ar veserīšiem.
10. US 2005/0 016 144 A1 Kondicionēšanas ruļļu mehānisms ar spirālveida rievām ruļļiem.

Patentu izpētes rezultātā sagatavots patenta pieteikums par smalcinātāja padeves ruļļu konstrukciju:

Padeves veltnu mehānisms

Izgudrojuma apraksts

Izgudrojums attiecas uz veltnu mehānismiem, ko izmanto dažādu materiālu padevei smalcinātājos, placinātājos un citās iekārtās.

Zināmajā kondicionēšanas veltnu mehānismā (patenta apliecība US 20050016144) izveidotas rievas veltnos aptuveni perpendikulāri materiāla padeves virzienam. Rievojums veltnos uzlabo padodamā augu materiāla saķeri ar veltniem, bet arī vienlaicīgi veic tā salaušanu vai veido iespaidumus perpendikulāri padeves virzienam. Šī veltnu mehānisma trūkums ir tas, ka samazinās saķeres berzes spēks starp veltniem un padodamo materiālu tad, kad padodamais materiāls atrodas starp veltnu gludajiem posmiem.

Tehniskais uzdevums, ko risina piedāvātais izgudrojums ir nodrošināt nepārtrauktu palielinātu saķeri starp padodamo materiālu un padeves veltniem. Šis mērķis – funkcionālo iespēju palielināšana – piedāvātajā izgudrojumā ir panākts izveidojot veltnu virsmā koncentrisku ķīļveida rievojumu. Konkrētajos izpildījumos koncentriskais ķīļveida rievojums var būt novietots uz vītnes līnijas.

Fig.1 ir attēlota padeves veltnu mehānisma shēma.

Fig.2 ir attēlota shēma saķeres spēka aprēķinam.

Padeves veltnu mehānisms (Fig.1) sastāv no cilindriskas formas veltniem 1 ar koncentrisku ķīļveida rievojumu 2. Padodamā masa 3 starp veltniem 1 kontaktē ar koncentrisko ķīļveida rievojumu 2. Padeves procesā veltni 1 tiek piespiesti padodamajai masai 3 ar spēku P.

Palielinātā saķeres spēka aprēķinam Fig.2 attēloti veltnu 1 elementi 4 ar daļu no padodamās masas 3 starp tiem. Pretestības spēka Q, piespiedējspēka P' un berzes spēka F vērtības ietekmē koncentriskā ķīļveida rievojuma leņķis α . Slīdes berzes koeficients f starp padodamo masu 3 un gludu veltni 1 aptuveni nosaka sakarību starp minētajiem spēkiem sekojoši:

$$Q = 2F = 2 \frac{f}{\sin \frac{\alpha}{2}} P'$$

Izvēloties koncentriskā ķīļveida rievojuma 2 leņķi α jāievēro to, ka jo α ir mazāks, jo lielāks ir berzes spēks F un atbilstoši saķere starp veltniem 1 un padodamo masu 3.

Konkrētajos izpildījumos novietojot koncentrisko ķīļveida rievojumu uz vītnes līnijas var panākt padodamās masas 3 slāņu pārvietojumu perpendikulāri padeves virzienam, ja tas ir nepieciešams tehnoloģiskajā procesā.

Padeves veltņu mehānisms ar koncentrisku ķīļveida rievojumu ir noderīgs biomasas smalcinātājiem un citām iekārtām, kurām ir nozīmīga palielināta saķere starp padodamo materiālu un padeves veltņiem.

Pretenzijas

1. Padeves veltņu mehānisms, kas satur veltņos izveidotas rievas un atšķiras ar to, ka ar mērķi paplašināt mehānisma funkcionālās iespējas veltņu virsmā ir izveidots koncentrisks ķīļveida rievojums.
2. Padeves veltņu mehānisms saskaņā ar 1. punktu, kas atšķiras ar to, ka koncentriskais ķīļveida rievojums veltņos ir novietots uz vītnes līnijas.

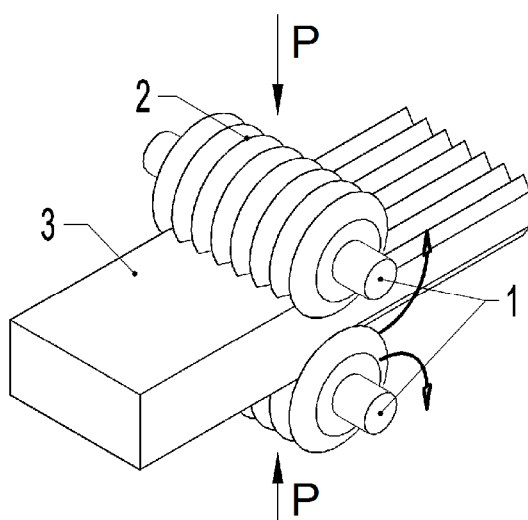


Fig.1

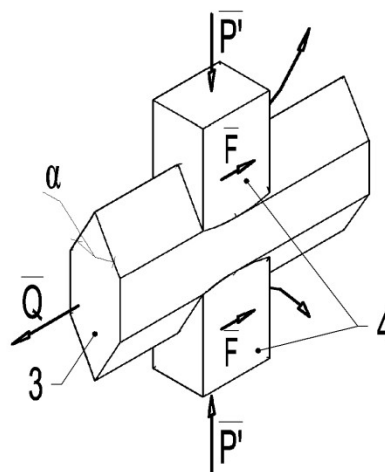


Fig.2

Kopsavilkums

Izgudrojums attiecas uz veltņu mehānismiem, ko izmanto dažādu materiālu padevei smalcinātājos, placinātājos un citās iekārtās. Tehniskais uzdevums, ko risina piedāvātais izgudrojums ir nodrošināt nepārtrauktu palielinātu saķeri starp padodamo materiālu un padeves veltņiem. Šis mērķis – funkcionālo iespēju palielināšana – piedāvātajā izgudrojumā ir panākts izveidojot veltņu virsmā koncentrisku ķīļveida rievojumu. Konkrētajos izpildījumos koncentriskais ķīļveida rievojums var būt novietots uz vītnes līnijas. Izvēloties koncentriskā ķīļveida rievojuma leņķi ir jāievēro to, ka jo leņķis ir mazāks, jo lielāks ir berzes spēks un atbilstoši saķere starp veltņiem un padodamo masu.

Abstract

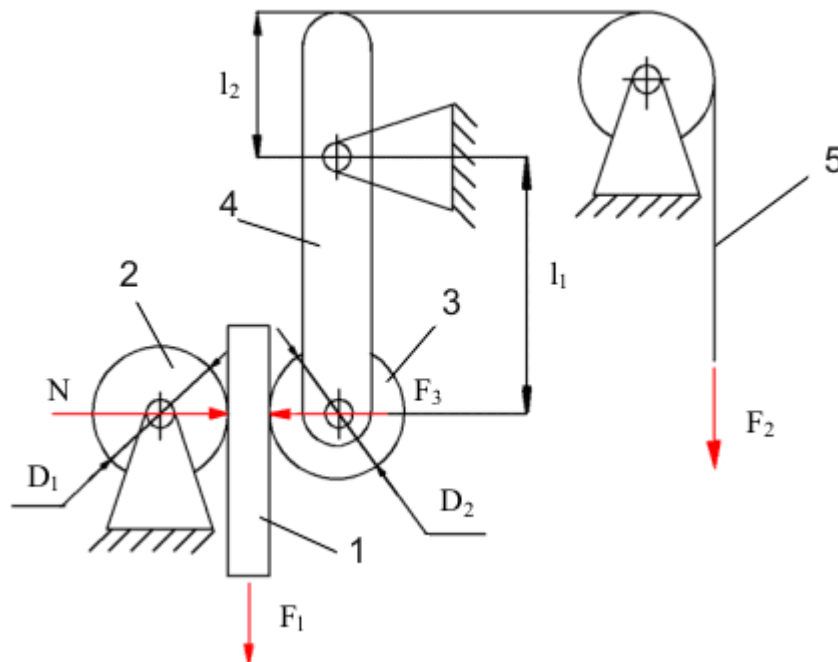
Invention refers to roll mechanisms used for material feeding in shredding, flattening and other equipment. Its purpose is to expand functional capacity of the equipment by increasing gripping force between material and feeding rolls. This purpose is achieved by forming wedge – shaped concentric grooves on surfaces of rolls. Particularly wedge – shaped concentric grooves may be located on the spiral line. Choosing the angle of wedge-shaped concentric grooves it

has to be taken into account that if the angle is smaller, the greater is gripping force between material and feeding rolls.

Smalcinātāja prototipa eksperimentālie pētījumi: smalcināšanai nepieciešamās jaudas noteikšana, īpatnējais enerģijas patēriņš atkarībā no smalcinātāja konstrukcijas un griezējasmēņu veida, rotējošo daļu dinamiskās līdzsvarošanas eksperimenti, utt.

Smalcinātāja prototipa eksperimentālos pētījumos tika veikta smalcinātāja padeves ruļļu berzes koeficienta novērtēšana dažādas konstrukcijas ruļļiem.

Izpētes mērķis: noteikt berzes koeficientu starp stiebru materiāla biomasu un padeves ruļļiem ar gludu un rievotu virsmu.



3. att. Iekārtas shēma

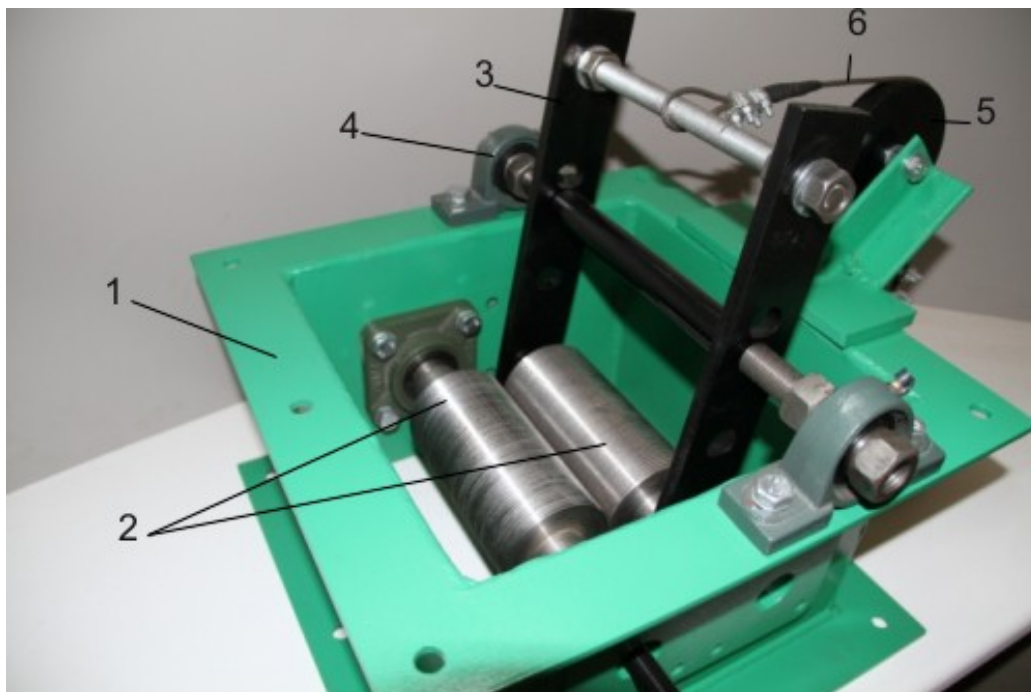
1 – stiebru materiāla slānis; 2,3 – padeves ruļļi; 4 – svira; 5 – trose.

Eksperimenta pamatojums:

Atbilstoši 3. att. shēmai mērījumu precizitātes un patiesās vērtības nodrošināšanai ievērtēts palīgkonstrukciju svars spēka F1 un F2 pielikšanas vietās. Berzes koeficientu aprēķina pēc formulām:

$$f = \frac{F_1}{2F_3}; F_3 = N; F_3 = \frac{F_2 \times l_2}{l_1}$$

Smalcināšanas eksperimentālo pētījumu rezultātā veikts rievotu ruļļu mehānisma un niedru slāņa berzes koeficienta novērtējums. Eksperimentālā iekārta parādīta 4. attēlā.



4. att. Eksperimentālā iekārta berzes koeficienta noteikšanai
1 – rāmis, 2 – tērauda veltni, 3 – svira, 4 – gultņi, 5 – trīsīs, 6 – trose.

Berzes mērījumi ar gludiem ruļļiem:

F_1, N	F_3, N	f
82.6	291.2	0.14
72.8	280.4	0.13
72.8	248.2	0.15
72.8	237.5	0.15
63	226.7	0.14
53.2	168	0.16
53.2	194.5	0.14
164.4	577.6	0.14
125.1	398.6	0.16
156.3	584.8	0.13
156.3	516.7	0.15
95.7	362.8	0.13
95.7	312.7	0.15

Column1	
Mean	0.143846
Standard Error	0.002895
Median	0.14
Mode	0.14
Standard Deviation	0.010439
Sample Variance	0.000109
Kurtosis	-0.9891
Skewness	0.101429
Range	0.03
Minimum	0.13
Maximum	0.16
Sum	1.87
Count	13
Confidence	
Level(95.0%)	0.006308

Berzes mērījumi ar rievotiem ruļļiem:

F ₁ , N	F ₃ , N	f'
146.5	319.8	0.23
146.5	327	0.22
177.4	405.7	0.22
177.4	348.5	0.25
95.7	198.1	0.24
95.7	205.3	0.23
72.8	155.1	0.23
53.2	119.3	0.22
53.2	112.2	0.24
33.6	76.4	0.22
43.4	97.8	0.22

Column1	
Mean	0.229091
Standard Error	0.003149
Median	0.23
Mode	0.22
Standard Deviation	0.010445
Sample Variance	0.000109
Kurtosis	-0.25972
Skewness	0.856365
Range	0.03
Minimum	0.22
Maximum	0.25
Sum	2.52
Count	11
Confidence Level(95.0%)	0.007017

Novērtējums:

Berzes koeficientu attiecība : $\frac{f'}{f} = \frac{0.229}{0.144} = 1.6$

Eksperimentu rezultātā iegūtais berzes koeficienta palielinājums rievotiem ruļļiem ir 1.6.

Kaltēšanas procesa teorētiskā izpēte

Kvalitatīva biomasas kurināmā ieguvē viens no energoietilpīgākajiem procesiem ir kaltēšana. Lai noskaidrotu ceļus patērētās jaudas samazināšanai, tika izanalizēts kaltēšanas process un noskaidrota kāda jauda nepieciešama katrā tā etapā.

Jebkura materiāla kaltēšanas procesu var sadalīt sekojošos posmos:

- ✓ Kaltējamā materiāla sasilšana;
- ✓ mitruma iztvaicēšana no materiāla virsmas un tvaika difūzija apkārtējā vidē;
- ✓ mitruma pārvietošanās no materiāla iekšējiem slāņiem uz tā virsmu;
- ✓ ūdens tvaika aizvadīšana.

Katra iepriekšminētā posma nodrošināšanai nepieciešams noteikts **enerģijas patēriņš**, ko varam raksturot ar kaltēšanas procesā patērēto **vidējo jaudu**. Kaltēšanas procesā notiek arī enerģijas zudumi caur kaltes sienām. Novērtēsim šos zudumus ar **siltuma zudumu jaudu**.

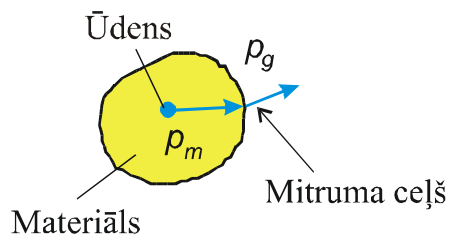
Materiāla žūšana būtībā ir mitruma apmaiņa starp materiālu un apkārtējo vidi. Mitruma apmaiņas intensitāti raksturo ūdens tvaika parciālais spiediens uz materiāla virsmas p_m un apkārtējā gaisā p_g . Lai notiktu materiāla žūšana, tad p_m jābūt lielākam par p_g . Ja p_m ir mazāks par p_g notiek materiāla samitrināšanās. Kaltēšanas ātrumu raksturo spiedienu starpība $\Delta p = p_m - p_g$, jo lielāka ir šī starpība, jo straujāk notiek žūšana (skat 5. att.).

Lai nodrošinātu pietiekoši ātru žūšanu, nepieciešams:

- ✓ uzsildīt materiālu, lai palielinātu p_m
- ✓ samazināt apkārtējā gaisa relatīvo mitrumu φ , lai samazinātu p_g , to panāk uzsildot kaltē esošo gaisu,
- ✓ nodrošināt pietiekoši ātru gaisa cirkulāciju caur biomasas slāni, lai aizvadītu ūdens tvaikus no materiāla virsmas.

Kaltēšanas procesu kavē mitruma saistība ar materiālu. Mitruma saistība ar materiālu ir divējāda:

- ✓ *brīvais mitrums* - nav cieši saistīts ar materiālu, viegli aizvadāms kaltēšanas procesā,
- ✓ *saistītais mitrums* (kapilārais un šūnu) - cieši saistīts ar materiālu un, tāpēc grūtāk aizvadāms kaltēšanas procesā.



5. att. Mitruma ceļš kaltēšanas procesā

Kaltēšanas ātrumu galvenokārt ierobežo mitruma migrācija no iekšējiem slāņiem uz materiāla virsmu.

Lai nodrošinātu normālu kaltēšanas procesa noriti, siltumenerģija jāpatērē:

3. Kaltējamās masas sasildīšanai līdz nepieciešamajai temperatūrai;
4. Ūdens iztvaicēšanai;
5. Caurplūstošā gaisa uzsildīšanai;
6. Caur kaltes sienām izejošā siltuma daudzuma kompensācijai.

Lai noskaidrotu enerģijas patēriņa iemeslus tika analizēta kaltes siltuma bilance:

$$Q = Q_m + Q_i + Q_g + Q_s, \quad (1)$$

kur Q – kopējais siltuma daudzums, kas jāpievada kaltēšanas procesa nodrošināšanai, kJ; Q_m – siltuma daudzums materiāla uzsildīšanai, kJ; Q_i – ūdens iztvaicēšanai nepieciešamais siltuma daudzums, kJ; Q_g – gaisa uzsildīšanai nepieciešamais siltuma daudzums, kJ; Q_s – siltuma zudumi caur kaltes sienām, kJ.

Ņemot vērā to, ka kaltēšanas procesā visi procesi notiek vienlaicīgi, varam uzrakstīt kaltēšanas jaudu bilanci (2):

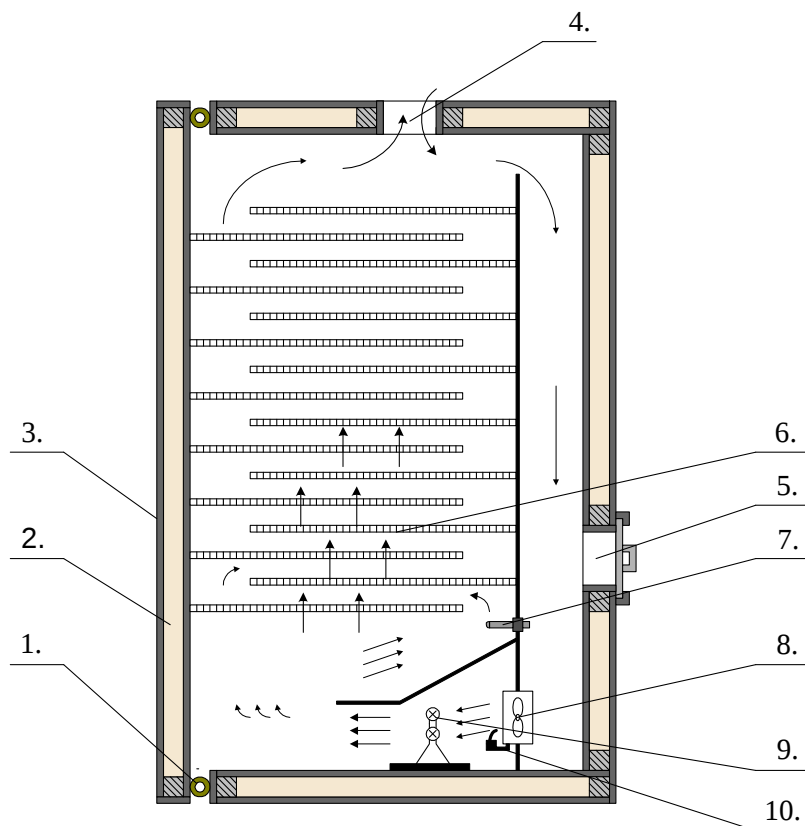
$$N = N_m + N_i + N_g + N_s \quad (2)$$

kur N_s – caur kaltes sienām izplūstošā siltuma jauda, N_m – materiāla uzsildīšanai nepieciešamā jauda, N_i – ūdens iztvaicēšanai nepieciešamā jauda, N_g – jauda cirkulējošā gaisa uzsildīšanai.

Teorētisko apsvērumu pamatošanai tika izgatavots kaltes modelis (2. att.) un noteikti tā darbības parametri.

Kaltes modelis sastāv no skapja, kura korpuss izgatavots no saplākšņa 3, ar akmens vates siltumizolāciju 2 (6.attēlā). Sildītājs 9 novietots skapja aizmugurē apakšējā daļā ventilatora 8

priekšā. Ventilators iesūc gaisu no kanāla, kurš izveidots pie kaltes aizmugures sienas. Kaltes aizmugures sienā izveidota lūka 5 ar regulējamu aizvaru, kura kalpo svaiga gaisa ievadīšanai kaltē. Korpusa augšā izveidota lūka 4, kura nodrošina mitrā gaisa izvadīšanu no kaltes.



6. att. Kaltes modelis ar gaisa recirkulāciju

1. Blīvējums; 2. Akmens vate; 3. Saplāksnis; 4. Gaisa lūka; 5. Regulējama gaisa lūka; 6. Žāvēšanas siets; 7. Temperatūras mērpārveidotājs; 8. Ventilators, 9. Sildītājs.

Kaltējamo materiālu novieto uz sietiem 6. Nemainīgu gaisa temperatūru nodrošina termoregulators, tā mērpārveidotājs 7 novietots pie kaltes aizmugures sienas. Ventilatora priekšā atrodas herkons 10, kurš nodrošina sildītāja atslēgšanos gaisa plūsmas pārtraukšanas gadījumā, tādā veidā aizsargājot kalti no pārkaršanas. Aizverot vai atverot aizmugures lūku regulē svaiga gaisa pieplūdi, līdz ar to kaltē esošais gaiss tie novirzīts caur kaltējamo masu vairākas reizes, nodrošinot augstu siltuma izmantošanas efektivitāti un optimālu kaltēšanas režīmu.

Aprēķini un eksperimentālie pētījumi tika veikti ar biomasu, kuru sākotnējais mitrums bija 26%, kaltes tilpums $V_k = 0.65\text{m}^3$ un ārējās virsmas laukums $A = 4.5\text{m}^2$.

Enerģijas patēriņš kaltējamā materiāla uzsildīšanai līdz kaltēšanas temperatūrai un **ūdens iztvaicēšanai** nemainās atkarībā no kaltēšanas veida. Vidējā aprēķinātā jauda masas uzsildīšanai $N_m = 40\text{W}$ un ūdens iztvaicēšanai $N_i = 228\text{W}$.

Enerģijas patēriņš ūdens tvaika iznesei no biomasas atkarīgs no caurplūstošā gaisa daudzuma un gaisa temperatūras. Gaisa daudzums, kas nepieciešams ūdens iznesei atkarīgs no apkārtējās vides gaisa temperatūras, gaisa relatīvā mitruma, masas sākotnējā mitruma un kaltēšanas temperatūras. Aprēķini tika veikti atbilstoši eksperimentālās iekārtas darbības

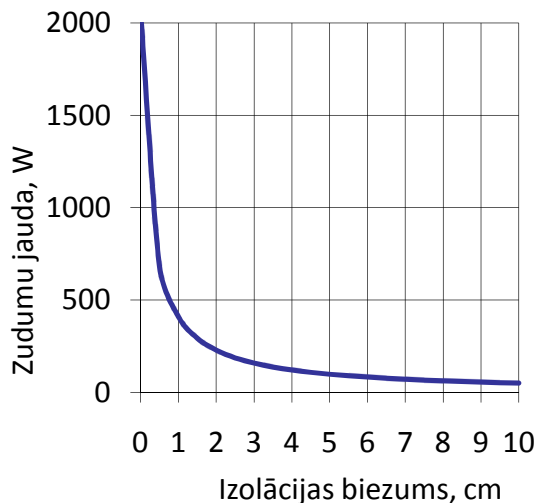
parametriem: apkārtējā gaisa temperatūra $t_v=15^{\circ}\text{C}$ un relatīvais mitrums $\varphi_0=57\%$, masas sākotnējais mitrums $W_0=26\%$ un kaltēšanas temperatūra $t^{\circ}=42^{\circ}\text{C}$.

Aprēķini parādīja, ka teorētiski šādos apstākļos ūdens iznesei nepieciešamā gaisa plūsma ir $q=19.1\text{m}^3/\text{h}$. un tā uzsildīšanai nepieciešamā vidējā jauda 171W .

Praktiski, lai nodrošinātu pietiekamu mitruma iznesi no biomasas slāņa, nepieciešams tajā nodrošināt gaisa plūsmas ātrumu ap 0.5 m/s . Plūsmas nodrošināšanai aprēķinātā gaisa padeve ir $q_g=260\text{m}^3/\text{h}$ un caurplūstošā gaisa uzsildīšanai nepieciešamā jauda $N_g=2700\text{W}$.

Siltuma zudumu jauda caur kaltes sienām mainās atkarībā no siltumizolācijas biezuma (7. attēls). Aprēķinā pieņemts, ka kalte izgatavota no saplākšņa ar kopējo biezumu 10mm . Siltumizolācijai izmantota akmens vate. Temperatūras starpība starp apkārtējo vidi un kaltē esošo gaisu $\Delta t = 30^{\circ}\text{C}$. Siltuma zudumi caur kaltes sienām bez siltumizolācijas pārsniedz 2 kW .

Kā redzam lielākais enerģijas daudzums kaltēšanas procesā tiek izlietots nelietderīgi. Siltuma zudumos caur kaltes sienām un „liekā” gaisa uzsildīšanai tiek patērēti $\sim 4.7\text{ kW}$ jaudas, kamēr kaltēšanas procesam nepieciešams aptuveni 0.44 kW .



7. att. Siltuma zudumu jauda caur kaltes sienām.

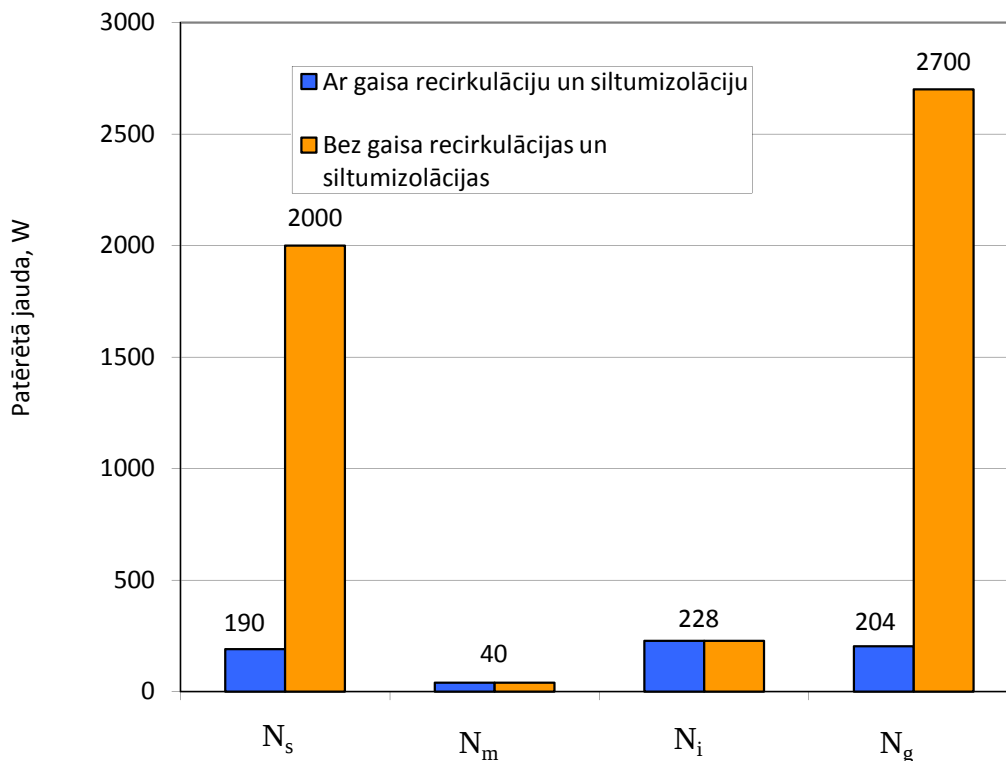
Siltumizolējot kaltes sienas ar 2.5 cm biezu akmens vates slāni, siltuma zudumi samazinās vairāk nekā 10 reizes. Biezāku siltumizolācijas slāni likt nav nepieciešams, jo iegūtais enerģijas ietaupījums ir samērā niecīgs.

Redzam, ka kaltes sienu siltumizolēšana, ļauj samazināt patērēto jaudu apmēram par 1.7 kW .

Lai ievērojami samazinātu enerģijas daudzumu mitruma iznesei, izdevīgi izmantot gaisa recirkulācijas principu. Vienreiz izejot caur kaltējamā materiāla slāni gaiss uzņem tikai ļoti nelielu mitruma daudzumu, tāpēc lietderīgi to atkārtoti novirzīt caur masu vairākas reizes, kamēr gaiss piesātinās ar ūdeni.

Kaltes efektivitāti raksturo 4. attēlā parādītais grafiks, kurā attēlota patērētā jauda kaltēm ar gaisa recirkulāciju salīdzinājumā ar parastajām kaltēm (pieņemts, ka abos gadījumos kaltes sienas ir ar siltumizolāciju).

Gaisa uzsildīšanai nepieciešamā jauda recirkulācijas režīmā noteikta eksperimentāli darbinot kalti dažādos režīmos. Uzrādītā gaisa uzsildīšanas jauda ($N_g = 204\text{ W}$) tika iegūta izvēloties efektīvāko kaltes modeļa darbības režīmu.



8. att. Kaltēšanas procesā patērētās jaudas salīdzinājums

N_s – caur kaltes sienām izplūstoša siltuma jauda, N_m – materiāla uzsildīšanai nepieciešamā jauda, N_i – ūdens iztvaicēšanai nepieciešamā jauda, N_g – jauda cirkulējošā gaisa uzsildīšanai

Dozēšanas procesa teorētiskā izpēte

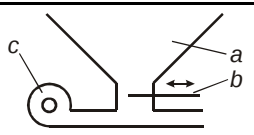
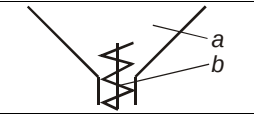
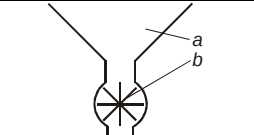
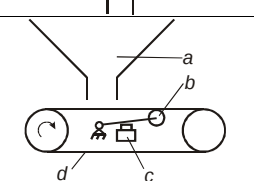
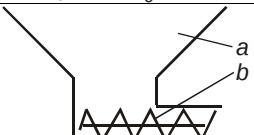
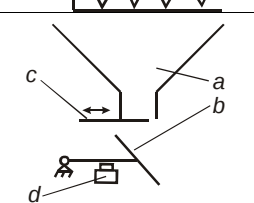
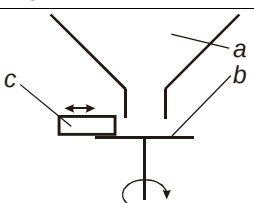
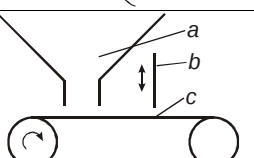
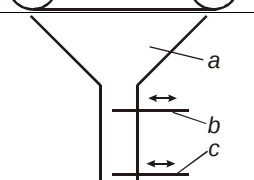
Dozatoru piemērotības izvērtēšanai smalcinātas biomasas dozēšanai tika izveidota tabula 1. Tabulā ietverti vairāki kritēriji: dozēšanas precizitāte, darbības cikliskums (pārtraukts, nepārtraukts), piemērotība slikti birstošiem materiāliem (smalcināti stieбри iedalāmi pie slikti birstošiem materiāliem), energoekonomiskums, izmaksas un regulēšanas iespējas. Izmantojot ekspertu metodi par vieniem no piemērotākajiem tika atzīti gliemežu (Nr. 2 un 5) un trumuļa dozatori (Nr. 3).

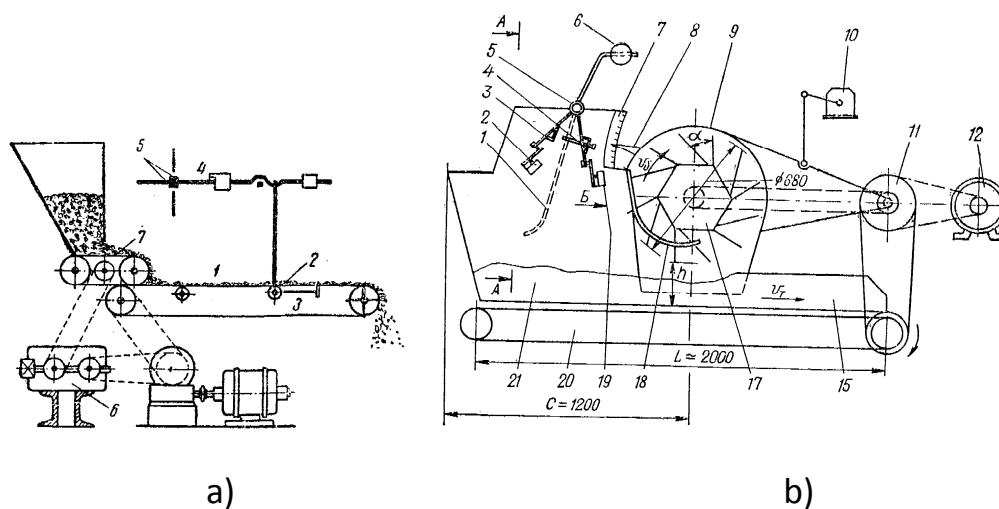
Praksē tiek pielietoti arī kombinētie dozatori (9. att.), taču viens no galvenajiem nosacījumiem ir, lai dozators būtu vienkāršs. Līdz ar to tā izgatavošanas un apkalpošanas izmaksas būs salīdzinoši zemākas.

Nepārtrauktas darbības maisītājam maisīšanas procesu būtiski ietekmē dozēšanas kvalitāte. Dozatora uzdevums ir noteiktā laika posmā padot no tvertnes noteiktu materiāla daudzumu nepārtrauktā plūsmā. Dozēšana var tikt nodrošināta: tilpumiski – ar dozatoriem, kas normē materiālu pēc tilpuma (gliemeža, vibro, diskveida, trumuļveida, lentas tipa); vai pēc svara – dozatori, kas aprīkoti ar spēka sensoriem. Spēka sensori nosaka svara izmaiņu dozatorā (lentas, gliemeža, u.c.).

1. tabula

Dozatoru piemērotības izvērtēšana smalcinātas biomasas dozēšanai

N.p.k.	Dozatoru veidi	Vērtēšanas kritēriji								
		Precizitāte	Darbības cikls	Piemērotība slikti birstošiem materiāliem	Energo- ekonomiskums	Izgatavošanas izmaksas	Ekspluatācijas izdevumi	Regulēšanas iespējas	Kopā	Vieta
1.		5	7	5	6	8	9	6	46	9
2.		9	10	10	8	8	8	9	62	1
3.		10	10	7	8	8	8	8	59	3
4.		6	10	5	8	6	6	8	49	7
5.		9	10	10	7	8	8	9	61	2
6.		6	10	5	10	6	8	7	52	5
5.		7	10	5	7	8	8	7	52	4
8.		5	10	5	7	8	8	6	49	8
9.		10	5	6	9	8	9	5	52	6



9. att. Kombinētie dozatori

Nepārtrauktas dozēšanas sistēmas sastāvdaļas ir:

- ✓ dozators – sadalītāj ierīce un regulators, masas nepārtrauktas plūsmas, ar iespējami augstāku dozēšanas precizitāti, nodrošināšanai;
- ✓ mēriekārta – veic tilpumisku materiāla mērīšanu, izmantojot dozatora formu un kustības ātrumu, vai svara mērījumus, nosakot caurplūstošā materiāla svaru;
- ✓ kontroles sistēma – kas nosaka dozatora kontrolēšanai vai regulēšanai izmantojamās vērtības.

Maisīšanas procesa teorētiskā izpēte

Maisījuma viendabīguma pakāpe. Maisīšanas procesa stadiju raksturo kvantitatīvs rādītājs, t.i. maisījuma viendabīguma (homogenitātes) pakāpe, kas izteikta ar komponentu masu attiecību procentos jeb vieninieka daļās.

Par maisījuma viendabīgumu var spriest pēc variācijas koeficienta:

$$\Theta_m = 100 \sqrt{\frac{\sum (B_t - B_0)^2}{n - 1}} \cdot \frac{1}{B_t}, \quad (1)$$

kur B_t – mazākās komponentes daļa paraugā;
 B_0 – mazākās komponentes daļa ideālā maisījumā;
 n – paraugu skaits.

Praktiski maisīšanas procesu vajadzētu uztvert kā varbūtisku un maisījuma viendabīguma pakāpi noteikt, ņemot noteiktu skaitu paraugus ar sekojošu statistisku paraugu apstrādi. Kā nosakāmais parametrs var tikt pieņemts: dotās komponentes daļu skaits paraugā vai tās masas attiecība, daļu izmēri, kontaktvirsmas laukums un citas pazīmes. Galarezultātā tiek iegūta skaitļu grupa, kas raksturo n paraugu pēc mums interesējošās pazīmes.

Ja ar P apzīmēsim pētāmās komponentes patieso daudzumu maisījumā, tad standartnovirze teorētiskai σ_t un empīriskai σ_e izkliedei iegūs šādu izskatu:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - P)^2} ; \quad (2)$$

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} , \quad (3)$$

kur: x_i – komponentes daudzums i – tajā komponentē;

$\bar{x}$ – tās pašas komponentes vidējais aritmētiskais daudzums, kas noteikts ar eksperimentu palīdzību.

Par maisījuma vienmērīgumu var spriest arī pēc standartnoviržu attiecības:

$$\Theta_\sigma = \frac{\sigma_t}{\sigma_e} \quad (4)$$

σ_t teorētiskā sadalījuma izkliede vienmēr būs mazāka, kā empīriskam sadalījumam, tāpēc lielums Θ_σ mainās robežās no 0 līdz 1. Ņemot vērā, ka homogēnā maisījumā $\sigma_t \approx \sigma_e$, tad pēc Θ_σ var spriest par maisīšanas procesa pabeigtību, t.i., jo koeficients Θ_σ atrodas tuvāk 1, jo maisījums homogēnāks.

Maisījuma homogenitāti var noteikt arī pēc vēl viena statistikas rādītāja, t.i., dispersijas. Jo mazāka komponentes dispersija visā maisījumā, jo kvalitatīvāks maisījums. Literatūrā par maisījumu kvalitāti, dispersija bieži pieminēta kā maisījuma viendabīguma pakāpe. Teorētiskā dispersija noteiktam paraugu skaitam tiek aprēķināta sekojoši:

$$\sigma_t^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - P)^2 \quad (5)$$

Dispersija (ģenerālkopas dispersija) tiek aprēķināta sadalot visu maisījumu n paraugos un katram no tiem nosakot koncentrāciju, t.i. komponentes proporciju x_i .

Gadījumā, ja netiek pārbaudīts viss maisījums, bet tikai dažādās brīvi izvēlētās vietās ņemtie paraugi, tad iegūst izlases dispersiju s^2 . Izlases dispersija reprezentē nezināmo ģenerālkopas dispersijas vērtību. Daudzos gadījumos komponentes proporcija P nav zināma un tāpēc izlases dispersijas aprēķināšanai tiek izmantots vidējais aritmētiskais μ_v no eksperimentos iegūtajām komponentes proporcijas x_i vērtībām [17].

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_v)^2 \quad (6)$$

$$\mu_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7)$$

Lai noteiktu σ^2 ticamības intervālu pie norādītās ticamības, nepieciešams dispersijas s^2 sadalījums. Tā kā s^2 ir nejauši izvēlētu paraugu dispersija, tā atbilst χ^2 sadalījumam ar brīvības pakāpi $n - 1$. Sagaidāmā izlases dispersijas atbilstība patiesai jeb ģenerālkopas dispersijai būs:

$$s^2 E = \sigma^2 , \quad (8)$$

kur $E = \frac{(n-1)}{\chi^2}$

Ticamība W , ka dispersija σ^2 atradīsies ticamības intervālā var tikt aprēķināta ar sekojošo formulu:

$$W \left((n-1) \frac{s^2}{\chi_u^2} < \sigma^2 < (n-1) \frac{s^2}{\chi_l^2} \right) = \Phi(\chi_u^2) - \Phi(\chi_l^2) , \quad (9)$$

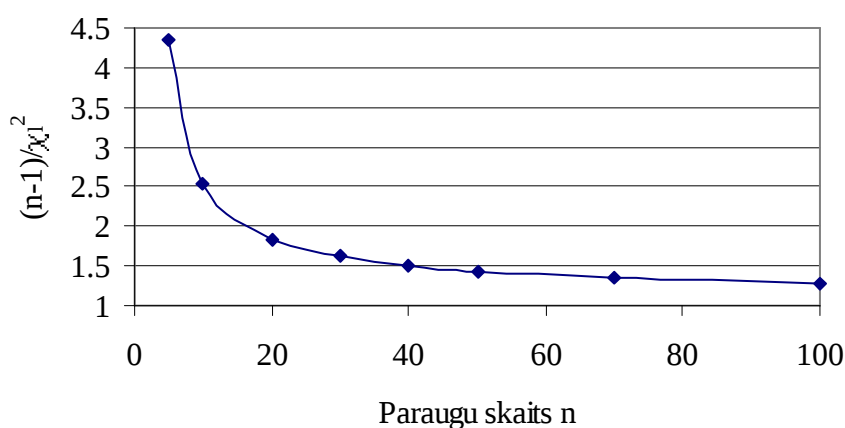
kur $\Phi(\chi^2)$ – χ^2 sadalījuma summa;

χ_u^2 un χ_l^2 – attiecīgi augstākā un zemākā robeža.

Maisījuma kvalitātes novērtēšanai parasti lieto vienaspusēju ticamības intervālu. Tas attiecas uz augšējo robežu, jo pie dotās ticamības dispersija to nepārsniedz. Tāpēc Rašs (*Raasch*) un Zomers (*Sommers*) formulu (9) pārveidoja [17]:

$$W\left(\sigma^2 < (n-1) \frac{s^2}{\chi_l^2}\right) = 1 - \Phi(\chi_l^2), \quad (10)$$

Attēlā 10. parādīti dispersijas s^2 reizinātāji E (pie ticamības 95%) atkarībā no paraugu skaita n . Piemēram, ja tiek ņemts 31 paraugs, tad dispersijas σ^2 zemākā robeža ir 1,6 un eksperimentālo paraugu dispersijas s^2 reizinājums. Tātad ar 95 % ticamību varam apgalvot, ka maisījuma dispersija σ^2 ir mazāka kā $1,6 \times s^2$.



10. att. E vērtības atkarībā no paraugu skaita

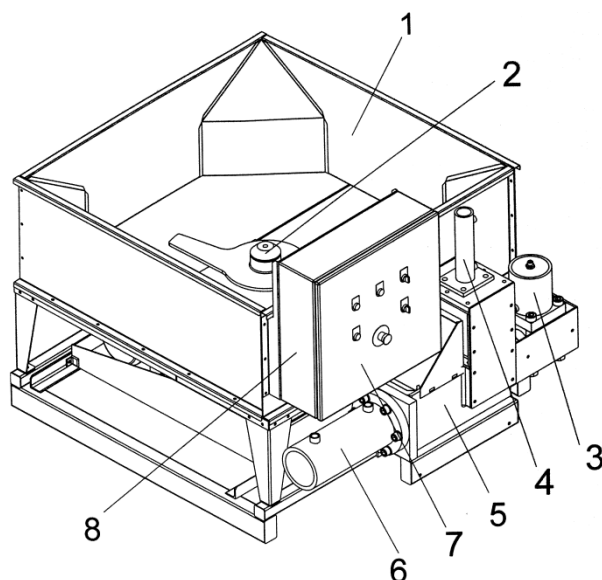
Mobilā briketētāja prototipa izstrāde un briketēšanas, granulēšanas procesa eksperimentālie pētījumi (dažādu biomasu maisījuma granulēšana/ briketēšana, īpatnējā enerģijas patēriņa noteikšana, utt.).

Briketēšanas eksperimenti.

Briketēšanas eksperimenti veikti Latvijas Lauksaimniecības universitātes Meža fakultātes Kokapstrādes katedrā. Briketēšanai izmantota hidrauliskā prese BrikStarCS (11. att.).

BrikStarCS hidrauliskās preses ražīgums ir 30 – 60 kg h⁻¹. Maksimālais darba spiediens 18 MPa. Šī briketēšanas iekārta paredzēta dažādus celulozi saturošos, birstošos materiālu briketēšanai, kur materiāla mitrums ir robežās no 8 līdz 18 %. Ieteicamais materiāla frakcijas lielums ir mazāks par 15 mm. Izgatavoto briķešu blīvums ir no 600 līdz 1100 kg m⁻³. Briķešu garums ir no 30 līdz 50 mm un diametrs 65 mm [19].

Iepildītais briketēšanas materiāls no tvertnes 1 ar ekstrūderi tiek padots uz sākotnējās saspiešanas kameru, kur ar hidrocilindru 4 materiāls tiek iepildīts presēšanas kamerā 5. Hidrocilindrs 3 nodrošina pretestību, kas nepieciešama briketēšanas procesam. Materiāls tiek saspīests presēšanas kamerā 5 ar darba cilindra virzuli. Briketēšanas procesa kontrole tiek nodrošināta ar vadības bloka 8 un vadības rīku 7 starpniecību.



11. att. **Hidrauliskā briketēšanas iekārta BrikStarCS:** 1 – tvertne, 2 – maisītājs, 3 – iespīlēšanas cilindrs, 4 – sākotnējās saspiešanas cilindrs, 5 – presēšanas kamera, 6 – darba cilindrs, 7 – vadības rīki, 8 – vadības bloks

Veicot briketēšanas eksperimentus (12. att.) ar rūpnieciskos briketēšanas iekārtu BrikStarCS tika izmantoti sekojoši niedru un kūdras materiāli:

- ✓ rupji smalcinātās niedres un to maisījumi ar kūdru – 15 un 30% (smalcināšanai izmantots modificēts koksnes smalcinātājs Tuenniseen GM-10;
- ✓ maltas niedres un to maisījumi ar kūdru – 15, 30 un 50% (sk. 13. att.) (dzirnavas TFS, sieta izmērs 6 mm).

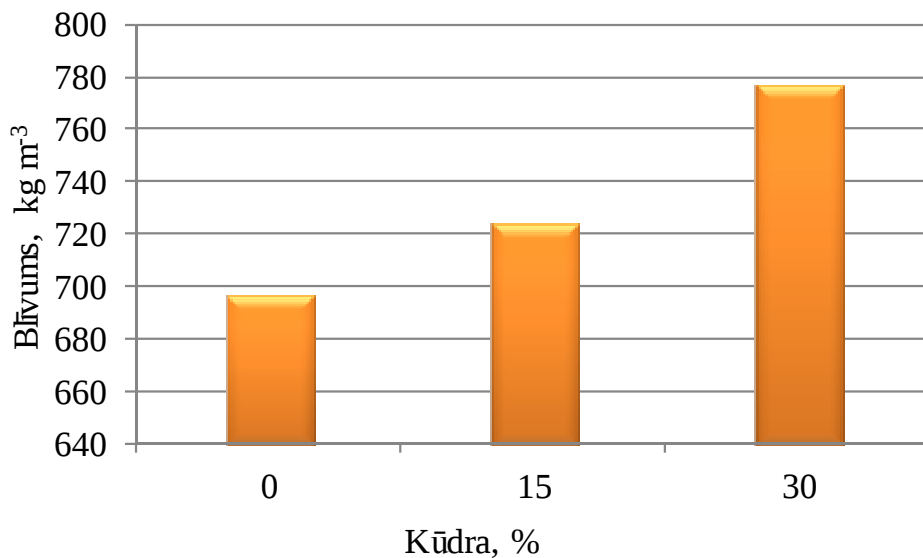


12. att. Briketēšanas eksperimenti ar BrikStarCS presi



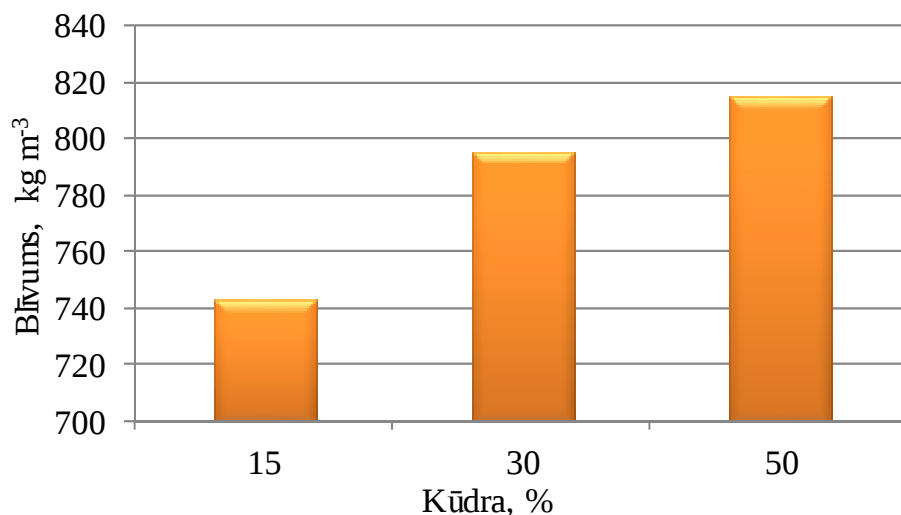
13. att. Niedru frakcija samāļot ar TFS dzirnavām (siets 6 mm)

Iegūtajām briketēm noteikts blīvums. Iegūtie rezultāti redzami 14. un 15. attēlos.



14. att. Brikešu blīvums atkarībā no kūdras daudzuma maisījumā (rupji smalcinātās)

No iegūtajiem rezultātiem redzams, ka briketējot niedres bez kūdras piemaisījuma brikešu blīvums iegūts 697 kg m⁻³. Savukārt, maisījumam ar 15% kūdras piejaukumu brikešu blīvums iegūts 725 kg m⁻³ un maisījumam ar 30 % – 777 kg m⁻³.

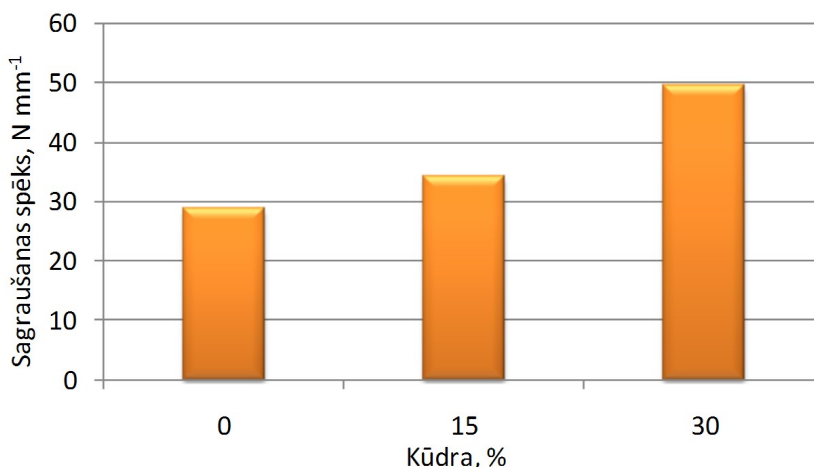


15. att. Brikešu blīvums atkarībā no kūdras daudzuma maisījumā (malto niedres)

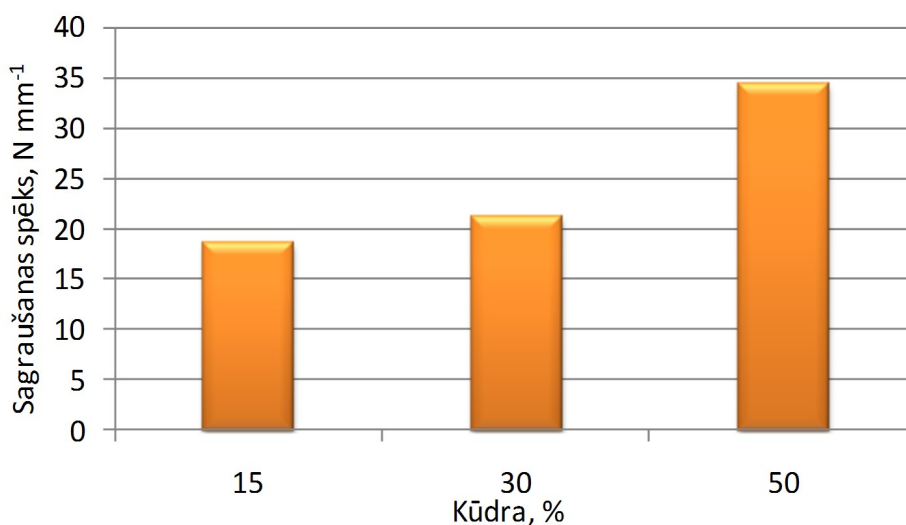
No iegūtajiem rezultātiem redzams, ka palielinot kūdras procentuālo daudzumu maisījuma sastāvā no 15 līdz 50% brikešu blīvums pieaug no 743 līdz 815 kg m⁻³.

Savstarpēji salīdzinot rupji smalcināto niedru un malto niedru blīvumus ar kūdras piemaisījumu 15 un 30% redzams, ka blīvums ir lielāks par aptuveni 18.6 kg m⁻³ briketēm, kas izgatavotas no smalkākas niedru un kūdras frakcijas.

Briketēm noteikts īpatnējais sagraušanas spēks. Iegūtie rezultāti rupji smalcinātajām niedru frakcijām doti 16. attēlā, bet maltajām niedrēm 17. attēlā.



16. att. Briekšu īpatnējais sagraušanas spēks atkarībā no kūdras daudzuma (rupji smalcinātās niedres)



17. att. Briekšu īpatnējais sagraušanas spēks atkarībā no kūdras daudzuma (malta niedres)

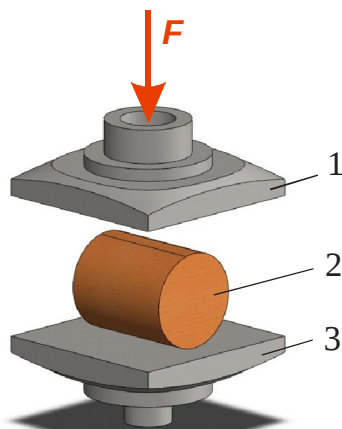
Savstarpēji salīdzinot briekšu īpatnējos sagraušanas spēkus redzams, ka sagraušanas spēks ir lielāks rupji smalcinātajām niedrēm – pie 15% kūdras par 15.5 N mm⁻¹ un pie 30% kūdras par 28.4 N mm⁻¹.

Noturības pētījumi dažādu maisījumu granulām, briketēm

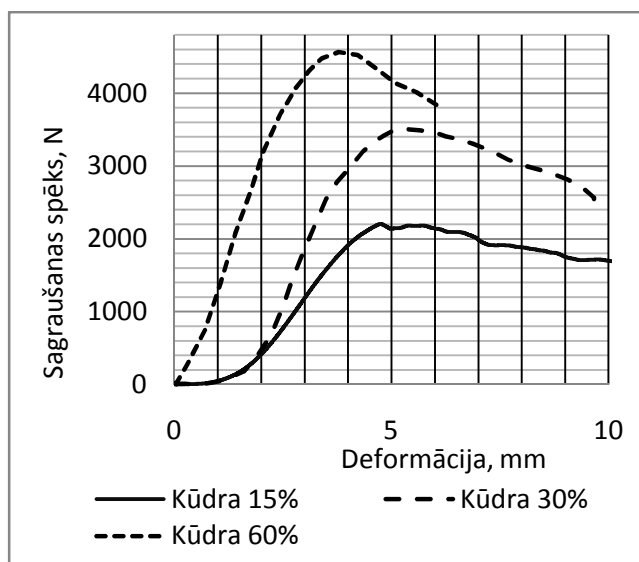
Lai noteiktu dažādu maisījumu briekšu noturību vispirms tika veikti literatūras pētījumi par citu pētnieku veiktajiem eksperimentiem, kā arī standartu un patentliteratūras pētījumi. Tika ņemta vērā arī LLU Mašīnu mehānikas laboratorijā uzkrātā pieredze briekšu noturības noteikšanā. Iepriekšējos pētījumos tika noteikta izturība biomasas maisījumu briketēm, kas izgatavotas no smalki smalcinātas biomasas. Šo briekšu diametrs bija 30mm un to izturība tika noteikta veicot tangenciālo cirpes spriegumu eksperimentālos mērījumus [1].

Rūpnieciski ražoto briķešu diametrs ir ap 60mm. Lai varētu noteikt šādu briķešu izturību, tika veikti literatūras pētījumi, kur laikā tika noskaidrota metode īpatnējā sagraušanas spēka noteikšanai [3,4].

Īpatnējā sagraušanas spēka noteikšanu veic slogojot briķeti spiedē perpendikulāri briķetes garenasij, 18. att. Slogošanu veic izmantojot materiālu testēšanas iekārtu Gunt WP 300, briķeti sagraujot, uzņem sagraušanas līkni (19. att.).



18. att. Briķetes sagraušana
1 – spiedējplāksne; 2 – briķete; 3 – atbalsta plāksne



19. att. Briķešu sagraušanas spēka izmaiņa atkarībā no pārvietojuma

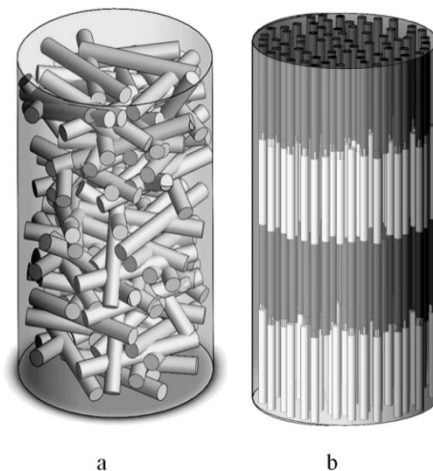
Lai varētu salīdzināt dažāda garuma briķešu izturību, aprēķina īpatnējo sagraušanas spēku F_s :

$$F_s = \frac{F}{L}, \quad (1)$$

kur F_s – īpatnējais sagraušanas spēks, $N \cdot m^{-1}$; F – maksimālais sagraušanas spēks, N ; L – briķetes garums, mm .

Lai nodrošinātu pietiekošu mērījumu precizitāti, tika veikti vismaz 11 atkārtojumi ar katru paraugu. Eksperimentos izmantoto niedru un kaņepju stiebru mitrums bija mazāks par 10%.

No iegūtajām sagraušanas līknēm tika noteikts katras briketes maksimālais sagraušanas spēks un izmērīts briketes garums. Iegūtie dati tika statistiski apstrādāti un apkopoti grafikos, kas uzskatāmi parāda dažāda sastāva biomasas briķešu izturību, ja briketes gatavotas no rupja smalcinājuma daļiņām un daļiņas sakārtotas briketēšanas cilindrā paralēli tā garenasij (20. att.).



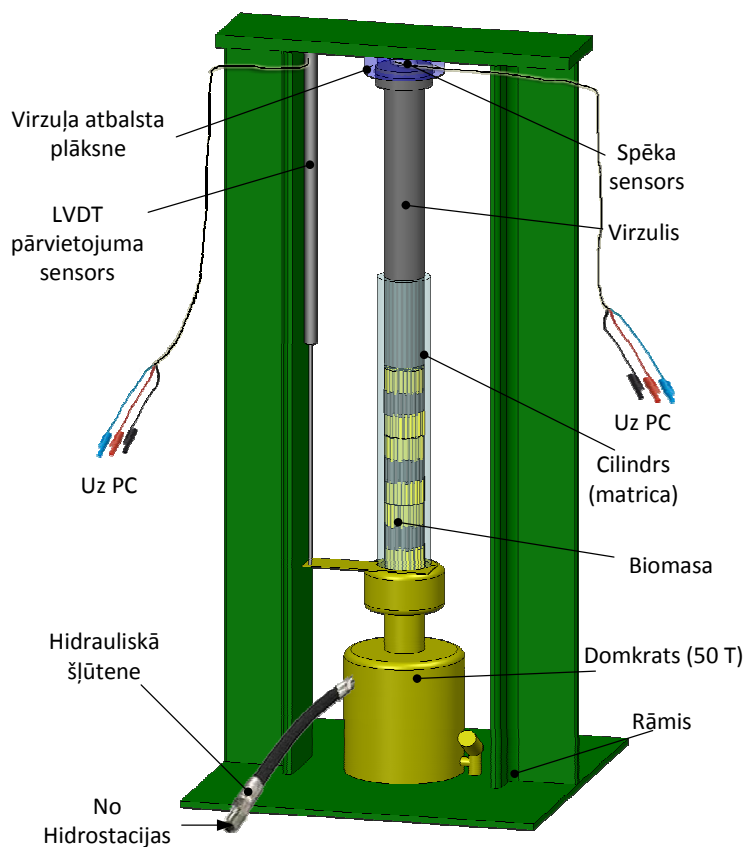
20. att. Stiebru biomasas izkārtojums cilindrā
a – nesakārtots; b – sakārtots

Izmantojot šo metodiku tika veikta eksperimentāli izgatavoto briķešu izturības noteikšana niedru, niedru un kūdras maisījuma un kaņepju stiebru briķetēm.

Sensoru un virtuālo instrumentu izvēle briķešu noturības eksperimentiem

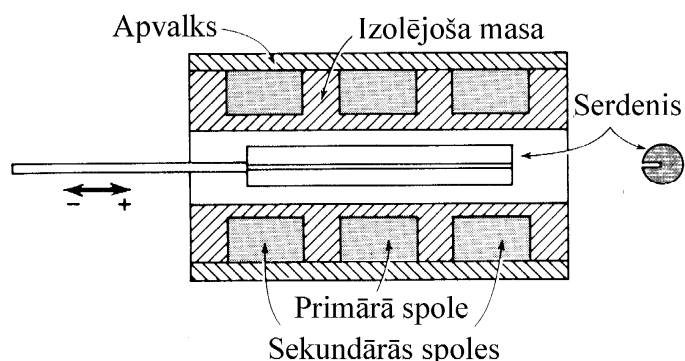
Lai iegūtu salīdzināmus rezultātus būtiska nozīme ir eksperimentos izmantojamajiem mērinstrumentiem un datu ieguves un apstrādes programmām.

Pirmais posms pētījumu veikšanā ir eksperimentālo briķešu izgatavošana. Tā jāveic tā, lai atsevišķās briķetes minimāli atšķirtos viena no otras, kas gala rezultātā ļauj nodrošināt nelielu mērījumu rezultātu izkliedi un pietiekošu mērījumu ticamību. Stiebru biomasa ir nehomogēns materiāls, tāpēc tika pievērsta pastiprināta uzmanība briķetēšanas procesa parametru mērījumiem. Briķetēšanas procesā jānodrošina vienmērīga masas saspiešana cilindrā. Briķešu izgatavošanai tika izmantots laboratorijā izgatavotais eksperimentālais stends, kas nodrošina aukstās briķetēšanas procesu saspiežot biomasu nemainīga diametra matricā (21. att.). Briķetes saspiešanas spēks tika mērīts ar spēka sensoru, bet virzuļa pārvietojums ar augstas precizitātes induktīvo pārvietojuma sensoru. No induktīvajiem sensoriem labākos rezultātus uzrāda lineārie diferenciālie sensori, kuru uzbūve redzama 22. attēlā. Maiņstrāvas barošanas spriegums tiek pievadīts centrā esošajam primārajam tinumam. Izejas spriegums ir vienāds ar spriegumu starpību sekundārajās spolēs.



21. att. Eksperimentālā briketēšanas prese

Inducētā sprieguma vērtība katrā sekundārajā tinumā ir atkarīga no serdeņa stāvokļa attiecībā pret spolēm.



22. att. Rūpnieciski ražota lineārā diferenciālā transformatora konstrukcija

Ja serdeņa novirzes no centrālā stāvokļa ir nelielas, tad ierīces izejas signāls ir lineāri mainīgs atkarībā no serdes pārvietojuma.

Lineārā posma garums rūpnieciski ražotajiem diferenciālajiem transformatoriem ir norādīts to pasē, un tie reti kad tiek ekspluatēti ārpus šīs zonas. Pārvietojuma mērīšanai tika izvēlēts kompānijas RD electronics LDT ar mērdiapazonu 50 cm.

Spēka mērīšanai tika izvēlēts pjezorezistīvā tipa cilindriskais spiedes sensors ar mērdiapazonu 500 kN un mērtilta jutību 20 mV/V.

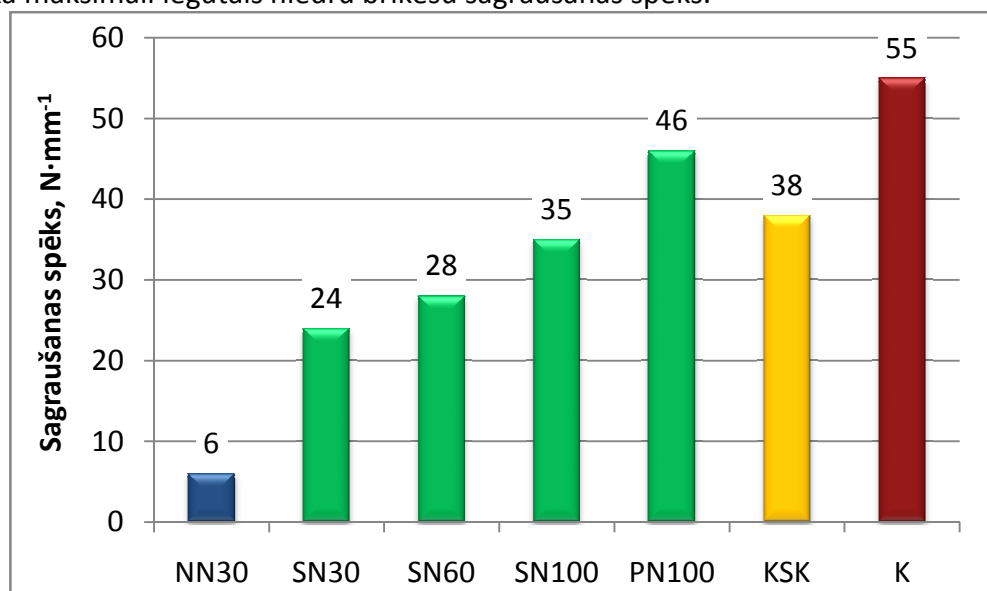
Iegūtie sensoru izejas spriegumi tika reģistrēti datorā izmantojot kompānijas *Picotech* virtuālos instrumentus. Rezultātu matemātiskā apstrāde tika veikta ar programmas *Excel* rīkiem.

Īpatnējā briekšu sagraušanas spēka novērtējums.

Eksperimentāli tika pārbaudīta izturība niedru un niedru kūdras maisījuma briekšu izturība briketēm ar diametriem 62 mm un 36 mm izgatavotām pie dažādiem spiedieniem. Briketes ar diametru 62 mm tika izgatavotas presējot masu ar spiedienu 158 MPa.

Sakārtojot niedru daļiņas briketēšanas cilindrā paralēli tā garenasij, izgatavoto briekšu izturība ievērojami palielinās. Ja daļiņu garums ir 30mm, tad struktūras sakārtošana palielina briekšu izturību 4 reizes (23. att.). Palielinot sakārtotas struktūras briekšu daļiņu garumu līdz 100mm, briekšu sagraušanas spēks sasniedz 35 N·mm⁻¹.

Salīdzinājumam ar iepriekš minēto metodi tika noteikts sagraušanas spēks rūpnieciski ražotām kokskaidu briketēm. Iegūtā vērtība (38 N·mm⁻¹) ir tikai nedaudz lielāka par sakārtotas struktūras niedru briekšu sagraušanas spēka vērtību, ja daļiņu garums ir 100 mm. Ja pirms briketēšanas niedres tiek saplacinātas, tad izgatavoto briekšu izturība sasniedz 46 N·mm⁻¹. Pārbaudot aukstās briketēšanas tehnoloģijā izgatavoto kūdras briekšu izturību, tika konstatēts, ka īpatnējais sagraušanas spēks šādām briketēm sasniedz 55 N·mm⁻¹. Tas ir ievērojami lielāks nekā maksimāli iegūtais niedru briekšu sagraušanas spēks.



23. att. Īpatnējais sagraušanas spēks niedru briketēm ($d=62\text{mm}$) salīdzinājumā ar kokskaidu un kūdras briketēm

Apzīmējumi:

NN30 – niedres ar nesakārtotu struktūru, daļiņu garums $l=30\text{mm}$

SN30 – sakārtotas struktūras niedru briketes, $l=30\text{mm}$

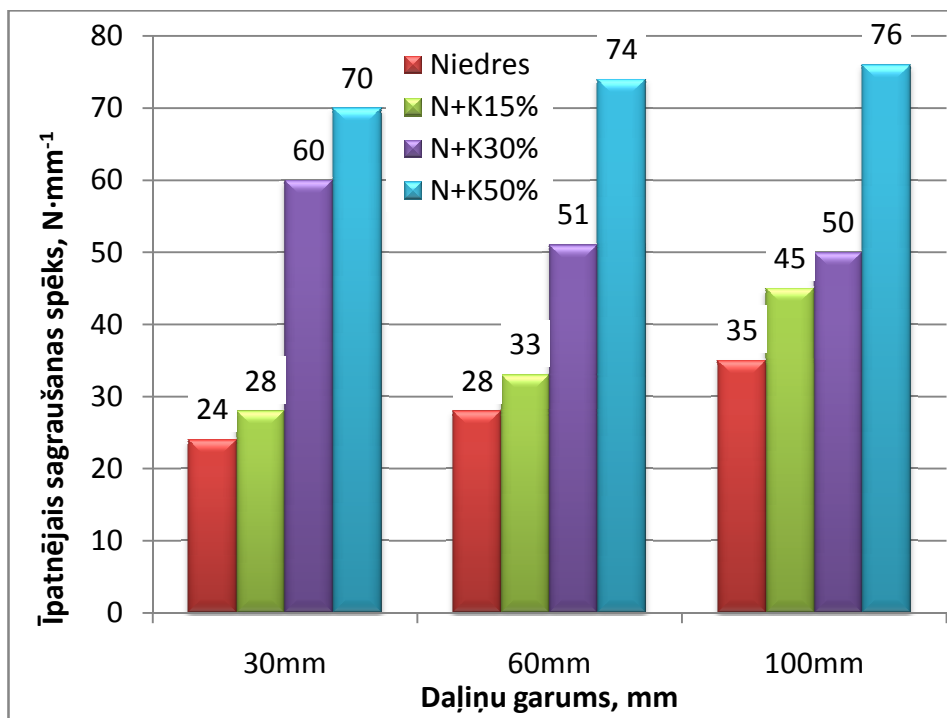
SN60 – sakārtotas struktūras niedru briketes, $l=60\text{mm}$

SN100 – sakārtotas struktūras niedru briketes, $l=100\text{mm}$

PN100 – placinātu niedru briketes ar sakārtotu struktūru, $l=100\text{mm}$

KSK – rūpnieciski ražotas kokskaidu briketes

K – kūdras briketes



24. att. Sakārtotas struktūras niedru – kūdras maisījuma briekšu īpatnējais sagraušanas spēks.

Pievienojot niedrēm kūdras piedevu, izgatavoto briekšu izturība palielinās (24. att.). Ja kūdras saturs maisījumā ir 15%, briekšu izturība palielinās tikai nedaudz, un kokskaidu briekšu izturību pārsniedz tikai briketēm ar daļiņu garumu $l=100$ mm. 30% kūdras piedeva maisījumā ievērojami palielina briekšu īpatnējo sagraušanas spēku.

Briekšiem ar daļiņu garumu 30 mm tas sasniedz $60 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$, tas ir ievērojami lielāks par kokskaidu briekšu izturību ($38 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$) un pārsniedz arī kūdras briekšu sagraušanas spēku ($55 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$). Izgatavojot briekšus no niedru daļiņām ar garumu 60 mm un 100 mm, 30% kūdras piedeva briekšu izturību palielina mazāk intensīvi un sagraušanas spēks sasniedz apmēram $50 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ (24. att.). Ja kūdras daudzums maisījumā sasniedz 50%, iegūto briekšu īpatnējais sagraušanas spēks pārsniedz $70 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ un niedru daļiņu garums to ietekmē nebūtiski.

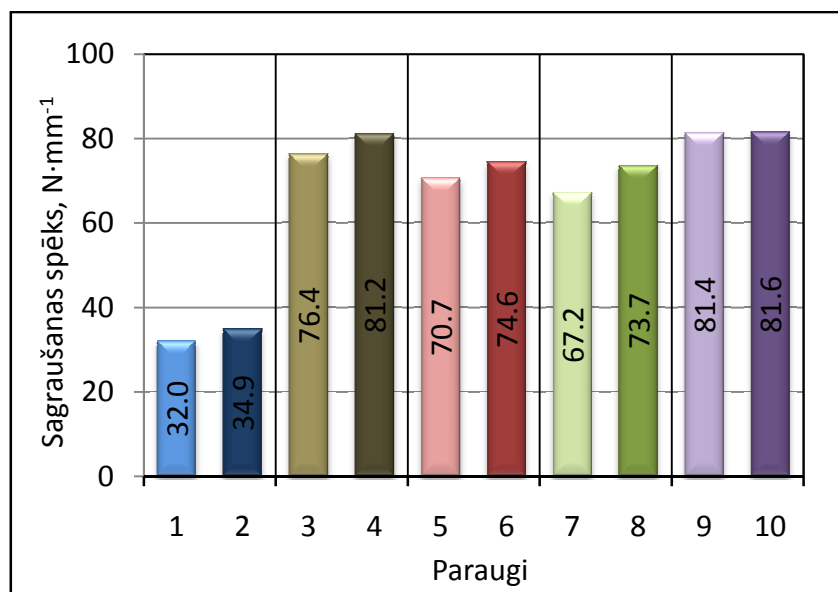
Niedru briekšu īpatnējais sagraušanas spēks atkarībā no daļiņu garuma, briketēm ar diametru 36 mm, redzams 25. attēlā.

Sakārtotas struktūras niedru briekšu ar diametru 36 mm īpatnējais sagraušanas spēks sasniedz $35 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$, ja briketēšanas spiediens ir 212 MPa. Tas ir aptuveni tāds pats kā rūpnieciski ražotajām kokskaidu briketēm. Palielinot daļiņu garumu virs 60 mm, briekšu izturība ievērojami pieaug un ir robežās no $\sim 71 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ līdz $82 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$. Redzam, ka šī vērtība ir aptuveni divas reizes lielāka par kokskaidu briekšu izturību un sasniedz izturību kas atbilst niedru kūdras maisījuma briketēm ar 50% kūdras piedevu, skat. 24. att.

Briekēšanas spiediena palielināšana no 158 MPa uz 212 MPa briekšu izturību palielina par 5 – 10%.

Laboratorijas eksperimentos veikti sakārtotas struktūras briekšu mehāniskās izturības pārbaude. Rupji smalcinātu kviešu salmu un niedru briekšu īpatnējais sagraušanas spēks sasniedza $35 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$, kas ir aptuveni tāds pats kā rūpnieciski ražotai kokskaidu briketi. Kaņepju stiebru briekšu īpatnējais sagraušanas spēks sasniedza $115 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$. Lai uzlabotu salmu un

niedru briekšu sadegšanas īpašības un samazinātu korozijas risku kurtuvju elementiem, rekomendējama kūdras pievienošana briekšu sastāvam. Eksperimentāli tika noteikta kompozītu briekšu (niedres + kūdra) noturība. Šādu briekšu blīvums pārsniedza rekomendējamo $1.0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Briekšu sagraušanas spēks, atkarībā no daļiņu izmēra, bija robežās no 70 līdz $78 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$.



Apzīmējumi:

Parauga Nr. attēlā	Daļiņu lielums, mm	Spiediens briketēšanas matricā, MPa
1	N30	158 MPa
2	N30	212 MPa
3	N60	158 MPa
4	N60	212 MPa
5	N100	158 MPa
6	N100	212 MPa
7	N150	158 MPa
8	N150	212 MPa
9	N300	158 MPa
10	N300	212 MPa

25. att. Niedru briekšu īpatnējais sagraušanas spēks, briekšu diametrs 36 mm

Izmantotā literatūra

1. *Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality*; Edited by Gustavo V. Barbosa-Cánovas. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2005. 381 p. ISBN 0-306-47806-4.
2. *Bulk Solids Handling*. Edited by Don McGlinchey. Oxford: Blackwell Publishing Ltd. 2008. 289. p. ISBN-13: 978-1-4051-5825-1.
3. Основы расчета и конструирования машин и автоматов пищевых производств. Под. ред. А.Я.Соколова. Москва: Машиностроение. 1969. 637 стр.
4. Arnold P. C., McLean A. G., Roberts A. W. The design of storage bins for bulk solids handling. *Bulk Solids Handling*, Nr. 1, 1981, p. 7-17.
5. Boss J., Knapik A. T., Węgrzyn M. Segregation of heterogeneous grain systems during mixing in static mixers. *Bulk Solids Handling*, Nr. 6, 1986, p. 145-149.
6. S+SPATIALSTATS – User's Manual [tiešsaiste]: MathSoft Inc., Seattle [skatīts 2007-04-12]. Pieejams: <http://www.demog.berkeley.edu/~carlm/213/REF/unixug.pdf>
7. McCarthy J. J., *Mixing, segregation and flow of granular materials*. Evanston: Northwestern University, 1998. 220 p.
8. Molenda M., Horabik J., Ross I. J. Loads in model grain bins as affected by filling methods. *Transactions of the ASAE*, Vol. 36, No. 3, 1993, p. 915-919.
9. Molenda M., Horabik J., Ross I. J. Dynamic load response in a model bin at the start of grain discharge. *Transactions of the ASAE*, Vol. 38, No. 6, 1995, p. 1869-1873.
10. Molenda M., Horabik J., Ross I. J. Effect of filling on load distribution in model grain bins. *Transactions of the ASAE*, Vol. 39, No. 1, 1996, p. 219-224.
11. Molenda M., Horabik J., Ross I. J. Wall loads in a model grain bin during fill and unload cycles. *Transactions of the ASAE*, Vol. 42, No. 3, 1999, p. 771-775.
12. Molenda M., Horabik J., Ross I. J., 2001. Comparison of loads on smooth and corrugated – wall model grain bins. *International Agrophysics*, Vol. 15, Nr. 2, 2001, p. 95-100.
13. Tukiendorf M. Characteristics of mixing granular materiāls achieved by using methods of variance analysis and geostatistical functions [tiešsaiste]: [skatīts 2007-04-12]. Pieejams: <http://www.ejpau.media.pl/series/volume6/issue1/engineering/art-03.html>
14. Rose H.E. A suggested equation relating to the mixing of powders and its application to the study of the performance of certain types of machine. *Trans. I Chem. Eng.*, Nr. 37, 1959, p. 47-64.
15. С.В. Мельников. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Ленинград: Колос, 1978. 560 с.
16. A. Levy, H. Kalman. *Handbook of conveying and handling of particular solids*. – Elsevier Science. Eastbourne: Antony Rowe Ltd., 2001. 860 pp.
17. R. Weinekötter, H. Gericke. *Mixing of solids*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2000. 151 pp.
18. J. C. Williams. *Mixing theory and practice*. Edited by V. W. Uhl and J. B. Gray. Orlando: Academic Press, 1986. 215 p.

19. BrikStar CS Hydraulic Briquette machine. Pieejams: http://www.o2filtration.com/pdf/BrikStar_CS_C-12_GB_20090408.pdf, 15.05.2011.
20. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Leitfaden Bioenergy. (Specialized Agency for Raw Materials) Manual of Bioenergy. 2000, Gülzow, Germany.
21. What do pellets cost. Pieejams: <http://www.pelletheat.org/fuel/79133.shtml>, 28.10.2008.
22. Golder Associates. Roll – press lime briquetting. Pieejams: <http://www.hazmatmag.com/library/recycling/0898.html> - Resurss apraksts, 03.10.2009.
23. Technical Research Centre of Finland. Wood pellets in Finland – technology, economy, and market. Pieejams: http://www.tekes.fi/opet/pdf/OPET_report5_june2002.pdf, 25.05.2009.
24. Densified biomass fuels in Sweden for the EU/INDEBIF Project. Pieejams: <http://www.pellets2002.com/country%20report%20Sweden.pdf>, 03.11.2009.
25. European Commision. Woodpellets in Europe. Pieejams: [http://www.eva.ac.at/\(en\)/publ/pdf/pellets_net_en.pdf](http://www.eva.ac.at/(en)/publ/pdf/pellets_net_en.pdf) - Resurss apraksts, 25.06.2009.
26. Technological Fundamentals of Briquetting Cotton Stalks as a Biofuel. Pieejams: <http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/el-saeidy-ehab-2004-07-09/PDF/El-Saeidy.pdf>, 10.01.2011.
27. Household Energy Network. Pieejams: http://www.hedon.info/BP12_ResidueUtilization-ARecentExampleFromAfrica, 25.03.2011.
28. Manickam, I. Neethi, Ravindran, D. and Subramanian P. (2006) Biomass Densification Methods and Mechanism. Distributed Generation & Alternative Energy Journal, 21: 4, pp 33 – 45.
29. BS EN 14774-2:2009: Solid biofuels Determination of moisture content – Oven dry method – Part 2: Total moisture – Simplified method.
30. A. Kaķītis, I. Nulle, D. Ancāns. Durability of the arranged structure biomass briquettes. In: Engineering for rural development: Proceeding of 9th International Scientific Conference. Jelgava: LUA, Faculty of Engineering, 2010, pp. 285 – 289.
31. Hahn B. Existing Guidelines and Quality Assurance for Fuel Pellets. Pellets for Europe. Pieejams: <http://www.pelletcentre.info/resources/1020.pdf>, 10.01.2011.
32. Matúš M., Križan P. Influence of structural parameters in compacting process on quality of biomass pressings. Journal of applied mathematics. Volume 3, Number 3, (2010), p. 87 – 96.
33. Ģeoloģiskie novērojumu. Kūdra. Pieejams: <http://mapx.map.vgd.gov.lv/q3inflv/noveroumi/nv08.htm>, 15.04.2011.
34. Bord Na Mona. Peat for Energy. Pieejams: www.bnm.ie/files/20061124040716_peat_for_energy.pdf, 07.04.2011.