

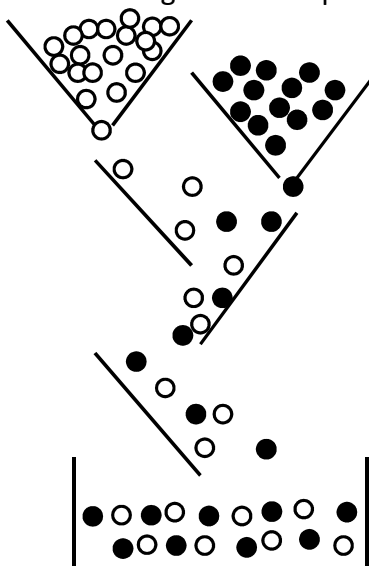
Kopsavilkums par 4. pārskata periodā veiktajām darbībām

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

MAISĪJUMU KVALITĀTE

Maisīšanas procesu ietekmē [2]: komponentu blīvums; daļiņu lielums un daļiņu lieluma izkliede; mitrums; daļiņu forma.

Maisīšana dozējot ir viens no maisīšanas veidiem plūsmā. Plūsmas sajaucas izplūstot no dozatoriem. Labi plūstošiem materiāliem iespējams izmantot statiskos maisītājus. Statiskais maisītājs birstošās masas plūsmu vairākkārtīgi sadala un pēc tam atkal savieno vienā 1. att..



1. att. Statiskais maisītājs

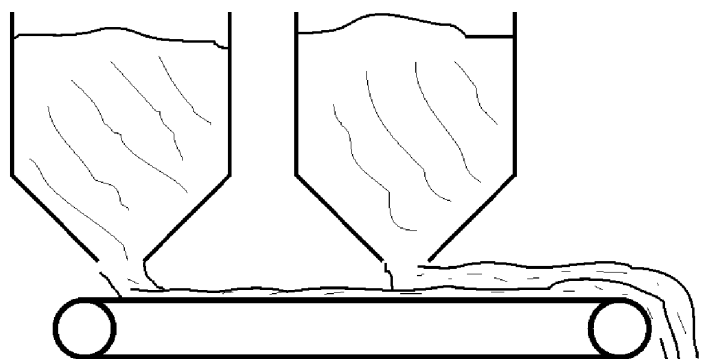
Maisot plūsmā komponentes nepārtraukti tiek ievadītas maisītājā, tad samaisītas un novadītas līdz nākamam procesa solim. Maisīšanas laiks plūsmas maisītājos ir salīdzinoši īsāks par cita veida maisītājiem. Kā mīnusu var minēt masas zaudējumus, maisītājam uzsākot un beidzot savu darbu. Taču kā pozitīvu faktu var minēt, ka pat maisītājs ar augstu ražīgumu ir mazs pēc gabarītiem. Maisīšanai plūsmā nav nepieciešamas tik daudz glabāšanas tvertnes, kā tas ir cikliskajā maisīšanā. Arī automatizācijas process krietni vienkāršojas.

Maisot plūsmā, maisītājam jānodrošina, ka tajā ievadītās komponentes tiek radiāli samaisītas, t.i., perpendikulāri komponentu plūsmai. Ja dozēšanas process nav vienmērīgs, tad maisītājam jānodrošina arī masas izlīdzināšana plūsmas virzienā. Tāpēc materiāla uzturēšanās laiks maisītājā jābūt pietiekami īsam, lai to nodrošinātu.

Analizējot maisīšanu plūsmā atklājas vairākas priekšrocības biomasas maisīšanai ar nepārtrauktas darbības maisītāju: nepārtrauktas darbības maisītājs ir retāk jātīra, kas ietaupa laiku un līdzekļus; zemāks noslāņošanās risks; nav nepieciešamas lielas telpas pat maisītājiem ar lielu ražīgumu; maisītājs ir salīdzinoši vienkāršs, līdz ar to tā izmaksas ir zemākas kā

cikliskas darbības maisītājam; mazam materiāla daudzumam, kas atrodas maisītājā ir relatīvi zems sprādziena bīstamības risks; viegli automatizējams.

Visvienkāršāk ir sajaukt šķidrās vielas, taču grūtības sagādā cietu vielu samaisīšana. No tām vieglāk samaisīt graudainus materiālus, bet praktiski neiespējams samaisīt materiālus ar garām šķiedrām. Tāpēc garšķiedrainus materiālus veido pēc kārtu principa (kā tortei), izdodot vairākas komponentes uz viena transportiera (2. att.).

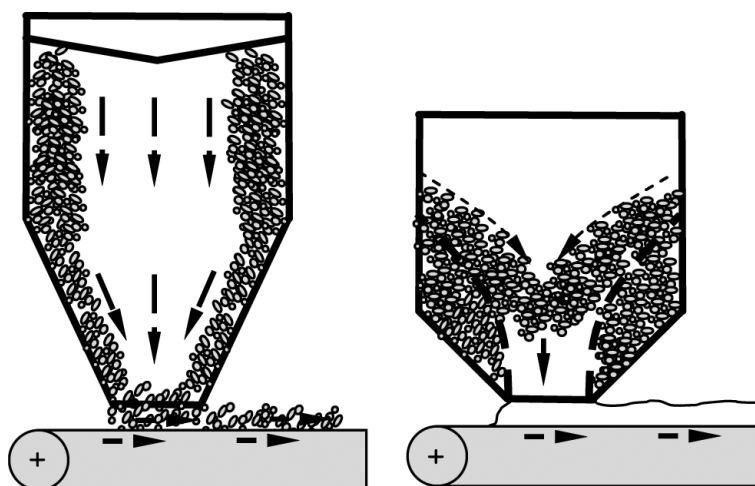


2. att. Garšķiedrainu materiālu maisīšana

Pielietojot dažādas metodes graudainu materiālu maisīšanai, maisāmās sastāvdaļas, atkarībā no fizikāli mehāniskām īpašībām, maisījumā novietojas visdažādākajās vietās. Maisīšanas mērķis ir no dažādiem materiāliem ar atšķirīgiem blīvumiem un izmēriem panākt dinamiski līdzsvarotu stāvokli, kur maisījuma viena materiāla daļiņas cita no citas atrodas vienādos attālos. Kā piemērs daļiņu izkliedei uz virsmas divām ideāli samaisītām komponentēm varētu būt šaha galda raksts (1. att.). Visiem paraugiem, kas paņemti no pilnīgi samaisīta maisījuma jābūt ar vienādu sastāvu. Šādu pilnīgi samaisītu maisījumu mehāniski maisot praktiski nav iespējams iegūt. Kā pretēja darbība maisīšanai ir noslāņošanās, kas iepriekš minēto maisījuma homogēno stāvokli cenšas izjaukt, it sevišķi, ja materiāli nav viendabīgi [10, 20].

Par noslāņošanos var nosaukt birstošā materiāla daļiņu ar dažādām īpašībām sadalīšanu pa dažādām maisītāja vai glabāšanas tvertnes vietām. Daļiņu īpašības, kas izsauc noslāņošanos ir [22]: daļiņu lielums, un daļiņu lieluma izkliede; blīvums; forma; elastības modulis; berzes koeficients; virsmas faktūra; lipīgums; spēja saistīties.

Maisot sausus maisījumus (ar mitruma saturu līdz 15%), ir iespējams iegūt kvalitatīvus jeb homogēnus maisījumus. Maisot materiālus ar lielāku mitrumu, nepieciešams palielināt maisīšanas laiku. Maisot birstošas komponentes, liela nozīme ir to blīvumu un tilpumu attiecībām. Jo šī attiecība tuvāka vieniniekam, jo vieglāk materiālus samaisīt iegūstot viendabīgus maisījumus [21]. Vienmērīgāku maisījumu var iegūt arī tad, ja materiāla daļiņas ir mazākas un komponentes daļiņu vidējie izmēri būtiski neatšķiras no otras komponentes daļiņām. Maisīšanās procesu ietekmē arī birstošā materiāla plūsmas īpašības, kā arī tendence savienoties (veidot kunkuļus).



3. att. Masas izplūšana no tvertnes [4]

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:

$$V_m = 100 \frac{1}{K_t} \sqrt{\frac{\sum (K_t - K_0)^2}{n-1}}, \quad (1)$$

kur K_t – mazākās komponentes daļa paraugā;
 K_0 – mazākās komponentes daļa ideālā maisījumā;
 n – paraugu skaits.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Müller W. Methods and the current state of the art in solids mixing configuration. *Chemical engineering*, 1981, p. 831–844.
2. Основы расчета и конструирования машин и автоматов пищевых производств. Под. ред. А.Я.Соколова. Москва: Машиностроение. 1969. 637 стр.
3. *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.
4. Tang P., Puri V.P. Methods for minimizing segregation. *Particulate science and technology*. Taylor and Francis Inc. 2004, p. 321 – 337.
5. Quality guidelines for fuel peat – preparation started [tiešsaiste]: Newsletter 2 on standards for bioenergy in the Baltic Sea Area [skatīts 2012-01-18]. Pieejams: http://www.nordicinnovation.net/_img/newsletter2_final.pdf
6. Alakangas E., Agar D., Leppänen M. Report of the seminar presentations and study tour [online]. Biomass Logistics and Combustion [viewed 2012-01-15]. Accessible: <http://www.opet-chp.net/download/wp3/summerschoolreport.pdf>
7. Alakangas E., Lensu T., Haglung N., Nitschke M. Review of the present status and future prospects of standards and regulations in the bioenergy field [tiešsaiste]: Nordisk

- Innovations Center [skatīts: 2012-01-15]. Pieejams: <http://www.nordicinnovation.net/nordtestfiler/rep584.pdf>
8. Kronbergs E., Kakitis A., Smits M., Nulle I. Biomass conditioning for solid biofuel compositions. In: Proceedings of 2nd International Baltic Bioenergy Conference. Germany, Fachhochschule Stralsund – University of Applied Sciences. Stralsund: LAiV, 2006, p. 81 – 90.
 9. Villu Vares, Ulo Kask, Peeter Muiste, Tonu Pihu, Sulev Soosaar. Manual for biofuel users [tiešsaiste]: Nordic Council of Ministers and Tallinn University of Technology [skatīts 2011-01-14]. Pieejams: http://www.cbss.st/basrec/documents/bioenergy/dbaFile_10430.html
 10. 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.
 11. 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.
 12. *S+SPATIALSTATS – User's Manual* [tiešsaiste]: MathSoft Inc., Seattle [skatīts 2012-01-12]. Pieejams: <http://www.demog.berkeley.edu/~carlm/213/REF/unixug.pdf>
 13. McCarthy J. J., *Mixing, segregation and flow of granular materials*. Evanston: Northwestern University, 1998. 220 p.
 14. 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.
 15. 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.
 16. 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.
 17. 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.
 18. 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.
 19. Tukiendorf M. *Characteristics of mixing granular materiāls achieved by using methods of variance analysis and geostatistical functions* [tiešsaiste]: [skatīts 2012-01-05]. Pieejams: <http://www.ejpau.media.pl/series/volume6/issue1/engineering/art-03.html>
 20. 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.
 21. С.В. Мельников. *Механизация и автоматизация животноводческих ферм*. Ленинград: Колос, 1978. 560 с.
 22. A. Levy, H. Kalman. *Handbook of conveying and handling of particular solids*. – Elsevier Science. Eastbourne: Antony Rowe Ltd., 2001. 860 pp.
 23. R. Weinekötter, H. Gericke. *Mixing of solids*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2000. 151 pp.
 24. J. C. Williams. *Mixing theory and practice*. Edited by V. W. Uhl and J. B. Gray. Orlando: Academic Press, 1986. 215 p.

KOMPAKTĒŠANAS PROCESA IETEKMĒJOŠIE FAKTORI

FIZIKĀLO ĪPAŠĪBU IETEKMĒJOŠIE FAKTORI

Lai saprastu biomasas piemērotību briketēšanai, ir būtiski zināt biomasas fizikālās un ķīmiskās īpašības, kas ietekmē kurināmā kvalitāti. Fizikālas īpašības ir mitruma saturs, kaudzes blīvums, tukšuma tilpums un siltuma īpašības. Ķīmiskās īpašības ietver tiešo un galīgo analīzi, un siltumietilpību. Biomasas kompaktēšanas saistīšanas mehānismam svarīgākās ir fizikālās īpašības. Biomasas kompaktēšana zem liela spiediena rada mehānisku sakabināšanos un palielina salipšanu starp daļiņām, veidojot kontakta laukumā starpmolekulārās saites. Biomasas saistīšanas mehānismu zem liela spiediena var iedalīt salipšanas un saistīšanas spēkos, pievilkšanās spēkā starp cietajām daļiņām un saķeršanās saites [1].

Augsti viskozas saistvielas, kā darva un citi organiski šķidrums var veidot saites, kas ir līdzīgas cietām saitēm. Salipšanas spēki cietā materiāla - šķidruma saskarpunktos un saistīšanās spēki cietajā materiālā pilnīgi tiek izmantoti sasaistei. Biomasā un koksņē esošais lignīns arī var palīdzēt sasaistei šādā veidā. Pielietojot ārējo spēka spiedienu var palielināt kontaktu laukumu radot molekulāros spēkus, kas palielina saišu stiprību starp salipušām daļiņām. Šķiedras vai daļiņas var savienoties vai ielocīties viens otrā, kā rezultātā izveido savienojamo saiti. Lai iegūtu šāda tipa saiti, tad uz sistēmu jāiedarbojas ar saspiešanu un šķērs spēku. Rezultējošā stiprība ir atkarīga tikai no mijiedarbības veida un materiāla īpašībām.

Dedzinot dažāda veida biomasu kā sienu, miscanthus vai kaņepājus rodas daudz pelnu, ko var izmantot kā mēslojumu. Galvenās barības vielas pelnos ir kālijs (K) un fosfors (P) [2].

DAĻIŅU IZMĒRU IETEKME

Briketēšanas procesā daļiņu izmēriem un formai ir liela nozīme. Vispārēji ir atrunāts, ka daļiņu izmēri no 6 – 8 mm ar 10 – 20% smalkumu piejaukumu dod vislabākos rezultātus. Lai gan skrūves ekstrūdera prese ar lielu spiedienu (1000 – 1500 bar) ir spējīga sabriketēt materiālu ar lielākām daļiņām, briketēšana nebūs vienmērīga un pie ieejas matricā var veidoties aizsprostojumi. Lielās daļiņas, kas nepārvietojas caur gliemežkonveijeri sāk ieejas vietā akumulēt siltumu, kā rezultātā matricas iekšpusē no augstās temperatūras rodas tvaiks. Tvaiks sāk kondensēties uz tikko padotā materiāla, salipšanas rezultātā veidojas gabali, kas iesprūst. Tāpēc ir vēlams sasmalcināt lielās daļiņas, lai iegūtu daļiņu normālo sadalījumu, tādā veidā nodrošinot pietiekamu daudzumu mazo daļiņu, kas iespiežas starp lielajām. Dažādu izmēru daļiņas uzlabo presēšanas dinamiku un arī uzlabo statisko stiprību. Smalkas un pulverveida daļiņas ar daļiņu izmēriem mazākiem par 1 mm nav piemērotas skrūves ekstrūdera presēm, tāpēc, ka tām ir mazs blīvums un nav brīva plūstamība.

MITRUMA IETEKME

Biomasas mitruma saturam ir liela ietekme ekstrūdera tipa mašīnās. Ir zināms, ka presē biomasu ar mitruma saturu 8 – 10%, tad iegūstam briketes ar mitruma saturu 6 – 8%. Pie šāda mitruma satura briketes ir stingras bez lūzumiem un briketēšanas process ir vienmērīgs.

Bet, ja mitruma saturs ir lielāks par 10%, tad briķetes ir sliktas kvalitātes, mīkstas un briķetēšanas process ir nevienmērīgs. No augstāka mitruma satura rodas liels tvaika daudzums, kas noved pie padeves nosprūšanas. Atsevišķos gadījumos tvaika spiediens izgrūž briķeti no matricas. Tāpēc ir nepieciešams uzturēt optimālu mitruma saturu.

Briķetēšanas procesā ūdens arī darbojas kā saistviela, kas stiprina briķetes sasaistīšanos. Briķetējot organiskās vielas un celulozi ūdens palīdz veidot saites ar Van Der Walls spēkiem palielinot daļiņu kontaktvirsmu laukumu. Pareizs mitruma daudzums palīdz izveidot pašsaistīšanās īpašības lignocelulozes vielām pie paaugstinātas temperatūras un spiediena briķetēšanas mašīnās.

Mitruma saturs vielai (U) tiek definēts kā mitras vielas ūdens daudzums uz vienu masas vienību. Biomasas materiāliem mitruma saturs ir mainīgs. Lai definētu sākotnējo mitruma saturu, tad paņem 100 g smalcinātu materiālu un žāvē 24 stundas pie 105 °C temperatūras. Pēc žāvēšanas paraugs tiek nosvērts un aprēķināts mitruma saturs. Materiāls tiek izžāvēts līdz nepieciešamajam mitruma saturam ar sekojošas formulas palīdzību:

$$M_{ar} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} 100$$

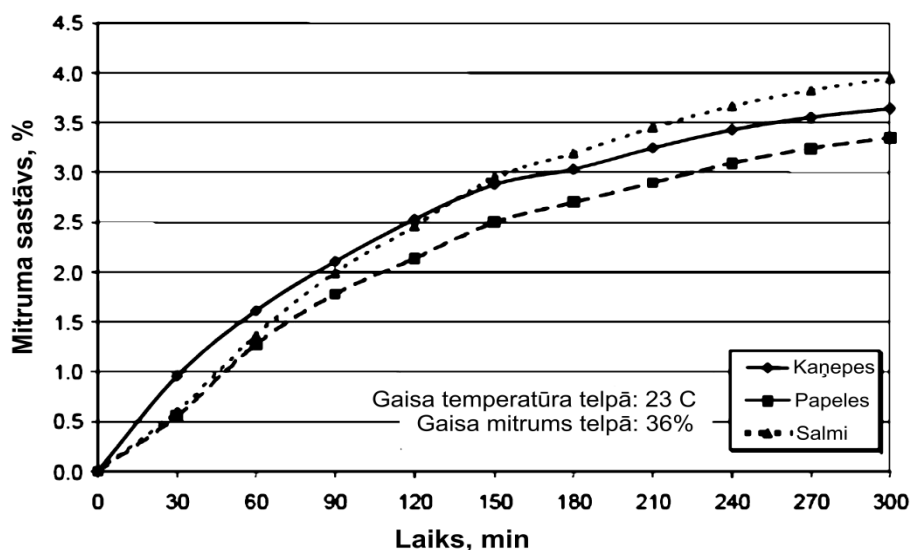
kur: M_{ar} – mitruma sastāvs izteikts no kopējās masas, %;

m_1 – kurināmā masa,

m_2 – izžāvēta kurināmā masa.

Ja presē materiālu pie 0% mitruma satura, tad materiāls ir jāpresē tieši pēc žāvēšanas. Jo atstājot materiālu atklātā telpā, tas absorbē mitrumu. Pēc 30 minūtēm mitruma saturs sasniedz 0.5 – 1%. Pēc 2 stundām materiāla mitruma saturs sasniedz 2 – 2.5%. Materiāla mitruma satura palielināšanās pēc žāvēšanas ir redzams

1. att.



1. att. Mitruma palielināšanās pēc žāvēšanas

BIOMASAS TEMPERATŪRAS IETEKME

Variējot ar biomasas temperatūru var mainīt briketes blīvumu, briketes stiprību un mitruma stabilitāti. Ekstrūdera presēs, temperatūra aksiālā virzienā pakāpeniski palielinās. Iekšējā un ārējā berze rada siltumu un pie paaugstinātas temperatūras materiāls sāk pašsaistīties. Mitrums, zem liela spiediena, materiālā veido tvaiku un veido apstākļus, kur hidrolizējas biomasas hemiceluloze un lignīna daļiņas mazāk molekulāros ogļūdeņražos, lignīnā, cukura polimēros un citos atvasinājumos. Šie produkti, kad ir pakļauti karstumam un spiedienam matricā, darbojas kā salipšanas saistviela un nodrošina „in situ” saites efektu. Papildus karstums atslogo biomasas šķiedras un acīmredzami mīkstina tā struktūru, tādējādi samazinot briketēšanas pretestību, kā arī palielinās ražīgums un samazinās kontaktā esošu detaļu nodilums. Temperatūra nedrīkstētu pārsniegt biomasas sadalīšanās temperatūras robežu, kas ir apmēram 300 °C.

Dažādu materiālu īpašību salīdzinājums dots 1. tabulā.

1. tabula. Dažādu materiālu īpašību salīdzinājums

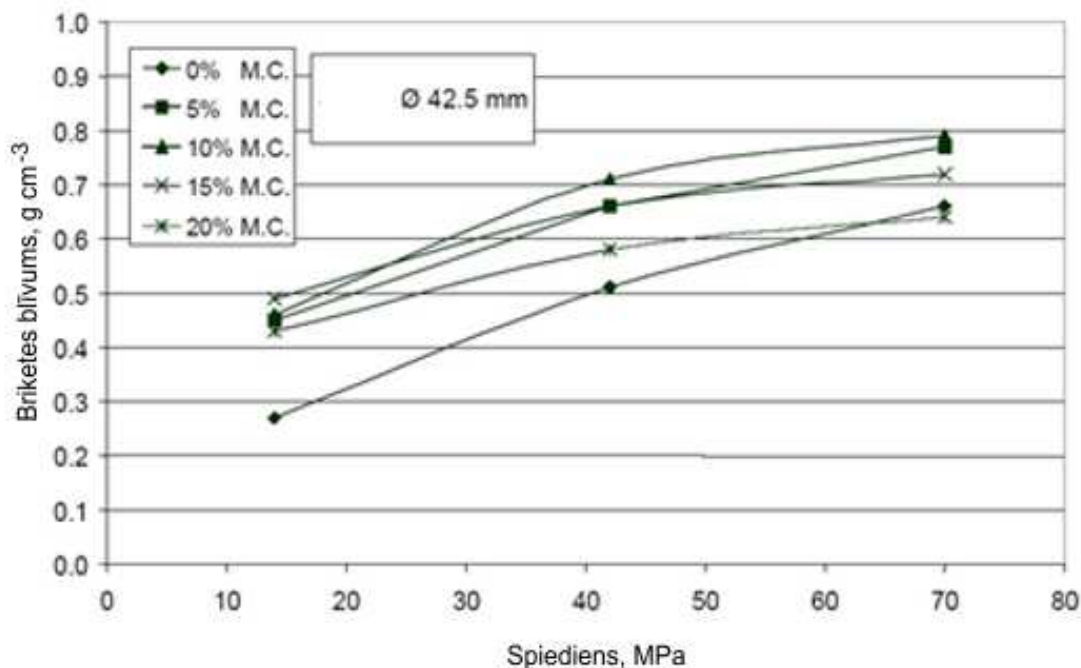
	Kokvilnas stiebi	Papele	Kaņepe	Salmi
Slitumspēja MJ/kg	17.15 – 18.26	18.17 – 19.38	17.00 – 18.90	15.32 – 17.50
Lignīns %	25.3	21.6	8 - 10	35 - 40
Celuloze %	37.9	48.4	57 - 60	30 - 36
Hemi - celuloze	20.4	18.2	16.4	18 - 19
Gaistošās vielas %	73.92	81.2	81.4	76.4
Pelni %	5.51	1.9	4.8	4.8

Stiebru materiālu fizikālās īpašības ir apskatītiError! No text of specified style in document.**2. tabula.**

Error! No text of specified style in document.2. tabula. Stiebru materiālu fizikālās īpašības .

Parametrs	Papele	Kaņepes	Rudzu salmi
Tilpuma blīvums, g/cm ³	0.16	0.088	0.059
Mitruma saturs, %	7.0	11.0	8.5
Materiāla temperatūra, °C	14.3	19.1	13.6
Daļiņu izmērs, mm	2.5	3.0	3.3

Ehab El Saeidy eksperimentāli ir noteicis salmu briketēšanas blīvumu atkarībā no spiediena un mitruma satura (skat2. att.).



2. att. Briketēšanas blīvums atkarībā no spiediena un mitruma satura

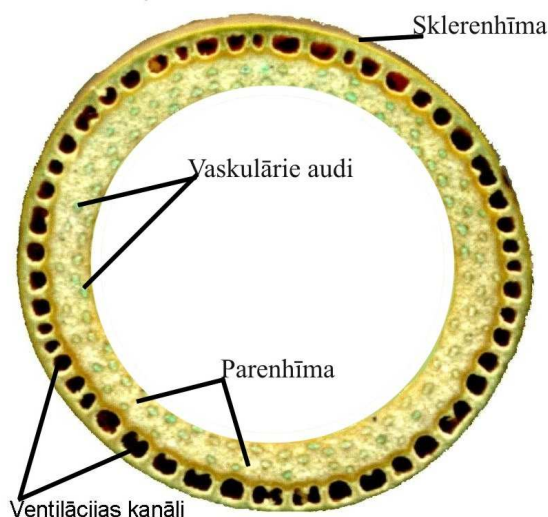
Eksperimentā izmantoti sasmalcināti rudzu salmi ar daļiņu lielumu līdz 2 mm ar dažādu mitrumu 0%, 5%, 10%, 15%, 20%. Rezultāti parāda, ka vislielāko briketes blīvumu var iegūt pie mitruma satura 10%. Ja mitruma saturs ir lielāks vai mazāks par 10% briketes blīvums samazinās. Briketēšanai optimālais mitruma saturs ir robežās no 8 – 15 %.

LITERATŪRA

1. Pietsch, W., Size enlargement by agglomeration, John Wiley & Sons Ltd., Englamnd, 1991
2. Hasler Ph., Candinas T. And Nussbaumer TH. Utilization of ashes from the combustion of hay, miscanthus, hemp, straw and wood as fertilizer. The 10th European Conference on Biomass for Energy and Industry, June 1998, Würzburg, Germany
3. Ludwig, C., How and why solids agglomerate, Chemical Engineering, 1994, 156 – 160 pp.
4. Sen, k. C., Development of waterprproof densified solid solid fuel pellet from forestry residues, Proceedings of the Sixth Canadian Bionergy R&D Seminar held at Richmond, British Columbia, 1987

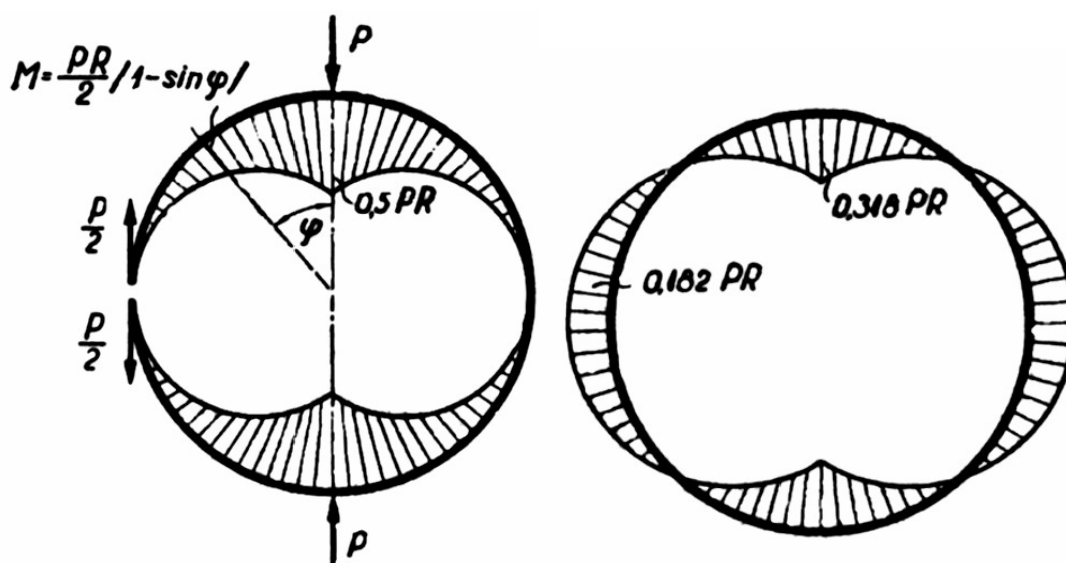
NIEDRU PLACINĀŠANA

Niedres stiebru materiālu var pieņemt par cilindriskas formas ķermeni ar tukšumu vidū. Tā šķēsgriezums ir gredzenveida forma un tai ir sarežģīta uzbūve. Ārējā kārtā ir sklerenhīma, kas ir cietāka par iekšējo kārtiņu parenhīmu. Parenhīmas kārtiņā vēl atrodas vaskulāro audu caurulītes. Ārējā kārtā vēl atrodas ventilācijas kanāli, kas niedres struktūru padara ļoti komplicētu.



Error! No text of specified style in document..3. att. Niedres šķērs griezum

Niedres placināšana ir līdzīga kā metāla gredzenam. Atšķirība ir tāda, ka niedres materiāls ir ar neviendabīgu struktūru un niedres gredzena sienīņu ārējā kārtā ir novērojamas mazas caurulītes. Tas viss padara niedres lieces aprēķinu ļoti sarežģītu.



Error! No text of specified style in document..4. att. Gredzena lieces momentu diagramma

Ņemot par pamatu materiālu pretestības gredzena lieces momenta ēpīru (**Error! No text of specified style in document..4. att.**), varam secināt, ka niedrei placināšanas procesā pirmie lūzumi būs placināšanas spēka pielikšanas vietās, jo lieces moments ir vislielākais (pirmais lūzums). Otrie niedres lūzumi notiks horizontālajā plaknē, kur ir nākamais lielākais lieces moments. Tādā veidā niedre ir sadalījusies četrās daļās. Niedres stiebra vidējais diametrs ir ap 8 mm, tad teorētiski niedre var salūst vēl smalkākās daļās. Tā iegūstot vismaz 8 vai vairāk par 8 daļām (skat. **Error! No text of specified style in document..5. att.**).

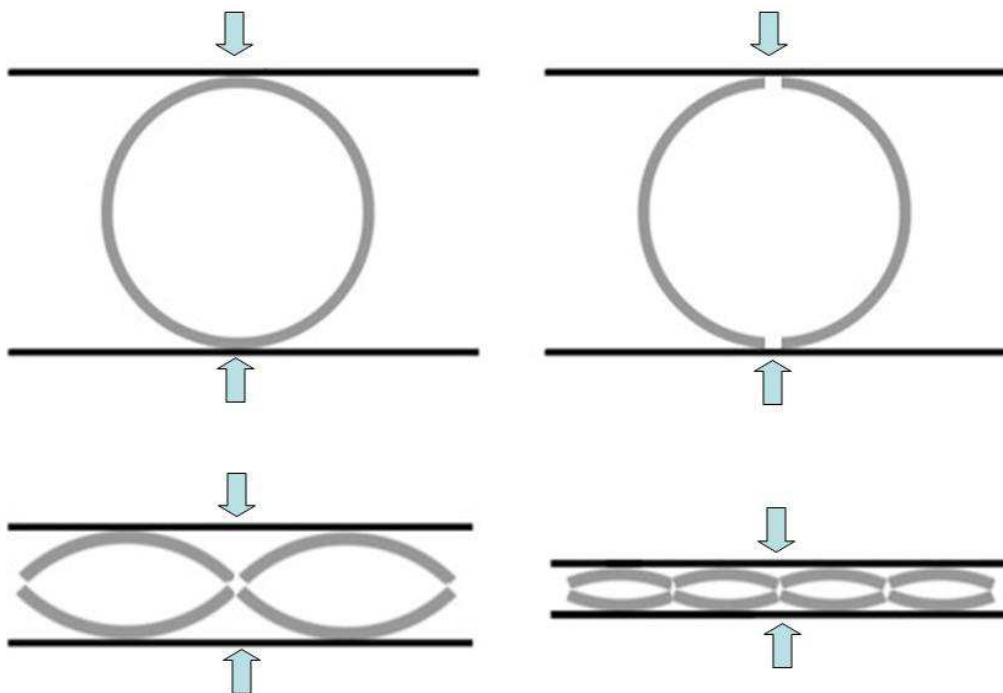
Gredzena lieces laikā veidojas divi spriegumi, viens gredzena ārpusē σ_a , otrs gredzena iekšpusē σ_i .

Niedres stiebra izstūrības aprēķins liecē gredzena ārējai un iekšējai malai spēka pielikšanas vietās.

$$\sigma_a = \frac{M}{S} \frac{y_1}{R_1} \quad (0.2)$$

$$\sigma_i = \frac{M}{S} \frac{y_2}{R_2} \quad (0.3)$$

kur: σ_a, σ_i - lieces spriegums gredzena ārējā un iekšējā malā, N m^{-2} ;
 M – lieces moments, N m ;
 S – laukuma statiskais moments pret neitrālo asi,
 y_1, y_2 – attālums no gredzena neitrālās ass līdz gredzena ārējai un iekšējai malai,
 R_1, R_2 – gredzena ārējais un iekšējais rādiuss.



Error! No text of specified style in document.. 5. att. Niedres placināšanas iespējamais process

Maksimālais lieces moments gredzena šķēlumā:

$$M = 0.318 P R \quad (0.4)$$

kur: P – placināšanas spēks, N ;
 R - stiebra simetrijas ass rādiuss, m .

Laukuma statiskais moments pret neitrālo asi:

$$S = \frac{I}{R} \quad (0.5)$$

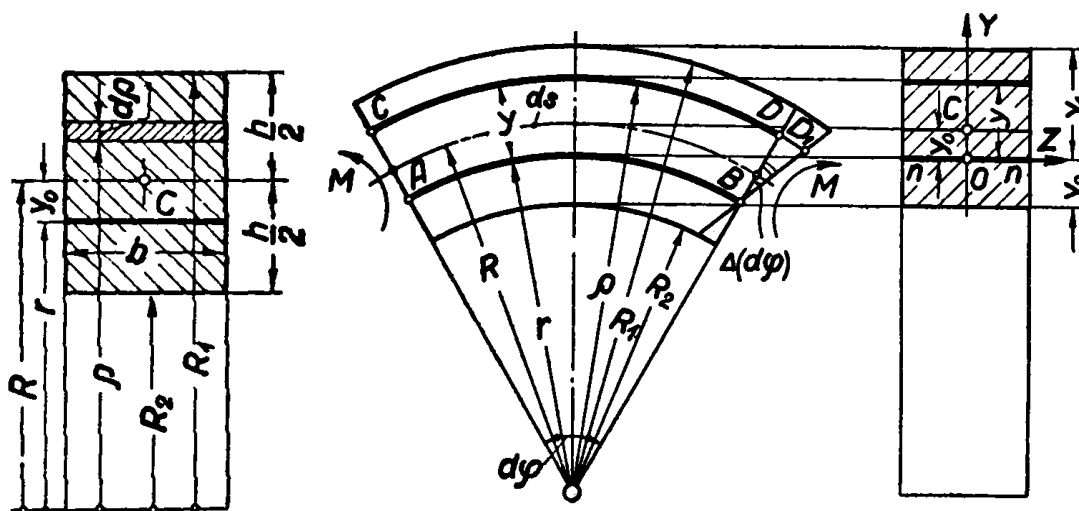
kur: I – šķēluma inerces moments pret neitrālo asi.

Šķēluma inerces moments pret neitrālo asi:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (0.6)$$

kur: b – stiebra platums,
 h – stiebra sieniņas biezums.

Gredzenveida materiāliem neitrālā ass neatrodas uz simetrijas ass, bet ir novirzīta uz gredzena centra pusi (**Error! No text of specified style in document..6. att.**).



Error! No text of specified style in document..6. att. Niedres šķēlums

Neitrālās ass rādiuss:

$$r = \frac{h}{\ln \frac{R_1}{R_2}} \quad (0.7)$$

kur: h – niedres sieniņas biezums, mm;
 R_1 – gredzena ārējais rādiuss, mm;
 R_2 – gredzena iekšējais rādiuss, mm.

Neitrālās ass attālums no simetrijas ass:

$$y_0 = R - r = \frac{h^2}{12R} \quad (0.8)$$

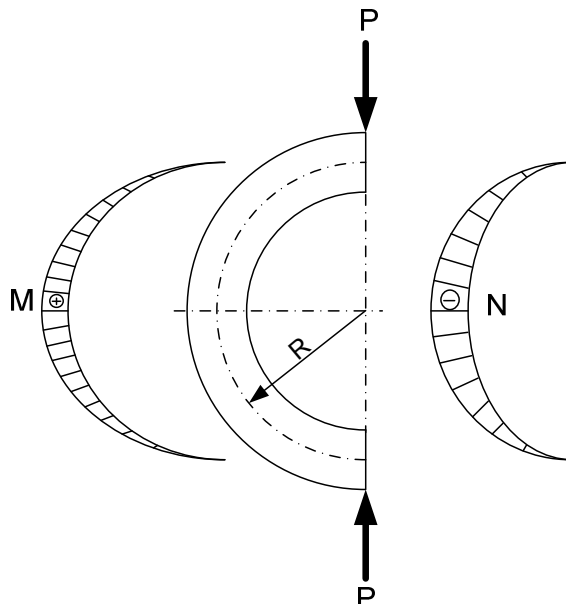
Attālums no gredzena neitrālās ass līdz gredzena ārējai malai

$$y_1 = R_1 - r \quad (0.9)$$

Attālums no gredzena neitrālās ass līdz gredzena iekšējai malai

$$y_2 = r - R_2 \quad (0.10)$$

Pēc niedres salūšanas divās daļās, nākamā lūšana notiek horizontālā plaknē. Šajā gadījumā nevar pielietot no materiālu pretestības kursa metāla gredzena lieces teoriju, jo niedre ir sadalījusies divās daļās, bet izmantojam līkas sijas lieces aprēķinu.



Error! No text of specified style in document. 7. att. Niedres placināšana otrais posms horizontālā plaknē

Normālais spēks N rada šķēlumā spiedes spriegumu.

$$\sigma' = \frac{N}{F} \quad (0.11)$$

kur: N – normālais spēks,
F – šķēluma laukums.

Niedres šķēluma laukums:

$$F = bh \quad (0.12)$$

Niedres stiebra izturības aprēķins liecē gredzena ārējai un iekšējai malai horizontālajā plaknē

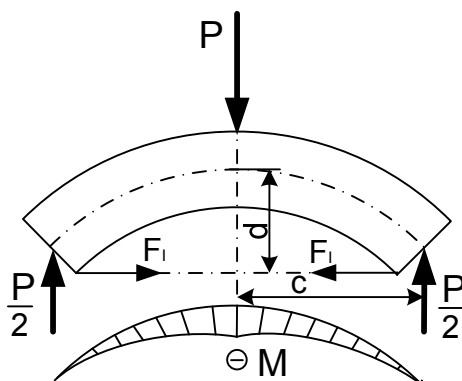
$$\sigma_{a1} = \frac{N}{F} + \frac{M}{S} \frac{y_1}{R_1} \quad (0.13)$$

$$\sigma_{i1} = \frac{N}{F} - \frac{M}{S} \frac{y_2}{R_2} \quad (0.14)$$

Lieces moments šķēluma horizontālā plaknē:

$$M_1 = PR \quad (0.15)$$

Nākamais posms niedres placināšanā ir sadalīšana no četrām daļām astoņās daļās. Izdarām pieņēmumu, ka niedres šķēlums salūst ik pa 90° . Niedres ceturtās daļas ir novietotas horizontāli un jāņem vērā vēl ir berzes spēki (skat. **Error! No text of specified style in document..8. att.**).



Error! No text of specified style in document..8. att. Niedres ceturtās daļas placināšana

Niedres stiebra izsturības aprēķins liecē gredzena ārējai un iekšējai malai trešais posms.

Berzes spēks F_l rada šķēlumā normālo spēku.

$$F_l = N_2 \quad (0.16)$$

Berzes spēks

$$F_l = f \frac{P}{2} \quad (0.17)$$

kur: f – berzes koeficients.

Normālais spēks N rada šķēlumā spiedes spriegumu.

$$\sigma_2' = \frac{N_2}{F} \quad (0.18)$$

kur: N_2 – normālais spēks trešajam posmam,
 F – šķēluma laukums.

Niedres stiebra izsturības aprēķins liecē gredzena ārējai un iekšējai malai horizontālajā plaknē

$$\sigma_{a2} = \frac{N_2}{F} + \frac{M_2}{S} \frac{y_1}{R_1} \quad (0.19)$$

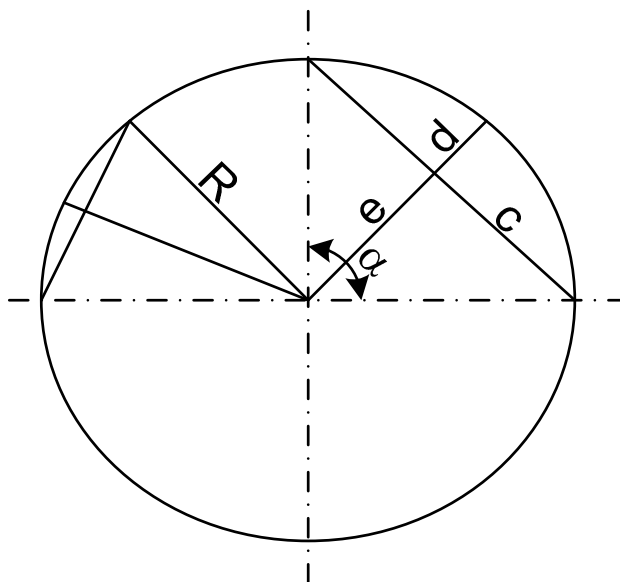
$$\sigma_{i2} = \frac{N_2}{F} - \frac{M_2}{S} \frac{y_2}{R_2} \quad (0.20)$$

Momenta aprēķins

$$M_2 = \frac{P_2}{2} c - F_l d \quad (0.21)$$

kur: c – spēka P_2 plecs,
 d – berzes spēka F_1 plecs.

Lai aprēķinātu spēka P_2 plecu un berzes spēka F_1 plecu ir jāveic trigonometriskie aprēķini.



Error! No text of specified style in document. 9. att. Niedres šķēlums ģeometrisku izmēru aprēķināšanai

Ģeometriskā izmēra d aprēķināšana

$$\frac{e}{R} = \cos \frac{\alpha}{2} \quad (0.22)$$

kur: α - segmenta leņķis.

$$e = R \cos \frac{\alpha}{2} \quad (0.23)$$

$$d = R - R \cos \frac{\alpha}{2} = R(1 - \cos \frac{\alpha}{2}) \quad (0.24)$$

Ģeometriskā izmēra c aprēķins:

$$c = R \sin \frac{\alpha}{2}$$

PLACINĀŠANAS MEHĀNIKA

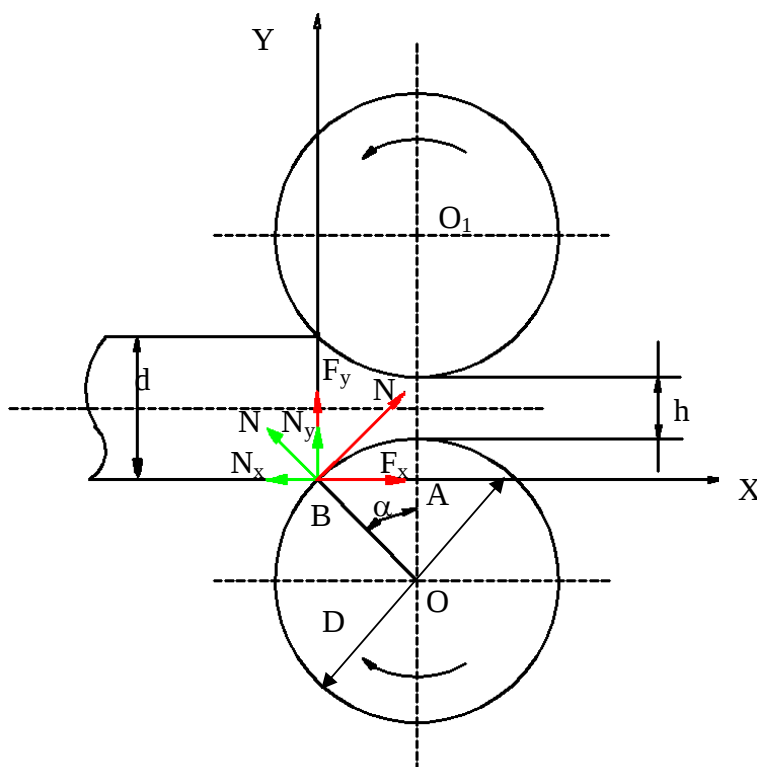
Enerģētisko augu primārās kompaktēšanas iekārtas izveidei jāaplūko tie paši priekšnosacījumi, kas tiek ievēroti līdzīgās jau esošās iekārtās. Rotējošu veltņu tehnoloģiju izmanto galvenokārt zāles placināšanai pirms smalcināšanas, kukurūzas vālīšu atdalīšanai no stiebriem, kartupeļu kombainos augsnes un netīrumu atdalīšanai, linu stiebru placināšanai atdalot tos no sēklām un graudu placināšanai.

Placināšanas procesu var iedalīt trīs galvenajos darbības posmos, kas seko viens otram:

- ✓ stiebra iespīlēšana un ievilkšana darbīgajā daļā;
- ✓ stiebra saspiešana;

✓ stiebra izvadīšana no darbīgās daļas.

Aplūkojot placināšanas procesu, pats nozīmīgākais darbības posms ir stiebra iespīlēšana darbīgajā daļā. Placināšanu veic ar diviem veltniem, kuri atrodas viens blakus otram un darba laikā griežas pretējos virzienos (8.1. att.). Materiālu ar diametru d ievada spraugā starp veltniem un tā tiek saspiesta. Spraugas platumu h var regulēt, tā panākot vēlamo placināšanas pakāpi. Visbiežāk placināšanas veltni ir gludi. Tiem ir vienāds diametrs D un vienāds aploces ātrums ω . Placināmā materiāla un veltna saskares punktā darbojas reakcijas spēks N un berzes spēks F .



8.1. att. Stiebra iespīlēšanas shēma

Iespīlēšanas nosacījumu apraksta sakarības (10):

$$F_x > N_x;$$

$$F_x = F \cos \alpha, F = fN, F_x = fN \cos \alpha, N_x = N \sin \alpha; \quad (10)$$

kur: α – saķeres leņķis;

f – berzes koeficients augu materiālam pret veltnu virsmu.

Ievelkot materiālu starp veltniem saspiešanas zonā rodas jaunas kontaktvirsmas, kur saķeres leņķis ir mazāks par sākotnējo. Samazinoties saķeres leņķim nevienādība $F_x > N_x$ pieaug, tāpēc saķeres nosacījums jānovērtē materiāla ievilkšanas sākumā. Izsakot reakcijas spēka N_x un berzes spēka F_x nevienādību iegūst sakarības (11):

$$f \geq \tan \alpha, \tan \varphi > \tan \alpha, \varphi > \alpha; \quad (11)$$

kur: φ – saķeres leņķis.

Pēc sakarības (11) redzams, ka stiebru materiāla iespīlēšana starp veltniem iespējama tikai tādā gadījumā, ja saķeres leņķis α ir mazāks par berzes leņķi φ . Saķeres leņķi α nosaka

atkarībā no veltņu diametra D , stiebru materiāla kūlīša diametra d un spraugas platuma starp veltņiem h (12):

$$\cos \alpha = \frac{OA}{OB}; \quad (12)$$

kur: $AO = \frac{D}{2} + \frac{h}{2} - \frac{d}{2}; \quad OB = \frac{D}{2}.$

Ievietojot AO un OB iegūst sakarību (13):

$$\cos \alpha = 1 - \frac{d-h}{D}; \quad (13)$$

Izsakot nevienādību (14) iegūst:

$$\cos \varphi < \cos \alpha, \quad \cos \varphi < 1 - \frac{d-h}{D}; \quad (14)$$

no kurienes iegūst (15):

$$D > \frac{d-h}{1-\cos \varphi}; \quad (15)$$

Lai nodrošinātu nepārtrauktu placināšanas procesu veltņu ātrumam jāsakrīt ar stiebru materiāla padeves ātrumu (16):

$$v_v = v_m; \quad (16)$$

kur: v_v – ātrums veltņiem;

v_m – materiāla padeves ātrums spraugā starp veltņiem.

Ja šis nosacījums (16) netiek ievērots, tad placināmais stiebru materiāls var sakrāties pirms veltņiem vai placināšanas process noritēs nevienmērīgi. Reālos placināšanas apstākļos starp veltņiem un placināmo stiebru materiālu notiek izslīdēšana. Izslīdēšanas koeficientu η aprēķina pēc formulas (17):

$$\eta = \frac{\pi D - 1}{l}; \quad (17)$$

kur: D – veltņu diametrs;

l – izlaistā materiāla garums viena apgrieziena laikā.

Tādējādi veltņu aploces ātrums v nosakāms pēc sakarības (18),

$$v = v_v(1 + \eta) = v_m(1 + \eta); \quad (18)$$

Izslīdēšanas koeficients η ir atkarīgs no materiāla mitruma un relatīvās deformācijas. Relatīvo deformācijas koeficientu δ_1 aprēķina (19):

$$\delta_1 = \frac{d-h}{d}; \quad (19)$$

kur: d – stiebru materiāla diametrs;

h – sprauga starp veltņiem.

Stiebru materiālam ar mitrumu daudzumu tajā 13.8 – 16.1 % un relatīvo deformācijas koeficientu $\delta_1=0.1$ izslīdēšanas koeficients $\eta = 2.5$, bet pie $\delta_1=0.45$ izslīdēšanas koeficients ir $\eta = 1.0$.

NIEDRU PLACINĀŠANAI PATĒRĒTĀS ENERĢIJAS NOTEIKŠANA

Niedru stiebriem ģeometriskie parametri, kā diametrs, sienas biezums, noteikti ar elektronisko bīdmēru, kura precizitāte ir 0.03 mm un mērīšanas diapazons 0 – 200 mm.

Eksperimentos izmantoti niedru stiebru posmi ar garumu 100 mm, kas ņemti 5 dažādās stiebra vietās ar 250mm lielu attālumu starp tiem no pamatnes uz augšu. Placināšana veikta ar 4 N mm^{-1} lielu maksimālo spēku, lai noteiktu placināšanai patērēto enerģijas daudzumu niedru stiebrim ar dažādiem diametriem un dažādos stiebra posmos. Izmantojot 4 N mm^{-1} lielu īpatnējo spēku uz garuma vienību, niedru stiebrs sadalās vismaz 8 slejās (9.8. att.). Pie šādiem nosacījumiem var uzskatīt, ka ir izspiests viss gaiss niedru materiālā.



9.8. att. Saplacināts niedres stiebrs

Placināšanas spēks un patērētā enerģija tika noteikta ar Zwick materiālu testēšanas iekārtu TC-FR2.5TN.D09 ar spēka izšķirtspēju 0.4%, pārvietojuma $1\mu\text{m}$, un maksimālo spēks 2.5 kN (9.9. att.). Dati apkopoti Zwick datorprogrammā TestXpert V9.01. Rezultāti apstrādāti MS Excel programmā (skatīt 2. un 3. pielikumu).



9.9. att. Zwick materiālu testēšanas iekārta

Īpatnējais enerģijas patēriņš uz garuma vienību noteikts pēc formulas (23):

$$E_{ip.l} = \frac{\sum E}{L} ; \quad (23)$$

kur: $E_{ip.l}$ – īpatnējais enerģijas patēriņš, J m^{-1} ;
 $\sum E$ – summārais enerģijas patēriņš placinot, J;
 L – placināmā materiāla garums, m

Īpatnējais darbs uz masas vienību noteikts pēc formulas (24):

$$E_{ip.m} = \frac{\sum E}{m} ; \quad (24)$$

kur: $E_{ip.m}$ – īpatnējais enerģijas patēriņš, J g^{-1} ;
 $\sum E$ – summārais enerģijas patēriņš placinot, J;
 m – placināmā materiāla masa, g

Vidējais spēks noteikts pēc formulas (25):

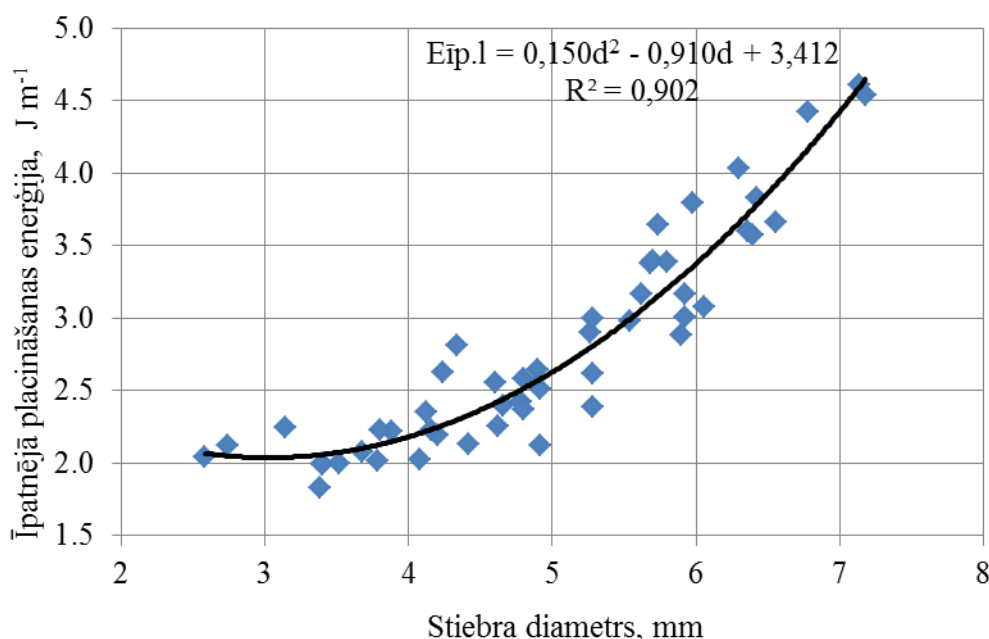
$$F_{vid} = \frac{\sum E}{s} ; \quad (25)$$

kur: F_{vid} – placināšanas vidējais spēks, N;
 $\sum E$ – summārais enerģijas patēriņš placinot, J;
 s – pārvietojums, mm.

EKSPERIMENTU REZULTĀTI

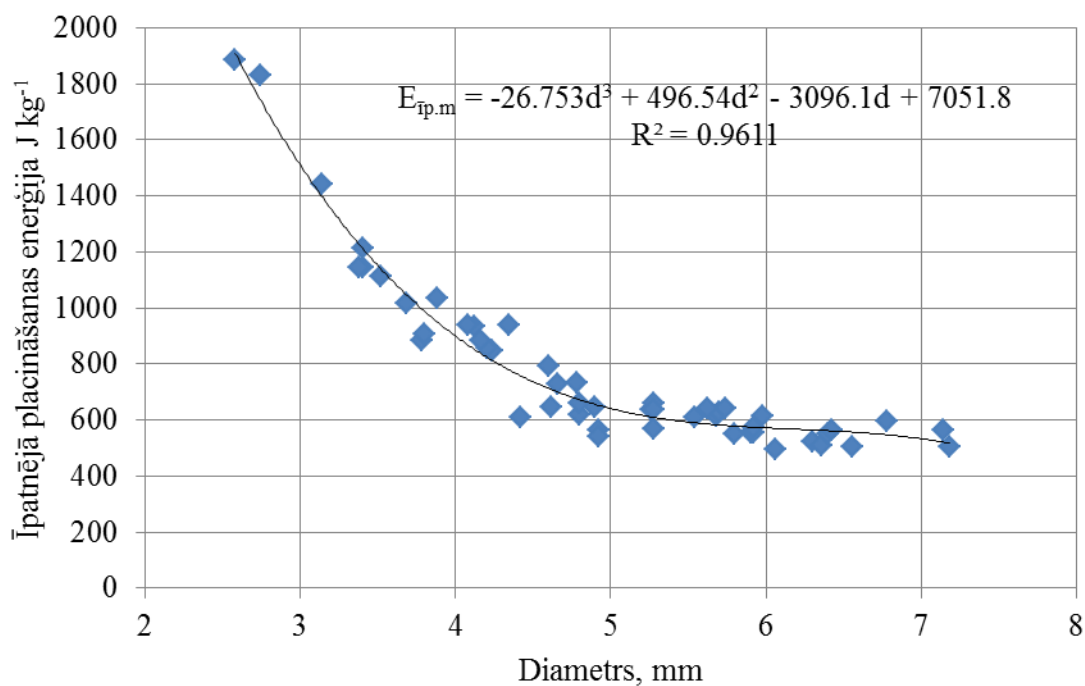
Placināšanai patērēto enerģiju nosaka ar 2000 N lielu maksimālo spēku 0.5 metru garam vienā kārtā novietotam niedru stiebru materiālam. 2000 N jeb 4 N mm^{-1} liels maksimālais spēks tika izvēlēts izejot no iepriekš veiktiem eksperimentiem. Izmantojot 4 N mm^{-1} lielu īpatnējo spēku uz garuma vienību, niedru stiebrs sadalās vismaz 8 slejās. Pie šādiem nosacījumiem var uzskatīt, ka ir izspiests viss gaiss niedru materiālā.

Placināšanas īpatnējā enerģija uz garuma vienību parādīta 10.6. attēlā. Pieaugot stiebra diametram īpatnējās enerģijas patēriņš uz garuma vienību palielinās. Īpatnējās enerģijas pieaugums izskaidrojams ar pārvietojuma palielināšanos. Placināšanas īpatnējās enerģijas patēriņš stiebriem ar diametru 2.6 līdz 7.2 mm ir no $1.83 - 4.61 \text{ J m}^{-1}$.



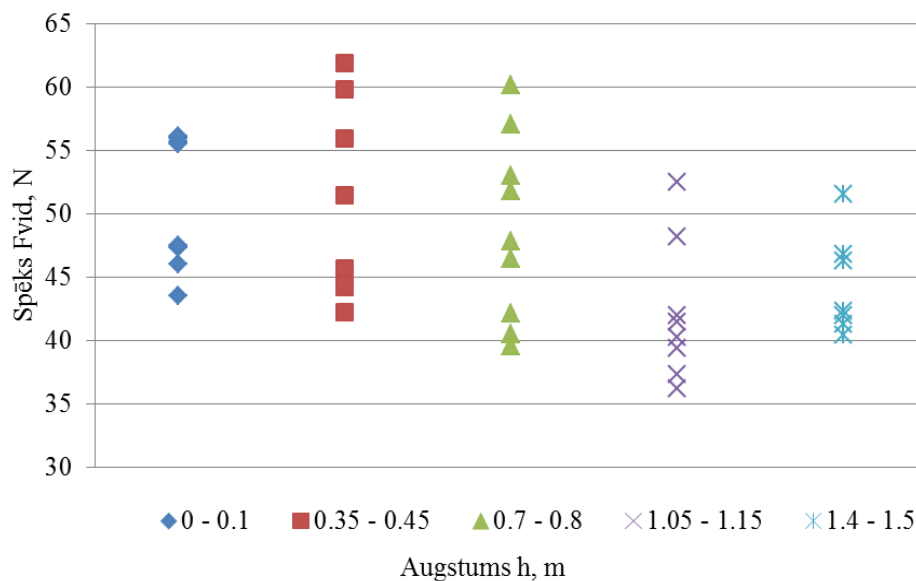
10.6. att. Placināšanas īpatnējais darbs uz garuma vienību

Enerģijas patēriņš uz masas vienību samazinās palielinoties diametram (10.7. att.). Niedru stiebriem ar diametru no 2.6 – 7.2 mm enerģijas patēriņš ir robežās no $497 - 1887 \text{ J kg}^{-1}$.



10.7. att. Placināšanas īpatnējais darbs uz masas vienību

Vidējais spēks placinot 100 mm garus niedru stiebru posmus dažādos augstumos no pamatnes būtiski neatšķiras (10.8. att.). Vidējā spēka vērtība ir $46.5 \pm 6.8\ N$.



10.8. att. Placināšanas vidējais spēks 100 mm gariem posmiem

BIOMASAS MITRUMA IZNESES ĀTRUMS UN TO IETEKMĒJOŠIE FAKTORI

Biomāsā, kas ir pakļauta termālai kaltēšanai, vienlaicīgi notiek divi procesi:

- 1) Enerģijas pārnese (pamatā siltuma) no apkārtējās vides uz vielas virsmās, lai iztvaicētu mitrumu.
- 2) Iekšējā mitruma pārnese uz vielas virsmām, kam seko tā iztvaicēšana, aprakstīta 1. procesā.

Ātrums, kādā izkaltēšana tiek pienākta, ir atkarīga ar šo iepriekšminēto procesu norises ātrumiem. Enerģijas pārnese no apkārtējās vides uz mitrās biomasas ārējo slāni var notikt kā konvekcijas, vadīšanas, starojuma vai šo darbību kombinācijas rezultātā.

- 1) procesā, mitruma kā tvaika aiznese no biomasas materiāla virsmas, ir atkarīga no ārējiem faktoriem – temperatūras, gaisa mitruma un plūsmas, biomasas virsmas laukuma, spiediena.
- 2) process, iekšējā mitruma kustība biomasā, ir vielas fizikālās dabas, temperatūras un tā mitruma funkcija. Kaltēšanas operācijās jebkurš no šiem procesiem var būt ierobežojošais faktors kaltēšanas ātrumam, kaut tie visi notiek vienlaicīgi.

Lai saprastu kaltēšanas procesu dažādību un variācijas varam atzīmēt, ka

- ✓ Vielas izmērs var būt sākot ar mazāku par milimetru līdz pat vairākiem centimetriem biezumā.
- ✓ Vielas porainība var būt no 0 līdz 99,9%
- ✓ Kaltēšanas ilgums robežās no 0,25 sekundēm līdz 5 mēnešiem
- ✓ Kaltēšanas apjoms no 0,10kg/h līdz 100tonnām/stundā.
- ✓ Procesa spiediens var būt no dažiem milibāriem līdz 25 atm.
- ✓ Siltuma pāreja var būt nepārtraukta vai periodiska.

Skaidrs, ka ar vienu projektēšanas metodi nav iespējams izstrādāt konstrukciju visiem vai pat dažiem kalšu variantiem. Tāpēc ir svarīgi apzināties siltuma, masas un impulsa pāreju savienojumā ar zināšanām par kaltējamo materiālu, lai veiksmīgi izstrādātu kaltes konstrukciju. Matemātiski runājot, pat vienkāršākās kaltes jebkuri procesi ir izteikti nelineāras dabas. Laboratorijas un mazāka mēroga kaltes prototipu eksperimenti var tikai ļaut izveidot kaltes modeli.

Kaltēšana ir kompleksa operācija, kurā bez masas un enerģijas pārneses ir iekļautas arī fiziskās un ķīmiskās transformācijas, kas stipri izmaina vielas kvalitāti. Pie fiziskām transformācijām var pieminēt samazināšanos, uzpūšanos, kristalizāciju u.c. Dažos gadījumos vēlami un nevēlami ķīmiski un bioķīmiski procesi var sākties, novedot pie izmaiņām krāsā, tekstūrā, smaržā u.c.

Mitruma pārvietošanās biomasā var notikt no kāda no šiem vai citiem iemesliem:

- ✓ Šķidruma izkļiedēšanās, ja mitrā biomasa ir temperatūrā zem šķidruma viršanas temperatūras
- ✓ Mitruma iztvaicēšanās, ja šķidrums iztvaiko materiālā
- ✓ „Knudsena” izkļiedēšanās, ja kaltēšana noris ļoti zemā temperatūrā un spiedienā (sasaldēšanas kaltēšana).
- ✓ Virsmas izkļiedēšanās (nav pārbaudīta)
- ✓ Hidrostatiskā spiediena starpības, kad iekšējās iztvaicēšanas vērtības pārsniedz vērtības pārnēsē no virsmām uz apkārtējo vidi.

Tā kā kaltējamās vielas fiziskā struktūra un īpašības mainās kaltēšanas laikā, tad arī mitruma pārnese mehānismi kaltēšanas laikā mainās.

Ārējie nosacījumi (1. process)

Šajā procesā svarīgi pamatlīniju ir temperatūra, mitrums, vērtība un virziens gaisa plūsmā, vielas fiziskā forma, transportēšanas metode un apstākļi kaltes konstrukcijā. Ārējie nosacījumi ir nozīmīgi īpaši sākuma stadijā kaltē, kad tiek aizvadīts ar vielu nesaistītais virsmu mitrums. Pārmērīga ārējo faktoru iedarbība var novest pie vielas pārlieku saraušanās, sekojošiem lieliem spriegumiem vielā, rezultātā viela var sadrupt vai savērties. Šādos gadījumos virsmas iztvaicēšanu nepieciešams aizkavēt, piemēram, ar palielinātu gaisa mitrumu.

Tvaika – šķidrums vienādojums un entalpija tīrai matērijai

Kad šķidrums tiek pakļauts sausam gaisam, šķidrums iztvaiko, t. i., pārveidojas tvaikā un pāriet gāzveida agregātstāvoklī. Ja m_w ir tvaika masa gāzveida agregātstāvoklī, tad šis tvaiks rada spiedienu pār šķidrumu, parciālais spiediens, kurš, pieņemot ideālas gāzes likumsakarības tvaikam, ir

$$P_w V = \frac{m_w}{M_w} RT \quad \text{vai} \quad P_w V_w = RT;$$

Maksimālā sasniedzamā spiediena P_w vērtība jebkādā temperatūrā ir piesātinātā tvaika spiediena P_w^0 vērtība.

Klauziusa – Klapeirona vienādojums

Informācija par tvaika – spiediena vērtībām meklējama visaptverošās tabulās, kur precīzās vērtības nosakāmas ar interpolācijas vai ekstrapolācijas palīdzību. Konstantā spiedienā Klauziusa – Klapeirona vienādojums saista tvaika spiediena – temperatūras līkni ar iztvaikošanas latentu siltumu:

$$\frac{dP_w^0}{dT} = \frac{\Delta H_w}{T(V_w - V_L)};$$

kur V_w un V_L ir īpatnējie molārie tilpumi piesātinātam tvaikam un piesātinātam šķidrumam, attiecīgi ΔH_w ir iztvaicēšanas molārais latentais siltums. Tā kā šķidrums molārais tilpums ir ļoti mazs, salīdzinot to ar tvaika, mēs neņemam vērā V_L un aizstājam ar V_w :

$$d \ln P_w^0 = \frac{\Delta H_w}{RT^2} dT;$$

Tā kā ΔH_w var uzskatīt par konstantu šaurās temperatūru svārstībās, iepriekšējo vienādojumu iespējams integrēt:

$$\ln P_w^0 = -\frac{\Delta H_w}{RT} + \text{konstante};$$

Entalpija

Visām matērijām ir iekšējā enerģija, pateicoties atomu un molekulu kustībai un relatīvajai pozīcijai. Iekšējās enerģijas u absolūtā vērtība ir nezināma, bet skaitliskā vērtība ir nosakāma attiecībā pret patvaļīgi izvēlētu pamatlīniju parciālā temperatūrā. Jebkurā nepārtrauktā sistēmā ir papildus enerģija, saistīta ar piespiedu plūsmām sistēmā pret spiedienu un piespiedu plūsmām ārpus sistēmas. Šis plūsmas darbs uz masas vienību ir PV ,

kur P ir spiediens, bet V ir īpatnējais tilpums. Iekšējā enerģija un plūsmas darbs uz masas vienību ir grupēti kopā saliktā enerģijā – entalpijā H .

Entalpiju var izteikt ar vienādojumu:

$$H = u + PV;$$

Entalpijas mērvienība noteikta kā enerģija uz mazas vienību (J/kg).

Matērijas entalpijas absolūtās vērtības, tāpat kā iekšējās enerģijas, nav zināmas. Relatīvās vērtības iespējams aprēķināt patvaļīgi nosakot nulles entalpiju piemērotā atskaites stāvoklī.

Siltumietilpība

Siltumietilpība ir definēta, kā siltuma daudzums, kas nepieciešams, lai vielas vienas masas vienības temperatūru paceltu par vienu temperatūras vienību. Konstanta spiediena procesa siltumietilpība ir nosakāma sekojoši:

$$C_P = \left(\frac{\partial Q}{\partial T} \right)_P ;$$

kur Q ir iekšējās enerģijas izmaiņas ∂u un darba ∂V , kas padarīts pret spiedienu P , summa. Tādēļ vienādojumu iespējams uzrakstīt garākā formā:

$$C_P = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_P + \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P ;$$

Kaltēšanas aprēķinā ir ērtāk lietot vidējās siltumietilpības vērtības ierobežotā temperatūras solī:

$$\overline{C_P} = \left(\frac{\Delta Q}{\Delta T} \right)_P = \frac{1}{(T_2 - T_1)} \int_{T_1}^{T_2} C_P dT ;$$

Tvaika – gāzes maisījumi

Kad gāze vai gāzveida maisījums paliek kontaktā ar mitru virsmu, tas iegūst tvaiku no virsmas līdz brīdim, kad parciālais spiediens tvaikam gāzes maisījumā izlīdzināsies ar tvaika spiedienu vielas virsmā attiecīgajā temperatūrā.

Mitrs gaiss ir kombinācija, kas sastāv no ūdens tvaikiem un gāzes, kurus sastāda ūdens tvaika masa m_w un gāzes masa m_g . Mitruma daudzums izsakāms:

$$Y = \frac{m_w}{m_g} ;$$

Kopējo masu var izteikt kā:

$$m_g + m_w = m_g (1 + Y);$$

Iekšējie nosacījumi (2. process)

Virsmas siltuma pārejas rezultātā temperatūras gradients mainās arī biomasas iekšienē. Tā rezultātā mitrums pārvietojas uz biomasas virsmām, kas notiek caur vienu vai vairākiem mehāniskiem principiem: izkļiedšanās, kapilārā plūsma, iekšējie spiedieni saraušanās dēļ u.c. Izpratne par šo iekšējo kustību ir īpaši svarīga, kad tas ir kontrolējošais faktors – nepieciešams materiāls ar minimālu mitruma saturu. Mainīgie lielumi – gaisa ātrums un temperatūra – kas normāli uzlabo iztvaikošanu no virsmas, ir ar mazāku nozīmi. Svarīgāks ir izturēšanas laiks kaltē un, ja pieļaujams, tad tikai paaugstināta temperatūra.

MITRUMA IZNESE LAIKĀ

Lai zinātu biomasas raksturu kaltēšanā, nepieciešams izmērīt mitruma daudzumu kaltēšanā laikā. To var iedalīt kaltēšanas 3 posmos.

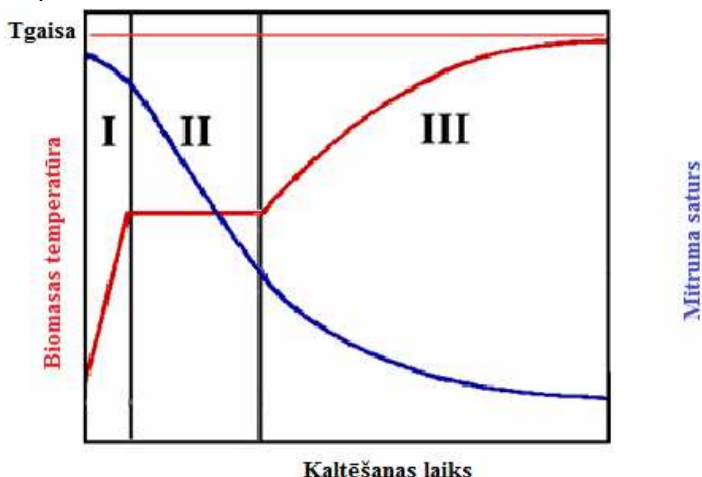
Pirmais periods ir uzkaršanās periods, kad ļoti lēnām sāk iztvaikot mitrums un pieaug biomasas temperatūra.

Otrais periods ir kaltēšanas periods, kad kaltēšanas temps ir konstants, tiek aizvadīts mitrums no virsmām, biomasas temperatūra ir konstanta, enerģija tiek paterēta ūdens iztvaikošanai.

Trešais periods ir kaltēšanās tempa samazināšanās periods.

Attiecīgi laikā samazinās kaltēšanas

temps, iekšējais mitrums tiek vadīts uz virsmām, kaltēšanas līkne linearizējas, biomasas temperatūra sāk vēl pieaugt (bīstama fāze).



DOZATORU RAŽĪGUMS UN PIEDZIŅAI NEPIECIEŠAMĀ JAUDA

Birstošu materiālu dozēšanai tiek izmantoti tilpuma un svara, cikliskas un nepārtrauktas darbības dozatori. Daudzos gadījumos dozatori tiek izmantoti arī kā masas padeves un transportēšanas mehānismi uz tālākās apstrādes mašīnām, piemēram, maisīšanu. Nepārtrauktas darbības tilpuma dozatori masu padod vienmērīgā plūsmā. Šajā gadījumā tālāk padotās masas apjoms tiek noteikts ar masas šķērssgriezuma laukumu vai plūsmas ātrumu. Pirmajā gadījumā plūsmas ātrums ir konstants, bet otrajā šķērssgriezuma laukums.

TRUMUĻVEIDA DOZATORI

Kopumā tiek izmantoti divu tipu trumuļveida dozatori: ar cilindriskiem vai profilētiem trumuļiem un sektortipa. Pirmie paredzēti plūsmas regulēšanai ar berzes un saķeres spēkiem starp trumuļa virsmu un dozējamo materiālu. Sektortipa dozatoriem dozētās masas apjomu nosaka pēc sektoru tilpuma. Gludas virsmas un trumuļus ar nelielām rievām izmanto smalkāku materiālu dozēšanai, bet ar lielākām rievām var dozēt arī mazgabalinu un vidēja lieluma gabalu dozēšanai.

Trumuļa virsmas aploces ātrums var būt no 0.025 līdz 1 m s⁻¹. Trumuļdozatora ražīgumu var regulēt ar dozējamās masas slāņa biezumu.

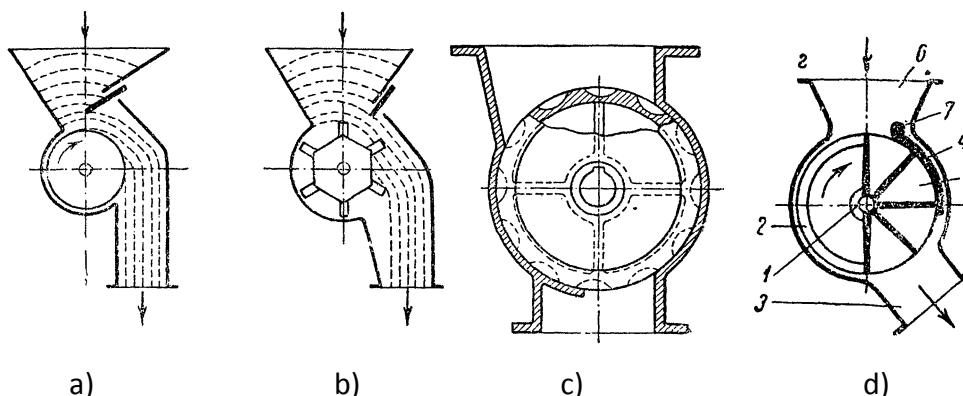
Trumuļa dozatora ražīgums tiek aprēķināts:

$$Q = 3600 f v k \gamma, \text{ kg h}^{-1}, \quad (25)$$

- kur
- f – izejas atveres šķērssgriezuma laukums, m²;
 - v – masas plūsmas caur atveri vidējais ātrums, m s⁻¹;
 - k – izejas atveres aizpildījuma koeficients;

γ – smalcinātās masas blīvums, kg m^{-3} .

Vidējā masas plūsmas ātruma noteikšanai var tikt izmantots trumuļa aploces ātrums.



1. att. Trumuļa dozators

a) – dozators ar cilindrisku virsmu, b) dozators ar rievotu virsmu, c) dozators ar ligzdveida padziļinājumiem uz trumuļa virsmas, d) – lāpstīņtipa dozators.

Ja masas izplūde lūka ir taisnstūrveida, tad:

$$f=ab,$$

kur a – īpatnējais atvērums platums,
 b – atvēruma garums.

Īpatnējais atvērums ir atkarīgs no masas granulometriskā sastāva un tiek aprēķināts pēc:

$$a = \frac{1+n'}{2n'} k_0 (80+D) \text{tg} \varphi_0 \quad (26)$$

kur $n' = \frac{b}{a}$ - atvēruma malu attiecība;

k_0 – eksperimentāls koeficients; separētai masai – 2.2, neseperētai masai – 2;

D – lielāko gabalu izmērs, mm;

φ_0 – masas dabīgā nogrūvuma leņķis miera stāvoklī.

Birstošajiem materiāliem ar nelieliem daļiņu izmēriem, n' vērtība var mainīties plašās robežās, gabalainiem materiāliem $n'=1 \dots 2$.

Piepildījuma koeficients k ir atkarīgs no masas blīvuma un gralunometriskā sastāva. Kopumā k tiek pieņemts vienāds ar 0.7. Koeficienta k vērtība pieaugs pie lielākiem masas blīvumiem un vienmērīgāka masas sastāva.

No vienādojuma:

$$v = \frac{\pi D' n}{60}, \text{ m s}^{-1} \quad (27)$$

var izteikt dozatora trumuļa diametru (D' – trumuļa diametrs, m).

Sektortipa dozatori (ar ligzdveida padziļinājumiem un lāpstīptipa) paredzēti pulverveida un graudainu materiālu dozēšanai. Šādu dozatoru ražīgumu aprēķina pēc:

$$Q = 60 f l m \gamma k n, \text{ kg h}^{-1}, \quad (28)$$

kur f – ligzdas vai sekcijas šķērsgriezuma laukums, m^2 ;
 l – trumuļa garums ass virzienā (ligzdas vai sekcijas garums), m ;
 m – trumuļa sekciju skaits;
 k – piepildījuma koeficients, vidēji 0.8;
 γ – smalcinātās masas blīvums, kg m^{-3} ;
 n – trumuļa apgriezienu skaits minūtē.

Trumuļtipa dozatoru piedziņai pievadītā enerģija galvenokārt tiek patērēta berzes pārvarēšanai starp materiālu, kas atrodas dozatora sekcijās un materiālu, kas atrodas virs dozatora. Atsevišķos gadījumos notiek arī masas smalcināšana, nonākot tai starp trumuli un dozatora sienām.

Materiāla iekšējās berzes aprēķināšana:

$$F = p_n f \text{tg } \varphi_0 \quad (29)$$

Trumuļa piedziņai nepieciešamā jauda:

$$N_1 = \frac{F v k_1}{102} = \frac{p_n f \text{tg } \varphi_0 \pi D n k_1}{102 \cdot 60} \approx 0.005 p_n f D n \text{tg } \varphi_0 k_1, \text{ kW} \quad (30)$$

kur p_n – spiediens, ar kādu materiāls iedarbojās uz trumuļa virsmu, Pa ;
 f – tvertnes atveres laukums virs dozatora, m^2 ;
 D – trumuļa diametrs, m ;
 n – trumuļa rotācijas ātrums, apgr min^{-1} ;
 φ_0 – dinamiskais dabīgā nogrūvuma leņķis;
 k_1 – koeficients, kas ievērtē masas pretestību smalcināšanai; pulverveida un mazgraudainiem materiāliem – 1.0; gabalainiem, viegli sagrūstošiem materiāliem – 2.0.

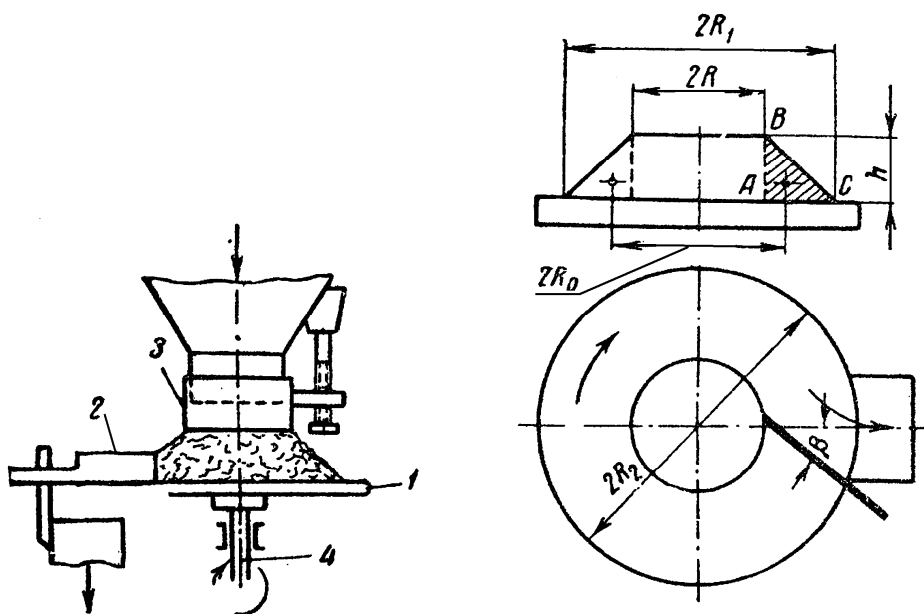
Uztādāmā elektromotora jaudas aprēķins:

$$N_2 = \frac{N_1 k_2}{\eta}, \text{ kW},$$

kur k_2 – koeficients, kas ievērtē zudumus dozatora darbīgo elementu berzes rezultātā – vidēji 1.1 ... 1.2;
 η – piedziņas mehānisma lietderības koeficients.

DISKVEIDA DOZATORI

Diskveida dozatori (2. att.) sastāv no horizontāli rotējoša diska 1, skrāpja 2, kas no diska norauš materiālu un vertikāli novietotas apvalka, kas regulē slāņa biezumu uz diska.



2. att. Diskveida dozators

Disku, ar piedziņas mehānisma palīdzību, griež elektromotors. Birstošais materiāls uz diska novietojās nošķelta konusa veidā, kura augstumu nosaka paceļamais apvalks. Diskam griežoties, skrāpis norauš daļu no materiāla. Dozatora ražīgums ir atkarīgs no materiāla apjoma uz diska, no skrāpja augstuma un novietojuma un no diska rotācijas ātruma.

Diskveida dozatorus izmanto smalku un pulverveida materiālu dozēšanai. Dozatoriem ir salīdzinoši zems ražīgums, bet tie nodrošina salīdzinoši augstu precizitāti.

Diskveida dozatora ražīgums:

$$V = 60V_0n, \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}, \quad (31)$$

kur V_0 – dozējamā materiāla apjoms, kas tiek noņemts no diska viena apgrieziena laikā.

Maksimālais tilpums ko viena apgrieziena laikā var noņemt no diska ir aprēķināms kā gredzens ar trīsstūra šķēlumu:

$$V_0 = 2\pi R_0 F, \text{ m}^3, \quad (32)$$

kur R_0 – attālums starp rotācijas asi un šķērsriezuma laukuma smaguma centru;
 F – gredzena šķērsriezuma laukums.

R_0 tiek aprēķināts pēc sekojošas formulas:

$$R_0 = R + \frac{h}{3 \operatorname{tg} \varphi'_0}, \quad (33)$$

kur R – apvalka rādiuss, m;
 h – apvalka augstums virs diska, m;

φ'_0 - dinamiskais dabīgā nogrūvuma leņķis.

Gredzena šķērsriezuma laukumu aprēķina pēc:

$$F = \frac{h^2}{2 \operatorname{tg} \varphi'_0}. \quad (34)$$

Pārveidojot formulu (31) un ievietojot R_0 un F , iegūsim:

$$V = 60 \frac{\pi h^2 n}{\operatorname{tg} \varphi'_0} \left(R + \frac{h}{3 \operatorname{tg} \varphi'_0} \right), \text{ m h}^{-1}. \quad (35)$$

Diska maksimālo rotācijas ātrums ir saistīts ar nosacījumu, ka masas inerces momenta radītais spēks ir mazāks par berzes spēkiem, kas to notur uz diska:

$$\frac{mv^2}{R_1} < f_1 mg, \quad (36)$$

kur v - diska aploces ātrums, m s^{-1} ;
 R_1 - materiāla konusa pamatnes rādiuss, m;
 f_1 - berzes koeficients masai pret disku kustības laikā;
 m - rotējošā materiāla masa, kg;
 g - 9.81 m s^{-2} .

Rotācijas ātruma robežvērtība būs:

$$n < 30 \sqrt{\frac{f_1 g}{\pi^2 R_1}}. \quad (37)$$

Lai noteiktu diskveida dozatora piedziņai patērēto enerģiju, jāņem vērā: berze starp materiālu un disku; berze starp materiālu un skrāpi; pretestība, kas rodas skrāpim materiālu smalcinot; pretestība, kas rodas smalcinātās masas stabam rotējot dozatora tvertnes atverē.

Tuvināts elektromotora jaudas aprēķins diskveida dozatoram:

$$N = \frac{N_1}{\eta} (1 + \cos \beta f_2) k, \text{ kW}, \quad (38)$$

kur $N_1 = \frac{P v_0}{102}$ - jauda uz diska vārpstas gala, lai pārvarētu materiāla berzes pretestību, kW;
 β - skrāpja uzstādīšanas leņķis attiecībā pret masas gredzena šķērsriezumu;
 f_2 - materiāla un skrāpja savstarpējais berzes koeficients;
 k - koeficients, kas ievērtē citas pretestības, parasti, 1.5 2.0;

η – dozatora piedziņas mehānisma lietderības koeficients.

Berzes spēks materiālam pārvietojoties pa disku:

$$P = FS_{\gamma} f_1 g, \text{ N,}$$

kur S – masas posma garums, kas tiek nobīdīts no diska, m;
 γ – smalcinātās masas blīvums, kg m^{-3} ;
 f_1 – materiāla un diska savstarpējais berzes koeficients.

No diska nostumjamā materiāla ātrums:

$$v_0 = \frac{2\pi R_0 n}{60}, \text{ m s}^{-1}.$$

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

5. Основы расчета и конструирования машин и автоматов пищевых производств. Под. ред. А.Я.Соколова. Москва: Машиностроение. 1969. 637 стр.
6. *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.
7. 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.
8. С.В. Мельников. *Механизация и автоматизация животноводческих ферм*. Ленинград: Колос, 1978. 560 с.
9. A. Levy, H. Kalman. *Handbook of conveying and handling of particular solids*. – Elsevier Science. Eastbourne: Antony Rowe Ltd., 2001. 860 pp.
10. A.W. Roberts. Design and application of feeders for the controlled loading of bulk solids onto conveyor belts. <http://www.saimh.co.za/beltcon/Beltkon2paper27.html> 09.02.2012.
11. Roberts, A.W. and Willis, A.H., "Performance of Grain Augers", *Proc. Instn. of Mech. Engrs.*, Vol. 176, (8), 1962. pp.165-194.
12. M. Kutz. *Mechanical engineers handbook*. – A Wiley Interscience publications. John Wiley & Sons, inc.; 2 edition. 1998. 2352 pp.
13. A. W. Roberts. Design considerations and performance evolution of screw conveyors. <http://www.saimn.co.za/Beltcon/Beltcon11/Beltcon1114.html>

SLĪDOŠĀ GRIEŠANA

Lopbarības gatavošanai jau izsens 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 [1] trīsdesmitajos gados akadēmiķis V. Gorjačkins. Tajā ir aprakstīts arī salma slīdošās griešanas eksperiments. Eksperimentējot ar salma slīdošo

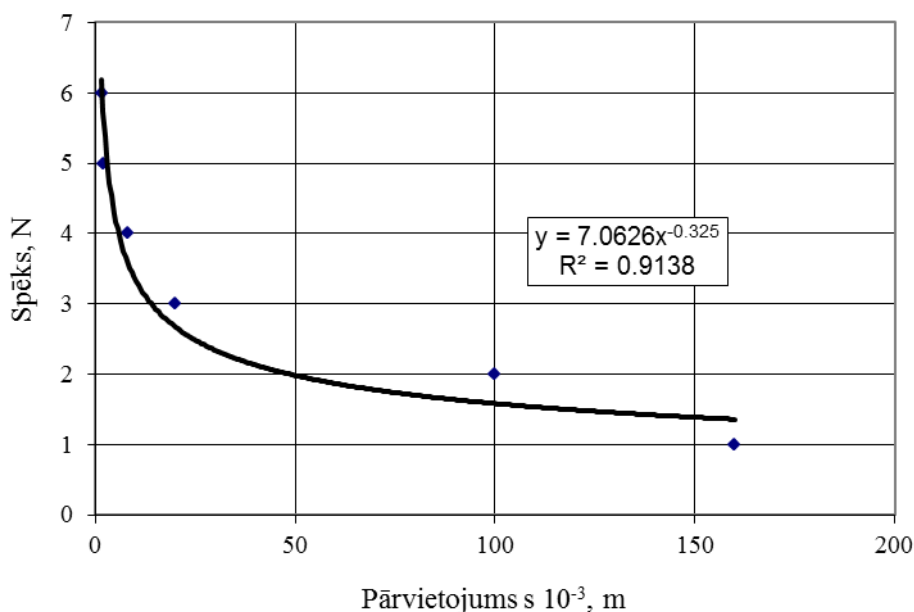
griešanu salmam piespieda asmeni ar spēku N un pārbīdīja salmu gar asmeni par attālumu s , līdz salms tika pārgriezts. Iegūta sekojoša [1] rezultātu tabula (dati un mērvienības pārveidotas atbilstoši SI):

Tabula [1]

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 (1. att.), izmantojot Excel programmas iespējas.



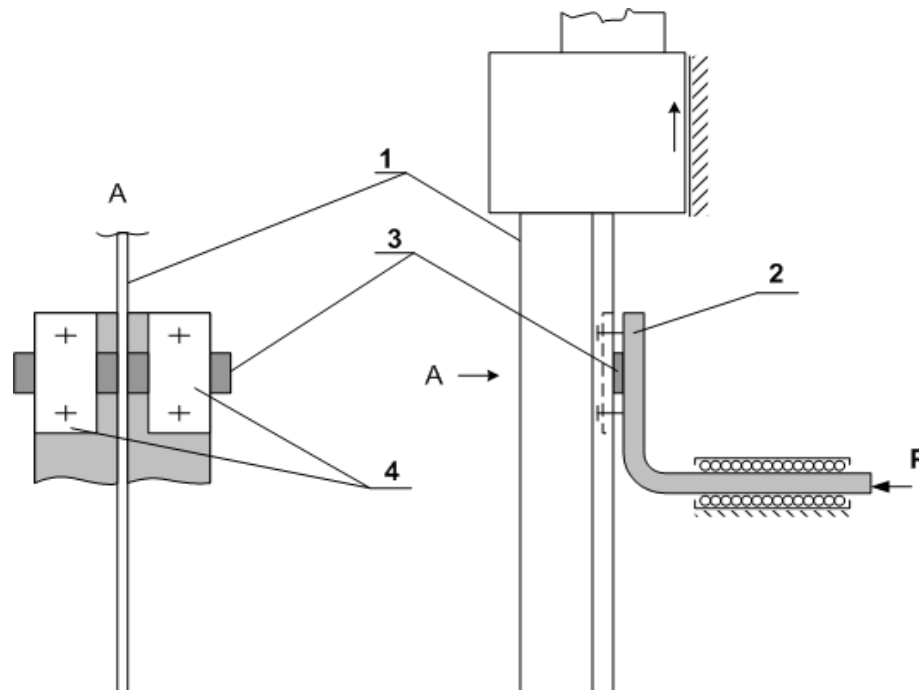
1. att. Asmens piespiešanas spēka un pārvietojuma vērtības slīdošā griešanā

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

$$A = N \cdot d + f' \cdot N \cdot s, \quad (1)$$

kur: N – asmens piespiešanas spēks, N;
 d – neplacināta salma diametrs, m;
 f' – reducētais berzes koeficients;
 s – pārvietojums gar asmeni, m.

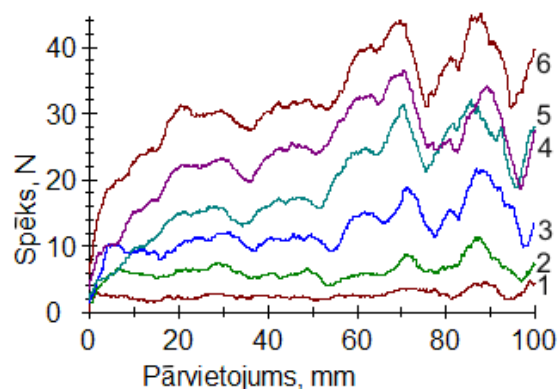
Reducētā berzes koeficienta f' un slīdes darba patēriņa noteikšanai šādā slīdošā griešanā tika izstrādāta papildus iekārta (2. att.) materiālu testēšanas mašīnai Zwick TC-FR2.5TN.D09. Griešanai līdzīgi kā iepriekš izmantoja placinātas niedres paraugus.



2. 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.

Slīdošās griešanas eksperimentā eksperimentējot ar 10° asinājuma nazi iegūtās vilces spēka un naža pārvietojuma pieraksti parādīti 3. attēlā.



3. att. Naža vilces spēks slīdošā griešanā

Līkņu numerācija veikta atbilstoši parauga piespiešanas spēkam pie naža asmens sekojoši: 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:

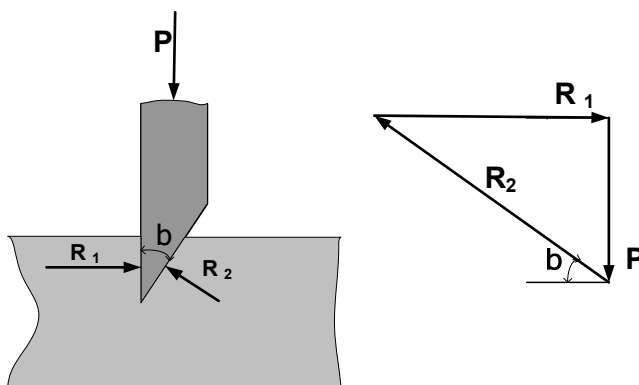
$$F = f' \cdot N, \quad (2)$$

kur: F – berzes spēks,
 f' – reducētais berzes koeficients,
 N – reakcijas spēks perpendikulāri berzes virsmai.
 Reducētais berzes koeficients:

$$f' = \frac{F}{N}.$$

No eksperimentāli iegūtajām līknēm redzams, ka ja piespiešanas spēks asmenim pārsniedz 20 N, tad reducētais berzes koeficients atbilstoši 3. attēlam ir $f' > 1$. Reducētais berzes koeficients slīdošajā griešanā tika pētīts triju veidu nažiem ar asmens leņķi 10° ; 20° ; 30° . Teorētiski berzes koeficienta aptuvena vērtība tiek aprēķināta ievērojot naža garenvirziena berzi un šķērsvirziena berzi. Saskaņā ar attēlā pieliktajiem spēkiem reakcijas var aprēķināt pēc sekojošas formulas:

$$R_1 = \frac{N}{\tan \beta} \text{ un } R_2 = \frac{N}{\sin \beta}. \quad (3)$$



4. att. Slīdoša naža asmens reakcijas

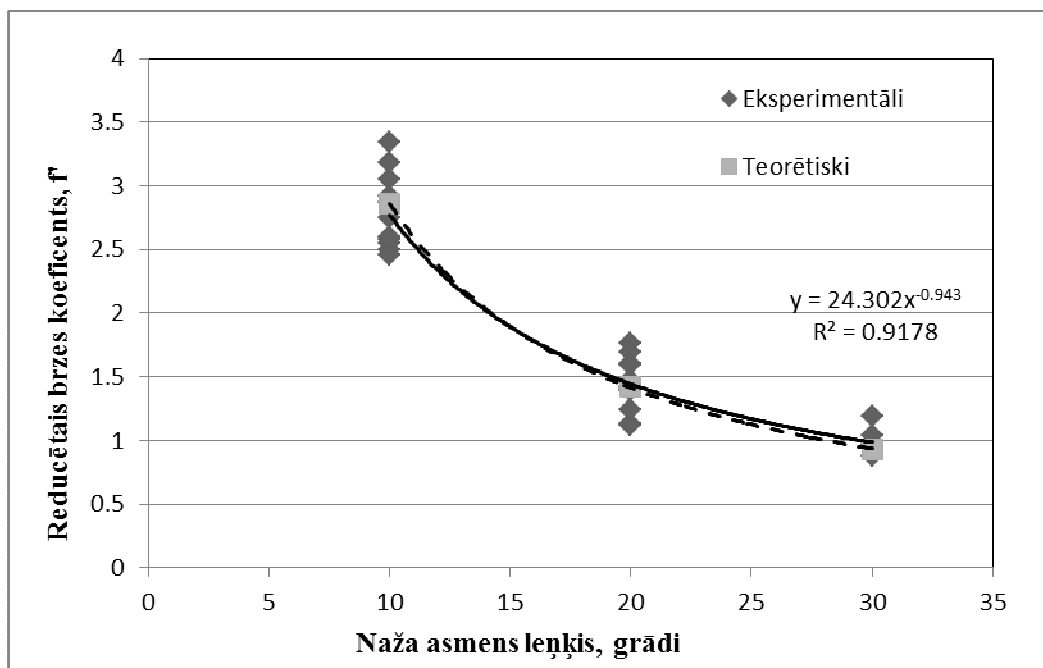
Garenvirziena berzes spēks F ņemot vērā 3. formulu tiek aprēķināts sekojoši:

$$F = f(R_1 + R_2) = f\left(\frac{1 + \cos \beta}{\sin \beta}\right)P. \quad (4)$$

Tad

$$f' = f \frac{1 + \cos \beta}{\sin \beta} \quad (5)$$

5. att. tiek attēlots reducētais berzes koeficients triju veidu nažiem ar asmens leņķi 10° ; 20° ; 30° grādi, kas iegūti eksperimentāli un teorētiski izmantojot 6. formulu pie berzes koeficienta $f = 0.25$.



5. att. Reducētais berzes koeficients

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 plaknē 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 slīpripas graudiem asināšanas procesā. Jāatzīmē arī placinātās niedres neviendabīgā struktūra (6. att.) šķēsgriezumā.



6. att. Placinātās niedres šķēsgriezums

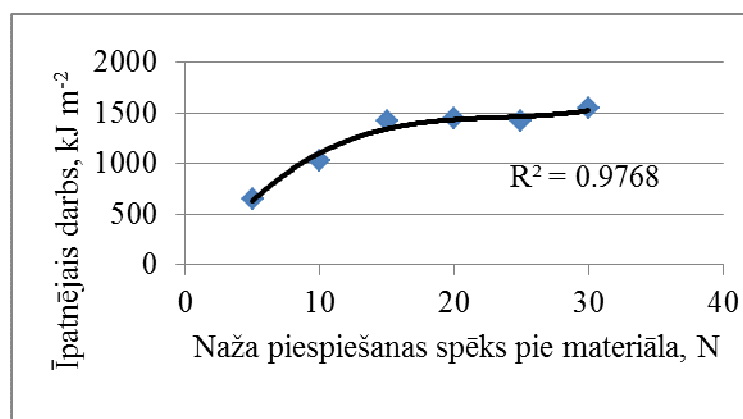
Niedru ārpusē struktūra ir nedaudz cietāka, kā iekšpusē, bet to perifērijā atrodas arī iekšējās ventilācijas kanālu tukšumi, kas ne tikai nodrošina to spēju augt mitrājos, bet jūtami sarežģī šī materiāla struktūru.

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

$$E_{scq} = \frac{N \cdot b + F_v \cdot s}{b \cdot l}, \quad (3)$$

kur N – asmens piespiešanas spēks, N,
 F_v – asmens vilces spēks, N,
 b, l – placinātas niedres iegriezuma dziļums un platums, m,
 s – naža pārvietojums slīdē, m.

Redzams (7. att.), ka mainot niedres parauga piespiešanas spēku nazim no 5 – 30 N, īpatnējais enerģijas patēriņš slīdošajā griešanā izmainās no 653 – 1500 kJ m⁻².



7. att. Īpatnējais enerģijas patēriņš slīdošajā griešanā

Salīdzinot ar ciršanas griešanu īpatnējais enerģijas patēriņš slīdošajā griešanā daudzkārt 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 griezēju konstrukcijai, kur salmus šķipsnām padeva griešanai un nogrieztā daļa atdalījās nokrītot. Mūsu eksperimentā nostiprinātas abas niedru stiebra puses, atbilstoši tam, kā smalcina ķipotu stiebru materiālu, kur stiebi 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.

LITERATŪRA

1. Горячкин В. Теория соломорезки и силосорезки. В сборнике Теория конструкция и производство сельскохозяйственных машин. Т4. М. Сельхозгиз, 1936, 226 – 263.

2. Afzalinia S. and Roberge M. Physical and mechanical properties of selected forage materials. Canadian Biosystems engineering. Volume 49. 2007. 223 – 227.

BRIKETĒŠANAS UN GRANULĒŠANAS TEHNOLOĢISKAJĀ PROCESĀ RADĪTO PUTEKĻU IETEKME UZ DARBA UN UGUNSDROŠĪBU

Būtisks faktors cietā biokurināmā ražošanas iekārtu izgatavošanai ir nodrošināt iekārtu atbilstību drošas ekspluatācijas standartiem. Darbs ar biomasas izgatavošanu ir saistīts ar ugunsdrošiem un sprādzienbīstamiem putekļiem, kuru mazināšanas un novēršanas izpēte ir būtiska projektā paredzēto mērķu sasniegšanai. Standartu un pētījumu neesamība šajā gadījumā var būt par šķērsli iekārtu veiksmīgai ieviešanai ražošanā vai radītu papildus izdevumus drošai iekārtu ekspluatācijas nodrošināšanai.

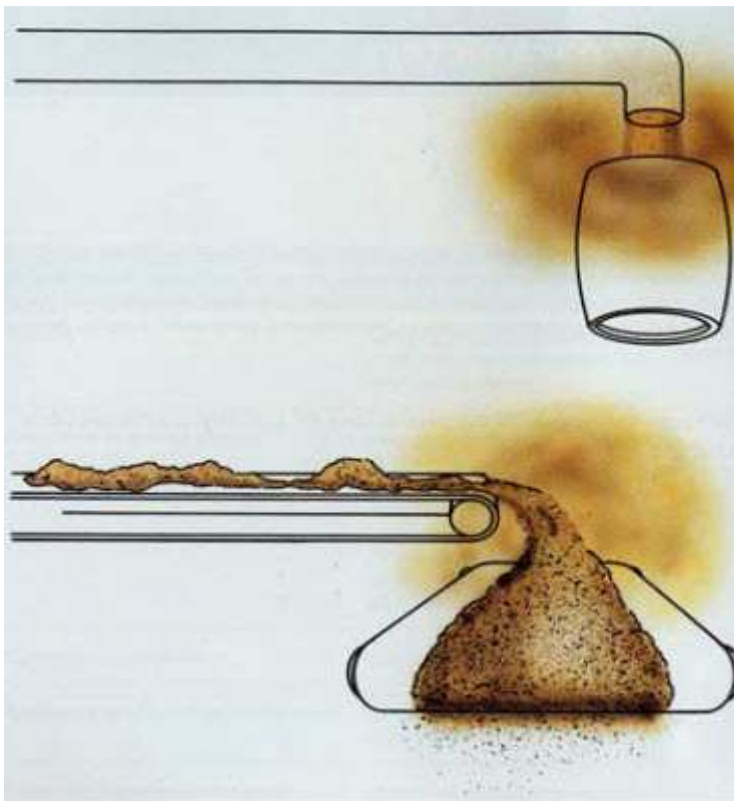
Putekļi ir cietu vielu smalko daļiņu kopums, kas veidojas darba procesā un atrodas ilgāku laiku gaisā līdzsvara stāvoklī. Atmosfēras gaisā putekļi atrodas pastāvīgi, visvairāk to ir zemei pieguļošajā gaisa slānī. Tie rodas, organiskām vai neorganiskām vielām sabrūkot, saberžoties, sprādzienā izjūkot vai salūstot. Putekļu izmēri mērami, sākot no 1-2 milimetriem, līdz pat milimetra simttūkstošajai daļai.

Stiebrzāļu augu izmantošana kurināmā ražošanai norit vairākos posmos –smalcināšana, smalcināto stiebrzāļu biomasas daļiņu presēšana granulu vai briķešu presē.

Uzsākot kurināmā izgatavošanu no stiebrzāļu biomasas, briķešu vai granulu veidā materiāls pirms kompaktēšanas tiek sasmalcināts. Smalcināšanas procesā veidojās ievērojams putekļu daudzums iekārtas darba zonā. Preventīvo pasākumu plānošanā jāņem vērā informācija par darba vides faktoriem: putekļu īpašībām un tā koncentrāciju gaisā; ekspozīcijas intensitāti un ilgumu. Putekļu/gaisa maisījumu vai putekļu klātbūtne un veidošanās parādīti turpmāk attēlos.



Putekļu koncentrācija var ievērojami mainīties, kad palielinās putekļu nogulsņējumi. Putekļu nogulsņējumu veidošanās rada paaugstinātu aizdegšanās risku. Šādu putekļu esamība rada risku aizdegšanās gadījumā ugunij izplatīties nekontrolēti pa visu iekārtu vai ražošanas telpu. Lai paaugstinātu ugunsdrošību, tehnoloģiskās līnijas jāplāno, izmantojot hermētiskas šahtas, pārvadus un putekļu rašanās vietas jālokalizē. Briketēšanas un granulēšanas produktu putekļu atrašanās uz iekārtas, grīdas un telpas sienām rada risku –gaisa, putekļu sprādzienbīstamam maisījumam, kas pie atklātas liesmas vai dzirksteļošanas var radīt sprādzienu.



Putekļu nosēšanās uz biomasas kompaktēšanas iekārtām ir nenovēršama. Iekārtu darbs ir saistīts ar sīki sasmalcinātu un pulverveida materiālu presēšanu vienādas formas cietās granulās. No matricas iznākošās granulas ir karstas (atkarībā no pielietojamās tehnoloģijas). Pēc dzesēšanas un sijāšanas tās kļūst cietas un tīras no putekļiem, gatavas uzglabāšanai un transportēšanai.



Putekļu nogulsnes veidojās uz visām iekārtu horizontālām virsmām. Lai izvairītos no bīstamām putekļu nogulsnēm, jāveic regulāra iekārtu un tehnisko telpu uzkopšana un tīrīšana.



Svarīgi ir pareizi ieprojektēt iekārtu apkopšanas punktus, tehnoloģisko, apkopes darbu veikšanai.

Granulēšanas, smalcināšanas

iekārtām ir grūti sasniedzamas, nepārskatāmas virsmas, kurās laika gaitā var uzkrāties ievērojams putekļu daudzums.

Vietās, kur ievērojams putekļu daudzums tiek izmests nepareizu vai kļūdainu darba operāciju rezultātā (piemēram, bojāta tvertne, noplūde), jāveic papildus pasākumi, lai, pēc iespējas ātrāk novērstu putekļu uzkrāšanos.



No matricas iznākošās granulas ir karstas un viegli uzliesmojošas atkarībā no pielietojamās tehnoloģijas.



Preventīvie vispārīgie pasākumi :

- ✓ darba vides riska vērtēšana;
- ✓ putekļaino darbavietu norobežošana un sauso putekļu uztvērēju ierīkošana;
- ✓ vietējās nosūces sistēmu ierīkošana un gaisa mitrināšana;
- ✓ darbinieku izglītošana par putekļu kaitīgo iedarbību uz organismu, sevis aizsargāšanas paņēmieniem, darbinieku instruktāžas veikšana darba aizsardzībā;
- ✓ individuālo aizsarglīdzekļu (respiratoru, aizsarg kombinezonu, aizsargbrīļļu, cimdu) lietošana.

LITERATŪRA, INFORMĀCIJAS AVOTI:

1. LR standarti
- 2.
3. LVS EN 50281-3:2002 Viegli uzliesmojošu putekļu klātbūtnē izmantojama iekārta - 3.daļa: Viegli uzliesmojošu putekļu esošas vai iespējamās klātbūtnes zonu klasifikācija
4. LVS EN 1127-1:1997 Sprādzienbīstama vide - Sprādziena novēršana un aizsardzība - 1.daļa: Pamatnostādnes un metodoloģija
5. LVS EN 13463-1:2002 +AC Neelektriskās iekārtas sprādzienbīstamām vidēm - 1.daļa: Pamatmetode un prasības
6. LVS EN 13463-8:2003 Neelektriskās iekārtas sprādzienbīstamām vidēm - 8.daļa: Aizsardzība ar 'k' tipa mērcēšanu
7. LVS EN 12874:2002 Liesmu norobežotāji - Eksploatācijas prasības, pārbaužu metodes un lietošanas ierobežojumi

8. LVS EN 60079-10:2003 Elektroaparātūra sprādzienbīstamā gāzu vidē - 10.daļa: Bīstamās vides klasifikācija
9. LVS EN 1839:2003 Gāzu un tvaiku eksplozijas robežu noteikšana
10. LVS EN 13237:2003 Sprādzienbīstama vide - Sprādzienbīstamai videi paredzētu iekārtu un aizsardzības sistēmu termini un definīcijas
11. LVS EN 13673-1:2003 Gāzu un tvaiku eksplozijas maksimālā spiediena un spiediena pieauguma maksimālā ātruma noteikšana - 1.daļa: Eksplozijas maksimālā spiediena noteikšana
12. LVS EN 13821:2003 Sprādzienbīstama vide - Sprādziena novēršana un aizsardzība - Putekļu/gaisa maisījumu minimālās aizdegšanās enerģijas noteikšana
13. LVS EN 13980:2003 Sprādzienbīstama vide - Kvalitātes sistēmu lietošana
14. LVS 446:2003 Ugunsdrošībai un civilajai aizsardzībai lietojamās drošības zīmes un signālrāsojums.

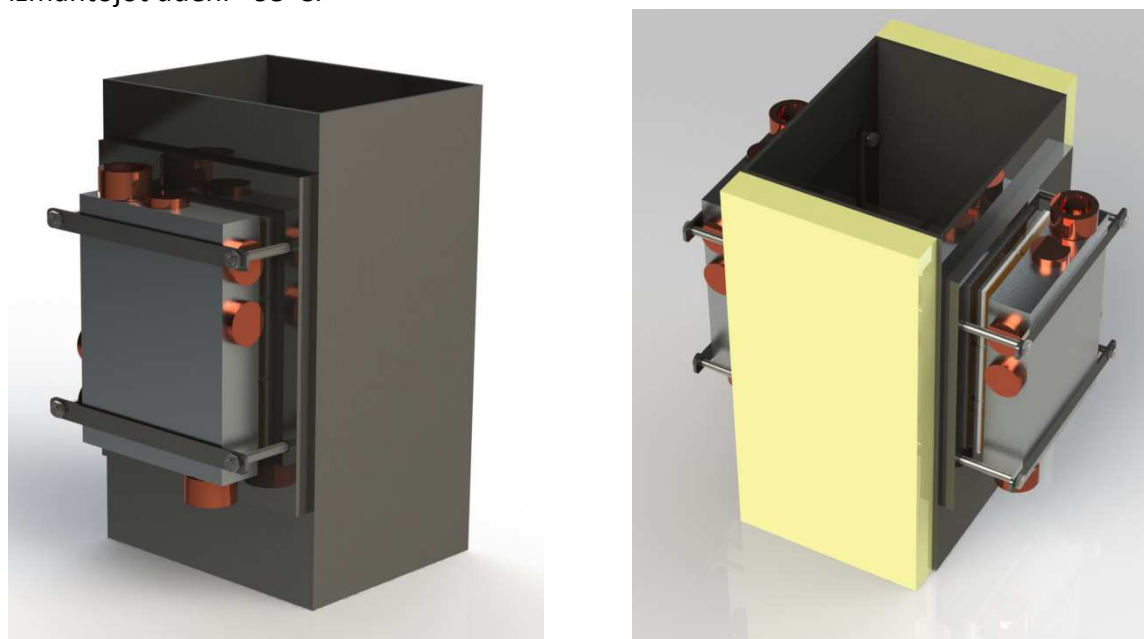
Citi standarti:

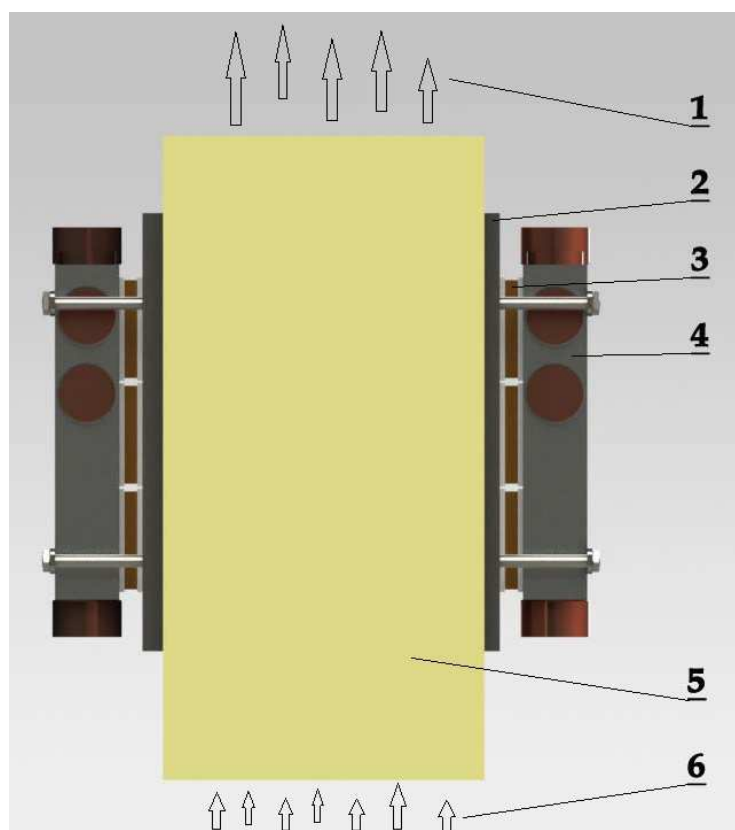
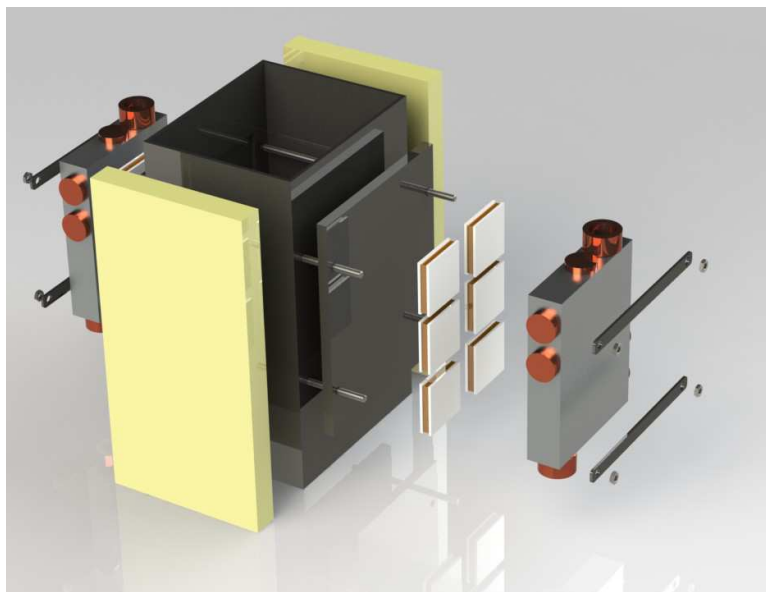
15. EN 14034-1:2004 Determination of explosion characteristics of dust clouds - Part 1: Determination of the maximum explosion pressure p_{max} of dust clouds
16. EN 14034-4:2004 Determination of explosion characteristics of dust clouds - Part 4: Determination of the limiting oxygen concentration LOC of dust clouds
17. prEN 14373 Explosion suppression systems
18. prEN 14460 Explosion resistant equipment
19. prEN 14034-2 Determination of explosion characteristics of dust clouds - Part 2: Determination of the minimum rate of explosion pressure rise $(dp/dt)_{max}$ of dust clouds
20. prEN 13673-2 Determination of maximum explosion pressure and maximum explosion pressure rise of gases and vapours - Part 2: Determination of the maximum explosion pressure rise CEN/TC 305 N 195 Determination of the spontaneous ignition behaviour of dust accumulations
21. prEN 14522 Determination of the minimum ignition temperature of gases and vapours
22. prEN 14034-3 Determination of explosion characteristics of dust clouds - Part 3: Determination of the lower explosion limit LEL of dust clouds
23. prEN 14756 Determination of the limiting oxygen concentration (LOC) for gases and vapours
24. prEN 13463-2 Non-electrical equipment for use in potentially explosive atmospheres - Part 2: Protection by flow restricting enclosure 'fr'
25. prEN 13463-3 Non-electrical equipment for potentially explosive atmospheres - Part 3: Protection by flameproof enclosure 'd' Non-electrical equipment for potentially explosive atmospheres - Part 4: Protection by inherent safety
26. prEN 13463-6 Non-electrical equipment for potentially explosive atmospheres - Part 6: Protection by control of ignition source
27. prEN 14797 Explosion venting devices
28. prEN 14491 Dust explosion venting protective systems
29. prEN 14994 Gas explosion venting protective systems
30. prEN Explosion Isolation Systems
31. prEN 14591-2 Explosion prevention and protection in underground mines - Protective systems - Part 2: Water trough barriers Non-electrical equipment for potentially explosive atmospheres - Part 7: Protection by pressurisation

32. prEN 14986 Design of fans working in potentially explosive atmospheres
33. prEN 1127-1:1997 rev Explosive atmospheres - Explosion prevention and protection - Part 1: Basic concepts and methodology Guidance on inerting for the prevention of explosions Methodology for risk assessment of protective systems for intended use in potentially explosive atmospheres
34. prEN Methodology for the Risk Assessment of Non-electrical Equipment for Intended Use in Potentially Explosive Atmospheres

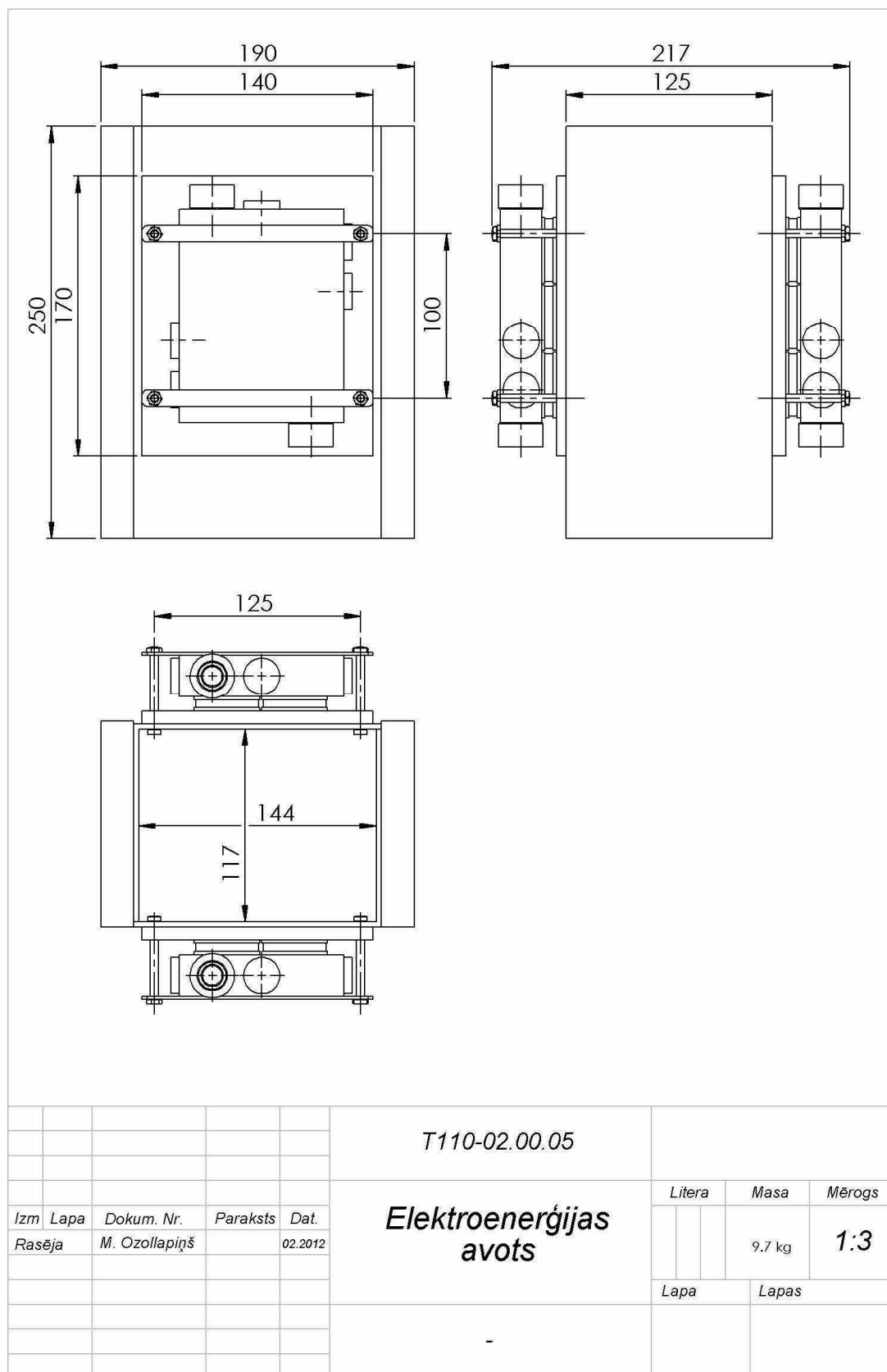
KALTES PROTOTIPA REZERVES ELEKTROENERĢIJAS AVOTA KONSTRUKCIJAS IZSTRĀDĀŠANA

Iekārtas darbības princips balstās uz elektroenerģijas ražošanu, izmantojot temperatūras starpības starp dūmgāzēm un dzesēšanas šķidrumu. Darbības princips tiek balstīts uz Zēbeka efektu. Par dzesēšanas šķidrumu izmanto ūdeni, kas cirkulē dzesēšanas blokos. Elektrību ģenerējošie elementi tiek izkārtoti starp dzesēšanas bloku un siltuma noņēmēju, kas pakļauts tiešai dūmgāzu apskalošanai. Iekārtas siltuma noņēmējs, ārējais korpuss izgatavojami no konstrukciju vai karstumizturīga tērauda, bet dzesēšanas bloks no alumīnija vai tā sakausējuma. Iekārtas pieļaujamā maksimālā temperatūra sasniedz 280°C ar īslaicīgiem temperatūras kāpumiem līdz 380°C. Iekārtas montāžas laikā nepieciešams uzklāt uz elektrību ģenerējošajiem elementiem termopastu, kas nodrošinās labāku siltuma pārvadi starp detaļām. Iekārtas saražotā jauda tieši atkarīga no temperatūras starpības – proporcionāli temperatūras starpības pieaugumam pieaug saražotās elektroenerģijas apjoms. Iekārtas iespējams slēgt vairākas virknē, tādā veidā palielinot kopējo saražoto jaudu. Elektriskajā ķēdē starp iekārtu un patērētāju nepieciešams izvietot dziļizlādes akumulatorus, neproduktīvā perioda kompensācijai. Attēlā redzamās iekārtas saražotā elektroenerģija pie temperatūru starpības 150°C – 50W. Siltumenerģijas zudumu novēršanai ap iekārtu izveidota 20mm siltumizolācija. Iekārta izvietojama tieši aiz kurtuves dūmgāzu ceļā. Eksploatācijas laikā iekārtas dzesēšanas šķidrums nedrīkst pārsniegt savu viršanas temperatūru, attiecīgi izmantojot ūdeni - 95°C.





1. Izejošās dūmgāzes – siltumnesējs
2. Siltuma noņēmējs
3. Termoelektrisko ģeneratoru bloks
4. Dzesēšanas bloks
5. Siltumizolācija
6. Ieiejošās dūmgāzes.



ANALĪTISKAIS APSKATS PAR KOMPAKTĒŠANAS PROCESA TEORĒTISKO IZPĒTI

Anizotropa granulu materiāla kompaktēšanās vibrāciju ietekmē vertikālā caurulē [1] ir atkarīga no attiecības L/D , kur L – granulu garums, bet D – caurules diametrs. Pie $L > D$ ir iegūstams orientēts granulu izkārtojums caurulē.

Noskaidrota [2] spiediena - tilpuma attiecības ar sasmalcinātu kviešu salmu un citu stiebraugu biomasu atbilstība Walkera modelim un Kawakita un Ludde modelim. To norāda ļoti augsta determinācijas koeficienta vērtības. Walker modelis korelē arī ar saspiežamības datiem.

Samazināts daļiņu izmērs smalcināšanā [3] ir līdz šim ar lielāko enerģijas patēriņu kopumā kompaktēšanas tehnoloģijā. Taču tas nodrošina augstāku kvalitāti (izturību un blīvumu) kompaktētajiem produktiem – briketēm un granulām.

Blīvēšanu tika [4] noteikta, izmantojot četrus izvēlētos biomasas paraugus (mieži, rapšu, auzu un kviešu salmi) pie 10% mitruma saturu (PB) un 1,98 mm dzirnaviņas

sietā izmēra, izmantojot kompaktēšanas iekārtu, kas piemērota četru spiedienu līmeņiem 31,6, 63,2, 94,7 un 138,9 MPa. Vidējais blīvums miežu, rapšu, auzu un kviešu salmu kompaktētajiem paraugiem svārstījās no 907 ± 31 līdz 988 ± 26 kg m³, 823 ± 73 līdz 1003 ± 21 kg m³, 849 ± 22 līdz 1011 ± 54 kg m³ un 813 ± 55 - 924 ± 23 kg m³, attiecīgi, savukārt vidējais kopējais īpatnējais enerģijas patēriņš kompaktēšanai svārstījās no

$3.69 \pm 0,28$ līdz $9.29 \pm 0,39$ MJ t⁻¹, $3,31 \pm 0,82$ līdz $9,44 \pm 0,33$ MJ t⁻¹, $5,25 \pm 0,42$ līdz $9.57 \pm 0,83$ MJ t⁻¹ un $3,59 \pm 0,44$ uz $7,16 \pm 0,40$ MJ t⁻¹, atbilstoši.

Izmantojot optimizācijas metodes kompaktēšanas procesa [5] optimālie parametri tika noteikti. Šie optimālie lielumi ir 13% mitruma saturs, 102 °C presformas temperatūra, 28 MPa spiediens un daļiņu izmēru apmērs, kas iegūts ar veserīšu dzirnavu sietu kam ir 9,5 mm (3/8 collas) atvērumi.

Eksperimentāli [6] granulas ieguva uz ražošanas preses un laboratorijas iekārtas. Ārējā virsma laboratorijas granulām ir raupja, šķiedras redzams garenvirzienā. Ekstrūdera granulām redzama gluda virsma. Jo presējot materiāls ekstrūderā tiek vairāk sajaukts. Arī presējot ekstrūderā var sasniegt lielāku berzi un temperatūru materiālā.

Blīvēšana Al-Al₂O₃ (40% tilpuma daļa) kompozītiem [7] zem pulsējoša spiediena (0-414 MPa) ir pētīta ar dažādiem paņēmieniem. X-staru tomogrāfija tika izmantota, lai novērtētu daļiņu blīvuma sadalījumu; mehāniskās īpašības tika pārbaudītas ar kompresijas testiem; un mikrostruktūra novērojumi veikti gareniskā šķēsgriezumā izmantojot SEM.

Secināts, ka spiediena cikliskums uzlabo kompakto blīvumu, izturību, un abu frakciju vienādu sadalījumu. Spiediena cikliskuma efekts ir lielāks par īsākām komponentēm, jo tur ir mazāka spiediena pavājināšanās no presformas sienas berzes. Pilns blīvums un gandrīz vienots daļiņu sadalījums tika iegūts pēc 10000 cikliem.

Uzsildīšana (100 ° C) ir dominējošais faktors, kas ietekmē switchgrass [8] briekšu izturību, salīdzinot ar citu faktoru ietekmi, piemēram, daļiņu lielumu un saistvielām. Ar uzsildīšanu līdz 100 ° C pie 150 MPa spiediena, smalki malta switchgrass līdz daļiņu lielumam 0,26 mm vai papildinājumu 5% (WT.) kaļķa pulveri, vai 2% (WT.) ķīmiskā saistvielas pievienošana, kas iegūta no lignīna-sulfonāta, vai 20% (WT.) smalcinātas kukurūzas stiebru pievienošana palielināja briektes izturību par aptuveni 10 procentu punktiem, salīdzinot ar kontroles kompaktēšanu ar uzsildīšanu līdz 100 ° C bez papildus jebkādām saistvielām (briektes izturība bija 67% kontroles variantam). Maisījums 20% (WT.) kukurūzas stiebru daļiņām ar 80% (WT.) switchgrass šķiet, ka ir labākā stratēģija, lai uzlabotu switchgrass briektes izturību, jo pievienojot 20% (WT.) kukurūzas stiebru nevajadzētu gandrīz nekādas papildu izmaksas blīvēšanai salīdzinājumā ar naudas izmaksām switchgrass smalcināšanai līdz 0,26 mm daļiņu izmēram vai 2% līdz 5% (WT.) ķīmisko saistvielu pievienošana.

Kawakita vienādojumam [9] ir pielietojamība tikai attiecībā uz ierobežotiem materiālu veidiem. Hekela vienādojums bieži rada izliektas līknes, kuras nav viegli izskaidrot. Ir pierādīts matemātiski, ka pie spiedieniem, kas ir samērā zemi, salīdzinot ar tecēšanas spriegumu, Kawakita un Hekela vienādojumi ir identiski pēc savas būtības.

Mehāniskās īpašības [10] kviešu salmiem, mieži salmiem, kukurūzas stiebiem un switchgrass tika noteiktas pie dažādiem saspiešanas spēkiem, daļiņu izmēriem un mitruma satura. Biomasas paraugi tika saspiesti ar pieciem saspiešanas spēku līmeņiem (1000, 2000, 3000, 4000 un 4400 N) un trīs līmeņu daļiņas izmēros (3,2, 1,6 un 0,8 mm), divu līmeņu mitruma saturu (12% un 15% (mitrā)) lai noteiktu kompresijas un relaksācija datus. Saspiestās izlases izmēri un masas tika mērītas, lai aprēķinātu granulu blīvumu. Miežu salmiem bija augstākie asimptotiskie moduļi starp visām biomasām un tas norāda, ka granulas, kas izgatavotas no miežu salmiem, bija stingrākas nekā citas granulas.

Dabiskie saistvielu komponenti [11] kukurūzas stiebru un switchgrass biomasas materiāliem ir ūdenī šķīstošas vielas: ogļhidrāti (2,2-7,9% s.b.), lignīns (8,8-9,2% s.b.), proteīns (3,6-3,9% s.b.), ciete (0,4-1,0% s.b.), un tauki (0,7- 0,9% s.b.). Saistvielas šajā biomasā var tikt aktivizētas ar augstu spiedienu, klātesot mitrumam (piemēram, ūdenī šķīstošie ogļhidrāti) un dažos gadījumos palielinot temperatūru (piem., lignīns, olbaltumvielas, ciete un tauki). Kad spiediens ir noņemts un saistvielas atdziest, tās sacietē vai "izveido" tiltu vai saites starp daļiņām, kuras sekas ir izturīgākas briektes vai granulas.

Eiropas valstu standartu salīdzinājums [12] par koksnes granulu īpašībām ir Tabulā 1.

Tabula1

Parametrs	DIN 51 731	Ö-Norm M7135	Certification DINplus	SS 18 71 20
Diametrs	4 līdz 10 mm	4 līdz 10 mm	Nav definēts	< 25 mm
Garums	< 50 mm	< 5 x d	< 5 x d	< 5 x d
Blīvums	> 1,0-1,4 kg/dm ³	> 1,12 kg/dm ³	> 1,12 kg/dm ³	Nav definēts
Mitrums	< 12 %	< 10%	< 10%	< 10 %
Pulvera blīvums	Nav definēts	Nav definēts	Nav definēts	> 500 kg/m ³
Nobirums	Nav definēts	< 2,3 %	< 2,3 %	Nav definēts

Pelnu saturs	< 1,5 %	< 0,5 %	< 0,5 %	< 1,5 %
Siltumspēja	17,5 - 19,5 MJ/kg	> 18 MJ / kg	> 18 MJ / kg	> 16,9 MJ / kg
Sēra saturs	< 0,08 %	< 0,04 %	< 0,04 %	< 0,08 %
Slāpekļa saturs	< 0,3 %	< 0,3 %	< 0,3 %	Nav definēts
Hlora saturs	< 0,03 %	< 0,02 %	< 0,02 %	< 0,03%
Arsēna saturs	< 0,8 mg / kg	Nav definēts	< 0,8 mg / kg	Nav definēts
Svina saturs	< 10 mg / kg	Nav definēts	< 10 mg / kg	Nav definēts
Kadmija saturs	< 0,5 mg / kg	Nav definēts	< 0,5 mg / kg	Nav definēts
Hroma saturs	< 8 mg / kg	Nav definēts	< 8 mg / kg	Nav definēts
Vara saturs	< 5 mg / kg	Nav definēts	< 5 mg / kg	Nav definēts
Sudraba saturs	< 0,05 mg / kg	Nav definēts	< 0,05 mg / kg	Nav definēts
Cinka saturs	< 100 mg / kg	Nav definēts	< 100 mg / kg	Nav definēts

Konstatēts, ka blīvums ir vissvarīgākais kvalitātes parametrs. Ir svarīgi, lai no kompaktētā materiāla nebūtu nobirumi. Lielāks blīvums arī labvēlīgi ietekmē degšanas laiku un formas stabilitāti, kā arī samazina kurināmā spējas uzņemt gaisa mitrumu. Apskatīti presformas izmēri un to ietekme uz briekšu blīvumu.

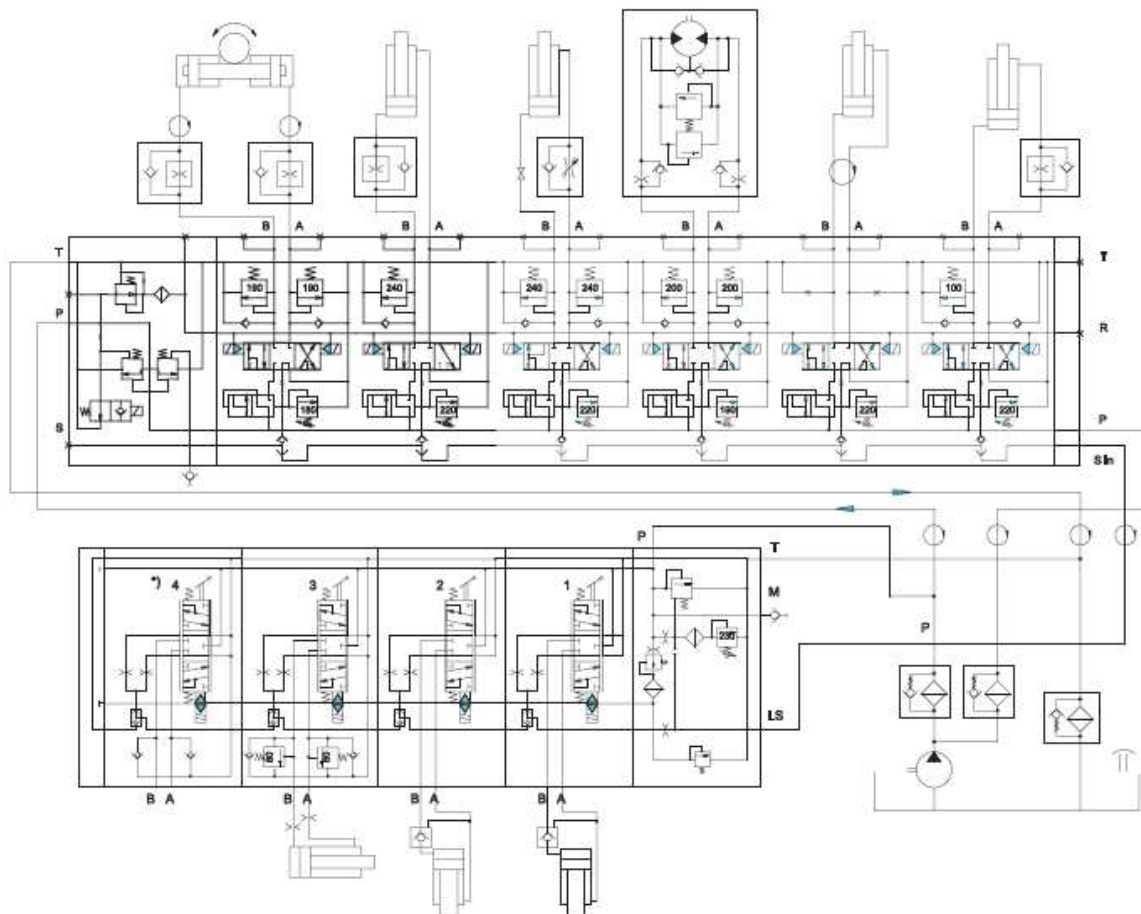
LITERATŪRA:

1. Lumay G. and Vandewalle N., Compaction of anisotropic granular materials : experiments and simulations. GRASP, Institut de Physique B5, Universit'e de Li`ege, arXiv:cond-mat/0405245 v1 12 May 2004
2. Nehru Chevanan etc., Bulk density and compaction behavior of knife mill chopped switchgrass, wheat straw, and corn stover. Bioresource Technology 101 (2010) 207–214
3. Morey V., Biomass densification. Biomass Conversion to Heat & Electricity Workshop Heartland Community College, Normal, IL, March 11, 2009. from www.biomassCHPethanol.umn.edu
4. Phani Adapaa, Lope Tabila, Greg Schoenaub. Compaction characteristics of barley, canola, oat and wheat straw. Bio systems engineering (2009) 1–10
5. G. Munoz-Hernandez, M. Gonzalez-Valadez, and J. Dominguez-Dominguez. "An Easy Way to Determine the Working Parameters of the Mechanical Densification Process". Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript FP 03 013. Vol. VI. August, 2004.
6. G. Munoz-Hernandez, J. Dominguez-Dominguez, and O. Alvarado-Mancilla. "An Easy Laboratory Method for Optimizing the Parameters for the Mechanical Densification Process: An Evaluation with an Extruder". Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript PM 06 015. Vol. VIII. July, 2006.
7. Y. Fu, G. Jiang, J. J. Lannutti, R. H. Wagoner and Glenn S. Daehn, Effect of Cyclic Pressure Consolidation on the Uniformity of Metal Matrix Composites. In Press: Materials Transactions, October, 2001.
8. Kaliyan N., Morey R. V., STRATEGIES TO IMPROVE DURABILITY OF SWITCHGRASS BRIQUETTES. Transactions of the ASABE Vol. 52(6): 1943-1953, 2009, American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 2151-0032
9. Denny P.J. Compaction equations: a comparison of the Heckel and Kawakita equations. Powder Technology 127 (2002) 162– 172

10. Sudhagar Mania, Lope G. Tabilb, Shahab Sokhansanj, Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. Biomass and Bioenergy 30 (2006) 648–654
11. Nalladurai Kaliyan, R. Vance Morey, Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. Bioresource Technology 101 (2010) 1082–1090
12. MATÚŠ Miloš, KRIŽAN Peter, INFLUENCE OF STRUCTURAL PARAMETERS IN COMPACTING PROCESS ON QUALITY OF BIOMASS PRESSINGS. Aplimat – Journal of Applied Mathematics. Volume 3 (2010), number 3, 87 - 96

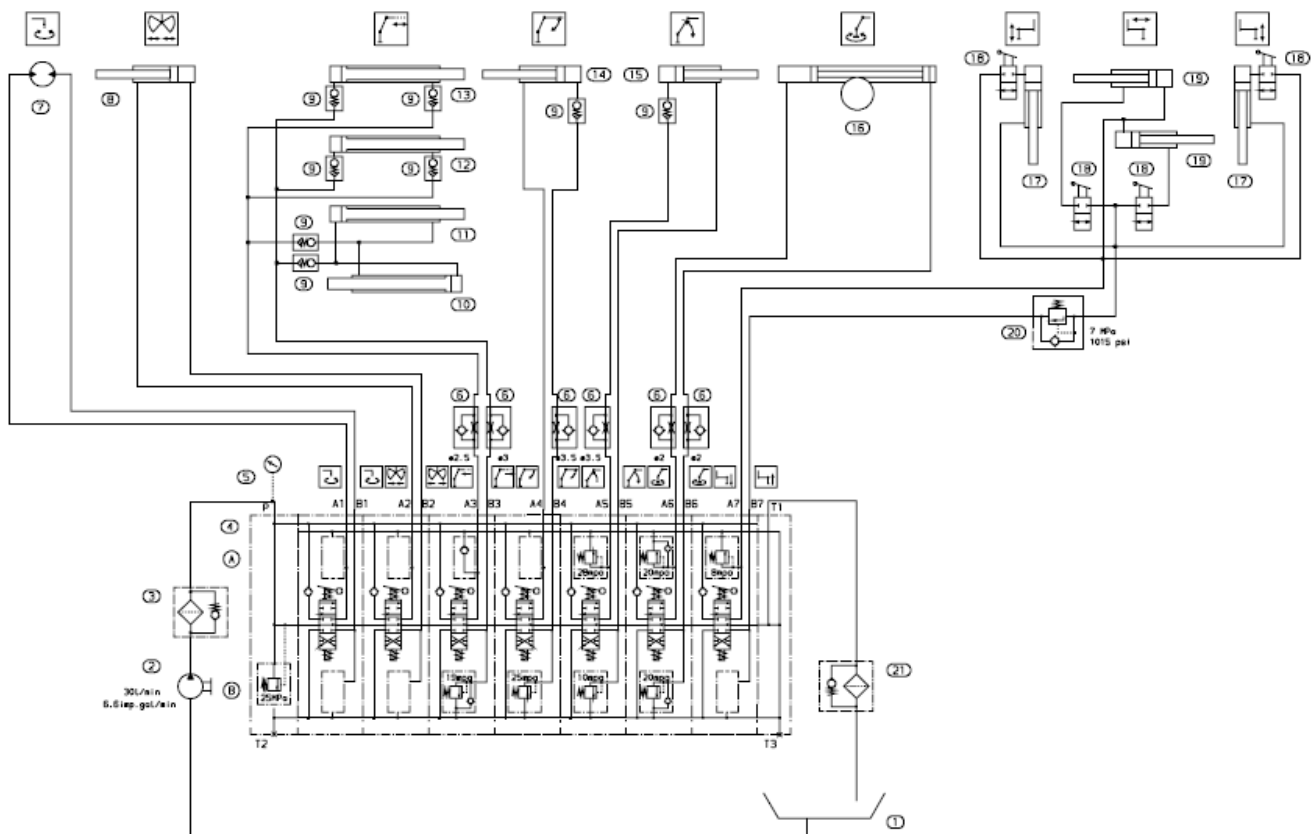
HIDRAULISKĀS SHĒMAS IZSTRĀDE SMALCINĀTĀJAM

Biomases sagatavošanā pirms briketēšanas ir nepieciešama tās transportēšana no ieguves vietas uz uzglabāšanas un kompaktēšanas iecirkni. Sasmalcinot biomasas stiebru materiālu (piemēram, ezera niedres) jau ieguves vietā, un iepildot to mīkstos konteineros, iespējams samazināt transportēšanas izmaksas. Šāda tehnoloģija nosaka nepieciešamību apgādāt kravas automobili ar iekraušanas manipulatoru. Optimālā variantā būtu vēlams nodrošināt smalcinātāja hidraulisku piedziņu no manipulatora hidrauliskās (1. att.) sistēmas.

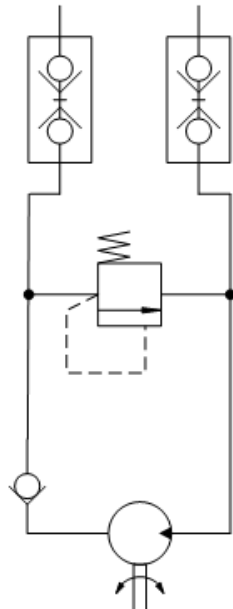


1. att. Hidrauliskā shēma

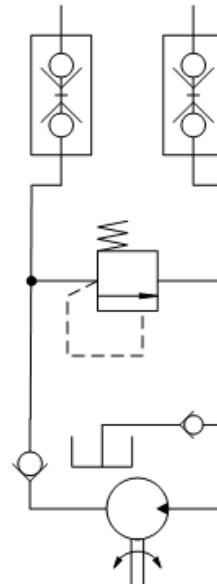
Manipulatoram Loglift ir brīva sekcija sadalītājā, kas kalpo atbalstu pārvietošanai. Arī manipulatoram Palfinger (2. att) iespējams atbrīvot hidraulisko shēmu no greifera hidrocilindra (8) piedziņas. Tādējādi abu manipulatoru shēmās iespējama piedziņa smalcinātājam.



2.att. Manipulatora Palfinger hidrauliskā shēma



3. att. Smalcinātāja piedziņa no Loglift hidrosistēmas



4. att. Smalcinātāja piedziņa no Palfinger hidrosistēmas

Manipulatora Loglift hidrosistēmu nepieciešams papildināt ar hidromotoru un drošības vārstu (3. att.), kurš darbojas hidromotora bremzēšanas režīmā, kā arī ar ātrajiem savienotājiem šļūtenēm. Hidromotora atplūdē ieslēgtais vienvirziena vārsts nepieļauj

hidromotora un smalcinātāja rotāciju nepareizā virzienā. Ja smalcinātājam realizē piedziņu no manipulatora Palfinger greifera hidrocilindram (8) paredzētās piedziņas, tad hidrosistēma jāpapildina ar 4. att. Parādīto shēmu. Šeit hidromotora spiedlīnijas pusei ir pievienots vienvirziena vārsts, kas saistīts ar atplūdes līniju. Šāds papildinājums nodrošina to, ka hidromotora bremzēšanas režīmā tā ieplūdē nav iespējams vakuums un gaisa iesūkšana caur blīvslēgu. Loglift hidrauliskajā sistēmā nodrošinājums pret gaisa iesūkšanu brīvajai sekcijai jau ir paredzēts.

Palfinger hidrauliskās sistēmas sūkņa parametri – ražīgums 30 l min^{-1} un maksimālais spiediens 25 MPa nodrošina piedziņas jaudu hidromotoram $\sim 10.5 \text{ kW}$. Loglift hidrosistēma ar ieteicamo sūkņa ražīgumu līdz 140 l min^{-1} un maksimālo spiedienu līdz 30 MPa spēj stabili nodrošināt smalcinātāja hidromotora piedziņas jaudu $\sim 30 \text{ kW}$.

MOBILA KOMPAKTĒTĀJA PIEDZIŅAS PARAMETRU NOTEIKŠANA

Perspektīvā mobilu biomasas kompaktētāju paredzēts darbināt no traktoru hidrauliskās sistēmas. Lai noteiktu hidraulisko sistēmu jaudu traktoriem Interneta meklējuma rezultāti apkopoti Tabulā 1.

Tabula 1

Traktoru kopējā un hidrauliskā jauda

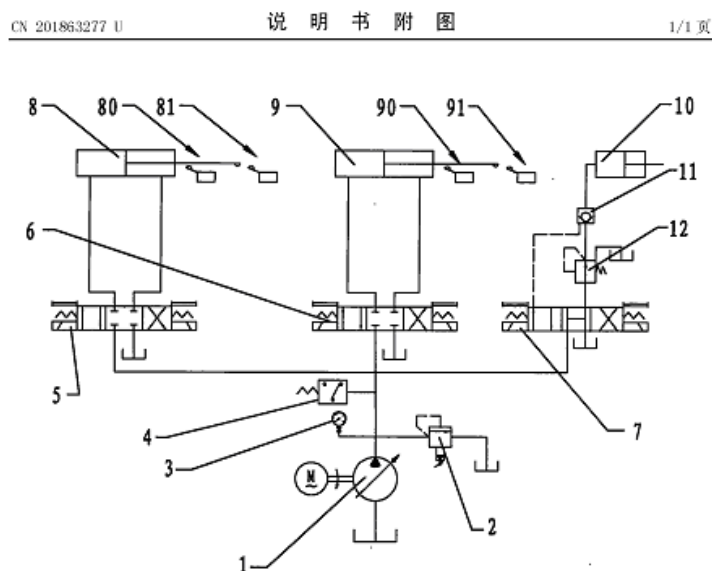
Traktors	Traktora jauda, ZS	Hidrosistēmas spiediens, bar	Ražīgums, l min^{-1}	Hidrosistēmas jauda, kW
Claas ARES	90	200	60	19.61
Valtra T sērija	139 - 211	205	115	38.52
Valtra N sērija	88 - 160	205	115	38.52
Valtra A sērija	74 - 101	180	52	15.29
Massey Ferguson	135 - 240	200	110	35.95
БЕЛАРУС 592.2	62	200	45	14.71
БЕЛАРУС 920.3	84	200	45	14.71
БЕЛАРУС-892	87	200	46	15.03
БЕЛАРУС-1222.4	136	200	55	17.97
T- 40	40	140	45	10.29
T- 150	175	160	86	22.48
MTZ - 80	75	160	45	11.76
Fendt 200 Vario	70 - 110	200	48	15.69
John Deere 5E Series	55 - 75	195	46	14.66
John Deere 5080G	80	190	47	14.59
John Deere 5090M	90	200	50	16.34
Zetor Forterra	96 - 136	200	70	22.88
Zetor Proxima Power	87 - 117	190	50	15.52

Šajā tabulā, kur traktoru jauda svārstās no 40 – 240 ZS, hidrauliskās jaudas svārstības nav tik lielas $\sim 14 - 38 \text{ kW}$ robežās (izņemot traktorus T-40 un MTZ-80). Hidrosistēmas sūkņu

ražīgums nav mazāks par 45 l min^{-1} , bet darba spiediens modernākajos traktoros sasniedz vismaz 180 bar. Vispārināta hidrauliskā jauda, kas atbilst iepriekš minētajām ražīguma un spiediena vērtībām tad ir $\sim 13 \text{ kW}$. Šo jaudas vērtību vēlams ievērtēt projektējot mobilo biomasas kompaktētāju. Samērā nelielā hidrauliskās sistēmas jauda traktoriem nosaka arī kompaktēšanas (briketēšanas) metodes izvēli. Tā kā briketēšana ar virzuļu presēm bez biomasas sildīšanas ļauj izmantot mazākas jaudas kompaktēšanas iekārtas nekā ekstrūzijas iekārtas ar biomasas sildīšanu, tad mobiliem biomasas kompaktētājiem jāizvēlas hidrauliskās virzuļu preses biomasas kompaktēšanai.

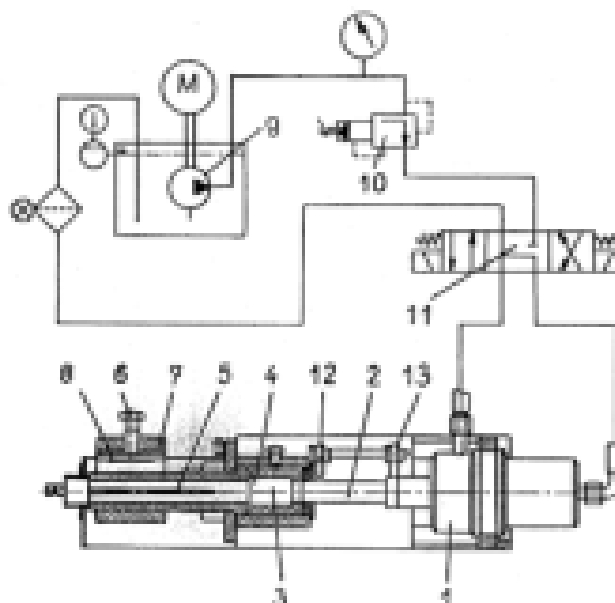
MOBILA BIOMASAS KOMPAKTĒTĀJA (BRIKETĒTĀJA) HIDRAULISKĀS PIEDZIŅAS SHĒMAS IZVĒLE

Turpmāk apskatīts patenta meklējums par hidrauliska cilindra nepārtrauktas turp – atpakaļ kustības iespējamiem shēmu risinājumiem. Pamatā sniegti patenta numuri un shematiskie attēli.



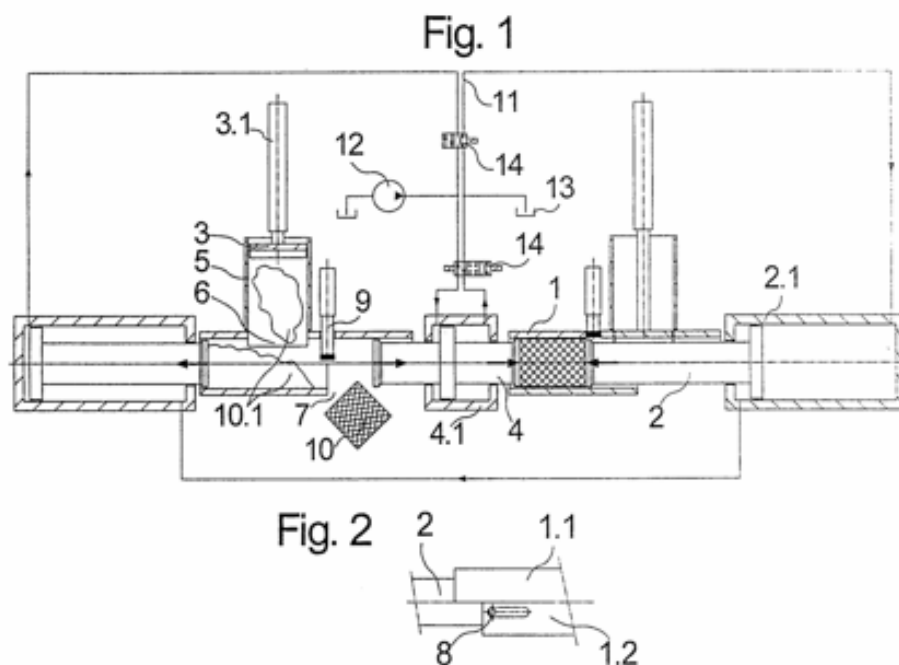
1. att. Briketēšanas preses hidrauliskā shēma

Shēmā izmantoti elektriski vadāmi sadalītāji. Hidraulisko cilindru 8 un 9 gājienu limitē attiecīgi gala slēdži 80, 81 un 90, 91 atbilstoši. Vadībai tiek izmantots arī spiediena relejs 4. Presformas saspiešanu šķērsvirzienā nodrošina hidrocilindrs 10 ar redukcijas vārsta 12 starpniecību.



2. att. Hidrauliskā presēšanas sistēma

Liela diametra hidrauliskais cilindrs 1 nodrošina nepieciešamo presēšanas spēku. Hidrocilindra vadību veic ar elektriski vadāmu sadalītāju 11. Presēšanas gājienu nosaka pozīcijas sensori 12 un 13.



3. att. Briketēšanas iekārtas shēma

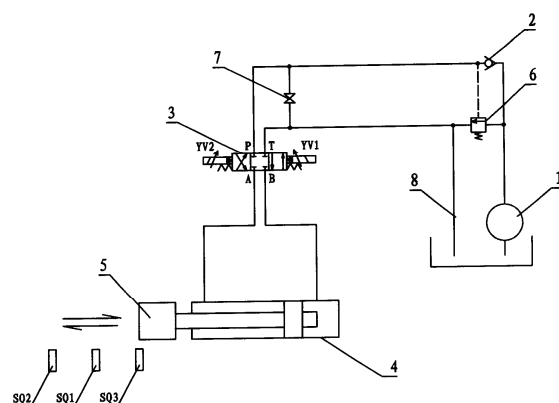


图 1

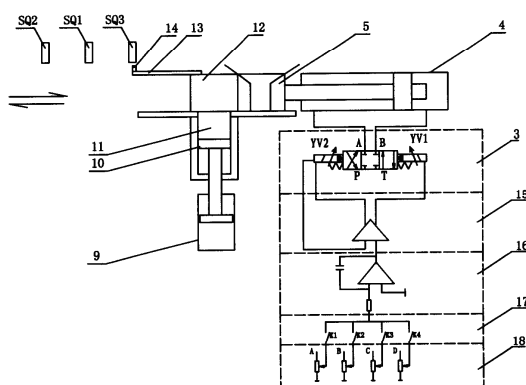
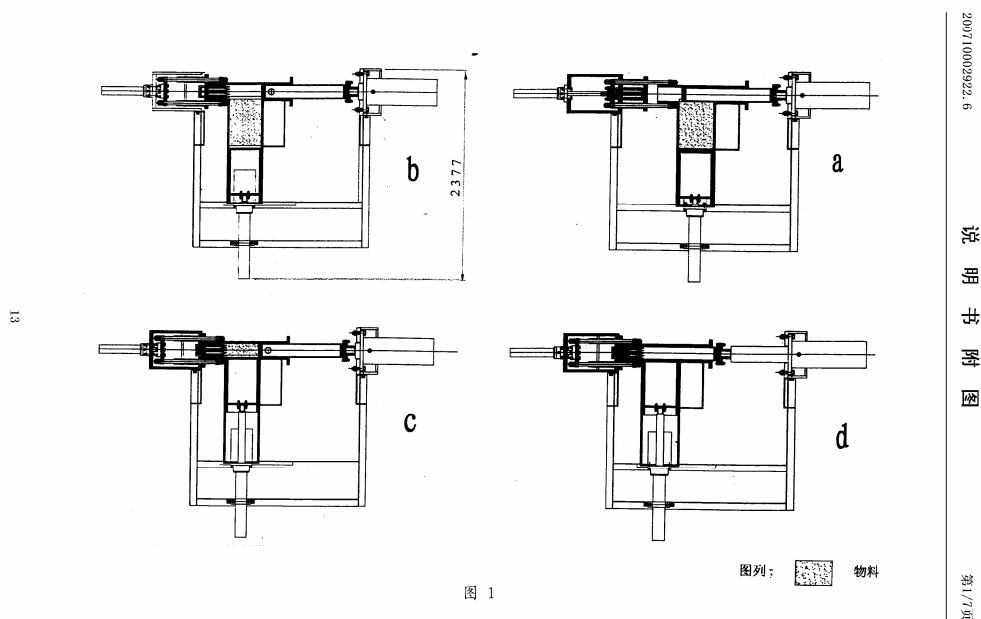


图 2

4. att. Briketēšanas iekārta

Shēmā paredzēta divu kompaktēšanas hidrocilindru alternatīva darbība. Vadības sistēma nav atspoguļota.



5. att. Briketēšanas preses piedziņa un vadība

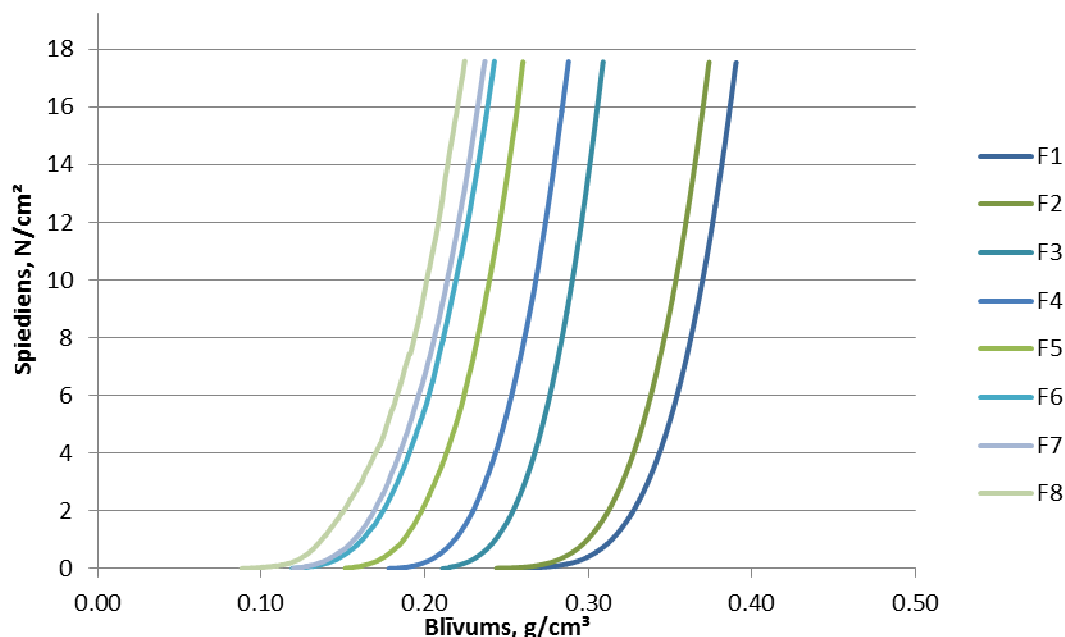
Briketēšanas iekārta ar sadalītu presformu stiebru biomasas kompaktēšanai. Biomasas padeve tiek veikta perpendikulāri presformas asij.

Patentā hidraulisko piedziņu realizē ar elektriski vadāma sadalītāja starpniecību. Tā vadībai tiek izmantoti gala slēdži un elektroniska vadības shēma. Biomasas padeve tiek veikta perpendikulāri presformas asij.

SMALCINĀTU NIEDRU KOMPAKTĒŠANA AR ZEMIEM SPIEDIENIEM

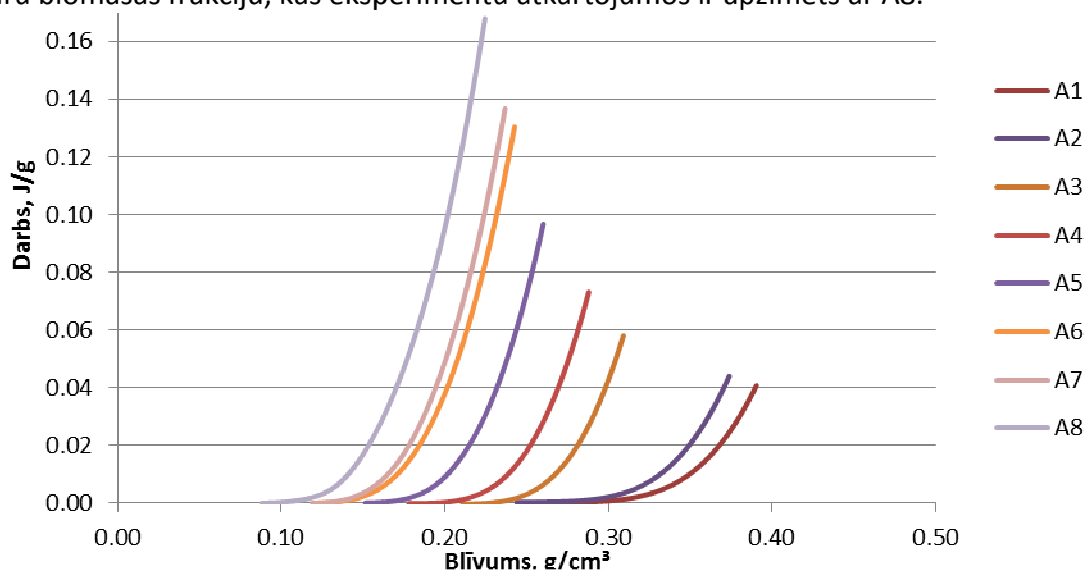
Smalcinātu niedru kompaktēšana tika veikta divos paņēmienos ar Zwick standu un manis paša izgatavotu ierīci niedru kompaktēšanai, kur sasmalcinātā niedru biomasa tika kompaktēta ar svaru atsvaru palīdzību.

Sekojošajā grafikā ir redzams spiediena un blīvuma attiecība pie noteiktiem sasmalcinātu niedru biomasas daļiņu lielumiem. Spiediens visos izmēģinājumos ir vienāds. Eksperimentam ir astoņi atkārtojumi, jo eksperiments tika veikts ar dažādas rupjības sasmalcinātu niedru biomasu. Sietu acs izmēri ir 20, 15, 12, 10, 6, 3, 1,5, 0,5 mm. Eksperimenta apzīmējumi tika veikti sākot ar rupjāko sietu, kurš ir 20 mm un ir apzīmēts ar izmēģinājuma kārtas numuru F8. Kā pēdējais eksperiments tika veikts ar smalkāko sietu, kas ir 0,5 mm un tas tika apzīmēts ar apzīmējumu F1.



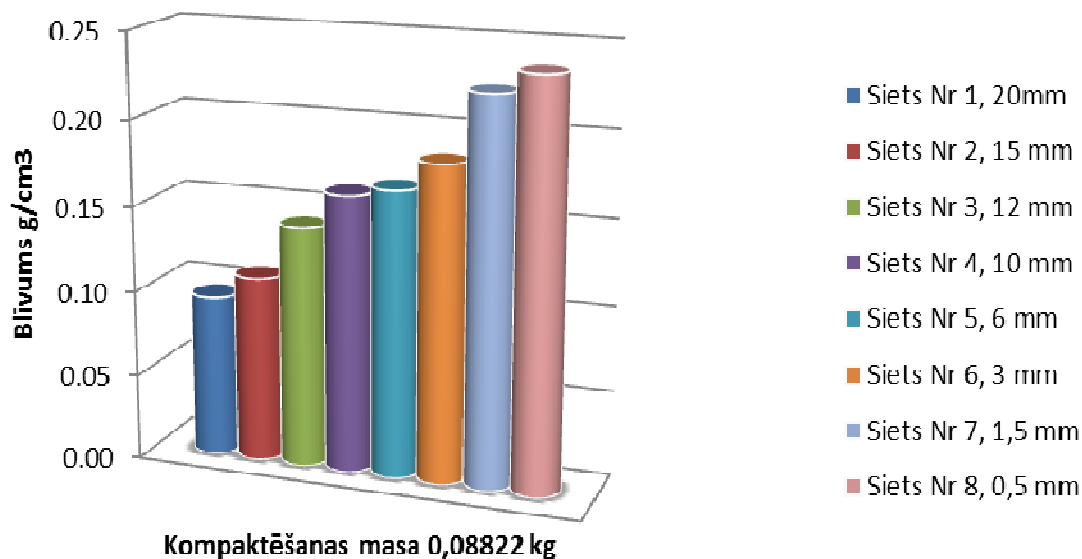
1. att. Blīvuma un spiediena attiecība.

Apstrādājot eksperimentu rezultātus, kas tika iegūti uz Zwick materiālu testēšanas iekārtas, tika izveidots darba un blīvuma grafiks, kurā ir redzams, ka mazāks darbs nepieciešams, lai sakompaktētu smalkākas niedru daļiņas, kas eksperimentu atkārtojumos ir apzīmēts ar A1. Turpretī vislielākais darbs ir jāizdara, lai sakompaktētu rupjāk sasmalcināto niedru biomasas frakciju, kas eksperimentu atkārtojumos ir apzīmēts ar A8.



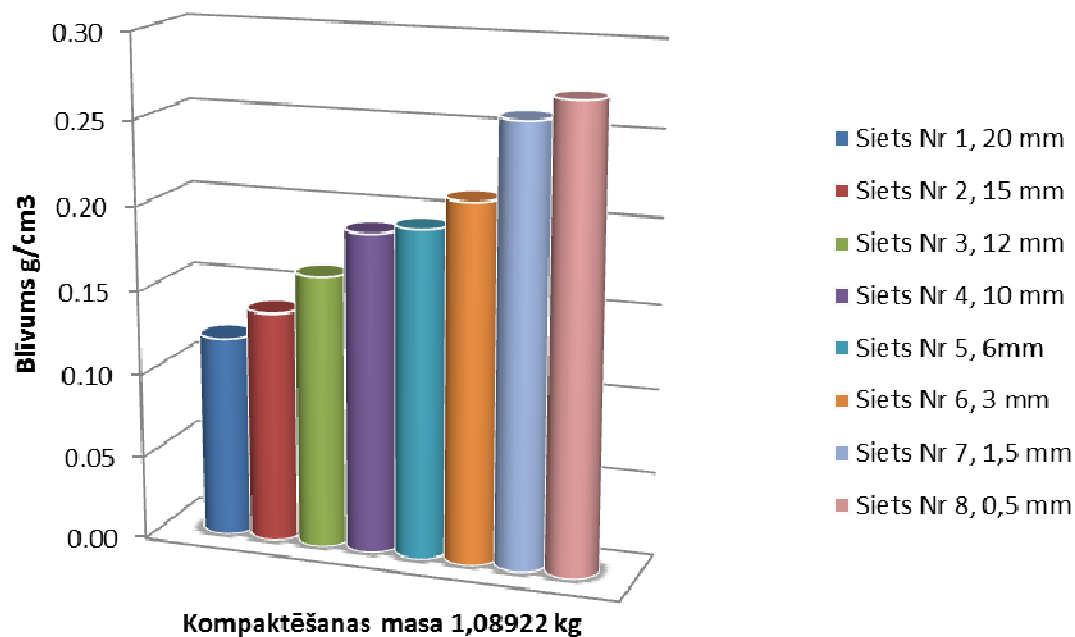
2. att. Blīvuma un darba attiecība.

3. attēlā grafikā ir parādīta blīvuma izmaiņa pie vienāda kompaktēšanas svara, kas atbilst kompaktēšanas virzuļa svaram. Vismazākais blīvums ir rupjāk sasmalcinātai frakcijai, kas ir smalcināta ar sietu, kuram ir 20 mm liela acs. Vislielākais blīvums ir frakcijai, kura ir smalcināta ar sietu, kura acs izmērs ir 0,5 mm.



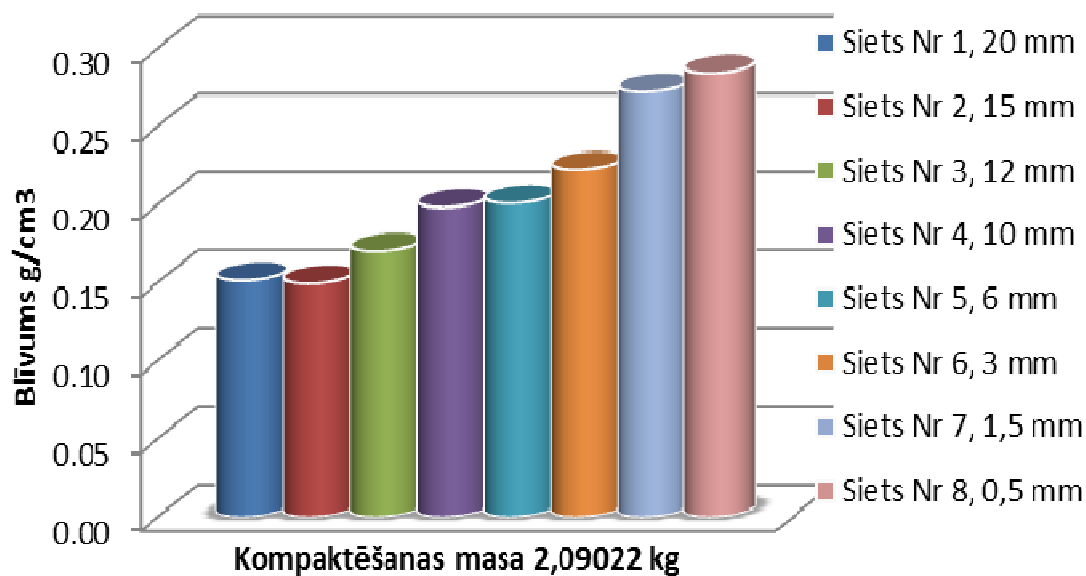
3. att. Blīvumu salīdzinājums

4. attēlā redzams blīvumu salīdzinājums ar lielāku kompaktēšanas svaru, virzulīša pašsvaru un vienu atsvaru. Rezultāti ir līdzīgi, visos izmēģinājumos, rupjāka frakcija blīvums mazāks, smalkāka frakcija blīvums lielāks.

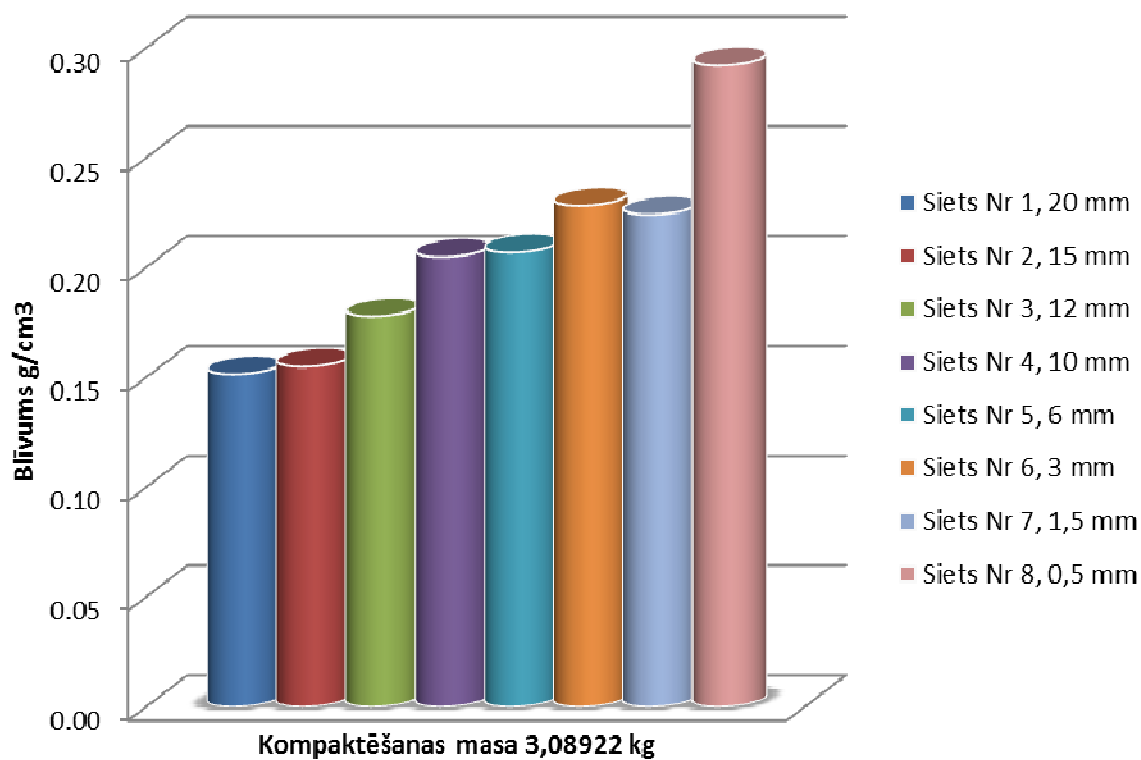


4. att. Blīvumu salīdzinājums

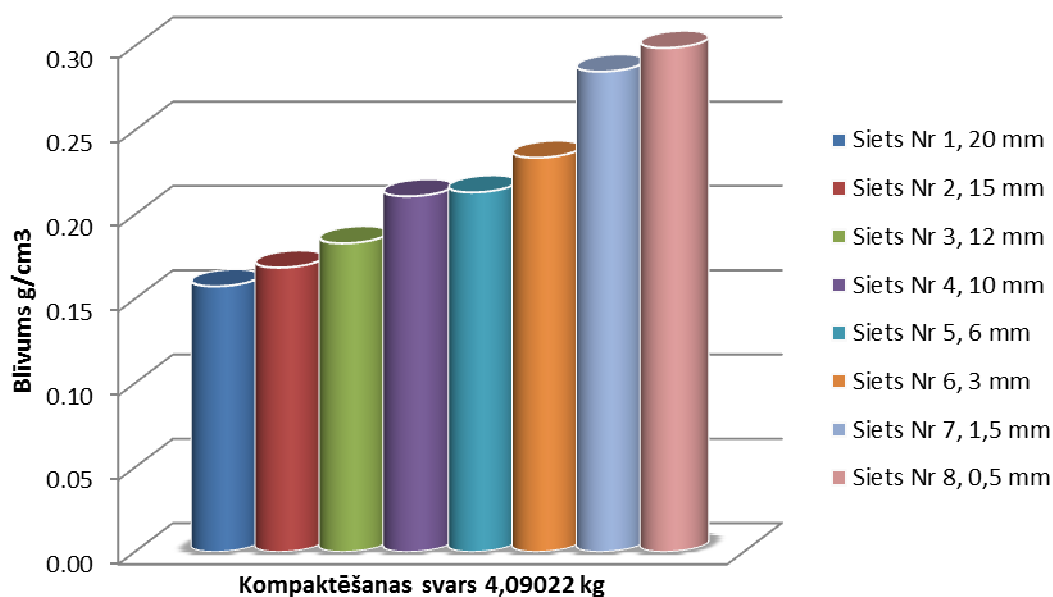
Nākošajā grafikā ir redzami niedru blīvuma salīdzinājumi pie svara, kas ir vienāds ar virzulīša pašsvaru un diviem atsvariem.



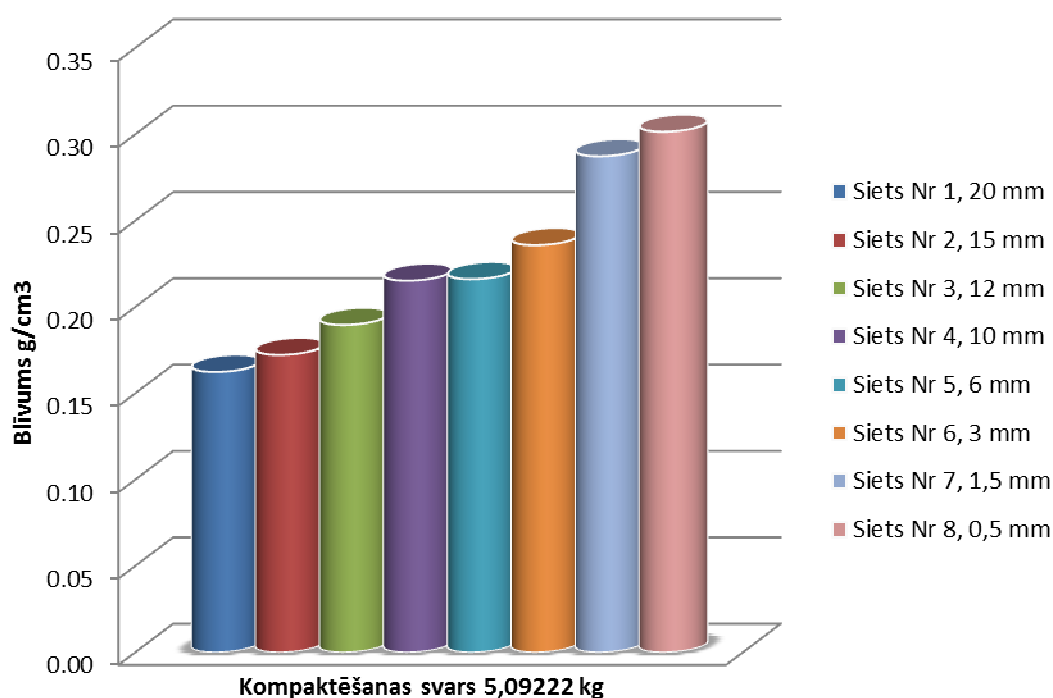
5. att. Blīvumu salīdzinājums 2,09022 kg



6. att. Blīvumu salīdzinājums 3,08922 kg

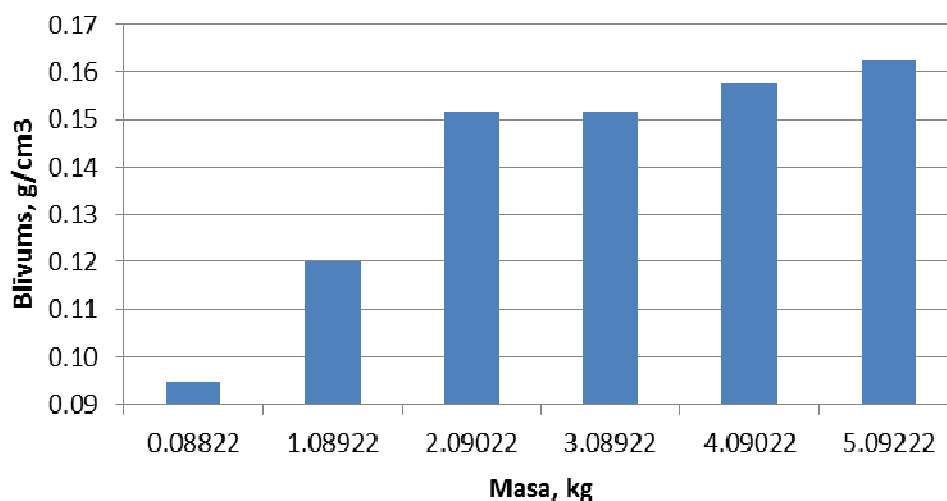


7. att. Blīvumu salīdzinājums 4,09022 kg

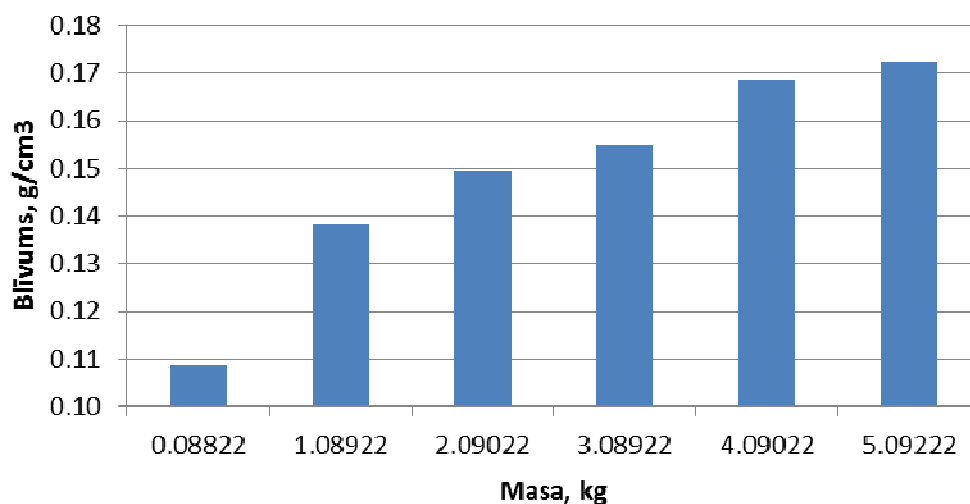


8. att. Blīvumu salīdzinājums 5,09222 kg

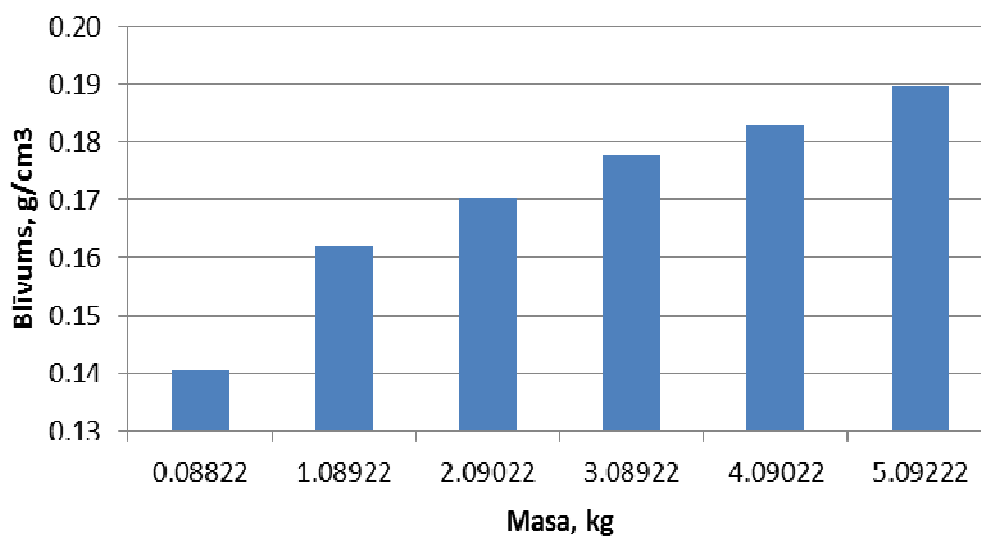
Attēlos 9. – 16. ir parādītas niedru kompaktēšanas diagrammas, kur ir rdzamas līknes pēc sietu acu izmēriem, blīvuma un attiecīgā svara ar kādu ir kompaktēta. Grafikos var redzēt, ka sasmalcinātās biomasas blīvums pieaug palielinoties kompaktēšanas svaram.



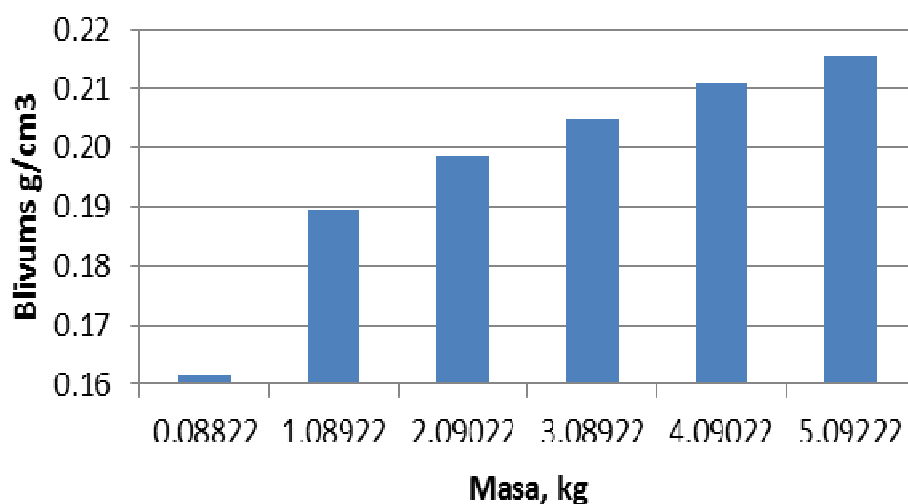
9. att. Blīvuma un masas attiecība, siets 20 mm.



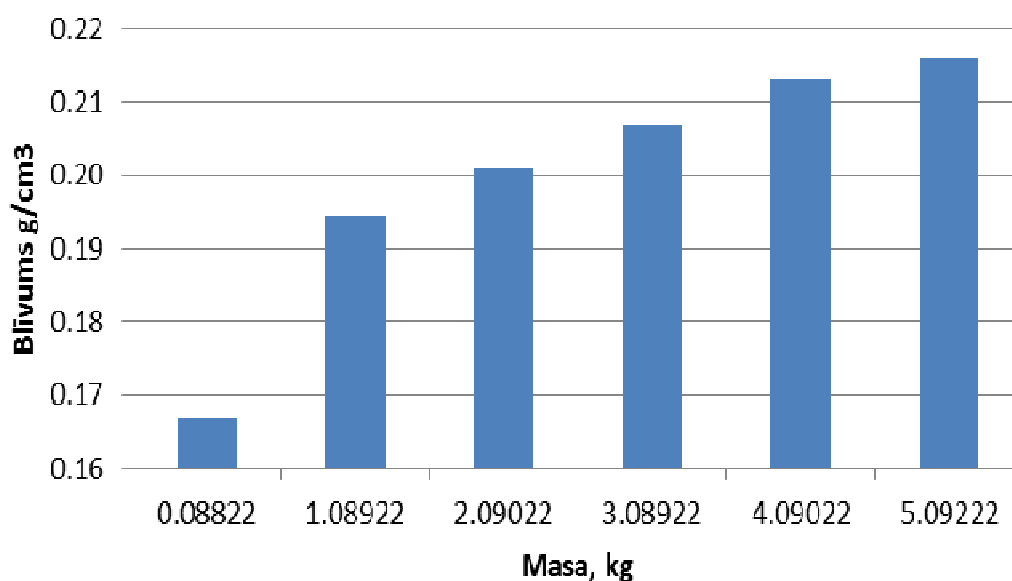
10. att. Blīvuma un masas attiecība, siets 15 mm



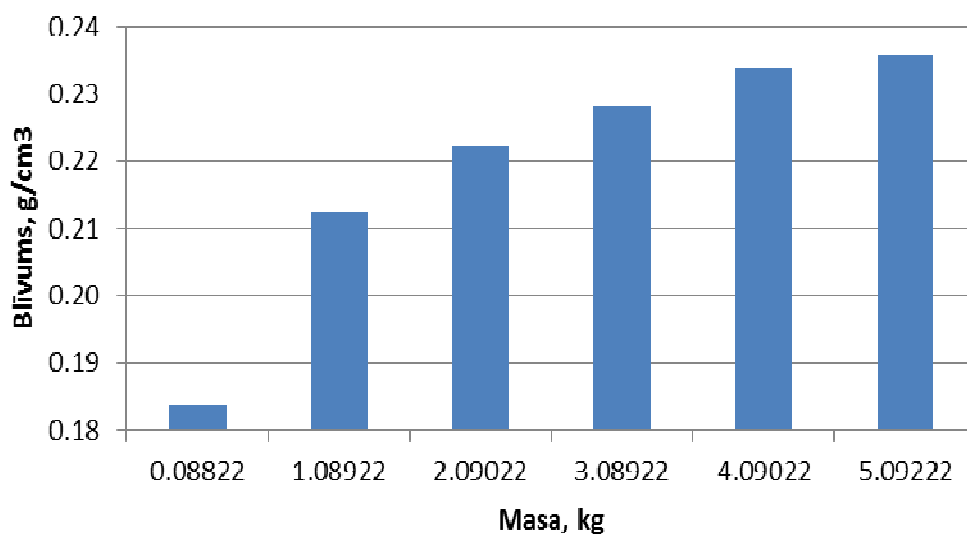
11. att. Blīvuma un masas attiecība, siets 12 mm



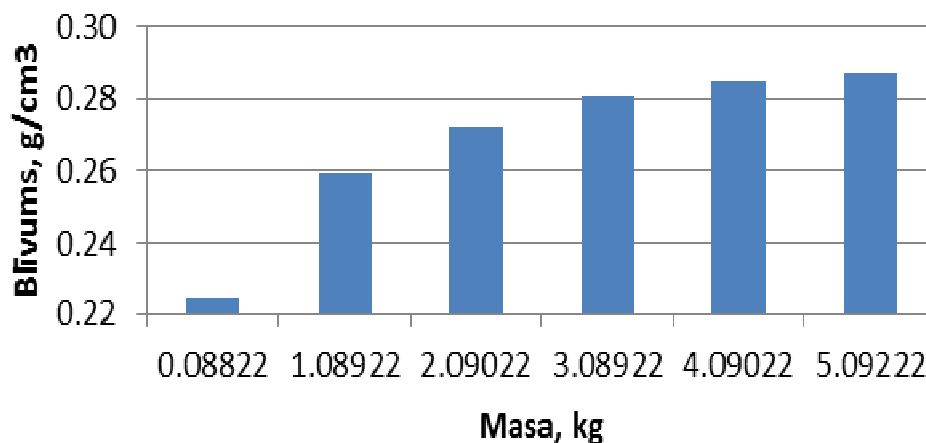
12. att. Blīvuma un masas attiecība, siets 10 mm



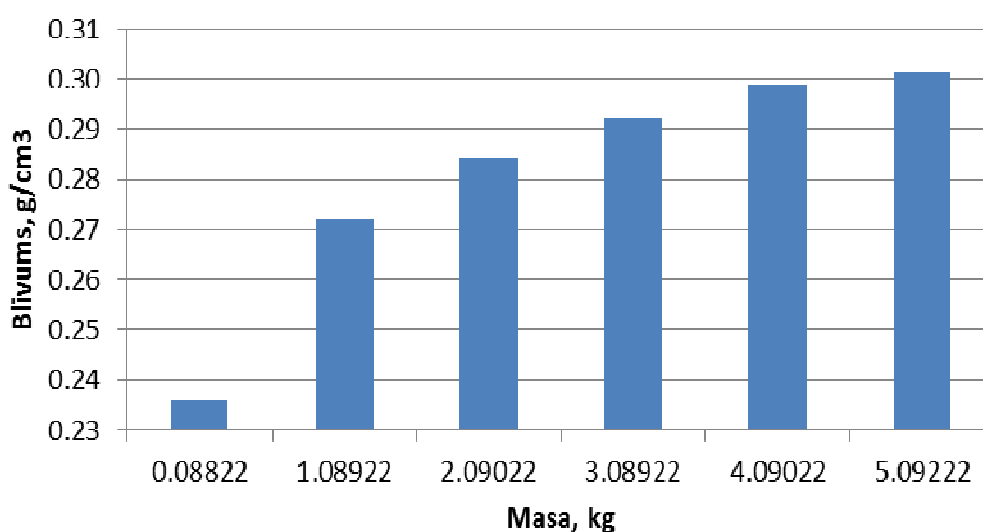
13. att. Blīvuma un masas attiecība, siets 6 mm



14. att. Blīvuma un masas attiecība, siets 3 mm



15. att. Blīvuma un masas attiecība, siets 1,5 mm



16. att. Blīvuma un masas attiecība, siets 0,5 mm

BIOMASAS DEDZINĀŠANA

Kvalitatīvam biomasas kurināmajam tiek izvirzītas sekojošas prasības:

- ✓ iespējami lielāka zemākā siltumspēja,
- ✓ iespējami mazs mitruma saturs,
- ✓ mazs pelnu saturs,
- ✓ augsta kurināmā briķešu vai granulu noturība glabāšanas un transportēšanas laikā,
- ✓ augsta pelnu saķepšanas un kušanas temperatūra,
- ✓ maza dūmgāzu korozijas aktivitāte,
- ✓ mazs disperso pelnu daļiņu saturs dūmgāzēs,
- ✓ mazs NO_x daudzums dūmgāzēs.

Biomassas kurināmā ražošanas izmaksām jābūt pēc iespējas mazākām un tai jābūt ar pietiekošu blīvumu, lai samazinātu transporta izmaksas.

1) Niedru un niedru-kūdras maisījumu kurināmā degšanas parametri

Biomasu kurināmā siltumspēja. Kā jebkurā kurināmajā, galvenās degošās vielas ir ogleklis C un ūdeņradis H . Degšanas procesā piedalās arī skābeklis O , sērs S un arī daļēji slāpeklis N . Iepriekšminēto elementu saturu kurināmajā izsaka % kā organisko masu [1]:

$$C^o + H^o + S^o + O^o + N^o = 100\% \quad (1)$$

Ņemot vērā, ka slāpekļa ietekme uz kurināmā siltumspēju ir neliela, to parasti neņem vērā, un augstāko Q_a un zemāko Q_z siltumspēju pēc formulām 2 un 3.

$$Q_a^d = 339C^d + 1256H^d + 109(O^d - S^d) \quad (2)$$

$$Q_z^d = 339C^d + 1256H^d + 109(O^d - S^d) - 25W^d \quad (3)$$

kur Q_a^d - kurināmā augstākā siltumspēja, $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,

Q_z^d - kurināmā zemākā siltumspēja, $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

W^d - kurināmā mitruma saturs darba maisījumā, %.

Ar indeksu d apzīmēti lielumi kurināmā darba maisījumā.

Kā redzam no vienādojuma 3, zemāko siltumspēju ievērojami ietekmē mitruma saturs. Sevišķi būtiski tas ir biomasu kurināmajam, jo glabāšanas procesā materiāla mitrums var palielināties un kurināmā siltumspēja samazināties. Siltumspējas samazināšanos atkarībā no masas mitruma nosaka pēc formulas 4 [2]:

$$Q_z^d = \frac{[Q_a^d(100 - W) - 2.44 \cdot W]}{100} \quad (4)$$

kur koeficients 2.44 ievērtē siltuma zudumus ūdens iztvaicēšanai.

Eksperimentāli tika testētas Papes ezera niedru un niedru-kūdras maisījuma briketes. Augstākā un zemākā siltumspēja tika noteikta atbilstoši standartam EN 14918. Mērījumu nenoteiktība $\pm 3\%$. Kā redzams no 1. tabulas, pieaugot kūdras saturam maisījumā, maisījuma augstākā siltumspēja palielinās. Tas izskaidrojams ar to, ka kūdras augstākā siltumspēja ir lielāka par niedru augstāko siltumspēju. Kūdras augstākā siltumspēja ir $20.8 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ [3]. Kā redzam no 1. tabulas piejaucot niedrēm 50% kūdras augstākā siltumspēja palielinās par 3%. Zemāko siltumspēju ievērojami ietekmē mitruma saturs un šajā gadījumā

1. tabula. **Niedru un niedru-kūdras maisījuma briķešu siltumspēja**

Materiāls	Mitrums, %	Pelni, %	Augstākā siltumspēja, $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	Zemākā siltumspēja, $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
Niedres	7.6	2.7	18.75	15.98
N+K15%	8.3	4.4	18.81	15.92
N+K30%	9	3.6	18.89	15.86
N+K50%	10	2.3	19.34	16.06

Apzīmējumi: N+K15% - kūdras saturs maisījumā 15%, N+K30% - kūdras saturs maisījumā 30%, N+K50% - kūdras saturs maisījumā 50%.

Pelnu saturs. Pelnu saturs raksturo nedegošo minerālvielu daudzumu kurināmajā. Palielināts pelnu saturs kopumā pazemina kurināmā kvalitāti. Palielināts pelnu daudzums samazina kurināmā siltumspēju un sarežģī apkures sistēmas ekspluatāciju. Biomasu kurināmā pelni vairumā gadījumu ir vērtīgs mēslojums.

Koksnes kurināmajā pelnu saturs ir ne vairāk par 1.4%. Kūdras granulās un briketēs pelnu saturs, kas atrodams dažādos literatūras avotos, mainās plašās robežās (no 1.27% līdz 5%). Tas izskaidrojams ar to, ka kūdras sastāvs dažādas atradnēs, ir ļoti atšķirīgs un tā var

saturēt dažādus minerālvielu piemaisījumus. Graudaugu salmu pelnu saturs dažādām šķirnēm ir robežās no 5% līdz 8% [4].

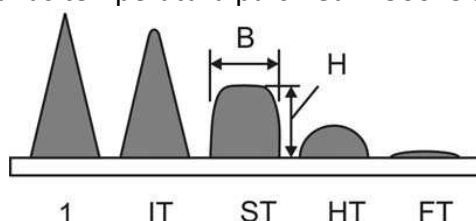
Papes ezera niedru pelnu vidējais saturs sausnā ir 2.7%, bet niedru-kūdras maisījuma pelnu saturs ir robežās no 2.3% līdz 4.4% (1. tabula). Viennozīmīga pelnu daudzuma korelācija ar kūdras saturu šajā gadījumā nav konstatēta, jo niedru un kūdras paraugu īpašību izkliede ir būtiska. Kā redzam pelnu saturs niedru un niedru-kūdras maisījumā ir robežās no 2.7% līdz 4.4%. Tas ievērojami pārsniedz koksnes kurināmā pelnu daudzumu, bet ir vismaz 2 reizes mazāks par salmu kurināmā pelnu saturu. No šī viedokļa niedru un niedru-kūdras maisījumu izmantošana siltumenerģijas ražošanai ir ieteicamāka par salmu izmantošanu.

Pelnu kušanas temperatūra. Pelnu kušanas un saķepšanas temperatūra ir svarīga kvalitatīvas apkures katla darbības nodrošināšanai. Zema pelnu kušanas temperatūra rada pelnu saķepšanu un automātiskas darbības katlos rada traucējumus pelnu izvadīšanas sistēmas darbībā.

Pelnu kušanas temperatūras noteikšanu izdara izmantojot vairāku standartu rekomendācijas: ASTM D 1857, ISO 540 un DIN 51730. Kušanas temperatūras noteikšanai izmanto standarta pelnu konusa formas izmaiņu karsējot pelnus ar skābekli bagātinātā vidē. Eksperimenta gaitā konstatē pelnu konusa formas izmaiņas noteiktas temperatūras ietekmē. Raksturīgās pelnu konusa izmaiņas redzamas 1. attēlā:

- ✓ 1 – pelnu konusa sākotnējā forma pirms karsēšanas uzsākšanas,
- ✓ IT – deformācijas sākuma temperatūra, konusa virsotne sāk noapaļoties,
- ✓ ST – kušanas sākums, konuss deformējas līdz izmēram $H=B$,
- ✓ HT – hemisfēras punkts, konuss pārvēršas par puslodi ar augstumu $H=0.5B$,
- ✓ FT – plūšanas temperatūra, izkusušie pelni izplūst pa virsmu.

Literatūrā doti dati par pelnu kušanu koksnes kurināmajam pelnu kušanas temperatūru ietekmē koku suga, vecums, piemaisījumi. Kā redzams 2. tabulā, koksnes mizas pelnu kušanas temperatūra pārsniedz 1500°C un nerada pelnu sakušanu un gabalu veidošanos.



1.att. Pelnu konusa formas izmaiņas dažādās temperatūrās

Savukārt kokskaidu un šķeldas pelnu kušanas temperatūra ir zemāka ($<1300^{\circ}\text{C}$). Tas nozīmē, ka sadedzinot šos materiālus jāpievērš uzmanība pareizam degšanas režīmam, lai izvairītos no ārdū mehānisma bojājumiem. Pelnu plūstamības temperatūra ir atkarīga no pelnu ķīmiskā sastāva un nelielas elementu izmaiņas var radīt ievērojamas kušanas temperatūras izmaiņas.

2. tabula. Pelnu kušanas temperatūras koksnes kurināmajam [5]

Kurināmais	Kušanas punktu vērtības, $^{\circ}\text{C}$			
	IT	ST	HT	FT
Kokskaidas, priede	1210	1225	1250	1275
Šķelda	1175	1205	1230	1250
Zāģskaidas, priede	1150	1180	1200	1225
Miza, egle	1405	1550	1650	1650
Miza, priede	1340	1525	1650	1650

Labības salmu pelnu kušanas temperatūra lielā mērā ir atkarīga no labības šķirnes un audzēšanas apstākļiem. Kā redzam no 3. tabulas salmu pelnu kušanas temperatūra vairumam šķirņu ir ievērojami zemāka par koksnes pelnu kušanas temperatūru.

3. tabula. Dažādu labības salmu pelnu kušanas temperatūra [5]

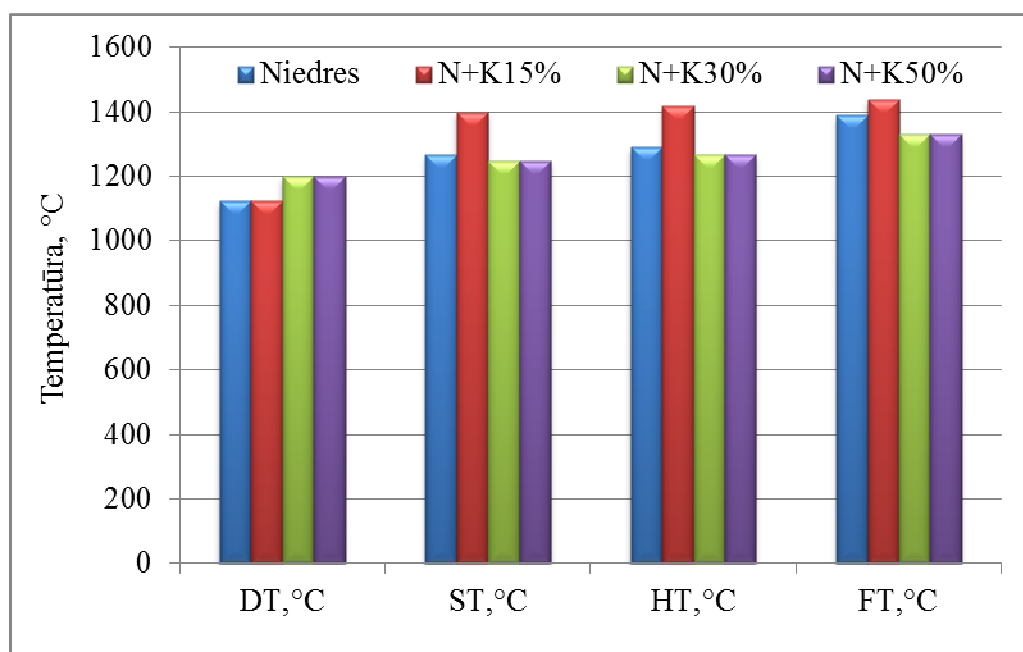
Salmi	ST, °C	HT, °C	FT, °C
Kvieši	1050	1350	1400
Rudzi	840	1150	1330
Mieži	765	1035	1190
Auzas	735	1045	1175

Kurināmās kūdras pelnu kušanas temperatūra ir ievērojami lielāka par salmu pelnu kušanas temperatūru un tuvojās koksnes pelnu kušanas temperatūrai (4. tabula).

4. tabula. Kurināmās kūdras pelnu kušanas temperatūras [5]

Kurināmā veids	Pelnu kušanas temperatūra, °C,		
	ST, °C	HT, °C	FT, °C
Frēzkūdra	1100 - 1190	1200 – 1375	1205 – 1430
Velēnu kūdra	1040 – 1335	1145 – 1415	1175 – 1490

Eksperimentāli tika noteikta niedru un niedru-kūdras maisījumu pelnu kušanas temperatūra pēc ISO 540 (2. att.).



2. att. Niedru kurināmā pelnu kušanas temperatūra

Niedru pelnu konusa deformācijas temperatūra ir 1125°C. Tāda pat deformācijas sākuma temperatūra ir arī niedru-kūdras maisījumam ar 15% kūdras saturu. Tā ir tikai nedaudz zemāka par šķeldas pelnu deformācijas sākuma temperatūru (5. tabula).

Pieaugot kūdras saturam maisījumā pelnu konusa deformācijas temperatūra palielinās un sasniedz 1200°C, kas praktiski sakrīt ar koksnes pelnu kušanas sākuma temperatūru. Pelnu konusa plūšanas temperatūra visos gadījumos pārsniedz 1300°C, kas ir vairāk par koksnes pelnu plūšanas temperatūru.

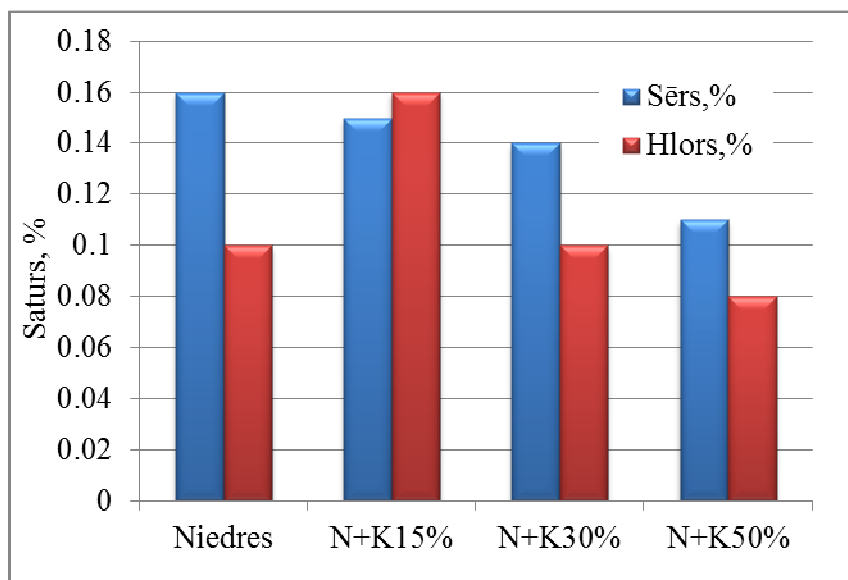
Varam secināt, ka niedru vai niedru-kūdras maisījumu pelnu kušanas temperatūra ir pietiekoša, lai nodrošinātu normālu degļa darbību.

Korozijas risks. Dūmvadu un citu metāla konstrukciju koroziju rada palielinātais hlora un sēra saturs dūmgāzēs, kuri pazeminātā dūmgāzu temperatūrā veido sālskābes un sērskābes tvaikus. Literatūrā minētas vairākas metodes korozijas samazināšanai:

- ✓ kaļķu pievienošana kurināmajam (līdz 2%),
- ✓ dzeramās sodas pievienošana kurināmajam.

Šīs metodes ļauj samazināt S un Cl kaitīgo ietekmi aptuveni par 30% [6]. Diemžēl šajā gadījumā palielinās oglekļa oksīda (CO) saturs dūmgāzēs un pelnu saturs (ja pievieno kaļķi). Labāku efektu iegūst, ja dzeramo sodu ievada aiz sadegšanas zonas izplūstošajās dūmgāzēs. Šajā gadījumā CO saturs nedaudz samazinās un ievērojami samazinās slāpekļa oksīdu saturs dūmgāzēs. Hlora un sēra daudzums sevišķi jūtams kurināmajā, kas gatavots no graudaugu salmiem. Iepriekš veiktajos pētījumos sadarbībā ar Valsts Stendes graudaugu selekcijas institūtu tika noteikts sēra un hlora saturs dažādu šķirņu graudaugu salmos un graudos. Salmos vidēji hlora saturs ir robežās no 0.2% līdz 0.7%, bet sēra saturs – 0.17% līdz 0.27%. Kā redzam, salmos hlora saturs ir lielāks nekā sēra saturs. Pēc literatūras datiem, šāda situācija īpaši palielina korozijas risku.

Korozijas riska novērtēšanai tika noteikts sēra un hlora saturs niedru briketēs un niedru-kūdras maisījumā.



3. att. Sēra un hlora saturs niedru kurināmajā

Pēc iegūtajiem rezultātiem varam secināt, ka hlora saturs gan niedrēs, gan niedru-kūdras maisījumā nepārsniedz 0.1%. Izņēmums ir maisījums, kurā kūdras saturs ir 15%. Šajā gadījumā hlora saturs ir 0.16%.

Sēra daudzums niedrēs ir 0.16%, kas ir līdzīgs citu autoru pētījumos iegūtajām vērtībām [3]. Palielinot kūdras daļu maisījumā, sēra saturs samazinās, un sasniedz 0.11%, ja kūdras daļa ir 50%.

LITERATŪRA

1. Interneta resurss http://www.fao.org/docrep/007/j4504e/j4504e08.htm#P831_46171
UBET Unified Bioenergy Terminology, skatīts 03.02.2012.
2. Martti Komulainen, Paivi Simi, Eija Hagelberg, Iiro Ikonen & Sami Lyytinen, Reed energy. Possibilities of using the Common Reed for energy generation in Southern Finland. Reports from Turku University of Applied Sciences 6, Turku 2008
3. Aivars Kakitis, Mareks Šmits, Ina Belicka. Suitability of crop varieties for energy production. - in Proceedings of international conference Engineering for rural development, Jelgava, 2009, 188 -193 pp.
4. Alakangas, E. Properties of fuels used in Finland. 2000, VTT: Espoo.
5. http://www.ieabcc.nl/meetings/task32_jyvaskyla_ws_aerosols/06%20Tullin.pdf
interneta resurss, skatīts 10.02.2012., Influence of increased of agrifuels on aerosol emissions - Methods to reduce Emissions from Small Scale Combustion, Claes Tullin et.al.