

Kopsavilkums par 1. pārskata periodā veiktajām darbībām

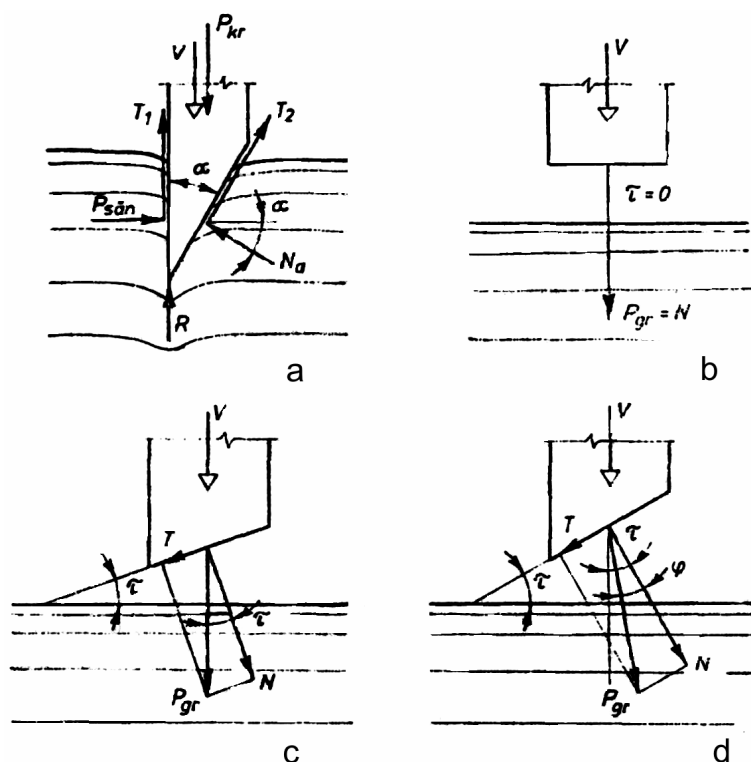
Projekta Nr.	2010/0306/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/128
Projekta nosaukums	Mehanizācijas līdzekļu izstrāde enerģētisko augu kurināmā kondicionēšanai
Finansējuma saņēmējs	Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Smalcināšanas procesa teorētiskā izpēte

Stiebru materiāla pārgriešanai nepieciešamais spēks ir atkarīgs no paša materiāla īpašībām, naža konstrukcijas un naža kustības attiecībā pret materiālu. Izšķir šādus trīs pamatgadījumus: ciršanu, griešanu ar slīpo un griešanu ar slīdošo griezienu (1. att.).

Ciršanā (1. att. **b**) nazis pārvietojas perpendikulāri materiālam un tādēļ griešanas spēka virziens sakrīt ar naža pārvietošanas virzienu, bet pēc lieluma tas ir vienāds ar normālspēku.

Slīpajā griešanā (1. att. **c**) naža asmens ar materiālu veido leņķi τ . Griešana notiek bez materiāla izslīdes no naža darbības zonas, bet griešanas spēku var sadalīt normālajā N un tangenciālajā T komponentā.



1. att. Griešanas procesa shēmas, lietojot nazi
a – kritiskā spēka komponentes; b – ciršana; c – slīpā griešana;
d – slīdošā griešana.

Slīdošā griešana (1. att. **d**) notiek, ja slīdes leņķis τ pārsniedz berzes leņķi ϕ .

Griešanas laikā notiek ne tikai naža asmens iedziļināšanās materiālā, bet arī tās slīdēšana gar asmeni, samazinot griešanai nepieciešamo spēku. Tādēļ griešanas spēka virziens vairs nesakrīt ar naža kustības virzienu un veido ar to leņķi $\tau > \varphi$.

Slīpajā griešanā starp griešanas spēku P_{gr} , normālspeku N , un tangenciālo T spēku pastāv šādas sakarības:

$$N = P_{gr} \cos \tau \quad (1)$$

$$T = P_{gr} \sin \tau \quad (2)$$

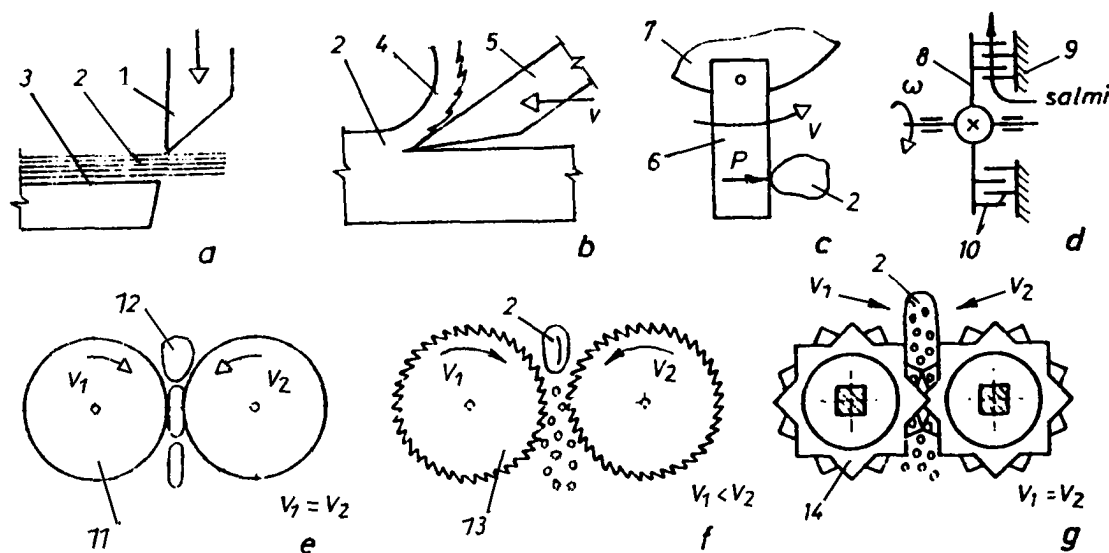
Vispārīgā gadījumā pieņemts spēku T un N attiecību apzīmēt šādi:

$$\frac{T}{N} = \tan \varphi' = f' \quad (3)$$

kur: φ', τ' - slīdošā grieziņa leņķis un koeficients.

Stiebraugu materiālus var smalcināt to griežot, sasitot, saplacinot, saberžot, salaužot, saraujot.

Griešana ir viens no izplatītākajiem un lētākajiem stiebraugu smalcināšanas veidiem. Pēc darba orgāna izveidojuma to iedala griešanā ar nazi, griešanā ar griezni un griešanā ar puansonu (2. att. a, b).



2. att. Lopbarības smalcināšanas paņēmieni:

- a – griešana ar nazi; b – griešana ar griezni; c – smalcināšana ar triecienu; d – saraušana; e – placināšana; f – saberšana; g – salaušana; 1 – nazis; 2 – smalcināmais stiebraugu materiāls; 3 – pretgriezējs; 4 – skaida; 5 – grieznis; 6 – veserītis; 7 – disks; 8 – rotors; 9 – stators; 10 – pirksti; 11 – gludie veltni; 12 – placināmā lopbarība; 13 – rievotie veltni; 14 – veltni ar izciļņiem.

Griešanu ar nazi lieto, smalcinot stiebrainu materiālu, piemēram, zālaugus, salmus. Pārstrādes procesā tos iedala noteikta garuma tekseļos. Griešanu ar griezni izmanto smalcinot

sakņaugus un kartupeļus. Šajā gadījumā smalcināmais produkts tiek sagriezts skaidās. Griešana ar puansonu noderīga galvenokārt dažādu rūpniecisku izstrādājumu izgatavošanā.

Placināšana izraisa galvenokārt lopbarības daļiņu deformāciju. Tā noderīga, piemēram, sagatavojot izēdināšanai mitrus graudus (2. att. e). Placināšanai visbiežāk lieto divus gludus veltņus, kuri rotē ar vienādu aploces ātrumu. Veltņu saspiešanas spēku var regulēt ar atsperu palīdzību.

Saberšanu izmanto graudu pārstrādei miltos gan valču, gan arī dzirnakmens dzirnavās. Valču dzirnavu darbīgā daļa ir divi rievoti un noteiktā attālumā uzstādīti veltņi, kuri rotē ar nedaudz atšķirīgu aploces ātrumu $v_1: v_2 = 1.5 \dots 2.5$, tāpēc starp veltņiem ievadītie graudi tiek saspiesti un saberzti sīkākās daļās. Veltņa diametrs parasti ir 250 ... 350 mm. Pārstrādātā produkta daļiņu lielums ir atkarīgs no darba spraugas platuma (0.5... 1.5 mm), veltņu griešanās ātruma un rievojuma profila. Ja nepieciešams, produktu šādi var apstrādāt arī vairākas reizes.

Salaušanu izmanto, smalcinot plāksnēs vai briketēs sapresētu materiālu. Arī šim nolūkam var izmantot divus veltņus (2. att. g), taču to virsmai jābūt rupji rievotai vai tapotai.

Saraušanu lieto, smalcinot salmus. Šajā gadījumā darbīgā daļa sastāv no rotora un statora, kuriem abiem ir cieši piestiprinātas tapas (2. att. d). Darba laikā rotors griežas, bet starp tapām ievada pārstrādājamo materiālu. Tā rezultātā lopbarība tiek saplucināta sīkākās daļiņās, kā arī saraustīta šķiedru virzienā.

Griešanas veidi un spēki. Saskaņā ar akadēmiķa V. Gorjačkina, V. Zeļigovska, profesora N. Rezņika u. c. pētījumiem lopbarības pārgriešanai nepieciešamais spēks ir atkarīgs no šīs lopbarības īpašībām, naža konstrukcijas un naža kustības attiecībā pret lopbarību. Griešana iespējama, ja nazim pieliktais spēks nav mazāks par kritisko P_{kr} (1. att. a), kuru var aprēķināt pēc formulas

$$P_{kr} = R + T_1 + T_2 \cos \alpha \quad (4)$$

kur: R — naža asmens pārvietošanas pretestība, N;

T_1 — berzes spēks, kuru izraisa lopbarības sānu spiediens uz nazi, N;

T_2 — berzes spēks, kurš darbojas uz naža asināto daļu, N;

α — naža griešanas leņķis.

Berzes spēkus var aprēķināt šādi:

$$T_1 = f P_{sān} \quad (5)$$

kur: f — berzes koeficients;

$P_{sān}$ — lopbarības sānu spiediens, N;

N_{at} R — lopbarības normālais un rezultējošais spēks, kas darbojas uz naža darbīgo daļu, N.

Ciršanā (1. att. b) nazis pārvietojas perpendikulāri lopbarībai un tādēļ griešanas spēka virziens sakrīt ar naža pārvietošanas virzienu, bet pēc lieluma tas ir vienāds ar normālspeku. Šajā gadījumā naža asmens pārvietošanas pretestības aprēķinam izmanto N. Rezņika ieteikto formulu

$$R = \delta \Delta S \sigma_p \quad (6)$$

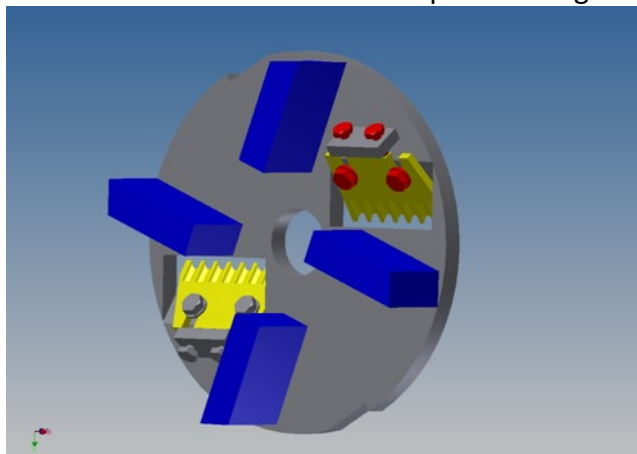
kur: δ — naža asmens biezums (asums), m;

ΔS — naža noslogotās daļas garums, m;

σ_p — normālais materiāla sagraušanas spriegums, kurš veidojas griešanas zonā, Pa. Tas atkarīgs no naža asmens biezuma, virsmas gluduma un lopbarības īpašībām.

Smalcinātāja prototipa konstrukcijas izstrāde

Smalcinātāja prototipa konstrukcijas izstrādes rezultātā tika analizēta stiebraugu biomasas smalcināšanas nažu forma un izveidoti naži ar palielinātu griešanas virsmu (3. att.)



3. att. Naži stiebraugu biomasas smalcināšanai

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

Eksperimentālajos pētījumos tika noteikts īpatnējais enerģijas patēriņš niedru smalcināšanai ar 3. attēlā parādītajiem nažiem.



4. att. Biomasas smalcināšanas nažu eksperimentālie pētījumi

Īpatnējā enerģijas patēriņa noteikšanai smalcināšanā tika izmantotas niedres no Papes ezera (5. att.).



5. att. Niedru kūļīši

Kaltēšanas procesa teorētiskā izpēte

Kaltēšana ir norise, kuras laikā daļēji vai pilnīgi iztvaicē materiālā esošo mitrumu, kaltējamam materiālam pievadot siltumu. Mitrumu pazeminot, parasti uzlabojas materiāla kvalitāte. Mitrumu no materiāla var aizvadīt arī mehāniski (izspiežot ūdeni no materiāla) vai ar sorbcijas paņēmieni (sajaucot mitro materiālu ar vielām, kas uzsūc mitrumu).

Izšķir dabisko un mākslīgo kaltēšanu. Dabiskajā kaltēšanā izmanto apkārtējā gaisā esošo siltumu, ar ventilatoriem pārvietojot gaisu cauri materiāla slānim. Mākslīgo kaltēšanu veic īpašās iekārtās – kaltēs, pievadot kaltējamam materiālam siltumnesēju. Par siltumnesēju parasti izmanto karstu gaisu, dūmgāzes, gaisa un dūmgāzu maisījumu, pārkarsētu tvaiku.

Par mitrumu uzskata jebkura šķidruma saturu materiālā. Mitrums materiālā var būt saistīts ķīmiski, fizikāli un mehāniski. Ķīmiski saistītais mitrums ir materiāla molekulu sastāvā, to var izvadīt tikai, sagraujot materiāla struktūru. Fizikāli saistīto mitrumu veido šķidruma daļiņas, kas atrodas uz materiāla daļiņu virsmas (absorbcijas mitrums) vai osmotiskā spiediena iedarbībā nokļuvušas šūnu iekšpusē (osmotiskais mitrums). Materiālu karsējot, fizikāli saistītais mitrums pārvēršas tvaikā pašā materiālā un tvaika veidā pārvietojas uz tā virsmu. Lielāko daļu lauksaimniecības produktu raksturo mehāniski saistītais un osmotiskais mitrums jeb t.s. kapilārais mitrums ir šķidrums, kas iekļuvis materiāla kapilāros no apkārtējās vides.

Materiāls ir mitrs, ja pie tā virsmas šķidruma tvaika spiediens ir lielāks par parciālo spiedienu apkārtējā vidē. Ja pie materiāla virsmas tvaika spiediens ir zemāks nekā apkārtējā vidē, materiāls ir higroskopisks. Kaltēšanas uzdevums ir samazināt materiāla mitrumu līdz līdzsvara mitrumam, t. i., līdz stāvoklim, kad tvaika spiediens pie materiāla virsmas vienāds ar tvaika parciālo spiedienu apkārtējā vidē, piemēram, gaisā. Līdzsvara mitrums jāuztur visā materiāla uzglabāšanas laikā, tam izmainoties, izmainās arī materiāla īpašības.

Par materiāla mitrumu sauc tajā esošā ūdens masas attiecību pret materiāla kopējo masu:

$$\omega = 100 \text{ W/M } (\%),$$

(1)

kur W – materiālā esošā ūdens masa;

M – materiālā kopējā masa.

Kaltes iedala šādi:

- ✓ Pēc siltuma pievadīšanas veida materiālam – *konvektīvās kaltes (tiešās darbības kaltes)*, kurās siltuma enerģija no siltumnesēja uz kaltējamo materiālu pāriet konvekcijas ceļā (saskaroties), *kontaktkaltēs (netiešās darbības kaltēs)*, kurās siltums uz materiālu tiek pārnestš, kontaktējot to ar sildvirsmu;
- ✓ Pēc spiediena kaltes kamerā – *atmosfēras kaltes* un *vakuumkaltes* (tajās norisinās vakuumā);
- ✓ Pēc konstrukcijas – *šahtu, tuneļa, valču (rotācijas), kameru* un *citas kaltes*.

Kaltes pamatā var iedalīt divās kategorijās pēc siltuma pievadīšanas veida. Tiešās darbības kaltēs materiāls saņem siltumu tieši kontaktējot ar vielu, kas piegādā siltumu – tvaiku vai gāzes. Netiešās darbības kaltēs materiāls tiek kaltēts atsevišķi no siltumnesēja, siltums tiek uzņemts no sildvirsmas, aiz kuras ir siltumnesējs. Svarīgi netiešās darbības kaltei ir tas, ka iespējams atgūt iztvaicēto ūdens siltumu, jo ūdens garaiņi nav sajaukti ar gaisu. To var panākt izmantojot vakuumu kaltēšanas procesā.

Tiešās darbības kaltes var iedalīt sīkāk divās kategorijās: gaisa un pārtvaicēta tvaika kaltēs. Gaisa kaltēs gaiss kontaktē ar kaltējamo materiālu. Gaiss atdod savu siltumu un ierosina materiāla ūdens iztvaikošanu. Tvaikus aiznes kopā ar gaisu. Materiālu maisa izmantojot mehāniskas ierīces vai ar gaisu.

Pārkarsēta tvaika kaltēs ar materiālu kontaktē tvaiks, nevis gaiss, bet būtībā darbības princips ir tāds pats. Pārkarsētais tvaiks saskaras ar biomasu/materiālu un zaudē savu siltumu, lai nodrošinātu materiāla ūdens iztvaikošanu. Tvaikam jāpaliek stāvoklī, lai tas nesāktu kondensēties un nemainītu agregātstāvokli. Ūdens tvaikiem izejot no materiāla un sajaucoties ar kaltē ievadītajiem pārkarsētajiem tvaikiem veidojas lielāks daudzums tvaiku, bet ar zemāku temperatūru. Tvaiku pārpalikumi tiek atkal aizvadīti sistēmā, karsēti un atkal pielietoti kaltēšanas procesā.

Netiešās darbības kaltē, kura darbojas vakuumā vai ar pārkarsētu tvaiku, materiāla ūdens absorbēto siltumu iespējams viegli atgūt, jo tas nav sajaukts ar gaisu/dūmgāzēm. Vakuuma kaltēs šis siltums ir pieejams tikai zemās temperatūrās, bet pārkarsēta tvaika kaltēs, kalte var būt projektēta lai ražotu tvaiku praktiski ar jebkādu spiedienu, lai varētu izmantot arī citur ražotnē.

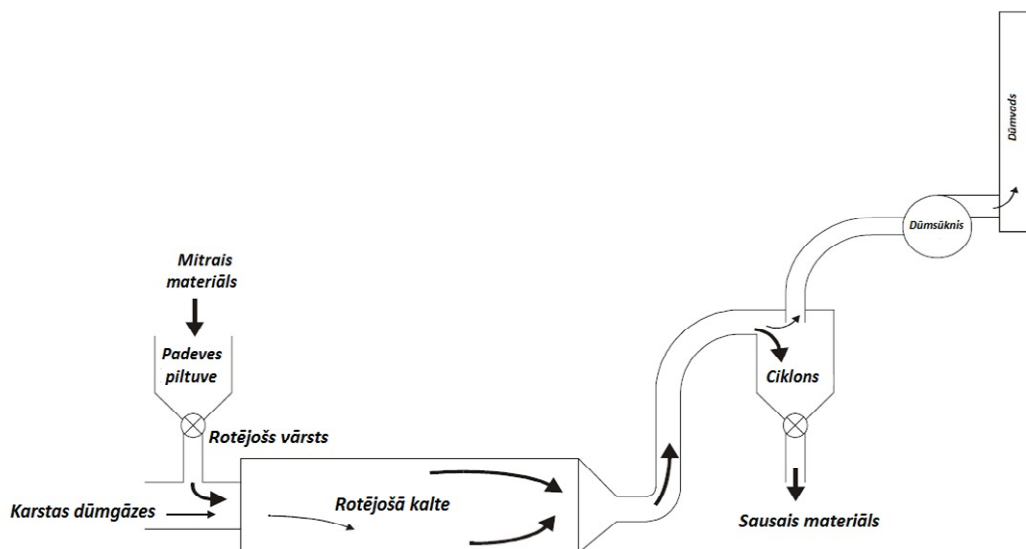
Rotējošās kaltes

Rotējošās bungu kaltes ir vizizplatītākās kaltes. Pastāv dažādi varianti to izpildījumā, bet vispielietotākās ir tiešās darbības viena gājuma rotējošās kaltes (skat. 6. att.). Šajās kaltēs biomasas kontaktē ar karstām gāzēm rotējošās bungas iekšpusē. Ar dažādu palīgiekārtu, šķēršļu palīdzību materiāls pārvietojas cauri kaltei karstās dūmgāzēs. Biomasas pakļaušana kaitīgām dūmgāzēm ir pieļaujama.

Biomasas parasti pārvietojas vienā virzienā ar dūmgāzēm, tādā veidā karstākais siltumnesējs saskaras ar mitrāko materiālu, bet materiāliem, kur temperatūra nav noteicošais, dūmgāzes un materiāls pārvietojas pretējos virzienos, tādā veidā sausākais materiāls tiek pakļauts karstākajām dūmgāzēm ar mazāko mitrumu. Šī konfigurācija nodrošina mazāko

biomasas mitrumu, bet sausākais materiāls, kas pakļauts augstākajām dūmgāzēm ir uguns bīstams, kas var beigties ar letālām sekām.

Aizplūstošās dūmgāzes var iet caur ciklonu, multiciklonu, filtriem, gāzu skalotņiem u.c. iekārtām, lai atdalītu no dūmgāzēm sauso materiālu, kas aizrauts ar tām. Dūmgāzu sūkņa pielietošana nav obligāta, tā atkarīga no kaltes konfigurācijas un uzbūves. Ja tas tiek pielietots, visbiežāk to izvieto aiz emisiju kontroliekārtas, lai samazinātu tā erozijas iespējamību, bet var arī izvietot pirms ciklona, lai nodrošinātu spiediena kritumu tālākajās iekārtās.



6. att. Viena gājiena rotējošā kalte

Vienkāršo viena gājuma rotējošās kaltes konstrukciju var pārveidot, lai izveidotu trīs gājumus gaisam un materiālam caur kalti. Materiāls sākumā nonāk iekšējā cilindrā ar karsto gaisu. Mazākais vai sausākais materiāls ātri tiek aizpūsts caur cilindru lielākā koncentriskā cilindrā otrajam gājumam. Lielākais materiāls tiek pārvietots un kūleņots ar piedziņas palīdzību. Pēc otrā gājuma gaiss un materiāls pārvietojas uz attālāko cilindru un atstāj kalti. Trīs gājumu kalte vislabāk piemērota materiāliem ar garumu līdz 25-30 mm. Jo lielāki materiāli var izraisīt nosprostošanos.

Netiešās darbības rotējošās kaltes izmanto tvaiku vai gaisu, kas iet ap kaltes ārējo virsmu vai pa kaltes asi, siltumpārejas ceļā kaltējot materiālu. Šī metode ir piemērota materiāliem, kuriem nav pieļaujama saindēšana ar dūmgāzēm, vai kuri, kontaktējot ar dūmgāzēm, veidotu nevēlamas reakcijas.

Izplūstošo dūmgāzu temperatūra var būt robežās no 230-1100°C. Izplūstošo dūmgāzu temperatūra variē no 70-110°C, visbiežāk temperatūra ir vismaz 105°C, lai nepieļautu skābju un sveķu kondensēšanos. Uzturēšanās laiks biomasai kaltē var būt līdz 1 minūtei maza izmēra materiāliem un 10-30 min lielāka izmēra materiāliem.

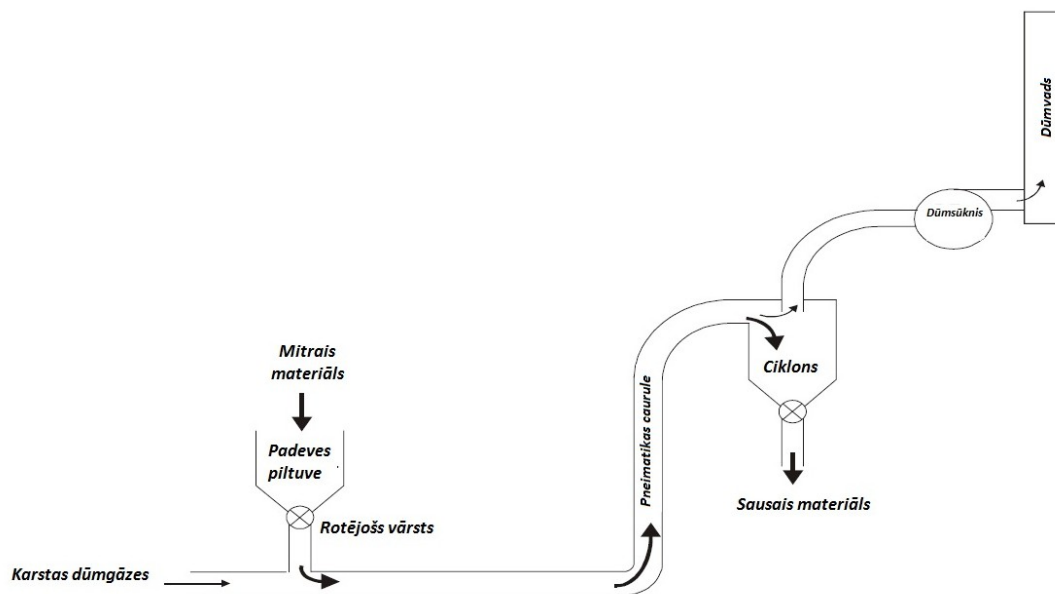
Pneimatiskā kalte

Pneimatiskajā kaltē materiāls tiek jaukts ar ātras plūsmas gaisu. Ciešais kontakts starp gaisu un materiālu nodrošina strauju kaltēšanu. Materiāls no gaisa tiek atdalīts ar ciklona palīdzību, gaiss turpina plūsmu un iet caur papildus filtrējošu elementu lai atdalītu sīkākās daļiņas. Vienkārša pneimatiskā kalte parādīta 7. attēlā.

Īsā procesa laikā, kaltes aprīkojums ir mazāks salīdzinot ar rotējošo kalni. Bet elektrības patēriņš ir lielāks, jo ātrāka ir gaisa plūsma un jo biomasu nepieciešams pirms tam sasmalcināt, lai mazinātu gabarītus līdz izmēram, kurā iespējama tās plūsma kopā ar gaisa plūsmu.

Pneimatiskās kaltes veiksmīgi tiek izmantotas biomasas, koksnes, dūņu, cukura ražošanas pārpalikumu kaltēšanā.

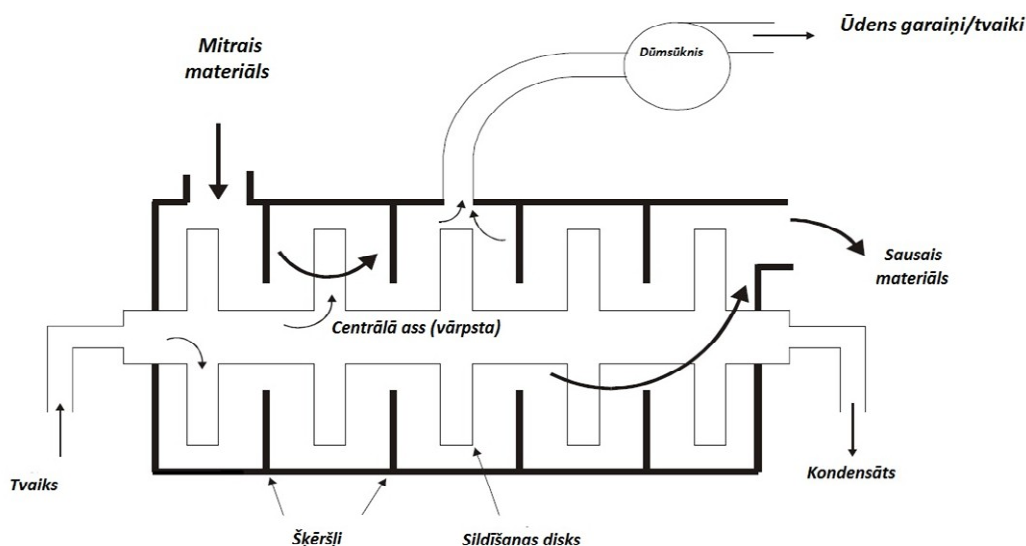
Dūmgāzu temperatūra ir nedaudz zemāka nekā rotējošajām kaltēm, bet kalte tik un tā darbojas temperatūrā, kas ir augstāka par sadegšanas punktu. Materiāla uzturēšanās ilgums kaltē parasti ir zemāks par 30 sekundēm, lai samazinātu uguns briesmu risku.



7. att. Vienkāršota pneimatiskā kalte

Disku kaltes

Mazākai materiāla plūsmai iespējams izmantot disku jeb „nažu veltni” kaltes. Disku kaltē materiāls tiek uzsildīts kondensējot tvaiku centrālajā asī, kas veidota no daudz diskiem tā palielinot siltummaiņas virsmas laukumu. Pirksti jeb šķēršļi maisa materiālu un neļauj materiālam koncentrēties kopā. Disku kalte var būt arī vakuuma vai zem spiediena, un kondensāts asī var tikt recirkulēts un izmantots atkal (8. att.).



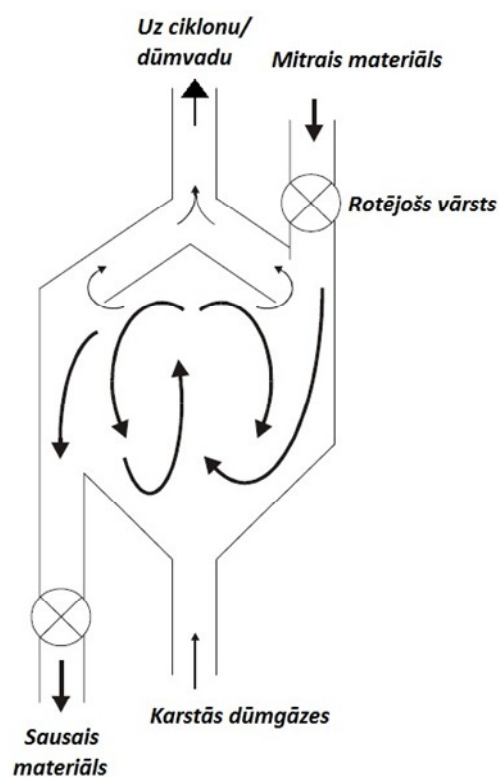
8. att. Disku kaltis

Kaskādes kaltes

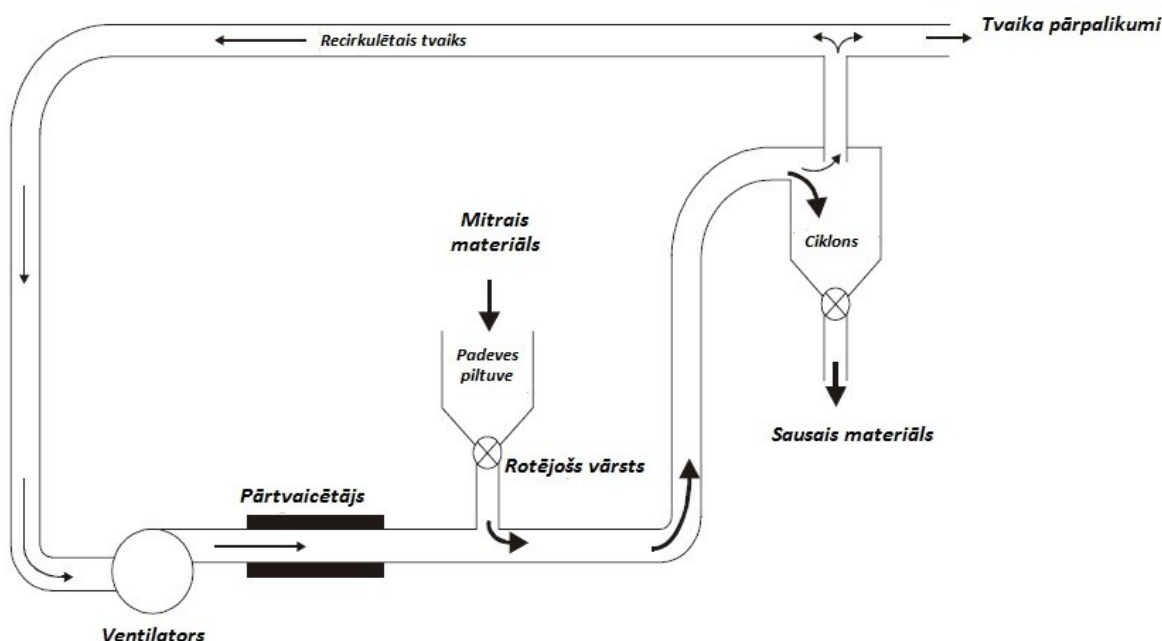
Kaskādes kaltes visbiežāk izmanto graudu kaltēšanai, bet iespējams izmantot arī atsevišķu biomasu kaltēšanai (9. att.). Materiāls saskaras ar karsta gaisa plūsmu kolīdz nonāk slēgtā kamerā. Materiāls tiek uzsviests, tad piezemējas, lai atkal tiktu uzsviests. Daļa materiāla tiek izsviesta caur atvērumu kameras sānā, kas kontrolē uzturēšanās laiku kamerā. Visbiežāk tās ir pāris minūtes.

Pārkarsēta tvaika kaltes

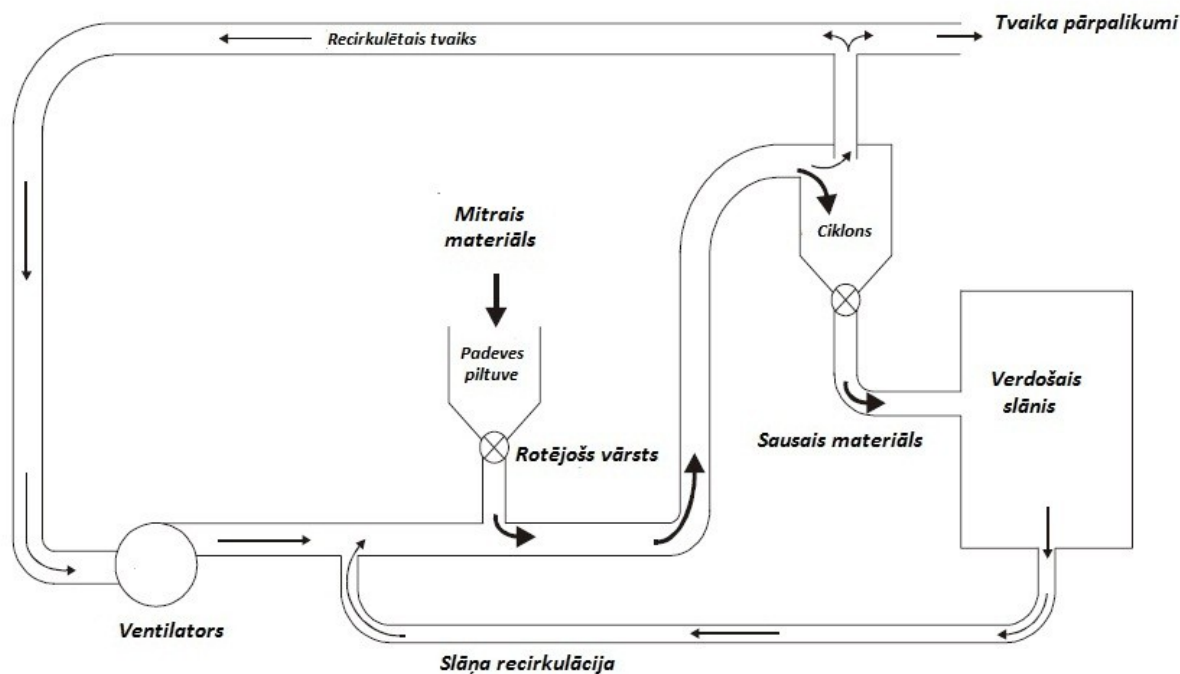
Lielākā daļa pārkarsētā tvaika kaltes ir līdzīgas pneimatiskajām kaltēm, izņemot to, ka materiālu apņemošā viela ir pārkarsēts tvaiks, nevis gaiss. Normālos apstākļos, mitrais materiāls tiek jaukts ar pārkarsētu tvaiku, lai veicināt ūdens sastāva iztvaikošanu un beigās vēl viņam saglabājas pārkarsētā tvaika īpašības. Visbiežāk 90% no tvaika tiek recirkulēts, bet 10% tiek aiznesti ar biomasu, kondensējas vai tiek izmantots citur ražošanā. Visizplatītākos pārkarsētā tvaika tipi parādīti 10., 11. un 12. attēlā.



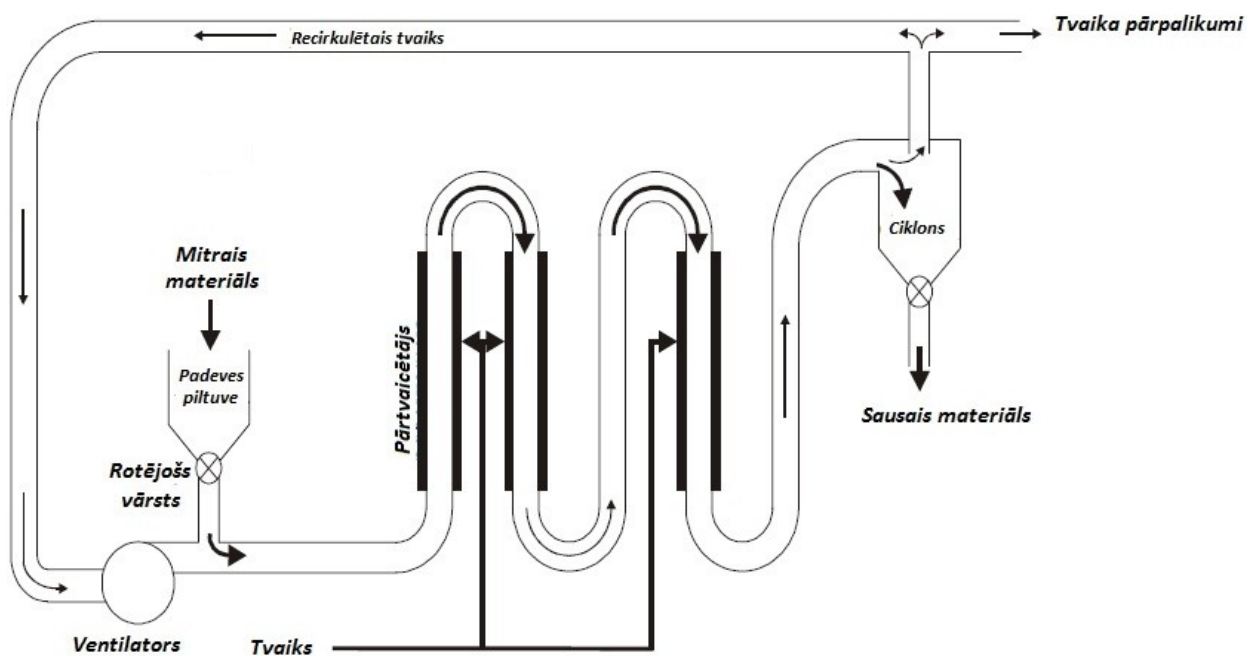
9. att. Kaskādes kalte



10. att. Vienkāršota pārkarsēta tvaika kalte



11. att. Verdošā slāņa jaukšanas pārkarsēta tvaika kalte



12. att. MoDo tipa pārkarsēta tvaika kalte

Dozēšanas procesa teorētiskā izpēte

Balstoties uz hipotēzi, ka maisīšana plūsmā samazina energopatēriņu maisīšanas procesam, jāizvērtē citas maisījuma veidošanā iesaistītās iekārtas, piemēram, dozators. Maisīšanai plūsmā ir nepieciešama precīza dozēšana un jāņem vērā, ka svarīgs ir ne tikai kopējais sadozētā birstošā materiāla daudzums, bet arī materiāla daudzums, kas tiek izdalīts no

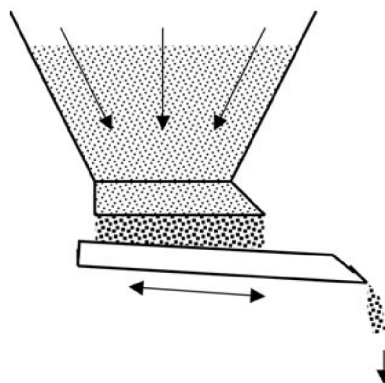
dozatora noteiktā laika sprīdī. Laiks, kurā dozatoram jānodrošina dozēšanas vienmērīgums, ir atkarīgs no maisītāja konstrukcijas, t.i., no masas uzkavēšanās laika maisītājā.

Izvēloties dozatoru jāpievērš uzmanība sekojošiem kritērijiem [1, 2, 3]:

- ✓ plūsmas diapazons;
- ✓ regulēšanas iespējas sagaidāmajai plūsmai un daļiņu vai gabalu lielumam;
- ✓ plūsmas stabilitāte uzdotajam diapazonam;
- ✓ dozatora gabarītu atbilstība paredzētajai vietai;
- ✓ cikliskums (nepārtraukts, pārtraukts);
- ✓ dozējamās masas daļiņu lielums, blīvums, plūstamība, mitrums, lipīgums, kunkuļu veidošanās, puteikļainība u.c.;
- ✓ energoefektivitāte;
- ✓ iekārtu izmaksas;
- ✓ apkalpošanas izmaksas.

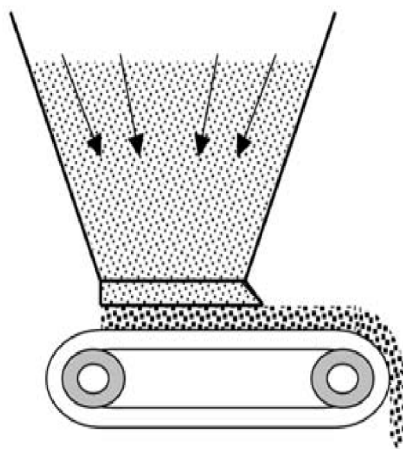
Ir svarīgi, lai plūsmas raksturs būtu tāds, ka viss piltuves atvērums, dozatoram darbojoties, būtu aktīvs. Tas ir viens no būtiskākajiem faktoriem masas-plūsmas piltuvēs. Lai sasniegtu šo efektu sevišķa uzmanība jāpievērš izplūdes lūkas vertikālās daļas un aizvara projektēšanai, kas bieži ir par iemeslu plūsmas bremzēšanai. Aizvaru ieteicams izmantot tikai plūsmas pārtraukšanai vai atjaunošanai, bet ne plūsmas regulēšanai. Plūsmas regulēšana jānodrošina ar dozatora rotācijas ātruma maiņu [1, 2].

Vibrodozators (13. att.) bieži tiek pielietots birstošu materiālu izkraušanai no tvertnes. Tie ir īpaši pielietoti plaša diapazona birstošiem materiāliem, pielāgojami plašam daļiņu lielumu diapazonam un daļēji lietojami abrazīviem materiāliem. Pārsvārā tiek izmantoti smalkiem pulveriem ar plūšanas problēmām. Līpoši materiāli var pielipt dozējošai plāksnei, samazinot plūsmas ražīgumu. Dozēšanas ātrums un caurplūde atkarīga no dozatora piedziņas motora frekvences, amplitūdas, motora un teknes slīpuma, no berzes koeficienta starp birstošo materiālu un teknes virsmu, kā arī no pārējām birstošā materiāla īpašībām - blīvuma, plūstamības u.c. [1, 3].



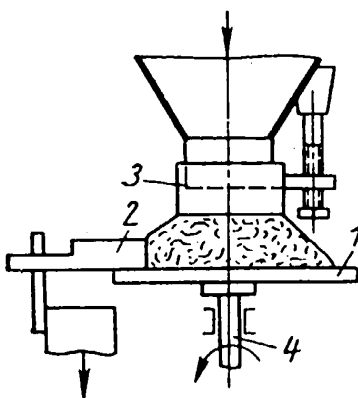
13. att. Vibrodozators [1]

Lentas dozators tiek lietots, lai nodrošinātu masas plūsmu no glabāšanas tvertnēm. Šāds dozators pamatā sastāv no platas lentas, kas balstās uz netālu izvietotiem rullīšiem. Lenta tiek piedzīta ar rulli, kas novietots lentas galā. Lentas dozators spēj izturēt lielas slodzes un ir izmantojams abrazīviem materiāliem. Gadījumā, ja jāuzglabā smalki pulveri, kam ir pasliktināta plūstamība, lielāka vērība jāpievērš piltuves/dozatora projektēšanai. Ja birstošajam materiālam ir tendence pielipt pie lentas, tad palielinātais nobirums varētu būt šķērslis lentas dozatora izmantošanai [1, 3].



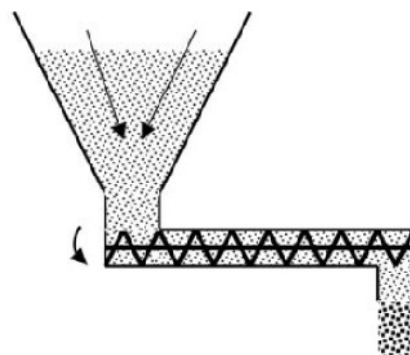
14. att. Lentas dozators [1]

Rotējošā diska dozators sastāv no apaļas rotējošas plāksnes, kas novietota tieši zem tvertnes atvēruma. Disks kombinēts ar regulējamu dozēšanas plāksni, ar kuras palīdzību norauš no diska noteikto materiāla daudzumu tekņē. Šāds dozators ir izmantojams kohezīvu materiālu uzglabāšanai un dozēšanai, kam nepieciešamas lielas piltuvju atveres, ar ražīgumu no 5 līdz 125 t stundā. Ražīgums ir atkarīgs no leņķa, kādā materiāls izbirst uz diska, un to ietekmē birstošā materiāla dabīgā nogrūvuma leņķis, kas mainās atkarībā no mitruma, no daļiņu lieluma sadalījuma un salipšanas. Šīs pārmaiņas neļauj iegūt augstu dozēšanas precizitāti [3].



15. att. Rotējošā diska dozators [3]

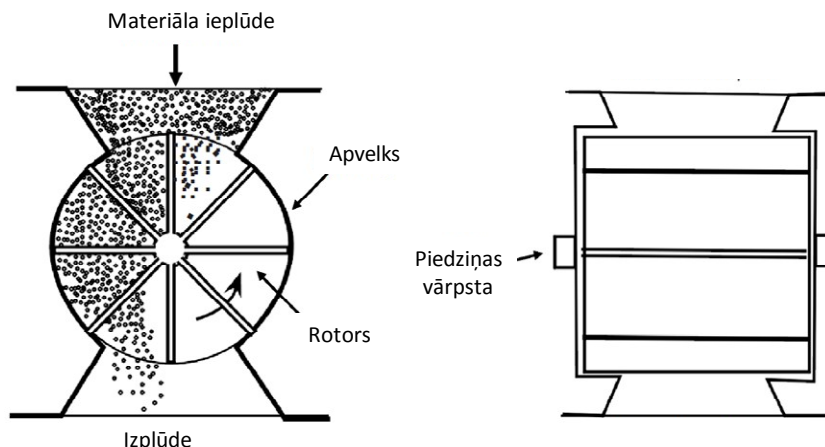
Gliemeža dozators tiek plaši pielietots materiāliem, kas raksturojami kā nesalīpoši jeb maz līpoši, t.i. granulas jeb smalki sasmalcināti materiāli ar vāju plūstamību, kas jādozē noteiktā daudzumā. Grūtības sagādā, ja jāprojektē piltuve ar garenu apakšējo daļu, kur ievietots gliemezis. Gliemezim ar konstantu soli un diametru ir tendence materiālu ņemt tikai no tvertnes aizmugurējās daļas. Lai to novērstu un palielinātu materiāla ieplūšanu gliemezī arī no tvertnes vidusdaļas un priekšpusēs, var veikt dažādas izmaiņas, piemēram, pielietot mainīgu soli, mainīgu gliemeža un vārpstas diametru. Soļa mainīšana ir ierobežota pārsvarā no 0,5 līdz 1,5 no diametra. Gliemezim ir zems lietderības koeficients. Tas saistīts ar lielo enerģijas patēriņu berzes pārvarēšanai. Papildus berzei arī piepildījuma koeficients birstošā materiāla dozēšanas operācijā samazina gliemeža lietderību.



16. att. Gliemeždozators [3]

Noslēgti gliemeždozatori ir ar labu putekļu izolāciju [1, 2, 3].

Rotora dozators parasti tiek lietots smalkiem, labi plūstošiem birstošiem materiāliem. Rotora dozators ir kā ļoti īss lentas dozators. Stāvošs rotors attur materiālu no izplūšanas, bet rotējot tas iztukšo tvertni. Šāds dozators neder kohēzīviem materiāliem, jo tiem ir tendence salipt rotora sektoros, kas samazina dozatora ražīgumu [3].



17. att. Rotora dozators [2]

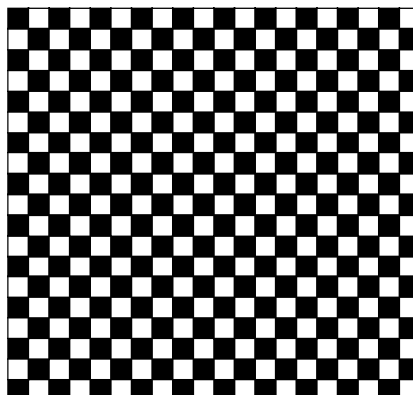
Dozatoru dozējošie elementi, piemēram, rotori ir ar noteiktu sektoru skaitu. Sektori dozējamo masu sadala noteiktās porcijās un, atkarībā no rotora rotācijas ātruma, porcijas tiek izsviestas no dozatora, radot plūsmā pulsācijas, t.i., materiāla nevienmērīgu izplūdi. Līdzīgs efekts ir horizontāli novietotam gliemeždozatoram, kas parasti nav piepildīts 100%, tāpēc katrs vijums izdod kaut kādu noteiktu porciju, radot pulsācijas. Arī vertikāli novietots gliemeždozators rada nevienmērīgu plūsmu, jo masa izplūst no gliemeža vietā, kur beidzas vijums. Tā kā gliemezis nepārtraukti rotē, tad izplūšana notiek pa aploci, un masa birstot veido tādu kā spirāli. Ja gliemeža rotācijas frekvence ir liela, pulsācijas nemana, jo birstošā masa pārklājas. Pulsācijas nav ievērojamas arī gadījumā, ja gliemeža diametrs ir mazs. Iepriekšminētie efekti jāņem vērā izvēloties dozatoru, kas paredzēts novietot pirms nepārtrauktas darbības maisītāja.

Maisīšanas procesa teorētiskā izpēte

Par maisīšanu sauc dažādu vielu sajaukšanu ar mērķi iegūt vienmērīgu maisījumu, t.i., iegūt vienmērīgu katras komponentes daļiņu izvietojumu visā tilpumā [6, 8, 9, 10, 11, 12,] pārgrupējot tās ar ārējo spēku palīdzību [15]. 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.

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 attālumos. Kā piemērs daļiņu izkliedei uz virsmas divām ideāli samaisītām komponentēm varētu būt šaha galdiņa raksts (18. 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 [4, 14].



18. att. Ideāls maisījums

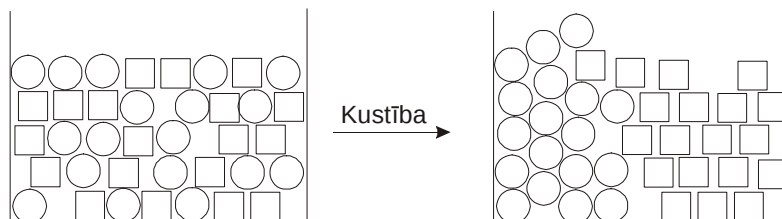
Noslāņošanās

Par noslāņošanos var nosaukt birstošā materiāla daļiņu ar dažādām īpašībām sadalīšanu pa dažādām maisītāja vai glabāšanas tvertnes vietām. Daļiņu īpašības, kas izsauc noslāņošanos ir [16]:

- ✓ daļiņu lielums, un daļiņu lieluma izkliede;
- ✓ blīvums;
- ✓ forma;
- ✓ elastības modulis;
- ✓ berzes koeficients;
- ✓ virsmas faktūra;
- ✓ lipīgums;
- ✓ spēja saistīties.

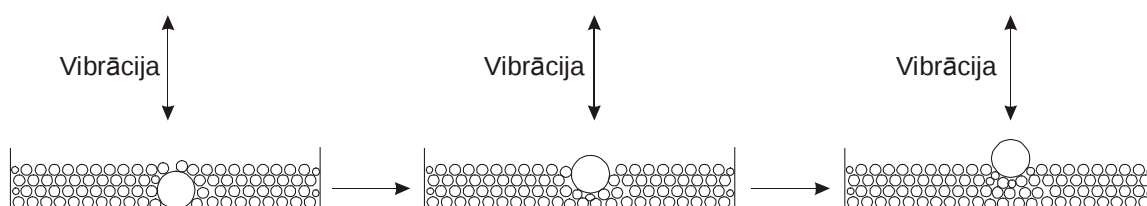
Daļiņu lielums ir visbūtiskākais parametrs attiecībā uz noslāņošanos. Birstošā materiālā daļiņu izmēri var atšķirties 1000 reizes un vairāk, neviens cits parametrs nemainās tik būtiski. Daļiņu blīvums var mainīties aptuveni 10 reizes, kas arī ir pietiekams daļiņu noslāņošanās iemesls. Blīvākās daļiņas parasti paliek kaudzes centrā un it kā aizgrūž prom mazāk blīvas daļiņas. Daļiņas forma ir grūti nosakāms parametrs, taču galvenajos vilcienos varētu teikt, ka apaļīgākās daļiņas bāzējās tālāk no kaudzes centra (aizribo tālāk), taču pārselveidīgās un adatveidīgās uzturas tuvāk kaudzes centram. Berzes koeficients veicinās daļiņu noslāņošanos, materiālam slīdot pa slīpu plakni. Daļiņas ar lielāku berzes koeficientu slīdēs lēnāk vai vispār apstāsies, bet ar daļiņas ar mazāku berzes koeficientu ātrāk uzsāks kustību un slīdēšanas procesā iegūs lielāku ātrumu. Lipīgums jeb adhēzija ir daļiņu īpašība pielipt pie virsmām, tādēļ daļiņas ar izteiktāku lipīgumu pārvietojoties pa virsmām tiek daļēji vai pilnīgi nobremzētas [16].

19. attēlā parādīta noslāņošanās palielināšanās aglomerācijas procesā. Aglomerācija notiek, ja starp daļiņām darbojas spēcīgi starpdaļiņu spēki. Pievilkšanās spēki var sākt darboties, ja komponentes daļiņas ir ciešā kontaktā, kā rezultātā daļiņas salīp cita ar citu, piemēram, šķidrumu veidotie tilti, ja maisījumā ir neliels daudzums šķidruma [17].



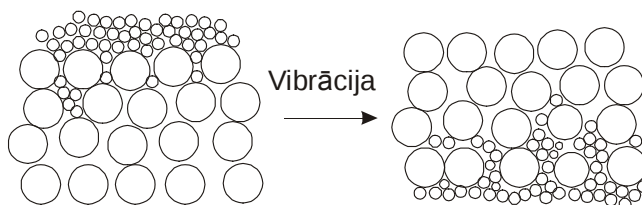
19. att. Aglomerācija

Noslāņošanās vibrācijas ietekmē lielākās daļiņas tiek paceltas pretēji gravitācijas spēkiem birstošā materiāla augšējos slāņos. Attēlā 20. ir parādīts šis efekts, kad vibrācijas ietekmē rupjākā daļiņa attālinās no virsmas, bet smalkākās daļiņas tikmēr ieņem brīvo vietu, neļaujot rupjajai daļiņai ieņemt iepriekšējo pozīciju.



20. att. Peldēšana

Filtrēšanās ir viens no visbūtiskākajiem noslāņošanās efektiem. Smalkās daļiņas izbirst cauri rupjāko daļiņu veidotam režģim, kas darbojas līdzīgi kā siets (21. att.). Materiālam pārvietojoties, spraugas starp lielām daļiņām paveras un smalkām daļiņām rodas iespēja pārvietoties pa tām uz leju [18].

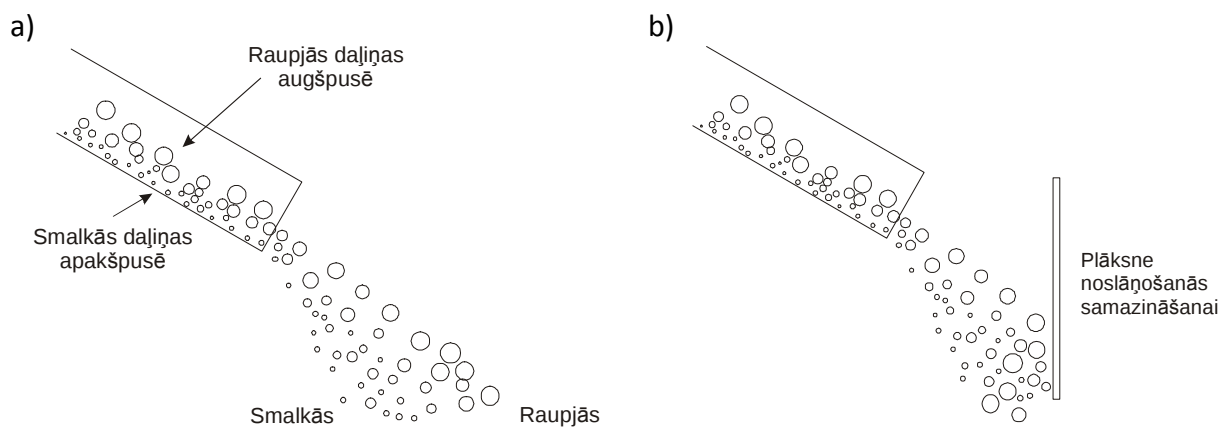


21. att. Filtrēšanās

Noslāņošanos var samazināt:

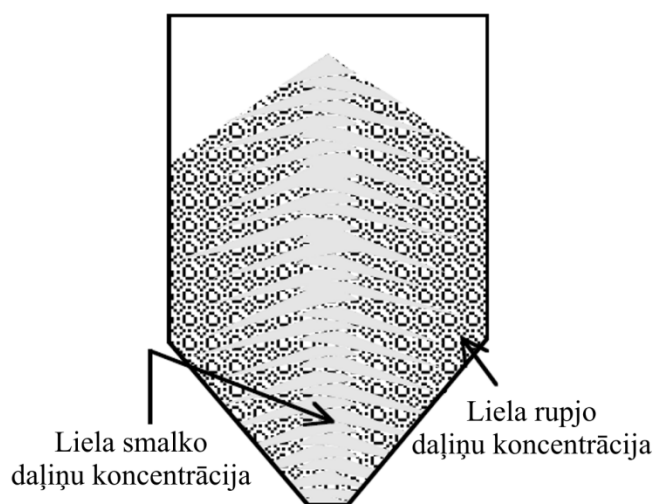
- ✓ izmainot birstošo materiālu – samazinot izmēru atšķirību starp daļiņām, t.i., lielās daļiņas sasmalcināt, bet mazās, ja tas nepieciešams, var arī granulēt, lai iegūtu viendabīgu materiālu, samazinātu lipīgumu un uzlabotu plūstamību.
- ✓ izmainot iekārtu – to var veikt dažādos veidos, atkarībā no apstākļiem. Šajā gadījumā varētu izmantot koncepciju par paralēlo un šķērso noslāņošanos, ko ieviesis Bruffs (*Bruff*) [16]. Paralēlajā noslāņošanās procesā virsma, kas veicina noslāņošanos, ir orientēta plūsmas virzienā. Pārvietojoties pa tekni vai transportiera lentu, smalkās daļiņas izbirst cauri rupjākajām un turpina pārvietoties zemākajos slāņos, bet rupjākās daļiņas – augstākajos. Par paralēlu sauc tādu noslāņošanos, kad separētās (noslāņošanās procesā atdalītās) daļiņas pārvietojas paralēli un vienā virzienā, tiek izpludinātas aptuveni tai pašā laikā un vietā. Atkarībā no tā, kas notiek izplūšanas vietā, daļiņas vēl var pastiprināti noslāņoties, vai atkal

samaisīties. Daļiņas pastiprināti noslāņosies, ja to veicinās izplūšanas trajektorija (skat. att. 22. a). Daļiņas var tikta atkal samaisītas, kā tas parādīts 22. attēlā b ar vienkāršas plāksnes palīdzību, pret kuru lielākās daļiņas atsitas un tiek novirzītas uz plūsmu, kur atkal sajaucas ar smalkākām daļiņām. Ja daļiņas noslāņojas pa plaknēm, kas ir perpendikulāras plūsmas virzienam, tad to sauc par šķērso noslāņošanos. Šādā gadījumā noslāņotās frakcijas izplūdīs dažādos laikos, kas izslēdz iespēju tās atkal samaisīt izplūdes punktā, kā tas bija paralēlās noslāņošanās gadījumā [16]. Tvertnes centriskās pildīšanas gadījumā lielākās daļiņas ir tendētas uzkrāties tuvāk pie tvertnes sienām, bet mazākās daļiņas uzkrājas tuvāk centram (23. att.). Tuneļa plūsmas gadījumā smalkākās daļiņas no tvertnes izplūst pirmās, savukārt, raupjākās daļiņas tikai pēc tam. Masas plūsmas gadījumā materiāls noslāņosies tāpat, bet tiks atkal sajaukts, kad plūdis lejup uz tvertnes piltuvi. Tāpēc var teikt, ka noslāņošanos tvertnēs var novērst veidojot masas plūsmas tvertnes.



22. att. Noslāņošanās un tās samazināšana

- ✓ izmainot procesa gaitu – piemēram, piepildot tvertnes, lieli piepildīšanās ātrumi nodrošinās mazāku noslāņošanos. Maisīšana plūsmā arī ir viens no variantiem, kā samazināt noslāņošanos, izvairoties no dažādiem papildus pārkraušanas un glabāšanas procesiem [17].



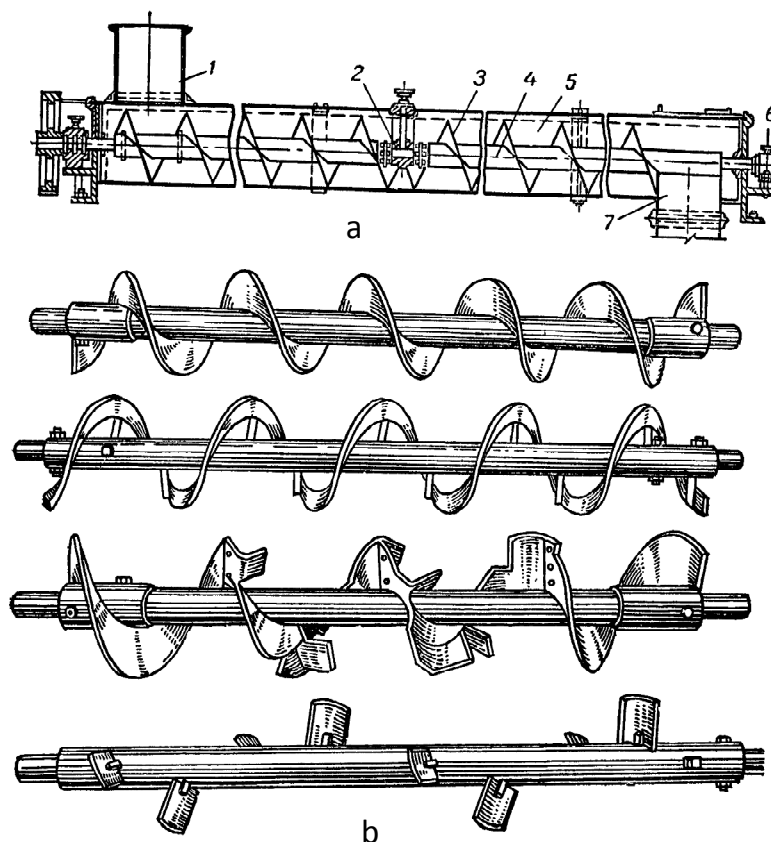
23. att. Daļiņu noslāņošanās tvertnes uzpildīšanas procesā

Lauksaimniecības tehnikā, atkarībā no tehnoloģiskām prasībām, tiek izmantota vai nu nepārtrauktās vai cikliskās darbības maisīšana. Iekārtas, kas radītas šādiem procesiem, ir ar dažādiem parametriem un tām būtiski atšķiras maisīšanas laiks. Maisītājiem ir atšķirīgi lietderības koeficienti. Graudainā materiāla daļiņu izvietojumu masā ietekmē gan paša materiāla īpašības, gan maisītāja darbīgā elementa uzvedība [5]. Maisot graudainus materiālus, izpaužas sekojošas procesa īpašības: kinētiskā [13], difūzā [7] un nejaušā.

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 [15]. 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).

Smalcinātas biomasas un piedevu materiālu tehnoloģiskais transports

Gliemežtransportieris paredzēts putekļainu, birstošu materiālu transportēšanai. Biomasu sasmalcinot, atkarībā no smalcināšanas pakāpes un veida, smalcināto masu veido gan rupjāka, gan arī ļoti smalka frakcija. Tāpēc, lai pasargāt apkārtējo vidi no piesārņojuma ar putekļiem, sasmalcinātas biomasas transportēšanai uz tālāku izmantošanu, var tikt izmantots arī gliemežtransportieris.



24. att. Gliemežtransportieris [37]

Gliemežtransportiera priekšrocības ir tā vienkāršā konstrukcija un apkalpošana, nelieli šķērsgriezuma izmēri, ērta kravas izkraušana starpposmos, kā arī panākams labs hermētiskums, kas it sevišķi labi ir darbojoties ar putekļainiem materiāliem. Kā trūkumu var minēt berzi, kas rodas materiālam slīdot gar gliemezi un apvelku un deldē transportiera darbīgās daļas. Berzes pārvarēšanai nepieciešama salīdzinoši liela īpatnējā enerģija. Šo iemeslu dēļ gliemežtransportieri pielieto tajos gadījumos, kad tā ražīgums nepārsniedz $100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ un attālums, kurā krava tiek transportēta 30...40 m [37].

Gliemežtransportieris (24. att.) sastāv no apvalka 5, piedziņas vārpstas 4 ar uz tās nostiprinātu gliemezi 3, starpbalsta gultņiem 2, atbalsta gultņiem 6, piltuves 1 un izkraušanas lūkas 7 ar aizbīdni.

Gliemežim griežoties, tas pārvieto birstošo materiālu gliemeža rotācijas ass virzienā. Kustības laikā materiāls negriežas, jo tam pretojas tā svars un berze pret transportiera apvelku. Atkarībā no transportējamā materiāla, tiek pielietoti dažādas konstrukcijas gliemežtransportieri (24. att. b).

Briketēšanas, granulēšanas procesa teorētiskā izpēte

Niedru materiālu kompaktēšanas galvenās likumsakarības ir līdzīgas citām enerģētisko augu biomasām. Kompaktēšanas eksperimenti veikti cietā kurināmā ražošanai.

Vislabāk zināmais kompaktēto materiālu veids ir granulas un briketes. Galvenos vilcienos starp briketes un granulu īpašībām nav būtisku atšķirību. Maza garuma presētus materiālus sauc par granulām un rupjākus materiālus sauc par briketēm. Sabriketētus atlikumus ir daudz vieglāk transportēt, pārkraut un uzglabāt. Ir efektīvi izmantot briketes kā alternatīvu kurināmo akmeņogļu vietā un papildus tam samazinās piesārņojošās gāzes, kā sēra (S) un fosfora (P) dūmi. Palielinot materiāla blīvumu caur briketēšanu, palielinās arī enerģijas blīvums. Briketes parasti ir cilindriskas formas ar diametru no 25 – 100 mm un garumu no 40 – 400 mm [19].

Kompaktēšana ir tehnoloģisks paņēmieni, kā biomasu pārvērst cietajā kurināmajā (briketes un granulas). Kompaktēšanas procesā samazinās atstatums starp presējamā materiāla daļiņām, palielinās virsmas un savstarpējo kontaktu skaits, izveidojas saķeršanās spēki, kas nodrošina uzdoto briketes formu un noteiktu mehānisko stiprību. Novākta biomasa ir ar nelielu materiāla blīvumu – 20 līdz 60 kg m^{-3} , tādejādi kompaktēšana ir viens no veidiem kā padarīt efektīvāku biomasas kraušanu, pārvadāšanu un uzglabāšanu. Biomasas kompaktēšanas procesu ietekmē vairāki faktori: materiāla īpašības (mitrums, frakcijas lielums, piejaukumi, blīvums), kompaktēšanas spiediens, temperatūra, kompaktēšanas metode, u.c. Būtiska ietekme ir arī materiāla plūstamībai, materiāla daļiņu savstarpējai iedarbībai un daļiņu iedarbībai ar matricas sienām. Optimālais materiāla mitrums ir robežās no 8 līdz 15%.

Kompaktētas biomasas priekšrocības [20]:

- ✓ mazāks tilpums uz enerģijas vienību;
- ✓ mazāks mitruma saturs;
- ✓ var uzglabāt ilgu laiku;
- ✓ nav problēmas ar pelēšanu;
- ✓ nesisalst;
- ✓ mazāki materiāla zudumi;
- ✓ deg gandrīz bez dūmiem;

- ✓ augsta degšanas temperatūra;
- ✓ maza smago metālu koncentrācija;
- ✓ salīdzinoši lēts apkures veids;
- ✓ ekoloģiski tīrs kurināmais.

Saistvielas izmanto, lai uzlabotu briketēšanas vai granulēšanas procesu. Saistviela palielina presējamā materiāla stiprību, jo palīdz saturēt stiebru materiāla daļiņas kopā.

Parasti kokskaidu granulu ražošanā saistvielas neizmanto. Saistvielu lietošana palielina izmaksas. Papildus vēl ir nepieciešams uzstādīt jaukšanas iekārtas. Jaukšanas procesā ir nepieciešama papildus kontrole, jo nepareiza piedevu proporcija var atstāt iespaidu uz briketes vai granulu kvalitāti [21].

Saistvielas parasti izmanto kā eļļošanas vai mitruma aizsargājošu līdzekli. Saistvielas nedrīkst traucēt degšanas procesos vai izdalīt smirdīgas vai kaitīgas gāzes.

Pielieto arī sintētiskās saistvielas, bet tās nav videi draudzīgas. Toties granulu siltumietilpība un degšanas process uzlabojas, un pelnu saturs samazinās [22].

Saistvielas palielina nodiluma pretestību un samazina iekārtas nodilumu. Zviedrijā kā saistvielu izmanto lignosulfātu (wafolin). Lignosulfāts palielina sēra saturu [23].

Granulām vajadzētu būt ar augstu izturību, lai nerastos pārāk daudz atbirumu transportēšanas laikā un iepildot uzglabāšanas tvertnēs. Praksē dažas rūpnīcas pielieto 0.5 – 2 % cieti [24].

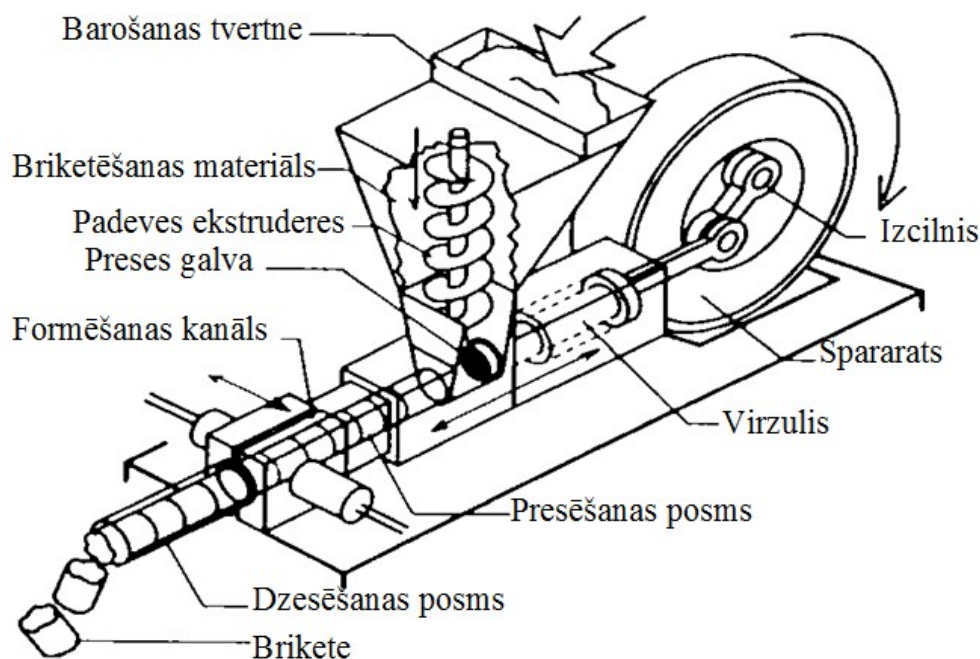
Populārākās saistvielu piedevas ir:

- ✓ ciete;
- ✓ melase;
- ✓ dabiskais parafīns;
- ✓ augu eļļa;
- ✓ lignīna sulfāts;
- ✓ sintētiskās piedevas.

Kompaktēšanas procesa efektivitāte atkarīga no izvēlēta briketēšanas mehānisma tipa. Briketēšanai galvenokārt tiek izmantotās trīs veidu preses – virzuļprese, ekstrūderprese un ruļļu prese. Granulēšanai izmanto granulātorus ar plaknes virsmas matricu un gredzena tipa matricu.

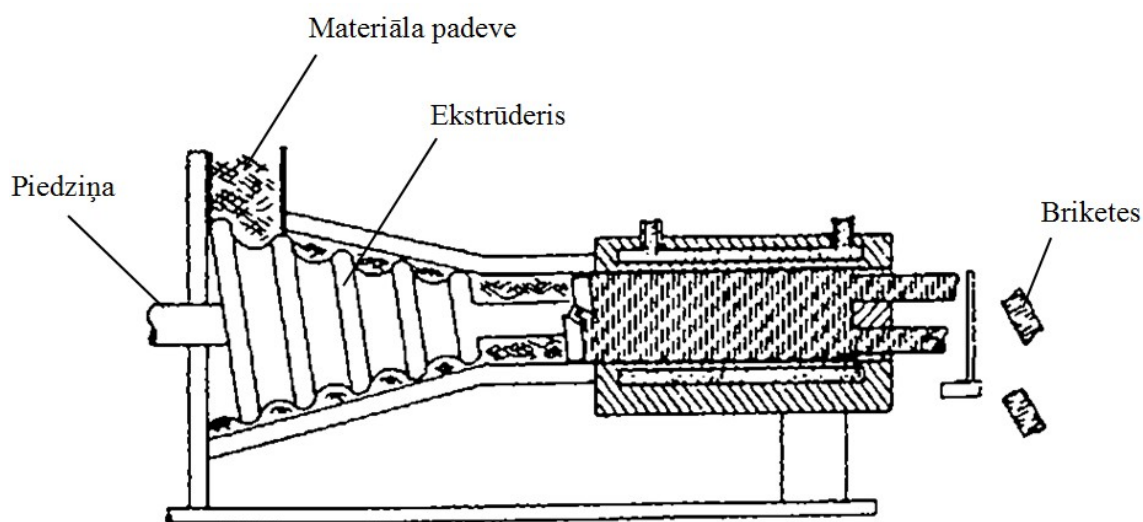
Briketēšanas iekārtas.

Virzuļpreses tiek izmatotas biomasas presēšanai ar lieliem spiedieniem. Virzuļpreses darbības princips pamatojas uz materiāla saspiešanu starp preses virzuli un brikešu grupu matricas kanālā. Nepieciešamais spiediens presēšanai rodas brikešu berzes rezultātā. Ražīgums virzuļpresēm ir no 25 līdz 1800 kg h⁻¹, kas atkarīgs no presējamā materiāla īpašībām un matricas parametriem. Šīm presēm iespējami divi piedziņas veidi – mehāniskā un hidrauliskā. Mehāniskā piedziņa parasti tiek realizēta, izmantojot liela izmēra spararatus (25. att.) [25]. Hidrauliskajā piedziņā preses darbība tiek nodrošināta ar augstspiediena hidrauliskās sistēmas starpniecību. Virzuļpresēm parasti tiek izmantotas slēgtā tipa vai nepārtrauktās darbības matricas. Biomasas brikešu izgatavošanai bieži vien izmanto apsildāmās matricas, kas nodrošina lignīna izdalīšanos. Lignīns briketēšanas procesā darbojās kā dabiska saistviela.



25. att. Virzulprese ar mehānisko piedziņu

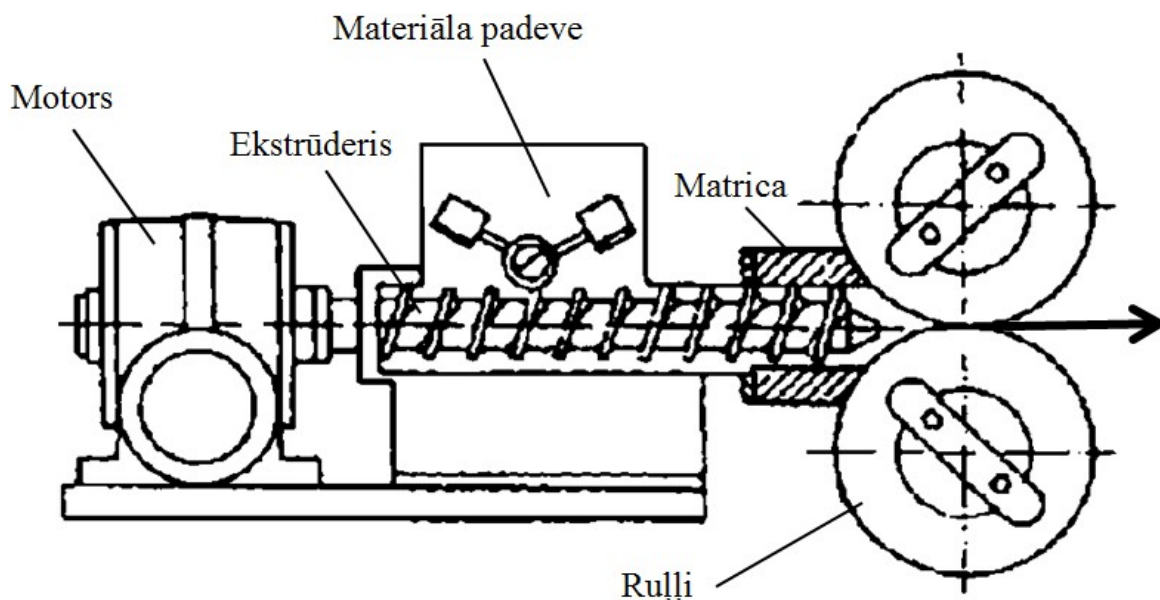
Ekstrūderpresēm (26. att.) [26] biomasa ar ekstrūderi tiek nepārtraukti padota uz matricu, kur, rodoties pretestībai, tā tiek saspiesta. Bieži vien ekstrūdera gals tiek veidots smailas formas, kas izgatavotajās briketēs veido briketes iekšējo urbumu. Ražīgums šādām presēm ir no 75 līdz 250 kg h⁻¹. Ekstrūdera piedziņa visbiežāk tiek realizēta ar elektromotoru. Lielo berzes spēku dēļ šīm presēm ir lielāks enerģijas patēriņš nekā virzulpresēm, taču izgatavotās briketes ir kvalitatīvākas un ar labākām degšanas īpašībām. Līdzīgi kā virzulpresēm arī ekstrūderpresēm var tikt pielietota matricas sildīšana.



26. att. Ekstrūderprese

Ruļļu preses (27. att.) retāk tiek izmantotas biomasas briketēšanai. Šo principu parasti pielieto granulēšanas iekārtās. Ruļļu presēm nepieciešams materiāls ar daudz smalkāku frakciju nekā virzulpresēm vai ekstrūderpresēm. Ruļļu presēm ir vismazākais enerģijas patēriņš, Projekta Nr. 2010/0306/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/128

salīdzinot ar virzuļpresēm un ekstrūderpresēm. Briketēšanas spiediens tiek radīts starp diviem rotējošiem ruļļiem. Briketējot ar ruļļu presi galvenie parametri, kas ietekmē brikešu kvalitāti ir ruļļu diametri, spraugas lielums starp ruļļiem, ruļļu piespiešanās spēks un matricas forma [27].



27. att. Ruļļu prese

Granulēšanas iekārtas.

Granulēšana ir līdzīga briketēšanai, tikai izmanto mazāka izmēra urbumus matricās (apmēram mazākus par 30 mm) un šo produkciju sauc par granulām. Granulātorā matricai ir liels skaits urbumu, kas izurbti biežā tērauda diskā vai gredzenā un materiāls tiek spiests matricā ar divu vai vairāku ruļļu palīdzību. Ir divu tipu granulātori: plaknes un gredzena tipa. Lai gan matricu tipi un granulātorā spiedēj mehānisma iekārtas ir atšķirīgas, bet praktiski visām iekārtām ir sekojošas daļas: padeves iekārta, matrica, ruļļi, dzinējs, zobrats un rāmis [22].

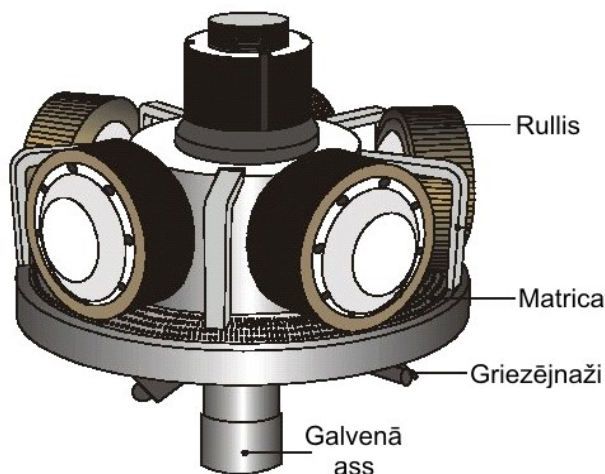
Stiebru materiāla padevē parasti izmanto gliemežtransportieri. Padeves mehānisms nodrošina stiebru materiāla plūsmu mainīgos apstākļos. Materiāla padeve uz matricu notiek dažādos veidos. Tas atkarīgs no mašīnas tipa.

Rullis vai ruļļi presē stiebru materiālu cauri matricas urbumiem un griezēj naži nogriež. Šos izspiestos gabaliņus sauc par granulām. Ruļļu priekšā stiebru materiāls ir noklāts noteiktā slānī. Presēšanas ruļļi savēl šo slāni un presē materiālu matricas urbumos. Pēc tam atkal tiek uzklāta jauna materiāla kārtā un rullis atkal presē cauri matricas urbumiem, kur izveidojas granulas.

Matrica un ruļļi ir izgatavoti no nodilumizturīga materiāla. Visplašāk pielietotais matricas materiāls ir rūdīts hroma tērauds, kura virsma ir karstumizturīga. Matrica, ruļļi un griezēj naži ir dilstošās daļas un tiek mainīti periodiski.

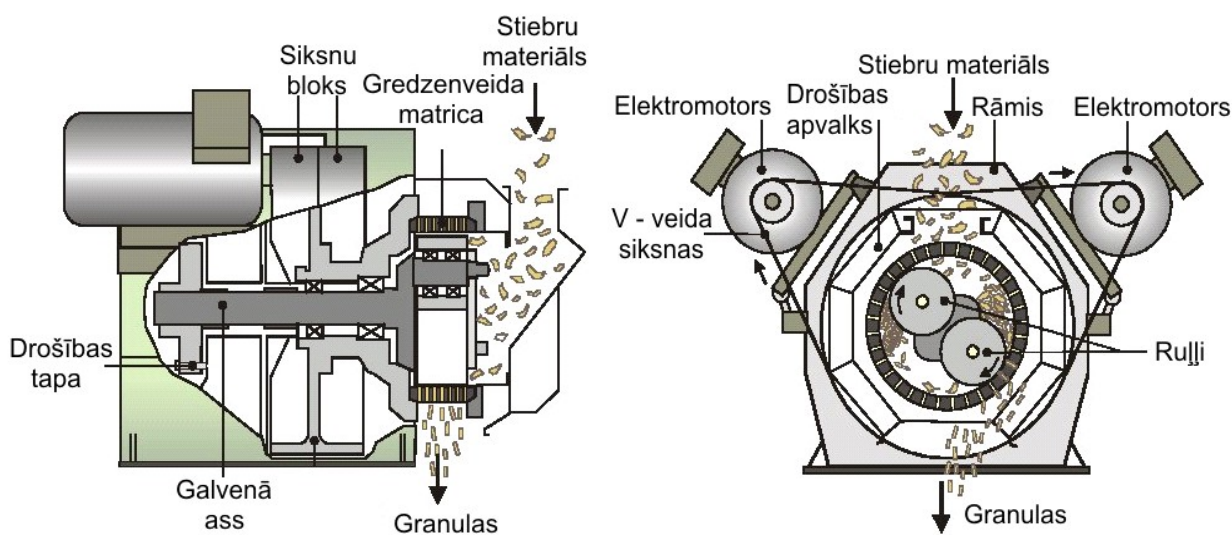
Plaknes virsmas presēšanas mehānisms ir bāzēts uz apaļa plaknes virsmas matricas un uz tā novietotiem presēšanas ruļļiem (28. att.) [22]. Plaknes tipa granulātoram ir diskveida matrica ar izurbtiem caurumiem tajā, uz kura rotē divi vai vairāki ruļļi. Gredzenveida matricas tipam ir rotējošs gredzens ar izurbtiem caurumiem, kur pa gredzena iekšējo virsmu rotē ruļļi. Enerģijas patēriņš ir robežās no 15 – 40 kWh t⁻¹. Ruļļu skaits var būt no 2 – 6, tas atkarīgs no iekārtas

lieluma. Ir modeļi, kur matrica griežas un ruļļi ir stacionāri, un citi modeļi, kur matrica ir stacionāra un ruļļi griežas.



28. att. Plaknes virsmas matrica

Vertikāli novietota gredzenveida matrica. Somijā granulu ražotāji galvenokārt izmanto gredzenveida matricas. Visbiežāk ražotāji uzstāda vertikālās gredzenveida matricu mašīnas, kur spiedēj mehānisms ir bāzēts uz cietu matricu un uz tā iekšējā gredzena virsmas rotē 1 – 3 presēšanas ruļļi (29. att.), vai rotējošu matricu. Ir arī iekārtas, kur rotē gan ruļļi, gan matrica [22].

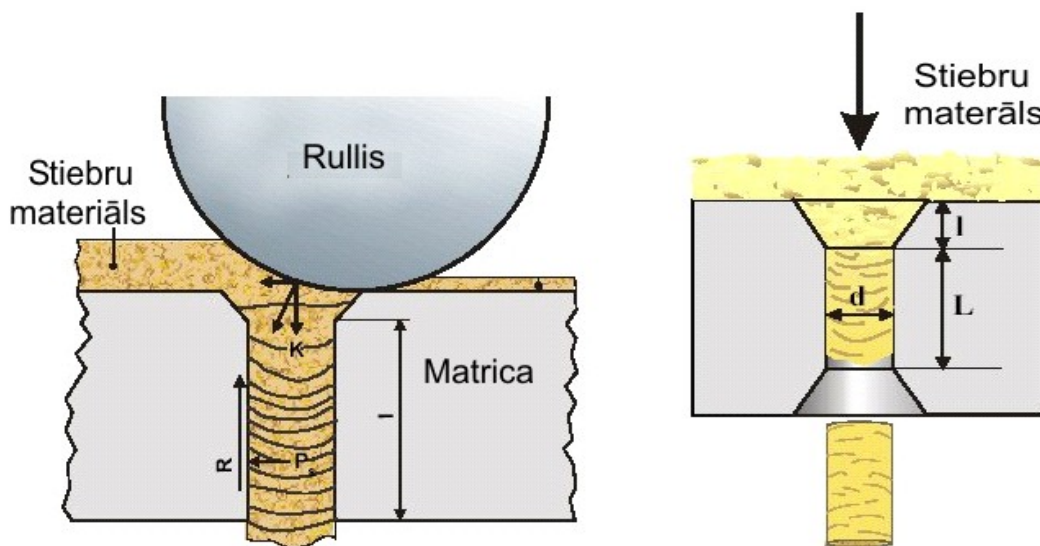


29. att. Vertikāli novietota gredzenveida matrica

Ir sešas svarīgas lietas, kas ietekmē granulēšanas procesu [22]:

- ✓ sakarība starp stiebru materiāla īpašībām, saspiešanas kapacitāti un stiebru materiāla savilkšanas procesu;
- ✓ matricas urbumu berzes raksturojums;
- ✓ urbuma garums un diametrs (30. att.);
- ✓ presējamā materiāla mitrums;
- ✓ stiebru materiāla segas biezums un no tā atkarīgs stiebru materiāla savilkšanas spēks urbumā;
- ✓ ruļļu rotācijas ātrums;

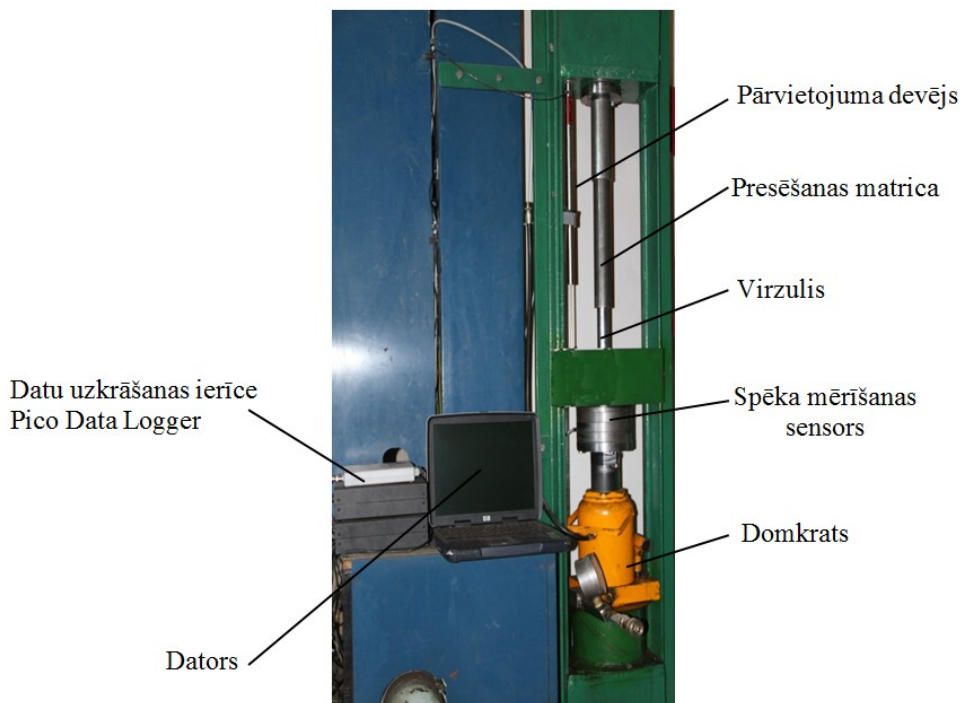
- ✓ matricas materiāls, urbuma izejas forma un rullis.



30. att. Granulu veidošanas process

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

Niedru briketēšanas eksperimenti veikti Latvijas Lauksaimniecības universitātes Tehniskās fakultātes Lauksaimniecības mašīnu mehānikas zinātniskajā laboratorijā. Eksperimentu veikšanai izmantota laboratorijas hidrauliskā prese (31. att.), kas aprīkota ar spēka sensoru, pārvietojuma devēju, datu uzkrāšanas ierīci Pico Data Logger un datoru. Briekšu izgatavošanai izmantota 35 mm matrica, kurā tiek iepildīts presēšanas materiāls un izmantojot piedziņu no domkrata 3 ar virzuli 5 notiek iepildītā materiāla presēšana.



31. att. Laboratorijas hidrauliskā briketēšanas iekārta:

Laboratorijas eksperimentiem izmantotas smalcinātas niedres un niedru un kūdras maisījumi (32. att.). Niedru smalcināšanai izmantots modificēts koksnes smalcinātājs Tuenniseen GM-10, kas piemērots niedru smalcināšanai. Katras briketes izgatavošanai izmantoti 35 grami materiāla. Izmantotajam materiālam noteikts materiāla blīvums – 131 kg m^{-3} . Maisījumi veidoti no niedrēm un kūdras piedevas 15, 30 un 50%.

Briketēšanai izmantotā materiāla mitrums ir 10 %. Mitruma noteikšanai izmantots BS EN 14774-2:2009 standarts, kas paredz parauga žāvēšanu krāsnī pie $105 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ līdz parauga pilnīgai izžūšanai [28].



Niedres bez kūdras



Niedres ar kūdru 15%



Niedres ar kūdru 30%



Niedres ar kūdru 50%

32. att. Briketēšanas eksperimentiem izmantotais materiāls

Brikešu un granulu kvalitātes teorētiskā izpēte

Regulāra granulu un brikešu kvalitātes kontrole nepieciešama kā ražošanas procesu noregulēšanai, tā veiksmīgai jaunu tirgu apgūšanai un sekmīgai sadegšanas procesa automatizācijai, līdz ar to kvalitātē ieinteresēti kā ražotāji, tā eksportētāji un enerģētiķi.

Kvalitātes prasības pret brikešu un granulu noturību var būt atkarīga no nepieciešamā daudzuma, transportēšanas attāluma, glabāšanas ilguma, kā arī no citiem patērētāju uzstādītām prasībām un faktoriem.

Attīstoties cietā kurināmās biomasas pārstrādes produktu tirgum, seko nepieciešamība ieviest produktu standartus, kas būtu pielietojami ES tirgū. Pēdējā laikā sevišķi aktīvs darbs

norisinās tieši enerģētisko koksnes produktu, kūdras un lauksaimniecības augu standartizācijā Eiropas mērogā. Biodegvielas pircējs vēlas zināt cik liela ir tās siltumspēja un kāds ir tās ķīmiskais sastāvs, lai tas nebojātu apkures katlu. Lai prasības būtu skaidri definētas un piemērotas Eiropas tirgum, nepieciešams kopējs standarts.

Lai veicinātu biomasas izmantošanu enerģētikā 2007. gada sākuma Latvijas valdība apstiprināja Attīstības plānu biomasas un bioenerģijas izmantošanas veicināšanai 2007. - 2013. gadam. Attīstības plānam ir divi posmi: 1. posmā (2007.-2008. gads) tika paredzēts savākt informāciju par enerģijas izmantošanas potenciālu, kā arī noteikt bioenerģijas izmantošanas veicināšanas indikatorus. 2. posmā ir paredzēta sabiedrības informēšana ar semināru, konferenci un interneta palīdzību. Attīstības plāna otrais posms iekļauj arī tādu monetāro instrumentu ieviešanu kā nodokļu instrumenti, valsts subsīdijas, sabiedriskie iepirkumi, kā arī tādus mehānismu ieviešana kā **standartu izveide**. Plāna ietvaros paredzēts, ka 2013. gadā 33% siltuma un 3% elektroenerģijas tiks saražots no biomasas [35].

Viens no būtiskākajiem faktoriem veiksmīgam cietā biokurināmā tirgum Baltijas jūras reģionā ir cietā biokurināmā standarti. Lielākā daļa standartu pašreiz atrodas attīstības stadijā CEN (*European Committee for Standardization*). Standarti paredzēti produktīvākai biokurināmā pielietošanai, kā arī labai sapratnei starp pircēju un pārdevēju. Standarti lieti noder arī iekārtu ražotājiem.

CEN tehniskā komisija biokurināmam TC 335 uzsāka darbību 2000. gadā un sastādīja priekšstandartus (Tehniskās specifikācijas - turpmāk TS). Šāds solis bija nepieciešams, lai biokurināmā tirgus sāktu funkcionēt pēc iespējas ātrāk. Lielākai daļai no TS bija jābūt pabeigtām un publiskotām līdz 2006. gada beigām, kad uzsākta TS pilnveidošana līdz pilnīgiem standartiem. TS jābūt pilnveidotiem līdz CEN standartiem 3 gadu laikā. Nacionāliem standartiem, kas konfliktēs ar CEN standartiem šajā laikā jābūt anulētiem.

Standarti un sertifikāti ir jāuzskata par tirdzniecības aizsardzību pret nekvalitatīvu AER tehnoloģiju piegādātājiem.

Biokurināmā standarti nosaka:

- ✓ terminoloģiju un terminu definēšanu;
- ✓ klasifikācijas sistēmu cietā biokurināmā ;
- ✓ kvalitātes nodrošinātu sistēmu uzticības radīšanai;
- ✓ paraugu ņemšanas metodes;
- ✓ biokurināmā fizikāli mehānisko īpašību analizēšanas metodes.

Vairākās valstīs (Šveicē, Austrijā, Zviedrijā, Norvēģijā, u.c.) ir izstrādāti savi standarti ar pamatprasībām granulu kvalitātes kontrolei, piem. Vācijā – *DIN 51731*, Zviedrijā – *SS 187120*. Standartos noteiktās pamatprasības ir - granulu un briekšu izmēriem, to mitrumam, pelnu saturam, siltumspējai un blīvumam, arī vairāku mikroelementu (hlora, slāpekļa, sēra un smago metālu - arsēna, hroma, dzīvsudraba, tai skaitā lieluma, garuma, platuma, diametra, izmēru pielāide u.c.) pieļaujamam daudzumam (skatīt 3.pielikumu.). Viens no svarīgākajiem rādītājiem ir pelnu daudzums, kuram pēc minētā standarta (*DIN 51731*), normas noteiktas līdz 1,5 %. Lielāki pelnu daudzumi patērētājiem rada problēmas ar sadegšanas procesa automatizācijas nodrošināšanu. Pie tam šādu granulu siltumspēja ir par 600-1000 kJ kg⁻¹ zemāka, piem. mizu briketēm ar pelnu saturu 14% siltumspēja – 16554 kJ kg⁻¹ (pēc standarta *DIN 51731* siltumspējai jāsasniedz vismaz 17500 kJ kg⁻¹). Kurināmā sadegšanas siltums ir būtisks kvalitātes

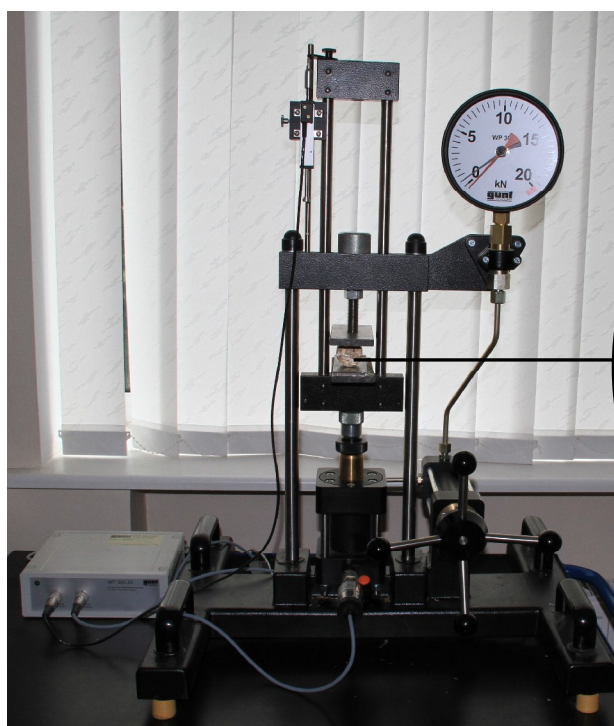
rādītājs, kas lielā mērā atkarīgs no mitruma un pelnu daudzuma. Pie vidējā granulu mitruma 6,7 – 7,8% tas svārstās robežās no 18400 - 17700 kJ kg⁻¹. [36].

Vairākās Eiropas Savienības valstīs ir uzstādīti mērķi, kas attiecās uz cieto biokurināmo. Cietajam biokurināmajam ir jānosedz lielais pieprasījums pēc videi draudzīgas enerģijas.

Svarīgs solis šajā virzienā ir, uz praksi orientētu, cietā biokurināmā kopēju normu izstrāde. Biomasas izmantošanai nedrīkstētu traucēt ekonomiski un tehniski kavēkļi, kā arī neskaidri definētas biokurināmā īpašības, piegādes problēmas un nepietiekamā informācija. Cieto biokurināmo īpašību normu skaidra definēšana radīs labu vidi tā tirgus paplašināšanai un piemērotu biomasas kurtuvju izveidošanai.

Noturības pētījumi dažādu maisījumu granulām, briketēm

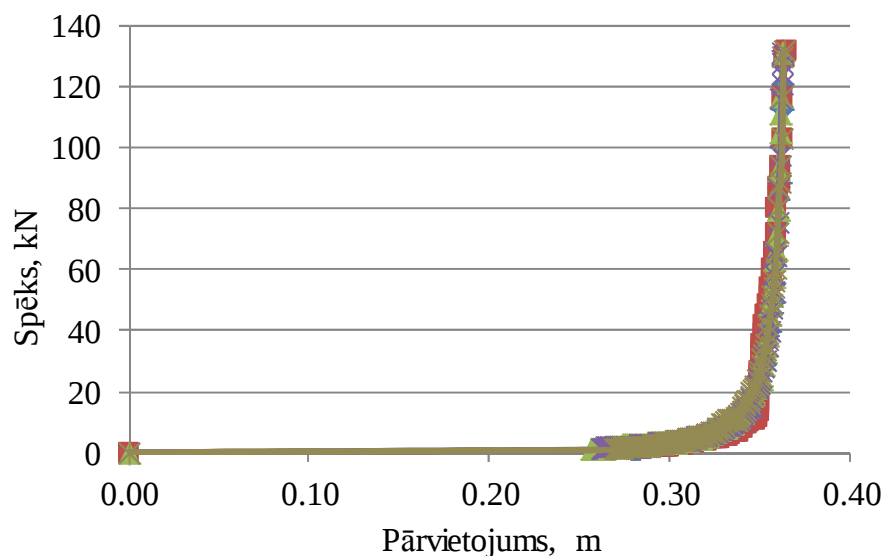
Brikešu kvalitātes savstarpējai salīdzināšanai veikts brikešu sagraušanas tests. Izmantojot šo metodi, tiek noteikts maksimālais spēks, kādu briquete spēj izturēt neizjūkot, ja tā tiek slogota radiālā virzienā [29]. Brikešu sagraušanas spēka noteikšanai izmantota materiālu testēšanas iekārta GUNT WP.300 (33. att.), kas spēj attīstīt maksimāli 20 kN lielu spēku. Materiālu testēšanas iekārtas spēka mērīšanas izšķirtspēja ir 1% un pārvietojumam izšķirtspēja – 10 μm.



33. att. Materiālu testēšanas iekārta GUNT WP.300

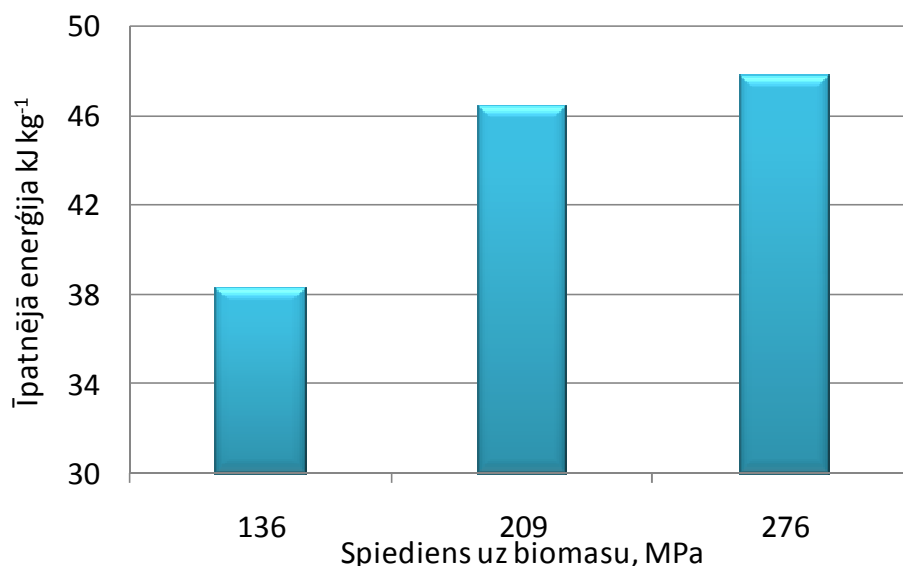
Niedru briketēšana pie dažādiem presēšanas spiedieniem.

Izgatavojot niedru un niedru un kūdras maisījumu briketes pielietoti trīs dažādi spiedieni – 136, 209, 276 MPa. Izgatavojot briketes, pie dažādiem briketēšanas spiedieniem iespējams noteikt spiediena ietekmi uz brikešu kvalitāti un briketēšanas enerģiju. Veicot laboratorijas eksperimentus veikts pieraksts spēka – pārvietojuma raksturliķnēm. 34. attēlā redzamas spēka – pārvietojuma raksturliķnes niedru briketēšanai līdz 136 MPa.



34. att. Spēka – pārvietojuma raksturlīknes

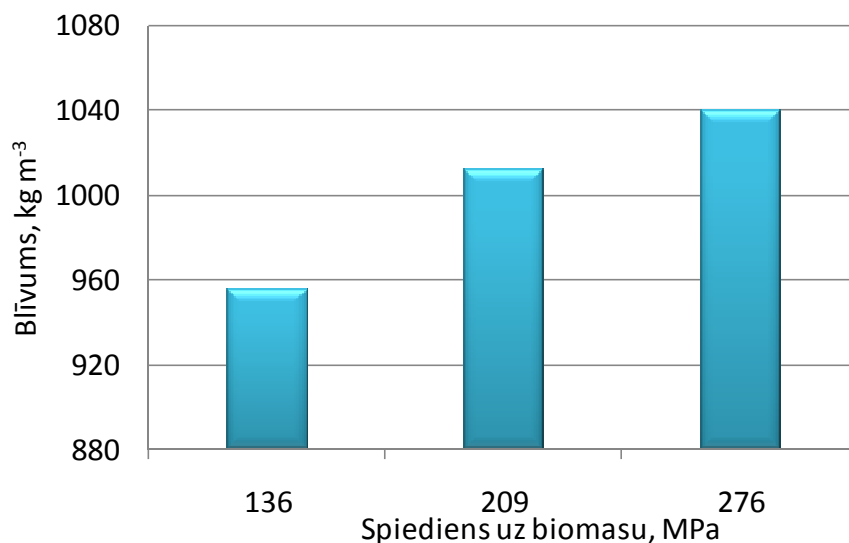
Pielietojot grafiskās integrēšanas metodi no iegūtajām spēka – pārvietojuma raksturlīknēm aprēķināta briketēšanas procesa īpatnējā enerģija (35. att.).



35. att. Briketēšanas īpatnējā enerģija atkarībā no briketēšanas spiediena

No iegūtajiem rezultātiem redzams, ka palielinot presēšanas spiedienu no 136 līdz 276 MPa enerģijas patēriņš briketēšanas procesam palielinās no 39 līdz 47 kJ kg⁻¹.

Izgatavoto briķešu kvalitātes raksturošanai noteikts briķešu blīvums un sagraušanas spēks. Daudzās Eiropas valstīs biomasas briķešu nepieciešamo blīvumu nosaka atbilstoši ŅORM 7135, SS 18 71 20 un DIN 51731 standartiem [30, 31]. Lai biomasas briķetes varētu izmantot kā cieto kurināmo, to ieteicamajam blīvumam jābūt aptuveni vienādam ar 1000 kg m⁻³. Viena no iespējām, kā palielināt izgatavoto briķešu blīvumu ir izmantot briketēšanas mehānismus, kas nodrošina lielāku presēšanas spiedienu. 36. attēlā doti briķešu blīvumi, kas noteikti niedru briķetēm izgatavojot tās pie dažādiem spiedieniem.



36. att. Briekšu blīvums atkarībā no briketēšanas spiediena

No iegūtajiem rezultātiem redzams, ka palielinot presēšanas spiedienu no 136 līdz 276 MPa briekšu blīvums palielinās no 956 līdz 1040 kg m⁻³.

Veicot briekšu stiprības pārbaudes eksperimentus tika iegūtas īpatnējā sagraušanas spēka vērtības atkarībā no briketes deformācijas pakāpes. Niedru briketes sagraušanas tests redzams 37. attēlā; a – nesagrauta briete, b – briete pēc sagraušanas.



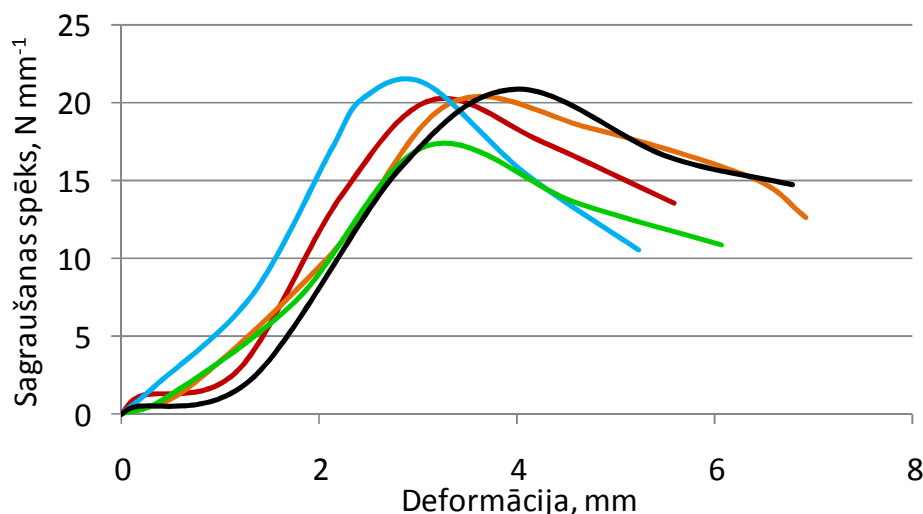
a)



b)

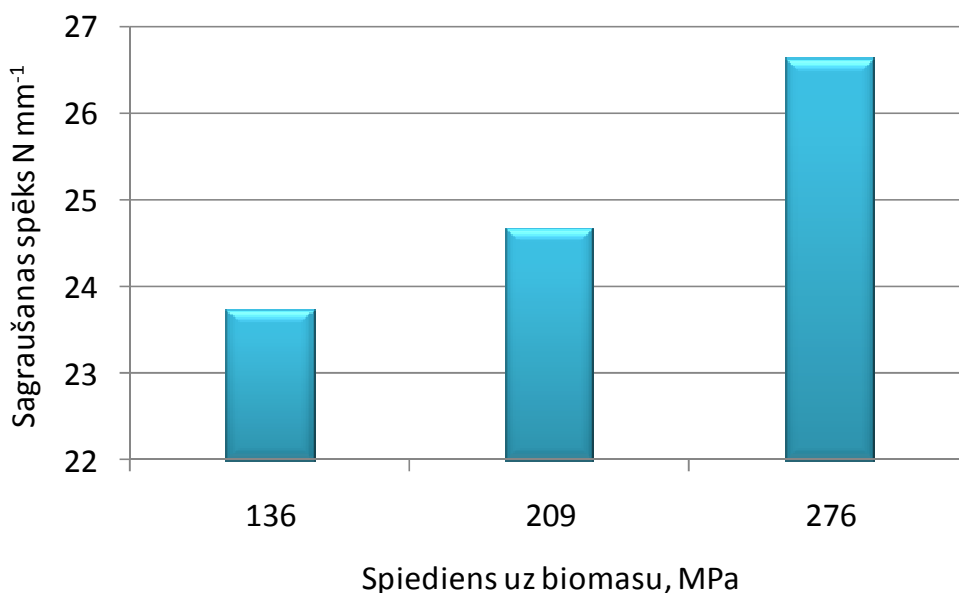
37. att. Briketes sagraušanas tests

Īpatnējais sagraušanas spēks niedru briketēm, kas izgatavotas presējot līdz 136 MPa spiedienam, redzams 38. attēlā.



38. att. Īpatnējais sagraušanas spēks niedru briketēm (briketēšanas spiediens – 136 MPa)

Salīdzinot, kā mainās īpatnējais sagraušanas spēks atkarībā no briketēšanas spiediena, redzams, ka palielinot briketēšanas spiedienu no 136 līdz 276 MPa īpatnējais sagraušanas spēks palielinās no 23.7 līdz 26.6 N mm⁻¹ (39. att).



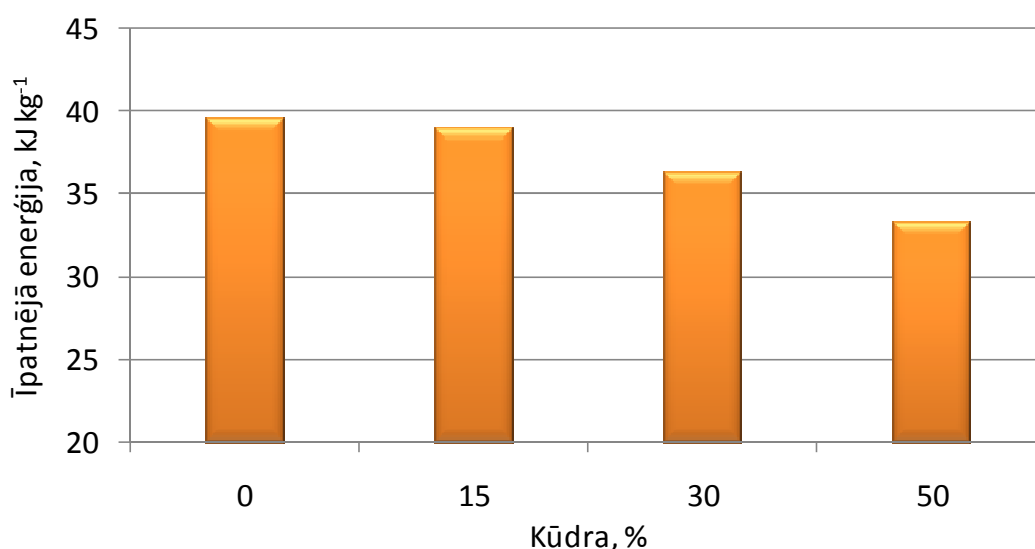
39. att. Īpatnējais briķešu sagraušanas spēks atkarībā no briketēšanas spiediena

Niedru un kūdras maisījumu briketēšana.

Niedru briketēšanās īpašību uzlabošanai un briķešu kvalitātes uzlabošanai ieteicams veidot maisījumus, kur kā maisījuma piedevu varētu izmantot kūdru. Izmantojot kūdru kā maisījuma piedevu uzlabojas materiāla briketēšanās īpašības (samazinās enerģijas patēriņš presēšanas procesam), palielinās briķešu blīvums un uzlabojas briķešu degšanas īpašības. Kūdra ir viena no Latvijas ievērojamākajām dabas bagātībām. Purvu kopplatība Latvijā sasniedz 6401 km², jeb 9.9% no valsts teritorijas. Kūdras resursi, nepilnīgās purvu izpētes dēļ, nav precīzi

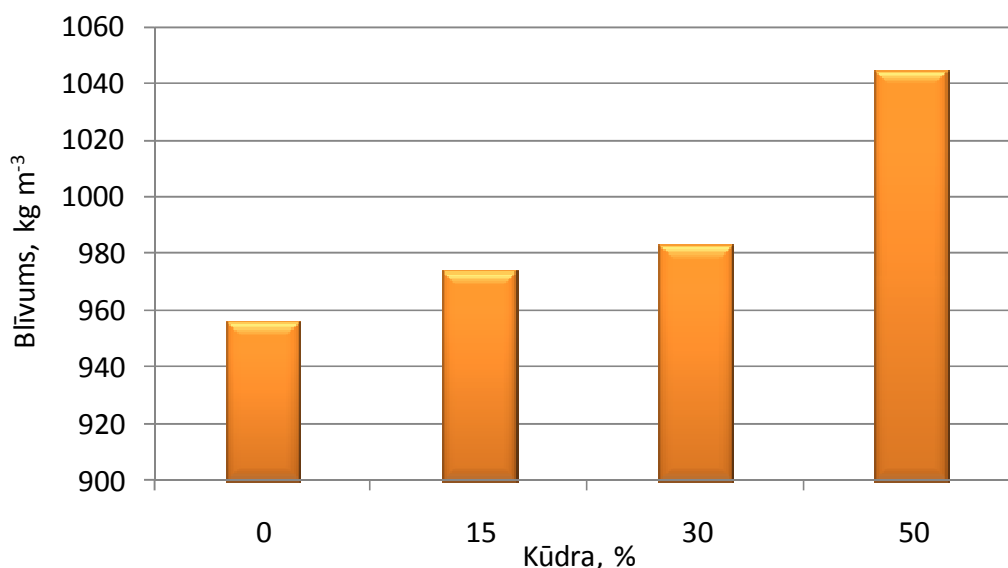
noteikti, bet tie varētu būt ap 1.7 miljardiem tonnu. No tiem apmēram 1.1 miljards tonnu ir kurināmā kūdra ar vidējo siltumspēju $14 - 17 \text{ MJ kg}^{-1}$ [32, 33].

Laboratorijas apstākļos tika veikti niedru un kūdras maisījumu briketēšanas eksperimenti līdz 136 MPa spiedienam. Izgatavotajām briketēm noteikta briketēšanas īpatnējā enerģija, blīvums un īpatnējais briketes sagraušanas spēks. 40. attēlā redzams, kā izmainās briketēšanas enerģijas patēriņš briketējot niedres bez piemaisījumiem un niedres ar kūdras piemaisījumu līdz 50 %. No iegūtajiem rezultātiem redzams, ka palielinot kūdras daudzumu maisījumā, briketēšanas enerģija samazinās par 6.3 kJ kg^{-1} , tātad izmantojot kūdru, kā maisījuma piedevu tiek uzlabotas maisījuma kompaktēšanās īpašības.



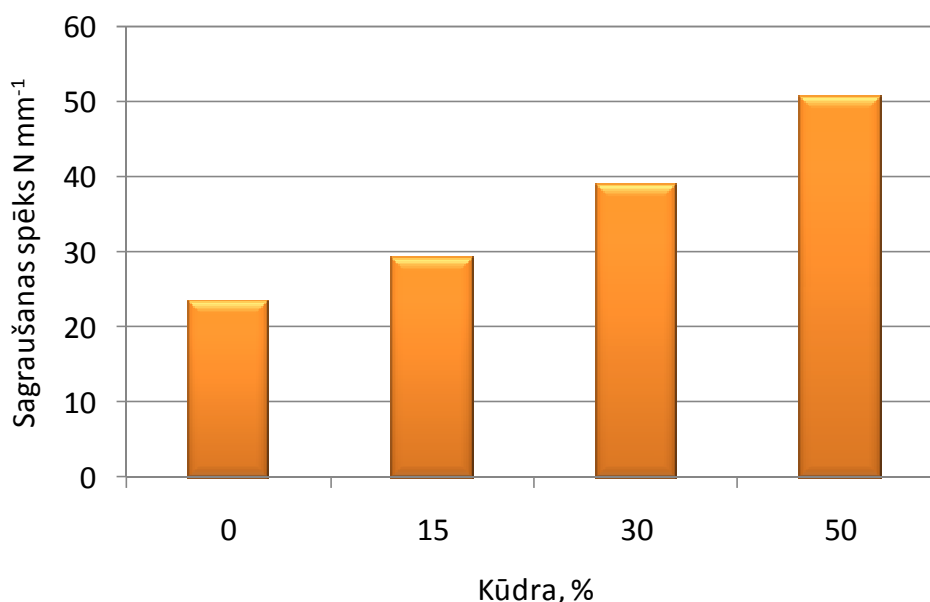
40. att. Briketēšanas īpatnējā enerģija atkarībā no kūdras daudzuma maisījumā

Nosakot brikešu blīvumu redzams, ka veidojot niedru un kūdras maisījumu, kas sastāv no 50 % niedru un 50 % kūdras, brikešu blīvums palielinās par 88 kg m^{-3} salīdzinot ar brikešu blīvumu, kāds ir niedru briketēm bez kūdras piemaisījuma (41. att.).



41. att. Brikešu blīvums atkarībā no kūdras daudzuma maisījumā

Veicot briekšu sagraušanas testu redzams, ka veidojot niedru un kūdras maisījumu, kas sastāv no 50% niedru un 50% kūdras, briekšu īpatnējais sagraušanas spēks palielinās par 27 N mm^{-1} (42. att.).



42. att. Briekšu īpatnējais sagraušanas spēks atkarībā no kūdras daudzuma maisījumā

Izmantotā literatūra

1. *Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality*; Edited by Gustavo V. Barbosa-Cánovas. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2005. 381 p. ISBN 0-306-47806-4.
2. *Bulk Solids Handling*. Edited by Don McGlinchey. Oxford: Blackwell Publishing Ltd. 2008. 289. p. ISBN-13: 978-1-4051-5825-1.
3. *Основы расчета и конструирования машин и автоматов пищевых производств*. Под. ред. А.Я.Соколова. Москва: Машиностроение. 1969. 637 стр.
4. Arnold P. C., McLean A. G., Roberts A. W. The design of storage bins for bulk solids handling. *Bulk Solids Handling*, Nr. 1, 1981, p. 7-17.
5. Boss J., Knapik A. T., Węgrzyn M. Segregation of heterogeneous grain systems during mixing in static mixers. *Bulk Solids Handling*, Nr. 6, 1986, p. 145-149.
6. *S+SPATIALSTATS – User's Manual* [tiešsaiste]: MathSoft Inc., Seattle [skatīts 2007-04-12]. Pieejams: <http://www.demog.berkeley.edu/~carlm/213/REF/unixug.pdf>
7. McCarthy J. J., *Mixing, segregation and flow of granular materials*. Evanston: Northwestern University, 1998. 220 p.
8. Molenda M., Horabik J., Ross I. J. Loads in model grain bins as affected by filling methods. *Transactions of the ASAE*, Vol. 36, No. 3, 1993, p. 915-919.
9. Molenda M., Horabik J., Ross I. J. Dynamic load response in a model bin at the start of grain discharge. *Transactions of the ASAE*, Vol. 38, No. 6, 1995, p. 1869-1873.
10. Molenda M., Horabik J., Ross I. J. Effect of filling on load distribution in model grain bins. *Transactions of the ASAE*, Vol. 39, No. 1, 1996, p. 219-224.

11. Molenda M., Horabik J., Ross I. J. Wall loads in a model grain bin during fill and unload cycles. *Transactions of the ASAE*, Vol. 42, No. 3, 1999, p. 771-775.
12. Molenda M., Horabik J., Ross I. J., 2001. Comparison of loads on smooth and corrugated – wall model grain bins. *International Agrophysics*, Vol. 15, Nr. 2, 2001, p. 95-100.
13. Tukiendorf M. Characteristics of mixing granular materiāls achieved by uzing methods of variance analysis and geostatistical functions [tiešsaiste]: [skatīts 2007-04-12]. Pieejams: <http://www.ejpau.media.pl/series/volume6/issue1/engineering/art-03.html>
14. Rose H.E. A suggested equation relating to the mixing of powders and its application to the study of the performance of certain types of machine. *Trans. I Chem. Eng.*, Nr. 37, 1959, p. 47-64.
15. С.В. Мельников. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Ленинград: Колос, 1978. 560 с.
16. A. Levy, H. Kalman. *Handbook of conveying and handling of particular solids*. – Elsevier Science. Eastbourne: Antony Rowe Ltd., 2001. 860 pp.
17. R. Weinekötter, H. Gericke. *Mixing of solids*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2000. 151 pp.
18. J. C. Williams. *Mixing theory and pracice*. Edited by V. W. Uhl and J. B. Gray. Orlando: Academic Press, 1986. 215 p.
19. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. *Leitfaden Bioenergy*. (Specialized Agency for Raw Materials) *Manual of Bioenergy*. 2000, Gülzow, Germany.
20. What do pellets cost. Pieejams: <http://www.pelletheat.org/fuel/79133.shtml>, 28.10.2008.
21. Golder Associates. Roll – press lime briquetting. Pieejams: <http://www.hazmatmag.com/library/recycling/0898.html> - Resurss aprakstīts, 03.10.2009.
22. Technical Research Centre of Finland. *Wood pellets in Finland – technology, economy, and market*. Pieejams: http://www.tekes.fi/opet/pdf/OPET_report5_june2002.pdf, 25.05.2009.
23. *Densified biomass fuels in Sweden for the EU/INDEBIF Project*. Pieejams: <http://www.pellets2002.com/country%20report%20Sweden.pdf>, 03.11.2009.
24. European Commision. *Woodpellets in Europe*. Pieejams: [http://www.eva.ac.at/\(en\)/publ/pdf/pellets_net_en.pdf](http://www.eva.ac.at/(en)/publ/pdf/pellets_net_en.pdf) - Resurss aprakstīts, 25.06.2009.
25. *Technological Fundamentals of Briquetting Cotton Stalks as a Biofuel*. Pieejams: <http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/el-saeidy-ehab-2004-07-09/PDF/El-Saeidy.pdf>, 10.01.2011.
26. Household Energy Network. Pieejams: http://www.hedon.info/BP12_ResidueUtilization-ARecentExampleFromAfrica, 25.03.2011.
27. Manickam, I. Neethi, Ravindran, D. and Subramanian P. (2006) Biomass Densification Methods and Mechanism. *Distributed Generation & Alternative Energy Journal*, 21: 4, pp 33 – 45.
28. BS EN 14774-2:2009: *Solid biofuels Determination of moisture content – Oven dry method – Part 2: Total moisture – Simplified method*.

29. A. Kaķītis, I. Nulle, D. Ancāns. *Durability of the arranged structure biomass briquettes*. In: *Engineering for rural development: Proceeding of 9th International Scientific Conference*. Jelgava: LUA, Faculty of Engineering, 2010, pp. 285 – 289.
30. Hahn B. *Existing Guidelines and Quality Assurance for Fuel Pellets. Pellets for Europe*. Pieejams: <http://www.pelletcentre.info/resources/1020.pdf>, 10.01.2011.
31. Matúš M., Križan P. *Influence of structural parameters in compacting process on quality of biomass pressings*. *Journal of applied mathematics*. Volume 3, Number 3, (2010), p. 87 – 96.
32. Ģeoloģiskie novērojumu. Kūdra. Pieejams: <http://mapx.map.vgd.gov.lv/q3inflv/noveroumi/nv08.htm>, 15.04.2011.
33. Bord Na Mona. *Peat for Energy*. Pieejams: www.bnm.ie/files/20061124040716_peat_for_energy.pdf, 07.04.2011.
34. BrikStar CS Hydraulic Briquette machine. Pieejams: http://www.o2filtration.com/pdf/BrikStar_CS_C-12_GB_20090408.pdf, 15.05.2011.
35. Latvijas atjaunojamo energoresursu izmantošanas un energoefektivitātes paaugstināšanas modelis un rīcības plāns. [tiešsaiste]: *Atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanas pasākumi* [skatīts: 12.04.2011] Pieejams: http://www.vidm.gov.lv/lat/darbibas_veidi/atjaunojamie_energoresursi/?doc=8259
36. *International conference Eco-Balt 2006, Maijs 11-12, 2006, Riga, Latvia* [tiešsaiste]: *Koksnes sīkdesperso pārpalikumu kurināmo granulu un briķešu rasksturojums* [skatīts: 14.01.2011] Pieejams: www.ecobalt.lv/request.php?436
37. Фиделев. А.С. *Подъемно-транспортные машины*. Киев: Вища школа. 1975. 220 с.