

Kopsavilkums par 3. 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

DOZATORA PROTOTIPA IZSTRĀDE

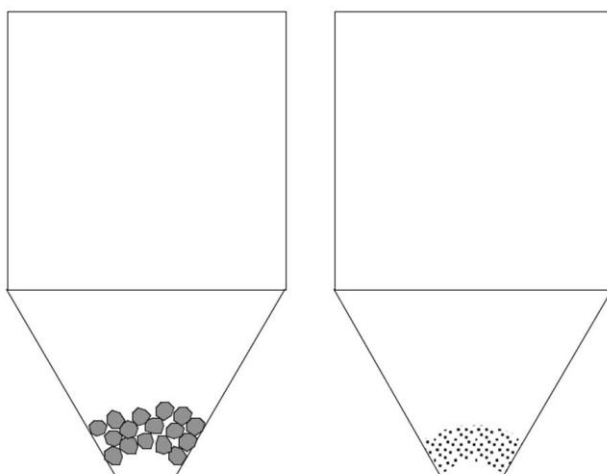
DOZATORA PROTOTIPA KONCEPCIJAS IZSTRĀDE

Dozatora nepieciešamību briketēšanas un granulēšanas procesā nosaka nepieciešamība biomasu samaisīt ar citu biomasu. Maisīšanas procesā smalcināto biomasu uz maisītāju nogādā divi vai vairāki dozatori. Lai maisīšana sasniegtu savu mērķi – homogēnu maisījumu, dozatoriem jāstrādā ar noteiktu precizitāti un bez atteikumiem. Maisījuma homogenitāte ietekmē gan granulū un briķešu noturības īpašības, gan arī degšanas īpašības – pelnainību, pelnu kušanas temperatūru, dūmgāzu sastāvu un siltumspēju. Tajā pašā laikā dozatoram jābūt vienkāršam pēc savas konstrukcijas, kas nodrošinās tā lētāku izgatavošanu un ekspluatāciju. Izvērtējot dozatora tipus pēc vairākiem, kritērijiem kā vienu no piemērotākajiem, atzinām lentas tipa dozatoru.

Lentas tipa dozatoram ir iespējam liela darbīgā virsma, un līdz ar to, arī liela tvertnes atvere, kas samazina smalcinātās masas velvju veidošanos tvertnes konusā (1. att.). Ja masas daļiņas ir lielas, tad iespējama to saķeršanās, bet mazām masas daļiņām iespējama to salipšana un sablīvēšanās.

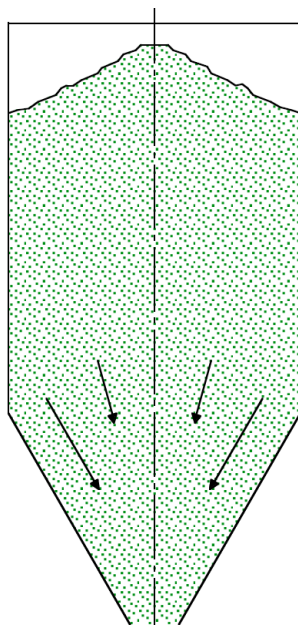
Atšķirībā no šķidrumiem, birstošu materiālu plūsmas īpašības nav nosakāmas zinot tikai materiāla nosaukumu un ķīmisko sastāvu [1]. Tās nosaka liels skaits citu parametru, piemēram:

- daļiņu lielums;
- daļiņu forma (piemēram, apaļas, plakanas, garenas daļiņas);
- daļiņu virsma (gluda, raupja, asiem stūriem);
- mitruma sastāvs, utt. [2].



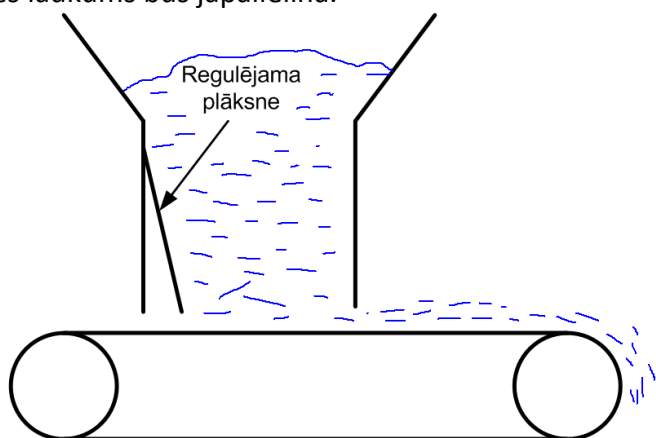
1. att. Velvju veidošanās tvertnes konusā [3]

Ja tvertnes atveres izmēri nodrošina pareizu tvertnes sienu slīpuma izveidi, tad masa tvertnē pārvietojās visā tās tilpumā un veidojās masas plūsma (2. att.). Masas plūsma nodrošina, ka materiāls nenoslāņojās, neveidojās nāves zonas, kur materiāls sablīvējās un notiek vienmērīga masas padeve uz dozatoru vai konveijeri.



2. att. Masas plūsma [3]

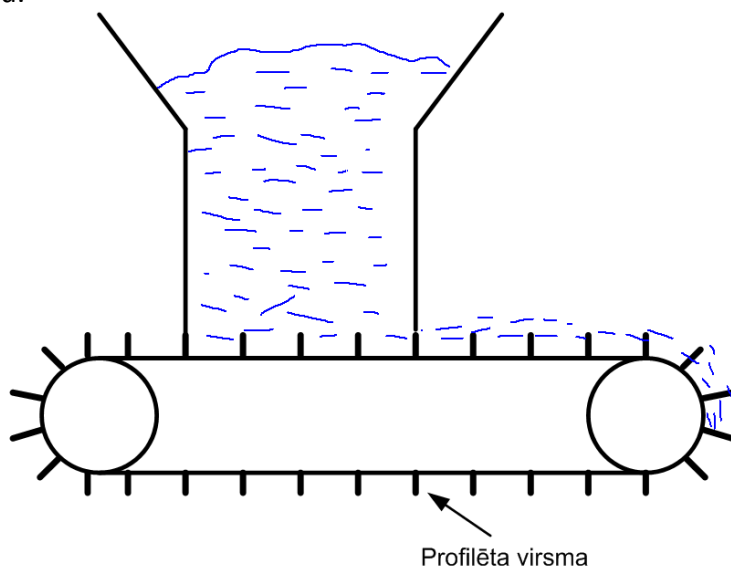
Kaut arī tvertnes atvērumu un tas nozīmē arī dozatora lentas saskares laukumu ar masu, slikti birstošiem materiāliem, ieteicams veidot iespējami lielāku, katrs saskares virsmas kvadrātcentimetrs veido berzes spēkus, kas nelietderīgi patērē enerģiju. Tāpēc dozatora prototipam būs speciāla regulējama plāksne, kas šo saskarvirsmas platību, atkarībā no birstošā materiāla veida, varēs palielināt vai samazināt (3. att.). Plāksnes slīpumu varēs palielināt tikmēr, kamēr tiks nodrošināta masas plūsma bez pārtraukumiem. Ja masas pieplūšana dozatora lentai tiks traucēta, saskares laukums būs jāpalielina.



3. att. Regulējams saskares laukums

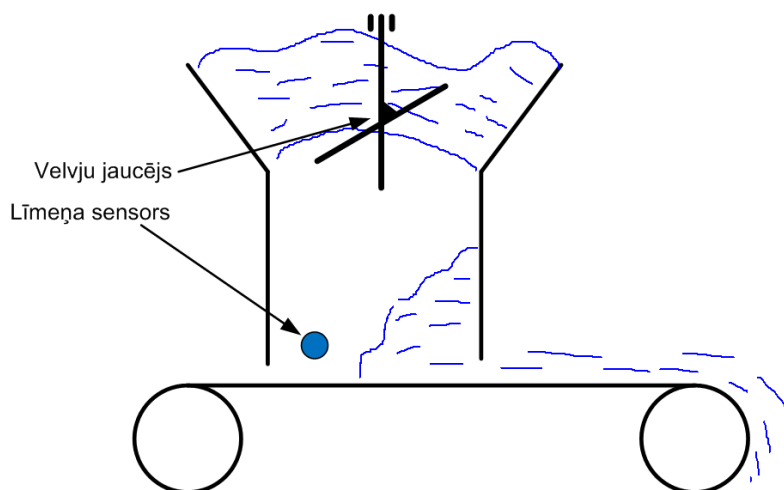
Masas vienmērīgu padevi var nodrošināt, ja dozējamā masa attiecībā pret konveijera lentu neizslīd, tāpēc būtiski izvēlēties lentas virsmas profilu (4. att.). Virsmas izciļņi nedrīkst būt pārāk lieli, lai dozējamā masa nesaķertos tajos. Izciļņu augstums iespaidos arī ražīgumu, tāpēc

dozatora prototipa eksperimentālo pētījumu laikā jānovērtē arī izciļņu augstuma ietekme uz dozatora ražīgumu.



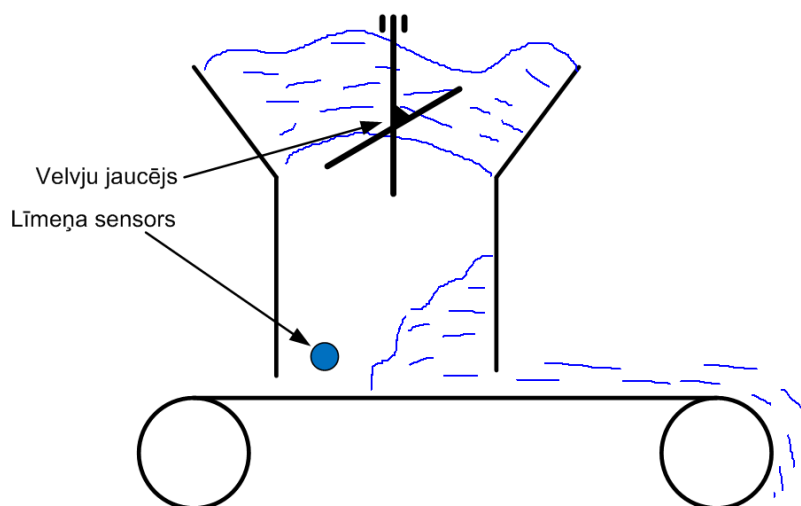
4. att. Profilēta virsma vienmērīgai dozēšanai

Slikti birstošu materiālu uzglabāšanas, transportēšanas un dozēšanas procesos viena no lielākajām problēmām ir masas saķeršanās un salipšana, kā rezultātā veidojās aizsprostojumi un velves. Lai dozators darbotos bez masas pieplūdes pārrāvumiem, to nodrošina ar speciālu līmeņa sensoru, kas spēj noteikt vai masa dotajā tvertnes daļā ir vai nav. Ja tvertnes daļā, kur novietots sensors, veidojās tukšums, sensors padod signālu uz velvju jaucēju. Tam rotējot, izveidotās velves tiek nojauktas un masas plūsma atjaunota.



5. att. Velvju jaucējs

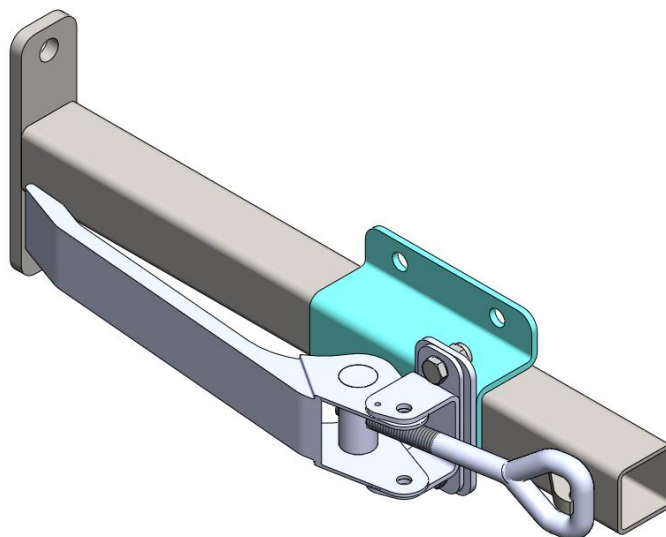
Pielietojot dažāda profila lentas un mainot izplūdes atveres vārsta regulējumu (6. att.) var panākt dažādus dozatora ražīgumus. Kombinācija lentas profils un atvērums nodrošina arī noteiktu plūsmas vienmērīgumu, piemēram, ja būs liels atvērums masa no tvertnes tiks izrauta lielām porcijām un veidos masas pulsācijas. Tas savukārt ietekmē masas maisījuma homogenitāti.



6. att. Izplūdes atveres regulēšana

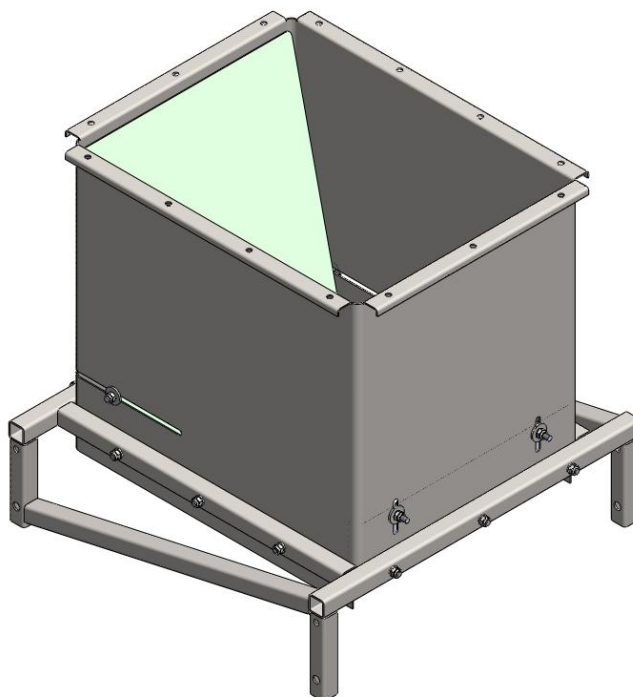
DOZATORA PROTOTIPA KONSTRUKCIJAS IZSTRĀDE

Dozatora prototipa eksperimentālos pētījumos tiks izmantotas dažāda profila lentas, tāpēc aktuāla ir ērta lentu noņemšana un uzlikšana. Šo procesu atvieglo spriegotājmehānisms (7. att.), ar kura palīdzību lentas atspriegošana un nospriegošana ir ātra un vienkārša.



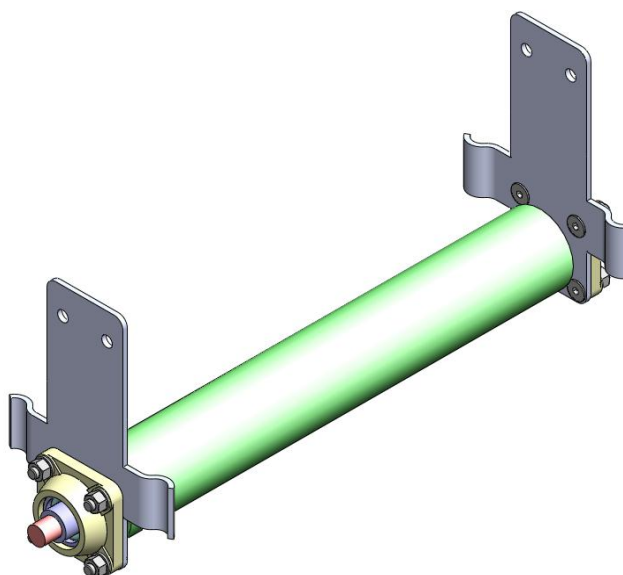
7. att. Dozatora lentas spriegotājmehānisms

Tvertne (8. att.) aprīkota ar regulējamu plāksni smalcinātās masas un konveijera lentas saskaras virsmas laukuma palielināšanai vai samazināšanai. Tvertnei izveidots vārsts izejas plūsmas palielināšanai un samazināšanai. Tvertnes augšējā apmale ļauj tai pieskrūvēt lielāku tvertni vai ciklonu, kurā masa nonāk no smalcinātāja.



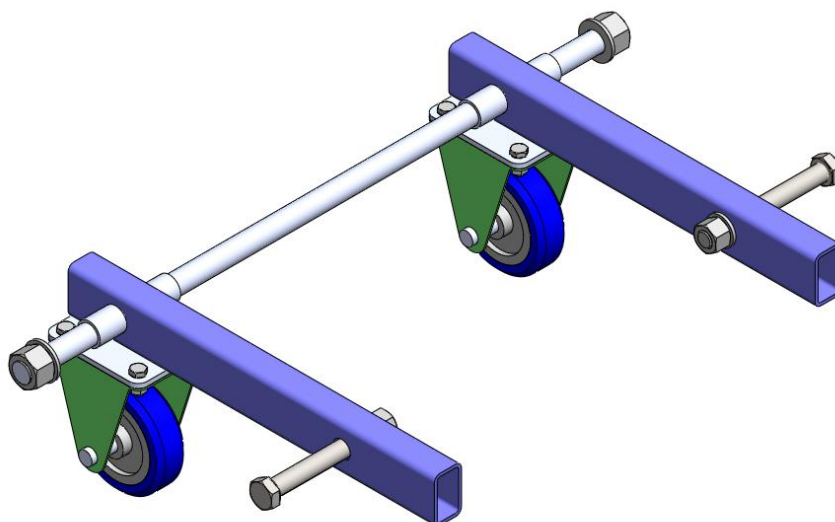
8. att. Dozatora tvertne

Lentas taisnvirziena kustību nodrošinās atbalsta rullis ar speciālām vizītājpłāksnēm, kas neļaus lentai noskriet no rulljiem.



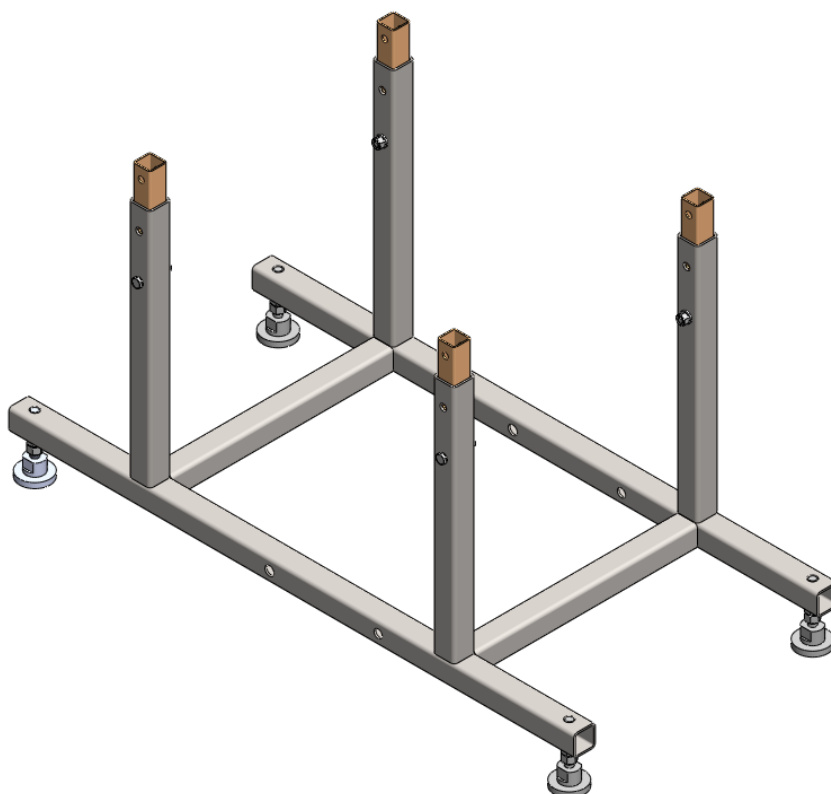
9. att. Atbalsta rullis ar virzītājiem

Dozatora pārvietošanai, tam pievienoti ratiņi uz sviras mehānisma (10. att.), kas ļauj tos ieslēgt transporta laikā, bet atslēgt masas dozēšanas laikā. Dozatora pacelšanu nodrošina sviras mehānisms, tāpēc nav nepieciešama speciāla iekārta vai vairāki cilvēki, lai to izdarītu.



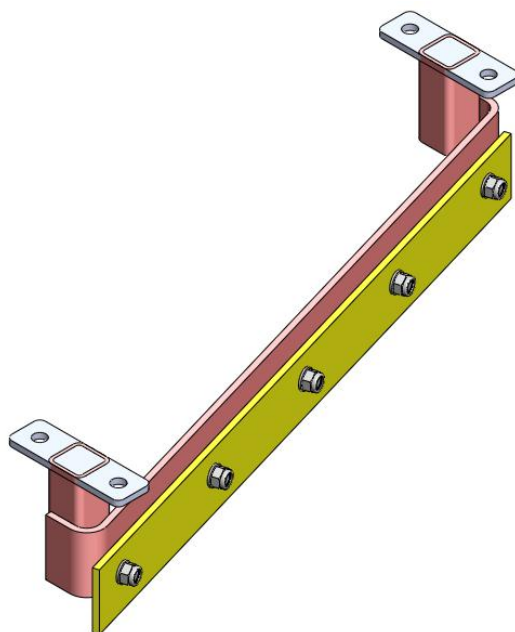
10. att. Ratiņu mehānisms

Dozatora rāmis izveidots regulējams, lai varētu nodrošināt masas sapludināšanu kopā no diviem dozatoriem. Masu plūsmas veiksmīga sapludināšana nodrošinās homogēnu maisījumu.



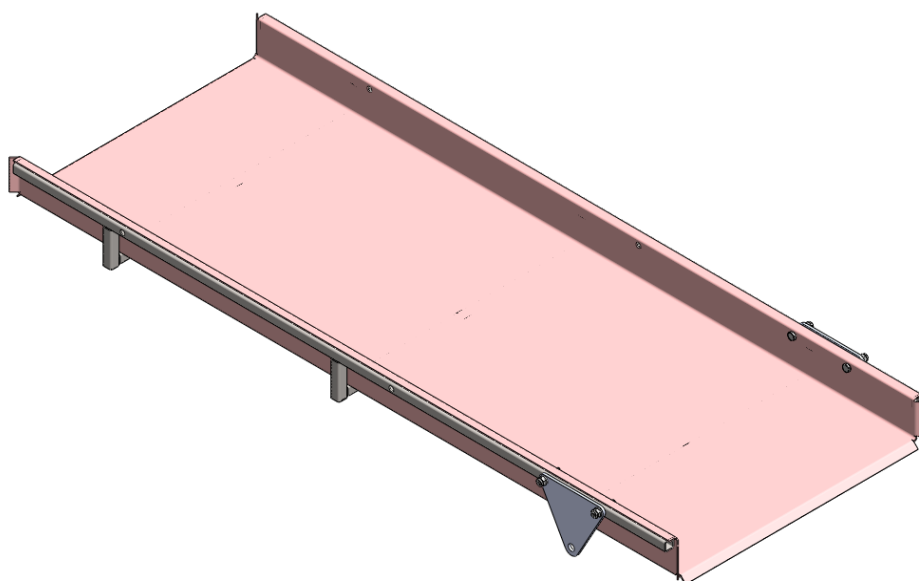
11. att. Dozatora rāmis

Smalcinātā masa apstrādes un transportēšanas procesā elektrizējas un tāpēc tai ir tendence pielipt pie dažādu materiālu virsmām. Smalcinātai masai nonākot starp ruļļiem un lentu tā sablīvējās un veido izciļņus uz lentas un ruļļiem. Tā rezultātā izmainās ruļļa darbīgais diametrs un lenta cenšas novirzīties. Lai to novērstu tiek pievienots lentas virsmas tīrītājs (12. att.).



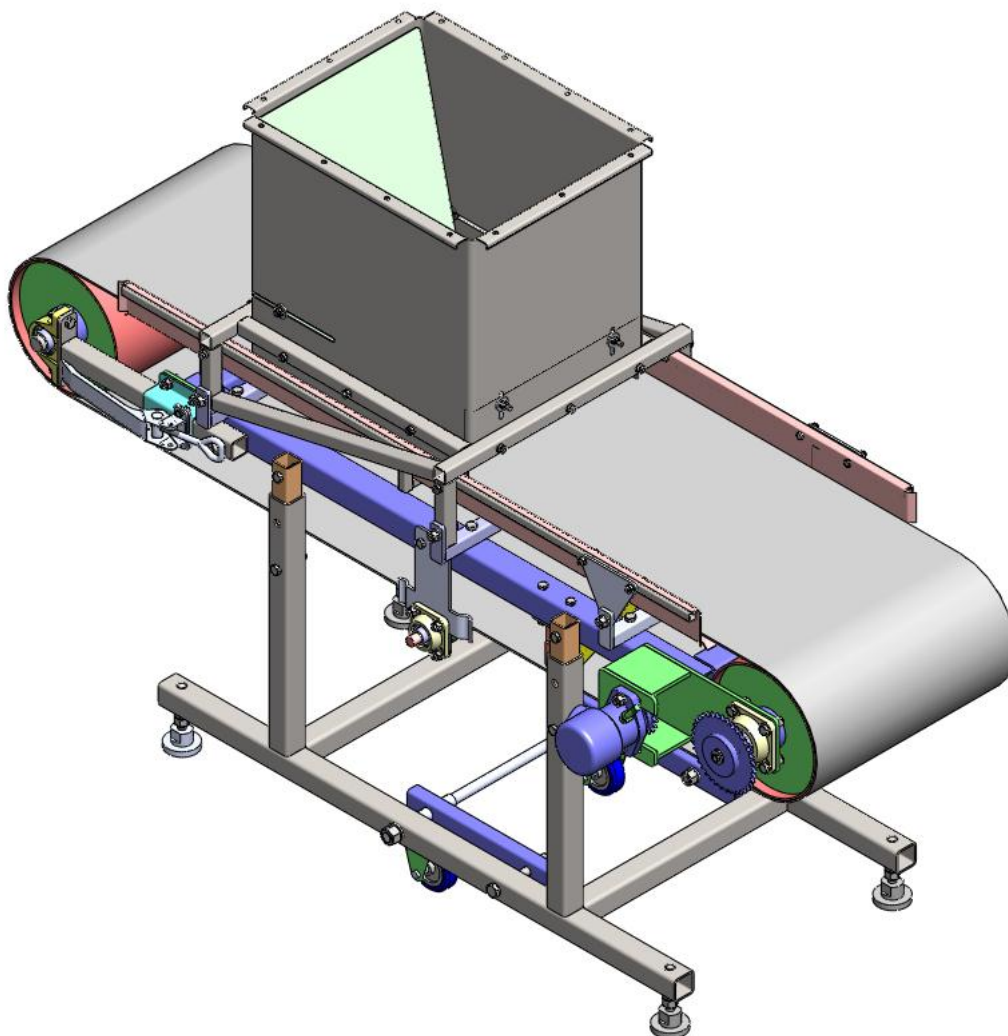
12. att. Tīrītājs

Virš konveijera lentas novietotajā tvertnē esošā masa ar savu svaru iedarbosies uz lentu, to stiepjot. Lai nenotiktu lentas pastiprināta izstiepšanās, zem lentas tiks novietota speciāla tekne (13. att.).



13. att. Tekne

Dozatora prototipa (14. att.) izgatavošanai izstrādāti arī rasējumi. Kopsalikuma rasējumi, kas nodrošina prototipa veiksmīgu salikšanu un detaļu darba rasējumi unikālu detaļu izgatavošanai.



14. att. Dozators

KOMPAKTĒŠANAS PROCESA TEORĒTISKĀ IZPĒTE

Stiebrzāļu augu izmantošana Latvijā par enerģētisko augu kurināmā ražošanai lauksaimniecībā ir nozīmīga perspektīvā, jo audzējot tos lauksaimniecībā izmantojamās zemes platībās ir iespējama pāreja uz graudaugu audzēšanu un netiek bojātas meliorācijas sistēmas. Enerģētiskos augus vispirms būtu ieteicams audzēt pašreiz pienācīgi neizmantotajās lauksaimniecības zemēs. Kā liecina Lauksaimniecības atbalsta dienesta veiktais lauksaimniecībā izmantojamo zemju apsekojums 2010.gadā, tad neapstrādātas platības ir 368 900 hektāri, nekopti - 316 341 hektārs, aizauguši - 49 710 hektāri [4]. Tie ir minami kā potenciāli izmantojamie zemes resursi stiebrzāļu enerģētisko augu audzēšanai līdztekus arī daudzām vispār neizmantotām zemes platībām.

Latvijā lauksaimnieciskajā ražošanā veidojas augu atlikumi – ap 158 tūkst. tonnu salmu gadā [5], kuri var tikt izmantoti enerģijas ieguvei. Tos iegūst gan no graudaugu kultūrām gan arī no rapša audzēšanas, Jāievēro, ka tikai 20 – 50% no iegūstamā salmu apjoma var tikt izmantoti par kurināmo. Pārējam salmu apjomam jānonāk atpakaļ augsnē par organisko mēslojumu, lai saglabātu humusa saturu tajā. Salmu izmantošana par kurināmo jau ieguvusi plašu pielietojumu Dānijā un citās Eiropas valstīs. Salmu izmantošana kurināmā veidā siltuma ražošanai Latvijā

aizsākta ar 1999. gadu, kad ir veikta katlu mājas konversija Saulaines lauksaimniecības profesionālā vidusskolā.

Blakus ierastajiem salmu atlikumiem ir izmantojamas enerģētisko augu miežabrāļa (*Phalaris arundinacea*) un kaņepju (*Cannabis Sativa*) šķirnes, kuru ražotnes sāk veidot Latvijā. Kaņepes var izmantot gan dabīgas šķiedras ieguvei, gan arī to sastāvdaļas cietā kurināmā ražošanai. Aktuāla ir kaņepju novākšanas mehānizācija, smalcinātāju un biomasas kompaktētāju izstrāde šim materiālam.

Latvijā aktuāla ir ezeru aizaugšana ar niedrēm (*Phragmites Australis*). Niedru masīvi arvien plašāk sāk pārklāt seklākos eitrofos ezerus. Niedru biomasas pieaugums sasniedz 10 t/ha gadā un tās ir vērtīgs izejmateriāls būvkonstrukcijās un kurināmā ražošanai. Niedru sakņu saaugumu klājumus sadalot gabalos un attīrot no tiem ezerus, iespējams iegūtos niedru stādījumus izmantot lokālās nelielās ūdens attīrīšanas iekārtās lauku rajonos. Savukārt tajos augošo niedru masa var tikt izmantota enerģijas ieguvei kā cietā kurināmā izejviela. Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra (<http://www.lgia.gov.lv>) piedāvā karšu pārlūku, ar kura palīdzību var iezīmēt kartē noteiktu niedru audzes zonu un noteikt tās laukumu un perimetru. Eksperimentāli nosakot niedru audzes viena kvadrātmetra niedru masu kartē iezīmētajā zonā, un pareizinot ar karšu pārlūkā aprēķināto zonas platību, var noteikt potenciālo iegūstamās niedru biomasas vērtību. Šāda potenciālā niedru biomasas lieluma noteikšana ir nepieciešama plānojot niedru izmantošanu.

Dažādajām minētajām augu šķirnēm ir krasi atšķirīgas fizikāli – mehāniskās īpašības un augšanas apstākļi. Tāpēc nepieciešams vispirms noskaidrot šo stiebru materiālu mehāniskās un arī tehnoloģiskās īpašības. Tā kā novāktā stāvoklī šiem stiebru materiāliem ir mazs blīvums ($< 60 - 80 \text{ kg m}^{-3}$), tad tos nav ekonomiski izdevīgi transportēt lielākos attālumos. Kompaktējot novāktu stiebru materiālu un reizē paaugstinot tā blīvumu var samazināt transporta un uzglabāšanas izmaksas. Cietā kurināmā izgatavošanā no stiebrzāļu biomasas briķešu vai granulu veidā vispirms to sasmalcina. Sasmalcinātā stiebru materiāla daļiņas presē granulā vai briķešu presēs. Kompaktēšanas izpēti mērķis ir noteikt likumsakarības starp spiedienu un presēšanā iegūstamā cietā kurināmā blīvumu dažādo stiebraugu materiālu frakcijām un to maisījumiem ar citu materiālu piedevām.

KOMPAKTĒŠANAS PROCESS

Kompaktēšana ir mehāniskais process, kurā tiek palielināts materiāla blīvums. Praksē materiāls pirms kompaktēšanas tiek bieži vien sasmalcināts. Tāpēc literatūrā plašāk ir atspoguļota pulverveida materiālu kompaktēšana. Izšķir auksto un karsto kompaktēšanu. Aukstajā kompaktēšanā materiālu speciāli nesasilda. Karstajā kompaktēšanā visas operācijas notiek pie paaugstinātas temperatūras. Turpmāk apskatīsim aukstās kompaktēšanas procesu, jo karstās kompaktēšanas procesā ir liels enerģijas patēriņš. Biomasas kompaktēšanā cietā kurināmā ražošanai enerģijas patēriņa minimizācija kalpo kā galvenais kritērijs.

Kompaktējot presformā, kas ir visizplatītākais veids briķetējot (granulējot) izšķir sekojošas operācijas:

- ✓ masas piegāde presformai,
- ✓ presformas piepildīšana,
- ✓ kompaktēšana (presēšana),
- ✓ pēckompaktēšanas operācijas (sadališana u. c.).

Nepieciešamā blīvuma iegūšanā būtiska ir masas padeve presformā un pati presēšana, tāpēc apskatām detalizēti šīs operācijas.

MASAS PADEVE PRESFORMĀ

Tā kā biomasas padeve presformā notiek slēgtā telpā, tad neizpētīts vēl paliek masas plūsmas režīms. Pulvermateriālu plūsmas režīmi ir vairāk izpētīti projektējot masas uzkrājēju tvertnes. Biomasas padevē būtisks ir presformas iepildīšanā sasniedzamais blīvums, jo tas nosaka tālākos masas presēšanas režīmus. Būtiski ir veikt iepildāmās masas dozēšanu. Bez tam ir jānodrošina presformas slēgšana tālākā presēšanas operācijā. Ja presēšanā izmanto garākus stiebrzāļu materiāla stiebrus, tad nozīmīga ir šī materiāla iepriekšējā apstrāde un arī orientācija presformā. Ja biomasas materiāls ir smalki sasmalcināts pirms presēšanas (briketēšanas vai granulēšanas), iepildīšanu parasti veic izmantojot gliemežtransportierus, kuri vienlaicīgi kalpo arī kā dozatori.

KOMPAKTĒŠANAS MEHĀNIKA

Literatūrā [6] parasti tiek apskatīta pulverizētu materiālu kompaktēšanas mehānisms, tos saspiežot slēgtā presformā. Vienkāršības dēļ daļiņas tiek apskatītas kā objekti ar lodveida formu (sfērisku). Pirmajā kompaktēšanas stadijā tiek likvidētas poras starp daļiņām, un notiek arī biomasas daļiņu formas maiņa. Tālākajā deformācijas procesā tiek izmainīta radikāli pašu daļiņu forma un notiek to materiāla saspiešana. Būtiski ir tas, kā daļiņas savienojas viena ar otru un kāda ir to spēja plastiski deformēties. Ja presējamās daļiņas ir trausli materiāli, tad bieži vien ir noderīga dažādu plūstošu materiālu pievienošana, kas kalpo kā saistviela. Rezultātā iegūtais briketes (granulas) blīvums ir atkarīgs no presēšanas spiediena un presējamo materiālu mehāniskajām īpašībām. Kompaktēšanas procesa ilustrācijai kalpo spēka – pārvietojuma un spiediena – blīvuma līknes, kas attēlo kompaktējamā materiāla uzvedību procesā. Laboratoriju eksperimentos iegūtās biomasu kompaktēšanas sakarības var tālāk tikt izmantotas cietā kurināmā (brikešu un granulu) ražošanas iekārtu projektēšanai.

KOMPAKTĒŠANAS VIENĀDOJUMI

Veicot kompaktēšanas procesu, notiek presformā iebērtā materiāla sablīvēšanās, kas atkarīga no pieliktā spiediena. Sākotnēji pie neliela spiediena, materiāla daļiņas savstarpēji pārvietojas un orientējas aizpildot tukšās vietas, kas izveidojušās pie materiāla iepildīšanas presformā. Šajā posmā kompaktēšanas enerģija ir izkliedēta. Tā tiek patērēta pārvarot berzes spēkus starp daļiņu savstarpējām virsmām un presformas sienas virsmu. Palielinot spiedienu, daļiņas tiek piespiesta viena otrai vēl ciešāk. Elastīgo un plastisko deformāciju rezultātā tiek palielināts daļiņu savstarpējais kontaktu skaits. Samazinot daļiņu savstarpējo attālumu, starp tām sāk darboties pievilkšanās spēki, piemēram, Van der Vālsa spēki, elektrostatiskie spēki un molekulārie spēki, kas nosaka daļiņu virsmu savstarpējo saistīšanos (sorbcijas slāņi). Kompaktēšanās procesā notiek arī daļiņu mehāniskā sasaistīšanās, tā rada daļiņu pievilkšanās spēkus, kas nav atomu līmenī. Mehānisko pievilkšanās spēku lielumu nosaka daļiņu izmērs un virsmas raksturojums, jo smalkākas daļiņas, jo šie spēki būs mazāki. Palielinot spiedienu, materiāla blīvēšanās notiktu līdz tiktu sasniegts atsevišķu daļiņu vielas blīvums [19, 20].

Mainoties spiedienam un temperatūrai, izdalās dažādas ķīmiskas vielas, kas ietekmē biomasas kompaktēšanas procesu. Piemēram, salmiem, dažādiem zālaugiem un koksnei, šādas

vielas būtu lignīns, hemiceluloze, celuloze, lignoceluloze, u.c. Šīs vielas darbojas kā saistvielas, līdz ar to uzlabo izgatavotās briķetes vai granulas kvalitātes īpašības (blīvums, noturība, mehāniskās īpašības, u.c.) [21].

Stiebraugu materiālu biomasu pētījumos cietā kurināmā ražošanai ir veikta [4] pulvermateriālu presēšanas vienādojumu novērtēšana, nosakot to pielietošanas iespējas stiebraugu biomasas presēšanas procesiem.

Klauss ir izstrādājis vienādojumu, lai noteiktu kompresijas faktoru. Ir noteikts, ja materiāls tiek presēts ar aksiālu presēšanas spēku, tad ir iegūstamas kompakas briķetes.

Materiāla sākotnējais blīvums ρ_0 ir:

$$\rho_0 = \frac{M}{V}$$

kur: M – materiāla masa, g;
 V – materiāla tilpums, cm^3

Sākotnējais blīvums ir atkarīgs:

- ✓ no veida, kā materiāls tiek padots preses formā (vaļējs vai presēts ar kādu ierīci);
- ✓ no materiāla struktūras (attiecība starp lapām un stiebriem, sakņu saturs, lūšanas pretestība);
- ✓ no mitruma satura un no materiāla vecuma.

Hekela [8] vienādojumi tiek apskatīti par pulverveida materiālu uzvedību kompaktēšanas procesā. Vienādojumi izsaka kompaktēšanā iegūtā blīvuma atkarību no presēšanas spiediena un presējamo materiālu proporcijas.

$$\ln \frac{1}{1 - \rho_f} = mP + n \quad (1)$$

$$\rho_f = \frac{\rho}{\rho_1 X_1 + \rho_2 X_2} \quad (2)$$

kur ρ_f – iepildītā materiāla relatīvais blīvums pēc presēšanas,
 P – presēšanas spiediens, MPa,
 m, n – Hekeļa modeļa konstantes,
 ρ – kompaktētā materiāla maisījuma blīvums (kg/m^3),
 ρ_1, ρ_2 – komponentu daļiņu blīvums (kg/m^3),
 X_1, X_2 – maisījuma komponentu frakcijas daļa.

Shivands un Sprokels parādīja, ka konstante n vienādojumā (1) ir atkarīga no relatīvā blīvuma pēc daļiņu sapresēšanas:

$$n = \ln \frac{1}{1 - \rho_f} \quad (3)$$

Augstāka ρ_f vērtība parāda, ka notiks lielāka tilpuma samazināšanās paraugam, pateicoties daļiņu stāvokļa izmaiņai. Konstante m tiek parādīta kā atkarīga no vidējā spiediena, kas nosaka plastiskās deformācijas lielumu. Lielāka m vērtība (zems tecēšanas spriegums) parāda plastiskās deformācijas sākumu relatīvi zemākā spiedienā, to, ka materiāls ir labi saspiežams.

Kupers un Ītons [9] definēja vienādojumu, kas raksturo keramisko pulveru kompaktēšanu:

$$\frac{V_0 - V}{V_0 - V_s} = a_1 \exp\left(\frac{-k_1}{P}\right) + a_2 \exp\left(\frac{-k_2}{P}\right) \quad (4)$$

kur V – kompaktētā materiāla tilpums pie spiediena p (m^3),
 V_0 – tilpums pie “nulles” spiediena (m^3),
 V_s – tilpums materiālam bez tukšumiem (m^3),
 a_1, a_2 un k_1, k_2 – Kuperā – Ītona modeļa konstantes.

Kawakita un Ludde [10] vienādojumi ir aprakstījuši vienādojumus ar virzuli saspiežot masu. Tie apraksta sakarības starp spiedienu un tilpumu:

$$\frac{P}{C} = \frac{1}{ab} + \frac{P}{a} \quad (5)$$

$$C = \frac{V_0 - V}{V_0} \quad (6)$$

kur C – tilpuma samazināšanas pakāpe,
 a, b - Kawakita un Ludde modeļa konstantes, kas raksturo pulvera īpašības.

Lineārā sakarība starp P/C ļauj konstantes atrast grafiski. Šis kompaktēšanas vienādojums ir derīgs mīksti un pūkainiem pulvermateriāliem, bet liela uzmanība ir jāpievērš sākotnējā tilpuma mērīšanā šim materiālam.

Jebkuras novirzes no izteiksmes dažreiz ir no mērāmā lieluma V_0 fluktuācijām. Konstante a ir vienāda ar vērtību $C = C_\infty$ pie bezgala liela spiediena P .

$$C_\infty = \frac{V_0 - V_\infty}{V_0} \quad (7)$$

kur: V_∞ - pulvera tīrais tilpums, m^3 .

Konstante a ir vienāda parauga sākotnējai porainībai. Konstante $1/b$ attiecas uz sprieguma zudumiem virzuļa kompresijas gadījumā.

Ooi Chin strādāja ar granulēšanu un atrada dažādas eksponenciālas sakarības starp spiedienu un blīvumu:

$$D = a \ln P + b \quad (8)$$

kur: a, b , - empīriskās konstantes, kas mainās no stiebru materiālu tipa – zāģu skaidas, rīsi, miziņas, kokoriekstu šķiedras.

Sākotnējais blīvums nav konstants, pat tad, ja tas pats materiāls tiek presēts. Tas ir tāpēc, ka ir atšķirības materiāla struktūrā. Šis faktors vienmēr ietekmē materiāla tilpumu. Pēc noteikta spiediena materiāls ir sasniedzis maksimālo blīvumu (ρ_{max}). Tas ir vienāds ar robežblīvumu (ρ_G), kurš atkarīgs no materiāla blīvuma un mitruma. Blīvumu nevar palielināt palielinot spiedienu, bet tā vērtība var mainīties atkarībā presēšanas mašīnas īpašībām.

Pēc spiediena noņemšanas, briete tiecas pagarināties un palielināt tā tilpumu, kamēr brietes ilgizturības vērtība ir sasniegta. Šis blīvums ir beigu blīvums ($\rho_{G,e}$). Tas ir atkarīgs no preses spiediena un presējamā materiāla.

Vienādojuma galīgais variants ir

$$\rho = \rho_G (1 - e^{-kp}) \quad (9)$$

pēc deformācijas:

$$\rho = \rho_{G,e} (1 - e^{-kp}) \quad (10)$$

kur: ρ - blīvums, g cm^{-3} ;
 ρ_G - robežblīvums, g cm^{-3} ;
 $\rho_{G,e}$ - beigu blīvums, g cm^{-3} ;
 k – konstante.

Šis vienādojums ir derīgs gariem salmu stiebriem ar mitruma saturu no 8 – 12%, maksimāli līdz 16% un presēšanas spiedienu 250 MPa.

Claub vienādojums ir piemērots, lai salīdzinātu eksperimentālos rezultātus ar teorētisko modeli. Saskaņā ar šo vienādojumu teorētiskā līkne palielinās pie maza preses spiediena diapazona līdz 70 MPa. Palielinot spiedienu virs 70 MPa briķetes blīvums palielinās ļoti maz, līdz sasniedz robežblīvumu, kad blīvums pie lielāka spiediena vairs nepieaug.

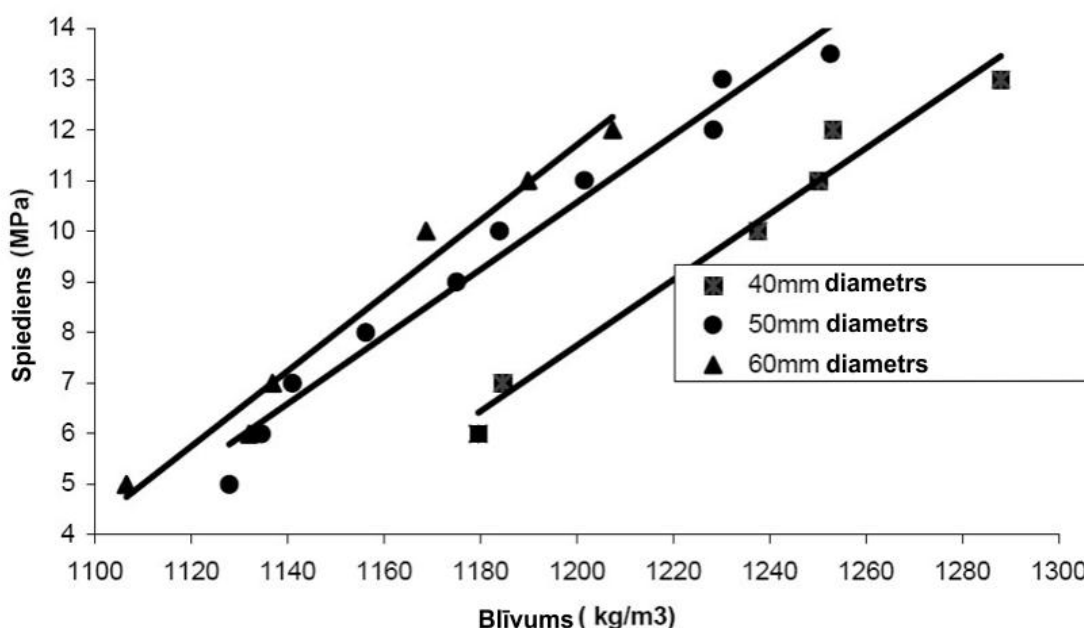
Pēc Busse vienādojuma var aprēķināt nepieciešamo briķetēšanas spiedienu:

Busse ir noteicis spiedienu presēšanas spiedienu teorētiski diapazonā no 20 – 200 MPa. Viņš ir pārbaudījis presēšanas spiedienu diapazonā līdz 80 MPa. Šajā pētījumā tika presēti garstiebru zāle ar mitruma saturu 22 – 55% apaļas un kvadrātiskas formas matricās. Teorētiski šo vienādojumu var pielietot briķetējot zāli ar 15% mitruma saturu. Izmantotie koeficienti zālei ar mitruma saturu 15% ir parādīti tabulā.

Koeficienti zālei ar mitruma saturu 15%

Koeficients	C_0	C_1	C_2	C_3
Pirmā rinda	0.98	-5.75	4.05	3.5
Otrā rinda	1.15	-4.6	4.4	1.3

Osobov un Faborode ir izveidojuši attiecību starp spiedienu un blīvumu. Pēc briķetes izņemšanas no matricas vienu nedēļu žāvē istabas temperatūrā, tad nomēra briķetes dimensijas un aprēķina atslābušas briķetes blīvumu.



15. att. Dažādu diametru briķešu blīvums atkarībā no spiediena

15. att. redzams grafiks starp atslābušu briķetes blīvuma un matricas spiedienu triju veidu matricu diametriem, pie mitruma satura 12.5%.

$$P = ae^{bD} \quad (11)$$

kur: P – spiediens, MPa;
D – atslābušas briketes blīvums, kg m⁻³;
a, b, - empīriskās konstantes.

Briketētas biomasas empīriskās konstanšu vērtības ir sekojošas:

Matricas diametrs, mm	Konstante a	konstante b
40	0.0389	0.0045
50	0.0871	0.0036
60	0.189	0.0033

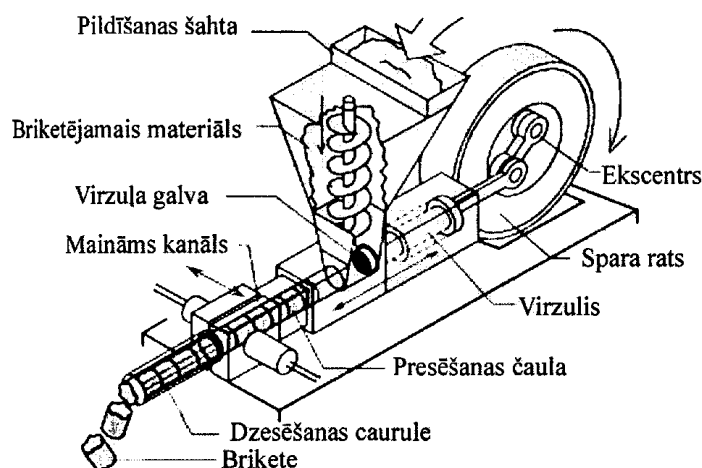
Īpatnējais enerģijas patēriņš ir robežās no 5 – 10 MJ t⁻¹ atkarībā no biomasas atlikumu blīvuma. Wheelers ir noteicis īpatnējo enerģijas patēriņu miežu salmiem 5 – 25 MJ t⁻¹. Taha ir noteicis īpatnējo enerģiju 7.2 MJ t⁻¹ kokvilnas stiebiem kompaktējot ar riņķveida matricu.

Publikācijā [7] ir iegūti šādi secinājumi, kuri ir noderīgi stiebraugu materiālu biomasas kompaktēšanas pētījumiem:

- 1) Kawakita un Ludde un Kupera – Ītona modeļi labi atbilst smalcinātas stiebraugu biomasas kompaktēšanas eksperimentu rezultātiem.
- 2) Kupera – Ītona modeļa parametri smalcinātai stiebraugu biomasai parādīja, ka kompaktēšanas mehānisms galvenokārt ir atkarīgs no daļiņu sakārtojuma un no elastīgās un plastiskās deformācijas.
- 3) Kawakita un Ludde parametrs a ir atkarīgs no sākotnējās materiāla porozitātes. Parametrs 1/b ir atkarīgs no stiebraugu biomasas materiāla veida.

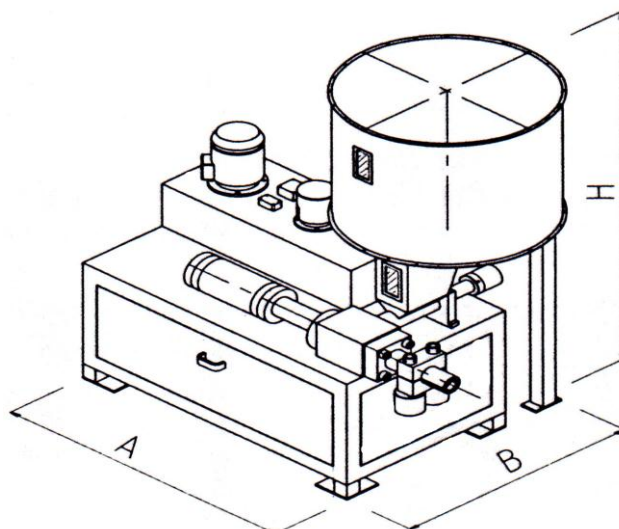
KOMPAKTĒTĀJA KOMPAKTĒŠANAS MEHĀNISMU TEORĒTISKĀ IZPĒTE

Mehāniskā virzuļu tipa prese ir attēlota (16. att.). Briketēšanas preseī ir elektriskais motors. Griezies moments parasti tiek pārvadīts ar siksnu tieši uz spara rata, kas novietots ir uz kloķvārpstas rēdzes. Tālāk rotācijas kustība tiek pārveidota no kloķvārpstas, klaņa un virzuļa turp atpakaļ kustībā. Briketēšanas iekārta veic apmēram 200 virzuļa gājienu vienā minūtē un attīsta ap 60 tonnu lielu spēku (apmēram 120 N mm⁻²).



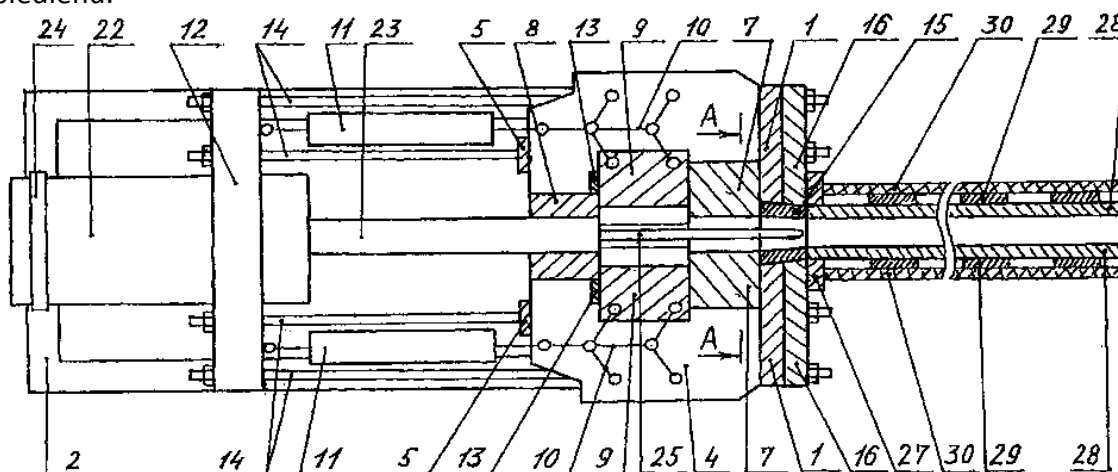
16. att. Mehāniskā virzuļu prese

Preses rāmis ir izveidots no augstas kvalitātes metināta tērauda konstrukcijas, lai izturētu smagi slogotu nepārtrauktu darbību. Kloķvārpsta ir kalta no speciāla tērauda, un aprīkots ar vienu vai diviem spara ratiem, kas izgatavoti no čuguna. Kloķvārpstas un klaņa gultņi ir ieliktna tipa un ir pārklāts ar speciālu gultņa metālu. Visi gultņi tiek eļļoti ar piespiedu eļļošanas sistēmu. Matricas aptverē ir karsēšanas vai dzesēšanas urbumi. Padeves gliemežtransportieris ievadot sasmalcināto masu cilindrā to daļēji arī sablīvē. Galīgo sablīvēšanu veic virzulis.



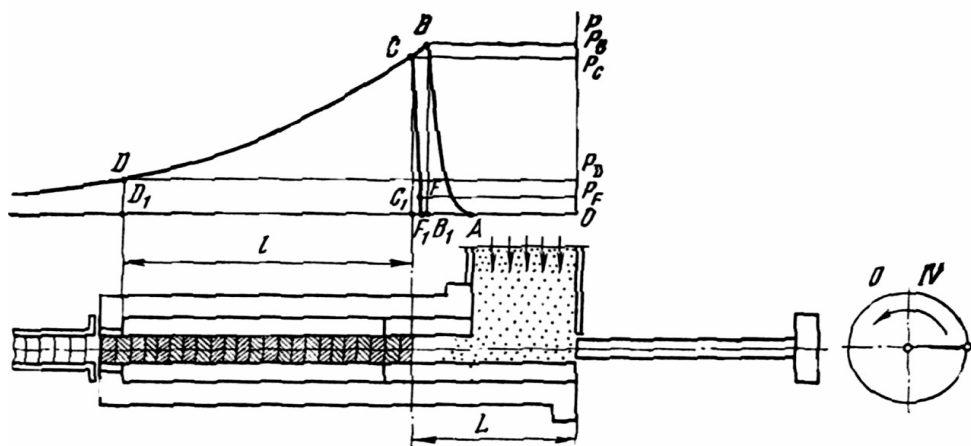
17. att. Hidrauliskā prese

Hidrauliskā prese (17.un 18. att.) no mehāniskās virzuļa tipa preses atšķiras ar to, ka virzuļa turp atpakaļ kustību nodrošina hidrocilindrs. Elektromotors piedzen hidraulisko sūkni, kas savukārt caur hidrosadalītāju nodrošina hidrocilindra turp atpakaļ kustību. Eļļas spiediens tiek kontrolēts ar vārsta palīdzību. Ar hidraulikas palīdzību ir iespēja regulēt briketēšanas spiedienu.



18. Hidrauliskā prese

Pie kloķvārpstas viena apgrieziena virzulis izdara pilnu ciklu – turp-atpakaļ kustību 2L (19. att.), kur sekojoši izpildās 4 operācijas: virzuļa pārvietošanās no materiāla iepildīšanas kameras uz matricas kameru, presēšana, briketes grūšana pa matricas kanālu un materiāla iepilde virzuļa atpakaļkustībā.



19. Presēšanas diagramma

Presēšanas diagrammas laukums S_1 (19. att.), kam atbilst līkne AB ar ordināti BB_1 un abscisu B_1A ir proporcionāla presēšanas enerģijas patēriņam:

$$W_1 = S_1 m_p m_h$$

kur: m_p un m_h – īpatnējā spiediena un virzuļa pārvietojuma mērogs.

Briekšu grūšana pa matricas kanālu notiek pa lielumu B_1C_1 (19. att.). Īpatnējai spiediens krītas pēc līknes BC likuma no lieluma PB līdz PC. Presēšanas diagrammas laukums S_2 , kam atbilst līkne BC ar ordināti BB_1 un CC_1 , un abscisu C_1B_1 ir proporcionāla briektes grūšanas enerģijas patēriņam:

$$W_2 = S_2 m_p m_h$$

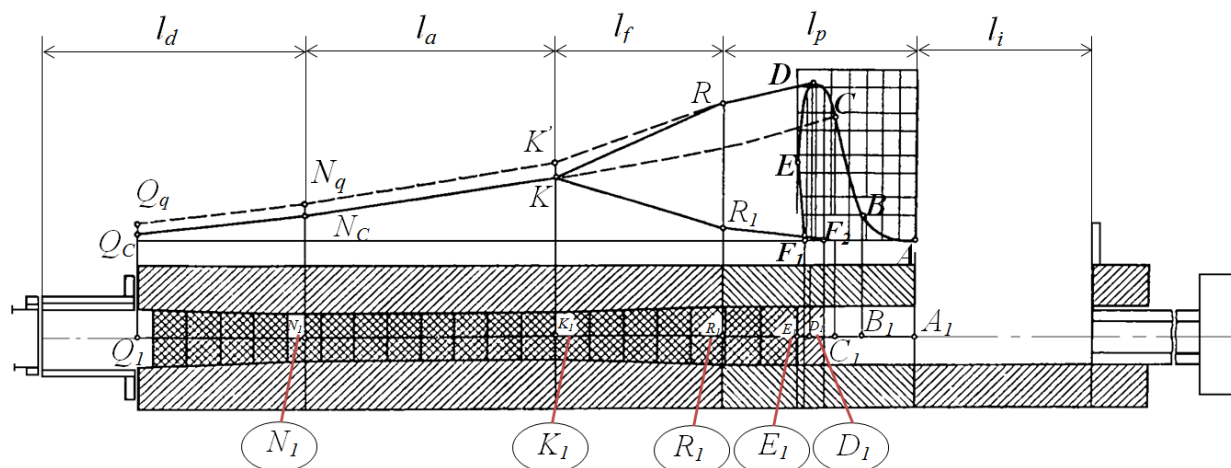
Presēšanas virzulim pārvietojoties atpakaļ īpatnējais spiediens krītas pa līniju CF (19. att.). Presēšanas diagrammas laukums S_3 , kam atbilst $CC_1 F_1 FC$ ir proporcionāla enerģijai, kas atgriežas atpakaļ sistēmā W_3 :

$$W_3 = S_3 m_p m_h$$

Presēšanas kopējais enerģijas patēriņš ir šāds:

$$W_0 = W_1 + W_2 + W_3$$

Analītiski apskatot kompaktēšanas procesu virzulpresēm, jāapraksta procesi, kas kompaktēšanas laikā notiek presformā. Nepārtrauktās presēšanas presformu var iedalīt piecas zonās: l_i – barošanas zona; l_p – presēšanas zona; l_f – briektes formēšanās zona; l_a – briektes veidošanas zona; l_d – spriegumu noņemšanas zona (2. att.) [22].



20. att. Nepārtrauktās presēšanas presforma un presēšanas procesa diagramma

Barošanas zonā (l_i), tiek noteikts vienā presēšanas reizē izmantojamā materiāla daudzums, kas tiek padots no materiāla uzglabāšanas tvertnes. Tas arī nosaka izgatavotās briķetes parametrus (masa, garums).

Presēšanas zonā (l_p) – notiek materiāla sākotnējā formēšana. Briķete iegūst savas sākotnējās aprises, kas atkarīgas no presformas ģeometriskās formas.

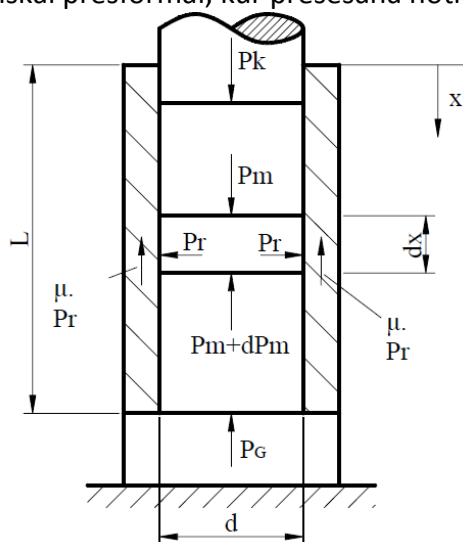
Briķetes formēšanās zonā (l_f), pretestības ietekmē, notiek materiāla blīvēšanās. Šajā zonā briķete iegūst galvenās, to kvalitāti raksturojošās īpašības (blīvums, noturība, mehāniskās īpašības, u.c.). Pretestības radīšanai bieži vien šo presformas zonu veido konisku.

Briķetes veidošanas zonā (l_a), briķete atrodas spiediena ietekmē, kur notiek daļiņu saistīšanās spēku stabilizācija. Šajā zonā kompaktējamā materiāla elastīgās deformācijas pārvēršas plastiskajās.

Spriegumu noņemšanas zonā (l_d), notiek lielākās daļas iekšējo spriegumu noņemšana. Tā kā šī daļa parasti tiek veidota ar paplašinājumu, tad slodze no briķetes šajā zonā tiek noņemta.

Presēšanas procesa diagramma ($ABCDEF_1F_2$) raksturo spiediena izmaiņu uz presēšanas virzuļa gala virsmas.

Kompaktēšanas procesu ietekmē ne tikai materiāla īpašības un tehnoloģiskie parametri, bet arī presformas konstruktīvie parametri (presformas garums, presformas koniskums, berzes koeficients starp presformas sienīņu un kompaktējamā materiāla daļiņām). 21. attēlā redzams matemātiskais modelis cilindriskai presformai, kur presēšana notiek slēgtā matricā [23, 24, 25].



21. att. Virzuļpreses presformas matemātiskais modelis

21. attēlā redzamo matemātisko modeli apraksta vienādojums:

$$(P_m - (P_m + dP_m)) \frac{\pi d^2}{4} - \mu P_r d dx = 0, \quad (12)$$

kur P_m – aksiālais spiediens uz briketi;
 P_r – sānu spiediens;
 d – presformas diametrs;
 μ – berzes koeficients.

Atrisinot vienādojumu (12) iegūst sakarību starp virzuļa spiedienu un pretspiedienu, kas rodas no presformas slēgtā gala. Izmantojot formulu (13), iespējams aprēķināt spiediena zudumus atkarībā no presformas garuma.

$$P_k = P_G e^{\frac{4\lambda\mu L}{d}}, \quad (13)$$

kur P_k – virzuļa spiediens no preses;
 P_G – pretspiediens no presformas slēgtā gala;
 L – presformas garums;
 λ – spiedienu attiecība.
 λ aprēķina:

$$\lambda = \frac{P_r}{P_m}. \quad (14)$$

Berzes koeficientu starp materiālu un presformas sienīņu aprēķina:

$$\mu = \frac{F_f}{F_r} = \frac{\ln\left(\frac{P_G}{P_k}\right)}{\frac{-4\lambda}{d}}, \quad (15)$$

kur F_f – berzes spēks;
 F_r – radiālais spēks, kas darbojas uz presformas sienīņu.

Presformā iepildītā materiāla pārvietošanās un materiāla daļiņu deformēšanās, notiek ar presformas sienīņām ierobežotā telpā. Šo procesu ātrumu sadalījumu ietekmē materiāla slāņu attālums līdz presformas sienīņai. Materiāla kustība presformā ir līdzīga šķidruma laminārai plūsmai cauruļvadā. Matemātisko modeļu teorētiskās bāzes pamatā bieži vien tiek lietotas sakarības, kas ir attiecināmas uz viskozu šķidrumu plūšanu cauruļvadā [25].

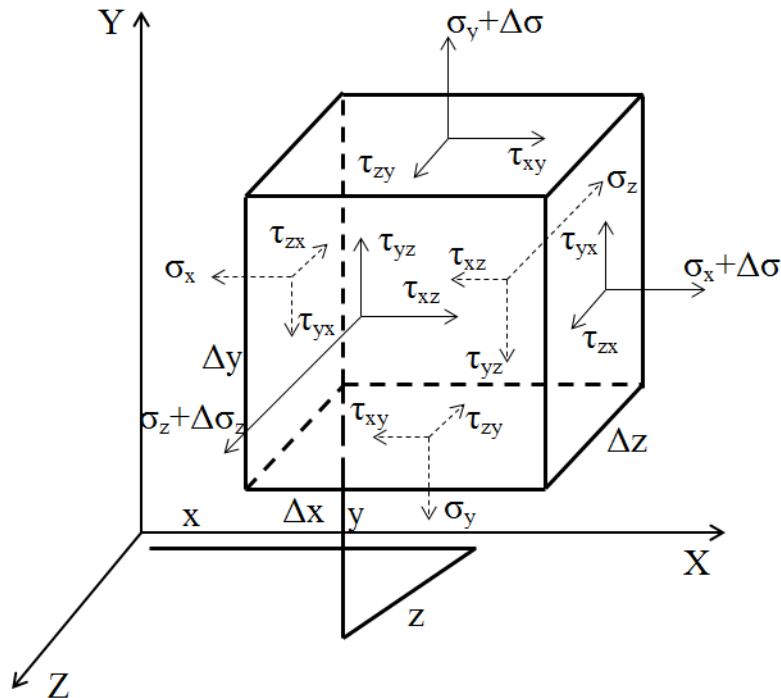
Apskatot atsevišķu elementāro tilpumu, kas tiek izdalīts no kompaktējamā materiāla, redzams, ka tas atrodas normālo (σ) un tangenciālo (τ) spriegumu ietekmē (22. att.). Šajā attēlā redzams izdalīts elementārs tilpums no presformā saspīestā materiāla $dV = d_x d_y d_z$. Normālie spēki, kas pielikti kreisās puses plaknei vienādi ar $\sigma_x \Delta y \Delta z$ un labās puses plaknei ($\sigma_x + \Delta \sigma_x$) $\Delta y \Delta z$. No tangenciālajiem spēkiem jāņem vērā τ_{yx} un τ_{zx} . Līdzsvarojošā projekcija uz O_x asi – $\Delta \tau_{zx} \Delta x \Delta y$ un $\Delta \tau_{yx} \Delta x \Delta z$. Summējot spēku projekciju vienādojumus uz x asi iegūst:

$$\left(\frac{\Delta \sigma_x}{\Delta x} + \frac{\Delta \tau_{yx}}{\Delta y} + \frac{\Delta \tau_{zx}}{\Delta z} \right) \Delta x \Delta y \Delta z. \quad (16)$$

Apskatītā elementa masa ir $\rho \Delta y \Delta x \Delta z$ un paātrinājumi uz O_x asi vienādi ar $\frac{dv_x}{dt}$.

Pielīdzina vienādojumu (16) pēc Otrā Nūtona likuma $\rho \frac{dv_x}{dt} \Delta x \Delta y \Delta z$. Nosaka labās un kreisās plaknes robežnosacījumus $\Delta x \rightarrow 0$, $\Delta y \rightarrow 0$, $\Delta z \rightarrow 0$, iegūst vienādojumu:

$$\rho \frac{dv_x}{dt} = \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}. \quad (17)$$



22. att. Spriegumu sadalījums izdalītam kompaktējamā materiāla elementam

Apskatot daļiņu kustību presformā tiek pieņemts, ka daļiņas pārvietojas tikai O_x ass virzienā, kas sakrīt ar preses virzuļa pārvietošanās virzienu. Tādā gadījumā spēku vienādojumi uz O_y un O_z asīm iegūs formu:

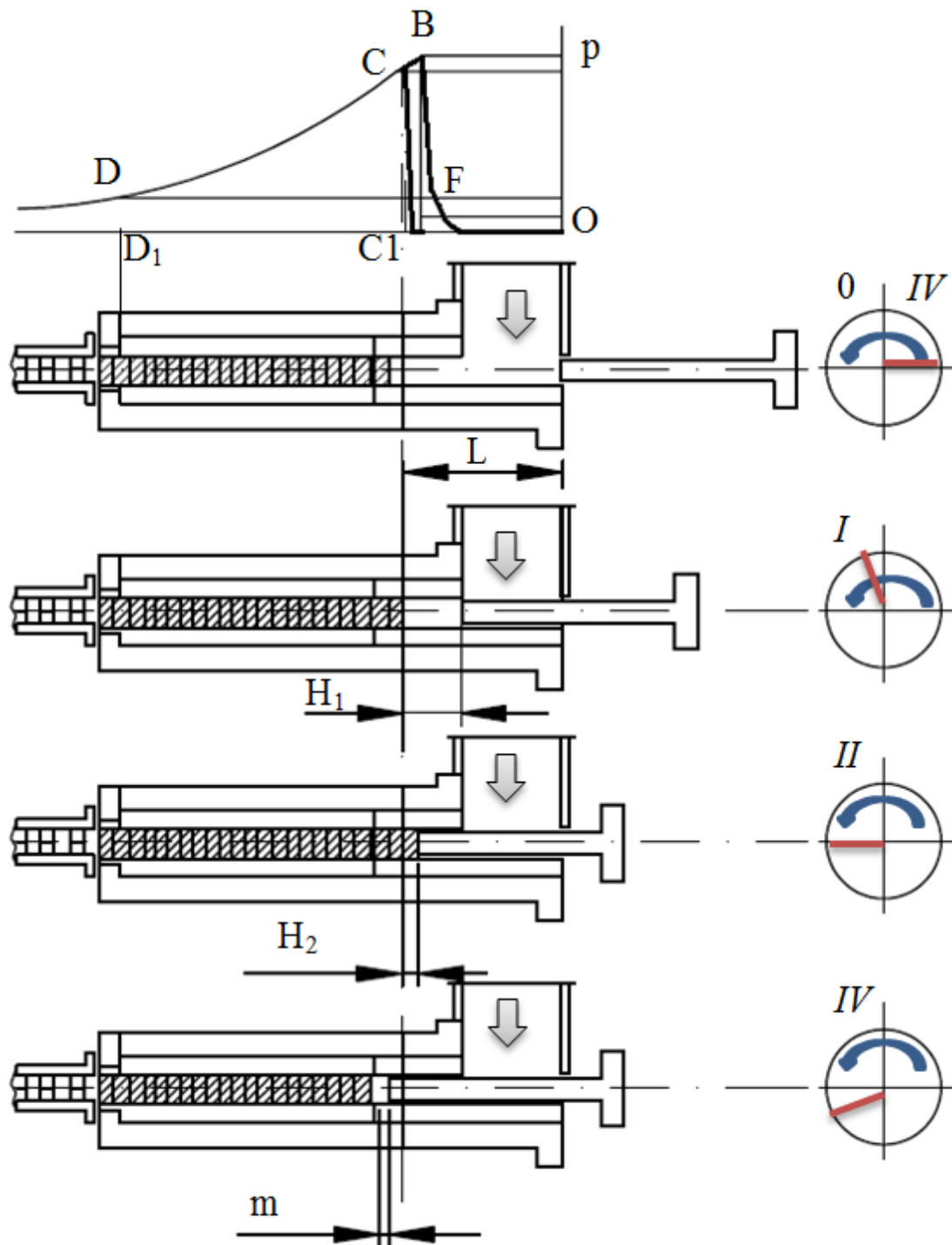
$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} = 0; \quad (18)$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_z}{\partial z} = 0. \quad (19)$$

Vienādojumi (17), (18) un (19) apraksta materiāla kustību presformā presēšanas laikā.

Konstruktīvo atšķirību apskats virzuļpresēm ar mehānisko un hidraulisko piedziņu.

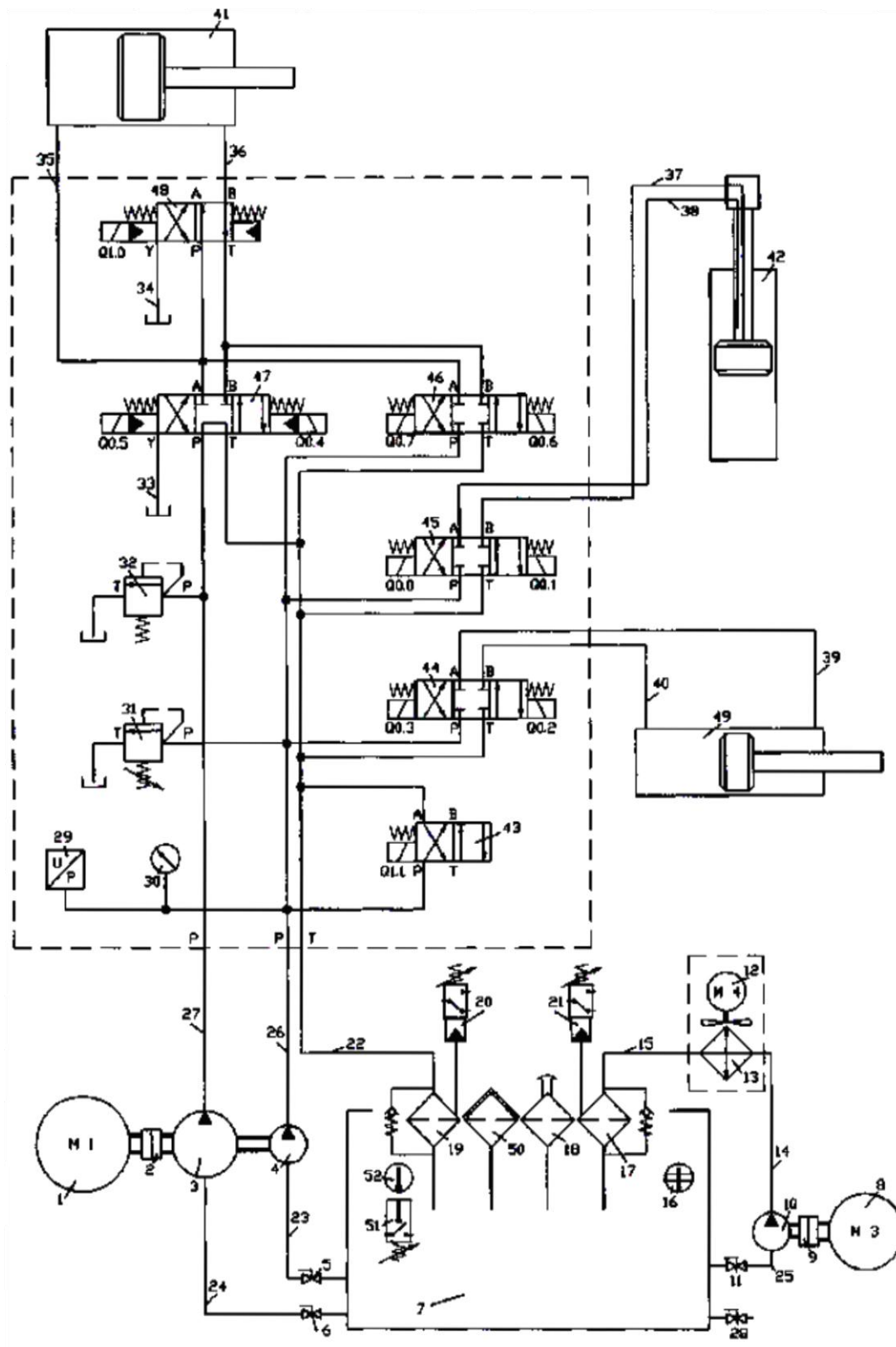
Mehāniskā piedziņa parasti tiek realizēta, izmantojot liela izmēra spararatus. Presēšanas pilns cikls tiek veikts spararata pilna apgrieziena periodā. Šo ciklu var iedalīt četrās daļās (23. att.). Presēšanas laikā virzulis pārvietojas attālumam $H_1 - H_2$. Presēšanas procesa diagrammā redzama spiediena izmaiņa uz virzuļa gala virsmas. Briketes presformā, veidojas pateicoties pretestības spēkiem, ko rada presformas konstruktīvās īpašības un materiāla īpašības.



23. att. Virzuļpreses mehāniskās piedziņas darba cikli

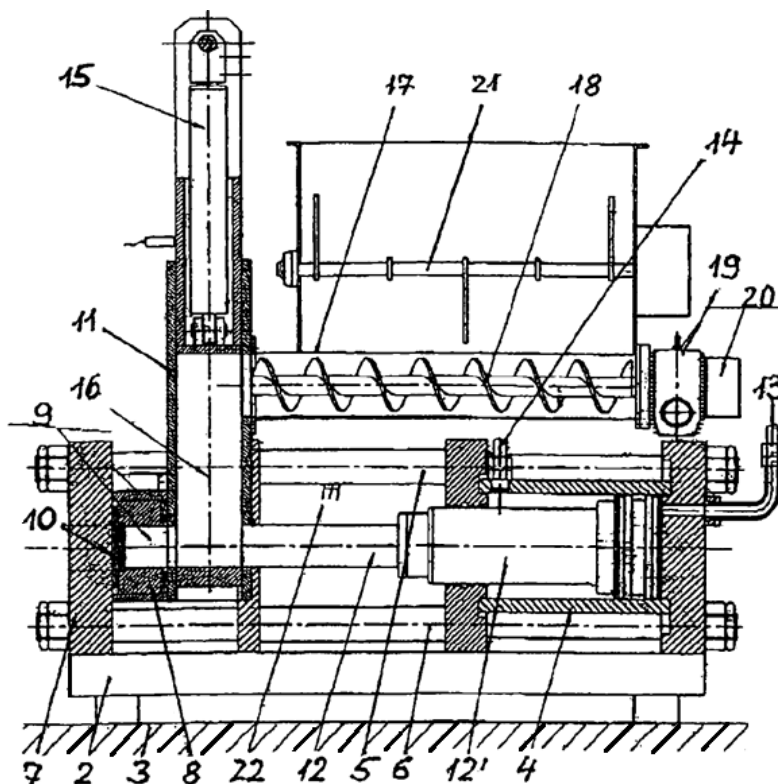
Hidrauliskajā piedziņā preses darbība tiek nodrošināta ar augstspiediena hidrauliskās sistēmas starpniecību. Spēks, ko attīsta hidrauliskā sistēma ar virzuļa starpniecību tiek nodots uz kompakstējamā materiāla virsmu. Šādām presēm, bieži vien hidrauliskā sistēma tiek izmantota arī materiāla sākotnējai saspiešanai un presformas pretestības spēka nodrošināšanai, kas nepieciešams briķešu veidošanai. 24. attēlā redzams hidrauliskās sistēmas piemērs, kas darbinā trīs cilindrus. Šādām presēm hidrosistēma nodrošina vairāk kā 300 bar lielu spiedienu.

Galvenie elementi dotajā shēmā ir elektromotori: 1, 8, 12; sūkņi 3, 4, 10; hidrocilindri: 41, 42, 49; elektromagnētiskie vārsti: 41; 42; 43; 44; 45; 46.



24. att. Hidrauliskā shēma virzļpresei ar hidraulisko piedziņu

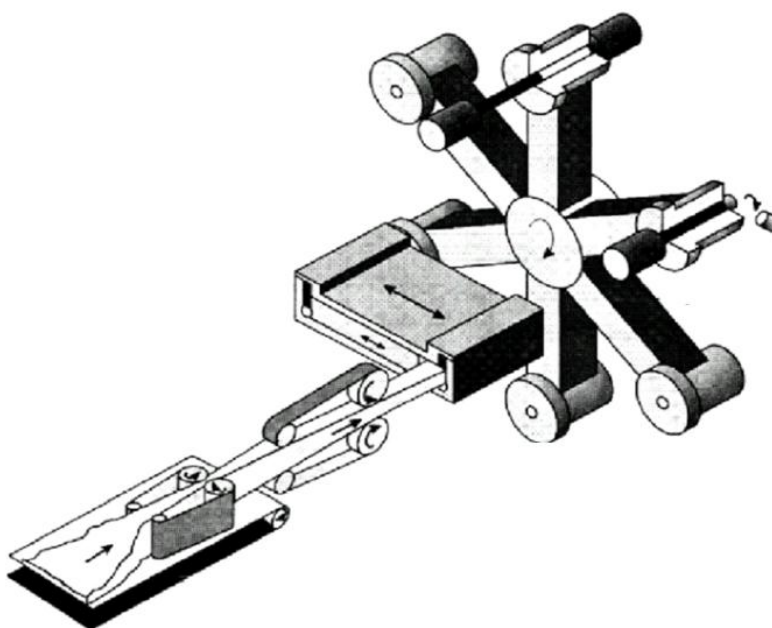
Dažādi konstruktīvie risinājumi un kompaktēšanas mehānismu veidi atrodami patentos. 25. attēlā redzams briketēšanas preses patents WO2011066977 [27]. Dotajā piemērā redzama virzļprese ar hidraulisko piedziņu un materiāla padeves mehānismu.



25. att. Patents WO2011066977: Briketēšanas prese

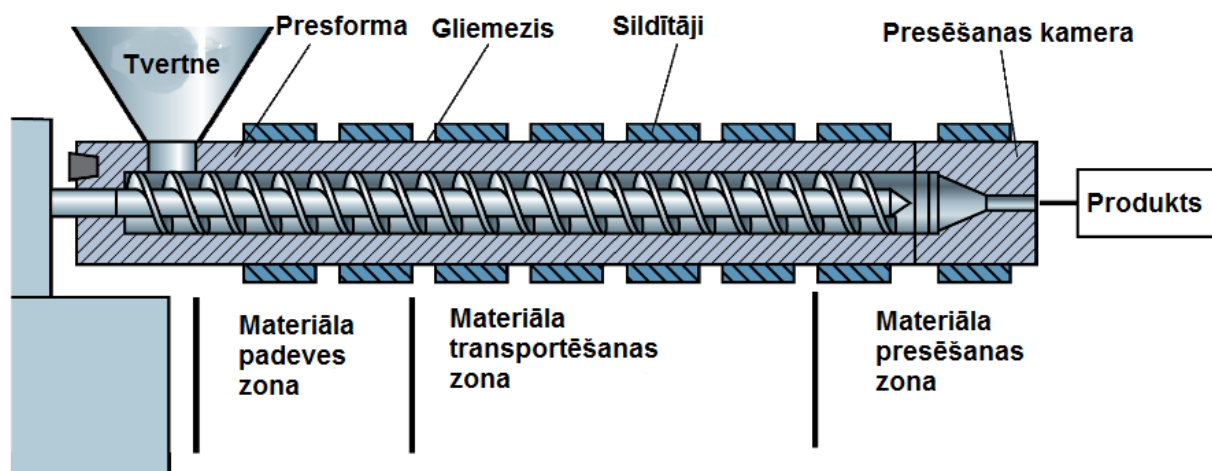
Nendels ir izstrādājis augsta spiediena presi, lai presētu nesasmalcinātus stiebrus (it īpaši salmus). Šīs preses darbības princips ir parādīts (26. att.). Prese ražo cilindriskas formas, ilgizturīgas un kompaktas briketes. Galvenais presēšanas spēks darbojas aksiālā virzienā.

Stiebru materiāli tiek presēti ar divpakāpju lentes presi. Pēc tam stieбри tiek presēti ar cilindriskā tipa presi ar spiedienu 200 MPa bez jebkādām saistvielām. Caur šo procesu stiebru materiāli tiek presēti ar attiecību 80:1. Briketes blīvums ir apmēram 0.9 g cm^{-3} atkarībā no presējamā materiāla.



26. att. Nendela prese stiebru briketēšanai

Skrūves (ekstrūdera) tipa biomasa ar gliemezi tiek nepārtraukti padota uz matricu, kur, rodoties pretestībai, tā tiek saspiesta. Bieži vien gliemeža gals tiek veidots smailas formas, kas izgatavotajās briketēs, veido briketes iekšējo urbumu. Atkarībā no pielietotās presformas veida, gala produkts tiek iegūts briķešu vai granulu veidā. Gliemežpreses, biomasas kompaktēšanai, parasti, izmanto tieši briķešu izgatavošanai. Gliemežpreses darbības principiālā shēma redzama 27. attēlā [28].



27. att. Gliemežpreses shēma

Šādām kompaktēšanas iekārtām bieži vien tiek pielietota presformas papildus sildīšana (līdz 200 – 250 °C), kas uzlabo izgatavotās produkcijas kvalitatīvās īpašības. Būtisks trūkums gliemežpresēm ir lielais enerģijas patēriņš, kas nepieciešamas lielo berzes spēku pārvarēšanai presformā un presformas papildus sildīšanai. Gliemežpreses piemērs redzams 28. attēlā.



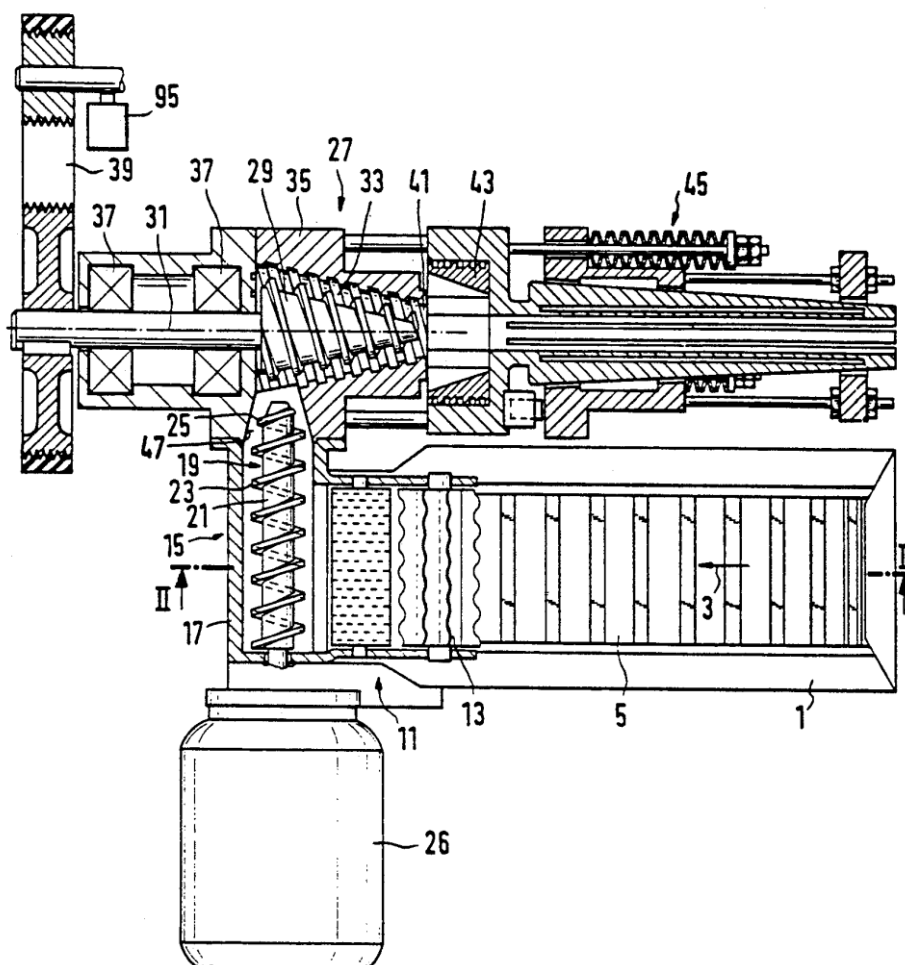
GEMCO gliemežprese



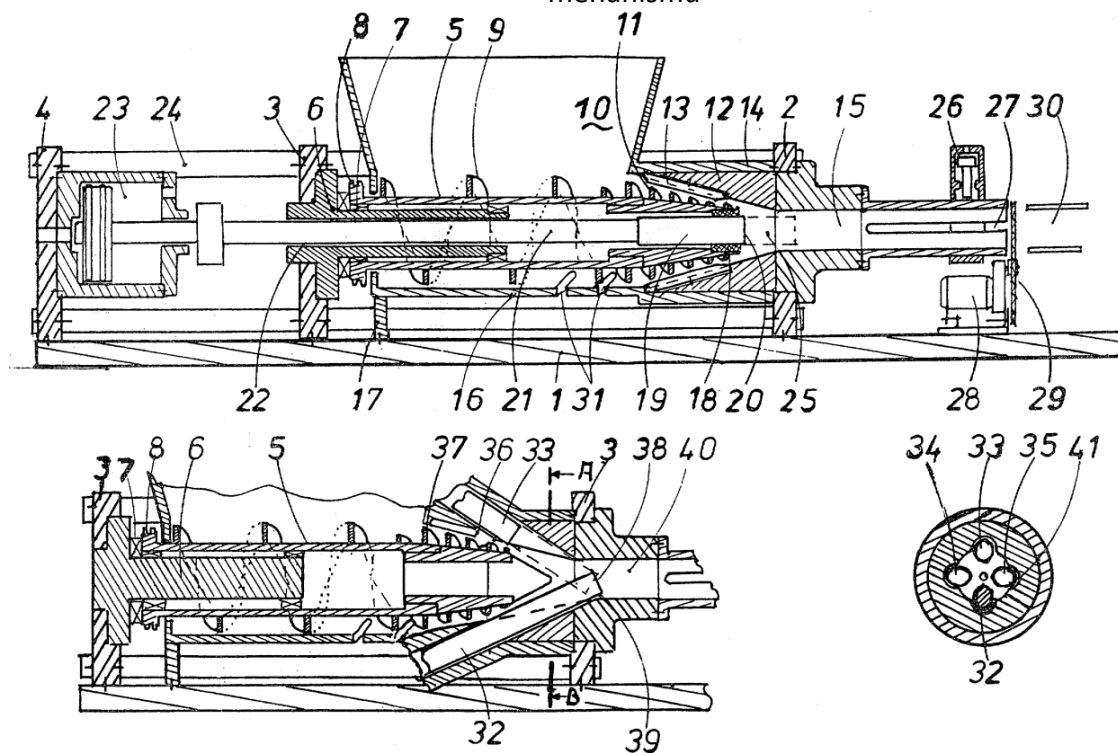
Gliemežpreses gliemeži un presformas

28. att. Rūpnieciskā gliemežprese [29]

Gliemežpreses konstrukcijas piemēri, kas atrodami patentos doti 29. un 30. attēlos [30, 31]. 29. attēlā parādītā prese domāta stiebraugu materiālu briketēšanai. Stiebru materiāli tiek padoti pa transportēšanas lenti uz padeves gliemežtransportieri. Padeves gliemežtransportieris šo sasmalcināto masu sablīvē, pirms ievada skrūves tipa presē. Tālāk koniskā skrūve sablīvē briķeti līdz vajadzīgajam blīvumam. Galvenais trūkums ir kompaktēšanas lielais īpatnējās enerģijas patēriņš un ātras skrūves dilšana, kas prasa biežus remontus.

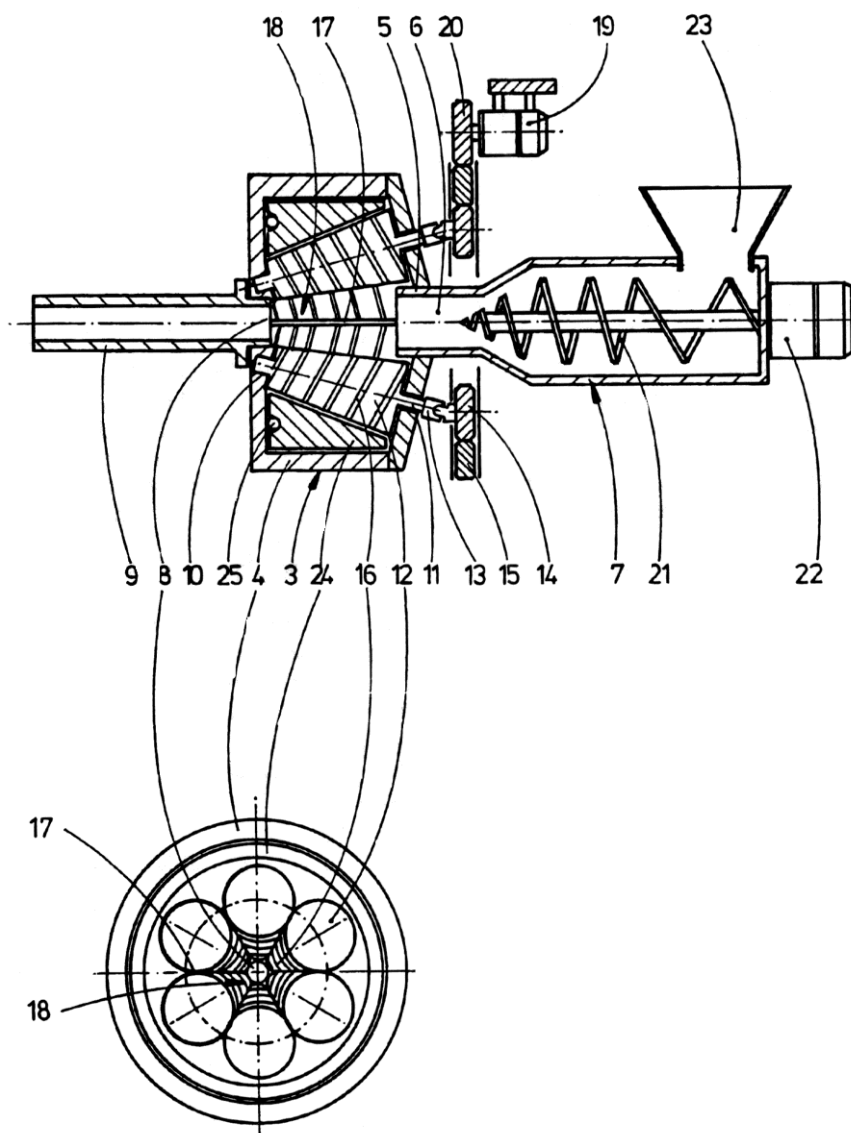


29. att. Patents US5302102: Gliemežpreses briketēšanas shēma ar materiāla padeves mehānismu



30. att. Patents DE3422658A1: Gliemežpreses briketēšanas mehānisms

Skrūves, ruļļu tipa presē ir apvienoti divi kompaktēšanas veidi: skrūves un koniskie ruļļi (31. att.). Kompaktēšana notiek divos etapos. Vispirms stiebru materiāli tiek sakompaktēti ar skrūves tipa presi, bet pēc tam kompaktēšana turpinās ar konisko ruļļu presi. Galvenā priekšrocība salīdzinot ar skrūves tipa presi ir mazāks kompaktēšanas īpatnējais enerģijas patēriņš.



31. att. Skrūves, ruļļu tipa prese

GRANULĀTORI

Lai gan matricu tipi un granulātoru spiedēj mehānisma iekārtas ir atšķirīgas, bet praktiski visām iekārtām ir sekojošas daļas: padeves iekārta, matrica, ruļļi, dzinējs, zobrati un rāmis.

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 šo materiālu matricas urbumos. Pēc tam atkal tiek

uzklāta jauna materiāla kārtā un rullis atkal presē cauri matricas urbumiem, kur izveidojas granulas.

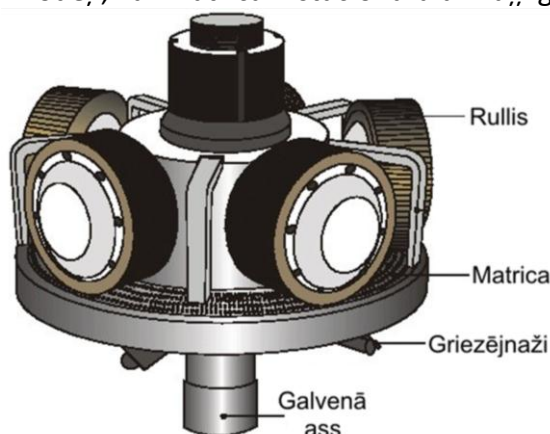
Matrica un ruļļi ir izgatavoti no nodilumizturīga materiāla. Visplašāk pielietotais matricas materiāls ir rūdīts hroma tērauds, kura virsma ir karstumizturīga.

Matrica, ruļļi un griezēj naži ir dilstošās daļas un tiek mainīti periodiski.

Plaknes virsmas matrica

Plaknes virsmas presēšanas mehānisms ir bāzēts uz apaļa plaknes virsmas matricas un uz tā novietotiem presēšanas ruļļiem (32. att.).

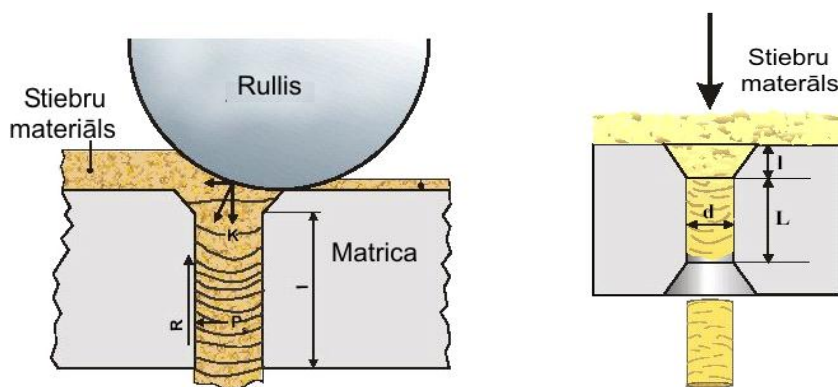
Ruļļu skaits var būt no 2 – 6, tas atkarīgs no iekārtas lieluma. Ir modeļi, kur matrica griežas un ruļļi ir stacionāri, un citi modeļi, kur matrica ir stacionāra un ruļļi griežas.



32. att. Plaknes virsmas matrica

Ir sešas svarīgas lietas, kas ietekmē granulēšanas procesu :

- ✓ sakarība starp stiebru materiāla īpašībām, saspiešanas kapacitāti un stiebru materiāla savilkšanas procesu;
- ✓ matricas urbumu berzes raksturojums;
- ✓ urbuma garums un diametrs (33. att.);
- ✓ stiebru materiāla segas biezums un no tā atkarīgs stiebru materiāla savilkšanas spēks urbumā;
- ✓ ruļļu ātrums;
- ✓ matricas materiāls, urbuma izejas forma un ruļļi.



33. att. Granulu veidošanas process

Granulu berzes pretestības formula :

$$R = \mu P_s U l$$

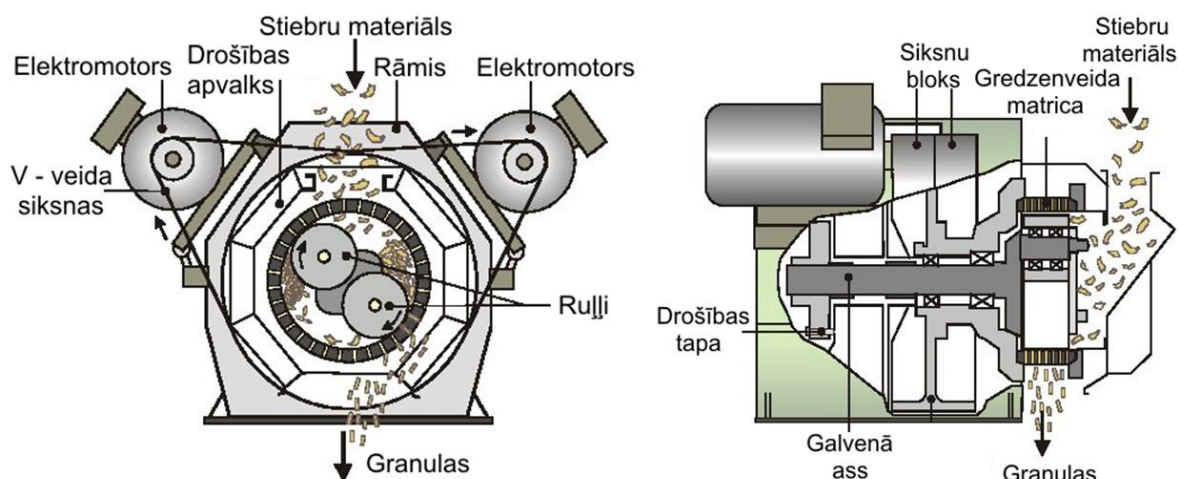
kur: R - berzes pretestība, N;
 μ - berzes koeficients;
 P_s – sienas spiediens, N m⁻²;
 U – urbuma diametrs, m;
 l – urbuma garums, m.

Atstarpe starp matricu un rulli ietekmē granulu kvalitāti, enerģijas patēriņu un iekārtas nodilumu. Palielinot atstarpi no 0 – 1 mm palielinājās enerģijas patēriņš 1.2 reizes, bet vienlaikus smalkuma daudzums samazinājās par 30 %.

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

(34 att.), vai rotējošu matricu. Ir arī iekārtas, kur rotē gan ruļļi, gan matrica.

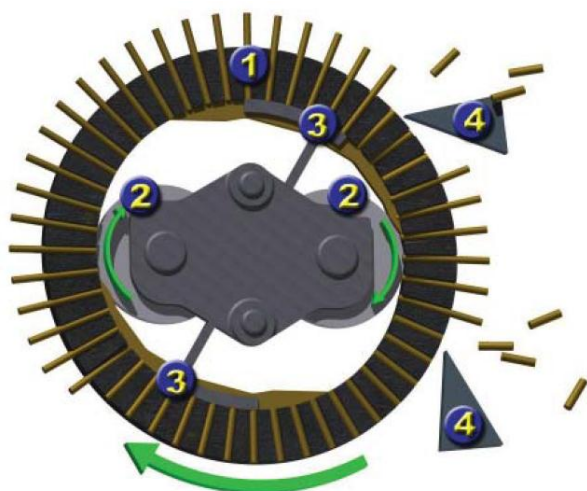


34. att. Vertikāli novietota gredzenveida matrica

Granulēšana ir līdzīga briketēšanai, tikai izmanto mazāka izmēra urbumus matricās (apmēram mazākus par 30 mm) un gatavo 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.

Granulēšanas procesu ietekmē vairāki parametri: materiālu raksturojoši parametri (mitrums, tilpumblīvums, mehāniskās īpašības, u. c.), granulātorā tips (plaknes vai gredzenveida), matricas urbuma ģeometriskie parametri (forma, diametrs, presēšanas kanāla garums), ruļļu diametrs, rotācijas ātrums, forma, u.c.

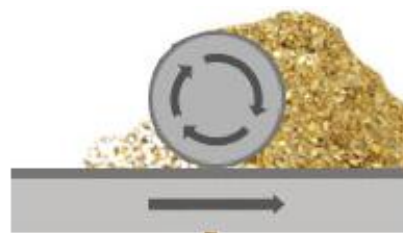
Gredzena un plaknes tipa granulātoru shēmas redzamas 35. attēlā [37].



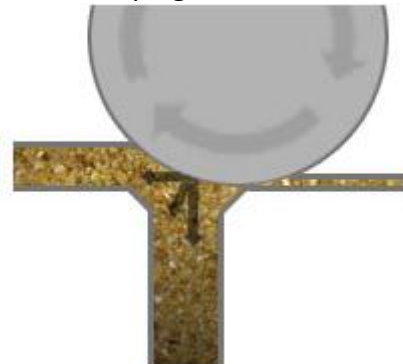
Gredzena tipa granulātors shēma:

1 – matrica; 2 – ruļļi; 3 – maisītāji;

4 – granulu nogriešanas asmeņi



Plaknes tipa granulātors shēma

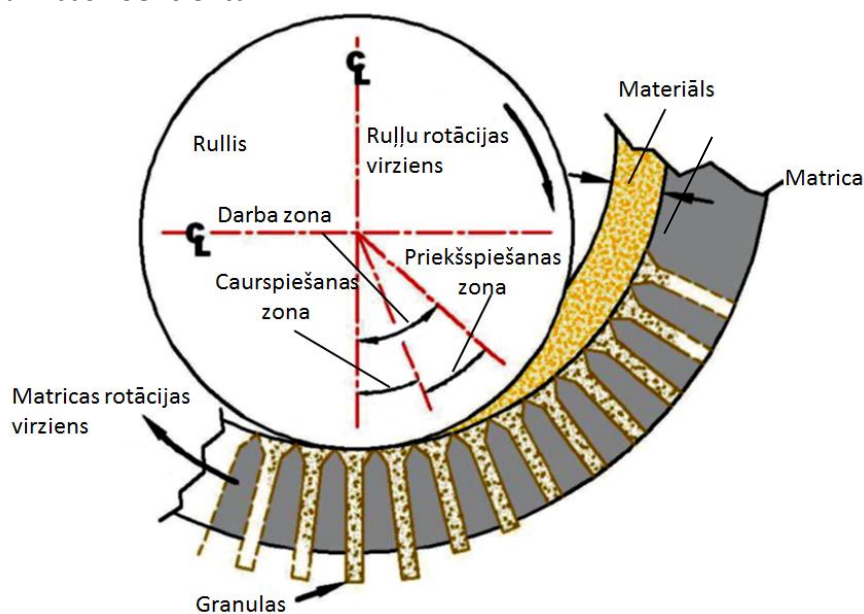


Materiāla presēšanas shēma

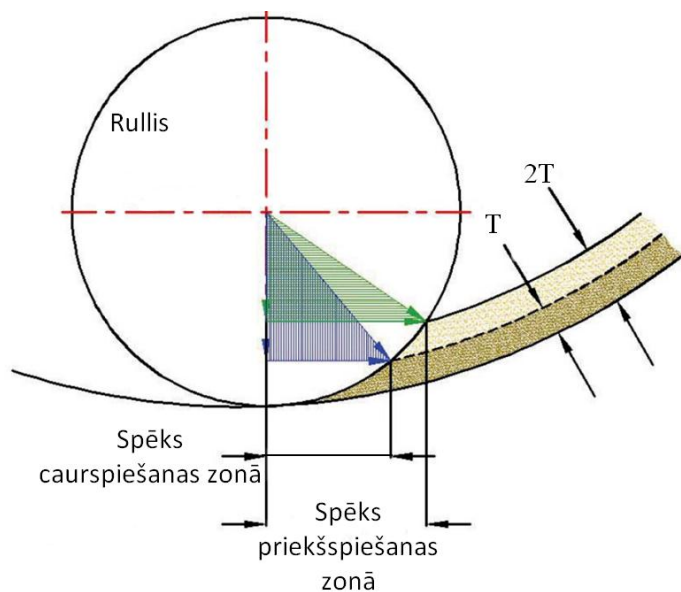
35. att. Granulātoru shēma

Granulēšanas procesa matemātiskajā analīzē pielieto likumsakarības, kas tiek izmantotas, veicot matemātisko analīzi kompaktēšanai ar virzuļpresi un ruļļu presi. Materiāla presēšanā caur matricas urbumiem notiek līdzīgi procesi, kā nepārtrauktās presēšanas presformā virzuļpresēm. Galvenie granulēšanas procesu, raksturojošie parametri, shematiski attēloti 36. attēlā.

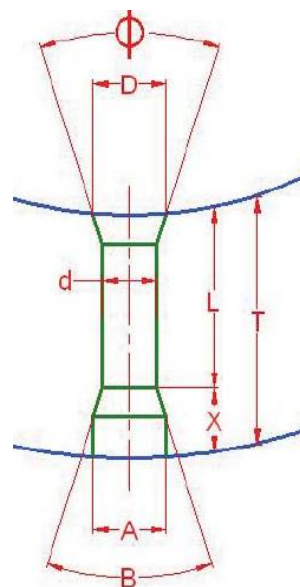
Materiāla presēšana, līdzīgi kā ruļļu presēm notiek divās zonās – priekšspiešanas un caurspiešanas zonā. Granulu kvalitāti būtiski ietekmē urbumu garuma un diametra attiecība, ko sauc par saspiežamības koeficientu.



Granulēšanas procesa shēma



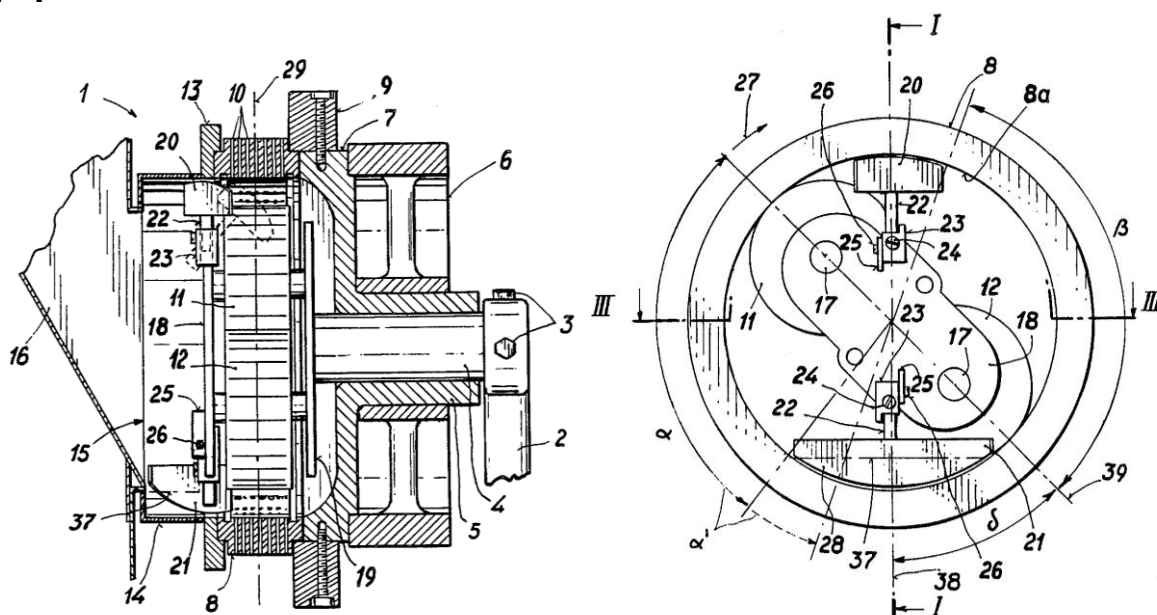
Spēku sadalījums diagramma rullļa darba zonā



Matricas urbums: Φ –
iepildīšanas leņķis; D –
iepildīšanas diametrs;
d – granulas diametrs;
A – paplašinājuma diametrs;
B – paplašinājuma leņķis;
L – efektīvais garums; T –
matricas biezums; X –
paplašinājuma garums

36. att. Granulēšanas procesu raksturojošie parametri

Gredzena tipa granulātoru konstrukcijas piemēri, kas atrodami patentos doti 37. attēlā [39].



37. att. Patents US4711622 Granulātors

RUĻĻU PRESE

Ruļļu preses retāk tiek izmantotas biomasas briketēšanai. Šo principu parasti pielieto granulēšanas iekārtās. Ruļļu presēm nepieciešams materiāls ar daudz smalkāku frakciju nekā virzuļpresēm vai gliemežpresēm. Ruļļu presēm ir vismazākais enerģijas patēriņš, salīdzinot ar virzuļpresēm un gliemežpresēm. Briketēšanas spiediens tiek radīts starp diviem rotējošiem ruļļiem. Rūpnieciskās ruļļu preses piemērs redzams 38. attēlā [32].



Ruļļu prese ZBJ-I



Ruļļu preses ruļļi

38. att. Rūpnieciskā ruļļu prese

Ruļļu tipa briketētāja pamat sastāvdaļas ir divi rotējoši ruļļi, kuru platums nav lielāks par 0,5 no ruļļu diametra, ar pus briketes iedobumiem uz ruļļu virsmas (39. att.).

Materiāls tiek padots starp ruļļiem, tiem griežoties, smalcinātais materiāls tiek ruļļu dobumos sapresēts.

Modernās ruļļu presēs viens rullis ir iemontēts fiksētos gultņu blokos un otrs rullis ir iemontēts kustīgā gultņu blokā. Nepieciešamo spiedienu starp ruļļiem nodrošina ar hidrauliskā cilindra palīdzību, kurš savienots ar kustīgo rulli.



39. att. Ruļļu prese

Hidrauliskajā sistēmā nepieciešamo spiedienu nodrošina ar slāpekļa akumulatora palīdzību, kas nodrošina ruļļu pārvietošanos pie konstanta spiediena. Spiediens tiek kontrolēts gāzes akumulatorā.

Ruļļu preses ražīgumu var aprēķināt pēc sekojošas formulas :

$$Q = 3.14 D W T \mu N 60 \quad (20)$$

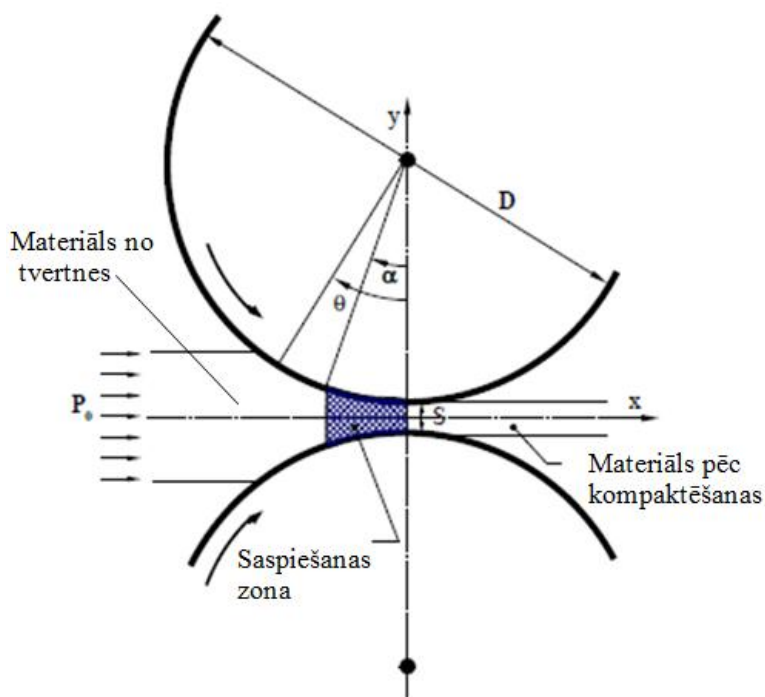
kur: Q – ruļļu preses ražība, kg h^{-1} ;
 D – ruļļu diametrs, m;
 W – ruļļu platums, m;
 T – briketes biezums, m;
 μ – smalkumu blīvums, kg m^{-3} ;
 N – ruļļu ātrums, apg min^{-1} .

Kompaktēšanas procesa teorētiskais apraksts ruļļu presēm.

Galvenie parametri, kas ietekmē kompaktēšanas procesu ruļļu presēs ir: darbības parametri (ruļļu piespiešanas spēks, rotācijas ātrums, griezes moments, materiāla padošanas spiediens, inerce, u.c.); ģeometriskie parametri (ruļļu diametrs, ruļļu platums, spraugas lielums starp ruļļiem); materiāla īpašības (materiāla tilpumblīvums, mitrums, berzes leņķis, u.c.); triboloģiskie parametri (berze starp materiālu un ruļļu virsmu).

Materiāla kompaktēšanas procesu iespējams iedalīt vairākos posmos (sk. 40. att.) [33]. Sākotnēji materiāls tiek padots uz barošanas zonu pirms ruļļiem. Materiāla padošana no tvertnes tiek nodrošināta, izmantojot gliemežkonveijeru vai pielietojot gravitācijas īpašības. Šajā posmā materiāla blīvums neizmainās.

Tālāk materiāls nonākot spiešanas zonā. Tas tiek saspiests starp ruļļu virsmām, taču spiediens nav pietiekoši liels, lai tiktu novērsta materiāla izslīdēšana. Šajā zonā materiāls tiek pakļauts nelielām bīdes deformācijām.



40. att. Materiāla kompaktēšanas shēma ar ruļļu presi

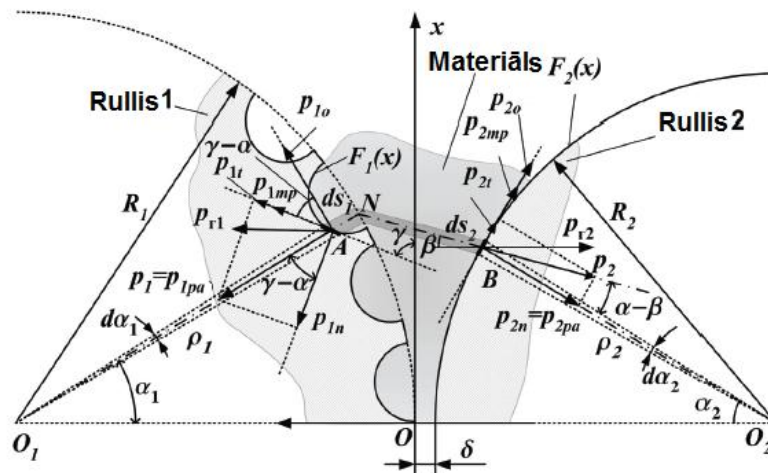
Pārvietojoties x ass virzienā, materiāls aizpilda ruļļu virsmā esošās iedobes un nonāk saspiešanas zonas vidusdaļā. Saspiešanas zonas vidusdaļā materiāls pārstāj izslīdēt un tas sāk pārvietoties ar tādu pašu ātrumu kā ruļļu virsma. Pārejas punktu parasti sauc par saspiešanas leņķi α .

Materiālam virzoties tālāk, aiz leņķa α , ruļļu spiediena ietekmē, tas tiek sakompaktēts līdz lielumam, kas vienāds ar spraugas izmēru starp ruļļiem.

Aiz saspiešanas zonas materiāls pārvietojas ar lielāku ātrumu nekā ruļļi, un no ruļļu iedobēm, tas izkrīt gatavās produkcijas uzkrāšanas tvertnē.

Galvenie uzdevumi, kas jāatrisina projektējot ruļļu preses ir noteikt maksimālo spiedienu, ar kādu kompaktējama materiāls tiek saspīests starp ruļļiem un presēšanas momenta aprēķins. Maksimālais spiediens tiek sasniegts šaurākajā spraugas s posmā, kad leņķis $\theta = 0$ (sk. 40. att.).

Maksimālā spiediena P un presēšanas momenta M_p aprēķinu shēma dota 41. attēlā [34].



41. att. Ruļļu preses teorētiskā aprēķinu shēma

Veicot aprēķinus tiek pieņemts, ka ruļļu rādiusi $R_1 = R_2$ un leņķiskie ātrumi $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ ir vienādi. Masas kompaktēšanas nosacījumu ievērošanai jānodrošina vienādus spiešanas leņķus abiem ruļļiem $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$. Laukumos d_{s1} un d_{s2} darbojas spriegumi (spiedieni) p_1 un p_2 , kas tiek radīti ruļļu spiešanas spēku iedarbības rezultātā. Šo spriegumu vērtības ir vienādas. Normālos un tangenciālos spriegumus aprēķina:

$$p_{1n} = p_1 \cos(\gamma - \alpha_1); \quad (21)$$

$$p_{1t} = p_1 \sin(\gamma - \alpha_1), \quad (22)$$

kur $\gamma = \arctg(F_1'(x));$

F_1 – funkcija, kas apraksta ruļļu virsmas kontūru.

Normālos un tangenciālos spiedienus laukumā d_{s2} apraksta vienādojumi:

$$p_{2n} = p_2 \sin(\alpha_2 - \beta); \quad (23)$$

$$p_{2t} = p_2 \sin(\alpha_2 - \beta), \quad (24)$$

kur
$$\beta = \arctg\left(\frac{(R_1 - R_2)\sin\alpha_2}{(R_1 + R_2)(1 - \cos\alpha_2) + \delta}\right);$$

δ – sprauga starp ruļļiem.

Kontaktspriegumi, kas rodas materiālam plūstot gar ruļļu virsmu:

$$p_{1mp} = f_1 p_{1n}; \quad (25)$$

$$p_{2mp} = f_1 p_{2n}, \quad (26)$$

kur f_1 – berzes koeficients.

Spriegums horizontālajā plaknē, kas darbojas uz elementārlaukumu d_{s1} :

$$p_{H1} = p_1 (\cos \alpha_1 + f_1 \cos(\gamma - \alpha_1) \sin \gamma). \quad (27)$$

Pārveidojot iegūst:

$$dP_1 = p_1 \cos \alpha_1 + f_1 \cos(\arctg(F'_1(\alpha_1) \cos \alpha_1 - R_1) - \alpha_1) \sin(\arctg(F'_1(\alpha_1) \cos \alpha_1 - R_1)) d_{s1}. \quad (28)$$

Spēks, kas tiek attīstīts materiāla saspiešanas brīdī vienai ruļļu presformas elementu rindai:

$$P_1 = h \sum dP_1, \quad (29)$$

kur h – ruļļu presformas elementa platums.

Kopējais presēšanas spēks:

$$P = P_1 z, \quad (30)$$

kur z – ruļļu presformas elementu rindu skaits ruļļī.

Griezes moments, kas darbojas uz elementārlaukumiem d_{s1} un d_{s2} :

$$dM_1 = f_1 p_1 \cos(\arctg(F'_1(\alpha_1)) \cos \alpha_1 - R_1) (F(\alpha_1))^2 d\alpha_1; \quad (31)$$

$$dM_2 = p_2 R_2^2 (f_1 \cos(\alpha_2 - \beta) + \sin(\alpha_2 - \beta)) d\alpha_2. \quad (32)$$

Griezes moments, ko rada darbīgie spēki vienai presformas elementu rindai:

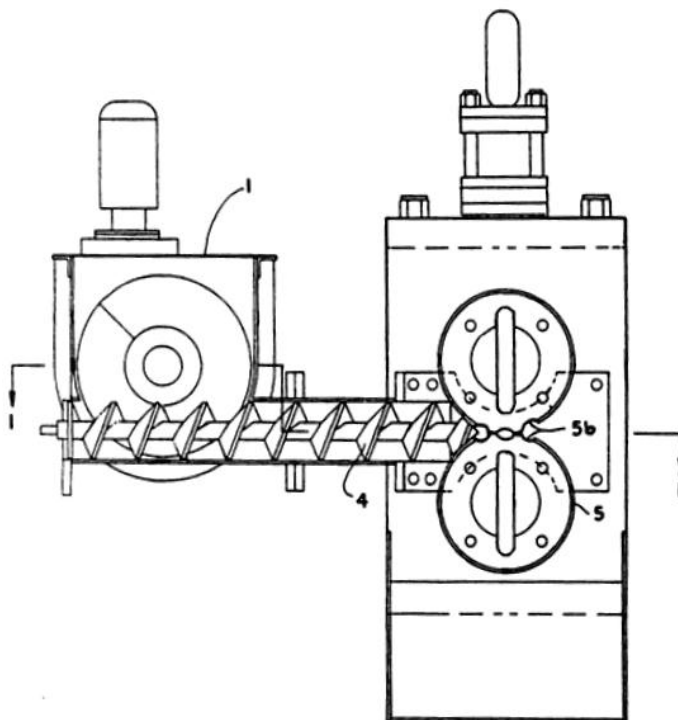
$$M_1 = h_1 \sum dM_1, \quad (33)$$

$$M_2 = h_1 \sum dM_2. \quad (34)$$

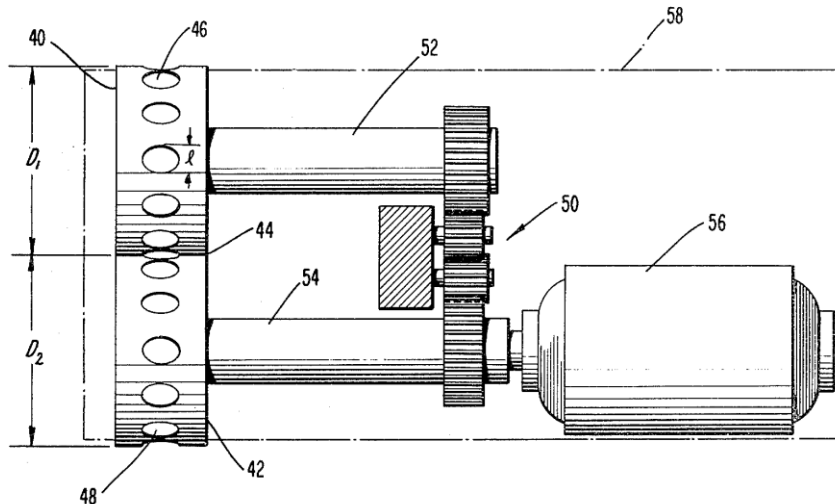
Kopējais griezes moments:

$$M = (M_1 + M_2) z. \quad (35)$$

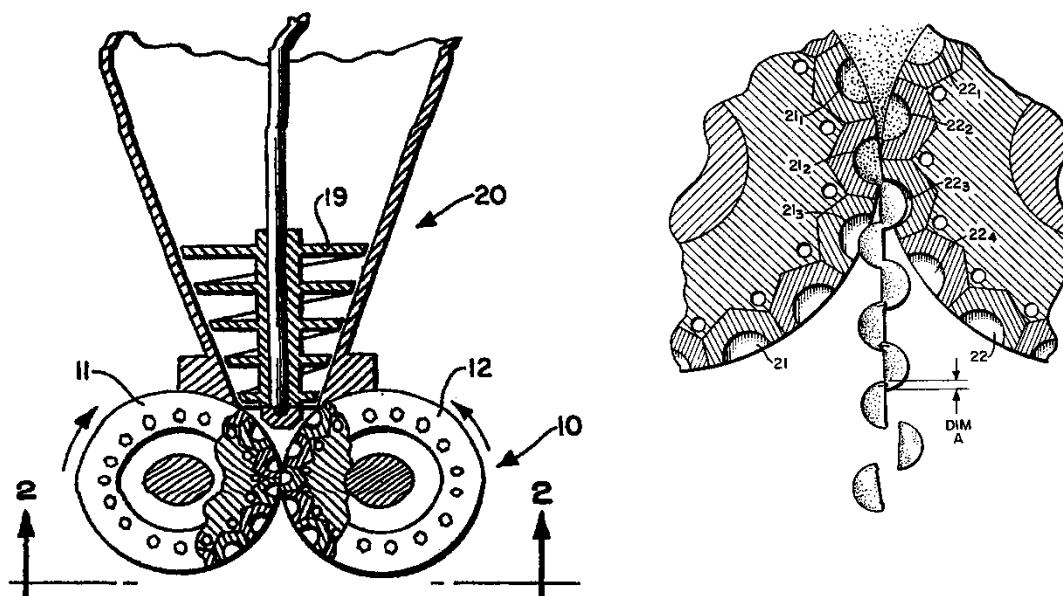
Ruļļu preses konstrukcijas piemēri, kas atrodami patentos doti 42. un 43. attēlos [35, 36].



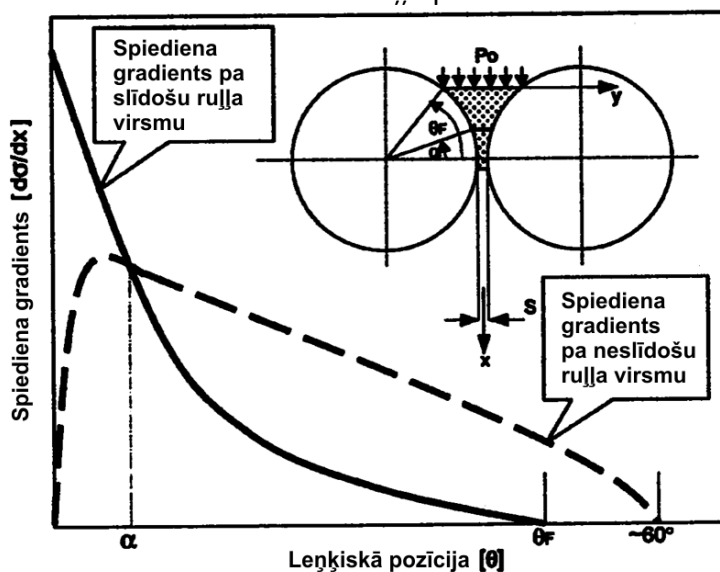
42. att. Patents US5017124 Biomasas briketētājs



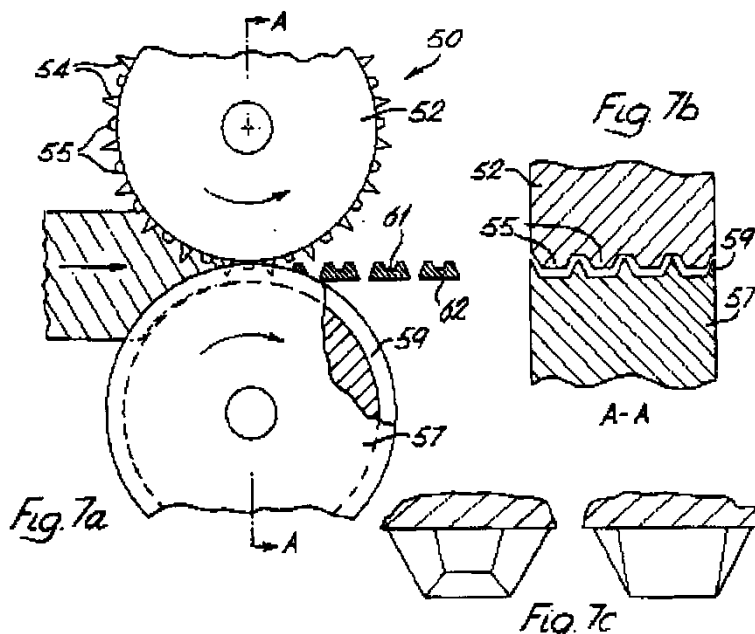
43. att. Patents US4249878 Briketēšanas prese



44. att. Ruļļu preses darbība



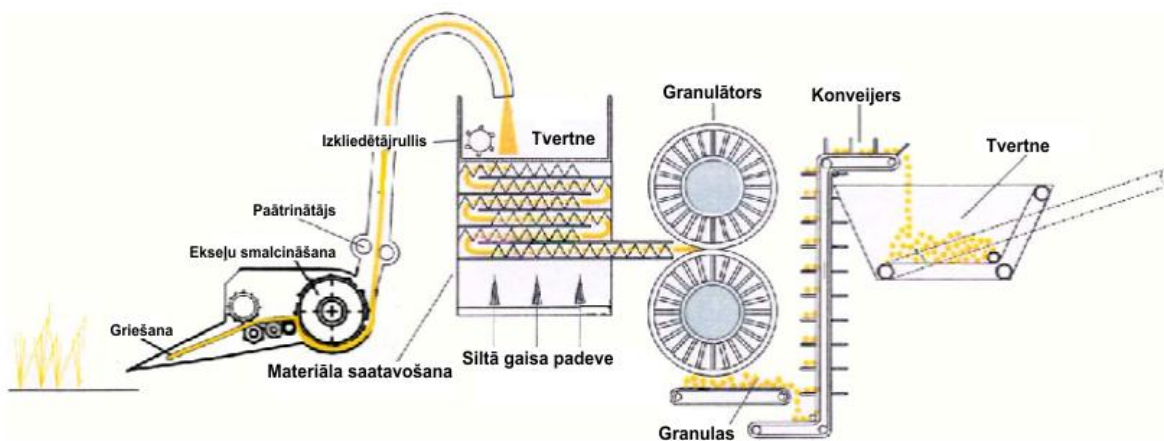
45. att. Spiediena raksturlīknes



46. att. Kompaktēšanas rullu veidi

MOBILAIS PAŠGĀJĒJS GRANULĀTORS "BIOTRUCK"

Mobilā pašgājēja "Biotruck" granulēšanas iekārta (0.att.). Šajā iekārtā ir apvienoti vairāki stiebraugu kondicionēšanas veidi. No tehnoloģiskās plūsmas virziena pirmais ir sausu stiebraugu plāvējs, tad smalcinātājs. No smalcinātāja sasmalcinātie stiebraugi nonāk seperēšanas daļā un pēc tam tiek granulēti. Granulas pa konveijeru nonāk uzkrāšanas tvertnē.



47. att. Mobilā "Biotruck" granulēšanas iekārta

BIOMASAS MAISĪJUMA BLĪVUMA NOTEIKŠANA

Jebkuras atsevišķas vielas blīvumu var noteikt, attiecinot dotās vielas masu pret tās aizņemto tilpumu, ko izsaka šādi:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (36)$$

kur: ρ – blīvums, kg m^{-3} ;
 m – masa, kg ;
 V – tilpums, m^3 .

Lai noteiktu blīvumu biomasas maisījumam kopumā ir nepieciešams aprēķināt piejaukuma masas koeficientu:

$$k = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \quad (37)$$

kur k – piejaukuma masas koeficients;
 m_1 – pamat komponentes masa, kg ;
 m_2 – piejaukuma komponentes masa, kg .

Blīvums, kuru iegūst izveidojot maisījumu no vienāda lieluma komponentu daļiņām, ir izsakāms:

$$\rho = \frac{\frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2}}}{\rho_1 \quad \rho_2} \quad (38)$$

kur ρ_1 – blīvums pamata komponentei, kg m^{-3} ;
 ρ_2 – blīvums piejaukuma komponentei, kg m^{-3} .

Izsakot no izteiksmes (37) pamata sastāva masu, to var noteikt eksperimentāli ar formulu (39), ja zināma piejaukuma komponentes masa un piejaukuma koeficients:

$$m_1 = \frac{k}{1-k} \cdot m_2 \quad (39)$$

Apvienojot vienādojumus (38) un (39) iegūst, ka:

$$\rho = \frac{\frac{k}{1-k} \cdot m_2 + m_2}{\frac{k}{1-k} \cdot \frac{m_2}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2}} \quad (40)$$

Vienkāršojot izteiksmi (40) iegūst, ka:

$$\rho = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{k \cdot \rho_2 + (1-k) \cdot \rho_1} \quad (41)$$

Pie zināmas maisījuma komponentu blīvuma attiecības:

$$C = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (42)$$

kur C – maisījuma komponentu blīvuma attiecība.

Iegūst, ka maisījuma blīvums ir:

$$\rho = \frac{\rho_2^2 \cdot C}{k \cdot \rho_2 \cdot (1-k) \cdot \rho_2 \cdot C} \quad (43)$$

Vienkāršojot izteiksmi (43) iegūst, ka:

$$\rho = \frac{\rho_1}{k + (1-k) \cdot C} \quad (44)$$

BRIKEŠU UN GRANULU KVALITĀTES TEORĒTISKĀ IZPĒTE

BRIKEŠU UN GRANULU KVALITĀTI REGLAMENTĒJOŠO STANDARTU APSKATS

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).

Transportēšanas un lietošanas apstākļos biomasu briketēm un granulām ir nepieciešams nodrošināt to pietiekamu blīvumu un mehānisku izturību. Taču cietās biodegvielas pircējs ir ieinteresēts zināt, cik liela ir tās siltumspēja un kāds ir tās ķīmiskais sastāvs, lai tas nebojātu apkures katlus. Lai tas būtu visiem pieņemams, nepieciešams kopējs standarts. Šai sakarā tiek izstrādāti pamat standarti cietam kurināmajam Tehniskajā Komitejā – CEN/TC 335 - *cietais kurināmais (CEN/TC 335 „Solid biofuels”)*.

Nodibināta jauna tehniskā komiteja CEN TC 335 „Solid biofuels” Eiropas standartizācijas organizācijas CEN ietvaros. Tehniskā komiteja par vadošo izvēlējusies Zviedriju, kura vada sekretariātu par cietajām biodegvielām, un kura priekšsēdētāja ir Dr. Birgit Bodlund un sekretārs Lars Sjöberg no SIS.

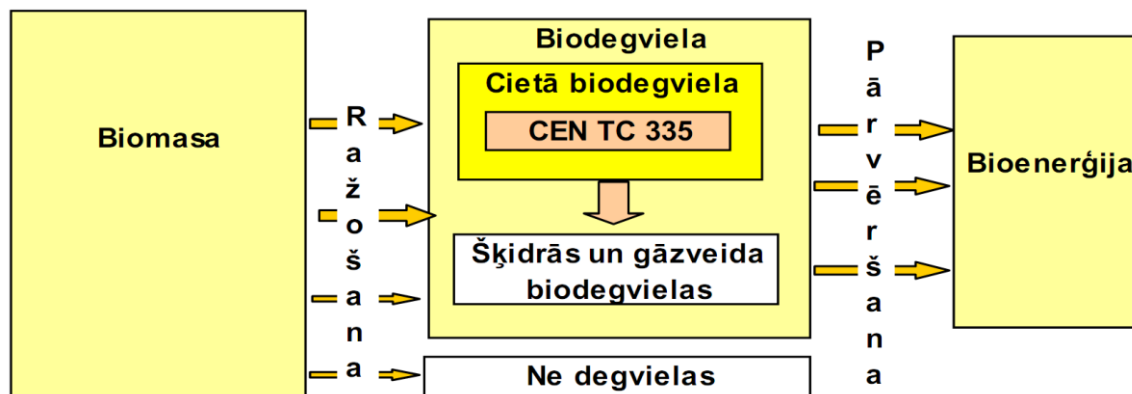
Standarta izstrāde sadalīta 5 darba grupās:

- 1) „Terminoloģija, definīcijas un apraksts” - Vācija,
- 2) „Degvielu specifikācija, klases un kvalitātes drošums” - Somija,
- 3) „Pauga ņemšana un paraugu sagatavošana” - Nīderlande,
- 4) „Fizikālās un mehāniskās pārbaudes metodes” - Zviedrija,
- 5) „Ķīmiskās pārbaudes metodes” - Nīderlande.

Tehniskā komiteja TC 335 Solid biofuels Cietās biodegvielas pašreiz gatavo 30 tehniskos noteikumus par cietajām biodegvielām. Vistālāk pavisināties ir divi:

- 1) klasifikācija un specifikācija (CEN/TS 14961) un
- 2) kvalitātes prasības (CEN/TS 15234).

48. attēls raksturo bioenerģijas utilizācijas ķēdi no biomasas resursiem līdz biomasas pārstrādei līdz izmantojamajai gala enerģijai.



48. att. Cieto biodegvielu standartizācijas process[40]

Saskaņā ar mandātu, kurš izdots standartizācijas darbam tehniskās komitejas (TC335) jomā, iekļauj tikai cietās biodegvielas, kuras radušās no sekojošiem izcelsmes avotiem:

- ✓ lauksaimniecības un mežsaimniecības produkti;
- ✓ augu atkritumi no lauksaimniecības un mežsaimniecības;
- ✓ augu atkritumi no pārtikas pārstrādes rūpniecības koksnes atkritumi, izņemot koksnes atkritumus, kuri var saturēt halogenētus organiskos savienojumus vai smagos metālus, kā koksnes apstrādes ar konservētājiem vai pārklājumiem un kas ietver it sevišķi šādus koksnes atkritumus ar celtniecības un nojaukšanas atkritumu izcelsmi;
- ✓ šķiedrainus augu atkritumus no dabīgās celulozes un no tās papīra ražošanas, ja tie ir sadedzināti ražošanas vietā sītuma iegūšanai
- ✓ korķa atkritumus.[40, 41, 42]

CIETO BIODEGVIELU KLASIFIKĀCIJA

Klasifikācija standarta tehniskās specifikācijas dokumentā *LVS CEN/TS 14588:2011 „Cietās biodegvielas. Terminoloģija, definīcijas, apraksti”* balstās uz izcelsmi un avotu. Hierarhiskā klasifikācijas sistēmā galvenās cieto biodegvielu izcelsmes grupas ir:

- ✓ kokaina biomasa;
- ✓ zāles biomasa;
- ✓ augļu biomasa;
- ✓ maisījumi un sajaukumi

Kokaina biomasa ir koku, krūmu un krūmāju biomasa. Zāles biomasa ir no nekokainiem stiebiem, kuri atmirst augšanas sezonas beigās, veidotā biomasa. Augļu biomasa ir no sēklas saturošām auga daļā veidota biomasa [41, 42].

Pneimatiskai granulu pārvietošanai un glabāšanai nozīmīgs ir granulu blīvums un kvalitāte. Zviedrijā, Austrijā, Vācijā un Itālijā eksistē atšķirīgas normas biokurināmam, turpretī Somijā, Nīderlandē un Šveicē līdz šim eksistē tikai direktīvas vai rokasgrāmatas, kas domātas atsevišķa kurināmā īpašību aprakstīšanai.

Standarts EN 14961: Cietais kurināmais – kurināmā īpašības un klases: nosaka brikešu blīvumu $\rho = 800 - 1200 \text{ kg m}^{-3}$. Rekomendētais blīvums augstas kvalitātes kokskaidu briketēm ir $\rho > 1000 \text{ kg m}^{-3}$. Šī vērtība tika izmantota stiebraugu materiālu kompaktēšanas rezultātu novērtējumam.

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.

Standarti paredzēti produktīvākai biokurināmā pielietošanai, kā arī labai sapratnei starp pircēju un pārdevēju. Standarti lieti noder arī iekārtu ražotājiem.

Standarti un sertifikāti ir jāuzskata par tirdzniecības aizsardzību pret nekvalitatīvu AER (Atjaunojamie Enerģijas Resursi) tehnoloģiju piegādātājiem.

Vairākās valstīs (Šveicē, Austrijā, Zviedrijā, Norvēģijā, u.c.) ir izstrādāti savi standarti ar pamatprasībām granulu kvalitātes kontrolei, piemēram, Vācijā – DIN 51731, Zviedrijā – SS 187120. Standartos noteiktās pamatprasības ir - granulu un brikešu izmēriem, to mitrumam, pelnu saturam, siltumspējai, blīvumam, kā arī vairāku mikroelementu (hlora, slāpekļa, sēra un

smago metālu - arsēna, hroma, dzīvsudraba, tai skaitā lieluma, garuma, platuma, diametra, izmēru pielaide u.c.) pieļaujamam daudzumam (49. att.):

Specification	Austria ÖNORM M7135 Holzpresslinge	Sweden SS 18 71 20 Gruppe 1	Germany DIN 51731 / DIN plus 5 Längenklassen	Italy CTI - R04/5 A no additives	British BioGen / UK Code of good practice
Size	- Pellets : 4 - 20 mm Ø max. 100 mm lg. - Briquets: 20 - 120 mm Ø max. 400 mm lg.	max. 4 mm Ø***)	Länge Ø HP1 >30 HP2 15-30 HP3 10-15 HP4 <10 HP5 <5	6 mm, 8 mm 6 mm, 8 mm 6 mm, 8 mm 6 mm, 8 mm 6 mm, 8 mm	premium fuel pellets <4mm- 20 mm recovered fuel pellets > 10mm-<20mm
Bulk density		≥ 600 kg/m ³ *)	≥ 500 kg/m ³	620 - 720 kg/m ³	>500 kg/m ³ *)
Fines in % <3mm		≤ 0,8	≤ 1,5	620 - 720 kg/m ³	<0,5 %
Unit density	≥ 1,0 kg/dm ³				>40 pounds/cubic ft. ±1 0,527 kg/dm ³
Moisture content	≤ 12 %	≤ 10 %	≤ 12 %	≤ 10 %	≤ 10 %
Ash content	≤ 0,5 % *)	≤ 0,7 %	≤ 1,5 %	≤ 0,7 %	< 1 %, < 3 % or 6
Calorific value	≥ 18,0 MJ/kg*)	≥ 16,9 MJ/kg ≥ 4,7 kWh/kg	≥ 16,9 MJ/kg 4,7 kWh/kg	≥ 16,9 MJ/kg	>4,2 kWh/kg
Sulphur	≤ 0,04 %*)	≤ 0,08 %	anges	≤ 0,05 %	< 300 ppm
Nitrogen	≤ 0,3 %*)		< 0,3	≤ 0,3 %	
Chlorine	≤ 0,02 %*)	≤ 0,03 %	anges	≤ 0,03 %	< 800 ppm
Arsenic			<0,8 mg/kg		
Cadmium			<0,5 mg/kg		
Chromium			<8 mg/kg		
Copper			<5 mg/kg		
Mercury			<0,05 mg/kg		
Lead			<10 mg/kg		
Zinc			<100 mg/kg		
EOX, extractabl.org. halogens			<3 mg/kg	≤ 1,0 %	to be stated
Fines, bevor delivery to customer	max. 1 %		max. 1 %		
Additives	max. 2 % only natural	to be stated	to be stated	to be stated	to be stated
Ash melting point		temperatur to be stated			
Durability				≥ 97,7 %	≥ 90,0 %

49. att. Kurināmā granulu vispārējs nacionālo robežvērtību standartu pārskats

Nepieciešams ir standartizēt, normēt biomasas fizikāli – mehāniskās un ķīmiskās īpašības, kā, piemēram, (forma, lielums, izturība, mitrums u.c.). Rezultātā šie standarti un normas būtu 2010/0306/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/128

palīgs gan ražotājiem, gan patērētājiem saprasties vietējā un ārpus vietējā tirgus. Kā arī šie standarti un normas varētu būt informatīvs palīgs jauno un arī veco privātmāju īpašniekiem biokurināmā un kurtuves izvēlē.

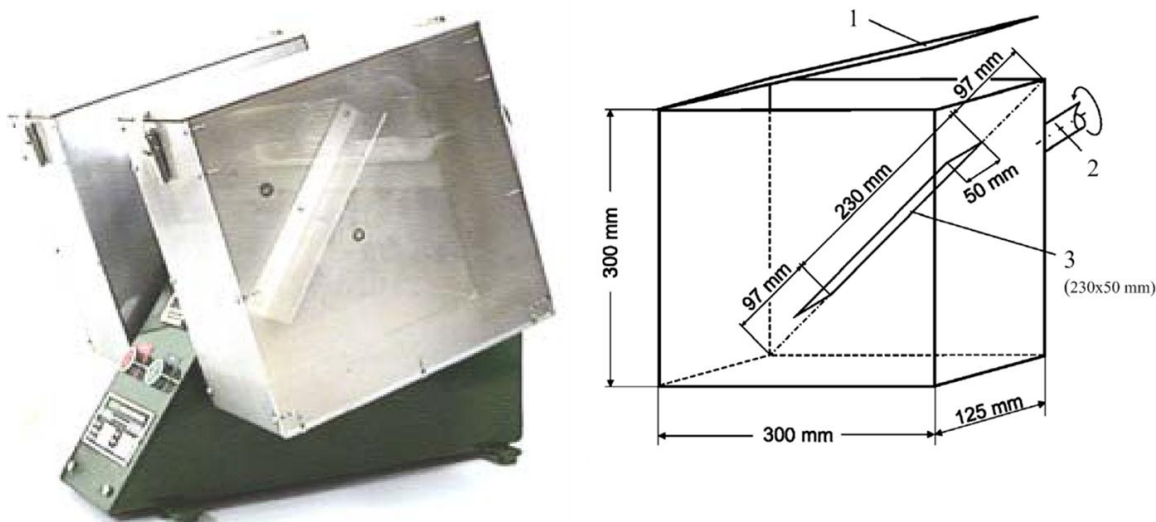
Līdz 2010.gadam cieto biokurināmo mehāniskās izturības pārbaudes standarts bija izstrādāts Norvēģijai, Austrijai un Zviedrijai, bet nesen ir iznācis arī Eiropas CEN (European Committee for Standardization) standarts cietajam biokurināmajam:

- ✓ **EN 15210-1:2010** (Angļu) **Cietais biokurināmais.** – Granulu un brikešu mehāniskās ilgizturības noteikšanas metodes. 1. daļa: Granulas.
- ✓ **EN 15210-2:2010** (Angļu) **Cietās biodeģvielas.** – Granulu un brikešu mehāniskās ilgizturības noteikšanas metodes. 2. daļa: Briketes.

Šis standarts ir pieejams arī Latvijas Valsts Standartu birojā:

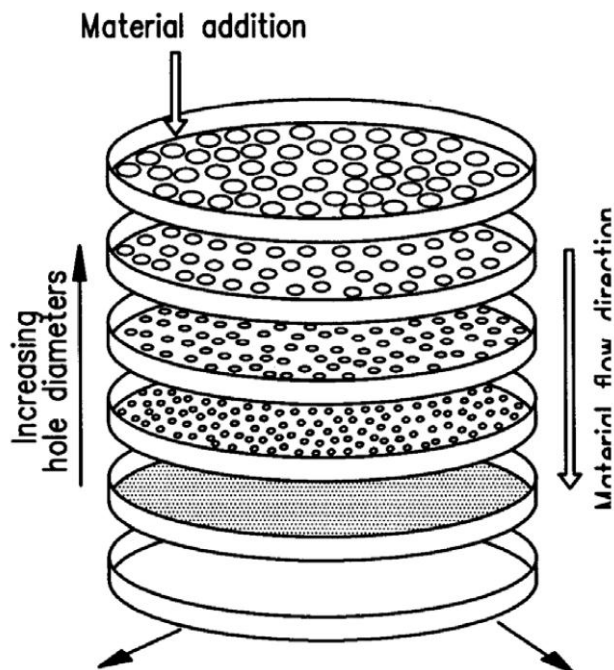
BRIKEŠU UN GRANULU NOTURĪBAS PĀRBAUDES METODES

- ✓ ASV standarts *ASAE S269.4*, kas ir arī adaptēts Eiropas standartizācijas komitejā (CEN), paredzēts granulu noturības izturības pārbaudei (50. att.). Metāla kārbā ievieto granulas un griež tās kopā ar kārbu. Parauga izturību nosaka sietā palikušo daļiņu un brikešu sākotnējā svara attiecība un ir izkalkulēta vidējā vērtība no trīs mērījumiem.



50. att. LVS EN CEN/TS 15210-1 Granulu mehāniskās izturības pārbaudes iekārta
1 – iepildīšanas vāks; 2 – piedziņas vārpsta; 3 – kavēklis

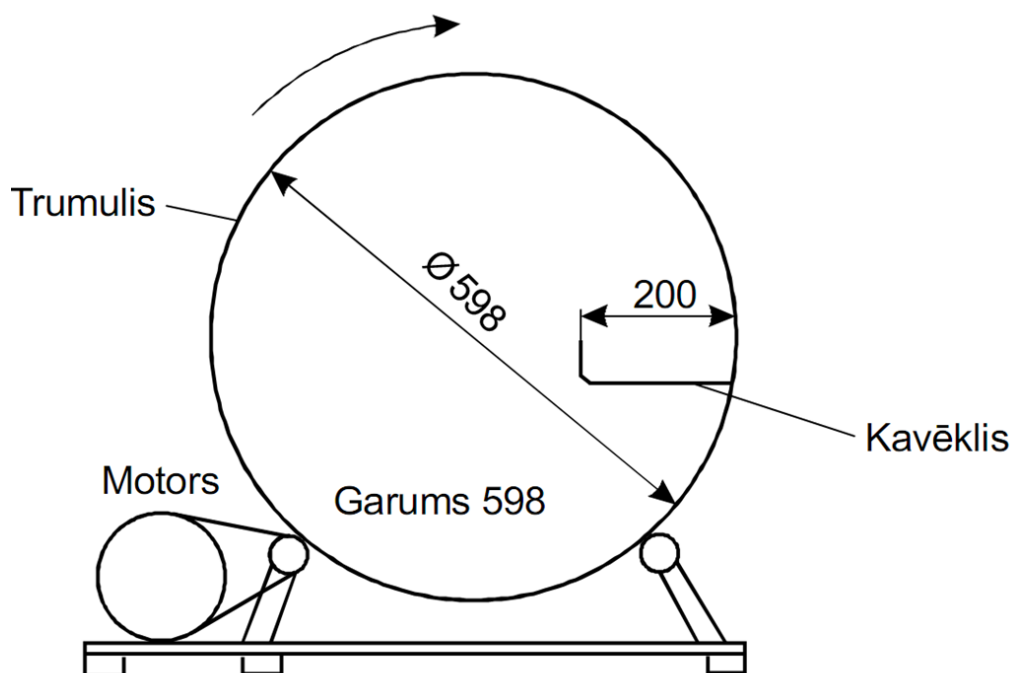
- ✓ Pārbaudei tiek izmantota kantaina kaste no alumīnija vai nerūsošā tērauda;
- ✓ Iekšējie izmēri 300 x 300 x 125 mm;
- ✓ Kastē ievietota 230 x 50 mm plāksne;
- ✓ Kaste rotē ap asi kas piestiprināta kastes sānā pa vidu;
- ✓ Rotācijas ātrums 50 min⁻¹ jāveic 500 apgriezieni;
- ✓ Iegūtais paraugs jāizsijā uz sieta ar caurumu diametru 3.15 mm un paredzēts manuālai pārbaudei balstoties uz standartu ISO 3310-2 (51. att.).



51. att. ISO 3310-2 sieti

CEN izstrādāta metode – briekšu pārbaudes metode rotējošā cilindriskā trumulī (52. att.).

- Trumuļa iekšējais diametrs 598 mm;
- Trumuļa tilpums 160 l;
- Iekšējais dziļums 598 mm;
- Iekšējais šķērslis, kavēklis 200x598 mm;
- Konstants apgriezienu skaits $21 \pm 0,1 \text{ min}^{-1}$.

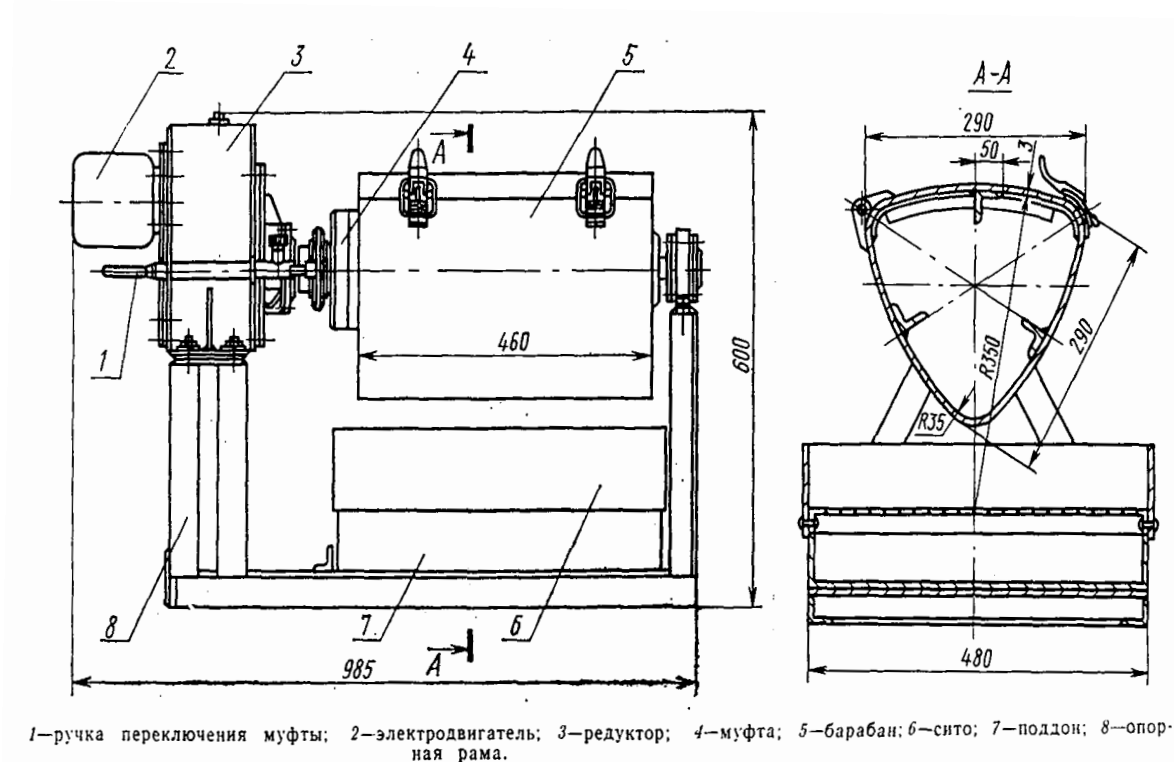


52. att. LVS EN CEN/TS 15210-2 Briekšu mehāniskās izturības pārbaudes iekārta

Testēšanas procedūra

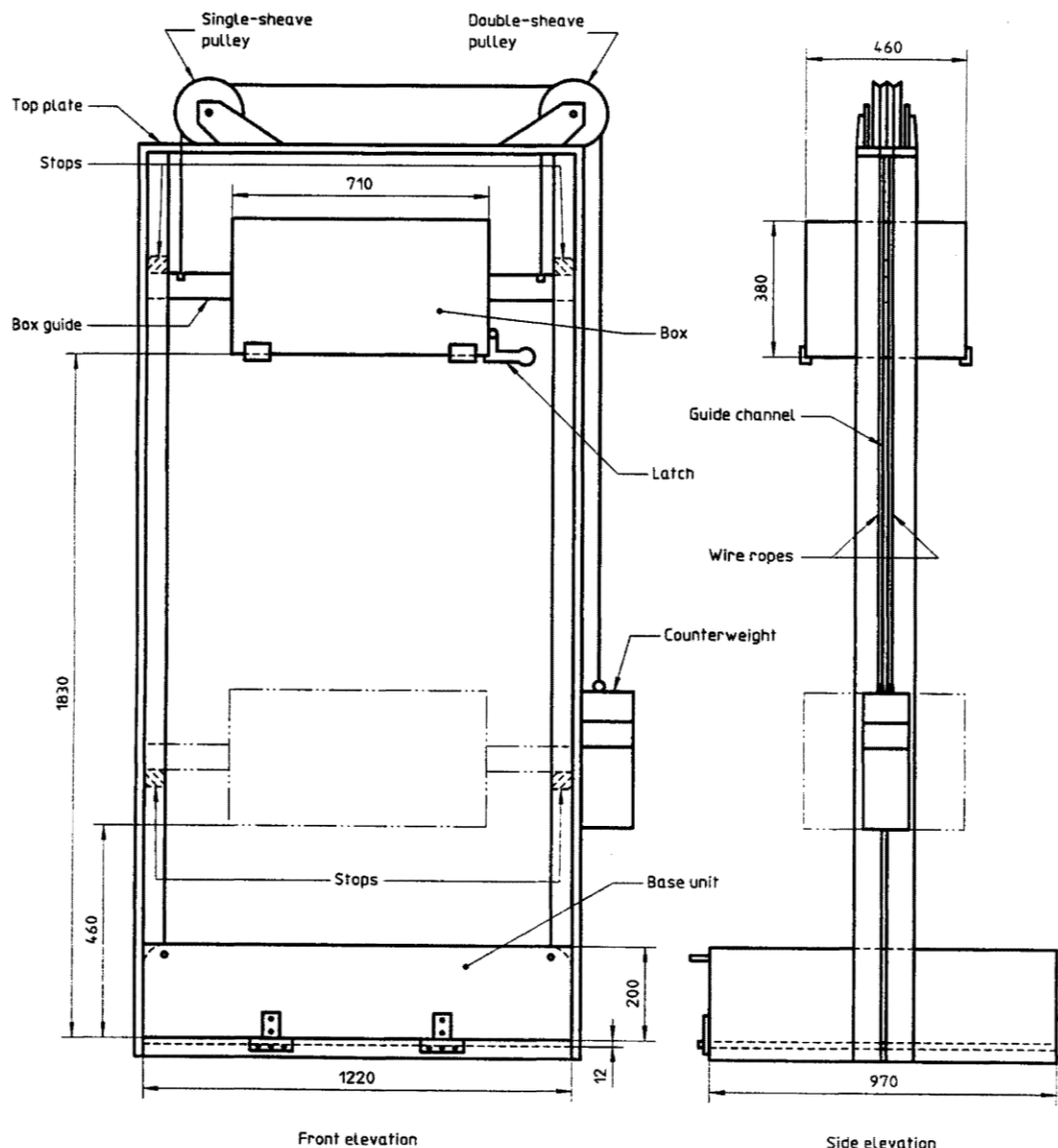
Pārbaudes paraugs 2 litru apjomā pirms ievietošanas trumulī tiek nosvērts. Apgriezienu skaits tiek iestādīts uz konkrētu apgriezienu skaita. Pēc katra standartā noteiktā procesa intervāla paraugs tiek izņemts ārā un novērtēts mehāniski vai manuāli. Veselās briķetes pēc pārbaudes veikšanas tiek sijātas ar sietu, kura atvērumu izmēri ir iespējami tuvu 2/3 no briķetes diametra. Drošības indekss tiek noteikts kā attiecība starp daļiņām, kuras izkritušas caur sietu un nosacīti veselajām briķetēm [43].

- ✓ Ļoti līdzīga iekārta ir "Kūdras briķešu mehāniskās izturības pārbaude" metāla trumulī (GOST 18132-72), kuru kopā ar briķetēm griež un, pēc tam izsijājot, nosaka rupjo un smalko frakciju attiecību (53. att.).



53. att. pārbaude" metāla trumulī GOST 18132-72

- ✓ Olīvu briķetes pārbauda metot no 1,85 m augstuma uz metāla plāksnes. Izturību nosaka nosverot briķetes pirms un pēc nomešanas [45].
- ✓ Starptautiskais standarts ISO 616:1995(E) briķešu pārbaudei paredz speciālu iekārtu, ar kuras palīdzību paceļ noteiktu daudzumu briķešu 1,83 m augstumā un, atverot kastes apakšā atveri, briķetes krīt uz metāla plāksnes. Sagraušanas indeksu biomasai var noteikt sijājot caur vienu sietu vai vairākiem sietiem ar dažādiem urbumu diametriem (54. att.)



54. att. Briekšu pārbaudes iekārta ISO 616:1995(E)

Vairākās valstīs (Šveicē, Austrijā, Zviedrijā, Norvēģijā, u.c.) ir izstrādāti savi standarti ar pamatprasībām granulu kvalitātes kontrolei, piemēram, 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. Pašreiz jau arī Latvijā ir adaptēti galvenie cietās biodegvielas raksturojošie standarti:

- ✓ LVS EN 14588:2011 (Angļu) Cietās biodegvielas. Terminoloģija, definīcijas, apraksti
- ✓ LVS EN 14588:2011 (Angļu) Cietās biodegvielas. Terminoloģija, definīcijas, apraksti
- ✓ LVS EN 14774-1:2010 (Angļu) Cietās biodegvielas. Mitruma satura noteikšana. Žāvēšanas krāsns metode. 1. daļa: Kopējais mitrums. References metode
- ✓ LVS EN 14774-2:2010 (Angļu) Cietās biodegvielas. Mitruma satura noteikšana. Žāvēšanas krāsns metode. 2. daļa: Kopējais mitrums. Vienkāršotā metode
- ✓ LVS EN 14774-3:2010 (Angļu) Cietās biodegvielas. Mitruma satura noteikšana. Žāvēšanas krāsns metode. 3. daļa: Analizējamā parauga mitrums

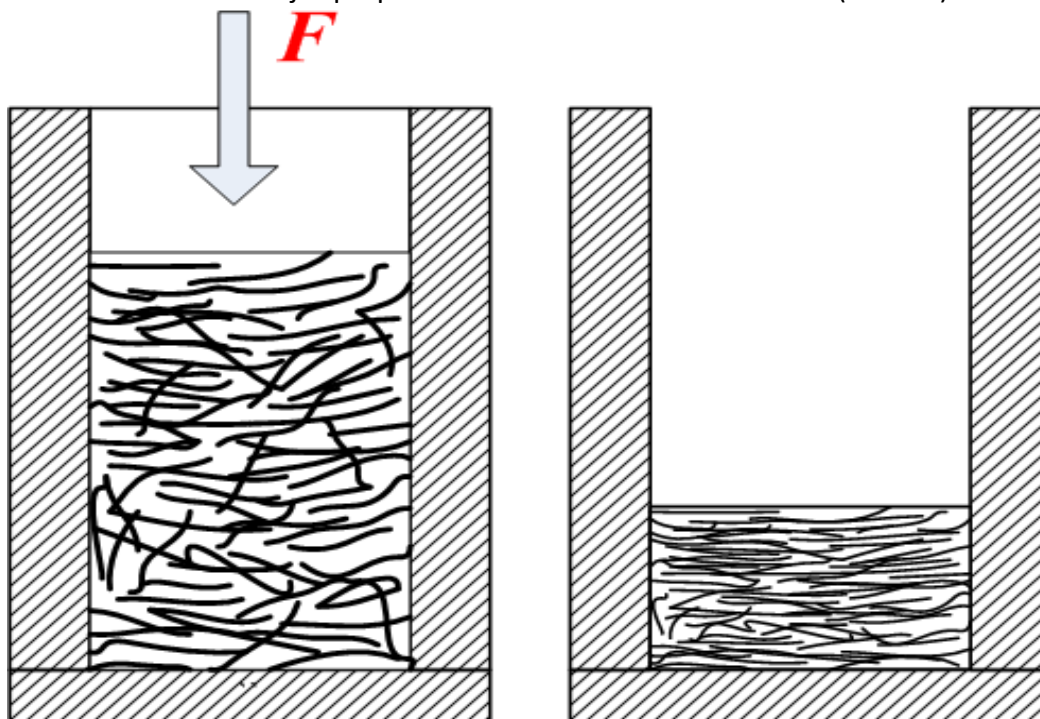
- ✓ LVS EN 14775:2010(Angļu) Cietās biodegvielas. Pelnu satura noteikšana
- ✓ LVS CEN/TS 14778-1:2006 (Angļu) Cietās biodegvielas. Paraugu ņemšana. 1. daļa: Paraugu ņemšanas metodes
- ✓ LVS CEN/TS 14778-2:2005 (Angļu) Cietās biodegvielas - Paraugu ņemšana - 2.daļa: Kravas automobilī transportēta birstošā materiāla paraugu ņemšanas metodes
- ✓ LVS CEN/TS 14779:2005 (Angļu) Cietās biodegvielas - Paraugu ņemšana - Paraugu ņemšanas plānu un paraugu ņemšanas sertifikātu sagatavošanas metodes
- ✓ LVS CEN/TS 14780:2005 (Angļu) Cietās biodegvielas - Paraugu gatavošanas metodes
- ✓ LVS EN 14961-2:2011 (Angļu) Cietās biodegvielas. Degvielu specifiskācijas un klases. 2. daļa: Koksnes granulas nerūpnieciskai lietošanai
- ✓ LVS EN 14961-3:2011 (Angļu) Cietās biodegvielas. Degvielu specifiskācijas un klases. 3. daļa: Koksnes briķetes nerūpnieciskai lietošanai
- ✓ LVS EN 14961-4:2011 (Angļu) Cietās biodegvielas. Degvielu specifiskācijas un klases. 4. daļa: Koksnes šķelda nerūpnieciskai lietošanai
- ✓ LVS EN 14961-5:2011 Cietās biodegvielas. Kurināmā specifiskācijas un klases. 5. daļa: Malka nerūpnieciskai lietošanai
- ✓ LVS EN 15103:2010 (Angļu) Cietās biodegvielas. Tilpumbūvuma noteikšana
- ✓ LVS EN 15104:2011 (Angļu) Cietās biodegvielas. Oglekļa, ūdeņraža un slāpekļa kopējā satura noteikšana.Instrumentālās metodes
- ✓ LVS EN 15105:2011 (Angļu) Cietās biodegvielas. Ūdenī šķīstošā hlorīda, nātrija un kālija satura noteikšana
- ✓ LVS EN 15148:2010 (Angļu) Cietās biodegvielas. Gaistošo vielu satura noteikšana
- ✓ LVS CEN/TS 15149-3:2006 (Angļu) Cietās biodegvielas. Granulometriskā sastāva noteikšanas metodes. 3.daļa: Rotējoša sieta metode
- ✓ LVS EN 15149-1:2011 (Angļu) Cietās biodegvielas. Daļiņu izmēru sadalījuma noteikšana. 1. daļa: Oscilējoša sieta metode ar sieta atverēm sākot no 1 mm un lielākām.
- ✓ LVS EN 15149-2:2011 (Angļu) Cietās biodegvielas. Daļiņu izmēru sadalījuma noteikšana. 2. daļa: Vibrējoša sieta metode ar sieta atverēm sākot no 3,15 mm un mazākām.
- ✓ LVS CEN/TS 15150:2005 (Angļu) Cietās biodegvielas - Daļiņu blīvuma noteikšanas metodes.
- ✓ LVS EN 15210-1:2010 (Angļu) Cietās biodegvielas. Granulu un briķešu mehāniskās ilgizturības noteikšana. 1. daļa: Granulas.
- ✓ LVS EN 15210-2:2011 (Angļu) Cietās biodegvielas. Granulu un briķešu mehāniskās ilgizturības noteikšanas metodes. 2.daļa: Briķetes.
- ✓ LVS EN 15234-1:2011 (Angļu) Cietās biodegvielas. Kurināmā kvalitātes nodrošināšana. 1. daļa: Vispārīgās prasības.
- ✓ LVS EN 15289:2011 (Angļu) Cietās biodegvielas. Sēra un hlora kopējā satura noteikšana.
- ✓ LVS EN 15290:2011 (Angļu) Cietās biodegvielas. Makroelementu Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na un Ti noteikšana.
- ✓ LVS EN 15296:2011 (Angļu) Cietās biodegvielas. Analīžu datu pārrēķināšana dažādām bāzēm.
- ✓ LVS EN 15297:2011 (Angļu) Cietās biodegvielas. Mikroelementu As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V un Zn noteikšana.
- ✓ LVS CEN/TS 15370-1:2007 (Angļu) Cietās biodegvielas. Pelnu izkausējamības noteikšana. 1.daļa: Raksturtemperatūru metode.
- ✓ LVS CEN/TR 15569:2009 (Angļu) Cietās biodegvielas. Kvalitātes nodrošināšanas sistēmas instrukcija.

ORIENTĒTU STIEBRU KOMPAKTĒŠANAS TEORĒTISKĀ IZPĒTE

Gan granulu, gan brikešu ražošanā, stiebru smalcināšana ir viens no energoietilpīgākajiem procesiem. Tāpēc lietderīgi izvēlēties atbilstošo stiebru masas daļiņu smalcināšanas pakāpi atkarībā no izgatavošanas tehnoloģijas. Tā kā granulu diametrs ir robežās no aptuveni 4 mm līdz 25 mm, tad ir nepieciešama ļoti smalka smalcināšana un tas nozīmē, ka tiek patērēta liela enerģija produkta ražošanas sākuma stadijā. Iepriekš veiktajos eksperimentos tika konstatēts, ka niedru smalcināšanas enerģija, ja daļiņu lielums nepārsniedz 3 mm, ir $> 7 \text{ kJ kg}^{-1}$, bet 20 mm daļiņu lielumam enerģijas patēriņš bija aptuveni 1 kJ kg^{-1} . Taču kurināmo brikešu ražošanai nav nepieciešama tik smalka smalcināšana.

Lai samazinātu smalcināšanai nepieciešamo enerģiju, nepieciešams atrast metodi, kā palielināt blīvumu un izturību rupji sasmalcinātu materiālu briketēm.

Pirms eksperimentu izstrādes tika veikta teorētiskā analīze un briketēšanas procesa izpēte. Ja biomasas daļiņas briketētāja cilindrā tiek iepildītas nesakārtotā veidā, tad tās sakrīt matricas dibenā un noorientējas perpendikulāri briketēšanas virzienam (55. att.).

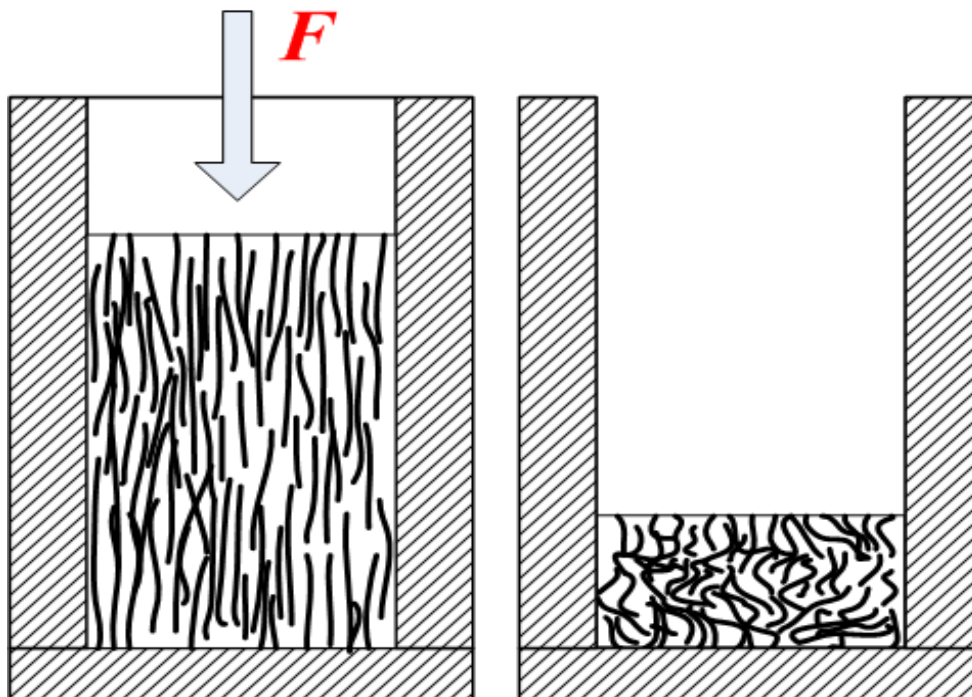


55. att. Briketes nesakārtota struktūra

Kompaktējot ar noteiktu spēku daļiņas tiek sakompaktētas, bet nenotiek daļiņu savstarpējā salipšana/saķere, tāpēc ka daļiņu virsmas ir gludas un cietas. Iemesls tam ir – daļiņas tiek saplacinātas un samazinās virsmu saķere. Lai palielinātu brikešu blīvumu un stiprību, ir nepieciešams palielināt virsmu saķeres starp daļiņām.

Izpētot niedru formu un virsmas struktūru, kā arī no veiktajiem eksperimentiem pieņemām, ka, sakārtojot stiebraugu daļiņas briketēšanas matricā paralēli matricas garenasij, saķere starp daļiņām briketēšanas procesā ievērojami palielinās. Veicot niedru vizuālo izpēti, konstatējām, ka niedres stiebra ārējā virsma ir pārklāta ar ļoti cietu kārtiņu, kas neļauj briketēšanas procesā veidoties pietiekošai saķerei starp daļiņām.

Līdz šim vēl nepētīts un neeksperimentēts briketēšanas veids ir orientētu garu daļiņu kompaktēšanas (56.att.).



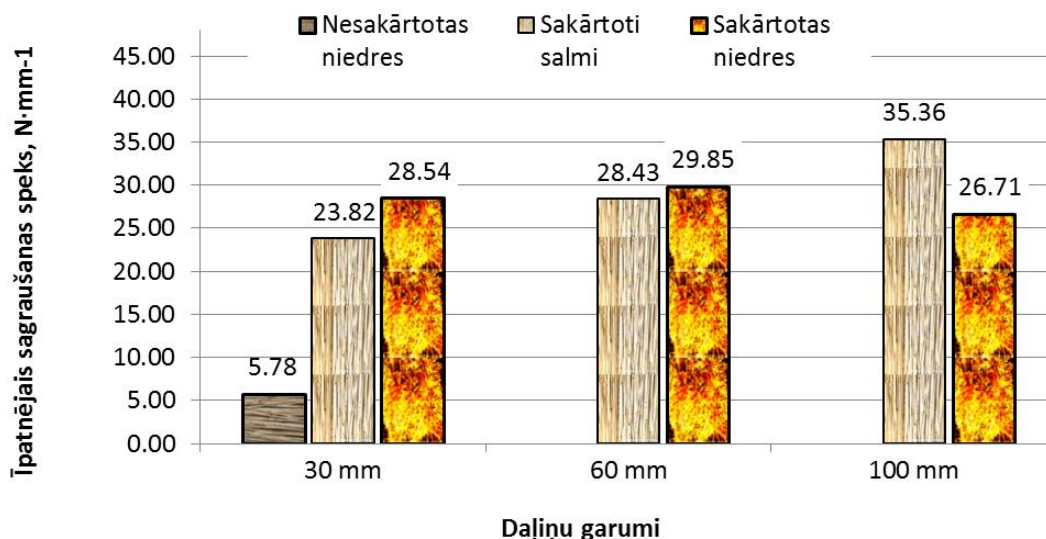
56. att. Briketes sakārtota struktūra

Piemērots salmu un niedru sakārtojums briketētāja cilindrā veicina biomasas daļiņu deformācijas virziena maiņu. Stiebru materiāls saliecās un notiek stiebru sadalīšanās šķiedrās, līdz ar to saskarei paveras stiebru iekšējās virsmas, kas nav tik gludas un cietas un saķere starp daļiņām pieaug (57. att.).

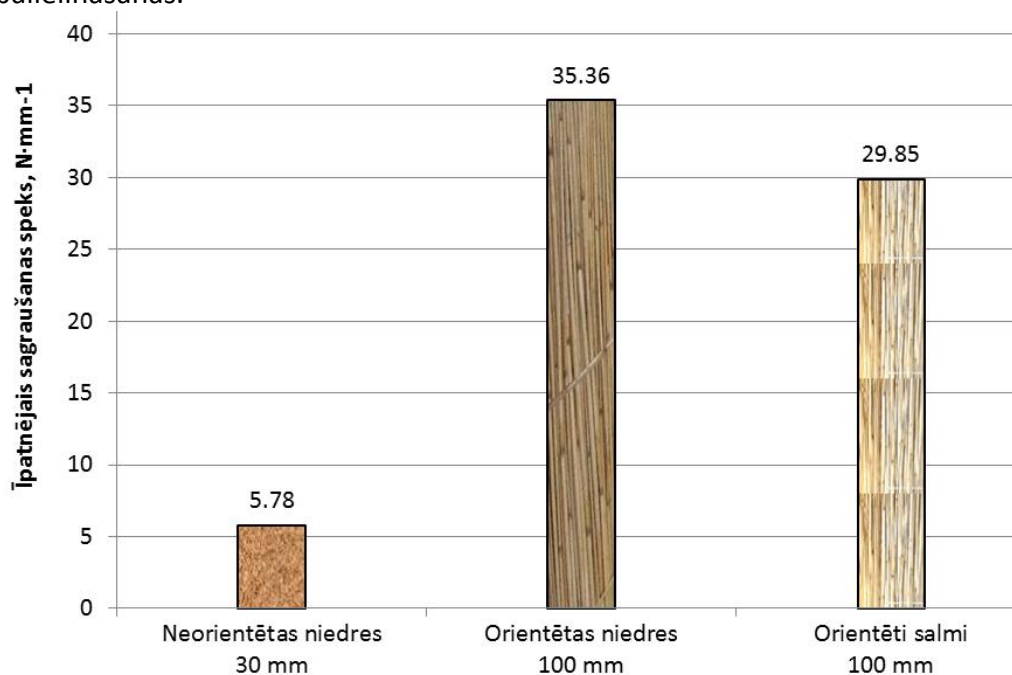


57. att. Orientētu niedru stiebru briketes šķērs griezumā

Pēc briketēšanas eksperimentiem varēja novērot būtisku briķešu noturības pieaugumu sakārtotu, orientētu stiebru daļiņu briķetēm, nekā tas bija nesakārtotām, neorientētām daļiņām (58. att.). Nesakārtotas, neorientētu stiebru struktūras briķetes bija iespējams sagraut pat ar rokām, pielietojot relatīvi niecīgu spēku. Sakārtotas struktūras kviešu salmu un niedru briķešu daļiņu garumu ietekme uz sagraušanas spēka grafikā redzams, ka nesakārtotu niedru daļiņu, ar garumiem 30 mm, sagraušanas spēks ir niecīgs, t.i. $\sim 5,8 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$.



58. att. Salmu un niedru brikešu daļiņu garuma ietekme uz īpatnējo sagraušanas spēku
Taču sakārtotas, orientētas struktūras niedru un salmu stiebru briketēm tika novērots niedru noturības pieaugums 4 – 6 reizes (no $\sim 24 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ līdz $35,36 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$) atkarībā no daļiņu lieluma palielināšanas.



59. att. Brikešu noturības pārbaudes pielietojot spiedes metodi starp divām paralēlām plaknēm.

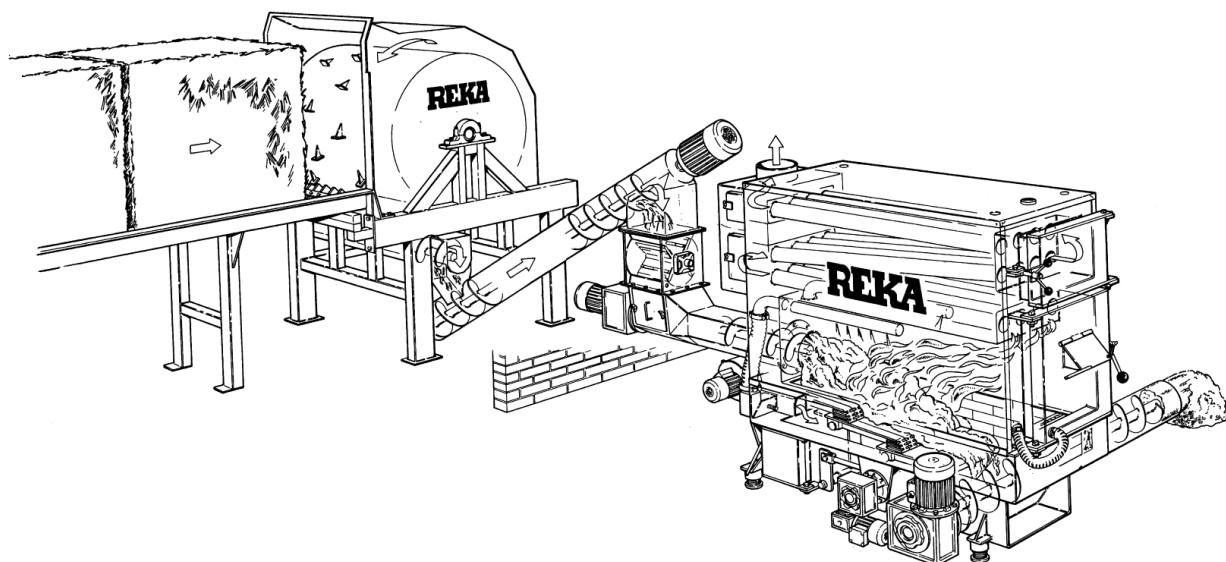
Jūtams noturības pieaugums stiebru daļiņu izmēru palielināšanas gadījumā ir novērojams niedru briketēm. 59. attēls parāda, ka ievērojami augstu brikešu noturību var panākt ja stiebru daļiņas tiek orientētas noteiktā stāvoklī – briketēšanas garenass virzienā. Lielāka noturība ir briketēm ar stiebru daļiņām 100 mm. Attēlā var novērot kā tiek sagrauta smalko, neorientēto daļiņu briete. Tā sašķeļas vairākās plaknēs, līdz ar to var secināt, ka šāda smalcinājuma pakāpes brikešu pārvadāšana var būt neiespējama. Brikešu kravas sakraušanas brīdī tās jau būs izjukušas un nebūtu derīgas paredzētā veida lietošanai. Savukārt smalkāka smalcināšana prasa lielākus enerģijas patēriņus, kā arī materiāls būtu piemērots granulu ražošanai.

Palielinot niedru vai salmu daļiņu lielumu līdz 100 mm palielina brikešu noturību 5-6 reizes, kas sekmētu to krāvumu transportēšanu.

PRIMĀRĀS SMALCINĀŠANAS PROCESU ANALĪZE

Izmantojot enerģētiskos augus cietā kurināmā kondicionēšanai, viens no uzdevumiem ir primārā smalcināšana. Primāro smalcināšanu jeb rupjo smalcināšanu nepieciešams veikt, lai materiālu ar konveijera vai gliemežtransportiera palīdzību būtu iespējams padot uz smalcinātāju, kas nodrošina nepieciešamo materiāla frakcijas lielumu brikešu vai granulu ražošanai. Kā sekundāro smalcinātāju pamatā lieto veserīšu dzirnavas. Izmantojot koksnes atlikumus kurināmajam, tos uzreiz pēc primārās smalcināšanas transportē uz kurtuvi. Šādā veidā iespējams nodrošināt procesa automatizāciju.

Piemēram, ja enerģētisko augu materiāls sapresēts ruļļos vai ķīpās, to kurināšanā var tikt izmantoti automatizēti apkures katli, pirms kuriem ir novietoti smalcinātāji. Sasmalcinātā masa ar gliemežtransportieriem tiek padota kurtuvē. Ārdu turp-atpakaļ kustība nodrošina lielā pelnu daudzuma izvadīšanu no kurtuves (60. att.).



60. att. Automatizēta ķīpu kurtuve ar lēnas darbības smalcinātāju [46, 47]

Cietā kurināmā ražošanai sausās masas primārā smalcināšana tiek lietota retāk, kā primāras kompaktēšanas metode transportēšanai vai uzglabāšanai, jo smalcinātā materiāla blīvums ir atkarīgs no sasmalcinātās masas frakcijas lieluma. Bieži smalcinātās masas blīvums ir mazāks kā nesmalcinātas.

Enerģētisko augu primārai smalcināšanai izmanto gan stacionāras iekārtas, gan mobilās iekārtas. Stacionārie smalcinātāji ir sastopami bieži lielākos un mazākos biomasas pārstrādes

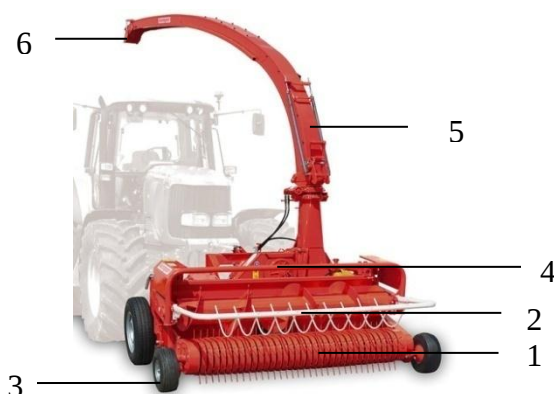
uzņēmumos, tomēr nereti rodas nepieciešamība tieši pēc mobilajiem smalcinātājiem. Atkarībā no enerģētisko augu veida (miežabrālis, kaņepes, niedres) smalcināšanai var lietot lauksaimniecībā izmantoto tehniku. Nepieciešamības gadījumā to pielāgojot efektīvākai enerģētisko augu primārai smalcināšanai.

Enerģētisko augu novākšanai un primārai smalcināšanai izmanto pašgājējus kombainus, piekabināmus plāvēsmaļcinātājus vai pacēlājismaļcinātājus. Pašreiz lielākās saimniecībās Latvijā izmanto pašgājējus kombainus E – 281C, bet mazākās piekabināmus plāvēsmaļcinātājus vai pacēlājismaļcinātājus (61. att.). Ārvalstīs, kur biežāk satopami lieli un līdzīgi lauki ar augstu kultūras ražību izmanto pazīstamu firmu lielaudas pašgājējus novākšanas kombainus: Claas, John Deere, New Holland, Case un citas ar motora jaudu 250 – 600 ZS.



61. att. John Deere pašgājējkombains

Piekabināmie plāvēsmaļcinātāji un pacēlājismaļcinātāji pēc uzbūves un darbības principa ir ļoti līdzīgi (62. att.). To galvenā atšķirība ir tāda, ka viena tehnika tikai paceļ no vāla iepriekš nopļauto masu, bet otra pļauj un paceļ nopļauto masu. Gliemezis pacelto masu ievada starp padevējveltniem, kas padod to tālāk uz piespiedējveltniem. Caur piespiedējveltniem materiāla masa nonāk līdz smalcināšanas S veida nažu trumulim, kur to sasmalcina un pa deflektoru izvada laukā.



62. att. Vāla pacēlājismaļcinātājs

1 – savācējpacēlājs, 2 – gliemezis, 3 – atbalsta riteņi, 4 – smalcinātājs, 5 – deflektors, 9 – vadplāksne.

Lielbritānijas firma „Loglogic” piedāvā savu SOFTRAK tehniku niedru pļaušanai. SOFTRAK tehnika aprīkota ar kāpurķēdēm, kas nozīmē paaugstinātu caurgājāmību virsmām ar zemu
2010/0306/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/128

nespēju, piemēram, kā mitrājs, purvājs, ledus vai sniegs (63. att.). Šī traktora pašmasa ir 3.7 tonnas. Pie maksimāli uzkrautas kravas spiediens uz virsmu laukumu nepārsniedz 92.5 g/cm^2 . SOFTRAK ir uzstādīts četru cilindru motors ar turbīnu, kas attīsta 100 ZS lielu jaudu. Tāpat tas ir aprīkots ar pļaujmašīna-smalcinātāju un 8 kubikmetru lielu kravas kasti aizmugurē. Niedru masa tiek sasmalcināta 1 – 4 cm lielās daļiņās. Izmantojot SOFTRAK traktorus biomasas ieguvē un to pārstrādē briketēs vai granulās nav nepieciešama atsevišķa tehnika primārajai smalcināšanai, kas ir uzskatāma par priekšrocību attiecībā pret vienkāršiem biomasas pļāvējiem. Ražotāji norāda, ka SOFTRAK traktoru spēj nodrošināt ražību līdz 10 t/h, kas aptuveni ir no 2 hektāriem iegūstamā niedru raža [50].



63. att. „SOFTRAK” traktors [50]

Lauksaimniecībā izmantotās rituļu, ķīpu preses tiek aprīkotas ar masas smalcinātājiem – pasīviem nažiem, kas iemontēti starp vālu savācējpacelāju un presēšanas kameru. Retāk sastopamas preses, kas smalcina masu ar vālu pacelājasmalcinātāju aprīkotu ar kustīgiem S veida nažiem. Presējot smalcinātu masu palielinās rituļu blīvums līdz 15%, bet tam nepieciešama lielāka traktora jauda par 10 – 15% salīdzinot ar nesmalcinātas masas presēšanu. Turklāt smalcinātas masas rituļiem nepieciešams speciāls ietinamais tīkls, jo ar auklu notīts smalcinātas masas ritulis var izjukt. Līdzīgi kā preses arī savācējpiekabes tiek aprīkotas ar šāda veida smalcinātāju. Iegūstamās frakcijas lielums atkarīgs no iemontēto nažu daudzuma, tomēr nav mazāka par aptuveni 4 cm.



64. att. Ruļļu preses pasīvie smalcināšanas naži

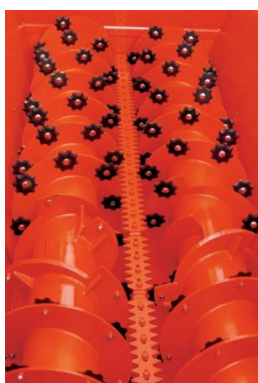
Gan kūlīšos, gan arī ruļļos vai ķīpās esošu niedru smalcināšanai ir izmantojams barības maisītājs-smalcinātājs (65. att.). Iekārta ar diviem pretējos virzienos rotējošiem gliemežiem, ar

uz tiem novietotiem zvaigznītes tipa nažiem (66. att.) vienlaicīgi var smalcināt un samaisīt sasmalcinātās niedres, piemēram, ar kūdru.

Sasmalcināto masu (67. att.) var izmantot briketēšanai bez papildus smalcināšanas un granulēšanai papildus sasmalcinot ar veserīšu dzirnavām.



65. att. Firmas „Seko” barības maisītājs-smalcinātājs [49]



66. att. Smalcināšanas un maisīšanas darbīgie elementi [49]



67. att. Sasmalcinātā un samaisītā masa [49]

Kompānija SIA „Latgran” veica smalcināšanas eksperimentus ar Seko firmas smalcinātāju-maisītāju Bio-chopper (2011. gads). Smalcinot enerģētiskā auga Miežabrāļa rituļus secināja, ka tas enerģētisko augu primārai smalcināšanai ir piemērots. Kā priekšrocība tika uzsvēta, ka iekārta Bio-chopper var sasmalcināt arī koka mizas un zarus līdz 5 cm diametrā. Smalcinātāja ražīgums un energoefektivitāte ir atkarīga no smalcināmā materiāla veida, mitruma un iegūstamās frakcijas lieluma.

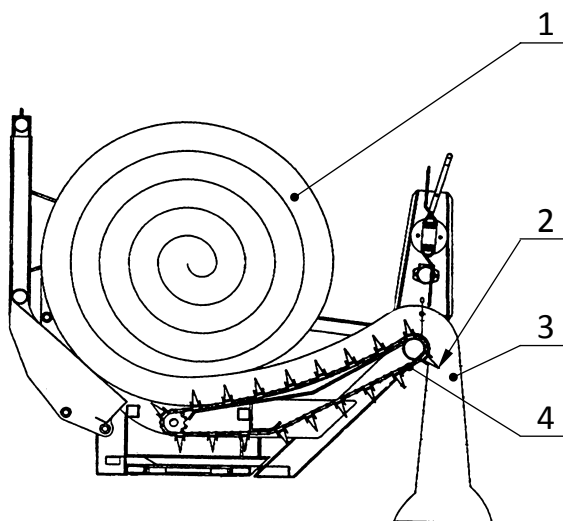
Eksperimentā izmantotā Sam 5 600/170 – GT ietilpība ir 17 m³ nepieciešamā jauda iekārtas darbināšanai 110 Zs. Iekārta tika darbināta ar Clas 120 Zs traktoru un iekārtas ražīgums sasniedza 3 t h⁻¹. Iegūtās smalcinātās masas daļiņu lielums bija mazāks par 100 mm.

Šāda tipa iekārtas var tikt aprīkotas arī ar iekrāvēju (68. att.), kas samazina nepieciešamo tehnikas vienību skaitu.



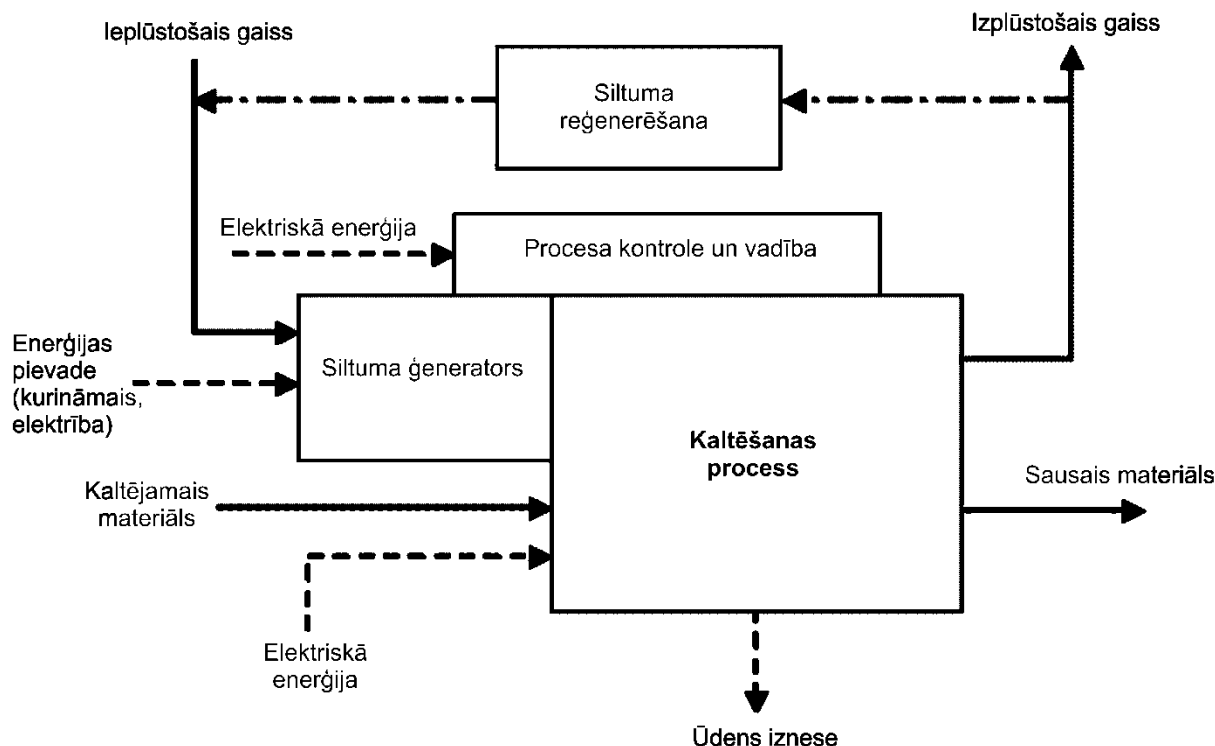
68. att. Smalcinātājs-maisītājs ar piebūvētu iekrāvēju

Par sava veida primāro smalcinātāju var uzskatīt arī ruļļu iztinēju, jo rullī satītā masa tiek atkal izklaidēta. Franču patentā FR 2849 985 – A1 slāņa atdalīšanu no stiebraugu ruļļa (69. att.) [48] autori ir atrisinājuši ņemot vērā ruļļa veidošanos ruļļu preses kamerā. Atdalītāja transportiera lenta 4 (69. att.) ar nažu 2. palīdzību, rullim 1 rotējot, no stiebraugu ruļļa atdala vienmērīgu slāni 3, kas tālāk var tikt padots uz kurtuvi.



69. att. Atdalītāja darbības princips

KALTĒŠANAS PROCESA TEORĒTISKĀ IZPĒTE



70. att. Kaltēšanas procesa shēma

Kvalitatīva biomasas kurināmā ieguvē viens no energoietilpīgākajiem procesiem ir kaltēšana. Kaltēšanas procesā patērētā enerģija ievērojami palielina produktā pašizmaksu, tāpēc kaltēšanas procesa enerģētiskā efektivitāte ir būtisks faktors kopējā tehnoloģiskajā ķēdē.

Lai noskaidrotu ceļus patērētās jaudas samazināšanai, tika analizēts kaltēšanas process un noskaidrots kāda jauda nepieciešama katrā tā etapā. Kaltēšanas process ietver gan materiāla plūsmas, gan enerģijas plūsmas (70. att.). Analizējot kaltēšanas procesa shēmu, var noteikt procesa posmus, kas samazina kaltēšanas energoefektivitāti.

Jebkura materiāla kaltēšanas procesu var sadalīt sekojošos posmos:

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

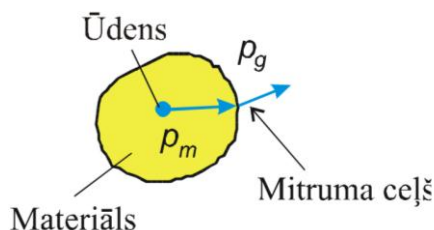
Katra iepriekšminētā posma nodrošināšanai nepieciešams noteikts **enerģijas patēriņš**, ko varam raksturot ar kaltēšanas procesā patērēto **vidējo jaudu**. Kaltēšanas procesā notiek arī enerģijas zudumi caur kaltes sienām. Novērtēsim šos zudumus ar **siltuma zudumu jaudu**.

Materiāla žūšana būtībā ir mitruma apmaiņa starp materiālu un apkārtējo vidi. Mitruma apmaiņas intensitāti raksturo ūdens tvaika parciālais spiediens uz materiāla virsmas p_m un apkārtējā gaisā p_g . Lai notiktu materiāla žūšana, tad p_m jābūt lielākam par p_g . Ja p_m ir mazāks par p_g notiek materiāla samitrināšanās. Kaltēšanas ātrumu raksturo spiedienu starpība $\Delta p = p_m - p_g$, jo lielāka ir šī starpība, jo straujāk notiek žūšana (skat. 71. att.).

Lai nodrošinātu pietiekoši ātru žūšanu, nepieciešams:

- ✓ uzsildīt materiālu, lai palielinātu p_m ,

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



71. att. Mitruma ceļš kaltēšanas procesā

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

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

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

Lai nodrošinātu normālu kaltēšanas procesa noriti, siltumenerģija jāpatērē:

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

Lai noskaidrotu enerģijas patēriņa iemeslus, tika analizēta kaltes siltuma bilance:

$$Q = Q_m + Q_i + Q_g + Q_s, \quad (45)$$

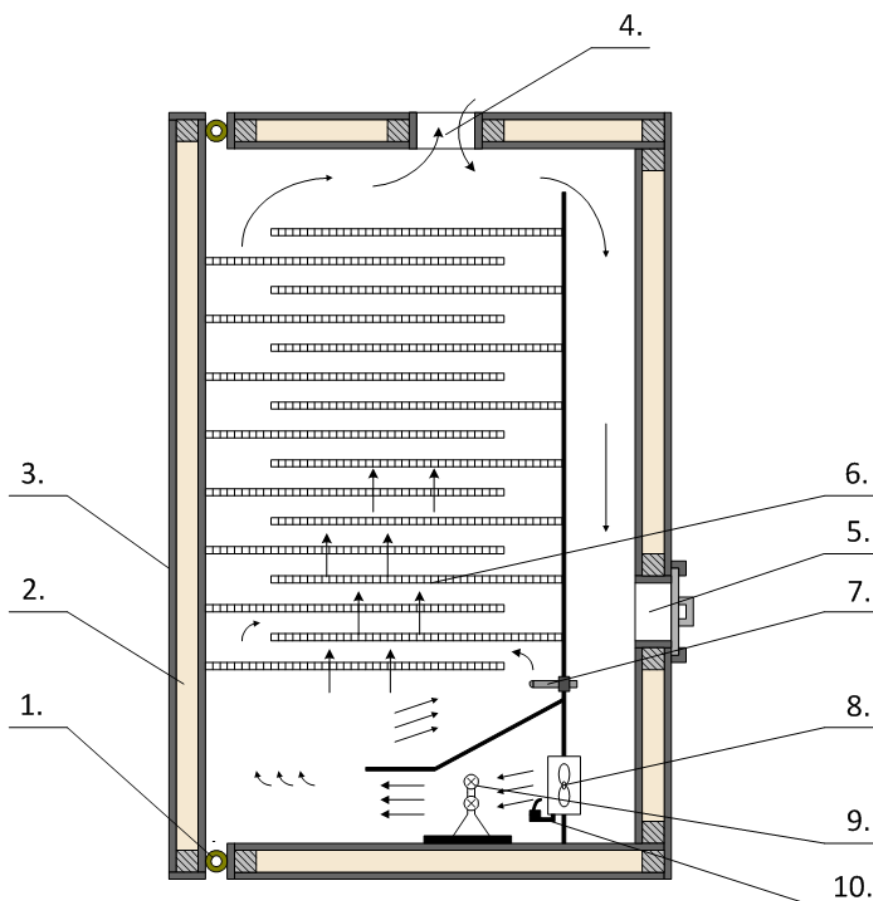
kur Q – kopējais siltuma daudzums, kas jāpievada kaltēšanas procesa nodrošināšanai, kJ; Q_m – siltuma daudzums materiāla uzsildīšanai, kJ; Q_i – ūdens iztvaicēšanai nepieciešamais siltuma daudzums, kJ; Q_g – gaisa uzsildīšanai nepieciešamais siltuma daudzums, kJ; Q_s – siltuma zudumi caur kaltes sienām,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

Ņemot vērā to, ka kaltēšanas laikā visi procesi notiek vienlaicīgi, varam uzrakstīt kaltēšanas jaudu bilanci (46):

$$N = N_m + N_i + N_g + N_s \quad (46)$$

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

Teorētisko apsvērumu pamatošanai tika izgatavots kaltes modelis (72. att.) un noteikti tā darbības parametri.



72. att. Kaltes modelis ar gaisa recirkulāciju

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

Kaltes modelis sastāv no skapja, kura korpuss izgatavots no saplākšņa 3, ar akmens vates siltumizolāciju 2 (72. attēlā). Sildītājs 9 novietots skapja aizmugurē apakšējā daļā ventilatora 8 priekšā. Ventilators iesūc gaisu no kanāla, kurš izveidots pie kaltes aizmugures sienas. Kaltes aizmugures sienā izveidota lūka 5 ar regulējamu aizvaru, kura kalpo svaiga gaisa ievadīšanai kaltē. Korpusa augšā izveidota lūka 4, kura nodrošina mitrā gaisa izvadīšanu no kaltes.

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

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

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

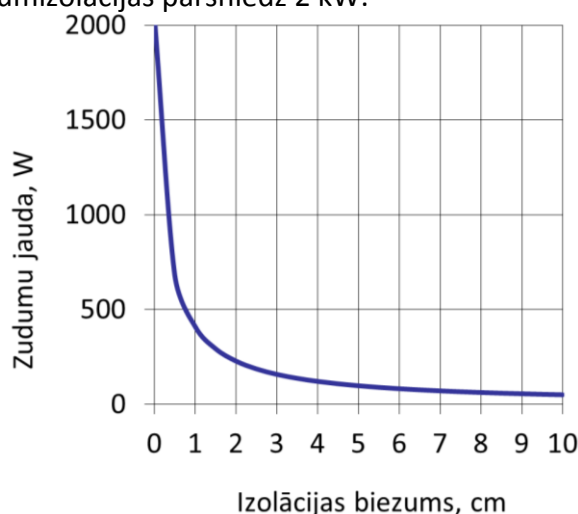
Enerģijas patēriņš ūdens tvaika iznesei no biomasas atkarīgs no caurplūstošā gaisa daudzuma un gaisa temperatūras. Gaisa daudzums, kas nepieciešams ūdens iznesei atkarīgs no

apkārtējās vides gaisa temperatūras, gaisa relatīvā mitruma, masas sākotnējā mitruma un kaltēšanas temperatūras. Aprēķini tika veikti atbilstoši eksperimentālās iekārtas darbības parametriem: apkārtējā gaisa temperatūra $t_v=15^{\circ}\text{C}$ un relatīvais mitrums $\varphi_0=57\%$, masas sākotnējais mitrums $W_0=26\%$ un kaltēšanas temperatūra $t^{\circ}=42^{\circ}\text{C}$.

Aprēķini parādīja, ka teorētiski šādos apstākļos ūdens iznesei nepieciešamā gaisa plūsma ir $q=19.1\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ un tā uzsildīšanai nepieciešamā vidējā jauda 171W .

Praktiski, lai nodrošinātu pietiekamu mitruma iznesi no biomasas slāņa, nepieciešams tajā nodrošināt gaisa plūsmas ātrumu ap $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Plūsmas nodrošināšanai aprēķinātā gaisa padeve ir $q_g=260\text{m}^3/\text{h}$ un caurplūstošā gaisa uzsildīšanai nepieciešamā jauda $N_g=2700\text{W}$.

Siltuma zudumu jauda caur kaltes sienām mainās atkarībā no siltumizolācijas biezuma (73. attēls). Aprēķinā pieņemts, ka kalte izgatavota no saplākšņa ar kopējo biezumu 10mm . Siltumizolācijai izmantota akmens vate. Temperatūras starpība starp apkārtējo vidi un kaltē esošo gaisu $\Delta t = 30^{\circ}\text{C}$. Aprēķini parādīja, ka siltuma zudumi caur kaltes sienām bez siltumizolācijas pārsniedz 2 kW .



73. att. Siltuma zudumu jauda caur kaltes sienām.

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

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

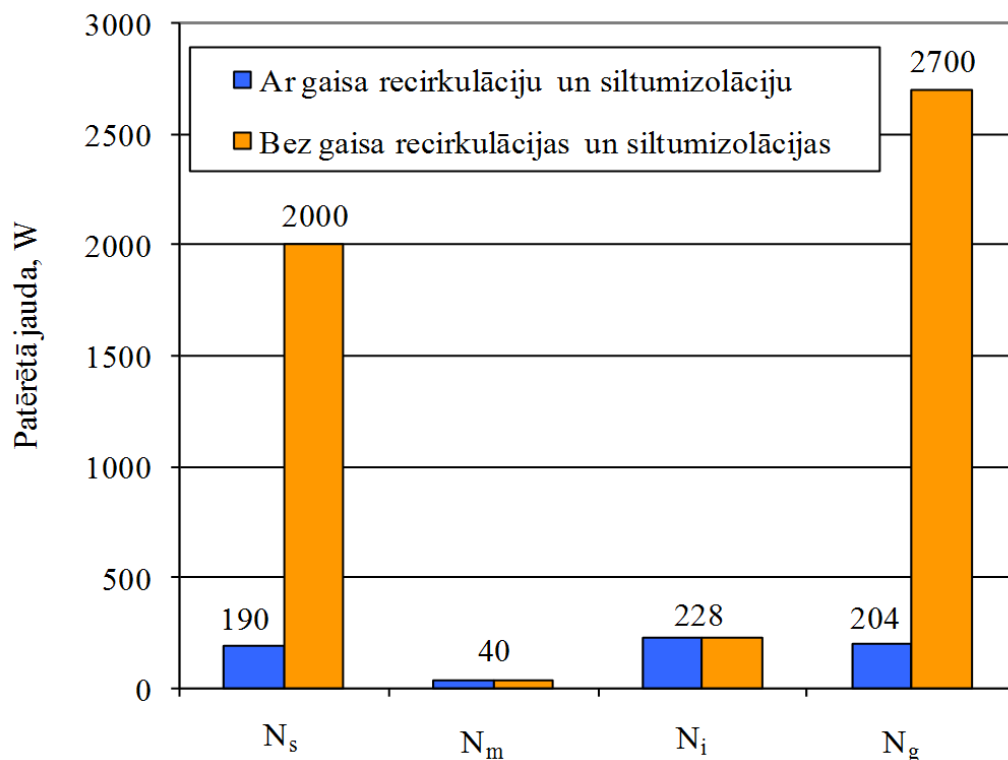
Lai ievērojami samazinātu enerģijas daudzumu mitruma iznesei, izdevīgi izmantot gaisa recirkulācijas principu (skat. 72. att.).

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

Vienreiz izejot caur kaltējamā materiāla slāni gaiss uzņem tikai ļoti nelielu mitruma daudzumu, tāpēc lietderīgi to atkārtoti novirzīt caur masu vairākas reizes, kamēr gaiss piesātinās ar ūdeni.

Kaltes efektivitāti raksturo 74. attēlā parādītais grafiks, kurā attēlota patērētā jauda kaltēm ar gaisa recirkulāciju salīdzinājumā ar parastajām kaltēm (pieņemts, ka abos gadījumos kaltes sienas ir ar siltumizolāciju).

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



74. att. Kaltēšanas procesā patērētās jaudas salīdzinājums
 N_s – caur kaltes sienām izplūstoša siltuma jauda, N_m – materiāla uzsildīšanai nepieciešamā jauda, N_i – ūdens iztvaicēšanai nepieciešamā jauda, N_g – jauda cirkulējošā gaisa uzsildīšanai

Secinājumi

Biomasu kaltēšanas procesa parametru enerģētiskā uzlabošana ir būtiska, lai samazinātu biokurināmā pašizmaksu. Galvenie faktori, kas samazina energoefektivitāti ir enerģijas zudumi caur kaltes sienām un kaltēšanai nepieciešamā gaisa uzsildīšana.

No iegūtajiem rezultātiem varam secināt, ka kaltēšanas procesa enerģētiskās efektivitātes palielināšana iespējama:

1. samazinot siltuma zudumus caur kaltes sienām;
2. nodrošinot siltumnesēja gaisa recirkulāciju.

Lai izstrādātu un novērtētu kaltes tehniskos parametrus, jāturpina kaltēšanas procesa pētījumi ar dažādām biomasām (niedres, kaņepes, enerģētiskie augi), lai noskaidrotu nepieciešamās materiāla termodinamiskās konstantes. Tas ļaus izveidot kaltēšanas procesa matemātisko modeli, kuru varēs izmantot biomasas kaltēšanas procesa parametru optimizācijai.

LITERATŪRA

1. Oms M., Roberts A. W. The reduction and control of flow pressures in cracked grain silos. *Bulk Solids Handling*, Vol. 5, No. 5, 1985, p. 33-39.
2. Schulze D. The Behaviour of Powders and Bulk Solids [tiešsaiste]: [skatīts 2011-01-23]. Pieejams: <http://www.dietmar-schulze.de/grdle1pr.html>
3. Purutyan H., Pittenger B.H., Carson J. W. Solve Solids Handling Problems By Retrofitting [tiešsaiste]: Jenke & Johanson incorporated [skatīts 2011-05-2]. Pieejams: <http://www.jenike.com/Articulos/solve-probs-retrofit.pdf>
4. LAD: 13% no lauksaimniecībā izmantojamās zemes ir nekopti. Ievietojis Farming.lv (2010-11-30). Avots: Ingrida Mičāne, Nozare.lv, <http://www.farming.lv/lv/news/LAD-13-no-lauksaimnieciba-izmantojamas-zeme-3>, (skatīts Internetā 20.09.2011.)
5. Atjaunojamo enerģijas resursu izmantošana Latvijas reģionos un vides ekonomisko un sociālo ieguvumu novērtējums nacionālajā un reģionālajā līmenī//Projekta reģistrācijas Nr. 1-08/64/2006, Līguma Nr. 89 Noslēguma atskaite. Fizikālās enerģētikas institūts. 2006. 48 lpp., http://www.innovation.lv/eee/default_files/FEI_lvaf_2006.pdf, (skatīts Internetā 20.09.2011.)
6. Denny P.J. Compaction equations: a comparison of the Heckel and Kawakita equations. *Powder Technology* 127 (2002) 162– 172
7. Mani S., Tabil L.G., and Sokhansanj S. Evaluation of compaction equations applied to four biomass species. *CANADIAN BIOSYSTEMS ENGINEERING*, Volume 46, (2004) 355-361
8. Heckel, R.W. 1961. An analysis of powder compaction phenomena. *Transaction of the Metallurgical Society of AIME* 221:1001- 1008.
9. 6. Cooper, A.R. and L.E. Eaton. 1962. Compaction behavior of several ceramic powders. *Journal of the American Ceramic Society* 45(3):97-101.
10. Kawakita, K. and K.-H. Lüdde. 1971. Some considerations on powder compression equations. *Powder Technology* 4: 61- 68.
11. Learning from Experiences with Industrial Drying Technologies, CADDET Energy Efficiency Analysis Series No. 12, p. 56, CADDET, Sittard, Netherlands, 1994. Singh, R.P. and Heldman, D.R., *Introduction to Food Engineering*, Academic Press, 3rd ed., 2001.
12. Wulfinghoff, D.R., *Energy efficiency manual*, energy institute, MD, 1999.
13. Interneta resurss: Earle, R.L., *Unit Operations in Food Processing*: <http://www.nzifst.org.nz/unitoperations/index.htm> skatīts 01.07.2011.
14. Interneta resurss: *Energy Manager Training*: http://www.energymanagertraining.com/new_index.php skatīts 03.08.2011.
15. Interneta resurss: *Online Chemical Engineering Information, Pinch Technology: Basics for Beginners*: www.cheresources.com/pinchtech1.shtml skatīts 03.08.2011.
16. Interneta resurss: Singh, paul, *teaching resources: animation*: <http://www.rpaulsingh.com/animated%20figures/animationlist.htm> skatīts 14.08.2011.
17. *Wood and Biomass [tiešsaiste]: RUF Briquetting Machines* [skatīts 20.09.2011]. Pieejams: <http://www.briquetting.co.uk/>.
18. *Briquet Producers [tiešsaiste]: Briquetting Systems* [skatīts 25.09.2011]. Pieejams: <http://www.briquettingsystems.com>.
19. Mani S., Tabil L.G. and Sokhansanj S. (2002) *Compaction Behavior of Some Biomass Brinds*. Department of Agricultural and Bioresource Engineering University of Saskatchewan, Paper No. 02-305, 21 p.

20. Schulze D. (2008) *Powders and Bulk Solids: behavior, characterization, storage and flow*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 511 p.
21. Tumuluru J.S., Wright C.T., Kenney K.L., Hess J.R.A. (2010) A Technical Review on Biomass Processing: Densification, Preprocessing, Modeling and Optimization. *2010 ASABE Annual International Meeting*. Pittsburgh, Pennsylvania, June 20 – 23, 32 p.
22. Лазарев А.В., Лыкин Б.Г., Демьянов Е.С., Русаков В.В., Эппле В.Н. (1984) *Технология производства торфяных брикетов*. Москва: Недра. 264 с.
23. Križan P., Šooš L., Matúš M. (2010) Optimisation of briquetting machine pressing chamber geometry. *The Annual Publication of Faculty of Technical Sciences*, p. 19 – 24. ISSN 1821-1259.
24. Krizan P., Vukelic D. (2008) Shape of pressing chamber for wood biomass compacting. *In: Quality festival 2008. 2nd International Quality Conference*. Kragujevac: AOS, May 13 – 15, 2008. 4p.
25. Michrafy A., Kadiri M.S., Dodds J.A. (2003) Wall Friction and its Effects on the Density Distribution in the Compaction of Pharmaceutical Excipients. *In: Chemical Engineering Research and Design*, Volume 81, Issue 8, p. 946 – 952.
26. Богатов Б.А. (1976) *Моделирование и оптимизация процессов брикетного производства*. Москва: Недра. 184 с.
27. Germany. *Briquetting press and the use thereof*. RUF GMBH & CO. KG (izgudrotājs). IPC: B30B 9/30. Iesniegšanas datējums 2010-12-03. Patenti un preču zīmes. WO2011066977. 09.06.2011.
28. Scientific Principles [tiešsaiste]: Extrusion [skatīts 20.09.2011]. Pieejams: <http://matse1.mse.uiuc.edu/polymers/prin.html>.
29. Tractor & Agricultural Machinery [tiešsaiste]: Screw Extruder Screw Biomass Briquette Press [skatīts 12.07.2011]. Pieejams: http://www.b2b-today.com/catalogs/9-228/Tractor-Agricultural-Machinery_46.html.
30. United States. *Equipment for briquetting vegetal material in particular stalk – plant materials*. Franz Haimer (izgudrotājs). Int. CL. B29C 47/00. Iesniegšanas datējums 1990-03-15. Patenti un preču zīmes. US5302102. 12.04.1994.
31. Germany. *Briquetting device, especially for straw*. HAIMER FRANZ GMBH (izgudrotājs) IPC: B30B11/22. Iesniegšanas datējums 1984-06-16. Patenti un preču zīmes. DE 3422658 (A1). 19.12.1985.
32. Henan Kefan Mining Machinery Co.,Ltd [tiešsaiste]: Small Size Briquetting Machine [skatīts 12.07.2011]. Pieejams: <http://www.briquetting-machine.com/>.
33. Balicki M. (2003) Numerical methods for predicting roll press powder compaction parameters. *Ecole Des Mines D'Albi- Carmaux*, France, 80 p.
34. Носков В.А., Баял К.В. (2007) *Оценка влияния конфигурации формующих элементов на энергосиловые параметры брикетирования в валках*. Сб. научн. тр. – Днепропетровськ.: ИЧМ НАН України, с. 278 – 285.
35. United States. *Biomass Briquetter*. Holley, Carl A. (izgudrotājs) IPC: B29C43/08. Iesniegšanas datējums 1990-04-10. Patenti un preču zīmes. US5017124. 21.05.1991.
36. United States. *Briquetting Press*. Komarek, Karl R. (izgudrotājs) IPC: A21C3/00. Iesniegšanas datējums 1979-05-10. Patenti un preču zīmes. US4249878. 10.02.1981.
37. Pellet Dies [tiešsaiste]: What is a Pellet Die [skatīts 20.09.2011]. Pieejams. <http://www.pelletdies.com/pelletdie.php>.
38. Richard H., Leaver P.E. *The Pelleting Process*. *Andritz sprout*, Muncy, Pennsylvania, 49 p.
39. United States. *Pellet Mill*. Schaffner, Hanspeter (izgudrotājs) IPC: B28B3/20. Iesniegšanas datējums 1985-06-12. Patenti un preču zīme US4711622. 08.12.1987.

40. Meža attīstības fonda finansētā pētījuma projekta izpildes pārskats. Projekta nosaukums: „Koksnes pārstrādes blakusproduktu kvalitātes un to izmantošanas alternatīvu izpēte Latvijas uzņēmumos” http://www.zm.gov.lv/doc_upl/Parskats_Bumanis_C93.pdf (skatīts internetā 15.09.2011.).
41. CEN/TS 14961:2005 Solid biofuels - Fuel specifications and classes.
42. LVS EN 14961-1:2010 Cietās biodegvielas. Degvielu specifikācijas un klases. 1. daļa: Vispārīgās prasības.
43. Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes [skatīts: 19.01.2010] Pieejams:
44. http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V22-4KSD59M-1&_user=10&_coverDate=11%2F30%2F2006&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=62d0f52bdc5e88048c3142584070f460
45. M.I. Al-Widyan, H.F. Al-Jalil. Physical durability and stability of olive cake briquettes. 2002. Department of Biosystems Engineering, Jordan University of Science and technology.
46. StrawforEnergyProduction: Tecgnology - Environment - Economy. [tiešsaiste]:TheCentreofBiomassTechnology [skatīts 2011-04-23]. Pieejams: <http://www.videncenter.dk/uk/index.htm>
47. Vares V., Kask U., Muiste P., Pihu T., Soosaar S. Manualforbiofuelusers [tiešsaiste]: Nordic CouncilofMinistersandTallinnUniversityofTechnology [skatīts 2011-01-14]. Pieejams: <http://www.cbss.st/basrec/documents/bioenergy/dbaFile10430.html>
48. Patents FR 2849 985 – A1
49. Samurai 5 series[tiešsaiste]: Seko. S.p.a. produkcijas katalogs [skatīts 2011-04-14]. Pieejams:http://www.rovaltra.lt/picture/upload/file/SAMURAI_5_ing.pdf
50. Wetland Harvester. No: Loglogic [tiešsaiste] [17.02.2011] Pieejams: <http://www.loglogic.co.uk/wetlandharvester.php>