

PUIDUJÄÄTMETE KIHII ALLA PRESSIMISE TAKISTUS

V. Veinla, T. Piir, M. Siitas

ABSTRACT. *The pressing resistance of the waste wood in the layer. Pressing waste wood under the layer. The purposes of the research were the following: 1) to find out the working ability of a pressing equipment using the manure pressure for pressing waste wood, 2) to measure pressing resistance using waste wood (plane chips, sawdust) with different characteristics, 3) to measure variability of bulk density during the pressing process, 4) to determine the friction coefficient of waste wood.*

The tests were carried out in a laboratory where the testing bench was built. The material properties (bulk density, moisture, friction coefficient), material compactness during pressing process, the pressing resistance essentially on the moistness and the height of the layer of the material in the pit were measured. The presspipes resistance and layers resistance were estimated.

The density of plane chips (W=14%) increased during the pressing process by 1,4–2,5 times on an average. The volume mass of the material in the experimental chambers were uneven. The total resistance of pressing plane chips (W=14%) were insignificant depending on the height of the layer. The pressure of pressing below the layer is 4–5 times bigger than that of dragging the material. The resistance of pressing below the layer was 80% of the total resistance. The resistance of pressing moistened materials (plane chips, sawdust) is significantly dependent on the height of the layer. The resistance of pressing below the layer was 82–90% of the total resistance. Pressing of the moistened materials in a layer is energetically inefficient.

Keywords: *waste wood, pressing below the layer, pressing resistance, material properties, density of material.*

Sissejuhatus

Puidutööstuses tekib suurel hulgal jäätmeid. Neid on otstarbekas kasutada kütteks või näiteks loomakasvatuses allapanuks. Selleks on vaja materjali suurtes kogustes säilitada ja töödelda. Peene fraktsiooni (saepuru, hõövlilaastud) käitlemise hõlbustamiseks pressitakse neid graanuliteks või brikettideks. Kuiva kerge materjali mahumass on väike, hõövlilaastudel 50–150 kg/m³. Pressimisseadmete (etteandekonveierid ja pressid) jõudlust aitaks tösta lähtematerjali eelnev tihendamine. Säilituskohtade vajaliku pindala suurust, seega ka maksumust vähendaks kõrges kihis ladustamine. Hunniku peale laadimisel kerged fraktsioonid tuule mõjul lenduvad ja saastavad ümbrust. Niiske materjali (toore puu saepuru) järkjärgulisel laadimisel kihi peale külmal ajal tekib paks külmunud kiht, mis takistab materjali väljaladimist. Eelöeldu tõttu on huvipakkuv puiste-materjali laadimine kihi alla.

Freesturba, turba ja hekselpõhusegu kihi alla pressimise protsessi uurimise (Veinla jt, 2000) kogemusi arvestades tehti laboratoorne eksperiment puidujäätmetega (hõövlilaastud, saepuru). Eesmärgiks oli selgitada sõnnikupressuri kasutamise võimalusi puidujäätmete kihi alla pressimiseks.

Ülesandeks oli määrata materjali mahumass, niiskus ja hõõrdetegur, materjali tihenemine ja jaotus pressimisel; kihti pressimise takistuse sõltuvus materjali niiskusest ja kihi kõrgusest.

Võtmesõnad: puidujäätmed, kihi alla pressimine, pressimise takistus, materjali omadused, materjali tihenemine.

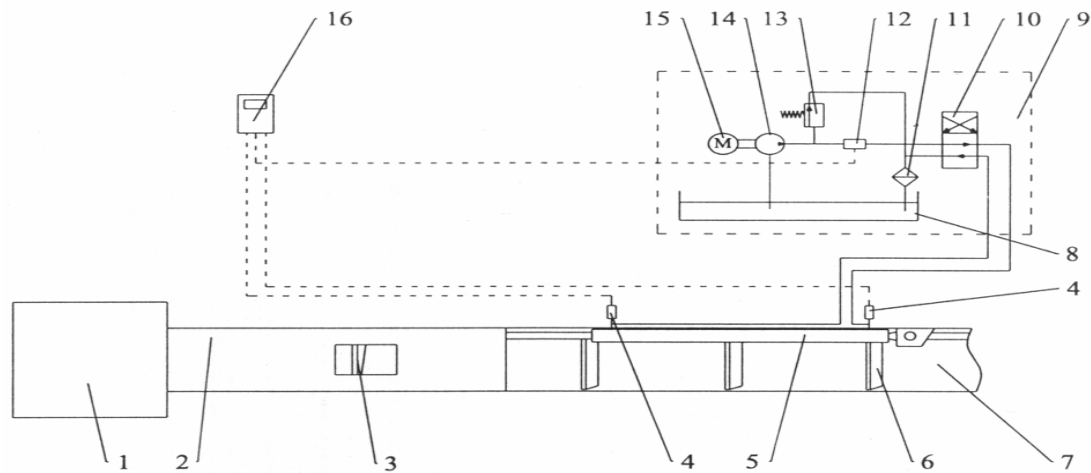
Materjal ja meetodika

Katsed tehti EPMÜ põllumajandustehnika instituudi laboratooriumis varem ehitatud katseseadmel (joonis 1). Materjal anti presstorusse. Tööorgan surus selle katsekambrisse (see modelleeris hoidlat) kihi alla. Tööorgan oli ühendatud hüdrotsilindri kolvivarrega. Selle poolt tekitatud jõud arvutati (Veinla jt, 2000) valemiga

$$F = 10 \frac{\pi d^2}{4} p_1 - 10 \frac{\pi (d^2 - d_1^2)}{4} p_2,$$

kus F – kolvivarrele mõjuv jõud N / *force of the piston rod*,
 d – silindri läbimõõt cm / *diameter of hydraulic cylinder*,
 p_1 – kolvi täispinnale mõjuv rõhk bar / *pressure in the piston side*,
 p_2 – kolvivarre poole mõjuv rõhk bar / *pressure in the piston rod side*,
 d_1 – kolvivarre läbimõõt cm / *diameter of piston rod*.

Hüdrosilindrisse sisse- ja väljavoolava õli rõhkusid mõõdeti rõhuandurite PR 15 abil. Mõõtmistulemused salvestati mõõtriista Multi-System 5000 mallu. Sealt need loeti arvutisse ja töödeldi programmiga HYDROcomsys for Windows.



Joonis 1. Katseseadme skeem: 1 – katsekamber, 2 – presstoru, 3 – tööorgan, 4 – rõhuandurid, 5 – hüdrosilinder, 6 – lattkraapkonveieri kraap, 7 – lattkraapkonveieri renn, 8 – õlipaak, 9 – hüdrojaam, 10 – suunaventiil, 11 – filter, 12 – mõõteturbiin, 13 – kaitseklapp, 14 – õlipump, 15 – elektrimootor, 16 – mõõteriist Multi-System 5000

Figure 1. Scheme of the testing set: 1 – test chamber, 2 – presspipe, 3 – operative part (processing tool), 4 – pressure sensors, 5 – hydraulic cylinder, 6 – reciprocating scraper, 7 – channel, 8 – oil tank, 9 – hydraulic station, 10 – change-over valve, 11 – oil filter, 12 – flow rate gauge (turbine), 13 – safety valve, 14 – oil pump, 15 – electric engine, 16 – data logger Multi-System 5000

Pressur töötab tsükliliselt (Veinla, Leola, 2001). Töökäigu alguses pööratakse tööorgani laba vastava mehhanismi poolt tööasendisse (risti toru pikiteljega); siis kogutakse materjal tööorgani ette – moodustub lohis. Pärast presstoru täitumist toimub materjali tihendamine ja kui tööorgani poolt tekitatud jõud ületab materjali ja presstoru vahelise hõõrdejõu ning kihi takistuse, siis materjali ports väljub presstorust ja tungib kihti. Sel perioodil on liikumistakistus F maksimaalne ja avaldub valemiga

$$F = F_m + F_{to},$$

kus F_m – materjali takistus / *resistance of the material*,
 F_{to} – tööorgani omatakistus / *resistance of the operative part*.

F_m leitakse valemiga

$$F_m = F_h + F_k,$$

kus F_h – materjali ja presstoru vaheline hõõrdejõud / *friction force material passed presspipe*,
 F_k – kihi takistus / *resistance of the layer*.

F_h avaldub valemiga

$$F_h = \sum_{i=1}^n f_i N_i,$$

kus f_i – materjali ja presstoru pinna vaheline hõõrdetegur / *friction coefficient of the material*,
 N_i – pinnale mõjuv normaaljõud / *normal force*.

Varasemate kogemuste põhjal võib öelda, et niiskete materjalide hõõrdetegur oleneb hõõrdepinnale mõjuvast rõhust. See on erinevatel pindadel (põhi, kül, lagi) erinev.

$$N_i = p_i S_i,$$

kus p_i – pinnale mõjuv rõhk / *pressure*,
 S_i – pinna suurus / *area*.

Presstoru pindadele mõjuvaid rõhkusid mõõdeti membraanmõõttooside abil (Leola, Veinla, 2001).

Katsetes mõõdeti hüdrosilindris ja presstoru seintele mõjuvad rõhud. Nende kaudu arvutati kolvivarrele mõjuv jõud (võeti arvesse hüdrosilindri omatakistus) ja normaaljõud presstoru seintele. Teades materjali hõõrdetegurit vastaval rõhul arvutati pindadel esinevad hõõrdejõud. Tööorgani omatakistus määrati tühjas presstorus liikuva tööorgani korral.

Kolvivarrele mõjuva jõu (kogu liikumistakistus) ja hõõrdejõudude kaudu arvutati kihi takistus.

Tulemused saadi eri materjalidel (hõövlilaastud, saepuru) erinevate niiskuste ja eri kihikõrguste korral.

Katsetatava materjali iseloomustamiseks määrati selle mahumass ja niiskus üldtuntud meetodika kohaselt. Proovid kaaluti elektronkaaluga JADEVER NWT-3K. Pressitud materjali tihenemise uurimiseks võeti pärast katseseeria lõppu katsekambri erineva kõrgusega kihtidest proovid selleks valmistatud õõnessilindriga. Seda tehti 9 eri kohas. Nii sai iseloomustada tihenemise muutust erinevates horisontides horisondi ulatuses ja ka materjali liikumist katsekambri (Veinla jt, 2000).

Pressitud materjali-puiste mahumassi määramiseks võeti keskmine proov.

Hõõrdetegurit mõõdeti laboratooriumis katseadmel (Veinla, 1983). Hõõrdepinda (ratastega raamile kinnitatud terasleht) nihutati alt laienevasse tüvipüramiidi kujulisse raami paigutatud materjali suhtes. Materjali raamile mõjuvat tangentsiaaljõudu mõõdeti dünamomeetriga. Normaalrõhku muudeti materjali kihile asetatud kaaluvihtide abil.

Kõiki katseid tehti mitmes korduses. Üldteada meetodika järgi arvutati aritmeetilised keskmised, dispersioonid, standardhälbed ja standardvead (Kiviste, 1999).

Tulemused ja arutelu

Pressitud kihist võetud keskmise proovi puistemahumass oli 1,05–1,4 korda suurem kui lähtematerjalil (tabel 1). Kergel kuival materjalil oli see erinevus kõige suurem.

Tabel 1. Materjalide omadused

Table 1. Material properties

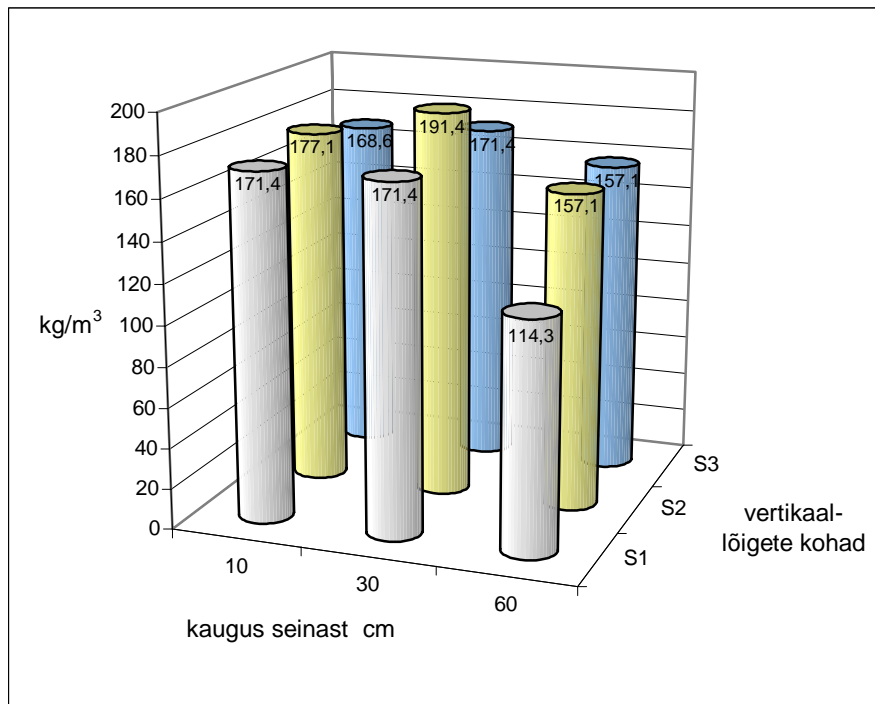
Materjal <i>Material</i>	Puistemahumass kg/m ³ <i>Bulk density kg/m³</i>		Niiskus % <i>Moisture %</i>	Hõõrdetegur <i>p = 0,036 bar</i> <i>Coefficient of sliding friction</i>
	Enne pressimist <i>Before pressing</i>	Pärast pressimist <i>After pressing</i>		
Kuivad hõövlilaastud <i>Dry plane chips</i>	75,6	105	14,0	
Niisutatud hõövlilaastud <i>Moistened plane chips</i>	230	265	65,0	0,66
Niisutamata saepuru <i>Nonmoistened sawdust</i>	307	324	43,3	0,38
Niisutatud saepuru <i>Moistened sawdust</i>	337	345	49,9	0,37

Materjali tihenemine kihis on ebaühtlane (tabel 2, joonis 2). See on maksimaalne presstoru telje vertikaal-tasandis ja väheneb külgedele. Materjal liigub pressimise suunas edasi ja mööda katsekambri tagaseina üles. Tingituna materjali ja selle liikumise ebaühtlusest on tihendatud materjali mahumass laiades piirides muutuv, eriti niisutatud hõövlilaastudel.

Tabel 2. Materjali tihenemine pressimisel

Table 2. Material compactness while pressing

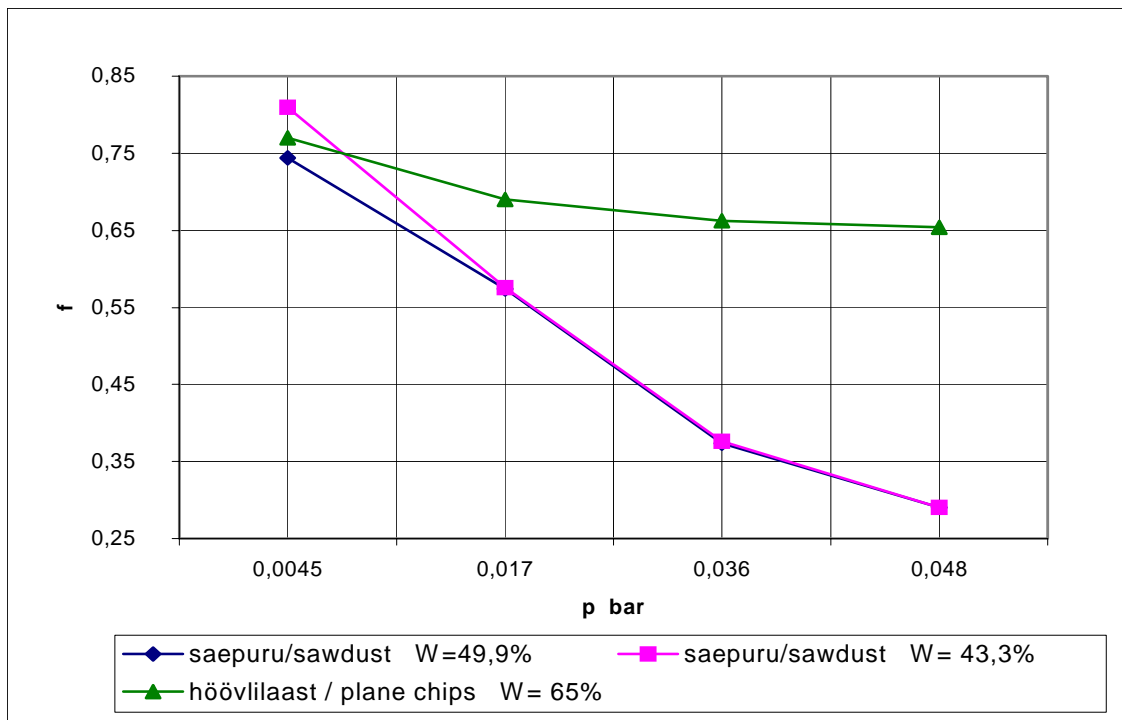
Materjal <i>Material</i>	Mahumass / Bulk density kg/m ³		
	Enne pressimist puistes <i>Before pressing</i>	Pressitud kihis 50 cm kõrgusel <i>In the pressed layer at the height of 50 cm</i>	
		keskmine/average	piirid/tolerance
Kuivad hõövlilaastud <i>Dry plane chips</i>	75,6	164	114...191
Niisutatud hõövlilaastud <i>Moistened plane chips</i>	230	377	224...566
Niisutamata saepuru <i>Nonmoistened sawdust</i>	307	347	311...397
Niisutatud saepuru <i>Moistened sawdust</i>		429	394...446



Joonis 2. Hõvliilaastude ($W=14\%$) mahumassid 50 cm kõrgusel asuvas kihis
Figure 2. Bulk density of plane chips ($W=14\%$) on the 50 cm height horizon

Puidujäätmete liugehõõrdeteguri määramise tulemustest (joonis 3) selgub, et hõõrdetegur väheneb normaalrõhu suurenedes. Niisutatud hõvliilaastude hõõrdetegur on märgatavalt suurem kui saepurul. Hõõrdeteguri määramise tulemused on usaldusväärsed (tabel 3).

Tabelis 4 ja joonisel 4 on esitatud materjali kihi alla pressimise takistuse (kogutakistusest on lahutatud tööorgani omatakiistus) keskvaartused. Katseandmete töötlemise tulemustest (tabel 5) selgub, et andmete hajuvus mitmes katses on suur. Selle põhjuse selgitamine vajaks edasist detailset uurimist, tõenäoseks põhjuseks on lähtematerjali ebahühtlus.



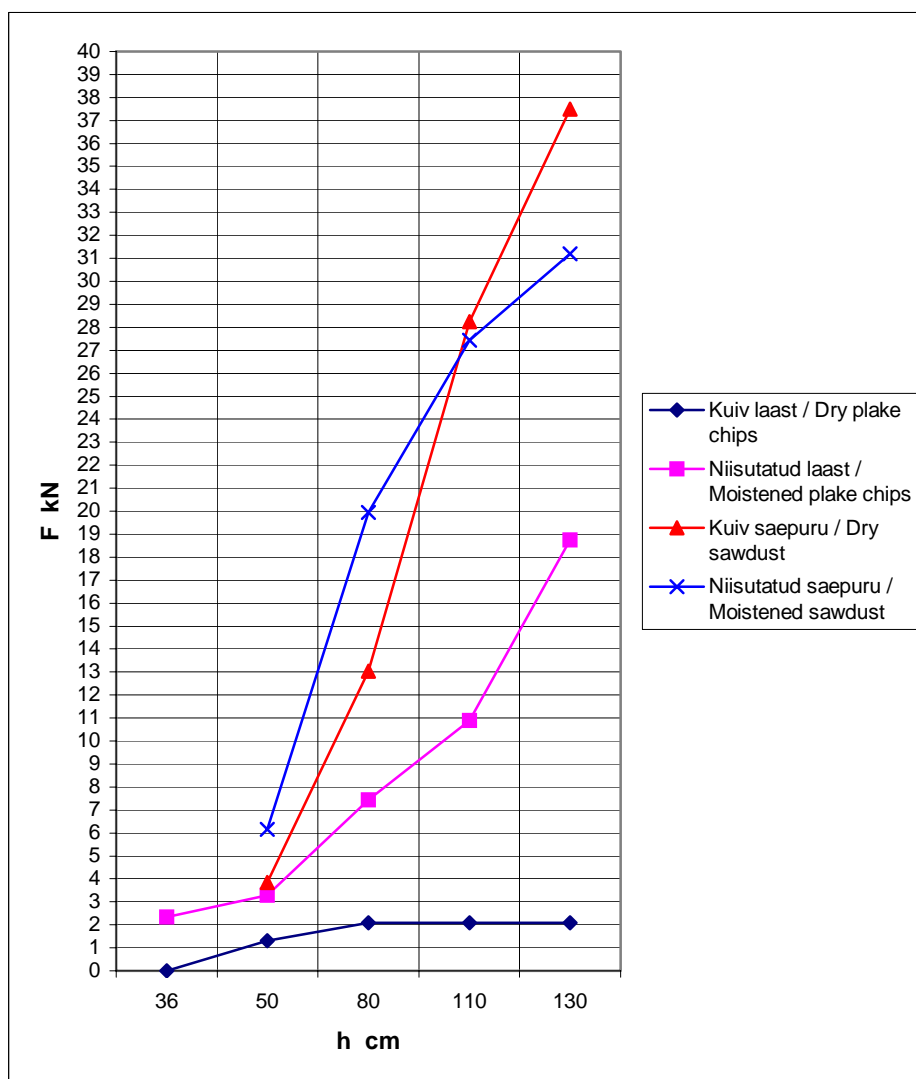
Joonis 3. Puidujäätmete hõõrdetegurite sõltuvus normaalrõhust
Figure 3. Wastewood friction coefficient dependence from (ratio to) the normal pressure

Tabel 3. Saepuru $W=49,9\%$ hõõrde teguri määramise tulemused**Table 3.** Results of the estimation of sawdust friction coefficient

Kordumuse nr <i>Duplicate</i>	Hõõrdejõud <i>Frictional force</i>	Normaaljõud <i>Normal force</i>	Hõõrde tegur <i>Friction coefficient</i>	Dispersioon <i>Dispersion</i>	Standardhälve <i>Standard deviation</i>	Standardviga <i>Standard error</i>
	N	N	f	D	σ	s
1	103	232,5	0,37	0,074008	0,005477	0,0024451
2	103	232,5	0,37			
3	103,5	232,5	0,38			
4	103,5	232,5	0,38			
5	103	232,2	0,37			

Tabel 4. Materjali kihi alla pressimise takistus (katsete keskväärtused \bar{x} , kN)**Table 4.** The pressing resistance of the material under the layer

Kihi kõrgus cm <i>Height of the layer</i>	Höövli laastud / <i>Plane chips</i>		Saepuru / <i>Sawdust</i>	
	Kuiv / <i>Dry</i>	Niisutatud / <i>Moistened</i>	Niisutamata / <i>Non-moistened</i>	Niisutatud / <i>Moistened</i>
36	0	2,35	0	0
50	1,3	3,3	3,85	6,15
80	2,1	7,45	13,05	19,95
110	2,1	10,9	28,25	27,45
130	2,1	18,75	37,5	31,2

**Joonis 4.** Materjali pressimise takistus erinevatel kihikõrgustel**Figure 4.** Material pressing resistance on different heights of the layer

Kuivade hõõvlilaastude kihi alla pressimisel on kihi kõrguse mõju pressimise takistusele väike. Energeetilisest seisukohast on võimalik ja otstarbekas laaste kihi alla pressida ja sel moel moodustada kõrge hunnik. Sel juhul tekib pinnale koorik, mis takistab peene fraktsiooni lendumist ja keskkonna saastamist. Pressimisel materjal tiheneb: mahumass suurenes 1,4–2,5 korda. See võimaldab hoidla vajalikku pindala vähendada. Katsetes materjali kihi alla pressimisel oli presstoru (töötava osa pikkus 300 mm) takistus umbes 20% kogutakistusest.

Tabel 5. Katseandmete töötlemise tulemused

Table 5. Results of data processing

Kihi kõrgus cm <i>Height of the layer</i>	Takistusjõud kN / <i>Drag force</i>							
	Niisutatud hõõvlilaastud / <i>Moistened plane chips</i>				Niisutamata saepuru / <i>Non-moistened sawdust</i>			
	Kesk- väärtus <i>Mean value</i>	Dispersioon <i>Dispersion</i>	Standard- hälve <i>Standard deviation</i>	Standard- viga <i>Standard error</i>	Kesk- väärtus <i>Mean value</i>	Dispersioon <i>Dispersion</i>	Standard- hälve <i>Standard deviation</i>	Standard- viga <i>Standard error</i>
\bar{x}	D	σ	s	\bar{x}	D	σ	s	
36	2,35	0,5625	0,75	0,5303				
50	3,3	0,01	0,1	0,0707	3,85	0,0025	0,05	0,0353
80	7,45	1,1025	1,05	0,7425	13,05	1,5625	1,25	0,8839
110	10,9	4,41	2,11	1,4849	28,25	0,0625	0,25	0,1768
130	18,75	0,5625	0,75	0,5303	37,5	100	10,0	7,1428

Niiskete materjalide mahumass suureneb pressimisel palju vähem (1,05–1,4 korda). Kihi kõrguse suurenedes materjali pressimise takistus kasvab järsult (joonis 4). Ka nendel materjalidel moodustab põhiosa liikumistakistusest (82–93%) kihi takistus.

Niiskete hõõvlilaastude ja saepuru kihi alla pressimiseks on vaja suurt jõudu ja tugevaid seadmeid, energeetilisest seisukohast on selle protsessi tõhusus kaheldav. Nendel materjalidel on peente osakeste lenduvus ja seega keskkonna saastamise oht väike.

Kokkuvõte

Töös uuriti puidujäätmete (hõõvlilaastud, saepuru) kihi alla pressimise protsessi laboratoorsel katse-seadmel. Selgus, et sõnnikupressuriga on võimalik neid materjale pressida. Kuivad hõõvlilaastud, $W=14\%$, tihenevad pressimisel 1,4–2,5 korda. Niiskete materjalide tihenemine on väiksem, 1,05–1,4 korda. Niiskete hõõvlilaastude ja saepuru liugehõõrdetegur väheneb normaalrõhu tõustes oluliselt. Pressimiseks vajalikust jõust põhiosa – kuivadel laastudel 80%, niisketil laastudel ja saepurul 82–93% kulub kihi takistuse ületamiseks. Kuivadel laastudel mõjutab kihi kõrgus pressimise takistust vähe. Nii energeetilisest kui ka keskkonna säästmise seisukohast on otstarbekas sellist materjali kihi alla pressida.

Niisketil materjalidel kasvas kihi kõrguse suurenedes pressimise takistus järsult ja ulatus üksikkatsetes 48 kN. Selliste materjalide kihi alla pressimine on energeetilisest seisukohast ebaotstarbekas. Keskkonna säästmise seisukohast selline moodus olulist efekti ei anna.

Töö tehti grandi 4999 toel.

Kirjandus

- Kiviste, A. 1999. Matemaatiline statistika. Tallinn: GT Tarkvara OÜ. – 86 lk.
- Leola, T., Veinla, V. 2001. Sõnnikupressuri presstoru seintele mõjuvate rõhkude eksperimentaaluuring. – EPMÜ teadustööde kogumik nr 214. Põllumajandustehnika, -ehitus ja -energeetika, Tartu, lk 52–55.
- Veinla, V. 1983. Farmisise transpordi mehhaniseerimine. Tallinn: Valgus. – 264 lk.
- Veinla, V., Leola, T., Vösa, T. 2000. Materjali kihi alla pressimise protsessi uurimine. – Akadeemilise Põllumajanduse Seltsi toimetised 12. Tartu, lk 95–96.
- Veinla, V., Leola, T. 2001. The Research of Moving Resistance of the One-Side Scraper and Press Unit. – Perspective Sustainable Technological Processes in Agricultural Engineering. Proceeding of the International Conference. Raudondvaris, p. 187–92.

The pressing resistance of the waste wood in the layer

V. Veinla, T. Piir, M. Siitas

Summary

The purposes of the research were the following: 1) to find out the working ability of a pressing equipment, using the manure pressurer for pressing waste wood; 2) to measure the pressing resistance using waste wood (plane chips, sawdust) with different characteristics; 3) to measure variations of bulk density during the pressing process; 4) to determine the friction coefficient in waste wood. The tests were carried out in a laboratory, where the testing bench (Figure 1) was built. The material properties were measured (Table 2, Figure 2). The pressing resistance essentially depends on the moistness and height of the layer of the material in the pit (Table 4, Figure 4). The presspipes resistance and layers resistance were estimated.

The resistance force of pressing was calculated by the pressures of the oil, flowing into and out of the hydraulic cylinder. The pressure was measured using the pressure gauges PR 15 (Company Hydrotechnik, Limburg).

The results were recorded by the measuring instrument MultiSystem 5000 (of the same company) from where they were saved to the computer for data processing. The variability and the reliability of the results are described with the standard deviation and the standard error, calculated by a well known technique.

For calculating the resistance of the presspipe it is necessary to know the friction coefficient of the material and also the normal forces which affect the wall.

The composite measuring methods were useful. The used measures and built-in measuring elements gave reliable results. The measuring results have confirmed that.

The density of the plane chips ($W=14\%$) during the pressing process increased by 1.4–2.5 times on an average. The volume mass of the material in the experimental chamber were uneven (Figure 2). The total resistance of pressing the plane chips ($W=14\%$) was insignificant depending on the height of the layer (Figure 4). The pressure of pressing below the layer is 4–5 times bigger than that of dragging the material. The resistance of pressing below the layer was 80% of the total resistance.

The resistance of pressing moistened (humid) materials (plane chips, sawdust) is significantly dependent on the height of the layer (Figure 4). The resistance of pressing below the layer was 82–90% of the total resistance. Pressing of the moistened materials in a layer is energetically inefficient.