



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

POLÜMEERMATERJALIDE INSTITUUT
PUIDUTÖÖTLEMISE ÕPPETOOL

ÜLEVAADE PUITPELLETITE TOOTMISE TEHNOLOOGIAST

Bakalaureusetöö

Siim Emil Sassi

Juhendaja: Üllar Luga
Puidutöötlemise õppetool, lektor

Materjalitehnoloogia õppekava KAOB 02/09
Tallinn 2015

Autorideklaratsiooni vorm

Deklareerin, et käesolev bakalaureusetöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli bakalaureusekraadi taotlemiseks ja et selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste eutorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud või (avaldamata tööde korral) toodud autorlus välja põhitekstis.

.....

Siim Emil Sassi

Glossaar

Alumine kütteväärtus – soojushulk, mis vabaneb ühe ühiku kütuse täielikul põlemisel hapnikus, kusjuures kütuses olev vesi aurustub ega kondenseeru.

Dosaator – seadeldis, mis võimaldab vedelaid ning pulberjaid aineid täpselt mõõta ning kindlates kogustes väljastada.

Harupuu – puit, mille tüvi on hargnenud ning ei võimalda lõigata sirget palki.

Höövliilaast – puidu töötlemise käigus tekkiv õhuke puidu laast.

Kastepunkt – temperatuur, milleni õhk või gaas peab jahtuma, et temas sisalduv veeaur muutusküllastunud auruks. See tähendab, et kastepunktist allpool õhus olev veeaur kondenseerub.

Konveier – pideva tööviisiga veomasin, mille mootor veab transpordilinti mööda kindlat trajektoori.

Koostootmisjaam – elektrijaam, mis toodab lisaks elektrienergiale ka soojust.

Laasimine – puidu tüvelt okste eemaldamine.

Paberipuit – ümarpuit, mis on mõeldud paberi tootmiseks. Lõigatakse elavast tüvest, ehk kui toitainete liikumine toimub rohkem kui 50% tüve ristlõikest. Tihti kasutatakse peenemat palki, mis ei võimalda seda kasutada muudes puidutööstuse harudes.

Purusus – materjali purunemine surve ja hõõrdumise tagajärjel.

Roor – elektrimootori või elektrigeneraatori pöörlev osa.

Saepuru – puidu töötlemisel (saagimine, puurimine, lihvimine jne.) tekkiv peene fraktsiooniga kõrvalsaadus.

Tuhasus – põlemisel tekkiva kõrvalsaaduse, tuha, hulk protsendina massi järgi.

Ülemine kütteväärtus - soojushulk, mis vabaneb ühe ühiku kütuse täielikul põlemisel hapnikus ja kütuses sisalduv vesi kondenseerub.

SISUKORD

Glossaar	3
SISSEJUHATUS	6
1. PUIDUGRAANULID, TOOTMISE AJALOO LINE ÜLEVAADE	7
1.1 Puidugraanuli mõiste	7
1.2 Puidugraanulite kasutuse ajalugu.....	7
2. GRAANULITE TOOTMINE EESTIS	9
2.1 AS Graanul Invest.....	9
2.2 Purutuli OÜ.....	10
3. GRAANULITEST ÜLDISELT	11
3.1 Graanulite kasutusest	11
3.2 Graanulite liigitus	11
3.3 Graanulite kvaliteet.....	13
4. TOORMATERJAL	14
4.2 Toorme kvaliteet	14
4.3 Kütteväärtus ja tuhasisaldus.....	15
5. TOOTMISPROTSESSI ÜLEVAADE.....	17
5.1 Graanulitehase tootmisprotsessi lühiiseloostus	17
5.2 Palgi koorimine.....	18
5.3 Hakkepuidu tootmine.....	19
5.3.1 Kruvihakkur	19
5.3.2 Trummelhakkur.....	20
5.3.3 Ketashakkur.....	21
5.4 Kütuse ja märja tooraine hoidmine	22
5.5 Märja tooraine kuivati.....	23
5.6 Lisapurustamine.....	25

5.6.1 Haamerveski.....	25
5.7 Pressimine.....	26
5.7.1 Tasapinnalised matriitspressid	27
5.7.2 Silindrilised matriitspressid.....	28
5.7.3 Silindrilise ja matriitspressi võrdlus.....	29
5.8 Graanulite jahutamine.....	29
5.9 Pakkimine ja valmistoodangu ladustamine.....	30
5.10 Tehnilised andmed.....	30
6. TURUSTAMINE	36
KOKKUVÕTE.....	37
SUMMARY	38
Kasutatud kirjandus	39

SISSEJUHATUS

Inimkond on tuhandeid aastaid kasutanud väärandamata puitu energeetilistel põhjustel, kuid kiirelt arenev ühiskond ning veelgi kiiremini arenev elutempo on sundinud inimkonda ressursse ümber hindama ning puitu väärandama, et vähenevatest maa- ja loodusvaradest maksimumi võtta. Viimastel aastakümnetel on eriti kiirelt arenenud puidugraanulite ja puitbriketi tootmine, kuna graanulite tootmine on väga suures osas automatiseeritud ning võimaldab mahutada rohkem energiat väiksemale ruumalale.

Graanuleid on võimalik toota erinevatest bioloogilistest materjalidest nagu näiteks rohi, hein, puit jne. Antud töös keskendume puidugraanulitele ning vaatleme lähemalt kogu tootmise protsessi, alustades toormaterjali varumisest, lõpetades valmistoote pakendamise ja turustamisega. Vaatleme erinevaid toorme purustamise tehnoloogiaid ning sellega kaasnevaid probleeme. Uurime lähemalt tootmisliini ning võrdleme erinevaid seadmeid, mida tootmisprotsessis kasutatakse. Lõpetuseks vaatleme turustamist nii Eestis kui ka välismaal ning milline võiks olla graanulite tootmise tulevik.

Seoses fossiilsete kütuste vähenemisele ning suurele CO₂ emissioonile on Euroopa Liit seadnud eesmärgi, et suurendada taastuvenergia kasutamist. 2012. aastal oli Euroopa Liidu liikmesriikide taastuvenergia osakaal eneriatarbimises 14,1% ning aastaks 2020 on liikmesriikide ühiseks eesmärgiks saavutada taastuvenergia osakaal 20%.

Kõige suurem taastuvenergia osakaal energiatarbimises oli 2012. aastal Rootsis (51,9%), Lätis (35,8%) ja Austrias (32,1%), Eestis oli see 12,9%. Kui võrrelda taastuvenergia kasutamise hulka metsasusega Rootsis (70%), Lätis (54%) ja Austrias (47%), Eesti 52%, siis näeme, et Eestil on potentsiaali suurendada oma taastuvenergia kasutamist kolm korda.

Euroopa Liidu direktiiv näeb ette kolme võimalust, kuidas saavutada 20% taastuvenergia osakaalu: taastuvenergia kasutamine kütteks ja jahutamiseks, biokütused transporditööstuses ning taastuvenergia elektri tootmiseks. Eestis oleks nendest võimalik kaks, elekter ja küte, suuteline täitma 20% taastuvenergia osakaalu nõuet just tänu puidugraanulite kasutamisele ning tänu sellele võimeline andma oma panuse taastuvenergia kasutamisse ja kasvuhuonegaaside vähendamisesse.

1. PUIDUGRAANULID, TOOTMISE AJALOOLINE ÜLEVAADE

1.1 Puidugraanuli mõiste

Puidupelletid ehk -graanulid on 6-10 mm läbimõõduga ning kuni 40mm pikad silindrilise kujuga pulgad (vt joonis 2.1), mida saadakse valdavalt metsa- ja puidutööstuse jääkidest jahvatatud saepuru pressimisel suurel rõhul.

Biomassist pressitud graanulid on Eesti ainus automatiseeritud taastuenergia tootmise viis ning leiab järjest laiemat kasutust küttena nii eramajades, kui ka tootmisettevõtetes. Mujal maailmas kasutatakse pelleteid ka kaugkütte katlamajades ning elektrijaamades energia tootmiseks.



Joonis 1.1 Puidugraanulid. Allikas: Purutuli OÜ

1.2 Puidugraanulite kasutuse ajalugu

Puidugraanuleid valmistati esmakordselt loomasööda graanulite valmistamiseks mõeldud tehnikaga. See ehitati ringi, et võimaldada tihedamat pressimist. Selline tehnoloogia töötati välja 1970ndate aastate algul Ameerika Ühendriikides seoses energiakriisiga, kiire nafta hinna tõusu järel. Laialdasemalt hakkas graanulite tootmine levima 1980ndate aastate keskpaigas, kui järjest rohkem eramaju hakkas graanulahjusid kasutama (Malisius).

Kuna Rootsi oli tuntud oma metsasuse ja puidutööstuse poolest, siis olid nemad esimesed väljaspool Ameerika Ühendriike, kes hakkasid puidugraanuleid tootma. Rootsi soovis panustada keskkonnakaitsele ja suurendada energeetilist iseseisvust ning nägi puidugraanulite kasutuses potentsiaali.

Euroopa esimene puidupelletitehas alustas tootmist 1982. aasta novembris Mora linnas, kuid suleti juba 1986. aastal kuna tehas sattus raskustesse. Kuna puudus tootmiskogemus ning turg pelletitele, siis osutusid kulud hinnangutest palju suuremaks. Kuna esialgne tootmine toimus suures mahus puidutööstuse ülejääkidest, peamiselt puukoorest, siis oli tuhasuse protsent väga kõrge, ulatudes kuni 17%-ni. 1987. aastal avati uus tehas Kili linnas, mis pressis pelleteid kuivast toormest ja suutis toota 3000 tonni pelleteid aastas ning see töötab tänaseni. (Malisius)

Murdepunktiks pelletitootmises oli 1990ndate aastate alguses Rootsi valitsuse poolt kehtestatud mineraalsete kütuste kõrge aktsiis, mis tähendas, et nafta, kivisöe ja maagaasi kasutamine muutus üleöö kalliks ning muutis puidupelletite kasutamise kõige kasumlikumaks.

Eestis oli üheks esimeseks graanulite tootjaks OÜ Delcotek, kes rajas oma tehase juba 1999. aastal Imaveresse. 2006. aastal osteti see tehas AS Graanul Investi poolt, mis on Eesti kapitalil põhinev ettevõtte ning alustas tööd 2003. aastal. Tänapäevaks kuulub AS Graanul Investile 7 tehas Baltimaades ning ta on üks Euroopa suurimaid graanulite tootjaid. Neli nendest tehastest asuvad Eestis: Ebaveres, Helmes ja kaks Imaveres. (AS Graanul invest)

2. GRAANULITE TOOTMINE EESTIS

Graanulite tootmine sai Eestis alguse juba 1990-ndatel aastatel, kuid suurem areng algas uue aastatuhande alguses. Erinevad tootjad on Eestisse rajanud mitmeid tehaseid, mis on kiiremini arenevate suurtootjate poolt ära ostetud või nende gruppi liidetud. Tänapäeval on suurimateks ning silmapaistvamateks graanulite tootjateks AS Graanul Invest ning Purutuli OÜ.

2.1 AS Graanul Invest

AS Graanul Invest on erakapitalil põhinev ettevõtte, mis alustas tööd 2003. aastal. Põhitegevuseks on metsatööstuse ja bioenergeetika arendamine ning taastuvenergia tootmine. 2014. aastal oli AS Graanul Investi 7 tehase tootmisvõimsus 820 000 tonni graanuleid aastas.

Ettevõtte eesmärgiks on laiendada taastuvenergia tootmist ning metsandust. AS Graanul Investi peamiseks eesmärgiks on kindlustada positsioon Euroopa juhtiva graanulite tootjana. (AS Graanul Invest 2015)

AS Graanul Investi tehased:

AS Graanul Invest – 2005. aastal Imaveresse rajatud ning tööd alustanud tehas, mis nelja pelletipressiga suudab toota 105 000 tonni graanuleid aastas.

OÜ Helme Graanul – 2002. aastal rajatud graanulitehas, mis alates 2008. aastast kuulub Graanul Invest gruppi. 2012. aastal rajati graanulitehase juurde koostootmisjaam, mis suurendas tehase tootmisvõimsuse 180 000 tonnini aastas.

OÜ Ebavere Graanul – 1999. aastal rajatud graanulitehas kuulub alates 2012. aastast Graanul Invest gruppi. Tehase viis pelletipressi suudavad toota 110 000 tonni graanuleid aastas.

SIA Graanul Invest – 2007. aastal Lätis Launkalnes tööd alustanud tehases on neli pelletipressi. 2012. aastal valmis tehase juurde koostootmisjaam, mille toodetud soojusenergia kasutab ära graanulitehas ning elektrienergia antakse võrku. Tehase tootmisvõimsus on 180 000 tonni graanuleid aastas.

SIA Graanul Pellets – 2012. aastal Lätis Incukalnsises valminud tehas on AS Graanul Investi tehasest tehnoloogiliselt kõige arenenum, kuna tootmisliinis on nii koorimis- kui ka purustamisliin. Tehase kaheksa pressi suudavad toota 180 000 tonni graanuleid aastas.

UAB Graanul Invest – 2005. aastal rajatud tehas on AS Graanul Investi esimene tehas Leedus ning võimeline kolme pressiga tootma 70 000 tonni graanuleid aastas.

OÜ Osula Graanul – 2014. aasta esimeses pooles Võrumaale Sõmerpalu valda rajatud tehas alustas proovitootmisega aasta lõpus ning tehase tootmisvõimsuseks on planeeritud 220 000 tonni graanuleid aastas. Antud tehas on Balti riikide suurim ning võimaldab tootmisprotsessis kasutada kütte- ja paberipuitu, haket, saepuru ja hõövlilaastu.

Kõikide prognooside kohaselt ületab 2015. aastal AS Graanul Investi tootmisvõimsus 1 000 000 tonni ning on seega Balti riikide suurima tootmismahuga graanuleid tootev ettevõtte. (AS Graanul Invest)

2.2 Purutuli OÜ

Purutuli OÜ on 2003. aastal asutatud ettevõtte, mille põhitegevuseks on graanulite ja puiduhakke tootmine ning müük. Peamiselt kuulub tootmisesse tööstuslik graanul ning 98% toodangust eksporditakse Rootsi ning Taani, kus seda kasutatakse suurtes katlamajades. (Purutuli OÜ 2015)

Tootmist alustati Sauga tehases, mille tootmismahuks on 120000 tonni aastas. Tooraineks kasutatakse 200000 puiste m³ saepuru ja 80000 puiste m³ küttepuid aastas. Lisaks kasutatakse kuivatusprotsessis 70000 puiste m³ koort ning metsahaket. Saetööstuse tükkjätmete kogumiseks ja töötlemiseks rajati plats Imaverre, kus toodetakse kuni 100000 puiste m³ küttehaket. (Purutuli OÜ 2015)

Purutuli OÜ käive 2010. aastal oli ligi 6 miljonit eurot ning 2013. aastaks kasvas see üle 19 miljoni euroni. (Inforegister 2015)

Ettevõtte eesmärgiks on toota ja tarnida klientidele loodussõbralikku ning kõrge kvaliteediga toodangut ja oma tegevusega anda panus keskkonna säästmisele ja jäätmete vähendamisele. (Purutuli OÜ 2015)

3. GRAANULITEST ÜLDISELT

3.1 Graanulite kasutusest

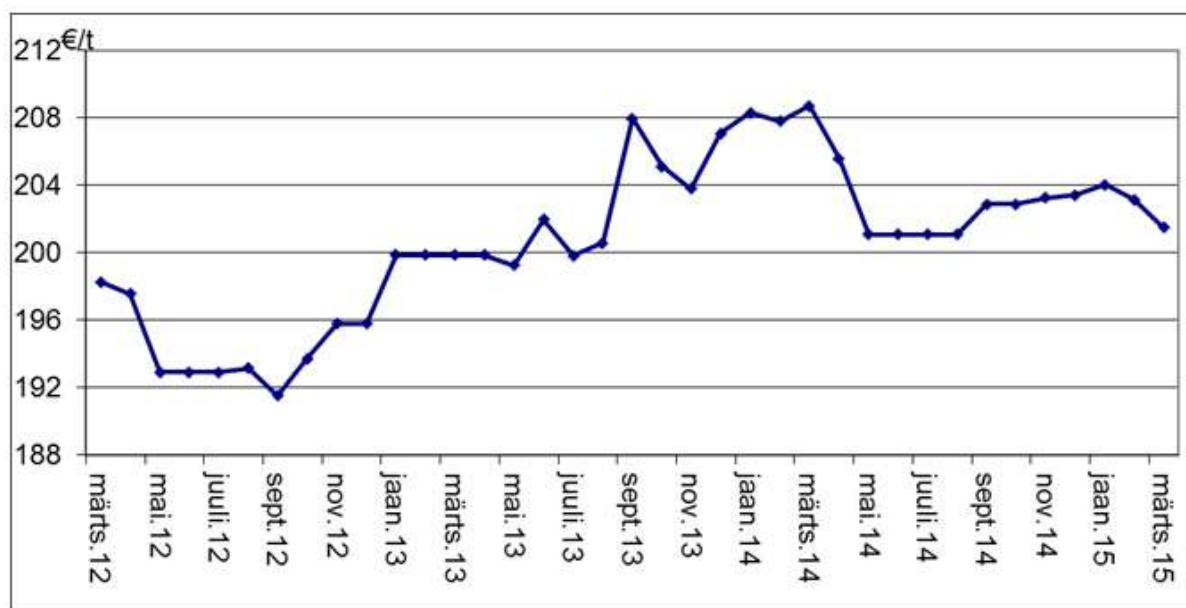
Kuna viimasel kümnendil on mineraalsete ja fossiilsete kütuste hinnad hakanud märgatavalt tõusma ja tahetakse rohkem panustada keskkonnahoidu, siis pööratakse üha enam tähelepanu taastuvale energiale. Järjest rohkem kasutatakse puitgraanuleid nii eramajades, kui ka tööstustes, elektrijaamades ning soojuskatlamajades. Lisaks sellele on graanulite tootmine hea võimalus mõistlikult kasutada saetööstuse jääke. Tekkivat saepuru ei ole otstarbekas põletada, kuna suure mahu ja väikese kaalu tõttu on transport pikemate vahemaade taha äärmiselt kulukas. Saepurus sisalduv energia hulk on üsna suur ning graanulite pressimine annab ideaalse võimaluse see energia väikesema energiakandja mahu juures ära kasutada. Näiteks saab 3m³ saepuru pressimisel 1m³ pelletteid (650 kg), mis oma energia sisalduselt on võrdne ligikaudu 260 kg kütteõli või 390 kg kivisöega (Pastre, autori arvutatud).

3.2 Graanulite liigitus

Graanuleid liigitatakse tööstusgraanuliteks (*industrial pellet*) ja kvaliteetgraanuliteks (*premium pellet*). Nende vahe seisneb graanuli kvaliteedis.

Tööstusgraanuleid valmistatakse vähemkvaliteetsest toormest ning peamiselt leiab see kasutust elektrijaamades ning suuremates soojuskatlamajades. Tööstuslikud graanulid on oma hinnalt natukene odavamad (tööstuslike graanulite hind on 210 EUR/tonn, kvaliteetgraanulitel 222 EUR/tonn), kuid enamasti ei ole sobilik väikekatelde jaoks. (AS Pelletiküte 2015)

Keskmine puitgraanulite jaehind on toodud joonisel 3.1.



Joonis 3.1 Puidugraanuli keskmine jaehind koos käibemaksuga (allikas: Hepner)

Kvaliteetgraanuleid valmistatakse kvaliteetsemast toorainest, mis tagab väiksema purususe ning tuhasuse. Sellised graanulid leiavad kasutust peamiselt kodumajapidamistes ning teistes kateldes, mis nõuavad kvaliteetset kütust. Graanulite võrdlus on toodud tabelis 3.1. (AS Pelletiküte)

Tabel 3.1

Tööstus- ja kvaliteetgraanuli võrdlus (allikas: Purutuli OÜ, AS Pelletiküte)

Parameeter	Ühik	Tööstusgraanul	Kvaliteetgraanul
Kütteväärtus	kWh/kg	~4,8	~4,8
Mahukaal	Kg/m ³	>630	>650
Tuhasisaldus	%	≤1,5	≤0,5
Mehaaniline tugevus*	%	>97,5	>97,5
Läbimõõt	mm	≤10	≤8
Niiskus	%	8-10	6-8
Kloor	%	<0,03	<0,03
Väävel	%	<0,05	<0,05

*Mehaanilise tugevuse % näitab kui suur hulk graanulitest peab vastu pidama mehaanilise tugevuse katsetamisele ISO 17831-1 järgi. (Austrian Standards Institute)

3.3 Graanulite kvaliteet

Puidugraanulite kvaliteedikontrollil on tehases tootmisprotsessi oluline osa, et valmistada kvaliteetseid ning suure energiasaldusega graanuleid. Kvaliteedikontrolli käigus uuritakse teatud intervallide tagant graanulite tugevust, niiskust ning tuhasuse protsenti, et saavutada parim tulemus. Kui mõni kvaliteedinäitaja on paigast ära, siis korrigeeritakse koheselt tootmisliinis kvaliteedi langust põhjustavaid seadmeid või parameetreid. Graanulite kvaliteedi näitajad on toodud tabelis 3.2.

Puidugraanulite kasutajate seas on üsna levinud arusaam, et graanulite kvaliteeti saab määrata värvuse järgi. Arvatakse et heledama värvusega graanulid on kvaliteetsemad kui tumedamad. Selline väide on tõene juhul, kui tootmises kasutatakse madalama kvaliteediga toorainet ning graanulitesse lisatakse puukoort, mis muudab toote värvuse tumedamaks, kasuteguri väiksemaks ning tuhasuse suuremaks.

Graanuli tumedam värvus võib tegelikult tuleneda tootmisprotsessist, kui suure niiskusega saepuru viiakse trummelkuivatis kokku kuuma õhujoaga, mis saepuru kiirelt kuivatab ja niiskuse välja viib ning seda temperatuuri toimet tumedamaks muudab. Heledamaid graanuleid saadakse saepuru kuivatamisel madalamal temperatuuril või kui tootmises kasutatakse ainult kuiva saepuru.

Seega ei piisa ainult visuaalsest vaatlusest, et määrata toote kvaliteet, vaid on oluline teada, millist toorainet ning milliseid seadmeid tootmises kasutatakse

Tabel 3.2

Graanulite kvaliteedi näitajad (allikas: Purutuli OÜ, AS Pelletiküte)

Parameeter	Ühik	Kvaliteedi näitaja
Kütteväärtus	kWh/kg	4,7-4,9
Mahukaal	Kg/m ³	600-670
Tuhasus	%	0,4-0,8
Niiskus	%	<8
Väävlisisaldus	%	<0,05
Kloriidisisaldus	%	<0,03
Läbimõõt	mm	6-10
Pikkus	mm	<40
Mehaaniline tugevus	%	>97,5
Purusus	%	<1

4. TOORMATERJAL

Graanulite tootmine algab toormaterjali hankimisega ja selle purustamisega vajalike mõõtmeteni. Kõige otstarbekam oleks kasutada näiteks mööblitööstuse või mõne muu puitu töötleva ettevõtte jääke. Saetööstuses tekib erinevaid jäätmeid kuni 40% ulatuses, millest keskmiselt ligi 28% moodustavad hõvellaastud, toodangu praak ning mittekõlbulik materjal laudade ning prusside valmistamiseks. Ülejäänud 12% on puhas ja kuiv saepuru, mis on pelletite tootmise jaoks parim tooraine, kuna siis vähenevad töötlemise ja kuivatamise kulud. (Pellet Energy)

Kuna graanulite tootmine on väga kiirelt arenenud ning ainuüksi saetööstuse materjalist jääb väheseks, siis järjest enam kasutatakse palki, mis purustatakse hakkeks ning seejärel jahvatatakse saepuruks. (Randlaid)

4.2 Toorme kvaliteet

Nii palgi, kui ka hakke kvaliteeti saab määrata tema energiasisalduse järgi. Hakke korral saab energia sisaldust määrata peenete osakeste osakaalu järgi. Mida rohkem on hakke hulgas puukoort, lehti, okkaid ja pinnase osakesi, seda väiksem on toorme energia sisaldus ja seega kvaliteet (Liblik). Sama kehtib ka värskelt raiutud okste ja energiavõsa kohta, kuna selline purustatud mass sisaldab väga vähesel määral puidukiudu. Sellist haket saab kasutada koostootmis-jaamades, kus kütteväärtuse osakaal ei oma suurt tähtsust. Küttepuidust toodetud hake sobib graanulite tootmiseks ideaalselt tingimused, et see ei sisalda mittekõlbliku osa nagu näiteks pinnase osakesed ja puukoor. Niiskuse protsent peab olema alla normi (40-60%).

Puidugraanuli tootmiseks kasutatakse puhast haket, mis vastab eelpool mainitud nõuetele, see tähendab, et on puhas ning niiskus on 40-60%. Tavaliselt jääb hakke suurus vahemiku 10-70 mm.

Ka palgist toodetavale hakkele kehtivad sarnased tingimused. Puit peab olema suhteliselt kuiv ning ei tohi sisaldada võõrkehi ning mädaniku. Lisaks peavad palgid olema piisavalt sirged ning ei tohi olla liiga jämedad, et mitte ummistada koorijat ning hakkurit. Palk ei tohi olla harupuu ning oksad peavad olema laasitud võimalikult tüve lähedalt. Sellised tingimused kehtivad ainult juhul, kui valmistatakse puhast haket ning puukoor on vaja eemaldada.

4.3 Kütteväärtus ja tuhasisaldus

Puidu kütteväärtuseks nimetatakse soojushulka, mis eraldub 1 kilogrammi puidu põlemisel. Kütteväärtuse järgi on võimalik arvutada kütuse ülemine ehk bruto ja alumine ehk neto väärtus (Vares). Ülemise kütteväärtuse arvutamisel eeldatakse, et kütuse niiskusest suitsugaasidesse sattunud veeaur kondenseerub täielikult ning alumises kütteväärtuses suitsugaasides sisalduvat veeauru kondenseerumissoojust ei arvestata (Kask). Mida suurem on kütuse niiskus, seda suurem on erinevus ülemise ja alumise kütteväärtuse korral.

Enamasti väljuvad suitsugaasid katlast korstnasse üle 100°C temperatuuril, st kastepunktist tunduvalt kõrgemal temperatuuril ja sellistes tingimustes veeauru kondensatsioonienergia jääb kasutamata. Puitkütuste korral on võimalik suitsugaase 40-60°C-ni jahutades saada veeauru kondensatsioonienergiast umbes 15-20% täiendavad soojust (Vares). Seega tavakasutaja kateldes kasutatakse alumist (neto) kütteväärtust ja suitsugaaside kondenseerimisega seadmetes ülemist kütteväärtust. Tabelis 4.1 on toodud Eestis enim levinud ning kütteks kasutatavate puuliikide alumised kütteväärtused.

Tabel 4.1

Erinevate puuliikide alumised kütteväärtused (allikas: Vares)

Puuliik	Alumine kütteväärtus MJ/kg
Harilik mänd (<i>Pinus sylvestris</i>)	19,52
Harilik kuusk (<i>Picea abies</i>)	19,29
Sookask (<i>Betula pubescens</i>)	19,30
Arukask (<i>Betula pendula</i>)	19,29
Hall lepp (<i>Alnus incana</i>)	19,18
Sanglepp (<i>Alnus glutinosa</i>)	19,31
Harilik haab (<i>Populus tremula</i>)	18,65

Tuhaks nimetatakse täielikul põlemisel tekkinud tahket jääki. Tüvepuidu tuhasisaldus jääb alla 1% ning on erinevatel puiduliikidel väga sarnase väärtusega. Puukoore tuhasus jääb tavaliselt üle 2%, mistõttu eelistatakse graanuleid valmistada tüvepuidu saepurust ning vähem kasutatakse hakkepuitu. Tabelis 4.2 on toodud Eestis enim levinud puuliikide tuhasisaldus tüvepuidus ning puukoores.

Tabel 4.2

Erinevate puuliikide puidu kuivaine tuhasus % (allikas: Paist)

Puuliik	Tüvi	Koor
Harilik mänd (<i>Pinus sylvestris</i>)	0,2-0,7	1,4-2,2
Harilik kuusk (<i>Picea abies</i>)	0,2	2,3
Sookask (<i>Betula pubescens</i>)	0,2-0,4	2,4
Harilik haab (<i>Populus tremula</i>)	0,2-0,3	2,7

5. TOOTMISPROTSESSI ÜLEVAADE

5.1 Graanulitehase tootmisprotsessi lühiiseloostus

Vajaminevad tingimused graanulitehase ehituseks, mis on võimeline tootma 90000 tonni graanuleid aastas (vt joonis 5.1.1):

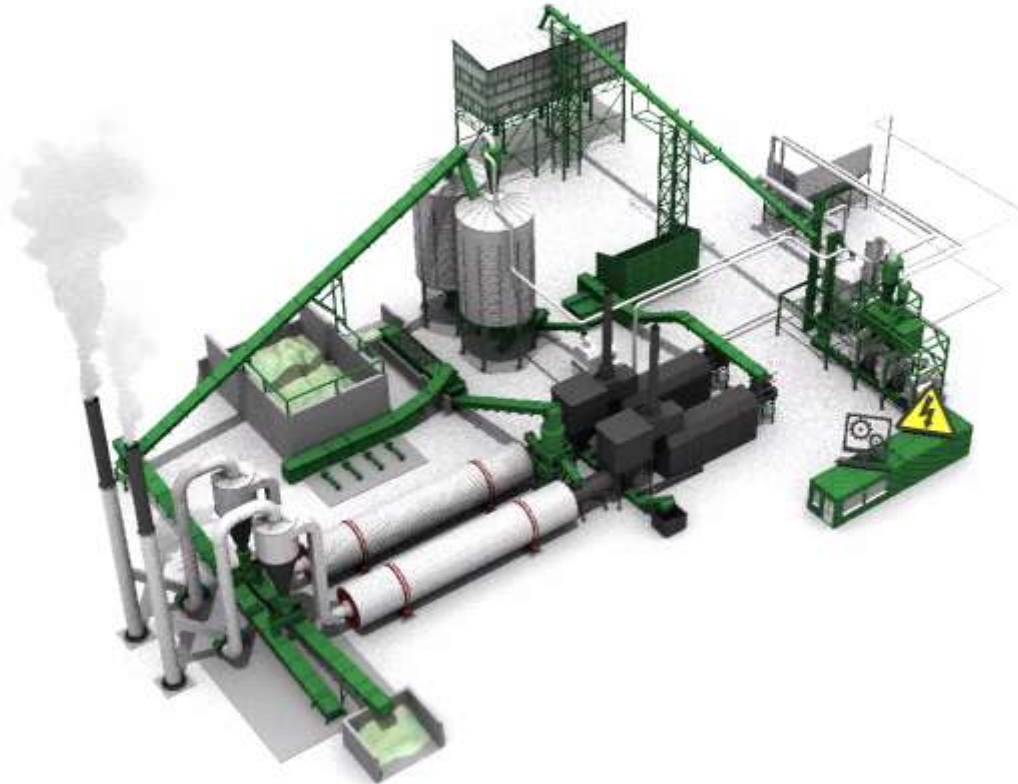
- Elektrivõimsus 2,0 MW – kolme pressi ja peenhakkuri puhul.
- Vesi – kuivatusprotsessis läheb vaja umbes 1500 liitrit vett tunnis (lühiajaliselt) + lisa vesi tuleohutusnõuete täitmiseks.
- Aur – auru läheb vaja 200 kg tunnis ühe pressi kohta.
- Hooned ja rajatised – Plats tooraine hoidmiseks (kõva kattega, pindalaga ca 15000 m²), soojustatud (pindalaga 1100 m²) ja soojustamata (pindalaga ca 600 m²) tootmishooned vastavalt valitud seadmekomplektile ja olemasoleva territooriumi iseärasustele. Valmistoodangulaod – oleneb valmistoodangu hoidmise viisist, näiteks pakkides graanulid 16 kg pakenditesse, või ladustades neid puistena vajatakse pindala ca 5000 m² - laohoone ei vaja küll kütet, kuid peab tagama et graanulid ladustamise käigus ei niiskuks.
- tehniliste protsesside juhtimine on automatiseeritud. Kasutatakse Metso kontrolleriil baseeruvat lahendust. Lisaks ka visualiseerimisprogramm protsessi paremaks jälgimiseks.
- töö latusaks toimimiseks on vaja 3-4 töötajat vahetuses. Kuna tehas töötab 11-kuuse tsükliga (üks kuu läheb tehnilisele teenindusele), on vaja nelja vahetusega töörežiim. Kokku 16-20 töötajat (töötajate kogus oleneb toodangu pakkimisvalikust), lisaks sellele on vaja 1-2 inimest administratsiooni.

Nimetatud seadmekomplektile võib tootmises võib välja tuua järgnevad toomistsükliid:

- tooraine ladustamine
- tooraine etteanne nii ahjule (kütteks) kui toomisesse + tootmisprotsessis kasutatava tooraine kuivatus
- purustamine, pressimine, jahutamine

- pakkimine ja valmistoodangu ladustamine

Juhul kui lisandub ka ümarpalgi või muu materjali hakkimissõlm on üheks protsessi osaks ka materjali ladustamine ja purustamine.



Joonis 5.5.1 Sauga graanulitehas (allikas: Purutuli OÜ, Hekotek AS)

5.2 Palgi koorimine

Koorimisliine kasutatakse palkide puhastamiseks puukoorest ning mineraalidest, mis puukoorega kaasa tulevad ja edasisel töötlemisel seadmete eluiga vähendavad. Koorimisliinide tootlikkused sõltuvad nii koorija kui hakkuri tootlikkusest, aga ka soovitud palkide puhtusastmest ning jäävad 30-70 m³ palke tunnis. (MGT Eesti AS)

Koorimine toimub metallist konteineri põhjas, kus asuvad samasuunaliselt pöörlevad ja hammastega varustatud rootorid, mis panevad puidu konteineris liikuma ja pöörlema (vt joonis 5.5.2). Palkid liiguvad alumistest kihtidest ülemistesse kihtidesse ning tagasi. Koorimine toimub palkitüvede omavahelise hõõrdumise ja rootoritega kokkupuute koosmõjul.

Koor väljub rootori hammase vaheliste avade kaudu seadme all paiknevasse konveierisse. Koorimise kvaliteeti reguleeritakse üheaegselt konteinerisse etteantud palkide hulga ja ajaga, kui kaua tüved koorijas viibivad.

Koorijas väljuvad palgid suunatakse reeglina mööda lintkonveierit otse hakkurisse, mis palgid peenestab.



Joonis 5.5.2 Palgi koorimismasin (allikas: alibaba.com)

5.3 Hakkepuidu tootmine

Hakkepuidu tootmiseks on kolme tüüpi hakkureid: kruvi-, trummel- ja ketashakkur. Lisaks eelmainitud kolmele on veel olemas haamerveskid, rullpurustid, lõugpurustid jt. seadmeid, mis on mõeldud lisanditega puidu purustamiseks. Lisandite alla kuuluvad liiv, muld, kivid, metall ning teised materjalid, mis võiksid graanulite tootmisliini kahjustada. Erinevalt hakkuritest toodavad need seadmed ebahühtlase suuruse ja kujuga materjali ning on statsionaarsed, mis tähendab, et nad leiavad kasutust üksnes suurtootmistes. (Palatu)

5.3.1 Kruvihakkur

Kruvihakkuri nimetus tuleb tema lõikepea kujust, mis välimuselt meenutab kruvi (vt joonis 5.5.3. ja joonis 5.5.4). Samaaegselt lõikamisega toimub ka materjali edasi tõmbamine, mis muudab selle seadme mugavaks käsietteande korral. Miinusteks on aga saadava puidulaastu suurus, mis sõltub lõikepea kujust ja suurusest ning mille muutmiseks on vaja tööorgan välja

vahetada. Lisaks nõuab lõikepea teritamine eriseadmeid. (Amisy, Henan Kingman, MGT Eesti AS)



Joonis 5.5.3 Kruvihakkuri tööorgan (allikas: fluidyrenz.250x.com)

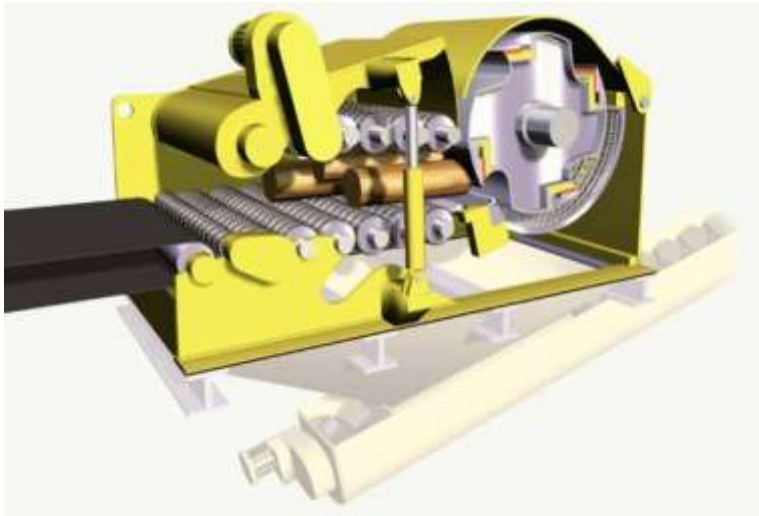


Joonis 5.5.4 Kruvihakkur (allikas: fluidyrenz.250x.com)

5.3.2 Trummelhakkur

Trummelhakkuris on lõiketerad kinnitatud terasest silindri välispinnale. Silinder pöörleb väljalaske suunas. See tähendab, et trummel tõmbab materjali purustamisega samaaegselt edasi. Etteandmine toimub tavaliselt kettkonveieriga või toiterullikutega ning hake eemaldatakse ventilaatori abil (vt joonis 5.5.5). Trummelhakkuri juures on positiivne, et lõiketerade reguleerimisega on võimalik muuta ka hakke suurust ning seadmel on väikesed mõõtmed. Puudusteks on aga üsna suur müratase, tundlikkus võõrkehade suhtes ning kõrge hind. Lisaks on trummelhakkuril suur energiakulu ning saadava hakke suurus ei ole ühtlane,

sest see on sõltuv lõigatava palgi diameetrist. Trummelhakkur sobib pigem raiejäätmete peenestamiseks, kui suurte palkide hakkimiseks. (Amisy, Henan Kingman, MGT Eesti AS)



Joonis 5.5.5 Trummelhakkur (allikas: mgt.ee)

5.3.3 Ketashakkur

Ketashakkuri (vt joonis 5.5.6) 2-4 lõiketera on radiaalselt kinnitatud hästi tasakaalustatud kettale. Etteanne toimub tavaliselt väikese nurga all, mis tähendab, et kas toorme etteanne on nurga all või hakkuri ketas on horisontaalse kalde all. Toorme etteanne toimub kas käsitsi või manipulaatori abil. Nagu trummelhakkuri puhulgi on ka ketashakkuri puhul üsna lihtne lõiketerade reguleerimisega muuta toodetava hakke suurust. Ketashakkuri eeliseks on lihtne ehitus, odavus. Võrreldes trummelhakkuriga võib energiasääst ulatuda kuni 70%ni. Stabiilne lõikenurk annab ühtlasema hakke suuruse, kui teiste hakkurite puhul, kuid tootlikkus on väiksem, sest seadme suurte mõõtmete juures on etteande ava võrdlemisi väike. (Amisy, Henan Kingman, MGT Eesti AS)



Joonis 5.5.6 Ketashakkur (allikas: woodproductsonlineexpo.com)

5.4 Kütuse ja märja tooraine hoidmine

Graanulite tootmisprotsessis vajaliku soojusenergia tootmiseks kasutatakse reeglina toorainet, mis ei sobi graanulite enese tootmiseks – näiteks puukoor või hake.

Graanulite tootmiseks on kõige sobivam tooraine saepuru, kuid on võimalik kasutada ka muid puidutöötlemise jääke. Näiteks puhas, puukoore vaba hakkepuuit (vt joonis 5.5.7) või mööblitööstusest tekkivad puitklotsid (vt joonis 5.5.8) ning muud puhtad jäätmed , mis eelnevalt purustatakse töötlemiseks vajaliku fraktsioonini.

Töö katkematuks jätkamiseks on graanulite tootmisel soovitatav omada piisavat, mitmenädalast tooraine varu (Purutuli OÜ). Kuna kütteks ja graanulite eneste valmistamiseks kasutatakse erinevat toorainet, on soovitatav ka nende toorainete laod omada teineteisest eraldi.



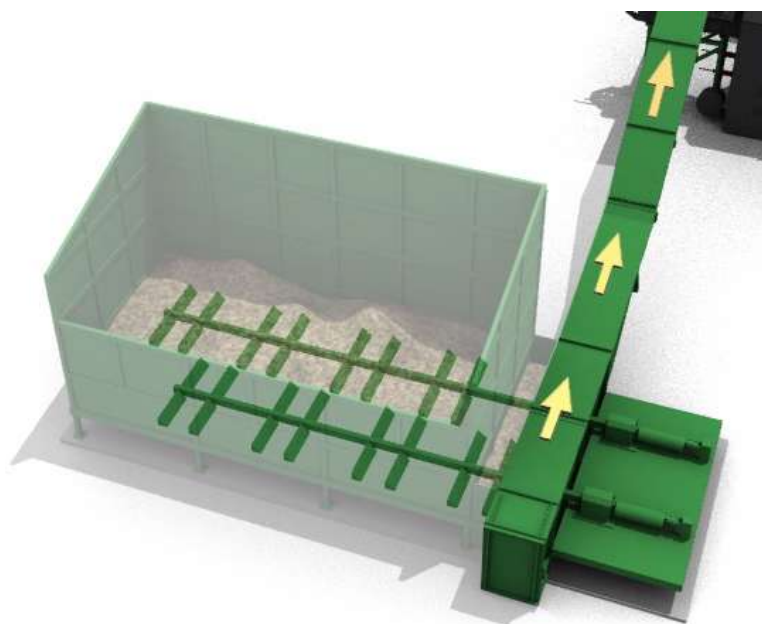
Joonis 5.5.7 Hakkepuuit (allikas: Purutuli OÜ)



Joonis 5.5.8 Puitklotsid (allikas: Purutuli OÜ)

5.5 Märja tooraine kuivati

Tooraine kuivati kompleksi kuuluvad liikurpõhjaga laod koos kütuse ja tooraine etteandekonveieritega (vt joonis 5.5.9), põlemiskamber soojusenergia tootmiseks, saepuru kuivatustrummel ning konveierid kuivatatud tooraine transpordiks ja etteandeks pressimisele.



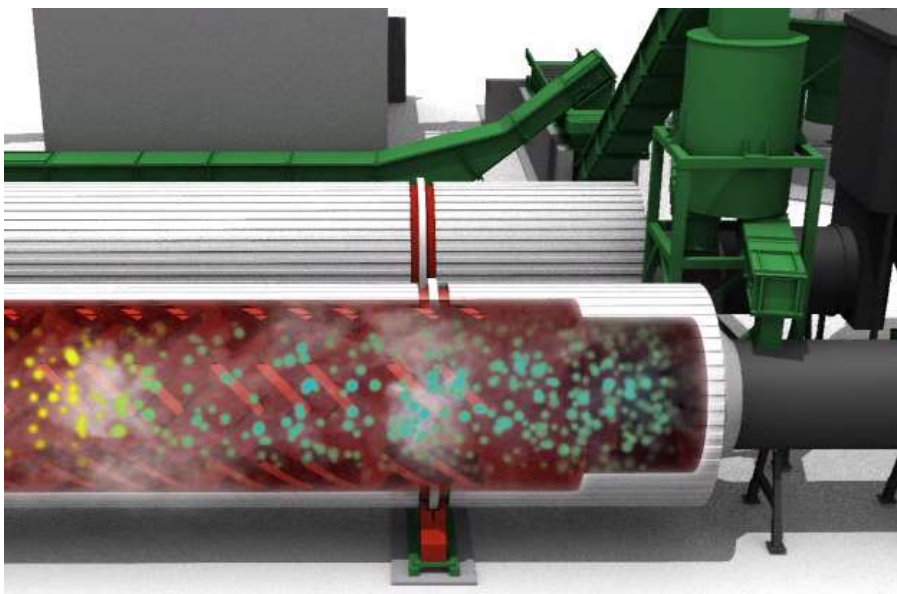
Joonis 5.5.9 Liikuva põhjaga ladu (allikas: Purutuli OÜ, Hekotek AS)

Põletuskambrist liiguvad kuumad gaasid edasi segamiskambrisse, kus gaaside temperatuuri vähendatakse automaatselt kuni 500 °C (vt joonis 5.5.10). Edasi liigub kuum õhk kuivatustrummelisse, kus lisatakse märg tooraine.

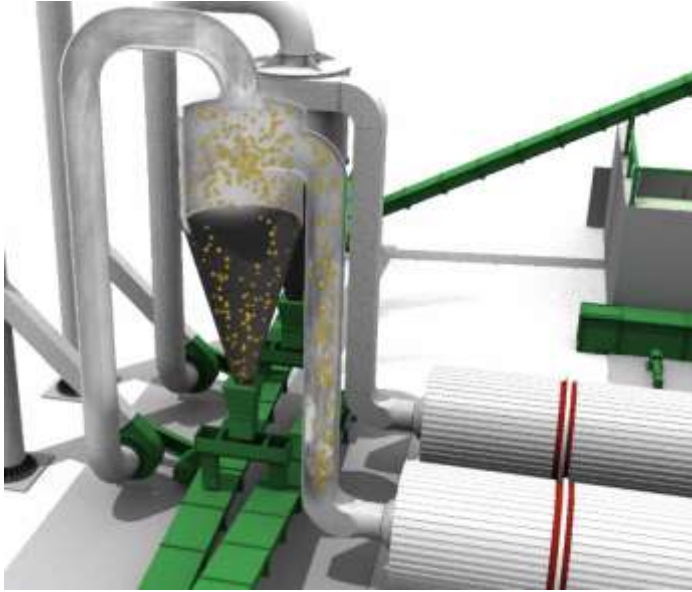


Joonis 5.5.10 Põletuskamber (allikas: Purutuli OÜ, Hekotek AS)

Aeglaselt pöörlevas kuivatustrumlis (vt joonis 5.5.11) segatakse saepuru aeglaselt ning kuumas õhujoas väljutatakse niiskus. Kuum ning niiske õhk suunatakse koos saepuruga edasi tsüklonitesse (vt joonis 5.5.12), kus aur saadetakse edasi korstnasse ja sealt atmosfääri. Puhastatud õhk suunatakse tagasi tootmistehhi ja see ei sisalda jääkaineid. Kuiv saepuru suunatakse vahelattu ja sealt edasi pressimisliinile.



Joonis 5.5.11 Niiske saepuru kuivatamine kuuma õhu joaga pöörlevas trumlis (allikas: Purutuli OÜ, Hekotek AS)



Joonis 5.5.12 Tsüklonite abil kuiva saepuru eemaldamine õhujoast ja suunamine vahelattu (allikas: Purutuli OÜ, Hekotek AS)

Kuna protsess toimub kõrgetel temperatuuridel ja antakse välja suur hulk auru, on enamus seadmeid valmistatud roostevabast materjalist.

Väga tähtis on nõuetekohaselt läbi viia kuivatusprotsess, tagades sealse tehnilise protsessi ohutus. Kogu juhtimisprotsess on arvutiseeritud, mis aitab hoida vajaminevat saepuru niiskust 10-12%, arhiveerides ka kogu tootmisprotsessi kronoloogiat. (Purutuli OÜ)

5.6 Lisapurustamine

Kui õhk ja tooraine on teineteisest tsüklonite abil eraldatud ning vahelattu suunatud, liigub kuivatatud saepuru purustamisveskisse, kus vähendatakse jäätmed 1-3 mm-ni ja ventilaatori abil tuuakse vahelkambrisse, mis paikneb pressi peal.

5.6.1 Haamerveski

Haamerveskid koosnevad kolmest põhiosast: masinaraamist, rootorist ning põhjasõelast. Haamerveskil (vt joonis 5.5.13) on kaks peamist etteande tüüpi, horisontaalne ning koluga etteanne. Koluga etteande korral jõuab tooraine gravitatsiooni toimele tööorganini, mis koosneb tavaliselt rootori võllile kinnitatud ristkülikukujulistest terasest haamritest. Võlli kiirel pöörlemisel purustatakse materjal haamrite, kambri seinte vastu hõõrdumise ning osakeste omavahelise pörkumise tagajärjel soovitud fraktsioonini. Piisavalt väikeste mõõtmeteni purustatud materjal tõmmatakse alarõhku tekitades läbi põhjasõela ja suunatakse

vahekambrisse. Erinevate rootorite ja põhjasõelte kombineerimisega on võimalik komplekteerida veskeid vastavalt vajadusele, et saavutada soovitud fraktsioon. Peenema fraktsiooni saamiseks tuleb suurendada rootori kiirust ning põhjasõela tihedust. (Amisy)



Joonis 5.5.13 Haamerveski (allikas: rictec.com.sg)

5.7 Pressimine

Dosaatori abiga tuuakse kambrist täpne kogus toorainet pressi. Materjal läbib enne pressi jõudmist konditsioneeris, kus saepuru segatakse auruga, mille temperatuur on 65-75 °C. See lihtsustab pressi tööd, parandab graanuli kvaliteeti ja aitab märgatavalt vähendada elektrienergia kulu. Konditsiooniks kasutatakse küllastunud auru, rõhk 6-8 kg (ca 200 kg tunnis pressi kohta). (Purutuli OÜ)

Pressis on tooraine suure surve all, mille mõjul surutakse tooraine läbi matriitsi. Valmis graanulid transporditakse konveieri ja elevaatorikonveieri abil jahutusse, kus graanuli temperatuur vähendatakse normaaltemperatuurini (15-25 °C). Peale jahutust graanulid sõelutakse, eraldades kvaliteetsest toodangust ebakvaliteetse. Viimane transporditakse edasiseks töötlemiseks tagasi toomisprotsessi algusesse.

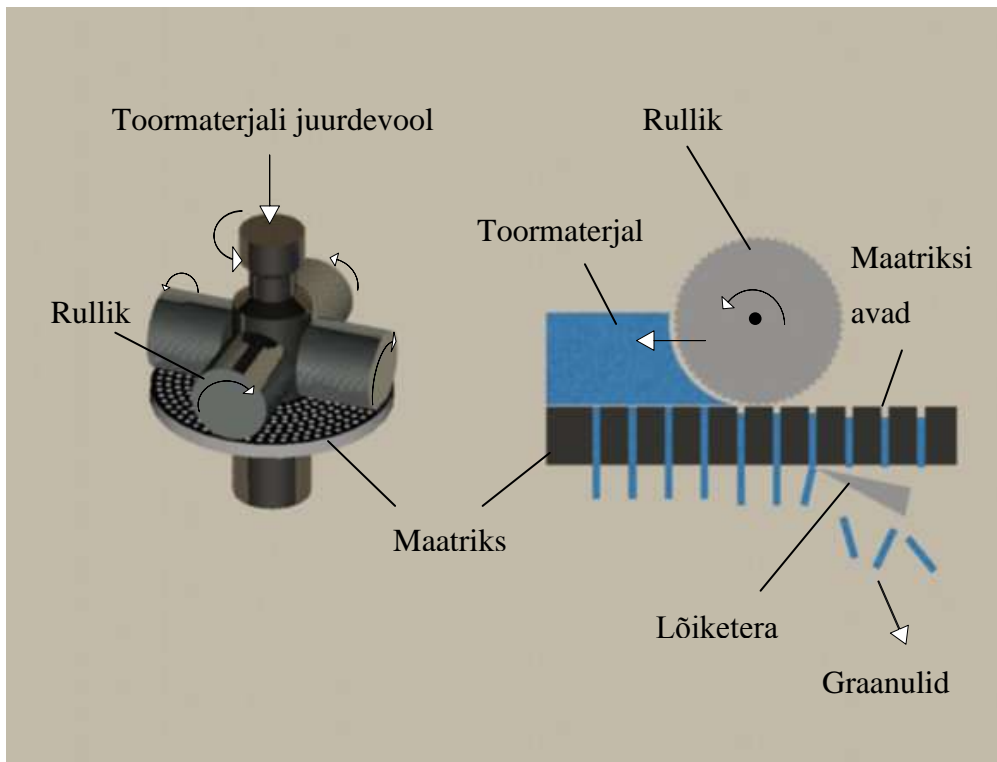
Pelletite tootmises kasutatakse peamiselt kahte tüüpi matriitspresse: tasapinnalised- ja silindrilised matriitspressid.

5.7.1 Tasapinnalised matriitspressid

Tasapinnalisel matriitspressil (vt joonis 5.5.14) leiab kasutust kaks ehitusliku tüüpi. Ühel juhul on pöörlevaks osaks matriitsi peal asuvad rullikud ning teisel juhul pöörleb matriits. Mõlema ehituse korral langeb tooraine gravitatsiooni toimel pelletiseerimise kambrisse, kus saepuru matriitsi ning rullikute vahel oleva surve toimel läbi avade surutakse. Matriitsi all asub lõiketera, mis pelletid õigesse pikkusesse lõikab (vt joonis 5.5.15).



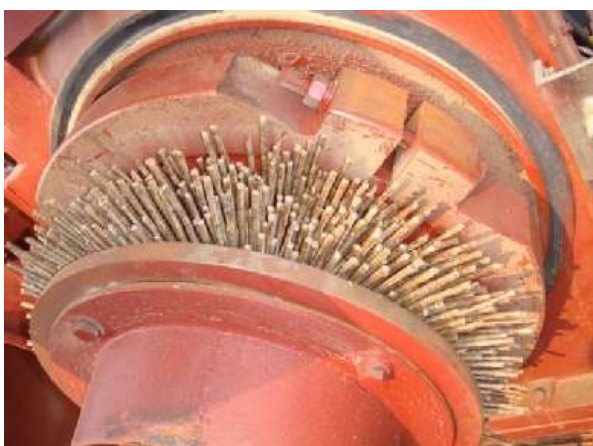
Joonis 5.5.14 Tasapinnaline matriitspress ja matriitsid (allikas: woodpelletline.com)



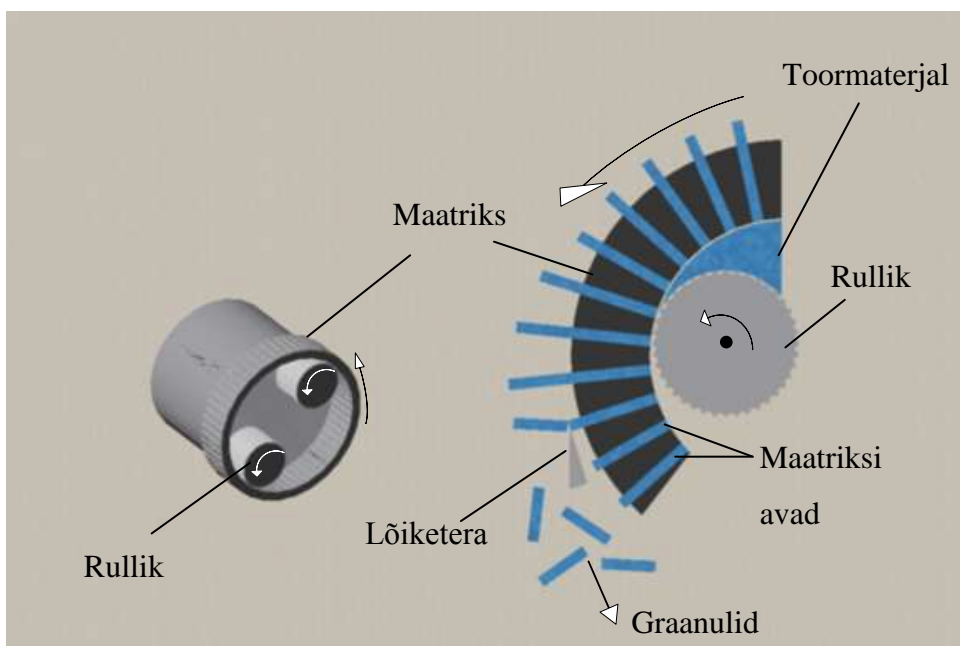
Joonis 5.5.15 Tasapinnalise matriitspressi tööorgan ja tööpõhimõte (allikas: autori illustratsioon)

5.7.2 Silindrilised matriitspressid

Silindrilise matriitspressi (vt joonis 5.5.16) korral pöörleb matriits ümber pöörlevate rullikute, mis suruvad dosaatori abil pihustatud toorme läbi matriitsi avade. Väljaspool matriitsi asub lõiketera, mis graanulid vajaliku pikkuseni lõikavad (vt joonis 5.5.17). Silindrilised matriitpressid leiavad kasutust suurtootmistes, kuna nende tootlikkus on suur ning toodang on ühtlane.



Joonis 5.5.16 Silindriline matriitspress (allikas: gardenheat.com)



Joonis 5.5.17 Silindrilise matriitspressi tööorgan ja tööpõhimõte (allikas: autori illustratsioon)

5.7.3 Silindrilise ja matriitspressi võrdlus

Tasapinnaline matriitspress on oma mõõtudel ning struktuurilt lihtsama ehitusega kui silindriline matriitspress. Seda on väga lihtne hooldada ning puhastada, kuna nii matriits kui ka rullikud on kergesti eemaldatavad ja teiseldatavad. Lisaks on tasapinnalise pressi korral võimalik pelletiseerimise kambrit jälgida, mis muudab uute toorainete ning segude testimise lihtsamaks. Tasapinnalise matriitspressi toodangumaht on aga palju väiksem ning leiab peamiselt kasutust väikeettevõtetes ning laborites. Ka elektrivoolu kulu on suurem kuna saepuru surumiseks läbi matriitsi kulub rohkem energiat. Silindrilise matriitspressi korral aitab suur tsentrifugaaljõud graanuleid läbi matriitsi tõmmata, mis muudab graanulite lõikamise lihtsamaks. Lisaks on silindrilise matriitspressi kulumisaste väiksem, kuna rullikute sise ning välisserv läbivad pressimise käigus sama distantssi. Tasapinnalise korral kulub nii matriitsi kui ka rulliku sisepind rohkem, kuna väiksema raadiuse tõttu on seadme hõõrdumine selles piirkonnas intensiivsem.

Suurimaks miinuseks silindrilise matriitspressi korral on külglibisemine. See tähendab, et toormaterjal pressitakse matriitsi ja rullikute vahelt välja. Seda on võimalik vähendada surve alandamisega või suuremate avadega matriitsi kasutades. Teiseks võimaluseks on matriitsi välimise serva avade suuremaks puurimine, kuid selle all kannatab graanulite kvaliteet ning ühtlus.

5.8 Graanulite jahutamine

Puidugraanulid vajavad jahutamist kuna pressist väljudes on nende niiskus kõrge ning temperatuur ulatub 70-85°, mistõttu on graanulid vaja jahutada umbes toatemperatuurini (20-25°), et vältida hallituse teket ning levikut. (AS Graanul Invest)

Kuumad ning niisked graanulid liiguvad kuivatisse ülevalt ning jaotatakse laiali pöörleva jaotussüsteemi abil, mis tagab pelletite ühtlase jagunemise. Kuivati alumisest osast puhutakse veritaalselt sisse külm õhk, mis puutub esmalt kokku juba jahtunud ning kuivade graanulitega. Õhk liigub ülemistesse kihtidesse, kus on kuumad ja niisked graanulid. Selle protsessi käigus õhk kuumeneb aeglaselt ning püsib pidevalt graanulitele lähedasel temperatuuril, mis aitab vältida graanulite murenemist ning pragunemist. Ülemistes kihtides on õhu temperatuur juba piisavalt kõrge, et graanuleid kuivatada ning nendest niiskus välja viia. Kuivati all asub pump, mis alumistest kihtidest kuivad ja jahutatud graanulid edasi lattu ja pakendamisse suunab.

5.9 Pakkimine ja valmistoodangu ladustamine

Tehase territooriumist ja kasutatavast transpordiskeemist lähtuvalt valitakse välja parim võimalik ladustamise viis ja koht. Ladustamisel kasutatakse järgnevaid meetodeid:

- puisteladustamine,
- väikepakk 16 kg laadituna alustele
- „big-bag“ kotid, mahutavusega ca 1500 kg.

Kuna enamus potentsiaalseid kliente asuvad Euroopas, on kõige ratsionaalsem meretransport. Kui vahemaa laost sadamani on suurem kui 300 km, on mõttekas ja kasulik pakkida graanulid taaskasutatavatesse kottidesse, pehmetesse konteineritesse või „Big Bag“i ja viia raudteevagunis sadamasse. Sadamas laetakse graanulid puistekaubana laeva trümmidesse, kasutatud pehmed konteinerid või „big bagid“ tagastatakse soovi korral tehasesse uueks laadimiseks.

Lahtise puistegraanuli ladu peaks olema pindalaga ca 3 500 m² ja lao seinad peavad võimaldama kõrgusesse ladustamist (vähemalt 3m). Lao täitmine toimub automaatselt konveieri abil. Auto peale laadimine toimub kopaga rataslaaduri (tõstuki) või puistemeetodil gravitatsiooni või pumpade abil. Ladu peab olema täielikult kaitstud sademete ja niiskuse eest, kuid ei pea olema kätav.

„Big Bag“ ladustamisel peab aluspind (põrand) olema kaetud kõva kattega. Kotid asetatakse spetsiaalsetele ühekordselt kasutatavatele puidust alustele. Kotte täidetakse spetsiaalse seadeldisega, millega üheaegselt täidetakse kaks kotti. Tegevust jälgib üks operaator. (Purutuli OÜ)

5.10 Tehnilised andmed

Tootmises kasutatavate seadmete tootjaid on palju ning nende kvaliteet ja tootlikkus on väga erinevad. Tehase komponentide valikul peaks arvestama terviklahenduse valimisega kuna ühe tootja seadmed võimaldavad kiiremaid hooldus- ning remonditöid. Oluline on ka seadmete paigalduse ning kasutuse lihtsus. Väga tähtis on seadmete hind, kuna odavamate korral võivad kokkuvõttes hooldus ning varuosad kulukamaks minna, kui kallima ja kvaliteetsema seadmete korral. Hea tootja tunnuseks on võimekus pakkuda mitmekesisest sortimenti ning võimalus ise

oma tehas vastavalt vajadusele kujundada. Oma kujunduse korral peaks arvestama seadmete pakkuja soovitustega tehase üles seadmisel, et maksimeerida tootlikkus.

Tabelites 5-17 on toodud näited tootmisprotsessis kasutatavate seadmete tehniliste näitajate kohta.

Tabel 3

Kahe rootoriline koorija AMS-BP (allikas: Amisy)

Tüüp	AMS-BP
Tootlikkus (t/h)	3-5
Võimsus (kW)	15
Töödeldava palgi diameeter (mm)	40-200
Mõõtmed (pikkus×laius) (mm)	6500×1300
Kaal (t)	3

Tabel 4

MGB rootorpurusti jäätmete eeltötluseks (allikas: MGT Eesti AS)

Tüüp	MGB 55	MGB 75	MGB 90	MGB 132/3000	MGB 132/4000
Suurus (mm)	3500x4500x3400	3500x4500x3400	3500x4500x3400	3500x4500x3400	3500x5500x3400
Kolu (m ³)	15	15	15	15	20
Etteande ava (mm)	2800 x 3000	2800 x 3000	2800 x 3000	2800 x 3000	2800 x 4000
Rootori diameeter (mm)	610	610	610	610	610
Fraktsioon (mm)	100-500	100-500	100-500	100-500	100-500
Mootor (kW)	55	75	90	132	132
Tootlikkus (t/h)	5-8	5-10	5-15	5-20 (25)	5-25(30)
Kaal (t)	ca. 16	ca. 16	ca. 16	ca. 16	ca. 20
Rootori kiirus(p/min)	8	12	16	24	24
Töödeldav materjal	kastid, alused	pakkematerjal	alused, liiprid	alused, liiprid	alused, liiprid

Tabel 5

Koore purustaja EU tootmisliini jääkide töötlemiseks (allikas: Amisy)

Tüüp	630-36-EU	840-44-EU	840-64-EU	1050-26-EU	1260-32-EU	1260-32-EU	1460-32-EU
Tootlikkus (m ³ /h)	25-40	45-75	45-75	60-85	75-100	75-100	100-125
Mootor (kW)	30-37	45-75	45-75	55-110	75-132	75-132	90-160
Pöörete arv (p/min)	1470	1040	1040	1040	1045	1045	775
Haamrite arv	36	44	64	26	34	32	32
Vastuterade arv	3+1	4	3+2	4+1	6	5+1	5+1
Rootor (mm)	400	600	600	600	600	600	800

Tabel 6**Rootorpurusti AMS (allikas: Amisy)**

Mudel	AMS-400	AMS-600	AMS-800	AMS-1000
Lõikepea diameeter (mm)	400	600	800	1000
Lõikepeade arv	4	4	6	6
Lõikepea pikkus (mm)	95	180	260	300
Võimsus (kW)	7.5	15	30	45
Tootlikkus (t/h)	0,3-0,5	0,6-0,7	0,8-1,2	1,8-2
Mõõtmed (m)	1.1x0.7x0.95	1.5x0.8x1.2	2.1x1.1x1.4	2.1x1.2x1.6
Kaal (t)	450	700	1100	1350

Tabel 7**Rootorpurusti AMS (allikas: Amisy)**

Mudel	AMS-400	AMS-600	AMS-800	AMS-1000
Lõikepea diameeter (mm)	400	600	800	1000
Lõikepeade arv	4	4	6	6
Lõikepea pikkus (mm)	95	180	260	300
Võimsus (kW)	7.5	15	30	45
Tootlikkus (kg/h)	300-500	600-700	800-1200	1800-2000
Mõõtmed (m)	1.1 x 0.7 x 0.95	1.5 x 0.8 x 1.2	2.1 x 1.1 x 1.4	2.1 x 1.2 x 1.6
Kaal (kg)	450	700	1100	1350

Tabel 8**Trummelhakkur BK-DH (allikas: MGT Eesti AS)**

Tüüp	BK-DH 120 x 500	BK-DH 200 x 500	BK-DH 200 x 650	BK-DH 365 x 560	BK-DH 365 x 825	BK-DH 300 x 650
Etteaneava (kõrgus x laius) (mm)	120 x 500	200 x 500	200 x 650	365 x 560	365 x 825	300 x 650
Rootori diameeter (mm)	450	580	580	800	800	1000
Etteandevaltside arv	2	2	2	2	6	6
Etteande tootlikkus (m ³ /h)	7-13	11-18	13-21	11-23	17-50	26-48
Väljundtootlikkus puiste (m ³ /h)	13-23	20-32	23-38	20-60	30-90	47-85
Mootor (kW)	30-35	45-75	55-90	55-2 x 90	75-2 x 110	110-200
Kaal (t)	2,8	4	4,7	4,2	5	8

Tabel 9**Trummelhakkur BK-DH** (allikas: MGT Eesti AS)

Tüüp	BK-DH 400 x 800	BK-DH 400 x 1000	BK-DH 500 x 1000	BK-DH 500 x 1200	BK-DH 850 x 1200	BK-DH 1000 x 1200
Etteaneava (kõrgus x laius) (mm)	400 x 800	400 x 1000	500 x 1000	500 x 1200	850 x 1200	1000 x 1200
Rootori diameeter (mm)	1300	1300	1600	1600	2000	2400
Etteandevaltside arv	8	8	11	11	15	17
Etteandetootlikkus (m ³ /h)	48-85	60-95	85-120	95-150	170-280	240-380
Väljundtootlikkus puiste (m ³ /h)	85-150	105-170	150-220	170-270	300-500	430-680
Mootor (kW)	200-355	250-400	355-500	400-630	710-1200	1000-1600
Kaal (t)	12,2	13,5	25,3	32,5	58	85

Tabel 10**Ketashakkur XP** (allikas: Amisy)

Mudel	XP-800	XP-950	XP-1100	XP-1210	XP-1410
Lõikepea diameeter (mm)	800	950	1100	1210	1410
Lõikuri kiirus (p/min)	960	960	960	960	960
Terade arv	4	4	4	4	4
Etteanne	kaldes	kaldes	kaldes	kaldes	kaldes
Tootlikkus(t/h)	3-6	6-8	8-10	10-13	13-16
Võimsus (kW)	30	37	37	75	90
Lõigatava palgi maksimaalne diameeter (mm)	200	250	300	350	350

Tabel 11**Kuivati AMS-HG** (allikas: Amisy)

Mudel	AMS-HG0606	AMS-HG0808	AMS-HG0810	AMS-HG1010	AMS-HG1210	AMS-HG1212
Kalle (%)	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5
Pöörlemiskiirus (p/min)	3-8	3-8	3-8	3-8	3-8	3-8
Siseneva õhu temp. (°C)	≤700	≤700	≤700	≤700	≤700	≤700
Võimsus (kW)	3	4	4	5.5	7.5	11
Tootlikkus (t/h)	0.5-1.5	0.8-2.0	0.8-2.5	1.0-3.5	1.8-5	2-6
Kaal (t)	2.9	3.5	4.5	5.6	14.5	14.8

Tabel 12**Kuivati AMS-HG** (allikas: Amisy)

Mudel	AMS-HG1812	AMS-HG2212	AMS-HG2218	AMS-HG2220	AMS-HG2420	AMS-HG3020
Kalle (%)	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5
Pöörlemiskiirus (p/min)	2-6	1.5-6	1.5-6	1.5-6	1.5-6	1.5-6
Siseneva õhu temp. (°C)	≤800	≤800	≤800	≤800	≤800	≤800
Võimsus (kW)	18	18.5	22	30	37	55
Tootlikkus (t/h)	5-12	6-15	10-18	12-20	18-30	25-35
Kaal (t)	25	33	53.8	56	60	78

Tabel 13**Haamerveski FSP** (allikas: Amisy)

Mudel	FSP56 x 36	FSP56 x 40	FSP60 x 30	FSP60 x 45	FSP60 x 60	FSP60 x 75	FSP112 x 40
Tootlikkus (t/h)	2.5--5	4--7	2--5.5	5--9	6--10	8--13	12--22
Rootori diameeter (mm)	560	560	600	600	600	600	1120
Kambri laius (mm)	360	400	300	450	600	750	400
Haamrite arv	20	24	24	44	48	60	40
Rootori kiirus (p/min)	2980	2980	2980	2980	2980	2980	1440
Võimsus (kW)	18.5/22	30/37	18.5/22	45/55	75/90	90/110	90/110

Tabel 14**Silindriline matriitspress MZLH** (allikas: Amisy)

Mudel	MZLH 350	MZLH 420	MZLH 508	MZLH 558	MZLH 678	MZLH 768
Tootlikkus (t/h)	0.6	1	1.5	1.8-2	3	4
Pressi võimsus (kW)	55	90	110	132	220	315
Etteande võimsus (kW)	1.5	2.2	2.2	2.2	3	4
Maatriksi siseläbimõõt (mm)	350	420	508	558	678	768
Maatriksi kiirus (p/min)	150	150	150	150	150	150
Etteande kiirus (p/ min)	12-120					
Graanuli läbimõõt (mm)	6,8,10,12					
Rullikute arv	2					
Müratase (dB)	≤86		≤86			
Maatriksi töötemperatuur (°C)	≤85					

Tabel 15**Graanuli jahuti SKLB** (allikas: Amisy)

Mudel	SKLB 2.5	SKLB 4	SKLB 6	SKLB 8	SKLB 10	SKLB 12
Tootlikkus (t/h)	5t/h	10t/h	15t/h	20t/h	25t/h	30t/h
Ruumala (m ³)	2.5m ³	4m ³	6m ³	8m ³	10m ³	12m ³
Võimsus (kW)	1.5+0.55	1.5+0.55	1.5+0.55	1.5+0.55+1.1	1.5+1.1+0.75	1.5+1.1+0.75

6. TURUSTAMINE

Iga ettevõtte eesmärgiks on teenida kasumit ning erandiks ei ole ka puitgraanulite tootjad. Suurimaks väljakutseks on klientide leidmine ning nendega heade suhete säilitamine. Toodang peab vastama kõrgetele standarditele ning tarnetähtaegadega ei ole võimalik hilineda.

Eesti on maailma mõistes väga väike riik, kuid graanulite toodangumahud on konkurentsivõimelised suurimate tootjatega Euroopas. Lisaks on Eesti maailma suurim graanulite tootja rahvaarvu suhtes. Prognooside kohaselt ületab 2015. aasta toodang tonnides Eesti rahvaarvu, ehk 1,3 miljonit tonni aastas. Eesti väike siseturg ei võimalda graanuleid suures mahus siseturule müüa, seega suurem osa toodangust suunatakse ekspordiks Euroopasse (Raigna).

Eesti graanulite siseturg on väga väike, ulatudes 2012. aastal ainult 25000 tonnini. Teades, et keskmine tänapäevane eramu kasutab umbes 5 tonni graanuleid aastas, saaks prognoositava 2015. aasta toodanguga kütta umbes 260 000 eramut.

Graanulite kasutusel on fossiilsete kütuste ees suured eelised. Üha kallinev maagaasi, põlevkivi ning nafta hind, aga samas ka järjest arenev roheline energia poliitika kannustavad leidma alternatiive, milleks on sobilik puitgraanul. Graanulite kasutamine aitab vähendada sõltuvust imporditavatest kütustest ning vähendab CO₂ emissiooni, hoiab keskkonda ning toetab kohalike metsaomanike ja tootjaid.

Väikese siseturu tõttu toimub graanulite turustamine peamiselt välisriikidesse. Suurimateks tarbijateks on jahedama kliimaga põhjamaad, kus kütust tarbitakse peamiselt kütteperioodil septembrist kuni maini. Lisaks on graanulitest huvitatud ka Taani, Suurbritannia, Saksamaa, Prantsusmaa jne. Seda põhjusel, et nende riikide ökoloogiline jalajälg on väga suur ning proovitakse vähendada CO₂ emissiooni taset. Näiteks nõuab Suurbritannia sisseostetava graanuliga kaasa sertifikaate, mis tõestavad puidu päritolu, puhtust, niiskussisaldust jne. (Purutuli OÜ). Peamiseks eksporditavaks on tööstusgraanul, mida suurriigid kasutavad soojuselektrijaamades kütteks.

KOKKUVÕTE

Taastuenergia kasutamine on 20. sajandi lõpus ning 21. sajandi alguses muutunud üha populaarsemaks nii tööstuse kui ka tavakasutaja seisukohalt. Inimeste teadlikus fossiilsete kütuste kasutamise ohtudest ja reostusest on kasvanud ning üha enam otsitakse nendele alternatiive. Puidugraanulid on alates 1970ndatest aastatest leidnud energiatööstuses laialdast rakendust. Graanulite tootmine võimaldab efektiivselt vabaneda teiste puidutööstuste harude jääkidest, suunates need otseselt soojuseks ning energiaks.

Selles töös keskendusimegi puitgraanuli tootmise olulistele aspektidele, alustades erinevat liiki toormaterjali kasutamisest ning lõpetades turustamisega. Vaatlesime laialdaselt erinevaid viise, kuidas toormaterjali käsitleda ning pressimiseks ette valmistada. Lisaks uurisime, kuidas ning milliste seadmetega toimub graanulite valmistamine ning valmis toodangu jahutamine ja ladustamine.

Graanulite tootmise juurde kuuluvad protsessid ei ole individuaalselt väga rasked, kuid kombineerides puidu hakkimise, kuivatamise, peenestamise, pressimise, jahutamise ja pakendamise, saame väga keeruka protsessi. Lisaks on vajalikud põhjalikud teadmised graanulite turul valitsevast olukorrast ning sidemeid tooraine hankimiseks. Seega on puitgraanulite tootmine väga keerukas ning nõuab laialdasi teadmisi nii tehnoloogiast kui majandusest.

Puitgraanulid ei ole Eesti turul veel väga laialdaselt kanda kinnitanud, kuid potentsiaal selleks on olemas. Eesti graanulite tootjad on maailma turul väga edukad ning Euroopas oleme tootlikkuselt esimeste seas. Nii Euroopa direktiivid, kui ka Eesti poliitika näevad ette suurenevat taastuenergia kasutust ning suur metsasus võimaldab meil neid norme täita. Hetkel kuulub Eesti toodangusse suuremalt jaolt tööstusgraanul, kuid tavakasutajate seas graanuli kasutuse populariseerimise huvides peaks kindlasti suurendama kvaliteetgraanuli tootmist. See on oluline, kuna graanuli kvaliteedist sõltub köetavate ahjude ja katelde energia tootlikus. Liialt niiske ja lisaainetega graanuli kasutegur on madal ning tuhasus suur, mis tähendab, et sellise graanuliga kütmise korral ei saa nii palju energiat, kui kvaliteetse graanuli korral ning ka tuhka tekib kateldesse rohkem.

SUMMARY

The use of renewable energy has become more popular in industry as well as regular users at the end of 20th century and in the beginning of 21st century. The awareness of the dangers and pollution that comes with use of fossil fuels has grown and people have started to look for alternatives. Wood pellets have been widely used in industry since 1970s. Producing wooden pellets is very effective way to use residues from other wood industries and turn them to clean heat and energy.

In this paper we have concentrated on important aspects of wooden pellet production. Starting from use of raw materials and ending with marketing. We have widely covered different ways to process raw materials and prepare it for pressing. In addition we have studied how and with which machines wooden pellets are made and how they are cooled and stored.

Different processes that are being used for pellet making are not difficult, but if we combine chipping, drying, milling, pressing, cooling and packaging, we get very complicated process. In addition you need to have extensive knowledge about marketing and contacts for raw material providers. Because of this wooden pellet production is very complicated and demands wide knowledge about technology as well as economy.

Wooden pellets are not very widely used in Estonia, but there is potential for it. Estonian pellet producers are very successful in world market and amongst first in production in Europe. European directives and Estonian politics designate higher consumption of renewable energy and Estonia's large forest area will help us to reach those goals. Most wooden pellets produced in Estonia are industrial, but to popularise pellets among regular users, premium pellet production should be increased. This is important because the energy output of stoves and furnaces depends on pellet quality. Pellets that are too damp and contain additives have low efficiency and have high ash content, which means, that those pellets give out less energy than premium pellets and pollute furnaces.

Kasutatud kirjandus

Anderson, A., Pelletiküttel võiks eestis olla suur tulevik – Eesti taastuenergia koda.

Oktoober 2013

[http://www.taastuenergeetika.ee/wp-content/uploads/2012/08/taastuenergia_oktoober_2013_KODUKALE.pdf] (28.03.2015)

Amisy Machinery

[<http://www.amisymachinery.com/>] (04.04.2014)

AS Graanul invest

[<http://www.graanulinvest.ee/est/avaleht>] (11.03.2015)

AS Pelletiküte

[<http://www.pellet.ee/>] (13.03.2015)

Austrian Standards Institute. Solid biofuels — Determination of mechanical durability of pellets and briquettes. 2013

[<https://shop.austrianstandards.at/Preview.action;jsessionid=6A2DE5A666DE725D308643D1363B9BEB?preview=&dokkey=509013&selectedLocale=en>]

Eesti taastuenergia koda. Taastuenergia Euroopa liidus – Eurostat. 2014

[<http://www.taastuenergeetika.ee/euroopa-statistika/>] (14.04.2015)

Elering, Taastuenergia osakaal Eesti elektritarbimisest ulatus ligi 13 protsendini – Elering infokeskus. 30. jaanuar, 2012.

[<http://elering.ee/taastuenergia-osakaal-eesti-elektritarbimisest-ulatus-ligi-13-protsendini/>] (05.05.2015)

Henan Kingman M&E Complete Plant Co., Ltd.

[<http://www.woodpelletmills.com/>] (21.03.2015)

Hepner, H., Ülevaade 2015. aasta I kvartali puiduturust – OÜ Tark Mets. 2015

[<http://www.eramets.ee/metsa-ja-puidumuuk/hinnainfo-2/>] (22.05.2015)

Kask, Ü., Muiste, P., Vares, V., puud ja metsad on kõige kallim aare, mida loodus on inimesele andnud - SA Erametsakeskus. 2010

[http://www.eramets.ee/static/files/762.Brosyyr_Puitkytus_2010.pdf] (14.04.2015)

Liblik, S., Uus pelletitehas lõi saepuruturu segamini – Äripäev. 08. märts 2012

[<http://www.aripaev.ee/uudised/2012/03/08/uus-pelletitehas-loi-saepuruturu-segamini>] (18.05.2015)

Malisius, U., Industrial Network on Wood Pellets, jaanuar 2000. 82lk

[http://www.seai.ie/Renewables/Bioenergy/Wood_pellets_in_Europe.pdf] (17.05.2015)

MTG Eesti AS

[<http://www.mtg.ee/firmast>] (14.05.2015)

Paist, A., Poobus, A., Soojusgeneraatorid. Tallinn: TTÜ kirjastus. 2008. 146lk

[http://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/soojustehnika-instituut/oppematerjalid/kyte-ventilatsioon/2._Puit.pdf]

Palatu, A., Millist puidupeenestit valida – OÜ hydroline. 2007

[<http://www.hydroline.ee/est/millist-puidupeenestit-valida>]

Pastre, O., Analysis of the technical obstacles related to the production and utilisation of fuel pellets made from agricultural residues – Pellets for Europe. 2002. 107lk

[<http://www.pelletcentre.info/resources/1093.pdf>] (14.04.2015)

Pellet Energy. Raw material.

[<http://www.pellet-energy.biz/en/production/source/>] (28.04.2012)

Purutuli OÜ

[<http://www.purutuli.ee/>] (11.03.2015)

Raigna, R., Eesti puidugraanulid kütavad Euroopa elektrijaamu. – Virumaa Teataja. 04. mai, 2009.

[<http://www.virumaateataja.ee/113407/eesti-puidugraanulid-kutavad-euroopa-elektrijaamu/>] (25.04.2015)

Randlaid, S., Imavere uus tehas sunnib puidupelletite tootjaid tooret mujalt otsima – ERR. 09. märts 2012

[<http://uudised.err.ee/v/majandus/1a29c5a8-f937-41ff-99ce-f2e18da3c670>] (16.04.2015)

Relve, H., Euroopa riikide metsad – levik, koosseis, loodusväärtused – Eesti Mets, 12. juuni, 2012.

[http://www.loodusajakiri.ee/eesti_mets/artikkel1285_1273.html] (07.05.2015)

Rozental, V., Graanulitehas Saugal alustas proovitootmisega – Äripäev. 07. detsember 2010.

[<http://www.aripaev.ee/uudised/2010/12/07/graanulitehas-saugal-alustas-proovitootmisega>] (18.05.2015)

Vares, V. Biokütuse kasutaja käsiraamat, Tallinn 2005. 172lk

[http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/f/fa/Vares,_V._jt._Biok%C3%BCtuse_kasutaja_kasiraamat.pdf] (09.03.2015)