

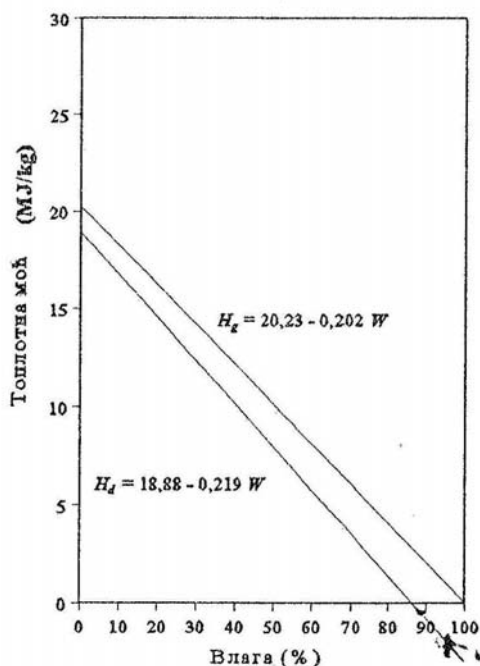
## 4.2 БИОМАСА

### 4.2.1 Дрво

Дрвена маса конвертује око 1% Сунчевог зрачења. Од укупне количине ове биомасе може се користити као гориво око 75%, јер се део налази у лишћу, корену, гранчицама и пањевима.



Слика 4.17



Слика 4.18

Структура суве масе дрвета састоји се у основи из целулозе ( $C_6H_{10}O_5$ ) и лигнина сложеног једињења угљеника, водоника и кисеоника), а у малим количинама налази се смола, восак, масноће, беланчевине, танин и минералне примесе. Састав органске масе дрвета мало се разликује зависно од врсте дрвета и може се представити општим саставом:

$$C_o=50\%, \quad H_o=6\%, \quad O_o=43\%, \quad N_o<1\%$$

У дрвету практично нема сумпора, па се дати састав сведен на органску масу може сматрати и саставом сведеним на чисту гориву масу. Садржај пепела апсолутно сувог горива је незнатан (1-2%), а с обзром на топлівост пепела је лако топлів. Садржај воде код дрвета у природи је у границама од 45 до 65%, а при складиштењу на ваздуху у периоду до 2 године смањује се на 18-20%.

Структура дрвета се битно разликује у радијалном и подужном правцу (Слика 4.17), што значајно утиче и на процес сушења, као и на карактеристике дрвета у различитим термехемијских процесима.

Као последица практично непромењеног састава органске масе дрвета, топлотна моћ је приближно стална и износи 18,4 MJ/kg.

Садржај воде знатно смањује топлотну моћ: за радну масу дрвета израчунава се према обрасцу Kirsh-a (Кирша):

$$H_{dr}=18,4-0,209W_r, \text{ MJ/kg}$$

Зависности топлотне моћи (горње и доње) од садржаја воде може се приказати и према обрасцима приказаним на Слици 4.18.

Садржај воде у дрвој биомаси може се приказати у следећим облицима:

у односу на масу сувог дрвета

$$u = \frac{w_w - w_o}{w_o}$$

у односу на масу влажног дрвета

$$M = \frac{w_w - w_o}{w_w}$$

где је:

$w_w$  — маса влажног дрвета

$w_o$  — маса сувог дрвета.

Процес сушења у зависности од периода сушења, као и расподела влаге у структури дрвета приказани су на Слици 4.19.



Слика 4.19

Знатан садржај горивих испарљивих материја ( $V_g < 85\%$ ) условљава лаку упaljивост дрвета.

Значајне карактеристике дрвне биомасе су:

- Специфична тежина – бездимензиона вредност, представља однос густине воде (на  $4^\circ\text{C}$ ) и дрвне биомасе (у сувом стању). Специфична тежина је 1,5.
- Густина: однос масе и запремине дрвне биомасе.
- Насипна густина – физичко својство насутог материјала (биомасе). Однос масе и укупне запремине насутог материјала.

Брикетирањем остатака прераде дрвета добија се повољнији облик њиховог коришћења. Подаци о неким брикетима добијеним од дрвета дати су у Табели 4.5.

Врсте горива добијеним од дрвне биомасе су:

- огревно дрво (цепанице)
- сечка
- остаци од прераде дрвета
- брикети
- пелети.

Табела 4.5

Узорак*	I	II	III	IV
Сагорљиво	67,02	65,93	91,06	90,43
W	17,69	18,53	8,16	9,21
A	15,29	15,54	0,78	0,27
S	0,05	0,05	0,05	0,09
$H_g$ (MJ/kg)	16,43	16,25	19,13	16,9
$H_d$ (MJ/kg)	15,16	14,93	17,76	15,4

\* Узорак I – 40% ситан угаљ + 60% пиљевина, Узорак II – 45% ситан угаљ 55% пиљевина. Узорак III – чиста пиљевина, Пиљевина - 20% хрстове ( $W=35\%$ ) + 80% јелове ( $W=5\%$ ), Узорак IV – пиљевина од буковине

## 4.2.2 Огревно дрво

Огревно дрво представља најстарији вид горива који је коришћен у различитим врстама пећи и котлова. С обзиром да се огревно дрво може на различите начине испоручивати до крајњих потрошача, користе се и различите мерне јединице за количину и то:

- пуни кубни метар ( $\text{m}^3$ ) – представља запремину коју у потпуности испуњава дрво, односно представља запремину дебла
- просторни метар кубни (просторни  $\text{m}^3$ ) - јединица мере која се користи за уредно сложене цепанице (најчешће се означава као  $\text{p} \text{ m}^3$ )

– насипни метар кубни (насипни  $m^3$ ) – представља запремину коју заузимају цепанице, укључујући и међупростор између њих (најчешће се означава као nm).

Веза између наведених мерних јединица које се користе за огревно дрво приказане су у Табелама 4.6 и 4.7.

Табела 4.6

Огревно дрво	Количина	Влага	Маса	Hd	Енергетска густина		
		M%	kg	MJ/kg	MJ	kWh	l нафте
Сложене цепанице							
Буква, 33 cm	1 prm	15	445	15,3	6.797	1.888	189
Буква, 33 cm	1 prm	30	495	12,1	6.018	1.672	167
Смрека, 33 cm	1 prm	15	304	15,6	4.753	1.320	13
Смрека, 33 cm	1 prm	30	349	12,4	4.339	1.205	121

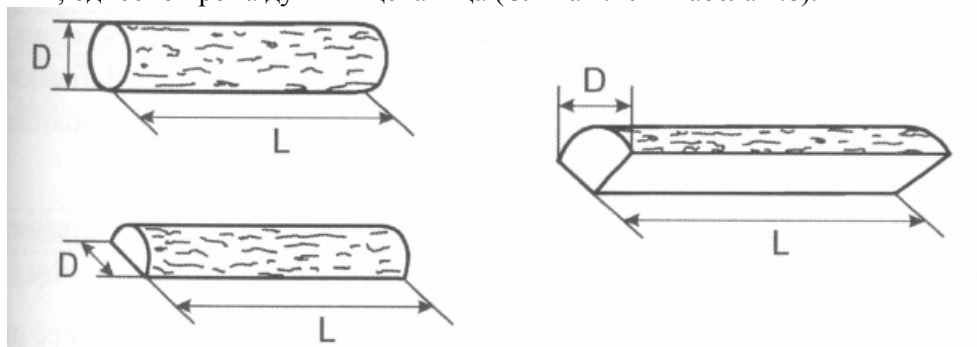
Табела 4.7

Vrste	Trupci	Cjepanice od 1 metra	Izrezane cjepanice		Drвна sječka	
			složeni	nasipni	fino (G30)	srednje (G50)
	$m^3$	prostorni $m^3$	prostorni $m^3$	nasipni $m^3$	nasipni $m^3$	
1 $m^3$ trupaca	1	1,4	1,2	2,0	2,5	3,0
1 prostorni $m^3$ cjepanica od 1 metra	0,7	1	0,8	1,4	(1,75)	(2,1)
1 prostorni $m^3$ izrezanih cjepanica	0,85	1,2	1	1,7		
1 nasipni $m^3$ izrezanih cjepanica	0,5	0,7	0,6	1		
1 nasipni $m^3$ fine дрвне сјеке	0,4	(0,55)			1	1,2
1 nasipni $m^3$ средње дрвне сјеке (G50)	0,33	(0,5)			0,8	1

Напомена: 1 тона дрвне сјеке G30 с M35% одговара приближно 4 насипна  $m^3$  дрвне сјеке смреке и 3 насипна  $m^3$  дрвне сјеке букве.



У свету, последњих година посебна пажња посвећује се класификацији и развоју стандарда који дефинишу квалитет различитих врста горива од биомасе. За огревно дрво дефинисана је подела према величини, односно према дужини цепаница (Слика 4.20 и Табела 4.8).



Слика 4.20

Табела 4.8

Wood logs	Diameter (D) and length (L), mm
P200-	$L < 200$ mm and $D < 20$ mm ignition wood
P200	$L = 200 \pm 20$ mm and $40 \leq D \leq 150$ mm
P250	$L = 250 \pm 20$ mm and $40 \leq D \leq 150$ mm
P330	$L = 330 \pm 20$ mm and $40 \leq D \leq 160$ mm
P500	$L = 500 \pm 40$ mm and $60 \leq D \leq 250$ mm
P1000	$L = 1000 \pm 50$ mm and $60 \leq D \leq 350$ mm

w-% = percentage by weight

### 4.2.3 Сечка

Сечка (Wood chips) је уситњена дрвна биомаса дефинисане величине комада (дужина 5-50 mm, релативно мала дебљина), добијена коришћењем оштрих алата (ножеви) – Слика 4.21. Код сечке разликују се две карактеристичне димензије (дужина и ширина), док је дебљина сечке релативно мала у односу на претходне. За разврставање сечке по величини користе се посебни уређаји за просејавање (Слика 4.22).



Fig. 2. Example of particles in the manually prepared and coloured standard wood chip sample (SF1, left) and hog fuel sample (SF2, right).



Слика 4.21



Слика 4.22

Сечка према начину добијања може бити:

- сечка из индустријске прераде: дрвна сечка настала као спопредни производ у индустрији прераде дрвета, са кором или без ње
- сечка од дрвета из шуме: дрво из шума у облику дрвне сечке.

Ова врста горива је погодна за сагоревање у индустријским котловима, јер има уједначен квалитет и могућ је континуирани довод горива, што омогућава потпуну аутоматизацију процеса сагоревања. Процес производње сечке од дрвне биомасе је није значајно „енергетски захтеван“ и у том смислу ова врста горива има одређену предност у односу на пелете, посебно за примену у индустријским котловима. Основне карактеристике сечке као горива приказане су у Табели 4.9.

Табела 4.9

Порекло	хемијски нетретирано дрво, дрво без коре
Садржај влаге	<10 % m/m
Густина	1,00-1,09 kg/dm <sup>3</sup>
Садржај пепела	< 0,7 % m/m (сува маса)
Адитиви	< 2,0 % m/m (сува маса)
Доња топлотна моћ	>4,7 kWh/kg=16,9 MJ/kg

#### 4.2.4 Остаци од прераде дрвета

Остатке од прераде дрвета представљају комаде дрвета различите величине и облика који настају при дробљењу или ситњењу дрвета тупим алатима (Слика 4.23). Карактеристике остатака од прераде дрвета су у потпуности исте као и карактеристике сечке (Табела 4.5).



Слика 4.23

#### 4.2.5 Пелети

Пелети од биомасе представљају савремени облик претходно припремљене чврсте биомасе који се користе у процесима сагоревања (савременим пећи и котлови мале снаге за грејање у домаћинствима, већи индустријски котлови и котлови у енергетским постројењима). Основна предност пелета је велика густина у поређењу са другим необрађеним облицима чврсте биомасе. Тиме се отклања један од најзначајнијих недостатка биомасе као горива, мала енергетска густина, услед чега се смањују трошкови руковања, складиштења и транспорта.

Пелети од биомасе су цилиндричног облика пречника 6 – 10 mm и дужине 10 – 30 mm. У поређењу са чврстим фосилним горивима пелети имају знатно мањи садржај пепела и влаге, већи садржај горивих испарљивих материја и топлотну моћ на нивоу мрког угља. Основне карактеристике пелета приказане су у Табели 4.10. Због постојаног и дефинисаног квалитета, као и због униформности облика и величина пелети од биомасе омогућавају континуирани начин довођења горива, што омогућава потпуну аутоматизацију процеса и олакшава употребу оваквог чврстог биогорива.

Са друге стране процес производње пелета од биомасе је изузетно „енергетски захтеван“ у смислу да је потребно уложити велику количину енергије у технолошким процесима млевења, сушења и сабијања.

Табела 4.10

Порекло	хемијски нетретирано дрво без коре
Садржај влаге	<10 % m/m
Механичка чврстоћа	97,5 % m/m од 100 g испитиваних пелета треба да остане неоштећена
Садржај ситног остатка	1-2 % m/m пропада кроз сито < 3,15 mm
Садржај пепела	< 0,7 % m/m (сува маса)
Садржај сумпора	< 0,05 % m/m (сува маса)
Адитиви	< 2,0 % m/m (сува маса)
Доња топлотна моћ	>4,7 kWh/kg=16,9 MJ/kg

#### 4.2.4.1 Сировине за производњу пелета од биомасе

Као сировина за производњу пелета од биомасе може се користити практично било који облик чврсте биомасе, без обзира на порекло и карактеристике. Међутим, управо од избора сировине зависи технолошки процес (млевења, сушења и сабијања). Од изузетног је значаја за поступак пелетирања да сировина поседује дефинисан садржај влаге и одговарајућу гранулацију, како би се добио производ задовољавајућег квалитета. Тако на пример сировине са већим садржајем влаге и сировине коју чине крупнији комади захтевају утрошак више енергије у процесу производње у циљу интензивнијег сушења и уситњавања. Из тог разлога као најчешће коришћена сировина за производњу пелета се користи дрвна пиљевина која настаје као нуспроизвод у индустрији прераде дрвета и индустрији намештаја. Најчешће коришћене сировине за производњу пелета од биомасе су:

- четинарско и листопадно дрво,
- кора дрвета,
- енергетске биљке,
- остаци из пољопривредне производње.

##### Четинарско и листопадно дрво

При избору сировине за производњу пелета од биомасе неопходно је узети у обзир све њене карактеристике, односно податке техничке и елементарне анализе, хемијски састав, начин добијања и величину комада и облик. На тај начин је могуће добити производ у складу са захтевима стандарда квалитета prEN 14961-2. Вредности неких од најважнијих карактеристике појединих сировина као и граничне/препоручене вредности које производ (пелет од биомасе) мора да задовољи у складу са стандардом приказане су у Табели 4.11.

С обзиром на предности мањи садржај влаге и одговарајућа гранулација дрвна прашина и струготина из индустрије прераде дрвета представљају најрационалнију сировину за производњу пелета од биомасе. У прилог томе је и чињеница да се готово целокупна количина оваквог облика отпадне дрвне масе у земљама ЕУ данас користе за производњу пелета.

##### Кора дрвета

Кора представља површински слој стабла дрвета и приликом прераде у пиланама технолошки процес одвајања коре се први обавља. Осим пилања највеће количине коре дрвета се могу добити у индустрији папира, где се она користи као једна од сировина.

Пелети који у себи садрже кору дрвета или који су произведени само од коре припадају класи квалитета А2. У Табели 4.12 приказане су вредности најважнијих карактеристика коре као сировине за производњу пелета, као и граничне вредности за класу квалитета А2 у складу са стандардом prEN 14961-2.

Доња топлотна моћ коре је приближно иста топлотној моћи дрвета, док је садржај пепела значајано већи уз могућност да буде додатно контаминирам различитим минералним примесима које се последица претходних процеса обраде (сеча, транспорт и складиштење). С обзиром на повећани садржај пепела у кори дрвета гранична вредност ове карактеристике за класу квалитета А2 је нешто

већа и износи 1,5 %  $m/m$  (d.b.). Поређењем ове вредности са просечном вредношћу садржаја пепела у кори може се закључити да пелети произведени искључиво од коре не задовољавају захтев квалитета за класу A2. Из тога разлога врши се мешање коре са другим сировинама које имају мањи садржај пепела, како би се испунили захтеви стандарда. Са друге стране додавање коре другим сировинама омогућава добијање пелета значајно веће механичке чврстоће.

Кора дрвета такође мора да се подрвгне процесу уситњавања (млевења или сецања) пре употребе за производњу пелета због тога што се у пиланама и у индустрији папира добија кора различитих димензија и облика. Оно што додатно отежава, је и чињеница да је уситњавање коре знатно сложеније од уситњавања дрвета, односно захтева већи утросак енергије. Сушење коре је такође неопходно зато што садржај влаге у кори у пиланама може бити и до 45 – 65 %  $m/m$  (w.b.).

Табела 4.11 Преглед облика и врста четинарског и листопадног дрвета као сировина за производњу пелета од биомасе и граничне/препоручене вредности

Карактеристика	Јединица	Гранична/ Препоручена вредност*	Средња Вредност сировине	Коментар
Доња топлотна моћ (w.b.)	kWh/kg	што већа	око 4,9	Листопадно дрво (буква)
			око 5,2	Четинарско дрво (јела)
Садржај пепела (d.b.)	% $m/m$	0,7	1,0 – 1,3	Листопадно дрво (буква)
			0,37 – 0,77	Четинарско дрво (јела)
Садржај азота (w.b.)	% $m/m$	0,3	0,21 – 0,41	Листопадно дрво (буква)
			0,07 – 0,11	Четинарско дрво (јела)
Садржај сумпора (d.b.)	% $m/m$	0,03	0,02 – 0,05	Листопадно дрво (буква)
			0,01 – 0,05	Четинарско дрво (јела)
Садржај хлора (d.b.)	% $m/m$	0,02	око 0,01	Листопадно дрво и Четинарско дрво
Гранулација	mm	< 4	2,8 – 63	Дрвни чипс (сечка)
			5 – 12	Дрвна струготина
			< 5	Пиљевина
			< 0,315	Дрвна прашина
Садржај влаге (w.b.)	% $m/m$	8-12	40 – 55	Дрвни чипс и пиљевина из индустрије прераде
			< 20	Дрвни чипс и пиљевина из индустрије намештаја
			40 – 60	Дрвни чипс из шуме након сечења
			25 – 35	Дрвни чипс из шуме након прераде
			< 10	Дрвна прашина
Садржај лигнина (d.b.)	% $m/m$	што веће	21,9 – 24,0	Буква
			20,8 – 30,0	Смрека
			око 27	Јела
			26,0 – 28,6	Ариш
			27,5 – 28,6	Храст

\* Према prEN 14961- Part 2 за класу квалитета пелета A1

Табела 4.12

Карактеристика	Јединица	Гранична/ Препоручена вредност*	Средња Вредност сировине	Коментар
Доња топлотна моћ (w.b.)	kWh/kg	4,5	4,9 – 5,6	Кора, мешано
Садржај пепела (d.b.)	% m/m	1,5	2 – 5	Незагађена кора дрвета до 5 % m/m, веће вредности су последица загађења мин. примесама
Садржај азота (d.b.)	% m/m	0,5	0,3 – 0,45	
Садржај сумпора (d.b.)	% m/m	0,03	0,035 – 0,055	
Садржај хлора (d.b.)	% m/m	0,02	0,015 – 0,02	Листопадно дрво и Четинарско дрво
Гранулација	mm	< 4	>> 4	Веома нехомогено, облика дугачких трака различитих дужина и до 0,5 m
Садржај влаге (w.b.)	% m/m	< 18	45 – 65	Уобичајени садржај влаге у кори у пиланама
Садржај лигнина (d.b.)	% m/m	што веће	16,2 – 50,0	Кора, мешано

\*Према prEN 14961- Part 2 за класу квалитета пелета А1

#### Енергетске биљке

У енергетске биљке између осталог спадају и брзорастуће шуме које се гаје искључиво за коришћење у енергетске сврхе. Брзорастуће врсте дрвета које се најчешће користе су топола, јова и врба. Ове врсте дрвета се могу користити за производњу пелета, а према подацима из литературе од врбе и тополе се добијају пелети високог квалитета.

До недавно узгој брзорастућих шума као сировине за производњу пелета је био под знаком питања из економских разлога, с обзиром да је након сече ових шума потребно сушење и уситњавање добијене сировине како би се добио квалитетнији производ.

Показало се да је директно коришћење дрвог чипса (сечке) у средњим и великим енергетским постројењима без претходне припреме, у економском и еколошком смислу боље. С обзиром на нешто већи садржај пепела и калијума, емисија чврстих честица је повећана при сагоревању оваквог облика биомасе што условљава употребу електрофилтера за пречишћавање димног гаса. Осим тога садржај пепела, сумпора и азота може у неким случајевима направити проблем при производњи пелета, тј добијене пелете не могу задовољити класу квалитета А1 и А2 када се користи оваква сировина (Табела 4.13).

Табела 4.13

Карактеристика	Јединица	Гранична/ препоручена вредност - класа А1*	Гранична/ препоручена вредност - класа А2*	Вредност
Садржај пепела	% m/m (d.b. )	0,7	1,5	0,6-2,3
Садржај азота	mg/kg (d.b. )	3000	5000	1000-9600
Садржај сумпора	mg/kg (d.b. )	300	300	300-1200
Садржај хлора	mg/kg (d.b. )	200	200	100

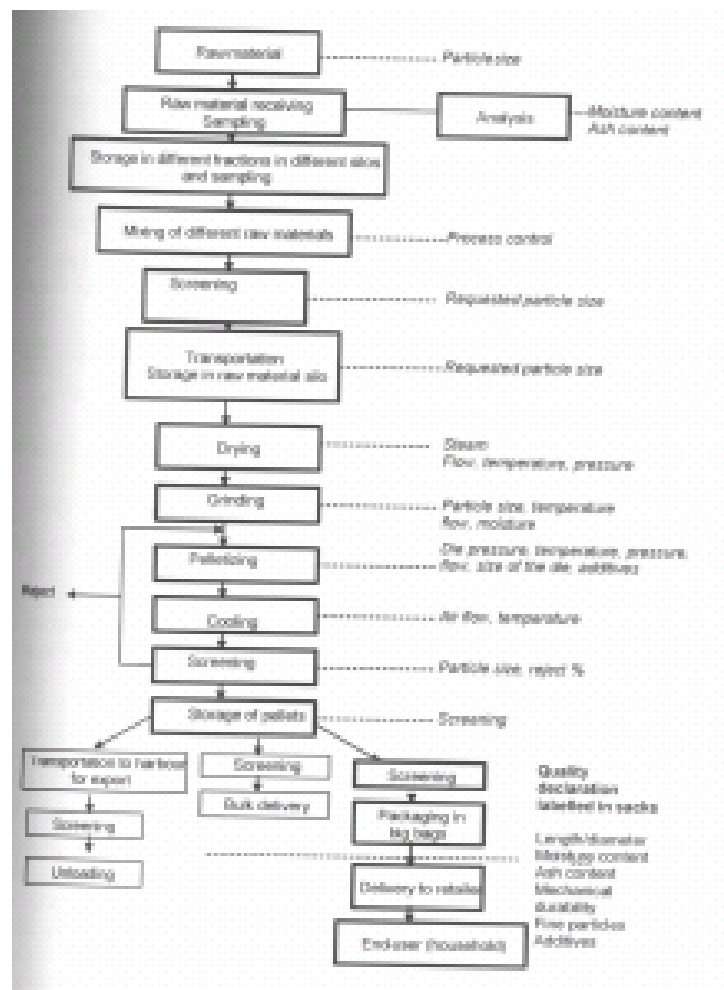
\*Према prEN 14961-Part 2

#### 4.2.4.2 Поступак производње пелета

Поступак производње пелета од биомасе започиње избором сировине за њихову производњу. С обзиром да постоји велики број врста и облика сировина различитих физичко-хемијских карактеристика, за сваку од њих неопходно је дефинисати одговарајуће претходне припремне радње пре употребе, које се односе на специфичности при транспорту, складиштењу и руковању у постројењима за производњу пелета.

У општем случају поступак производње пелета (Слика 4.24) састоји се од механичко-технолошких процеса који се могу груписати у три целине:

- Припрема сировине;
- Пелетирање;
- Обрада после производње.



Слика 4.24 Поступак производње пелета од биомасе

#### Припрема сировине

Припрема сировине представља групу механичко-технолошких процеса која обухвата уситњавање (млевење или сечење), сушење и кондиционирање сировине.

Уситњавање сировине је механичка операција смањења величине комада, у циљу добијања одговарајуће гранулације која је потребна за добијање производа у складу са стандардом квалитета. Уобичајена вредност величине комада сировине износи око 4 mm (за производњу пелета пречника 6 mm), при чему се она може постићи механичким операцијама млевења или сечења у зависности од врсте и облика сировине. За млевење сировине се најчешће користе млинови са чекићима, у којима се

осим уситњавања врши и хомогенизација почетне сировине. Из тог разлога се и сировина коју није потребно додатно уситњавати (дрвна пиљевина и струготина) припрема у оваквим уређајима, да би се остварила хомогенија сировина и добио производ бољег квалитета. Млин са чекићима се састоји од ротора на коме се налазе чекићи (најчешће правоугаоног облика), направљени од легираног челика велике тврдоће што омогућава млевење материјала који се унесе у млин. Испод чекића се налази сито, најчешће перфорирани лим или жица чије димензије отвора дефинишу величину комада који се захтева. На улазном делу се налазе сепаратор и магнет који имају задатак да одвоје евентуалне тврде и металне комаде који би могли оштетити чекиће.

Уколико се врши уситњавање енергетских брзорастућих шума или цепаница дрвета за производњу пелета, неопходно је најпре овакву сировину исећи, а затим самлети у млину са чекићима. Механичка операција сечења представља смањење величине комада сировине, који су знатно већи у односу на комаде добијене млевењем. Тиме се постиже мања потрошња енергије, него ако би се вршило њихово директно млевење. За операцију сечења најчешће се користе добошасте и пужне сецкалице.

Оно што је важно напоменути у процесима уситњавања сировине се, без обзира да ли се врши њено млевење или сечење, повећава потрошња енергије са повећањем садржаја влаге у сировини. Из тог разлога је за сваку сировину посебно, неопходно извршити анализу редоследа операција уситњавања и сушења како би се повећала енергетска ефикасност процеса производње.

Квалитет сабијања сировине у процесу производње пелета зависи од силе трења између материјала матрице пресе за пелетирање и сировине која се користи за производњу. На интензитет ове силе осим материјала од кога је израђена матрица и врсте сировине, значајно утиче и садржај влаге у сировини. Из тог разлога је изузетно важно да садржај влаге у сировини буде 8 – 13 %  $m/m$  (w.b.), како би се остварила одговарајућа сила трења и на тај начин добио пелет задовољавајуће чврстоће уз оптималну потрошњу енергије.

Интензитет сушења сировине зависи од врсте сировине односно почетног садржаја влаге у њој, облика сировине, као и од услова њеног транспорта и складиштења. Из тог разлога се за сваку сировину посебно дефинише начин сушења као и параметри процеса. Осим тога, ако је сировина сувише влажна, потребно је обавити процес сушења пре уситњавања сировине што умањује капацитет постојеће сушаре као и време обављања процеса.

Сушење сировине пре процеса пелетирања се обавља на два начина:

- природним сушењем материјала,
- принудним сушењем материјала.

Природно сушење материјала сировине представља најједноставнији облик сушења, при чему се сировина распросте по равној површини и окреће с времена на време, чиме се омогућава успостављање равнотежне влаге између влажног материјала и околног ваздуха. На овај начин се врши одстрањивање грубе влаге из сировине и обично се суше слама и целе биљаке.

Принудно сушење материјала сировине представља технолошки процес одстрањивања грубе и хигроскопске влаге из сировине које се обавља у посебним уређајима сушарама. У зависности од начина и капацитета сушења постоји неколико врста сушара које се могу користити за припрему сировине, и то:

- цевне сушаре,
- добошасте сушаре,
- сушаре са покретном траком,
- нискотемпературске сушаре,
- сушаре са прегрејаном паром.

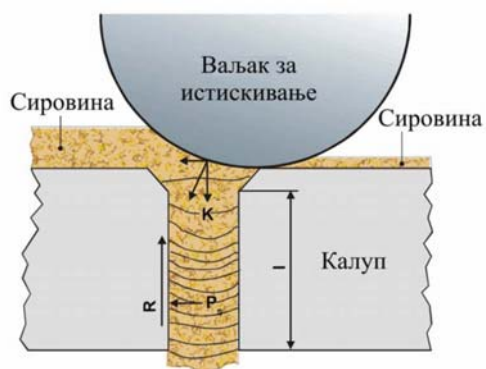
У случајевима када се за производњу пелета користи сировина која у себи садржи мању количину влаге од прописане, неопходно је извршити кондиционирање сировине у циљу повећања садржаја влаге. Кондиционирање сировине се обавља распршивањем воде или паре по сировини, при чему се захтева да процес минимално траје од 10 до 20 минута како би се омогућило продирање влаге у материјал.

Осим повећања садржаја воде кондиционирање сировине паром омогућава и регулацију температуре сировине, која је такође важна за процес пелетирања. Ово је нарочито важно за дрвну сировину због лигнина који представља природно везивно средство. У процесу кондиционирања сировине, могу се додавати (уколико је то предвиђено) одговарајући адитиви и везивна средства који олакшавају процес пелетирања.

Кондиционирање сировине се најчешће обавља у ротационим мешалицама, чиме се омогућава да сваки део сировине буде једнако третиран у процесу кондиционирања.

### Пелетирање

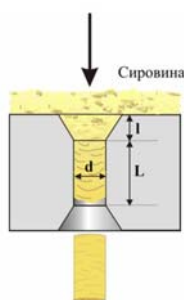
Пелетирање представља механичку операцију сабијања припремљеног материјала сировине кроз одговарајућу матрицу у циљу формирања пелета. Поступак формирања пелета се обавља у посебним пресама за пелетирање и приказан је на Слици 4.25. Сировина за производњу, се помоћу пужног транспортера доводи до коморе за мешање где се по потреби меша са потребним адитивима или додатним везивним средствима. Након тога се из коморе за мешање доводи до матрице и у танком слоју распоређује по њему. Ротирањем ваљка за истискивање по површини матрице, материјал се утискује (упресује) у отворе на њему. Приликом поновног ваљања новог слоја сировине преко матрице, ваљак утискује нову количину материјала која омогућава да се постојећи материјал у отворима истисне. Ово истискивање материјала из отвора на матрице, омогућава формирање облика пелета. Помоћу ножева за одсецање тако добијени производ се одсеца да би се добила одговарајућа дужина пелета.



Слика 4.25 Поступак формирања пелета

На процес производње пелета од биомасе утичу следећи фактори:

- капацитет опреме за пелетирање;
- карактеристике коришћених везивних средстава;
- коефицијента трења између материјала матрице и сировине;
- дужина и пречник отвора на матрици (Слика 4.26);
- дебљине простирке сировог материјала и дебљина новог слоја материјала који се утискује у отворе;
- учесталост утискивања сировине односно брзина ваљања;
- материјал матрице и ваљка за истискивање.



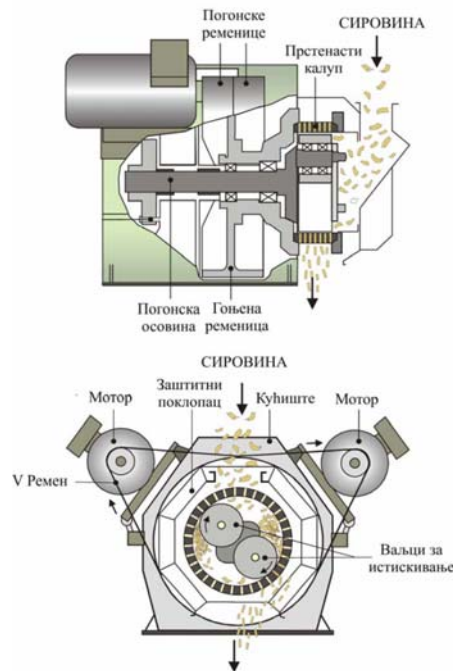
Слика 4.26 Димензије и облик отвора на матрици

Уређаји у којима се обавља процес сабијања сировине у циљу добијања пелета се називају пресе за пелетирање, и у зависности од облика и положаја матрице се могу поделити на:

- пресе за пелетирање са вертикално постављеном прстенастом матрицом,
- пресе за пелетирање са хоризонталном равном матрицом.

#### Пресе за пелетирање са вертикално постављеном прстенастом матрицом

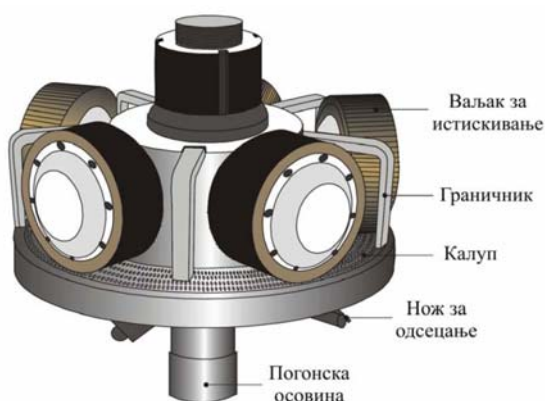
У Европи већина произвођача пелета користи пресе за пелетирање са прстенастим матрицом. Вертикално постављена прстенаста матрица омогућава да се механизам истискивања заснива на покретној матрици која врши ротацију око непокретног ваљка. Обично се користе од један до три ваљка за истискивање као што је приказано на Слици 4.27. Последњих година развијени су уређаји за пелетирање у којима ваљци за истискивање ротирају заједно са матрицом. Поред механизма истискивања механизам и начин уношења материјала у пресу је одлучујући фактор за постизање великог капацитета производње и смањење хабања калупа. Код великог броја уређаја са једним ваљком за истискивање, материјал се доводи на матрицу уз помоћ гравитације или се допрема помоћу пужног транспортера. У систему где постоје два или више ваљка захтева се много ефикасније довођење материјала, што се постиже центрифугалним начином уношењем, тако што се материјал лагано убацује под ваљке помоћу подесивих крилаца. Циљ јесте да се материјал рашири и подједнако распростре преко целе ширине ваљка и преко целе ширине матрице.



Слика 4.27 Преса за пелетирање са вертикално постављеном прстенастом матрицом

#### Пресе за пелетирање са равном матрицом

Механизам истискивања код преса за пелетирање са равном матрицом заснива се на хоризонтално постављеној равnoj матрици кружног облика и на покретним ваљцима за истискивање. Број ваљака може да варира од 2 до 6 у зависности од димензија пресе (Слика 4.28). Код неких модела постоји могућност и ротирања матрице док ваљци остају непокретни. По кружној површини матрице ротира ваљак који је ужи тако да су му обимне брзине различите, што за последицу има проклизавање између ваљка и матрице и омогућава утискивање нове количине материјала у отворе матрице.



Слика 4.28 Хоризонтална равна матрица

Због једноставније конструкције, код ових уређаја материјал се доводи на матрицу углавном помоћу силе гравитације. У поређењу са пресам са вертикално постављеним прстенастом матрицом основна предност је лакше одржавање и чишћење, а главни недостатак мањи капацитет.

#### Обрада после производње

Завршни процес у поступку производње пелета је хлађење производа. Услед кондиционирања сировине односно загревања воденом паром, као и излагања сили трења ради сабијања у матрици, температура произведеног пелета по изласку из пресе износи од 80 до 130 °C. Механичка чврстоћа овако загрејаних пелета је знатно мања у односу на пелете на собној температури, што захтева њихово хлађење пре паковања и складиштења. Хлађење пелета осим повећања механичке чврстоће готовог производа, утиче и на смањење садржаја влаге од око 2 %  $m/m$  (w.b.). Процес хлађења се обавља најчешће у супротосмерним хладњацима или хладњацима са траком.

У свим процесима током поступка производње пелета (млевење, сушење, хлађење, транспорт и паковање) где је могућа појава прашине неопходно је извршити просејавање сировине или готовог производа, како би се смањила количина ситног остатка. Процес просејавања је изузетно важан зато што се у складу са стандардом квалитета, садржај ситног остатка у пелетима мора налазити у одређеним границама и бити наведен у декларацији производа. Ситни остатак који се добија као пропад кроз сито, се враћа поново у поступак производње.

#### 4.2.4.3 Стандарди квалитета пелета од биомасе

С обзиром на специфичности производње и примене пелета од биомасе, односно аутоматизације процеса довођења горива у ложиште и начина сагоревања, од изузетног је значаја да произведени пелети испуњавају захтеве квалитета, прецизно дефинисане одговарајућим прописима. Из тог разлога поједине земље ЕУ су последњих година усвојиле националне стандарде квалитета за пелете од биомасе, и то:

- Аустрија – стандард ÖNORM M 7135,
- Шведска – стандард SS 187120,
- Немачка – стандарде DIN 51731 и DIN plus,
- Италија – CEN.

Преглед ових стандарда дат је у Табели 4.14, и у њима су дефинисане обавезне карактеристике које произведени пелети морају да испуне како би могли да се несметано користе у пећима и котловима у домаћинствима, али и у индустрији.

Поред тога, у оквиру Европског комитета за стандардизацију (CEN), дефинисан је предлог стандарда prEN 14961, који би требало да представља јединствени стандард квалитета пелета од биомасе на нивоу ЕУ. Према овом стандарду, посебно су дефинисани захтеви квалитета пелета произведених од дрвне биомасе, односно захтеви за пелете произведене од недрвне биомасе. У оквиру наведених стандарда дефинисане су класе квалитета пелета у зависности од карактеристика које су значајне за

њихово коришћење у енергетске сврхе, као и од сировина од којих се производе. У Табели 4.14 такође је дат преглед карактеристика за класе квалитета пелета А1, А2 и В према prEN 14961 – Part 2.

Табела 4.14 Преглед европских стандарда квалитета пелета од биомасе

Карактер.	Јединица	prEN 14961-2			ÖNORM M 7135	SS 1871 20	DIN 5173 1	DIN plus	CTI
		Класа А1	Класа А2	Класа В					
Пречник	mm	6 или 8	6 или 8	6 или 8	4 - 10	наводи се	4 - 10	4 - 10	6
Дужина	mm	3,15-40	3,15-40	3,15-40	≤ 5 x D	≤ 4 x D	≤ 50	≤ 5xD	D-4xD
Насипна густина	kg/m <sup>3</sup>	≥ 600	≥ 600	≥ 600	-	≥ 600	-	-	620-720
Густина	kg/dm <sup>3</sup>	-			≥ 1,12	-	1-1,4	≥ 1,12	-
Садржај воде	% m/m (w.b.)	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 12	≤ 10	≤ 10
Садржај пепела	% m/m (w.b.)	≤ 0,7	≤ 1,5	≤ 3,5	≤ 0,5	≤ 0,7	≤ 1,5	≤ 0,5	≤ 0,7
Доња топлотна моћ	MJ/kg (w.b.)	16,5-19,0	16,3-19,0	16,0-19,0	≥ 18,0	≥ 16,9	17,5-19,5	≥ 18,0	≥ 16,9
Садржај сумпора	% m/m (d.b.)	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,08	≤ 0,08	≤ 0,04	≤ 0,05
Садржај азота	% m/m (d.b.)	≤ 0,30	≤ 0,50	≤ 1,0	≤ 0,30	-	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30
Садржај хлора	% m/m (d.b.)	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,02	≤ 0,03
Механичка чврстоћа	% m/m (w.b.)	≥ 97,5	≥ 97,5	≥ 96,5	≥ 97,7	≥ 99,2	-	≥ 97,7	≥ 97,5
Садржај ситног остатка	% m/m (w.b.)	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1	-	-	-	≤ 1,0
Адитиви	%	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2	наводи се	-	≤ 2,0	наводи се
Топливо ст пепела	°C	наводе се све карактеристичне темп.			-	наводи се	-	-	-
Арсен	mg/kg (d.b.)	≤ 1			-	-	≤ 0,8	-	-
Кадмијум	mg/kg (d.b.)	≤ 0,5			-	-	≤ 0,5	-	-
Хром	mg/kg (d.b.)	≤ 10			-	-	≤ 8	-	-
Бакар	mg/kg (d.b.)	≤ 10			-	-	≤ 5	-	-
Жива	mg/kg (d.b.)	≤ 0,1			-	-	≤ 0,05	-	-
Никл	mg/kg (d.b.)	≤ 10			-	-	-	-	-
Олово	mg/kg (d.b.)	≤ 10			-	-	≤ 10	-	-
Цинк	mg/kg (d.b.)	≤ 100			-	-	≤ 100	-	-

## 4.2.6 Торификовани пелети

Торификација је процес који може да побољша карактеристике биомасе, као што су висок садржај кисеоника, ниска топлотна моћ, висок садржај влаге. Истовремено, влакнаста структура и хетероген састав биомасе могу пројектовање и контролу процеса у којима се користи биомаса у енергетске сврхе учинити значајно сложенијом.

Торификација представља технологију која може да побољша карактеристике биомасе и на тај начин омогућава да се разреши неки од претходно побројаних проблема. Торификација је технологија која обухвата термички предtretман лигноцелулозних материјала са циљем да се добију квалитетнија горива.

Основни циљ процеса торификације је смањење садржаја кисеоника из коначног производа. Торификована биомаса има мањи О/С однос у поређењу са полазном биомасом (Слика 4.29).

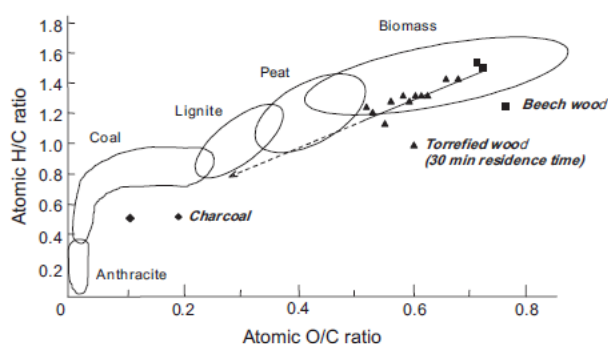


Fig. 1 – Van Krevelen diagram.

Слика 4.29: Утицај процеса торификације на састав биомасе

Процес торификације је био познат још 1930. године у Француској, али број публикација са резултатима је био релативно мали. Последњих година, истраживања овог процеса су обновљена и све је више истраживања посвећено овој проблематици.

Процес торификације се одвија на релативно ниским температурама, у опсегу од 200-300 °C и то на атмосферском притиску и без присуства кисеоника. На овај начин добија се гориво веће топлотне моћи. Процес торификације се може користити и као предtretман у процесима конверзије биомасе, као што су гасификација или косагоревање. Истовремено, добија се гориво које је много погодније за складиштење.

Биланс процеса торификације:

- Маса торификоване биомасе представља 70 % почетне биомасе. Просталих 30 % масе претворено је у торификовани гас.
- Топлотна моћ торификоване биомасе је 90 % од топлотне моћи почетне сировине, а торификованог гаса само 10 % од топлотне моћи почетне сировине.
- Фактор повећања масене топлотне моћи је најчешће 1,3.

Процес торификације може се поделити у више фаза. Основне фазе процеса су:

- Почетно загревање – загревање биомасе до температуре када почиње испаравање влаге
- Предсушење: на 100 °C хигроскопска (слободна) влага испарава и то на константној температури.
- Сушење: температура се повећава до 200 °C и физички везана влага (конституциона) испарава. Може доћи и до испаравања неких лакших фракција волатила.
- Торификација: у овој фази одвија се најважнији део процеса. Започиње када температура достигне 200 °C и завршава се када се температура са претходно дефинисане максималне температуре поново врати на 200 °C. Температура торификације се дефинише као максимална температура на којој се одвија процес разлагања и најзначајнији губитак масе.

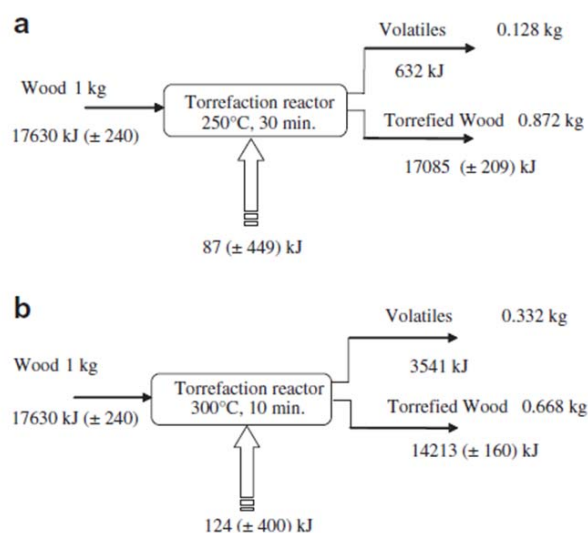
- Хлађење: торификовани производ се хлади испод 200 °C до претходно дефинисане температуре (собна температура).

Током процеса торификације различити производи се образују и састав ових производа зависи од услова у којима се процес одвија (температура, време трајања процеса, карактеристике биомасе). Процес торификације значајно утиче на карактеристике чврстог производа који се добија, што је последица пре свега смањења садржаја кисеоника. Промена у саставу чврстог производа, торификоване биомасе, у односу на полазну биомасу приказана је у Табели 4.15. У торификованој биомаси је већи садржај угљеника, садржај кисеоника је значајно мањи, смањује се и садржај водоника (услед губитка лакших фракција волатила). Све наведене промене у саставу утичу на повећање топлотне моћи добијеног производа у односу на полазну биомасу.

Табела 4.15

<b>Table 1 – Composition of wood and torrefied wood [11].</b>			
	Wood	Torrefied wood (250 °C, 30 min)	Torrefied wood (300 °C, 10 min)
Carbon	47.2%	51.3%	55.8%
Hydrogen	6.1%	5.9%	5.6%
Oxygen	45.1%	40.9%	36.3%
Nitrogen	0.3%	0.4%	0.5%
Ash	1.3%	1.5%	1.9%
LHV (MJ/kg)	17.6	19.4	21.0

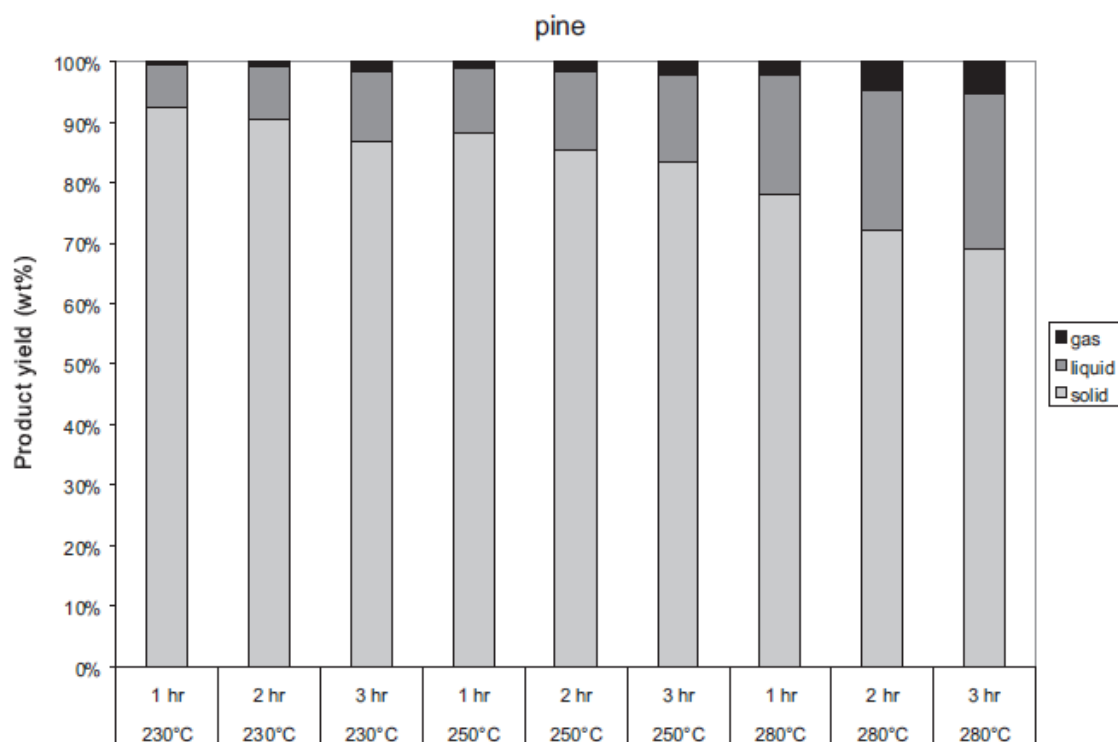
Процес торификације се заснива на реактивности хемицелулозе која је реактивна на температурама од 200-300 °C, док су остале две компоненте (целулозе и лигнин) знатно мање реактивне у овом опсегу. С обзиром на наведене карактеристике компоненти биомасе, процес торификације се у зависности од компоненте која је реактивна у одређеном температурском интервалу дели на четири фазе: испаравње влаге, разлагање хемицелулозе, разлагање лигнина и разлагање целулозе. На температурама од 200 °C, започиње процес деволатилизације хемицелулозе, као и процес карбонификације (биомаса добија браон боју). Хемицелулоза се разлаже на волатиле и чврсти производ који је сличан коксном остатку. Значајан процес деволатилизације се одвија на температури од 250-260 °C. На тој температури полако се разлажу и лигнин и целулоза, али то није праћено значајним губитком масе. Утицај максималне температуре одвијања процеса приказан је на Слици 4.30. На температури од 200 °C образована је мања количина волатила и постогнут је већи пораст топлотне моћи по маси у односу на производе добијене при одвијању процеса на 300 °C. Повећање масене топлотне моћи износи 1,1 на температури од 200 °C, односно 1,19 на 300 °C. Волатили који настају у процесу торификације се најчешће користе за обезбеђивање потребен топлоте за одвијање самог процеса.



**Fig. 6 – Overall mass and energy balances for torrefaction of (dry) willow at temperature and reaction time of (a) 250 °C and 30 min (b) 300 °C and 10 min [2].**

*Слика 4.30*

У процесу торификације настају гасовити, течни и чврсти продукти. Течни продукти настају као резултат кондензације гасова. Пораст температуре и времена трајања процеса утичу на стварање веће количине гасова и течних продуката (Слика 4.31).



**Fig. 5 – Product yield torrefaction of pine after 1, 2, and 3 hr at 230, 250, and 280 °C [7,25].**

*Слика 4.31*

Упоредни приказ процеса пелетирања и торификације приказан је на Слици 4.32.

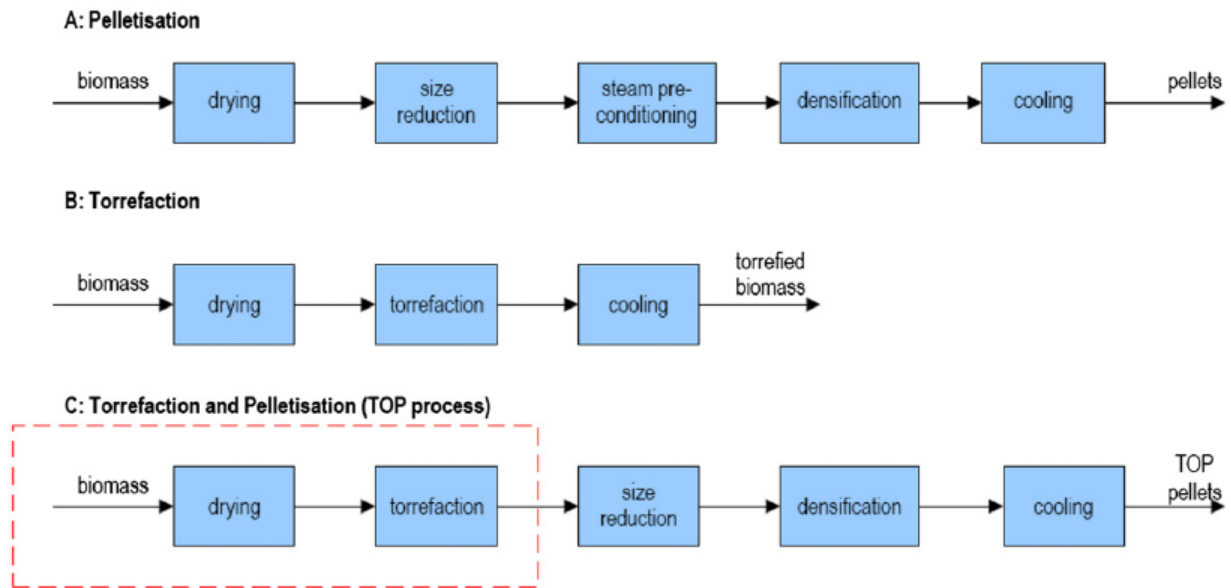


Fig. 14 – Pelletization, torrefaction and TOP process schemes [20].

Слика 4.32

#### 4.2.6 Упоредне карактеристике горива од дрвне биомасе

Упоредне карактеристике горива добијених од дрвне биомасе приказане су у Табели 4.16.

Табела 4.16

Чврста биогорива са малим варијацијама у квалитету тј. карактеристикама горива (нпр. пелети).			<p>Смањење:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- техничких операција (напора) за производњу чврстог биогорива</li> <li>- потребне механизације у ланцу снабдевања производње и прихода произвођача чврстог биогорива</li> <li>- расположивих продајних места</li> <li>- могућности коришћења у постројењима за термохемијску конверзију великих капацитета.</li> </ul>
Чврста биогорива са средњим варијацијама у квалитету тј. карактеристикама горива (сечка).			
Чврста биогорива са великим варијацијама у квалитету тј. карактеристикама горива (огревно дрво).			<p>Повећање:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- трошкова транспорта</li> <li>- варијација у квалитету горива</li> <li>- осетљивости на услове складиштења</li> <li>- потребне техничке опреме у постројењима за термохемијску конверзију.</li> </ul>

## 4.2.7 Пољопривредна биомаса

У пољопривредну биомасу (пољопривредне остатке) која може да се користи у енергетске сврхе убрајају се:

- остаци у ратарству - остаци од пољопривредних усева: пшеница, јечам, кукуруз, раж, сунцокрет, соја, уљана репица
- остаци у сточарству – течни стајњак
- остаци у воћарству и виноградарству и примарној преради воћа (орезивање воћњака, орезивање винове лозе, замена стабала воћака и чокота лоза).

При разматрању могућности коришћења пољопривредне биомасе неопходно је извршити процену потенцијала. Потенцијал се може дефинисати на вије начина и то:

- теоријски потенцијал - укупна количина биомасе која може да се произведе на годишњем нивоу по сировини или отпаду/остатку/нус-производу. Овај потенцијал се израчунава на основу података о коришћеном земљишту и приносу сваке од сировина на земљишту на коме се узгаја,
- технички потенцијал - овај потенцијал узима у обзир и друге могућности коришћења пољопривредне биомасе (заоравање, простирка и за исхрану стоке и др.) и на основу свих расположивих података одређује се технички потенцијал који је мањи у односу на теоријски потенцијал.

Теоријски потенцијал се израчунава на следећи начин:

$$E_{polj} = E_{poljkul} + E_{poljstoc}$$

где је:

$E_{polj}$  - теоријски потенцијал из пољопривреде

$E_{poljkul}$  - теоријски потенцијал од житарица, воћарства

$E_{poljstoc}$  - теоријски потенцијал од сточарства

Теоријски потенцијал од житарица и воћарства одређује се на следећи начин:

$$E_{poljkul} = \sum c_{i,k} P_{i,j,k} H_{i,k}$$

где је:

$c_{i,k}$  - однос остатка према пољопривредном производу (житарице, воћарство)

$P_{i,j,k}$  - годишња производња пољопривредном производу (житарице, воћарство)

$H_{i,k}$  - доња топлотна моћ пољопривредног производа (житарице, воћарство)

Теоријски потенцијал од сточарства

$$E_{poljstoc} = \sum p_{i,k} C_{i,j,k} Y_{i,k} H_{i,k}$$

где је:

$p_{i,k}$  - количина течног стајњака

$C_{i,j,k}$  - број стоке

$Y_{i,k}$  - количина биогаса

$H_{i,k}$  - доња топлотна моћ биогаса

Основне карактеристике пољопривредне биомасе неопходне за прорачун потенцијала приказане су у Табелама 4.17 и 4.18.

Табела 4.17: Доња топлотна моћ и садржај воде у ратарски и воћарским културама

	пшеница	јечам	раж	зоб	тритикале	кукуруз	сунцокрет	соја	уљана репица	шећ. репа
Остатак/производ	1,00	0,80	1,10	1,00	1,00	1,10	2,50	2,00	3,00	0,75
Влага (%)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	20,	07,0	15,0	18,0
$H_d$ (GJ/t)	14,4	14,5	14,5	14,5	14,5	15,5	13,5	15,7	14,5	15,0
	јабуке	крушке	дуње	трешње	вишње	кајсије	шљиве	брескве	ораси	грожђе
Остатак/производ	0,35	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,25
Влага (%)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
$H_d$ (GJ/t)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Табела 4.18: Количина стајњака, очекиване производње биогаса и доња топлотна моћ за различите врсте стоке и живину

	Течни стајњак (t/год)	Количина биогаса (m <sup>3</sup> /t отпада)	$H_d$ (GJ/m <sup>3</sup> )
Говеда	1,62	245	0,0216
Свиње	0,30	430	0,0216
Живина	0,021	450	0,0234

Основни проблеми у коришћењу пољопривредне биомасе у енергетске сврхе су:

- релативно велика запремина у односу на масу
- мала запреминска топлотна моћ
- пропадање кроз решетку ложишта.

С обзиром на наведене недостатке пољопривредне биомасе, за коришћење у енергетске сврхе користе се погоднији облици (бале, брикети, пелети).

Коришћење биомасе у енергетске сврхе подразумева читав низ операција које претходне коначној примени:

- убирање
- утовар на превозно средство
- транспорт
- истовар и складиштење
- припрему за примену (сагоревање или производњу других врста горива).

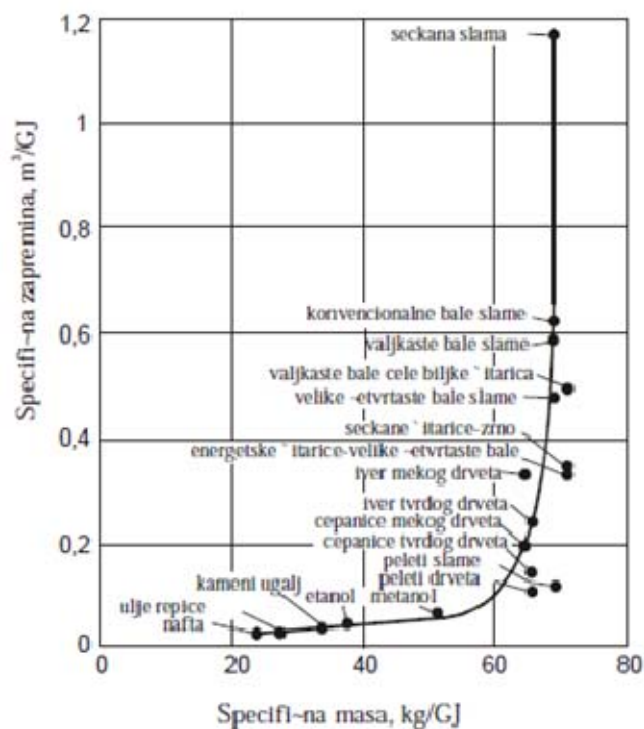
Ови поступци се разликују у зависности од врсте пољопривредне биомасе, а чак и за исту врсту биомасе поступци се могу разликовати.

Општа карактеристика пољопривредних остатака је њихова релативно велика запремина у односу на масу („складишна запремина“), па тиме и мала запреминска топлотна моћ (Табела 4.19, Слика 4.33). Густина биомасе значајно утиче на цену манипулације, транспорта и складиштења, па се због тога врши пресовање пољопривредне биомасе (бале, брикети, пелети).

Пољопривредна биомаса може се припремати, односно пресовати у облику бала. Бале могу бити различите по облику и димензијама. Основне карактеристике бала приказане су у Табели 4.20, а предности и недостаци у Табели 4.21.

Табела 4.19: Складишна густина и запреминска топлотна моћ сламе у зависности од припреме

Облик припреме	Густина ( $\text{kg/m}^3$ )	$H$ ( $\text{kJ/m}^3$ ) *
без припреме	35-70	385-770
гранулисана	50-100	550-1100
млевена	80-150	880-1650
пресована:		
нормалне бале	70-110	385-1210
округле бале	60-100	660-1100
брикети	400-800	4400-8800

\* Рачунато са  $H_d = 11 \text{ MJ/kg}$ 

Слика 4.33

Табела 4.20

Брста бале	Маса (kg)	Влага (%)	Број бала за 1 t сламе
Конвенционалне	10-50	15-20	~ 40
Ваљкасте	150-700	15-20	3-6,5
Велике четвртaste	500-600	15-20	1,7-5

Табела 4.21

Врста бале	Предности	Недостаци
Конвенционалне	Цена пресе, добро складиштење, могућност сагоревања целих бала	Ручна манипулација, висок утрпак везива
Ваљкасте	Умерена цена пресе, механизована манипулација	Највиши утрпак везива, неопходно везивање, могућност деформисања, теже транспортовање, већи сладишни простор
Велике четвртасте	Виши притисак сабијања, погодне за транспорт, погодне за складиштење	Висока набавна цена, неопходна посебна средства за манипулацију

Технологија сагоревања биомасе је најстарија и највише коришћена технологија. За коришћење пољопривредне биомасе у процесима сагоревања посебно су значајне следеће катактеристике:

- доња топлотна моћ – посебно је неповољна мала запреминска топлотна моћ, па се за решавање овог проблема обавезно врши сабијање биомасе (бале, брикети, пелети)
- садржај влаге – биомаса са високим садржајем влаге има дужи период сушења, теже се пали, спорије сагорева, потребно веће ложиште
- садржај хлора и сумпора – потребно је предузети одговарајуће мере заштите од корозије
- садржај хлора и азота – веће емисије токсичних компоненти (HCl и NOx) у димним гасовима. Азот се у биомаси налази у облику амина, протеина и др. једињења.
- садржај K и Na – снижавају температуру топљења пепела. Садржај калијума зависи од коришћеног ђубрива.
- садржај K и Na и садржај хлора и сумпора - K и Na у комбинацији са Cl и S утичу на стварање корозије
- тешки метали – огрничavaju могућност коришћења пепела. Тешки метали се трансформишу током процеса сагоревања на температурама од 800-1000 °C.
- насипна густина – утиче на избор начина складиштења и транспорта.

Последњих година производња пелета од пољопривредне биомасе постаје предмет све већег интересовања и то из следећих разлога:

- недовољне количина дрвне биомасе за енергетске потребе
- велике расположиве количине пољопривредна биомаса
- једноставнијег коришћење пољопривредне биомасе у облику пелета (већа механичка чврстоћа, лакши транспорт, боље сагоревање са мањом емисијом штетних материја) .