

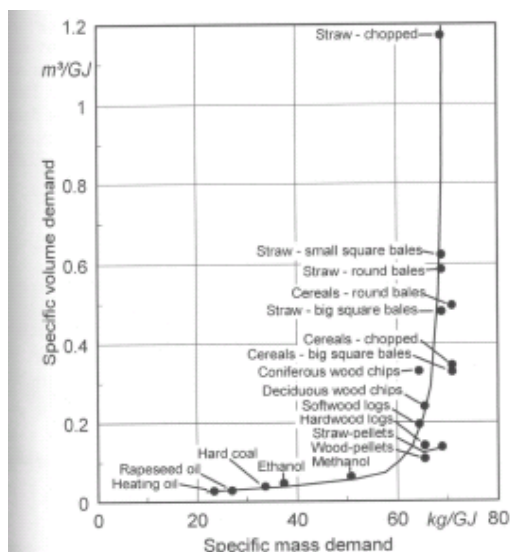
## 4 БИОМАСА

Коришћење биомасе је познато још из времена када је човек почео да користи ватру за припремање хране и за грејање. Биомаса, данас и у будућности, разматра се као обновљив извор енергије. Значај примене биомасе може се сагледати кроз следеће погодности:

- смањење зависности од фосилних горива
- смањење зависности од увоза
- сигурност снабдевања
- смањење загађења животне средине
- смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште
- отварање нових радних места и др.,

при чему ни на који начин не сме да се угрози ланац исхране и мора да задовољи критеријуме одрживости. Недостаци преимене биомасе у енергетске сврхе су:

- мала запреминска топлотна моћ (Слика 4.1)
- неопходне велике површине земљишта
- неопходност развијања различитих технологија
- цена енергије зависи и од могућности коришћења нуспроизвода и др.



Слика 4.1: Специфична маса/запремина различитих врста биомасе (садржај влаге 15 %  $m/m$ )

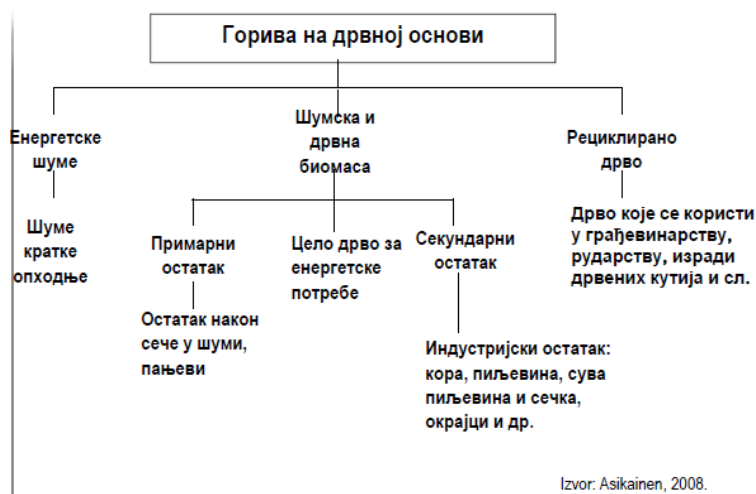
С обзиром на различите захтеве који се постављају пред биомасу, уведен је читав низ дефиниција како би се што прецизније одредиле врсте и расположиве количине које се могу користити у енергетске сврхе, као и да би се на основу карактеристика различитих врста биомасе одредиле најбоље могућности примене. Биомаса се може дефинисати на следеће начине:

- биомаса – материја биолошког порекла, искључујући материје које су учествовале у процесима трансформисања и стварања фосилних горива (CEN/TS 14588)
- остаци од биомасе – биомаса која потиче из тачно дефинисаних токова и то из пољопривреде, шумарства и одговарајућих индустријских процеса (CEN/TS 14588)
- биомаса предствља биоразградиви део производа, отпада и остатака биолошког порекла из пољопривреде (укључујући биљне и животињске материје), шумарства и повезаних индустрија, укључујући рибарство и аквакултуру, као и биоразградиви део индустријског и комуналног отпада (Директива 2008/28/ЕС).

Основна подела биомасе је на:

- шумску биомасу (огревно дрво, шумски отпад, остаци од прераде дрвета, брзорастући засади и дрвна биомаса од дрвећа изван шума) – Слика 4.2,

- пољопривредну биомасу (остаци од пољопривредних култура, остаци од гајења воћа и виноградарства, уљарице, лигноцелулозни материјали – мискантус, трска и др., течно стајско ђубриво) и
- отпад (биоразградиви део индустријског и комуналног отпада).

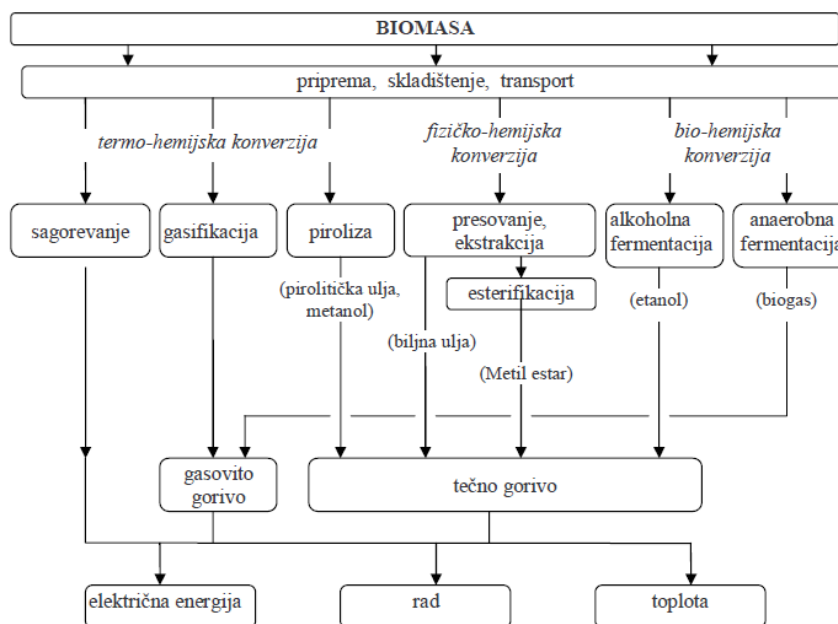


Слика 4.2: Класификација горива на бази дрвета

Биомаса се може класификовати према више различитих критеријума:

- према агрегатном стању (чврста, течна и гасовита)
- према пореклу (шумска, пољопривредна и отпад)
- према начину припреме, то јест према облику у којем се може наћи на тржишту и у експлоатацији (пелети, брикети, дрвна сечка, пиљевина, бале сламе, трске и мискантуса итд.).

За примену биомасе као горива користи се велики број различитих технологија трансформације са циљем добијања чврстих, течних и гасовитих горива која се даље користе за добијање топлоте и електричне енергије или за добијање горива различите намене (горионици, котлови, генератори, мотори са унутрашњим сагоревањем, турбине, гориве хелије) – Слика 4.3.

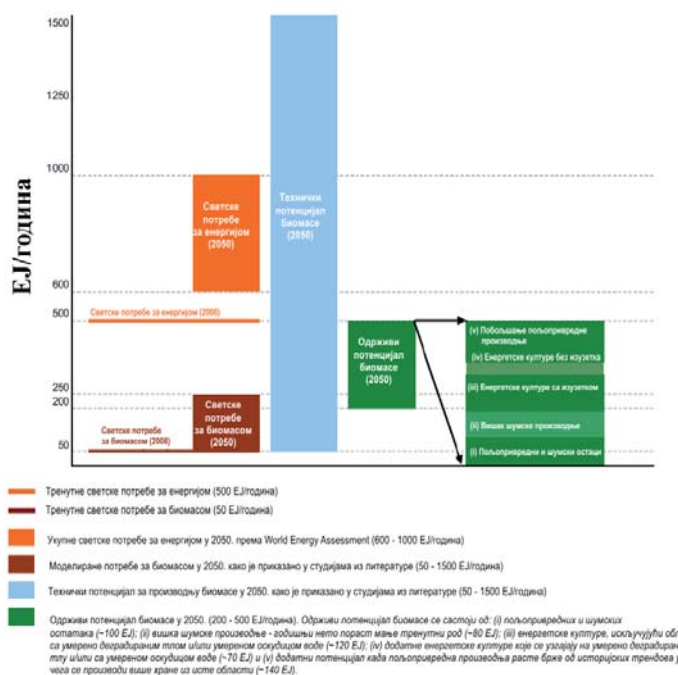


Слика 4.3: Основне технологије конверзије биомасе

За анализу могућности примене биомасе, неопходна је анализа расположивих потенцијала и технологија, као и економских параметара који се односе на цену биомасе као сировине, цену енергије добијене из биомасе и конкурентност ових цена у односу на друге изворе енергије. На основу наведених анализа дефинишу се теоријски, технички и економски потенцијал биомасе. Процена потенцијала може да се врши према различитим методологијама и у зависности од примењене методологије могуће су значајне разлике у процењеним количинама.

Данас, коришћењем биомасе обезбеђује се 50 EJ, што предствала око 10 % потрошње примарне енергије у свету. У структури биомасе највеће је учешће дрвне биомасе (87 %), док се знатно мање користе пољопривредне културе и нуспроизводи (9 %) и индустријски и комунални отпад (4 %). Биомаса се највише користи за производњу електричне и топлотне енергије, а само мањи део користи за производњу биогорива. Могућности за повећање коришћења биомасе у енергетске сврхе постоје и то коришћењем маргиналног, деградираног и некоришћеног земљишта за узгајање лигноцелулозних сировина, као и узгајањем водених организама (алге). Према подацима World Energy Council (WEC), укупни технички потенцијал свих облика биомасе је процењен на 1.500 EJ/год. у 2050. години (Слика 4.4), при чему би по критеријумима одрживости овај потенцијал, без водених организама, био смањен на 200 до 500 EJ/год.

Потенцијал биомасе у Европи одређен је на основу више различитих методологија, што је утицало и на велике разлике у процени постојећих и будућих потенцијала. Значајним количинама пољопривредне биомасе располажу Немачка, Француска, Пољска, Мађарска, Румунија и Бугарска и предвиђа се да ће расположиве количине у овим земљама расти услед повећања површина на којима се узгајају различите пољопривредне културе, повећања приноса и наменског узгајања посебних енергетских засада. Скандинавске земље располажу значајним потенцијалом у дрвној биомаси, како због великих површина под шумама и погодних климатским услова, тако и због изузетно развијене дрвне индустрије.



Слика 4.4: Технички и одрживи потенцијал биомасе (до 2050.)

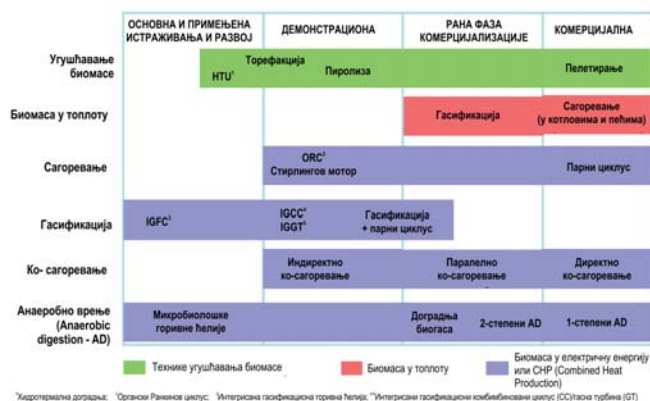
Биомаса као примарни извор енергије може се користити у свим секторима енергетике, односно за производњу електричне и/или топлотне енергије и за производњу биогорива за саобраћај. С обзиром на разноликост биомасе, начини коришћења могу бити различити – у облику чврстог горива (непрерађена биомаса – огревно дрво и сечка или у прерађеном облику – брикети, пелети, торификовани пелети) или у облику течног или гасовитог горива која се добијају различитим поступцима конверзије (Слика 4.5). Основни разлог за прераду биомасе у прерађена чврста, течна и гасовита горива је добијање горива веће енергетске густине у односу на растреситу биомасу, чиме се постиже лакше складиштење, транспортовање и руковање. Приликом сагледавања процеса прераде биомасе у различите врсте чврстих, течних и гасовитих горива неопходно је сагледати потребну количину енергије за њихову производњу (све фазе од сакупљања на месту настајања до производње коначног производа, спремног за примену у енергетске сврхе), као и емисију гасова са ефектом стаклене баште.

За коришћење биомасе у енергетске сврхе расположиве су различите технологије које се налазе у различитим фазама развоја – од основних и примењених истраживања и развоја до комерцијалне примене (Слика 4.6).

Различити процеси сагоревања представљају највише коришћену технологију примене биомасе у енергетске сврхе. Пелети и торификовани пелета као прерађена чврста горива, због својих димензија (цилиндрични облик пречника 6 – 10 mm и дужине 10 – 30 mm), омогућавају аутоматизацију процеса сагоревања континуалним увођењем у ложиште потребне количине горива. Ова горива су посебно погодна за примену у пећима и котловима малих снага који се користе у домаћинствима, иако се могу користити и у индустријским котловима и термоенергетским котловима (ко-сагоревање са угљем). Најчешћа примена ко-сагоревања је у котловима са сагоревањем угља у спрашеном стању и највише постројења има у Финској, Сад, Немачкој, Великој Британији, Шведској и Холандији. Учешће биомасе у овим постројењима износи до 20 % (у односу на садржај енергије). Постројења са сагоревањем биомасе која се користе за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије, као и процеси ко-сагоревања биомасе са угљем, представљају савремене начине коришћења биомасе са високим степеном енергетске ефикасности.



Слика 4.5. Преглед технологија за коришћење биомасе у енергетске сврхе



Слика 4.6. Преглед технологија за коришћење биомасе у енергетске сврхе

Гасификација биомасе се примењује у неколико постројења у свету, али још увек није значајна њена примена због комплексности процеса и цене. У будућности, очекује се да ова технологија буде више коришћена, као и да се користи и за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије у постројењима мањих снага.

Производња биогаза на бази анаеробне дигестије је комерцијално доступна технологија. Поред већ распрострањене примене биогаза за производњу топлотне и/или електричне енергије, у складу са Директивом 2009/28/ЕС могуће је произведени биогаз интегрисати у мрежу природног гаса. У том случају, захтеви у погледу квалитета биогаза су изузетно строги и у припреми је доношење одговарајућег европског стандарда.

У наставку, детаљно ће бити обрађене поједине врсте биомасе и горива произведена из биомасе, као и технологије за производњу горива из биомасе и њихово коришћење у енергетске сврхе.

## 4.1 ЧВРСТА ГОРИВА - БИОМАСА

Чврста горива, па самим тим и биомаса, се могу разврстати на више начина. У наставку, биће приказане кључне карактеристике чврстих горива, на основу којих се врши њихова оцена и могућност оптималног коришћења.

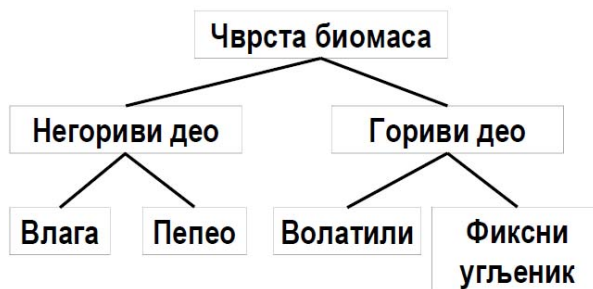
### 4.1.1 ТЕХНИЧКА АНАЛИЗА ЧВРСТИХ ГОРИВА

Поред елементарне анализе, која је неопходна за низ топлотних прорачуна, за оцену могућности адекватне примене једног горива, а нарочито чврстих, користи се такозвана техничка анализа. Техничка анализа се заснива на термичком разлагању масе горива (процесу који прати све видове коришћења чврстих горива - Слика 4.7) при чему се добијају испарљиве и неиспарљиве материје. С обзиром на сложеност материја чврстих горива, и у испарљивом и у неиспарљивом делу горива налазе се гориве и негориве компоненте. Ова четири критеријума узимају се за основу техничке анализе, а одговарајућа подела дата је на Слици 4.8.

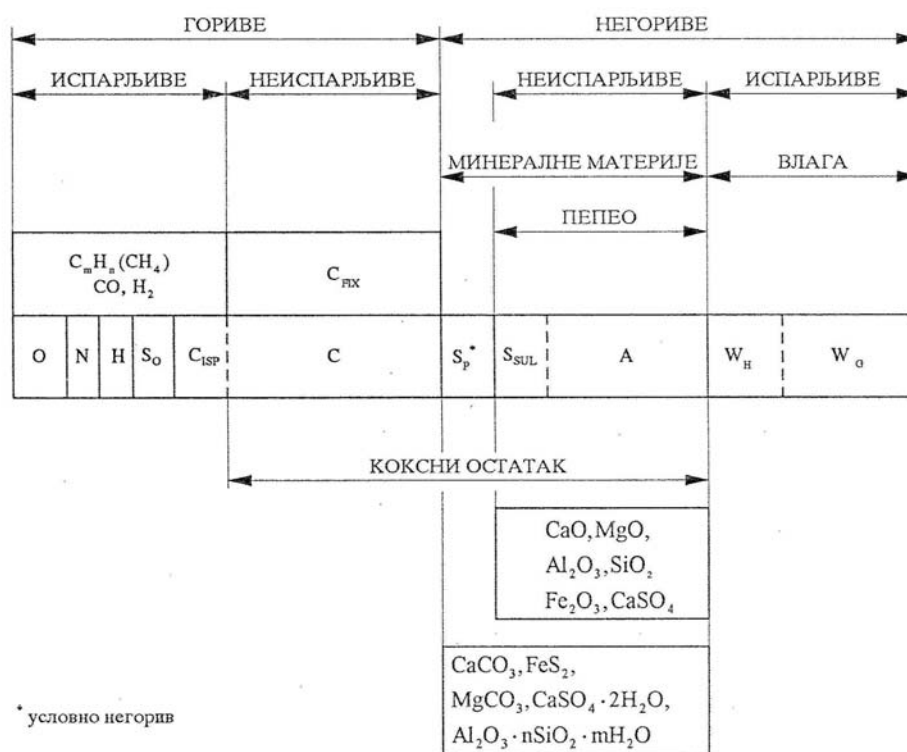
Као што се анализом може закључити основни подаци техничке анализе су:

- садржај грубе влаге и садржај хигроскопске влаге – садржај негоривих испарљивих материја,
- садржај горивих испарљивих материја (волатили), у чијем се саству налазе испарљиви угљеник и водоник (најчешће везани међусобно у оквиру угљоводоника) и у условима кисеоника и азот,
- садржај негоривих неиспарљивих материја – садржај минералних материја (пепела),
- садржај кокосног остатка – горивих и негоривих неиспарљивих материја.

Поред ових карактеристика, подаци техничке анализе су још топлотна моћ, понашање пепела на повишеним температурама (топливост пепела), дужина и боја планема, изглед и структура коксног остатка и др.



Слика 4.7: Основни подаци техничке анализе горива (значајни за све процесе засноване на термичком разлагању горива)



Слика 4.8. Техничка анализа чврстих горива

#### 4.1.2 ПЕПЕО

Пепео који се налази у чврстим горивима доводи до:

- погоршање преноса топлоте на грејне површине, а тим погоршању процеса загревања и испаравања воде, прегревања паре и загревања ваздуха,
- повећању хабања радних елемената млинова за млевење угља,
- повећању трошкова транспорта пепела, и
- повећању отпора у димњацима.

Изузетно важна карактеристика је понашање пепела на повишеним температурама, када долази до топљења пепела и његовог лепљења по озиду и грејним површинама. Образовање наслага пепела на грејним површинама котла, огледа се у знатном смањењу коефицијента пролаза топлоте.

Ако се осматра чиста цев дебљине  $\delta$ , познатог коефицијента провођења топлоте  $\lambda$ . Која се са једне стране загрева топлотом димних гасова, а са друге хлади водом или воденом паром, онда се коефицијент пролаза топлоте може представити изразом:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

где су:

- $k$  – коефицијент пролаза топлоте,
- $\alpha_1$  ( $W/m^2K$ ) – коефицијент пролаза топлоте од димних гасова на чисту цев која се налази у струји димних гасова,
- $\alpha_2$  ( $W/m^2K$ ) – коефицијент пролаза топлоте од зида цеви на пријемник топлоте,
- $\delta/\lambda$  ( $m^2K/W$ ) – отпор провођењу топлоте кроз зид цеви.

Промена темпеатуре представљена је на Слици 4.9а.

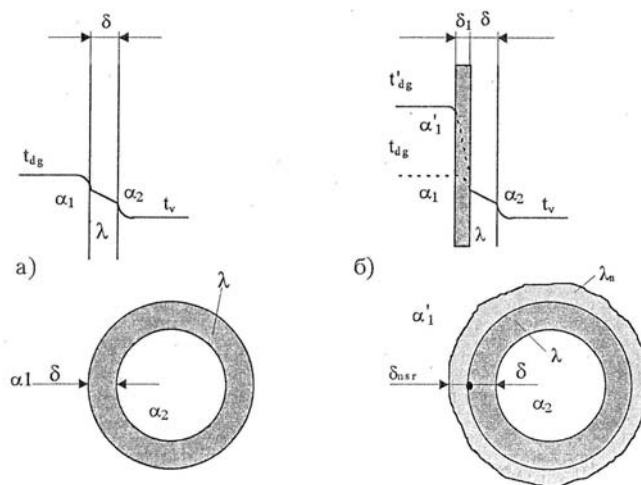
Ако са стране димних гасова дође до стварања наслага пепела промениће се и коефицијент прелаза топлоте  $\alpha_1$ , а јавиће се слој пепела, чврсто прионулог за цев, дебљине  $\delta_n$  и коефицијента проводљивости топлоте  $\lambda_n$ .

Коефицијент пролаза топлоте погоршаће се тако да ће његова вредност бити:

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1'} + \frac{\delta_{nsr}}{\lambda_n} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

- $\alpha_1'$  ( $W/m^2K$ ) – коефицијент пролаза топлоте од димних гасова на спољашњу површину наслага пепела. Како су облик и хрпаваост чисте и запрљане цеви различити,  $\alpha_1'$  разликоваће се од  $\alpha_1$ .

Промена температуре биће као на Слици 4.9б. Као што се из слике може закључити, да би се остварила иста температура воде или водене паре, потребно је повећати потрошњу горива, односно довести већу количину топлоте, што погоршава степен корисности постројења (котла), а истовремено, посматрано у дужем временском интервалу, води механичком преоптерећењу материјала цеви. Такође, ово води повишењу температуре димних гасова на излазу из ложишта и на крају котла.



Слика 4.9

Присуство слоја пепела на грејним површинама утиче и на размену топлоте зрачењем. При стварању наслагe око чисте цеви долази до повећања температуре спољне површине слоја у односу на температуру зида чисте цеви, тј. до смањења разлике температура која у изразу за размењену топлоту фигурише на четвртом степену.

Према температури топљења, пепео се може разврстати у неколико група. Пепео је:

- лако топљив, уколико му температура топљења нижа од 1200°C,
- средње топљив, ако му је температура топљења од 1200 до 1350°C,
- тешко топљив, ако му је температура топљења од 1350-1500°C,
- практично нетопљив, ако му је температура топљења пепела већа од од 1500°C.

Оваква подела, и поред тога што се често користи, није коректна: пепео, као мешавина више компонената нема једну одређену температуру топљења. Појава топљења се јавља у одређеном температурском интервалу, чији су положај и опсег од изузетног значаја за примену.

Примена такозваног „индекса топљивости“ има више значаја. Индекс топљивости се дефинише односом тешко и лако топљивих оксида:

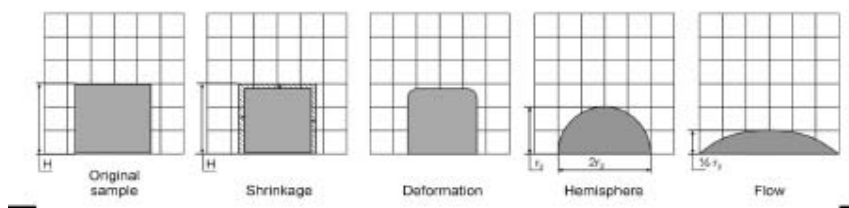
$$F = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{FeO + Fe_2O_3 + CaO + MgO + ..}$$

према индексу топљивости, пепео може бити:

- лако топљив, уколико је  $F = 0,2-1,5$
- средње топљив, уколико је  $F = 1,5-2,5$
- тешко топљив, ако је  $F = 2,5$

Понашање пепела на повишеним температурама може да се оцени и на основу промене геометрије узорка пепела (Слика 4.10), при чему се разликују следеће температуре:

- Температура омекшавања (деформације)
- Температура полулопте
- Температура разливања (течења).



Слика 4.10: Карактеристични облици узорка пепела за које се региструју одговарајуће температуре

Елементарни састав и састав оксида у пепелу за различите врсте биомасе приказани су у Табели 4.1.

Табела 4.1

		Olive stones	Lupines	Walnutbark	Straw
Amount of ash (550°C)	(%) wt	2.8	0.5	0.6	4.3
Moisture content	(%) wt	80.0	8.7	9.4	8.3
C	(%) wt	50.2	48.1	60.8	48.8
H	(%) wt	6.3	5.8	6.1	5.7
O	(%) wt	40.2	38.2	42.8	40.9
N	(%) wt	0.2	3.1	0.2	0.8
S	(%) wt	0.03	0.08	0.01	0.10
Cl	(%) wt	0.02	0.21	0.01	0.14
<b>Ash composition</b>					
SiO <sub>2</sub>	(%) dry ash	12.7	6.77	5.04	23.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%) dry ash	1.78	0.76	0.67	0.82
CaO	(%) dry ash	17.2	27.9	20.8	8.46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%) dry ash	1.66	0.39	2.17	0.48
K <sub>2</sub> O	(%) dry ash	23.3	20.8	8.24	17.9
MgO	(%) dry ash	5.08	3.82	3.73	2.17
MnO <sub>2</sub>	(%) dry ash	0.06	0.044	3.40	0.07
Na <sub>2</sub> O	(%) dry ash	0.98	0.89	0.22	0.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	(%) dry ash	2.13	5.56	1.70	2.28
TiO <sub>2</sub>	(%) dry ash	0.09	0.038	0.08	0.05
SUM of oxides	(%) dry ash	84.9	71.8	48.0	88.8

За оцену понашања пепела на повишеним температурама, коју је у лабораторијским условима тешко у потпуности симулирати, најчешће се у Европи користи метода којом се, током загревања, посматра промена геометрије узорка пепела. Карактеристичне температуре су:

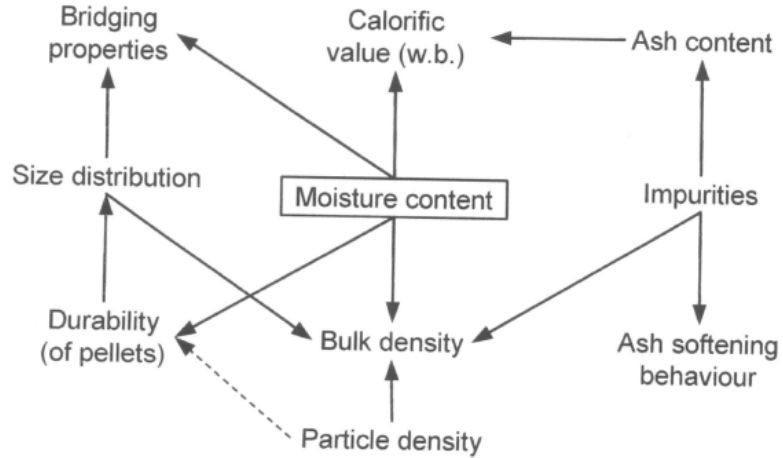
- температура омекшавања (деформације),
- температура полуплоте, и
- температура разливања или течења.

#### 4.1.3 ЗНАЧАЈ ПОДАТАКА ТЕХНИЧКЕ АНАЛИЗЕ

Свака од карактеристика, које су до сада разматране, има много шире значење и често пресудан утицај на целокупан систем, у коме се чврсто гориво користи. Ово се најбоље може уочити на примеру биомасе, при чему се сагледава снабдевање, конверзија у друге облике или видове енергије и емисије из процеса сагоревања (Слика 4.11). Зависност између појединих физичких карактеристика биомасе приказана је на Слици 4.12.

Биомаса	снабдевање			конверзија			емисије		
	транспорт	складиштење	припрема (предтретман)	(ко-)сагоревање	(ко-)гасификација	пиролиза	дигестија/ ферментација	пречишћавање гасова	емисије
<b>Хемијски састав</b>									
• С, Н, О, N, S, Cl&F									
• алкални елементи									
• тешки метали									
• састав пепела									
<b>Биохемијски састав</b>									
• целулоза									
• лигнин									
<b>Физички састав</b>									
• садржај влаге									
• садржај волатила									
• садржај пепела									
<b>Физичке карактеристике</b>									
• густина									
• насипна густина									
• расподела величине честица									
• морфологија									
• отпорност на трошење									
• механичка чврстоћа									
• карактеристике растворљивости									
<b>Конверзионе карактеристике</b>									
• реактивност									
• топлљивост пепела									
• горња топлотна моћ									
• карактеристике синтеровања									

Слика 4.11



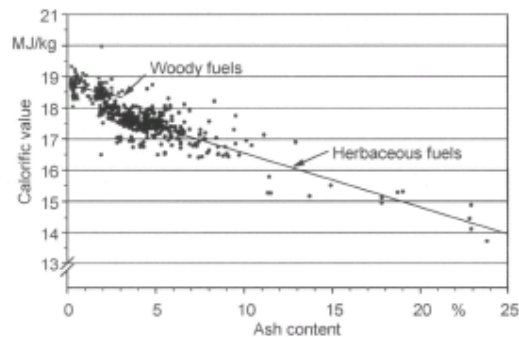
Слика 4.12

Просечни састав дрвне биомасе приказан је у Табели 4.2.

Табела 4.2

Хемијски састав		Компоненте	
C	51 %	Целулоза	50 %
O	42 %	Хемицелулоза	25 %
H	6 %	Лигнин	25 %
N	< 1 %	Смоле	< 5 %
S	< 0,1 %	Пепео	< 1 %

Зависност топлотне моћи од садржаја пепела (сува маса горива) за различите врсте биомасе приказана је на Слици 4.13. Садржај пепела у пољопривредној биомаси је већи од садржаја пепела у дрвној биомаси, што проузрокује и мању топлотну моћ пољопривредне биомасе.



Слика 4.13