



САГОРЕВАЊЕ Б

Предавање 1

www.mas.bg.ac.rs

др Небојша Манић, ванредни професор
Универзитет у Београду Машински факултет
Лабораторија за горива и сагоревање
Краљице Марије 16, 11000 Београд, Србија
nmanic@mas.bg.ac.rs

Информације о предмету



- Носилац предмета: др Владимир Јовановић, доцент
- Извођачи наставе: проф. др Драгослава Стојиљковић,
др Небојша Манић ван. проф.,
др Владимир Јовановић доцент
- Изборни предмет - Позиција 5.4 - 6 ЕСПБ
- Провере знања (Т-1(20) + Т-2(20))
- Самостални задаци (СЗ-1(5) + СЗ-2(5) + СЗ-3(5) + СЗ-4(5))
- Предиспитне обавезе (60) + Усмени испит (40)

УМЕСТО УВОДА



- Део термодинамике (заснован на фундаменталним постулатима термодинамике, преноса топлоте и масе, механике флуда,...)
- Представља механичко-термохемијски процес оксидације горива и у циљу претварања хемијске енергије горива у топлотну енергију уз добијање материјалних продуката (гасовитих, чврстих,...)...
- Примена: пећи, котлови, мотори СУС, гасне турбине, заваривање, производња цемента,...

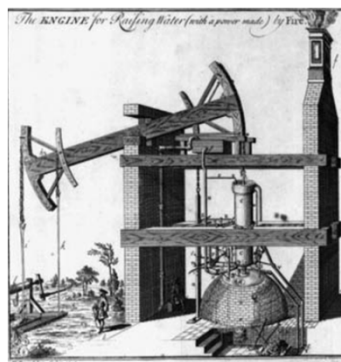
ИСТОРИЈА САГОРЕВАЊА



Пре око 1-2
милиона година
п.н.е. човек је
пронашао ватру

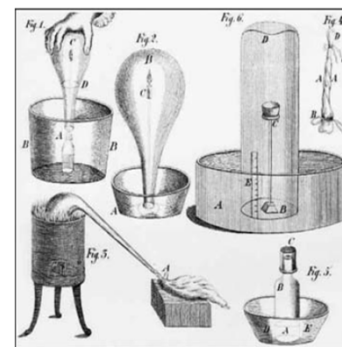


Пре око 7000
година п.н.е. човек
је почео да користи
кремен



Почетком 18 века
Thomas Newcomen
је направио претећу
котла са клипом за
потребе рудара

Пред крај 18 века
Carl Wilhelm Scheele
је обавио низ
експеримената и из
ваздуха издвојио
кисеоник



Alessandro Volta је
пронашао везу
између паљења
запаљивих гасова и
пожара у мочварама.



ИСТОРИЈА САГОРЕВАЊА



- 1750–1850: Индустриска револуција
1769: James Watt је патентирао парну машину
...
1814: George Stephenson направио парну локомотиву
1815–1819: Sir Humphry Davy пронашао каталитичко сагоревање
1816: Robert Stirling пронашао Стирлингов мотор
1824: Nicolas Leonard Sadi Carnot је показао да максимална ефикасност топлотног мотора зависи само од разлике температура мотора и околине
1834: Joseph Morgan је започео серијску производњу свећа
1850: Rudolf Clausius је описао први и други закон термодинамике
1855: Robert Bunsen направио Бунзенов горионик
1855: Johan Edvard Lundstrom (Sweden) патентирао је шибицу
1857: Развој лампе на керозин
1859: John Tyndall је пронашао да неки гасови блокирају инфрацрвено зрачење које доспева на површину Земље. Он је предложио да промена концентрације тих гасова може да доведе до климатских промена

ИСТОРИЈА САГОРЕВАЊА



- 1969: САД су успешно послале човека на месец уз помоћ Saturn V бустер ракете развијене од Wernher von Braun
- 1970s: Електронски контролисано паљење се појављује у аутомобилским моторима
- 1980s: Електронско убризгавање горива се користи у бензинским моторима
- 1990: Први IPCC (Међудржавни споразум о климатским променама) извештај истиче проблем глобалног загревања
- 1990s: На тржишту је представљено прво хибридно возило које покреће мотор СУС и електрични мотор који се допуњује регенеративном кочницом
- 1990s: CFD (computational fluid dynamics) почиње да се кориси као алат за математичке симулације процеса сагоревања
- 1997: Потписан је Кјото Протокл који у оквиру конвенције УН за климатске промене поставља обавезу индустријским земљама да редукују емисију гасова стаклене баште (ГСБ)
- 2002: Постројење за гасификацију биомасе у Гисингу (Аустрија) снаге 8MW_{th} за комбиновану производњу топлотне и електричне енергије је пушето у погон.
- 2007: European Union доноси Директиву 20-20-20.
- 2009: Ниво CO_2 у атмосфери је достигао 385 ppm. ????? Милутин Миланковић!
- 2010: 1 000 000 000 аутомобила је у употреби.
- 2013: Највећи котао за сагоревање у флуидизованом слоју снаге (600MW_{el}) је пуштен у погон у Кини.

ПОЈАМ ЕНЕРГИЈЕ



- Потиче од грчке речи **energōs** која значи активност
- Физичка величина којом се описује стање честица неког тела и њихово међусобно деловање с другим честицама и телима.
- Представља карактеристику ТД система којом се описује његова способност обављања неког рада.
- "Енергија је својство и врста способности система да произведе активност" Max Planck

РАЗЛИЧИТИ ОБЛИЦИ ЕНЕРГИЈЕ



1. Енергија коју ствара Сунце:

- Кроз процес фотосинтезе (биљке, храна, фосилна горива);
- Кроз процес струјања (ветар, струје, таласи);
- Непосредна енергија сунчевог зрачења;
- Кроз процес испаравања (са водених површина);

2. Енергија коју поседује Земља:

- Нуклеарно гориво;
- Геотермална енергија;
- Енергија од гравитације;
- Енергија плиме и осеке;

3. Природни извори енергије (примарна енергија):

- Необновљиви извори енергије
- Обновљиви извори енергије

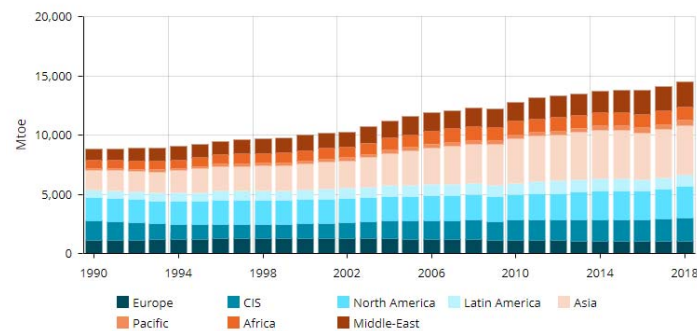
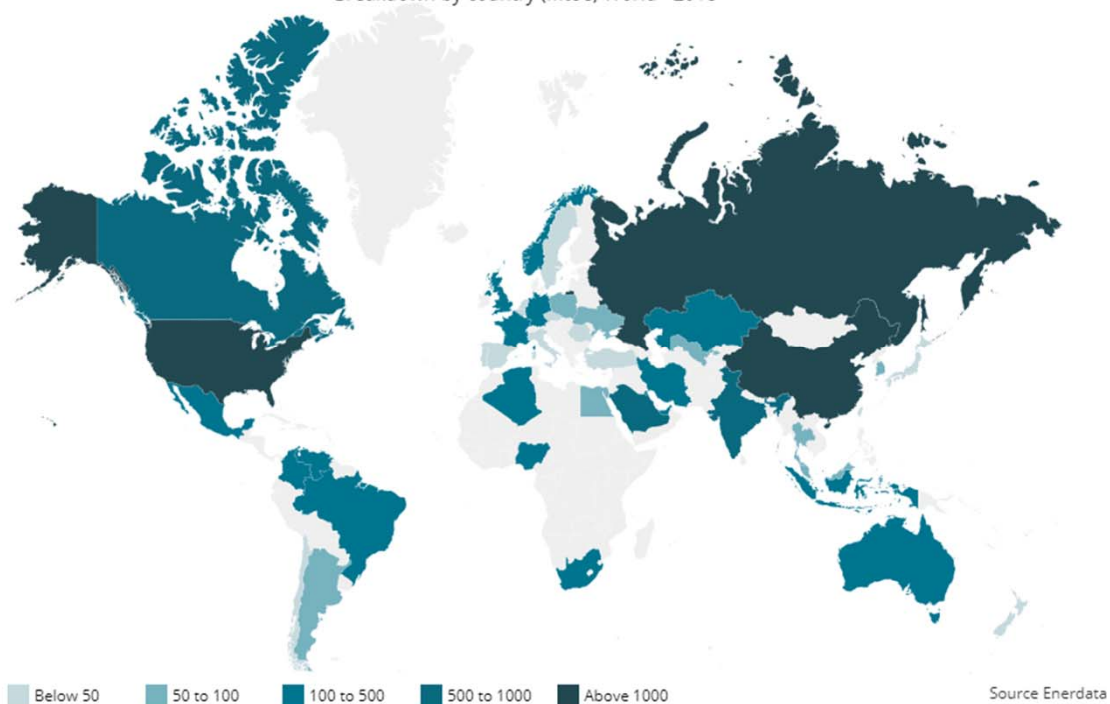
4. Секундарна енергија (пример сагоревањем фосилних горива у термоелектранама)

Извор: -

Производња енергије - СВЕТ



Breakdown by country (Mtoe) World - 2018

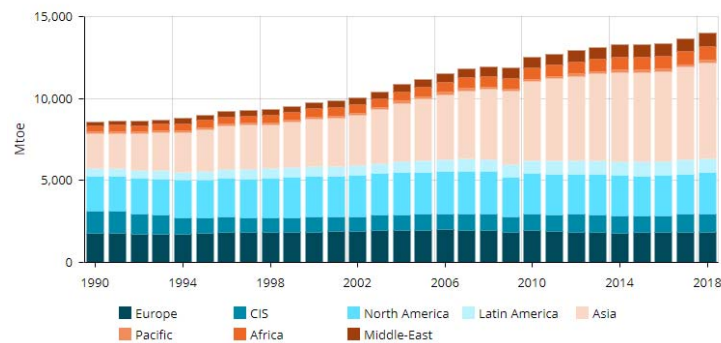
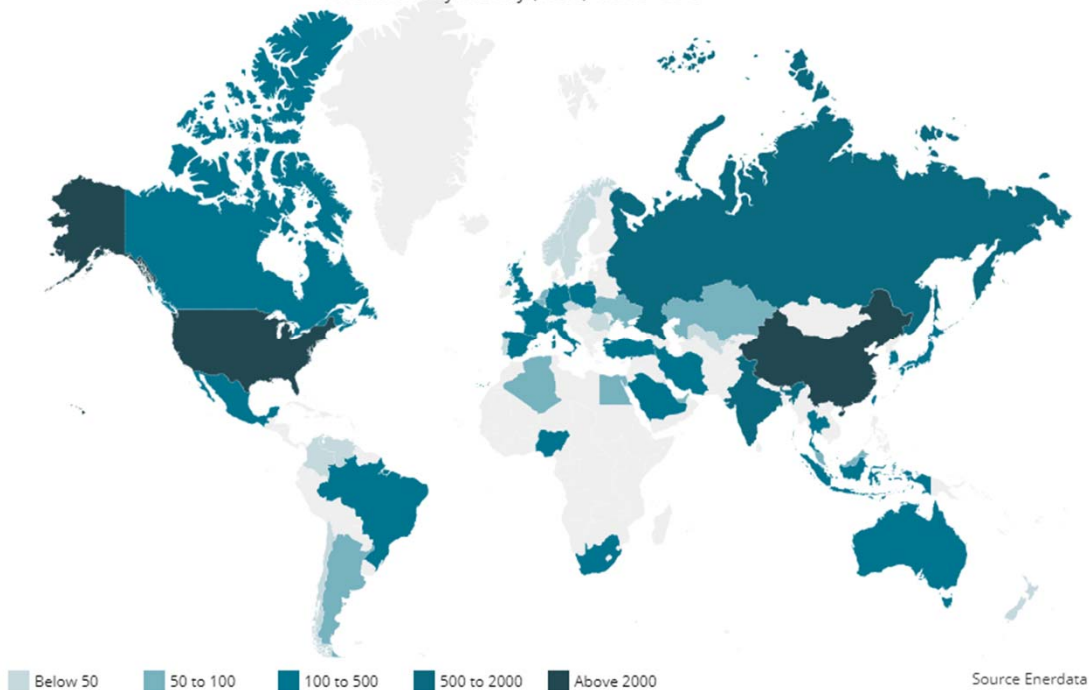


Извор: Enerdata

Потрошња енергије - СВЕТ

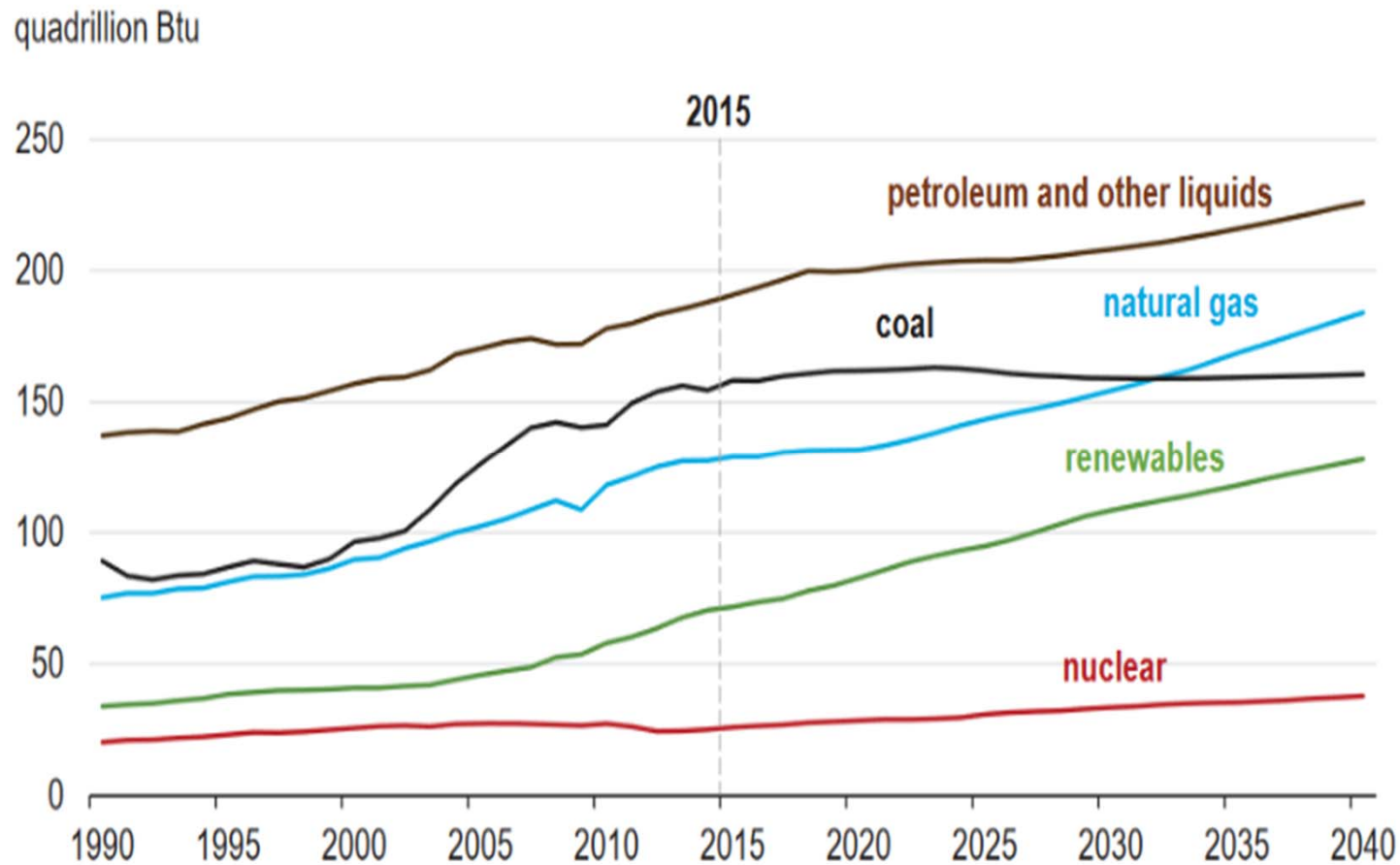


Breakdown by country (Mtoe) World - 2018



Извор: Enerdata

Потрошња енергије - СВЕТ

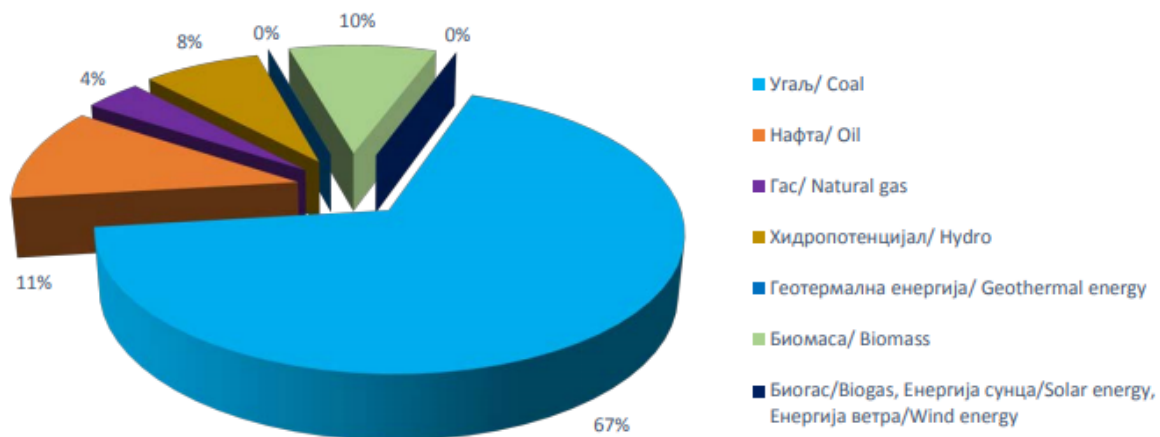


Извор: www.eia.gov

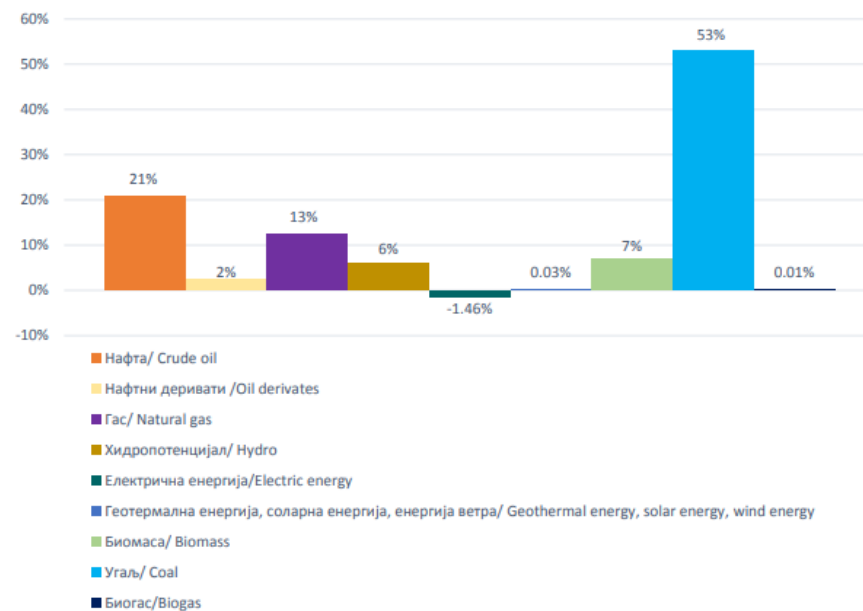
Потрошња енергије - СРБИЈА



Слика 2.3.1 Структура производње примарне енергије по енергентима у Србији 2013.
Figure 2.3.1 Structure of primary energy production per energy sources in Serbia in 2013



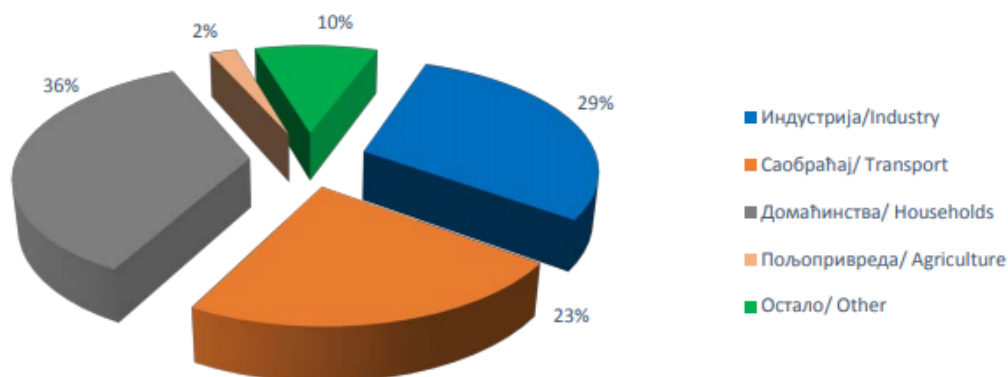
Слика 2.3.2 Учешће појединих енергената у укупној потрошњи примарне енергије
Figure 2.3.2 Share of certain sources of energy in the total consumption of primary energy



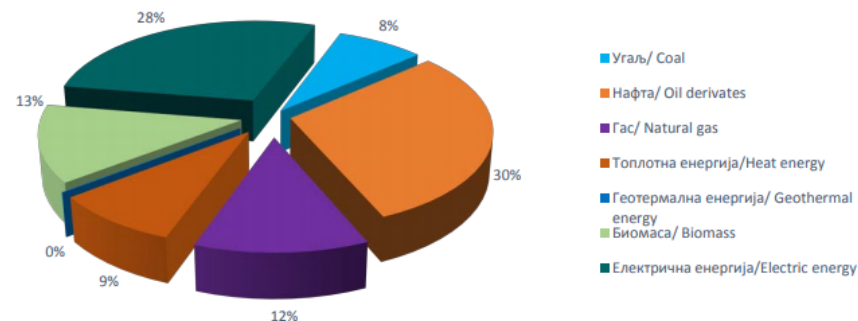
Потрошња енергије - СРБИЈА



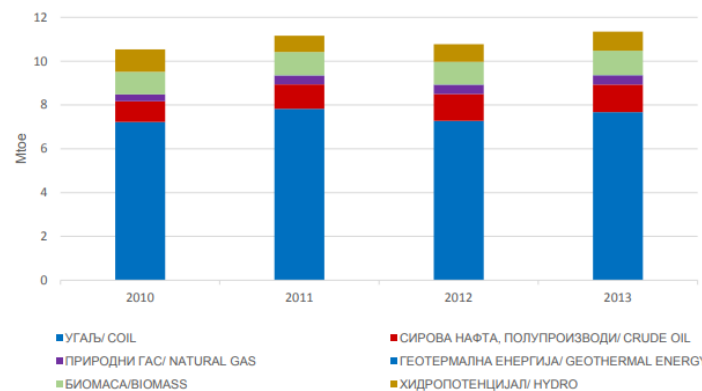
Слика 2.3.3 Расподела потрошње финалне енергије у енергетске сврхе по секторима потрошње
Figure 2.3.3 The distribution of final energy consumption for energy purposes per sectors of consumption



Слика 2.3.4 Учешће појединих енергената у укупној финалној потрошњи енергије у енергетске сврхе у 2013. години
Figure 2.3.4 Share of certain sources of energy in the total final consumption of energy for energy purposes in 2013



Слика 2.3.5 Производња примарне енергије у Републици Србији у периоду од 2010. до 2013. године
Figure 2.3.5 The production of the primary energy in the Republic of Serbia in the period from 2010 to 2013



Извор: ЕНЕРГИЈА у Србији / Република Србија. Министарство рударства и енергетике, Одсек за стратешко планирање у енергетици, Београд, 2015

Појам горива



ПОД ГОРИВОМ СЕ, ПО ДЕФИНИЦИЈИ, СМАТРАЈУ СВЕ МАТЕРИЈЕ КОЈЕ ПРИ САГОРЕВАЊУ (ОКСИДАЦИЈИ ОДНОСНО РЕАКЦИЈИ СА КИСЕОНИКОМ) ПОРЕД МАТЕРИЈАЛНИХ ПРОДУКАТА САГОРЕВАЊА (ГАСОВИТИХ, ЧВРСТИХ, ТЕЧНИХ) , ОСЛОБАЂАЈУ ОДРЕЂЕНУ КОЛИЧИНУ ТОПЛОТЕ.

Једна материја може да се користи као индустријско гориво под условом да испуњава следеће захтеве:

- да процесом сагоревања производи знатну количину топлоте у кратком временском размаку;
- да се у природи налази у довољним количинама;
- да је експлоатација релативно лака и економична;
- да је производни поступак технички остварљив и рентабилан;
- да у себи не садржи неприхватљиво велику количину негоривих материја - баласта;
- да битно не мења свој састав и особине при складиштењу, транспорту и руковању;
- да је безбедна с обзиром на појаву пожара и експлозије у условима складиштења, транспорта и руковања;
- да је цена произведене количине топлоте економична и прихватљива; и
- да су настали продукти сагоревања безопасни по жива бића и примењене материје.

Врсте горива



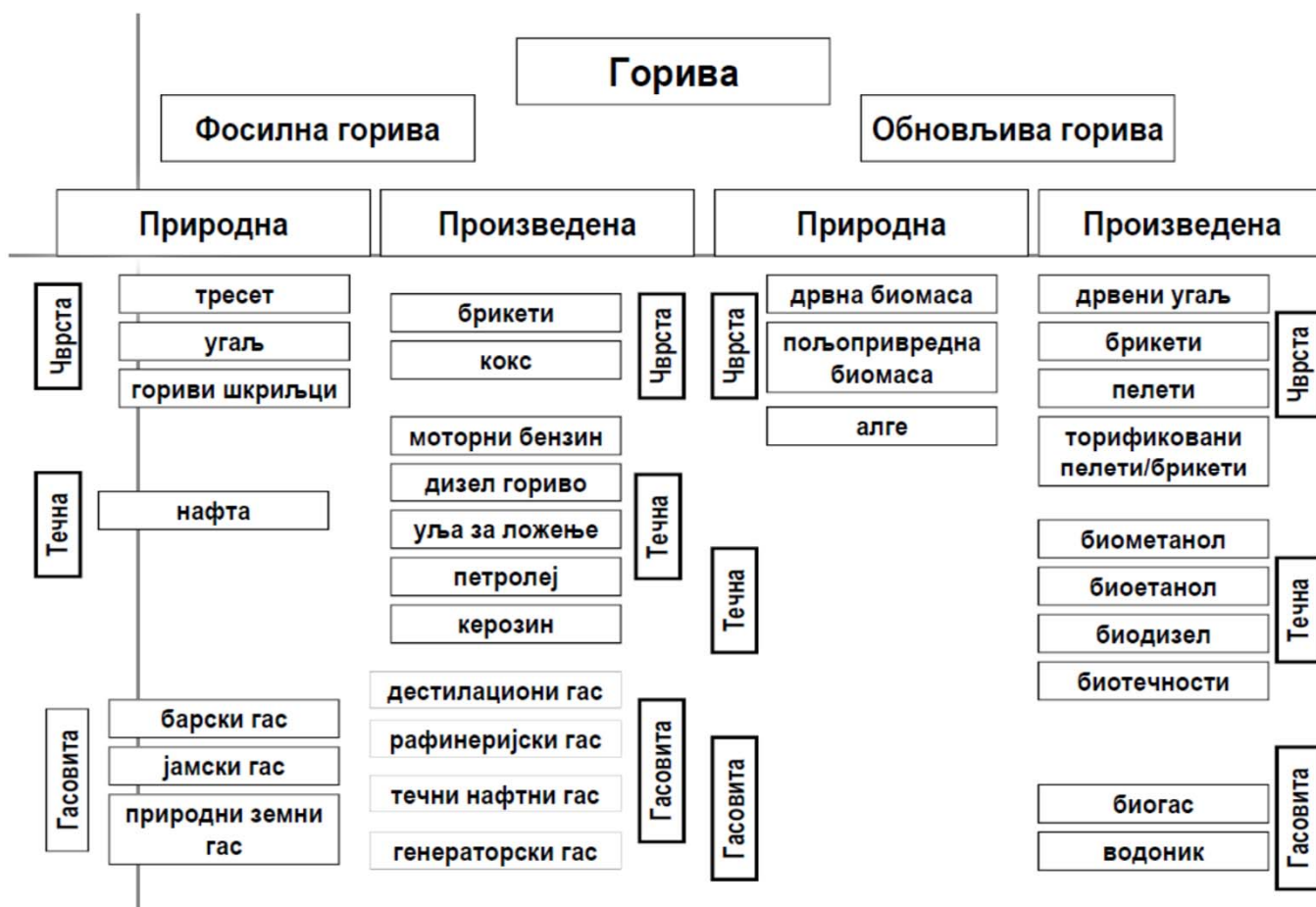
➤ општа подела горива

Према агрегатном стању	Према степену прераде	
	ПРИРОДНА ГОРИВА	ПРЕРАЂЕНА ГОРИВА
Чврсто	Дрво, биомаса, тресет, угаљ, гориви шкриљци, уљани песак	Дрвени угаљ, брикети, полукокс, кокс и др.
Течно	Нафта	Бензин, петролеум, дизел, мазут, алкохоли, биогорива, тер и др.
Гасовито	Природни земни гас	Рафинеријски, дестилациони, генераторски, биогаз и др.

Поред опште поделе, горива се могу разврстати:

- према постојаности на топлоту (топлопостојана и топлонепостојана);
- према карактеру коришћења (енергетска и технолошка горива);
- према запаљивости (самозапаљива и несамозапаљива);
- према примени.

Врсте горива



Извор: -

Гасовито гориво



- Гасовито гориво је у истом агрегатном стању као и кисеоник који се користи за оксидацију.
- Гасовита горива су једноставнија за паљење, руковање и управљање од течних или чврстих горива.
- Молекуларно мешање гасовитих горива и кисеоника је веома брзо,
- Процес сагоревања гасовитих горива ограничен је само брзином мешања и хемијском кинетиком процеса сагоревања
- При атмосферском притиску може се постићи врло кратко време реакције (око 1 ms).

Гасовито гориво



Гасовита горива се по пореклу могу класификовати као

- гасови који се у свом коначном облику налазе у природи – природна горива (нпр. природни гас, метан из угљеног слоја)
- гасови произведени директно из различитих извора – произведена горива (нпр. водоник, биоплин, депонијски гас, синтетички гас)
- гасови као нуспроизвод неког процеса, при чему главни циљ процеса није стварање предметног гасовитог горива (нпр. Коксни гас, гас из високих пећи, хемијски процеси)

Гасовито гориво



Најзначајнија гасовита горива која су у примени:

➤ Природни гас – ЦНГ (метан – CH_4)

Table 2.1 Typical compositions of natural gas [1].

Name	Formula	Amount (vol.%)
Methane	CH_4	70–90
Ethane	C_2H_6	0–20
Propane	C_3H_8	
Butane	C_4H_{10}	
Carbon dioxide	CO_2	0–8
Oxygen	O_2	0–0.2
Nitrogen	N_2	0–5
Hydrogen sulfide	H_2S	0–5
Rare gases	Ar, He, Ne, Xe	trace

Table 2.2 Variations in composition of natural gas in Europe, vol. % [2–9].

Country	Field	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	CO_2	N_2	H_2S
Denmark	Adda-1	71.63	6.29	5.78	—	0.3	—
	H-1x	88.75	4.25	1.41	0.55	0.9	—
Germany	Hannich-Nazza	15.10	0.50	—	0.9	83.2	—
	Fahner Hoehe 7	17.60	0.70	0.1	17.9	62.0	—
	Staakow	56.60	2.10	0.80	27.5	7.60	4.8
	Cappeln Z1	95.87	1.33	0.30	0.33	2.33	—
The Netherlands	K17-02B	61.92	6.9	3.15	1.06	20.60	2.8
	P01-01A	61.70	2.44	0.19	33.10	2.51	—
	Harlingen	95.79	3.50	—	—	3.61	—
Poland	Sulecin 21	1.80	0.24	0.18	97.6	0.04	—
	Rozansko-1	54.70	1.67	0.89	0.74	31.3	9.5
	Rokietnica-1	85.40	1.01	0.02	0.05	13.4	—
United Kingdom	Eskdale-2	98.80	0.90	0.30	—	—	—
	Gordon	82.00	—	—	—	16.0	—
Hungary	Kardoskut	77.01	2.00	0.94	15.77	3.00	—
	Beregdaróc (import)	97.91	0.81	0.28	0.05	0.81	—

Гасовито гориво



Гасовита горива се по пореклу могу класификовати као

➤ Пропан бутан – ТНГ (мешавина пропана и бутана - $C_3H_8 + C_4H_{10}$)

Table 2.3 Density, molar mass and volume, gas constant of technical gases.

Name	Chemical Formula	Density $kg\ m^{-3}$	Molar Mass $kg\ kmol^{-1}$	Molar Volume $m^3\ kmol^{-1}$	Gas Constant $J\ kg^{-1}\ K^{-1}$
Acetylene	C_2H_2	1.171	26.038	22.24	319.3
Argon	Ar	1.784	39.948	22.39	208.1
Benzene	C_6H_6	3.478	78.115	22.46	106.4
Isobutane	C_4H_{10}	2.668	58.12	21.78	143.1
n-Butane	C_4H_{10}	2.703	58.12	21.50	143.1
Ethane	C_2H_6	1.356	30.07	22.17	276.5
Ethylene	C_2H_4	1.261	28.054	22.25	296.4
n-Heptane	C_7H_{16}	4.459	100.21	22.47	83.0
n-Hexane	C_6H_{14}	3.840	86.178	22.44	96.5
Hydrogen	H_2	0.090	2.016	22.43	4124.7
Sulfur dioxide	SO_2	2.928	64.06	21.88	129.8
Hydrogen sulfide	H_2S	1.539	34.08	22.14	244.0
Air	-	1.293	28.96	22.40	287.1
Methane	CH_4	0.718	16.043	22.38	518.3
Nitrogen	N_2	1.206	28.013	22.40	296.8
Oxygen	O_2	1.429	31.999	22.39	295.8
n-Pentane	C_5H_{12}	3.457	72.151	20.87	115.2
Propane	C_3H_8	2.019	44.097	21.84	178.6
Propylene	C_3H_6	1.915	42.081	21.97	197.6
Carbon dioxide	CO_2	1.977	44.01	22.26	188.9
Carbon monoxide	CO	1.25	28.01	22.41	296.8
Steam	H_2O	0.804	18.015	23.46	461.5

Извор: M. Lackner, Á. B. Palotás, F. Winter, Combustion - From Basics to Applications, 2013, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany



Гасовито гориво



Основне карактеристике

- Густина
- Специфични топлотни капацитет
- Моларна маса
- Гасна константа
- Топлотна проводљивост
- Вискозност
- Топлотна моћ
- Температура паљења
- Концентрационе границе паљења
- Ламинарна брзина пламена
- „Wobbe“ индекс
- Метански број

Карактеристике



ГУСТИНА

Густина гасне мешавине може се израчунати на основу густине сваке од компонената у мешавини:

$$\rho_{\text{mixt}} = \sum_{i=1}^n \varphi_i \rho_i \text{ kg m}^{-3}$$

Густина гаса се може прарачунати на другу вредност притиска и температуре у зависности од радних услова:

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{p_2}{p_1} \text{ kg m}^{-3}$$

Карактеристике



СПЕЦИФИЧНИ ТОПЛОТНИ КАПАЦИТЕТ

Специфични топлотни капацитет гасне мешавине може се израчунати на основу c_p сваке од компонената у мешавини:

$$c_{p \text{ mixt}} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot c_{pi} \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Или како се у пракси за гасовито гориво чешће израчунава:

$$c_{p \text{ mixt}} = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot c_{pi} \text{ kJ m}^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Карактеристике



МОЛАРНА МАСА

$$M_{\text{mixt}} = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot M_i \text{ g mol}^{-1}$$

ГАСНА КОНСТАНТА:

$$R_{\text{mixt}} = \frac{R}{M_{\text{mixt}}} \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \qquad R_{\text{mixt}} = \sum_{i=1}^n w_i \times R_i \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Извор: -

Карактеристике



ТОПЛОТНА ПРОВОДЉИВОСТ

$$\lambda_{\text{mixt}} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \varphi_i \cdot \sqrt[3]{M_i}}{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot \sqrt[3]{M_i}} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

ВИСКОЗНОСТ:
Динамичка вискозност

$$\tau = \eta \frac{dw}{dy} \text{ Pa}$$

$$\eta_{\text{mixt}} = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_i \cdot \varphi_i \cdot \sqrt[3]{M_i}}{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot \sqrt[3]{M_i}} \text{ Pa s}$$

Кинематска вискозност:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$\eta = \eta_0 \frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{T}} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \text{ Pa s}$$

Карактеристике



ТОПЛОТНА МОЋ

Топлотна моћ горива представља количину топлоте по јединици (маса, запремине, количине) при потпуном сагоревању разматраног горива.

ГОРЊА ТОПЛОТНА МОЋ (HHV)
$$\text{HHV}_{\text{mixt}} = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot \text{HHV}_i \text{ kJ m}^{-3}$$

ДОЊА ТОПЛОТНА МОЋ (LHV)
$$\text{LHV}_{\text{mixt}} = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot \text{LHV}_i \text{ kJ m}^{-3}$$

Table 2.5 Heating values of pure gases.

Gas type	Higher heating value, HHV			Lower heating value, LHV		
	MJ kg ⁻¹	MJ kmol ⁻¹	MJ m ⁻³	MJ kg ⁻¹	MJ kmol ⁻¹	MJ m ⁻³
Hydrogen	142.380	287.024	12.796	120.470	242.856	10.827
Carbon monoxide	10.144	284.156	12.609	10.144	284.156	12.609
Methane	55.646	892.723	39.887	50.152	804.592	35.949
Ethane	52.034	1.564.652	70.558	47.652	1.432.887	64.616
Propane	50.510	2.227.355	101.980	46.513	2.051.097	93.910
n-Butane	49.090	2.853.126	132.691	45.347	2.635.555	122.572
n-Pentane	45.741	3.300.277	158.128	42.245	3.047.994	146.040
n-Hexane	48.829	4.207.957	187.502	45.240	3.898.647	173.720
n-Heptane	48.023	4.812.344	214.133	44.548	4.464.110	198.638
Ethylene	50.146	1.414.370	63.549	47.260	1.325.837	59.571
Benzene	42.474	3.317.833	147.708	40.772	3.184.863	141.788

Извор: M. Lackner, Á. B. Palotás, F. Winter, Combustion - From Basics to Applications, 2013, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany

Карактеристике



ТЕМПЕРАТУРА ПАЉЕЊА

За време сагоревања реакцију покреће или спољни извор паљења или је последица самопаљења.

КОНЦЕНТРАЦИОНЕ ГРАНИЦЕ ПАЉЕЊА:

Границе паљења (при датом притиску) односе се на вредности концентрације горива у смеси, изван којих опсег паљења неће бити могућ. Другим речима, ако је концентрација горива изнад горње границе или испод доње границе, смеша се не може запалити

$$Z_{c \text{ mixt}} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{c i}}{\sum_{i=1}^n \frac{\varphi_{c i}}{Z_i}}$$

Карактеристике



ЛАМИНАРНА БРЗИНА ФРОНТА ПЛАМЕНА

Брзина нормална у односу на смер кретања којим се фрон пламена креће кроз већ припремљену гориву смешу.

Table 2.6 Ignition limits of combustible gases (in 20 °C air) and their laminar flame velocities.

Name	Formula	Ignition Limit (%)			Maximum laminar flame velocity (m s ⁻¹)
		lower	max.	upper	
Methane	CH ₄	5.0	9.96	15.0	0.35
Ethane	C ₂ H ₆	3.0	6.28	12.5	0.40
Propane	C ₃ H ₈	2.2	4.54	9.5	0.39
Butane	C ₄ H ₁₀	1.9	3.52	8.5	0.38
Pentane	C ₅ H ₁₂	1.4	2.92	7.8	0.39
Hexane	C ₆ H ₁₄	1.2	2.52	7.4	0.39
Heptane	C ₇ H ₁₆	1.1	2.26	6.7	0.39
Acetylene	C ₂ H ₂	2.5	9.50	80.0	1.50
Ethylene	C ₂ H ₄	3.1	7.40	32.0	0.68
Carbon monoxide	CO	12.5	53.0	74.0	0.43
Hydrogen	H ₂	4.0	42.0	75.0	2.80
Benzene	C ₆ H ₆	1.3	—	44.0	—
Generator gas		16.0	—	64.0	—
Coke oven gas		5.0	—	33.0	—
City gas		5.0	—	38.0	—
Blast furnace gas		35.0	—	75.0	—
Natural gas		4.5	—	13.5	—

Карактеристике



„WOBBE“ индекс

$$W_o = \frac{HHV}{\sqrt{v}}$$

$$W_{oL} = \frac{LHV}{\sqrt{v}}$$

Table 2.7 Wobbe indices of various practical fuels.

Fuel gas	Upper Wobbe index (MJ m ⁻³)	Lower Wobbe index (MJ m ⁻³)
Hydrogen	48.23	40.65
Carbon monoxide	12.80	12.80
Methane	53.28	47.91
Ethane	68.19	62.47
Ethylene	63.82	60.01
Acetylene	61.32	59.16
Propane	81.07	74.54
Propylene	77.04	71.88
Butylene-1	88.46	82.54
Natural gas	53.71	48.52
LPG	86.84	79.94

Карактеристике



МЕТАНСКИ БРОЈ

- Аналогија са октанским бројем односно склоност ка детонативном сагоревању гасовитог горива.
- Метански број је дефинисан као проценат запремине метана помешаног са водоником који тачно одговара понашању удара непознате гасне смеше под одређеним радним условима у мотору за испитивање удара.

Table 2.8 Methane number of various gaseous fuels.

Fuel Gas	Methane Number
Biogas	140
Landfill gas	140
Natural Gas	85
Synthesis gas	60
Propane	35
Water gas	30



Извор: -



Течно гориво



- Течна горива обично није лако сагоревати, третирати и контролисати као гасовита горива.
- Течно гориво се може мешати са кисеоником само након распршивања, па је процес сагоревања управо ограничен брзином распришивања горива.
- Брзина сагоревања течних горива је мања него гасовитих горива.
- Примарни део процеса сагоревања већине течних горива је њихово распршивање.
- Вискозност, је важна к-ка јер успорава правилно распршивање или развој капљица, што је пресудан корак у процесу стварања гасова.
- Својства која утичу на складиштење и руковање су такође битна јер, за разлику од гасовитих горива, течна горива се морају превозити цистернама и морају се складиштити код потрошача.

Течно гориво



Основне карактеристике

- Хемијске и физичке карактеристике
- Садржај сумпора
- Садржај пепела
- Садржај воде
- Угљенични остатак
- Густина и специфична тежина
- Вискозност
- Температура течења
- Температура мржњења (стињавања)
- Тачка паљења

Карактеристике



Хемијске и физичке карактеристике

Table 2.9 Typical values for important liquid fuels.

		Gasoline	Diesel	Kerosene	Gas oil EL	Residual oil S = 2.3%
Higher Heating value, HHV	MJ kg ⁻¹	46.9	45.6	45.9	45.7	43.3
Lower Heating value, LHV	MJ kg ⁻¹	44.1	42.9	43.7	42.8	40.9
Density at 15°C	Kg dm ⁻³	0.74	0.84	0.81	0.84	0.94
Viscosity at 20°C	mm ² s ⁻¹	0.7	2.5	1.8	5.0	—
Composition						
Carbon, C	wt%	85.6	85.2	85.3	86.3	85.2
Hydrogen, H	wt%	14.3	14.7	14.1	13.4	11.1
Sulfur, S	wt%	0.05	0.05	0.2	0.3	2.3

Садржај сумпора

- Количина сумпора у течном гориву углавном зависи од извора сирове нафте и, у мањој мери, од процеса рафинирања.
- Нормални садржај сумпора за нпр. уље за ложење је реда од 2–4%.
- Сумпор у горивима је непожељан због корозивности сумпорне киселине, која се формира током и након сагоревања,
- Иако се корозија на ниским температурама може умањити одржавањем димног гаса на температурама изнад тачке росе димних гасова, то ограничава укупну топлотну ефикасност опреме за сагоревање.
- Емисија SO_2 у димним гасовима може такође реаговати са влагом у атмосфери стварајући киселу кишу.

Садржај пепела

- Садржај пепела односи се на неоргански материјал или соли у течном гориву.
- Ниво пепела у прерађеним течним горивима је занемарљив. Преостала горива имају виши ниво пепела.
- Ове соли могу бити једињења натријума, ванадијума, калцијума, магнезијума, силицијума, гвожђа, алуминијума, никла и више.
- Обично се вредност пепела креће у распону 0,03-0,07%.
- Прекомерни пепео у течним горивима може проузроковати формирање баласта у опреми за сагоревање.



Садржај воде

- Вода може бити присутна у слободном или емулгованом облику у гориву и може изазвати оштећења на унутрашњим површинама пећи за време сагоревања.
- Такође може проузроковати нестабилност пламена на врху горионика, могуће гашење пламена, смањење температуре пламена или продужење пламена.

Угљенични остатак

- Угљенични остатак у течном гориву се може одредити испитивањем у којем се узорак течног горива дестилише у одсуству ваздуха.
- При употреби комерцијалних горива у одговарајућим горионцима, овај остатак утиче значајно на формирање наслага чађи, али и индиректно када се насlage формирају услед испаравања у горионику.
- Уље за ложење садржи угљенични остатак од 1% или више.

Густина и специфична тежина

- Густина се дефинише као однос масе горива и запремине горива при референтној температури од 15 °C.
- Специфична тежина је тежина неке материје у поређењу са воденом на 4 °C и изражена је без јединица. Другим речима, специфична тежина је густина горива у односу на густину воде на 4 °C.
- Ово би могло да објасни зашто се ово својство назива и релативна густина.
- Специфична тежина воде је дефинисана као 1.



Вискозност

- Отпор течењу течности назива се вискозност течности.
- Течности, које веома споро теку, попут глицерина или меда, имају високу вискозност. Они попут етра или бензина, који теку врло лако, имају ниске вискозности.
- Вискозност зависи од температуре и опада са порастом температуре; нумеричка вредност вискозности мора се увек навести заједно са одговарајућом температуром.
- Вискозност је најважнија карактеристика за складиштење и употребу уља за ложење.

Вискозност

- Гориво високе вискозности може узроковати екстремне притиске у системима за убризгавање и узроковати лоше распршивање и испаравање у распршивачу горива.
- Стога је претходно загревање потребно за правилно распршивање горива.
- Вискозност дизел горива мора бити довољно ниска да слободно тече при најнижој радној температури, а опет довољно висока да подмазује покретне делове фино обрађених брызгалки. Вискозност такође одређује величину капљица горива које заузврат, управљају атомизацијским и пенетрацијским својствима система за убризгавање горива.
- Вискозност се може одредити у лабораторијама инструмента званим вискозиметар.



Тачка течења

- Тачка течења горива одређује најнижу температуру на којој гориво може да се пумпа кроз систем за гориво.
- Тачка течења је $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ изнад нивоа на коме уље за ложење постаје чврсто или престаје да тече.

Тачка мржњења

- Тачка мржњења је температура при којој се кристали у гориву (на парафинској бази) почињу таложити, што резултира зачепљењем филтера за гориво.
- Ово стање постоји када су ниске температуре и разлог зашто постоји потреба за загрејачем горива који је термостатски контролисан и потребан на возилима која раде у хладним временским условима.
- Ако не користите загрејач за гориво, спречићете доток горива кроз филтер и мотор неће радити.
- Тачка мржњења се обично јавља на 4–7 °C изнад тачке течења.

Температура (тачка) паљења

Table 2.10 Flash point and autoignition temperature of various liquid fuels.

Fuel	Flash Point (°C)	Autoignition Temperature (°C)
Gasoline	−45	>280
Diesel	>55	220
Kerosene (paraffin)	38	210
Ethanol (70%)	12	425
Vegetable oil (canola)	>282	N.A
Biodiesel	>120	>200

Чврсто гориво



- Чврста горива теже сагоревају, компликованија су за руковање и контролу од течних или гасовитих горива.
- Након почетне фазе сушења испарљиве материје се ослобађају из матрице горива и сагоревају у гасној фази. Преостало гориво, познато под називом угаљ, пролази кроз хетерогени процес сагоревања, односно угаљ се оксидује кисеоником.
- Брзине сагоревања су обично ниске и неопходно је обично велика запремина сагоревања.
- Употреба отпадних или нуспроизвода и гасификованих чврстих горива постаје све раширенија због поскупљења горива.
- Већина индустријских процеса сагоревања захтева прецизну контролу температуре и сталну температуру.

Чврсто гориво



Порекло чврстих горива

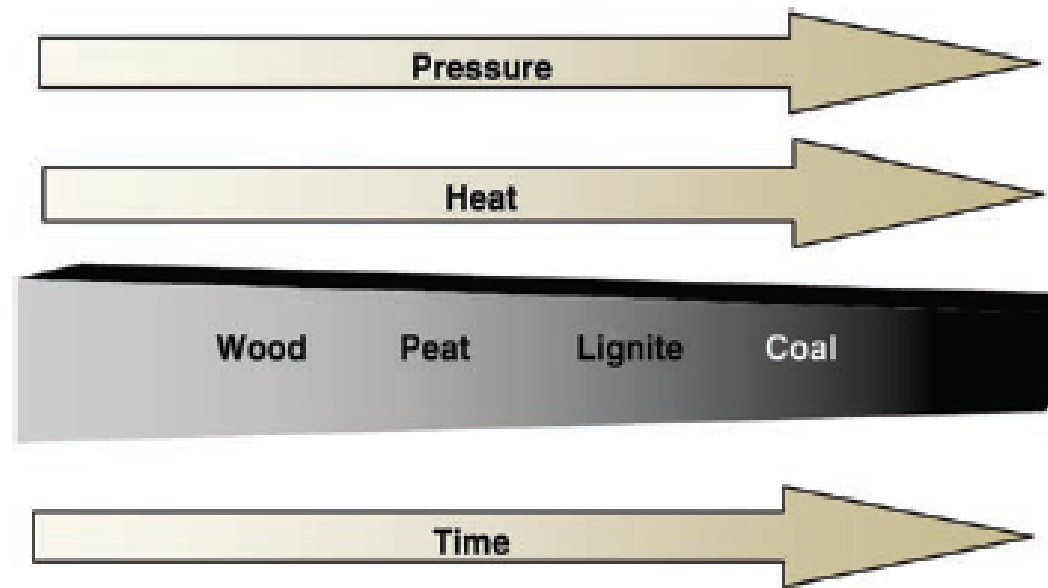


Figure 2.1 Schematic example of the coalification process.

Чврсто гориво



Подела чврстих горива

- Угаљ
- Биомаса
- Комунални отпад
- ...

Карактеризација чврстих горива

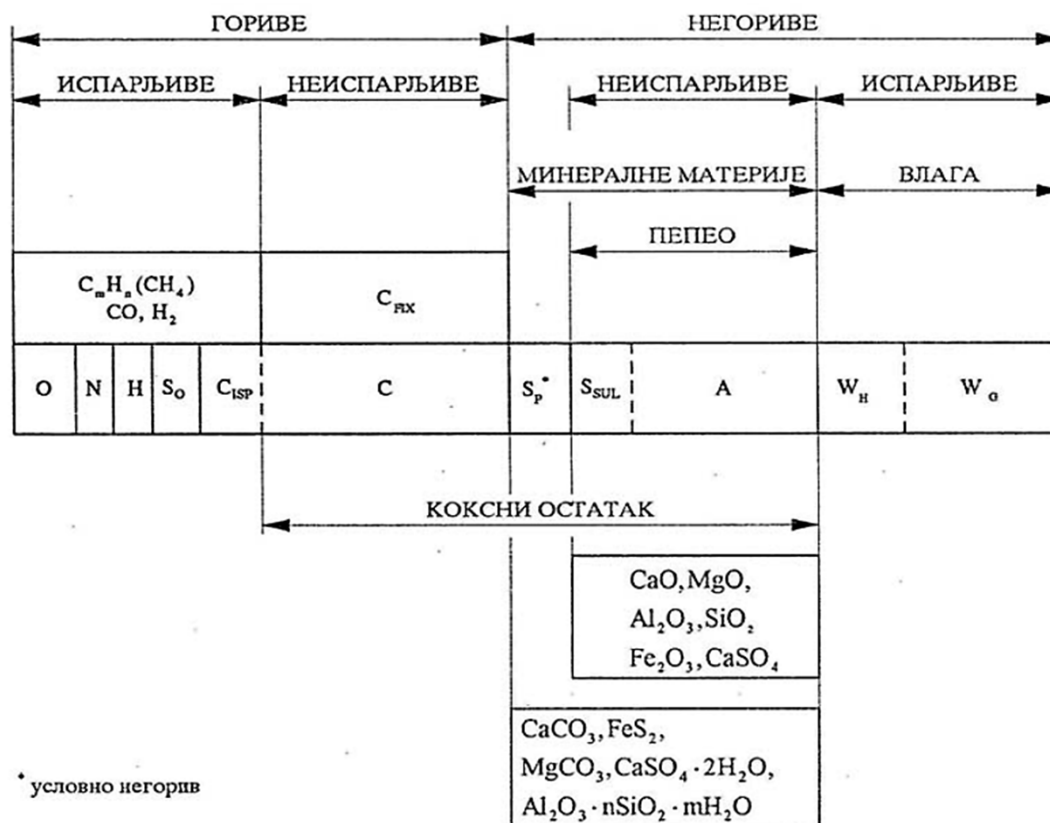
Table 2.12 Typical higher heating values (HHV) of various solid fuels [13,15].

	Higher Heating value, HHV (MJ kg ⁻¹)
Anthracite and bituminous coals (dry, ash free)	33–35
Lignite and sub-bituminous coals (dry, ash free)	24–32
Straw (dry), wheat, rice, sunflower	15–18
Grasses (dry), alfalfa, maize, switchgrass	17–18
Wood (dry) beech, fir, maple, larch, oak	17–20
Paper (dry, ash free)	12–16
Scrap tires (dry, ash free)	40
PE (polyethylene) (dry, ash free)	44–45
PET (polyethylene-terephthalate) (dry, ash free)	23
PP (polypropylene) (dry, ash free)	39
PVC (polyvinyl-chloride) (dry, ash free)	18
PS (polystyrene) (dry, ash free)	42
PA (polyamid) (dry, ash free)	33
Sewage sludge (dry, ash free)	18–25

Чврсто гориво



Техничка анализа чврстих горива



Извор: M. Lackner, Á. B. Palotás, F. Winter, Combustion - From Basics to Applications, 2013, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany

Елементарна анализа чврстих горива

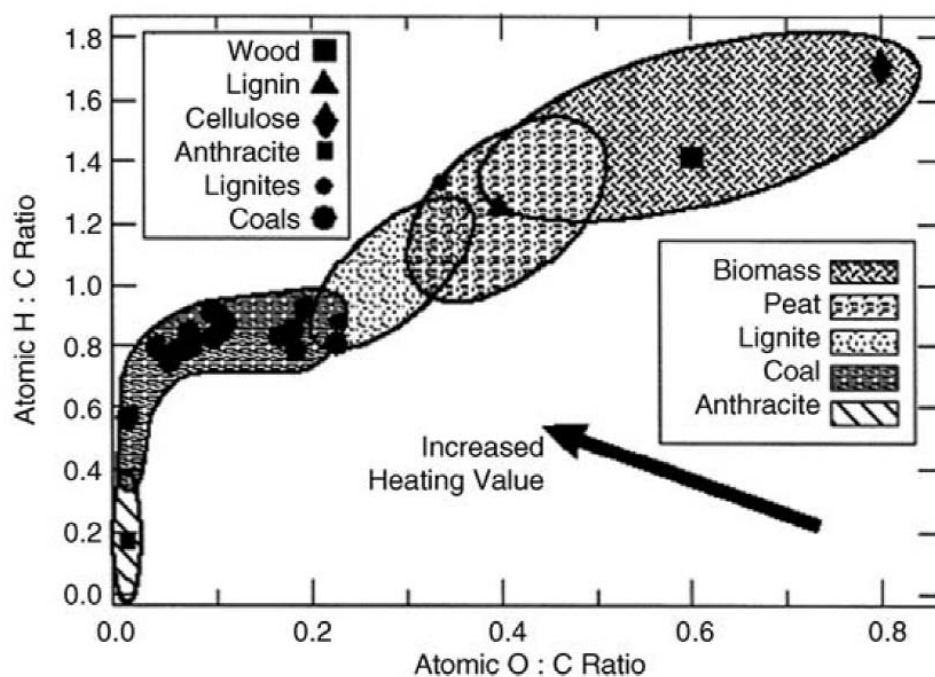


Figure 2.3 Coalification diagram showing compositional differences among biomasses [17].

Чврсто гориво



Техничка анализа чврстих горива

Table 2.13 Ultimate and proximate analysis (n.a. not analyzed) of various fuels.

	Proximate Analysis			Ultimate Analysis (water ash free)						
	Raw Density (kg m ⁻³)	Volatile Matter (wt%)	Moisture (wt%)	Ash Content (wt%)	Fixed Carbon (C-fix) (wt%)	Carbon (wt%)	Hydrogen (wt%)	Nitrogen (wt%)	Sulfur (wt%)	Oxygen (wt%)
coke	n.a.	10.6	2.2	0.8	86.4	87.42	2.93	1.55	5.67	2.43
bituminous coal I	1300	33	3	10.2	53.8	84.55	4.97	0.67	0.90	8.91
bituminous coal II	1520	30	6	2.4	61.6	86.8	4.27	1.48	0.50	6.95
sub bituminous coal I	1250	32.2	25.3	12.3	30.2	68.10	2.84	0.64	1.52	26.88
sub bituminous coal II	1100	24.5	52.7	4.89	17.91	65.46	4.51	0.47	0.24	29.33
peat	n.a.	59.9	12.36	2.59	25.15	58.69	4.70	1.60	n.a.	n.a.
beech wood	667	81.7	5.6	0.3	12.7	49.76	5.94	0.11	0.02	44.17
beech wood after devolatilization	n.a.	0	0	2.3	97.7	87.30	1.63	0.24	0.00	10.83
wood chips I	500	76	9.5	0.4	14.3	49.91	5.42	0.18	0.02	44.47
wood chips II	n.a.	82.54	1.65	0.46	15.35	49.33	6.01	0.22	0.00	44.43
wooden hardboard	880	77.1	6.2	0.4	16.6	51.03	5.88	0.16	0.02	42.91
wooden pressboard	730	73.3	8	0.9	18.7	49.69	5.68	2.89	0.05	41.68
straw pellets	n.a.	65.4	8.1	6.8	19.7	49.04	5.65	0.43	0.06	44.80
polyethylene	900	100	0	0	0	85.15	14.38	0.07	0.05	0.40
polypropylene	890	100	0	0	0	85.31	14.28	0.06	0.05	0.35
plastic/paper compound	n.a.	90.8	0	0.1	9.1	51.57	8.54	0.07	0.05	39.77
tire (waste)	1120	60.37	0	3.51	36.12	89.67	7.31	0.30	1.52	1.21
waste from malt industry	n.a.	n.a.	11.12	6	n.a.	47.98	6.64	4.99	0.38	40.01
sewage sludge	1140	60.6	7	26.7	32.4	56.11	7.50	6.30	0.80	29.28
sewage sludge after devolatilization	n.a.	0	0	45.2	54.8	38.44	1.30	3.65	0.57	56.04

Извор: M. Lackner, Á. B. Palotás, F. Winter, Combustion - From Basics to Applications, 2013, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany

Чврсто гориво



Физичка својства чврстих горива

- Значајно за складиштење, транспорт, примену...
- Димензије, облик, хомогеност,...
- Густина, насипна густина,...
- Механичка чврстоћа, садржај финог остатка,...