



Горива и индустријска вода

предавања, школска 2022/23

др Владимир Јовановић, ван.проф.



Природна чврста горива

■ Обновљива

- Алге
- Дрво
- Пољопривредни остаци

■ Необновљива

- Тресет
- Угаљ
- Гориви шкриљци



Угаљ од најмлађег до најстаријег





Подела (класификација) угљева



- Постоје више начина поделе угљева.
- **Међународна (International Codification System)** је усвојена 1956. године од стране Комитета за угаљ Европске економске комисије Организације уједињених нација (UN/ECE).
- **ISO** је 2005. године усвојио стандард **11760** под називом **Classification of coals** (Класификација угљева) који је на снази и у Србији.



UN/ECE класификација угљева

- Основу класификације чине три критеријума:
 - садржај горивих испарљивих материја којим се угљеви деле на класе,
 - карактеристике спицања (подела на групе), и
 - карактеристике способности коксовања (подела на подгрупе).



ISO класификација угљева

- Основу класификације чине три критеријума:
 - средњи степен рефлексије хуминита/витринита ($r R$, %);
 - садржај витринита у угљу (запремински удео, основа без минералних материја);
 - садржај пепела у угљу (масени удео, основа без влаге).



✓...

Подела угљева (према ISO класификацији)

Категорија (rank):

- ниска (лигнити и мрки угљеви),
- средња (камени угљеви),
- висока (антрацити).

Подкатегорије:

- А, В и С за ниску категорију,
- А, В, С и D за средњу категорију,
- А, В и С за високу категорију,



Тресет

- **Прва фаза трансформације биљне праматерије**
- Растресита маса сиве до црне боје (са степеном трансформације расте и квалитет)
- Јавља се у мочварним пределима и у зависности од места настајања може бити:
 - Површински
 - Дубински



Тресет

■ Врсте:

- **Влакнасти** – још увек се састоји од нераспаднутих остатака биљног растиња
- **Земљасти** – највећи део се трансформисао у тресетну масу
- **Смоласти** – хомогена тресетна маса



✓...

Гориви шкриљци

- Велики садржај пепела (скоро 50 % (m/m) у радној маси)
- Мала доња топлотна моћ (6 – 10 MJ/kg)
- Велике термоелектране само у Естонији.
- Данас САД производе нафту из њих.
- Код нас их има у околини Алексинца.





Лигнити

- Доња топлотна моћ радне масе мања од 12.500 kJ/kg (код домаћих је и испод 10.000 kJ/kg).
- Садржај влаге у радној маси је 40 – 60 % (m/m).
- Садржај пепела у радној маси је 7 – 18 % (m/m).
- У чистој горивој маси је:
 - угљеника 60 – 65 % (m/m),
 - водоника 4 – 6 % (m/m),
 - волатила 35 – 60 % (m/m).



Мрки угљеви

- Доња топлотна моћ радне масе се креће у опсегу од 12.500 до 23.870 kJ/kg.
- Садржај влаге у радној маси је 18 – 38 % (m/m).
- Садржај пепела у радној маси је 4 – 14 % (m/m).
- У чистој горивој маси је:
 - угљеника 70 – 76 % (m/m),
 - волатила 42 – 53 % (m/m).



Камени угљеви

- Доња топлотна моћ радне масе се креће у опсегу од 23.000 до 36.000 kJ/kg.
- Садржај влаге у радној маси је 8 – 18 % (m/m).
- Садржај пепела у радној маси је 7 – 13 % (m/m).
- У чистој горивој маси је:
 - угљеника 76 – 90 % (m/m),
 - волатила 14 – 45 % (m/m).



Антрацит

- Доња топлотна моћ радне масе је преко 32.000 kJ/kg.
- Садржај влаге у радној маси је 7 – 9 % (m/m).
- Садржај пепела у радној маси је 8 – 20 % (m/m).
- У чистој горивој маси је:
 - угљеника 97 – 98 % (m/m),
 - волатила 2 – 9 % (m/m).



Поступци припреме угља

- 1. Одстрањивање грубих механичких примеса – флотација**
- 2. Уситњавање**
- 3. Просејавање и раздвајање по величини**
- 4. Делимично ослобађање од влаге**

Прва два (грубо дробљење код уситњавања) се обично изводе по вађењу угља, а остали зависно од намене.



Одстрањивање грубих механичких примеса

- Процес који омогућава **побољшање особина угља**, јер се смањује садржај минералних примеса.
- Поступак се заснива на разлици густина угља: $1200-1600 \text{ kg/m}^3$ и минералних примеса: $1800-5200 \text{ kg/m}^3$.



Одстрањивање грубих механичких примеса

- Мокра сепарација угља – угаљ се потапа у воду обогаћену песком или другим тешким материјама, тако да добијена суспензија има густину већу од густине угља. Угаљ се издваја и плива по површини, а минералне примесе се таложе на дну.



Уситњавање

- Уситњавање угља је процес смањивања величине комада угља и може бити:
 - **Припремно**, уколико се врши са циљем припреме угља за одстрањивање минералних примеса;
 - **Коначно**, ако су комади после уситњавања спремни за употребу.



Уситњавање

■ Уситњавање се може вршити:

- ударом,
- притиском,
- гњечењем,
- цепањем.



Уситњавање

- У експлоатацији се разликују следећи поступци:
 - **Дробљење** великих комада од великих комада величине до 1500 mm добијају се крупно, средње или ситно дробљени комади, врши се у дробилицама које могу бити: чељустне, ваљкасте и ударне.
 - **Млевење** уситњених комада до праха, врши се у млиновима који могу бити: спороходи, средњеходи и брзоходи (чекићари и вентилаторски).



✓...

Просејавање и раздвајање по величини

- Просејавање и раздвајање по величини врши се са циљем издвајања комада одређене величине
- У зависности од конструктивног решења и начина рада уређаја, просејавање се врши помоћу следећих уређаја:
 - Решетке
 - Решета
 - Сита



Просејавање и раздвајање по величини



- Према начину рада просејавање може бити:
 - **статичко** (површина просејавања се поставља косо у односу на хоризонт, под углом већим од угла природног клизања материјала) и
 - **динамичко** (клатећи и вибрациони уређаји).



Делимично ослобађање од влаге



- Природно сушење
- Дренање – природно одстрањивање воде из угља под утицајем сопствене тежине
- Центрифугирање
- Филтрација

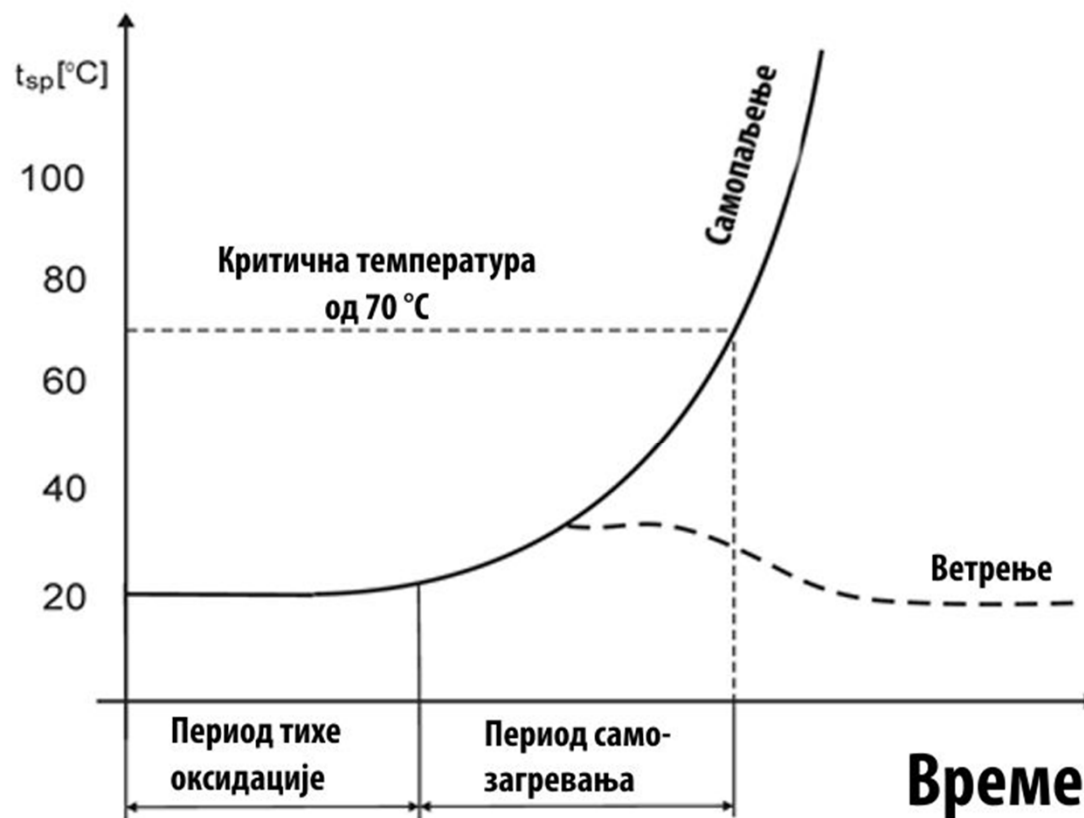


Понашање угља на складишту

- На нижим температурама долази до његовог уситњавања – услед појаве леда, његовог ширења, долази до прскања и уситњавања.
- На повишеним температурама долази до испаравања влаге и дела горивих испарљивих материја, као и до оксидације.
- Посебно је важна склоност угља ка самопаљењу
 - Мрки угљеви 150-160 °C
 - Антрацит > 220 °C



Понашање угља на складишту





Произведена чврста горива

- Примарни процеси прераде – механички брикетирање.
- Секундарни процеси прераде – термохемијски:
 - дубоко сушење и
 - сува дестилација.



Брикетирање

- **Омогућава се примена угљене прашине, која се иначе не би могла користити.**
- **Равномернија је „ватра“ у ложишту, јер су брикети исте величине, лакши је транспорт и руковање, побољшана је топлотна моћ, као и карактеристике горивости.**
- **Добијени брикети су постојани на складишту, јер мање мењају своје особине и отпорнији су према самопаљењу.**



Брикетирање





Дубоко сушење

- Одстрањује се највећи део влаге из горива, а током процеса мења се и структура угља, тако да се од нпр. лигнита добија квалитетно гориво, слично мрком угљу.
- Један од најпознатијих поступака је Fleissner-ов поступак. Он се обавља у аутоклавима запремине 20-40 m³ у којима се третира врелом водом и воденом паром. Радни притисак у аутоклаву износи 2,0 до 30,0 МПа.
- Вакумирањем се из аутоклава одстрањују сви флуиди, тако да остаје сушени угаљ.



Сува дестилација

- примарна или нискотемпературска сува дестилација (450 до 550 °C) – швеловање (полукоксовање),
- сува дестилација, на средњим температурама (600-800 °C), и
- високотемпературска сува дестилација (900 до 1000 °C, а ређе од 1300-1350 °C) – коксовање.



Производи суве дестилације

- гасовити (дестилациони гасови),
- течни (тер и терна вода) и
- чврсти (кокс или полукокс).

Утицајни фактори:

- врста горива,
- температура процеса,
- брзина загревања честица горива,
- величина честица горива и
- притисак



✓...

Најважнија својства – техничка анализа

- Влага
- Пепео
- Гориве испарљиве материје (волатили)
- Коксни остатак
- Топлотна моћ
- Понашање пепела на повишеним температурама
- Дужина и боја пламена
- Изглед и структура коксног остатка



Садржај минералних материја – пепела ✓

- Садржај и врста минералних материја утичу на карактеристике мељивости угљева и хабање опреме за припрему угља.
- Садржај пепела утиче на прљање површина за размену топлоте и стварање наслага на њима.

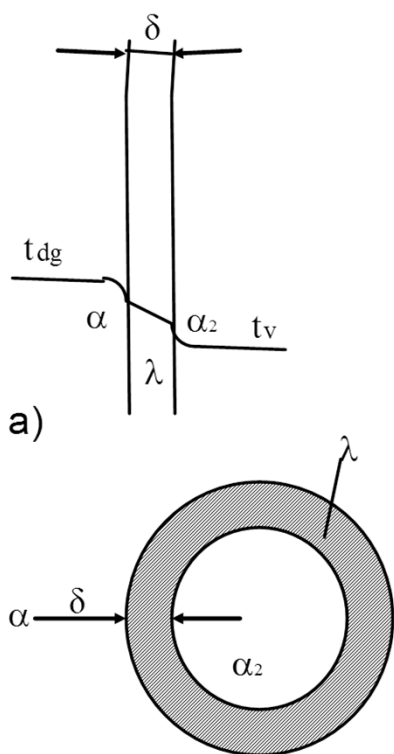


Понашање пепела на повишеним температурама ✓

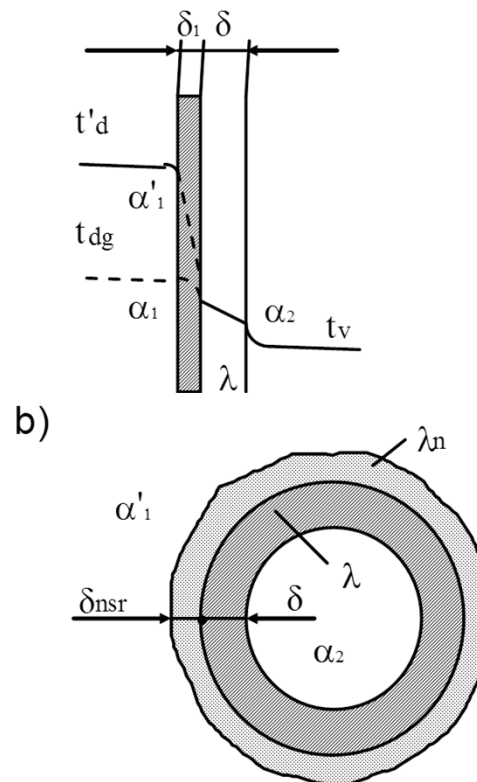
- Пепео се топи и лепи на грејне површине котла.
- Пролаз топлоте је смањен.



Шта се дешава када се накупе наслага пепела? ✓



Цев без наслага пепела



Цев са наслагама пепела

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

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

k – коефицијент пролаза топлоте
 α – коефицијент прелаза топлоте
 δ/λ – отпор провођењу топлоте



Критеријуми за оцену понашања пепела на повишеним температурама

- Температура топљења
- Индекс топљивости
- Метода промене геометрије узорка пепела на повишеним температурама.



Температура топљења

- Лако топљив $t_{\text{top}} < 1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Средње топљив $1200 < t_{\text{top}} < 1350 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Тешко топљив $1350 < t_{\text{top}} < 1500 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Нетопљив $t_{\text{top}} > 1500 \text{ }^{\circ}\text{C}$



Индекс топлъивости

$$F = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{FeO + Fe_2O_3 + CaO + MgO + \dots} = \frac{\text{ТЕШКО ТОПЪИВИ}}{\text{ЛАКО ТОПЪИВИ}}$$

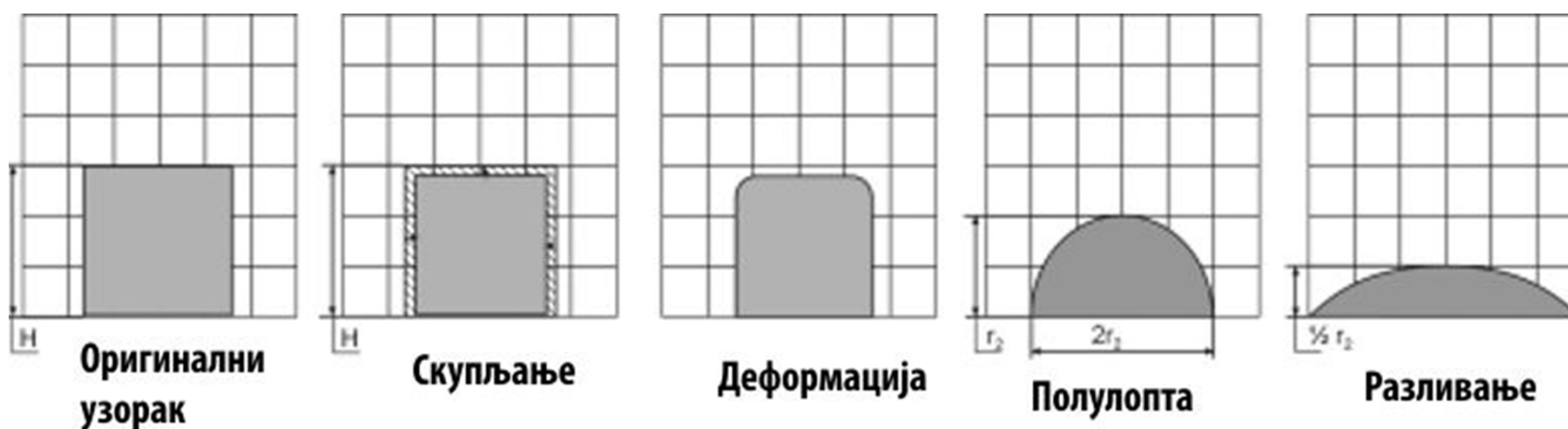
- Лако топлъив $F=0,2 \div 1,5$
- Средње топлъив $F=1,5 \div 2,5$
- Тешко топлъив $F=2,5$



Промена геометрије узорка пепела



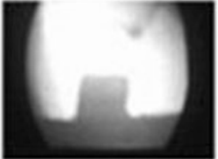
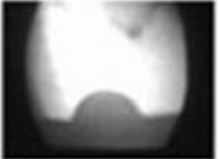
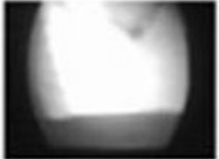
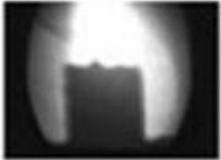
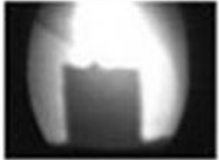
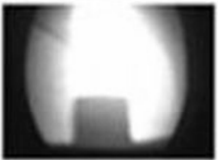
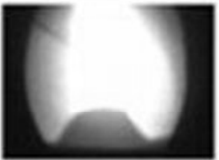
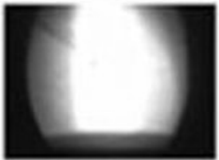
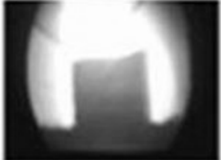
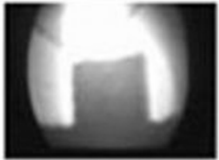
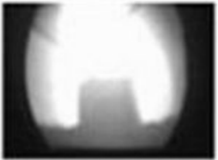
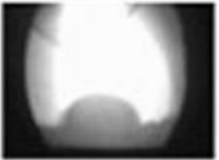
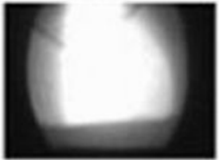
✓...

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





Промена геометрије узорка пепела - стварна

T /°C	Sample	IDT	ST	HT	FT
400	 20	 1111	 1220	 1238	 1249
600	 20	 1134	 1221	 1228	 1241
815	 20	 1154	 1202	 1224	 1241
Difference	0	+43	-19	-14	-8



Гориве испарљиве материје

- Садржај волатила утиче на процес сагоревања.
- **Састав:**
 - према елементарној анализи: C_{isp} , H, O, N
 - стварни састав: CH_4 , CO, CO_2 (додатно H_2 , C_mH_n , S, тер)
- **Количина и састав волатила зависе од:**
 - врсте угља,
 - брзине загревања
 - највеће температуре при загревању и
 - времена излагања максималној температури.



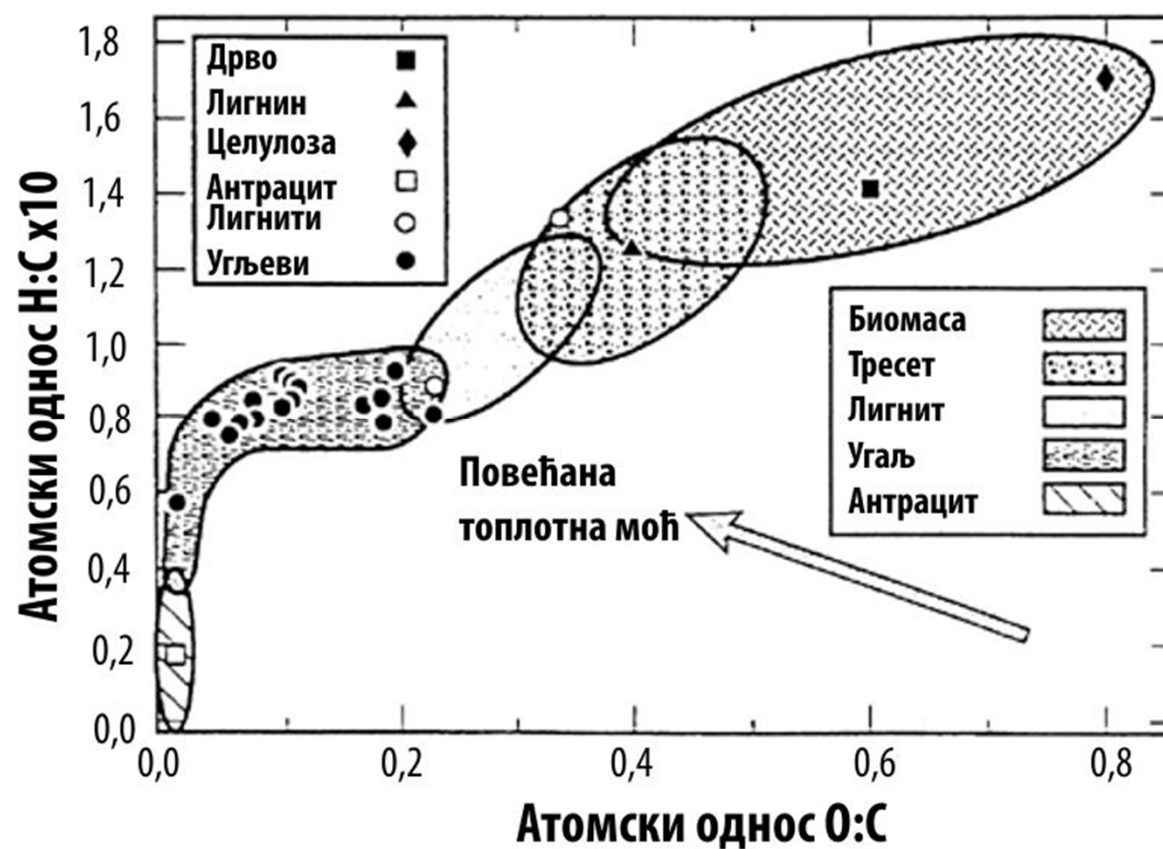
Утицај старости угља на количину и састав волатила ✓

■ Старији угљеви:

- мањи садржај волатила.
- у волатилима опада садржај CO и CO_2 , а повећава се садржај C_mH_n



Van Krevelen-ов дијаграм





Утицај количине волатила на процес сагоревања

- Већи садржај волатила - већа количина топлоте која се добија њиховим сагоревањем.
- **Већи садржај - гориво се лакше пали и даје дугачак светао пламен → високо реакциона горива.**
- **Мали садржај - гориво се пали знатно теже, спорије сагорева и има кратак пламен → ниско реакциона горива.**



Гориве испарљиве материје

- Количина волатила у зависности од врсте чврстог горива (масено у односу на чисту гориву масу):

– Дрво	85 %
– Лигнит	50 - 60 %
– Мрки угљеви	35 - 50 %
– Антрацит	4 - 7 %



Садржај коксног остатка

- Коксни остатак чине фиксни угљеник и минералне примесе (пепео).
- Утиче на структуру слоја ватре у ложишту и брзину и квалитет процеса сагоревања.



Садржај коксног остатка

- Према структури коксни остатак може бити:
 - Прашинаст
 - Стопљен
 - Спечен
 - Надувен
- У зависности од структуре коксног остатка одређује се погодност коришћења одређене врсте угља за производњу кокса.



Утицај података техничке анализе

- Свака од карактеристика (податак техничке анализе) има много шире значење и утиче на целокупан систем у коме се гориво користи (пример: термоелектране)

- Складиштење угља
- Транспортни уређаји
- Млинови
- Горионици
- Ложиште
- Прегрејач паре и загрејач воде
- Загрејач ваздуха
- Вентилатор димних гасова
- Филтер
- Димњак

пепео

сумпор



Утицај података техничке анализе

	Складниште угља	Транспортни уређаји	Млин	Горлоник	Ложште	Прегрејач паре	Загрејач воде	Загрејач ваздуха	Дувачи чађи	Вентилатор за димне гасове	Вентилатор за ваздух	Електрофилтер	Димњак	Депонија пепела
Топлотна моћ														
Гориве испарљиве материје														
Влага														
Пепео														
Састав пепела														
Топљивост испела														
Сортиман сировог угља														
Тврдоћа														
Сумпор														