

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY

AGH

Inżynieria Chemiczna

Transport masy i ciepła

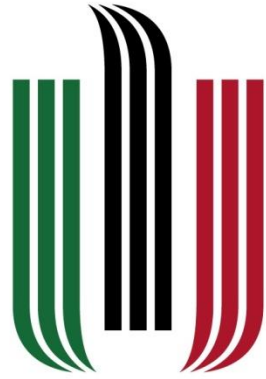
dr hab. inż. Agnieszka Gubernat, prof. AGH

gubernat@agh.edu.pl

p.1.14; budynek B8

PLAN WYKŁADÓW

1. Wprowadzenie, podstawowe zasady , podstawowe zasady technologii chemicznej, schemat procesowy
2. Termodynamika procesów, energia, ciepło
3. Źródła energii, spalanie i właściwości paliw, niekonwencjonalne źródła energii
4. Temperatura, zerowa i trzecia zasada termodynamiki, entropia, termodynamiczna definicja temperatury,
5. Termometria, pomiary temperatury
6. Suszenie i suszarnie
7. Przepływ ciepła, mechanizmy wymiany ciepła, stałe materiałowe
8. Płyny, statyka, dynamika, równanie ciągłości strugi, prawo Bernoulliego
9. Opory przepływu, filtracja, opadanie cząstek w płynach, sedimentacja,
10. Pomiary prędkości i natężenia przepływu,
11. Homogenizacja zawiesin, ocena jednorodności,
12. Segregacja hydrauliczna, odpylanie i oczyszczanie gazów.
13. Reologia, modele reologiczne, zawiesiny i pasty,
14. Rozdrabnianie ciał stałych, klasyfikacja ziarnowa, metodyka pomiaru rozkładu i wielkości ziaren,



AGH

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

**AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY**

Pierwsza zasada termodynamiki, praca techniczna

ROZWÓJ POJĘCIA O CIEPLE

1. Arystoteles (384-322 p.n.e.) stwierdził, że świat składa się z czterech składników: **ogień, woda, powietrze i ziemia**,
2. W XVIII wieku można było spotkać określenie ciepła jako coś materialnego: "ogień jest to ciecz nader subtelna, wysoce elastyczna, która przenika wszystkie ciała o różnym od niej powinowactwie i zawarta jest w nich różnorako i w różnej ilości, która przeciwdziała siłom wzajemnego przyciągania"
(NEWTON)
3. Teoria Arystotelesa została ostatecznie podważona przez stwierdzenie, że powietrze nie jest jednolitym elementem i składa się m.in. z „gazu Sylvestre” CO_2 (HELMOUT),
4. I połowa XVIII wieku, przynosi wynalazek termometru i skal termometrycznych,
5. Wynalazek ten stworzył argument podważający teorię Arystotelesa, gdyż stwierdzono, że oprócz ciepła widocznego poprzez zmiany wskazań termometru istnieje jeszcze ciepło występujące przy topnieniu lodu i wrzeniu wody,

ROZWÓJ POJĘCIA O CIEPLE c.d.

6. Odkrycie „palnego powietrza” czyli wodoru i „mefistyczno-flogistycznego powietrza” czyli azotu oraz stwierdzenie, że przy wybuchu palnego powietrza z „odflogistowanym” czyli tlenem powstaje woda (CAVENDISH),
7. LAVOISIER stwierdził, że „ciała pala się w czystym powietrzu, które się zużywa, a ciężar powstałego ciała jest równy zmniejszeniu się ciężaru powietrza i spalonego ciała.”
8. JOULE, MAYER, HELMHOLTZ I HIRN jednocześnie stwierdzili, że praca i ciepło są równoważne,

RÓWNOWAŻNOŚĆ CIEPŁA I PRACY

Termodynamika - zajmuje się zjawiskami i prawami zamiany ciepła na energię mechaniczną,

Zjawiska te w bardzo szerokim ujęciu wykorzystywane są w technice i uzupełniane o dziedziny pokrewne (wymiana ciepła, spalanie) i tworzą dział **TERMODYNAMIKI TECHNICZNEJ**.

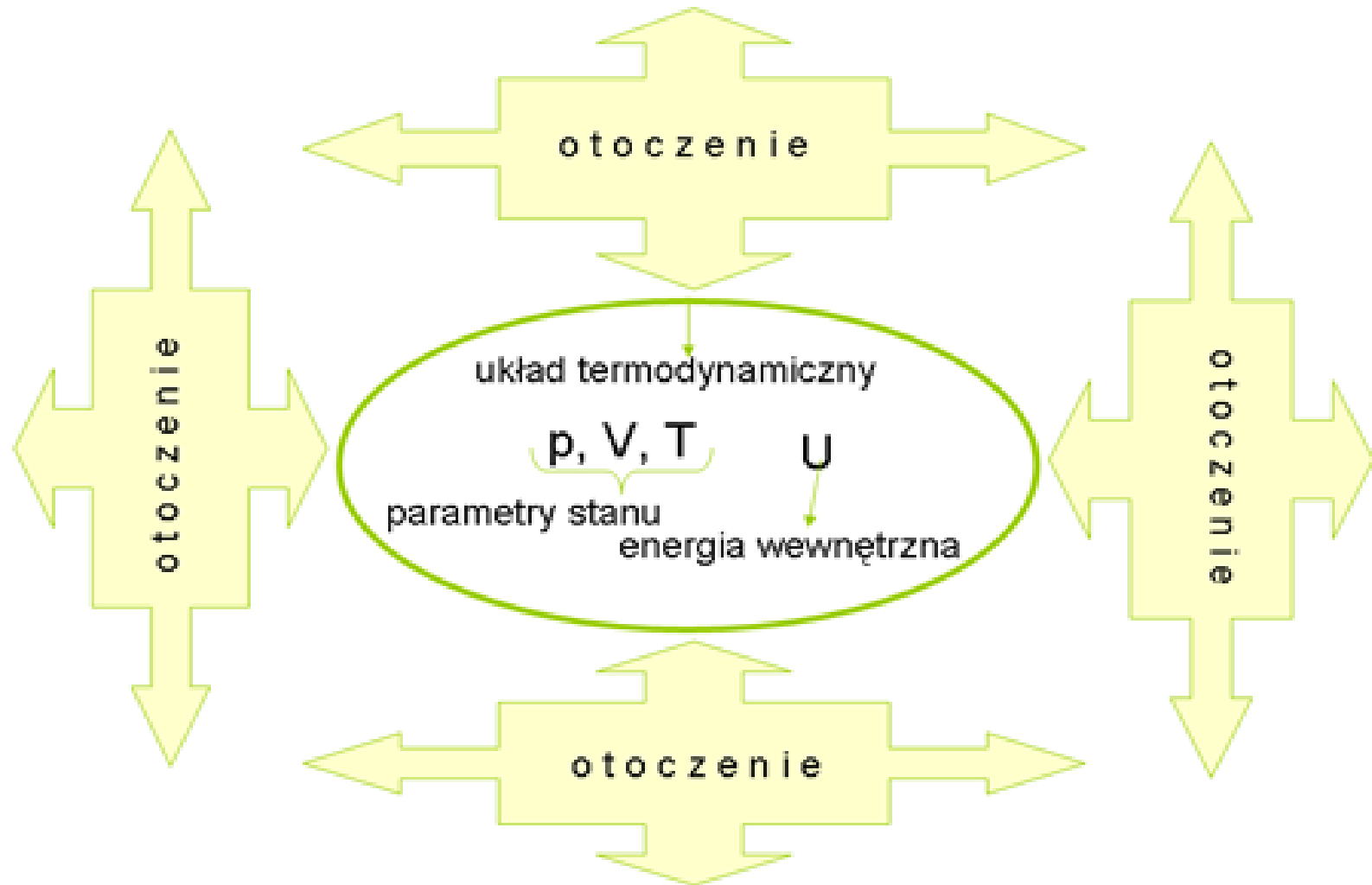
PRAWO ZACHOWANIA ENERGII

Wartość sumy energii układu izolowanego (odosobnionego) bez względu na jej formę (energia kinetyczna, energia potencjalna i inna), mimo, że na zewnątrz mogą zachodzić różne zjawiska, nie ulega zmianie.

Jeżeli zatem do układu doprowadzimy L pracy to zostanie ona zużyta na wytworzenie ciepła.

$$Q = L \text{ lub } L = Q$$

Stwierdzenie to jest słuszne dla układu *izolowanego*.

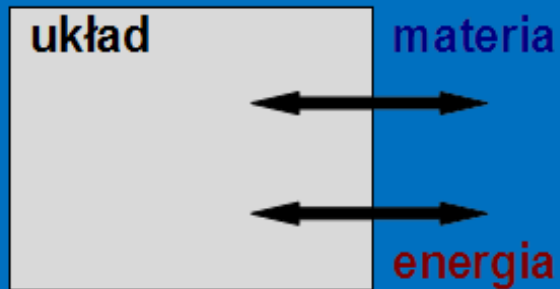


UKŁADY TERMODYNOMICZNE



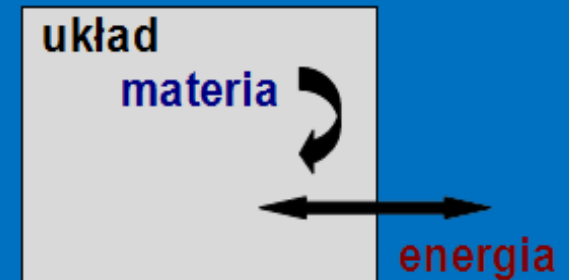
Otwarty

otoczenie



Zamknięty

otoczenie



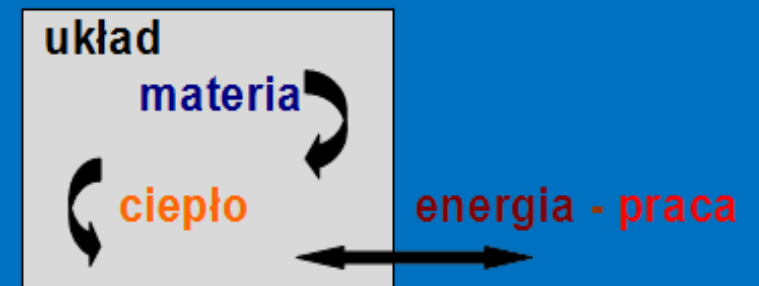
Izolowany

otoczenie



Izolowany adiabatycznie

otoczenie



<http://cmf.p.lodz.pl>

STAN TERMODYNAMICZNY

Parametry stanu - zbiór jednoczesnych wartości zdolnych do zmiany wielkości fizycznych.

Stan termodynamiczny zmienia się, gdy zmieni się wartość jednego z parametrów stanu układu.

PARAMETRY EKSTENSYWNE (GLOBALNE) - określone dla całego ciała (zależą od ilości substancji). Są nimi:

objętość V ;

energia wewnętrzna U ,

entalpia H ;

entropia S ;

Istnieją wielkości ekstensywne nie będące parametrami stanu:

praca L ; ciepło Q ; masa m ; liczna moli n .

(funkcje stanu, funkcje termodynamiczne)

ZALEŻĄ OD WIELKOŚCI UKŁADU

STAN TERMODYNAMICZNY

PARAMETRY INTENSYWNE (LOKALNE) - mogą być jednakowe dla całego ciała lub jego części i są to (nie zależą od ilości substancji):

temperatura T

ciśnienie p .

Parametry te można przypisać poszczególnym punktom w przestrzeni.

(zależności funkcyjne to równania stanu)

NIE ZALEŻĄ OD WIELKOŚCI UKŁADU

Stan substancji nie można scharakteryzować za pomocą parametrów ekstensywnych ale za pomocą utworzonych z nich parametrów właściwych - intensywnych np. objętości właściwej, gęstości, ciepła właściwego.

Parametry ekstensywne jak i intensywne mogą nie zmieniać się w czasie, zarówno przy braku działań otoczenia jak i przy ich istnieniu.

Pierwszy z przypadków to stan **RÓWNOWAGI**. W stanie równowagi znoszą się działania o charakterze sił, ciśnień i nie występują przepływy substancji, ciepła, prądu elektrycznego.

W stanie **USTALONYM** nie znoszą się działania zarówno o charakterze sił jak i przepływów, są niezmiennie w czasie.

Stan równowagi oraz stan ustalony występują tylko wówczas gdy na układ działa ustalone pole sił zewnętrznych (niezmienne w czasie).

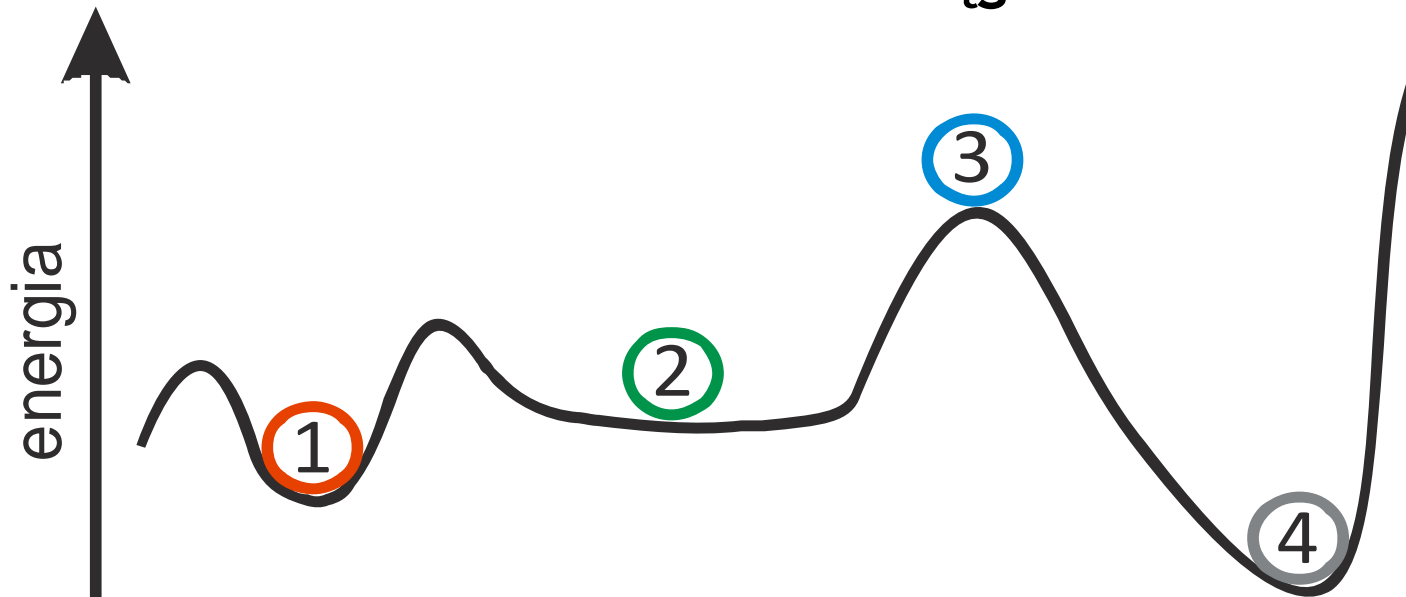
W stanie ustalonym w układzie przepływowym równoważy się ilość dopływającej i odpływającej masy czy energii.

**Obowiązuje:
ZASADA ZACHOWANIA MASY I ZASADA ZACHOWANIA ENERGII**

Z punktu widzenia termodynamiki układ będący w stanie równowagi nie może wykonywać pracy w stosunku do otoczenia, a układ będący w stanie ustalonym może wykonywać pracę, mogą w nim występować zjawiska rozpraszania pracy i związana z tym produkcja entropii.

Układ odosobniony (izolowany)

Cechuje brak oddziaływań z otoczeniem.
Układ ten samorzutnie osiąga stan równowagi.



1 - równowaga metastabilna,
3 - równowaga chwiejna,

2 - równowaga obojętna,
4 - równowaga trwała,

Obserwując ciało o znanej nam masie m , temperaturze T , objętości V i ciśnieniu p stwierdzimy, że zmieniając jeden z parametrów p , V lub T inicjujemy zmiany pozostałych.

PARAMETRY NIEZALEŻNE - ich znajomość wystarcza do wyznaczenia pozostałych parametrów stanu,

RÓWNANIE STANU (RÓWNANIE CHARAKTERYSTYCZNE) CIAŁA

$$f(p, V, T) = 0$$

Parametry stanu nie należące do niezależnych to
FUNKCJE STANU.

ZEROWA ZASADA TERMODYNAMIKI

Dwa ciała tworzą układ izolowany (przegroda adiabatyczna), oddzielone są od siebie przeszkodą diatermiczną, doskonale przenikliwą dla działań termicznych.

Wówczas wartości parametrów stanu będą zmieniać się samorzutnie aż do osiągnięcia stanu równowagi termicznej.

$$f(p_1, V_1, p_2, V_2) = 0$$

Te dwa ciała mają wspólny parametr - temperaturę empiryczną - który decyduje o równowadze termicznej.

Jeżeli te dwa ciała będą się stykać przez przeszkodę diatermiczną z trzecim ciałem to i w tym przypadku wszystkie trzy ciała będą mieć wspólny parametr, temperaturę, decydujący o równowadze termicznej.

ZEROWA ZASADA TERMODYNAMIKI

DWA CIAŁA ZNAJDUJĄCE SIĘ W RÓWNOWADZE TERMICZNEJ Z TRZECIM CIAŁEM SĄ TAKŻE W RÓWNOWADZE ZE SOBĄ.

(R. H. Fowler, 1931r.)

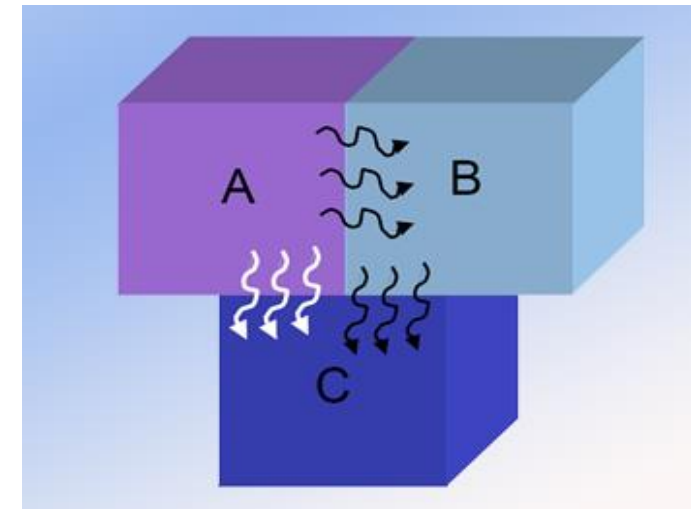
lub

JEŚLI SPOŚROD TRZECH UKŁADÓW A, B i C ZNAJDUJĄCYCH SIĘ W STANIE RÓWNOWAGI TERMODYNAMICZNEJ KAŻDY Z UKŁADÓW A i B JEST W RÓWNOWADZE TERMICZNEJ Z UKŁADEM C, TO UKŁADY A i B SĄ ZE SOBĄ W RÓWNOWADZE TERMICZNEJ (MAJĄ TĘ SAMĄ TEMPERATURĘ).

J. C. Maxwell

Warunkiem koniecznym i wystarczającym **równowagi termicznej** ciał jest **równość ich temperatur.**

Warunkiem **równowagi termodynamicznej** jest występowanie równowagi chemicznej, mechanicznej i termicznej.



ENERGIA WEWNĘTRZNA

Energią wewnętrzną nazywamy całkowitą energię związaną z chaotycznym ruchem cząsteczek ciała oraz z ich wzajemnymi oddziaływaniami. Energia wewnętrzna nie zależy od energii potencjalnej (**nie zależy tylko w przypadku gazu doskonałego !!!**) i energii stanów elektronowych.

W mikroskopowym opisie gazu doskonałego cząsteczki ze sobą nie oddziałują na odległość, nie ma żadnej energii potencjalnej związanej z ich wzajemnym oddziaływaniem, stąd cała wewnętrzna energia gazu sprowadza się do energii kinetycznej.

Opis makroskopowy (fenomenologiczny)	Opis mikroskopowy lub kinetyczno-molekularny
Określa zdolność układu do oddawania ciepła do otoczenia. Zależy od temperatury układu, masy i rodzaju substancji z jakiej składa się układ.	Jest sumą energii kinetycznej i potencjalnej oddziaływań międzycząsteczkowych. Na energię kinetyczną molekuł składa się: energia ruchu postępowego, obrotowego i ruchu drgającego atomów w cząsteczkach.

ENERGIA WEWNĘTRZNA

Energia wewnętrzna układu to suma energii cząsteczek ciała (kinetycznych i energii wzajemnych oddziaływań).

W jej skład wchodzi:

- energia kinetyczna ruchu postępowego i obrotowego cząsteczek,
- energia drgań i obrotów atomów wewnątrz cząsteczek,
- energia potencjalna wzajemnych oddziaływań atomów i cząsteczek,
- energia elektronowa (energia elektronów w atomie - kinetyczna, potencjalna, grawitacji i potencjalna elektryczna),
- energia chemiczna związana z możliwością przebudowy drobin,
- energia jądrowa,

PIERWSZA ZASADA TERMODYNAMIKI

Energię wewnętrzną układu można zmienić na dwa sposoby:



PRZEZ CIEPŁO

Jest to mikroskopowy sposób przekazu energii - jeśli dwa ciała o różnej temperaturze stykają się ze sobą, cząsteczki zderzają się ze sobą, następuje przekaz energii od ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej.

PRZEZ PRACĘ

Jest to makroskopowy sposób przekazu energii - Przykład to sprężanie gazu, siła zewnętrzna przesuująca tłok wykonuje pracę przez co wzrasta energia wewnętrzna gazu.

$$Q = \Delta U + L$$

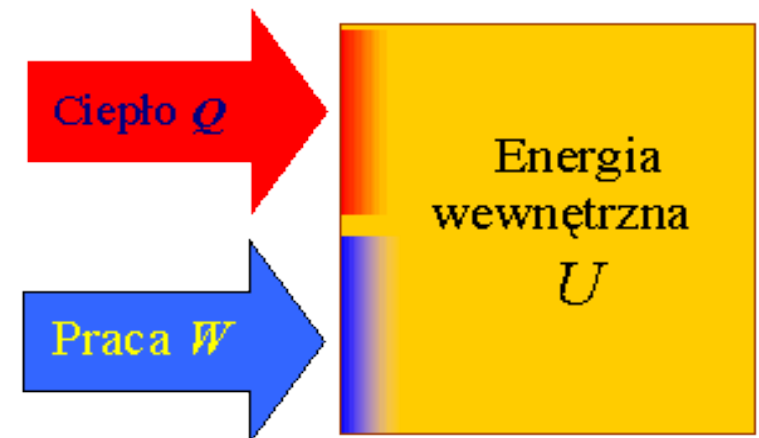
PIERWSZA ZASADA TERMODYNAMIKI

CIEPŁO DOPROWADZONE DO NIERUCHOMEGO UKŁADU ZAMKNIĘTEGO JEST ZUŻYWANE NA ZWIĘKSZENIE JEGO ENERGII WEWNĘTRZNEJ I WYKONANIE PRACY ZEWNĘTRZNEJ. JEST RZECZĄ NIEMOŻLIWĄ SKONSTRUOWANIE PERPETUM MOBILE PIERWSZEGO RODZAJU T.J. SILNIKA PRACUJĄCEGO BEZ ZASILANIA ENERGIĄ Z ZEWNĄTRZ.

Dokładniej można powiedzieć, że spadek energii wewnętrznej - funkcji stanu - w nieruchomym, zamkniętym układzie adiabatycznym jest równy pracy zewnętrznej.

W nieruchomym układzie zamkniętym, nieadiabatycznym przyrost energii wewnętrznej następuje w wyniku doprowadzania ciepła do układu i pracy z zewnątrz układu (+L).

$$\Delta U = Q + L$$



PRACA ZEWNĘTRZNA - termodynamika klasyczna

Przy *rozszerzaniu (rozprężaniu)* się czynnika praca zostaje wykonana na zewnątrz przez pokonanie ciśnienia działającego ze wszystkich stron, praca zostaje wykonana przez układ.

Układ zmniejsza swoją energię.

$$dL = -pdV \quad \Delta L = -p\Delta V$$

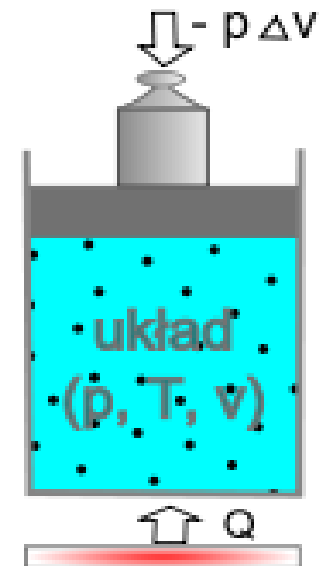
Przy *kurczeniu (sprężaniu)* czynnik pochłania pracę zewnętrzną, praca jest wykonana na układzie.

Układ powiększa swoją energię

$$dL = pdV \quad \Delta L = p\Delta V$$

Ciepło dostarczone do układu (sprężanie) - $Q > 0$

Ciepło oddane przez układ (rozprężanie) - $Q < 0$



PERPETUM MOBILE PIERWSZEGO RODZAJU (z łac. wiecznie ruchome)

Wg pierwszej zasady termodynamiki ciepło doprowadzone do układu może wywoływać podniesienie energii wewnętrznej i może zamienić się w pracę mechaniczną.

Wyobraźmy sobie silnik cieplny pracujący na zasadzie zamiany jednej formy energii w drugą, a więc energii cieplnej na mechaniczną, znajdujący się w równowadze wewnętrznej.

Zatem doprowadzając ciepło przy zachowaniu stanu równowagi układu otrzyma się, w najlepszym wypadku, tyle pracy ile doprowadzono ciepła, oczywiście gdy układ ma pozostać w równowadze, czyli gdy jego energia wewnętrzna się nie zmienia.



Bez doprowadzenia ciepła, pracy wykonać nie można.

PRACA TECHNICZNA

Ekstensywną funkcją stanu jest entalpia oznaczona przez H .
Jest ona zdefiniowana następującym równaniem:

$$H = U + pV$$

Entalpia jest sumą energii wewnętrznej układu i pracy zewnętrznej.

Jeżeli w równaniu, wyrażającym pierwszą zasadę termodynamiki dla układu zamkniętego, wstawimy w miejsce energii wewnętrznej entalpię, wówczas praca zewnętrzna zamieni się na pracę techniczną i dla przemian odwracalnych równanie to przyjmie postać:

$$Q_{1,2} = H_2 - H_1 + \int_{p_1}^{p_2} V dp \text{ lub } dQ = dH - V dp$$

czyli ciepło doprowadzone do czynnika powoduje przyrost entalpii oraz wykonanie pracy technicznej.

PRACA TECHNICZNA

Praca techniczna jest dodatnia przy rozprężaniu ($dp < 0$; spadek p)
i ujemna przy sprężaniu ($dp > 0$; wzrost p)

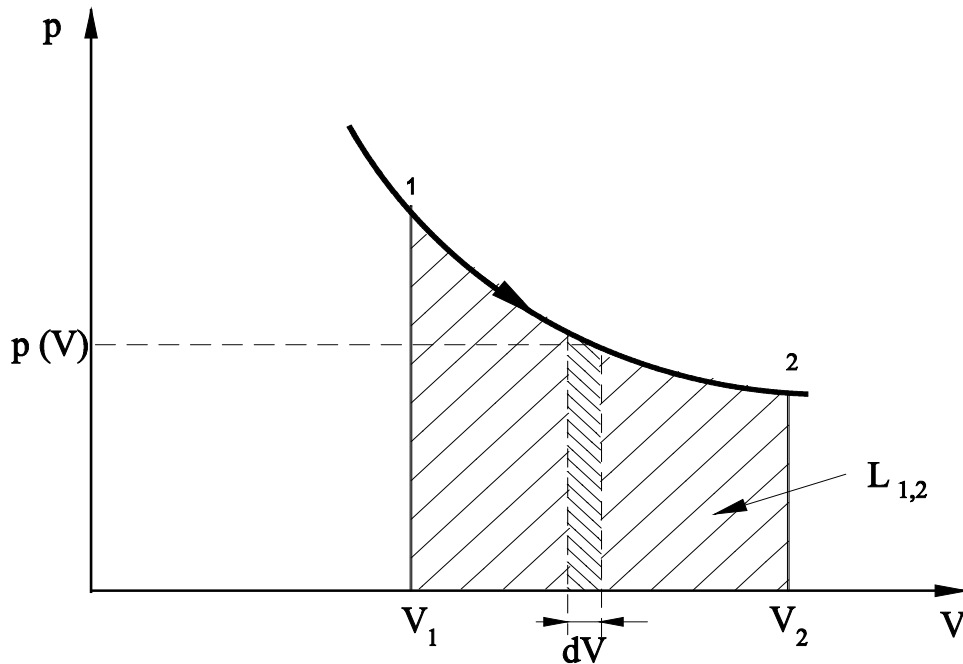
Przy rozszerzaniu się czynnika praca zostaje wykonana na zewnątrz przez pokonanie ciśnienia działającego ze wszystkich stron. Przy kurczeniu czynnika pochłania pracę zewnętrzną.

Entalpia oznaczona przez H podobnie jak energia wewnętrzna jest funkcją stanu tzn. jej zmiany nie zależą od drogi procesu a zależą od stanu początkowego i końcowego.

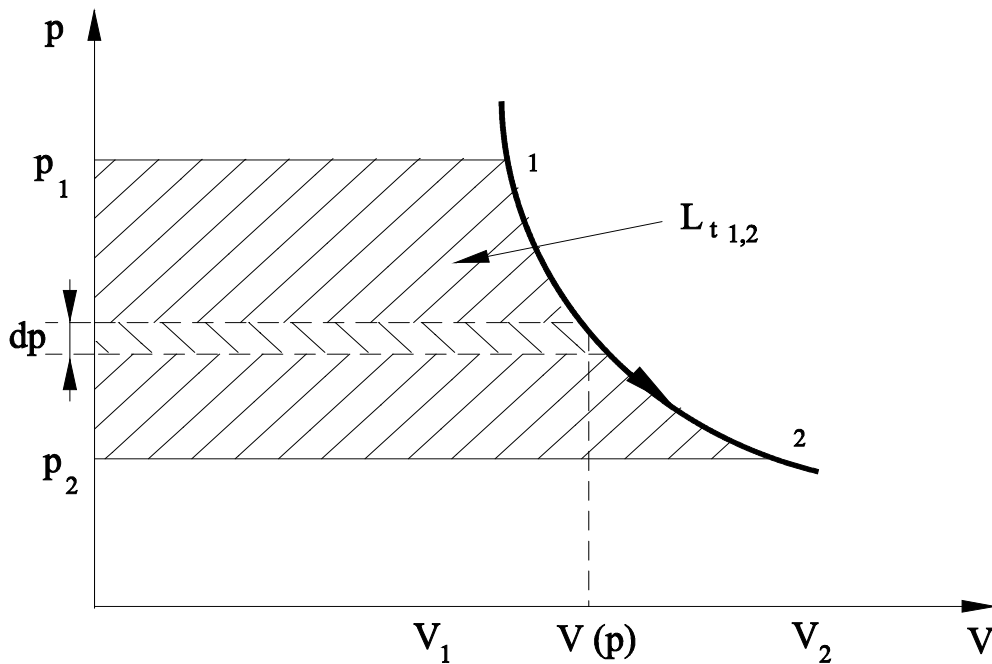
$$H = U + pV$$

Entalpia $\longrightarrow p = \text{const}$

Energia wewnętrzna $\longrightarrow V = \text{const}$



PRACA ZEWNĘTRZNA



PRACA TECHNICZNA

ZNAK CIEPŁA I PRACY

	Termodynamika klasyczna	Termodynamika techniczna
praca	Rozszerzanie ($V_2 > V_1$) Rozprężanie ($p_2 < p_1$) minus	Rozszerzanie ($V_2 > V_1$), rozprężanie ($p_2 < p_1$) plus
	Kompresja ($V_2 < V_1$) Sprężanie ($p_2 > p_1$) plus	Kompresja ($V_2 < V_1$) Sprężanie ($p_2 > p_1$) minus
ciepło	Ochładzanie (rozprężanie) minus	Ochładzanie (sprężanie) minus
	Ogrzewanie (sprężanie) – plus	Ogrzewanie (rozprężanie) plus

PALIWA, WŁAŚCIWOŚCI PALIW, SPALANIE

CIEPŁO

CIEPŁO (Q) - jedna z form przekazu energii między układami termodynamicznymi.

Proces przekazu energii za pośrednictwem oddziaływania termicznego

- **WYMIANA CIEPŁA.**

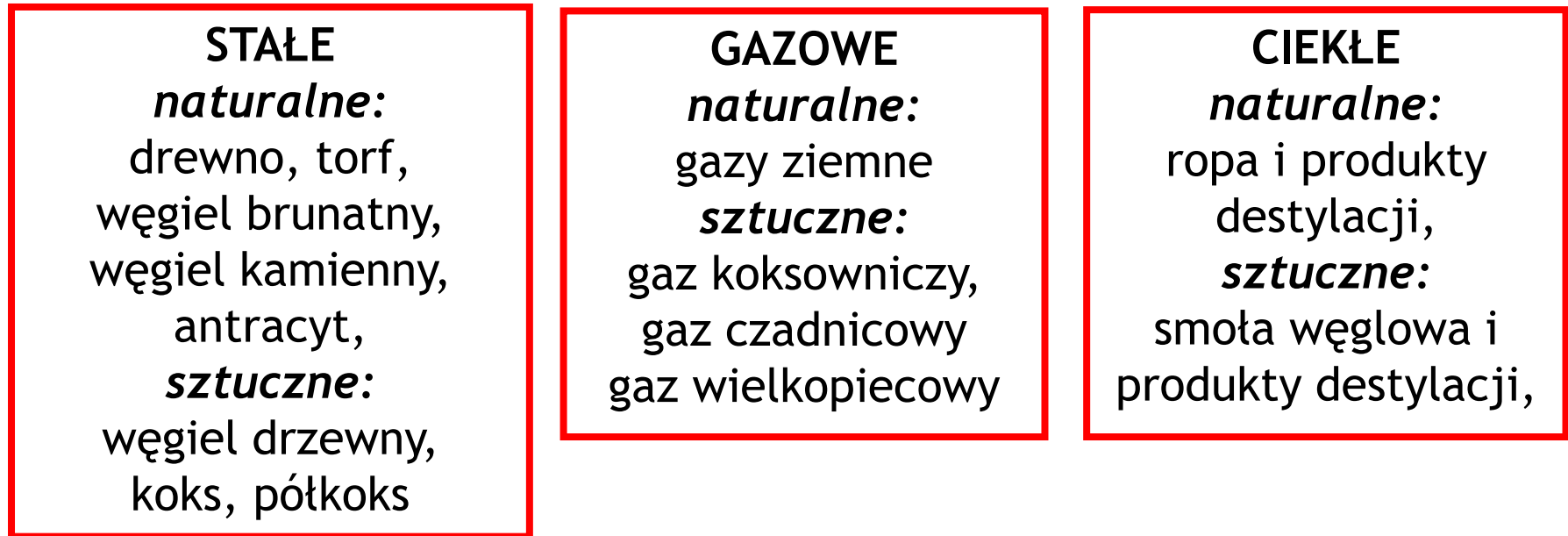
Zmiana energii wewnętrznej układu, spowodowana tym oddziaływaniem nazywana jest - **ILOŚCIĄ CIEPŁA** dostarczoną układowi.

Jeśli dwa ciała wykazują powinowactwo chemiczne to w pewnych warunkach łączą się tworząc nowe ciało, którego ciężar jest równy ciężarowi ciał z których powstało. Tym zjawiskom towarzyszą zwykle zjawiska cieplne. Podczas reakcji ciepło może się wydzielić - **REAKCJA EGZOTERMICZNA** lub do zrealizowania reakcji należy dostarczyć ciepła - **REAKCJA ENDOTERMICZNA**.

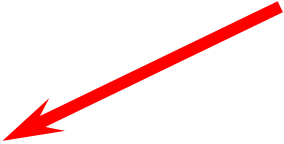
Ilość wydzielonego ciepła zależy od stanu ciał przed i po reakcji, nie zależy natomiast od jej przebiegu (**PRAWO HESSA**).

PALIWA PRZEMYSŁOWE (CHEMICZNE ŹRÓDŁA ENERGII)

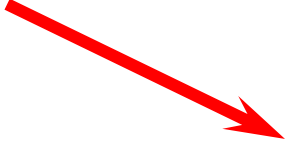
Materiały palne, które w ocenie techniczno-ekonomicznej mogą być źródłem energii.



PALIWA PRZEMYSŁOWE

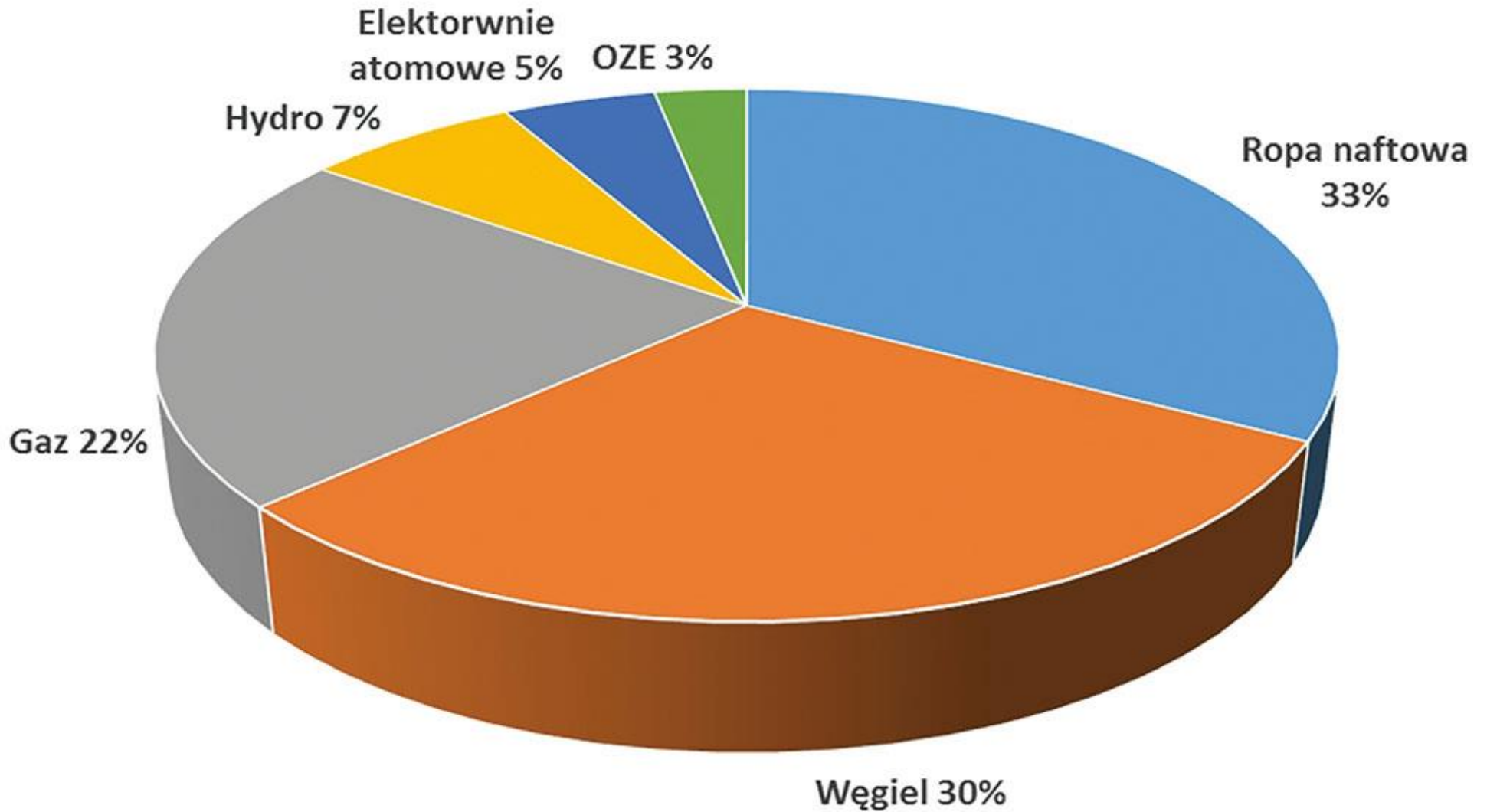


występują w takich ilościach, że ich techniczne użycie może być zapewnione przez długi czas,



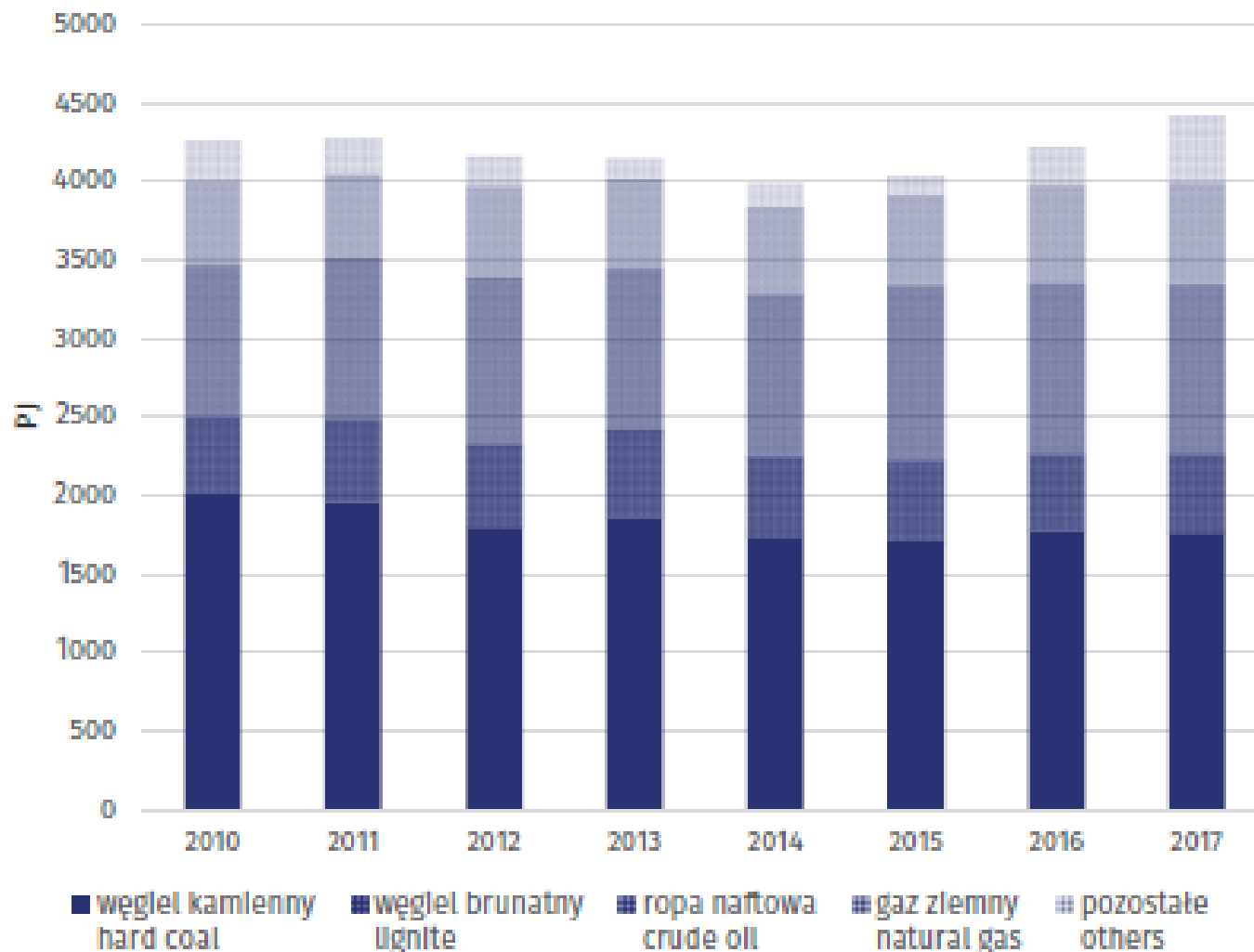
wykazują należyty stosunek pomiędzy kosztem wydobycia lub jego otrzymywania a ciepłem wywiązywanym przy jego spalaniu,

UDZIAŁ POSZCZEGÓLNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ NA ŚWIECIE (2015 r.)

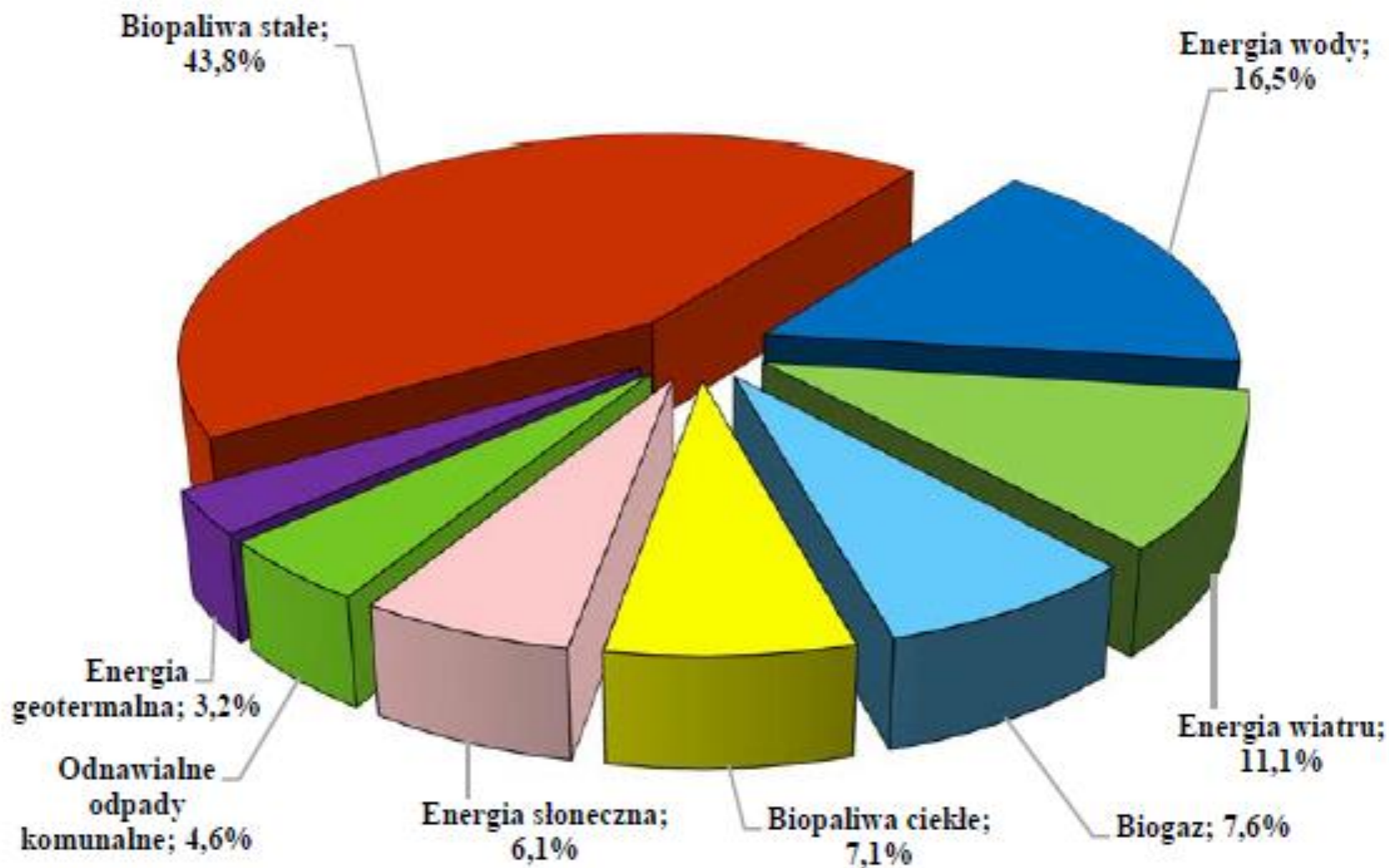


UDZIAŁ POSZCZEGÓLNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W POLSCE (do 2017 r.)

Wykres 5. Zużycie globalne energii według nośników
 Chart 5. Global consumption by energy carrier



UDZIAŁ POSZCZEGÓLNYCH OZE W PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ NA ŚWIECIE (2015 r.)

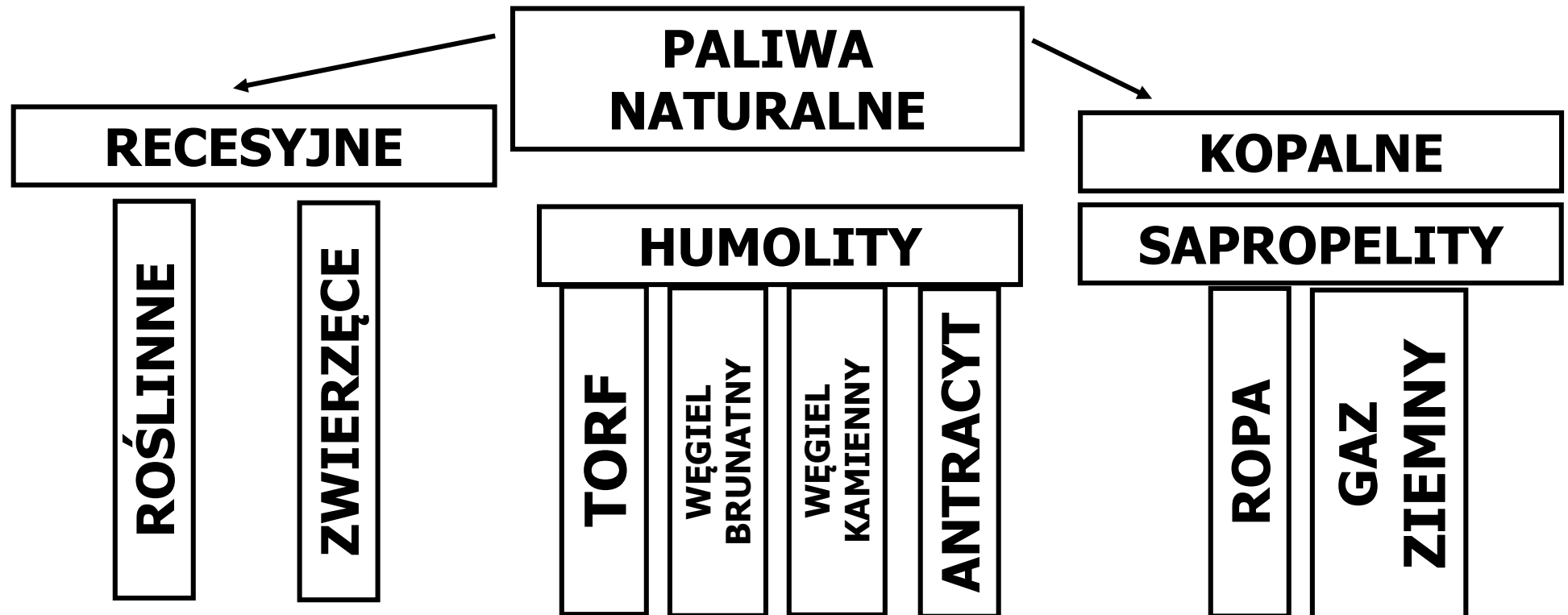


PALIWA NATURALNE

PALIWA NATURALNE - powstały w wyniku metamorfozy substancji organicznych zawierających w swym składzie węgiel, wodór, tlen i azot.

HUMOLIT - produkty metamorfozy roślin np. torf, węgiel kamienny, (łc. humus 'ziemia' + gr. lihtos 'kamień')

SAPROPELIT - produkty metamorfozy zwierząt np. ropa naftowa, gaz ziemny



PALIWA SZTUCZNE

Są wytwarzane:

- 1) Bez wprowadzenia zmian chemicznych, tylko przez nadanie innej formy zewnętrznej np. brykiety,
- 2) W celu wytworzenia paliwa, które w naturze nie występuje (koksowanie, odgazowanie),
- 3) Przez całkowitą zmianę paliwa stałego na gazowe,
- 4) Przez przeróbkę (destylację) ciekłego paliwa naturalnego (ropy naftowej) lub sztucznego (smoły węglowej),

DESTYLACJA - rozdzielanie ciekłej mieszaniny wieloskładnikowej poprzez odparowanie, a następnie skroplenie jej składników. Stosuje się ją w celu wyizolowania lub oczyszczenia jednego lub więcej związków składowych. Proces wykorzystuje różną lotność względną składników mieszaniny.

PALWA NATURALNE - STOPIEŃ UWĘGLENIA

STOPIEŃ UWĘGLENIA - określone stadium przemiany substancji organicznej w paliwo. Przemianę tę charakteryzuje malejący w czasie stosunek H/C i O/C, czyli postępująca w czasie utrata wodoru i tlenu przy równoczesnym wzroście pierwiastka węgla.

Rodzaj paliwa	Zawartość pierwiastka %			Stosunki charakterystyczne		Części lotne %
	C	H ₂	O ₂	O/C	H/C	
drewno	50,0	6,1	43,9	0,66	1,46	80
torf	59,3	5,7	35,0	0,44	1,15	67
w. brunatny	70,0	5,5	24,5	0,26	0,94	54
w. kamienny płomienny	82,3	5,7	12,0	0,11	0,83	42
w. kamienny koksowy	92,4	4,4	3,2	0,03	0,57	17
antracyt	95,5	2,5	2,0	0,02	0,31	3

KLASYFIKACJA PALIW



Stan skupienia pochodzenie	naturalne	sztuczne	odpadowe
stały	węgiel kamienny węgiel brunatny torf drewno	koks półkoks brykiety węgiel drzewny	przerosty kopalniane muł z płuczek obrzynki i trociny drzewne
ciekły	ropa naftowa	<i>Destylaty ropy naftowej:</i> gazolina; benzyna; nafta; olej gazowy; mazut <i>Destylaty smoły węglowej:</i> benzol (benzen); oleje terowe	
gazowy	gaz ziemny	gazy: świetlny; koksowniczy; generatorowy; wodny; czadnicowy	gaz wielkopieczowy

PALIWA STAŁE - NATURALNE

drewno, torf, węgiel brunatny, węgiel kamienny, antracyt

Drewno

Główne składniki: celuloza $C_6H_{10}O_5$ i lignina $C_{19}H_{24}O_{10}$

Wilgotność ok. 60%

Wartość opałowa waha się od 14665 do 16760 kJ/kg

Produkt przemysłowy to *węgiel drzewny*, którego wartość opałowa wynosi od 27000 do 28500 kJ/kg. Otrzymywany jest poprzez suchą destylację drewna. Nie zawiera siarki.

Torf

Paliwo o małym znaczeniu przemysłowym z uwagi na niską wartość opałową (od 12150 do 15920 kJ/kg), dużą zawartość wilgoci (do 90%) i dużą zawartość siarki.

Jest to produkt metamorfozy roślin na drodze procesu biochemicznego.



PALIWA STAŁE - NATURALNE

drewno, torf, węgiel brunatny, węgiel kamienny, antracyt

Węgiel brunatny

Jedno z głównych paliw stałych. Pod względem stopnia uwęglenia zajmuje pośrednie miejsce pomiędzy torfem a węglem kamiennym. Nazwa węgla jest ściśle związana z jego barwą. Może zawierać od 10 do 60% wilgotności. Suszony węgiel brunatny w powietrzu rozpada się i dlatego zużywa się go głównie w rejonie wydobywania. Wartość opałowa od 8380 do 11313 kJ/kg. Zawiera dużo siarki 1,5-3%.



Węgiel kamienny

Paliwo o największym znaczeniu przemysłowym. Składa się z trzech składników:

- 1) substancja palna C, H, S
- 2) substancja mineralna, substancja niepalna, popiół A
- 3) wilgoć,

Elementarny skład węgla:

$$C^r + H^r + O^r + N^r + S^r + A + W_{całk} = 100\%$$

Indeks „r” oznacza stan roboczy

Węgiel klasyfikujemy wg typów, wg stopnia czystości i wg asortymentu

Podstawą podziału są :

- Zawartość części lotnych V,
- Zdolność spiekania RI (Indeks Rogi),
- Dylatacja - rozszerzalność przy spalaniu,
- Ciepło spalania - główne ciepło,



Klasyfikacja wg typów

(pierwsza cyfra wyraża przynależność do danej grupy,
druga cyfra wyraża miejsce paliwa w danej grupie)

01-09 torf

11-19 drewno

21-29 węgiel brunatny

31-39 węgiel kamienny

41-42 antracyt

węgiel 31 - węgiel płomienny;

węgiel 33 - węgiel gazowy;

węgiel 35 - węgiel koksowy;

węgiel 37 - węgiel semikoksowy;

węgiel 41 - węgiel antracytowy;

węgiel 32 - węgiel gazowo-pieczowy;

węgiel 34 - węgiel gazowo-koksowy;

węgiel 36 - węgiel metakoksowy;

węgiel 38 - węgiel chudy;

węgiel 42 - antracyt

Klasyfikacja wg stopnia czystości

Podstawa klasyfikacji zawartość popiołu A w stanie suchym.

Węgla kamienne typów:

31, 34, 35, 36, 37 i 38 podzielono na następujące klasy:

Wskaźnik klasy	Zawartość popiołu A w stanie suchym, %
5	5,0
6	6,0
7	7,0
8	8,0
9	9,0

Klasyfikacja wg asortymentu

GRUBY - kęsy, kostka, orzech I i II

ŚREDNI - groszek I i II

DROBNY - grysik I i II ; miał I i II

PALIWO UMOWNE

Jest to paliwo porównawcze dla celów technologicznych różnych typów paliw, którego masę B liczy wg zależności.

Wartość opałowa paliwa stałego i ciekłego zmienia się w szerokich granicach. W celu umożliwienia porównania paliwa o różnej wartości opałowej wprowadzono pojęcie paliwa umownego o stałej wartości opałowej wynoszącej 30000 [kJ/kg lub kJ/m³].

$$B = \frac{A \cdot 30000}{Q_w} [kg]$$

gdzie:

A - masa paliwa rzeczywistego,

30000 - wartość opałowa paliwa umownego,

Q_w - wartość opałowa paliwa rzeczywistego,

PALIWA STAŁE - SZTUCZNE



Pył węglowy

Otrzymuje się z drobnych asortymentów węgla kamiennych zawierających zwykle duże ilości popiołu. Wpierw węgiel kamienny się suszy a następnie mieli. Pył węglowy można spalać przy małym współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda = 1,05-1,15$, dzięki czemu uzyskuje się wysokie temperatury spalania i małą objętość spalin, która decyduje o wielkości strat kominowych. Jest łatwopalny i wybuchowy.

Koks

Otrzymuje się go w wyniku odgazowania węgla kamiennych. Proces odgazowania prowadzi się podczas ogrzewania (360-1200°C; 18-36 godzin) mieszanki węgla kamiennych bez dostępu powietrza. Produkcję koksu można podzielić na trzy etapy:

- a) Przygotowanie wsadu,
- b) Koksowanie,
- c) Gaszenie koksu,

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi jakość koksu są: zawartość popiołu, wilgoci, podziarna, wytrzymałość mechaniczna, reaktywność wobec dwutlenku węgla, tlenu i pary wodnej oraz porowatość.

Półkoks

Otrzymuje się go w wyniku częściowego odgazowania mieszanki naturalnych paliw stałych (węgiel kamienny, węgiel brunatny, łupki węglowe, torf, drewno). Proces ten prowadzi się w temperaturach 450-600°C. Zawiera 7-15% części lotnych.

BADANIE WŁAŚCIWOŚCI PALIW STAŁYCH



1. Wilgoć,

W węglu kamiennym występuje wilgoć przemijająca, higroskopijna i krystalizacyjna. Wilgoć higroskopijna jest związana ze stopniem uwęglenia. W miarę wzrostu stopnia uwęglenia zawartość wilgoci higroskopijnej maleje. Wilgoć krystalizacyjna jest związana z obecnymi w paliwie krzemianami, kaolinem lub miką.

2. Substancja mineralna i popiół,

Ilość substancji niepalnej jest równoznaczna z ilością powstałego podczas spalania popiołu. Substancję mineralną tworzą krzemiany, glinokrzemiany, węglany, siarczany i siarczki.

3. Części lotne,

W miarę wzrostu stopnia uwęglenia maleje ilość części lotnych. Jest to ubytek masy próbki po prażeniu bez dostępu powietrza pomniejszony o ilość wilgoci zawartej w paliwie.

4. Zdolność spiekania,

Cecha ta określa przydatność węgla dla przemysłu koksowniczego, gazowniczego i energetyki. Oznaczenie spiekalności wg Rogi polega na pomiarze wytrzymałości odpowiedniego koksu metodą bębnową. Następnie zostaje obliczony indeks Rogi. RI równy zero to węgle niespiekalne, zaś większy od 60 to węgle bardzo dobrze spiekalne.

5. Zawartość węgla i wodoru,

Oznacza się je wg metody Liebiga, Denstedta lub Sheffielda. Zasada oznaczenia we wszystkich metodach jest ta sama i polega na całkowitym i zupełnym spalaniu określonej masy paliwa w strumieniu tlenu i zaabsorbowaniu produktów spalania (CO_2 i H_2O).

BADANIE WŁAŚCIWOŚCI PALIW STAŁYCH c.d.



5. Zawartość siarki,

Siarka jest jednym z najbardziej szkodliwych składników paliwa pod względem zanieczyszczenia środowiska, korozji palenisk i przewodów gazów spalinowych. Zwykle siarkę oznacza się wg metody Seuthego, tzn. paliwo spala się w strumieniu tlenu i oznacza ilość powstałego SO_2 .

6. Azot i tlen w węglu kamiennym,

Zawartość azotu oznacza się metodą Kjeldahla. Zasada oznaczenia polega na utlenieniu paliwa za pomocą kwasu siarkowego w obecności katalizatora. Ta metoda daje mało dokładne wyniki.

Zawartość tlenu jest związana ze stopniem uwęglenia paliwa. Im młodsze paliwo tym zawiera więcej tlenu. Zawartość tlenu określa się metodą Unterzauchera.



PALIWA CIEKŁE

*ropa i produkty destylacji,
smoła węglowa i produkty destylacji,*

Niewielkie ilości paliw ciekłych otrzymuje się również z gazu ziemnego, węgla brunatnego i łupków bitumicznych.

Paliwami ciekłymi stosowanymi w przemyśle są oleje mineralne, smoły węglowe i mazut.

Podstawowymi składnikami tych paliw są węglowodory.

Ilościowy stosunek węgla do wodoru jest w różnych paliwach różny i ma wpływ na wartość opałową i warunki spalania paliwa.



Rodzaj oleju opałowego	Stosunek H/C
Olej opałowy mineralny KL	0,165-0,153
Olej opałowy mineralny L	0,155-0,145
Olej opałowy mineralny M	0,145-0,135
Olej opałowy mineralny S	0,135-0,115
Olej opałowy mineralny S	0,090-0,070
Olej smołowy z węgla kamiennego	0,135-0,125
Olej smołowy z węgla brunatnego	0,135-0,125
Olej smołowy z łupków	0,147-0,140

PALIWA CIEKŁE

Przed spalaniem paliwa ciekłe należy rozpylić i podgrzać.

Oleje opałowe powstałe podczas destylacji ropy naftowej zawierają głównie węglowodory parafinowe i naftenowe, natomiast w **olejach smołowych** przeważają węglowodory aromatyczne.

Szerokie zastosowanie ma **mazut** powstały w procesie destylacji ropy naftowej.

Mazut w temperaturze pokojowej 20°C jest smarem (b. lepką cieczą) i przed spalaniem należy go podgrzać. Q_w wynosi 42000 kJ/kg.

Otrzymywanie oleju opałowego z ropy naftowej polega na destylacji pod ciśnieniem atmosferycznym i krakingu, celem zwiększenia wydajności benzyny.

Olej opałowy ze smoły węglowej otrzymuje się przez ciągłą destylację smoły pod ciśnieniem atmosferycznym z dodatkiem przegrzanej pary wodnej wg metody Ab-der-Halden.

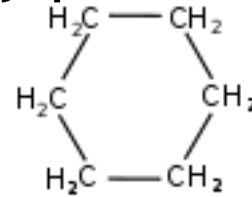
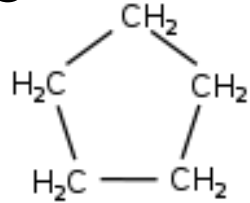




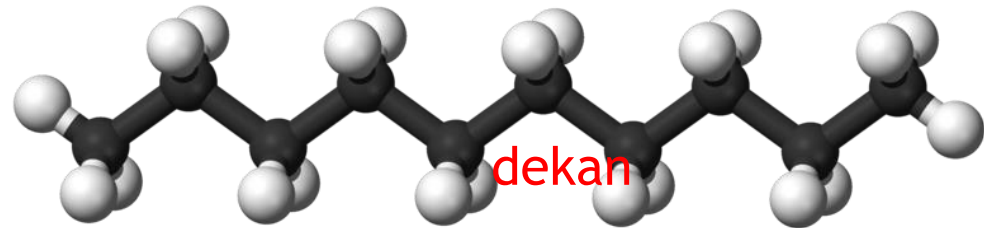
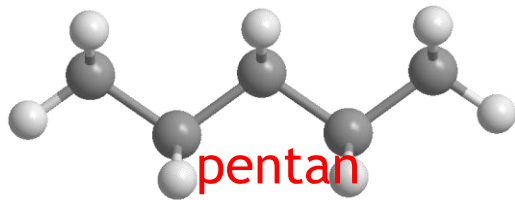
AGH

PALIWA CIEKŁE

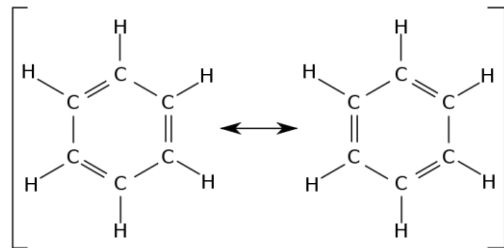
Oleje opałowe powstałe podczas destylacji ropy naftowej zawierają głównie węglowodory parafinowe i naftenowe,



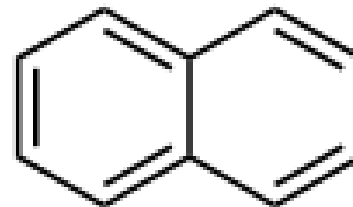
C_5H_{12} pentan, C_6H_{14} heksan, C_7H_{16} heptan, C_8H_{18} oktan, C_9H_{20} nonan, $C_{10}H_{22}$ dekan



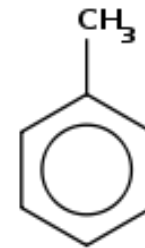
Natomiast w olejach smołowych przeważają węglowodory aromatyczne: benzen, naftalen, toluen, antracen, fenantren, ksylen



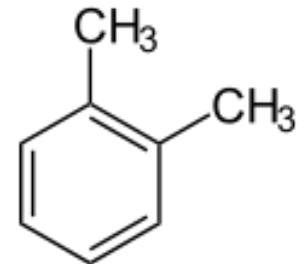
benzen



naftalen

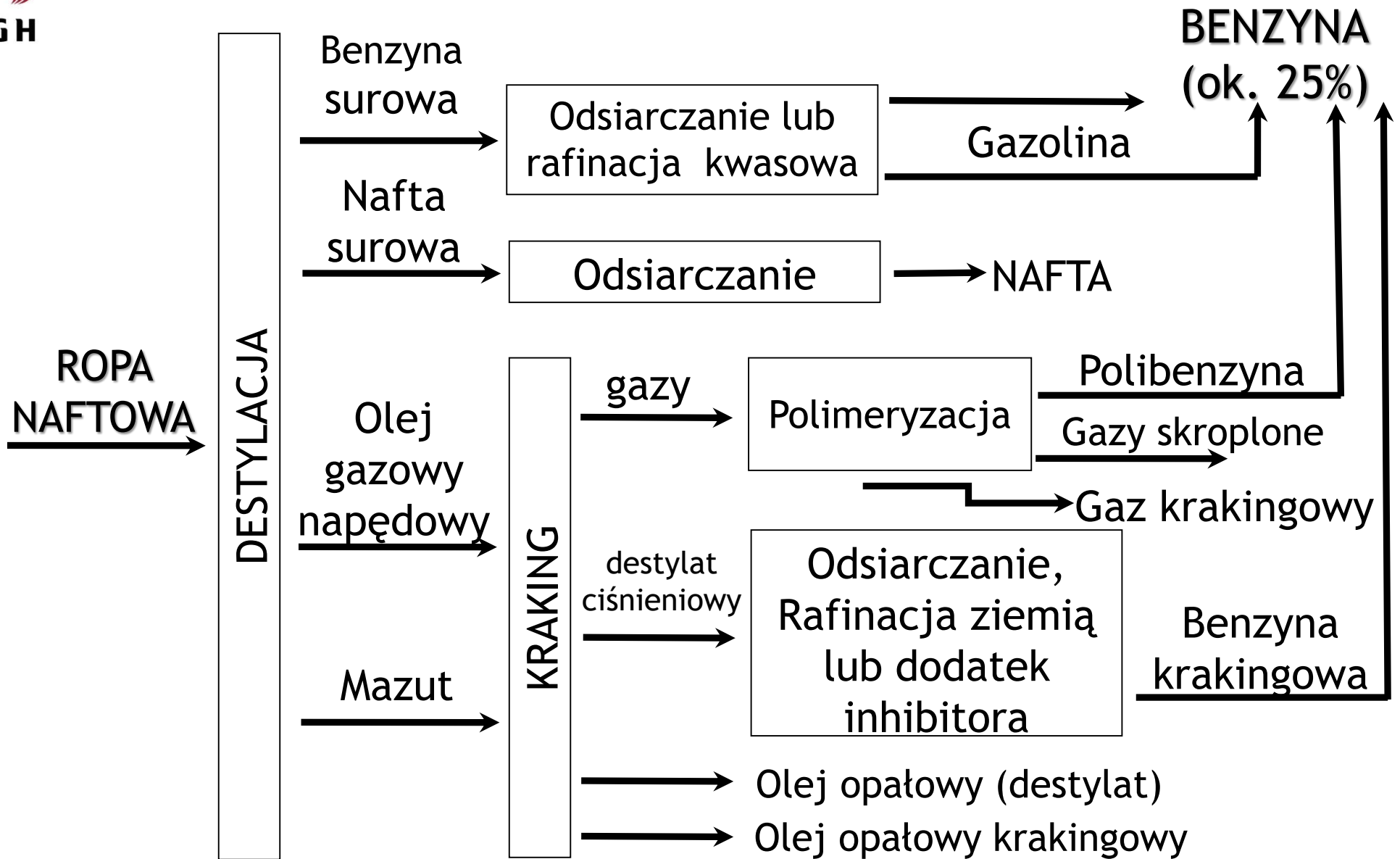


toluen



ksylen

SCHEMAT PRZERÓBKI ROPY NAFTOWEJ



INNE PALIWA CIEKŁE

Benzol - otrzymywany podczas odgazowania węgla kamiennego. W swoim składzie zawiera głównie benzen, toluen i ksylen oraz, w mniejszych ilościach tiofen, pirydynę i fenol.

Gazolina - gaz ziemny (naftowy) zawiera obok metanu również ciężkie węglowodory, które w normalnych warunkach są cieciami i które można wydzielić za pomocą sprężania. Główne składniki gazoliny to pentan i heksan. *Inaczej jest to:* mieszanina najlżejszych ciekłych węglowodorów alifatycznych, uzyskiwana podczas rafinacji lub krakingu ropy naftowej albo w procesie nasycania benzyn gazem ziemnym. Używana jako rozpuszczalnik kauczuku, tłuszczów i żywic; dodatek poprawiający liczbę oktanową benzyny

Gazol - w gazolinie obok pentanu i heksanu występuje również etan, propan i butan, które można wyróżnić poprzez częściową destylację gazoliny i sprężanie, powstanie wówczas gazol.

Mieszanina węglowodorów złożona z butanu, izobutanu i propanu, oddzielana od gazu ziemnego lub rafineryjnego; stosowany jako paliwo oraz surowiec w przemyśle chemicznym; gaz płynny.

Olej gazowy (olej napędowy; „ropa”) - jest używany do napędu silników wysokoprężnych (Diesla),

DESTYLACJA ROPY NAFTOWEJ

Destylacja – metoda rozdzielania i oczyszczania substancji



rozpuszczalnik



paliwo do silników



oświetlenie



paliwo do silników
odrzutowych



otrzymywanie smarów

paliwo do silników wysokoprężnych



nawierzchnia dróg

benzyna

nafta

opał

oleje

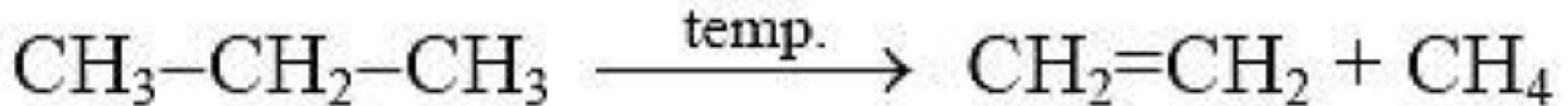
asfalt
naftowy

produkty destylacji
ropy naftowej:

KRAKING

Kraking, krakowanie - (ang. cracking - pękanie) proces technologiczny stosowany w celu przerobu ciężkich frakcji ropy naftowej na benzynę i oleje.

Kraking polega na inicjowaniu kontrolowanego rozkładu długich węglowodorów alifatycznych zawartych w ciężkich frakcjach, takich jak mazut i frakcje olejowe, otrzymywanych w procesie rafinacji ropy naftowej, na związki o krótszych łańcuchach węglowych, takich jakie występują w benzynie i oleju napędowym. Reakcje chemiczne zachodzące w czasie krakingu sprowadzają się w uproszczeniu do pęknięcia pojedynczych wiązań chemicznych węgiel - węgiel z wytworzeniem wolnych rodników. W wyniku wtórnych reakcji wytworzonych wolnych rodników oprócz oczekiwanych węglowodorów alifatycznych o stosunkowo krótkich łańcuchach powstaje też nieco metanu, LPG, nienasyconych węglowodorów oraz koksu.



RODZAJE SMOŁY SUROWEJ

- *smoła pogazowa* - smoła węglowa wysokotemperaturowa, koksownicza (dawniej również gazownicza), czarna, mazista - powstaje przy odgazowaniu węgla kamiennego w temperaturze ok. 1000°C
- *smoła generatorowa* - smoła węglowa średniotemperaturowa, z niektórych metod zgazowania węgla, brunatno - czarna, oleista - powstaje przy odgazowaniu węgla kamiennego w temperaturze ok. 700-800°C
- *smoła wylewna (prasmoła)* - smoła niskotemperaturowa (uzyskiwana w temperaturach ok. 500-600°C lub nieco niższych, czasem nieco wyższych) o składzie zróżnicowanym w zależności od surowca:
 - *z węgla kamiennego* - główny produkt niskotemperaturowego odgazowania węgla kamiennego (preferowane są węgle młodsze mające więcej części lotnych); od smoły wysokotemperaturowej różni się m.in. mniejszą zawartością węglowodorów aromatycznych, a większą alifatycznych
 - *z węgla brunatnego* - zwykle o stosunkowo dużej zawartości węglowodorów nienasyconych, wyższych fenoli i parafin
 - *z łupków bitumicznych* - prasmoła łupkowa przypomina ropę naftową o dużej zawartości frakcji olejowych (i bywa przerabiana analogicznie jak ropa)
 - *z drewna* - smoła drzewna, czasem zwana dziegciem,

METODY BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI OLEJÓW OPAŁOWYCH

1. Pomiar gęstości,

Pomiary wykonuje używając areometrów lub termoareometrów.

2. Pomiar lepkości,

Pomiary lepkości wykonuje się za pomocą lepkościomierzy (wiskozymetrów) Vogel-Ossaga, Hopplera. W praktyce przemysłowej podaje się lepkość względną wyrażoną w stopniach Englera ($^{\circ}\text{E}$). Pomiar wykonuje się w aparacie Englera.

3. Oznaczanie temperatury krzepnięcia oleju,

Temperatura krzepnięcia oleju zależy od zawartości w nim parafiny (olej opałowy pochodzący z przeróbki ropy naftowej) lub naftalenu (olej opałowy pochodzący ze smoły koksowniczej). Jako temperaturę krzepnięcia oleju rozumie się temperaturę w której olej traci swą płynność.

4. Temperatura zapłonu,

Oznaczenie temperatury zapłonu ma duże znaczenie ze względu na bezpieczeństwo przeciwpożarowe. W przypadku olejów opałowych otrzymanych z ropy naftowej oznacza się ją w tyglu zamkniętym metodą Martensa-Pensk'ego. W przypadku olejów opałowych otrzymanych ze smół węglowych oznacza się temperaturę zapłonu w tyglu otwartym metodą Marcussona.



AGH

METODY BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI OLEJÓW OPAŁOWYCH c.d.

4. Zawartość popiołu,

Popiół w olejach opałowych pochodzi ze związków metaloorganicznych praktycznie nieusuwalnych oraz z zanieczyszczeń w postaci cząstek stałych w wyniku jego magazynowania. Popioły mogą być źródłem korozji palnika i paleniska.

5. Zawartość siarki,

Siarka w oleju opałowym występuje w postaci merkaptanów (siarkowe odpowiedniki alkoholi R-SH). Merkaptany w zetknięciu z miedzią tworzą trudno rozpuszczalne w wodzie sole merkaptyny ale łatwo rozpuszczalne w oleju. Sole te zatykają przewody i działają na nie toksycznie. Zawartość siarki oznacza się w bombie kalorymetrycznej metodą Langbeina.

6. Zawartość wody,

Woda powoduje zaburzenia przy spalaniu i przyczynia się do powstawania strat ciepła. Oznacza się ją za pomocą metody destylacyjnej z ksylenem.

7. Ciepło spalania i wartość opałowa,

Zależą od zawartości wodoru, węgla i siarki. Ciepło spalania oznacza się doświadczalnie za pomocą kalorymetru. Wartość opałową następnie się oblicza.



PALIWA GAZOWE

gazy ziemne

*sztuczne: gaz koksowniczy,
gaz czadnicowy,
gaz wielkopipecowy*



Gazy ziemne

Dzielimy na suche i mokre. Gazy ziemne suche zawierają ok. 98% CH_4 czyli metanu. Gazy mokre zawierają domieszkę cięższych węglowodorów grupy parafinowej. Składniki te oddziela się od mokrego gazu i otrzymuje tzw. gazolinę. Wartość opałowa gazu ziemnego wynosi od 27450 do 35600 kJ/m³. Mimo dużej wartości opałowej gaz ziemny posiada niższą temperaturę spalania od gazu koksowniczego. Wynika to z dużego zapotrzebowania powietrza do spalania i związanej z tym większej objętości powstałych spalin. Gazy suche spalają się płomieniem nieświecącym, co ma niekorzystny wpływ na wymianę ciepła. Dlatego podczas spalania gaz ziemny miesza się z olejem opałowym proces ten nazywa się *karburyzacją*.



AGH *Gazy koksownicze*

Powstają w procesie odgazowania węgla w baterii koksowniczej. Surowe gazy zawierają dużo pary wodnej i smoły oraz amoniak, węglowodory aromatyczne, siarkowodór itp. Poddaje się je zatem odsiarczeniu oraz kondensuje się parę wodną i smołę oraz pozbywa się je amoniaku i benzolu. Wartość opałowa wynosi od 15900 do 18900 kJ/m³.

Gazy wielkopiecowe

Są produktami ubocznymi procesu wielkopiecowego. Surowy gaz zawiera dużo pary wodnej i pyłu. Gazy te także oczyszcza się z popiołu. Posiada niską wartość opałową, która wynosi od 3550 do 4000 kJ/m³, bo zawiera dużo składników niepalnych (CO₂ i N₂ do 70%). Podstawowym składnikiem palnym jest CO.

Gazy czadnicowe

Powstają w procesie zgazowania paliwa stałego w czadnicach w obecności powietrza i pary wodnej. Można otrzymać trzy rodzaje gazu: suchy, półwodny i wodny. Jeżeli proces prowadzi się w powietrzu suchym otrzymuje się gaz suchy, w powietrzu wilgotnym gaz półwodny. W przypadku przedmuchiwania warstwy rozżarzonego paliwa parą wodną otrzymuje się gaz wodny. Wartość opałowa wynosi około 10000 kJ/m³.

ANALIZA GAZÓW

Składniki palne paliwa gazowego:

CH_4 - metan

C_mH_n - węglowodory ciężkie

H_2 - wodór

CO - tlenek węgla

Składniki niepalne paliwa gazowego:

O_2 - tlen

CO_2 - dwutlenek węgla

SO_2 - dwutlenek siarki

N_2 - azot

wilgoć

W gazach spalinowych występują następujące składniki (spalanie zupełne):

CO_2 - dwutlenek węgla

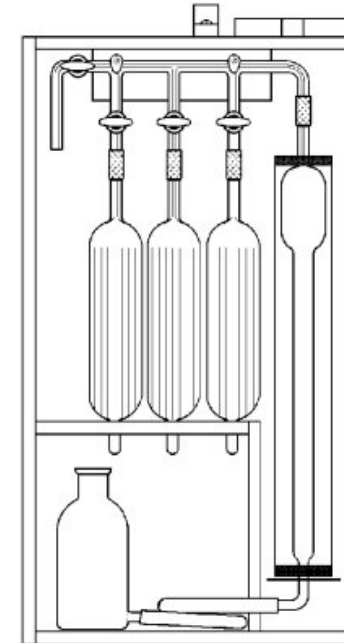
SO_2 - dwutlenek siarki

O_2 - tlen pochodzący z nadmiaru powietrza spalania

N_2 - azot

H_2O - para wodna powstała ze spalania wodoru i węglowodorów oraz zawartej w paliwie i powietrzu wilgoci

ANALIZĘ GAZÓW PROWADZI SIĘ W TZW. APARATACH ORSATA



WŁAŚCIWOŚCI PALIW



AGH *Temperatura zapalności paliw* - wówczas ciepło wydzielone z reakcji utleniania w jednostce czasu jest równe ciepłu odprowadzonemu do otoczenia.

Paliwo	temperatura zapalności °C
drewno	200-240
węgiel kamienny	400-450
koks	500-550
paliwa gazowe	ok. 700
ropa	ok. 380

Granica zapalności - procent objętościowy paliwa w mieszance z powietrzem, w którym następuje zapłon

Wodór	od 4 do 80%
CO	od 12,5 do 74,2%
CH ₄	od 2,5 do 15,4%
C ₂ H ₂	od 1,5 do 82%
nafta	od 1,1 do 7%

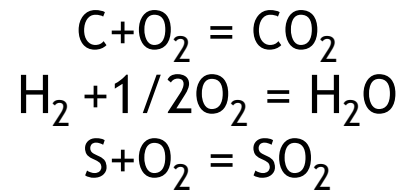
SPALANIE PALIW



Spalanie - proces łączenia się pierwiastków palnym z tlenem z kontrolowaną szybkością reakcji. Jest to inaczej szybko przebiegający proces utleniania.

Pierwiastkami palnymi w paliwach są **węgiel, wodór i siarka**. Paliwo składa się z substancji palnej i balastu. Substancjami niepalnymi w paliwach stałych i ciekłych są **wilgoć i popiół**, natomiast w paliwach gazowych - **azot, dwutlenek węgla i para wodna**.

Reakcje spalania całkowitego i zupełnego:



Do obliczeń spalania (stechiometrii) bierzemy:

- 1 kg paliwa ciekłego lub stałego,
- 1 m³ paliwa gazowego,



Warunki:

$p_o = 1000 \text{ hPa}$ lub 750 mmHg

$T_o = 273 \text{ K}$

gęstość powietrza $\rho = 1,27 \text{ kg/m}^3$

SPALANIE PALIW

Spalanie zupełne

spalanie na produkty niepalne. Gazowe produkty utleniania składników palnych paliw, w spalinach występują zwykle na najwyższym stopniu utlenienia lub są to najtrwalsze związki np. $S+O_2=SO_2$ a nie SO_3

Spalanie całkowite

spalanie, gdy w produktach spalania nie ma stałych składników palnych (dym, węgiel w popiele, koksik lub sadza); Cała masa paliwa ulegnie utlenieniu;

Spalanie niezupełne i niecałkowite

spalanie, gdy w produktach spalania pojawia się dym, węgiel w popiele, koksik lub sadza a produkty utleniania nie są najtrwalszymi związkami. Występuje zwykle podobnie jak spalanie niezupełne przy ograniczonym dostępie tlenu.

CIEPŁO SPALANIA (Q_c)

Jest to ilość ciepła powstała podczas całkowitego i zupełnego spalania jednostki paliwa przy założeniu, że spaliny zostały ochłodzone do temperatury pierwotnej substratów, a para wodna pochodząca z wilgoci paliwa i spalania wodoru ulega skropleniu. Jest ono większe od wartości opałowej o ciepło kondensacji całkowitej ilości wody zawartej w spalinach. Nazywane jest także *Górną wartością opałową*.

WARTOŚĆ OPAŁOWA (Q_w)

Jest to ilość ciepła powstała podczas całkowitego i zupełnego spalania jednostki paliwa przy założeniu, że spaliny zostały ochłodzone do temperatury pierwotnej substratów, a para wodna pochodząca z wilgoci paliwa i spalania wodoru znajduje się w postaci pary.

$$Q_w = Q_c - r_0 W \quad \text{gdzie:}$$

$r_0 - 2500 \text{ kJ/kg,}$

Zatem ciepło spalania będzie równe: $Q_c = Q_w + r_0 W$

gdzie:

Q_w - wartość opałowa kJ/kg lub kJ/m^3 ,

W - całkowita ilość pary wodnej powstałej przy spalaniu jednostki paliwa,

ZAPOTRZEBOWANIE POWIETRZA DO SPALANIA

Obliczenia ilości i składu spalin



Ilość tlenu dostarczona do spalania 1kg paliwa (stałego lub ciekłego) lub 1m³ paliwa gazowego zgodnie ze stechiometrycznymi równaniami spalania nazywa się

TLENEM TEORETYCZNYM:

$$O_t = 22,71 \left(\frac{C^r}{12} + \frac{H^r}{4} + \frac{S^r}{32} - \frac{O^r}{32} \right) \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

Dla paliwa gazowego:

$$O_t = 0,5 \frac{\%CO}{100} + 0,5 \frac{\%H_2}{100} + \Sigma \left(m + \frac{n}{4} \right) \frac{\%C_m H_n}{100} - \frac{\%O_2}{100} \left[\frac{m^3}{m^3} \right]$$

POWIETRZE TEORETYCZNE - teoretyczna ilość powietrza do spalania

$$V_o = \frac{100}{21} O_t = 4,76 O_t \left[\frac{m^3}{kg} \right] \text{ lub } \left[\frac{m^3}{m^3} \right]$$

Liczba nadmiaru powietrza:

$$\lambda = \frac{V_{rzecz}}{V_o} \quad \lambda = \frac{O_c}{O_t}$$

Ilość powietrza do spalania:

$$V = \lambda \cdot V_o$$

Ilość powietrza wilgotnego do spalania:

$$V = \lambda \cdot V_o (1 + 0,0016x)$$

gdzie: x - zawartość wilgoci w [g H₂O/kg powietrza]

Gdy:

$\lambda > 1,0$ spalanie z nadmiarem powietrza (duża ilość spalin, obniżenie temperatury spalania)

$\lambda = 1,0$ spalanie teoretyczne

$\lambda < 1,0$ spalanie z niedomiarem powietrza

PALENISKO	RODZAJ PALIWA	WSPÓŁCZYNNIK λ
ruszt płaski	w. kamienny	1,6-2,2
ruszt mechaniczny	w. kamienny	1,4-1,6
pyłowe	pył węglowy	1,05-1,2
Palniki gazowe	gaz	1,05-1,2
Palniki olejowe	paliwa ciekłe	1,1-1,2

ILOŚĆ I SKŁAD SPALIN



Ilość wilgotnych spalin rzeczywistych powstałych przy spalaniu paliwa ciekłego lub stałego

$$\lambda > 1,0$$

$$V_{sp} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2} \left[\frac{m^3}{m^3} \right]$$

Dla paliw stałych i ciekłych:

$$V_{sp} = 22,71 \left(\frac{C^r}{12} + \frac{H^r}{4} + \frac{S^r}{32} + \frac{N^r}{28} + \frac{W_c}{18} \right) + 0,79V_o + 0,21(\lambda - 1)V_o \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

Dla paliw gazowych
(postępujemy się odpowiednimi równaniami stechiometrycznymi):

$$V_{sp} = \frac{\%CO_2}{100} + \frac{\%CO}{100} + \frac{\%H_2}{100} + 3 \frac{\%CH_4}{100} + 3 \frac{\%C_2H_2}{100} + 4 \frac{\%C_2H_4}{100} + 5 \frac{\%C_2H_6}{100} + \frac{\%N_2}{100} + 0,79V + 0,21(\lambda - 1)V_o \left[\frac{m^3}{m^3} \right]$$

WARTOŚĆ OPAŁOWA

Do przybliżonych obliczeń WARTOŚCI OPAŁOWEJ (paliwa stałe) służy

1. wzór Dulonga:

$$Q_w = 32800C^r + 142770 \left(H^r - \frac{O^r}{8} \right) + 9290S^r - 2500(W_c + 9H^r) \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

2. wzór VDI

$$Q_w = 33900C^r + 144030 \left(H^r - \frac{O^r}{8} \right) + 10400S^r - 2500(W_c + 9H^r) \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

dla paliw gazowych:

$$Q_w = 12470 \frac{\%CO}{100} + 10620 \frac{\%H_2}{100} + 35330 \frac{\%CH_4}{100} + 63500 \frac{\%C_2H_6}{100} + 59170 \frac{\%C_2H_4}{100} + 56200 \frac{\%C_2H_2}{100} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

Najdokładniejsze wyniki można uzyskać przez doświadczalne wyznaczenie ciepła spalania w tzw. BOMBIE KALORYMETRYCZNEJ.

BOMBA KALORYMETRYCZNA

Jest to szczelne naczynie wykonane z kwasoodpornej stali nierdzewnej o wzmocnionych ściankach, umożliwiające spalenie umieszczonego w nim paliwa - z reguły ok. 0,5 grama.

W bombie kalorymetrycznej mierzy się ciepło spalania i oblicza wartość opałową.

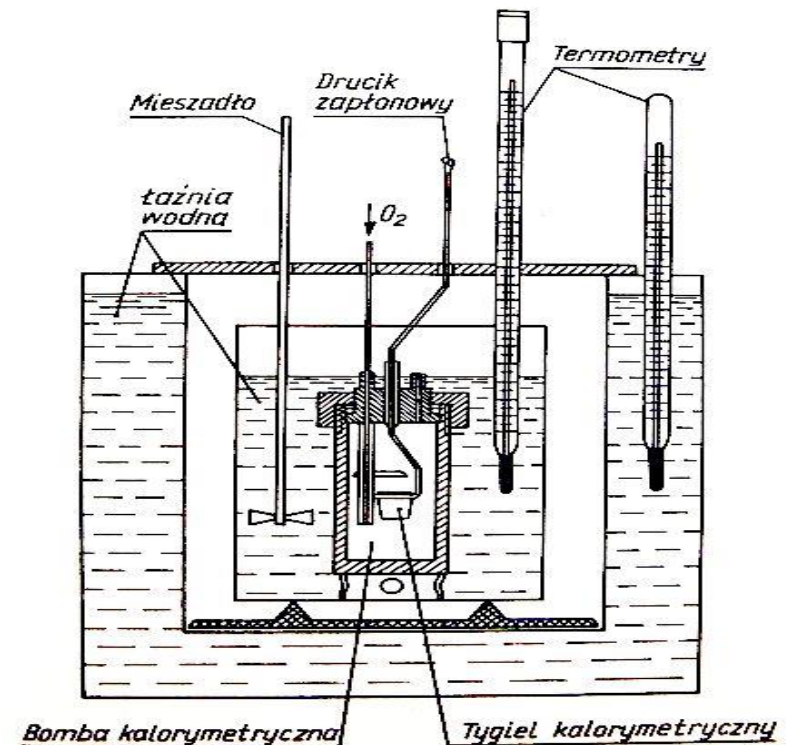


BOMBA KALORYMETRYCZNA

Pomiar polega na całkowitym spaleniu próbki paliwa w atmosferze czystego tlenu pod ciśnieniem około 6 at. w bombie kalorymetrycznej zanurzonej w wodzie i na pomiarze przyrostu temperatury tej wody. Próbkę ciecchy umieszcza się w tyglu stalowym (paliwa stałe umieszcza się w postaci pastylki) w „bombie właściwej”, szczelnie zamyka i wpompowuje do środka tlen pod ciśnieniem (wcześniej przepłukuje tlenem). Po umieszczeniu bomby w wypełnionym wodą naczyniu kalorymetrycznym włącza się zapión elektryczny, w wyniku czego następuje zapłon paliwa

- najczęściej połączone z **mini wybuchem**

Jest to spalanie bez strat, gdyż w czystym tlenie oleje opałowe spalają się całkowicie, zaś wytworzone spaliny pozostają wewnątrz szczelnie zamkniętej bomby.



W przypadku braku analizy elementarnej paliwa albo braku składu objętościowego gazu, teoretyczne zapotrzebowanie powietrza do spalania, teoretyczną ilość spalin i rzeczywistą ilość spalin oblicza się wg wzorów:

Węgiel kamienny	$V_o = 0,245Q_w + 0,507 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$	$V_{sp} = 0,23Q_w - 1,393 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$
Mazut, olej opałowy	$V_o = 0,213Q_w + 1,72 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$	$V_{sp} = 0,269Q_w \left[\frac{m^3}{kg} \right]$
drewno	$V_o = 4,66 \left(1 - \frac{W_p}{1000} \right) \left[\frac{m^3}{kg} \right]$	$V_{sp} = 5,3 - 4,1 \frac{W_p}{1000} \left[\frac{m^3}{kg} \right]$
gazy niskokaloryczne $Q_w < 12 \text{ MJ/kg}$	$V_o = 0,26Q_w - 0,25 \left[\frac{m^3}{m^3} \right]$	$V_{sp} = 0,27Q_w - 0,25 \left[\frac{m^3}{m^3} \right]$
gazy wysokokaloryczne $Q_w > 12 \text{ MJ/kg}$	$V_o = 0,24Q_w - 0,2 \left[\frac{m^3}{m^3} \right]$	$V_{sp} = 0,225Q_w + 0,765 \left[\frac{m^3}{m^3} \right]$

Ilość rzeczywistych spalin wilgotnych: $V_{sp}^{rzecz} = V_{sp} + (\lambda - 1)V_o \left[\frac{m^3}{m^3 \text{ lub } kg} \right]$

TEMPERATURA SPALANIA

Jeżeli założymy, że całe ciepło zawarte w paliwie zostało wydzielone i nic z tego ciepła nie odplynęło w postaci ciepła promieniowania. W tych warunkach osiągnięta temperatura nazywa się **TEMPERATURĄ SPALANIA**.

Rozróżnia się:

Kalorymetryczną temperaturę spalania - najwyższa temperatura spalin powstałych w wyniku adiabatycznego i izobarycznego spalania paliwa z teoretyczną ilością powietrza. Spalanie musi być zupełne i całkowite,

Rodzaj paliwa	Kalorymetryczna temperatura spalania °C
w. kamienny	2020
koks	2300
gaz koksowniczy	2100
gaz ziemny	2040
gaz wielkopiecowy	1475

TEMPERATURA SPALANIA

Temperatura teoretyczna (początkowa) - najwyższa temperatura spalin powstałych w wyniku adiabatycznego i izobarycznego spalania paliwa z rzeczywistym nadmiarem powietrza,

$$t = \frac{Q_w}{C_p (1 + \lambda V_t)} + t_o \text{ [deg]}$$

Temperatura rzeczywista (temp. płomienia) - temperatura w danym miejscu i czasie (x, y, z i τ). Uwzględnia wypromieniowanie ciepła do przestrzeni roboczej paleniska.

$$t = \frac{n \cdot Q_w \cdot (1 - \varepsilon)}{C_p (1 + \lambda V_t)} + t_o \text{ [deg]}$$

gdzie:

t_o - temperatura otoczenia,

η - sprawność paleniska,

ε - współczynnik promieniowania,

KONTROLA SPALANIA



Służy określeniu energetycznych i ekonomicznych efektów procesu spalania oraz określeniu wielkości strat występujących w procesie spalania. Wykonuje się ją w oparciu o analizę składu paliwa i składu produktów spalania - spalin. Rozróżnia się następujące straty:
Niecałkowitego spalania,

$$\%Q_{NC} = \frac{33900 \cdot C_{NC}}{Q_w} \cdot 100\%$$

Niezupełnego spalania,

$$\%Q_{NZ} = \frac{12470 \cdot [CO]}{Q_w} \cdot 100\%$$

Straty kominowe. Jest to największa pozycja wśród strat ciepła. Zależą od temperatury spalin odlotowych, od ich ilości oraz od współczynnika nadmiaru powietrza (wzrasta z nadmiarem powietrza, maleje ze wzrostem zawartości CO₂)

$$\%Q_K = \frac{V_{sp} \cdot C_{sp} (t_k - t_o)}{Q_w} \cdot 100\%$$

gdzie:

C_{NC} - niespalony węgiel pierwiastkowy (sadza),

[CO] - % objętościowy CO w spalinach,

C_{sp} - średnie ciepło właściwe spalin,

t_k - temperatura w kominie,

t_o - temperatura otoczenia,



**DZIĘKUJĘ
ZA UWAGĘ !**

"That was a really smart idea to
install central heating, wasn't it?"