



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

# **Paliwa stałe, ciekłe i gazowe**

## **Paliwa gazowe**

**Wydział Energetyki i Paliw  
Katedra Technologii Paliw**

## Literatura:

**Bąkowski K.: Sieci i instalacje gazowe, WNT Warszawa**

**Molenda J.: Gaz ziemny. Paliwo i surowiec, WNT Warszawa**

**Molenda J., Steczko K.: Ochrona środowiska w gazownictwie i wykorzystaniu gazu, WNT Warszawa**

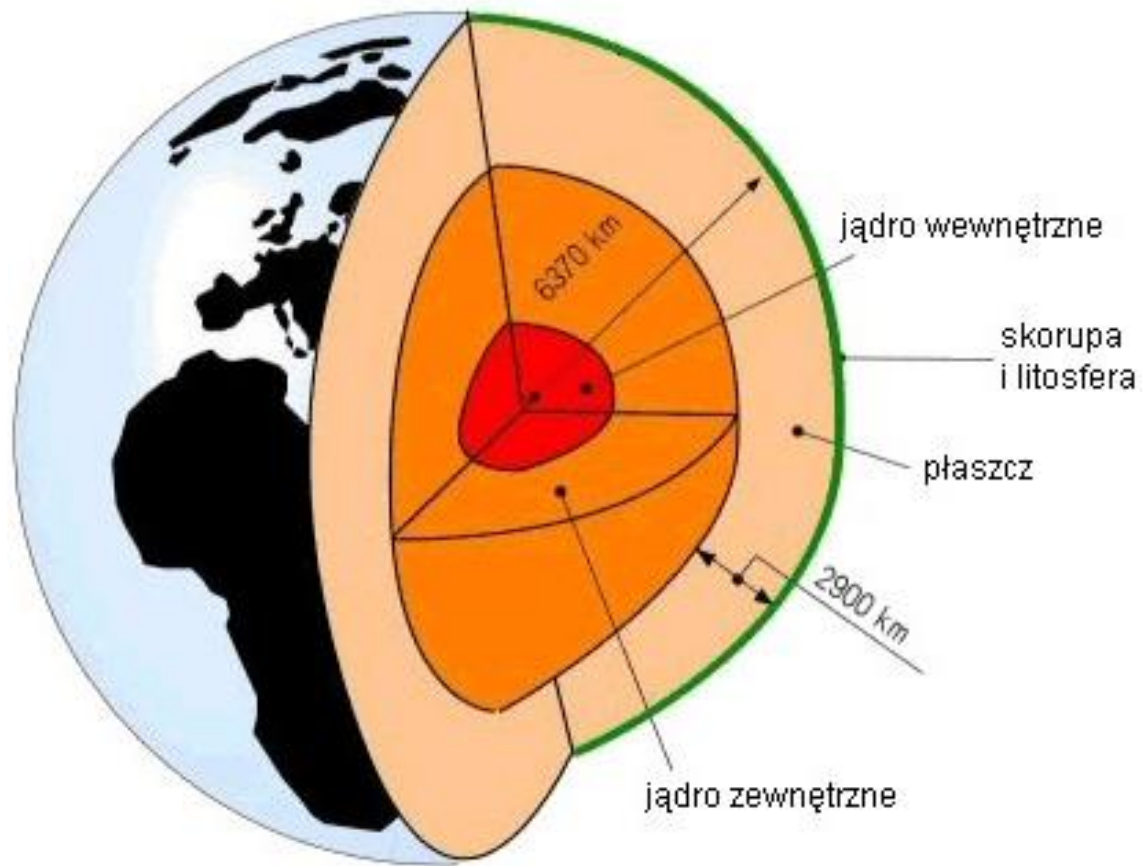
**Kogut K., Bytnar K.: Obliczanie sieci gazowych. Tom 1. Wydawnictwo AGH Kraków**

## Terminy zajęć:

**03, 10, 17 kwietnia**

**Egzamin z 3 części – 05 czerwca, godzina 7:45**

# Rodzaje skał



## Rodzaje skał

### **Magmowe – krystalizacja magmy:**

- **głębinowe – poniżej 1000m (granit, dioryt, noryt),**
- **wylewne (bazalt, porfir, obsydian),**
- **żyłowe (diabaz, porfir),**

### **Osadowe – procesy sedymentacji:**

- **plastyczne (piaski, żwiry, piaskowce, gliny),**
- **organogeniczne (szczątki organizmów roślinnych lub zwierzęcych, np. wapienie),**
- **chemiczne – substancja nieorganiczna wody morskiej (sól, gips),**

### **Metamorficzne – przeobrażenie skał magmowych i osadowych (marmur, kwarcyt, dolomit, gnejs):**

**Powstawanie skał osadowych można podzielić na cztery etapy:**

- **wietrzenie,**
- **transport – fale i przypiływy 1,5 km<sup>3</sup>, 12 km<sup>3</sup> rzeki,**
- **sedymencację (ił),**
- **diagenezę.**

### Trzy podstawowe typy:

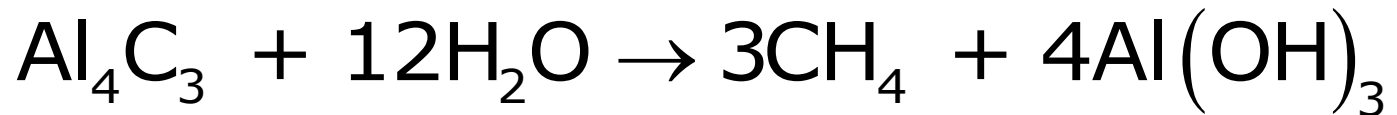
- gliny – (około 50%) drobnoziarniste skały ilaste składające się z soli kwasów krzemowych zawierające znaczne ilości tlenku glinu  $Al_2O_3$ ,
- piaski i piaskowce (skały luźne i zwięzłe) – (25-30%) dwutlenek krzemu  $SiO_2$ ,
- skały węglanowe – (około 20%) wapienie zawierające min. 75%  $CaCO_3$ , oraz dolomity zawierające co najmniej 50%  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ .

## Wiek skał osadowych

<b>Era</b>	<b>Okres</b>	<b>Wiek [mln lat]</b>	
<b>Kenozoiczna</b>	<b>czwartorzęd</b>	<b>1</b>	<b>50%</b>
	<b>trzeciorzęd</b>	<b>63</b>	
<b>Mezozoiczna</b>	<b>kreda</b>	<b>135</b>	<b>18%</b>
	<b>jura</b>	<b>181</b>	
	<b>trias</b>	<b>225</b>	
<b>Paleozoiczna</b>	<b>perm</b>	<b>280</b>	<b>15%</b>
	<b>karbon</b>	<b>345</b>	
	<b>dewon</b>	<b>405</b>	
	<b>sylur i ordowik</b>	<b>500</b>	
	<b>kambr</b>	<b>570</b>	
<b>Prekambr</b>			

**Na dnie mórz i oceanów od czasu starożytnego Egiptu powstał osad o grubości około 1 m.**

**XIX w. hipoteza o działaniu kwasu węglowego na metale alkaliczne w podwyższonej temperaturze i w obecności wody (Mendelejew).**





## Pochodzenie gazu ziemnego - nieorganiczne

**1971 – hipoteza Weismanna o przemianach nieorganicznych podczas wdzieraniu się magmy w skały węglanowe.**

**Następował termiczny rozkład węglanów, a powstający ditlenek węgla reagował z wodorem (wydzielonym z magmy) tworząc metan.**

**Teorie kosmiczne – skład atmosfery planet Jupitera, Saturna, Uranu i Neptuna to głównie metan.**

## Pochodzenie gazu ziemnego - organiczne

**Organiczna substancja wyjściowa, a nie sam proces przemiany tej substancji.**

- 1. W warstwach skał osadowych występują prawie wszystkie złoża gazu ziemnego. W skałach osadzających się współcześnie zawsze stwierdza się obecność śladów węglowodorów.**
- 2. Złoża gazu ziemnego rozprzestrzenione są nierównomiernie.**
- 3. Duże złoża powiązane są z basenami sedymentacyjnymi obejmującymi głęboko leżące warstwy skał osadowych pochodzące z okresów geologicznych o bujnym życiu biologicznym.**

## Pochodzenie gazu ziemnego - organiczne

### Rodzaje substancji organicznej skał osadowych:

- substancja typu sapropelowego – będąca produktem rozkładu i polimeryzacji substancji organicznej zawierającej dużo lipidów (np. fitoplankton). Długie łańcuchy alifatyczne i nieliczne pierścienie, duża wartość stosunku  $H:C = 1,3-1,7$
- substancja typu humusowego – będąca produktem rozkładu i polimeryzacji ligniny, celulozy oraz innych związków zawartych w ściankach komórek roślin lądowych. Duża liczba skondensowanych pierścieni aromatycznych z małą liczbą grup metylowych i łańcuchów bocznych, mała wartość stosunku  $H:C < 0,9$ .

## Pochodzenie gazu ziemnego - organiczne

**Kerogen – według hipotezy Hunta powstaje z macierzystej rozproszonej substancji organicznej w pierwszym stadium przemiany – Diagenecie.**

**Dalsze ogrzewanie kerogenu prowadzi do powstania gazu ziemnego i ropy naftowej.**

**Kerogen humusowy – powstawanie gazu ziemnego.  
Stosunek H:C < 0,8-0,9 i zawartość wodoru około 3-5%.**

**Kerogen sapropelowy – powstawanie ropy naftowej.  
Stosunek H:C > 1 i zawartość wodoru powyżej 6%.**

## Przemiany substancji organicznej

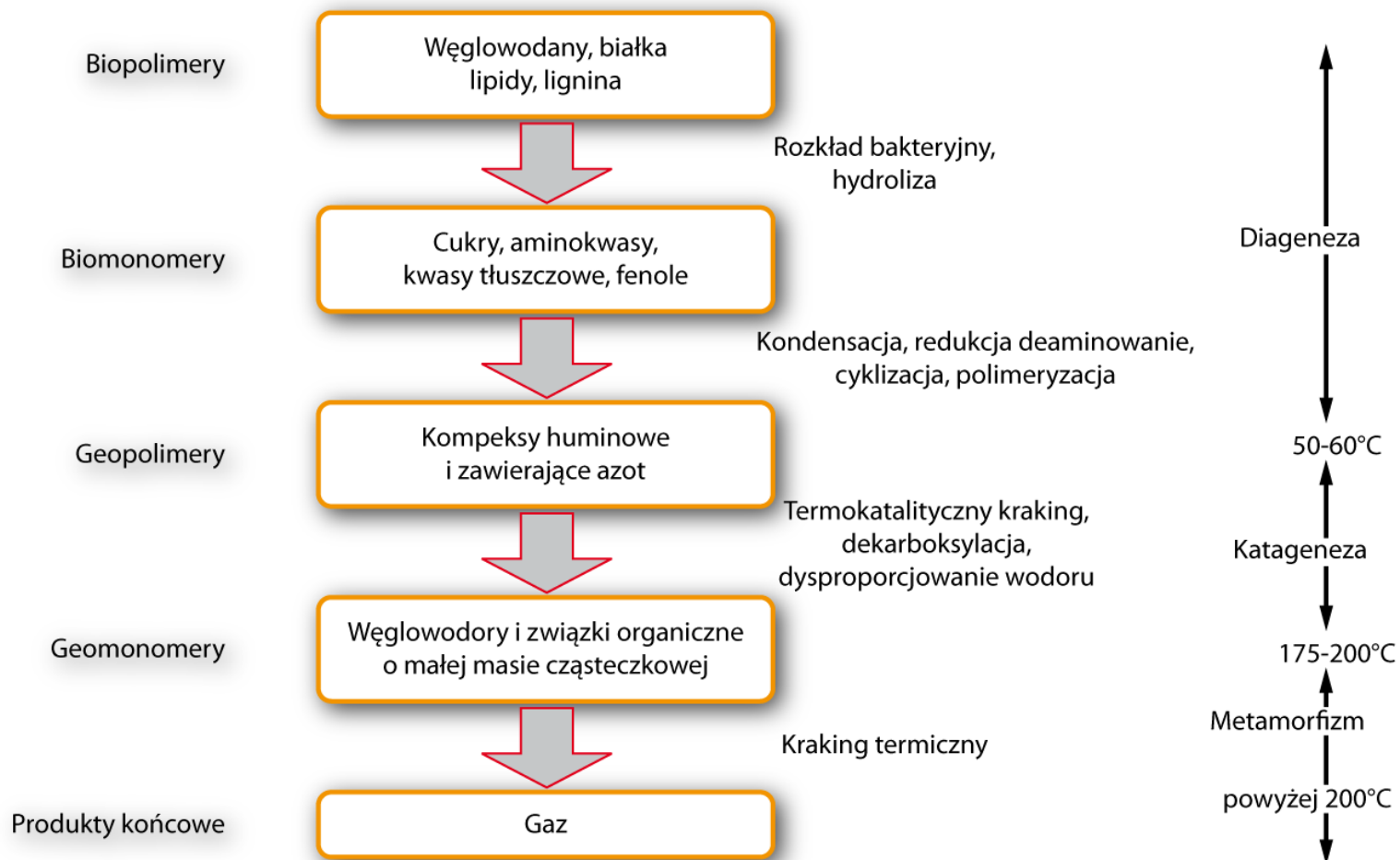
- 1. Diageneza – biochemiczne, chemiczne i fizyczne przemiany substancji organicznej do czasu, gdy znaczący wpływ posiada temperatura. Stadium przebiega na głębokościach w których temperatura jest zbyt niska, aby mógł nastąpić termiczny rozkład biopolimerów.**
- 2. Katageneza – przemiany termiczne w temperaturze do 200°C.**
- 3. Metamorfizm – przemiany wysokotemperaturowe (powyżej 200°C).**

**Najważniejsze są procesy katalityczne przebiegające stadium katagenezy. Powstaje wówczas około 90% węglowodorów**

# Przemiany substancji organicznej

Substancja organiczna i procesy jej przemian

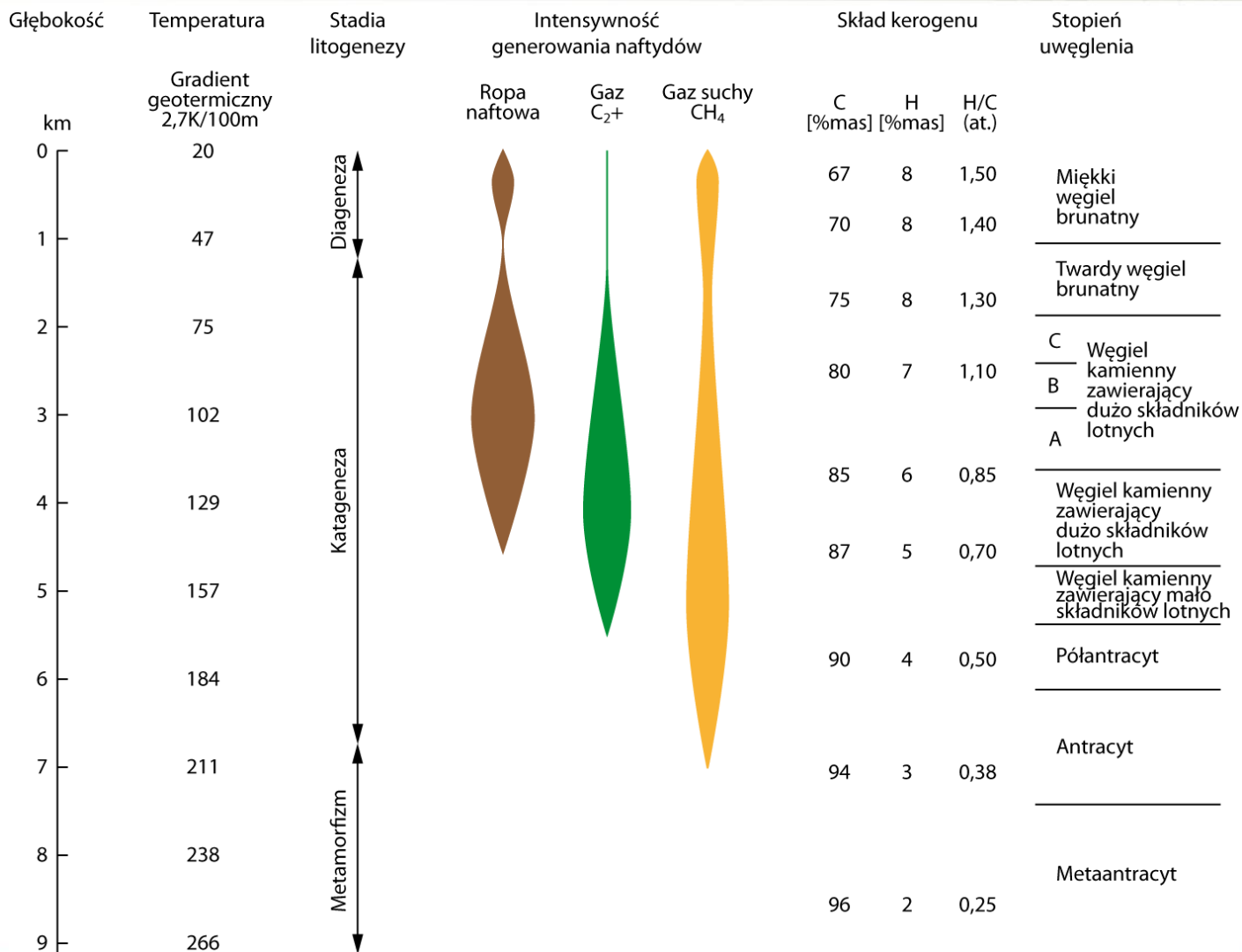
Stadia przemian i ich granice temperaturowe





AGH

# Dojrzwianie kerogenu





AGH

## Diageneza

**Procesy niskotemperaturowe prowadzące do zmniejszenia zawartości tlenu, azotu i siarki oraz wzrostu liczby związków węglowych.**

**Związane z działalnością bakterii aerobowych, w wyniku której tworzą się głównie metan, ditlenek węgla i siarkowodór oraz etan, propan i butan.**

**Po wyczerpaniu zapasów tlenu następuje aktywizacja bakterii anaerobowych powodujących m.in. fermentację.**

**W stadium tym powstają związki o prostszej budowie. Procesy hydrolizy celulozy do tłuszczów, białek do aminokwasów oraz tłuszczów do kwasów tłuszczowych.**





**AGH**

## **Diageneza**

**Wytwarzanie węglowodorów jest skutkiem chemicznych i biochemicznych reakcji:**

- **dysproporcjonowania wodoru, prowadzące do tworzenia niektórych struktur aromatycznych,**
- **dakarboksylacji i uwodornienia nienasyconych kwasów tłuszczowych,**
- **dehydratacji i uwodornienia steroli.**

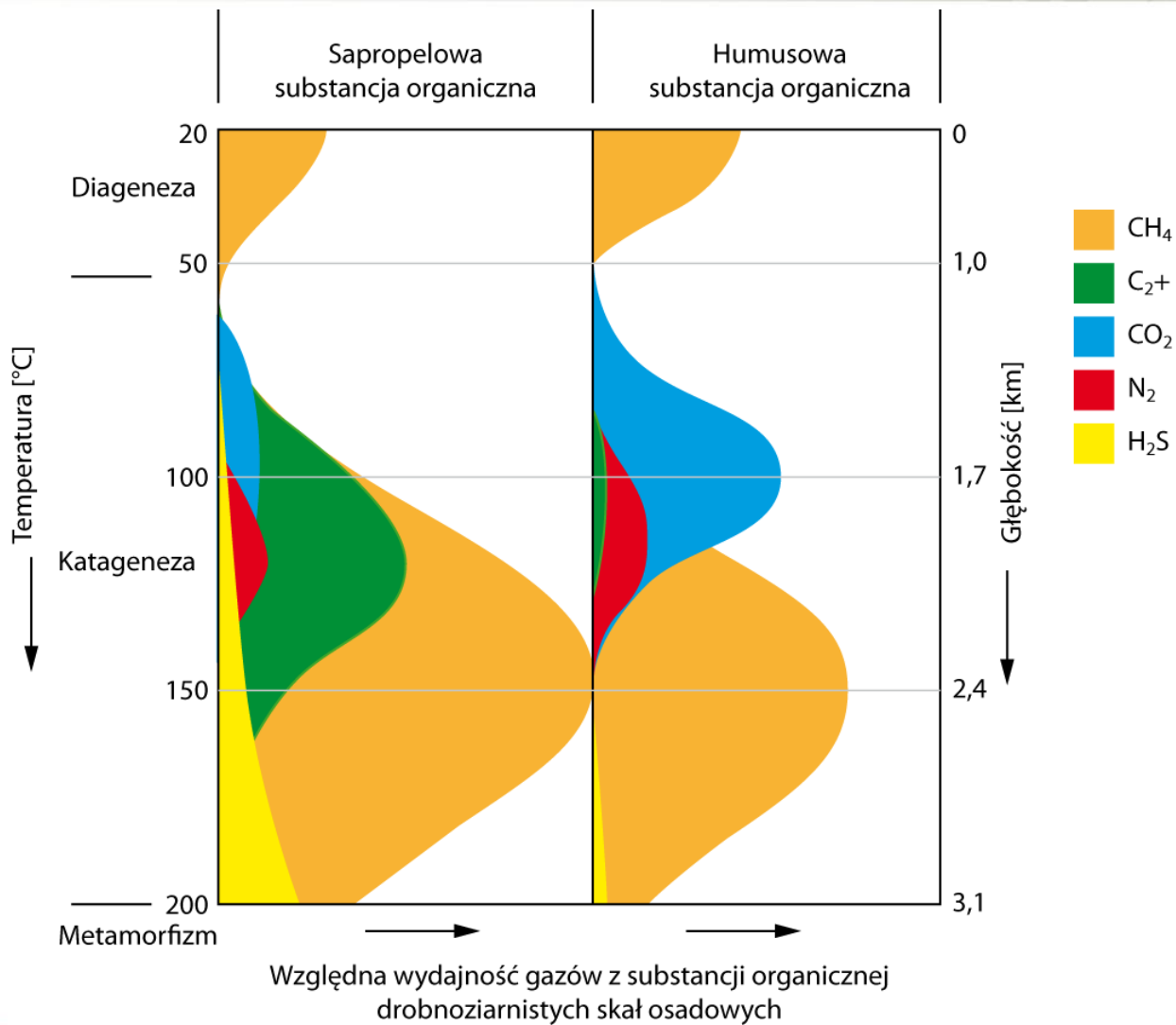
**W stadium katagenezy węglowodory tworzą się z substancji organicznej skał osadowych głównie dzięki powolnemu procesowi krakingu katalitycznego (do temperatury 120°C) oraz krakingu termicznego.**

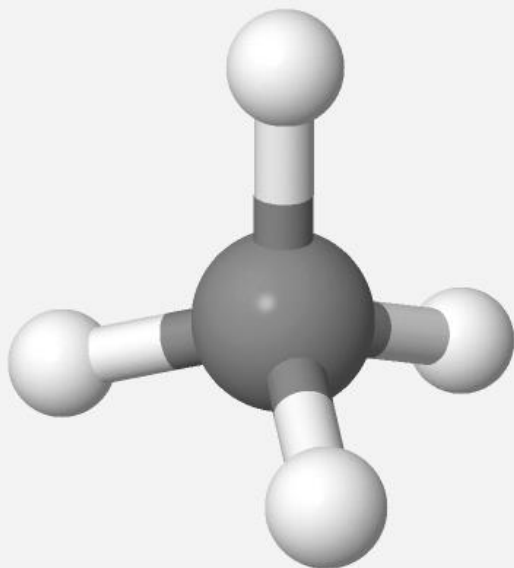
**Proces przemiany substancji organicznej w węglowodory nazywany jest dojrzewaniem kerogenu.**

## Tworzenie się gazów

- **etan i węglowodory cięższe od etanu tworzą się w temperaturach 70-150°C, przy czym następuje to ze znacznie większą intensywnością z substancji sapropelowej pochodzenia morskiego,**
- **ditlenek węgla pochodzenia organicznego tworzy się głównie z substancji typu humusowego,**
- **azot może pochodzić z powietrza atmosferycznego lub wytwarza się z substancji białkowych, poprzez amoniak; część azotu ma również pochodzenie głębinowe (o czym świadczy występowanie helu w zaazotowanych gazach ziemnych).**

# Tworzenie się gazów



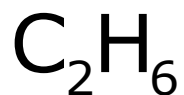
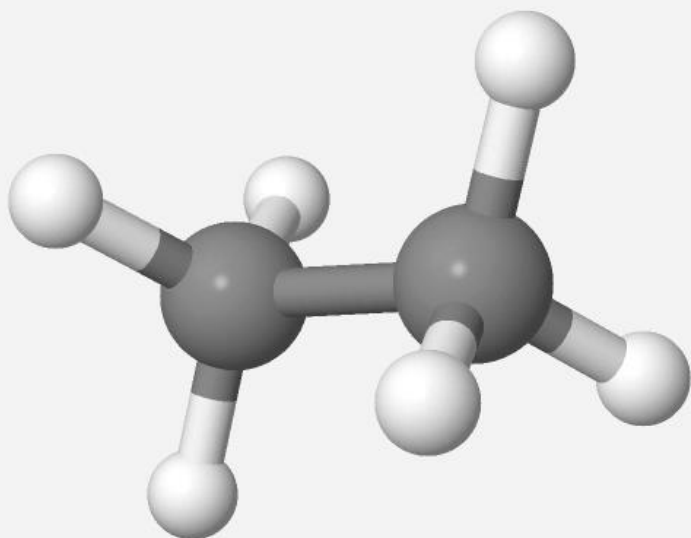


<b>Masa cząsteczkowa</b>	<b>g/mol</b>	<b>16,04</b>	
<b>Gęstość bezwzględna</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>0,72</b>	
<b>Gęstość względna</b>	<b>-</b>	<b>0,55</b>	
<b>Temperatura krytyczna</b>	<b>K</b>	<b>180,5</b>	
<b>Ciśnienie krytyczne</b>	<b>MPa</b>	<b>4,61</b>	
<b>Współczynnik ściśliwości</b>	<b>-</b>	<b>0,288</b>	
<b>Wartość opałowa</b>	<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>35,8</b>	
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>5,0</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>15,0</b>
<b>Zużycie powietrza</b>	<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>9,53</b>	



AGH

# Etan

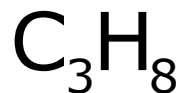
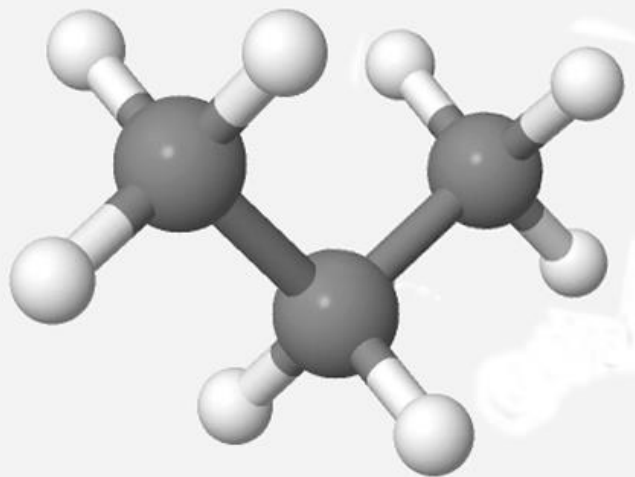


<b>Masa cząsteczkowa</b>	<b>g/mol</b>	<b>30,07</b>	
<b>Gęstość bezwzględna</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>1,34</b>	
<b>Gęstość względna</b>	<b>-</b>	<b>1,04</b>	
<b>Temperatura krytyczna</b>	<b>K</b>	<b>306,0</b>	
<b>Ciśnienie krytyczne</b>	<b>MPa</b>	<b>4,88</b>	
<b>Współczynnik ściśliwości</b>	<b>-</b>	<b>0,285</b>	
<b>Wartość opałowa</b>	<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>63,7</b>	
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>3,22</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>12,45</b>
<b>Zużycie powietrza</b>	<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>16,67</b>	



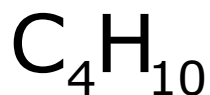
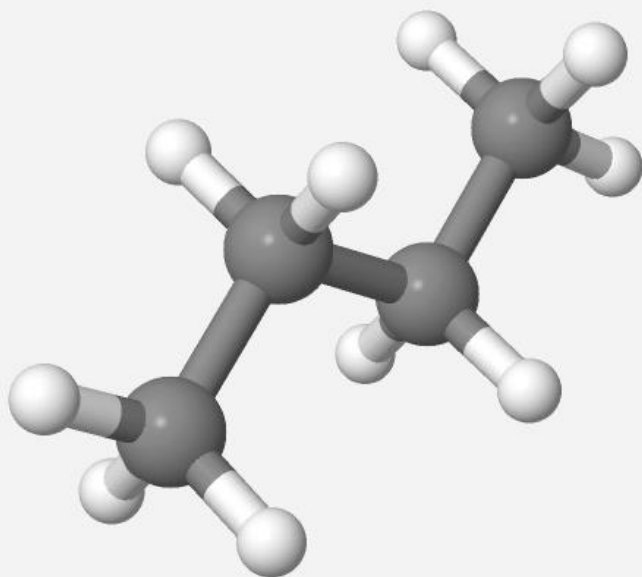
AGH

# Propan



<b>Masa cząsteczkowa</b>	<b>g/mol</b>	<b>44,09</b>	
<b>Gęstość bezwzględna</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>1,97</b>	
<b>Gęstość względna</b>	<b>-</b>	<b>1,52</b>	
<b>Temperatura krytyczna</b>	<b>K</b>	<b>369,6</b>	
<b>Ciśnienie krytyczne</b>	<b>MPa</b>	<b>4,25</b>	
<b>Współczynnik ściśliwości</b>	<b>-</b>	<b>0,281</b>	
<b>Wartość opałowa</b>	<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>91,1</b>	
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>2,37</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>9,5</b>
<b>Zużycie powietrza</b>	<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>23,82</b>	

## Butan (n-Butan)



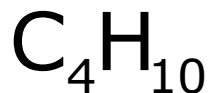
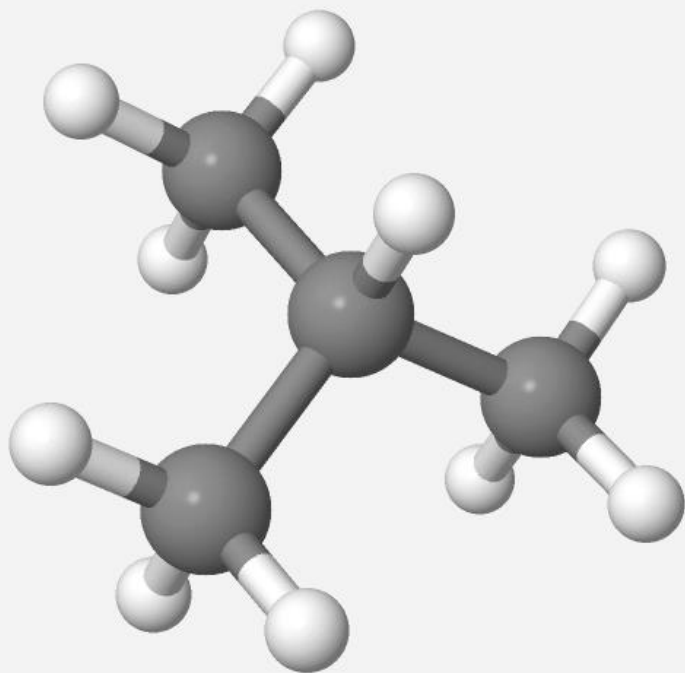
<b>Masa cząsteczkowa</b>	<b>g/mol</b>	<b>58,12</b>	
<b>Gęstość bezwzględna</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2,60</b>	
<b>Gęstość względna</b>	<b>-</b>	<b>2,01</b>	
<b>Temperatura krytyczna</b>	<b>K</b>	<b>452</b>	
<b>Ciśnienie krytyczne</b>	<b>MPa</b>	<b>3,80</b>	
<b>Współczynnik ściśliwości</b>	<b>-</b>	<b>0,274</b>	
<b>Wartość opałowa</b>	<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>118,5</b>	
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>1,86</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>8,41</b>
<b>Zużycie powietrza</b>	<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>30,97</b>	





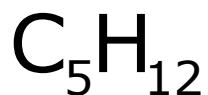
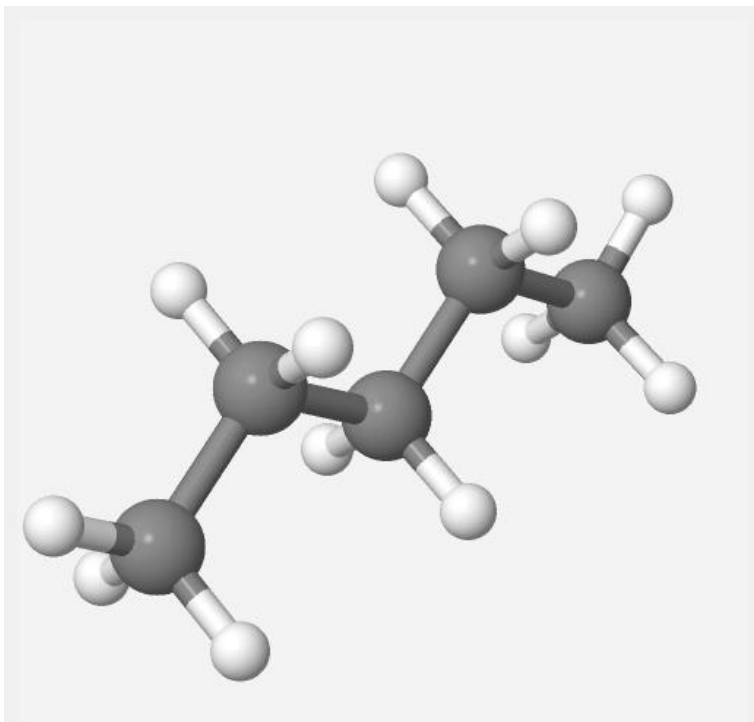
AGH

## izo-Butan (2-metylopropan)



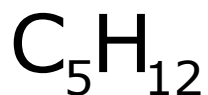
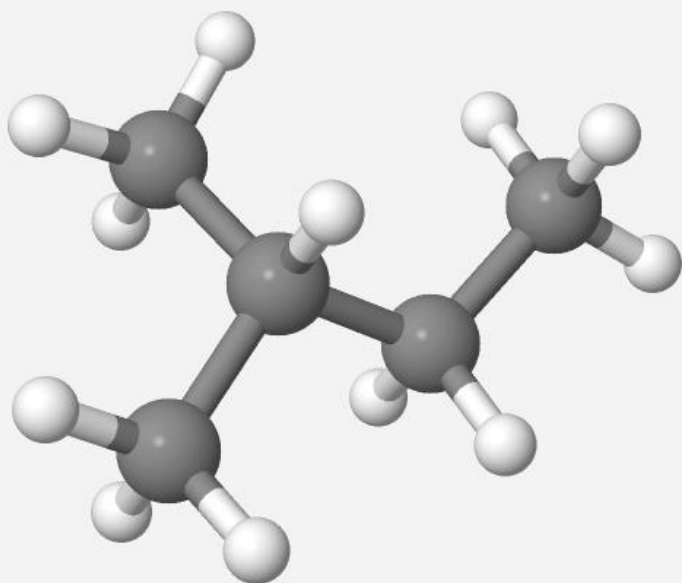
<b>Masa cząsteczkowa</b>	<b>g/mol</b>	<b>58,12</b>	
<b>Gęstość bezwzględna</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2,60</b>	
<b>Gęstość względna</b>	<b>-</b>	<b>2,01</b>	
<b>Temperatura krytyczna</b>	<b>K</b>	<b>407</b>	
<b>Ciśnienie krytyczne</b>	<b>MPa</b>	<b>3,65</b>	
<b>Współczynnik ściśliwości</b>	<b>-</b>	<b>0,283</b>	
<b>Wartość opałowa</b>	<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>118,2</b>	
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>1,8</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>8,44</b>
<b>Zużycie powietrza</b>	<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>30,97</b>	

## Pentan (n-Pentan)



<b>Masa cząsteczkowa</b>	<b>g/mol</b>	<b>72,15</b>	
<b>Gęstość bezwzględna</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>3,22</b>	
<b>Gęstość względna</b>	<b>-</b>	<b>2,49</b>	
<b>Temperatura krytyczna</b>	<b>K</b>	<b>470,2</b>	
<b>Ciśnienie krytyczne</b>	<b>MPa</b>	<b>3,37</b>	
<b>Współczynnik ściśliwości</b>	<b>-</b>	<b>0,262</b>	
<b>Wartość opałowa</b>	<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>146,2</b>	
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>1,4</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>7,8</b>
<b>Zużycie powietrza</b>	<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>38,11</b>	

## izo-Pentan (2-metylobutan)

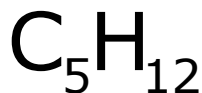
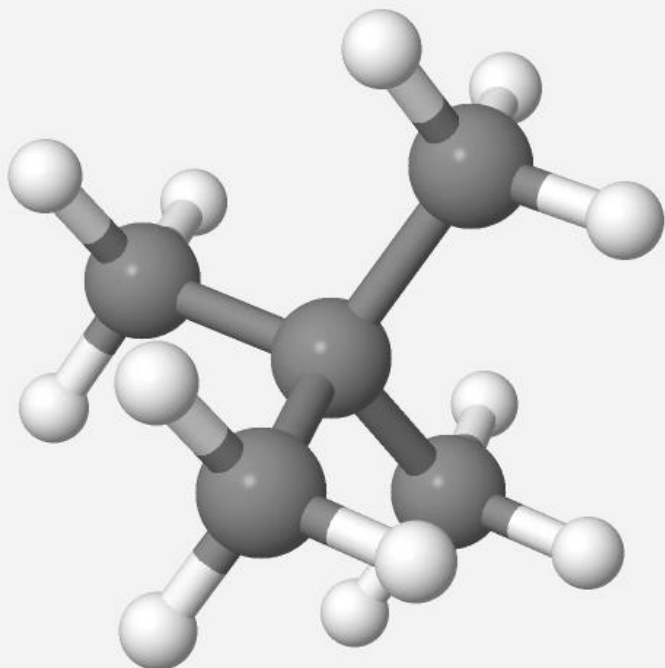


<b>Masa cząsteczkowa</b>		<b>g/mol</b>	<b>72,15</b>
<b>Gęstość bezwzględna</b>		<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>3,22</b>
<b>Gęstość względna</b>		<b>-</b>	<b>2,49</b>
<b>Temperatura krytyczna</b>		<b>K</b>	<b>460,7</b>
<b>Ciśnienie krytyczne</b>		<b>MPa</b>	<b>3,38</b>
<b>Współczynnik ściśliwości</b>		<b>-</b>	<b>0,270</b>
<b>Wartość opałowa</b>		<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>145,8</b>
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>1,32</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>8,0</b>
<b>Zużycie powietrza</b>		<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>38,11</b>



AGH

## neo-Pentan (2,2-dimetylopropan)

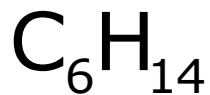
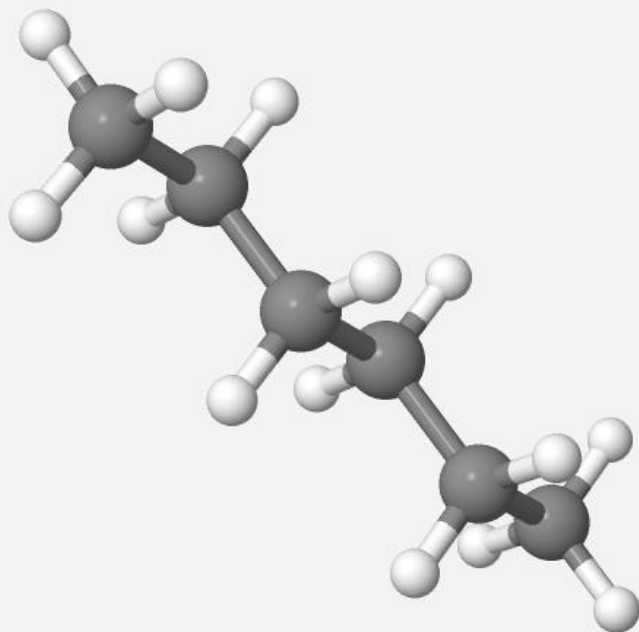


<b>Masa cząsteczkowa</b>	<b>g/mol</b>	<b>72,15</b>	
<b>Gęstość bezwzględna</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>3,22</b>	
<b>Gęstość względna</b>	<b>-</b>	<b>2,49</b>	
<b>Temperatura krytyczna</b>	<b>K</b>	<b>460,7</b>	
<b>Ciśnienie krytyczne</b>	<b>MPa</b>	<b>3,38</b>	
<b>Współczynnik ściśliwości</b>	<b>-</b>	<b>0,270</b>	
<b>Wartość opałowa</b>	<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>145,8</b>	
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>1,32</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>8,0</b>
<b>Zużycie powietrza</b>	<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>38,11</b>	



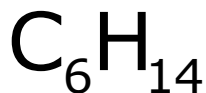
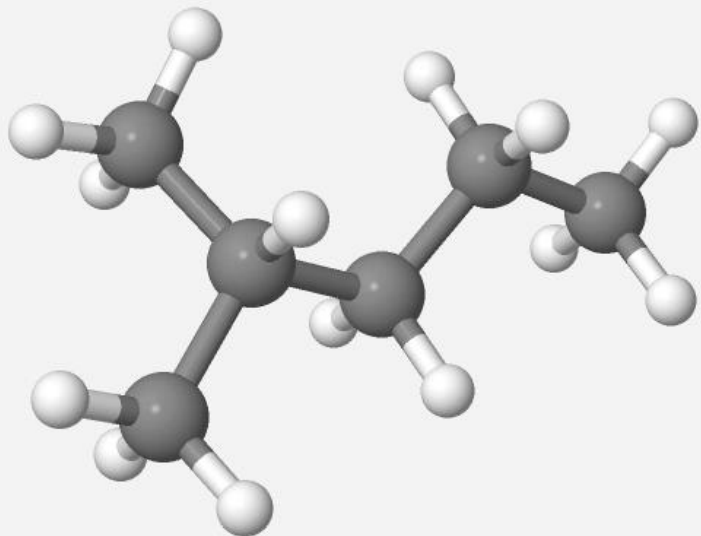
AGH

## Heksan (n-Heksan)



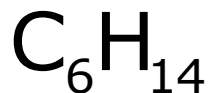
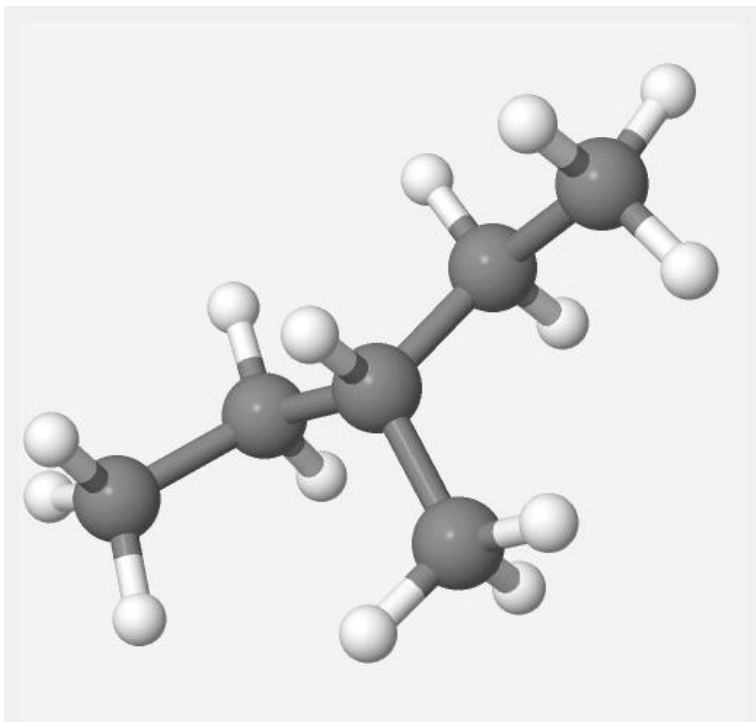
<b>Masa cząsteczkowa</b>	<b>g/mol</b>	<b>86,18</b>	
<b>Gęstość bezwzględna</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>3,88</b>	
<b>Gęstość względna</b>	<b>-</b>	<b>2,97</b>	
<b>Temperatura krytyczna</b>	<b>K</b>	<b>507,0</b>	
<b>Ciśnienie krytyczne</b>	<b>MPa</b>	<b>3,01</b>	
<b>Współczynnik ściśliwości</b>	<b>-</b>	<b>0,264</b>	
<b>Wartość opałowa</b>	<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>175,1</b>	
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>1,25</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>6,9</b>
<b>Zużycie powietrza</b>	<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>45,26</b>	

## izo-Heksan (2-metylopentan)



<b>Masa cząsteczkowa</b>		<b>g/mol</b>	<b>86,18</b>
<b>Gęstość bezwzględna</b>		<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>3,88</b>
<b>Gęstość względna</b>		<b>-</b>	<b>2,97</b>
<b>Temperatura krytyczna</b>		<b>K</b>	<b>507,0</b>
<b>Ciśnienie krytyczne</b>		<b>MPa</b>	<b>3,01</b>
<b>Współczynnik ściśliwości</b>		<b>-</b>	<b>0,264</b>
<b>Wartość opałowa</b>		<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>175,1</b>
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>1,25</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>6,9</b>
<b>Zużycie powietrza</b>		<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>45,26</b>

## neo-Heksan (3-metylopentan)

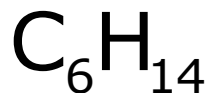
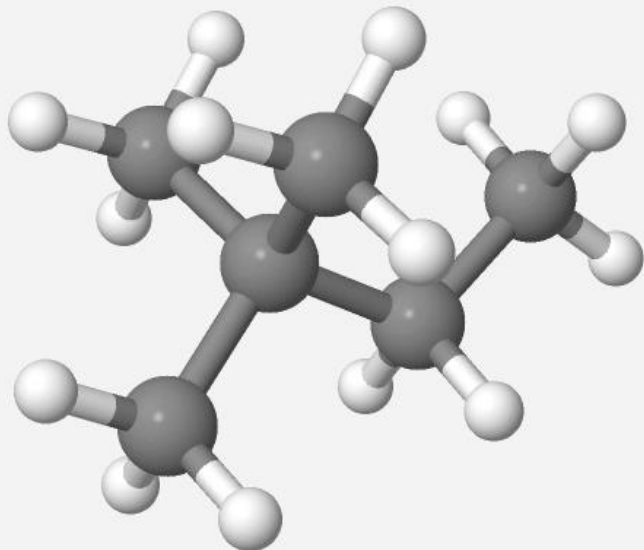


<b>Masa cząsteczkowa</b>		<b>g/mol</b>	<b>86,18</b>
<b>Gęstość bezwzględna</b>		<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>3,88</b>
<b>Gęstość względna</b>		<b>-</b>	<b>2,97</b>
<b>Temperatura krytyczna</b>		<b>K</b>	<b>507,0</b>
<b>Ciśnienie krytyczne</b>		<b>MPa</b>	<b>3,01</b>
<b>Współczynnik ściśliwości</b>		<b>-</b>	<b>0,264</b>
<b>Wartość opałowa</b>		<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>175,1</b>
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>1,25</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>6,9</b>
<b>Zużycie powietrza</b>		<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>45,26</b>



AGH

## neo-Heksan (2,2-dimetylobutan)



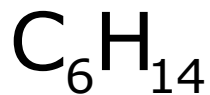
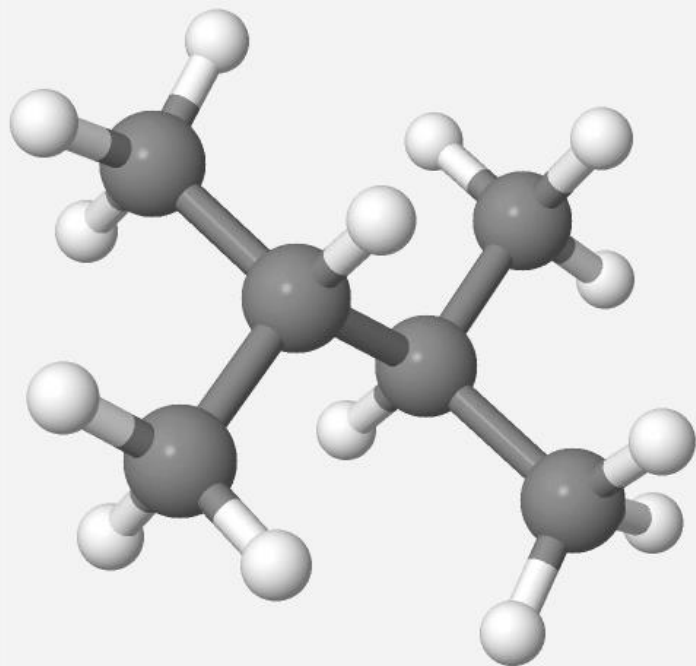
<b>Masa cząsteczkowa</b>	<b>g/mol</b>	<b>86,18</b>	
<b>Gęstość bezwzględna</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>3,88</b>	
<b>Gęstość względna</b>	<b>-</b>	<b>2,97</b>	
<b>Temperatura krytyczna</b>	<b>K</b>	<b>507,0</b>	
<b>Ciśnienie krytyczne</b>	<b>MPa</b>	<b>3,01</b>	
<b>Współczynnik ściśliwości</b>	<b>-</b>	<b>0,264</b>	
<b>Wartość opałowa</b>	<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>175,1</b>	
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>1,25</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>6,9</b>
<b>Zużycie powietrza</b>	<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>45,26</b>	





AGH

## neo-Heksan (2,3-dimetylobutan)



<b>Masa cząsteczkowa</b>	<b>g/mol</b>	<b>86,18</b>	
<b>Gęstość bezwzględna</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>3,88</b>	
<b>Gęstość względna</b>	<b>-</b>	<b>2,97</b>	
<b>Temperatura krytyczna</b>	<b>K</b>	<b>507,0</b>	
<b>Ciśnienie krytyczne</b>	<b>MPa</b>	<b>3,01</b>	
<b>Współczynnik ściśliwości</b>	<b>-</b>	<b>0,264</b>	
<b>Wartość opałowa</b>	<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>175,1</b>	
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>1,25</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>6,9</b>
<b>Zużycie powietrza</b>	<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>45,26</b>	

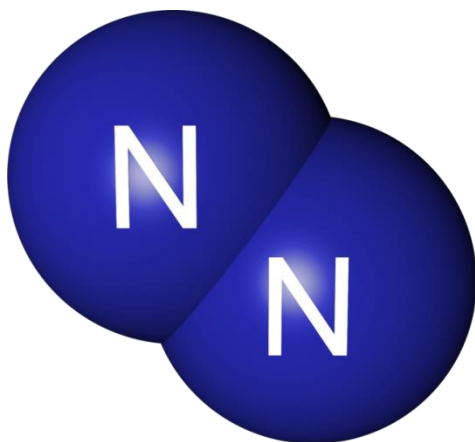


AGH

## Składniki niewęglowodorowe gazu ziemnego

### Azot:

- zawartość w gazach ziemnych od kilkudziesiątych do kilkudziesięciu procent,
- zasadnicza część pochodzi z powietrza atmosferycznego, w wyniku zachodzących reakcji podczas tworzenia nastąpiło „zużycie” tlenu i wzrost procentowej zawartości azotu,
- może również pochodzić z samej substancji organicznej, z której powstawały węglowodory,
- może przenikać z głębszych warstw skalnych (ze skał wulkanicznych). Produkt rozkładu amoniaku i soli amonowych przebiegających w temperaturach 1000-1200°C,
- w mineralnej (nieorganicznej) części skał osadowych azot adsorbuje się trudniej niż węglowodory, co podczas migracji gazu ziemnego powoduje wzbogacenie się w azot.



<b>Masa cząsteczkowa</b>	<b>g/mol</b>	<b>28,02</b>	
<b>Gęstość bezwzględna</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>1,25</b>	
<b>Gęstość względna</b>	<b>-</b>	<b>0,97</b>	
<b>Temperatura krytyczna</b>	<b>K</b>	<b>126,0</b>	
<b>Ciśnienie krytyczne</b>	<b>MPa</b>	<b>3,40</b>	
<b>Współczynnik ściśliwości</b>	<b>-</b>	<b>0,292</b>	
<b>Wartość opałowa</b>	<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>-</b>	
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>-</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>-</b>
<b>Zużycie powietrza</b>	<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>-</b>	



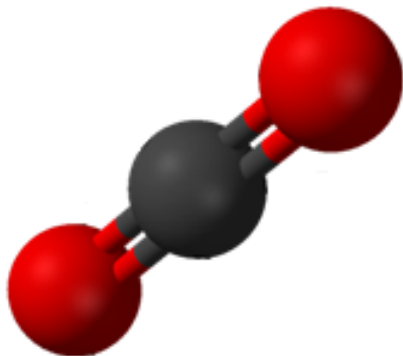
AGH

## Składniki niewęglowodorowe gazu ziemnego

### Ditlenek węgla:

- zawartość w gazach ziemnych do kilkudziesięciu procent (bardzo zmienna nawet w obszarze jednego złoża),
- w warstwach powierzchniowych Ziemi wydziela się w wyniku rozkładu substancji organicznej przebiegających z udziałem bakterii aerobowych,
- na znacznych głębokościach tworzenie się ditlenku węgla jest wynikiem termicznego rozkładu węglanów, pod wpływem wzrastającej wraz z głębokością temperatury,
- ditlenek węgla może przenikać również z gazów wulkanicznych, w których jego zawartość jest szczególnie wysoka,
- zmiany stężenia ditlenku węgla w migrującym gazie ziemnym spowodowane są różnymi zdolnościami migracyjnymi gazów, które wynikają m.in. z różnic gęstości.

## Ditlenek węgla (Dwutlenek węgla)



<b>Masa cząsteczkowa</b>	<b>g/mol</b>	<b>44,01</b>	
<b>Gęstość bezwzględna</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>1,98</b>	
<b>Gęstość względna</b>	<b>-</b>	<b>1,52</b>	
<b>Temperatura krytyczna</b>	<b>K</b>	<b>304,1</b>	
<b>Ciśnienie krytyczne</b>	<b>MPa</b>	<b>7,38</b>	
<b>Współczynnik ściśliwości</b>	<b>-</b>	<b>0,274</b>	
<b>Wartość opałowa</b>	<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>-</b>	
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>-</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>-</b>
<b>Zużycie powietrza</b>	<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>-</b>	



**AGH**

## **Składniki niewęglowodorowe gazu ziemnego**

### **Siarkowodór:**

- **zawartość w gazach ziemnych zmienia się w szerokich zakresach,**
- **powstaje w przemianach, jakim podlegają niektóre składniki substancji organicznej skał osadowych (przede wszystkim białka),**
- **tworzy się z siarczanów rozpuszczonych w wodach podziemnych przemieszczających się przez skały przepuszczalne,**
- **powstaje również z siarki elementarnej będącej produktem różnych reakcji przebiegających w litosferze.**



AGH

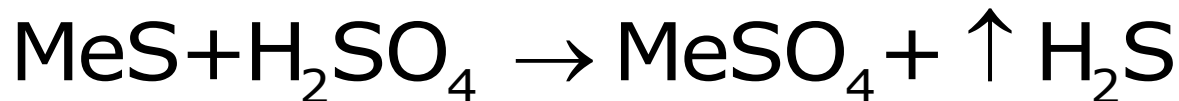
## Składniki niewęglowodorowe gazu ziemnego

### Siarkowodór:

- hipoteza biochemiczna – siarczany ulegają redukcji pod działaniem bakterii lub w wyniku reakcji z węglowodorami lub wodorem:



- reakcje podwójnej wymiany przebiegające w strefach utleniania rud siarczkowych. Produktem utleniania jest trójtlenek siarki, który rozpuszcza się w wodach podziemnych. Powstały kwas siarkowy reaguje z siarczkami metali (Me):



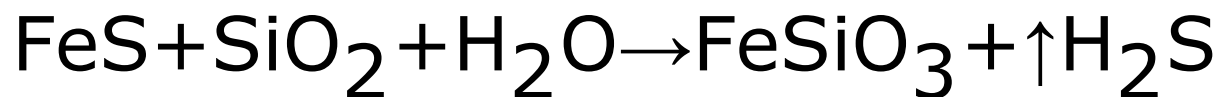


AGH

## Składniki niewęglowodorowe gazu ziemnego

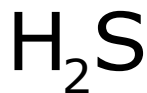
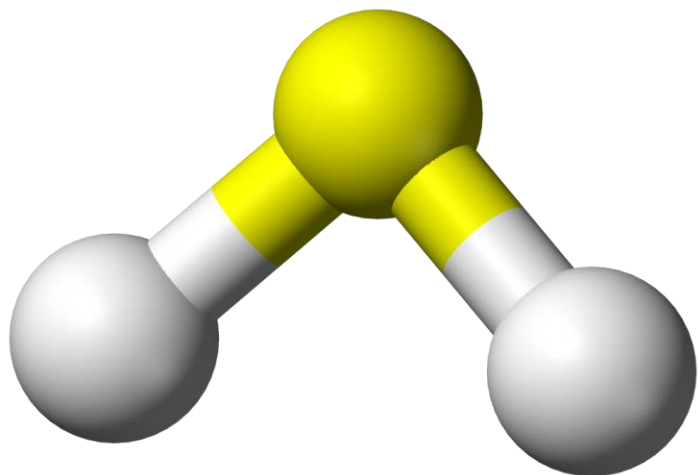
### Siarkowodór:

- hipoteza wulkaniczna – część siarkowodoru zawartego w skałach wulkanicznych i rudach siarczkowych jest pochodzenia magmowego, których powstaje w wyniku reakcji:



- gazy bogate w siarkowodór zazwyczaj zawarte są w warstwach skał węglanowych lub warstwach składających się przemiennie ze skał węglanowych i siarczanowych.





<b>Masa cząsteczkowa</b>	<b>g/mol</b>	<b>34,08</b>	
<b>Gęstość bezwzględna</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>1,54</b>	
<b>Gęstość względna</b>	<b>-</b>	<b>1,19</b>	
<b>Temperatura krytyczna</b>	<b>K</b>	<b>373,4</b>	
<b>Ciśnienie krytyczne</b>	<b>MPa</b>	<b>9,01</b>	
<b>Współczynnik ściśliwości</b>	<b>-</b>	<b>0,283</b>	
<b>Wartość opałowa</b>	<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>23,11</b>	
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>-</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>-</b>
<b>Zużycie powietrza</b>	<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>-</b>	

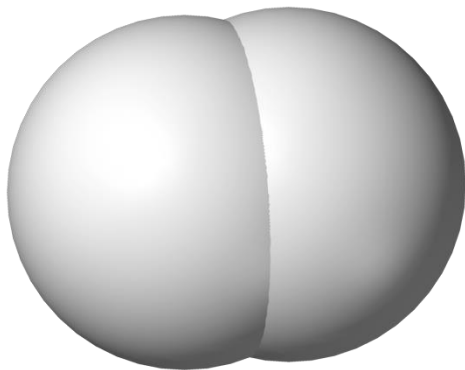


**AGH**

## **Składniki niewęglowodorowe gazu ziemnego**

### **Wodór:**

- **zawarty jest praktycznie we wszystkich gazach ziemnych chociaż zazwyczaj małych lub śladowych ilościach,**
- **dużą rolę w wytwarzaniu odgrywają przemiany substancji organicznej, podczas których wodór wydziela się w postaci związanej (węglowodór) lub jako wodór cząsteczkowy,**
- **głównym źródłem jest woda, która w skałach magmowych ulega termokatalitycznemu rozkładowi.**



<b>Masa cząsteczkowa</b>	<b>g/mol</b>	<b>2,02</b>	
<b>Gęstość bezwzględna</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>0,09</b>	
<b>Gęstość względna</b>	<b>-</b>	<b>0,07</b>	
<b>Temperatura krytyczna</b>	<b>K</b>	<b>33,2</b>	
<b>Ciśnienie krytyczne</b>	<b>MPa</b>	<b>1,30</b>	
<b>Współczynnik ściśliwości</b>	<b>-</b>	<b>0,283</b>	
<b>Wartość opałowa</b>	<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>10,79</b>	
<b>Granica wybuchowości</b>	<b>dolna</b>	<b>% obj.</b>	<b>4,00</b>
	<b>górna</b>	<b>% obj.</b>	<b>74,2</b>
<b>Zużycie powietrza</b>	<b>m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup></b>	<b>-</b>	



AGH

## **Składniki niewęglowodorowe gazu ziemnego**

### **Gazy szlachetne:**

- **znajdujące się w skorupie ziemskiej mogły powstać w reakcjach rozpadu promieniotwórczego, lub przeniknąć z atmosfery,**
- **pewne ilości gazu mogą być pochodzenia kosmicznego i zostały pochłonięte przez magmę w okresie powstawania Ziemi.**

### **Hel:**

- **powstaje głównie w wyniku odszczepienia cząstek  $\alpha$  ciężkich pierwiastków promieniotwórczych (uranu, toru, radu).**
- **Następnie migruje przez szczeliny i pęknięcia, a w sprzyjających okolicznościach gromadzi się znacznie większych ilościach (do kilku procent) w niektórych gazach ziemnych.**



AGH

## Składniki niewęglowodorowe gazu ziemnego

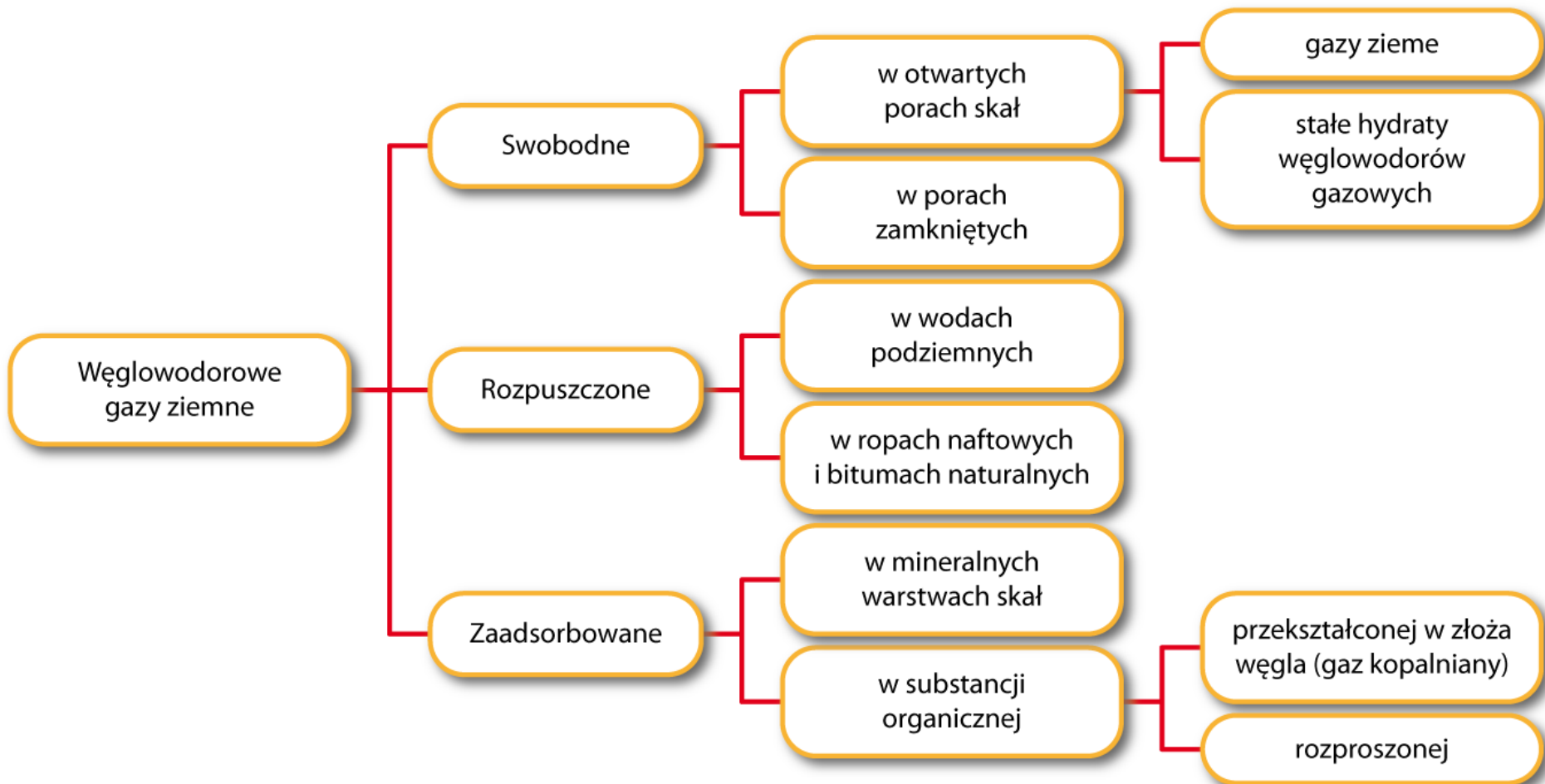
### Argon:

- powstaje w wyniku promieniotwórczego rozpadu potasu ( $^{40}\text{K}$ ) do izotopu Argonu  $^{40}\text{Ar}$ ,
- Potas jest znacznie bardziej rozpowszechniony w przyrodzie niż pierwiastki szeregu uranowo-torowego, z którego powstaje hel,
- zdecydowana większość (88,8%)  $^{40}\text{K}$  rozpada się z wydzielaniem  $^{40}\text{Ca}$ , a pozostała część z wydzielaniem argonu.

Stosunek objętościowych zawartości helu i argonu w gazie ziemnym wykorzystywany bywa do przybliżonego datowania złoża:

$$\frac{\text{He}}{\text{Ar}} \cdot 25\text{mln lat}$$

# Występowanie gazów węglowodorowych



## Klasyfikacja gazów węglowodorowych

Zawartość homologów metanu, % obj.

Typ gazu	Przedział wartości
metanowy	poniżej 1
suchy	1 ÷ 5
lekki	5 ÷ 10
ciężki	10 ÷ 15
bardzo ciężki	15

## Klasyfikacja gazów węglowodorowych

Zawartość kondensatu węglowodorowego, g/m<sup>3</sup>

Typ gazu	Przedział wartości
bezkondensatowy	poniżej 10
niskokondensatowy	10 ÷ 30
średniokondensatowy	30 ÷ 200
wysokokondensatowy	200 ÷ 500
unikalnie wysokokondensatowy	powyżej 500



## Klasyfikacja gazów węglowodorowych

Zawartość azotu, % obj.

Typ gazu	Przedział wartości
niskoazotowy	3÷10
średnioazotowy	10÷50
wysokoazotowy	powyżej 50

## Klasyfikacja gazów węglowodorowych

Zawartość siarki, % obj.

Typ gazu	Przedział wartości
bezsarkowy	poniżej 0,1
małosarkowy	0,1 ÷ 0,3
średniosarkowy	0,3 ÷ 1,0
wysokosarkowy	1,0 ÷ 10,0
unikalnie wysokosarkowy	10,0 ÷ 30,0
siarkowo-węglowodorowy	30,0 ÷ 50,0%
węglowodorowo-sarkowy	powyżej 50,0

Chodzi o zawartość siarkowodoru, a nie siarki.

# Klasyfikacja gazów węglowodorowych

Zawartość wodoru, % obj.

<b>Typ gazu</b>	<b>Przedział wartości</b>
<b>niskowodorowy</b>	<b>poniżej 1,0</b>
<b>średniowodorowy</b>	<b>1,0 ÷ 5,0</b>
<b>wysokowodorowy</b>	<b>5,0 ÷ 10,0</b>
<b>unikanie wysokowodorowy</b>	<b>10,0 ÷ 15,0</b>
<b>wodorowo-węglowodorowy</b>	<b>15,0 ÷ 30,0</b>
<b>węglowodorowo-węglowy</b>	<b>powyżej 30,0</b>

## Klasyfikacja gazów węglowodorowych

Zawartość dwutlenku węgla, % obj.

Typ gazu	Przedział wartości
o małej zawartości CO <sub>2</sub>	3÷5
o średniej zawartości CO <sub>2</sub>	5÷15
o dużej zawartości CO <sub>2</sub>	15÷30
o unikalnie dużej zawartości CO <sub>2</sub>	30÷50
gazy zawierające głównie CO <sub>2</sub> z domieszką węglowodorów	powyżej 50,0



AGH

## Klasyfikacja gazów według PN-C-04750:2011

Rodzina gazów wg PN-EN-437	Polskie nazwy w zakresie rodzin wg PN-EN-437	Grupa	
		nazwa	symbol
Gazy pierwszej rodziny lub gazy związane z pierwszą rodziną	Gazy wytwarzane metodami przemysłowymi	niskokaloryczne	Sn
		średniokaloryczne	Ss
		wysokokaloryczne	Sw
	Mieszanki gazów węglowodorowych z powietrzem	mieszanki C3-C4	c
		mieszanki GZ	e
Gaz ziemny	Grupa Lm	Lm	
Gazy drugiej rodziny lub gazy związane z drugą rodziną	Gazy ziemne	Grupa Ln	Ln
		Grupa Ls	Ls
		Grupa Lw	Lw
		Grupa E	E
Gazy trzeciej rodziny	Gazy skroplone C3-C4	butan techniczny	B
		propan-butan	B/P
		propan techniczny	P
Gazy niezwiązane z żadną rodziną	Biogazy		BG