



Adam Jerzy Rajewski

Division of Thermodynamics
Institute of Heat Engineering
Warsaw University of Technology



BIOMASA JAKO MAGAZYN ENERGII

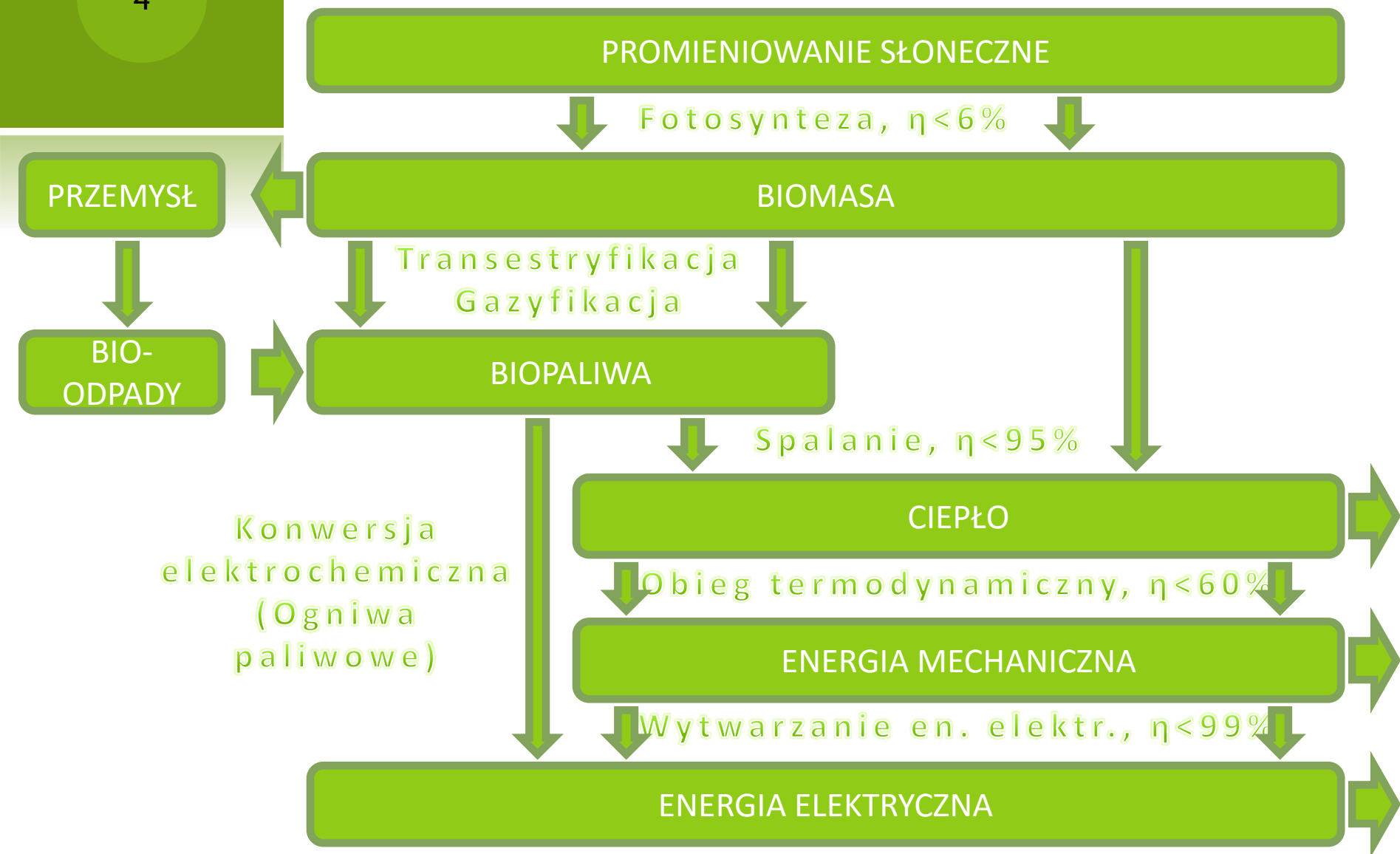
TEORIA

CZYM JEST BIOMASA?

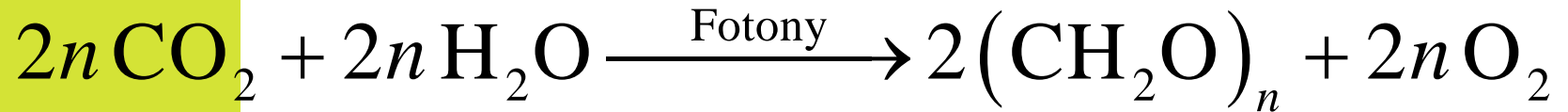
- ⊙ W ekologii: materiał biologiczny pochodzący z organizmów żywych lub niedawno żyjących.
- ⊙ W prawie (UE): biodegradowalna część produktów i odpadów z rolnictwa, leśnictwa i związanych branż przemysłu a także biodegradowalna część odpadów przemysłowych i komunalnych.
- ⊙ Fizycznie: biomasa jest akumulatorem energii słonecznej zmagazynowanej w procesie fotosyntezy.

SCHEMAT KONWERSJI ENERGII

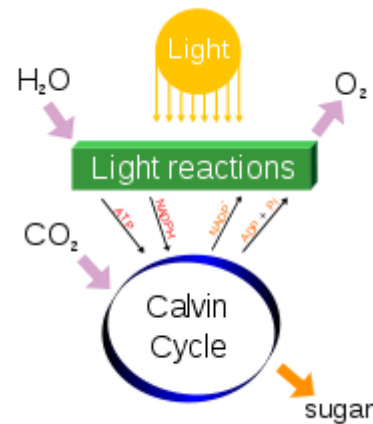
4



FOTOSYNTeza



Dwutlenek węgla + Woda ➔ Cukier + Tlen



FOTOSYNTEZA



**4-6 % ENERGII SŁONECZNEJ JEST PRZETWARZANE
W ENERGIĘ CHEMICZNĄ BIOMASY, KTÓRĄ MOŻNA WYKORZYSTAĆ**

- ⊙ Związki organiczne
- ⊙ Składają się z:
 - ⊙ węgla,
 - ⊙ wodoru,
 - ⊙ tlenu,
 - ⊙ azotu,
 - ⊙ śladowych ilości składników alkalicznych.

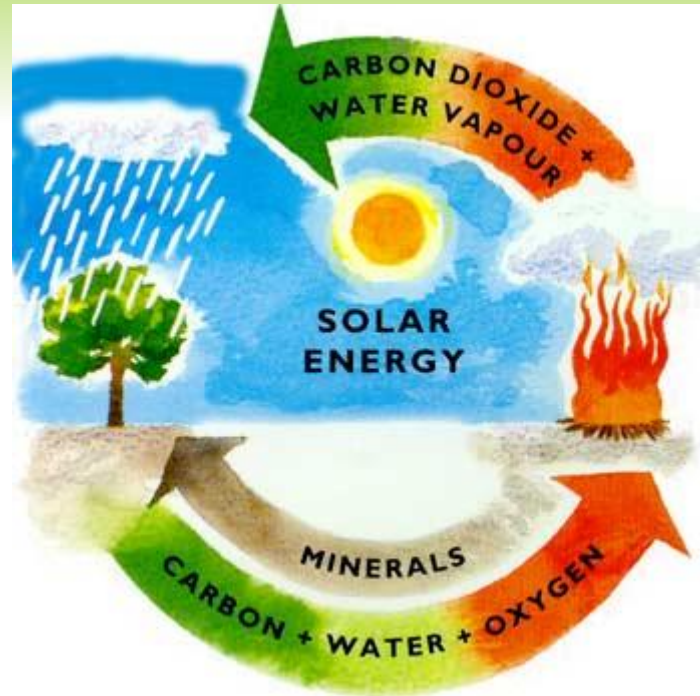
Biomasa jest palna

BIOMASA

MAGAZYN ENERGII CHEMICZNEJ

- ◎ Składowanie długoterminowe
 - ◎ Długość życia organizmu
 - ◎ Składowanie biomasy (ograniczone w czasie)
- ◎ Bezpośrednie wykorzystanie (spalanie)
- ◎ Produkcja przetworzonych biopaliw:
 - ◎ stałych,
 - ◎ ciekłych,
 - ◎ gazowych.

PO CO BIOMASA? ZAMKNIĘTY OBIEG CO₂



Biomasa jest paliwem
„zeroemisyjnym”.

BIOPALIWA WG STANU SKUPIENIA

Stałe

- Drewno okrągłe
- Zrębka drzewna, kora
- Wytłoczyny zbożowe
- Trawy, słoma

Ciekłe

- Bioestry / Biodiesel (FAME)
- Surowe oleje roślinne
- Oleje posmażalnicze

Gazowe

- Biogaz
- Gaz syntezowy (z gazyfikacji biomasy)

BIOPALIWA WG ŹRÓDŁA

„Surowe”

- Drewno
- Uprawy energetyczne (wierzba, topola, miskant)
- Surowe oleje roślinne

Odpadowe

- Trociny
- Drewno z zużytych produktów
- Olej posmażalniczy
- Biogaz z odpadów

BIOPALIWA WG GENERACJI

I generacja

- Bioetanol
- Biodiesel (biostry)
- Surowe oleje roślinne (jadalne)
- Biogaz i gaz syntezowy

II generacja

- Niejadalne oleje roślinne
- Biowodór
- Biometanol

III generacja

- Algi

BIOPALIWA

PARAMETRY OGÓLNE

Paliwo	Wartość opałowa (MJ/kg)	Uzysk masy (Mg/ha/a)	Uzysk energii	
			(GJ/ha/a)	(MWh/h/a)
Drewno (Drewno okrągłe, odpady z utrzymania lasu) @ 30% wilgotności	13	2,9 (2 suchej masy)	37	10,3
Wierzba energetyczna @ 30% wilgotności	13	12,9 (9 suchej masy)	167	46
Miskant @ 25% wilgotności	13	17,3 (13 suchej masy)	225	63
Słoma pszenna @ 20% wilgotności	13.5	4,6 (3,7 suchej masy)	62	17
Biodiesel (z oleju rzepakowego)	37	1,1	41	11,3
Bioetanol (z buraków cukrowych)	27	4,4	119	33
Bioetanol (z pszenicy)	27	2,3	62	17
Biogaz (z łąna)	20	0,88	18	4,9
Biogaz (z buraków cukrowych)	20	5,3	106	29

BIOPALIWA STAŁE

BIOMASA STAŁA

Pochodzenia leśnego

- Planowa wycinka lasu
- Utrzymanie lasu
- Odpady przemysłowe (przemysł drzewny, papierniczy)

Pochodzenia rolnego

- Odpady z przemysłu spożywczego
- Odpady rolne (np. łajno, słoma)
- Uprawy energetyczne

Odpady przemysłowe i komunalne

- Osady ściekowe
- Drewno z recyklingu

ZASTOSOWANIA BIOMASY STAŁEJ

Spalanie w dedykowanych kotłach/piecach

Współspalanie z paliwem kopalnym

Produkcja biopaliw ciekłych i gazowych

- Fermentacja → Bioalkohole
- Fermentacja → Biogaz
- Piroliza → Gaz drzewny

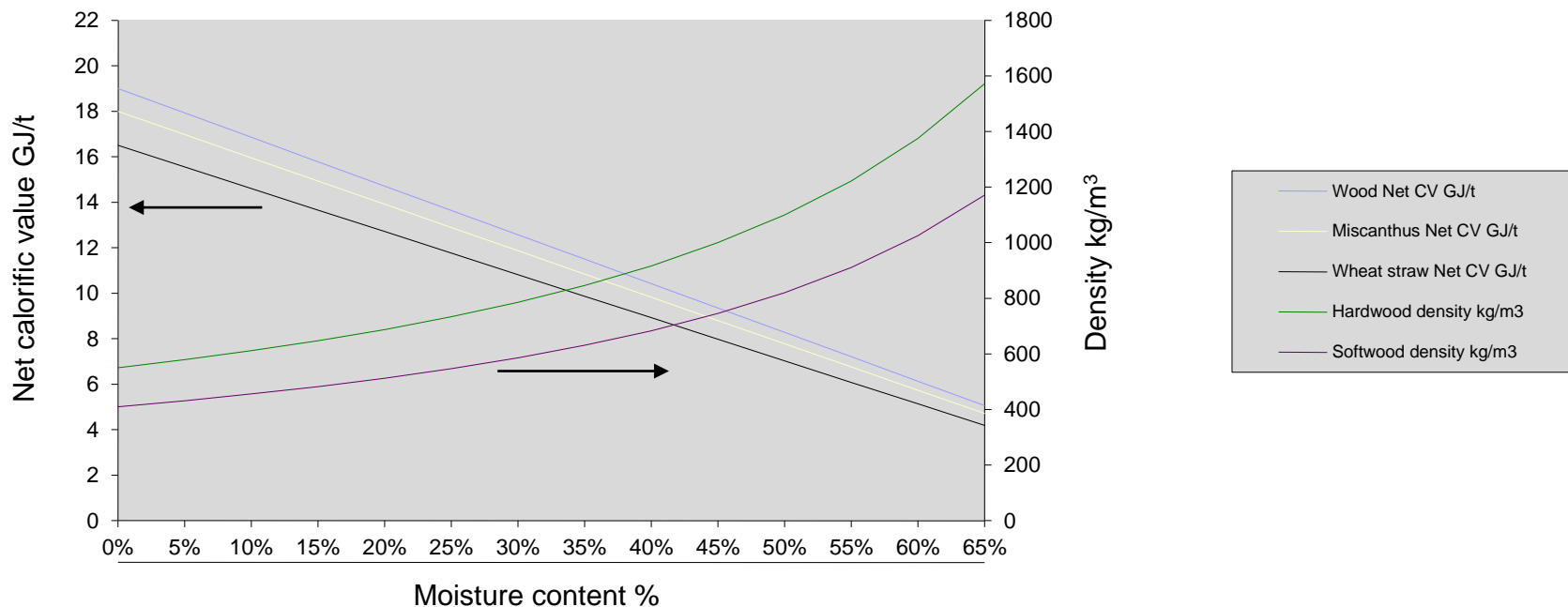
BIOMASA STAŁA A PALIWA KOPALNE

Paliwo	Wartość opałowa względem masy		Gęstość usypowa kg/m ³	Wartość opałowa względem obj.	
	GJ/Mg	MWh/Mg		MJ/m ³	kWh/m ³
Zrębka drzewna (wilgotność 30%)	12,5	3,5	250	3100	870
Drewno okrągłe, magazynowane na powietrzu (wilgotność 20%)	14,7	4,1	350-500	5200-7400	1400-2000
Drewno suszone	19	5,3	400-600	7600-11400	2100-3200
Pelety drzewne	17-18	4,7-5,0	600-700	10800-12600	3000-3500
Miskant (wilgotność 25%)	13	3,6	140-180	1800-2300	500-650
Węgiel do użytku domowego	27-31	7,5-8,6	850	25500-26300	7100-7300
Antracyt	33	9,2	1100	36300	10100
Olej grzewczy	42,5	11,8	845	36000	10000
Gaz ziemny	38,1	10,6	0,9	35,2	9,8
LPG	46,3	12,9	510	23600	6600

BIOMASA STAŁA

WPŁYW WILGOTNOŚCI

Wartość opałowa w funkcji wilgotności



BIOMASA Z LEŚNICTWA

- ⊙ Drewno, 11-22 MJ/kg
- ⊙ Kora, 18-20 MJ/kg
- ⊙ Zrębka, 6-16 MJ/kg
- ⊙ Trociny
- ⊙ Brykiety, 19-21 MJ/kg
- ⊙ Pelety, 16.5-17.5 MJ/kg

Dla porównania:

- ⊙ Węgiel brunatny, 9 MJ/kg
- ⊙ Węgiel kamienny, 18-32 MJ/kg



INSTALACJA ENERGETYCZNA NA BIOMASĘ

- ⊙ Moc ograniczona dostępnością paliwa
 - ⊙ przewóz drewna na dużą odległość nieopłacalny (chyba że odpowiednio wysokie subsydia...),
 - ⊙ instalacje opalane paliwem zbieranym lokalnie.
- ⊙ Komunalne ciepłownie i elektrociepłownie
- ⊙ Małe EC przemysłowe (np. przy tartakach)

ZRĘBKA DRZEWNA



- ⊙ Możliwa do stosowania w zautomatyzowanych układach podawania paliwa
- ⊙ Łatwiejsze spalanie w paleniskach przemysłowych
- ⊙ Większa jednorodność
- ⊙ Utrudnione (w por. z drewnem okrągłym) magazynowanie i suszenie
- ⊙ Opcja: rozdrabnianie bezpośrednio przed





FERNHEIZKRAFTWERK LINZ-MITTE

- ⊙ Operator: Linz Strom GmbH
- ⊙ Moc w paliwie: 35 MW – “odpadowe” drewno okrągłe
Rozdrabniane na miejscu
- ⊙ Rusztowy kocioł parowy
 - ⊙ Para świeża 67 bar(a), 462°C
- ⊙ Turbina parowa
- ⊙ Moc elektryczna brutto: 8,9 MW
- ⊙ Moc cieplownicza: 21 MW
- ⊙ Rok uruchomienia: 2005
- ⊙ Dostawca technologii spalania: Aalborg Energie Technik



Aalborg Energie Technik a/s



BRYKIETY I PELETY



- ⊙ Skompresowane i wytłaczane trociny
 - ⊙ Pelety – mniejsze, 6...12 mm
 - ⊙ Brykiety – większe, 50...100 mm × 60...150 mm (d × l)
- ⊙ Niska zawartość wilgoci
- ⊙ Użyteczne do zastosowań małej skali
- ⊙ Droższe od „surowej” biomasy
- ⊙ Standaryzowane

BIOMASA STAŁA Z UPRAW ROLNYCH

Odpady

- Słoma
- Wytłoczyny
- Odpady z owoców (pestki)
- Słoma

Dedykowane uprawy energetyczne



BIOMASA STAŁA Z UPRAW ROLNYCH



- ⊙ Komplikacje procesu spalania
 - ⊙ im młodsza biomasa, tym wyższa zawartość zanieczyszczeń alkalicznych,
 - ⊙ obniżenie temperatury mięknięcia popiołu,
 - ⊙ intensyfikacja szlakowania kotła.
- ⊙ Wymaga dedykowanych palenisk, słabo nadaje się do współspalania.

SŁOMA JAKO PALIWO



- ⊙ Tylko ok. 65% słomy znajduje zastosowanie w rolnictwie
- ⊙ Wysoka wilgotność
- ⊙ Wysoka zawartość zanieczyszczeń alkalicznych (szczególnie chloru)
- ⊙ Niska temperatura mięknięcia popiołu
- ⊙ Wysoka zawartość popiołu
- ⊙ Wymaga specjalnej konstrukcji paleniska

SŁOMA JAKO PALIWO

Typ słomy	W_u , sucha (MJ/kg)	Wilgotność, świeża (%)	W_u , świeża (MJ/kg)
Pszenna	17,3	12÷22	12,9÷14,9
Jęczmienna	16,1	12÷22	12,0÷13,9
Kukurydziana	16,8	50÷70	3,3÷7,2



- ◎ Największa elektrownia zasilana słomą na świecie
- ◎ Operator: Energy Power Resources Limited
- ◎ Paliwo: słoma, 200,000 Mg/a
- ◎ Kocioł parowy z rusztem wibrującym
 - ◎ para świeża 92 bar, 540°C
- ◎ Turbina parowa
- ◎ Moc elektryczna brutto: 38 MW
- ◎ Dostawca technologii kotłowej: FLS miljø, Dania



UPRAWY ENERGETYCZNE



- ◎ Uprawy o krótkiej rotacji
 - ◎ Zagajniki (SRC)
 - ◎ Lasy (SRF)
- ◎ Trawy
- ◎ Rośliny jadalne
 - ◎ cukrodajne
 - ◎ skrobiowe
 - ◎ oleiste
- ◎ Hydroponika

ZAGAJNIK O KRÓTKIEJ ROTACJI



- ◎ Szybkorosnące gatunki drzew
- ◎ Ścinanie przy pierśnicy na poziomie 10-20 cm
- ◎ Cykle od 8 do 20 lat
- ◎ Odpowiednie gatunki:
 - ◎ topola
 - ◎ wierzba

ZAGAJNIK O KRÓTKIEJ ROTACJI

Parametr	Jednostka	Topola	Wierzba
Gęstość sadzenia	ha ⁻¹	10,000...12,000	15,000
Plony (przybliżone)	Mg/ha/a	8	7...12
Cykl zbiorów	a	4 lub 5	2...5



LASY O KRÓTKIEJ ROTACJI

- ◎ Szybkorosnące gatunki drzew
- ◎ Ścinanie do niskiego pnia w okresie zimowym (pozwała na odrastanie w kolejnym sezonie)
- ◎ Cykle 2-5 lat
- ◎ Odpowiednie gatunki:
 - ◎ eukaliptus
 - ◎ bukan
 - ◎ topola
 - ◎ platan
 - ◎ dąb



TRAWY I ROŚLINY NIEDRZEWNE



- ⊙ Coroczne zbiory
- ⊙ Odpowiednie uprawy:
 - ⊙ Miskant
 - ⊙ Inne trawy
 - ⊙ Konopie (*Cannabis sativa*)

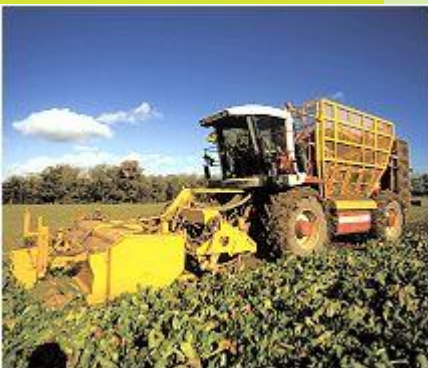


TRAWY A ZAGAJNIKI

Parametr	Jedn.	Topola	Wierzba	Miskant	Konopie
Gęstość sadzenia	ha ⁻¹	12 000	15 000	20 000	
Zbiory (masa sucha)	Mg/ha/a	8	7...12	14	9...11 (UK) 25 (NL)
Cykl zbiorów	a	4 or 5	2...5	1	1



UPRAWY ENERGETYCZNE: ROŚLINY JADALNE



Rośliny cukrodajne

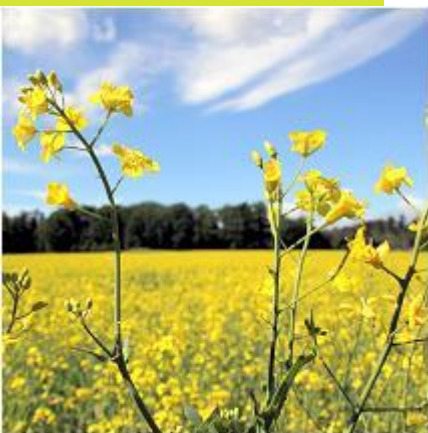
- Buraki cukrowe, trzcina cukrowa
- Przetwarzane na bioetanol

Rośliny skrobiowe

- Przenica, kartofle
- Spalanie (USA – zboża) lub przetwarzane na alkohol

Rośliny oleiste

- Rzepak, słonecznik, olejowiec gwinejski, jatrofa
- Wyłaczanie oleju; spalanie oleju surowego lub transestryfikacja do bioestrów



PRZEDSIĘBIORSTWO ENERGETYKI CIEPLNEJ SP. Z O.O. W PŁOŃSKU, POLAND



- ☉ Moc kotła: 10,2 MW_t (w parze)
- ☉ Moc elektryczna brutto: 2,1 MW
- ☉ Rok uruchomienia: 2008
- ☉ Dostawca technologii kotłowej: Gros-Pol, Poland
- ☉ Koszt inwestycyjny: 33,7 mln PLN
- ☉ Paliwo: drewno + wierzba



WYTŁOCZYNY Z BROWARU

Wytłoczyny



Zrębka drzewna



WYTŁOCZYNY Z BROWARU

Parametr	Jedn.	Wytłoczyny	Zrębka	Mieszanka
Wilgotność	%	58	45	52,4
Wartość opałowa masy suchej	MJ/kg	20,14	18,84	19,49
Wartość opałowa masy wilgotnej	MJ/kg	7,0	9,3	8,0
Bulk density	kg/m ³	257	236	247
Udział masowy (wilg.)	%	54,6	45,4	
Skład chemiczny (m.s.)				
C	%	51,2	50,9	51,1
H	%	7,0	6,3	6,7
N	%	3,63	0,1	1,9
S	%	0,27	0,02	0,15
Cl	%	0,015	0,011	0,01
O	%	34,485	41,169	37,8
Popiół	%	3,4	1,5	2,45

MANCHESTER - ELEKTROCIEPŁOWNIA ZASILANA WYTŁOCZYNAMI BROWARNICZYMI



- ⊙ Operator: Scottish & Newcastle
- ⊙ Lokalizacja: Manchester
- ⊙ Moc elektryczna: $2 \times 3,1$ MW
- ⊙ Moc ciepłownicza: $2 \times 7,4$ MW
- ⊙ Kotły z rusztem obrotowym (BioGrate®)
 - ⊙ Para świeża: 52 bar, 465°C
- ⊙ Dostawca: Wärtsilä, Finlandia



ROŚLINY WODNE

- ⊙ Nie wymagają gleby
- ⊙ Mikroalgi
- ⊙ Makroalgi
- ⊙ Wodorosty itd.

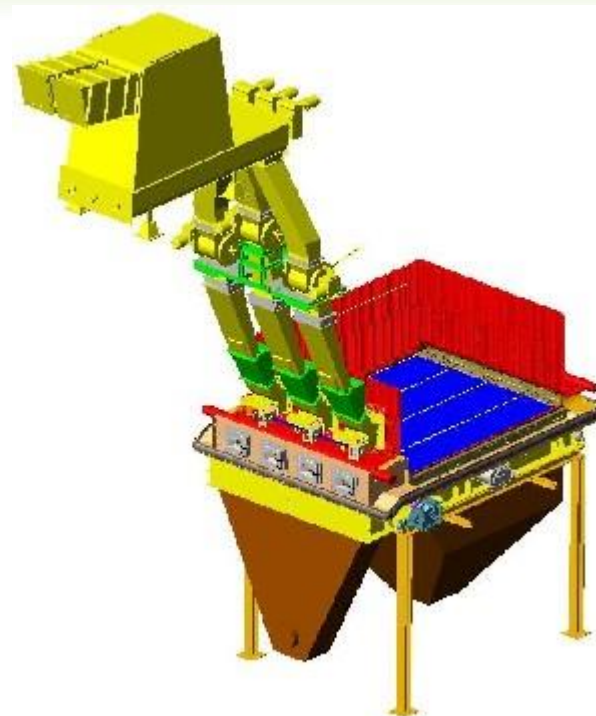
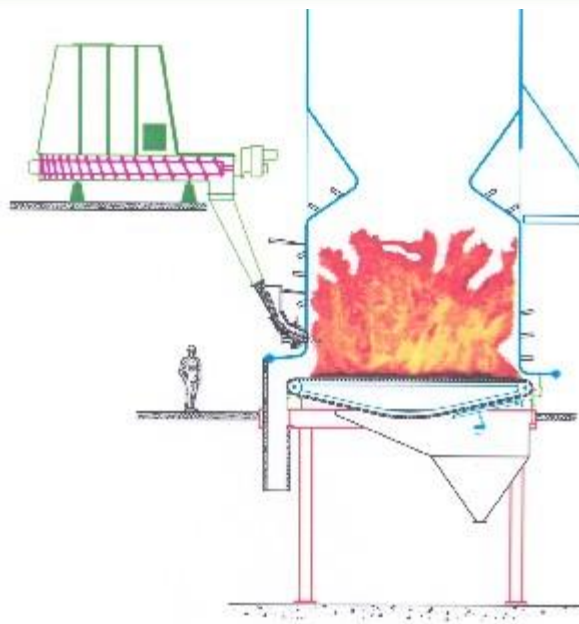
WSPÓŁSPALANIE BIOMASY Z PALIWEM KOPALNYM

- ⊙ Biomase można domieszkować do paliwa kopalnego (węgla)
- ⊙ „Stara” (leśna) biomasa może być dodawana do paliwa dla kotłów rusztowych, pyłowych lub fluidalnych do określonego poziomu
 - ⊙ konieczność suszenia biomasy przed dodaniem,
 - ⊙ wzrost kosztów remontów kotła (obniżenie temperatury mięknięcia popiołu prowadzi do sintensyfikacji szlakowania; przyspiesza się zużycie młynów węglowych)
- ⊙ Młoda biomasa pochodzenia rolniczego niezbyt nadaje się do współspalania ze względu na wysoką zawartość składników alkalicznych i niską temperaturę mięknięcia popiołu
- ⊙ Współspalanie relatywnie łatwo jest wdrożyć w dużych blokach energetycznych w przypadku istnienia zachęt finansowych. Może to doprowadzić do zakłóceń na rynku drewna.

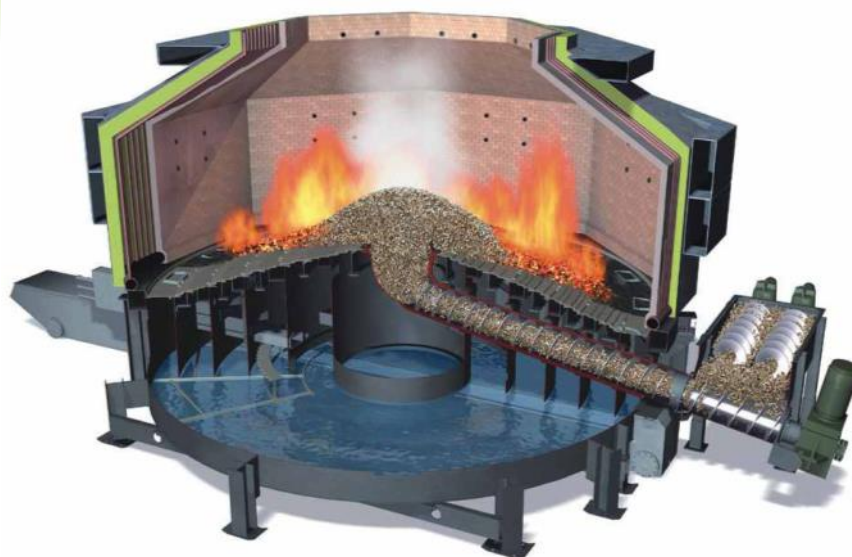


TECHNOLOGIA SPALANIA BIOMASY

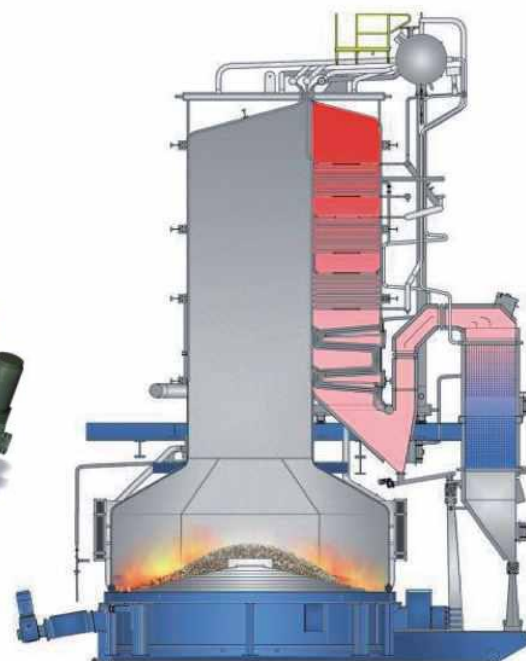
KOCIOŁ Z RUSZTEM MECHANICZNYM



TECHNOLOGIA SPALANIA BIOMASY KOCIOŁ Z RUSZTEM OBROTOWYM

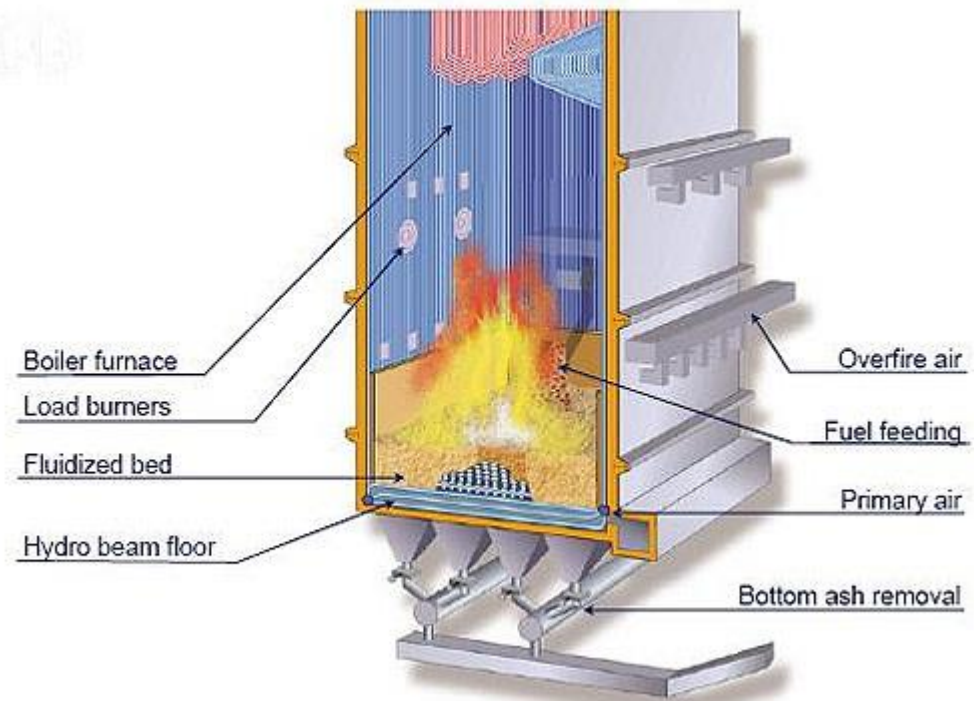
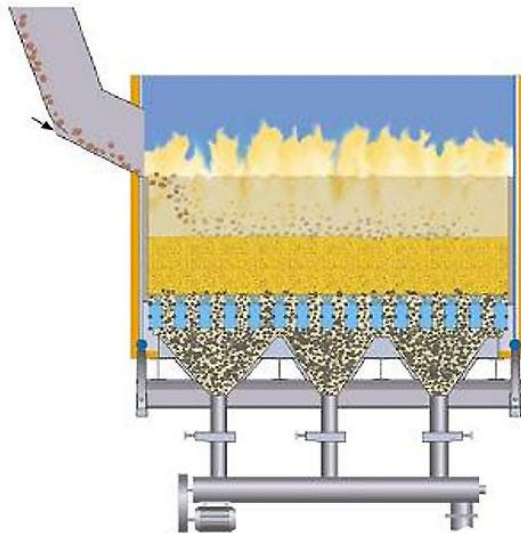



WÄRTSILÄ
mw power
metso-wärtsilä joint venture



TECHNOLOGIA SPALANIA BIOMASY

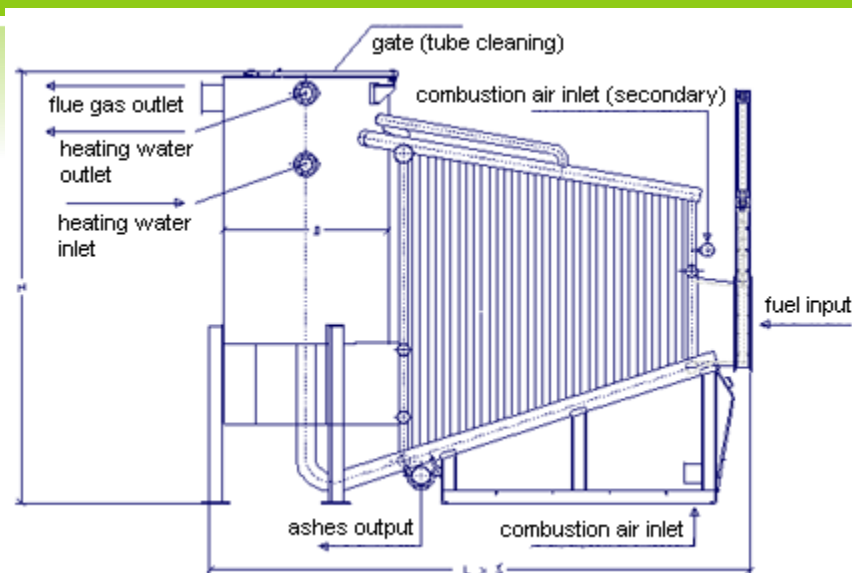
KOCIOŁ FLUIDALNY BFB



KOCIOŁ NA SŁOMĘ



KOCIOŁ NA SŁOMĘ



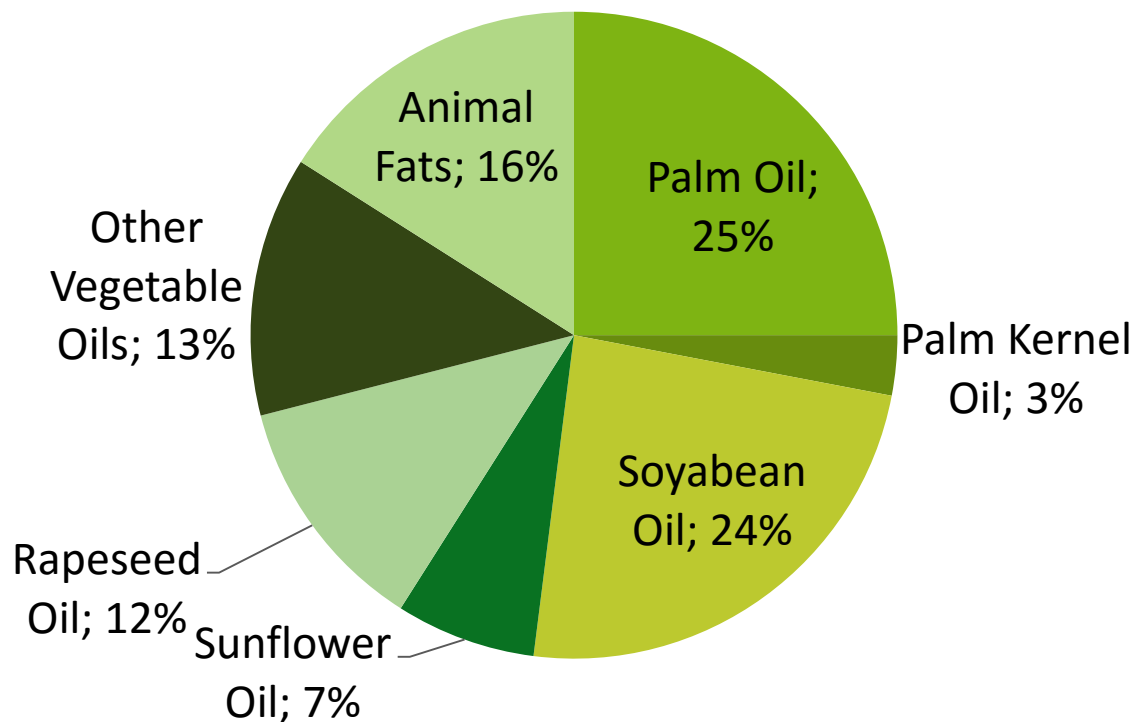
MAŁY KOCIOŁ LUB PIEC NA PELETY



BIOPALIWA CIEKŁE

GLOBALNA PRODUKCJA OLEJÓW I TŁUSZCZY W 2007

łącznie: 154 mln Mg (bez jatrofy)

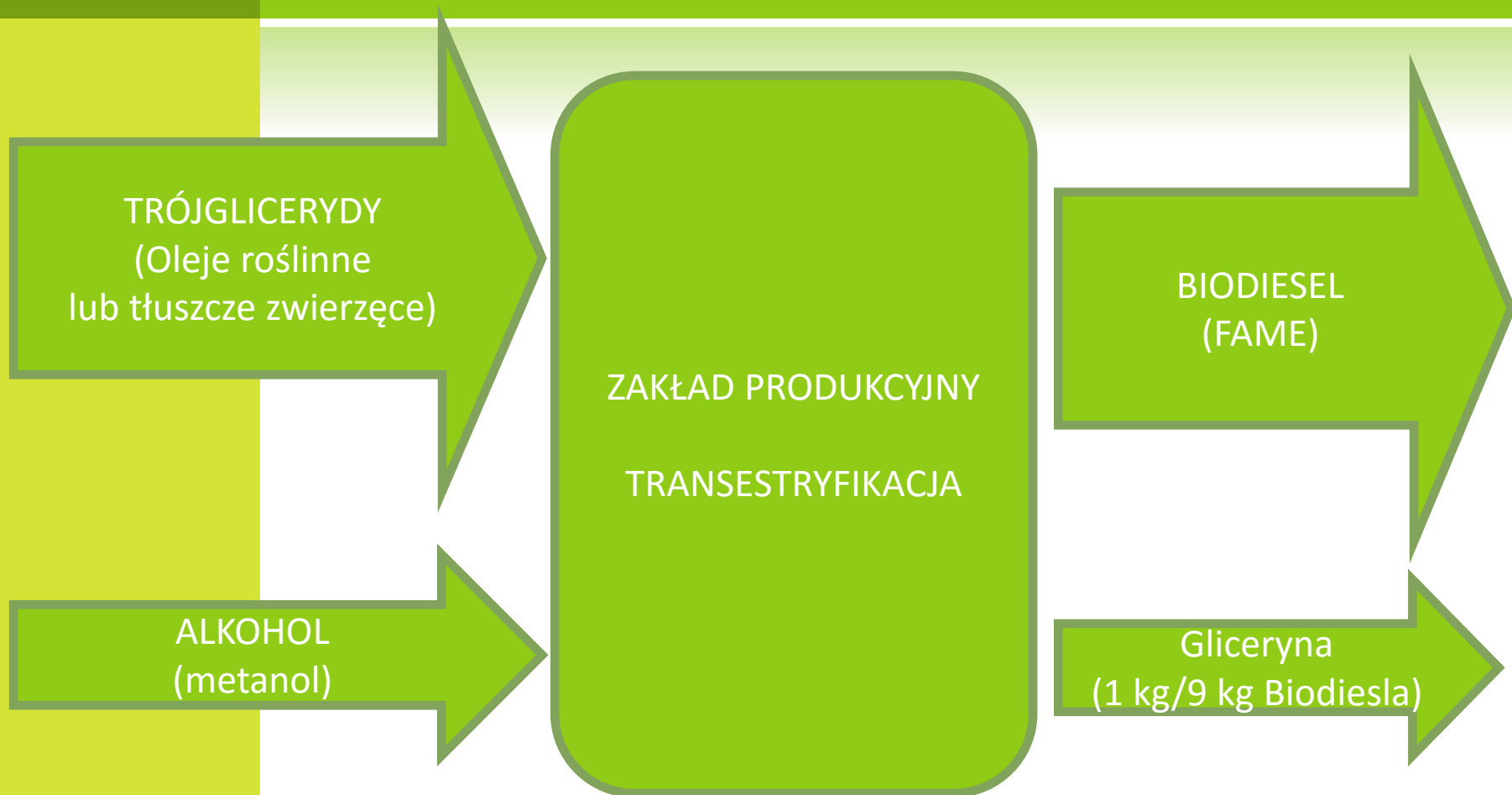


BIODIESEL (FAME)

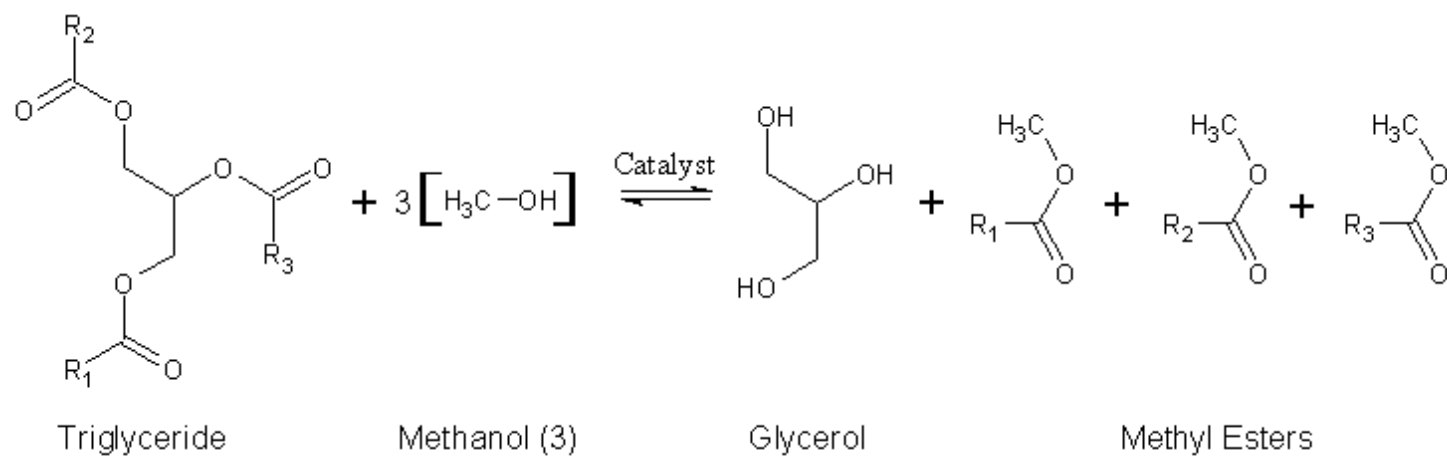
- ⊙ Biodiesel jest mieszanką estrów metylowych kwasów tłuszczowych
- ⊙ W Polsce nazywany bioestrem
- ⊙ Może zastępować ropopochodny lekki olej napędowy lub opałowy
- ⊙ Istnieją normy (EN14214)



PRODUKCJA BIODIESLA



TRANSESTRYFIKACJA



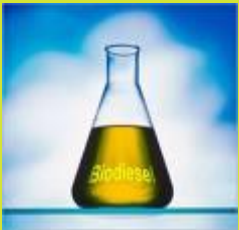
WŁAŚCIWOŚCI BIODIESLA WG EN14214



Parametr	Jednostka	Min	Max	Typowy olej napędowy
Zawartość estrów	%wt	96,5	-	n.d.
Gęstość w 15°C	kg/m ³	860	900	830
Lepkość 40°C	mm ² /s	3,5	5,0	3
T zapłonu	°C	101	-	60
Zawartość siarki	mg/kg	-	10	600
Liczba cetanowa	-	51,0	-	>51
Zawartość wody	mg/kg	-	500	0
Całk. I. kwasowa	mg KOH/g	-	0,5	<1
Wolna gliceryna	%wt	-	0,02	0
Gliceryna całk.	%wt	-	0.25	0
Wartość opałowa	MJ/kg	37,7 (nie określona w EN14214)		42,6

WYKORZYSTANIE BIODIESLA

- ⊙ Możliwość swobodnego zastępowania ropopochodnego oleju napędowego/opałowego
- ⊙ Możliwość spalania w standardowych silnikach wysokoprężnych
- ⊙ Stosowany głównie w transporcie
- ⊙ Zbyt drogi dla zastosowania w energetyce
 - ⊙ Energetyka może korzystać z tańszych nieprzetworzonych biopaliw



BIOPALIWA CIEKŁE DLA ENERGETYKI

- ⊙ Surowe oleje roślinne – spalane bezpośrednio
- ⊙ Destylat kwasów tłuszczowych – produkt uboczny rafinacji oleju
- ⊙ Oleje posmażalnicze
- ⊙ Tłuszcze zwierzęce: tran, olej drobiowy, olej z lisa
- ⊙ W polskim prawodawstwie nazywane „biopłynem”
- ⊙ Brak norm dla tego rodzaju paliw!

BIOPALIWA CIEKŁE DLA ENERGETYKI



SUROWE OLEJE ROŚLINNE

- ⊙ Różne typy oleju:
 - ⊙ Olej palmowy
 - ⊙ Olej rzepakowy
 - ⊙ Olej słonecznikowy
 - ⊙ Olej z jatrofy
- ⊙ w_u – 35-37 MJ/kg
- ⊙ Wysoka temperatura krzepnięcia
 - ⊙ Konieczny podgrzew ukł. pal.!
- ⊙ Wysoka lepkość
- ⊙ Wysoka liczba kwasowa
- ⊙ Nietrwałe



OLEJ PALMOWY



- ◎ Olejowiec gwinejski – najdynamiczniej rozwijająca się uprawa w Azji Płd-Wsch.
- ◎ Wykorzystywany głównie jako tłuszcz spożywczy
- ◎ Ponad 85% produkcji w Azji, Afryce i Ameryce Łacińskiej
- ◎ Roczny uzysk – 4000-6000 dm³/ha

OLEJ PALMOWY KONTROWERSJE



- ⊙ Wycinka lasów deszczowych pod plantacje
- ⊙ Przymusowe wysiedlenia ludności pod plantacje
- ⊙ Wyzysk siły roboczej
- ⊙ Wzrost cen żywności

PRODUKCJA OLEJU PALMOWEGO

FFB = Fresh fruit bunch (świeże owoce)

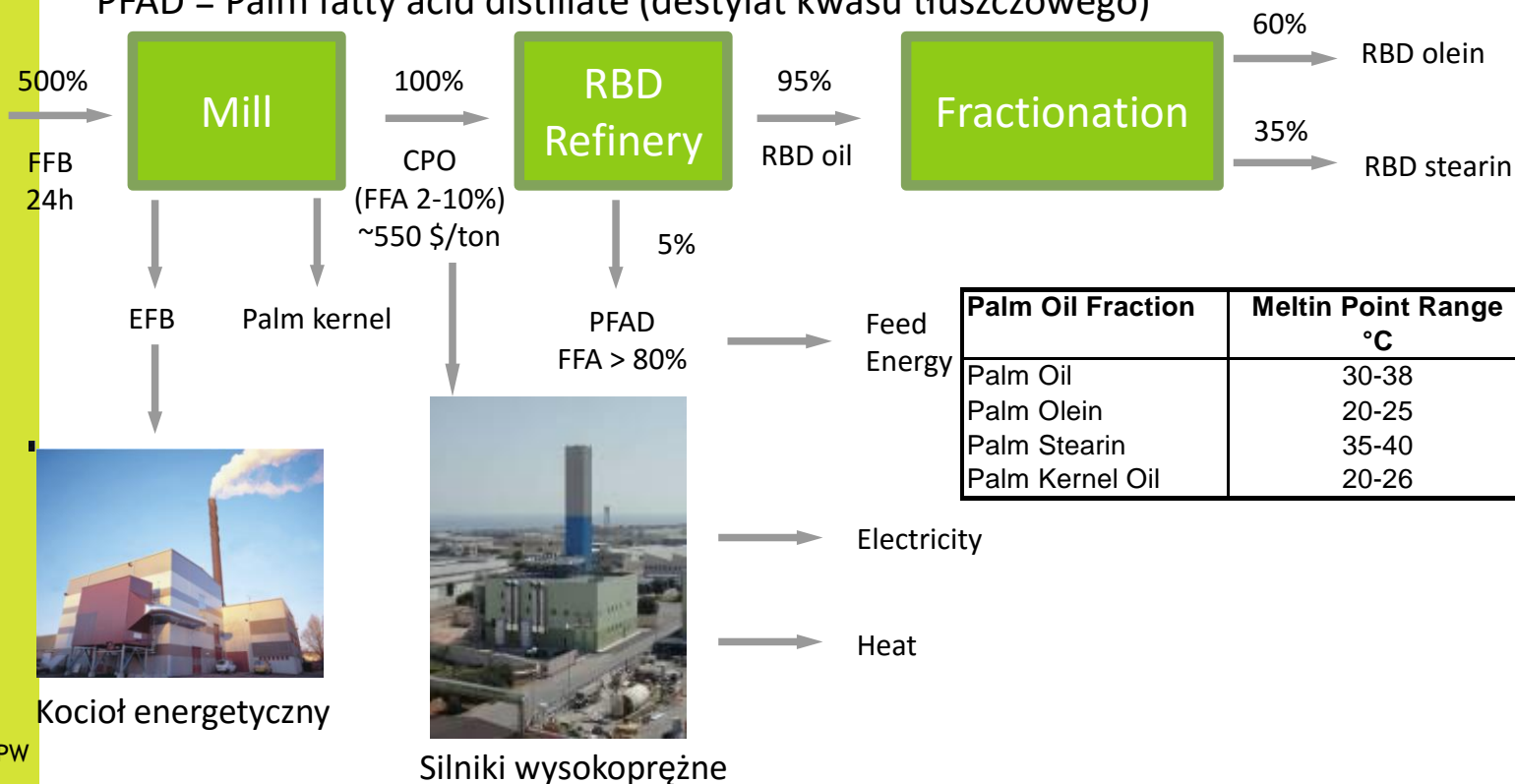
EFB = Empty fruit bunch (wytłoczyny)

CPO = Crude palm oil (surowy olej)

FFA = Free fatty acids (wolne kwasy tłuszczowe)

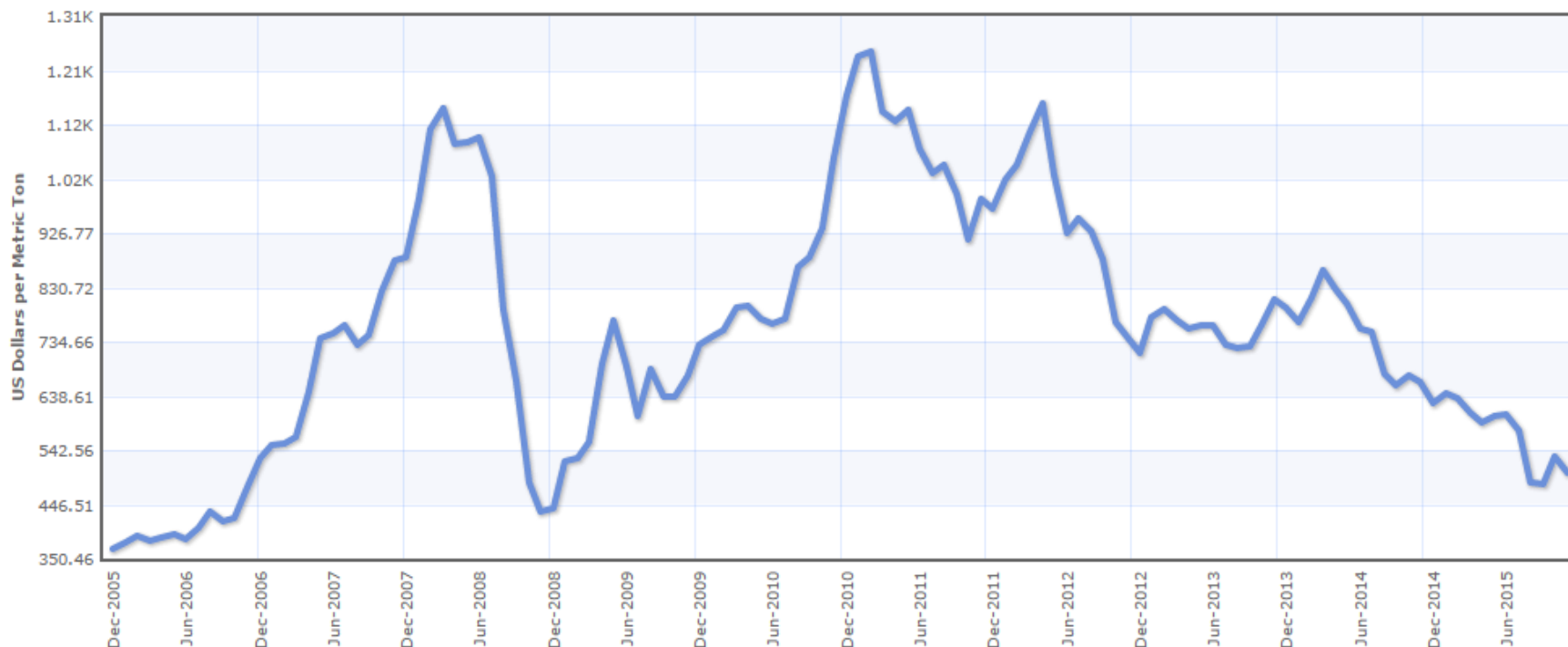
RBD = Refined, bleached & deodorized (olej rafinowany)

PFAD = Palm fatty acid distillate (destylat kwasu tłuszczowego)



OLEJ PALMOWY

CENY



OLEJ Z JATROFY



- ◎ Odporny na suszę krzew/małe drzewo o oleistych nasionach.
- ◎ Pochodzi z Ameryki Centralnej, ale rozprzestrzeniła się do innych rejonów świata.
- ◎ Olej jest niejadalny (trujący).
- ◎ Roślinę można uprawiać na niskiej jakości glebach, nienadających się dla rolnictwa
 - ◎ ...ale na glebach dobrej jakości wydajność plantacji jest wyższa

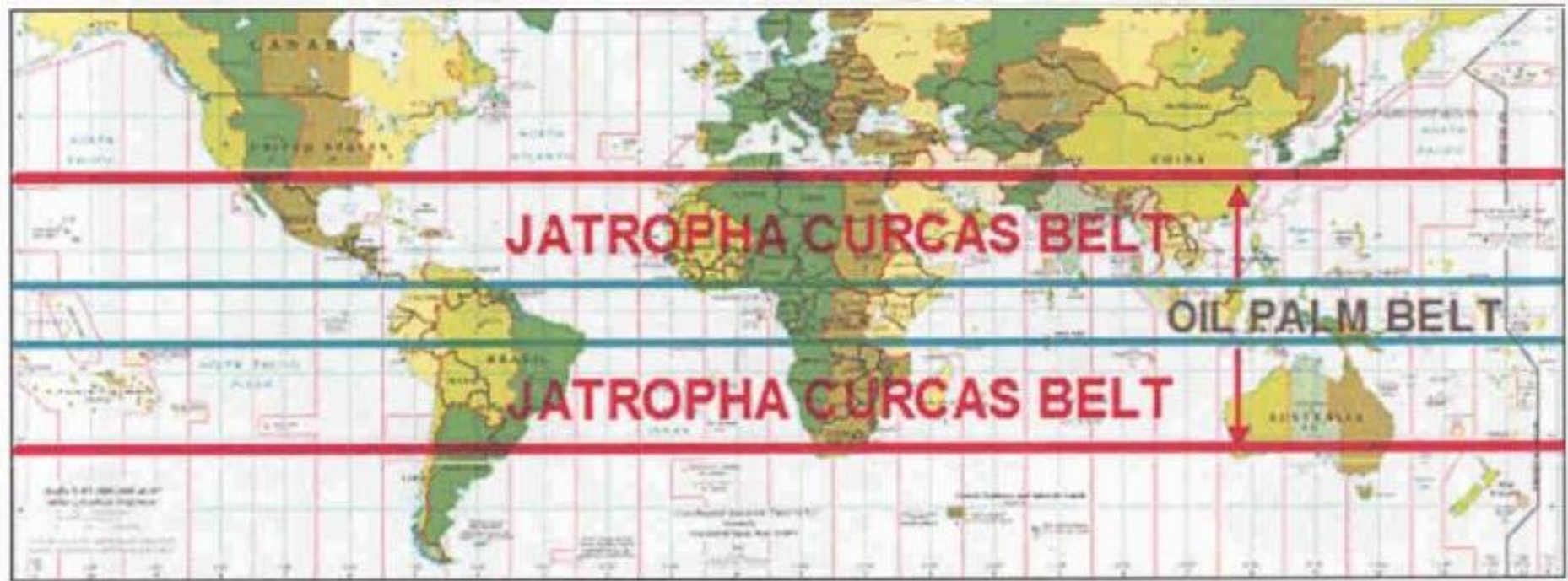
It does grow on marginal land, but if you use marginal land you'll get marginal yields

OLEJ Z JATROFY



GEOGRAFIA

JATROFA A OLEJOWIEC GWINEJSKI



OLEJ RZEPAKOWY



- ◎ Światowa produkcja w 2007: 18,5 mln Mg
- ◎ Najwięksi producenci
 - ◎ EU-27 (gł. Niemcy, Francja, Polska, Wlk. Brytania)
 - ◎ Chiny i Indie
 - ◎ Kanada
- ◎ Uzysk ok. 1000 kg/ha/a
- ◎ W większości miejsc droższy od palmowego

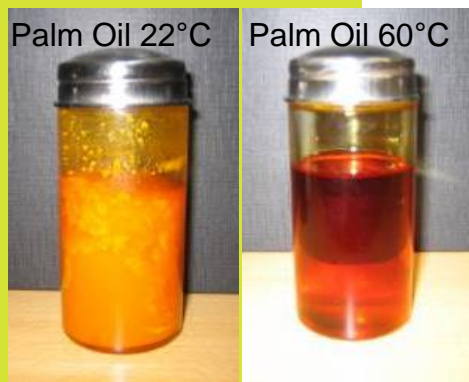
SUROWE OLEJE ROŚLINNE

- ◎ Paliwo dla silników tłokowych wielkich mocy:
 - ◎ Silniki 4-suwowe, średnioobrotowe (MAN, Wärtsilä)
0,2-22 MWe z jednostki
 - ◎ Silniki 2-suwowe, wolnoobrotowe (MAN B&W, HCP)
Do 80 MWe z jednostki
- ◎ Niezbędne stosowanie paliwa dodatkowego dla płukania układu paliwowego przy uruchomieniach i odstawieniach
(biodiesel lub lekki olej ropopochodny)
- ◎ Elektrownie (EC) różnych mocy:
0,2 do 102 MWe
(obecnie)



BIOPALIWA CIEKŁE W ENERGETYCE

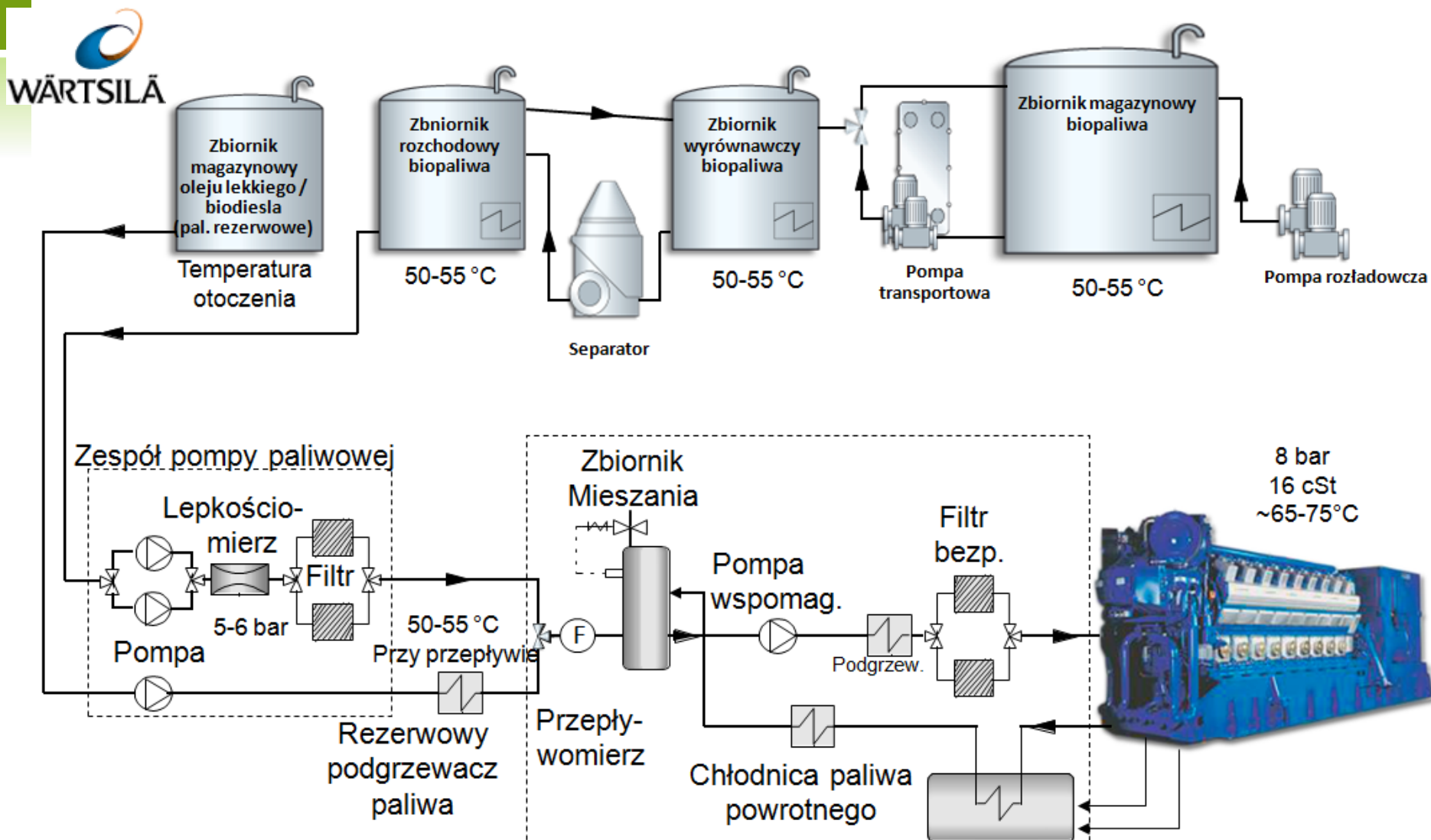
- ⊙ „Bezemisyjna” produkcja energii
- ⊙ Wysoka sprawność:
 - ⊙ Do 48% w układzie prostym
 - ⊙ Ponad 50% w układzie gazowo-parowym
- ⊙ Zwiększona emisja NOx – konieczność użycia katalizatorów
- ⊙ Utrudnione odpylanie spalin – elektrofiltry mało wydajne przy pyłe z olejów roślinnych
- ⊙ Skomplikowana gospodarka paliwowa
 - ⊙ Temperatura zbyt niska: paliwo krzepnie
 - ⊙ Temperatura zbyt wysoka: paliwo polimeryzuje



PARAMETRY OLEJU A WYMOGI SILNIKA

Parametr	Jednostka	Wärtsilä LBF Spec.	MAN 2-stroke Spec.	Typowy surowy olej palmowy	Typowy olej z jatrofy	Typowy olej napęd.	Typowy mazut
Lepkość	cSt @ 40°C	100	55	39	36	3.5	700
Gęstość	kg/m³ @ 15°C	991	1010	915	917	864	993
Zaw. Siarki	% wag	0.05	5.00	<0.05	<0.050	0.6	2.3
Osad	% wag	0.05		0.01	<0.01	0	0.08
Pozostałość koksowa	% wag	0.5		0.17	0.4	<0.5	13
Zawartość popiołu	% wag	0.05	0.15	0.01	0.015	0.01	0.082
Zawartość fosforu	mg/kg	100		10	12-40	<1	<1
Zawartość krzemu	mg/kg	15		1	1-5	<1	10
Składniki alkaliczne (Na, K)	mg/kg	30		3	10-30	<1	30
Temperatura zapłonu	°C	60	60	>200	>200	60	90
Temperatura krzepnięcia	°C			30	8	-15	15
Liczba kwasowa	mg KOH/g	15	25	13	10-15	<1	<3
L. kwas. Kwasów mocnych	mg KOH/g	0	0	0	0	0	0
Liczba jodowa		120		55	80-110	n/a	n/a
Wartość opałowa	MJ/kg			36.8	36.8	42.6	40.1

UKŁAD TECHNOLOGICZNY ELEKTROWNI NA OLEJ PALMOWY





S.E.C.A. PIOMBINO

- ⊙ Paliwo: olej palmowy
- ⊙ Silniki: 3 × Wärtsilä W18V32
- ⊙ Moc: 3 × 8032 kWe
- ⊙ Sprawność 43.5%
- ⊙ Oczyszczanie spalin: SCR





S.E.C.A. PIOMBINO

PALIWO





S.E.C.A. PIOMBINO

CZYSZCZENIE FILTRÓW PALIWA





S.E.C.A. PIOMBINO SILNIKI



- ⊙ Wärtsilä W18V32
- ⊙ Dostawca: Wärtsilä Finland Oy
- ⊙ Układ cylindrów: 18V
- ⊙ Średnica cylindra: 320 mm
- ⊙ Skok tłoka: 400 mm
- ⊙ Zawory: 2+2 / cyl
- ⊙ Prędkość obr.: 750 obr/min
- ⊙ Średnia prędkość tłoka: 10 m/s
- ⊙ Stopień sprężania: 16,0:1



ITALGREENENERGY, BLOK 2



- ⊙ Lokalizacja : Monopoli, k. Bari
- ⊙ Układ gazowo-parowy
 - ⊙ 6 x Wärtsilä18V46, 91,5 MWe
 - ⊙ 1 x turbina parowa, 11 MWe
- ⊙ Paliwo: głównie olej palmowy
- ⊙ Oczyszczanie spalin: SCR
- ⊙ Uruchomienie w 2008 r.



OLEJE POSMAŻALNICZE



- ◎ Duże wahania własności
- ◎ Możliwość wykorzystania w roli paliwa należy oceniać indywidualnie dla lokalnie dostępnego surowca
- ◎ Możliwe źródła:
 - ◎ Przemysł spożywczy
 - ◎ Gastronomia
 - ◎ Gospodarstwa domowe
- ◎ Mogą być wykorzystywane do produkcji biodiesla



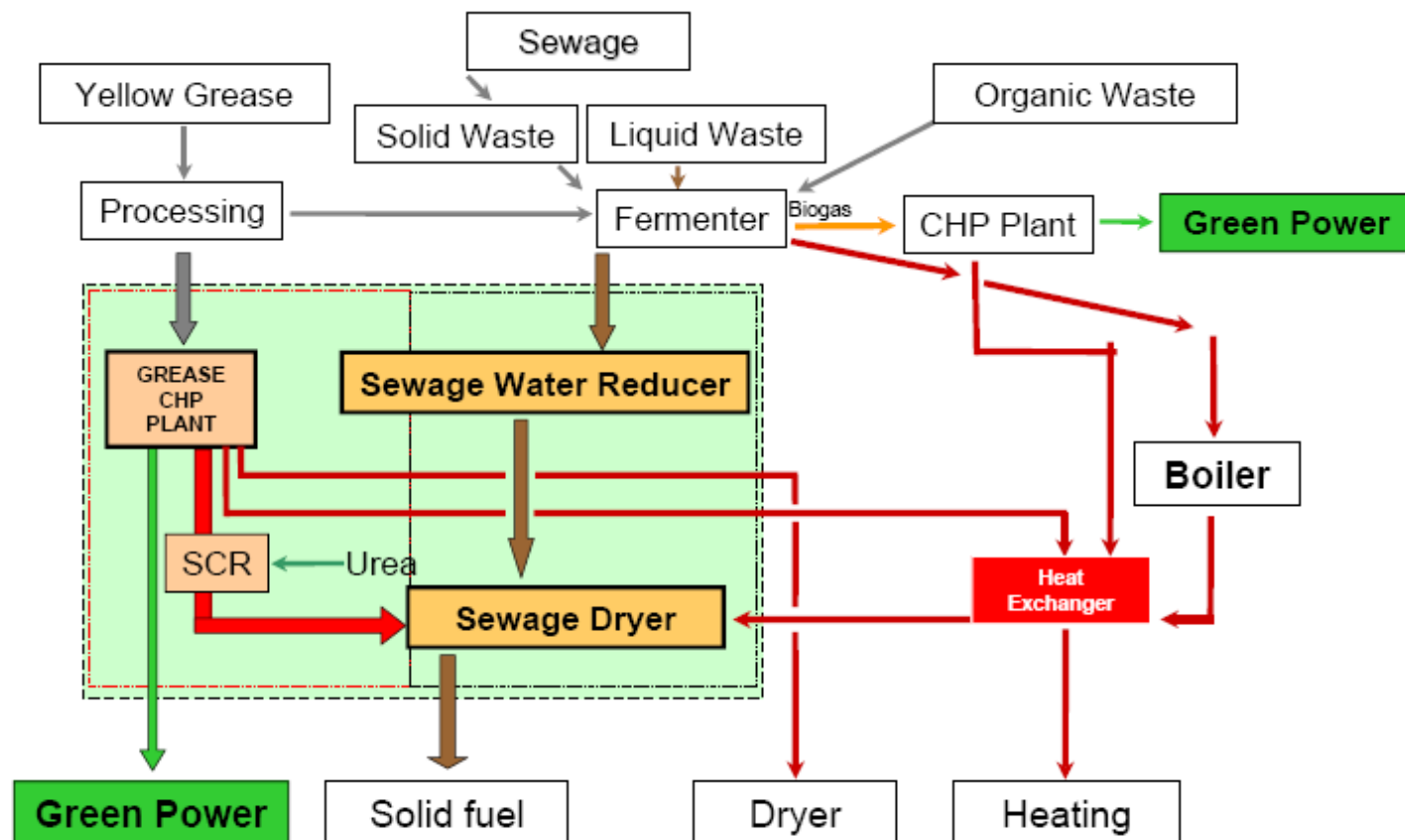
FRITZENS, AUSTRIA



- ⊙ Instalacja w oczyszczalni ścieków
- ⊙ Pojedynczy silnik MAN 6L 21/31
 - ⊙ Moc: 1,1 MWe + 1,3 MWt
 - ⊙ Średnica cylindra 21 cm, skok tłoka 31 cm
 - ⊙ 1000 obr/min
- ⊙ Olej z gastronomii i gospodarstw domowych
- ⊙ Lokalny plan zbierania oleju



FRITZENS, AUSTRIA



- ⊙ Alkohole (głównie etanol i metanol) mogą być wykorzystywane jako paliwo
- ⊙ Ok. 95% etanolu produkuje się z biomasy (resztę z ropy naftowej)
- ⊙ Etanol (czysty lub zmieszany z benzyną) może być wykorzystywany do zasilania silnika Otto (o zapłonie iskrowym)
- ⊙ Istnieją także mieszanki etanolowe dla silników wysokoprężnych

PRODUKCJA BIOETANOLU



Fermentacja



Destylacja

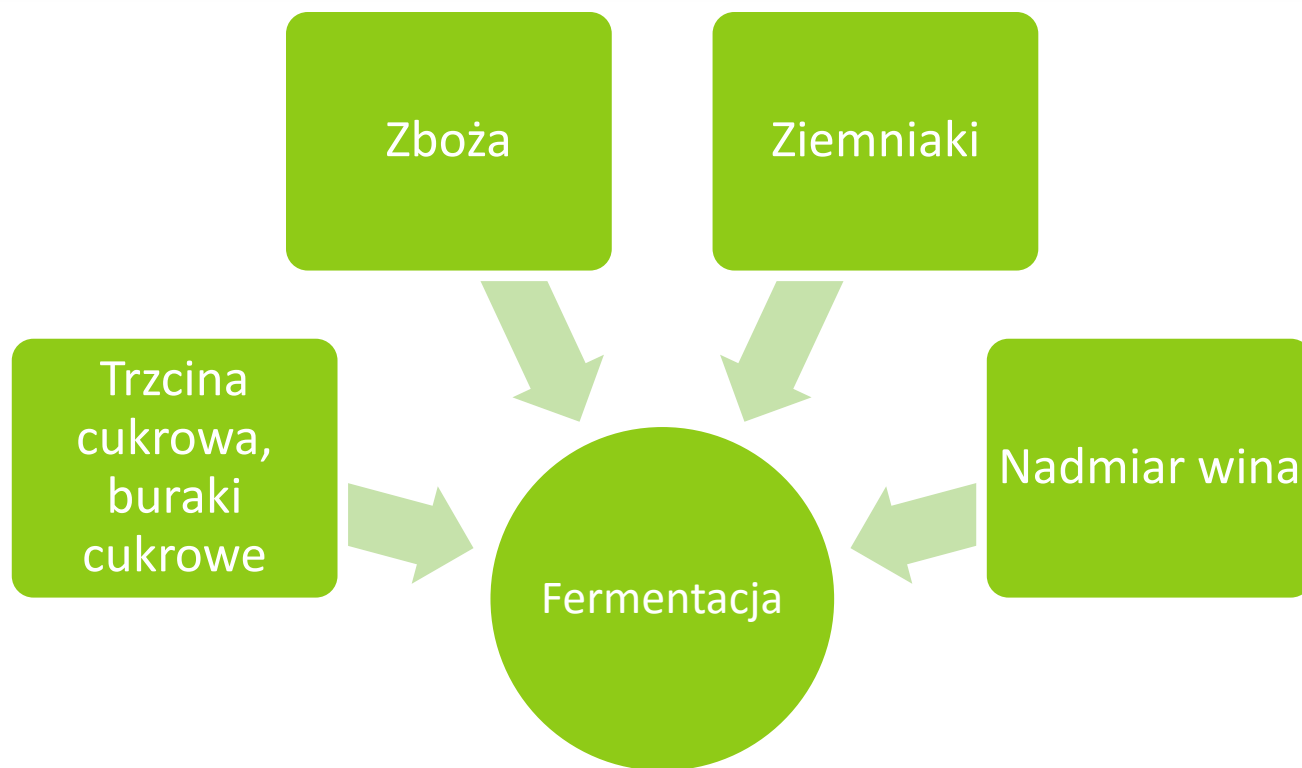


Dehydracja

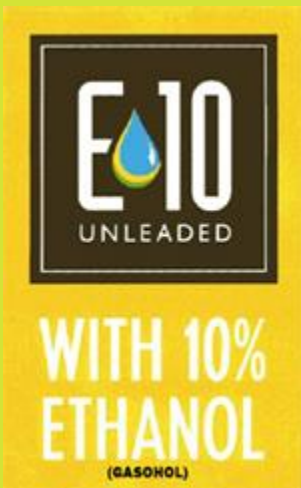


Denaturacja (opcja)

SUBSTRATY DO PRODUKCJI BIOETANOLU



ETANOL W SILNIKACH SAMOCHODOWYCH



- ⊙ Popularne mieszanki z benzyną: E5, E7, E10, E15, E20, E25, E70, E75, E80, E85, E100.
- ⊙ Wartość opałowa etanolu $26,7 \text{ MJ/kg}$, $21,1 \text{ MJ/dm}^3$.
Wartość opałowa benzyny $43,5 \text{ MJ/kg}$, $35,0 \text{ MJ/dm}^3$.
- ⊙ Ze względu na różnicę wartości opałowej zasilanie etanolem prowadzi do wyższego zużycia paliwa i obniżenia zasięgu pojazdu.
- ⊙ Możliwe problemy z rozruchem silnika w niskich temperaturach
- ⊙ Nowoczesne silniki samochodowe mogą wykorzystywać mieszanki do E10 bez modyfikacji. Wyższa zawartość etanolu wymaga zmodyfikowanego silnika.
- ⊙ Wykorzystanie etanolu w motoryzacji jest popularne w Brazylii, USA i niektórych krajach UE.
- ⊙ Dostosowane silniki wysokoprężne mogą być zasilane paliwem ED95 (95% etanolu) – wykorzystuje się to w Szwecji.

BIOMETANOL

- ⊙ Metanol produkowany jest na drodze pirolizy drewna lub z gazu syntezowego.
- ⊙ Może być wykorzystywany jako paliwo do silników o zapłonie iskrowym.
- ⊙ Ograniczone zastosowania w samochodach wyścigowych.
- ⊙ Ograniczone zastosowanie w USA (Kalifornia) – obecnie zawieszono
- ⊙ Plany stosowania w Brazylii

PALIWO LOTNICZE Z JATROFY



Air New Zealand Boeing 747-400

- Wspólny eksperyment Air New Zealand, Boeinga, Rolls-Royce'a i Honeywell UOP
- Lot próbny w Auckland 30 grudnia 2008 r.
- Platforma do prób: Boeing 747-400
- Jeden silnik RB211 zasilany mieszanką 50/50 paliwa Jet A1 i specjalnego biopaliwa

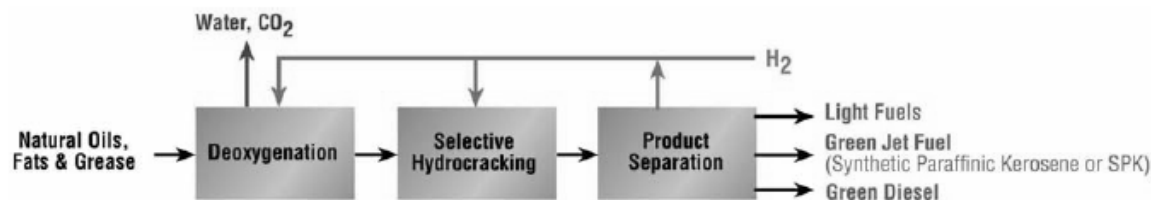


PALIWO LOTNICZE Z JATROFY



Air New Zealand Boeing 747-400

UOP's Green Jet Fuel Process



Green Jet Fuel Specifications

Property	Limits	Jet A-1 (Specification)	Renewable Jet Fuel from Jatropha (Actual Value)
Flash Point	Min	38°C	46°C
Freeze Point		-47°C	-57°C
Net Heat of Combustion	Min	42.8 MJ/kg	44.3 MJ/kg



BIOPLYNY W POLSKIEJ ENERGETYCE

PGE Elektrociepłownia Rzeszów

- 25 MWe, 17 MWt
- Paliwo: olej rzepakowy, destylat kwasów tłuszczowych
- Przetarg ogłoszony w 2010 r. anulowany
- Projekt przerwany, zmiana paliwa na gaz

Bioelektrociepłownia Sieradz

- 25 MWe, 20 MWt
- Paliwo: „biopłyny”
- Projekt nie otrzymał dofinansowania, zarzucony z powodu zmiany realiów ekonomicznych.

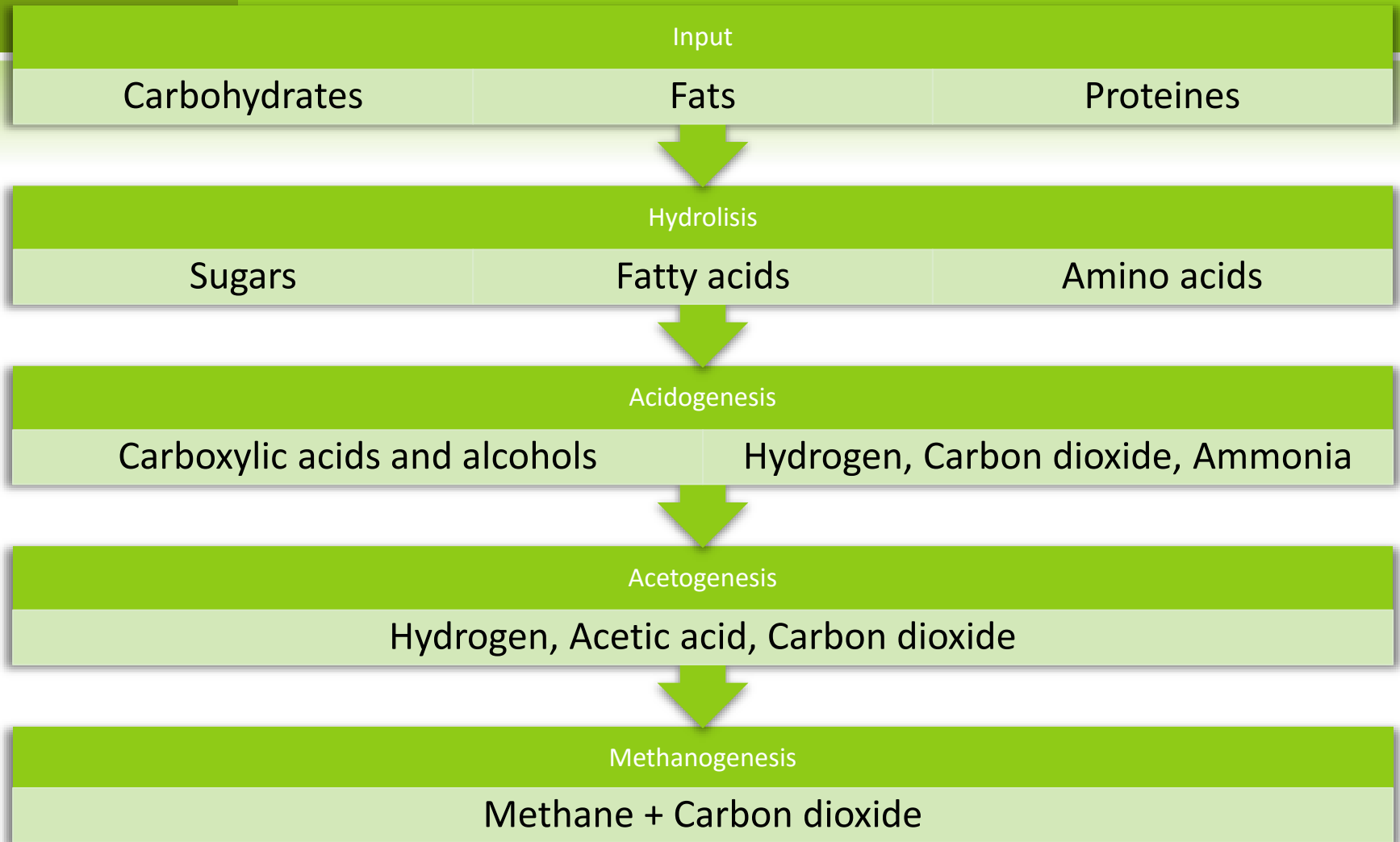
BIOPALIWA GAZOWE

- ⊙ Produkt beztlenowego biologicznego rozkładu substancji organicznych
- ⊙ Metody wytwarzania
 - ⊙ Fermentacja beztlenowa → „właściwy” biogaz
 - ⊙ Gazyfikacja → gaz drzewny (także bio-gaz)
- ⊙ Wartości opałowe $17 \div 28 \text{ MJ/m}^3$

SKŁAD BIOGAZU

Związek		Minimum (%)	Maksimum (%)
Metan	CH_4	50	75
Dwutlenek węgla	CO_2	25	50
Azot	N_2	0	10
Wodór	H_2	0	1
Siarkowodór	H_2S	0	3
Tlen	O_2	0	2

FERMENTACJA BEZTLENOWA



FERMENTACJA BEZTLENOWA

Psychrofilowa

- Temperatury otoczenia
- 3 miesiące i więcej
- Otwarte baseny

Mezofilowa

- Temperatury $20 \div 45^{\circ}\text{C}$
- Optymalnie $37 \div 41^{\circ}\text{C}$
- Ok. 20 dni
- Zamknięte komory, najpopularniejszy typ

Termofilowa

- Temperatury do 70°C
- Optymalnie $50 \div 52^{\circ}\text{C}$
- 12-14 dni
- Zamknięte komory

ŹRÓDŁA BIOGAZU

Przetwarzanie odpadów

- Fermentacja osadów ściekowych
- Fermentacja odpadów komunalnych

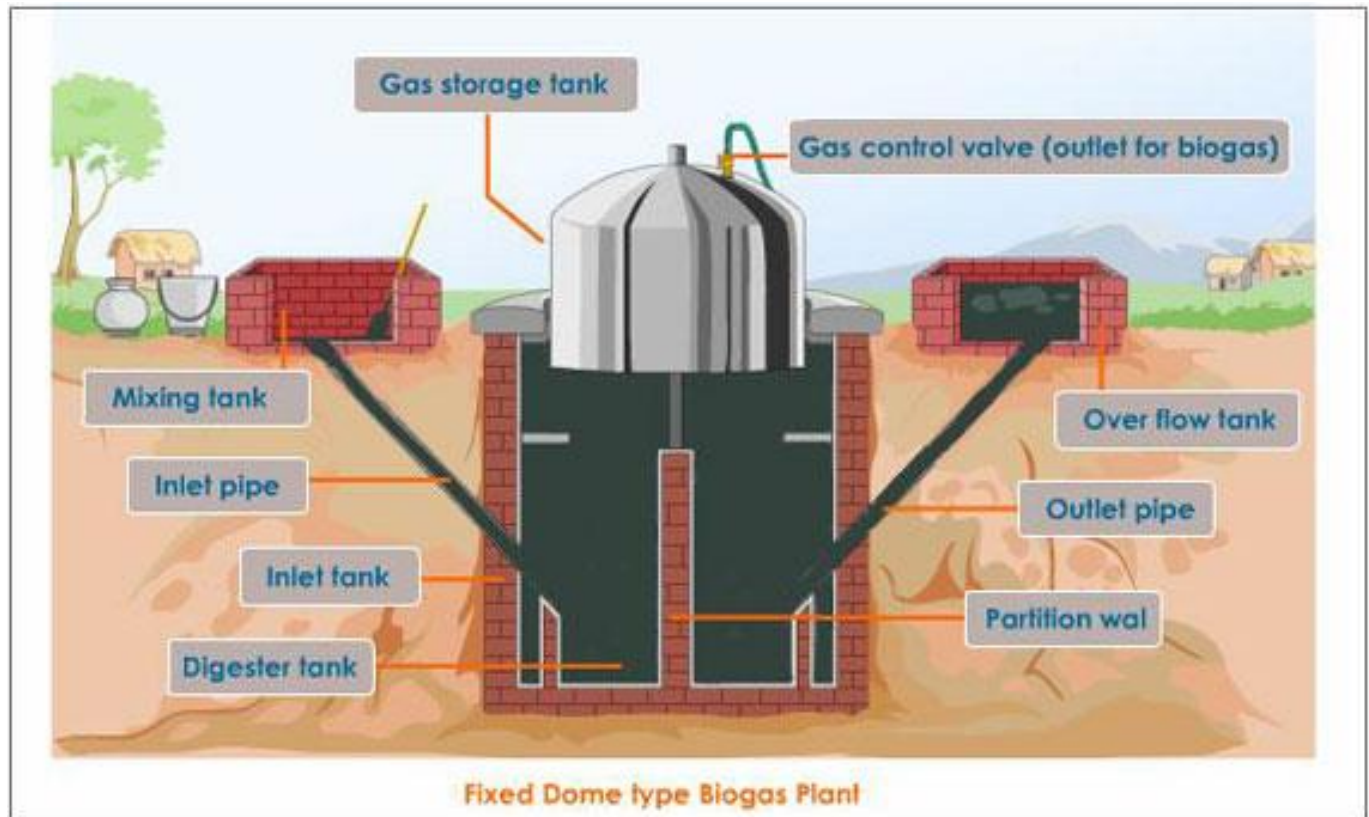
Rolnictwo

- Fermentacja odpadów biologicznych

Wysypiska śmieci

- Gaz wysypiskowy(LFG)

BIOGAZOWNIA ROLNICZA



BIOGAZOWNIA ROLNICZA



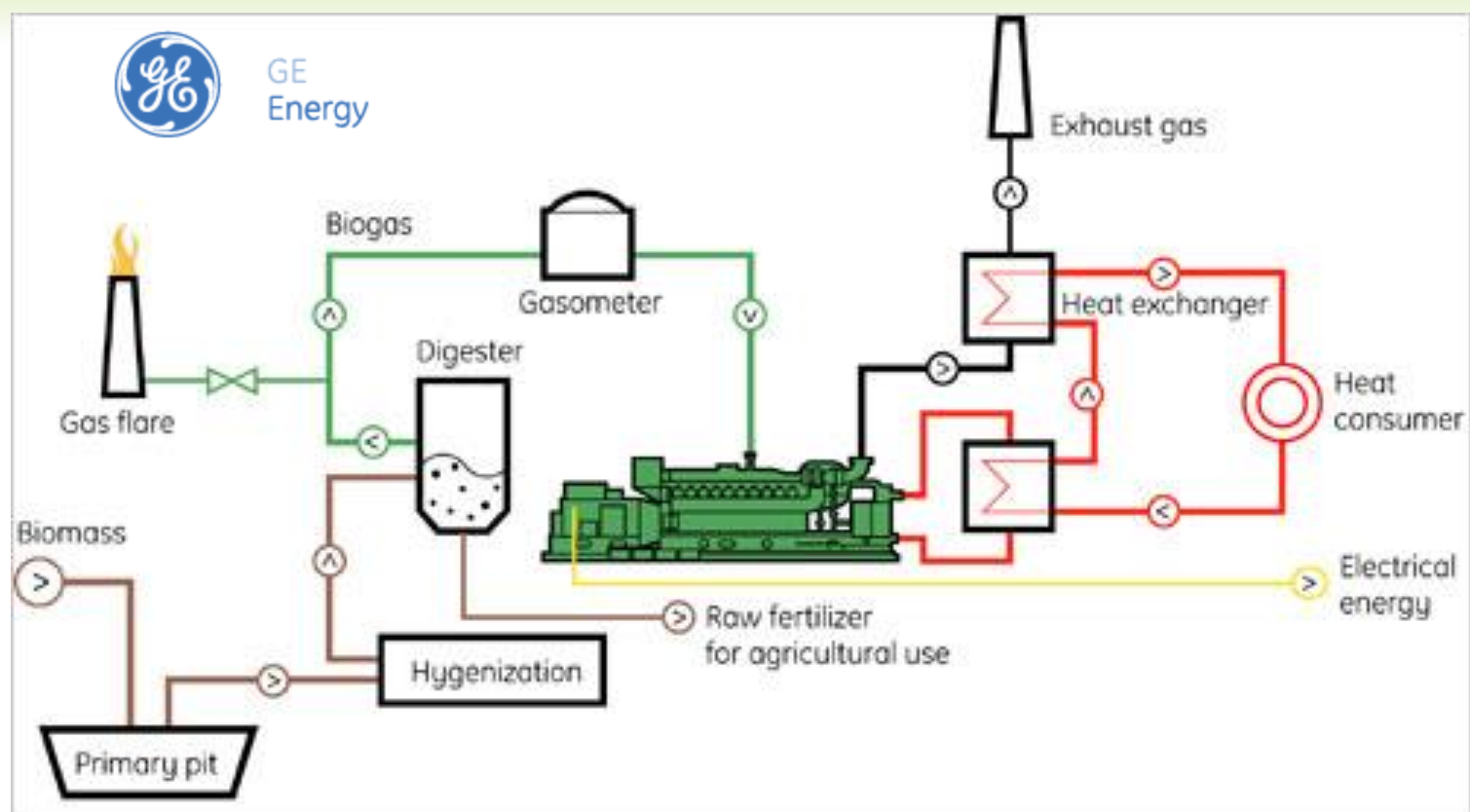
- ⊙ Surowiec:
 - ⊙ Nawóz naturalny
 - ⊙ Kiszonka
 - ⊙ Trawa
 - ⊙ Kukurydza
 - ⊙ Odpady rzeźnicze
 - ⊙ Odpadowe tłuszcze
 - ⊙ Odpady spożywcze



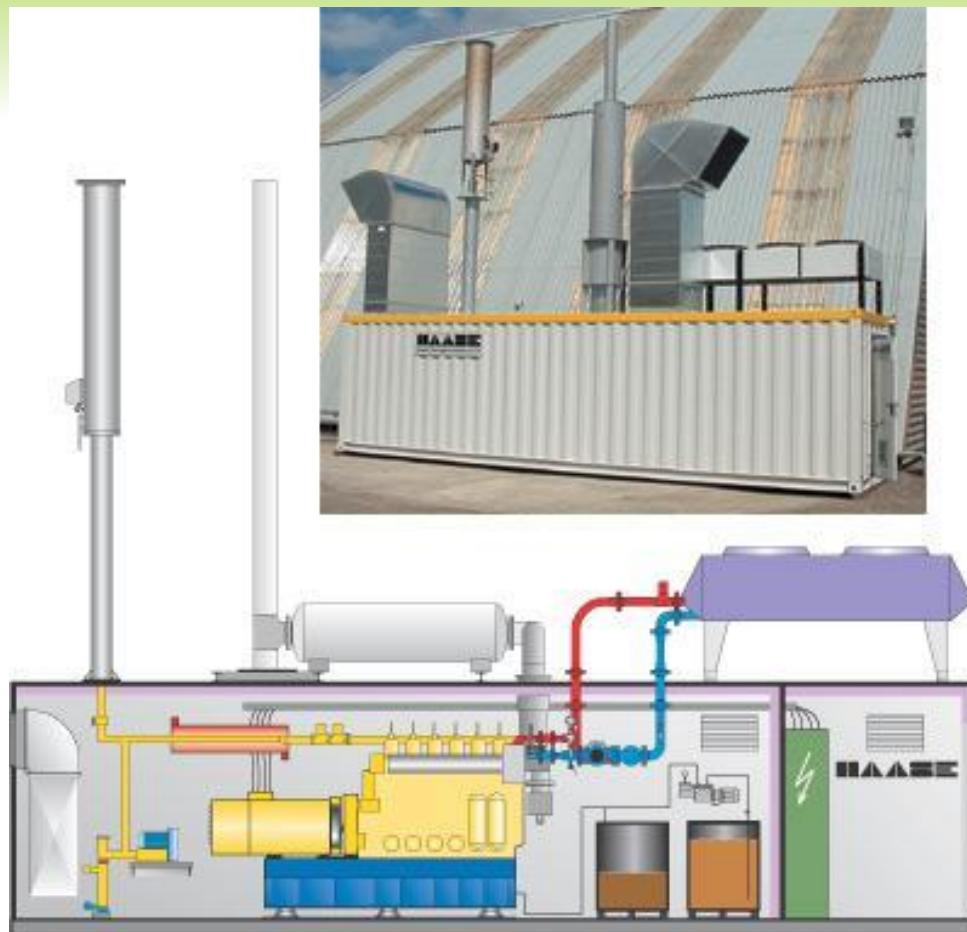
WYKORZYSTANIE BIOGAZU

- ◎ Czterosuwowe silniki gazowe o zapłonie iskrowym
 - ◎ Caterpillar
 - ◎ GE-Jenbacher
 - ◎ MWM (d. Deutz)
 - ◎ Perkins
 - ◎ Wärtsilä (> 4 MWe)
- ◎ Zmodyfikowane silniki wysokoprężne (dwupaliwowe)
- ◎ Turbiny gazowe
- ◎ Kotły

KONCEPCJA PROSTEJ BIOGAZOWNI ROLNICZEJ



KONCEPCJA BIOGAZOWNI ROLNICZEJ



BIOGAZOWNIA WOLKOW



- ⊙ Rok budowy 2004
- ⊙ Fermentacja ok. 30 000 Mg/a biomasy
- ⊙ 2 komory fermentacyjne po 1250 m³
- ⊙ Skonteneryzowana stacja kogeneracyjna z tłokowym silnikiem gazowym:
 - ⊙ 311 kW_e
 - ⊙ 306 kW_t
- ⊙ Dostawca: HAASE Energietechnik AG

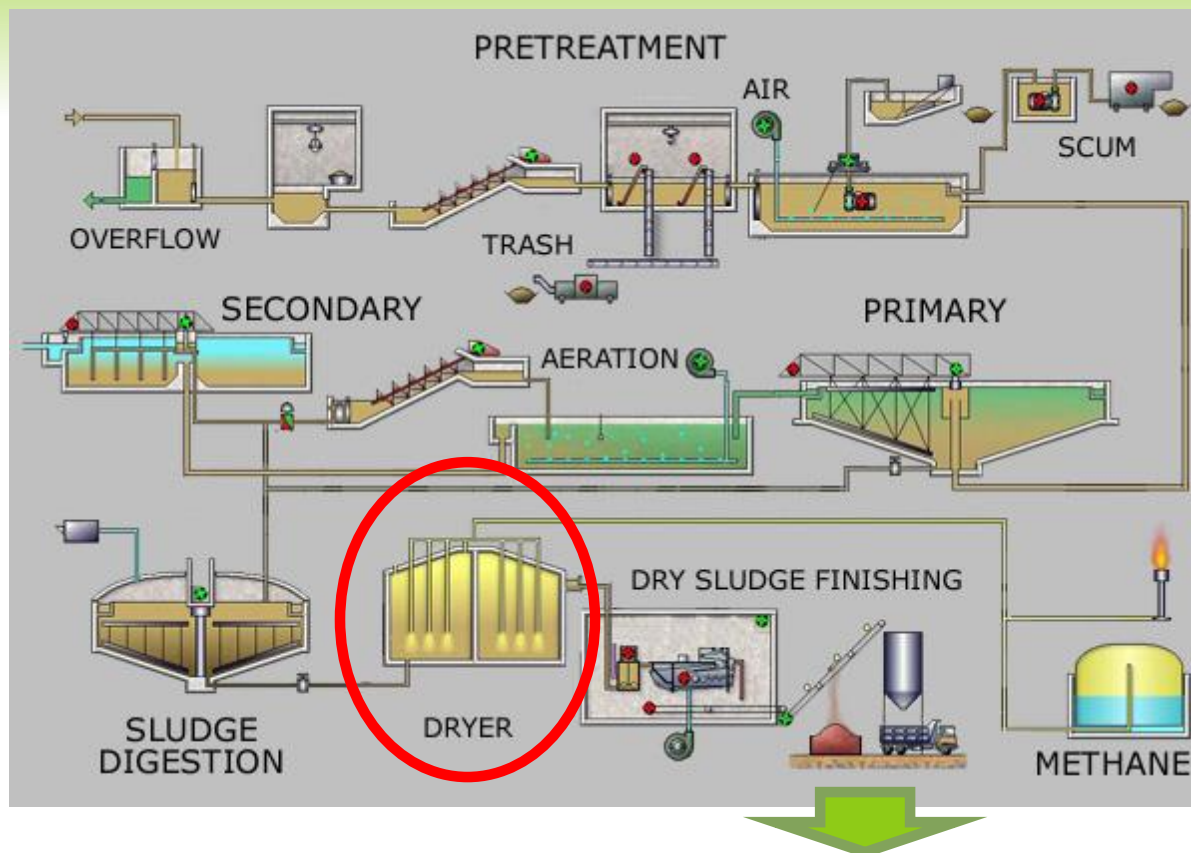


BIOGAZOWNIA WOLKOW



BIOGAZ ZE ŚCIEKÓW

Schemat
technologiczny
dużej oczyszczalni



**Można spalać
w kotłach**



VERA HAMBURG

- ◎ **VERA** Klärschlammverbrennung GmbH
- ◎ Elektrociepłownia w oczyszczalni ścieków
- ◎ Paliwa: biogaz, osady ściekowe i skratki
- ◎ Układ gazowo-parowy



VERA HAMBURG



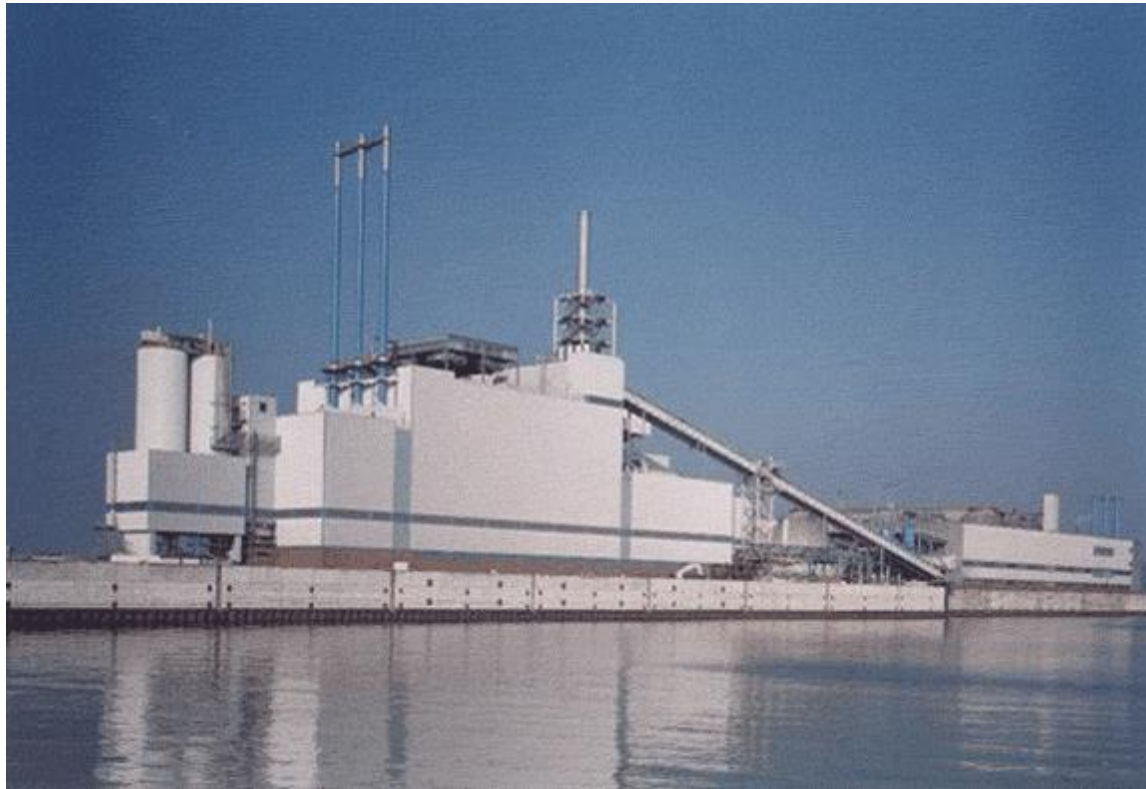


VERA HAMBURG

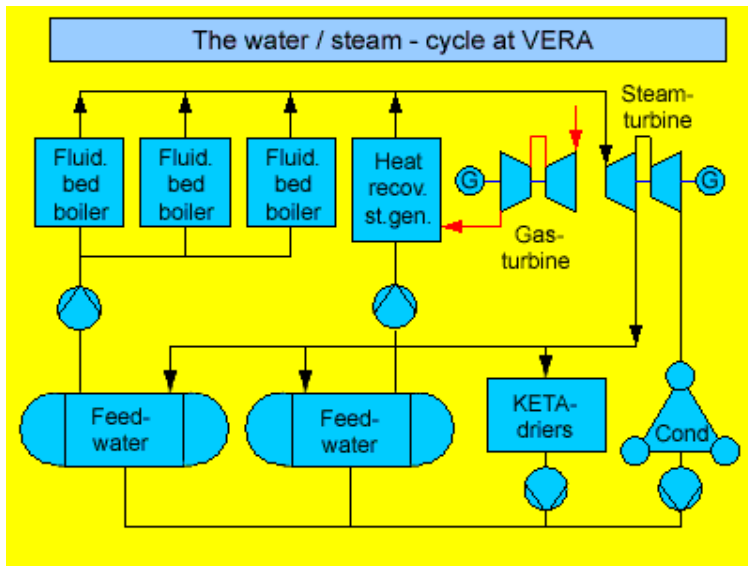




VERA HAMBURG



VERA HAMBURG PROCESS SCHEME



- 1 × turbina gazowa, 5 Mwe (biogaz)
- 1 × kocioł odzysknicowy (dodatkowe palniki na biogaz)
- 3 × kocioł fluidalny (osuszone osady ściekowe)
- Maks. produkcja pary 37 Mg/h
- Parametry pary 40 bar/400°C
- Upust pary technologicznej 7 bar



VERA HAMBURG

Plant VERA		Data basis 2006
Task of Dispose	Task of Supply	
Sew. Sludge 138 692 t/a	Electricity	
Screenings 7 491 t/a	66 265 MWh/a	
Digester gas 24 Mio m ³ /a	Process steam	
Exhaust vap. 18 Mio m ³ /a	142 410 t/a	
Installed Capacity:		
3 Fluidized bed boilers	1 Gas turbine with HRSG	
3 Flue gas cleaning systems	1 Steam turbine	

+ 1 reciprocating engine (as of 2008)



VERA HAMBURG

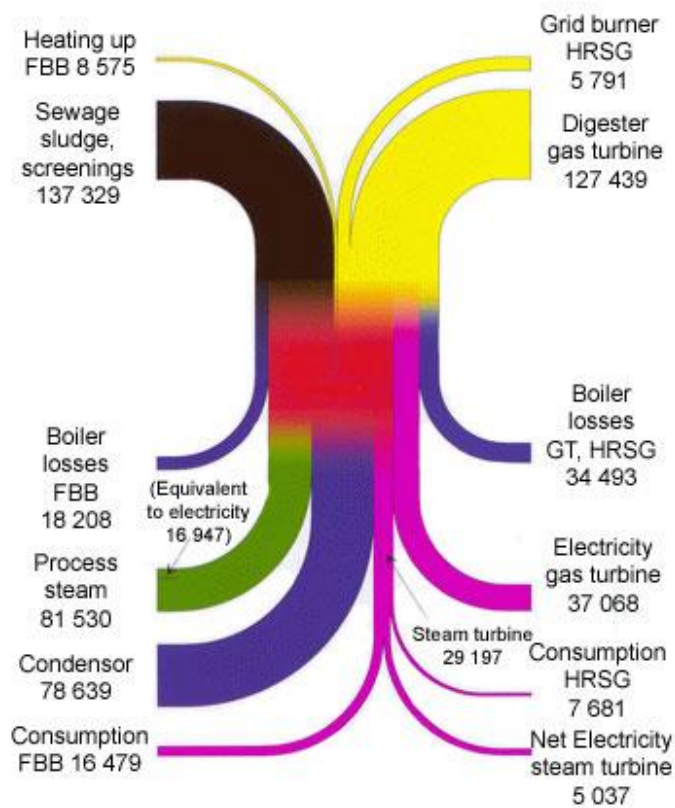


- | | | |
|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1. Przenośnik osadu | 7. Elektrofiltr | 13. Komin kotła |
| 2. | 8. Wymiennik ciepła | 14. Silosy popiołu lotnego |
| 3. Zasobnie osadu | 9. Reaktor HCl | 15. Zespół turbiny gazowej |
| 4. Silos dozujący | 10. Instalacja odsiarczania | 16. Kocioł odzysknicowy |
| 5. Silos piasku | 11. Chłodnica spalin | 17. Komin turbiny gazowej |
| 6. Kocioł Fluidalny | 12. Filtr workowy | |



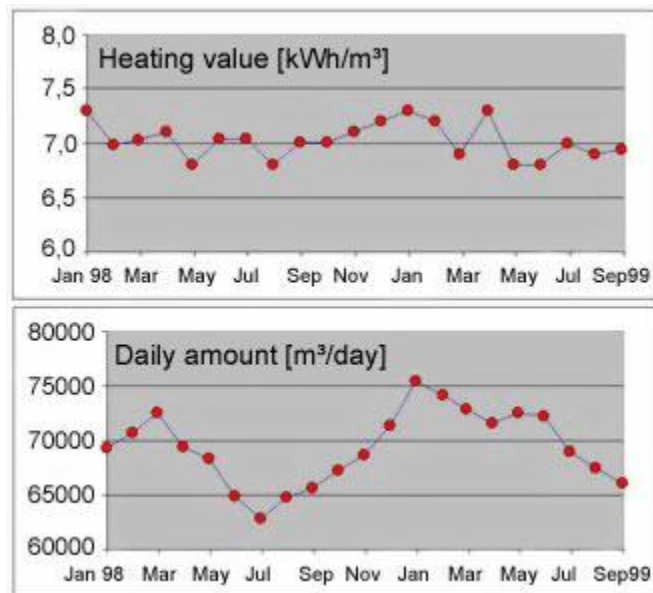
VERA HAMBURG

Diagram of Energy Flow at VERA



all data in MWh/a, data basis 2006

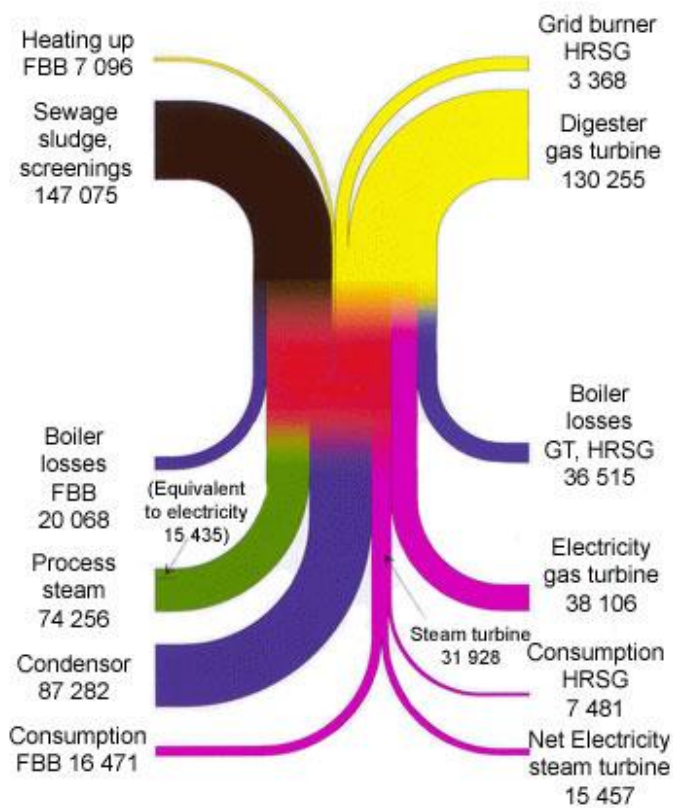
Parametry gazu w EC VERA:





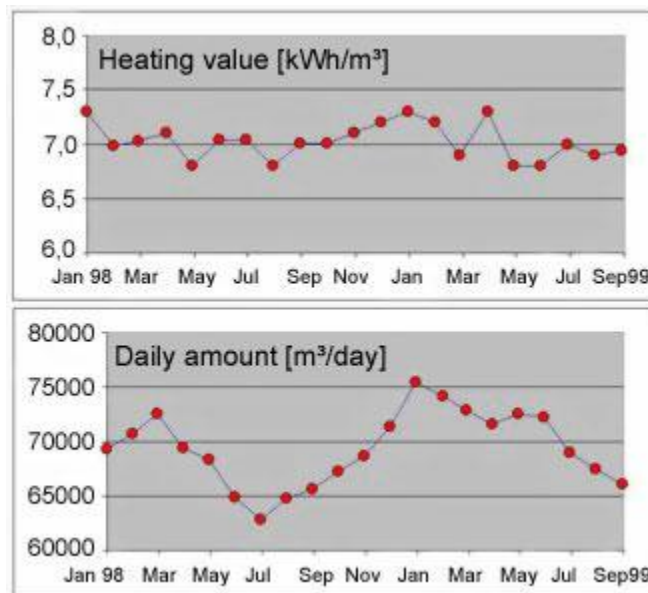
VERA HAMBURG

Diagram of Energy Flow at VERA



all data in MWh/a, data basis 2009

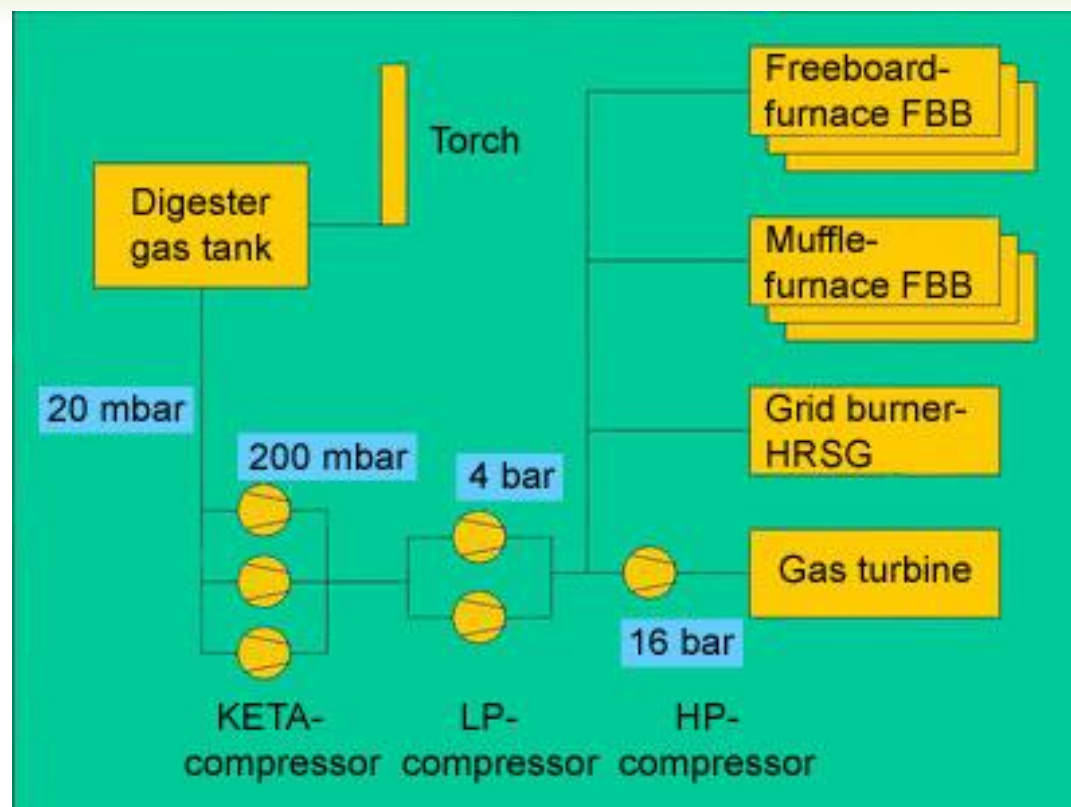
Parametry gazu w EC VERA:





VERA HAMBURG

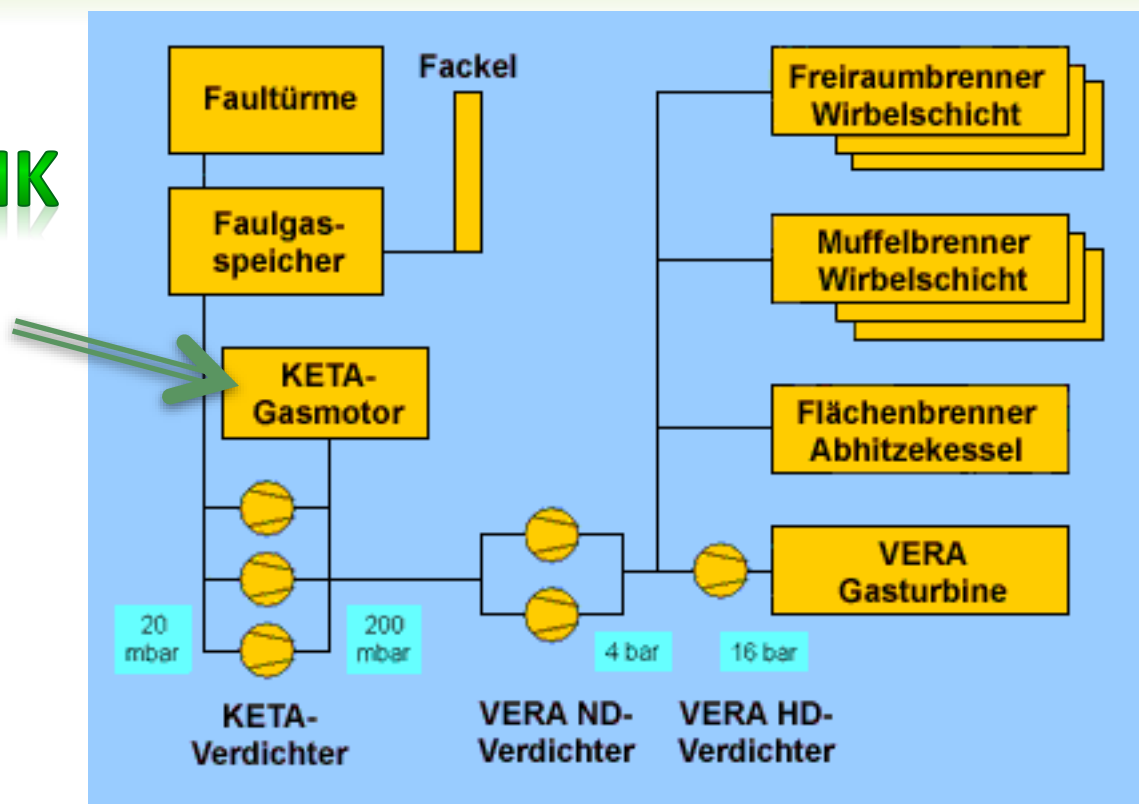
SIEĆ BIOGAZOWA





VERA HAMBURG SIEĆ BIOGAZOWA

**NOWY SILNIK
GAZOWY**

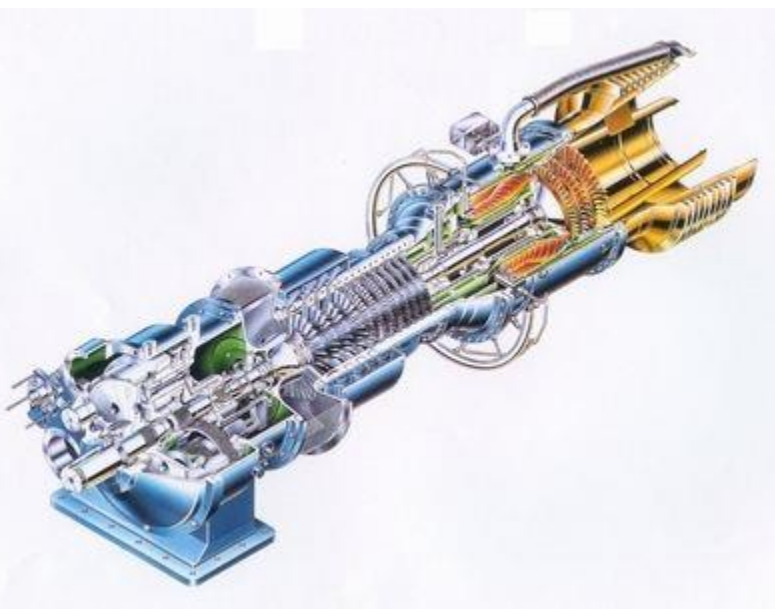




VERA HAMBURG

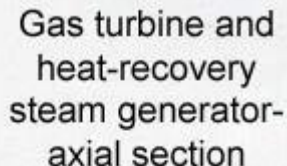
TURBINA GAZOWA

Solar Turbines
A Caterpillar Company



- ⊙ Solar Taurus 60 S
- ⊙ Moc znamionowa 5 MW_e
- ⊙ Spręż 12
- ⊙ Prędkość 14 950 obr/min
- ⊙ Prędkość generatora 1500 obr/min
- ⊙ Temperatura spalin 480°C

VERA HAMBURG

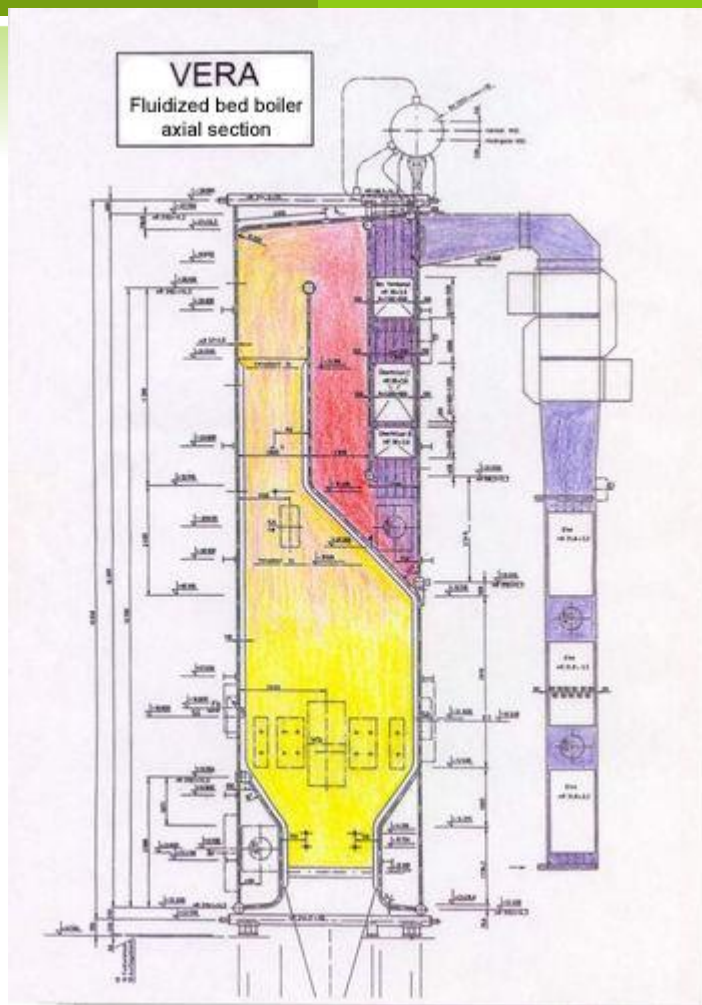


- ⊙ Temperatura spalin na wlocie 480°C
- ⊙ Temperatura spalin na wylocie 180°C
- ⊙ Kocioł o cyrkulacji naturalnej
- ⊙ Ciśnienie pary świeżej 40 bar
- ⊙ Temperatura pary świeżej 400°C
- ⊙ Wydajność w trybie odzysknicowym 9 Mg/h
- ⊙ Możliwe dodatkowe spalanie gazu do wydajności 18 Mg/h
- ⊙ Możliwa praca w trybie powietrzno-gazowym z wydajnością do 22 Mg/h



VERA HAMBURG

KOCIOŁ FLUIDALNY



- ⊙ Paliwo: osuszone osady ściekowe
- ⊙ Temperatura złoża ok. 800°C
- ⊙ Maks. temperatura spalania ok. 900°C
- ⊙ Kocioł o cyrkulacji naturalnej
- ⊙ Ciśnienie pary świeżej 40 bar
- ⊙ Temperatura pary świeżej 400°C
- ⊙ Redukcja emisji: SNCR + recyrkulacja
- ⊙ Temperatura spalin na wylocie 190°C



VERA HAMBURG

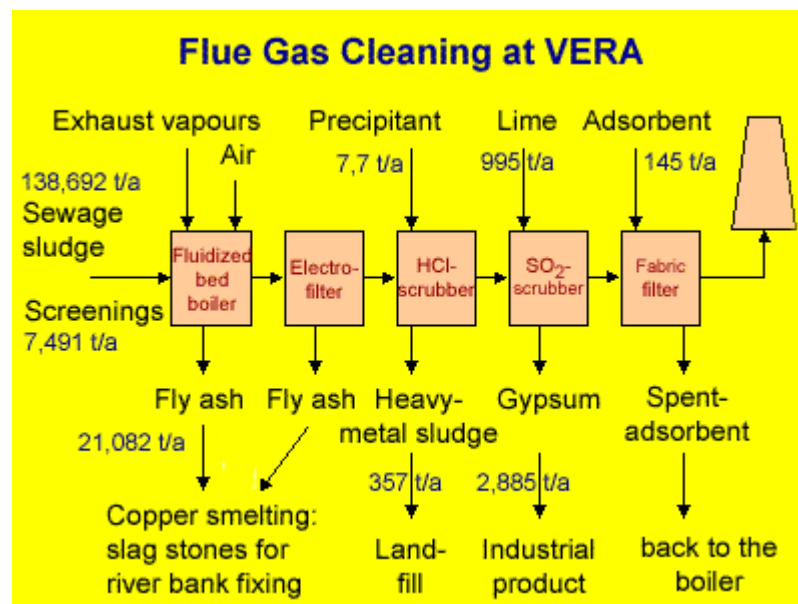
OSADY ŚCIEKOWE





VERA HAMBURG

INSTALACJE OCZYSZCZANIA SPALIN





VERA HAMBURG

SILNIK TŁOKOWY



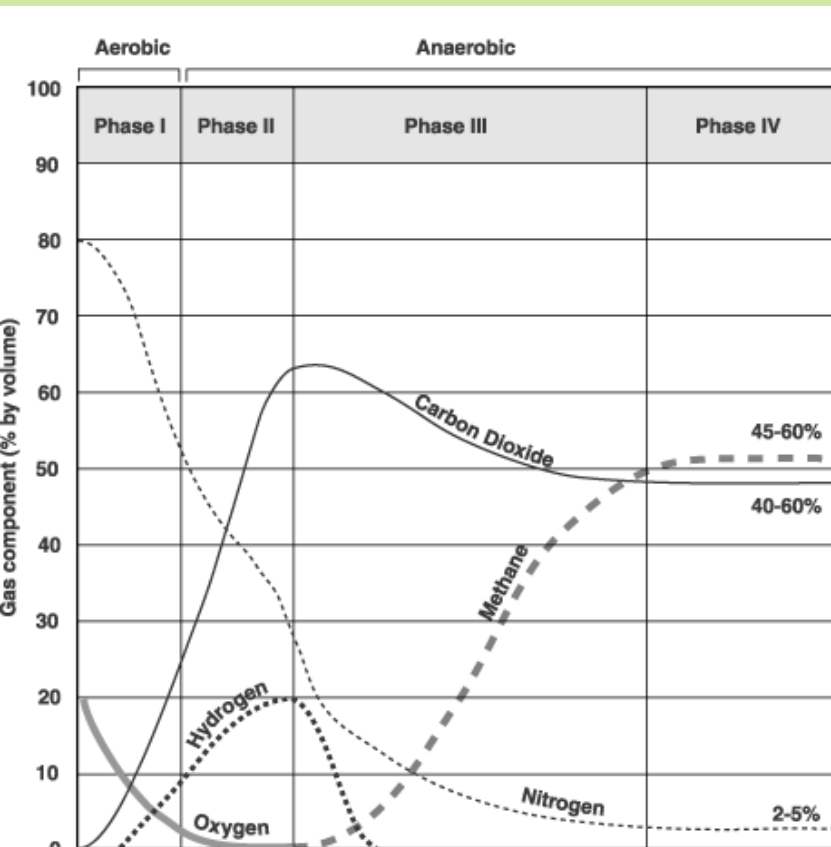
- ⊙ Dostawca: CAT-Zeppelin
- ⊙ Typ: Cat 3520C
- ⊙ 20-cylindrowy silnik widlasty
- ⊙ Generator Cummins AvK
- ⊙ Moc znamionowa 2035 kW
- ⊙ Sprawność 39,5%
- ⊙ Produkcja ciepła technologicznego dla suszarni osadów

ZEPPELIN
Power Systems





GAZ WYSYPISKOWY



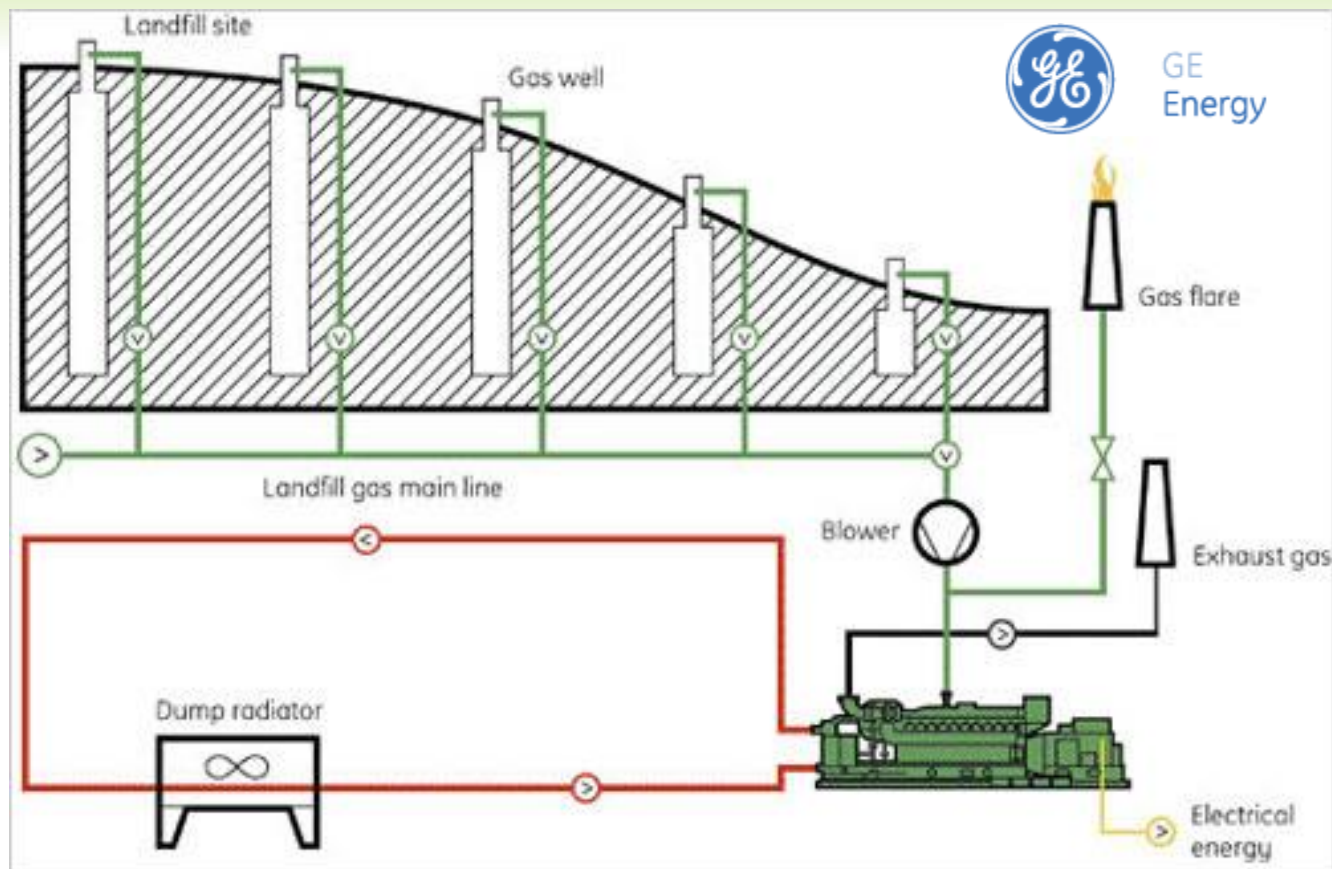
Note: Phase duration time varies with landfill conditions

Source: EPA 1997

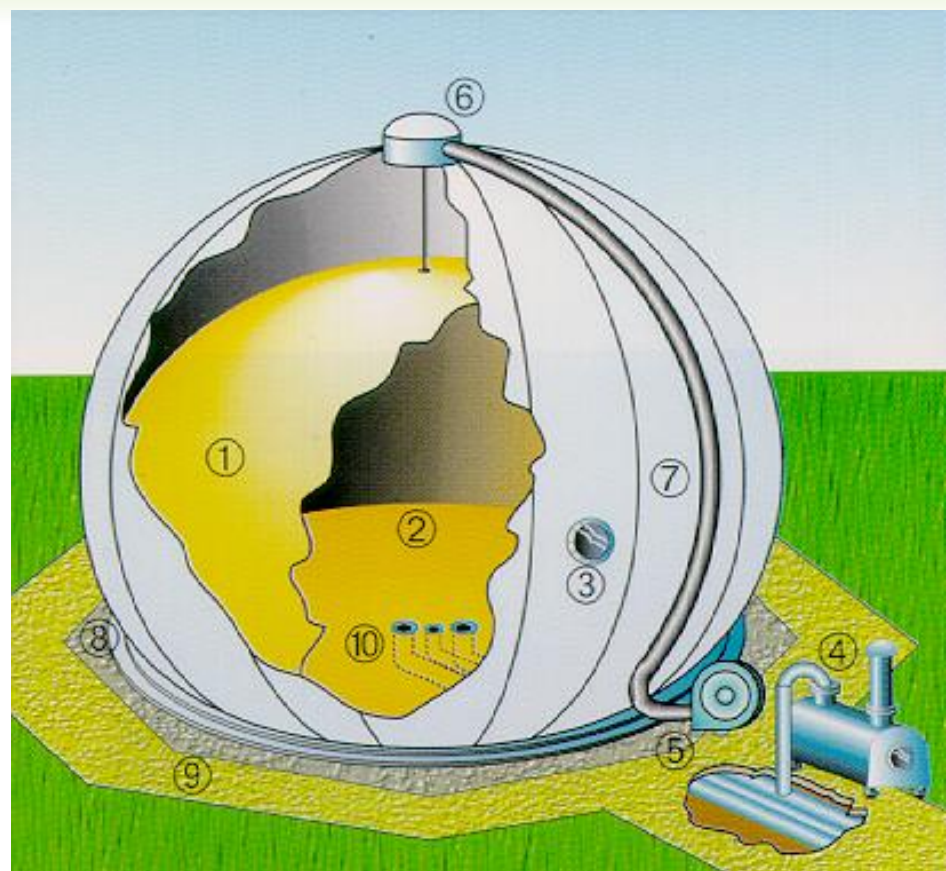
- ⊙ Rozpoczęcie produkcji w 3-12 miesięcy po rozpoczęciu składowania odpadów
- ⊙ Szczytowa produkcja w ciągu 5-10 lat
- ⊙ Czas pracy 25-30 lat

UKŁAD ENERGETYCZNY NA GAZ WYSYPISKOWY

$$w_u = 18 \text{ MJ/m}^3$$



MAGAZYNOWANIE BIOGAZU



GAZ DRZEWNY

- ⊙ Produkt termicznej gazyfikacji biomasy
- ⊙ Przykładowy skład:
 - ⊙ Azot: 50,9%
 - ⊙ Tlenek węgla: 27,0%
 - ⊙ Wodór: 14,0%
 - ⊙ Dwutlenek węgla: 4,5%
 - ⊙ Metan: 3,0%
 - ⊙ Tlen: 0,6%
- ⊙ Wartość opałowa ok. 6 MJ/m³

PRODUKCJA GAZU DRZEWNEGO – GAZYFIKATOR

- ⊙ Kilka procesów:
 - ⊙ Piroliza, temperatury $200 \div 600^{\circ}\text{C}$
 - ⊙ Spalanie, temperatura $> 700^{\circ}\text{C}$
 $\text{C} + 0.5 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{Energia}$
 $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{Energia}$
 $\text{H}_2 + 0.5 \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{Energia}$
 - ⊙ Gazyfikacja / redukcja
 $\text{C} + \text{CO}_2 + \text{Energia} \rightarrow 2 \text{CO}$
 $\text{C} + \text{H}_2\text{O} + \text{Energia} \rightarrow 2 \text{CO} + \text{H}_2$
 $\text{C} + 2\text{H}_2 + \text{Energia} \rightarrow \text{CH}_4$

PROSTY GAZYFIKATOR, 1920

GEORGES IMBERT

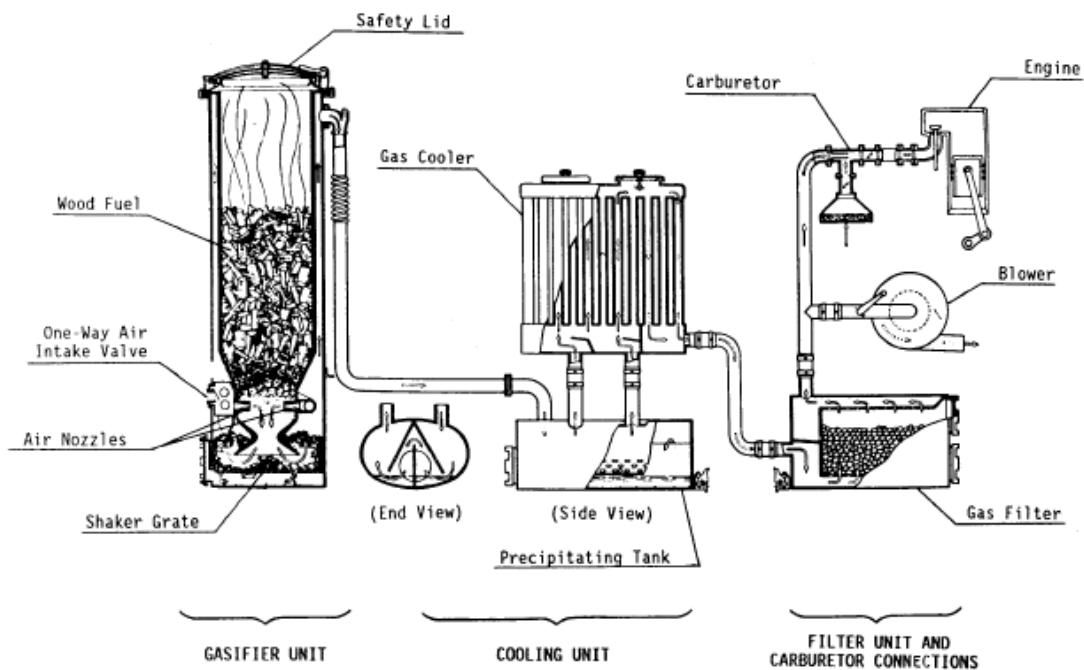


Fig. 1-2. Schematic view of the World War II, Imbert gasifier.

POJAZDY NA GAZ DRZEWNY 1930-1945



PzKpfw II tank

POJAZDY NA GAZ DRZEWNY 1930-1945



POJAZDY NA GAZ DRZEWNY LATA 30. I 40. XX W.



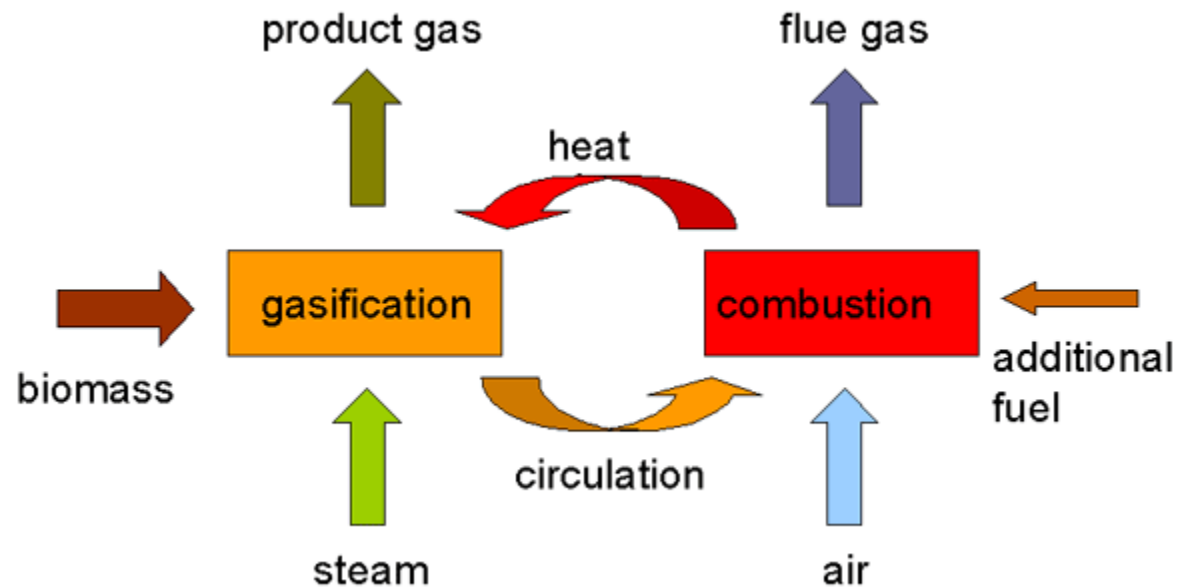
Adler Diplomat

POJAZDY NA GAZ DRZEWNY LATA 30. I 40. XX W.



GAZYFIKACJA FICB

FAST INTERNAL CIRCULATING FLUIDIZED BED





Rev. 2 04.10.2000 Tremmel H.

GÜSSING

PODSTAWOWE PARAMETRY



Parametr	Jedn.	Wartość
Paliwo	—	Zrębka drzewna
Metoda gazyfikacji	—	FICB
Moc w paliwie	kW	8000
Moc elektryczna	kW	2500
Moc cieplna	kW	4000
Sprawność elektr.	%	31%
Sprawność całk.	%	81,3

Odbiorniki gazu:

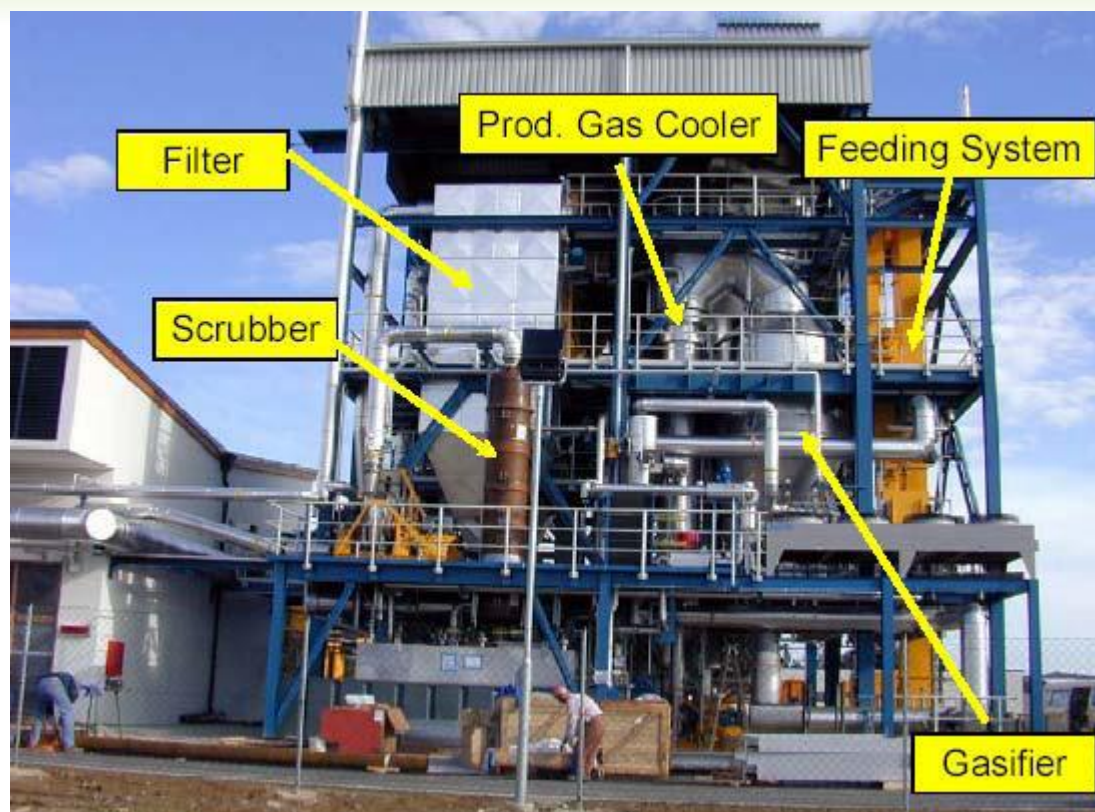
- Silnik gazowy GE-Jenbacher
- Kocioł wodny

GÜSSING

SKŁAD OSUSZONEGO GAZU



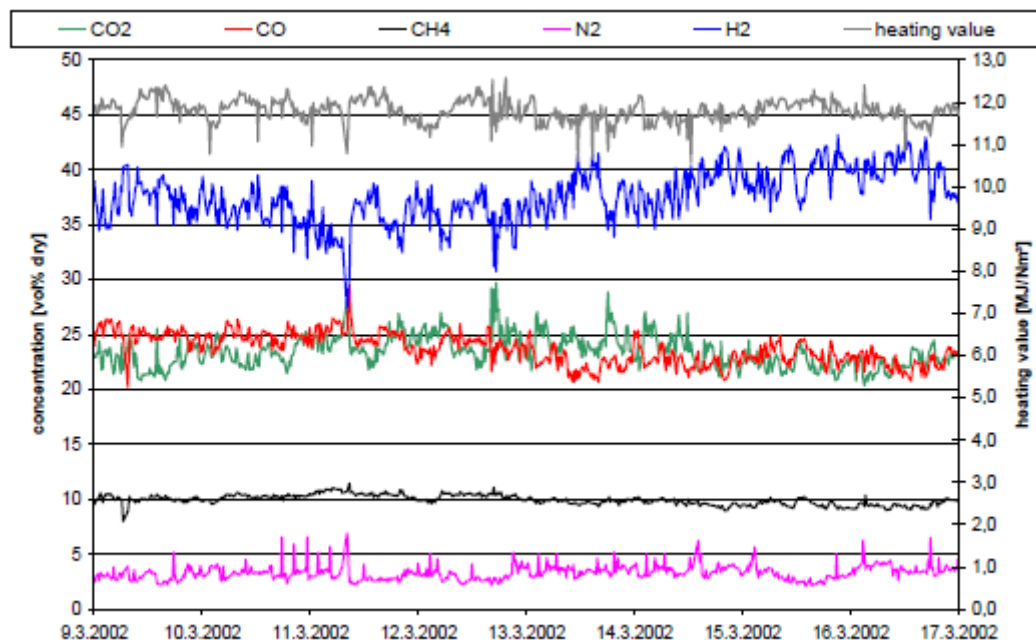
Składnik		Zawartość (% obj.)
Wodór	H ₂	35-40
Tlenek węgla	CO	20-30
Dwutlenek węgla	CO ₂	15-25
Metan	CH ₄	8-12
Wodór	N ₂	3-5





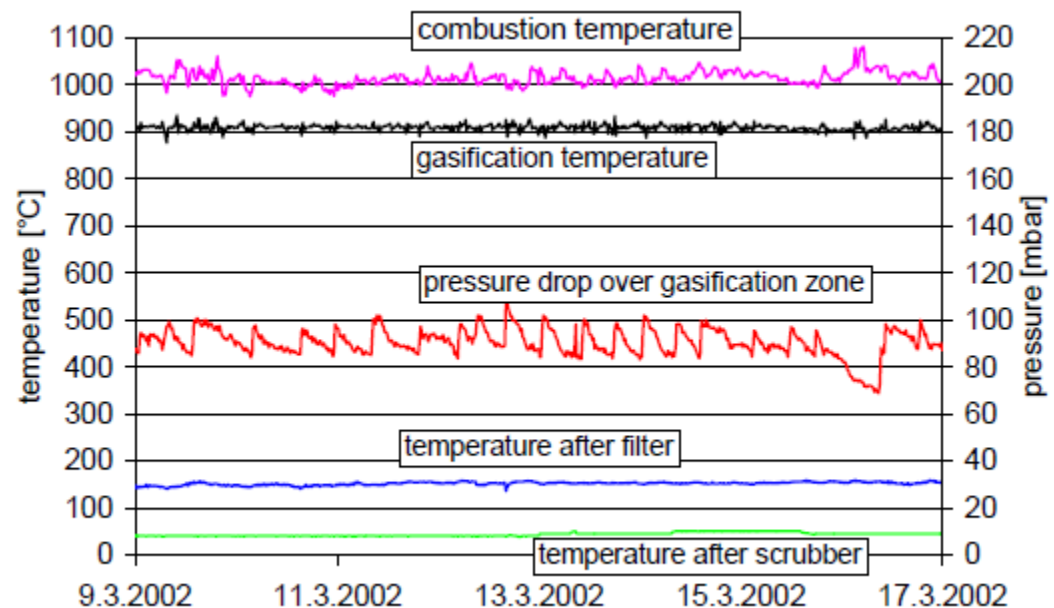
GÜSSING

SKŁAD OSUSZONEGO GAZU



GÜSSING

TEMPERATURE PROCESU FICB



ELEKTROWNIE BIOGAZOWE POLSKA

2012

2016

Typ obiektu	Liczba	Moc [MW]	Liczba	Moc [MW]
Wytwarzające z biogazu z oczyszczalni ścieków	55	28,144	99	59,500
Wytwarzające z biogazu składowiskowego	80	45,994	98	63,645
Wytwarzające z biogazu rolniczego	8	8,416	67	71,996
Wytwarzające z biogazu mieszanego	1	0,330	3	2,852
RAZEM	144	82,884	267	197,993

OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW BIAŁYSTOK

Parametry

- Moc elektryczna 480 kW
- Moc cieplownicza 510 kW
- Dostawca – Horus Energia
- Obudowa
dźwiękoizolacyjna



PALIWA ZWIERZĘCE

ODPADY ZWIERZĘCE

- ◎ Spalanie w kotłach
- ◎ Odpady rybne/drobiowe można przetworzyć na biopaliwo ciekłe
- ◎ Olej rybny może być spalany w silnikach wysokoprężnych
- ◎ Łój może być spalany w silnikach wysokoprężnych
- ◎ Ograniczenia natury epidemiologicznej –
– konieczność podgrzewania spalin

INSTALACJE NA ODPADY DROBIOWE W WLK. BRYTANII



Thetford

- 38,5 MW
- Odpady kurze
- Kocioł rusztowy (Detroit stoker + Foster Wheeler)
- Turbina parowa



Eye

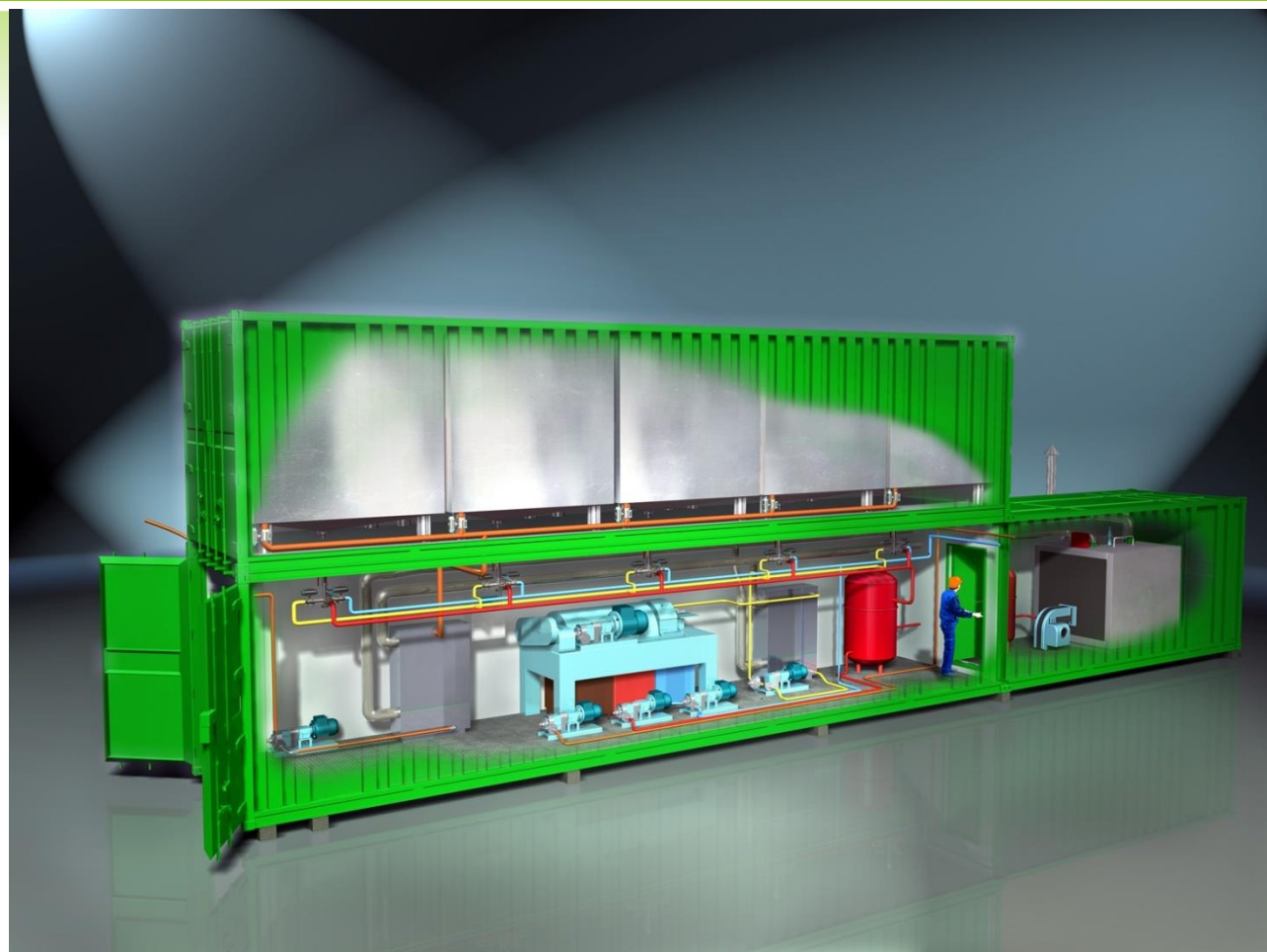
- 12,7 MW
- Odpady drobiowe, pióra
- Kocioł rusztowy (Aalborg boilers)



Westfield

- 9,8 MW
- Odpady drobiowe
- Kocioł z pęcherzykowym złożem fluidalnym (Mitsui Babcock/ Abengoa)

OLEJ DROBIOWY - - PALIWO DO DIESLA



CHICKEN OIL - FUEL FOR DIESEL ENGINES

Miażdżenie odpadów

Dodanie kwasu mrówkowego (HCOOH)

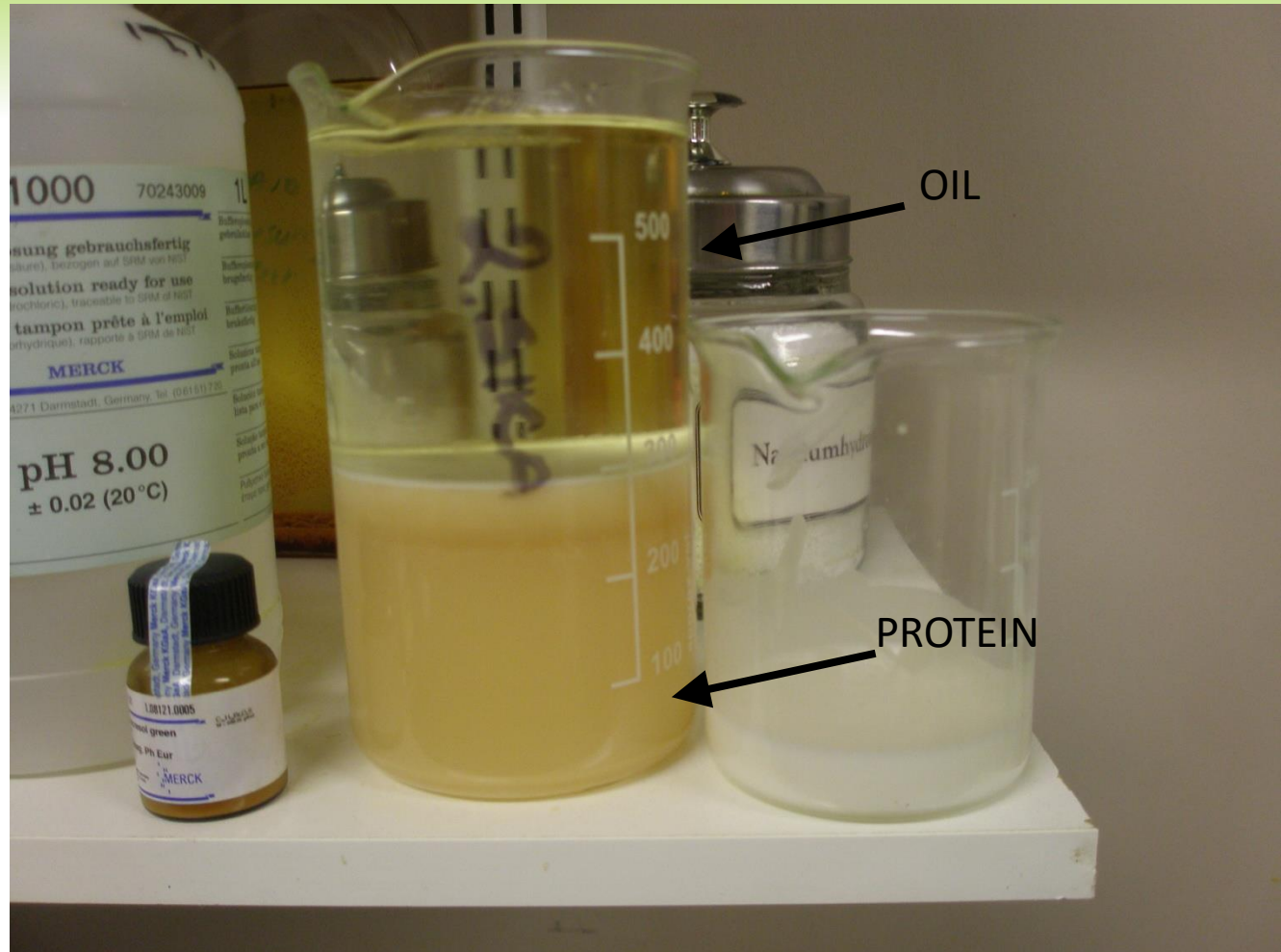
Podgrzanie do 70°C – min. 1 h

Rozdział faz – dekanter trójfazowy

Separacja zanieczyszczeń i wody



OLEJ DROBIOWY - - PALIWO DO DIESLA



BIOPALIWA W ENERGETYCE

PODSUMOWANIE

- ◎ Wykonalność:
 - ◎ Ograniczona bez dopłat do produkcji energii
 - ◎ Czasami także bez dopłat do inwestycji
 - ◎ ...odpowiednie dopłaty – i wszystko się opłaca.
- ◎ Biznes oparty o działania regulacyjne – czynnik dodatkowego ryzyka.
- ◎ Kluczowy element planowania przedsięwzięcia –
– zapewnienie łańcucha dostaw paliwa.

THANK YOU!

Adam Rajewski

adam.rajewski@itc.pw.edu.pl