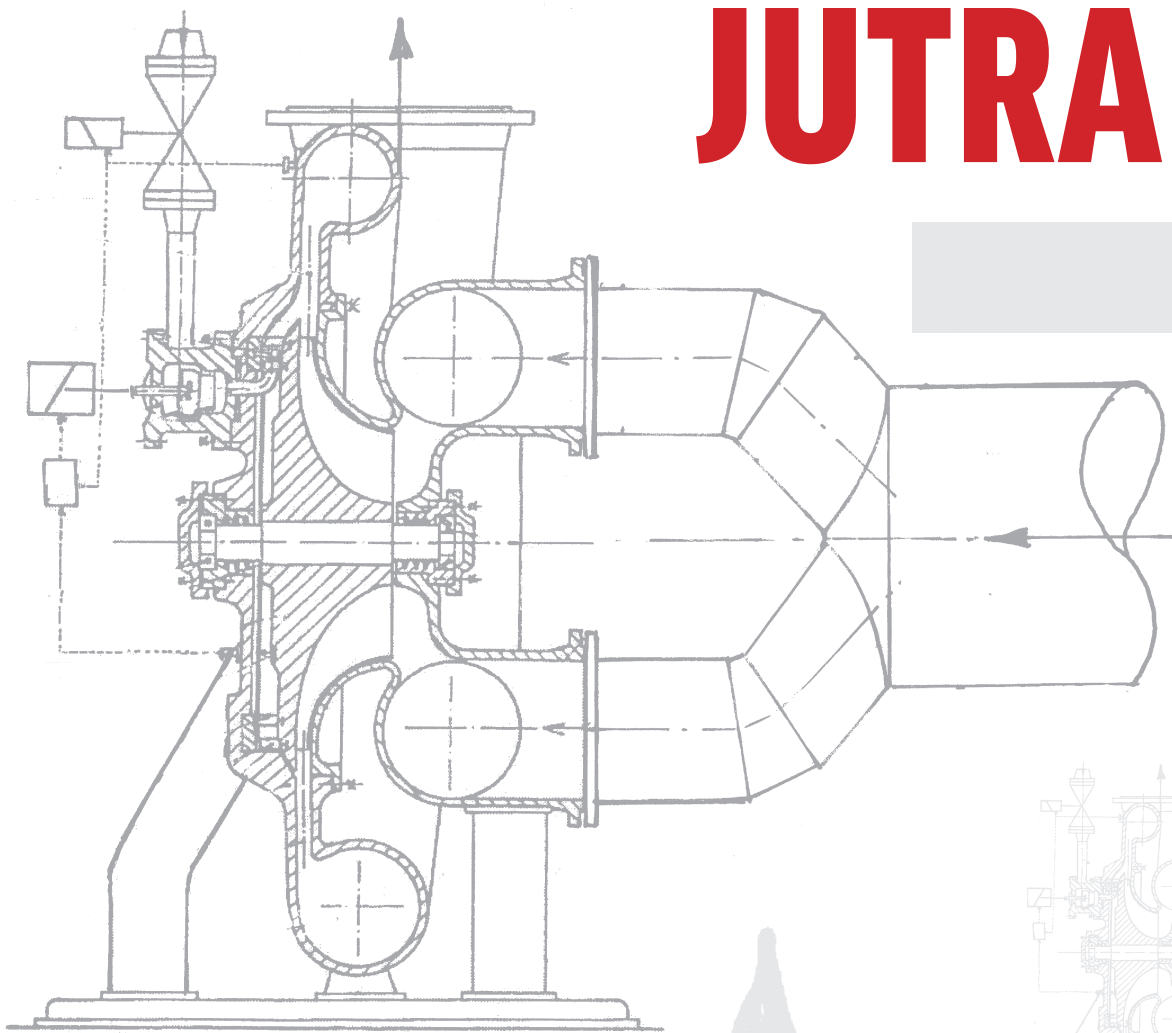


Edmund Otorowski

ENERGETYKA JUTRA



Warszawa 2015

Edmund Otorowski
Energetyka jutra

Warszawa 2015

Edmund Otorowski

Energetyka jutra

Warszawa 2015

© Edmund Otorowski 2015

Korekta: zespół

Redakcja techniczna www.mykgraf.pl

ISBN: 978-83-942872-0-7

S P I S T R E Ś C I

Wstęp	7
CZEŚĆ I Energetyka w cukrowniach	9
1. Uwagi ogólne o cukrowniach	11
2. Elektrociepłownie w cukrowniach	12
3. Wysłodki w cukrowni buraczanej to jak bagassa w trzcinowej	13
4. Suszenie wysłodków (spalinowe)	18
5. Suszenie wysłodków (parowe)	20
6. Propozycja zmiany gospodarki cieplnej w cukrowniach buraczanych	21
CZEŚĆ II Paliwa	31
1. Mokre paliwa stałe	33
1.1. Dotychczasowy sposób spalania	33
1.2. Nowa koncepcja spalania	38
1.2.1. Podstawowa	38
1.2.2. Uzupełniająca	53
1.3. Spalanie odpadów komunalnych (śmieci)	58
1.4. Spalanie torfu	61
2. Biopaliwa	62
3. Kontrowersje dotyczące CO ₂	68
CZEŚĆ III Nowy model elektrowni	75
1. Opis stanu istniejącego	77
2. Wyliczenie koniecznych ilości paliw dla stanu istniejącego	77
3. Zapotrzebowanie mocy elektrycznej dla Polski	80
4. Opis nowego modelu elektrowni	81
5. Schemat ideowo-dyspozycyjny	82
6. Informacje dotyczące stali żarowytrzymałych (wg P. M. zeszyt 9/2011 z oprac. dr inż. M. Łomozika)	83
7. Wyliczenie koniecznych ilości paliw dla nowego modelu elektrowni	87
8. Alternatywna koncepcja nowego modelu elektrowni	88
9. Przykład zastąpienia bloku 360MW elektrowni Bełchatów	89
10. Wnioski	91

Bibliografia	93
Załączniki	94
Załącznik nr 1. Zdjęcie cukrowni Olmedo	94
Załącznik nr 2. Opinia dr inż. K. Urbańca	95
Załącznik nr 3. List protestacyjny do DN	96
Załącznik nr 4. List dr. inż. K. Austmeyera	97
Załącznik nr 5. Ekspertyza prof. K. Urbańca	98
Załącznik nr 6. Cukrownia Könnern (folder)	99
Załącznik nr 7. Sprawności sprężania pary	100
Anhang	
Neues Energiemodell für die Zuckerindustrie	102

Wstęp

Energetyka jest dziedziną gospodarki i nauką techniczną zajmującą się wytwarzaniem przetwarzaniem i przesyłem energii elektrycznej i ciepłej na odległość, jak również wytwarzaniem takiej energii na miejscu u użytkownika. Zastosowanie jest w zasadzie tak szerokie, że praktycznie nie ma dzisiaj dziedziny życia gospodarczego czy też indywidualnego obywatela, gdzie można by się obejść bez korzystania z energii. W sytuacjach szczególnych, gdy odbiorca energii jest odseparowany i koszty doprowadzania energii byłyby wysokie, istnieją dzisiaj możliwości wytwarzania indywidualnego, przy użyciu baterii słonecznych lub napędu wodnego, czy też turbin wiatrowych.

Trzeba również zwrócić uwagę, że w ostatnim czasie temat energetyki stał się tak popularny (w tym wśród dziennikarzy), że wystarczy otworzyć gazetę, radio itp., by się dowiedzieć, że co drugi Polak to energetyk. Plotą przy tym takie brednie (których nikt nie koryguje) jak np. ta zasłyszana z radia, gdzie znany tzw. ekolog obwieścił, że nie opłaca się budować elektrowni, bo przesył w kraju na odległość energii elektrycznej powoduje jej 40% stratę. Oddzielną sprawą są uczelnie i ośrodki naukowe, które rozwiązania techniczne procesów i urządzeń (które ktoś kiedyś wymyślił i zastosował) traktują bezkrytycznie, jakby były one nadane przez Opatrzność. Powstają kolejne książki o tym samym, a jeżeli autor ujmie zagadnienie w definicje i wzory obliczeniowe, to już często pachnie kolejnym doktoratem.

Ja w swoim życiu zawodowym napotkałem cały szereg takich niepoprawności, które oceniłem krytycznie i zgłosiłem do publicznej oceny.

Będą one w kolejności przedstawione w dalszej części tego opracowania.

Niezależnie namawiam wszystkich kolegów z branży, aby krytycznie oceniali te wszystkie stare rozwiązania, które wlokły się przez cały XX wiek i nadal wchodzą do XXI.

Autor
edmund.otorowski@onet.pl

CZĘŚĆ I
Energetyka w cukrowniach

1. Uwagi ogólne o cukrowniach

Pracując przez wiele lat w przedsiębiorstwie projektowania i budowy cukrowni głównie dla zagranicy miałem do czynienia z różnego rodzaju rozwiązaniami. Głównie dotyczyły one cukrowni buraczanych, choć trafiały się też trzcinowe.

Dwa słowa o cukrowni buraczanej.

Buraki cukrowe ze składowiska kierowane są do płuczki wodnej, gdzie zostają umyte i gdzie oddzielają się od nich kamienie i inne ciała obce. Umyte kierowane są do krajalnic, gdzie burak zostaje pocięty na drobne paski typu „makaroniki”. Ta w swojej masie, nazywana teraz „krajanka”, jest kierowana do dyfuzji i tam w procesie gorącym (w gorącej wodzie) są wypłukane z niej związki cukrowe. Tak odsączona krajanka, nazywana z kolei „wysłodkami”, jest przepuszczana przez prasy, aby odebrać z niej resztę soku. Cały sok jest teraz poddany obróbce chemicznej, filtracji i kierowany do wielostopniowej stacji wyparnej, gdzie główna część wody zostaje z soku odparowana. To tu prawie cała para odlotowa z turbin przeciwnych, w które jest wyposażona elektrociepłownia, jest kierowana do grzania I korpusu tej stacji. Zagęszczony sok z tej stacji poprzez mieszadła wędruje teraz do wężadła próżniowych, w których odparowuje reszta wody i następuje krystalizacja cukru. Po osiągnięciu właściwego stanu ta gęsta „magma” jest cyklicznie wlewana do wirówek, z których po odsączeniu resztek syropu wysypuje się mokry biały cukier.

Też dwa słowa o cukrowni trzcinowej.

Różni się od buraczanej tym, że nie posiada płuczki, krajalnic i dyfuzji. W zamian ma tzw. stację młynów (która raczej przypomina walcownie w hucie). Pierwszy element tej młynowni to wstrząsacz tych kijów (badyli trzcinowych), gdzie usuwa się część piasku przyklejonego do nich (głównie w części przyziemnej), kamienie czy inne przypadkowe żelastwo. Drugi element młynowni to siekacz, który tnie te kije na sieczkę. Następnie ta sieczka przechodzi przez szereg walców, gdzie polewana rozcieńczonym wodą sokiem jest wygniatana i wypłukiwana z zawartych związków cukrowych. Po ostatnim walcu ta trzcinowa sieczka nazywa się teraz bagassą i zawiera ok. 50% wody i jest używana jako paliwo we własnej elektrociepłowni. Reszta procesu technologicznego cukrowni jest zbliżona do procesu w cukrowni buraczanej. Nie wiem, jak jest dzisiaj, ale gdy jeszcze byłem czynny zawodowo, pojawiały się informacje o pracach nad dyfuzyjnym wydobyciem cukru z trzciny cukrowej.

2. Elektrociepłownie w cukrowniach

W zależności od kraju występowały różne sytuacje, a zatem i rozwiązania dla cukrowni:

Takie, gdzie cukrownie zdane były wyłącznie na własne elektrociepłownie i były całkowicie pozbawione innego źródła energii. Elektrociepłownie te były dodatkowo wyposażone w dieselagregaty prądotwórcze, umożliwiające rozruch elektrociepłowni.

Cukrownie z własną elektrociepłownią, lecz wyposażone również w stację sprężelową do zasilania z zewnętrznej sieci elektrycznej.

Cukrownie pozbawione własnej elektrociepłowni, otrzymujące parę i energię elektryczną z obcego źródła, np. z pobliskiej elektrowni zawodowej. Takie przypadki występowały dla cukrowni w Bułgarii i w CSRS.

W przeważającej większości cukrownie posiadały elektrociepłownie wyłącznie dla własnych potrzeb. Bywały jednak i takie rozwiązania jak dla kombinatu Bei Tse w ChRL czy dla niektórych fabryk w ZSRR, gdzie elektrociepłownie zasilają również inne obiekty wchodzące w skład kombinatu.

Największy jednak wpływ na samo zróżnicowanie rozwiązań, a zatem i wyposażenie elektrociepłowni miały z reguły takie czynniki, jak wielkość przerobowa cukrowni i rodzaj paliwa. Szczególnie rodzaj paliwa, którym dysponował inwestor, zmuszał do wprowadzenia nowych rozwiązań konstrukcyjnych, tak samych kotłów, jak i urządzeń transportujących i pomocniczych. W ten sposób powstawały kotły parowe różnych konstrukcji i typu:

Opalane węglem:

- typ OSR-16 dla cukrowni Chiamussy i Nowe Chiny, wybudowane w Mandżurii – ChRL;
- typ OR-16 at (na węgiel antracyt) dla cukrowni trzcinowej Van Diem – Wietnam;
- typ OR-32 (z rusztem podsuwowo-zwrotnym) dla kombinatu Bei Tse – ChRL;
- typ OP-50 (pyłowe) dla kilku cukrowni w ZSRR.

Opalane węglem i olejem opałowym:

- typ OKO-25 (pyłowe) dla cukrowni w Shirvan i Fariman w Iranie;
- typ OKRO-25 (rusztowe) dla cukrowni Serrae – Grecja;
- typ ORO-32 (rusztowe) dla cukrowni Sidi Slimane – Maroko.

Opalane olejem opałowym

- typ 00-16 dla cukrowni Karadi – Iran;
- typ DSO-20 (Package) dla cukrowni Esfahan, Khoy, Lorestan – Iran;
- typ OKO-32 dla cukrowni Shirin – Iran;
- typ OKO-36 dla cukrowni Mosul – Irak;
- typ 00-35 dla cukrowni Oriestas – Grecja;

- typ 00-50 dla cukrowni Hrochuv Tynec, Hrusovany – CSRS;
- typ 00-60 dla cukrowni Xanthi – Grecja;
- typ 00-55 dla cukrowni Fariman, Jovein, Moghan Valley, Torbata-Heydarieh – Iran;
- typ 00-80 dla cukrowni Kaba – WRL.

Opalane olejem i gazem

- typ OGO-50 dla kilku cukrowni w ZSRR;
- typ OGO-55 dla cukrowni Mosul – Irak.

Opalane bagassą i olejem opałowym

- typ OKRO-16 dla cukrowni Kantalay – Sri Lanka;
- typ OSRO-20 dla cukrowni Tjot Girek – Indonezja;
- typ OKRO-20 dla cukrowni Acuse – Ghana;
- typ OKRO-25 dla cukrowni Chistian, Pasrur, Pattoki, Sumundri – Pakistan (częściowo w kooperacji z miejscową firmą Taxila).

3. Wysłodki w cukrowni buraczanej to jak bagassa w trzcinowej

Z reguły większość cukrowni na świecie przerabiających trzcinę cukrową jest opalana bagassą, czyli wytlókami z tej trzciny. Cukrownie te zużywają ok. 70% bagassy otrzymanej z pełnego przerobu, zaś resztę oddają innym użytkownikom.

Taka więc klasyczna cukrownia trzcinowa jest samowystarczalnym energetycznie zakładem i poza szczątkową ilością paliwa rozpałkowego, głównie oleju opałowego, nie stosuje innego paliwa.

Ten stan zasługuje jednak na krytyczną ocenę, szczególnie w tych krajach, gdzie jest do dyspozycji inne tanie paliwo, a to z tego względu, że bagassa jest cennym surowcem mającym zastosowanie do wyrobu papieru, płyt spilśniowych, węgla aktywowanego, materiałów plastycznych, nawozów biologicznych oraz materiałów budowlanych i izolacyjnych.

Z bagassy, z zawartej w niej pentozy, otrzymuje się furfural i aldehyd furylowy, znajdujące zastosowanie w przemyśle chemicznym. Ostatnio uzyskano również z bagassy wartościową paszę.

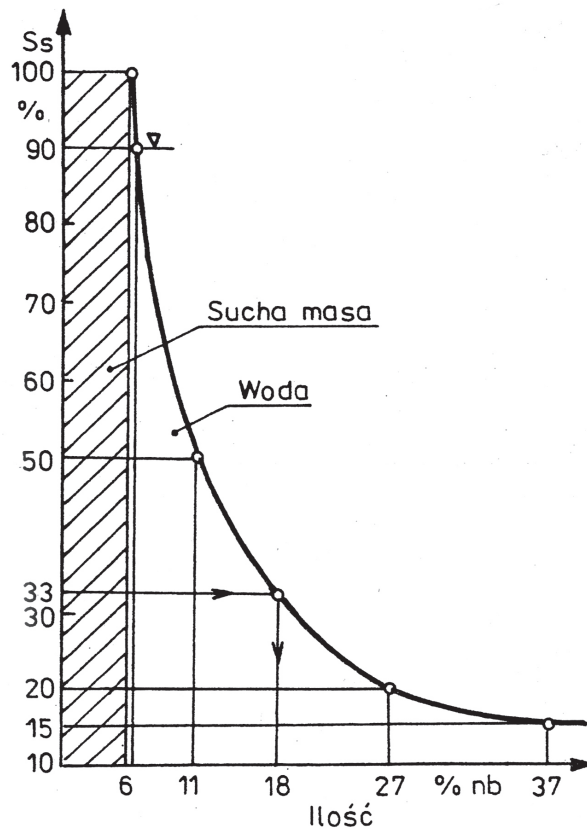
Spalanie w kotłach tak cennego surowca jak bagassa jest mniejszym złem w porównaniu z obecnymi propozycjami firm zachodnich, które z braku zamówień na cukrownie usiłują przestawić produkcję buraków cukrowych, trzciny cukrowej, zbóż itp. na produkcję etanolu. Mówią o tym doniesienia i referaty wygłoszone na Kongresie Międzynarodowego Instytutu Badań nad Burakiem (IIRB), który odbył się w Brukseli w lutym 1988. Nagle, na kanwie modnego hasła „ochrona środowiska

naturalnego”, dla zmniejszenia zawartości ołowiu konieczny jest etanol jako dodatek do benzyny, otrzymywany właśnie z soku cukrowiczego i innych cennych surowców spożywczych.

Kto jak kto, ale Brazylia powietrza świeżego ma dosyć i nie to wpłynęło na rozwój technologii produkcji etanolu z trzciny cukrowej w tym kraju.

Tendencje do przestawiania procesu technologicznego cukrowni na fermentację soku dla otrzymania etanolu są typowym egoistycznym postępowaniem bogatych. Przypomina to znane z przeszłości przykłady niszczenia zbóż i pasz w celu utrzymania konkurencyjnych cen na rynkach.

Jest przecież wiele krajów biednych o bardzo niskim spożyciu cukru, które mają inne surowce, gotowe wymieniać je za cukier. Światowe organizacje do spraw żywienia, jak również Bank Światowy, powinny wpływać na zachwiany rozwój i dysproporcję stanu żywienia tym bardziej, że przyrost ludzi na świecie stale wzrasta i problem żywienia będzie się zaostrzał.



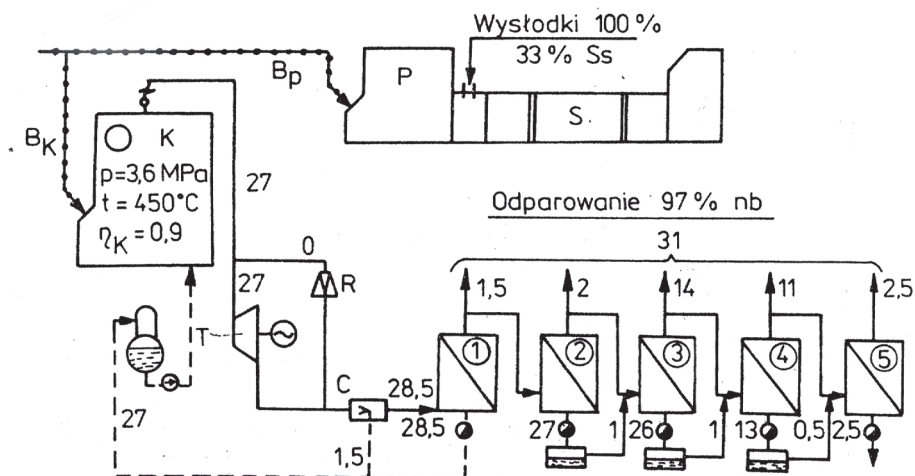
Rys. 1/I. Ilość wysłodków w % nb., w zależności od stopnia wyjęcia, w % Ss.

uwagi:

S_s – suchej substancji

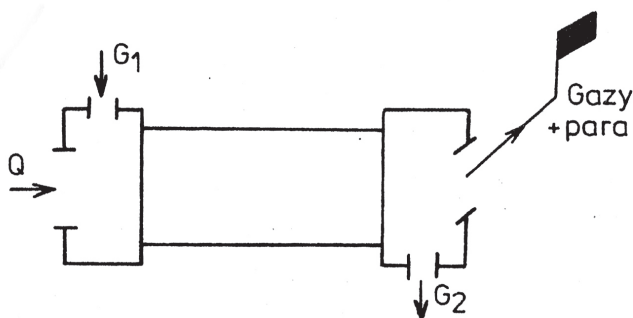
% nb – w % na buraki (na ilość w tonach przerobionych buraków w godzinę)

Natomiast problem czystości spalin można rozwiązać przez stosowanie benzyn bezołowiowych, odpowiednich katalizatorów, pochłaniaczy itp., a przede wszystkim zmniejszenie zużycia paliw. Przecież w tej dziedzinie istnieje ogromny postęp – wystarczy zauważyć, że czołowe firmy samochodowe są bliskie uzyskania zużycia ok. 3,5 litrów benzyny na 100 km, a do niedawna równoważnej mocy silniki spalały ok. 12 l/100 km. Jest oczywiste, że w wolnorynkowym świecie rządzi rachunek ekonomiczny i nikt nie powstrzyma produkcji etanolu zamiast cukru, jeśli będzie się to komuś opłacało.



Rys. 2/I. Schemat cukrowni nowoczesnej z wyparką pięciodziałową – warniki grzane III i IV działem: T – turbina, K – kocioł, P – palenisko, S – suszarnia spalinowa, R – reduktor pary, C – schładzacz pary

Drugim modnym problemem, do którego zachęcają inne wyspecjalizowane firmy, jest poddawanie fermentacji metanowej wartościowych surowców roślinnych – takich jak trawy, słomy, odpady drzewne, liście, w tym liście buraczane, bagassa, wysłodki itp. – dla uzyskania biogazu. Jest to zatem podobny problem, jak z etanolem. W powyższym świetle autor może również przedstawić podobną (nie licząc się z niczym) koncepcję, prowadzącą do samowystarczalności energetycznej cukrowni buraczanej.



Rys. 3/I. Zapotrzebowanie ciepła Q do odparowania wody z wysłódków

Znacznie lepszy i prostszy efekt cieplny można uzyskać ze spalania wysuszonych wysłódków, niż otrzymana się ze spalania biogazu, wytworzonego z tych wysłódków. Wysłódki nie zawierają siarki, a zatem spaliny będą pozbawione SO_2 . W procesie fermentacji metanowej powstaje również siarkowodór, który winien być z biogazu usuwany (przepuszczanie biogazu np. przez złożo czynnych tlenków żelaza), aby spaliny również nie zawierały SO_2 .

Wychodząc zatem z takiego rozumowania można założyć, że dla niektórych cukrowni bardziej opłacalne może być użycie własnych wysłódków jako paliwa, tym bardziej, że istnieje możliwość pełnego zbilansowania energetycznego. Jeżeli jeszcze zdoła się uzyskać stopień wyżęcia wysłódków do 50% S_s (firmy zachodnie prowadzą takie badania), to mogą one być spalane bezpośrednio w kotle – podobnie jak bagassa, która na wyjściu z ostatniego młyna uzyskuje zbliżoną zawartość wody.

Nowoczesna cukrownia o przerobie np. 2400 t buraków na dobę, wyposażona w wyparkę pięciodziałową i prasy silnego wyżęcia (33% S_s uzyskuje się na prasach Babbini lub Salzgitter), która suszy w 100% wysłódki w suszarni spalinowej, będzie zużywała ogółem 3,0 t oleju opałowego na godzinę. Koszt oleju opałowego (przy cenie 200 \$/t) będzie wynosił 600 \$/h. Wysłódków suchych (90% S_s) z pełnego przerobu można otrzymać 6% nb., tj. 6,0 t/h. Jeżeli cena wysłódków będzie wynosiła np. 100 \$/t, to zysk ze sprzedaży będzie wynosił również 600 \$/h. Wartość opału suchych wysłódków stanowi połowę wartości opału oleju opałowego, czyli efekt energetyczny i finansowy byłby identyczny, tzn. spalając w kotle i palenisku suszarni 6 t/h suchych wysłódków (przy wysokiej sprawności kotłów i nie występowaniu siarki jest możliwość obniżenia temperatury spalin do $120^\circ C$), otrzymamy taki sam efekt jaki ze spalania 3 t/h oleju opałowego. W takiej cukrowni będą również oszczędności inwestycyjne oraz odpadną koszty transportu paliwa i wysłódków.

Skład chemiczny suchych wysłódków w %:

woda	10,0
cukier	4,0
celuloza i hemiceluloza	38,0
pektyny	36,0
białka	7,0
związki azotowe	0,3
tłuszcze	0,7
popiół	4,0
razem	100,0

Bilans paliwa dla cukrowni nowoczesnej (wg. Rys. 2/I)

Zapotrzebowanie oleju opałowego B_k dla cukrowni o przerobie 2400 t/d:

$$B_k = \frac{D(i_p - i_w)}{W_u \cdot \eta_k}$$

gdzie:

D – ilość pary z kotłów

i_p – entalpia pary z kotła

i_w – entalpia wody zasilającej

W_u – wartość opałowa oleju

η_k – sprawność kotła

$$B_k = \frac{27 \cdot 10^3 (3320 - 520)}{40000 \cdot 0,9} = 2,1 \text{ t/h}$$

Zapotrzebowanie oleju opałowego B_p dla wysuszenia 100% wysłódków wyzętych do 33% Ss (Rys. 3/I):

G_1 = wysłódki prasowane (33% Ss) – 18,0 t/h

G_2 = wysłódki suszone (90% Ss) – 6,0 t/h

W = ilość wody do odparowania 12,0 t/h

Wymagana ilość ciepła do odparowania wody w ilości 12,0 t/h wynosi (Rys. 3/I):

$$Q' = w(i_D - i_s) = 12 \cdot 10^3 (2690 - 84) = 31 \cdot 10^6 \text{ kJ/h}$$

gdzie:

i_D – entalpia oparów z suszarni

i_s – entalpia wody w wysłódkach na wlocie suszarni

Po uwzględnieniu ciepła na straty:

- w spalinach odlotowych (suchych);
- promieniowania;
- odparowania wody zawartej w paliwie;

- pary wytworzonej ze spalania wodoru zawartego w paliwie;
- wilgotności powietrza itp.

Razem straty w przybliżeniu: $0,225 Q'$

Łączne zapotrzebowanie ciepła (z wyliczenia) wynosi:

$$Q = Q' + 0,225 Q' = 38 \cdot 10^6 \text{ kJ/h}$$

Wymagana ilość oleju opałowego dla odparowania wody z wysłdków:

$$B_p = \frac{Q}{W_u} = \frac{38 \cdot 10^6}{40000} = 0,95 \text{ t/h}$$

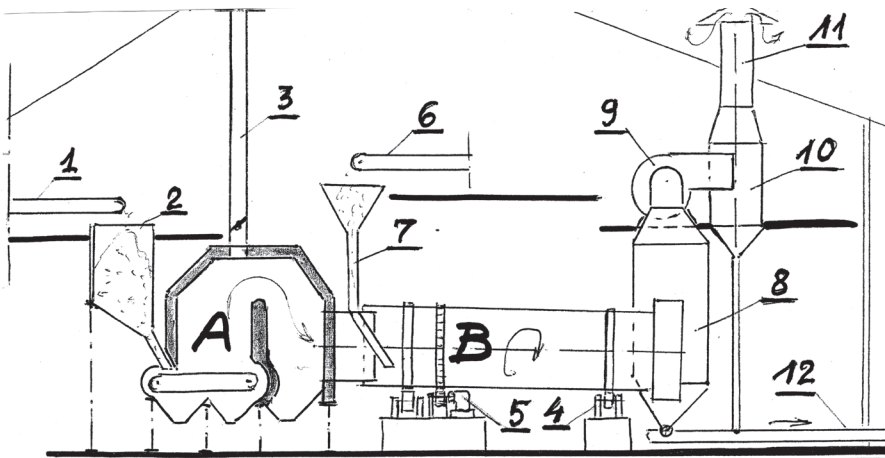
Całkowite zapotrzebowanie oleju opałowego:

$$B = B_k + B_p = 2,1 + 0,95 = 3,05 \text{ t/h}$$

Z technicznego względu rozwiązanie ma sens, ale czy z innego również, to już jest pytanie.

4. Suszenie wysłdków (spalinowe)

Drugim po elektrociepłowni źródłem wytwarzania ciepła (gorących spalin) w cukrowni jest palenisko w zestawieniu z suszarnią wysłdków. Większość cukrowni w Europie i innych krajach suszy wysłdki. Wysłdki suszone i zbrykietowane są cenną paszą, którą cukrownie sprzedają po korzystnych cenach.



Rys. 4/I. Suszarnia typu Büttnera

A – palenisko z rusztem mechanicznym; B – bęben obrotowy z półkami przesypowymi wewnątrz; 1 – podajnik węgla; 2 – zasobnik węgla; 3 – komin rozruchowy; 4 – rolki toczące bęben; 5 – napęd obracający bęben; 6 – podajnik wyższych wysłodków; 7 – zsypanie wysłodków do bębna; 8 – komora zsypana suchych wysłodków; 9 – wentylator wyciągowy spalin z oparami; 10 – cyklon; 11- komin spalin i oparów; 12 – odbiór wysłodków suchych.

Przedstawiona na powyższym rysunku suszarnia wysłodków, opalana węglem, była (jest) jedną z najbardziej rozpowszechnionych w cukrownictwie. Składa się z paleniska „A” i obrotowego bębna suszącego wysłodki „B”. Oczywiście w skład wchodzi cały szereg urządzeń pomocniczych (współpracujących, wyszczególnionych pod wyżej wym. rysunkiem w poz. 1-12). W rozruchowym okresie paleniska, spaliny z niego usuwane są do atmosfery kominem pomocniczym (poz. 3). Po uzyskaniu temperatury spalin w granicach 800-900°C, otwierany jest wlot do bębna, gdzie razem spaliny z mokrymi wysłodkami przepływają współprądowo przez bęben. Bęben wewnątrz posiada półki, które przesypują, mieszając wysłodki na całej jego długości. Przepływ (ciąg) spalin i powstających oparów (z wody zawartej w wysłodkach) jest wytwarzany podciśnieniem (ssaniem) przez wentylator (poz. 9). Drobne frakcje wysuszonych wysłodków zassane przez wentylator są wytrącane w cyklonie (poz. 10) i następnie opadają do przenośnika ślimakowego, odbierającego wysuszone wysłodki (poz. 12).

Są oczywiście różne inne odmiany rozwiązań suszących wysłodki, działające na zbliżonej zasadzie, łącznie z zasysaniem do bębna gorących spalin z kotłów z elektrociepłowni.

Wizualnym przykładem, ile energii cieplnej wylatuje w powietrze, jest zdjęcie (Załącznik nr 1) ogólnego widoku z lotu ptaka cukrowni Olmedo w Hiszpanii, wybudowanej w połowie lat 70. według naszych projektów (i naszych znacznych dostaw maszyn i urządzeń), wspólnie z hiszpańskimi firmami budowlano-montażowymi. Unoszący się (w zimny dzień) ten pióropusz pary zmieszany ze spalinami pochodzi z dwóch suszarni wysłodków opalanych olejem opałowym (mazutem). Tu najlepiej widać, ile energii cieplnej ulatuje w powietrze.

Zarówno w węglu, jak i w mazucie znajduje się siarka, która spala się na SO_2 i SO_3 , a w kontakcie z mokrymi, zimnymi wysłodkami tworzy się w wysłodkach kwas siarkowy H_2SO_4 . Gródki węgla (np. orzech – powszechnie zamawiany do suszarni) w czasie utleniania (spalania) rozsypują się, a ciąg porywa drobne frakcje, które mieszają się z wysłodkami. Ponadto zawarte w węglu różne pierwiastki metali ciężkich po utlenieniu przenoszą się również do wysłodków.

Przy spalaniu mazutów, które zawierają wanad, sód i siarkę w gorących gazach znajduje się popiół składający się m.in. z takich związków jak V_2O_5 , $\text{Na}_4\text{V}_2\text{O}_7$ czy Na_2SO_4 , które również pozostają w wysłodkach i nikt przez tyle lat nie przejmował

się tym, czy te wszystkie wyżej wymienione zanieczyszczenia w paszy szkodzą głównie krowom i w jakich ilościach przenoszą się na nas po spożyciu mleka i pochodzących z niego wyrobów.

5. Suszenie wysłodków (parowe)

Oglądając wielokrotnie bezpośrednio w kraju i zagranicą w okresie jesienno-zimowym (kampania buraczana) podobne pióropusze pary nad cukrowniami, jak uprzednio na Załączniku nr 1 w cukrowni Olmedo, doszedłem do wniosku, że taka gospodarka energetyczna to czyste marnotrawstwo. Marnotrawstwo dobrego gatunku węgla (groszek), paliw płynnych (olej opałowy) czy nawet gazu. Całe ciepło po odparowaniu wody z wysłodków wędruje do otoczenia. Jeżeli cukrownia susząca sto procent wysłodków zużywa (pomijając koks w piecu wapiennym) 100% paliwa, to rozdział jest następujący: ok. 70% zużywa elektrociepłownia, a ok. 30% suszarnia wysłodków.

W roku 1980 złożyłem wniosek w miejscu pracy o opatentowanie sposobu suszenia wysłodków parą przegrzaną. Od tego momentu ten wniosek (zgodnie z ówczesnymi w PRL-u zasadami) stał się własnością firmy, w której pracowałem i zaczął się nim zajmować Rzecznik Patentowy. Ale aby się zaczął zajmować, musiała dać na to zgodę Rada Techniczna. Na taką Radę, poza własnym kierownictwem firmy, byli zaproszeni z tytułami naukowymi przedstawiciele z Politechniki czy Instytutu Cukrowniczego oraz inne zainteresowane osoby. Przebieg wygłaszanych opinii był różnicowany i nie brakowało również takich w stylu przysłowiowego dyrektora cukrowni spod Horodenki, który powiedziałby: „Ja tam, Panie, u siebie zamawiałem orzech (chodzi o granulację węgla) i wszystko ładnie się suszyło i żaden koksik w zębach krowom nie zgrzytał i nie będzie mnie uczył energetyk, jak mam suszyć wysłodki”. Ostatecznie (dziś już nie pamiętam) po drugiej czy trzeciej takiej Radzie Technicznej, Rzecznik Patentowy dostał zgodę na zgłoszenie do Urzędu Patentowego. I teraz przez ponad dwa lata potykał się Rzecznik z Urzędem Patentowym – bo tam też było wszystko na nie. Ostatecznie sprawa znalazła się w Naczelnym Sądzie Administracyjnym. Przywołany przez Urząd Patentowy utytułowany ekspert z Instytutu Chemicznego wygłosił ex-katedra przed obliczem sądu krytyczne stanowisko – tak, że ja z Rzecznikiem wypadliśmy mniej korzystnie. Pomimo przychylnego stanowiska dla Urzędu Patentowego rozsądny ten sędzia (nie jestem pewny, czy on zrozumiał sedno i istotę sprawy) zalecił Urzędowi ponowne rozpatrzenie sprawy z ewentualną zmianą tytułu zgłoszenia. Ostatecznie sprawa opatentowania upadła – ale hasło suszyć wysłodki parą przegrzaną poszło w świat.

Upłynęły następne dwa lata (był już rok 1984), jak złożyłem kolejny wniosek o sposobie powiązania gospodarki cieplnej cukrowni z suszeniem wysłodków (dający duże oszczędności paliwa) – patrz Opinia Załącznik nr 2. Po upływie trzech lat w Warszawie w roku 1987 odbyła się Międzynarodowa Konferencja Techniczna poświęcona przemysłowi cukrowniczemu, na której wygłosiłem referat pt. „Koncepcja zmiany gospodarki cieplnej w cukrowni buraczanej” – patrz pkt 6.

A na naszym podwórku w temacie suszenia wysłodków parą nadal nic się nie działo. Żadnych zleceń na próbne stanowiska badawcze czy inne prace.

6. Propozycja zmiany gospodarki cieplnej w cukrowniach buraczanych

Referat ten wygłosiłem na Międzynarodowej Konferencji Technicznej w Warszawie w 1987 r. Sens techniczny zawartej w nim propozycji przedstawiam poniżej, wraz z wyliczeniem opłacalność opartej o ówczesne ceny paliw i wysłodków.

Proponowana zmiana gospodarki cieplnej w cukrowniach buraczanych polega na skojarzeniu dotychczasowego systemu tej gospodarki z procesem suszenia wysłodków po to, aby uzyskać wysuszenie wysłodków bez użycia dodatkowego paliwa na ten cel.

Problem suszenia wysłodków jest do dzisiaj sprawą dyskusyjną i w zależności od stopnia rozwoju gospodarczego danego kraju, a szczególnie poziomu jego rolnictwa, struktury tego rolnictwa, warunków klimatycznych, kosztów paliwa, transportu oraz ceny samych wysłodków – jest różnie traktowany.

W krajach o pewnych nawykach, gdzie rolnik w sposób tradycyjny od lat dostarcza do cukrowni buraki i odbiera wysłodki świeże lub wyżęte, stan taki jest uważany za normalny. Występują wówczas duże straty tej paszy zarówno w transporcie, jak w czasie jej silosowania. Mamy tu również do czynienia z wyższymi kosztami transportu, spowodowanymi przewozem dużych ilości wody zawartej w wysłodkach.

Kolejne zwiększenie stopnia mechanicznego wyżęcia wody z wysłodków (bez ich suszenia) też niczego nie rozwiązuje, ponieważ ma jedynie wpływ na obniżenie kosztów transportu. Rolnik musi otrzymać wysłodki wysuszone (90% Ss) do suchego przechowywania lub mokre do mokrego przechowywania (kiszonki) i nie ma to dla niego większego znaczenia jak mokre one będą. Ma natomiast istotne znaczenie dla samego procesu suszenia.

W krajach o wysokim poziomie rozwoju rolnictwa można obserwować stały wzrost zapotrzebowania na wysłodki suszone pomimo ich wysokiej ceny. Jest to również sprawa zasadnicza w wypadku eksportu wysłodków.

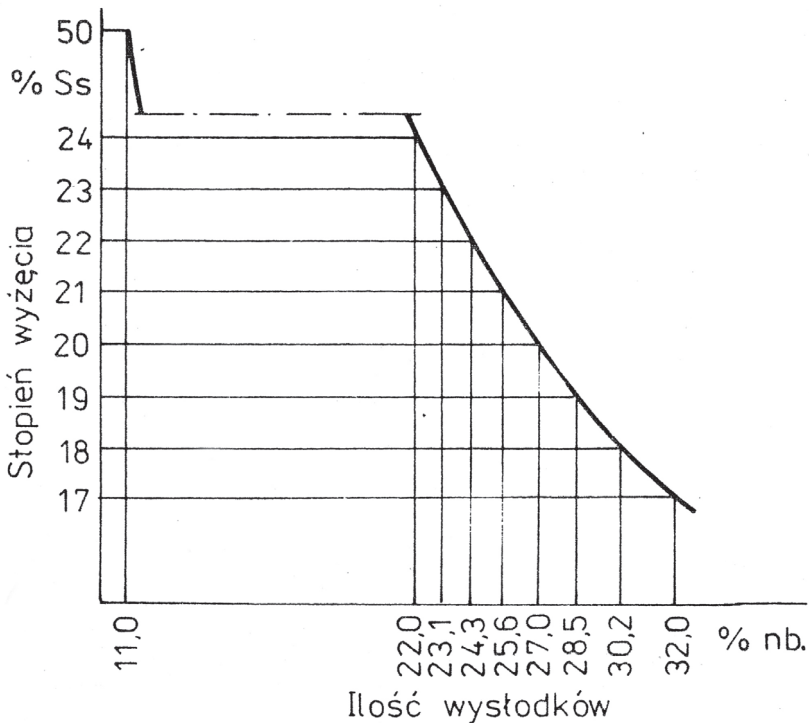
Zatem na tak zmienny stan można odpowiedzieć wprost, że o suszeniu wysłodków

decyduje dzisiaj popyt i interes własny cukrowni. Popyt jest z kolei kształtowany nawykami, poziomem rolnictwa itd., a szczególnie dysproporcją cen między wysłódkami mokrymi a suszonymi.

Jeżeli cukrownie obniżyłyby cenę wysłódków suszonych, a podwyższyły cenę wysłódków mokrych, to obraz zmieniłby się radykalnie na korzyść popytu na wysłódki suszone.

Na pytanie, czy cukrownie mogą obniżyć cenę wysłódków suszonych odpowiada niniejsza koncepcja zmiany dotychczasowego modelu gospodarki cieplnej. Cukrownictwo jako przemysł spożywczy nie powinno jedynie zajmować się samym cukrem, pozostawiając sprawę wysłódków niejako na uboczu, ponieważ nie leży to ani w interesie samych cukrowni, ani tym bardziej w interesie rolnictwa i transportu. Cukrownictwo powinno wpływać i kształtować rozwój całej gałęzi tego przemysłu, tak aby wszyscy mogli osiągać jak najmniejsze: straty cukru i wysłódków, koszty transportu, zużycie paliwa i energii oraz zanieczyszczenie środowiska.

Jeżeli np. cukrownia o przerobie buraków 2400 t/d uzyskuje 330 t cukru białego, to również za ten okres uzyskuje ok. 150 t suszonych wysłódków – i cukru, i wysłódków oczywiście na dobę.



Rys. 5/I. Ilość wysłódków w zależności od stopnia ich wyżecia

Wartość cukru wynosi ok. $330 \text{ t} \cdot 200 \$ = 66 \text{ tys. } \$ \text{ US}$. Wartość wysłodków wynosi ok. $150 \text{ t} \cdot 160 \$ = 24 \text{ tys. } \$ \text{ US}$.

Jak z powyższego przybliżonego porównania wynika, wysłodki suszone mogą stanowić ok. 35% wartości produkowanego cukru. A jeżeli jeszcze osiągniemy taki stan techniki, że suszenie wysłodków nie będzie powodowało zużycia paliwa na ten cel, to zysk dla cukrowni (i nie tylko dla cukrowni) będzie tu sprawą oczywistą.

Orientacyjne dane dla wysłodków w zależności od stopnia wyżęcia przedstawiono na Rys. 5/I.

Dla zilustrowania możliwości technicznych i korzyści ekonomicznych zostanie wykonane porównanie cukrowni tradycyjnej według schematu Rys. 6/I z cukrownią zmodernizowaną według koncepcji autora (schematy Rys. 7/I i Rys. 8/I), która suszy wysłodki przegrzаныmi oparami ze stacji wyparnej w ciśnieniowej suszarni, zwiększając w ten sposób ilość oparów.

Każde 3,5 kg oparów pobranych ze stacji wyparnej i przegrzanych do temperatury 480°C jest zdolne odparować około 1 kg wody zawartej w wysłodkach, kosztem różnicy entalpii tej pary – pomiędzy stanem przegrzania i nasycenia.

System gospodarki cieplnej tak skojarzonej prowadzi wprost do zwiększenia ilości oparów w stacji wyparnej (o ilości odparowanej wody z wysłodków), a przez to do zmniejszenia zapotrzebowania pary z elektrociepłowni do I działu.

Przedstawiono również możliwość dokonania modernizacji w celu przejścia ze schematu Rys. 6/I na schemat Rys. 7/I, z jednoczesnym porównaniem wydatków na paliwo z dochodem za wysłodki (Tab. 1) dla następujących wariantów:

A 1. Kiedy cukrownia pracuje według schematu Rys. 6/I i nie suszy wysłodków.

A 2. Kiedy cukrownia pracuje według schematu Rys. 6/I i suszy systemem spalinowym 100% wysłodków wyżętych do 24% Ss.

B Kiedy cukrownia pracuje według schematu Rys. 7/I i suszy systemem parowym 50% wysłodków wyżętych do 24% Ss.

C Kiedy cukrownia pracuje według schematu Rys. 8/I i suszy systemem parowym 100% wysłodków wyżętych do 24 Ss.

A. Cukrownia według stanu istniejącego (Rys. 6/I) (opalana olejem opalowym – mazutem)

Zużycie paliwa:

$$Bk = \frac{D(i_p - i_w)}{W \cdot \eta_k} = \frac{40000(3320 - 520)}{40000 \cdot 0,9} = 3,10 \text{ t/h}$$

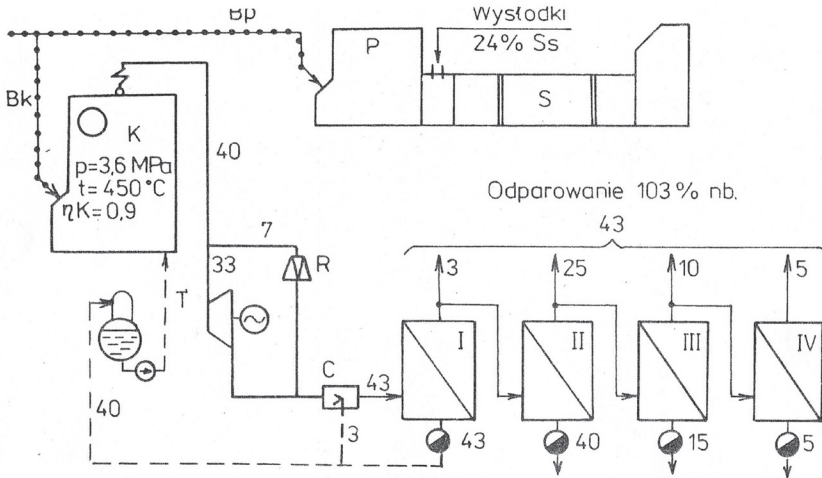
D – ilość pary z kotłów w kg/h

i_p – entalpia pary z kotłów w kJ/kg

i_w – entalpia wody zasilającej w kJ/kg

W – wartość opałowa oleju 40 000 kJ/kg

η_k – sprawność kotłów



Schemat cieplny w cukrowniach ze spalinową suszarnią wysłoków. Liczby naniesione na schemacie oznaczają ilości pary, oparów i skroplin w % nb. *K* – kocioł, *T* – turbina, *P* – palenisko, *S* – suszarnia spalinowa, *R* – reduktor pary, *C* – schładzacz pary

Rys. 6/I.

A1. Jeżeli cukrownia nie suszy wysłoków to zużycie paliwa wynosi:

$$A1 = Bk + Bp = 3,10 + 0 = 3,10 \text{ t/h}$$

A2. Jeżeli suszy 100% wysłoków systemem spalinowym to:

$$Bp = 1,4 \text{ t/h} - \text{z wyliczenia}$$

$$A2 = Bk + Bp = 4,50 \text{ t/h}$$

B. Propozycja zmodernizowania cukrowni istniejącej i przystosowania jej do suszenia systemem parowym 50% wysłoków wyjętych do 24% Ss (Rys. 7/I)

Zużycie paliwa:

$$Bk = \frac{D(i_p - i_w)}{W \cdot \eta_k} = \frac{33000(3320 - 575)}{40000 \cdot 0,9} = 2,53 \text{ t/h}$$

$$Bp = \frac{D_o(i_1 - i_2)}{W \cdot \eta_p} = \frac{28000(3440 - 2720)}{40000 \cdot 0,9} = 0,57 \text{ t/h}$$

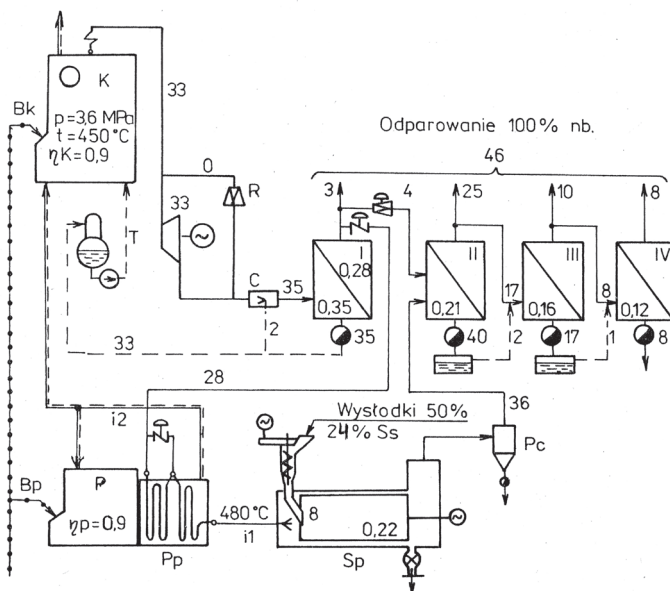
D_o – ilość pobranych oparów z I dz. stacji w kg/h

i_1 – entalpia przegrzanych oparów w kJ/kg

i_2 – entalpia oparów z I dz. w kJ/kg

$$B_1 = Bk + Bp = 2,53 + 0,57 = 3,10 \text{ t/h}$$

Zmodernizowanie cukrowni istniejącej według schematu Rys. 6/I na schemat według Rys. 7/I wymaga nakładów inwestycyjnych.



Rys. 7/I. Zmodernizowany schemat cieplny dla cukrowni istniejących. P-palenisko, Pp-przegorzewacz pary, Sp-suszarnia parowa, Pc-przemycacz pary

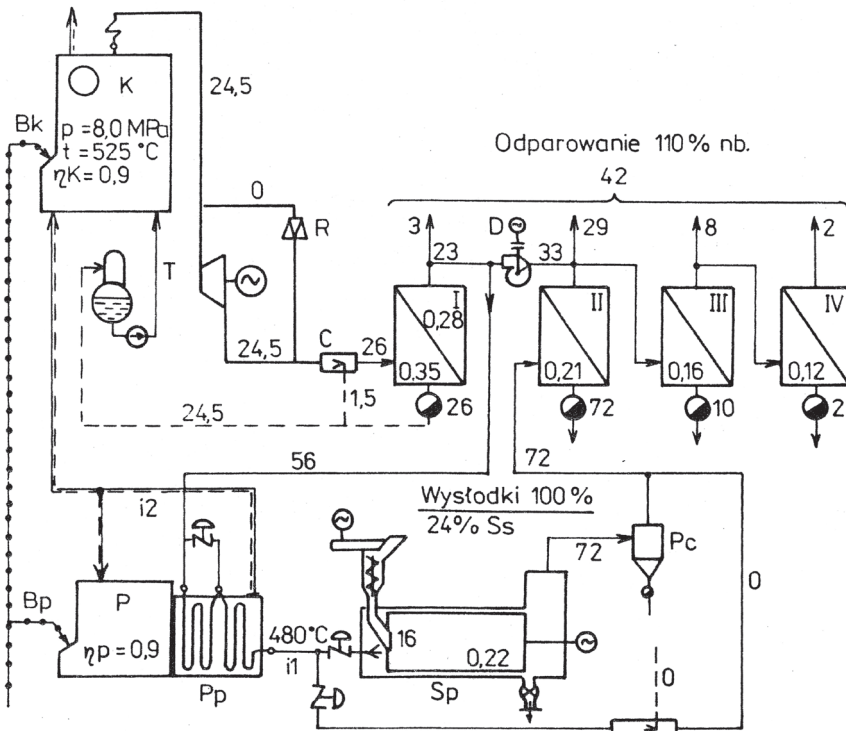
C. Propozycja zmodernizowania cukrowni nowej i jej przystosowania do suszenia systemem parowym 100% wysłoków wyżętych do 24% Ss (Rys. 8/I)

Zużycie paliwa:

$$B_k = \frac{D (i_p - i_w)}{W \cdot \eta_k} = \frac{24500 (3450 - 575)}{40000 \cdot 0,9} = 1,95 \text{ t/h}$$

$$B_p = \frac{D_o (i_1 - i_2)}{W \cdot \eta_p} = \frac{56000 (3440 - 2800)}{40000 \cdot 0,9} = 1,00 \text{ t/h}$$

$$C_l = B_k + B_p = 1,95 + 1,00 = 2,95 \text{ t/h}$$



Rys. 8/I. Zmodernizowany schemat cieplny dla cukrowni nowej (z nową elektrociepłownią). D-sprężarka (dmuchowa)

Produkowana ilość energii elektrycznej z wytwarzanej pary:

$$NT = \frac{D}{k} = \frac{24500}{5,7} = 4300 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$k = 5,7 \text{ kG/kW} \cdot \text{h}$ – jednostkowe zużycie pary przez turbinę nowoczesną zasilaną parą $p = 8,0 \text{ MPa}$, $t = 525^\circ\text{C}$

Zapotrzebowanie mocy elektrycznej:

$$NC = NF + ND$$

$NF = 30,0 \text{ kW/t}$ przerobionych buraków
(przyjęty wskaźnik zapotrzebowania mocy przez cukrownię nową)

$ND = 13,0 \text{ kW/t}$ przerobionych buraków
(wyliczony wskaźnik mocy dla dmuchawy z II działu)

$$NC = NT = 3000 + 1300 = 4300 \text{ kW}$$

Uwaga: Wzrost kosztu urządzeń elektrociepłowni spowodowany podwyższonymi parametrami pary ($p = 8,0 \text{ MPa}$, $t = 525^\circ\text{C}$) jest rekompensowany zmniejszoną wydajnością kotłowni.

Tab. 1 Porównanie kosztów paliwa i dochodu z wysłodków dla cen występujących w Europie Zachodniej. Cukrownia o przerobie 2400t/d i kampanii 100 dniowej.

Lp.	Nazwa	Ilość t/h	Cena w \$ US		Uwagi
			jednostkowa	całkowita	
A 1 Cukrownia wg schematu rys. 6/I					
1.	Olej opałowy A1	3,1	180	-558	(-) wydatek
2.	Wysłodki 24% Ss	22	23	+506	(+) dochód
różnica:				- 52	za kampanię -125 000 \$
A2 Cukrownia wg schematu rys. 6/I					
1.	Olej opałowy A2	4,5	180	-810	
2.	Wysłodki 90% Ss	6	160	+960	
różnica:				+150	za kampanię +360 000 \$
B. Cukrownia wg schematu rys. 7/I					
1.	Olej opałowy B1	3,1	180	-558	
2.	Wysłodki 24% Ss	11	23	+253	
3.	Wysłodki 90% Ss	3	160	+480	
różnica:				+175	za kampanię +420 000 \$
Cukrownia wg schematu rys. 8/I					
1.	Olej opałowy C1	2,95	180	-531	
2.	Wysłodki 90% Ss	6	160	+960	
różnica:				+429	za kampanię +1 030 000 \$

Uwagi do tab. 1

- A 1. Jeżeli cukrownia nie suszy wysłodków i sprzedaje wysłodki wyżęte (24% S_s), to z dochodu za takie wysłodki nie pokrywa kosztów paliwa za kampanię i ma straty 125 tys. \$.
- A 2. Jeżeli suszy 100% wysłodków w suszarni spalinowej, to za kampanię osiąga zysk 360 tys. \$, spalając 3360 t więcej oleju opałowego w stosunku do A 1.
- B Jeżeli suszy 50% wysłodków w suszarni parowej, a sprzedaje 50% wyżętych, to za kampanię osiąga zysk 420 tys. \$, spalając tyle samo oleju opałowego co cukrownia, która nie suszy wysłodków A 1.
- C Jeżeli suszy 100% wysłodków w suszarni parowej, to za kampanię osiąga zysk 1030 tys. \$ przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia oleju opałowego o 360 t w stosunku do A 1.

Wnioski

Podstawowym etapem dla modernizacji zalecane jest przejście ze schematu Rys. 6/I na schemat Rys. 7/I dla cukrowni istniejących oraz zastosowanie schematu wg Rys. 8/I dla cukrowni nowych.

Suszenie wysłodków parą przegrzaną jest zabiegiem idealnym dla tego procesu. Para przegrzana jako gaz doskonały przy minimalnej ilości tlenu, jaki zostanie wprowadzony do suszarni parowej wraz z wysłodkami, wyklucza zjawisko utleniania wysłodków czy też ich przypalanie, co występuje w tradycyjnym systemie suszenia. Proces suszenia w suszarni parowej przebiega w taki sposób, że same wysłodki nie przekraczają temperatury 95°C.

W oparciu o przedstawioną ideę w przykładach B i C istnieje wiele innych możliwości tworzenia najbardziej korzystnej gospodarki cieplnej w zależności od konkretnych warunków dla danej cukrowni.

Przedstawiony system suszenia wysłodków wg przykładów B i C pozwala na zastosowanie dowolnego paliwa dla przeprowadzenia tego procesu.

Przedstawiona metoda suszenia wysłodków parą przegrzaną może nasuwać obawy, czy suszenie pod ciśnieniem 0,22 MPa nie będzie powodowało niszczenia składników organicznych, w tym witamin.

Odpowiedź na te obawy jest w istocie prosta – przecież sami dla siebie gotujemy pożywienie (w tym różne jarzyny) w tzw. szybkowarach, gdzie ciśnienie wynosi 0,2 MPa i gdzie produkty przez czas gotowania utrzymywane są w temperaturze odpowiadającej temu ciśnieniu, tj. ok. 120°C. Dla wysłodków warunki te są znacznie łagodniejsze, bo pomimo omywania ich parą przegrzaną, same w swej masie nie przekraczają temperatury 95°C, podobnie jak ma to miejsce w spalinowym sposobie

suszenia, gdzie wysłodki są omywane spalinami o temperaturze początkowej ok. 850°C. W porównaniu z istniejącą sytuacją – dla wysłodków mogą zaistnieć warunki tylko lepsze. Ocenia się obecnie, że ogólne straty, jakie powstają w procesach fermentacyjnych podczas silosowania wysłodków wynoszą ok. 20%.

Proces suszenia w suszarni parowej *Sp* jest sterowany impulsem od temperatury pary wylotowej z suszarni. Para ta powinna być zawsze lekko przegrzana (o ok. 5°C powyżej stanu nasycenia). Jeżeli przegrzew wzrasta powyżej tej temperatury, to świadczy, że jest niewłaściwa proporcja wysłodków do ilości pary i wówczas urządzenie wtłaczające automatycznie zwiększa ich ilość. Odwrotnie – jeżeli temperatura się obniży do stanu nasycenia, to urządzenie zmniejszy ilość wysłodków, gdyż w przeciwnym wypadku zostanie utracona kontrola nad przebiegiem procesu suszenia i może wystąpić kondensacja pary powodowana nadmiarem wysłodków.

Suplement

W Polsce w latach 80. było 79 cukrowni, w których można było takie próby i badania przeprowadzić. Ale niestety zaczęli to już robić inni. W tym czasie były (pewnie są nadal) trzy prestiżowe czasopisma o zasięgu globalnym (światowym): „Sucrière” w języku francuskim, „Sugar Industry” po angielsku i „Zucker Industrie” po niemiecku. Szczególnie to ostatnie wydawnictwo dra Alberta Bartensa z ówczesnego Berlina Zachodniego zaczęło temu trendowi poświęcać sporo uwagi, omawiając w niemieckim cukrownictwie intensywne prace prowadzone nad parowym suszeniem wysłodków.

Tuż przed wyżej wymienioną konferencją, tj. w roku 1986, napisałem list protestacyjny do dyrekcji mojego zakładu pracy, że nic się nie robi przy ważnym temacie (Załącznik nr 3). Napływały również z zewnątrz krytyczne uwagi na bezczynność np. Politechniki Łódzkiej z wydz. Chemii Spożywczej (panowie prof. Grabka, Iciek). W tej sytuacji, nie chcąc pozostać z przysłowiowym „kanarkiem na dachu”, wysłałem tę moją koncepcję do wydawnictwa Bartensa, która w trybie pilnym została opublikowana w „Zucker Industrie” 113(38) z maja 1988 r. (uwaga: w tym wydawnictwie wielu profesorów czeka miesiącami na swoje publikacje).

Teraz dopiero zaczęły być pretensje, dlaczego publikacja nie ukazała się pod szyldem macierzystej firmy. Odpowiedź moja była prosta: wkrótce będzie 10 lat, jak Wam zatruwam spokojne życie. Odezwały się również telefony z Francji i Niemiec, chcących się spotkać dla szerszych informacji oraz dla sondażu, jak daleko stoimy z wykonawstwem.

Między innymi był zainteresowany autorytet niemieckiego cukiernictwa, dr Austmeyer (Załącznik nr 4). Do żadnych spotkań jednak nie doszło, bo otrzymałem polecenie wyjazdu na delegację zagranicę.

W końcu ruszyła się moja firma macierzysta. W 1988 r. uzgodniono z cukrownią Dobrzelin, że u nich zbudujemy stację próbną suszenia parą przegrzaną. Dostałem zlecenie na projekt, który oceniał prof. Krzysztof Urbaniec (jego ekspertyza – Załącznik nr 5).

Był też wkrótce rok 1989 i wszystkie zainteresowania poszły w innym kierunku – nikt się już parowym suszeniem wysłoków nie interesował. Ja również z braku też innych zleceń zlikwidowałem pracownię energetyczną, którą kierowałem przez wiele lat i w 1994 r. odszedłem na emeryturę. Ale jeszcze przed odejściem zwiedziłem jedną z największych (o przerobie 16,5 tys. ton buraków na dobę), a na pewno jedną z najnowocześniejszych na świecie cukrownię wybudowaną w Niemczech w miejscowości Kennern, która rok wcześniej została uruchomiona. Gospodarze pokazali cały obiekt (oprowadzając wszędzie), łącznie z centrum komputerowego sterowania, z wyjątkiem obiektu, w którym została wybudowana parowa suszarnia wysłoków. Nie wypadało się upominać. Dla potwierdzenia tego, że została wybudowana, załączam fragment folderu tej cukrowni, gdzie wykrzyknikiem (!) jest to zaznaczone (Załącznik nr 6).

W kraju w cukrownictwie nastąpiły tak wielkie zmiany, że nie sądzę, aby ktoś zajmował się parowym suszeniem wysłoków.

CZEŚĆ II

Paliwa

1. Mokre paliwa stałe

1.1 Dotychczasowy sposób spalania

Główne kierunki rozwojowe energetyki w minionym okresie zmierzały w dwie strony. Z jednej strony wystąpił intensywny rozwój energetyki jądrowej (kraje wysoko uprzemysłowione), z drugiej zaś dalszy rozwój energetyki konwencjonalnej, z tym że w niektórych krajach nastawiony już znacznie na paliwa niskokaloryczne w miarę występowania pewnego deficytu paliw tradycyjnych, jak węgla kamiennego, paliw płynnych i gazu.

Występujące awarie elektrowni jądrowych stały się przyczyną poważnego zahamowania dalszego ich rozwoju. Można przypuszczać, że po okresie obecnego zahamowania nastąpi ponowny ich rozkwit lub też, przy dalszej stagnacji, musi nastąpić okres sięgania po paliwa niskokaloryczne (węgiel brunatny, torf) i dalszy rozwój energetyki konwencjonalnej, ukierunkowanej na te paliwa. Takimi paliwami poza Polską dysponuje szereg krajów, które dotychczas nie sięgały do ich zasobów na skalę dużej energetyki – głównie ze względu na ich niską kaloryczność spowodowaną dużą zawartością wody.

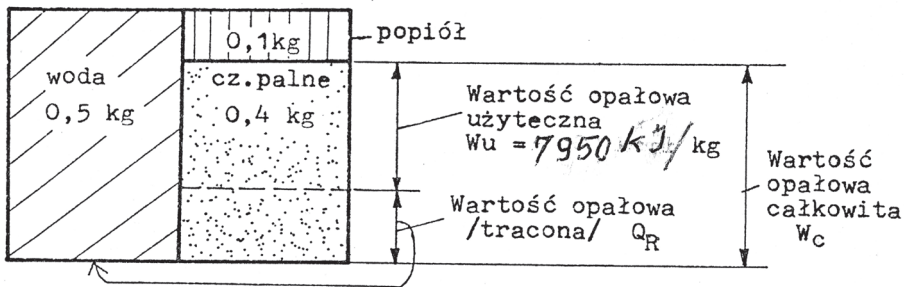
Jeżeli przyjąć, że średnia zawartość wody np. w polskim węglu brunatnym wynosi ok. 50%, to przy obecnym systemie gospodarki tym paliwem zużycie jest wyższe o ponad 18% niż wynika to z potrzeby dla prawidłowego zrealizowania obiegów cieplnych elektrowni. Te 18% dodatkowego paliwa służy bowiem do odparowania własnej wody z paliwa – a całość wywiązane z tego procesu ciepła jako mieszanina pary i gazów spalinowych uchodzi do atmosfery. Realizacja zaś elektrowni wg obecnego systemu dla takich paliw jak torf, w którym zawartość wody sięga 80-90% jest całkowicie nierealna. Podobnie ma się sprawa (ciepłownie miejskie) z tzw. stałymi odpadami komunalnymi – śmieci, których spalanie ze względu na wysoką zawartość wody i niską kaloryczność jest utrudnione i wymaga specjalnych rozwiązań konstrukcyjnych kotłów oraz dodatkowego paliwa wysokokalorycznego dla podtrzymania procesu spalania.

Spalanie węgla brunatnego

Polskie elektrownie, jak Konin, Turów, Pątnów, Adamów czy Bełchatów, są opalane węglem brunatnym. Wydobycie i zapotrzebowanie tego paliwa zbliża się do wartości 60 milionów ton rocznie. Jeżeli średnia zawartość w nim wody wynosi ok 50%, to łatwo zauważyć, że w tych 60 milionach ton, 30 milionów ton stanowi woda.

Przy obecnym systemie gospodarki węglem, stan jest taki, że węgiel wydobywany metodą odkrywkową z ziemi wjeżdża wprost poprzez zasobniki i młyny do kotłów. W kotle spala się ta część węgla (części palne), która służy wytworzeniu wymaganej ilości pary z kotła oraz druga część tego paliwa, która z konieczności odparowuje własną wodę.

Struktura cieplna 1 kg mokrego węgla (np. z Belchatowa)



Rys. 1/II. Graficzna ilustracja 1 kg węgla brunatnego

Ciepło Q_R wywiązane ze spalania części palnych służy do odparowania własnej wody i wynosi:

$$Q_R = D (i_p - i_w) = 0,5 (2742 - 42) = 1350 \text{ kJ/kg węgla}$$

D – ilość wody w węglu

i_p – entalpia pary przegrzanej w spalinach – przy temp. spalin wylotowych z kotła 170°C

i_w – entalpia wody w węglu – przy temp. węgla 10°C

Wartość opałowa całkowita (części palnych), czyli ciepło spalania:

$$W_c = W_u + Q_R = 7950 + 1350 = 9300 \text{ kJ/kg}$$

Struktura cieplna 1 kg suchego węgla

Gdyby węgiel był pozbawiony wody w 100% przed spalaniem w kotle, to wówczas 1 kg suchego węgla zawierałby 0,2 kg popiołu i 0,8 kg części palnych.

Wartość opałowa całkowita użyteczna wynosiłaby:

$$W_{c'} = W_u' = 2 \cdot W_c = 2 \cdot 9300 = 18600 \text{ kJ/kg}$$

Wracając do globalnego zużycia w Polsce (60 mln ton węgla mokrego) spalanego wprost:

$$\eta_k = \frac{Q_o}{Q_w} = \frac{Q_o}{B \cdot W}$$

Ciepło otrzymane Q_o wynosi:

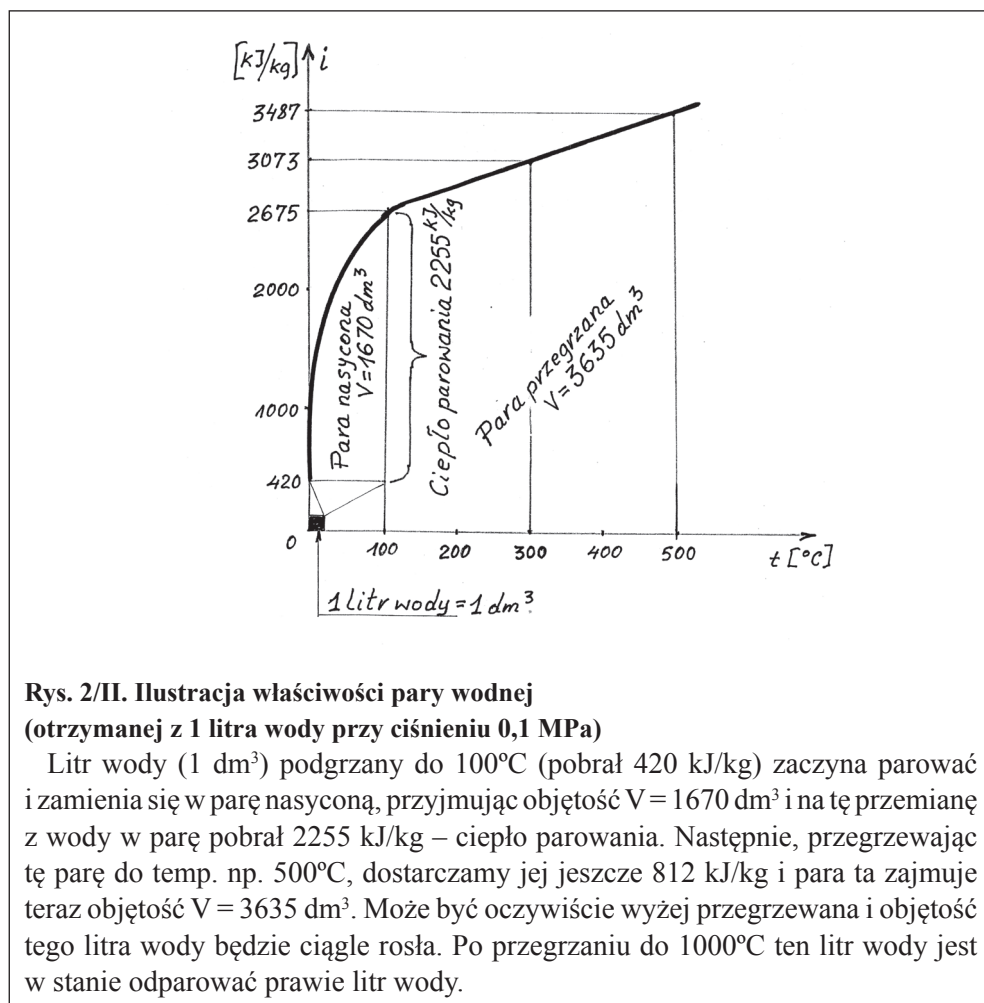
$$Q_o = B \cdot W_u \cdot \eta_k = 6 \cdot 10^{10} \cdot 7950 \cdot 0,86 = 0,41 \cdot 10^{15} \text{ kJ/rok}$$

η_k – średnia sprawności kotłów (w wym. elektrowniach)

B – ilość zużywanego węgla (60 mln ton)

Przy opalaniu kotłów suchym węglem (o wartości 18600 kJ/kg) zapotrzebowanie wynosiłoby:

$$B_s = \frac{Q_o}{W_c \cdot \eta_k} = \frac{0,41 \cdot 10^{15}}{18600 \cdot 0,9} = 24,5 \text{ mln ton/rok}$$



Rys. 2/II. Ilustracja właściwości pary wodnej

(otrzymanej z 1 litra wody przy ciśnieniu 0,1 MPa)

Litr wody (1 dm^3) podgrzany do 100°C (pobrał 420 kJ/kg) zaczyna parować i zamienia się w parę nasyconą, przyjmując objętość $V = 1670 \text{ dm}^3$ i na tę przemianę z wody w parę pobrał 2255 kJ/kg – ciepło parowania. Następnie, przegrzewając tę parę do temp. np. 500°C , dostarczamy jej jeszcze 812 kJ/kg i para ta zajmuje teraz objętość $V = 3635 \text{ dm}^3$. Może być oczywiście wyżej przegrzewana i objętość tego litra wody będzie ciągle rosła. Po przegrzaniu do 1000°C ten liter wody jest w stanie odparować prawie liter wody.

Przy obecnym systemie gospodarki, po sprowadzeniu tej ilości (24,5 milionów ton/rok) do stanu rzeczywistego węgla, tzn. po dodaniu wody, wymagana ilość

wydobywanego węgla wyniosłaby 49 milionów ton rocznie.

Oznacza to, że różnica $60 - 49 = 11$ milionów ton/rok jest tracona na odparowanie własnej wody.

Stanowi to obecnie wymagany wzrost wydobycia o ponad 18% w stosunku do efektywnie wykorzystanego.

Czyli, inaczej mówiąc, wydobywając rocznie 60 milionów ton węgla o zawartości 50% wody i spalając go wprost w kotłach energetycznych o stosunkowo wysokiej sprawności, wytwarza się w komorach paleniskowych tych kotłów ok. 30 milionów ton pary rocznie o temperaturze 170°C i razem ze spalinami wypuszcza do atmosfery, zużywając tylko na ten cel 11 milionów ton węgla. Poza wymienionymi stratami czysto cieplnymi, występują dla takiego modelu energetycznego wszelkie towarzyszące utrudnienia i zwiększone nakłady inwestycyjne:

- stosowanie mokrego niskokalorycznego paliwa rzutuje bezpośrednio na konstrukcyjne rozwiązania kotła;
 - wytwarzanie tak dużej ilości pary w komorze paleniskowej kotła ma niekorzystny wpływ na obciążenia cieplne i gabaryty kotła;
 - wytworzona para zwiększa objętość spalin o ok. 30%, co powoduje konieczność zwiększenia o tę wartość przekrojów przepływowych: kotła, przewodów spalin, elektrofiltrów, wentylatorów, komina itp.;
 - powiększenie całej instalacji węglowej, w tym młynów oraz odzūżlania i odpopielania;
 - zwiększone zapotrzebowanie na energię elektryczną (potrzeby własne);
 - zwiększenie zanieczyszczenia środowiska.
- Jak niekorzystny wpływ na konstrukcyjne rozwiązanie kotła ma spalanie w nim tak mokrego paliwa, niech świadczy chociażby konieczność zastosowania w elektrociepłowni Bełchatów konstrukcji wieżowej kotła (wysokość 116 m).

Charakterystyka bloku 360 MW elektrowni Bełchatów

Z posiadanych danych z okresu pracy w Energoprojekcie oraz późniejszych kontaktów z tym biurem wiem, że w elektrowni Bełchatów wybudowano 10 bloków, każdy o mocy 360 MW, jak wg uproszczonego poniższego schematu i wyposażenia. Jakie były późniejsze modyfikacje, nie mam danych. Wiem jedynie, że w okresie 2001-2011 koncern ALSTOM dostawił w tej elektrowni blok o mocy 858 MW. Kocioł o wydajności pary 2400 t/h, ciśnieniu pary 27,5 MPa, temperaturze 554°C, opalany, oczywiście miejscowym węglem brunatnym. Turbina 5-kadłubowa o mocy 858 MW.

Główne urządzenia bloku 360 MW (poz. 1, 2 i 3):

1. Kocioł

- wydajność znam. 1150 t/h
- ciśnienie pary świeżej 18,0 MPa

- temp. pary świeżej 540°C
- ciśnienie pary wtórnej 4,0 MPa
- temp. pary wtórnej 540°C
- temp. wody zasilającej 255°C
- sprawność 88% przy węglu $W = 7955$ kJ/kg
- W ciągu godziny kocioł spala 460 t węgla brunatnego o wartości opałowej 7955 kJ/kg lub 560 t węgla o wartości opałowej 6350 kJ/kg.

2. Turbina

- moc znam. 360 MW
- ciśnienie pary świeżej 17,6 MPa
- temp. pary świeżej 535°C
- ciśnienie pary wtórnej 4,0 MPa
- temp. pary wtórnej 535°C
- przepływ 1122 t/h
- znamionowe zużycie ciepła przez turbozespół przy temp. wody chłodzącej $t_1 = 22^\circ\text{C}$ wynosi 8064 kJ/kWh
- Maksymalna ilość pary do skraplacza wynosi 800 t/h.

3. Generator synchroniczny

- moc pozorna 426 MVA
- współczynnik mocy 0,85
- napięcie 22 kV
- prąd znam. 11 kA
- sprawność 98,6%

a) Młyny

- ilość szt. na kocioł – 8
- wydajność znam. młyna 80 t/h
- moc silnika napęd. 1500 kW

b) Wentylator powietrza

- ilość wentylatorów na kocioł – 2
- wydajność wentylatora 215 m³/s
- moc silnika elektrycznego 1800 kW

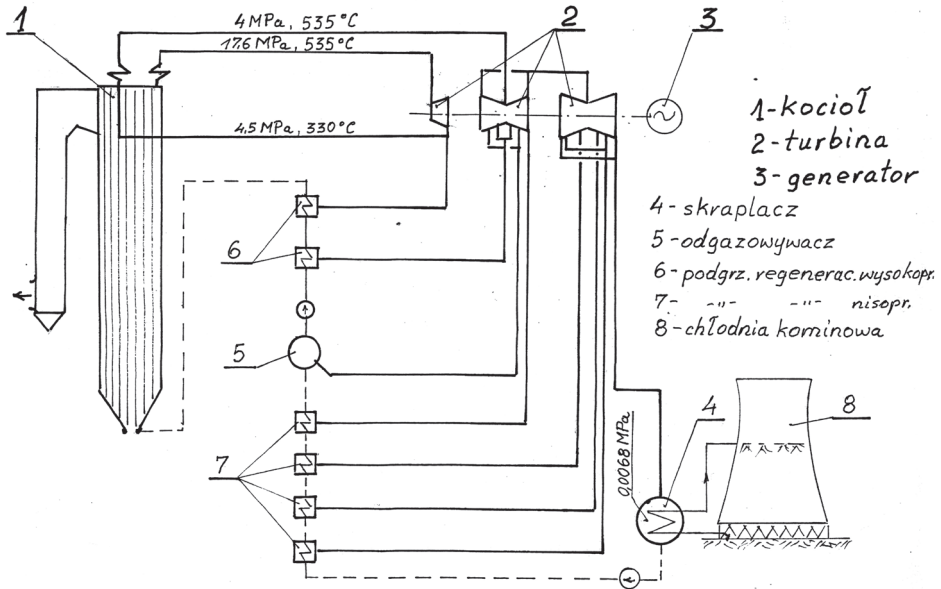
c) Wentylator wyciągowy spalin

- ilość wentylatorów na kocioł – 2
- wydajność wentylatora (max) 450 m³/s
- max temp. spalin 180°C
- moc silnika elektrycznego 3150 kW

d) Elektrofiltr

Czterokomorowy elektrofiltr ma trzy strefy.

Gwarancyjna skuteczność odpylania wynosi 99,6%.



Rys. 3/II. Uproszczony schemat bloku 360 MW elektrowni Belchatów

1.2 Nowa koncepcja spalania

1.2.1 Podstawowa

Dotychczasowy sposób korzystania z mokrych paliw stałych, takich jak torfu, węgla brunatnego, mułów, trocin, bagassy, śmieci itp. jest niegospodarny, czyli rozrzutny.

Koncepcja, według autora, polega na jednoczesnym osiągnięciu dwóch podstawowych celów: na otrzymywaniu suchego paliwa o podwyższonej wartości opałowej i zmniejszonej masie oraz na otrzymywaniu pary wodnej z odparowanego paliwa – nadającej się do wykorzystania w układach grzewczo-technologicznych.

Według dotychczasowego stanu techniki znane są różne sposoby suszenia mokrych paliw zarówno przed, jak i w czasie spalania ich w kotłach, lecz w każdym z tych znanych sposobów użyte ciepło, czyli spalona dodatkowa ilość paliwa dla odparowania wody, jest tracona bezpowrotnie.

Z tego to głównie powodu suszenie mokrych paliw zostało praktycznie zaniechane i dzisiaj budowane są kotły zarówno przemysłowe, jak i energetyczne, przystosowane do bezpośredniego spalania mokrych paliw, ponieważ nie ma to większego znaczenia, czy dodatkowa ilość paliwa wymagana do odparowania wody z paliwa będzie stracona w samym kotle w czasie jego spalania, czy też wcześniej, w jednym ze znanych urządzeń suszących.

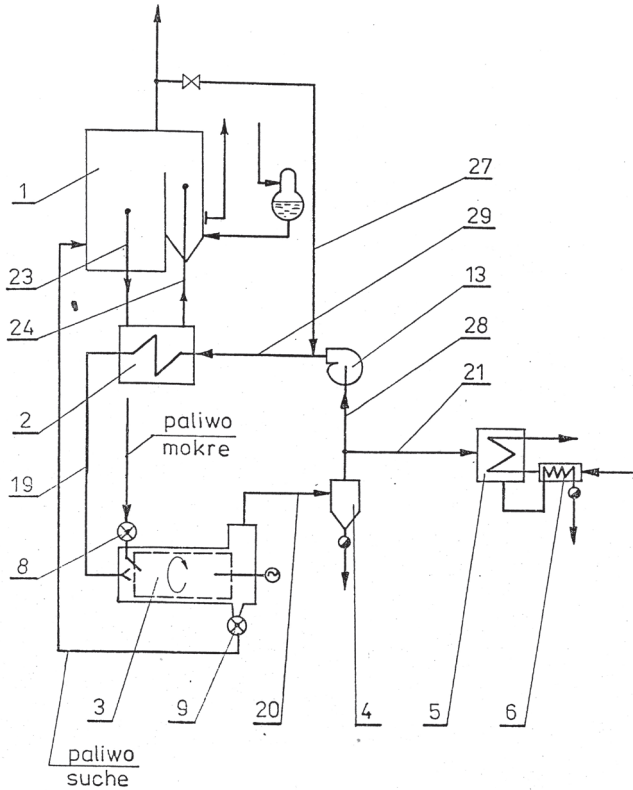
Taki sposób gospodarowania mokrymi paliwami, jak powiedziano wyżej, jest wysoce nieracjonalny i prowadzi do powszechnego zwiększonego o ok. 18% zużycia tych paliw przy ich średniej wilgotności wynoszącej 50%. Wywiązane bowiem ciepło w komorze paleniskowej kotła spalającego mokre paliwo jest zużywane na wytworzenie wymaganej pary w kotle oraz na odparowanie w pierwszej kolejności własnej wody zawartej w takim paliwie, która razem ze spalinami jako para przegrzana uchodzi do atmosfery.

Znany stan techniki zaleca wprowadzić wykorzystywanie tak zwanego ciepła odpadowego – w tym przypadku ciepła spalin odlotowych z kotła, jednak stopień odzysku takiego ciepła ze względu na temperaturę spalin, ich zanieczyszczenie (mieszanina gazowo-parowa) i możliwości zagospodarowania takiego ciepła jest praktycznie znikoma. Gazy odlotowe z kotła to głównie mieszanina azotu, tlenu, CO_2 , SO_2 , NO_x oraz pary wodnej, czyli głównego nośnika traconego ciepła, której to pary ze względu na ciśnienia cząstkowe w takiej mieszaninie, zgodnie z prawem H. Daltona, nie można wykorzystać, to znaczy doprowadzić parę wodną w mieszaninie gazów do wykroplenia w zakresie interesujących nas ciśnień i temperatur.

Propozycją autora jest zmiana dotychczasowego postępowania w systemie spalania mokrych paliw stałych i zastosowanie takiej techniki i sposobu odparowania wody z tych paliw, która pozwala na wcześniejszy rozdział nośników ciepła: na główny nośnik, czyli parę wodną, która będzie czysta, uwolniona od gazów i powietrza i da się następnie w całości wykorzystać (patrz Rys. 4/II) i oddzielnie gazy suche, których ciepło można ewentualnie wykorzystywać według znanych tradycyjnych sposobów. W tym przypadku sposób ten ma również i tę zaletę, że oddzielone od pary suche chłonne gazy mogą być również wykorzystywane w mieszanym – dwustopniowym sposobie suszenia paliw (patrz Rys. 5/II).

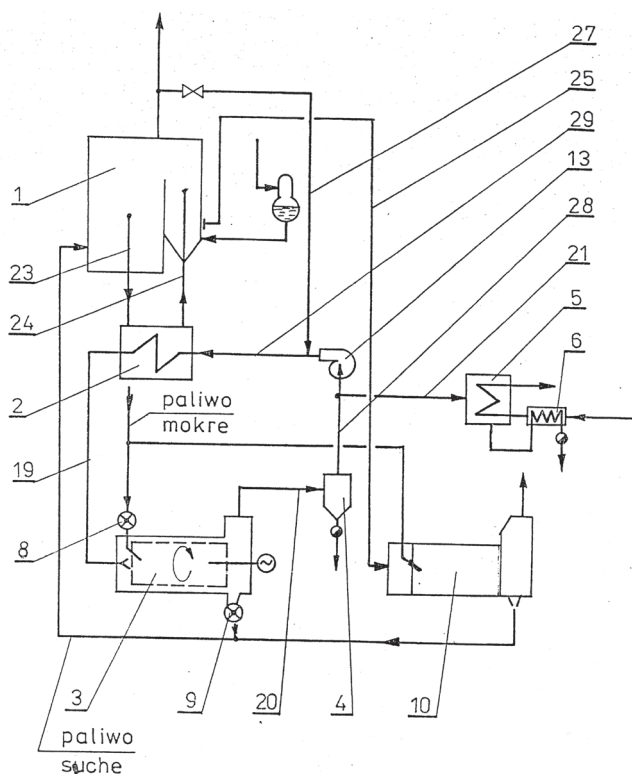
Cel ten jest możliwy do osiągnięcia poprzez opracowanie rozwiązania polegającego na silnym przegrzewaniu pary niskoprężnej i przepuszczaniu jej współprądowo z mokrym paliwem w ciśnieniowym parowniku, w którym para ulega nasyceniu wodą zawartą w paliwie.

Otrzymane w ten sposób suche paliwo oraz znacząca ilość pary pozwala na ogólne zmniejszenie dotychczas zużywanego paliwa. Zużywanego głównie w promieniu wielu kilometrów wokół elektrowni na potrzeby c.o. i c.w. w wielu wioskach i miastach. Otrzymaną parą z odparowanego paliwa mokrego w elektrowni można zagrzać duże ilości wody, którą można ogrzać te wszystkie miejscowości – likwidując kotłownie domowe i osiedlowe, spalające głównie węgiel kamienny i koks, które emitują do atmosfery spaliny bez ich oczyszczania.



Rys. 4/II. Schemat otrzymywania pary z mokrego paliwa

Dla zapoczątkowania procesu odparowania pobierana jest jednorazowo z kotła [1] przewodem [27] pewna ilość pary, która jest doprowadzona do przegrzewacza [2] rurociągiem [29], a z przegrzewacza rurociągiem [19] do parownika [3]. Przegrzewacz [2] jest zasilany gorącymi spalinami pobieranymi z komory paleniskowej kotła przewodem [23] i zwracanymi do kotła przewodem [24]. Do parownika [3] doprowadzona jest pełna ilość mokrego paliwa przy użyciu urządzenia włączającego [8], a urządzeniem [9] odbierane jest paliwo suche, którym opalany jest kocioł [1]. Nasycona wodą z paliwa w parowniku [3] para grzejna przechodzi rurociągiem [20] do przemywacza [4], w którym zostaje oczyszczona rozpylonym kondensatem pobieranym przez pompę z wymiennika [5]. Tak oczyszczona para zasysana jest przez sprężarkę lub dmuchawę [13], która rurociągiem [29] tłoczy ją do przegrzewacza [2], parownika [3], przemywacza [4], tworząc obieg zamknięty. Nadwyżka pary równa ilości odparowanej wody z paliwa zasila rurociągiem [21] wymiennik [5], a skropliny z tej pary poprzez chłodnicę [6] wypływają na zewnątrz układu.



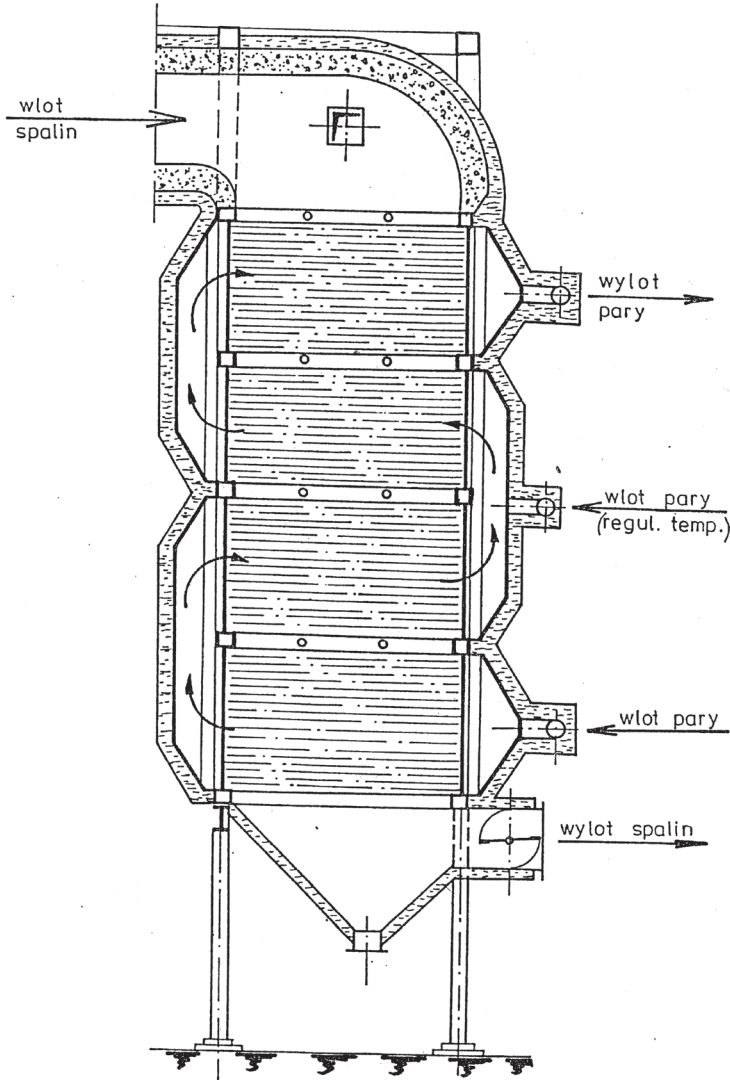
Rys. 5/II. Schemat otrzymywania pary i suchego paliwa

Powyższy rynek ilustruje taki sam sposób odparowania paliwa jak przedstawiony na Rys. 4/II, z tą różnicą, że tylko część, np. 50%, paliwa jest tak odparowana, zaś pozostała ilość paliwa jest suszona w suszarni bębnowej [10], do której doprowadzone są suche spaliny odlotowe z kotła [1] przewodem [25].

W każdym z zastosowanych przypadków, które zostaną wybrane jako najbardziej optymalne dla danego obiektu energetycznego, zastosowany sposób według koncepcji prowadzi do konkretnych efektów ekonomicznych, polegających na znacznym zmniejszeniu emitowanej pary ze spalinami do atmosfery.

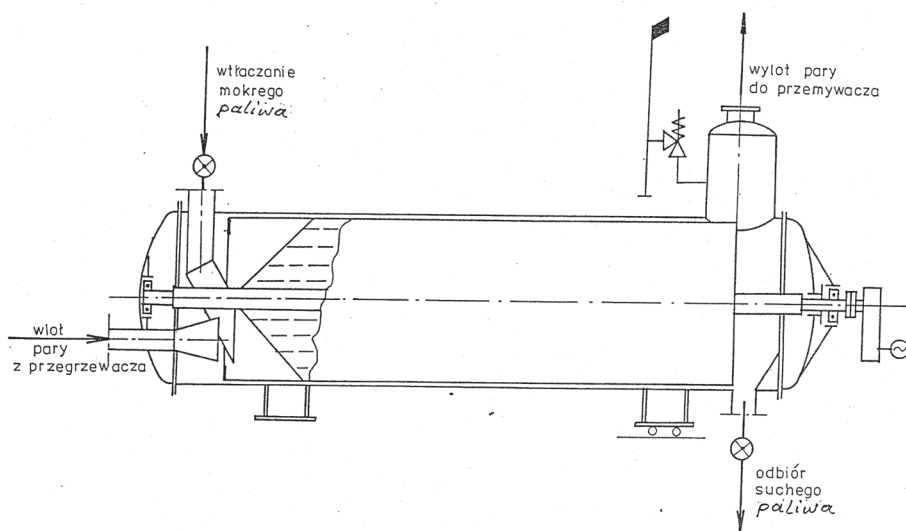
Urządzenia do stosowania rozwiązań wg koncepcji są włączone w obiegi parowe, wodne i spalin znanego obiektu energetycznego. W wymienione obiegi takiego obiektu zostają włączone znane urządzenia jak: suszarnie spalinowe, sprężarki czy dmuchawy oraz takie urządzenia jak rurowy przegrzewacz pary, ciśnieniowy parownik, prasa właczająca paliwo do parownika, przemywacz pary, wg przedstawionej koncepcji przez autora wymagające konstrukcyjnego opracowania oraz prób i badań prototypowych.

Przegrzewacz pary (Rys. 6/II) jest rurowym ciśnieniowym wymiennikiem paraspaliny, wykonanym z pęczków rur mocowanych w dnach sitowych. Przegrzewacz może być podłączony do poboru spalin z kotła lub może być wyposażony we własne palenisko. W przypadku własnego paleniska, jak również w przypadku podłączenia przegrzewacza do kotła, spaliny odlotowe będą jeszcze miały wysoką temperaturę ze względu na wymiary konstrukcyjne samego przegrzewacza, stąd należy zawarte w nich ciepło wykorzystać dalej w kotle lub w suszarni spalinowej.



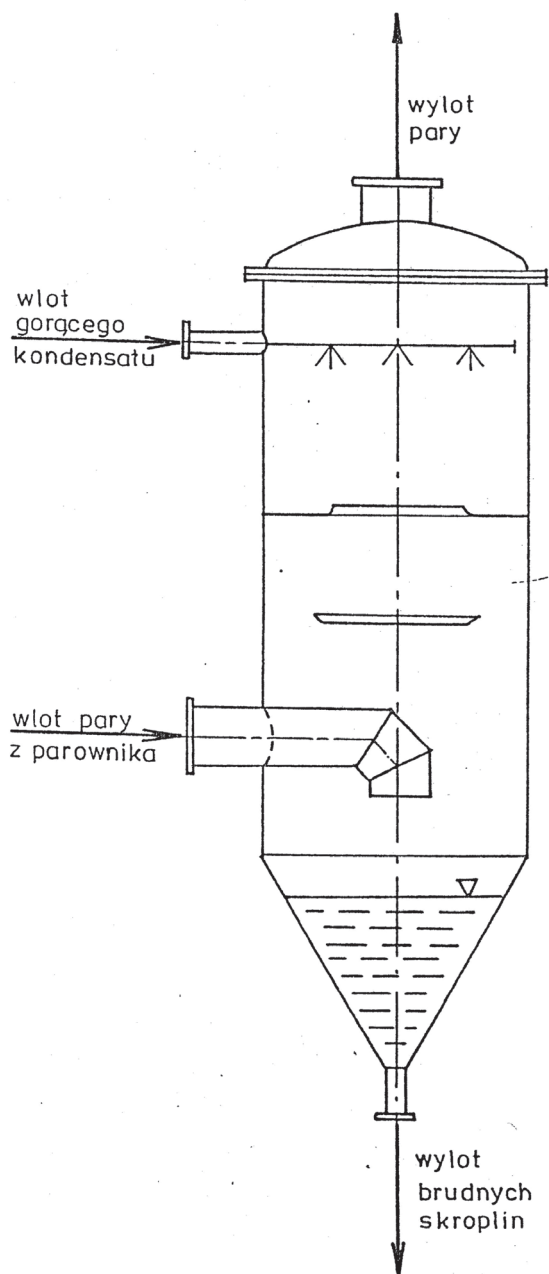
Rys. 6/II. Przegrzewacz pary

Parownik paliwa (Rys. 7/II) jest poziomym ciśnieniowym aparatem z wewnętrznym bębnum obrotowym i jest osadzony na podporze stałej i przesuwnej. Płaszcz parownika jest zamknięty dennicami, a bęben parownika jest wyposażony w półki przesypowe. Wewnątrz bębna znajduje się wał zakończony czopami, które są osadzone w łożyskach. Przejście wału przez dennice do łożyska i napędu jest uszczelnione dławicowo. Mokre paliwo jest włączane do parownika za pomocą prasy ślimakowej lub tłokowej, zaś suche jest odbierane przy użyciu przenośnika ciśnieniowego lub injektorowo. Do wnętrza bębna parownika jest doprowadzony rurociąg, którym dopływa para przegrzana wprost z przegrzewacza pary. Parownik może być bezpośrednio wyposażony w urządzenia do oczyszczania pary i przemywacz.



Rys. 7/II. Parownik paliwa

Przemywacz pary oddzielny (Rys. 8/II) jest ciśnieniowym cylindrycznym zbiornikiem, zamkniętym od góry dennicą, a od dołu dnem stożkowym. Przemywacz jest wyposażony w rurociąg dolotu pary i króciec wylotowy pary, rurociąg doprowadzający gorący kondensat wraz z dyszami rozpylającymi oraz tace ociekowe.



Rys. 8/II. Przemywacz pary

Przykład

Blok 360 MW na suchy węgiel brunatny

Nie ulega najmniejszej wątpliwości, że odparowanie wody zawartej w węglu musi nastąpić. Nie musi jednak nastąpić w procesie mielenia oraz komorze paleniskowej kotła i nie musi tak być, że całe włożone ciepło na odparowanie wody (spalana dodatkowa ilość paliwa) będzie tak duża i na dodatek tracona w 100%.

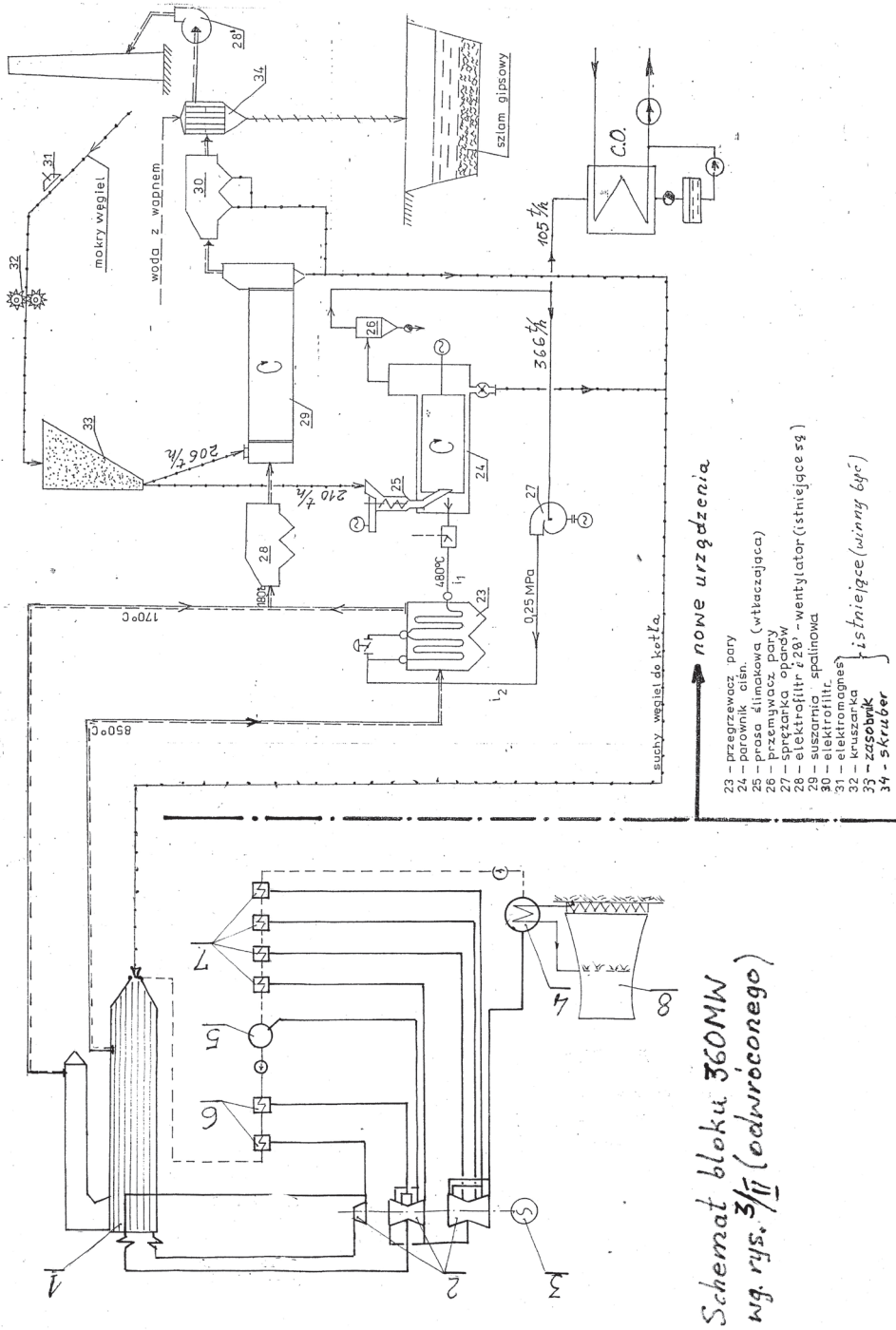
Trzeba z węgla usunąć wodę przed spalaniem w kotle, czyli poddać węgiel odpowiedniemu przygotowaniu, tak aby usuwając wodę, odnosić z tego procesu właściwe korzyści, które przede wszystkim wpłyną na zmniejszenie zużycie paliwa i dadzą również przydatną parę.

Takim zabiegiem będzie tu odparowanie i suszenie węgla zastosowane jako proces dotychczas nieznanymi i nie mający rozwiązań dla takich celów i w takiej skali.

Dla konkretnego zobrazowania nowego modelu gospodarki ciepłno-paliwowej zostanie dokonane porównanie odniesione do bloku 360 MW elektrowni Bełchatów wraz z przedłożeniem koncepcji nowych rozwiązań tak w zakresie samej modyfikacji bloku, jak i nowych nieznanymi dotychczas urządzeń (patrz Rys. 5/II i Rys. 9/II).

Uzyskana w parowniku [24] (patrz Rys. 9/II) ilość pary równa ilości odparowanej wody z węgla jest po przemyciu w urządzeniu [26] skierowana do wymienników wody sieciowej c.o. dla okolicznych miejscowości w obrębie elektrowni.

Uwaga: w przypadku elektrociepłowni można dokonać zmiany – zamknąć upusty turbiny (uzyskując wyższą moc elektryczną na drodze kondensacji), a do grzania wody sieciowej c.o. wykorzystać parę z procesu odparowywania mokrego paliwa.



Rys. 9/II. Modyfikacja bloku 360 MW – Schemat ciepłno paliwowy

Zapotrzebowanie i rozdział paliwa, ilość wymaganej pary w obiegu wymuszonym, zapotrzebowana moc sprężania:

Zapotrzebowanie węgla mokrego dla bloku 360 MW – stan obecny:

$$B_B = \frac{D(i_p - i_w) + D(i_{p'} - i_{p''})}{W_u \cdot \eta} = \frac{Q_o}{7950 \cdot 0,88} = 460 \text{ t/h}$$

to ilość ciepła: $Q_o = 7950 \cdot 0,88 \cdot 46 \cdot 10^4 = 321816 \cdot 10^4 \text{ kJ/h}$

Zapotrzebowanie węgla suchego dla kotła – wg koncepcji:

$$B'_B = \frac{Q_o}{W_c \cdot \eta} = \frac{321816 \cdot 10^4}{18600 \cdot 0,9} = 192243,7 \text{ kg/h} \approx 192 \text{ t/h}$$

Zapotrzebowanie rzeczywiste po dodaniu wody:

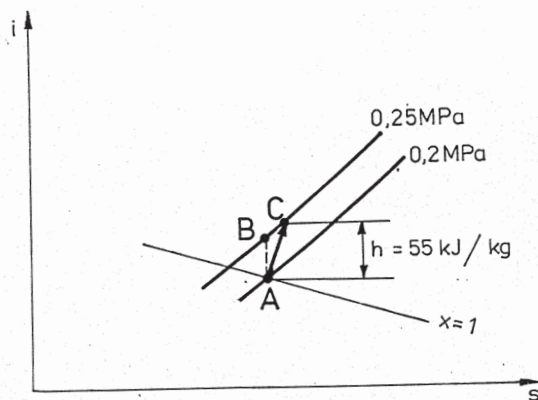
$B'' = 192 \text{ t/h} + 192 \text{ t/h wody} = 384 \text{ t/h}$ – tyle z kopalni

Zakładam, że do parownika [24] zostanie wtłoczone 210 t/h mokrego węgla, pozostała ilość węgla mokrego będzie suszona suchymi spalinami odlotowymi z kotła i z przegrzewacza [23] w bębnowej suszarni [29].

Dla odparowania 105 t/h wody z mokrego węgla sprężarka musi w obiegu wymuszonym przez przegrzewacz [23] przetłaczać $105 \cdot 3,5 = 366 \text{ t/h}$ pary i sprężać tę ilość od ciśnienia 0,2 MPa do ciśnienia 0,25 MPa. Stąd zapotrzebowanie mocy na ten cel wynosi:

$$N_D = \frac{D \cdot h}{r} = \frac{366000 \cdot 55}{3600} = 5,5 \text{ MW}$$

r (w kJ) – równoważnik cieplny 1 kWh



Rys. 10/II. Sprężanie pary w sprężarce

A-B – sprężanie teoretyczne

A-C – sprężanie rzeczywiste wg zastępczej politropy

Uwaga:

Jednostopniowa sprężarka promieniowa (odśrodkowa) firmy Borsig typ GKS 900, która spręża 60 t/h pary w takim samym zakresie ciśnień jak wyżej, zużywa 800 kW.

Borsig budował sprężarki o wydajności 7000 do 830000 m³/h, tj. w granicach do 1000 t/h. Istnieje na świecie wiele innych firm produkujących podobne sprężarki.

Dla rozpatrywanego bloku 360 MW należałoby zainstalować dwie sprężarki o wydajności po 180 t/h.

Jak zapewnić dla sprężarki wyżej wymienioną moc, aby nie naruszać ilości obecnie produkowanej przez blok?

Obecnie blok 360 MW jest wyposażony w 8 młynów, a każdy o mocy 1,5 MW. Dla zmielenia 460 t/h mokrego węgla musi pracować 6 młynów – każdy z nich ma wydajność 80 t/h. Jeżeli do zmielenia zostanie dostarczony suchy rozdrobniony węgiel, to całkowicie wystarczy praca 3 młynów, czyli zyska się min. 4,5 MW. Brakującą moc sprężania w ilości 1-1,5 MW zyska się na spadku mocy na innych napędach z wentylatorami powietrza i spalin łącznie.

Dla przegrzania 366 t/h pary od stanu lekko przegrzanego (przez sprężarkę) przy ciśnieniu 0,25 MPa do stanu 480°C (przez przegrzewacz) musi być spalona w kotła dodatkowa ilość węgla ze względu na pobór gorących (850°C) spalin z kotła do przegrzewacza lub spalona we własnym palenisku przegrzewacza:

$$B'' = \frac{D(i_1 - i_2)}{W'_c \cdot n_k} = \frac{366000(3445 - 2715)}{18600 \cdot 0,9} = 16 \text{ t/h}$$

Całkowita ilość węgla suchego wymagana dla bloku wynosi:

$$B = B' + B'' = 192 \text{ t/h} + 16 \text{ t/h} = 208 \text{ t/h}$$

Stąd wymagana ilość węgla mokrego wynosi (zamiast 460 t/h) 416 t/h, pod warunkiem, że suche gorące spaliny z kotła i przegrzewacza pary (razem połączone) są zdolne wysuszyć pozostałą ilość mokrego węgla 416 – 210 = 206 t/h w bębnowej suszarni spalinowej, tzn. odparować w tej suszarni 103 t/h wody.

Wartość cieplna spalin odlotowych ze spalania 208 t/h suchego węgla (wg zależności, którą podaje prof. Orłowski na przybliżoną ilość spalin, *Kotły parowe*, s. 328):

$$V_{sp} = 0,89 \frac{Q_w}{1000} + 1,65 \text{ Nm}^3 / \text{kg}$$

$W_u = Q_w$ – wartość opałowa paliwa w kcal/kg

Przybliżona ilość spalin po spaleniu 1 kg węgla suchego (18600 kJ/kg) wynosi:

$$V_s = 0,89 \frac{W_u}{1000} + 1,65 = \frac{0,89 \cdot 4460}{1000} + 1,65 = 5,5 \text{ Nm}^3 / \text{kg}$$

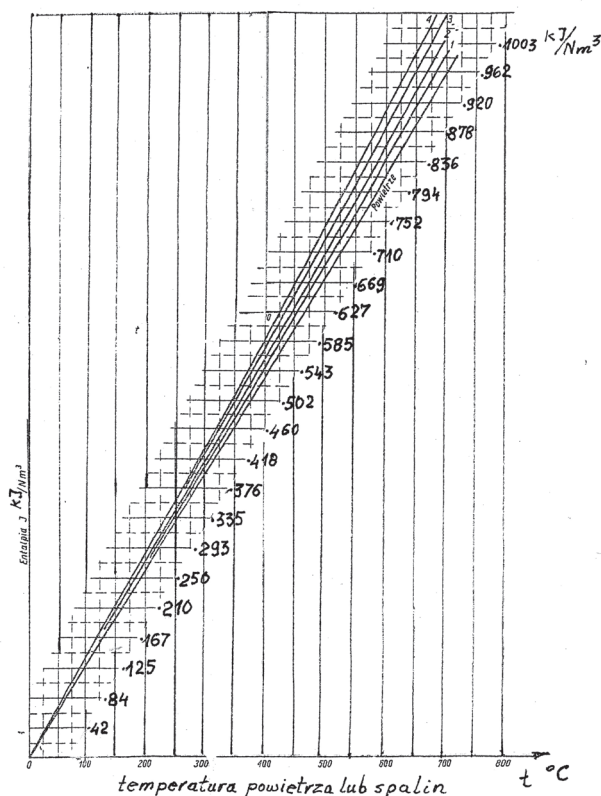
Po spaleniu 208 t/h:

$$V_{sc} = 208000 \cdot 5,55 \approx 1,154000 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Wartość cieplna tych spalin w zakresie temperatur od 180°C do 80°C wynosi:

$$Q_s = V_{sc} (i_{180} - i_{80}) = 1154000 (230 - 105) \approx 145 \text{ MJ/h}$$

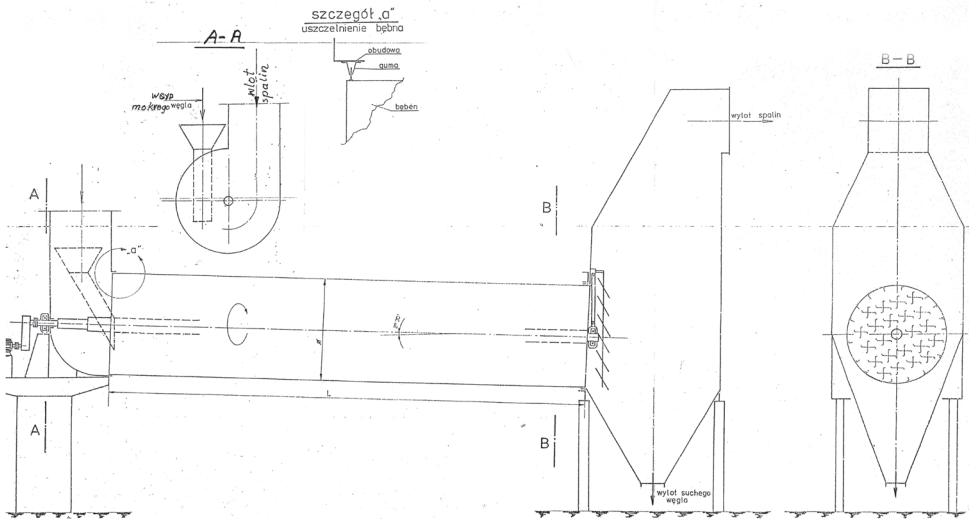
i – entalpia spalin w kJ/Nm³ w oparciu o wykres i - t (patrz Rys. 11/II)



Rys. 11/II. Wykres i - t dla powietrza i spalin

Zgodnie ze schematem na Rys. 9/II (rozdział węgla mokrego – tych 416 t/h) jest następujący:

210 t/h jest wtłaczane prasą ślimakową [25] (lub prasą tłokową) do bębna parownika [24], a pozostała ilość 206 t/h jest suszona w poziomej bębnowej suszarni spalinowej [29]. Spaliny odlotowe z kotła i przegrzewacza są oczyszczane z popiołu w elektrofiltrze [28] i wpuszczane do suszarni spalinowej (patrz Rys. 12/II), gdzie tracą ciepło, obniżając temp. ze 180°C na ok. 80°C. Następnie są oczyszczane z cząstek węgla w elektrofiltrze [30] i po ich odsiarczeniu poniżej strefy wykrapłania H_2SO_4 (patrz Uwaga).



Rys. 12/II. Suszarnia spalinowa

Uwaga:

W książce *Kotły parowe* prof. P. Orłowski zamieszcza wykres pomiarów dokonanych w koncernie energetycznym Babcock dla temperatur, poniżej których wykrapla się ze spalin H_2SO_4 w zależności od zawartości siarki w paliwie i typu paleniska.

Dla palenisk pyłowych i zawartości siarki od 1 do 4% temperatura ta oscyluje pomiędzy 80 a 50°C.

W Bełchatowie paleniska w kotłach są pyłowe, a węgiel zawiera poniżej 1,5% siarki. Spaliny na wylocie z suszarni (patrz Rys. 12/II) mają 80°C i są odsiarczane w skruberze [34]. Jako pozbawione SO_2 i SO_3 są przetłaczane wentylatorem 28' do komina.

Wysuszony węgiel z parownika [24] z suszarni [29] i z elektrofiltra [30] jest transportowany dopalników kotła. System kruszarek [32] powinien zapewnić granulację od 1 do 10 mm.

Wymagana ilość ciepła do odparowania 103 t/h wody zawartej w 206 t/h mokrego węgla wynosi:

$$Q_p = 103000 (i_p - i_w) = 103000 (2675 - 42) = 272 \text{ MJ/h}$$

i_p – entalpia parowania

i_w – entalpia wody w węglu

Brakująca ilość ciepła w spalinach odlotowych V_{sc} dla przyjętego zakresu temperatur wynosi:

$$Q = Q_p - Q_s = 272 - 145 = 127 \text{ MJ/h}$$

Praktycznie można poprzestać na takim jak wyżej rozdziale suszenia, przy którym pozostanie pewna ilość wilgoci wynosząca w ogólnej masie węgla około 10% lub dla uzyskania 100% wysuszenia należałoby zwiększyć odparowanie w parowniku [24]. Zwiększy się wówczas ilość pary cyrkulacyjnej (sprężanej i przegrzewanej), czyli wzrośnie wydajność i moc sprężarek, wielkość przegrzewacza i parownika oraz ilość paliwa na cele przegrzewacza pary. Ogólne zużycie węgla mokrego nie przekroczy jednak 420 t/h, czyli mniej niż obecnie o 40 t/h, co stanowi zmniejszenie zużycia o ok. 10% w stosunku do obecnego.

Zakończenie

Nie licząc dostawionego w Bełchatowie w ostatnich latach bloku 858 MW przez firmę ALSTOM, tylko z istniejących 10 starych o mocy 360 MW każdy można byłoby, stosując rozwiązania wg autora, zaoszczędzić $44 \text{ t/h} \cdot 10 = 440 \text{ t/h}$ węgla i pozyskać $105 \text{ t/h} \cdot 10 = 1050 \text{ t/h}$ pary grzejnej, którą można by było ogrzać wiele miejscowości, likwidując setki dymiących kotłowni domowych i osiedlowych, spalających z reguły węgiel kamienny.

Uwaga: W miarę powstawania coraz lepszych stali żarowytrzymałych, będzie można podwyższać temperaturę pary przegrzewanej, a tym samym zmniejszać wydajność i moc sprężarek pary cyrkulacyjnej (odparowującej węgiel).

Uwagi dotyczące przegrzewacza i parownika

Przegrzewacz

Pobrana z zewnątrz, np. z upustu turbiny, pewna ilość pary niskoprężnej do zapoczątkowania odparowania węgla w parowniku [24] jest szybko (w postępie geometrycznym) powiększana, aż po czasie t osiągnie wartość 366 t/h. Od tego momentu 105 t/h pary równe ilości odparowanej wody z węgla będzie odprowadzana z obiegu parownika do wymienników c.o. Zasada zbudowania przegrzewacza pary

[23] (patrz Rys. 9/II), ze względu na objętość właściwą pary i wymagane minimalne straty przepływu – spadek ciśnienia, polega na podobieństwie konstrukcyjnym tego przegrzewacza do rurowych podgrzewaczy powietrza w kotłach parowych (patrz Rys. 6/II). Nawiasem, podgrzewacze powietrza pracujące przecież przy dużych wydajnościach, w niskich strefach temp. o ciśnieniu zbliżonym do atmosferycznego, grzeją powietrze zimne od temp. otoczenia do średni. 250°C. Przegrzewacz ma za zadanie przegrzanie pary od ok. 145°C (wstępne przegrzanie daje tu również sprężarka [27]) do 480°C. Dla uzyskania takiego przegrzewu zachodzi potrzeba spalania dodatkowej ilości 16 t/h suchego węgla w kotle (poza bilansem kotła) w celu otrzymania wymaganej ilości spalin z kotła o temp. ca 850°C lub takiej ilości spalin z własnego paleniska, zainstalowanego przy przegrzewaczu pary. Przegrzewacz pary winien mieć możliwość regulacji temperatury pary odlotowej – poprzez częściowe automatyczne wpuszczanie pary „zimnej” (145°C) do jego strefy pośredniej.

Parownik

Para przegrzana o ciśnieniu ok. 0,22 MPa i temp. 480°C zostaje wpuszczona do ciśnieniowego parownika (patrz Rys. 7/II), gdzie styka się bezpośrednio z mokrym węglem, przepływając z nim współprądowo wzdłuż obracającego się bębna. Bęben składa się z płaszcza otaczającego, półek przesypowych oraz przechodzącego przez środek bębna wału założyskowanego na końcach. Wał na przejściu przez dennice jest uszczelniony dławicowo i podłączony do napędu. Drugi koniec wału (w strefie niskich temperatur) jest założony skowany wewnątrz parownika. Obudowa bębna (korpus parownika) jest aparatem ciśnieniowym, wyposażonym w urządzenia współpracujące – podajniki oraz niezbędny osprzęt wymagany przepisami. Czas suszenia jest funkcjonalnie zależny od wartości stałych (konstrukcja bębna – jego długości, średnicy, pochylenia półek przesypowych) oraz od parametrów zmiennych, czyli obrotów bębna, granulacji węgla, temperatury i szybkości pary. Rozdrobniony węgiel o granulacji 0-10 mm jest włączany do parownika w sposób ciągły przy pomocy podajnika (prasy ślimakowej) [25]. Podajnik ten charakteryzuje się trzema strefami:

wstępną (ze stożkowym ślimakiem lub stożkową obudową), w której następuje sprasowanie węgla i wyciśnięcie z niego powietrza i ewentualnie gazów poprzez obudowę, która jest perforowana;

przejściową – stożkową, przez którą węgiel włączany jest do części cylindrycznej; bezpośredniego włączania – jest to część cylindryczna, w której umieszczony jest ślimak o drobniejszym skoku, wywierający nacisk sprasowanym węglem na zamknięcie wylotowe; nacisk sprasowanego węgla na zamknięcie wylotowe musi pokonać ciśnienie panujące wewnątrz parownika i siłę dociskową trzech sprężyn, które mają za zadanie wstępne dociąganie zamknięcia do części wylotowej.

Po pokonaniu tych sił, gdzie $P_N > p \cdot S + 3F$ otworzy się zamknięcie i węgiel będzie włączany do wnętrza parownika, czyli wprost do obracającego się bębna.

P_N – siła naporu węgla

p – ciśnienie panujące w parowniku

S – pole przekroju cylindrycznego wylotu

F – siła dociskowa sprężyny

W przypadku braku węgla siła naporu P_N maleje i wówczas sprężyny dociągają wstępnie stożkowe zamknięcie wylotowe, a główna siła $p \cdot S$ – dociska szczelnie zamknięcie.

Zarówno ślimak, jak i cała obudowa prasy winny być wykonane z wysokogatunkowej stali odpornej na ścieranie.

Wtlaczanie węgla do parownika można również rozwiązać przy użyciu dwóch cylindrów roboczych, pracujących w cyklu na przemian i napędzanych np. jednostronnymi siłownikami tłokowymi parowymi lub hydraulicznymi.

Odbiór suszonego węgla z parownika można rozwiązać przy użyciu:

zamknięcia komorowego (turnikiet);

podajnika ślimakowego ciśnieniowego z zamknięciem na wylocie (kłąpą cyklicznie otwieraną siłownikiem) i ciśnienia wewnętrznego pary.

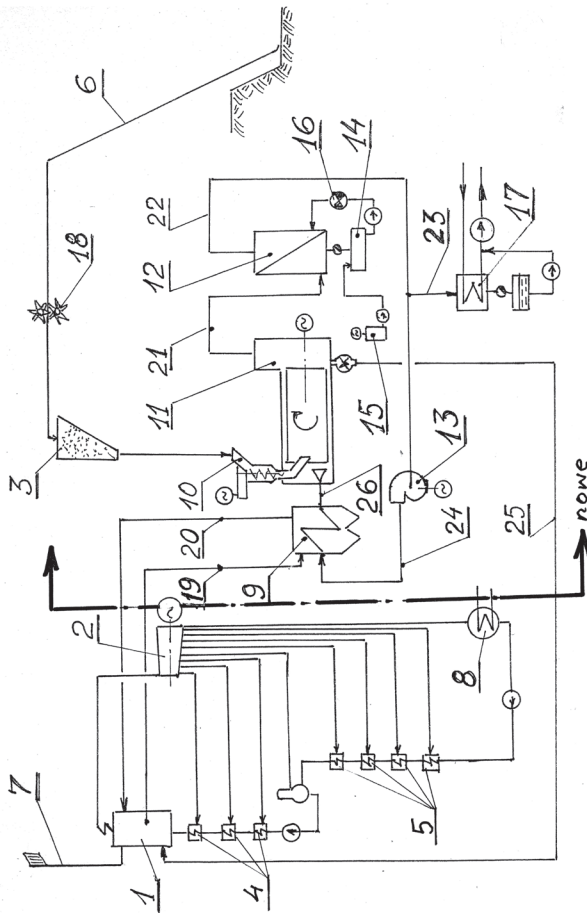
W procesie odparowania węgla wydzieli się z niego pewna ilość powietrza i innych nie skraplających się gazów, które dostaną się do wnętrza parownika, pomimo sprasowania węgla w podajniku wtlaczającym, jak również wydzieli się one z samego węgla. Stąd w górnej części parownika (patrz Rys. 7/II) i przemywacza (patrz Rys. 8/II), w ich martwych strefach winny być króćce z zaworami odpowietrzającymi w sposób ciągły.

1.2.2. Uzupełniająca

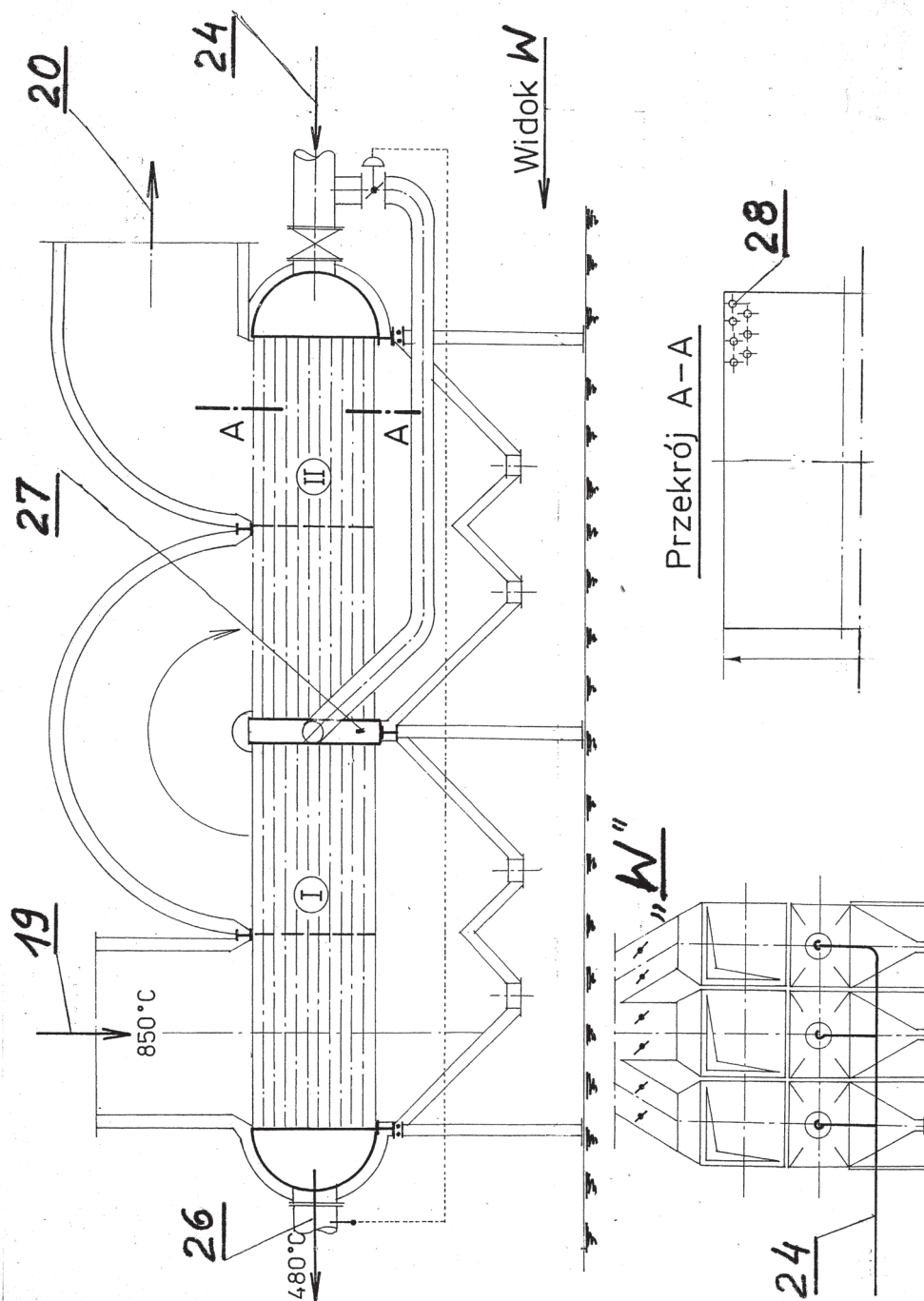
Różni się od *Podstawowej* tym, że zawiera zmodyfikowany przegrzewacz pary (patrz Rys. 14/II), dający minimalne opory przepływu (co jest ważne dla sprężarki) oraz zmieniony parownik (patrz Rys. 15/II), który zawiera system czyszczenia pary wewnątrz aparatu. Dodano również przetwarzacz pary, czyli typową wyparkę [12] (patrz Rys. 13/II), która zapewnia dużą czystość pary, co z kolei jest ważne dla przegrzewacza, jak i w pierwszej kolejności dla sprężarki. Jeżeli zapotrzebowanie w obrębie elektrowni na c.o. i c.w. jest wystarczająco duże, opłaca się zabrać z bloku te ok. 5 MW mocy elektrycznej dla drugiej sprężarki i zastosować dwa równoległe parowniki, zamieniając całą wodę z paliwa na parę grzewczą. Ponadto bardziej szczegółowo opisano obiegi pary w instalacji (patrz Rys. 13/II).

Praca instalacji wytwarzania pary z wody zawartej w paliwie jest następująca: instalację można uruchamiać podczas rozruchu kotła [1]. W początkowym okresie uruchamiania kotła para z niego jest wypuszczana do atmosfery do momentu

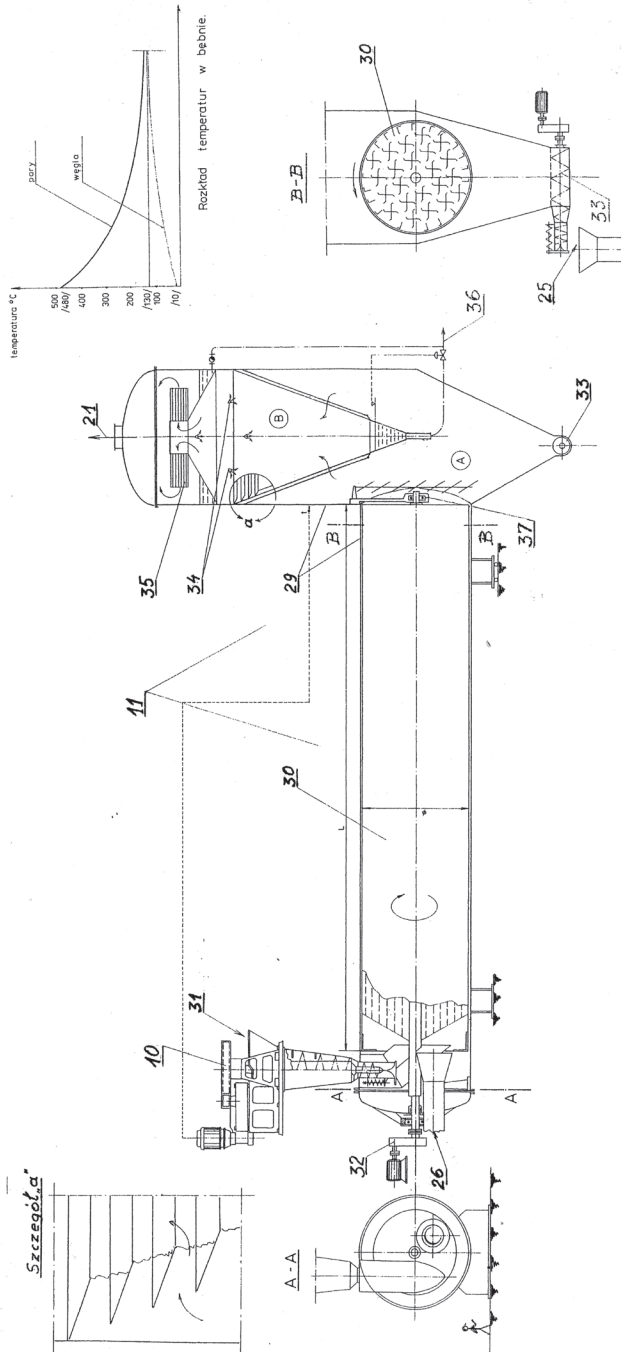
uzyskania właściwych parametrów dla turbiny [2]. Tę parę należy w tym czasie wykorzystać, wpuszczając ją do przegrzewacza [9] – najlepiej na wlocie do sprężarki [13] – i uruchamiając tym samym całą instalację. Przegrzewacz, którego koncepcyjne rozwiązanie jest przedstawione na Rys. 14/II, jest trójsekcyjny (może być dowolny w zależności od ilości pary), dwupęczkowy (I) i (II) z pośrednią komorą [27] jako regulatorem temperatury pary. Na poprzecznym przekroju pęczka (II) jest pokazane rozmieszczenie rur [28] w pęczku. Para ze sprężarki [13] dopływa [24] do przegrzewacza, a po przegrzaniu do temperatury 480°C jest doprowadzona [26] wprost do parownika [11]. Jeżeli przegrzewacz [9] nie posiada własnego paleniska, należy z komory paleniskowej kotła pobrać spaliny. Spaliny z kotła [1] o temperaturze 850°C dopływają [19] i po przegrzaniu pary wracają [20] do kotła. W parowniku [11] każde $3,5\text{ kg}$ pary przegrzanej do 480°C jest zdolne odparować 1 kg wody



Rys. 13/II. Schemat uzupełniający



Rys. 14/II. Przegrzewacz pary



Rys. 15/II. Parownik węgla

z węgla przy ciśnieniu w parowniku wynoszącym około 0,23 MPa. Odebrana wartość cieplna spalinom w przegrzewaczu musi być oddana w kotle poprzez spalanie o tę wartość dodatkowej ilości paliwa. Pozwalają na to warunki przepływowe spalin w kotle – ponieważ kocioł będzie opalany suchym węglem, objętość jego spalin (brak pary wodnej) zmniejszy się o około 30%. Po czasie w instalacji [9, 11, 12, 13] (patrz Rys. 13/II) zacznie narastająco cyrkulować własna para, wymuszona sprężarką [13], odparowując wodę z węgla, włączanego prasą [10] do parownika [11]. W tym czasie suchy już węgiel będzie podawany [25] do spalania w kotle. Jest pożądane, aby stacja kruszarek [18] przygotowywała do zasobnika [3] węgiel o granulacji około 5 do 10 mm. Parownik ciśnieniowy [11] jest przedstawiony na Rys. 15/II – winien on być tak skonstruowany i zautomatyzowany, aby ilość włączanego prasą [10] węgla, ciśnienie wewnętrzne w parowniku, długość bębna, jego średnica i obroty, półki przesypowe w bębnie, szybkość przepływu pary przez bęben itd., zapewniały na wylocie suchy węgiel, a para na wylocie z bębna w strefie (A) była jeszcze lekko o 2 do 3°C parą przegrzaną. Parownik [11], składający się z płaszcza ciśnieniowego [29], bębna [30] wyposażonego wewnątrz w półki przesypowe jak na przekroju (B-B), posiada napęd obrotowy [32] i wlot pary [26] z przegrzewacza [9]. Z zasobnika [3] węgiel wsypuje się do [31] prasy włączającej [10] wprost do obracającego się bębna [30]. Węgiel z parą przepływają współprądowo przez cały bęben [30] do wylotu strefy (A), gdzie węgiel suchy opada do urządzenia [33] wygarniającego węgiel [25], którym dostaje się wprost do zasobnika przy kotle, a z niego do młynów, palników i komory spalania. Para w strefie (A) może unosić drobne frakcje suchego węgla – stąd przedostaje się przez układ kaskadowy (szczegół „a”) do strefy (B), gdzie jest wymywana rozpylonym na mgłę gorącym kondensatem [34] i po przejściu przez „multiwir” [35] wypływa [21] do przetwarzacza [12]. Ściekający kaskadowo, rozpylony kondensat z wylapanymi pyłkami węgla jest kierowany [36] do osadnika. Tylny łożysko wału bębna [37] jest podwieszony do ciśnieniowej obudowy [29], wzmocnionej konstrukcyjnie w tym rejonie. Para z parownika [11] odpływa [21] do komory grzejnej aparatu wyparnego [12], gdzie skrapla się, gotując własny kondensat. Skropliny ściekają do zbiornika ciśnieniowego [14], do którego dawkowane są chemikalia [15] (zależne od składu chemicznego skroplin), następnie pompa tłoczy skropliny przez filtry [16] do komory gotowania (odparowania), a para [22] jest kierowana do sprężarki [13] i w ten sposób obieg jest zamknięty. Powstała nadwyżka pary równa ilości odparowanej wody z węgla dochodzi [23] do stacji wymienników [17], które zaopatrują okoliczne miejscowości w c.o. i c.w.

Gdyby elektrownia Bełchatów była zbudowana według wyżej omówionej koncepcji, miałaby do dyspozycji $(100 \text{ t/h} + 100 \text{ t/h}) \cdot 10 \text{ bloków} = 2000 \text{ t/h}$ pary grzewczej, która skierowana do stacji wymienników [17] wraz z własnymi skroplinami mogłaby ogrzać i dać ciepłą wodę dla tysięcy domostw województwa łódzkiego, to jest sporo więcej niż obecnie na c.o. i c.w. zużywa cała Warszawa. Można by rozważyć, jak z tym ciepłem, przy zastosowaniu dodatkowych izolacji

i pompowni wspomagającej na trasie, dotrzeć do miasta Łodzi i utratę ciepła na trasie wynoszącej około 35 km uzupełnić w jednej z południowych (leżącej na południu miasta) elektrociepłowni.

Taka sama sytuacja mogłaby zaistnieć wokół pozostałych, uprzednio wymienionych elektrowni. Prawda, że elektrownia Konin, wybudowana w miejscowości Gosławice, odległej od Konina o około 12 km, dostarcza ciepło do miasta, ale jest to ciepło wytworzone z użytego dodatkowo paliwa.

1.3. Spalanie odpadów komunalnych (śmieci)

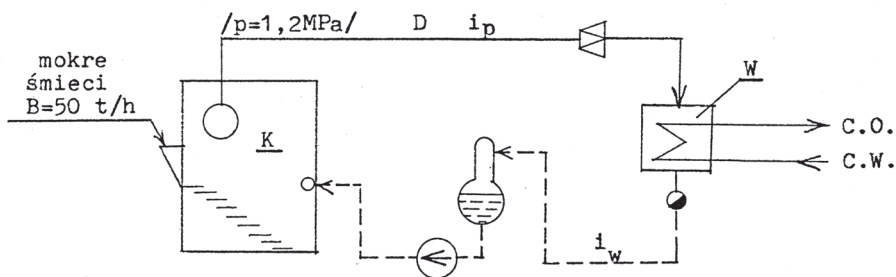
Kotłownia miejska

Najbardziej opłacalnym sposobem pozbywania się śmieci w mieście powinno być ich spalanie. Wiele miast na świecie (szczególnie w krajach wysokorozwiniętych) posiada tzw. kotłownie miejskie, w których spala się śmieci w specjalnych kotłach rusztowych lub fluidalnych. Ze względu na niską kaloryczność i dużą wilgotność tych odpadów bardzo często proces spalania w kotłach jest wspomagany dodatkowym paliwem wysokokalorycznym. Miasto odnosi tu podwójne korzyści: pierwsza to pozbywa się odpadów, a druga – ogrzewa wodę dla potrzeb miasta (c.o. lub c.w.). Dla porównania przedstawione zostaną korzyści cieplne odnoszone ze spalania śmieci wg obecnego (tradycyjnego) sposobu 1) oraz korzyści możliwe do osiągnięcia po zastosowaniu koncepcji 2).

Założenia dla obydwu przypadków:

- ilość odpadów 1200 t/dobę;
- wilgotność 50%;
- wartość opalowa około 2500 kJ/kg;
- ciężar właściwy 200 kg/m³.

1) Korzyści cieplne przy tradycyjnym sposobie



Rys. 16/II. Schemat kotłowni na mokre śmieci

K – kocioł (kotły) na parę nasyconą z podgrzewaczem powietrza i specjalnym paleniskiem (rusztem)

W – wymienniki para-woda

$$\eta = \frac{Q_o}{Q_w} = \frac{D(i_p - i_w)}{B \cdot W} \quad D = \frac{B \cdot W \cdot \eta}{i_p - i_w} \quad D = \frac{50000 \cdot 2500 \cdot 0,8}{2750 - 670} = 48 \text{ t/h}$$

Kotłownia po spaleniu 50 t/h mokrych śmieci jest zdolna wyprodukować 48 t/h pary nasyconej o ciśnieniu np. 1,2 MPa i zasilać nią wymienniki c.o. i c.w. Przekazuje wówczas dla miasta:

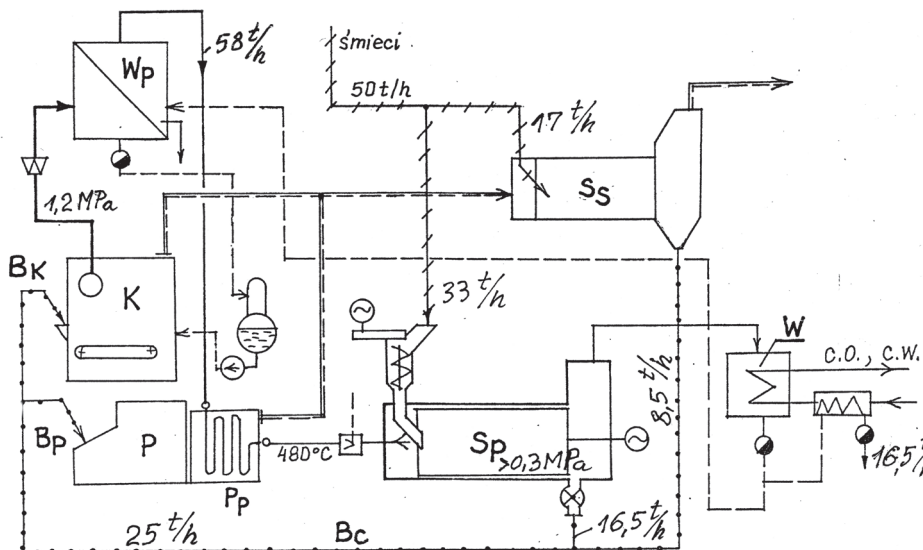
$$Q_o = D(i_p - i_w) \cong 100 \text{ MJ/h}$$

Mogą być również stosowane kotły wodne, gdzie ilość przekazanego ciepła będzie taka sama.

Uwaga:

Wylczenie przedstawiono dla wykazania wartości cieplnej możliwej do uzyskania ze spalania śmieci. W rzeczywistości bez dodania paliwa wysokokalorycznego proces spalania takich śmieci jest praktycznie mało realny.

2) Korzyści cieplne po zastosowaniu nowej koncepcji



Rys. 17/II. Schemat kotłowni na suche śmieci Bc = Bk + Bp

- K – kocioł na parę nasyconą
 W_p – wyparka (przetwarzacz pary)
 P – palenisko przegrzewacza
 P_p – przegrzewacz pary
 S_p – parownik ciśnieniowy
 S_s – suszarnia spalinowa
 W – wymienniki sieciowe

Przed suszeniem należy śmieci oczyścić z części metalowych, szkła i plastiku oraz przepuścić przez siekaczo-rozdrabniacze dla uzyskania drobnej granulacji.

Do parownika (S_p) wtłaczane jest 33 t/h śmieci mokrych, a do suszarni spalinowej (S_s) 17 t/h. Po odparowaniu wody pozostanie 25 t/h suchych śmieci o wartości opałowej $W_u = 7750$ kJ/kg.

Dla odparowania 16,5 t/h wody w parowniku (S_p) potrzeba z kotła (K) 58 t/h pary. Para ta będzie przegrzana do temp. 480°C w przegrzewaczu P_p . Dla uzyskania tej ilości pary trzeba spalić w kotle śmieci suchych w ilości:

$$B_k = \frac{D(i_p - i_w)}{W_u \cdot \eta} = \frac{58000(2780 - 630)}{7750 \cdot 0,85} = 19 \text{ t/h}$$

Dla przegrzania 58 t/h pary nasyconej z przetwarzacza W_p do temp. 480°C w przegrzewaczu P_p trzeba suchych śmieci do spalania B_p :

$$B_p = \frac{58000(3445 - 2725)}{7750 \cdot 0,88} \approx 6,0 \text{ t/h}$$

Otrzymana ilość pary z wyparki (58 t/h), połączona z odparowaną wodą w parowniku S_p (16,5 t/h), czyli razem 74,5 t/h pary, zasila wymienniki sieciowe, zaś stała nadwyżka skroplin równa ilości odparowanej wody (16,5 t/h) odprowadzana jest na zewnątrz po wystudzeniu w chłodnicy wody uzupełniającej zład.

Zatem kotłownia wg takiego rozwiązania byłaby zdolna przekazać miastu:

$$Q_o = 74500(2727 - 567) + 16500(567 - 105) \approx 168 \text{ MJ/h}$$

Sprawdzenie suszarni (S_s):

Ilość spalin po spaleniu 1 kg suchych śmieci wg zależności na przybliżoną ilość spalin, którą podaje prof. Orłowski w Kotły parowe, gdzie W_u jest w kcal/kg:

$$V_s = 0,89 \frac{W_u}{1000} + 1,65 = \frac{0,89 \cdot 1854}{1000} + 1,65 = 3,3 \text{ Nm}^3 / \text{kg}$$

Po spaleniu

$$25 \text{ t/h: } V_{sc} = 25000 \times 3,3 = 82500 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Wartość cieplna tych spalin w zakresie temperatur od 180°C do 80°C wynosi:

$$Q_s = V_{sc} (i_{180} - i_{80}) = 82500 (250 - 105) \approx 12 \text{ MJ/h}$$

Wymagana ilość ciepła dla odparowania w suszarni (Ss) 8,5 t/h wody:

$$Q_p = 8500 (i_p - i_w) = 8500 (2675 - 65) \approx 22 \text{ MJ/h}$$

Brakująca ilość ciepła w spalinach wynosi:

$$Q = Q_p - Q_s = 22,0 - 12,0 \approx 10 \text{ MJ/h}$$

Praktycznie można pozostawić taki rozdział suszenia, przy którym wystąpi nieznaczna wilgotność spalonych śmieci. Nastąpi to oczywiście kosztem zmniejszonej wartości Q_0 ze 168 MJ/h (jak wyliczono) na około 165 MJ/h.

Wnioski

1. Najgorszym rozwiązaniem jest wywożenie śmieci na wysypisko – straty energetyczne, skażenie środowiska (wód gruntowych i atmosfery – w czasie gnicia i fermentacji wydziela się metan), zajmowanie terenu z reguły cennego, bo w obrębie miasta.
2. Zbudowanie kotłowni dla potrzeb c.o. i c.w. dla miasta, spalającej śmieci przez cały rok, daje oszczędności w spalaniu węgla kamiennego:
 - a) w rozwiązaniu wg 1) spalanie mokrych śmieci:

$$\frac{100 \text{ MJ/h}}{0,03 \text{ MJ/kg}} \cdot 24 \text{ h} \cdot 360 \text{ dni} \approx 28 \text{ tys. ton}$$

- b) w rozwiązaniu wg 2) spalanie suchych śmieci:

$$\frac{165 \text{ MJ/h}}{0,03 \text{ MJ/kg}} \cdot 24 \text{ h} \cdot 360 \text{ dni} \approx 48 \text{ tys. ton}$$

0,03 MJ/kg – wartość opałowa węgla kamiennego

- c) w rozwiązaniu wg 2) przegrzewacz pary P_p może być zabudowany w kotle.

1.4. Spalanie torfu

Wykorzystanie torfu jako paliwa przez energetykę zawodową nie istnieje. Świeżo wydobywany torf ma wilgotność do 90%. Są kraje posiadające duże złoża tego surowca. Obecne zastosowanie jest niewielkie i sprowadza się do suszenia na wolnym powietrzu w miejscu wydobycia i transportowaniu tak podsuszonego dla potrzeb

ogrzewnictwa i przemysłu. Zbudowanie elektrowni zawodowej przy odpowiednim złożu torfu (tak jak to obecnie ma miejsce z węglem brunatnym) jest już bardziej realne, jeżeli zastosuje się tu wszystkie omówione poprzednio działania wynikające z koncepcji. Jest sprawą oczywistą, że dla wymaganych ilości spalanego przez taką elektrownię torfu oraz konieczności pracy w ciągu całego roku nie wchodzi tu w rachubę żadne suszenie torfu na powietrzu i w słońcu. Torf o wilgotności 50% ma wartość opałową ok. 8000 kJ/kg, a więc zbliżoną jak poprzednio do węgla brunatnego, jednak znacznie mniej popiołu 3-10% w przeliczeniu na suchą masę oraz siarki 0,2-0,3%. Dla uzyskania jednak warunków zbliżonych jak poprzednio dla bloku 360 MW zachodzi konieczność dodatkowego przygotowania torfu, polegającego na mechanicznym usuwaniu wody od 90% do 50%.

Takie mechaniczne usuwanie wody z punktu widzenia technicznego jest możliwe do uzyskania na drodze skonstruowania wysokowydajnych pras przepływowych lub wirówek o działaniu ciągłym (bębnów o ścianach perforowanych, zawieszonych na poduszkach magnetycznych).

1 kg torfu o wilgotności 90% nie posiada użytecznej wartości opałowej. Te ok. 9% części palnych w 1 kg mokrego torfu (stanowiące ok. 1600 kJ/kg) nie wystarcza nawet na odparowanie własnej wody. A zatem tak jak poprzednio dla uzyskania 1 kg suchego węgla brunatnego o wartości opałowej 18600 kJ/kg trzeba było wydobyć z kopalni 2 kg węgla mokrego o wilgotności 50%, tak w przypadku torfu dla uzyskania 1 kg suchego torfu trzeba wydobyć około 10 kg torfu o wilgotności 90%.

Te zwiększone ilości wydobywania w porównaniu do węgla brunatnego może zrekompensuje tu częściowo łatwiejsze wydobywanie (niższy koszt) – płytkie złoża.

2. Biopaliwa

Rozpowszechniane poglądy o możliwości obniżania CO₂ przez stosowanie tzw. biopaliw są z gruntu nieprawdziwe. Zdecydowanie od czasu poznańskiej Konferencji Klimatycznej ONZ nasiliły się w naszych środkach masowego przekazu różnego typu rady i zalecenia, jak postępować, aby obniżyć ilość emitowanego do atmosfery CO₂, który wpływa na tzw. ocieplenie klimatu. Z rad tych wynika, że najbardziej niekorzystnym jest węgiel kamienny i gdyby go tak ograniczyć i zastępować lub mieszać z paliwami bardziej ekologicznymi, to stan by się poprawił, np. zwiększyć zużycie węgla brunatnego lub głównie biomasy – drewna, trocin, słomy, różnych odpadów roślinnych itp. Otóż nic bardziej mylnego – gdy się pamięta, że na kuli ziemskiej występują tylko dwa pierwiastki – węgiel (C) i wodór (H) oraz związki chemiczne tych dwóch pierwiastków, z których część płynnych i gazowych stanowią paliwa dla energetyki cieplnej.

Przy spalaniu (utlenianiu 1 kg pierwiastka) C : $C + O_2 \rightarrow CO_2$ wywiązuje się reakcja egzotermiczna i otrzymujemy 0,034 MJ ciepła. Przy spalaniu (utlenianiu 1 kg pierwiastka) H_2 : $2 H_2 + O_2 \rightarrow 2 H_2O$, wywiązuje się reakcja egzotermiczna i otrzymujemy 0,143 MJ ciepła. Jest jeszcze trzeci pierwiastek, czyli siarka (S), która nie jest paliwem. Przy spalaniu (utlenianiu 1 kg pierwiastka) S: $S + O_2 \rightarrow SO_2$, wywiązuje się reakcja egzotermiczna i otrzymujemy 0,010 MJ ciepła.

Nic więcej w skali potrzeb energetyki nie daje reakcji cieplnej – poza uranem U_{238} , ale to już inna reakcja.

Nie ma na Ziemi takich surowców, które pozbawione węgla (C) lub wodoru (H) albo związki tych dwóch pierwiastków mogłyby być paliwami. Istotne jest tylko jedno, że dla otrzymania wymaganej ilości ciepła trzeba spalić (utlenić) taką samą ilość np. pierwiastka węgla (C) niezależnie od tego skąd on pochodzi, a różnica jest tylko taka, że w jednym surowcu (paliwie) jest węgiel (C) bardziej skondensowany – jest go więcej, a w innym mniej i tego drugiego trzeba masowe zużycie zwiększyć.

W oparciu o skład chemiczny paliwa rzeczywistego, jego wartość opałową (cieplną) oblicza się ze wzoru:

związkowego (Związku Inżynierów Niemieckich VDI):

$$W_u = 81 C + 290 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 25 S - 6 W \text{ [kcal/kg]}$$

gdzie:

C, H, O, S – masowe udziały pierwiastków

W – zawartość wilgoci

albo ze wzoru Mendelejewa:

$$W_u = 81 C + 246 H_2 + 26 (O - S) - 6 W \text{ [kcal/kg]}$$

albo z bezpośredniego pomiaru po spalaniu próbki w bombie kalorymetrycznej.

Uwaga:

Tych od biopaliwa należałoby zapytać, jaki to jeszcze pierwiastek ciepłodajny (egzotermiczny) występuje w tych paliwach, że zmniejszają one ilość CO_2 .

Popularyzatorzy tych pomysłów od kilku lat wykorzystywali środki masowego przekazu, aż zostały one wcielone w życie, o czym donosiła „Polityka” w nr 25 z r. 2012, s. 44, pt. *Gra w zielone* – cytuję z niej kolejne fragmenty:

Największy udział mają tradycyjne elektrownie węglowe, w których do kotła dorzuca się biomasę. Zmieszana z węglem i spalana daje zieloną energię. Biomasa współspalana jest zresztą w całej Europie.

Tylko z zupełnie innego powodu. Kraje gospodarne spalają różne odpady, w tym śmieci komunalne z dwóch powodów: 1) chcą się ich pozbyć; 2) w każdym z nich jest pewna ilość pierwiastków węgla (C) i wodoru (H), głównie w związkach (np. błonnik), które spalane wywiązują ciepło i przez to mniej się spala paliwa podstawowego. Z całą pewnością w żadnym z tych krajów nie wycina się drzew – cennego surowca – by spalać z węglem dla urojonego obniżania CO₂.

Przypomnijmy – drewno składa się w 40-60% z celulozy (błonnik C₆H₁₀O₅) powiązanej chemicznie i mechanicznie z ligniną i hemicelulozami, które stanowią ok. 15% masy suchej drewna. Udział ligniny zależy od gatunku drewna wynosi 25-30%. Ponadto są żywice, woski, tłuszcze, barwniki, garbniki, alkaloidy i związki mineralne. Wszyscy ci (jak w „Polityce”) niszczą przyrodę i cenny surowiec, jakim jest drewno, nie zmniejszając CO₂ ani o gram w stosunku do węgla. Tu zachodzi ciekawe pytanie, czy istotnie nie są świadomi tego co robią, czy też z premedytacją „podpinają” się pod te dotacje i tzw. zielone certyfikaty.

Cytuję dalej za wyżej wym. „Polityką”:

Zresztą popyt na biomase z strony wielkich elektrowni jest tak duży, a system dotowania produkcji tak atrakcyjny, że opłaca się nawet import. Wozi się więc biomase z Ukrainy i Białorusi, a nawet łupiny kokosów z Afryki.

Rośliny świeże, w tym drewno, mają średnio 50% wody i strukturę jak – patrz Część II, Rys. 1/II. Jeżeli doda się wytworzony CO₂ w transporcie z Ukrainy i Białorusi czy też z Afryki do miejsca w Polsce, gdzie nastąpi suszenie (pewnie przy użyciu węgla), zmielenie i dowiezienie do elektrowni, a tu porówna się składy chemiczne spalonego węgla z dowiezioną „miksaturą”, to okaże się, że nie różnią się one między sobą w składzie C i H₂. Całe nadwyżki CO₂ na niekorzyść biopaliwa powstają poza elektrownią i są sumą zabiegów wywołanych koniecznością wyżej wym. czynności.

Następne cytaty z tej samej „Polityki”:

Każdy producent energii ze źródeł uznanych za odnawialne za każdą wytworzoną megawatogodzinę (MWh) otrzymuje jeden zielony certyfikat. Sprzedając go, uzyskuje dodatkowy dochód wyższy od tego, jaki przynosi mu wyprodukowana energia.

Wsparcie, jakie otrzymują producenci zielonej energii – ok. 3 mld zł rocznie – nie pochodzą z budżetu, ale z kieszeni klientów.

I na koniec s. 45 jak wyżej:

Współspalanie biomasy – przekonują – jest najtańszym sposobem zwiększania OZE (odnawialne źródła energii – przyp. E. O.) w zużyciu energii elektrycznej w Polsce.

I jeszcze „Polityka” nr 23 z r. 2013, s. 45-46:

Unia nakłada na nas obowiązek osiągnięcia do 2020 r. 15% udziału źródeł odnawialnych w ogólnym bilansie energetycznym. Jak to zrobić? Mamy z tym problem. Dziś dużą część naszego obowiązku realizują tradycyjne elektrownie

węglowe, dorzucając do kotła surowce roślinne – drewno, słomę, importowane z Afryki lupiny kokosa, a nawet zboże.

Dygresja:

Jakby tej przynęty było mało, ostatnio Sejm RP uchwalił „zielone światło” dla tzw. „Energetyki Obywatelskiej”. Przymównywanie się do Niemców jest dużym błędem, który może nas drogo kosztować. Niemcy mają Morze Północne i związane z nim silne wiatry, stąd ich energetyka oparta na turbinach wiatrowych może odnosić duże efekty. Ponadto mają mocną energetykę paliwową oraz pod kluczem rezerwową energetykę jądrową, która w razie konieczności może być włączona. My tego nie mamy i gdy nastanie u nas prawdziwa pora jesienno-zimowa z zakrytym tygodniami niebem, mgłą i bez wiatrów, z mokrym śniegiem obmarzającym panele na dachu oraz na łopatach turbin wiatrowych, to się okaże, że „król jest nagi”. Molochów energetycznych nie należy budować – tak krzyczą! I wówczas wyruszy wiara blokować drogi – bo co to za państwo, które nie zapewnia prądu w gniazdku.

Wracając do meritum sprawy, zostanie niżej wykazane, że mieszanie drewna z węglem nie przynosi żadnego zmniejszenia CO₂, lecz wręcz przeciwnie, przy większej jego wilgotności powoduje znaczne zwiększenie CO₂. Jeżeli zastępujemy jedno paliwo innym lub tylko częściowo (mieszanie), to w pierwszej kolejności, aby utrzymać taką samą ilość ciepła trzeba porównać ich wartości opałowe, czyli ilość ciepła, jakie otrzymamy po ich spaleniu (utlenieniu), jak również porównać ich składy chemiczne i zanieczyszczenia, w tym zawartość wody. Zaś o ilości CO₂ decyduje jedynie ilość zawartego w paliwie węgla (C). Porównania można czynić, odnosząc wartości opałowe (ilość ciepła netto), uzyskiwane np. z węgla i drewna. Korzystam z danych ogólnie dostępnych, np. dotyczących wartości opałowych drewna, zależnej od wilgotności, z książki prof. P. Orłowskiego *Kotły parowe*, Warszawa 1968, s. 46, tab. 4-8.

Jest tam podane, że przy wilgotności drewna wynoszącej 20%, wartość opałowa (po przeliczeniu z kcal/kg) wynosi 14212 kJ/kg, z kolei przy wilgotności 30% – 12122 kJ/kg, a przy 50% – 7942 kJ/kg. Uwaga, że przy wilgotności drewna wynoszącej 20%, co jest wielkością wysuszenia uzyskanego na powietrzu (w naszym klimacie trudnym do osiągnięcia).

Korzystam również z danych dotyczących węgla i drewna oraz ich składów chemicznych wg K. Raznjević, *Tablice cieplne z wykresami*, Warszawa 1966, s. 63, tab. 26-1. Ten z kolei autor podaje, że przy wilgotności drewna wynoszącej 20% wartość opałowa wynosi 14277 kJ/kg, czyli prawie tyle samo. Ponadto podaje skład chemiczny (w % na kg) takiego drewna: C – 39,3; H – 4,7; O – 34,1; N – 0,4; popiół – 1,5; wilgoć – 20. W tabeli podane są składy chemiczne różnych paliw wraz z ich wartościami opałowymi. Dla porównania przytaczam jeszcze dane dotyczące węgla kamiennego, np. pierwszego z brzegu o nazwie „suchy”: C – 75,2; H – 4,6; S – 0,9; O – 8,8; N – 0,5; popiół – 8; wilgoć – 2, wartość opałowa 28973 kJ/kg.

Jeżeli podzielimy wartość opałową tego węgla przez wartość opałową drewna: $28973 : 14277 = 2$, to wynika, że trzeba spalić 2 kg takiego drewna, aby zastąpić cieplnie 1 kg węgla kamiennego niskiej wartości. Ten węgiel zawiera 75,2% C / 1 kg, czyli 752 g czystego pierwiastka węgla (C), zaś drewno 39,3% C / 1 kg, czyli w dwóch kg drewna będzie węgla (C) $393 \text{ g} \times 2 = 786 \text{ g}$. Różnica wynosi $786 \text{ g} - 752 \text{ g} = 34 \text{ g}$ na niekorzyść drewna. Zatem spalając drewno zamiast węgla wytworzymy większą ilość CO_2 . Sytuacja wygląda jeszcze gorzej, gdy spalane jest drewno o wyższej wilgotności, np. świeże o wilgotności 50%. Wartość opałowa wg prof. Orłowskiego (patrz tabela) będzie wynosiła 1900 kcal/kg, czyli 7942 kJ/kg. Jeżeli teraz $28973 : 7942 = 3,6$ – to jasno widać, że trzeba spalić 3,6 kg takiego drewna, aby zrównoważyć cieplnie 1 kg ww. węgla. Może ktoś zapytać, dlaczego aż tyle? Bo wraz z zapotrzebowaną masą palną przyrasta w 100% ilość wody, która odparowana w palenisku kosztem energii utleniania pierwiastków C i H, uchodzi wraz ze spalinami do atmosfery, czyniąc jedną z głównych strat. W suchej masie drewna (bez wody i popiołu), zarówno wg prof. Orłowskiego, jak i Raznjevića, znajduje się 50% czystego węgla (C). Zatem $3,6 \text{ kg} : 2 = 1,8 \text{ kg}$ suchej masy drewna, w której znajduje się 50% węgla (C), czyli $1,8 \text{ kg} : 2 = 0,9 \text{ kg}$ węgla (C). I jak wyżej: $900 \text{ g} - 752 \text{ g} = 148 \text{ g}$ węgla (C) więcej na niekorzyść drewna. Spalając takie drewno musimy utlenić 148 g węgla (C) więcej niż jest go w węglu i o tyle zwiększymy CO_2 . Podobne relacje będą zachodziły z trocinami i innymi zielonymi.

Na koniec „Polityka” nr 30 z 2013 r., s. 36 – cytuję z niej takie zdanie:

Jego współpracownicy (chodzi o byłego premiera J. K. Bieleckiego – przyp. E. O.) przygotowali scenariusz energetyczny dla Polski do 2060 roku i doszli do wniosku, że naszym energetycznym fundamentem długo jeszcze nie będzie wiatr ani słońce, ale węgiel brunatny.

Niestety węgiel brunatny też daje więcej CO_2 od węgla kamiennego. Wystarczy proste porównanie ich wartości opałowych i składów chemicznych oraz wykonać proste wyliczenie, aby to stwierdzić.

We wszystkich polskich elektrowniach na węgiel brunatny kotły spalają węgiel wydobywany wprost z ziemi, który zawiera średnio 50% wody. I tak np. węgiel w elektrowni Turów ma wartości opałowe podane z czterech pokładów „a”, „b”, „c”, „d” w książce *Kotły parowe* prof. P. Orłowskiego, s. 49, tab. 4-11.

Do porównania i wyliczenia zostaje przyjęta wartość opałowa z pokładu „c”, ponieważ ten węgiel zawiera 50% wody, co odpowiada wartości średniej wszystkich innych kopalń odkrywkowych naszych elektrowni.

Wartość opałowa tego węgla wynosi $Q_w = 2631 \text{ kcal/kg}$, czyli 10997 kJ/kg, wartość opałowa węgla kamiennego „suchy” wynosi 28973 kJ/kg. Dzieląc wartość opałową tego węgla przez wartość opałową wymienionego węgla brunatnego: $28973 \text{ kJ/kg} : 10997 \text{ kJ/kg} = 2,6$ – to znaczy, aby cieplnie zrównoważyć jeden kilogram węgla kamiennego trzeba spalić 2,6 kg węgla brunatnego. Ponieważ ten węgiel zawiera 50% wody, to suchej masy będzie: $2,6 \text{ kg} : 2 = 1,3 \text{ kg}$.

Według prof. P. Orłowskiego jw., s. 48, tab. 4-10: skład chemiczny suchej masy węgla brunatnego wynosi C – 66-73%; H – 5-6%; o – 13-25%; N – 0,7-1,5%; S – 0,7-7%.

Jeżeli przyjmiemy wartość średnią C 70%, to w ilości 1,3 kg suchej masy będzie: $1,3 \text{ kg} \cdot 0,7 = 91\%$ węgla (C), czyli 910 gramów.

A zatem: $910 \text{ g} - 752 \text{ g} = 158 \text{ g}$ (75,2% C wg tab. 26-1 Raznjevića dla węgla „suchy” wynosi 752 g węgla C).

Inaczej, zastępując węgiel kamienny węglem brunatnym na każdy jeden kilogram węgla kamiennego spalimy o 158 g pierwiastka węgla C więcej, czyli o taką wartość wzrośnie ilość CO₂. Dlaczego aż tyle? Bo taki jest koszt odparowania w komorze paleniskowej kotła wody z węgla (tych 50%), która w postaci pary przegrzanej wraz ze spalinami uchodzi do atmosfery.

W tej sytuacji, jak wyżej, nasuwa się jedno pytanie: skoro wsparcia dla producentów za „zieloną energię” nie pochodzą z budżetu, ale z kieszeni klientów, to kto jest taki hojny, że bez pomiarów i badań przez autoryzowaną instytucję wyciąga nam pieniądze z kieszeni?

Jest jeszcze jeden urojony temat, który przewija się od czasu do czasu. Chodzi o pomysł, aby ze spalin odseparować CO₂, a następnie wpuścić do szczelin skorupy ziemskiej. W tym przypadku pojawia się pytanie, czy istnieje świadomość kosztów takich instalacji, zapotrzebowania do tego energii, czyli dodatkowego zużycia paliw i powiększenia ilości CO₂ – jeżeli uświadomi się tu skalę, że np. tylko elektrownia Bełchatów (przy czynnych wszystkich starych blokach) produkuje w ciągu godziny ok. 20 milionów metrów sześciennych spalin.

To, że dzisiejsze możliwości techniczne pozwalają na takie zabiegi, jak oddzielenie z mieszaniny gazów tego, który nas interesuje, nie budzi wątpliwości. Nie budzi też wątpliwości, że w tym celu trzeba obok elektrowni wybudować drugą fabrykę, która na te wszystkie instalacje, jak sprężarki, separatory, dmuchawy itp., zużyje dodatkowe paliwo i wytworzy dodatkowe ilości CO₂. Ale ważne, że cały ten CO₂ będzie teraz wtłoczony do skorupy ziemskiej. Po pewnym czasie będziemy budowali następne fabryki, które oczyszczą teraz gaz ziemny od CO₂. Bo będzie to teraz nie gaz zaazotowany, a gaz „zadwutlenkowany”. Jeżeli wcześniej przez inne szczeliny, w tym kopalnie węgla, soli czy wprost jaskinie, nie wydostanie się do atmosfery. I tak cała ta zabawa w wyciąganie kasy przypomina wirującego kota, który usiłuje złapać własny ogon.

Informacja o składzie paliw

Dla ogólnej informacji podaję przybliżone składy chemiczne różnych paliw:

Paliwa stałe

Lp.	Nazwa paliwa	Wilgotność (%)	Wartość opalowa (kJ/kg)	Skład chemiczny (%)				
				C	H ₂	O ₂	S	N ₂
1	drewno świeże	40-60	8400	50,0	6,0	44,0	0,0	0,1
2	torf	80-90	975	56,9	5,5	32,0	0,5	1,8
3	węgiel brunatny	50-60	8500	66,0	5,0	25,0	0,6	-
4	węgiel kamienny (energetyczn. miał)	8-9	28000	83,0	4,8	8,0	1,0	-

Paliwo płynne

Lp.	Nazwa paliwa	Wilgotność (%)	Wartość opalowa (kJ/kg)	Skład chemiczny (%)		
				C	H ₂	S
1	olej opalowy	-	40000	86,0	11,0	0,5

Paliwa gazowe

Lp.	Nazwa paliwa	Wilgotność (%)	Wartość opalowa (kJ/kg)	Skład chemiczny (%)				
				CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	O ₂	N ₂
1	gaz ziemny (metanowy)	-	42000	90,0	3,0	-	-	5,5
2	gaz ziemny (etanowy)	-	40000	74,0	24,0	-	-	-

3. Kontrowersje dotyczące CO₂

Wystarczy mieć nazwisko, kandydować na stanowisko prezydenta USA, odbyć wycieczkę na Antarktydę, zrobić kilka fotek pokazujących, jak od masywów odpadają płyty lodu i wygłosić poglądy, że wszystkiemu winny jest CO₂, aby otrzymać Nagrodę Nobla i być autorytetem w sprawach klimatycznych. Już 100 lat temu niejedna a cała ławica gór lodowych płynęła z północy po Atlantyku, o czym Titanic był ostrzegany przez inne statki, ale wtedy nikt tym CO₂ nie straszyl i było go mało.

Jest prawdziwą zagadką, dlaczego zrodził się tak masowy pęd do zwalczania CO₂, przypisujący mu główną przyczynę mającego nastąpić ocieplenia klimatu. Kolejne konferencje klimatyczne ONZ w Rio de Janeiro, Kioto, Poznaniu, Kopenhadze, Warszawie i zapowiedź dalszych, poszerzają krąg przeciwników tego gazu. Na dodatek klakierują tej sprawie tzw. ekolodzy, którzy popierają wszystko, aby było nam zielono. Tak więc w wyniku tych działań ogranicza się np. węgiel kamienny, który zawiera najwięcej pierwiastka węgla (C) i dlatego daje najmniejszą ilość CO₂, różnymi biomasami, które w efekcie powiększają ilość CO₂. Niestety cała ta sprawa jest bardziej złożona, a przysłowiowy CO₂ jest najwyżej czynnikiem na dalszym planie. Przypomnienie – skład objętościowy atmosfery: azot 78%, tlen 21%, argon 0,9%, CO₂ 0,04%, inne: metan, wodór, hel, neon, ozon itp. oraz pyły (wielkości mikronowej), a także para wodna. To właśnie zapylenie i zadymienie atmosfery stanowi o problemie ocieplenia.

Podstawowe dane głównych składników powietrza:

Ciężar właściwy gazów przy 0°C i 760 mm Hg

azot N ₂	1,25 kg/m ³
powietrze (jako mieszanina wym. gazów + para wodna)	1,30 kg/m ³
tlen O ₂	1,43 kg/m ³
argon Ar	1,78 kg/m ³
dwutlenek węgla CO ₂	1,97 kg/m ³

Współczynnik przewodzenia ciepła λ przy 0°C

azot N ₂	0,0240 W/mK
powietrze (przy wilgotności 70%)	0,0242 W/mK
tlen O ₂	0,0243 W/mK
argon Ar	0,0163 W/mK
dwutlenek węgla CO ₂	0,0143 W/mK

Już z powyższego wynikają dwa wnioski, że:

Argon, którego jest przeszło 20 razy więcej niż CO₂, jest tylko o 0,002 W/mK lepszym przewodnikiem ciepła niż CO₂ (Wat/m, stop.).

Gdyby atmosfera ziemską nie miała żadnego ruchu, to jej składniki ułożyłyby się wg ciężaru właściwego jak wyżej, czyli CO₂ zalegałby przy samej ziemi. Na szczęście dopóki świeci słońce, wiatry tak go wymieszają w ogólnej masie, że nie odgrywa on większej roli.

Jest doprawdy zastanawiające, jak mogło dojść do umasowienia poglądu, że te wszystkie przyrodnicze kataklizmy, cyklony, powodzie, susze (coraz większe w rejonach podzwrotnikowych), to z powodu CO₂! A tymczasem prawdziwą przyczyną zaburzeń klimatycznych jest narastająca w atmosferze ilość mikropyłów powodowana degradacją coraz większych obszarów kontynentu (susze w strefach podzwrotnikowych).

Mechanizm tego procesu – według mojej hipotezy – jest następujący: w ciągu dnia słońce przy bezchmurnym niebie, głównie w strefie równikowej, powoduje zwiększone odparowanie wody (oceany, jeziora, rzeki itp.), co zwiększa nasycenie powietrza wilgocią, a to powoduje, że jako cięższe, utrzymuje się na niższym pułapie i unoszone prądami oddala się od równika.

W ciągu nocy oziębiając się, to powietrze wilgotne miesza się z unoszącym się pyłem (pyłek staje się zarodkiem kondensacji mikrokropki wody, które łącząc się ze sobą, tworzą krople). Na niższym pułapie tworzą się więc chmury deszczowe i dochodzi do opadów wcześniej, niżby chmury powstały na większych wysokościach przy mniejszej wilgotności i tam pod wpływem przechłodzenia przy mniej zapyłonym powietrzu następowałaby kondensacja. Tym samym pod wpływem prądów powietrznych chmury dotarłyby na dalsze odległości, być może w te rejony, gdzie od lat panują susze, które z kolei są źródłem zwiększającego się zapylenia powietrza. Przy bardziej bezchmurnym niebie w tych rejonach więcej ciepła od słońca (promieniowanie podczerwone) dociera bezpośrednio do Ziemi.

Z powyższej oceny wynika jasno, że nadwyżka ciepła (czyli ocieplenie klimatu) powstanie przez coraz silniejsze zapylenie atmosfery, a nie przez przyrost CO₂. Należałoby raczej naciskać na kraje pustynne (te od ropy i gazu), ponieważ u nich najbardziej kurzy, a oni zamiast obsadzać palmami tereny pustynne i wyhodować odmiany traw, które by przy minimalnej ilości wody rosły, wolą budować (wkrótce) kilometrowej wysokości wieżowce i hale będące terenami narciarskimi wewnątrz.

Wątek osobisty – w czasie wojny iracko-irańskiej w wigilię Bożego Narodzenia 1981 r. leciałem samolotem z Mashadu do Teheranu. Nad Teheranem była burza piaskowa. Samolot krążył, czekając, kiedy się skończy. W pewnym momencie obniżył lot, lecąc od wschodu, a ja z okna w zachodzącym słońcu ujrzałem olbrzymią rudą chmurę, unoszącą się prawie pionowo, jakby zassaną jakimś ciągiem kominowym, zaś dolna część tej chmury zaczęła opadać na ziemię za miastem.

Tak więc sprawa jest o wiele bardziej złożona i wymaga szerszego rozpatrzenia. W tym, w świetle bilansu cieplnego Ziemi. Świadomość, skąd się biorą różne źródła ciepła na Ziemi wymaga ich wyliczenia i chociażby przybliżonego określenia. Samo powtarzanie, że grozi ocieplenie klimatu, wielu ludziom niczego nie wyjaśnia. Każdy jednak musi przyjąć do wiadomości podstawową prawdę, że energia jest niezniszczalna. Zaś na Ziemi prawie każda jej forma zamienia się ostatecznie w ciepło, które podgrzewa powietrze, wodę i ziemię. Równowaga cieplna na Ziemi będzie utrzymana wówczas, gdy zachowane będzie poniższe równanie:

$$Q_w = Q_s + Q_z + Q_c$$

Q_w – ilość ciepła oddanego przez ziemię w kosmos

Q_s – ilość ciepła otrzymanego od słońca

Q_z – ilość ciepła, które emituje sama Ziemia

Q_c – ilość ciepła wytworzonego przez ludzi

Ciepło, nagrzewając wody, głównie energią promieniowania słonecznego (Q_s), powoduje parowanie i skraplanie (opady), czyli tworzenie się chmur, które z kolei utrudniają równomierne nagrzewanie. To nierównomierne nagrzewanie wynika również z kształtu samej Ziemi (czasza półkuli poddana nasłonecznieniu). Na równiku promieniowanie jest prawie prostopadłe, zaś w stronę biegunów omal styczne. Łącznie to nierównomierne nagrzewanie powoduje różnice temperatur i ciśnień w atmosferze, co jest przyczyną ruchów powietrza, czyli ostatecznie chaosu w całej ziemskiej atmosferze, a ten chaos równocześnie sprzyja m.in. wytwarzaniu przez człowieka energii elektrycznej w elektrowniach wodnych i wiatrowych. Ilość ciepła Q_s , które Ziemia (jej nasłoneczniona półkula) otrzymuje od słońca – wg Wielkiej Encyklopedii Powszechnej PWN – w jednostce czasu (po uwzględnieniu strat w atmosferze) wynosi $1,99 \text{ cal/cm}_2$ na minutę jako słoneczna stała. Ponadto Ziemia posiada energię (niewykorzystaną) w wyniku oddziaływania księżyca i innych planet, tzn. przyływy i odpływy mórz i oceanów oraz prądów oceanicznych. Wszystkie wymienione źródła ciepła (energii) wchodzące w skład bilansu cieplnego Ziemi wymagają zastrzeżenia, że jeszcze przy dzisiejszych możliwościach nie istnieje sposób, aby z chaosu udało się wyprowadzić jednoznaczne reguły, określające zachowania i wartości w środowisku zaburzonym, zależnym od wielu zmiennych. Matematycy w takich sytuacjach radzą sobie za pomocą rachunku prawdopodobieństwa. Są to jednak rezultaty losowe. Tak więc i dla bilansu cieplnego Ziemi nie ma takich możliwości, aby choć w przybliżeniu obliczyć niektóre części wchodzące w skład takiego bilansu. Wtedy podstawowy składnik owego bilansu Q_w , czyli ilość ciepła oddawanego w kosmos przez ciemną stronę ziemskiej kuli, która w ciągu dnia została nagrzana przez słońce, samą Ziemię i działalność cieplną 7 miliardów ludzi, byłby stanem złożonym. Składałby się z mieszanego sposobu oddawania ciepła w kosmos – przy czystym powietrzu na drodze intensywniejszego promieniowania, a przy zachmurzeniu i mgłach na drodze konwekcyjnej. Każdy może się o tym przekonać w pełni zimy, kiedy jest czyste niebo nocą (gwiazdziste), wówczas mróz jest największy, temperatury najniższe. I odwrotnie – przy zachmurzeniu mróz jest niższy, często pojawia się mgła i szron. Również z tzw. zerowej zasady termodynamiki wiemy, że ciepło przepływa od wyższego źródła ciepła do niższego: tym intensywniej, im silniejsze jest źródło wyższe, np. słońce. Oddawanie ciepła przez ciemną stronę Ziemi w kosmos nie jest tak intensywne, ponieważ oceany i pozostałe akweny magazynują ciepło i spowalniają ten proces. W ciągu dnia Ziemia prawie całe ciepło od słońca otrzymuje na drodze promieniowania. Zaś nocą oddaje troposferą ku stratosferze częściowo na drodze konwekcji. Zaś z jonosfery całość tylko promieniowaniem. Głównym źródłem ciepła jest bez wątpienia słońce jako czynnik bezpośredni, jak również pośredni, umożliwiający przetwarzanie jego promieniowania w energię elektryczną w ogniwach fotowoltaicznych. Wywołane nierównomiernym nagrzewaniem Ziemi przez słońce (wiatry), przenoszą swoją energię na morza i oceany, wywołując ruch

falowy w tych akwenach (dotychczas energia tych fal jest niewykorzystywana). Ponadto Ziemia zawdzięcza słońcu, że w wyniku jego oddziaływania w dalekiej przeszłości powstały zasoby energetycznych surowców (węgiel, ropa, gaz), będące dzisiaj podstawą dla energetyki cieplnej. Ziemia posiada również własne źródła ciepła Q_z , takie jak:

- gorący środek Ziemi, który swoje ciepło oddaje na powierzchnię drogą konwekcyjnego przewodzenia przez skorupę ziemską;
- przypadkowe ciepło, przekazywane głównie do atmosfery, a pochodzące z wielkich pożarów buszu i kompleksów leśnych;
- zasoby rud uranu, jako źródło energii jądrowej dla energetyki cieplnej;
- geotermalny odbiór ciepła z Ziemi, drogą cyrkulacji wody;
- otwarte oddawanie ciepła do atmosfery przez ok. 400 czynnych wulkanów na kontynentach i ok. 500 na dnie mórz i oceanów.

Może budzić zdziwienie, dlaczego przy tak rozwiniętej technice wierceń skorupy ziemskiej (poszukiwanie i wydobywanie surowców) nikt dotychczas nie przystąpił do takich wierceń dla bezpieczeństwa pod stożki tzw. wulkanów uspionych, które bezpośrednio zagrażają ludziom mieszkającym w ich pobliżu, jak również sytuacji gospodarczej danego kraju. W pobliżu Wezuwiusza czy Etny „nie ma spokoju pod oliwkami” można powiedzieć, parafrazując tytuł znanego filmu włoskiego. Wiadomo, że to nie lava, która wypływa głównie w sposób laminarny, ale gazy zagrażają, rozrywając wulkany i wyrzucając kamienie i popioły na wiele kilometrów (np. w USA wulkan Mount St. Helens w 1980 r., czy niedawno na Islandii i wiele innych). Tak nawiercony, uzbrojony i oprzyrządowany otwór mógłby służyć do upuszczania i ewentualnie oczyszczania gromadzących się pod wulkanem gazów. Sytuacja byłaby bezpieczna i pod kontrolą. Stały wzrost wykazuje ostatni składnik równania, czyli Q_c . Wkrótce będzie nas ok. 7 miliardów i każdy chce dziś żyć na wyższym poziomie, a to wiąże się nieuchronnie ze zwiększonym zużyciem surowców energetycznych, które zmieniają się w ciepło. Np. średnio samochód osobowy na 1 l benzyny przejedzie ok. 10 km. Litr benzyny ma wartość q_b około 34700 kJ/l. Przeciętny człowiek nawet o tym nie wie, że przejechał te 10 km tylko dzięki przemianie energii chemicznej benzyny na ciepło. Jeżeli zliczyć te wszystkie ciepła do powietrza i wody, to równają się one wyżej wym. wartości cieplnej benzyny:

$$q_b = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + \text{itp.}$$

q_1 – ciepło odebrane od silnika (chłodzenie wodą lub powietrzem)

q_2 – ciepło wylotowe gazów spalinowych

q_3 – ciepło tarcia wszystkich mechanizmów oraz wydzielone na hamulcach

q_4 – ciepło tarcia opon o nawierzchnię

q_5 – ciepło tarcia karoserii o powietrze

Tak samo energia wody w elektrowni wodnej zamienia się ostatecznie w ciepło. Najpierw energia potencjalna wody zamienia się w kinetyczną, a ta w mechaniczną, zaś mechaniczna w elektryczną. A po zliczeniu ciepła wydzielonego w naszych domach: plazmy, pralki, żelazka, lodówki, oświetlenie oraz straty ciepła w elektrowni i przesyłowe, to ich suma równa się pierwotnej energii wody zamienionej na ciepło. Dalej elektrownia węglowa zużywająca np. 10 wagonów węgla na godzinę. Z tych 10 wagonów 5 wagonów zamienionych na ciepło w parze wjeżdża do rzeki lub jeziora czy też do atmosfery przez chłodnie kominowe (ciepło skraplanej pary odlotowej z turbin), 1 wagon wyleci kominem (ciepło w spalinach). Wówczas taka elektrownia, a jest ich sporo, ma niecałe 40% sprawności wytwarzania energii elektrycznej, która jak wyżej w naszych domach też zamieni się w ciepło. Czyli w sumie całe 10 wagonów zamieniło się w ciepło. Tak można by wyliczać dalej, ale nie ma takiej potrzeby, bo wiedząc o niezniszczalności energii możemy wprost znane globalne zużycie surowców zamienić w ciepło. A według GUS *Zużycie paliw i nośników energii w 2012* (dane z internetu) przewidywane zużycie energii w roku 2015 wyniesie ok. 12,5 mld ton (tona ekwiwalentna ropy odpowiada 42 GJ). Jest to łączne zużycie: OZE, energia wodna, energia jądrowa, węgiel, gaz ziemny, ropa naftowa. To łączne zużycie jest głównym składnikiem Q_c wyżej wym. bilansu cieplnego Ziemi i wynosi $12,5 \times 42 \text{ GJ} = 525 \text{ mld GJ}$.

Nie jest to niestety wszystko, ponieważ człowiek cały czas coś spala, a to odpady komunalne, wypala trawy i dżunglę dla powiększenia terenu pod uprawy, różne śmieci itd., czy jak w Azji Płd. miliony ludzi ubogich korzysta jako z paliwa z wysuszonych na słońcu odchodów zwierzęcych itp. Nasuwa się tu refleksja, że człowieka XXI wieku pod względem korzystania z ognia niewiele różni się od jaskiniowca. Nie tylko ten z Azji Płd., ale i ten „z najwyższej półki”. W salonie – XXI wiek (komputery, internet, plazma i inne bajery), a w kuchni kuchenka z palnikami i gotowanie na otwartym ogniu. Paliwo – gaz ziemny, czyli głównie metan CH_4 spala się, wytwarzając CO_2 i parę wodną.

Podsumowanie:

W istocie nie potrzeba lepszych przykładów dla działu analiz matematycznych, pt. „sploty i sprzężenia zwrotne” od tych, jakie zachodzą w atmosferze ziemskiej. Np. zwiększone promieniowanie słoneczne w pasie równikowym spowodowane zmniejszającą się ilością chmur staje się powodem dostarczenia Ziemi zwiększonej ilości ciepła. To z kolei sprzyja tworzeniu się w atmosferze gwałtownych zjawisk, w tym silnych wiatrów, burz piaskowych i cyklonów (nad oceanami), które przenosząc się nad kontynenty, w tym na tereny pustynne, porywają coraz większą ilość i wielkość cząstek pyłu. Ten pył przenoszony w prądach powietrznych w rejony powietrza chłodniejszego, wilgotnego (ku biegunom) staje się katalizatorem kontaktowym z parą wodną zawartą w powietrzu. Działanie katalizatora kontaktowego jest działaniem powierzchniowym. Cząstka pyłu, jak wszystkie ciała stałe, ma zdolność

przyciągania ku swojej powierzchni cząstek otaczającego gazu (cząstek pary wodnej) za pomocą sił van der Waalsa. Wytwarza się cienka warstewka absorbowanej pary na jego powierzchni. Siły adsorpcji powodują, że cząstki pary w tej warstewce są przestrzennie uporządkowane i stężenie ich jest dużo większe niż w powietrzu. Jeżeli to stężenie jest korzystne dla reakcji, przebiega ona znacznie szybciej – cząstka pyłu staje się wówczas katalizatorem (przyspieszaczem) reakcji. Powstają cząstki wody, które są silnymi dipolami. Ich pola elektryczne silnie na siebie oddziałują. Powoduje to skłonność do wzajemnego zbliżania się ku sobie. W ten sposób powstają chmury już na niższym pułapie, niżby to nastąpiło na skutek właściwego przechłodzenia na pułapie wyższym, gdzie są niższe temperatury, a powietrze byłoby czyste (bez pyłu). Pyły więc wykraplają wodę wcześniej i z niższego pułapu i nie dociera ona w rejony pustyńne, głównie w strefy podzwrotnikowe. Całe szczęście, że powyższy mechanizm sprzyja również samooczyszczaniu się powietrza z pyłów. Ponieważ cząstka pyłu zatopiona w kropki wody opada wraz z nią na ziemię. W powyższym nie uwzględniono wiatrów sezonowych – monsunów.

CZEŚĆ III
Nowy model elektrowni

1. Opis stanu istniejącego

Polskie elektrownie (i wszystkie inne), oparte na modelu parowym kondensacyjnym, swą ideą niewiele odbiegają od koncepcji XIX-wiecznej. Różnica jest tylko taka, że tam Stephenson ze swojej lokomotywy parę z cylindrów wypuszczał wprost do atmosfery i był zadowolony z 13% sprawności. Energetyka obecnie najpierw skrapla parę odlotową z turbin wodą w skraplaczach, a następnie ta woda chłodząca oddaje ciepło do otoczenia. Oczywiście z biegiem czasu powstawały usprawnienia – m.in. coraz większe jednostki (kotły, turbiny), cechujące się większymi sprawnościami oraz wyższymi parametrami – ale sama idea jest ciągle ta sama. Największym nieszczęściem tej idei jest konieczność istnienia tzw. dolnego źródła, czyli konieczność wynikająca z prawa przyrody, polegającego na zmianie fazy skupienia z parowej na wodną (tu w celu skroplenia pary odlotowej z turbin). Celem jest również pozyskanie czystego kondensatu ze skroplonej pary do ponownego zasilania nim kotłów. Wydziela się w tym miejscu olbrzymia ilość ciepła (o nieużytecznych parametrach), która jest wraz z wodą chłodzącą skraplacze oddawana do otoczenia: rzek, jezior, mórz lub bezpośrednio do atmosfery w chłodniach kominowych (patrz Rys. 1/III i Rys. 2/III). Pomimo tego, że para w turbinie wykorzystywana jest maksymalnie, czyli do głębokiej próżni wynoszącej w skraplaczu np. ok. 0,0068 MPa, to i tak 1 kg takiej pary zawiera jeszcze 2570 kJ, które idzie na stracenie. Blok energetyczny (kocioł, turbina) o przykładowej mocy 250 MW musi produkować ok. 700 t/h pary przegrzanej, którą zasila najpierw część wysokoprężną turbiny, a następnie para wraca do kotła w celu wtórnego jej przegrzania i ponownie zasila część niskoprężną turbiny. Z tej niskoprężnej części wprawdzie pobierana jest para o różnych ciśnieniach z upustów turbiny do podgrzania (skroplonej uprzednio pary) w podgrzewaczach regeneracyjnych i na inne potrzeby własne – tak, że ostatecznie do skraplacza kierowane jest 500 t/h pary odlotowej, czyli 500000 kg/h.

2. Wyliczenie koniecznych ilości paliw dla stanu istniejącego

Ilość traconego ciepła dla bloku 250 MW wynosi:

$$500000 \text{ kg/h} \cdot 2570 \text{ kJ/kg} = 1,285 \cdot 10^9 \text{ kJ/h}$$

Jeżeli przyjmiemy, że blok był opalany węglem kamiennym o przykładowej wartości opalowej 28000 kJ/kg, to:

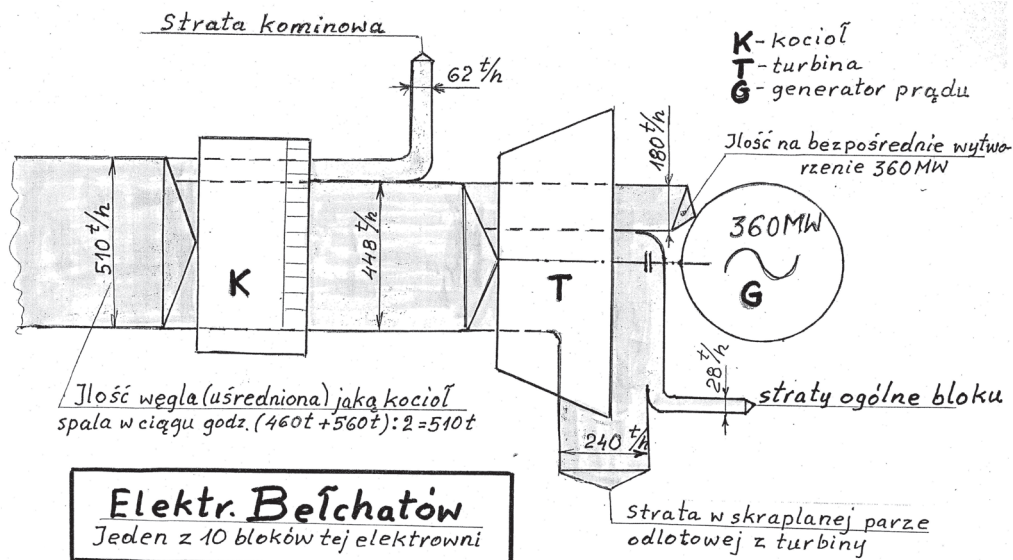
$$1,285 \cdot 10^9 \text{ kJ/h} : 28000 \text{ kJ/kg} = 46000 \text{ kg/h}$$

Czyli jest to strata ciepła w skraplaczu przeliczona na paliwo, wynosząca ok. 46 t/h węgla kamiennego. Przyjmując 300 dni roboczych (po odliczeniu postojów,

awarii, napraw itp.), strata za ten okres wynosi: $46 \text{ t/h} \cdot 24 \cdot 300 = 0,33 \text{ mln ton}$. W skali całego naszego kraju wygląda to bardzo źle. Jeżeli w Polsce średnie roczne zapotrzebowanie na moc elektryczną wynosi ok. 18 tys. MW (patrz wykres Rys. 3/III), to:

$$(18000 \text{ MW} : 250 \text{ MW}) \cdot 0,33 \text{ mln ton} = 23,8 \text{ mln ton}$$

Jest to główna strata ciepła w elektrowniach, na którą poszło pośrednio 23,8 mln ton węgla kamiennego o ww. wartości opałowej. W rzeczywistości ten stan jest jeszcze gorszy, ponieważ przyjęto tu dane dla bloku 250 MW. Inne mniejsze jednostki, których jest znaczna ilość, mają np. gorszą próżnię skraplania i straty są jeszcze większe. Poza ww. stratami są jeszcze straty ciepła w spalinach odlotowych z kotłów oraz szereg innych mniejszych – wszystko to razem powiększa ilość traconego paliwa. Wg GUS *Zużycie paliw i nośników energii w 2012 r.* (Warszawa 2013) zużycie u nas węgla kamiennego w elektrowniach wynosiło 40 mln ton. Dalej od lat wiadomo, że nasze elektrownie zużywają jeszcze rocznie ok. 60 mln ton węgla brunatnego. Ten nasz węgiel zawiera 50% wody, czyli po spaleniu wprost w paleniskach kotłów wraz ze spalinami wylatuje do atmosfery ok. 30 mln ton pary, na odparowanie której trzeba było wydobyć ponad 11 mln ton węgla więcej, tzn. z cieplnego przeliczenia wynika, że 2,6 kg tego mokrego węgla (spalanego wprost w kotłach) równoważy cieplnie 1 kg ww. węgla kamiennego. Czyli po zamianie: $60 \text{ mln} : 2,6 = 23 \text{ mln ton}$, tzn. że tyle by jeszcze trzeba było spalić węgla kamiennego, gdyby nie było węgla brunatnego – co w sumie dałoby: $40 + 23 = 63 \text{ mln ton}$. Przyjmując sprawność naszych przestarzałych elektrowni na 35% można śmiało powiedzieć, że z tej ilości węgla to jedynie 22 mln ton bierze bezpośredni udział w przemianie w energię elektryczną, a 41 mln ton to straty wynikające głównie z takiego modelu energetyki cieplnej. Ponadto według ww. danych GUS nasze elektrownie w 2012 r. zużyły jeszcze ok. 42630 TJ gazu ziemnego, czyli $42630 \cdot 10^9 \text{ kJ}$. Przyjmując gaz (zawartość 80% metanu) o wartości opałowej 33500 kJ/Nm^3 , ilość spalonego gazu wyniosła: $42630 \cdot 10^9 \text{ kJ} : 33500 \text{ kJ/Nm}^3 = 1,28 \text{ mld Nm}^3$. Wg GUS nasze elektrownie zawodowe zużywają jeszcze pewne niewielkie ilości oleju opałowego i oleju lekkiego.



Rys. 1/III. Wykres wg Sankey'a, przepływu ciepła – zilustrowany ilością węgla

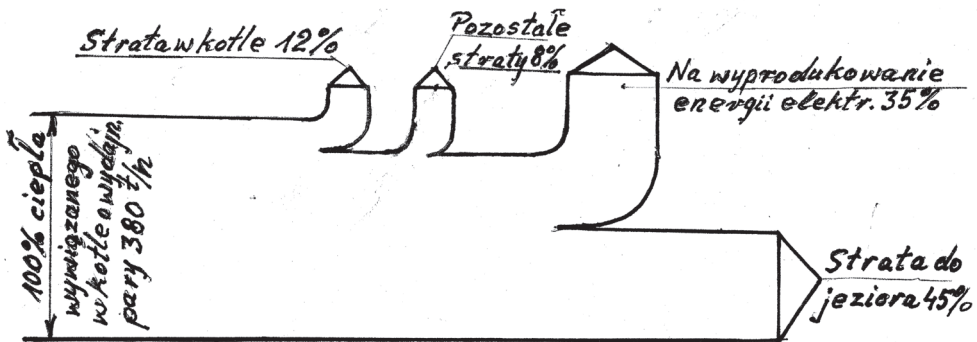
Wspomnienie o elektrowni Konin

Po ukończeniu w początku roku 1960 Wydziału Mechaniczno-Konstrukcyjnego Politechniki Warszawskiej rozpocząłem pracę w Energoprojekcie w Warszawie. W tym czasie w końcówce lat 50. Polska zakupiła w Anglii licencję na turbinę 120 MW, którą, co oczywiste, miał produkować Zamech Elbląg. W Energoprojekcie trafiłem do pracowni, w której wykonywane były projekty cieplne związane z budową II etapu Elektrowni Konin, oparte o te właśnie turbiny (jako pierwsze w kraju). Nie dość na tym, że wówczas wolnych sobót nie było, to była jeszcze cicha presja, aby pracować w niedziele, bo budowa czekała na projekty. Spośród paru projektów związanych m.in. z podgrzewaczami regeneracyjnymi w obrębie turbiny, trafił mi się projekt odwodnień pod turbiną. Ze względu na duże tam zagęszczenie rur i urządzeń nie można było tych cienkich (głównie stalowych) rurek przedstawić schematycznie. Trzeba było zaprojektować trasy dyspozycyjnie. Ponieważ monterzy i spawacze w pośpiechu tak by wykonali, że nie spełniałyby swego zadania. Był to projekt pracochłonny i niskopłatny. Cenniki prac projektowych były tak pomyślane, że projekt był wyceniony od ciężaru zaprojektowanych rur.

Dlatego jako następny otrzymałem projekt rurociągu średnicy ok. 1 m, odprowadzający wodę ze skraplacza turbiny do jeziora. Był to prosty „dyszel”

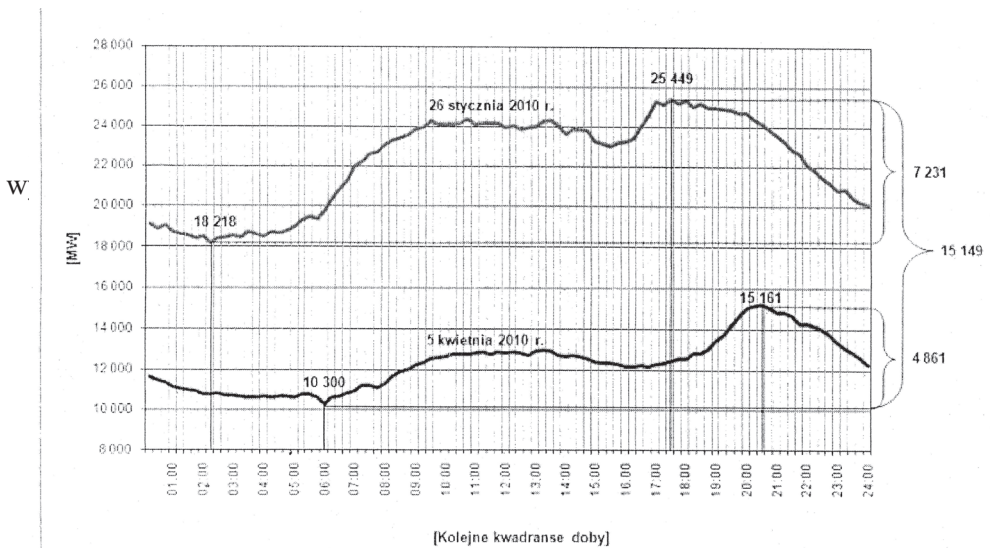
w wykopie z dwoma czy też trzema kolanami – ciężar bardzo duży i cena też. Kontrakt tak zawarto, że z projektów instalacyjnych Anglicy przesyłali byle co. A jeżeli już coś przysłali, to często z uwagami na rysunkach do majstra na warsztacie typu: „Mister Teylor, wykonać tak jak dla bloku dla Ipswich”.

Kolejny projekt, który pamiętam, to chłodzenie wodorowe generatora 120 MW. Jak miałem projekt już skończony, z Elbląga wracało trzech Anglików i odwiedzili nas na Kruczej, bo właśnie mieli ten projekt chłodzenia generatora ze sobą. Jak zobaczyli nasz, to się pytali, skąd ja miałem ich rozwiązanie, bo oni dopiero nam przywieźli.



Rys. 2/III. Rozdział ciepła bloku 120 MW elektrowni Konin

3. Zapotrzebowanie mocy elektrycznej dla Polski



Rys. 3/III. Wykres informacyjny z internetu

4. Opis nowego modelu elektrowni

Biorąc to wszystko pod uwagę, czas najwyższy rozstać się z tym modelem cieplnym elektrowni, przynoszącym tak wielkie straty paliwa oraz wyjątkowo kosztownym inwestycyjnie i zastąpić go prostym, wyjątkowo tanim, a zarazem oszczędnym w zużyciu paliw modelem opartym na obiegu sprężonego, gorącego powietrza i cyrkulacji ciepła odlotowego z turbin gazowych w obiegu prawie całkowicie zamkniętym. Rozwiązanie jest pozbawione tego dolnego źródła ciepła, czyniącego tak wielkie straty w obiegach parowych. Tu reszta ciepła zawarta w spalinach odlotowych z podgrzewacza i przegrzewacza powietrza jest wykorzystywana w wymiennikach do grzania wody dla miasta (c.o. i c.w.). Rozwiązanie według projektu koncepcyjnego jest przedstawione na Rys. 4/III. Schemat ideowo-dyspozycyjny nowego modelu elektrowni.

Podstawowym urządzeniem w modelu elektrowni wg projektu koncepcyjnego jest turbina gazowa i konieczność jej konstrukcyjnej modyfikacji, polegającej na oddzieleniu sprężarki od turbiny. Sprężarka [2] może być na wspólnym wale napędowym z turbiną [1], jednak sprężone powietrze [14] jest najpierw przewodem [6] tłoczone do powierzchniowego wymiennika [4], w którym powietrze odbiera ciepło od spalin odlotowych z turbiny gazowej [1]. Ponieważ ilość tłoczonego powietrza i ilość odlotowych spalin z turbiny są sobie równe, to wymiennik [4] należy tak skonstruować, aby powietrze zagrzało się do temperatury o około 120°C niższej od temperatury spalin odlotowych z turbiny. Następnie gorące powietrze o temperaturze ok. 500°C jest tłoczone [8] do przegrzewacza powietrza [5], w którego palenisku spalany jest np. pył węglowy. Palenisko może być dowolnej konstrukcji na dowolne paliwo. Gorące powietrze o temperaturze ok. 750°C jest tłoczone [7] do komory spalania turbiny [1], gdzie ostatecznie przed wlotem na wysokoprężny wirnik turbiny zostanie „dopalone” gazem [9] do temperatury np. 850°C – zależnie od konstrukcyjnych rozwiązań turbiny gazowej. Turbina np. od strony wylotu spalin napędza generator prądotwórczy [3]. Uwaga: konstruktor podgrzewacza i przegrzewacza oraz przewodów winien pamiętać, że wraz ze wzrostem temperatury (przy stałym ciśnieniu, jakie wywiera sprężarka), rosną objętości powietrza i opory przepływu.

Ponadto na następujących rysunkach przedstawiono:

Rys. 5/III – na wykresie i-s obieg ciepła w turbinie gazowej;

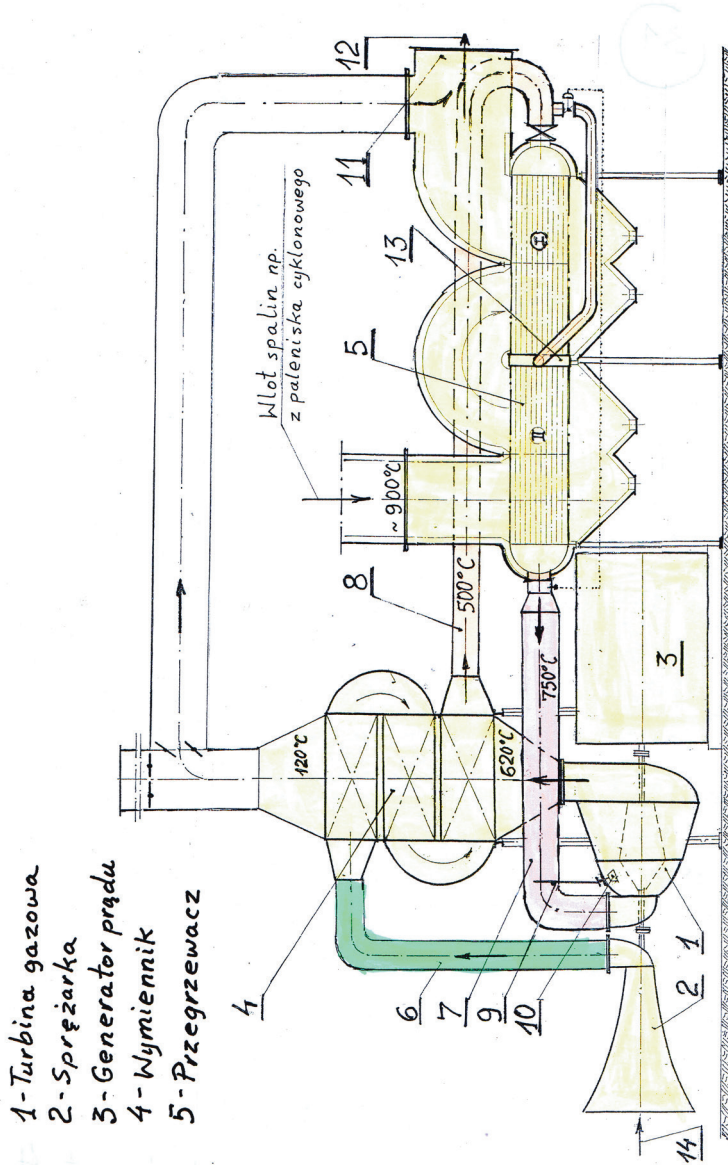
Rys. 6/III – wykres i-s – spadki adiabatyczne w turbinie parowej

Rys. 7/III – ilustracja turbiny gazowej

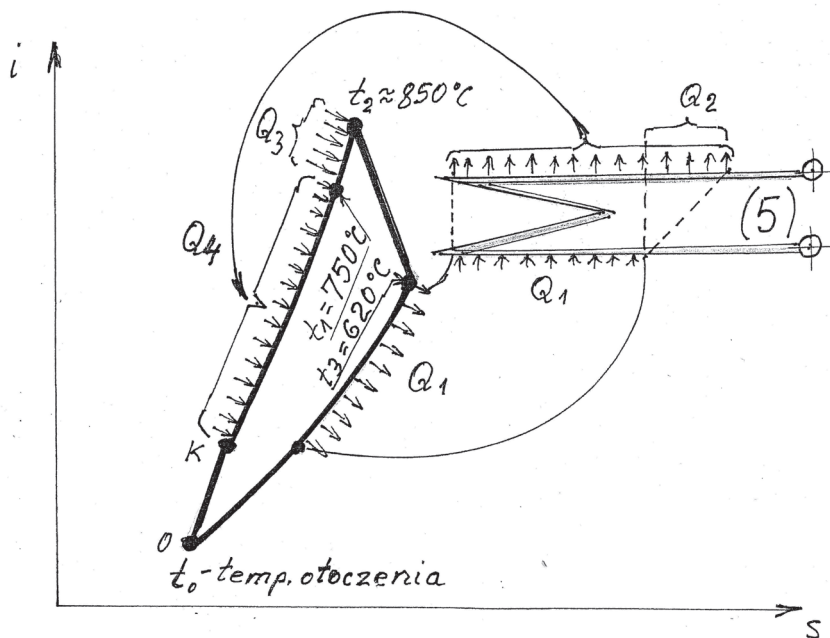
Rys. 8/III – prop. wew. oddzielenie sprężarki

5. Schemat ideowo-dyspozycyjny

Nowy model elektrowni jest przedstawiony na poniższym schemacie, gdzie oddzielona sprężarka tłoczy sprężone powietrze przez podgrzewacz (wymiennik powietrze-spaliny) oraz przez przegrzewacz, do którego doprowadzone są gorące spaliny z dowolnego paleniska, spalającego dowolne paliwo.



Rys. 4/III. Schemat ideowo-dyspozycyjny nowego modelu elektr



Rys. 5/III. Obiegi ciepła w turbinie – wykres $i-s$

O-K – sprężanie powietrza wg zastępczej politropy

Q_1 – ilość ciepła odebranego od spalin w rurowym podgrzewaczu (4)

Q_2 – ilość ciepła dodanego w rurowym przegrzewaczu (5)

Q_3 – ilość ciepła dodana w turbinie (ze spalonego gazu)

$Q_4 = Q_1 + Q_2$

6. Informacje dotyczące stali żarowytrzymałych (wg P. M. zeszyt 9/2011 z oprac. dr inż. M. Łomozika)

Niemcy w czasie budowy w 2005 r. elektrowni parowej węglowej Scholven mieli do dyspozycji następujące stale, np. na przegrzewacze pary do temperatury pracy $580-705^\circ\text{C}$ i była to stal:

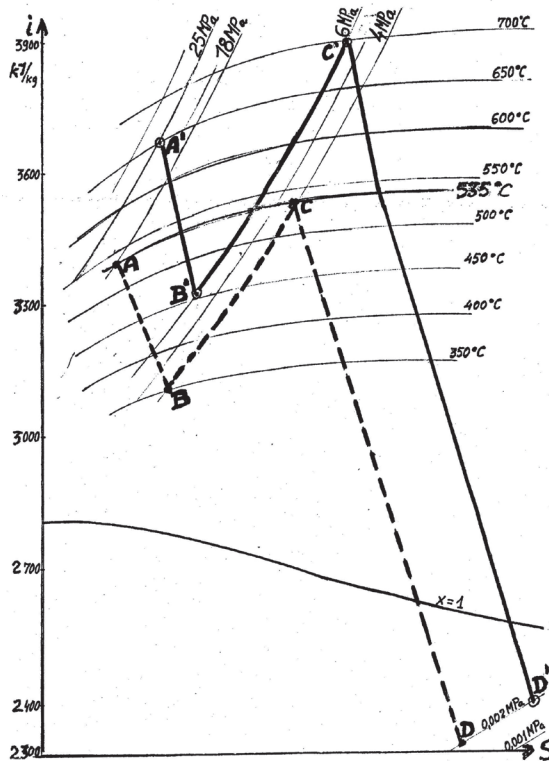
DMV310N, HR3C,

stop Ni617, stop Ni740,

Sanicro 25 (stop Ni174)

Na komory i rury grubościennie do temp. pracy 410-705°C i była to stal oznaczona:
 13CrMo44,
 10CrMo910,
 P91,
 P92,
 stop Ni617

Gdyby w czasie budowy elektrowni Bełchatów były do dyspozycji te stale, można by było z powodzeniem zastosować (przy tej wydajności kotła) turbiny 500 MW – patrz porównanie spadków adiabatycznych na wykresie „i-s”.



Rys. 6/III. Spadki adiabatyczne – wykres i-s

Na wym. wyżej rysunku „i-s” linią przerywaną ABCD oznaczono spadki (prace pary) w istniejących turbinach 360 MW w Bełchatowie:

AB – spadek w turbinie wysokoprężnej;

BC – wtórny przegrzew pary przy ciśn. 4 MPa do 535°C;

CD – spadek w turbinie niskoprężnej od C aż do skraplacza D.

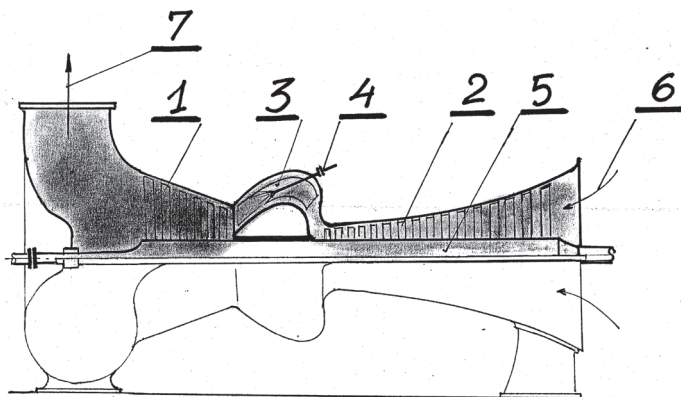
Przy materiałach żarowytrzymałych jak wyżej można było zastosować ciśnienie pary pierwotnej 25 MPa i temp. 650°C – spadek (linia ciągła) A'B' oraz wtórny przegrzew B'C' przy ciśn. 6 MPa do temp. 700°C i spadek C'D' aż do skraplacza. Przy 10 blokach (jak w Bełchatowie) to w przybliżeniu 1500 MW więcej, czyli prawie nowa dodatkowa elektrownia.

Według wyżej wym. informacji z P. M. dla „Nowego modelu elektrowni” (jak wg autora) pojawia się jeszcze korzystniejsza perspektywa materiałowa dla przegrzewania sprężonego powietrza do turbiny gazowej. Amerykańskie projektowane dwie stale dla parametrów supernadkrytycznych, czyli:

Haynes 230, 57Ni-22Cr-14W-2Mo-La – na rury grubościennie i przegrzewacze INCO 740, 50Ni-25Cr-20CO-2Ti-2Nb-V-Al – na rury grubościennie i przegrzewacze zbliżają się do temp. 800°C z szacowaną wytrzymałością na pełzanie przy 100 000 godzin.

Ze względu na niskie ciśnienie robocze sprężanego powietrza (3 MPa), temperatura robocza rur wykonanych z wyżej wym. stali może osiągać wartości maksymalne – dotyczy to oczywiście tylko końcowej (drugiej części) przegrzewacza i przewodu doprowadzającego gorące powietrze do turbiny. Wymiennik ciepła odlotowego z turbiny może być wykonany z ogólnie dostępnej stali molibdenowej. A pierwsza część przegrzewacza winna być wykonana ze stali austenitycznej.

Podgrzewacz i przegrzewacz powietrza oraz rury łączące należy tak projektować (ze względu na wzrost objętości w wyniku wzrostu temperatury przy stałym ciśn. wywieranym przez sprężarkę), aby opory przepływu były minimalne, a tym samym spadek ciśnienia powietrza. W związku z tym zakładać początkowe szybkości mniejsze i ewentualne końcowe zwiększanie przekrojów przepływowych z uwzględnieniem w obliczeniach liczb Reynoldsa i Nusselta.



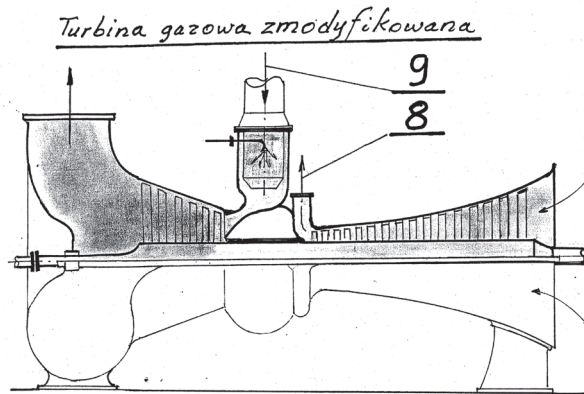
Rys. 7/III. Typowa turbina gazowa

Składa się z:

- 1 – turbiny
- 2 – sprężarki
- 3 – komory spalania

Część powietrza ze sprężarki przepływa do komory spalania, gdzie bierze udział w procesie spalania różnych gazów palnych (głównie gazu ziemnego) czy innych paliw płynnych. Zaś druga część sprężonego powietrza omywa komorę spalania, chłodząc ją. Razem gorące gazy przepływają przez układ łopatkowy turbiny, wytwarzając moc turbiny.

- 4 – palniki rozmieszczone na obwodzie turbiny
- 5 – wspólny wał turbiny i sprężarki
- 6 – wlot powietrza (często filtrowanego)
- 7 – wylot gorących spalin często o temp. ca 600°C



Rys. 8/III. Prop. wew. oddzielenia sprężarki

Zmodyfikowana winna być dla potrzeb budowy elektrowni wg nowego modelu.

8 – wylot sprężonego powietrza ze sprężarki (do wymiennika i przegrzewacza)

9 – wlot do turbiny gorącego powietrza (750°C) (z wymiennika i przegrzewacza)

Konstruktorzy tych maszyn będą najlepiej wiedzieli, jak takiej modyfikacji dokonać. Będą również musieli zapewnić zasilanie na maksymalnym obwodzie koła łopatkowego oraz wykonać kanały labiryntowe przed uderzeniem wstecznym („cofka”) w wyniku „dopalenia” w komorze i przyrostu objętości.

Przewidywane parametry zmodyfikowanej turbiny i sprężarki:

moc – 250 MW

obroty – 3000 obr./min

częstotliwość – 50 Hz

spręż powietrza ok. 3 MPa

temp. spalin odlotowych ok. 600°C

ilość spalin – 550 kg/s

paliwo „dopalające” gorące powietrze w komorze spalania – gaz naturalny

7. Wyliczenie koniecznych ilości paliw dla nowego modelu elektrowni

a) Ilość węgla potrzebnego do przegrzania powietrza (przy stałym ciśnieniu) od temperatury 500°C do temperatury 750°C

- Ilość ciepła potrzebna do podgrzania 1 kg powietrza od 500°C do 750°C

520 kJ/kg – entalpia powietrza przy 500°C

800 kJ/kg – entalpia powietrza przy 750°C

$$800 \text{ kJ/kg} - 520 \text{ kJ/kg} = 280 \text{ kJ/kg}$$

- Ilość ciepła do podgrzania 550 kg/s powietrza
(w przybliżeniu tyle przepływa przez turbinę o mocy 250 MW)

$$Q_{ws} = 280 \text{ kJ/kg} \cdot 550 \text{ kg/s} = 154000 \text{ kJ/s}$$

Na godzinę:

$$Q_{wh} = 154000 \cdot 3600 = 0,554 \cdot 10^9 \text{ kJ/h}$$

Przyjmując węgiel jak uprzednio o wartości opałowej 28000 kJ/kg, to ilość potrzebnego węgla wynosi $Q_{wh} : 28000 = 19,8 \text{ t/h}$

Czyli rocznie jak uprzednio:

$$19,8 \text{ t/h} \cdot 24 \cdot 300 = 0,1425 \text{ mln ton}$$

Przy średnim rocznym obciążeniu w Polsce, wynoszącym ok. 18000 MW, to:
(18000 MW : 250 MW) · 0,1425 mln ton = 10,26 mln ton

Czyli wg nowej koncepcji roczne zapotrzebowanie węgla dla kraju wynosi około 10,26 mln ton – jeżeli powietrze jest grzane w przegrzewaczu od 500°C do 750°C. Jest to zużycie netto. W rzeczywistości będzie ono większe wyniesie ok. 15 mln ton, ponieważ do przegrzewacza dopływa powietrze o temp. 500°C, to spaliny odlotowe z paleniska będą miały temp. minimum 600°C. Należy obok instalować wymienniki CO i CW.

b) Ilość gazu potrzebnego do podgrzania („dopalenia” – w komorze spalania turbiny) powietrza od temperatury 750°C do temperatury 850°C

- Ilość ciepła potrzebna do podgrzania 1 kg powietrza od 750°C do 850°C

800 kJ/kg – entalpia powietrza przy 750°C

915 kJ/kg – entalpia powietrza przy 850°C

$$915 \text{ kJ/kg} - 800 \text{ kJ/kg} = 115 \text{ kJ/kg}$$

- Ilość ciepła do podgrzania 550 kg/s (tyle przepływa przez turbinę)

$$Q_{gs} = 115 \text{ kJ/kg} \cdot 550 \text{ kg/s} = 63250 \text{ kJ/s}$$

Na godzinę:

$$Q_{gh} = 63250 \cdot 3600 = 0,227 \cdot 10^9 \text{ kJ/h}$$

Przyjmując gaz ziemny jak uprzednio o wartości opałowej 33500 kJ/Nm³, to ilość potrzebnego gazy wynosi:

$$Q_{gh} : 33500 \text{ kJ/Nm}^3 = 6800 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Rocznie jak wyżej:

$$6800 \cdot 24 \cdot 300 = 49 \text{ mln Nm}^3$$

Jak wyżej dla całego kraju:

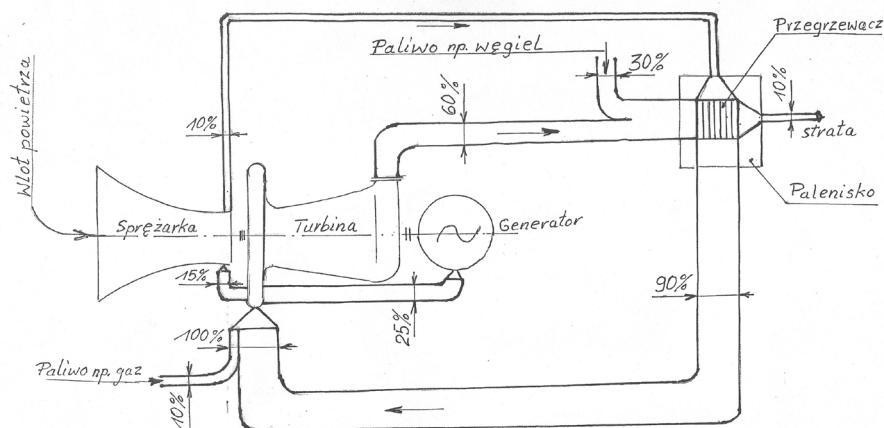
$$(18000 \text{ MW} : 250 \text{ MW}) \cdot 49 = 3,50 \text{ mld Nm}^3$$

Roczne zapotrzebowanie gazu wyniesie 3,5 mld Nm³

8. Alternatywna koncepcja nowego modelu elektrowni (zbliżająca do rozwiązania finalnego)

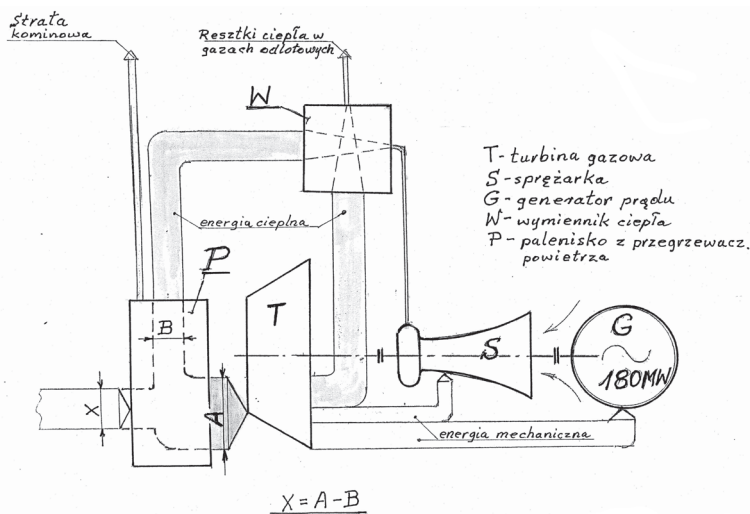
Można oczywiście zastosować rozwiązanie lepsze i prostsze od poprzedniego (w tym dające mniejsze straty ciśnienia przetłaczanego powietrza) i zrezygnować z powierzchniowego wymiennika (4). Gorące gazy z turbiny o temp. 550–650 C (a właściwie gorące powietrze, bo w miarę coraz lepszych stali żarowytrzymałych przegrzew powietrza będzie wzrastał, a „dopalenie” w turbinie stanie się minimalne) wypuszczać wprost do paleniska, gdzie wezmą udział w procesie spalania dowolnego paliwa i łączne ciepło przełożą w powierzchniowym przegrzewaczu do

przetłaczanego powietrza. Wówczas przegrzewacz będzie grzał sprężone powietrze od temperatury ok. 80 C (tyle ile na wylocie ze sprężarki) do np. 800 C. W takim rozwiązaniu przy odpowiedniej konstrukcji paleniska i przegrzewacza problem temperatury gazów spalinowych odlotowych z paleniska nie wystąpi i ta temperatura może być najniższa z dopuszczalnych dla danego paliwa.



Rys. 9/III Przybliżony przepływ ciepła (w procentach) w bloku Alternatywnym - nowego modelu elektrowni.

9. Przykład zastąpienia bloku 360 MW elektrowni Bełchatów (Rys. 1/III) blokiem wg nowego modelu elektrowni



Rys. 10/III. Blok energ. nowego modelu elektrowni

Turbina gazowa (przybliżone dane)

moc – 180 MW
 częstotliwość – 50 Hz
 wymagana ilość ciepła do turbiny – 8800 kJ/kWh
 obroty – 3000 obr./min
 spręż powietrza – 3MPa
 temp. spalin odl. – 640°C
 ilość gazów odl. – 390 kg/s

W Bełchatowie turbozespół ma moc 360 MW. Nie mam danych o turbinie gazowej o takiej mocy, dlatego korzystam z przybliżonych danych turbiny 180 MW (dane powyżej). Dla tej turbiny wyliczam i podwajam ilość paliwa i porównuję do Bełchatowa.

Są to obliczenia cieplne finalne (bez dopalania gazem) nie uwzględniające dzisiejszych warunków materiałowych.

Wyliczenie ilości spalonego węgla

„A” – ilość ciepła do turbiny (patrz rysunek i wyżej dane turbiny):

$8800 \text{ kJ/kWh} \cdot 180000 \text{ kWh} = 1,6 \cdot 10^9 \text{ kJ/h}$ – to ciepło zamienione na średn. węgiel w Bełchatowie ($7955 \text{ kJ/kg} + 6350 \text{ kJ/kg}$) : 2 = 7152 kJ/kg
 $1,6 \cdot 10^9 \text{ kJ/h} : 7152 \text{ kJ/kg} = 223 \text{ t/h}$

„B” – ilość ciepła odebranego w wymienniku „W”:

entalpia gazów przy temp. 640°C = 680 kJ/kg
 entalpia gazów przy temp. 120°C = 100 kJ/kg
 różnica: 580 kJ/kg
 $390 \text{ kg/s} \cdot 3600 \cdot 580 \text{ kJ/kg} = 8,14 \cdot 10^8 \text{ kJ/h}$ – ciepło odebrane spalinom zamieniam na średn. węgiel w Bełchatowie:
 $8,14 \cdot 10^8 \text{ kJ/h} : 7152 \text{ kJ/kg} = 114 \text{ t/h}$

„X” – ilość węgla spalonego w palenisku „P”:

$X = A - B = 223 \text{ t/h} - 114 \text{ t/h} = 109 \text{ t/h}$

Obecnie blok w Bełchatowie spala 510 t/h wyżej wym. węgla.

W elektrowni wg nowego modelu spalałyby: $2 \cdot 109 \text{ t/h} = 218 \text{ t/h}$

10. Wnioski

1) Nowa elektrownia według przedstawionego projektu koncepcyjnego składa się zasadniczo z trzech urządzeń:

- turbosprężarki (turbiny gazowej i sprężarki) + generator prądu;
- podgrzewacza powietrza (rurowy wymiennik);
- przegrzewacza powietrza (palenisko z wymiennikiem rurowym).

Jest to system suchy – żadnej pary, żadnej wody. Są przewidywane pewne trudności u producenta turbiny, a ściślej z rozdzieleniem sprężarki od turbiny. Jest wielu producentów turbin gazowych, ale większość produkuje mniejsze jednostki od tych, które nas interesują. Nie ma już ABB ani Brown-Boveri (przed laty te firmy były u nas i byłoby łatwiej). Spośród istniejących firm produkujących maszyny tej wielkości to ALSTOM i General Electric. Pewnie przeróbką jednej maszyny nie będą zainteresowani, ale gdy uzyskają zapewnienia na perspektywiczny sukcesywny docelowy zakup przewidywanych stu sztuk (tylko dla Polski), to z pewnością zmienią konstrukcję i przeprowadzą próby i badania. Ostatnio w internecie pojawiła się informacja, że Siemens buduje turbinę gazową o mocy 340 MW.

2) Aby zastąpić całą naszą istniejącą energetykę, czyli moc zainstalowaną 25000 MW, potrzeba stu sztuk takich turbosprężarek o mocy 250 MW każda. Powinny powstać typowe elektrownie, składające się z dwóch takich maszyn, czyli o mocy 500 MW w każdym mieście wojewódzkim oraz w pozostałych wybranych dużych miastach kraju. Z tego m.in. powodu, że odbiór energii będzie na miejscu bez dodatkowych sieci przesyłowych. Przewidywane winny być spięcia zabezpieczające pomiędzy sąsiadującymi miastami, w których będą elektrownie. Ponadto przy elektrowniach powinny być stacje (wymienniki) c.o. i c.w., wykorzystujące ciepło spalin odlotowych. Miasta powinny mieć centralne ogrzewanie i ciepłą wodę.

3) Zamiast zużywać 60 mln ton węgla brunatnego i 40 mln ton węgla kamiennego oraz 1,3 mld Nm³ gazu, wystarczy wg nowej koncepcji dla tej samej ilości produkowanej energii w skali całego kraju ok. 15 mln ton węgla kamiennego i 3,5 mld Nm³ gazu. To w przypadku, kiedy w przegrzewaczu powietrze jest grzane od temp. 500°C do 750°C. Jeżeli powstaną materiały żarowytrzymałe, pozwalające na grzanie powietrza do temp. docelowej, to zapotrzebowanie na węgiel kamienny o wartości W_u – 28000 kJ/kg jeszcze zmaleje - patrz pkt. 8.

4) W programie budowy (np. dwudziestoletnim) w miarę powstawania nowych elektrowni winny być likwidowane w pierwszej kolejności elektrownie na węgiel brunatny wraz z kopalniami. Zdegradowane tereny po kopalniach winny

być poddane rekultywacji. A w następnej kolejności likwidowane wszystkie nierentowne na węgiel kamienny. Uwaga: wyposażenie elektryczne z elektrowni likwidowanych może być przydatne w nowych, np. rozdzielnie, regulatory napięcia, synchronizatory, transformatory, wyłączniki, bezpieczniki itp.

5) Elektrownie wg nowej koncepcji likwidują całkowicie następujące problemy związane z:

- węglem kamiennym i brunatnym oraz protestami ludzi przed tworzeniem nowych odkrywek węgla brunatnego;
- przekroczeniami i karami za CO₂;
- obniżaniem mocy w porze nocnej i związanej z tym obniżką cen za energię pobieraną nocą; turbiny gazowe startują i zatrzymują się w parę minut – cena za energię elektryczną będzie taka sama przez całą dobę;
- potrzebą budowy elektrowni atomowych i związanych z tym protestami;
- potrzebą budowy wiatraków i związanych z tym protestami;
- emisją do atmosfery wielkiej ilości gazów spalinowych i pyłów;
- zaśmiecaniem ładu żużlem i popiołem;
- transportem węgla (odciążenie PKP).

6) Gdy będzie gaz łupkowy, będzie można całkowicie odstąpić od węgla i zamienić te wymagane 10 mln ton węgla na gaz:

$$10 \cdot 10^9 \text{ kg/rok} \cdot 28000 \text{ kJ/kg} = 2,8 \cdot 10^{14} \text{ kJ/rok}$$

przyjmując wartość opałową węgla i gazu jak uprzednio:

$$2,8 \cdot 10^{14} \text{ kJ/rok} : 33500 \text{ kJ/Nm}^3 = 8,36 \text{ mld Nm}^3/\text{rok}$$

Turbiny na wlocie gorącego powietrza winny mieć element rurowy wymienny (zamienny) na komorę spalania – tak, aby gorące powietrze z wymiennika (ok. 500°C) było w niej dopalane finalnie. Wówczas cała instalacja węglowa wraz z paleniskiem i przegrzewaczem powietrza może być odstawiona i traktowana jako rezerwowa na wypadek braku gazu łupkowego.

Ogólne zużycie gazu rocznie wyniosłoby:

$$3,5 \text{ mld Nm}^3 + 8,36 \text{ mld Nm}^3 \approx 12 \text{ mld Nm}^3$$

7) Prawdopodobnie koszty budowy dwóch zaplanowanych elektrowni jądrowych (też tu są obiegi parowe i skraplanie) oraz zyski z zaoszczędzonego węgla pokryją koszty budowy większości z tych pięćdziesięciu elektrowni wg koncepcji.

8) Stosowanie pary jako nośnika energii cieplnej ma jedynie sens przy użyciu turbin przeciwprężnych, gdzie para odlotowa z turbiny o ciśnieniu powyżej 0,1 MPa oddaje całe ciepło skraplania do procesu technologicznego lub do grzania w wymiennikach wody c.o. i c.w.

Bibliografia.

Łomozik M., *Informacje o stalach żarowytrzymałych*, „P. M.” LXX, zeszyt 9/2011.

Nikiel S., *Aparatura i urządzenia w przemyśle cukrowniczym*. Warszawa 1964

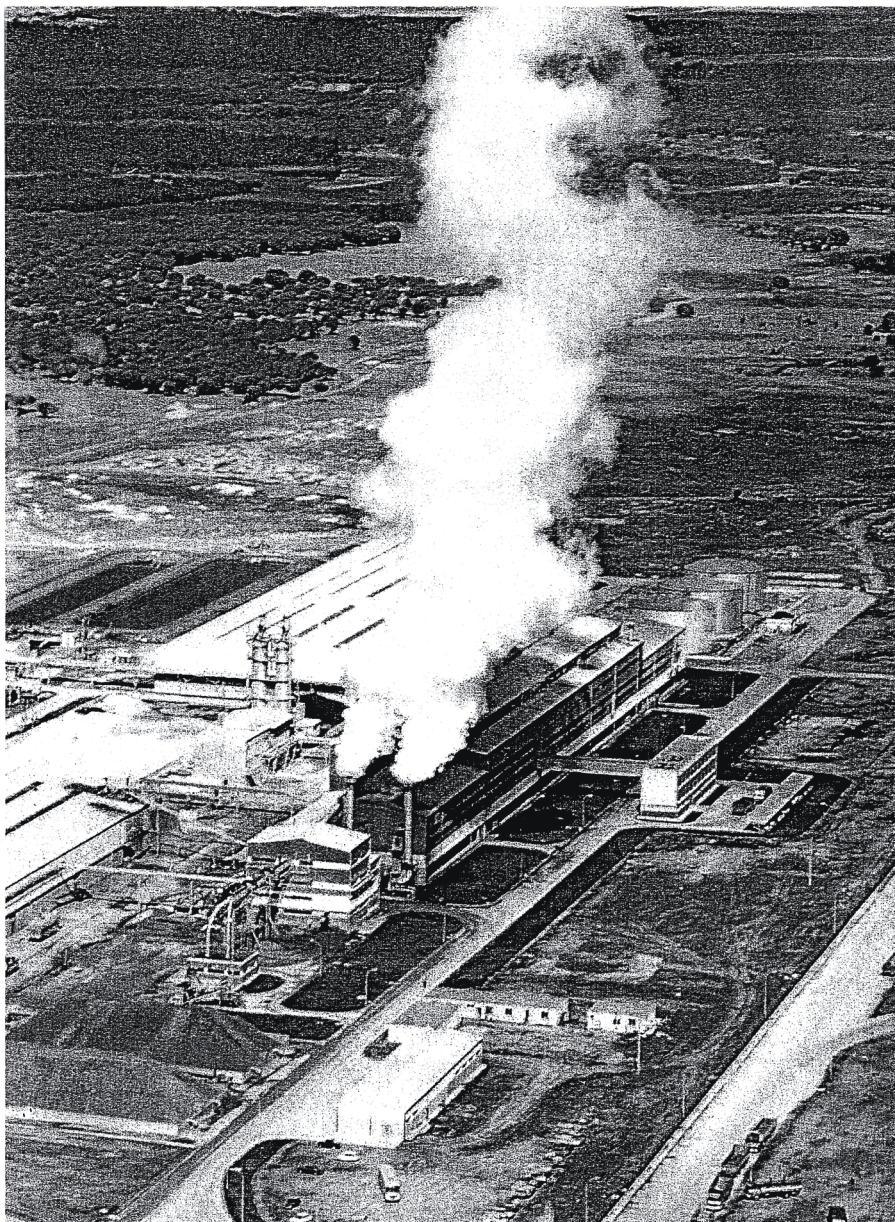
Orłowski P., *Kotły parowe*. Warszawa 1966

„Polityka”, cytaty z nr 25 z 2012 r., nr 23 z 2013 r. i nr 30 z 2013 r.

Raznjević K., *Tablice cieplne z wykresami*. Warszawa 1966

Urbaniec K., *Opinia i Ekspertyza*. załączniki

Załączniki



Załącznik nr 1. Zdjęcie cukrowni Olmedo

doc.dr hab.inż. Krzysztof URBANIEC
Grzybowska 5/1311, 00-132 Warszawa

Warszawa, październik 1984 r.

O P I N I A

o wniosku wynalazczym mgr inż. E. Otorowskiego
dot. systemu gospodarki cieplnej cukrowni z
przegrzewem oparów ze stacji wyparnej.

1. Opiniowany materiał składa się z:

- pisma wnioskującego opatentowanie nowego rozwiązania,
- czterech załączników zawierających: opis wariantu I, opis wariantu II, obliczenia bilansowe obydwu wariantów, szkic koncepcyjny przegrzewacza pary.

Uwaga: nie ma załącznika nr 5, chociaż taki jest wymieniony w piśmie wnioskującym.

2. Uwagi ogólne.

Pomysły dwóch wariantów gospodarki cieplnej z przegrzewem oparów ze stacji wyparnej są całkowicie oryginalne i nieznane w literaturze światowej. Zasadnicza idea oszczędzania ciepła polega w obydwu przypadkach na sprzężeniu gospodarki ciepłem na cele technologiczne w produkcji cukru - z gospodarką ciepłem na suszenie wysłoków. Jest to nowoczesny kierunek oszczędzania, realizowany obecnie w różnych rozwiązaniach technicznych /odmien- nych od propozycji E.Otorowskiego/ m.in. w RFN i Francji.

Jednocześnie, obydwa warianty stwarzają potencjalne możliwości oszczędności inwestycyjnych w stosunku do konwencjonalnych rozwiązań energetyki i gospodarki cieplnej.

Warszawa 1986.10.30

E.Otorowski przez DN

do

PJ

Dot.: wyjaśnień do uwag o projekcie EO-86.03-0 zawartych w opinii oprac.przez Prof.dr hab. Jana Dobrzyckiego.

Wstęp.

Problemem skojarzenia gospodarki cieplnej cukrowni z procesem suszenia wysłoków i odzyskania na tej drodze dużych ilości traconego dotychczas ciepła, zajmuję się od ponad 10 lat. Pierwsze zgłoszenia dotyczące wym.spraw złożyłem w "Chemadexie" w 1980 r.Chcę zwrócić uwagę, że ogólnie dostępna literatura światowa w tym czasie nie zajmowała się jeszcze tym tematem.

W maju 1984 r. zgłosiłem zmodyfikowany system suszenia wysłoków polegający na wstępnym przegrzewaniu oparów pochodzących ze stacji wyparnej.Na polecenie DN wniosek ten został skierowany przez PJ do zaopiniowania.Opiniodawcą był doc.K.Urbaniec i prof.J.Dobrzycki, który 14.06.84 napisał:

"Projekt można zakwalifikować do grupy prac, zwanych często "studialnymi" t.j. odbiegających znacznie od obecnego stanu techniki, wybiegających w przyszłość i nie liczących się zbytnio z trudnościami technicznymi ich realizacji.Typowe jest dla nich nie liczenie się z kosztami inwestycyjnymi...itd."

Nie minęły dwa lata jak Pan prof.J.Dobrzycki mógł w kolejnej opinii dotyczącej proj.EO-86.03-0 napisać:"Tu warto wspomnieć, że BMA uruchomiło układ wykorzystanie oparów z suszarni wysłoków grzanych parą /Zuckerind.1986 s.357/."itd .

Tu protestuję przeciw dalszej zwłoce i braku zainteresowania tym tematem.Niemcy opracowali kolejne nowe rozwiązania- patrz Zuckerind.1986 Nr 6 i Nr 8 i zbliżyli się o krok do mojego rozwiązania.Ich rozwiązanie tzw.niskotemperaturowe suszenie z wykorzystaniem ciepła spalin kotłowych są bardzo kosztowne i niekonkurencyjne z moim rozwiązaniem. Np. prezentowane w Zuckerind.1986 Nr 6 wyposażenie dla cukrowni o przebie 6000 t/d wymaga dużej konstr.komorowej, w której zainstalowane są specjalne przenośniki na których suszą się wysłoki:

Ale rozwiązanie wg Zuckerind.1986 Nr 4 i Nr 8 gdzie suszą wysłoki para odlotowa z turbin - poprzez wymiennik para-opary /z wykorzystaniem oparów otrzymanych z wysłoków/ jest już bliskie moich rozwiązań.

Uwagi: EO-86/03-0-mój kolejny projekt BMA-niemiecka firma

Załącznik nr 3. List protestacyjny do DN

GEA WIEGAND
GESCHÄFTSLEITUNG

Herrn
Dipl.-Ing. Edmund Otorowski
CHEMADEX
ul. Koszykowa 6
00-564 Warszawa / Polen

Ettlingen, den 08.07.1988
AM/UH

Sehr geehrter Herr Otorowski,

mit großem Interesse habe ich Ihren Aufsatz


'Konzept zur Änderung der Wärmewirtschaft in Rübenzuckerfabriken'

in der Zeitschrift 'Zuckerindustrie' 113 (1988) S. 437 gelesen. Dort gehen Sie auf die Energiewirtschaft einer Zuckerfabrik unter besonderer Berücksichtigung der Schnitzeltrocknung ein.

Vielleicht ergibt sich bei einem meiner nächsten Besuche bei CHEMADEX - erst neulich hielt ich mich dort wegen Verhandlungen zur Kooperationsverträgen auf - die Möglichkeit, diesen Themenkreis eingehender zu diskutieren.

Ich würde einer solchen Gelegenheit mit Interesse entgegensehen.

Mit freundlichen Grüßen
GEA WIEGAND GMBH & CO.


- Austmeyer -

D-7505 Ettlingen · Einsteinstraße 9-15 · Postfach · Telefon (0 72 43) 70 51 · Telex 782 805 · Telefax 705 330
Reg.-Ger. Karlsruhe Nr. HRB 206 E · Geschäftsführer: Dipl.-Kfm. Dipl.-Ing. Rolf Schildmann · ~~Dipl.-Ing. Bernhard Wiegand~~
Dr.-Ing. Klaus E. Austmeyer

Załącznik nr 4. List dr. inż. K. Austmeyera

Ekspertyza: Opinia o opracowaniu "Cukrownia Dobrzelin - projekt koncepcyjny parowego suszenia wysłoków".

Warszawa, marzec 1988 r.

Rzeczoznawca: prof. dr hab. inż. Krzysztof Urbaniec, nr. rej. 106

1. Wprowadzenie

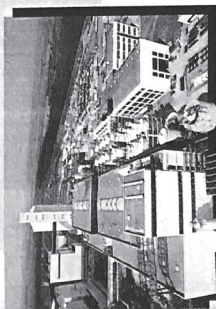
Opiniowane opracowanie, datowane marzec 1988 r., zawiera:

- opis techniczny instalacji suszenia wysłoków parą przegrzaną, w tym prezentację ogólnej koncepcji instalacji oraz krótkie opisy zasadniczych urządzeń,
- specyfikację urządzeń,
- plan sytuacyjny, schemat instalacji i dyspozycję urządzeń,
- rysunki założeniowe parowej suszarki, podajnika wtlaczającego wysłoków, podajnika odbierającego wysłoków i przemywacza pary

Opracowanie jest wynikiem kolejnej fazy prac, zapoczątkowanych kilka lat wcześniej pracami studialnymi i zgłoszeniami patentowym E. Otorowskiego. Poszczególne, wcześniejsze fazy podlegały opinii waniu przez specjalistów i były oceniane przez Radę Techniczną "Chemadexu". Mimo szeregu krytycznych uwag i niekiedy kontrowersyjnej dyskusji, ton opinii i ocen był w przeważającej mierze pozytywny. Po podkreślano zwłaszcza fakt, że pomysły E. Otorowskiego nawiązują do tendencji światowych, a jednocześnie zawierają oryginalne elementy. W początkowych fazach prac pomysły te miały nawet pionierski charakter, lecz tempo badań i prac wdrożeniowych prowadzonych w Europie Zachodniej było szybsze. Obecnie można ocenić propozycje E. Otorowskiego na tle kilku zrealizowanych już instalacji parowego suszenia wysłoków oraz praktycznych wyników osiągniętych w ich eksploatacji.

Załącznik nr 5. Ekspertyza prof. K. Urbańca

Fabrikonzept



Die Zuckerfabrik Könnern ist einer der wenigen Neubauten, die in Deutschland in den letzten Jahrzehnten auf der grünen Wiese errichtet wurden.

Sie weist eine klare Gliederung von Verwaltung, Werkstätten, Prozeßanlagen und Lagerbereichen auf.

Durch konsequente Außenaufstellung dafür geeigneter Prozeßanlagen konnte der Umfang des umbauten Raumes überdurchschnittlich gesenkt werden.

Aufgrund des Konzeptes, 50% des Zuckers während der Rübenkampagne als Dicksaftzucker zwischenzulagern und erst anschließend zu Kristallzucker aufzuarbeiten, werden wesentliche Teile der Fabrik bis zu 200 Tage pro Jahr in Betrieb sein.

Die Zuckerherstellung



Seit ca.200 Jahren wird aus der Zuckerrübe Kristallzucker gewonnen.

Die Verfahren der Extraktion zur Saftgewinnung, der Kalk-Kohlensäurebehandlung zur Saffreinigung und der Kristallisation des Zuckers aus übersättigter Lösung werden im Prinzip ebenfalls seit rund 200 Jahren

praktiziert, aber laufend dem Stand der Technik angepaßt, wobei ein überwiegender Teil des Prozesses heute kontinuierlich abläuft.

Umwelt

Aus der Verantwortung gegenüber der Umwelt werden in Könnern durch Genehmigungsbehörden und Betreiber bei den auftretenden Emissionen strenge Maßstäbe angelegt.

So finden die neuesten Bedingungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und des Wasserhaushaltsgesetzes volle Anwendung.

Einrichtungen, wie eine vierstufige, vollbiologische Kläranlage, Elektro- und Schlauchfilter zur Stauberförmung,

eine Dampftrocknung für Preßschmelze, die erstmalig in Deutschland zum Einsatz kommt, werden die Umweltbelastungen auf dem niedrigstmöglichen Stand halten.

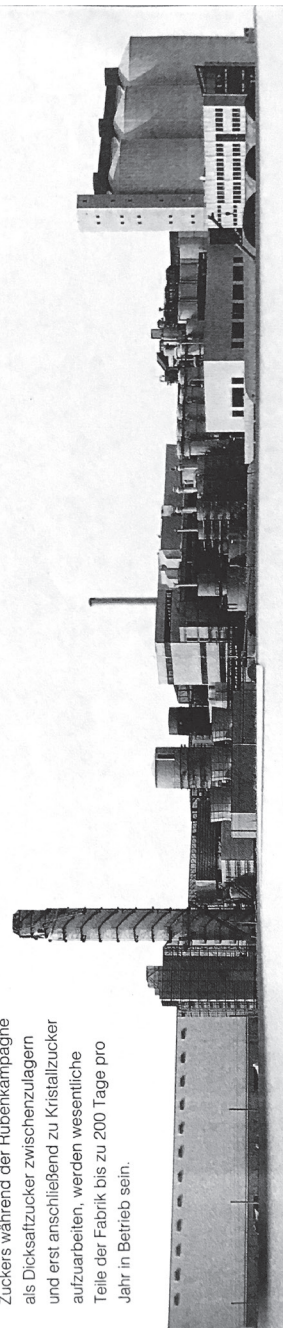
Zur Einbindung des 108 ha

großen Areals in die Landschaft wurden 300.000 Bäume und Sträucher gepflanzt sowie 40 ha Grünflächen angelegt.

Produkte

In Könnern wird Weißzucker in Raffinade- und Grundsortequalität hergestellt. Er wird in Kleinpäckungen, als Würfelzucker, in gesackter und in loser Form verkauft.

Nebenprodukte sind Futtermittel in Form pelletierter Trockenschmelze, Preßschmelze als Silagefütter, Carbokalk als Düngemittel sowie Melasse als Rohstoff für die Herstellung von Hefe und pharmazeutischen Produkten.



Załącznik nr 7. Sprawności sprężania pary

Na okładce – patent autora Nr 157685 pt. *Turbosprężarka parowa*, nadany przez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.

Turbosprężarka charakteryzuje się tym, że turbina parowa (koło Curtisa) jako tarcza, odizolowana tarczą izolacyjną (nie przewodzącą ciepła) od promieniowego koła wirnikowego sprężarki – jest z nim (z kołem) na stałe złączona.

Wiele zakładów przemysłowych (w tym cukrownie), posiadających gospodarkę cieplną parową, może poprawić tę gospodarkę (zmniejszyć zużycie paliwa), stosując sprężanie pary (oparów), która utraciła już przydatne ciśnienie robocze. Są znane następujące sposoby sprężania (aby ich jakość oceniać, trzeba porównać sprawności odniesione do energii włożonej pierwotnej, czyli do zużytego paliwa).

a) Termosprężanie

Para o parametrach wyższych dzięki energii wewnętrznej rozpędzona w dyfuzorze smoczka – siłę pędu.

$$p = m \cdot v - \text{pęd}$$

$$\frac{d}{dt}(m \cdot v) = F - \text{siła pędu}$$

Przyrost pędu do przyrostu czasu $dt =$ siła F wytwarza podciśnienie i porywa parę o niższym ciśnieniu, dając w efekcie parę o ciśnieniu wyższym. W uproszczeniu można to nazwać mieszaniną dwóch par o różnych ciśnieniach.

Sprawność:

$$\eta_k = 0,9 \text{ sprawność pozyskania pary np. z kotła}$$

$$\eta_s = 0,35 \text{ sprawność smoczka}$$

$$\eta_T = 0,35 \cdot 0,9 = 0,3 \text{ przybliżona sprawność termosprężania}$$

Następne sposoby to sprężanie mechaniczne przy użyciu sprężarek odśrodkowych (jak na okładce) lub osiowych (stosowane dla powietrza i innych gazów dla uzyskania wyższych ciśnień).

b) Sprężarka np. odśrodkowa, napędzana silnikiem elektrycznym

Sprawność:

$$\eta_e = 0,4 \text{ sprawność wyprodukowania energii elektrycznej w elektrowni zawodowej}$$

$\eta_p = 0,9$ sprawność przesyłu energii elektrycznej wraz z jej transformacją na niższe napięcie – loco odbiorca

$$\eta_m = 0,8 \text{ sprawność silnika elektrycznego napędowego}$$

$$\eta_s = 0,75 \text{ sprawność sprężarki}$$

$$\eta_T = 0,4 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,75 = 0,22$$

c) Jest to mniej niż proste i tanie termosprężanie jak wyżej w pkt. „a”

Z powyższego wynika również, że dla rozwiązania jak w Rozdziale II wg Rys. 9/II do napędu sprężarki oparów poz. 27 należy zastosować turbinę parową wielostopniową – przeciwprężną o mocy 6 MW, a energię elektryczną wykazaną przekazać do sieci. Wówczas sprawność:

$\eta_k = 0,9$ sprawność pozyskania pary z kotła

$\eta_t = 0,75$ sprawność turbiny

$\eta_s = 0,75$ sprawność sprężarki

$\eta_T = 0,9 \cdot 0,75 \cdot 0,75 = 0,5$

Jest to rozwiązanie korzystne, ale drogie.

d) Tańsze rozwiązanie (dla mniejszych wydajności) to napęd turbiną szybkoobrotową z przekładnią – wówczas przy sprawności (turbiny koła Curtisa) wynoszącej $\eta_t = 0,6$ sprawność:

$\eta_T = 0,9 \cdot 0,6 \cdot 0,75 = 0,4$

e) Spośród sposobów mechanicznego sprężania najtańszym i wysoko sprawnym jest sposób wg autora jak na okładce

Odlot pary z koła Curtisa przy odpowiednio skonstruowanym kanale odlotowym może wspomagać dyfuzorowo sprężaną parę i Curtis osiągnie sprawność całkowitą: np. 0,65

$\eta_T = 0,9 \cdot 0,65 \cdot 0,75 = 0,44$

Sprężarki odśrodkowe mogą posiadać więcej stopni (wirników) niż jeden z kanałami nawrotnymi – ale wówczas dla rozwiązania „e” koło Curtisa zawsze będzie nabudowane na ostatni wirnik pary odlotowej ze sprężarki.

Anhang

Neues Energiemodell für die Zuckerindustrie

Zweifelsfrei ist es an der Zeit sich von dem Energiemodell aus dem XIX. Jh., welches auf Wasserdampf basierte, zu trennen. Dieses Modell, welches so viele Jahre lang eingesetzt wurde, ist besonders schädlich (es verschwendet 60% der Wärme, also des Brennstoffs) in der Energie mit Kondensationsturbinen. Die Energie von Morgen bedarf eines neuen Blickpunktes, also eines anderen Modells, welches z.B. auf überhitzter Druckluft aus der Atmosphäre basiert (als Energieträger, anstatt von Dampf). Zu diesem Zwecke ist eine Änderung der bisherigen Lösungen in Form der stationären Gasturbinen notwendig, die in der Trennung der Kompressoren von den Turbinen bestehen würde. Die Druckluft muss zuerst mit beliebigem Brennstoff, bis zur maximalen Temperatur, die bei heutigem zunderbeständigem Stahl zulässig ist, überhitzt und dann in die Verbrennungskammer der Gasturbine eingeführt werden, wo sie bis zur Temperatur, die für die jeweilige Gasturbine erforderlich ist, „nachgebrannt“ wird (mit Gas oder flüssigem Brennstoff). Eine solche Lösung sowie der stark überhitzte Wasserdampf zur Trocknung von Schnitzeln (oder von Bagasse) ist, dem Autor nach, ein neues Energiemodell für die Zuckerindustrie, welches in Abb. 1 Dargestellt wurde. Dieses Modell erlaubt es die in den Zuckerfabriken traditionellen Kessel- und Turbinenräume samt ihrer zusätzlichen Ausrüstung zu beseitigen und anstatt von ihnen sollen Gasturbinen, Kompressoren und ein Stromaggregat eingesetzt werden, untergebracht in einem speziellen Container, der am günstigsten an einer Seitenwand (Außenwand) des Hauptgebäudes der Zuckerfabrik aufzustellen ist. Direkt daneben (hinter dem Container) wird eine gepanzerte Feuerung mit einer Abgaskläranlage und einem Kamin verbaut. Das gesamte Konzept der der neuen Energie wurde in Abb. 1 dargestellt, wo der Kompressor in Pos. 2 die Luft zum Überhitzer (6) fördert, der z.B. aus deutschem zunderbeständigem Stahl: DMV310N, HR3C (Legierung Ni617, Legierung Ni740) und dessen Kammern aus: 13CrMo44, 10CrMo910 hergestellt sind und die es erlauben die komprimierte Luft bis auf die Temperatur von 700°C zu überhitzen. Der Konstrukteur des Überhitzers wird natürlich gewisse Probleme mit dem Anstieg des Luftvolumens haben und hat entsprechende Stromdurchmesser zu gewähren. Die Luft mit dieser Temperatur wird in die Verbrennungskammer in der Gasturbine gefördert, wo sie mit Gas oder mit Flüssigbrennstoff (13) bis zur für die jeweilige Turbine erforderlichen Temperatur z.B. von 850°C „nachgebrannt“ wird. Die Abgase von der Turbine, d.i. die heiße Luft (Luftüberschusszahl $\lambda \cong 10$) mit einer Temperatur von ca. 500 °C wird zur Feuerung (4) zur Verbrennungskammer z.B. mit flüssiger Schlacke-Ableitung, die mit beliebigem Brennstoff (5) versorgt wird, befördert.

Der zweite, aus gleichem Stahl (wie oben) ausgeführte Überhitzer (7) überhitzt den aus dem ^{Verdampfer}Wandler (0) erhaltenen Dampf, der das Kondensat der 2. Abteilung der Verdampfstation (12) in einer Menge von 20%aR verdampfen lässt. Auf diese Weise verdampfen 2 kg von diesem Dampf, überhitzt bis zur Temperatur von 700 °C, 1 kg Wasser aus den Schnitzeln von der Presse bis 35% TS – Siehe Abb. 6 und Abb. 5 mit der Darstellung der Wasserdampf Eigenschaften. Der Heizdampf in einer Menge von 20%aR kondensiert im Wandler (0) und das Kondensat kehrt (geschlossene Zirkulation) in den Verdampfer (8) zurück. Wenn zur Verbrennung in der Feuerung (4) eine größere Menge an Luft erforderlich sein sollte (in Abhängigkeit vom Brennstoff), so wird auch deren ~~Verwärmer~~ notwendig sein, der hinter dem Verdampfer (8) zu verbauen ist und selbstverständlich ein Ventilator für diese Luft. Jede Art von Brennstoff (einschließlich Kohle) ist am Lagerort vorzubereiten und zur Feuerung (4) z.B. über eine Rohrleitung (Kohlestaub pneumatisch) zu befördern. Die Abnahme der verdichteten Schlacke aus der Feuerung (4) erfolgt auch über eine Rohrleitung mit Wasser zu Lagerplatz. Hinter der Wand, auf Höhe des Containers (schon im Hauptgebäude) erden sich folgende Elemente befinden: im Erdgeschoss Transformatoren und auf der Decke die elektrische Hauptschaltanlage und die zentrale Steuerung.

Eine solche Aufstellung des Containers (14) und der Feuerung (4) ist aufgrund der Hauptabnahmen der Elektroenergie (Schleuder und andere) sowie des Dampfes in der Nähe der Verdampfstation (12) und des Trockners (10) günstig. Ein Teil der Feuerung (4) mit Überhitzern (6) und (7) wurde in Abb. 3 dargestellt. Die ganze Feuerung ist thermisch gut isoliert und gepanzert, verbaut unter einer verschiebbaren Überdachung. Im Falle der Beschädigung von irgendeinem der Überhitzer, besteht die Möglichkeit seines schnellen Austauschs mit Hilfe eines Autokrans oder mit einem über der Feuerung verbauten Portalkran. Nach der Abdeckung des Deckels der Panzerung und der Lösung der Flanschen auf der Versorgungs- und Ableitungsleitung, wird der ganze Überhitzer über die Leitschiene (17) gehoben und aus dem Lager ein neuer sauberer eingebaut. Der entfernte hingegen, nach einer Reparatur und Reinigung sollte hingegen als Reserve belassen werden.

In der Abb. 2 ist eine andere Trennungsweise des Kompressors von der Turbine dargestellt.

Beispiel: die Rüben-Zuckerfabrik mit einer Leistung von 5000 Tonnen Rüben am Tag. Die Menge des erforderlichen Brennstoffs, z.B. Heizöl mit einem Brennwert von $H_u = 40000$ kJ/kg:

1. Die erforderliche Stromversorgung für eine solche Zuckerfabrik (gemäß dem durchschnittlichen Index $E_{el} = 30$ kWh/1Tonne verarbeitete Rüben wird ~ 6500 KW betragen). Es ist eine Gasturbine mit einer Leistung von 7000 kW einzusetzen. Gemäß den Angaben des ehemaligen Herstellers von Turbinen, hätte eine solche Turbine mit einem Kompressor folgende Parameter:

- Nennleistung $P = 7000$ kW
- Wärmebedarf $Q = 11600$ kJ/kWh
- Turbinen-Drehzahl $n = 13700$ U/Min.
- Druck der komprimierten Luft $p \approx 1,6$ MPa
- Luftstrom (Gasstrom) $q = 27,0$ kg/S
- Temperatur der Abgase $t = 525$ °C

Es ist eine Schnellumdrehungsturbine zum Antrieb des Generators über Getriebe.

Weil gemäß Abb. 1 gemäß dem Konzept des Autors der Kompressor die Luft in die Turbine durch den Überhitzer (6) befördert, werden die Parameter dem vorgenannten ähneln, also 7MW, weil der Luftstromwiderstand steigen wird.

2. Menge des Brennstoffs (13) für die Turbine („Nachbrennen“) der Luft von 700 °C bis 850 °C:

Enthalpie der Luft bei einer Temperatur von $t_T = 850$ °C, $h_T = 913$ kJ/kg

Enthalpie der Luft bei einer Temperatur von $t_L = 700$ °C, $h_L = 742$ kJ/kg

Brennstoffverbrauch (Heizöl)

$$\dot{m}_T = \frac{\dot{m}_L(h_T - h_L)}{H_u} = \frac{27 * 3600 (913 - 742)}{40000} = 415 \text{ kg/h}$$

3. Brennstoffmenge (5) zur Überhitzung in der Feuerung (4) im Luftüberhitzer (6) von der Temperatur von 80°C (Temperatur nach dem Kompressor) bis zur Temperatur von 700 °C.

Enthalpie der Luft bei einer Temperatur von $t_L = 700$ °C, $h_L = 742$ kJ/kg

Enthalpie der Luft bei einer Temperatur von $t_0 = 80$ °C, $h_0 = 82$ kJ/kg - nach dem Kompressor

Brennstoffverbrauch (Heizöl)

$$\dot{m}_{L0} = \frac{\dot{m}_L(h_L - h_0)}{H_u} = \frac{27 * 3600 (742 - 82)}{40000} = 1600 \text{ kg/h}$$

4. Brennstoffmenge (5) zur Überhitzung in der Feuerung (4) im Wasserdampfüberhitzer (7) vom Sättigungszustand bei einem Druck von 0,4 MPa bis zur Temperatur von 700°C.

Enthalpie des überhitzten Wasserdampfes bei einer Temperatur von 700 °C, $h_H = 3925$ kJ/kg

Enthalpie des Sattdampf bei einem Druck von 0,4 MPa, $h_S = 2737$ kJ/kg

Brennstoffverbrauch (Heizöl)

$$\dot{m}_{DN} = \frac{20aR(h_H - h_S)}{H_U} = \frac{41600(3925 - 2737)}{40000} = 1235 \text{ kg/h}$$

5. Brennstoffmenge (5) für die Feuerung (4) zur Verdampfung im Verdampfer (8) des Kondensats aus dem Wandler (0) bei einem Sättigungsdruck von 0,45 MPa.

Enthalpie des gesättigten Dampfes bei einem Druck von 0,45 MPa, $h_D = 2742 \text{ kJ/kg}$

Enthalpie des *Kondensats*... bei einem Druck von 0,45 MPa, $h_K = 620 \text{ kJ/kg}$

Brennstoffverbrauch (Heizöl)

$$\dot{m}_{DK} = \frac{20\%aR(h_D - h_K)}{H_U} = \frac{41600(2742 - 620)}{40000} = 2205 \text{ kg/h}$$

6. Zur Feuerung (4) gelieferte Brennstoffmenge bei einer Wärme der der Abgase aus der Gasturbine (1)

- Abgasmenge 27 kg/s
- Abgastemperatur 525 °C
- Enthalpie der Abgase bei einer Temperatur von $t_G = 525 \text{ °C}$, $h_G = 547 \text{ kJ/kg}$
- Brennstoff

$$\dot{m}_{TG} = \frac{27 \cdot 3600 \cdot 547}{40000} = 1330 \text{ kg/h}$$

7. Gesamter Brennstoffbedarf (netto):

$$\begin{aligned} \dot{m}_E &= (\dot{m}_T + \dot{m}_{LO} + \dot{m}_{DN} + \dot{m}_{DK}) - \dot{m}_{TG} = \\ &= (415 + 1600 + 1235 + 2205) - 1330 = \underline{4125 \text{ kg/h}} \end{aligned}$$

Größen:

P	MW; kW	Leistung
\dot{Q}	kJ/h	Wärmestrom
H_U	kJ/kg	Heizwert
Eel	kWh/t	spez. Elektroenergie
t	OC	Temperatur
η		Wirkungsgrad
λ		Luftüberschusszahl
m	kg	Masse
\dot{m}	kg/s; kg/h; t/h	Massenstrom
h	kJ/kg	Enthalpie
\hat{m}	kg/100kg	spez. Massenstrom bez. Massenstrom der verarbeiteten Rüben

Indizes

ZF	Zuckerfabrik
F	Feuerung
TS	Trockensubstanz
%a.R.	% am Rüben
B	Brennstoff


| Otorowski |

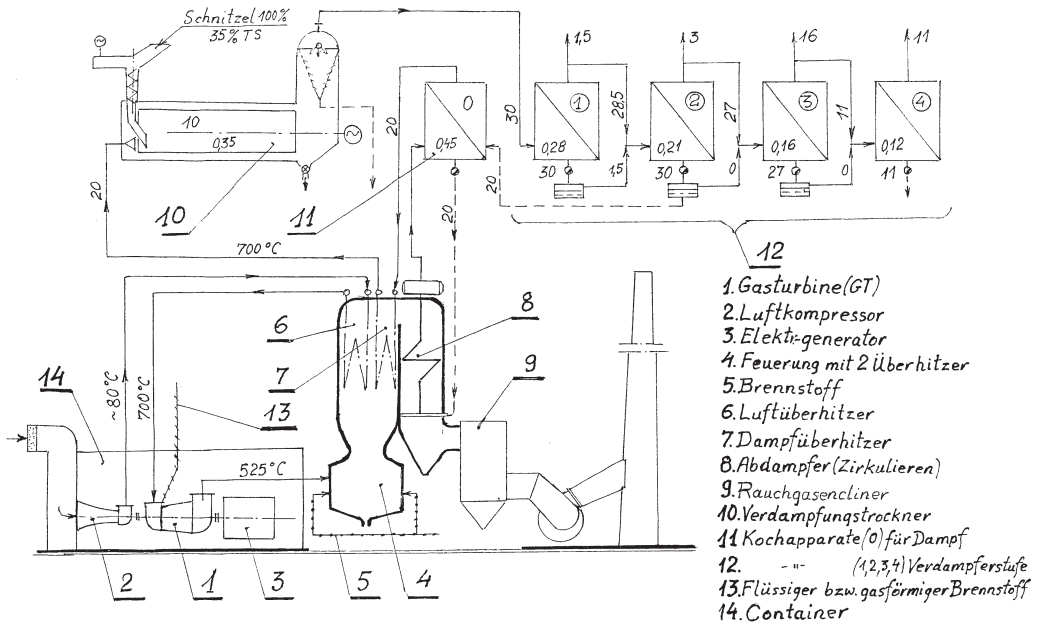


Abb. 1: Wärmeschema der Zuckerfabrik

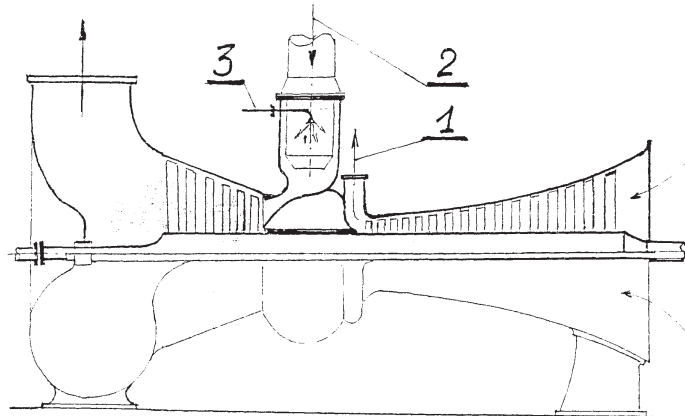


Abb. 2: Modifikation die Gasturbine (GT)

- 1- Kaltes Luft zum dem Überhitzer (6)
- 2- Heiß Luft aus dem Überhitzer (6)
- 3- Brennstoff

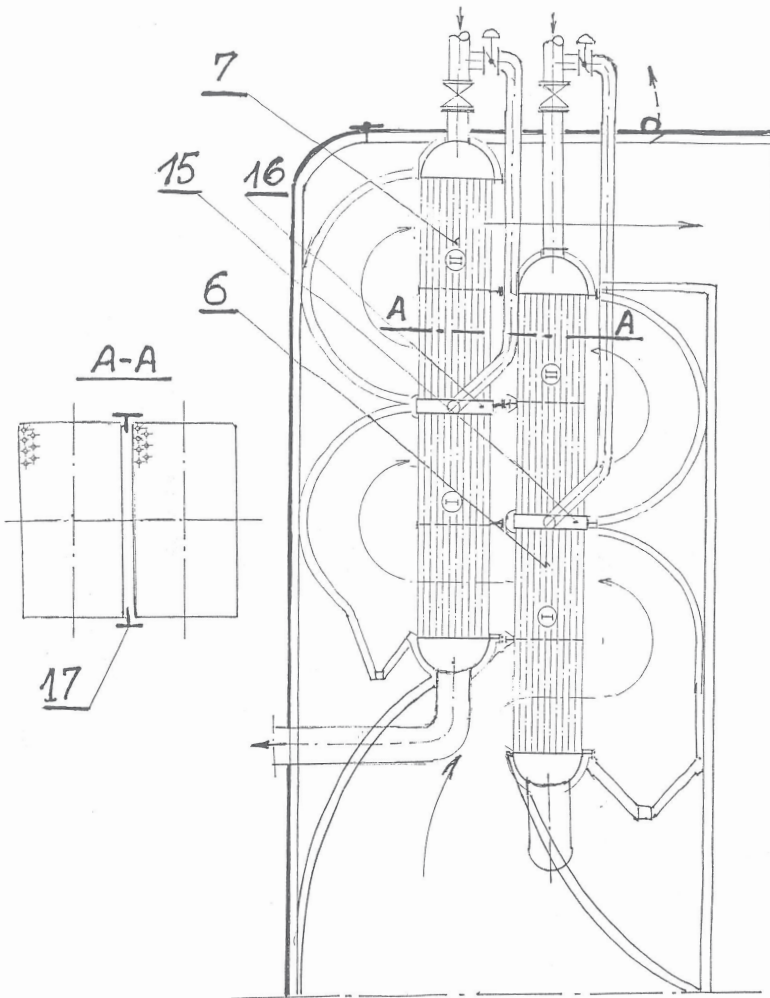


Abb.3: Feuerung mit 2 Überhitzer(6)und(7);
 (15)und(16)-die Temperaturregelung Kammer,
 (17)-die Führung Schiene.

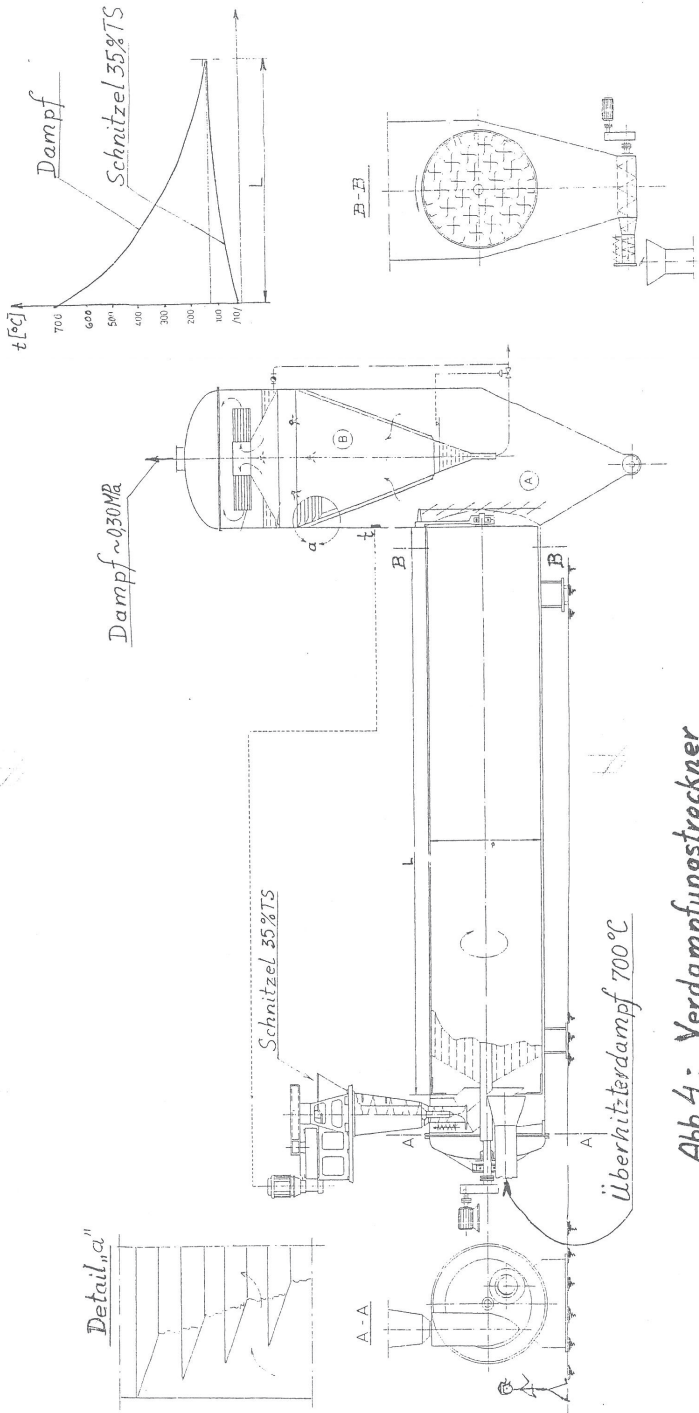


Abb. 4: Verdampfungstrockner

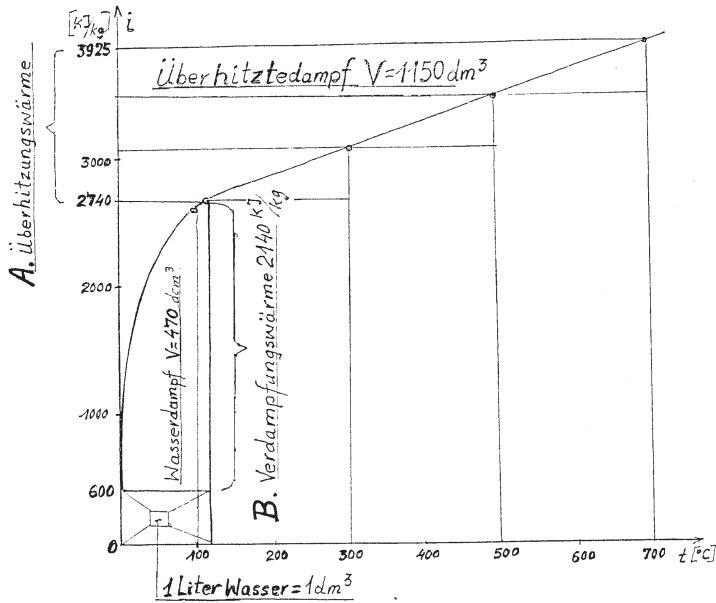


Abb.5: Charakteristik des Dampf bekommt aus dem 1 Liter Wasser, bei der Druck 0,3MPa ($2 \times A \approx B$)

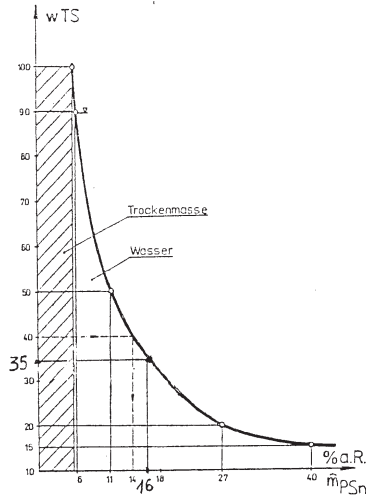


Abb.6: Preßschnitzelanfall in Abhängigkeit vom Grad der Abpressung



Sposób budowy elektrowni według nowego modelu Edmunda Otorowskiego:

Sposób przebudowy polega na całkowitym odstąpieniu od dotychczasowego modelu wodno-parowego i zastąpieniu go modelem suchym, opartym na sprężonym powietrzu atmosferycznym, pobranym z otoczenia i odpowiednio przygotowanym przed zastosowaniem w turbinie gazowej. Przygotowanie to polega na sprężaniu powietrza przez sprężarkę odseparowaną od turbiny, która tłoczy w pierw powietrze przez podgrzewacz (wymiennik powietrze-spaliny odlotowe z turbiny), a następnie przez przegrzewacz powietrza (wymiennik rurowy w palenisku) wtłacza gorące do komory spalania w turbinie, gdzie ostatecznie następuje "dopalenie" powietrza gazem dla uzyskania wymaganej przez turbinę temperatury wlotowej. Sprężarka może być oddzielona lub oddzielona wewnątrz. Można również zamówić tylko samą turbinę i zastosować sprężarki wysokosprawne odśrodkowe z chłodzeniem powietrza po każdym stopniu sprężania. W sprzyjających okolicznościach, gdy jest możliwość magazynowania większych ilości sprężonego powietrza (np. w wyrobiskach kopalnianych), to rozwiązanie z uwagi na zmniejszone obciążenie (zapotrzebowanie na energię w nocy) może być bardziej korzystne."

„Biuletyn Urzędu Patentowego” Nr 22 (1091) 2015, Dział F

Edmund Otorowski (1932) - mgr. inż. mechaniki; absolwent Wydziału Mechaniczno-Konstrukcyjnego Politechniki Warszawskiej (1960); kierownik pracowni energetycznej w P.P. i D.K.O.P. "Chemadex" (1980-1992); posiadacz dziesięciu świadectw patentowych; autor artykułów publikowanych m.in. w "Gazecie Cukrowniczej" i "Zuckerindustrie".