

628.492:697.3:043

P O L I T E C H N I K A W A R S Z A W S K A

WYDZIAŁ INŻYNIERII SANITARNEJ I WODNEJ

INSTYTUT OGRZEWNICTWA I WENTYLACJI

1. Problematyka zagadnienia spalania odpadów komunalnych 2
1.1. Ocena przydatności odpadów komunalnych do celów spalania w warunkach polskich 3

1.2. Problemy **mgr inż. Lucjan Furtak** 11

2. Podstawy teoretyczne i obliczenia związane z wykorzystaniem ciepła spalania odpadów komunalnych 46

2.1. Analiza energetyczna wykorzystania ciepła spalania odpadów komunalnych 45

OPTYMALNE WARUNKI WYKORZYSTANIA CIEPŁA SPALANIA

ODPADKÓW KOMUNALNYCH DLA CELÓW CIEPŁOWNICZYCH

2.2. Wymogi cieplne dla aglomeracji miejskich 76

2.2.1. Metoda bilansowania odpływu ciepła ze spalanych odpadów 76

Praca doktorska

2.2.2. Metoda bilansowania zapotrzebowania ciepła dla celów ciepłownictwa w aspekcie odpływu ciepła ze spalania odpadów 80

2.2.3. **Promotor: Prof. Witold Kamler** 80

3. Specjalne warunki wykorzystania ciepła spalania odpadów komunalnych w aglomeracjach miejskich 93

3.1. Wykorzystanie ciepła spalania odpadów komunalnych dla celów ciepłownictwa 93

Warszawa, 1975

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII CHEMICZNEJ I WODNIA
INSTYTUT ORGANICZNEJ CHEMII I WĘGLOWY
KATEDRA CHEMII ORGANICZNEJ

Praca dyplomowa

OPTYMALIZACJA WARUNKÓW WYKONANIA REAKCJI
SYNTEZY 2-AMINO-5-NITROBENZENOLU
R. 2186
POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Praca dyplomowa

Promotor: Prof. Wiesław Kasper

Warszawa, 1972

SPIS TREŚCI

	str
1. Wstęp	1
2. Omówienie zagadnienia spalania odpadków komunalnych	3
2.1. Ocena przydatności odpadków komunalnych do ich spalania w warunkach polskich	3
2.2. Problemy spalania odpadków komunalnych	31
3. Podstawy teoretyczne i obliczenia związane z wykorzystaniem ciepła spalania odpadków komunalnych	46
3.1. Analiza energetyczna wykorzystania ciepła spalania odpadków komunalnych	46
3.2. Analiza egzenergetyczna wykorzystania ciepła spalania odpadków komunalnych	51
3.3. Bilanse cieplne dla aglomeracji miejskich	76
3.3.1. Metoda bilansowania odzysku ciepła ze spalonych odpadków	76
3.3.2. Metoda bilansowania zapotrzebowania ciepła dla celów ciepłownictwa w aspekcie odzysku ciepła ze spalania odpadków	80
3.3.3. Udział ciepła odzyskanego ze spalania odpadków komunalnych w zapotrzebowaniu ciepła aglomeracji miejskich	89
4. Optymalne warunki wykorzystania ciepła spalania odpadków komunalnych w aglomeracjach miejskich	93
4.1. Wykorzystanie ciepła spalania odpadków komunalnych dla centralnego przygotowania ciepłej wody użytkowej c.w.u.	93

	str
4.2. Analiza wielkości spalarni odpadków komunalnych w funkcji zaludnienia aglomeracji miejskich	98
4.2.1. Ustalenie jednostkowych kosztów spalania odpadków komunalnych w zależności od wielkości /zaludnienia/ aglomeracji miejskich	98
4.2.2. Średnia droga transportu odpadków komunalnych w aglomeracjach miejskich	124
4.2.3. Ustalenie jednostkowych kosztów transportu odpadków komunalnych w aglomeracjach miejskich	130
4.2.4. Optymalne wielkości spalarni odpadków komunalnych zależnie od zaludnienia aglomeracji miejskich	132
4.2.5. Analiza matematyczna problemu	134
4.2.6. Ilości ciepła ze spalonych odpadków komunalnych z dużych miast w Polsce	139
4.2.7. Program na maszynę cyfrową	141
5. Wnioski	142
6. Piśmiennictwo	

1. WSTĘP

Podstawową grupą zanieczyszczeń stałych w aglomeracjach miejskich są odpadki komunalne, które stanowią jedno ze źródeł zanieczyszczenia terenu i wód infiltrujących w głąb ziemi oraz powietrza.

Nagromadzenie odpadków na świecie wynosi obecnie średnio $0,5 \text{ m}^3$ /(Mieszkańca i rok). Z każdym rokiem wskaźnik ten rośnie i według prognoz dąży do wartości 5 m^3 /(M.rok) [52]. W Paryżu, Sztokholmie, w miastach USA i Kanady wskaźnik nagromadzenia odpadków kształtuje się już obecnie w granicach $2 \div 3 \text{ m}^3$ /(M.rok) [36]. W warunkach intensywnego zagospodarowania terenów, a także przy dużej koncentracji ludności ilość powierzchni przeznaczanej na składowanie odpadków powinna być możliwie mała. W niektórych rejonach gęsto zaludnionych występuje coraz częściej obecnie brak terenów pod wysypiska blisko miast. Usuwanie odpadków komunalnych z aglomeracji daleko poza jej teren wiąże się z potrzebą organizacji specjalnego transportu stanowiącego poważny problem techniczny, organizacyjny i ekonomiczny. W Los Angeles, Nowym Jorku, Chicago, Paryżu wywozi się część odpadków (pozostałe kierowane są do spalarni) na odległości $35 \div 100 \text{ km}$ [14, 50]; w Warszawie średnia droga transportu odpadków na wysypiska wynosi 20 km , a dla niektórych rejonów miasta dochodzi do 30 km [35].

Według przewidywań około roku 2000 połowę mieszkańców globu stanowić będą mieszkańcy miast (obecnie jedna trzecia ludności świata) co spowoduje znaczny wzrost koncentracji odpadków. Przedstawione powyżej perspektywy mają na celu zobrazowanie

skali narastającego problemu. Stosowane są różne metody unieszkodliwiania odpadków. Poprzez odpowiedni przerób odpadki zagrażające środowisku powinny zostać przeobrażone w substancje obojętne nadające się do składowania bez ujemnego oddziaływania na środowisko przy równoczesnym znacznym zmniejszeniu objętości.

Obecnie stosuje się następujące metody przerobu i unieszkodliwiania odpadków:

- wysypiska kontrolowane (sanitarne),
- wysypiska fermentacyjne i kompostowanie,
- spalanie odpadków,
- zgazowanie odpadków.

Z wyżej wymienionych metod unieszkodliwiania spalanie charakteryzuje się najkrótszym czasem przerobu. Spalanie odpadków pozwala na pewny kontrolowany rozkład odpadków, przy czym emisja wszystkich szkodliwych substancji zostaje opanowana i podlega sterowaniu. Pozwala to na lokalizację spalarni odpadków w najbliższym sąsiedztwie aglomeracji miejskiej zmniejszając koszty transportu. Poprzez spalanie odpadki zostają zredukowane do około 30% [1, 19, 41] swojej pierwotnej masy i mniej niż 10% [1, 19, 41] objętości.

Dla gromadzenia żużla i popiołu ze spalarni potrzebne są tylko stosunkowo małe tereny, wystarczające na długi okres czasu. Z tych względów spalanie odpadków stanowi dla rejonów silnie zurbanizowanych zalecaną metodę przerobu.

W procesie spalania odpadków uzyskuje się pewne ilości energii cieplnej, której wykorzystanie dla celów energetycznych pozwala na oszczędności w gospodarce paliwami tradycyjnymi.

W Polsce problem spalania odpadków komunalnych i wykorzystania powstałego w tym procesie ciepła staje się coraz bardziej aktualny szczególnie w większych aglomeracjach miejskich. Waga tego problemu będzie rosła w latach następnych, Obecny kryzys energetyczny uwypuklił potrzebę wykorzystania wszelkiego rodzaju źródeł energii. Dotychczas w Polsce nie było opracowania na temat racjonalnego i właściwego wykorzystania ciepła spalania odpadków. Celem niniejszej pracy jest określenie optymalnych warunków wykorzystania ciepła spalania odpadków komunalnych dla celów ciepłowniczych.



- N - nagromadzenie, $1/(M \cdot \Delta t)$, $m^3/(M \cdot \text{rok})$.
- γ - ciężar objętościowy, kg/m^3 .
- n - podział frakcyjny, mm. a.
- w - wilgotność, %.
- W_u - wartość opałowa, kcal/kg, W/kg .
- A - ilość popiołu po spaleniu odpadków, %.
- α - zawartość części lotnych, %.
- analiza elementarna.

2. OMÓWIENIE ZAGADNIENIA SPALANIA ODPADKÓW KOMUNALNYCH

2.1. Ocena przydatności odpadków komunalnych do ich spalania w warunkach polskich

W ostatnim okresie czasu przeprowadzono szereg badań odpadków komunalnych dla różnych miast w Polsce. Badania te wykonano w różnych placówkach badawczych między innymi: w Instytucie Gospodarki Komunalnej w Warszawie, w Politechnice Warszawskiej i w Politechnice Wrocławskiej. Opracowania te nie obejmowały ogólnej analizy zagadnienia.

W niniejszej pracy jako podstawę wyjściową przeprowadzono analizę dostępnych wyników badań odpadków komunalnych pod kątem przydatności ich do spalania. Do analizy wzięto pod uwagę następujące parametry charakteryzujące odpadki komunalne:

- N - nagromadzenie, $l/(M \cdot dn)$, $m^3/(M \cdot rok)$,
- γ - ciężar objętościowy, kg/m^3 ,
- podział frakcyjny, mm, m,
- morfologia,
- w - wilgotność, %,
- W_u^o - wartość opałowa, kcal/kg, kJ/kg,
- A - ilość popiołu po spaleniu odpadków, %,
- zawartość części lotnych, %,
- analiza elementarna.

2.1.1. Nagromadzenie odpadków w komunalnych

Ilości odpadków komunalnych określa parametr zwany nagromadzeniem. Pozwala on na obliczanie średniej ilości odpadków komunalnych w ciągu roku (średni średnioroczny wskaźnik nagromadzenia).

Nagromadzenie jest podstawową wielkością w bilansie odzysku ciepła ze spalania odpadków.

Oprócz wielkości średniego średniorocznego wskaźnika nagromadzenia istotną jest jego zmienność w czasie. Rozpatruje się zmienności tygodniowe i roczne.

Na ilość produkowanych odpadków wpływa cały szereg czynników charakterystycznych dla rozpatrywanego środowiska. Do najważniejszych zaliczyć można następujące czynniki:

- liczbę mieszkańców,
- standard życiowy mieszkańców,
- charakter urbanistyczny rejonu,
- wyposażenie techniczno-sanitarne budynków,
- udział i charakter powierzchni niemieszkalnych,
- system i częstotliwość usuwania odpadków.

Z powyższych czynników najbardziej uchwytny i regularny wpływ posiada wyposażenie techniczno-sanitarne mieszkań.

Z tego powodu podawane są zazwyczaj średnie wskaźniki nagromadzenia odpadków komunalnych w budynkach mieszkalnych w zależności od ich techniczno-sanitarnego wyposażenia.

Posiadają one wartości niższe od średnich wskaźników dla całej aglomeracji skutkiem nagromadzenia odpadków z budynków użyteczności publicznej. Wpływ pozostałych czynników jest trudniejszy do uchwycenia.

Przykładowo wskaźnik nagromadzenia odpadków komunalnych N

[$l/(M.dn)$; $m^3/(M.rok)$] wg badań [4] wyniósł:

- w gospodarstwach domowych wyposażonych w instalację c.o. i wod.-kan. - 2,09 l/ Mdn (t.j. $0,77 m^3/ M rok$),
- w gospodarstwach domowych z instalacją wod-kan - 1,53 l/ M dn (t.j. $0,56 m^3/ M.rok$),
- w gospodarstwach domowych bez instalacji sanitarnych - 1,79 l/ M dn (t.j. $0,69 m^3/ M.rok$).

W tabeli nr 2.1.-1 podano średnie średnioroczne wartości wskaźników nagromadzenia odpadków N według przeprowadzonych badań dla szeregu aglomeracji miejskich w Polsce [3,4,6,7,8,9,51].

Tabela Nr 2.1.-1

Lp.	Miasto	Rok wykonywania pomiarów	Średnie średnioroczne wartości wskaźników nagromadzenia odpadków	
			$l/(M.dn)$	$m^3/(M.rok)$
1.	Warszawa	1973	3,22	1,18
2.	Warszawa	1968	2,76	1,005
3.	Bydgoszcz	1972	2,66	0,97
4.	Toruń	1971	2,95	1,07
5.	Bielsko-Biała	1971	3,18	1,17
6.	Katowice	1973	4,07	1,48
7.	Tychy	1973	3,31	1,21
8.	Warszawa	1961/62	2,50	0,92
9.	Łódź	1965	2,60	0,95
10.	Szczecin	1965/66	2,00÷2,80	0,73÷1,03
11.	Pruszków	1962/63	1,19÷1,32	0,44÷0,48
12.	GOP	1956/58	1,17	0,43
13.	Poznań	1956/58	1,09÷1,44	0,40÷0,53

Wielkości średniego średniorocznego wskaźnika nagromadzenia odpadków komunalnych dla danej aglomeracji miejskiej wzrasta- ją w stosunku do wartości dla lat ubiegłych.

Wzrost tego wskaźnika zależy od specyfiki miasta, lecz decydu- jącym parametrem jest wielkość aglomeracji (liczba mieszkańców) .

Niekiedy specyfika miasta powoduje, że zbliżone liczebnie do siebie miasta mają zróżnicowane nagromadzenia odpadków.

W wielu publikacjach zamieszczono wartości wskaźników nagro- madzenia odpadków dla różnych wielkości miast w poszczególnych latach co zamieszczono poniżej.

W opracowaniu [6] dotyczącym badania nagromadzenia i składu odpadków miejskich w wybranych ośrodkach reprezentatywnych GOP-u zamieszczono wskaźniki nagromadzenia odpadków komunal- nych N w miastach polskich i RFN. Niniejsze wskaźniki przyto- czono w tabeli nr 2.1.-2.

Tabela Nr 2.1.-2

Wielkość miasta w tysiącach mieszkańców	Wskaźniki nagromadzenia odpadków N			
	Miasta polskie 1965 r.		Miasta RFN 1961 r.	
	l/(M.dn)	m ³ /(M.rol)	l/(M.dn)	m ³ /(M.rol)
Poniżej 10	1,26	0,460	-	-
10 ÷ 20	1,47	0,536	1,59	0,58
20 ÷ 50	1,97	0,719	1,62	0,59
50 ÷ 100	2,36	0,860	1,89	0,69
100 ÷ 200	2,25	0,821	2,05	0,75
200 ÷ 500	2,38	0,868	1,97	0,72
500 ÷ 1000	2,29	0,835	2,24	0,82
powyżej 1000	2,49	0,910	2,58	0,94

Dane zamieszczone w tabeli nr 2.1.-2 nie są bezpośrednio porównywalne ze sobą ponieważ są odniesione do innych lat. Ze względu na ogólną tendencję wzrostu należy przypuszczać, że wskaźniki nagromadzenia miast RFN były wyższe w 1965 roku w stosunku do 1961. Biorąc pod uwagę rok 1965 dla miast polskich i RFN można stwierdzić, że wielkości tych wskaźników w obu krajach były zbliżone do siebie, lecz w miastach ponad 500.000 mieszkańców były w RFN wyższe niż w Polsce. W kalendarzu NOT 1974r. [11] zamieszczono wskaźniki nagromadzenia odpadków. Niniejsze wskaźniki podano w tabeli nr 2.1.-3. Na seminarium PZITS w Krakowie [10] podano zmiany wskaźnika nagromadzenia co ilustruje tabela nr 2.1.-4.

Tabela nr 2.1.-3

Grupa miast	Wskaźniki nagromadzenia odpadków N $m^3 / (M.rok)$		
	1970	1975	1985
Poniżej 10 tys.M	0,69	0,78	1,01
10 ÷ 20 tys.M	0,72	0,87	1,31
20 ÷ 50 tys.M	0,89	1,00	1,57
50 ÷ 100 tys.M	0,99	1,20	1,72
100 ÷ 200 tys.M	1,03	1,26	1,78
powyżej 200 tys.M	1,05	1,28	1,80
ogółem kraj	0,913	1,113	1,602

Tabela nr 2.1.-4

Grupy miast	Wskaźniki nagromadzenia odpadków N						
	m ³ /(M.rok)						
	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000
Poniżej 10 tys.M	0,69	0,853	1,045	1,266	1,517	1,793	2,090
10 ÷ 20 tys. M	0,72	0,887	1,085	1,313	1,568	1,887	2,148
20 ÷ 50 tys. M	0,89	1,088	1,315	1,572	1,852	2,150	2,460
50 ÷ 100 tys. M	0,99	1,203	1,446	1,716	2,008	2,314	2,626
100 ÷ 200 tys. M	1,03	1,249	1,498	1,773	2,068	2,376	2,688
Powyżej 200 tys.M	1,10	1,331	1,589	1,871	2,172	2,480	2,795
średnio kraj	0,90	1,13	1,363	1,622	1,904	2,171	2,481

Wartości wskaźników nagromadzenia dla poszczególnych grup miast i odpowiednich lat według tabel nr 2.1.-3; 2.1.-4 są zbliżone do siebie.

Tabele te obejmują przewidywane wskaźniki nagromadzenia odpadków jedynie dla różnych grup miast o liczebności od 10 ÷ 200 tys. i powyżej 200 tys. mieszkańców, nie różnicując tego ostatniego zakresu. Przy unieszkodliwianiu odpadków komunalnych metodą spalania w warunkach polskich ważne są wielkości wskaźników nagromadzenia dla miast o wielkości od 100 ÷ 1500 tys. mieszkańców.

W ramach tych wielkości miast według przeprowadzonych polskich badań [3,4,6,7,8,9,51] występują dość znaczne zróżnicowania wielkości wskaźnika nagromadzenia.

Na podstawie tych badań i przewidywanych tendencji zmian w czasie określono wskaźniki nagromadzenia dla następujących grup miast biorąc jedno z miast polskich jako podstawę do oceny dla każdej z grup:

- miasta 100 ÷ 200 tys. (podstawa do oceny Toruń) ,
- miasta 200 ÷ 500 tys. (podstawa do oceny Bydgoszcz i Katowice) ,
- miasta 500 ÷ 1000 tys. (podstawa do oceny Łódź) ,
- miasta powyżej 1000 tys. (podstawa do oceny Warszawa) .

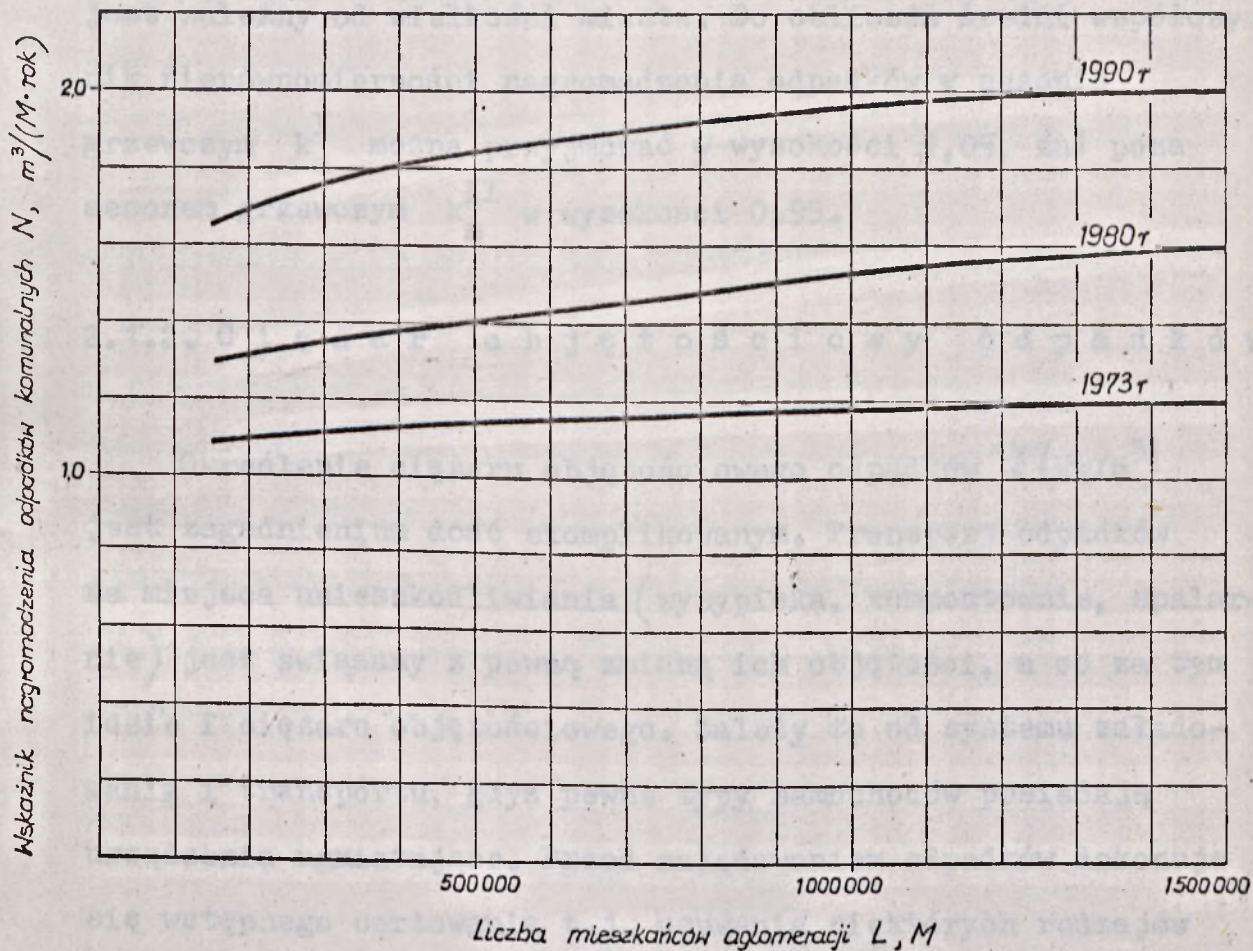
Przewidywane wartości wskaźników nagromadzenia odpadków N dla w/w grup miast podano w tabeli nr 2.1.-5.

Tabela nr 2.1.-5

Grupy miast	Wartości średniego średniorocznego wskaźnika nagromadzenia odpadków komunalnych N		
	$m^3 / (M.rok)$		
	1973	1980	1990
100 ÷ 200 tys. mieszkańców	1,09	1,30	1,65
200 ÷ 500 tys. mieszkańców	1,12	1,35	1,80
500 ÷ 1000 tys. mieszkańców	1,15	1,45	1,90
ponad 1000 tys. mieszkańców	1,20	1,60	2,00

Zmianę wskaźnika nagromadzenia w czasie zależnie od ilości mieszkańców miasta ilustruje rys. nr 2.1.-1.

Na podstawie wyników badań zmienności wskaźnika nagromadzenia w czasie roku ustalono współczynniki nierównomierności nagromadzenia dla sezonu grzewczego k_n^I i poza sezonem grzewczym k_n^{II}



Rys. nr. 2.1-1 Zależność wskaźnika nagromadzenia odpadków komunalnych od wielkości aglomeracji miejskiej.

w stosunku do średniej średniorocznej wartości wskaźnika nagromadzenia odpadków w poszczególnych miastach. Ogólnie współczynnik nierównomierności nagromadzenia jest wyższy w sezonie grzewczym w stosunku do okresu poza sezonem i nie jest zależny od wielkości miasta. Do obliczeń średni współczynnik nierównomierności nagromadzenia odpadków w sezonie grzewczym k_n^I można przyjmować w wysokości 1,05, zaś poza sezonem grzewczym k_n^{II} w wysokości 0,95.

2.1.2. Ciężar objętościowy odpadków

Określenie ciężaru objętościowego odpadków δ (kg/m³) jest zagadnieniem dość skomplikowanym. Transport odpadków na miejsca unieszkodliwiania (wysypiska, kompostownie, spalarnie) jest związany z pewną zmianą ich objętości, a co za tym idzie i ciężaru objętościowego. Zależy to od systemu załadowania i transportu, gdyż pewne typy samochodów posiadają urządzenia ugniatające. Przed załadowaniem odpadków dokonuje się wstępnego sortowania t.j. usuwania niektórych rodzajów surowców wtórnych (butelki, złom itp.) .

Z tych względów miernikiem objętości ogólnie stosowanym jest określenie ilości pojemników oraz oznaczenie stopnia ich wypełnienia (dokonuje się to zazwyczaj z dokładnością do 1/4 objętości) . Następnie określając ciężar samochodów transportujących odpadki przed i po rozładowaniu określa się każdorazowo ciężar objętościowy odpadków.

Badania wykazują, że wartość średniego ciężaru objętościowego odpadków komunalnych jest zależna od stopnia wyposażenia mieszkań w instalacje sanitarne i energetyczne.

Według pracy doktorskiej dr inż. J. Sibigi [45] ciężar objętościowy odpadków komunalnych γ kształtuje się w sposób następujący:

- dla budynków z instalacją c.o., wod-kan, gazową wynosi 339 kg/m³,
- dla budynków skanalizowanych bez instalacji c.o. i gazowej wynosi 420 kg/m³,
- dla budynków bez instalacji sanitarnych wynosi 467 kg/m³.

Ciężar objętościowy odpadków jest zmienny w czasie roku.

Wartości średnich średniorocznych ciężarów objętościowych γ dla aglomeracji miejskich w Polsce według opracowań

[3,4,6,7,8,9,51] podano w tabeli nr 2.1.-6.

Tabela nr 2.1.-6.

Miasto	Czas przeprowadzanych badań	Średni średnioroczny ciężar objętościowy γ (kg/m ³)
Warszawa	1973r	204
Warszawa	1968r	244
Bydgoszcz	1972r	243,7
Bielsko-Biała	1971r	239
Łódź	1964/65r	319
Pruszków	1962/63r	330-450
Szczecin	1965/66r	300
Katowice	1973r	266
Tychy	1972r	307
GOP	1956/58r	600
Poznań	1956/58r	563

Prowadzone w wielu krajach badania potwierdzają na ogół spadek średniorocznej wartości ciężaru objętościowego dla miast w stosunku do lat ubiegłych.

Według opracowania [48] ciężar objętościowy odpadków komunalnych zmierza do wartości 100 kg/m^3 w roku 1990.

Zmienność wartości spadku ciężaru objętościowego jest uzależniona od wielkości aglomeracji jak również od indywidualnych systemów konsumpcji mieszkańców.

Według opracowań [3, 4, 6, 7, 8, 9, 51] w zależności od liczby mieszkańców spadek ciężaru objętościowego waha się w granicach $3 \div 8 \text{ kg/(m}^3 \cdot \text{rok)}$. Na podstawie analizy opracowań [3, 4, 6, 7, 8, 9, 51] przyjęto następującą średnią roczną zmienność ciężaru objętościowego w okresie najbliższych 15 lat tj. 1975 ÷ 1990r.:

- dla miast 100 ÷ 200 tys. mieszkańców - $4 \div 5 \text{ kg/(m}^3 \cdot \text{rok)}$,
- dla miast 200 ÷ 500 tys. mieszkańców $4 \div 7 \text{ kg/(m}^3 \cdot \text{rok)}$,
- dla miast 500 ÷ 1000 tys. mieszkańców - $5 \div 8 \text{ kg/(m}^3 \cdot \text{rok)}$,
- dla miast ponad 1000 tys. mieszkańców - $6 \div 8 \text{ kg/(m}^3 \cdot \text{rok)}$.

Opracowania z lat 1968 i 1973 [8, 9] odnośnie wyników badań dla m.st. Warszawy potwierdzają przyjęte założenia.

Na podstawie badań [3, 4, 6, 7, 8, 9, 51] i przewidywanych tendencji zmian w czasie do roku 1990 określono ciężary objętościowe odpadków dla następujących grup miast biorąc jedno z miast polskich jako podstawę do oceny dla każdej z tych grup.

Przewidywane wartości ciężarów objętościowych odpadków dla grup miast podano w tabeli nr 2.1.-7.

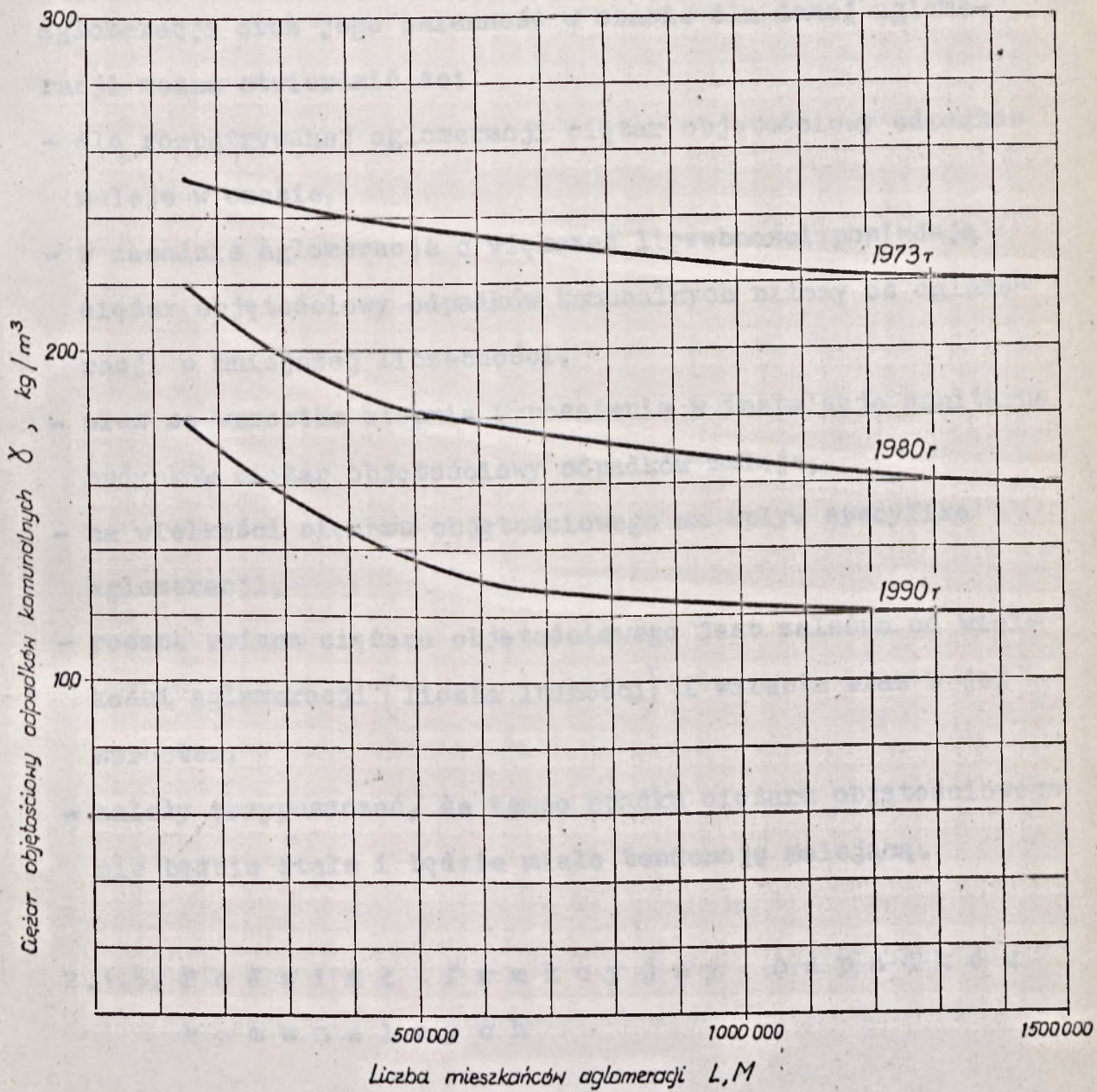
Tabela nr 2.1.-7.

Grupy miast	Średni średnioroczny ciężar objętościowy odpadków komunalnych γ kg/m ³		
	1973	1980	1990
100 ÷ 200 tys. mieszk. (podstawa do oceny Bielsko-Biała)	235÷270	200÷240	160÷200
200 ÷ 500 tys. mieszk. (podstawa do oceny Bydgoszcz)	225÷260	175÷205	130÷170
500 ÷ 1000 tys. mieszk. (podstawa do oceny Łódź)	215÷250	160÷190	105÷145
ponad 1000 tys. mieszk. (podstawa do oceny Warszawa)	200÷240	140÷170	100÷140

Zmianę średniego ciężaru objętościowego w czasie zależnie od ilości mieszkańców miasta zamieszczono na rys. nr. 2.1.-2.

Jak zaznaczono wcześniej ciężar objętościowy jest zmienny w czasie roku. Na podstawie wyników badań zmienności ciężaru objętościowego ustalono współczynniki nierównomierności ciężaru objętościowego dla sezonu grzewczego k_{γ}^I i poza sezonem grzewczym k_{γ}^{II} w stosunku do średniej średniorocznej wartości ciężaru objętościowego.

Współczynnik ten jest nieznacznie wyższy w sezonie grzewczym niż w okresie poza sezonem grzewczym i nie jest zależny od wielkości miast. Średni współczynnik nierównomierności ciężaru objętościowego w sezonie grzewczym k_{γ}^I można przyjmować do obliczeń w wysokości 1,02, zaś poza sezonem grzewczym k_{γ}^{II} w wysokości 0,98.



Rys. nr. 2.1-2. Zależność średniego ciężaru objętościowego odpadów komunalnych χ od wielkości aglomeracji miejskiej.

Porównując wartości ciężarów objętościowych dla różnych aglomeracji oraz jego zmienność w czasie dla danej aglomeracji można stwierdzić że:

- dla rozpatrywanej aglomeracji ciężar objętościowy odpadków maleje w czasie,
- w zasadzie aglomeracje o większej liczebności posiadają ciężar objętościowy odpadków komunalnych niższy od aglomeracji o mniejszej liczebności,
- wraz ze wzrostem stopnia wyposażenia w instalacje sanitarne budynków ciężar objętościowy odpadków maleje,
- na wielkości ciężaru objętościowego ma wpływ specyfika aglomeracji,
- roczna zmiana ciężaru objętościowego jest zależna od wielkości aglomeracji (liczba ludności) i wzrasta wraz z jej wzrostem,
- należy przypuszczać, że tempo spadku ciężaru objętościowego nie będzie stałe i będzie miało tendencję malejącą.

2.1.3. Podział frakcyjny odpadków komunalnych

Podział frakcyjny odpadków komunalnych wchodzi w skład danych wyjściowych pozwalających na wybór technologii unieszkodliwiania odpadków. We wszystkich opracowaniach rozpatruje się trzy przedziały frakcyjne odpadków:

- frakcja większa 100 mm (0,1 m) ,
- frakcja od 10 ÷ 100 mm (0,01 ÷ 0,1 m) ,
- frakcja mniejsza od 10 mm (0,01 m) .

Istotne znaczenie analizy frakcyjnej polega na tym, że jakościowy skład morfologiczny odpadków komunalnych dla poszczególnych frakcji jest w przybliżeniu mało zróżnicowany. Tak więc skład frakcyjny odpadków daje w pewnym przybliżeniu ilościowy skład morfologiczny odpadków. Również własności chemiczne tych samych odpadków są zróżnicowane w zależności od frakcji. Z tego względu niektóre opracowania podają osobno własności fizyko-chemiczne dla poszczególnych frakcji.

W przyciętych odpadkach komunalnych dominującymi składnikami frakcji większej od 100 mm (0,1 m) jest papier, tektura i opakowania a w małym stopniu szkło i ceramika najczęściej w postaci stłuczki. Ogólnie przyjmuje się, że jest to frakcja najbardziej przydatna do spalania.

Frakcja o zakresie 10 ÷ 100 mm (0,01 ÷ 0,1 m) to odpadki organiczne szczególnie nadające się do kompostowania oraz spalania. Dodatkowo zawiera ona odpadki kuchenne, mniejsze kawałki papieru itp.

Na frakcję 0 ÷ 10 mm (0 ÷ 0,01 m) składają się cząstki materiałów twardych, a więc żużel, węgiel, popiół z palenisk indywidualnych, gruz, stłuczka itp. Jest ona w mniejszym stopniu przydatna do kompostowania i do spalania.

Przykładowo według opracowania [4] średnie roczne udziały frakcyjne odpadków komunalnych wynoszą:

- zawartość frakcji większej od 100 mm (0,1 m) - 10%,
- zawartość frakcji od 10 ÷ 100 mm (0,01 ÷ 0,1 m) - 60%,
- zawartość frakcji od 0 ÷ 10 mm (0 ÷ 0,01 m) - 30%.

Ogólne zależności wypływające z analizy badań średnich wartości udziałów frakcyjnych odpadków komunalnych wskazują na:

- wzrost najgrubszych frakcji > 100 mm wraz z liczbą mieszkańców w aglomeracji,
- wzrost zawartości najgrubszych frakcji dla danej aglomeracji w stosunku do pomiarów dokonywanych uprzednio (wzrost z upływem lat) ,
- stosunkowo stałą wartość niezależną od wielkości aglomeracji udziałów frakcji średniej oraz niewielki jej wzrost w czasie,
- wysoki spadek udziału frakcji najdrobniejszej wraz z upływem czasu.

Powyższe wnioski jednoznacznie wskazują, że odpadki komunalne w większych aglomeracjach miejskich są szczególnie przydatne do spalania z pozytywną tendencją zmian składu w latach następnych.

2.1.4. M o r f o l o g i a o d p a d k ó w k o m u n a l n y c h

Ze względu na to, że dotychczas prowadzone badania morfologiczne odpadków komunalnych miały na celu głównie oszacowanie zawartości odpadków użytkowych przydatnych przede wszystkim jako surowiec wtórny, wnioski z tych badań zostaną zastosowane tylko pod kątem spalania odpadków. Rozróżnia się następujące grupy składników odpadków będących

surowcami wtórnymi:

- papier, kartony, tektura - oznaczono papier,
- szkło, porcelana, stłuczka - oznaczenie szkło,
- metale kolorowe i czarne, puszki konserwowe, blacha stalowa i ocynkowana - oznaczenie metale,
- szmaty,
- tworzywa,
- inne.

Wartości udziałów procentowych, niektórych składników nie są dokładnie ustalone. Wynika to z niemożliwości pełnej segregacji, pewne ilości tych materiałów znajdują się w grupie oznaczonej symbolem "inne".

Przykładowo podano średni skład morfologiczny odpadków komunalnych według opracowania [9], który wynosi:

- metale - 1,4%,
- papier - 15,9%,
- szmaty - 6,4%,
- szkło - 7,7%,
- tworzywa sztuczne - 0,8%,
- odpadki organiczne roślinne - 20%,
- odpadki organiczne zwierzęce - 2,7%
- inne - 45,1%.

Ogólnie obserwuje się wzrost ilości odpadków użytkowych w porównaniu do lat ubiegłych. Skład morfologiczny odpadków może dawać ogólny pogląd o przydatności odpadków komunalnych do ich spalania.



2.1.5. Wilgotność odpadków komunalnych

Oznaczenie wilgotności "w" (%) jest istotne przy ocenie możliwości spalania odpadków, a ponadto umożliwia obliczenie wartości opałowej odpadków komunalnych przy znanym cieple spalania. Badania wilgotności "w" odpadków przeprowadzono dla wielu aglomeracji miejskich w Polsce w różnych latach. Wyniki tych badań przedstawiono wg [3,4,6,7,8,9,51] w tabeli 2.1.-8.

Tabela nr 2.1.-8.

Lp.	Miasto	Rok wykonywania pomiarów	Srednia srednio- roczna wilgotność odpadków komunalnych "w"
			%
1.	Warszawa	1973	46,5
2.	Warszawa	1968	41,4
3.	Bydgoszcz	1972	36,0
4.	Toruń	1971	39,8
5.	Bielsko-Biała	1971	34,0
6.	Katowice	1973	30,4
7.	Warszawa	1960/61	29,2
8.	Kraków	1961/62	30,0
9.	Łódź	1964/66	28,2
10.	Szczecin	1965/66	31,9
11.	Pruszków	1962/66	39,0

Przykładowe wartości minimalne i maksymalne wilgotności odpadków dla niektórych aglomeracji miejskich odpowiednio wynoszą:

- Warszawa badania 1973 r. - 31,6% i 57,4% ,
- Bydgoszcz badania 1972 r. - 28,0% i 44,0%,
- Toruń badania 1971 r. - 23,2% i 51,4%,
- Bielsko-Biała badania 1971 r. - 19,5% i 47,0%.

Biorąc pod uwagę wyniki badań [3,4,6,7,8,9,51] można stwierdzić że:

- ze wzrostem urbanizacji aglomeracji miejskiej wzrasta wilgotność odpadków komunalnych,
- wraz ze wzrostem liczby mieszkańców w rozpatrywanej miejscowości wilgotność ma również tendencję wzrostu,
- indywidualne własności aglomeracji mają wpływ na wilgotność odpadków,
- frakcje odpadków powyżej 100 mm (0,1 m) i $10 \div 100$ mm ($0,01 \div 0,1$ m) posiadają wartości wilgotności zbliżone do siebie przewyższające znacznie wilgotność frakcji najdrobniejszej $0 \div 10$ mm ($0 \div 0,01$ m) ,
- wilgotność odpadków jest wyższa w okresie miesięcy letnich w stosunku do miesięcy zimowych,
- zmienność wilgotności w czasie roku występuje szczególnie wyraźnie w odpadkach z dzielnic śródmiejskich aglomeracji.

Wpływ zmiany wilgotności na wartość opałową uwzględniają współczynniki nierównomierności wartości, które zamieszczono w punkcie 2.1.6. niniejszej pracy.

2.1.6. Wartość opałowa odpadków komunalnych

Jednym z najważniejszych parametrów charakteryzujących odpadki komunalne jako paliwo dla kotłów jest ich wartość opałowa W_u^0 (kcal/kg ; kJ/kg). Wielkości wartości opałowej są zmienne w ciągu roku. Zmiany te zależą od wielu parametrów charakteryzujących aglomerację miejską (np. standard życia mieszkańców).

Przykładowo w aglomeracji bydgoskiej [4] ekstremalne wielkości wartości opałowej wynoszą: 1838 kcal/kg (7696 kJ/kg) w miesiącu marcu i 733 kcal/kg (3069 kJ/kg) w miesiącu wrześniu. Średnie średnioroczne wielkości wartości opałowej dla danej aglomeracji rosną w stosunku do lat ubiegłych.

Charakter zmian wartości opałowej odpadków w czasie może być zakłócony przez zmienną wilgotność. Z tego względu dla określenia tendencji zmian wartości kalorycznych odpadków wzięto także pod uwagę ich ciepło spalania C_s^0 (kcal/kg ; kJ/kg), które powiązane jest z wartością opałową poprzez zawartość wilgoci.

Wielkości średnich średniorocznych wartości opałowych W_u^0 i ciepła spalania C_s^0 odpadków komunalnych dla miast w Polsce [3,4,6,7,8,9,51] podano w tabeli nr 2.1. - 9.

Tabela nr 2.1. - 9.

Miasto	Okres prowadzenia badań	Średnia średnioroczna wartość opa- łowa		Średnie średnioroczne ciepło spala- nia	
		W_u^o		C_s^o	
		kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg
Warszawa	1973	946	3961	2306	9655
Warszawa	1968	1116	4673	2320	9714
Bydgoszcz	1972	1250	5234	2287	9576
Toruń	1971	992	4154	1842	7712
Bielsko-Biała	1971	1011	4233	1834	7679
Katowice	1973	1817	7608	2300	9630
Tychy	1973	1933	8093	2470	10342
Warszawa	1960/61	1171	4903	2078	8701
Kraków	1961/62	1193	4995	2134	8935
Łódź	1964/66	1311	5489	2607	10915
Szczecin	1965/66	1105	4627	2181	9132
Pruszków	1962/63	876	3668	1712	7168

Zmniejszenie się wartości opałowej dla Warszawy w roku 1973 w stosunku do 1968 jest spowodowane wzrostem wilgotności odpadków (tabela nr 2.1.-9) .

Ogólnie wilgotność odpadków w ostatnim okresie czasu w Polsce wzrosła co spowodowane jest obecnym stanem techniki gromadzenia, a nie zmianami składu odpadków.

Ogólnie znane tendencje zmian wartości opałowej odpadków komunalnych zamieszczone w literaturze technicznej

[3,4,7,8,9,37,48,51,52] wskazują na wzrost wielkości wartości opałowej w stosunku do lat ubiegłych wraz ze wzrostem poziomu życia mieszkańców oraz rozwoju ciepłownictwa i gazyfikacji

aglomeracji miejskich. Na podstawie badań wartości opałowej [3,4,7,8,9,37,51] dla miast polskich można wyciągnąć następujące wnioski:

- wartość opałowa dla miast dużych osiąga wartości liczbowe wyższe niż dla miast małych,
- minimalne wielkości wartości opałowej występują zdecydowanie poza okresem sezonu grzewczego, natomiast wielkości maksymalne występują w zasadzie w drugiej połowie sezonu grzewczego,
- przy szacowaniu zmienności wartości energetycznej odpadków wydaje się celowym uwzględnienie obok wartości opałowej także ciepła spalania.

Na podstawie badań i przewidywanych tendencji zmian w czasie [3,7,8,9,48,51] określono zakresy wartości opałowych dla następujących grup miast:

- miasta 100 ÷ 200 tys. (podstawa do oceny Toruń) ,
- miasta 200 ÷ 500 tys. (podstawa do oceny Bydgoszcz) ,
- miasta 500 ÷ 1000 tys. (podstawa do oceny Łódź) ,
- miasta ponad 1000 tys. (podstawa do oceny Warszawa) .

Przewidywane zakresy wielkości wartości opałowych odpadków dla w/w grup miast podano w tabeli nr 2.1.-10.

Tabela nr 2.1.-10.

Grupy miast	Wielkości średniej średniorocznej wartości opałowej odpadków							
	W ^o _u				1990			
	1973	1973	1980	1980	1990	1990	1990	1990
	kcal/kg	kj/kg	kcal/kg	kj/kg	kcal/kg	kj/kg	kcal/kg	kj/kg
100÷200 tys. mieszkańców	940÷1100	3936÷4606	1080÷1280	4521÷5359	1200 ÷1400	5024÷5861		
200÷500 tys. mieszkańców	1050÷1250	4396÷5234	1360÷1540	5694÷6447	1380÷1640	5777÷6866		
500÷1000 tys. mieszkańców	1080÷1340	4522÷5611	1430÷1630	5987÷6825	1680÷1920	7033÷8038		
ponad 1000tys. mieszkańców	1150÷1450	4814÷6070	1480÷1720	6196÷7201	1700÷2000	7117÷8373		

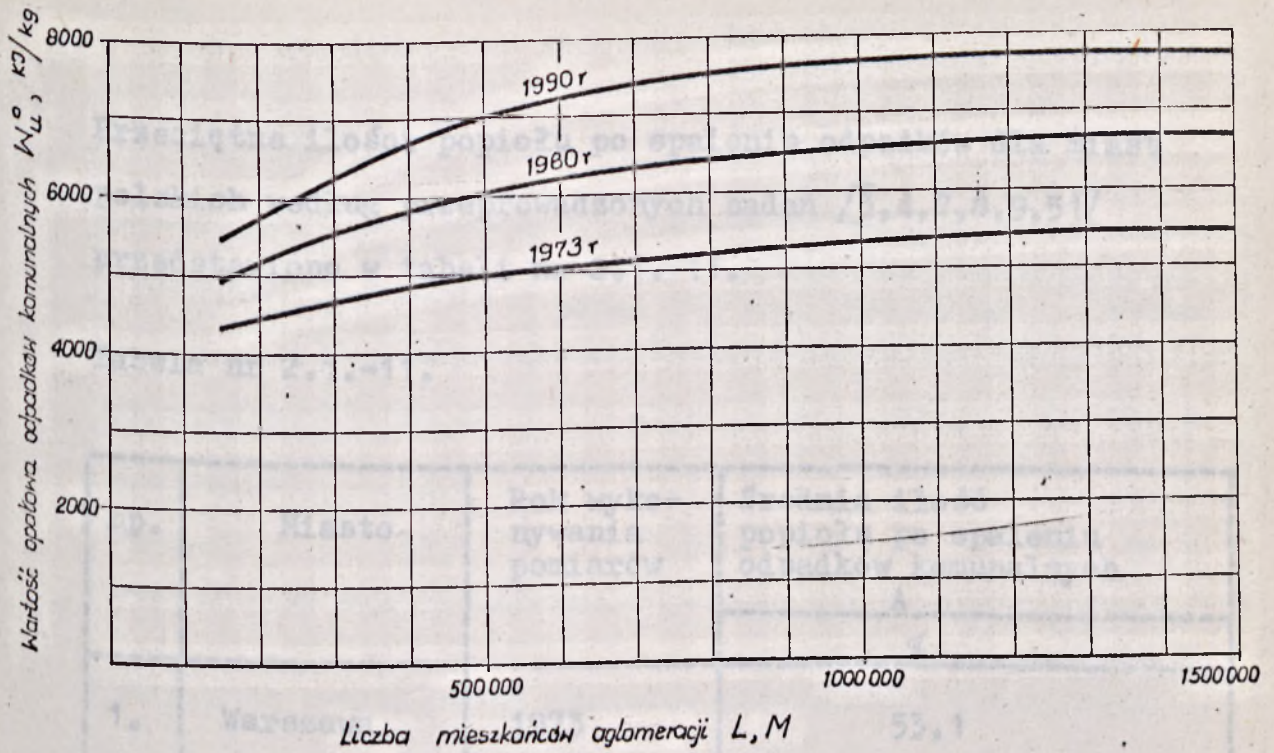
Obecny stan badań w poszczególnych aglomeracjach upoważnia jedynie do oszacowania zakresów, w których znajdować się będą odpowiednie wielkości wartości opałowej. Zmianę średniej wartości opałowej w czasie zależnie od ilości mieszkańców miasta przedstawiono na rysunku nr 2.1.-3. Na podstawie wyników badań zmienności wartości opałowej w ciągu roku dla różnych miast polskich ustalono współczynniki nierównomierności wartości opałowej w stosunku do średniej średniorocznej wartości opałowej dla sezonu grzewczego i okresu poza sezonem grzewczym. Wartość tych współczynników nie zależy od wielkości aglomeracji miejskiej.

Do obliczeń wartości współczynnika nierównomierności wartości opałowej można przyjmować dla sezonu grzewczego k_w^I w wysokości 1,1, zaś poza sezonem grzewczym k_w^{II} w wysokości 0,9. Wartość opałowa odpadków komunalnych może ulec poważnej zmianie, wobec tendencji zwiększonego udziału niepalnych opakowań jak niektóre tworzywa sztuczne, szkło, puszki blaszane zamiast dotychczas powszechnie stosowanej tektury i papieru. Wpływu tej tendencji w pracy nie uwzględniono wobec braku wyników badań.

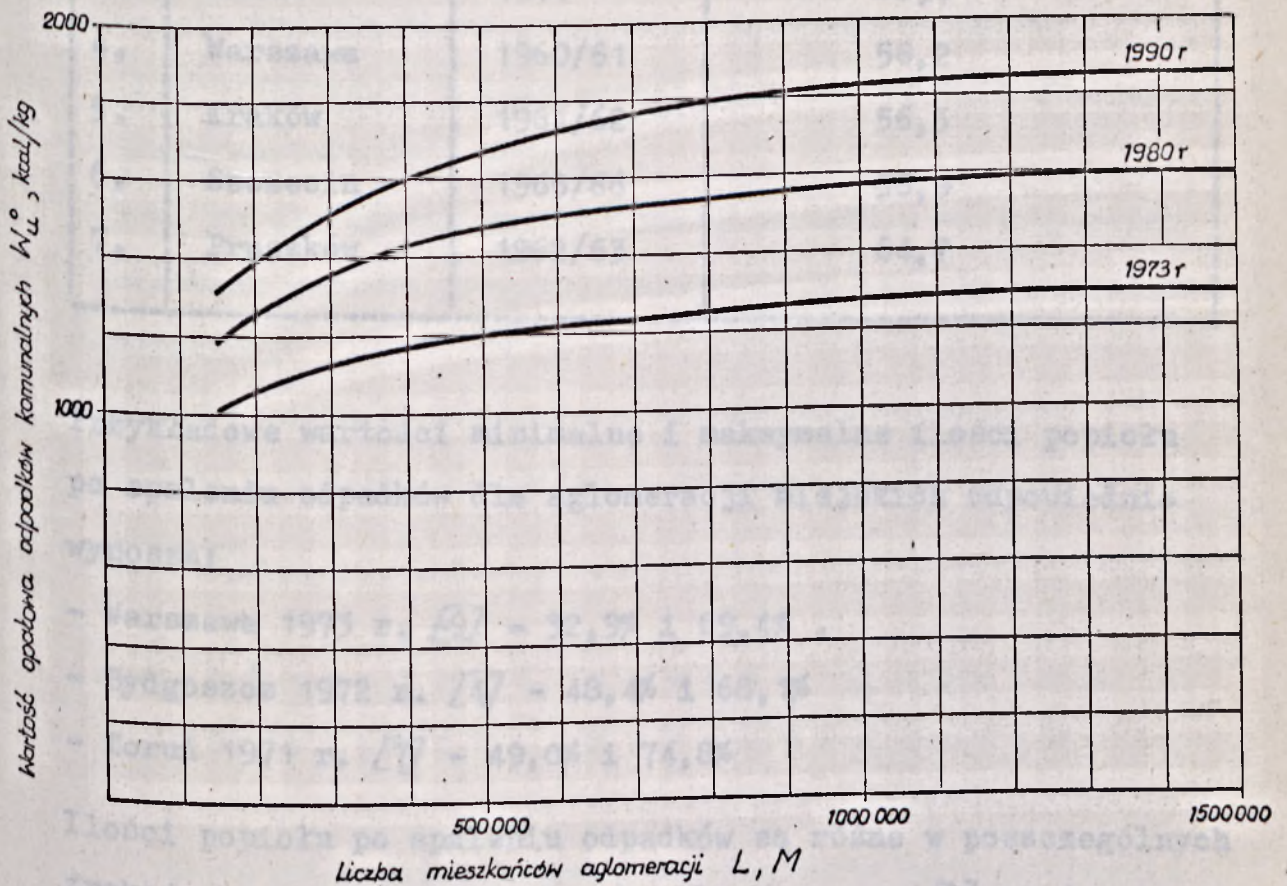
2.1.7. I l o ś ć p o p i o ł u

Ilość popiołu po spalaniu odpadków komunalnych A (%) (podobnie jak dla każdego paliwa) jest parametrem istotnym przy ocenie możliwości ich spalania. Wpływ ilości popiołu na proces spalania omówiono w punkcie 2.2.1.

a)



b)



Rys. nr. 2.1-3 Zależność średniej wartości opłatowej odpadków komunalnych W_u^o od wielkości aglomeracji miejskiej

- a) W_u^o wyrażona w kJ/kg
- b) W_u^o wyrażona w kcal/kg

Przeciętne ilości popiołu po spaleniu odpadków dla miast polskich według przeprowadzonych badań [3,4,7,8,9,51] przedstawiono w tabeli nr 2.1.-11.

Tabela nr 2.1.-11.

Lp.	Miasto	Rok wykonywania pomiarów	Srednia ilość popiołu po spaleniu odpadków komunalnych
			A %
1.	Warszawa	1973	53,1
2.	Bydgoszcz	1972	58,1
3.	Toruń	1971	62,0
4.	Warszawa	1960/61	56,2
5.	Kraków	1961/62	56,5
6.	Szczecin	1965/66	58,9
7.	Pruszków	1962/63	64,7

Przykładowe wartości minimalne i maksymalne ilości popiołu po spaleniu odpadków dla aglomeracji miejskich odpowiednio wynoszą:

- Warszawa 1973 r. [9] - 32,9% i 69,4% ,
- Bydgoszcz 1972 r. [4] - 48,4% i 68,1%
- Toruń 1971 r. [7] - 49,0% i 74,8%

Ilości popiołu po spaleniu odpadków są różne w poszczególnych frakcjach odpadków komunalnych. Dla Warszawy [9] ilości te podano w tabeli nr 2.1.-12.

Tabela nr 2.1.-12.

Wartości	Próby średnie	Frakcje, %		
		ponad 100 mm (0,1 m)	10÷100 mm (0,01÷0,1 m)	0÷10mm (0÷0,01 m)
Maksymalne	69,4	67,6	73,0	83,9
Minimalne	32,9	28,7	37,9	59,9
Średnie	53,1	47,8	57,0	72,9

Analizując wyniki badań odpadków komunalnych dla różnych aglomeracji należy stwierdzić, że:

- ze wzrostem liczby mieszkańców w aglomeracjach miejskich maleje średnia ilość popiołu po spaleniu odpadków (np. w Warszawie w dzielnicach najbardziej zurbanizowanych ilość popiołu jest niższa),
- wraz ze zmniejszaniem się frakcji odpadków we wszystkich miastach wzrasta proporcjonalnie ilość popiołu po spaleniu odpadków,
- ilość popiołu po spaleniu odpadków jest nieznacznie wyższa w sezonie grzewczym w stosunku do okresu poza sezonem.

2.1.8. Zawartość części lotnych w odpadkach komunalnych

Zawartość części lotnych (węglowodory lekkie, ciężkie itp.) jest parametrem charakteryzującym proces spalania odpadków jako paliwa.

Pomiary tego parametru nie są przeprowadzone w większości badań odpadków. Przeciętna zawartość całkowita części lotnych dla Warszawy [9] 1973 r. wynosi 33%, zaś dla Torunia [7] 1971 r. wynosi 25,6%. W tabeli nr 2.1.-13 zamieszczono wartości zawartości części lotnych w odpadkach wg [7,9].

Tabela nr 2.1.-13.

Aglomera- cja miejska	Wartości	Próby średnie	Frakcja		
			ponad 100mm (0,1m)	10÷100 mm (0,01÷0,1m)	0÷10 mm (0÷0,01m)
			%	%	%
Warszawa	Maksymalne	51,1	57,5	43,0	28,1
	Minimalne	19,6	22,6	15,0	8,6
	Średnie	33,0	33,3	21,7	16,3
Toruń	Maksymalne	36,6	57,8	39,5	23,8
	Minimalne	15,1	20,7	16,3	11,2
	Średnie	25,6	38,0	26,4	16,1

Na podstawie badań z tych dwu aglomeracji nie można wyciągać zbyt ogólnych wniosków. Zawartość części lotnych jest związana w pewien sposób z ilością popiołu po spaleniu odpadków. Można zatem przypuszczać, że wzrost liczby mieszkańców w porównywanych aglomeracjach pociągnie za sobą wzrost zawartości części lotnych w odpadkach. Wyniki badań dla [9] poszczególnych dzielnic Warszawy wskazują na zwiększający się udział części lotnych wraz z rozwojem urbanizacji. W obu rozpatrywanych aglomeracjach zawartość części lotnych maleje

wraz z frakcją odpadków. Badania rocznych zmienności nie wykazały okresów w których zawartość części lotnych przybiera zdecydowane wartości ekstremalne. Średnią zawartość części lotnych w odpadkach można oszacować jako wielkość 30%.

2.1.9. A n a l i z a e l e m e n t a r n a o d p a d k ó w k o m u n a l n y c h j a k o p a l i w a

Opracowania badań [3,4,6,7,8,9,51] nie zawierają analizy elementarnej odpadków jako paliwa. W Katedrze Techniki Sanitarnej Politechniki Warszawskiej w ramach prac dyplomowych wykonano oznaczenia elementarnej składu warszawskich odpadków komunalnych i wartości opałowej z lat sześćdziesiątych. W wyniku oznaczeń chemicznych oraz analizy wartości opałowej ($W_u^o = 1430 \text{ kcal/kg} ; 5987 \text{ kJ/kg}$) ustalono elementarny skład chemiczny odpadków, który przedstawia się następująco:

c - 15,5%, s - 1,22%, n - 0,58%, h - 2,45%,
o - 8,85%, w - 39,0%, A - 32,4%.

Zakład Aparatury Unikalnej Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej wykonał w 1974r. pomiary składu elementarnej suchych odpadków komunalnych aglomeracji gdyńskiej [5]. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli nr 2.1.-14. Średnia wartość opałowa tych odpadków wilgotnych wynosi 1180 kcal/kg (4940 kJ/kg) .

Tabela nr 2.1.-14.

Symbol próbki	Średnie wyniki z trzech pomiarów					
	% n	% cl	% c	% h	% A popiół	% s
1	1,05	nie badano	30,60	4,15	31,08	brak
2	0,96	0,91	29,36	4,07	39,88	0,35
3	0,86	nie badano	30,98	4,23	34,67	0,36
4	0,87	1,08	32,81	4,54	30,10	0,46
5	0,73	nie badano	28,79	3,90	38,35	0,33
6	0,83	0,25	28,55	3,89	37,00	0,10
7	0,70	nie badano	31,21	4,25	32,95	0,35
8	0,73	1,17	31,26	4,35	34,49	0,35
9	0,92	nie badano	36,85	5,09	21,68	brak
10	0,82	1,04	38,26	5,12	18,70	brak
11	0,89	1,22	37,65	5,21	19,51	0,42
12	1,62	nie badano	33,75	4,63	24,20	0,54
13	1,23	1,21	37,42	5,14	21,60	0,48
14	1,11	nie badano	36,78	5,08	21,90	0,57
15	1,45	1,13	36,81	5,24	19,39	0,53
16	1,34	nie badano	37,30	5,24	16,20	0,58
17	1,33	1,03	34,32	4,93	22,30	0,58
18	1,48	nie badano	35,52	5,14	20,95	0,58
19	1,38	1,19	36,57	5,31	19,50	0,50
20	1,34	nie badano	39,07	5,60	15,70	0,54

Na podstawie zamieszczonych wyników badań w tabeli nr 2.1.-14 oraz wcześniejszych pomiarów zawartości wilgoci ustalono średnie zawartości procentowe pierwiastków w odpadkach wilgotnych. Wynoszą one:

c - 17,12%, s - 0,21%, n - 0,54%, h - 2,38%, w - 50,00%,
A - 16,20%, cl - 0,51%, o - 13,04%.

Zawartość tlenu przyjęto jako ilość dopełniająca do 100% sumy zawartości wymienionych pierwiastków. Tak obliczona ilość jest wielkością przybliżoną.

W odpadkach komunalnych z aglomeracji gdyńskiej stwierdzono stosunkowo małe ilości popiołu. Zawartości siarki a także chloru w tych odpadkach są niewielkie. W paliwach tradycyjnych (węgiel, oleje) zawartość siarki dochodzi do 5%, zaś w odpadkach z aglomeracji gdyńskiej nie osiąga nawet 0,3%.

Zawartość chloru w odpadkach komunalnych wysoko uprzemysłowionych krajów Europy Zachodniej jest znacznie wyższa ze względu na większą zawartość tworzyw sztucznych (4 ÷ 5% wg punktu 2.2.1.1.) w stosunku do ilości w Polsce (0,8% wg punktu 2.1.4.)

Na podstawie tych dwóch przeprowadzonych badań trudno wyciągnąć zbyt ogólne wnioski. Można natomiast stwierdzić, że w odpadkach wzrosła zawartość węgla zaś zmalała ilość popiołu po spalaniu odpadków. Wskazuje to na wzrost wartości odpadków komunalnych jako paliwa.

2.2. P r o b l e m y s p a l a n i a o d p a d k ó w k o m u n a l n y c h

W ostatnich dziesięcioleciach wybudowano w wielu krajach szereg różnego typu zakładów spalania odpadków komunalnych. Do najważniejszych przyczyn wzrostu zainteresowania spalaniem odpadków komunalnych zaliczyć można:

- wzrost ilości odpadków "produkowanych" w danym mieście (pkt 2.1.1. niniejszej pracy) ,
- zmiany jakościowe odpadków jako paliwa powodujące wzrost ich kaloryczności w czasie (pkt 2.1.2. ÷ 2.1.9. niniejszej pracy) ,
- wyczerpanie terenów pod wysypiska w mieście i konieczność transportu odpadków na odległości rzędu wielu dziesiątków kilometrów (pkt 1.) ,
- wymagania sanitarne dla niektórych miast (np. porty, uzdrowiska) ,
- niemożliwość unieszkodliwiania innymi metodami (nie wszystkie odpadki nadają się do kompostowania) ,
- wzrost zapotrzebowania energii.

Efektom zainteresowania problemem jest stały rozwój tej dziedziny wpływający na różnorodność stosowania metod i doskonalenie urządzeń.

Przy analizowaniu w niniejszej pracy problemów spalania odpadków komunalnych zwrócono uwagę na następujące zagadnienia:

- możliwości spalania odpadków komunalnych,
- analiza pracy spalarni odpadków eksploatowanych zagranicą,

- celowość wykorzystania ciepła spalania odpadków,
- współpraca spalarni odpadków z układem ciepłowniczym aglomeracji miejskiej.

2.2.1. M o ż l i w o ś c i s p a l a n i a o d p a d k ó w k o m u n a l n y c h

2.2.1.1. S k ł a d o d p a d k ó w

Przydatność odpadków komunalnych do spalania zależy od zawartości w nich: części palnych, wilgoci i popiołu. Do składników palnych odpadków komunalnych należą: papier, wszelkiego rodzaju substancje organiczne i niektóre tworzywa sztuczne. Duża zawartość papieru w odpadkach, o ile jest luźno ułożony poprawia proces spalania. Papier w rolkach lub książki palą się wolno, co zakłóca przebieg procesu. Usuwane z odpadkami tworzywa sztuczne mięknią i topią się w stosunkowo niskiej temperaturze. Zawartość tworzyw sztucznych (np. polichlorek winylu) w odpadkach komunalnych do 10% nie zakłóca procesu spalania na rusztach [19,20,41]. Obecnie zawartość tworzyw sztucznych w odpadkach krajów Europy Zachodniej wynosi 4 ÷ 5% [41], zaś w Polsce wynosi ułamek procenta [9]. Duża zawartość wilgoci oraz popiołu (ilość popiołu jako parametr charakteryzujący paliwo) w odpadkach wpływa na obniżenie wartości opałowej i konieczność stosowania specjalnej technologii spalania. Znaczne ilości wilgoci w odpadkach

także obniżają temperaturę paleniska co w efekcie powoduje niecałkowite spalanie. Z tych względów stosuje się suszenie odpadków na specjalnym ruszcie.

2.2.1.2. W a r t o ś ć o p a ł o w a o d p a d k ó w

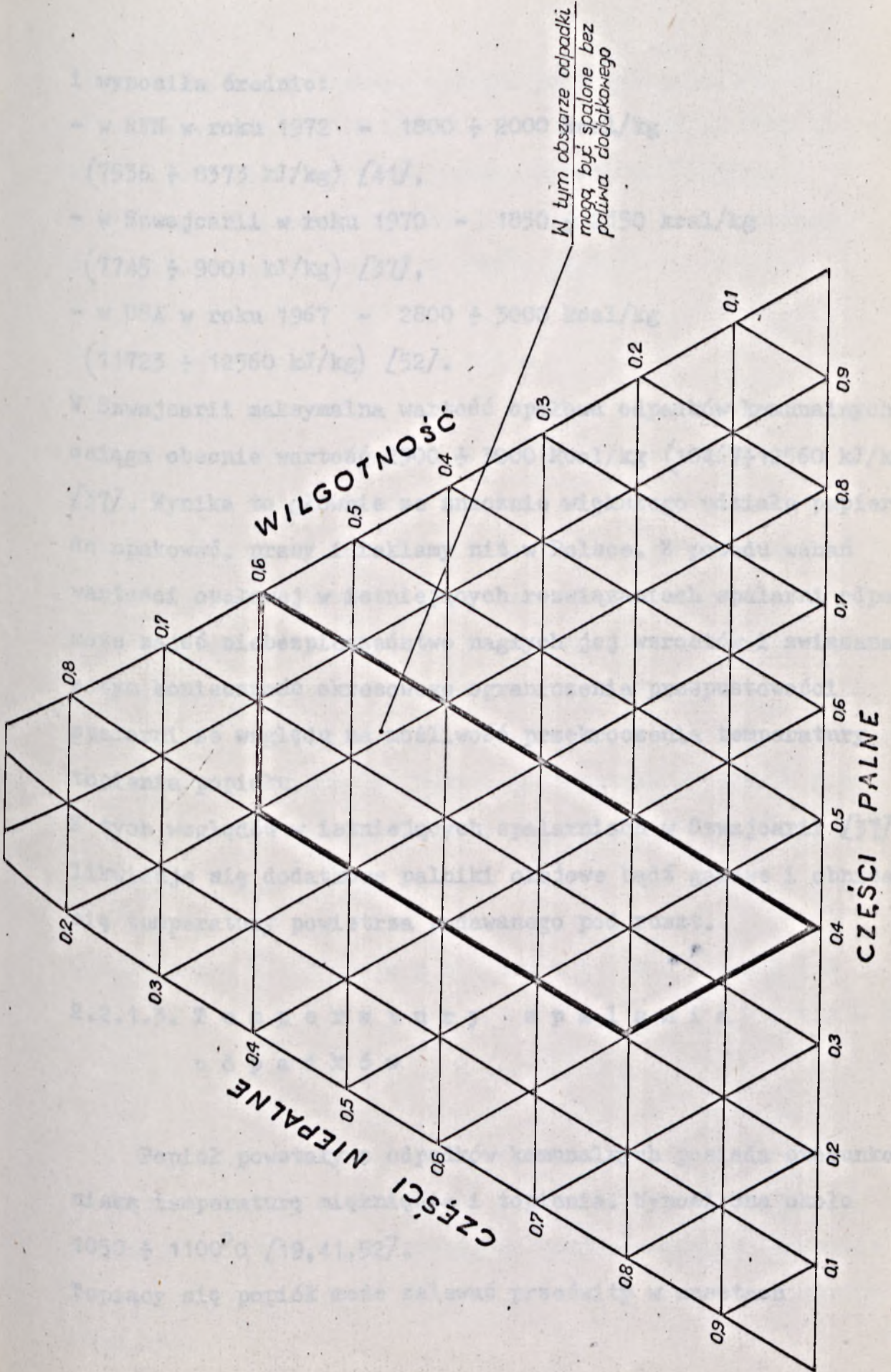
Odpadki spalać się mogą bez dodatkowego paliwa jeśli ich wartość opałowa wynosi nie mniej niż 800 kcal/kg (3349 kJ/kg) [1,19,47]. Aby odpadki same spalały się konieczne jest aby zawartość części palnych zawierała się w przedziale 20 ÷ 40%, ilość popiołu po spaleniu odpadków nie przekraczała 60%, a zawartość wilgoci wynosiła max 60% [1,19,47].

Wyżej wymienione trzy wielkości ujmuje wykres Tannera w postaci trójkąta (rys. nr 2.2.-1.) .

Przy niedotrzymaniu choć jednego z tych warunków należy stosować paliwo wspomagające w postaci gazu, oleju, pyłu węglowego lub miazgi węglowej.

W Polsce wielkości warunkujące palenie się samych odpadków są zawarte w granicach określonych wymogami tj. wykresem Tannera. Jeśli zagranicą używane jest paliwo wspomagające to tylko, aby polepszyć i ustabilizować proces spalania oraz uzyskać większe ilości ciepła użytkowego. Wartość opałowa odpadków jest zmienna w ciągu roku. W Polsce zmienia się ona obecnie od 733 kcal/kg (3068 kJ/kg) do 1838 kcal/kg (7695 kJ/kg) mając stałą tendencję wzrostu (punkt 2.1.6. niniejszej pracy) .

Wartość ta w krajach Europy Zachodniej jest znacznie wyższa



Rys.nr. 2.2-1 Wykres Tannera.

i wynosiła średnio:

- w RFN w roku 1972 - $1800 \div 2000$ kcal/kg
($7536 \div 8373$ kJ/kg) [41],
- w Szwajcarii w roku 1970 - $1850 \div 2150$ kcal/kg
($7745 \div 9001$ kJ/kg) [37],
- w USA w roku 1967 - $2800 \div 3000$ kcal/kg
($11723 \div 12560$ kJ/kg) [52].

W Szwajcarii maksymalna wartość opałowa odpadków komunalnych osiąga obecnie wartość $2500 \div 3000$ kcal/kg ($10467 \div 12560$ kJ/kg) [37]. Wynika to głównie ze znacznie większego udziału papieru do opakowań, prasy i reklamy niż w Polsce. Z powodu wahań wartości opałowej w istniejących rozwiązaniach spalarni odpadków może zajść niebezpieczeństwo nagłych jej wzrostów i związana z tym konieczność okresowego ograniczenia przepustowości spalarni ze względu na możliwość przekroczenia temperatury topienia popiołu.

Z tych względów w istniejących spalarniach w Szwajcarii [37] likwiduje się dodatkowe palniki olejowe bądź gazowe i obniża się temperatury powietrza podawanego pod ruszt.

2.2.1.3. T e m p e r a t u r y s p a l a n i a o d p a d k ó w

Popiół powstały z odpadków komunalnych posiada stosunkowo niską temperaturę mięknięcia i topienia. Wynosi ona około $1050 \div 1100^{\circ}\text{C}$ [19,41,52].

Topiący się popiół może zalewać prześwity w rusztach

hamując dopływ powietrza, a także pokrywać palne części odpadków powodując ich niespalenie. Temperatura, przy której następuje dezodoryzacja odpadków, wynosi 800°C [41].

Z wyżej wymienionych względów należy dążyć do osiągnięcia temperatury paleniska $800 \div 1100^{\circ}\text{C}$ [41].

2.2.1.4. K o r o z j a k o t ł a

Przy spalaniu odpadków komunalnych wydzielają się pewne ilości chlorowodoru. Powstaje on w wyniku spalania tworzyw sztucznych, a szczególnie wyrobów z PCV zawartych w odpadkach. Chlorowodór działa korodująco na powierzchnie metalowe. Korozja ta występuje szczególnie intensywnie przy temperaturach powierzchni wymiany ciepła po stronie spalin powyżej 300°C [19,20,40,41]. Temperatura powierzchni wymiany ciepła kotła powinna być wyższa od temperatury punktu rosy spalin ze spalania odpadków, np. dla węgla wynosi około 50°C [21].

2.2.2. A n a l i z a s p a l a r n i o d p a d k ó w k o m u n a l n y c h e k s p l o a t o w a n y c h z a g r a n i c ą

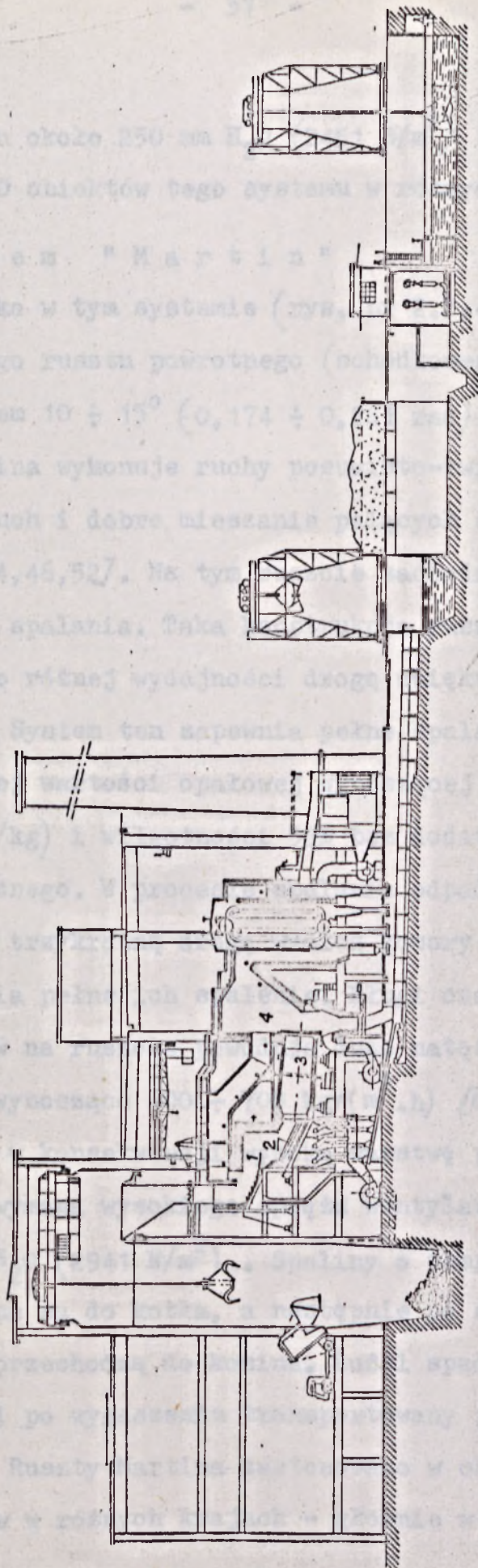
Obecnie istnieje wiele opracowanych systemów (technologii) spalania odpadków komunalnych, co w znacznym stopniu utrudnia dokonanie ich przeglądu. Trudno także, o dokonanie wyczerpujących porównań różnych rozwiązań systemów spalania odpadków.

Stosowane obecnie urządzenia do spalania można zgrupować w różny sposób np. zależnie od rodzaju spalanych odpadków, sposobu wykorzystania ciepła spalania i wielkości lub konstrukcji urządzeń. W niniejszej pracy omówiono urządzenia które są zastosowane w dużych spalarniach odpadków komunalnych. Urządzeniem najbardziej charakterystycznym w tych obiektach są systemy palenisk.

Najbardziej znane i rozpowszechnione systemy palenisk zostaną omówione poniżej:

- s y s t e m " V ö l u n d "

Jest to konstrukcja duńska należąca do najstarszych rozwiązań spalania odpadków [32,52]. Palenisko składa się z: rusztu suszenia, rusztu spalania, bębna obrotowego (wyżarzanie żużla) - rys. nr 2.2.-2. Za bębniem obrotowym znajduje się komora mieszania spalin wychodzących z bębna i z nad rusztu suszenia. Komora mieszania połączona jest bezpośrednio z bębniem oraz dodatkowym kanałem z przestrzenią nad rusztem suszenia. Spaliny przepływają przez kocioł i dalej przetłaczane są za pomocą wentylatora do komina. Żużel i popiół odprowadzany jest spod paleniska, przy pomocy rynny z urządzeniem wodnym służącym do transportu i składowany jest przed wywozem w specjalnych zbiornikach. System ten został udoskonalony przez firmę Wistra tworząc rozwiązanie Völund-Wistra. Rozwiązanie to pozwala na optymalne wykorzystanie kubatury spalarni. Temperatura spalania odpadków wynosi $950 \div 1000^{\circ}\text{C}$. Powietrze do spalania doprowadzane jest strefowo pod ruszt spalania przy pomocy wentylatorów



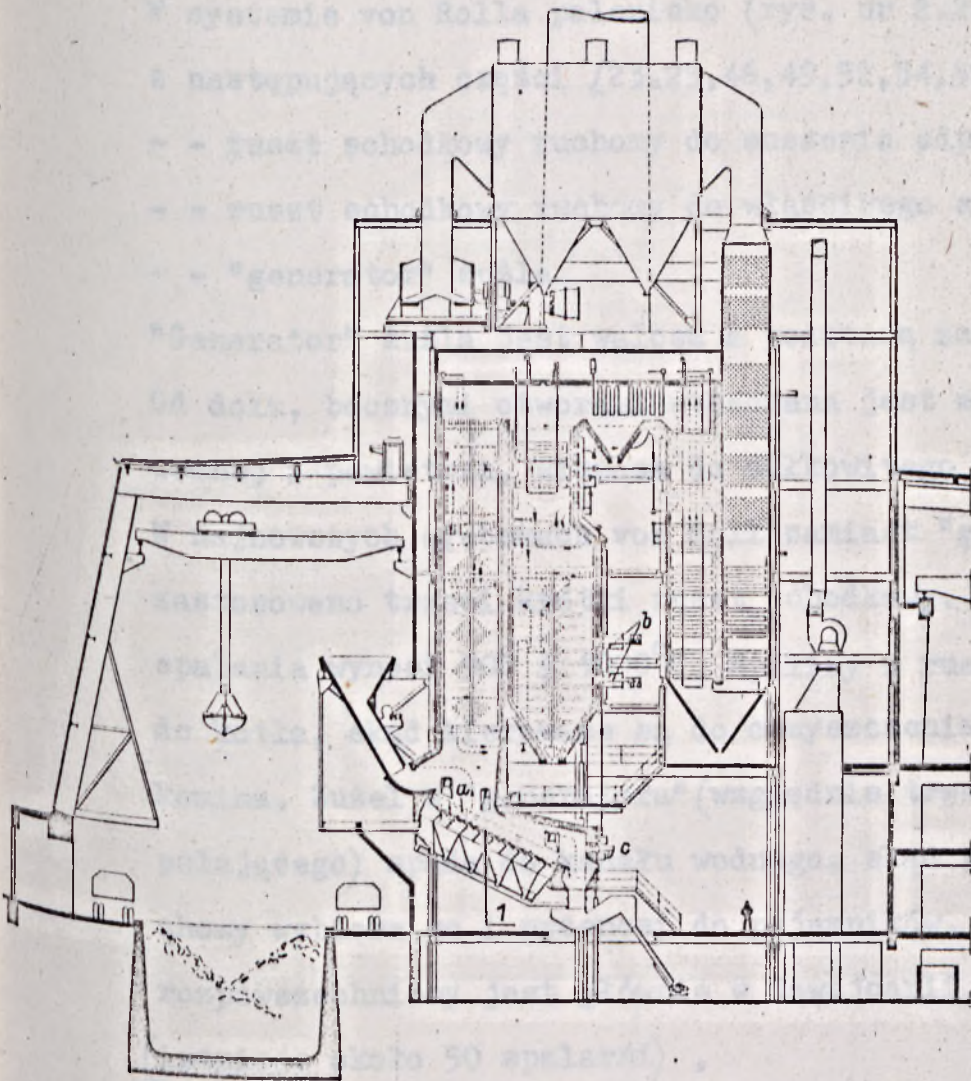
Rys.nr. 2.2-2 Przekrój spalarni w Saint Quen (system Völund)

- 1 - ruszt suszenia
- 2 - ruszt spalania
- 3 - bęben obrotowy (wyizowanie zużłta)
- 4 - komora mieszania spalin

o sprężu około 250 mm H₂O (2451 N/m²) . Obecnie pracuje około 70 obiektów tego systemu w różnych krajach ,

- s y s t e m " M a r t i n "

Palenisko w tym systemie (rys. nr 2.2.-3) składa się z jednego rusztu powrotnego (schodkowego) , pochylonego pod kątem $10 \div 15^\circ$ ($0,174 \div 0,261$ rad) , w którym co druga rusztowina wykonuje ruchy posuwisto-zwrotne powodując tym stały ruch i dobre mieszanie palących się odpadków [2,28,44,46,52]. Na tym ruszcie zachodzą wszystkie fazy procesu spalania. Taka konstrukcja rusztu pozwala na budowę kotłów o różnej wydajności drogą zwiększania szerokości rusztu. System ten zapewnia pełne spalanie odpadków o niskiej wartości opałowej wynoszącej nawet 800 kcal/kg (3349 kJ/kg) i wilgotności 55% bez dodatkowego paliwa wysokokalorycznego. W procesie spalania odpadki przebywają przeciętnie trzykrotną drogę wzdłuż komory spalania, co właśnie umożliwia pełne ich spalanie. Długi czas przebywania odpadków na ruszcie powoduje duże natężenie powierzchni rusztu wynoszące $600 \div 700$ kg/(m².h) [$0,166 \div 0,194$ kg/(m².s)] , co daje w konsekwencji wysoką warstwę paliwa. Gruba warstwa paliwa wymaga wysokiego sprężu wentylatora podmuchu ponad 300 mm H₂O (2941 N/m²) . Spaliny o temperaturze około 1000°C kierowane są do kotła, a następnie po schłodzeniu i oczyszczeniu przechodzą do komina. Żużel spada z rusztu do kąpielii wodnej i po wygaszeniu transportowany jest do bunkra magazynowego. Ruszty Martina zastosowano w około stu spalarniach odpadków w różnych krajach - głównie w Europie ,



Rys.nr.2.2-3 Przekrój spalarni w Monachium (system Martina)

1- ruszt powrotny (schodkowy).

- s y s t e m v o n R o l l

W systemie von Rolla palenisko (rys. nr 2.2.-4) składa się z następujących części [23,25,46,49,52,54,55]:

- - ruszt schodkowy ruchomy do suszenia odpadków,
- - ruszt schodkowy ruchomy do właściwego spalania,
- - "generator" żuźla.

"Generator" żuźla jest walcem z podstawą zanurzoną w wodzie.

Od dołu, bocznymi otworami włączana jest mieszanina pary wodnej i powietrza, służąca do całkowitego wypalenia żuźla.

W najnowszych systemach von Roll zamiast "generatora" żuźla

zastosowano trzeci krótki ruszt schodkowy. Temperatura

spalania wynosi $900 \div 1000^{\circ}\text{C}$. Spaliny z rusztu przechodzą

do kotła, skąd kierowane są do oczyszczenia a następnie do

komina. Żużel z "generatora" (względnie trzeciego rusztu dopalającego) spada do kanału wodnego, skąd przenośnik łańcuchowy

wybiera go i przenosi do pojemników. System von Roll

rozpowszechniony jest głównie w Szwajcarii, RFN i Japonii

(istnieje około 50 spalarni) ,

- s y s t e m K S G

Palenisko zastosowane w tym systemie (rys. nr 2.2.-5)

składa się z taśmowego rusztu suszenia, ustawionego pod

kątem $15 \div 20^{\circ}$ ($0,261 \div 0,348$ rad) do poziomemu oraz

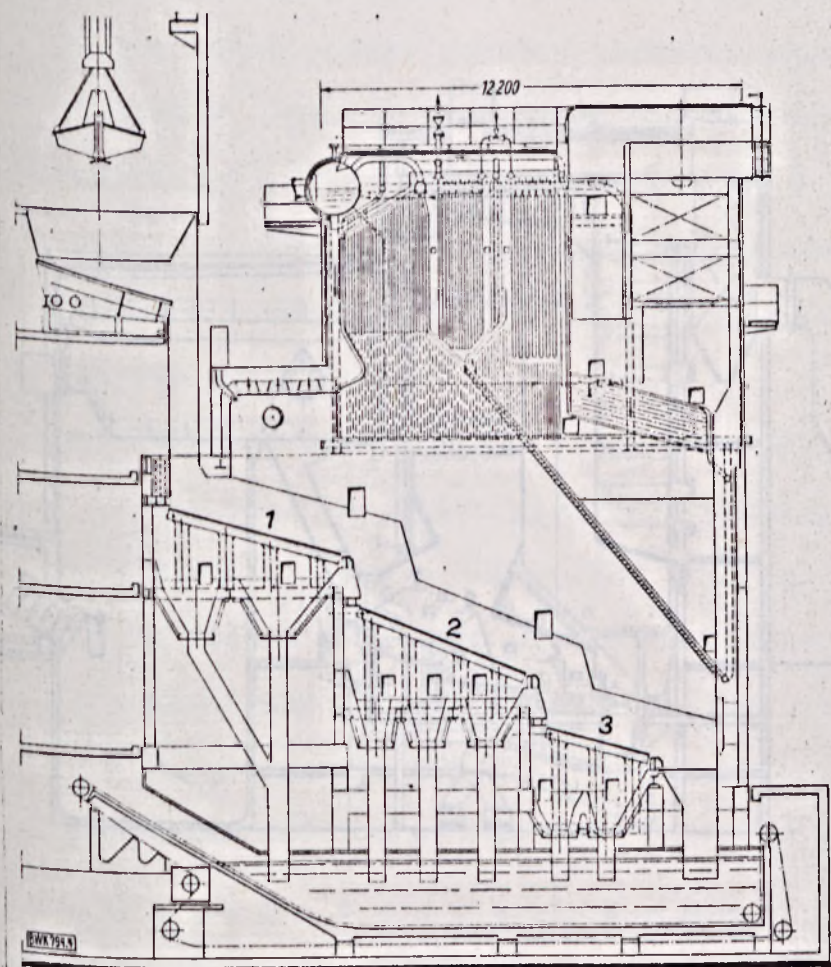
z zestawu trzech krótkich rusztów taśmowych usytuowanych

kaskadowo jeden nad drugim [31,33,52]. Napęd każdego rusztu

jest niezależny, o różnych szybkościach posuwu. Łączna

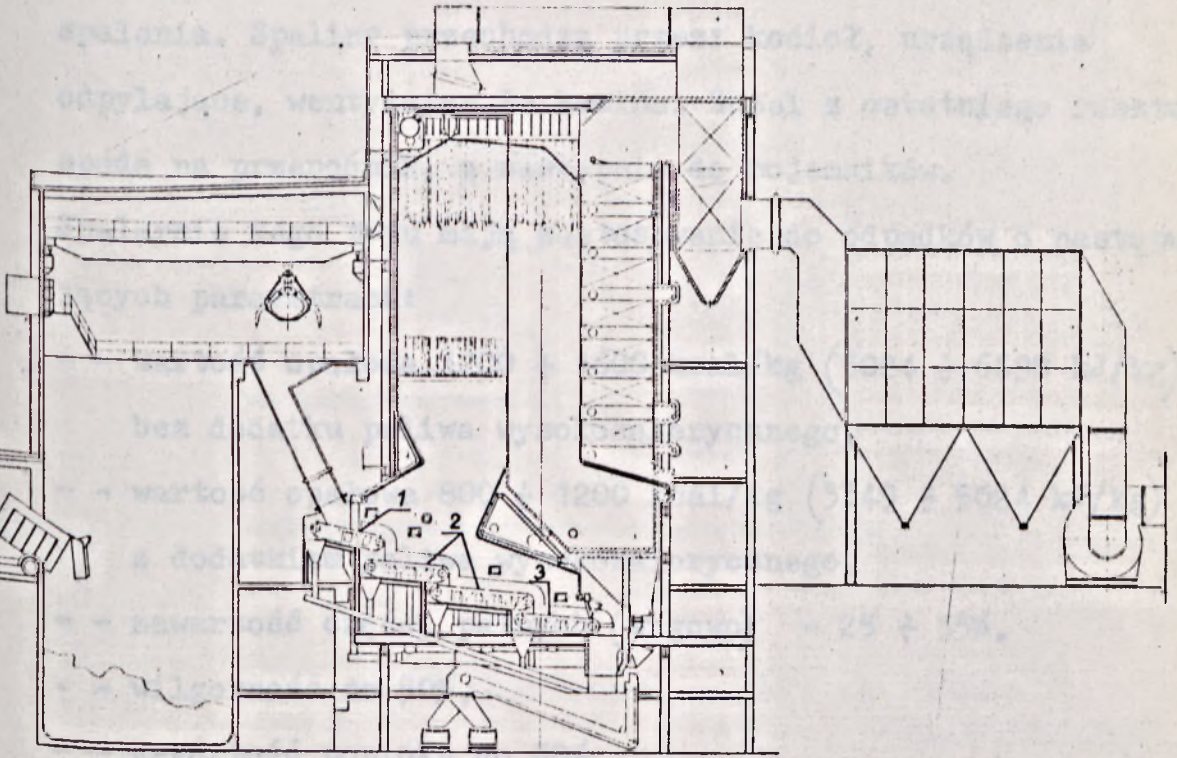
długość użyteczna rusztów wynosi około 11 m. Temperatura

spalania zawiera się w granicach $950 \div 1050^{\circ}\text{C}$.



Rys.nr. 2.2-4 Przekrój spalarni w Hamburgu. (system von Rolla.)

- 1. - ruszt suszenia
- 2. - ruszt spalania
- 3. - ruszt dopalania



Rys.nr. 2.2-5 Przekrój spalarni (system KSG)

- 1- ruszt suszenia
- 2- ruszty spalania
- 3- ruszt dopalania

Czas przebywania odpadków na rusztach powinien wynosić około 60 minut (3600 s) . Odpowiednie dobranie obciążenia i prędkości posuwu rusztów zapewnia prawidłowy przebieg spalania. Spaliny przechodzą przez: kocioł, urządzenia odpylające, wentylator do komina. Żużel z ostatniego rusztu spada na przenośnik, a następnie do pojemników.

Spalarnie tego typu mają zastosowanie do odpadków o następujących parametrach:

- - wartość opałowa $1200 \div 1600$ kcal/kg ($5024 \div 6698$ kJ/kg) bez dodatku paliwa wysokokalorycznego,
 - - wartość opałowa $800 \div 1200$ kcal/kg ($3349 \div 5024$ kJ/kg) z dodatkiem paliwa wysokokalorycznego,
 - - zawartość części palnych (wagowo) - $25 \div 35\%$,
 - - wilgotność do 50% ,
 - - zawartość popiołu do 50% ,
- s y s t e m " D ü s s e l d o r f "

Podstawą konstrukcji paleniska (rys. nr 2.2.-6) jest zestaw rusztów walcowych (6 walców) ustawionych w szeregu pochyłym pod kątem 30° ($0,523$ rad) do poziomu $[15,46,52]$.

Każdy walec może obracać się niezależnie z różną od innych walców prędkością, regulowaną w dość szerokim zakresie

$[0,5 \div 5$ obr/godz tj. $(22 \div 220) \cdot 10^{-6}$ rad/s]. Powietrze

doprowadzone jest oddzielnie do każdego walca, co zapewnia

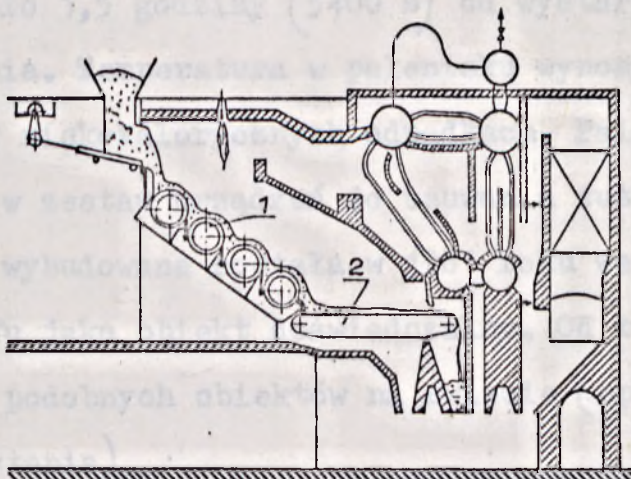
dużą elastyczność regulacji jego dopływu do różnych faz

spalania oraz dobre chłodzenie zabezpieczające przed prze-

paleniem rusztu. Nad rusztem znajduje się specjalne skle-

pienie murowane, zapewniające przechodzenie spalin nad

warstwą odpadków w kierunku przeciwnym do przemieszczenia się



Rys. nr. 2.2-6 Przekrój kotła spalarni we Flingern
(system Düsseldorf)

- 1 - ruszt suszenia i spalania
- 2 - ruszt dopalania

tej warstwy. Paleniska tego systemu nadają się do spalania odpadków już przy ich wartości opałowej równej 800 kcal/kg (3349 kJ/kg). Czas przebywania odpadków na ruszcie walcowym trwa średnio 1,5 godziny (5400 s) co wystarcza do pełnego ich spalania. Temperatura w palenisku wynosi $900 \div 1000^{\circ}\text{C}$ nawet przy niskokalorycznych odpadkach. Palenisko wyposażone jest w zestaw urządzeń do usuwania żużla. Pierwsza spalarnia wybudowana została w 1961 roku we Flingern koło Düsseldorfu jako obiekt doświadczalny. Od tego czasu wybudowano 30 podobnych obiektów na świecie (np. Japonia, Wielka Brytania) ,

- s y s t e m a m e r y k a ń s k i

Palenisko tego typu [52] posiada dwa ruszty taśmowe:

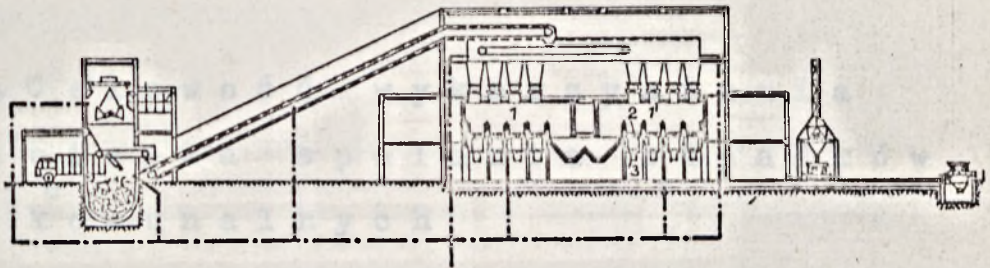
- - krótki ruszt (4 \div 5 m) suszenia ustawiony pod kątem 25° (0,436 rad) do poziomu,
- - długi ruszt (około 12 m) właściwego spalania i dopalania odpadków ustawiony poziomo

Napęd obu rusztów jest niezależny, a szybkość posuwu rusztu regulowana. Powietrze jest doprowadzone od dołu rusztu przy czym pod rusztem suszenia są trzy strefy podmuchu, a pod rusztem spalania dziesięć stref. Paleniska tego typu nadają się do odpadków wysokokalorycznych ($2000 \div 3000$ kcal/kg tj. $8373 \div 12560$ kJ/kg) jakie istnieją w USA. Ten system spalania jest zbliżony do systemu KSG przy czym przez zastosowanie w KSG trzech rusztów spalania usytuowanych kaskadowo można spalać odpadki gorsze kalorycznie ,

- s y s t e m H e e n a n - F r e u d e

System ten [52,56] jest bardzo rozpowszechniony w Wielkiej Brytanii i częściowo w RFN. Podstawą spalarni są piece komorowe (rys. nr 2.2.-7.) . Piec składa się z kilku komór odgrodzonych od siebie niskimi przegrodami. Każda komora posiada ruszty górny i dolny przesuwane poziomo za pomocą mechanizmu hydraulicznego. Odpadki podawane są na górny ruszt, gdzie następuje zapłon i spalanie. Po przesunięciu rusztu górnego w kierunku poziomym płonąca masa spada na dolny ruszt, gdzie następuje ostateczne dopalenie. Po przesunięciu poziomym dolnego rusztu żużel chłodzony jest parą wodną. Spaliny w komorze przepływają nad świeżo załadowanymi odpadkami celem ich ogrzania i osuszenia. Pojedyncza komora spala do 1 tony (1000 kg) odpadków w czasie jednej godziny. Duża bezwładność cieplna komór wykonanych z ogniotrwałego materiału niweluje skutki nierównomiernego wydzielania się ciepła. Z uwagi na prostą budowę system ten charakteryzuje się niskimi kosztami inwestycyjnymi i remontowymi. W kotłach spalających odpadki systemem Heenan-Freude nie ma odzysku ciepła. W ostatnich latach wybudowano w Wielkiej Brytanii około 35 spalarni tego typu.

Przedstawione systemy spalania odpadków komunalnych są stosowane w różnych krajach zależnie od parametrów spalanych odpadków. Systemy: "Düsseldorf, Martina i von Roll są najbardziej elastyczne, gdyż mogą spalać odpadki o różnej wartości opałowej począwszy od 800 kcal/kg (3349 kJ/kg) . Odznaczają się one prostą konstrukcją i pozwalają na odzysk ciepła



Rys.nr. 2.2-7 Przekrój spalarni (system Heenan - Freude)

- 1 - piece komorowe
- 2 - ruszt górny
- 3 - ruszt dolny

spalania. Według specjalistów RFN [52] rozwój techniki spalania odpadków komunalnych zmierza do powszechnego stosowania rusztów walcowych, zaś stosowanie innych rusztów ograniczy się do przypadków specjalnych. Opinia ta jest dyskusyjna i trudno jest w chwili obecnej określić kierunki jakie przyjmie dalszy rozwój stale ulepszanych rozwiązań konstrukcyjnych.

2.2.3. Celowość wykorzystania ciepła spalania odpadków komunalnych

Obecny kryzys paliwowo-energetyczny wpłynął na zainteresowanie i zwiększenie wykorzystania wszelkiego rodzaju źródeł ciepła będących do dyspozycji w przyrodzie. Z tego względu również ciepło powstałe z unieszkodliwiania odpadków komunalnych na drodze spalania winno być wykorzystane. W ostatnich latach w odpadkach komunalnych znacznie wzrasta zawartość części palnych, zaś maleje ilość popiołu i odpadków kuchennych.

Przykładowo w Glasgow: w latach 1950 ÷ 1968 średnia zawartość papieru w odpadkach decydująca o ich wartości opałowej wzrosła z 11 do 32% [48], średnia zawartość popiołu po spalaniu odpadków w latach 1950 ÷ 1964 zmniejszyła się z 71 do 53% [48], zaś średnia zawartość odpadków kuchennych w 1964 roku wynosiła 14% [48].

Zawartość papieru w odpadkach komunalnych [48] wynosiła:

- we Francji 40%,
- w RFN 40 ÷ 50%,
- w Wielkiej Brytanii 25 ÷ 30%,
- w Szwecji 65%,
- w Norwegii latem 57% zimą 24%,
- w Szwajcarii 40 ÷ 50%,
- w Stanach Zjednoczonych 42%,
- w Kanadzie 70%.

Przedstawiona tendencja zmian podnosi wartość odpadków komunalnych jako paliwa. Prognozy oparte na zmianach w ostatnich latach przewidują w przyszłości dalszy wzrost wartości opałowej odpadków. Obecnie maksymalna wartość opałowa odpadków komunalnych w Szwajcarii i USA wynosi około 3000 kcal/kg (12560 kJ/kg) [37,52] czyli podobnie jak węgla brunatnego. W krajach Europy Zachodniej ciepło powstałe w wyniku spalania odpadków ze względu na całoroczne zapotrzebowanie wykorzystane jest do wytwarzania pary dla turbin bądź potrzeb technologicznych w przemyśle [22,29]. W Polsce ze względu na rozwinięte układy ciepłownicze w miastach oraz inne względy omówione w punktach 3.1., 3.2., 4.1. niniejszej pracy autor proponuje ciepło spalania odpadków wykorzystać do produkcji centralnej ciepłej wody użytkowej w miastach.

2.2.4. Współpraca spalarni odpadków z układem ciepłowniczym aglomeracji miejskiej

Spalarnia odpadków i współpracujące z nią źródła ciepła winny być źródłami podstawowymi dostarczającymi ciepło w ciągu całego roku. Podyktowane to jest całoroczną dostawą odpadków komunalnych. Istnieje szereg możliwości lokalizacji spalarni odpadków komunalnych w stosunku do układu ciepłowniczego aglomeracji miejskiej. Rozpatrywać można następujące lokalizacje spalarni odpadków:

- lokalizacja przy elektrociepłowni,
- lokalizacja przy ciepłowni,
- lokalizacja jako obiekt samodzielny.

Lokalizacja spalarni odpadków przy elektrociepłowni polegałaby na dobudowaniu kotłów spalających odpadki komunalne do istniejącej (projektowanej) elektrociepłowni lub usytuowanie tych kotłów obok elektrociepłowni. Pozwoliłoby to znacznie obniżyć nakłady inwestycyjne związane z budową osobnych urządzeń a mianowicie:

- wysokiego komina,
- stacji uzdatniania wody,
- ujęcia wody i pompowni,
- urządzeń odpylających.

Wymienione wyżej urządzenia mogłyby być użytkowane wspólnie przez spalarnię odpadków i elektrociepłownię. Spalarnia odpadków współpracująca z elektrociepłownią dostarczałaby

ciepło do wstępnego podgrzewu wody sieciowej w okresie całego roku.

W lokalizacji spalarni przy ciepłowni wykorzystanie wspólnych urządzeń może być takie same jak w lokalizacji przy elektrociepłowni natomiast inna jest współpraca w zakresie gospodarki cieplnej. Woda powrotna z sieci ciepłowniczej winna przepływać przez kotły opalane odpadkami komunalnymi, a następnie przez kotły opalane paliwem tradycyjnym podgrzewając się w nich do żądanej temperatury.

Lokalizacja spalarni odpadków jako samodzielnego źródła ciepła współpracującego za pośrednictwem sieci cieplnej z innymi źródłami ze względu na regulację może sprawić wiele trudności technicznych. Z powodu znacznych zmian zapotrzebowania ciepła dla celów ciepłowniczych i nieznacznie zmienną ilość produkowanego ciepła w spalarni odpadków współpraca samodzielnej spalarni z układem ciepłowniczym miast może okazać się bardzo trudna do realizacji i eksploatacji (użycie paliw dodatkowych) lub nawet niemożliwa i nieopłacalna. W dalszej analizie rozpatrywano tylko układ lokalizacji przy ciepłowni jako mający ewentualnie najszersze zastosowanie w różnej wielkości aglomeracji miejskiej.

3. PODSTAWY TEORETYCZNE I OBLICZENIA ZWIĄZANE Z WYKORZYSTANIEM CIEPŁA SPALANIA ODPADKÓW KOMUNALNYCH

3.1. A n a l i z a e n e r g e t y c z n a w y k o r z y s t a n i a c i e p ł a s p a l a n i a o d p a d k ó w k o m u n a l n y c h

Dla określenia optymalnego wykorzystania ciepła spalania odpadków komunalnych dla celów ciepłowniczych przeprowadzono analizę strat cieplnych kotła. W analizie tej wzięto pod uwagę wytwarzanie następujących czynników najczęściej stosowanych w ciepłownictwie:

- para nasycona o ciśnieniu 11 ata; $107,87 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$,
i temperaturze 183°C ,
- woda o parametrach $150/70^\circ\text{C}$,
- woda o parametrach $70/35^\circ\text{C}$.

Na wielkość strat energetycznych kotła S_c % składają się następujące straty [28]:

- strata popielnikowa,
- strata przesypu,
- strata wskutek niezupełnego spalania,
- strata w żużlu,
- strata w lotnym koksiku i sadzy,
- strata odmulania i odsalania,
- strata kominowa,
- straty pozostałe (tzw. straty rozproszenia wskutek promieniowania i konwekcji)

W czasie wytwarzania w/w czynników grzejnych przebiegi procesów spalania odpadków w kotle będą zbliżone do siebie. Z powyższego względu oraz z uwagi na charakter porównawczy bilansów cieplnych kotła, wszystkie straty cieplne S_p % oprócz straty kominowej S_k % przyjęto jako stałe, niezależnie od parametrów produkowanego czynnika. Dla parametrów czynnika grzejnego jak w założeniach niniejszego punktu, temperatura spalin opuszczających kocioł (według katalogu [24] i opracowania [43]) odpowiednio do ich wysokości wynosi: 300, 200, 150°C.

Do obliczeń przyjęto odpadki komunalne jako paliwo o składzie elementarnym według punktu 2.1.9.

3.1.1. S t r a t y c i e p l n e k o t ł a
o p a l a n e g o o d p a d k a m i
w y t w a r z a j ą c e g o p a r ę
n a s y c o n ą o c i ś n i e n i u
11 a t a ; $107,87 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$

Sprawność cieplna kotłów η_{183}^o spalarni odpadków wytwarzających parę nasyconą przyjęto 60% [16,22,41]. Przy tej sprawności całkowite straty cieplne S_{c1} kotła wynoszą 40%.

Stratę kominową S_k obliczono z wzoru Siegerta [28]

$$S_k = k_r \frac{t_{sp} - t_o}{b} \quad \%$$

t_{sp} - temperatura spalin, $^{\circ}C$,

t_o - temperatura otoczenia, $^{\circ}C$,

λ - współczynnik nadmiaru powietrza,

b - procentowa zawartość dwutlenku węgla obliczona ze wzoru [28]: $b = \frac{21}{\lambda} \%$,

k_r - współczynnik - przy wartości b i wilgotności w można określić z wykresu [28]

$$S_{k_1} = 0,97 \cdot \frac{300 - 12}{14} = 20\%$$

$$t_{sp} = 300^{\circ}C$$

$$t_o = 12^{\circ}C$$

$$\lambda = 1,5$$

$$b = 14\%$$

$$k_r = 0,97$$

Straty ciepłe kotła z wyjątkiem straty kominowej S_p wyniosą w tym wypadku 20%, które według założeń punktu 3.1. przyjęto jako stałe.

3.1.2. S t r a t y c i e p l n e k o t ł a
o p a l a n e g o o d p a d k a m i
w y t w a r z a j ą c e g o w o d ę
o p a r a m e t r a c h 150/70 $^{\circ}C$

Temperatura t_{sp} spalin przy produkcji tego czynnika [24] wynosi 200 $^{\circ}C$.

Strata kominowa:

$$S_{k_2} = 0,97 \frac{200 - 12}{14} = 13\%$$

Całkowite straty kotła:

$$S_{c_2} = S_p + S_{k_2} = 20 + 13 = 33\%$$

Sprawność cieplna kotłów:

$$\eta_{150}^{\circ} = 100 - S_{c_2} = 100 - 33 = 67\%$$

3.1.3. Straty cieplne kotła
opalanego odpadkami
wytwarzającego wodę
o parametrach 70/35°C

Temperatura spalin t_{sp} przy produkcji tego czynnika [43]
wynosi 150°C.

Strata kominowa:

$$S_{k_3} = 0,97 \frac{150 - 12}{14} = 9,5\%$$

Całkowite straty kotła:

$$S_{c_3} = S_p + S_{k_3} = 20 + 9,5 = 29,5\%$$

Sprawność cieplna kotłów :

$$\eta_{70}^{\circ} = 100 - S_c = 100 - 29,5 = 70,5\%$$

3.1.4. Sprawności cieplne kotłów

Obliczone sprawności cieplne kotłów opalanych odpadkami komunalnymi wytwarzających czynnik grzejny o parametrach jak w założeniach wynoszą:

$$\eta_{183}^{\circ} = 60\% ; \quad \eta_{150}^{\circ} = 67\% ; \quad \eta_{70}^{\circ} = 70,5\%$$

Różnice sprawności η_{150}° i η_{70}° w stosunku do η_{183}°

wynoszą:

$$\Delta \eta_1^{\circ} = \eta_{150}^{\circ} - \eta_{183}^{\circ} = 67 - 60 = 7\%$$

$$\Delta \eta_2^{\circ} = \eta_{70}^{\circ} - \eta_{183}^{\circ} = 70,5 - 60 = 10,5\%$$

Różnica sprawności η_{70}° w stosunku do η_{150}° wynosi:

$$\Delta \eta_3^{\circ} = \eta_{70}^{\circ} - \eta_{150}^{\circ} = 70,5 - 67 = 3,5\%$$

Na podstawie powyższych różnic sprawności kotła można stwierdzić, że wraz z obniżeniem parametrów czynnika grzejnego sprawność kotła znacznie wzrasta.

3.2. Analiza egzergetyczna wykorzystania ciepła spalania odpadków komunalnych

W celu określenia optymalnego wykorzystania ciepła spalania odpadków komunalnych przeprowadzono bilans egzergetyczny kotła. Obliczenia tego bilansu wykonano biorąc pod uwagę wytwarzanie czynników grzejnych jak w punkcie 3.1. przy wykorzystaniu następujących założeń ogólnych:

- ilość odpadków komunalnych $B_{\text{odp}} = 1 \text{ kg}$,
- ciśnienie powietrza w otoczeniu $p_o = 1 \text{ at}; 9,806 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$,
- temperatura powietrza w otoczeniu $t_o = 12^\circ\text{C}; T_o = 285,15 \text{ K}$,
- wilgotność powietrza w otoczeniu [53] $\varphi = 70\%$,
- udziały składników powietrza w otoczeniu [17]:
 - - azot $k_{\text{N}_2} = 75,35\%$,
 - - tlen $k_{\text{O}_2} = 23,10\%$,
 - - para wodna $k_{\text{H}_2\text{O}} = 1,5\%$,
 - - dwutlenek węgla $k_{\text{CO}_2} = 0,05\%$,
- wartość opałowa odpadków komunalnych W_u^o - jak w punkcie 2.1.9.,
- skład elementarny odpadków komunalnych: c, h, o, n, w, s jak w punkcie 2.1.9. ,
- współczynnik nadmiaru powietrza λ - jak w punkcie 3.1. ,
- ciśnienie spalin $p = 1 \text{ at}; 9,806 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$,
- ciepło właściwe żużła wg prac [23,28] $c_z = 0,2 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
 $0,837 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,
- temperatura żużła wg pracy [28] $t_z = 500^\circ\text{C}; T_z = 773,15 \text{ K}$.

Ze względu na porównawczy charakter przeprowadzonych bilansów egzergetycznych pominięto straty: popielnikową, przesypu, niezupełnego spalania, lotnego koksiku i sadzy, odmulania i odsalania, rozproszenia wskutek promieniowania i konwekcji jako małe i we wszystkich rozpatrywanych wypadkach o zbliżonych wielkościach.

3.2.1. B i l a n s e g z e r g e t y c z n y k o t ł a
w y t w a r z a j ą c e g o w o d ę
o p a r a m e t r a c h $70/35^{\circ}\text{C}$ o p a l a n e g o
o d p a d k a m i k o m u n a l n y m i

3.2.1.1. E g z e r g i a o d p a d k ó w
k o m u n a l n y c h j a k o p a l i w a

Obliczenia wykonano przy wykorzystaniu założeń ogólnych punktu 3.2. i pracy [53]

$$\Delta b_n^o = (W_u^o + r \cdot w) \left(1,0438 + 0,1882 \frac{h}{c} + 0,0610 \frac{o}{c} + 0,0404 \frac{n}{c} \right) + (b_{ns} - W_{us}) s \quad \text{kcal/kg, kJ/kg}$$

Δb_n^o - normalna egzergia chemiczna odniesiona do 1 kg odpadków, kcal/kg, kJ/kg,

r - entalpia parowania wody, kcal/kg, kJ/kg,

$(b_{ns} - W_{us})$ - różnica normalnej egzergii chemicznej i wartości opałowej pierwiastka siarki, kcal/kg, kJ/kg

Do obliczeń według [42,53] przyjęto:

$$(b_{ns} - W_{us}) = 2319 \text{ kcal/kg}; \quad 9710 \text{ kJ/kg}$$

$$r = 539,1 \text{ kcal/kg}; \quad 2257,1 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \Delta b_n^0 &= (1430 + 539,1 \cdot 0,39) \left(1,0438 + 0,1882 \frac{2,45}{15,5} + 0,0610 \frac{8,85}{15,5} + \right. \\ &\quad \left. + 0,0404 \frac{0,58}{15,5} \right) + 2319 \cdot 0,0122 = 1848,64 \text{ kcal/kg}; \\ &\quad \quad \quad 7739,88 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$b_n^0 = B_{odp} \cdot \Delta b_n^0 \quad \text{kcal}, \quad \text{kJ}$$

$$b_n^0 = 1 \cdot 1848,64 = 1848,64 \text{ kcal}; \quad 7739,88 \text{ kJ}$$

3.2.1.2. Egzergia żuźla i popiołu

Egzergię termiczną żuźla i popiołu obliczono przy wykorzystaniu założeń punktu 3.2. i pracy [53]

$$\Delta S_{\dot{z}} = c_{\dot{z}} (T_{\dot{z}} - T_0) - T_0 \cdot c_{\dot{z}} \ln \frac{T_{\dot{z}}}{T_0} \quad \text{kcal/kg}; \quad \text{kJ/kg}$$

$\Delta S_{\dot{z}}$ - egzergia właściwa żuźla i popiołu, kcal/kg, kJ/kg

$$\begin{aligned} \Delta S_{\dot{z}} &= 0,2(773,15 - 285,15) - 285,15 \cdot 0,2 \cdot 2,303 \lg \frac{773,15}{285,15} = \\ &= 40,73 \text{ kcal/kg}; \quad 170,52 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Ilość żuźla i popiołu po spaleniu 1 kg odpadków wynosi wg punktu 2.1.9.:

$$A = 0,324 \text{ kg}$$

Egzergia żużla i popiołu odniesiona do 1 kg odpadków

$$S_{\dot{z}} = A \cdot \Delta S_{\dot{z}} \quad \text{kcal, kJ}$$

$S_{\dot{z}}$ - egzergia żużla i popiołu odniesiona do 1 kg odpadków, kcal, kJ

$$S_{\dot{z}} = 0,324 \cdot 40,73 = 13,19 \text{ kcal}; 55,22 \text{ kJ}$$

3.2.1.3. Egzergia czynnika wytworzonego w kotle - woda o parametrach 70/35°C

Obliczenia wykonano przy uwzględnieniu założeń punktu 3.2.
i wykorzystaniu tablic [42].

Ilość wytworzonego czynnika w kotle:

$$B_{\text{odp}} \cdot W_u^0 \cdot \eta_{70}^0 = x_{\text{wn}} (i_{70} - i_{35})$$

x_{wn} - ilość wytworzonego czynnika w kotle, kg

η_{70}^0 - sprawność kotła, %

i_{70} - entalpia czynnika wytworzonego w kotle o temperaturze
70°C, kcal/kg, kJ/kg,

i_{35} - entalpia czynnika powracającego do kotła o temperaturze
35°C, kcal/kg, kJ/kg

$$1 \cdot 1430 \cdot 0,7 = x_{\text{wn}} (69,98 - 35,01)$$

$$x_{\text{wn}} = 28,62 \text{ kg}$$

$$i_{70} = 69,98 \text{ kcal/kg}; \quad 292,92 \text{ kJ/kg}$$

$$i_{35} = 35,01 \text{ kcal/kg}; \quad 146,58 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{70}^0 = 0,70 \text{ wg punktu 3.1.}$$

Egzergia właściwa wytworzonego czynnika według pracy [53]

$$\Delta b_{\text{twn}} = i_{70} - i_{35} - T_0 (S_{70} - S_{35}) \quad \text{kcal/kg}; \quad \text{kJ/kg}$$

Δb_{twn} - egzergia wytworzonego czynnika w kotle (woda 70/35°C) w odniesieniu do 1 kg, kcal/kg, kJ/kg

S_{70} - entropia czynnika wytworzonego w kotle o temperaturze 70°C, kcal/(kg · K), kJ/(kg · K)

S_{35} - entropia czynnika powracającego do kotła o temperaturze 35°C, kcal/(kg · K), kJ/(kg · K)

$$\begin{aligned} \Delta b_{\text{twn}} &= 69,98 - 35,01 - 285,15(0,2281 - 0,1206) = \\ &= 4,32 \text{ kcal/kg}; \quad 18,08 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$S_{70} = 0,2281 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot \text{K}) ; \quad 0,9550 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$S_{35} = 0,1206 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot \text{K}) ; \quad 0,5050 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

Egzergia czynnika wytworzonego z 1 kg odpadków

$$b_{\text{twn}} = x_{\text{wn}} \cdot \Delta b_{\text{twn}} \quad \text{kcal}, \quad \text{kJ}$$

b_{twn} - egzergia czynnika wytworzonego w kotle z 1 kg odpadków, kcal, kJ

$$b_{\text{twn}} = 28,62 \cdot 4,32 = 123,63 \text{ kcal}; \quad 517,61 \text{ kJ}$$

3.2.1.4. Energia spalin

3.2.1.4.1. Ilości składników spalin

Obliczenia wykonano przy wykorzystaniu założeń ogólnych punktu 3.2., tablic [42] i pracy [27] w odniesieniu do 1 kg odpadków jako paliwa.

Ilość azotu

$$V_{N_2} = \lambda \cdot 0,79 \cdot 8,9 \left[c + 3 \left(h - \frac{0}{8} \right) + \frac{3}{8} s \right] \text{ Nm}^3$$

V_{N_2} - objętość azotu w spalinach w odniesieniu do 1 kg odpadków, Nm^3

$$G_{N_2} = \gamma_{N_2} \cdot V_{N_2} \text{ kg}$$

G_{N_2} - ciężar azotu w spalinach w odniesieniu do 1 kg odpadków, kg

γ_{N_2} - ciężar właściwy azotu, kg/Nm^3

$$\begin{aligned} V_{N_2} &= 1,5 \cdot 0,79 \cdot 8,9 \left[0,155 + 3 \left(0,245 - \frac{0,0855}{8} \right) + \frac{3}{8} \cdot 0,0122 \right] = \\ &= 2,119 \text{ Nm}^3 \end{aligned}$$

$$G_{N_2} = 2,119 \cdot 1,245 = 2,61 \text{ kg}$$

$$\gamma_{N_2} = 1,245 \text{ kg}/\text{Nm}^3$$

Zawartość azotu w odpadkach wynosi 0,58% (wg punktu 2.1.9.)

Jest to wielkość znikoma i do dalszych obliczeń przyjęto ilość azotu w spalinach równą 2,61 kg z 1 kg odpadków.

Ilość tlenu

$$V_{O_2} = (\lambda - 1) 0,21 \cdot 8,9 \left[c + 3 \left(h - \frac{0}{8} \right) + \frac{3}{8} s \right] \cdot Nm^3$$

$$G_{O_2} = \gamma_{O_2} \cdot V_{O_2} \quad kg$$

V_{O_2} - objętość tlenu w spalinach w odniesieniu do 1 kg odpadków, Nm^3

G_{O_2} - ciężar tlenu w spalinach w odniesieniu do 1 kg odpadków, kg

γ_{O_2} - ciężar właściwy tlenu, kg/Nm^3

$$V_{O_2} = (1,5 - 1) 0,21 \cdot 8,9 \left[0,155 + 3 \left(0,0245 - \frac{0,0855}{8} \right) + \frac{3}{8} \cdot 0,0122 \right] = 0,187 \quad Nm^3$$

$$G_{O_2} = 0,187 \cdot 1,42 = 0,266 \quad kg$$

$$\gamma_{O_2} = 1,42 \quad kg/Nm^3$$

Do dalszych obliczeń przyjęto ilość tlenu równą 0,266 kg

Ilość pary wodnej

$$V'_{H_2O} = 1,245 (9h + w) \quad Nm^3/kg$$

$$G'_{H_2O} = \gamma_{H_2O} \cdot V'_{H_2O} \quad kg$$

V'_{H_2O} - objętość wilgoci w spalinach powstałej ze spalania odpadków w odniesieniu do 1 kg paliwa, Nm^3

G'_{H_2O} - ciężar wilgoci w spalinach powstałej ze spalania odpadków w odniesieniu do 1 kg paliwa, kg

γ_{H_2O} - ciężar właściwy wody, kg/Nm^3

$$V'_{H_2O} = 1,245(9 \cdot 0,245 + 0,39) = 0,76 \text{ Nm}^3$$

$$G'_{H_2O} = 0,802 \cdot 0,76 = 0,623 \text{ kg}$$

$$L_{tm} = \lambda \frac{1}{0,231} \left(\frac{8}{3} c + 8h - o + s \right) \text{ kg}$$

$$G''_{H_2O} = k_{H_2O} \cdot L_{tm} \text{ kg}$$

L_{tm} - zapotrzebowanie powietrza dla spalania 1 kg odpadków, kg

G''_{H_2O} - zawartość wody w doprowadzonym powietrzu dla spalania 1 kg odpadków, kg

k_{H_2O} - udział wilgoci w powietrzu, %

$$L_{tm} = 1,5 \cdot \frac{1}{0,231} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,155 + 8 \cdot 0,245 - 0,0885 + 0,0122 \right) = 3,45 \text{ kg}$$

$$G''_{H_2O} = 0,015 \cdot 3,45 = 0,052 \text{ kg}$$

$$G_{H_2O} = G'_{H_2O} + G''_{H_2O} \text{ kg}$$

G_{H_2O} - całkowita zawartość wilgoci w spalinach w odniesieniu do 1 kg odpadków, kg

$$G_{H_2O} = 0,623 + 0,052 = 0,675 \text{ kg}$$

Ilość dwutlenku węgla

$$V'_{CO_2} = 1,876 \text{ c}$$

$$G'_{CO_2} = \gamma_{CO_2} \cdot V'_{CO_2} \text{ kg}$$

V'_{CO_2} - objętość dwutlenku węgla w spalinach w odniesieniu do 1 kg odpadków, Nm^3

G'_{CO_2} - ciężar dwutlenku węgla w spalinach w odniesieniu do 1 kg odpadków, kg

γ_{CO_2} - ciężar właściwy dwutlenku węgla, kg/Nm^3

$$V'_{CO_2} = 1,867 \cdot 0,155 = 0,29 \quad Nm^3$$

$$G'_{CO_2} = 1,867 \cdot 1,96 = 0,568 \quad kg$$

$$G''_{CO_2} = k_{CO_2} \cdot L_{tm} \quad kg$$

G''_{CO_2} - zawartość dwutlenku węgla w doprowadzonym powietrzu dla spalenia 1 kg odpadków, kg

k_{CO_2} - udział dwutlenku węgla w powietrzu, %

$$G''_{CO_2} = 0,0005 \cdot 3,45 = 0,002 \quad kg$$

$$G_{CO_2} = G'_{CO_2} + G''_{CO_2} \quad kg$$

G_{CO_2} - całkowita zawartość dwutlenku węgla w spalinach w odniesieniu do 1 kg odpadków, kg

$$G_{CO_2} = 0,568 + 0,002 = 0,570 \quad kg$$

3.2.1.4.2. Obliczenie energii spalin z 1 kg odpadków

Spaliny potraktowano w tej pracy jako gaz półdoskonały.

Przy tym założeniu, każdy ze składników spalin można ująć

we wzorze oddzielnie, co pozwoli na przeprowadzenie obliczeń w formie tabelarycznej. Wzór odniesiony do całej ilości spalin wg pracy [53] przyjmuje wtedy postać:

$$B_t = \sum_i \left(G_i \Delta i_i \Big|_{T_0}^T - T_0 G_i \Delta S_{pi} \Big|_{T_0}^T + T_0 R_i \ln \frac{z_i p}{p_{oi}} \right)$$

B_t - egzergia spalin powstałych z 1 kg odpadków, kcal, kJ

G_i - ilość substancji składnika spalin, kg

$\Delta i_i \Big|_{T_0}^T$ - nadwyżka właściwej entalpii w zakresie od temperatury otoczenia do temperatury spalin, kcal/kg, kJ/kg

$\Delta S_{pi} \Big|_{T_0}^T$ - izobaryczna nadwyżka właściwej entropii w zakresie od temperatury otoczenia do temperatury spalin, kcal/(kg · K) , kJ/(kg · K)

R_i - stała gazowa składnika spalin kGm/(kg · K) , kJ/(kg · K)

$z_i p$ - ciśnienie składnikowe danego składnika w spalinach, at, N/m²

p_{oi} - ciśnienie składnikowe danego składnika w otoczeniu (powietrzu) , at, N/m²

Przeprowadzone obliczenia dla temperatury spalin 150°C wg punktu 3.1. przedstawiono w tabeli 3.2.-1.

3.2.1.5. Sprawność egzergetyczna kotła

$$\varepsilon_{wn}^o = \frac{b_{twn}}{b_n^o} \cdot 100 \quad \%$$

Tabela nr 3.2.-1

Zładnik	Ciśnienie		Nadwyżka entalpii		Izobaryczna nadwyżka entropii		Stęża gazowa R_i	Stosunek ciśnień $\frac{z_{i,p}}{P_{oi}}$	Logarytm stosunku ciśnień			
	składnikowe w spalinach $z_{i,p}$	nie składnikowe w otoczeniu P_{oi}	$\Delta i_i _{T_0}^T$	$G_i \Delta G_i _{T_0}^T$	$\Delta S_{pi} _{T_0}^T$	$G_i \Delta S_{pi} _{T_0}^T$			$\ln \frac{z_{i,p}}{P_{oi}}$	$G_i \ln \frac{z_{i,p}}{P_{oi}}$	$R_i G_i \ln \frac{z_{i,p}}{P_{oi}}$	
	kg	at	kcal/kg	kcal	kcal/kg	kcal/K	kGm/(kg.K)		kg	kGm/X		
N ₂	2,610	0,634	0,7807	34,350	89,650	0,0978	0,255	30,260	0,812	-0,205	-0,535	-16,189
O ₂	0,266	0,064	0,2090	30,720	8,170	0,0863	0,023	26,490	0,306	-1,184	-0,315	-8,344
H ₂ O	0,675	0,164	0,0100	643,000	434,020	1,777	1,199	47,660	16,400	2,798	1,888	89,982
CO ₂	0,570	0,138	0,0003	29,550	16,840	0,0836	0,047	19,250	460,000	6,140	3,499	67,355
				548,680	1,524							132,804

$$B_{tswm} = 548,680 - 285,15 \cdot 1,524 + \frac{1}{426} \cdot 285,15 \cdot 132,804 = 202,906 \text{ kcal}; \quad 849,526 \text{ kJ}$$

ε_{wn}° - sprawność egzergetyczna kotła wytwarzającego wodę
o parametrach 70/35^oC opalanego odpadkami komunalnymi, %

$$\varepsilon_{wn}^{\circ} = \frac{123,63}{1848,64} \cdot 100 = 6,69\%$$

3.2.2. Bilans egzergetyczny kotła
wytwarzającego wodę
o parametrach 150/70^oC opalanego
odpadkami komunalnymi

3.2.2.1. Egzergia odpadków komunalnych
jako paliwa

Wartość egzergii chemicznej odpadków komunalnych przyjęto
jak w punkcie 3.2.1.1.

3.2.2.2. Egzergia żużla i popiołu

Wartość egzergii termicznej żużla i popiołu przyjęto
jak w punkcie 3.2.1.2.

3.2.2.3. Egzergia czynnika
wytworzonego w kotle
woda o parametrach 150/70^oC

Obliczenie ilości wytworzonego czynnika dokonano
przy wykorzystaniu założeń ogólnych punktu 3.2., tablic [42]

$$B_{odp} W_u^{\circ} \cdot \eta_{150}^{\circ} = x_{ww} (i_{150} - i_{70})$$

x_{ww} - ilość wytworzonego czynnika w kotle, kg

η_{150}° - sprawność kotła, %

i_{150} - entalpia czynnika wytworzonego w kotle o temperaturze 150°C , kcal/kg, kJ/kg

i_{70} - entalpia czynnika powracającego do kotła o temperaturze 70°C , kcal/kg, kJ/kg

$$1 \cdot 1430 \cdot 0,67 = x_{ww}(151,0 - 69,98)$$

$$x_{ww} = 11,82 \text{ kg}$$

$$i_{150} = 151,0 \text{ kcal/kg}; 632,2 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{150}^{\circ} = 0,67 \text{ wg punktu 3.1.}$$

Egzergia właściwa wytworzonego czynnika

$$\Delta b_{tww} = i_{150} - i_{70} - T_o (s_{150} - s_{70})$$

Δb_{tww} - egzergia wytworzonego czynnika w kotle (woda $150/70^{\circ}\text{C}$) w odniesieniu do 1 kg, kcal/kg, kJ/kg

s_{150} - entropia czynnika wytworzonego w kotle o temperaturze 150°C , kcal/(kg · K), kJ/(kg · K)

s_{70} - entropia czynnika powracającego do kotła o temperaturze 70°C , kcal/(kg · K), kJ/(kg · K)

$$\begin{aligned} \Delta b_{tww} &= 151,0 - 69,98 - 285,15(0,4399 - 0,2281) = \\ &= 20,63 \text{ kcal/kg}; 86,37 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$s_{150} = 0,4399 \text{ kcal/(kg · K)}; 1,8418 \text{ kJ/(kg · K)}$$

Egzergia czynnika wytworzonego z 1 kg odpadków

$$b_{\text{tww}} = x_{\text{ww}} \cdot \Delta b_{\text{tww}} \quad \text{kcal, kJ}$$

b_{tww} - egzergia czynnika wytworzonego w kotle z 1 kg odpadków, kcal, kJ

$$b_{\text{tww}} = 11,82 \cdot 20,63 = 243,84 \text{ kcal}; \quad 1020,90 \text{ kJ}$$

3.2.2.4. Egzergia spalin

Obliczenia wykonano przy wykorzystaniu założeń ogólnych punktu 3.2. dla ilości i składu spalin jak w punkcie 3.2.1.4.1. w odniesieniu do 1 kg odpadków jako paliwa. Temperaturę spalin przyjęto 200°C według punktu 3.1. Przeprowadzone obliczenia według zależności z punktu 3.2.1.4.2. egzergii spalin przedstawiono w tabeli nr 3.2.-2.

3.2.2.5. Sprawność egzergetyczna kotła

$$\varepsilon_{\text{ww}}^{\circ} = \frac{b_{\text{tww}}}{b_{\text{n}}} \cdot 100 \quad \%$$

$\varepsilon_{\text{ww}}^{\circ}$ - sprawność egzergetyczna kotła wytwarzającego wodę o parametrach $150/70^{\circ}\text{C}$ opalanego odpadkami komunalnymi, %

$$\varepsilon_{\text{ww}}^{\circ} = \frac{243,84}{1848,64} \cdot 100 = 13,19\%$$

Tabela nr 3.2.-2.

Ilość substancji	Ciśnienie składnikowe w spal- linach	Ciśnienie skład- nikowe w oto- czeniu	Nadwyżka entalpii		Izobaryczna nadwyżka entropii		Staża gazowa	Stosunek ciśnien	Logarytm stosunku ciśnień	
			Δi_i	$G_i \Delta i_i$	ΔS_{pi}	$G_i \Delta S_{pi}$				R_i
G_i	$\frac{z_i p}{at}$	$\frac{p_{oi}}{at}$	kcal/kg	kcal	kcal/(kg·K)	kcal/K	kgm/(kg·K)	kg		kgm/K
N ₂	0,634	0,7807	46,860	122,304	0,1275	0,332	30,260	0,812	-0,205	-16,189
O ₂	0,064	0,2090	42,040	11,182	0,1133	0,030	26,490	0,306	-1,184	-8,344
H ₂ O	0,164	0,0100	674,600	455,355	1,8292	1,234	47,660	16,400	2,798	89,982
CO ₂	0,138	0,0003	41,190	23,478	0,1107	0,063	19,250	460,000	6,140	67,355
				612,319		1,659			3,500	132,804

$$B_{tsww} = 612,319 - 285,15 \cdot 1,659 + \frac{1}{426} \cdot 285,15 \cdot 132,804 = 228,150 \text{ kcal}; (955,218 \text{ kJ})$$

3.2.3. Bilans egzergetyczny kotła wytwarzającego parę nasyconą o ciśnieniu 11 ata; $107,87 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ opalanego odpadkami komunalnymi

3.2.3.1. Egzergia odpadków komunalnych jako paliwa

Wartość egzergii chemicznej odpadków komunalnych przyjęto jak w punkcie 3.2.1.1.

3.2.3.2. Egzergia żużla i popiołu

Wartość egzergii termicznej żużla i popiołu przyjęto jak w punkcie 3.2.1.2.

3.2.3.3. Egzergia czynnika wytworzonego w kotle - para nasycona o ciśnieniu 11 ata; $107,87 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ i temperaturze 183°C

Obliczenie ilości wytworzonego czynnika dokonano przy wykorzystaniu założeń ogólnych punktu 3.2. i tablic [42]

$$B_{\text{odp}} \cdot W_u^0 \cdot \eta_{183}^0 = x_p (i_{183} - i_{40})$$

x_p - ilość wytworzonego czynnika w kotle, kg

η_{183}^o - sprawność kotła

i_{183} - entalpia czynnika wytworzonego w kotle o ciśnieniu 11 ata; $107,87 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$, kcal/kg, kJ/kg

i_{40} - entalpia powracającego czynnika do kotła o temperaturze 40°C , kcal/kg, kJ/kg

$$1 \cdot 1430 \cdot 0,6 = x_p (664,0 - 40,01)$$

$$x_p = 1,37 \text{ kg}$$

$$i_{183} = 664,0 \text{ kcal/kg}; \quad 2780,03 \text{ kJ/kg}$$

$$i_{40} = 40,01 \text{ kcal/kg}; \quad 167,51 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{183}^o = 0,60 \text{ wg punktu 3.1.}$$

Egzergia właściwa wytworzonego czynnika

$$\Delta b_{tp} = i_{183} - i_{40} - T_o (s_{183} - s_{40})$$

Δb_{tp} - egzergia wytworzonego czynnika w kotle (para nasycona o ciśnieniu 11 ata; $107,87 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$) w odniesieniu do 1 kg, kcal/kg, kJ/kg

s_{183} - entropia czynnika wytworzonego w kotle o ciśnieniu 11 ata; $107,87 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$, kcal/(kg · K), kJ/(kg · K)

s_{40} - entropia czynnika powracającego do kotła o temperaturze 40°C , kcal/(kg · K), kJ/(kg · K)

$$\begin{aligned} \Delta b_{tp} &= 664,0 - 40,01 - 285,15(1,5674 - 0,1367) = \\ &= 216,03 \text{ kcal/kg}; \quad 904,47 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$S_{183} = 1,5674 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot \text{K}) ; 6,5624 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$S_{40} = 0,1367 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot \text{K}) ; 0,5723 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

Egzergia czynnika wytworzonego z 1 kg odpadków

$$b_{tp} = x_p \cdot \Delta b_{tp} \quad \text{kcal, kJ}$$

b_{tp} - egzergia czynnika wytworzonego w kotle z 1 kg odpadków

$$b_{tp} = 1,37 \cdot 216,03 = 295,96 \text{ kcal}; 1239,12 \text{ kJ}$$

3.2.3.4. Egzergia spalin

Obliczenia wykonano przy wykorzystaniu założeń ogólnych punktu 3.2. dla ilości i składu spalin jak w punkcie 3.2.1.4.1. w odniesieniu do 1 kg odpadków jako paliwa.

Temperaturę spalin przyjęto 300°C według punktu 3.1.

Przeprowadzone obliczenia według zależności z punktu 3.2.1.4.2. egzergii spalin przedstawiono w tabeli nr 3.2.-3

3.2.3.5. Sprawność egzergetyczna kotła

$$\varepsilon_p^o = \frac{b_{tp}}{b_n} \cdot 100 \quad \%$$

Tabela nr 3.2.-3.

Ilość subst G _i	Ciśnie- nie skład- nikowe w spa- linach z _{i p}	Ciśnie- nie skład- nikowe w oto- czeniu P _{oi}	Nadwyżka entalpii		Izobaryczna nadwyżka entropii		Staża gazowa R _i	Stosunek ciśnień $\frac{z_{i p}}{P_{oi}}$	Logarytm stosunku ciśnień $\ln \frac{z_{i p}}{P_{oi}}$	kg	kgm/K
			$\Delta i_i _{T_0}^T$	$G_i \Delta i_i _{T_0}^T$	$\Delta S_{pi} _{T_0}^T$	$G_i \Delta S_{pi} _{T_0}^T$					
kg	at	at	kcal/kg	kcal	kcal/(kg·K)	kcal/K	kgm/(kg·K)			kg	kgm/K
N ₂	0,634	0,7807	72,170	188,363	0,1761	0,459	30,260	0,812	-0,205	-0,535	-16,189
O ₂	0,064	0,2090	65,430	17,404	0,1581	0,042	26,490	0,306	-1,184	-0,315	-8,344
H ₂ O	0,164	0,01000	722,000	487,350	1,9550	1,319	47,660	16,400	2,798	1,888	89,982
CO ₂	0,138	0,00003	65,500	37,335	0,1576	0,089	19,250	460,000	6,140	3,500	67,355
				730,452		1,909					132,804

$$B_{tsp} = 730,452 - 285,15 \cdot 1,909 + \frac{1}{426} \cdot 285,15 \cdot 132,804 = 274,995 \text{ kcal} ; 1151,349 \text{ kJ}$$

ξ_p^o - sprawność egzergetyczna kotła wytwarzającego parę nasyconą o ciśnieniu 11 ata; $107,87 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ opalanego odpadkami komunalnymi, %

$$\xi_p^o = \frac{295,96}{1848,64} \cdot 100 = 16,01 \%$$

3.2.4. Sprawność egzergetyczna kotła opalanego miazem węglowym

Sprawność egzergetyczną kotła opalanego miazem węglowym odniesiono do ilości miazgu węglowego równoważnej energetycznie jednemu kilogramowi odpadków komunalnych o wartości opałowej jak w założeniach punktu 3.2. W kotle tym założono wytwarzanie czynników grzejnych o tych samych parametrach jak dla kotła opalanego odpadkami komunalnymi. Straty ciepłne kotła oprócz straty kominowej przyjęto stałe i niezależne od parametrów wytwarzanych czynników. Miaz węglowy przyjęto o symbolu 31-M45-15 wg PN-58/G-97003 o wartości opałowej $W_u^m = 4566 \text{ kcal/kg}$ $19131,5 \text{ kJ/kg}$ i następującym składzie elementarnym: c - 0,4972, h - 0,0338, s - 0,0013, n - 0,0085, o - 0,0975, w - 0,20, A = 0,15.

Temperatury spalin w zależności od parametrów czynnika grzejnego przyjęto jak w punkcie 3.1. Sprawność kotła opalanego miazem węglowym i wytwarzającego parę nasyconą o ciśnieniu 11 ata; $107,87 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ według katalogu [24] wynosi 0,70.

Korzystając z założeń i wzorów jak w punkcie 3.1. obliczono sprawności kotłów η_t^m , które przy wytwarzaniu czynnika grzejjego wynoszą:

- woda o parametrach 150/70°C - $\eta_{150}^m = 0,75$

- woda o parametrach 70/35°C - $\eta_{70}^m = 0,77$

3.2.4.1. Ilości miazgu węglowego równoważne energetycznie jednemu kilogramowi odpadków komunalnych

Dla czynników i ich parametrów jak w punkcie 3.1.

ilości miazgu węglowego równoważne energetycznie 1 kg odpadków komunalnych obliczono z zależności:

$$B_{\text{odp}} \cdot W_u^o \cdot \eta_t^o = a_{\text{mt}} \cdot W_u^m \cdot \eta_t^m$$

a_{mt} - ilość miazgu węglowego równoważna energetycznie jednemu kilogramowi odpadków komunalnych, kg

Ilości miazgu węglowego równoważne energetycznie jednemu kilogramowi odpadków wynoszą:

- przy wytwarzaniu wody o parametrach 70/35°C; $a_{m70} = 0,284$ kg,

- przy wytwarzaniu wody o parametrach 150/70°C; $a_{m150} = 0,279$ kg,

- przy wytwarzaniu pary nasyconej o ciśnieniu 11 ata;

$107,87 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$; $a_{m183} = 0,268$ kg

3.2.4.2. I l o ś c i w y t w o r z o n e g o
c z y n n i k a p r z y u ż y c i u
m i a łą w ę g ł o w e g o

Ze względu, że obliczone ilości miazłu węglowego przyjęto równoważne jednemu kilogramowi odpadków komunalnych, ilości wytworzonego czynnika grzejjnego przy spalaniu miazłu oraz jego egzergia będą takie same jak przy spalaniu 1 kg odpadków. Wartości egzergii wytworzonego czynnika przyjęto jak w punktach nr 3.2.1.3., 3.2.2.3., 3.2.3.3.

3.2.4.2. E g z e r g i a c h e m i c z n a m i a łą
w ę g ł o w e g o

Egzergię chemiczną 1 kg miazłu węglowego obliczono w oparciu o wzór [53] zamieszczony w punkcie 3.2.1.1.

$$\begin{aligned} \Delta b_n^m &= (4566 + 539,1 \cdot 0,20) \left(1,0438 + 0,1882 \frac{0,0338}{0,4972} + \right. \\ &+ 0,610 \frac{0,0975}{0,4972} + 0,0404 \frac{0,00085}{0,4972} \left. \right) + 2319 \cdot 0,0013 = \\ &= 5024,59 \text{ kcal/kg}; \quad 21036,95 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Δb_n^m - normalna egzergia chemiczna odniesiona do 1 kg miazłu węglowego

3.2.4.4. Sprawności egzergetyczne kotła opalanego miazem węglowym

Sprawności egzergetyczne kotła opalanego miazem węglowym odniesiono do ilości miazgu równoważnej energetycznie jednemu kilogramowi odpadków dla czynników o parametrach:

- woda o parametrach 70/35°C

$$\varepsilon_{wn}^m = \frac{b_{twm}}{a_{m70} \cdot \Delta b_n^m} \cdot 100 = \frac{123,63}{0,284 \cdot 5024,59} \cdot 100 = 8,66\%$$

- woda o parametrach 150/70°C

$$\varepsilon_{ww}^m = \frac{b_{tww}}{a_{m150} \cdot \Delta b_n^m} \cdot 100 = \frac{243,84}{0,279 \cdot 5024,59} \cdot 100 = 17,39\%$$

- para nasycona o ciśnieniu 107,87 · 10⁴ N/m²

$$\varepsilon_p^m = \frac{b_{tp}}{a_{m183} \cdot \Delta b_n^m} \cdot 100 = \frac{295,96}{0,268 \cdot 5024,59} \cdot 100 = 21,98\%$$

3.2.5. Porównanie egzergii spalin z kotła opalanego odpadkami komunalnymi

Obliczone w punktach 3.2.1.4.2., 3.2.2.4., 3.2.3.4. wartości egzergii spalin zamieszczono w tabeli nr 3.2.-4.

Tabela nr 3.2.-4.

Czynnik grzejny wytwarzany w kotle	Egzergia spalin ze spalenia 1 kg odpadków komunalnych	
	kcal	kJ
woda o parametrach 70/35°C	202,906	849,526
woda o parametrach 150/70°C	228,150	955,218
para nasycona o ciśnieniu 11 ata ; 107,87 · 10 ⁴ N/m ²	274,995	1151,349

Na podstawie wielkości zamieszczonych w tabeli nr 3.2.-4. można stwierdzić, że nie wykorzystana egzergia spalin jest najmniejsza dla kotła wytwarzającego wodę o parametrach 70/35°C. Z powyższego względu najkorzystniejszym czynnikiem grzejnym wytwarzanym w kotle opalanym odpadkami komunalnymi jest woda o niskich parametrach $< 100^{\circ}\text{C}$ do produkcji ciepłej wody użytkowej.

3.2.6. Porównanie sprawności egzergetycznych kotła opalanego odpadkami komunalnymi i miałem węglowym

Obliczone w punktach 3.2.1.5.; 3.2.2.5.; 3.2.3.5.; 3.2.4.4. sprawności egzergetyczne kotłów oraz ich różnice zamieszczono w tabeli nr 3.2.-5.

Tabela nr 3.2.-5

Czynnik grzejny wytwarzany w kotle	Sprawność egzergetycz- na kotła opalanego odpadkami komunalnymi ϵ %	Sprawność egzergetycz- na kotła opalanego miałem wę- glowym ϵ^m %	Różnice sprawności egzerge- tycznej kotła opa- lanego mia- łem węglowym i kotła opa- lanego odpadkami $\Delta\epsilon = \epsilon^m - \epsilon^o$ %
woda o parametrach 70/35°C	6,69	8,66	1,97
woda o parametrach 150/70°C	13,19	17,39	4,20
para nasycona o ciśnieniu 11 at $107,87 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$	16,01	21,98	5,97

Wartości zamieszczone w tabeli nr 3.2.-5. jednoznacznie wskazu-
ją, że przy produkcji wody o parametrach 70/35°C sprawność
kotła opalanego odpadkami komunalnymi jest najbardziej zbliżona
do sprawności kotła na paliwo tradycyjne tj. miał węglowy.
Z tego względu najważniejszym czynnikiem grzejnym wytwarza-
nym w kotle opalanym odpadkami komunalnymi jest woda o niskich
parametrach $< 100^\circ\text{C}$ przeznaczona do wytwarzania ciepłej
wody użytkowej.

3.3. Bilanse cieplne dla aglomeracji miejskich

3.3.1. Metoda bilansowania odzysku ciepła ze spalonych odpadków

W bilansowaniu odzysku ciepła ze spalonych odpadków komunalnych wykorzystano wielkości zamieszczone w punkcie 2.1. Wielkości tego odzysku ciepła w odniesieniu do jednego mieszkańca obliczono z zależności:

- w sezonie grzewczym,

$$q_{\text{odp}}^{\text{I}} = \eta_{\text{s}}^{\text{I}} \cdot k_{\text{n}}^{\text{I}} \cdot k_{\gamma}^{\text{I}} \cdot k_{\text{w}}^{\text{I}} \cdot n \cdot \gamma \cdot W_{\text{u}} \text{ kcal}/(\text{Mh}), \text{ W/M} \quad [3.3.-1]$$

- w okresie poza sezonem grzewczym,

$$q_{\text{odp}}^{\text{II}} = \eta_{\text{s}}^{\text{II}} \cdot k_{\text{n}}^{\text{II}} \cdot k_{\gamma}^{\text{II}} \cdot n \cdot \gamma \cdot W_{\text{u}} \text{ kcal}/(\text{Mh}); \text{ W/M} \quad [3.3.-2]$$

Wielkość wskaźnika nagromadzenia w $\text{m}^3/(\text{Mh})$ obliczono z zależności - $n = \frac{N}{8760}$

$k_{\text{n}}^{\text{I}}, k_{\text{n}}^{\text{II}}, k_{\gamma}^{\text{I}}, k_{\gamma}^{\text{II}}, k_{\text{w}}^{\text{I}}, k_{\text{w}}^{\text{II}}, N, \gamma, W_{\text{u}}$ - odpowiednie wartości przyjęto według punktu 2.1.

η_{s} - ogólna sprawność kotła oraz przesyłu i rozdziału ciepła (sprawność spalarni loco odbiorca)

W przypadku paliwa niskokalorycznego jakim są odpadki komunalne sprawność kotła przy wytwarzaniu czynnika grzejnego o parametrach $70/35^{\circ}\text{C}$ wynosi 0,7 (wg punktu 3.1.)

Przy uwzględnieniu strat przesyłu 4,5% [57] i odbioru ciepła sprawność spalarni loco odbiorca przyjęto $\eta_s = 0,65$.

Obliczone ze wzorów [3.3.-1, 3.3.-2] wielkości średniego odzysku ciepła ze spalonych odpadków komunalnych w odniesieniu do jednego mieszkańca podano w tabeli nr 3.3.-1 i przedstawiono na rysunkach nr 3.3.-1 i 3.3.-2.

Dla ilości mieszkańców w ramach każdej grupy miast z uwzględnieniem rozwoju demografii aglomeracji miejskiej jak w punkcie 3.3.2.3. oraz porównawczej nierozwijającej się aglomeracji miejskiej o wielkości 100 tys. mieszkańców określono ilości ciepła możliwe do odzyskania ze spalania odpadków komunalnych według zależności:

- w sezonie grzewczym,

$$Q_{\text{odp}}^{\text{I}} = L \cdot q_{\text{odp}}^{\text{I}} \quad \text{Gcal/h ; MW} \quad [3.3.-3]$$

L-liczba mieszkańców aglomeracji wg tabeli nr 3.3.-8

$q_{\text{odp}}^{\text{I}}$ - według tabeli nr 3.3.-1.

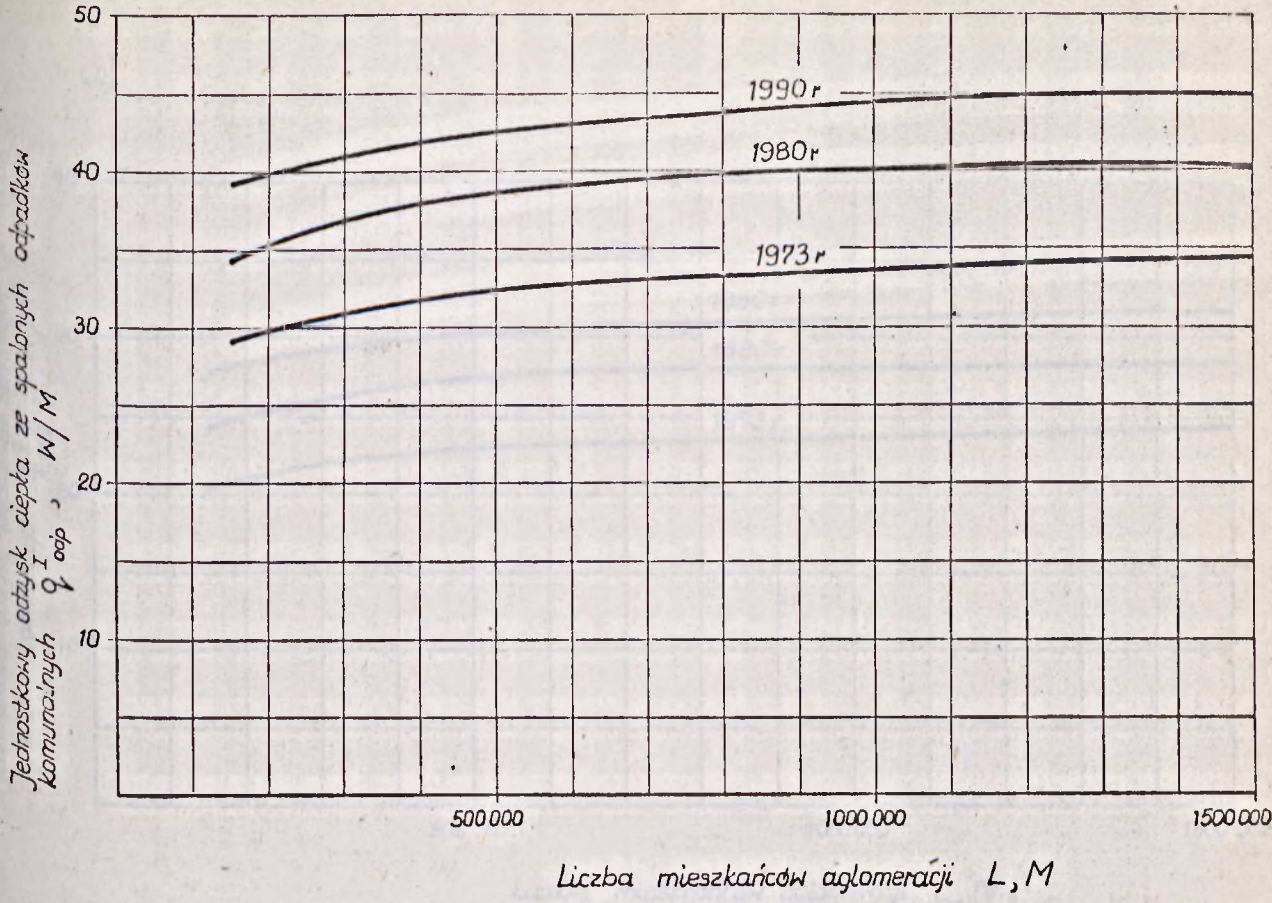
- w okresie poza sezonem grzewczym

$$Q_{\text{odp}}^{\text{II}} = L \cdot q_{\text{odp}}^{\text{II}} \quad \text{Gcal/h ; MW} \quad [3.3.-4]$$

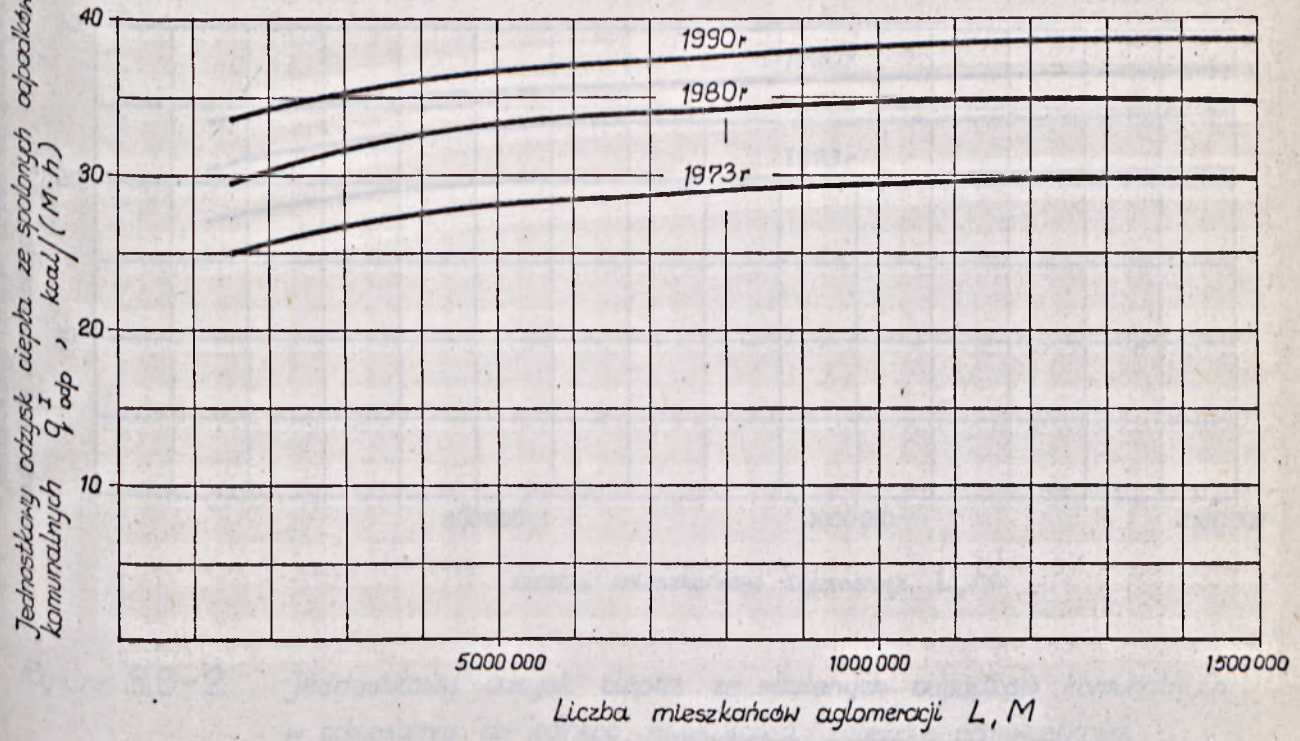
$q_{\text{odp}}^{\text{II}}$ - według tabeli nr 3.3.-1

Obliczone ze wzorów [3.3.-3, 3.3.-4] średnie ilości ciepła dla aglomeracji miejskich zamieszczono w tabeli nr 3.3.-2 i przedstawiono na rysunkach nr 3.3.-3 i 3.3.-4.

a)



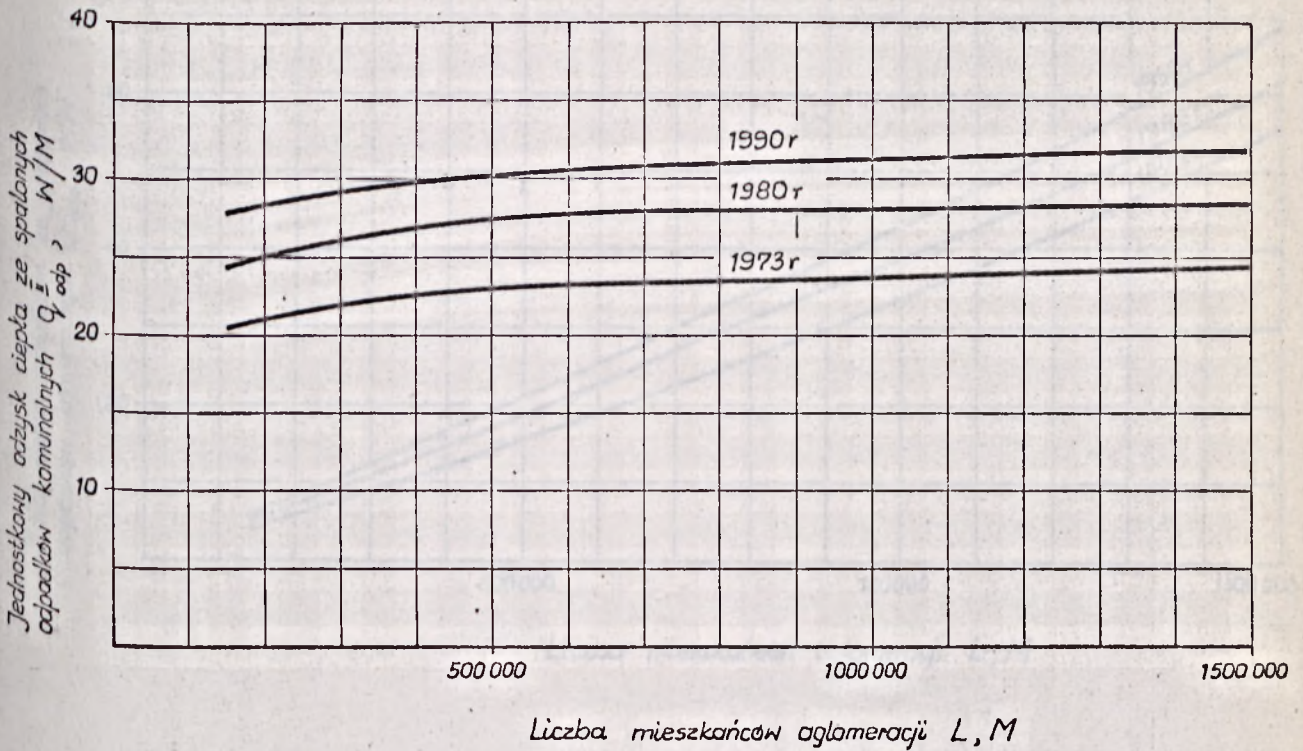
b)



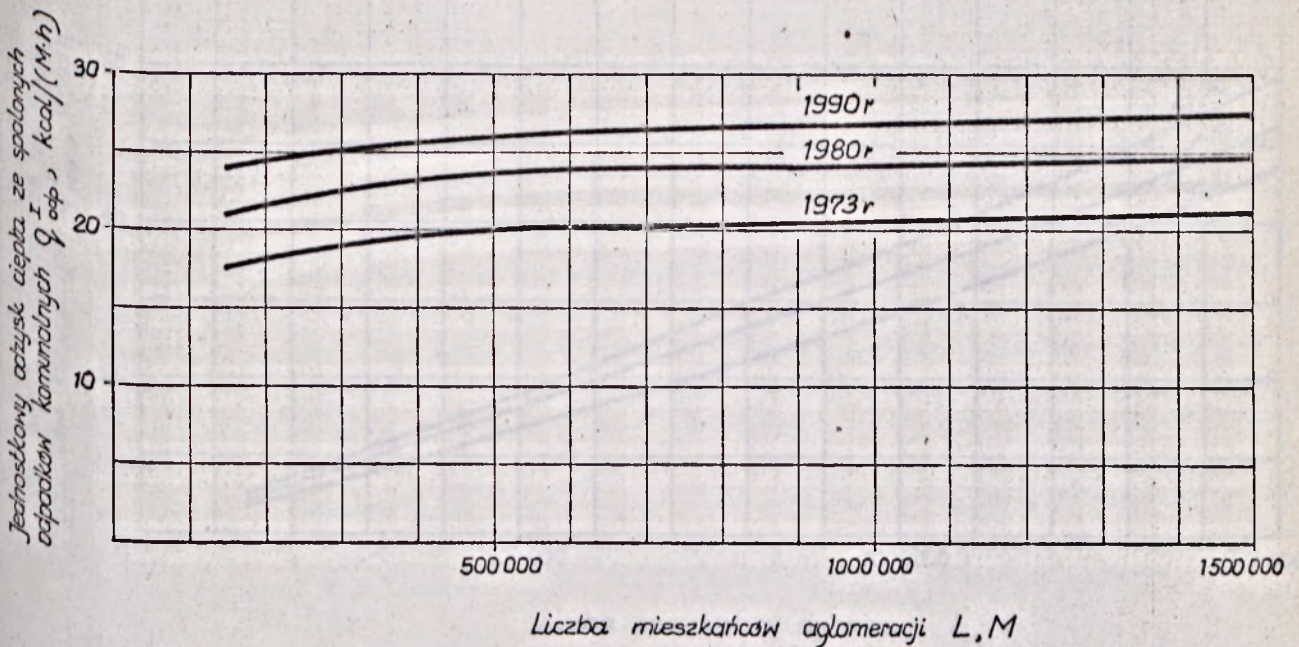
Rys. nr. 3.3-1 Jednostkowy odzysk ciepła ze spalonych odpadków komunalnych w odniesieniu do jednego mieszkańca zależnie od wielkości aglomeracji miejskiej dla sezonu grzewczego q_{odp}^I

- a) wyrażony w W/M
- b) wyrażony w $kcal/(M \cdot h)$

a)



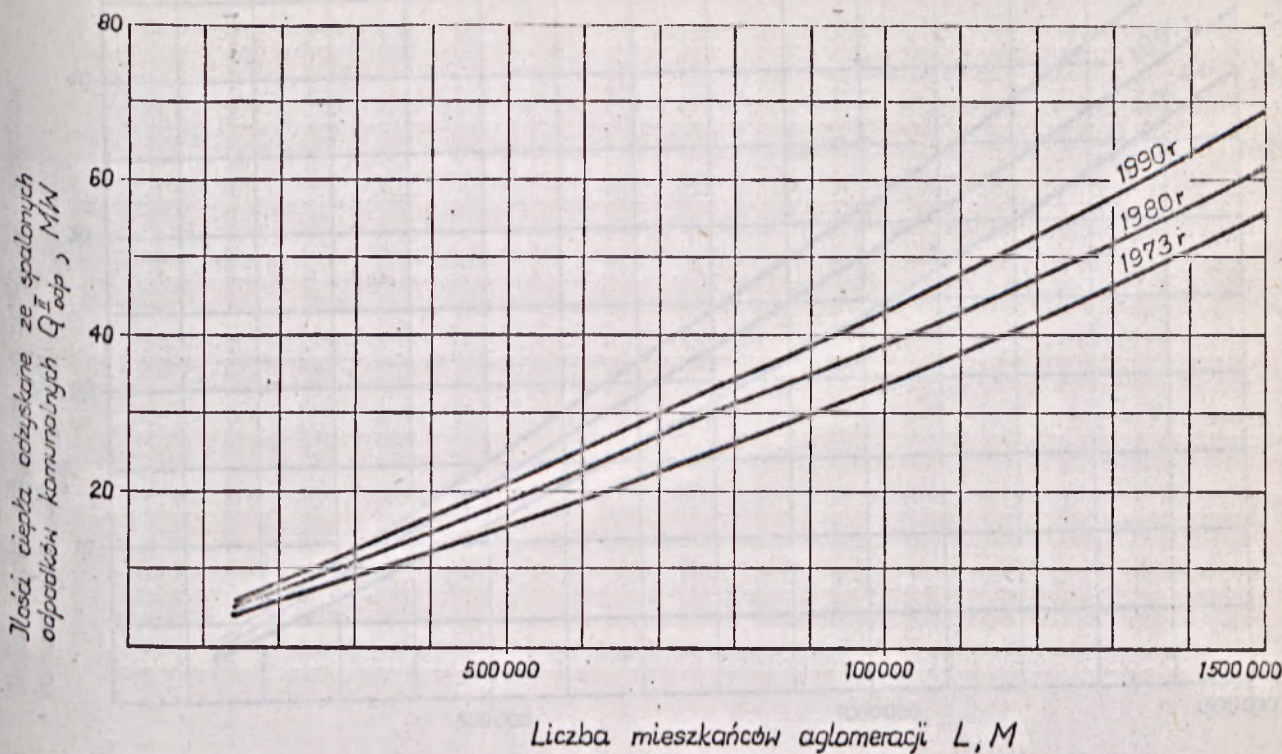
b)



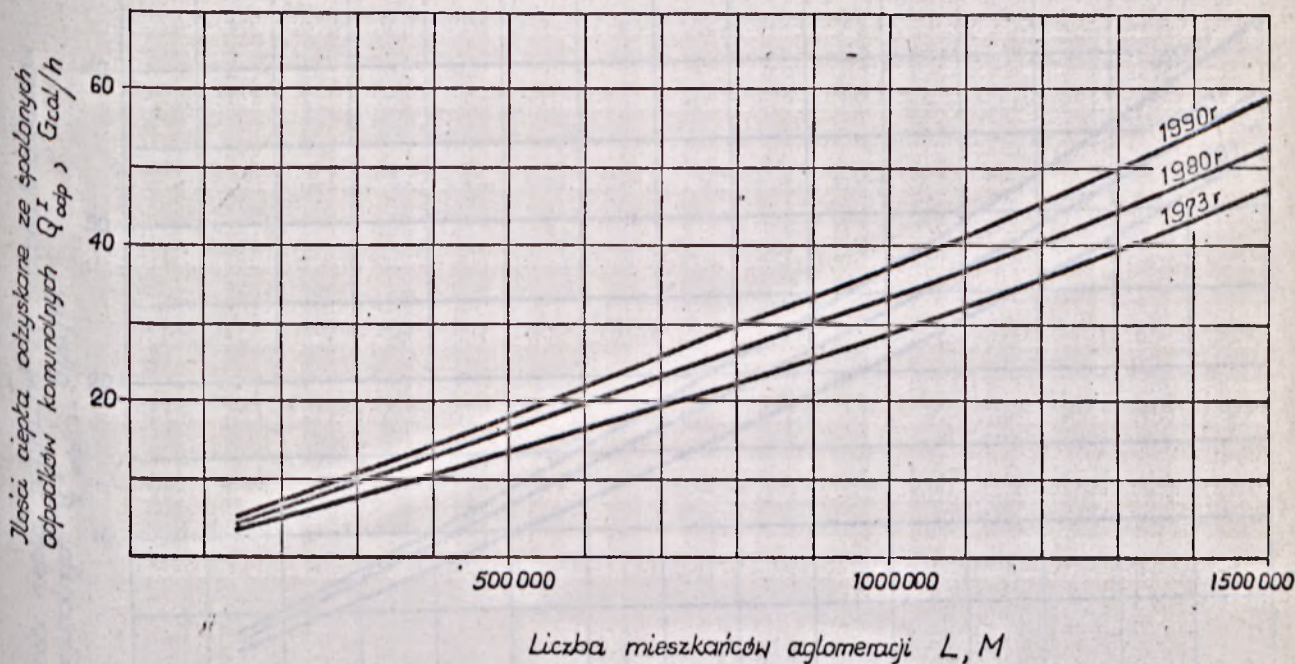
Rys. nr. 3.3-2 Jednostkowy odzysk ciepła ze spalonych odpadków komunalnych w odniesieniu do jednego mieszkańca zależnie od wielkości aglomeracji miejskiej dla okresu poza sezonem grzewczym q_{odp}^I

- a) wyrażony w W/M
- b) wyrażony w $kcal/(M \cdot h)$

a)

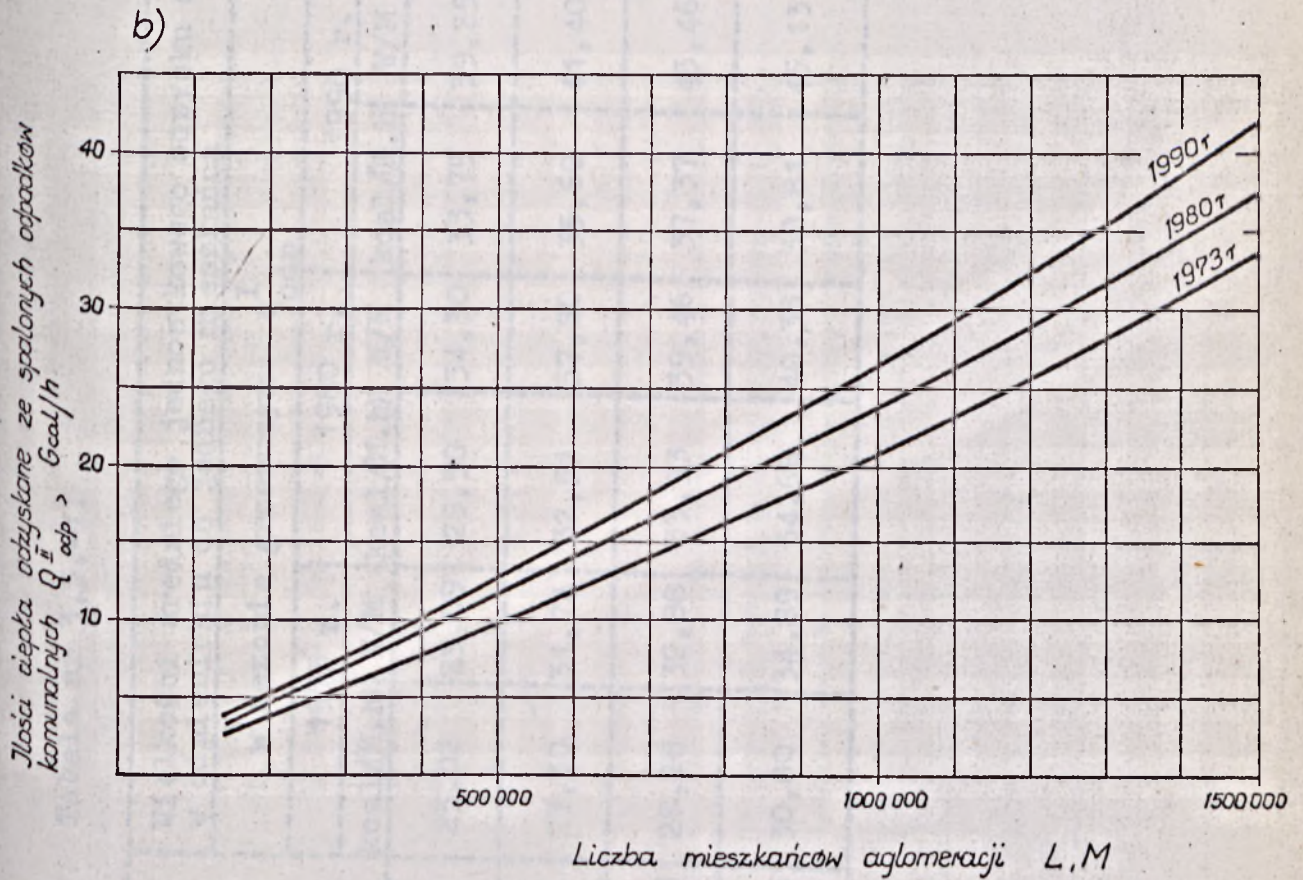
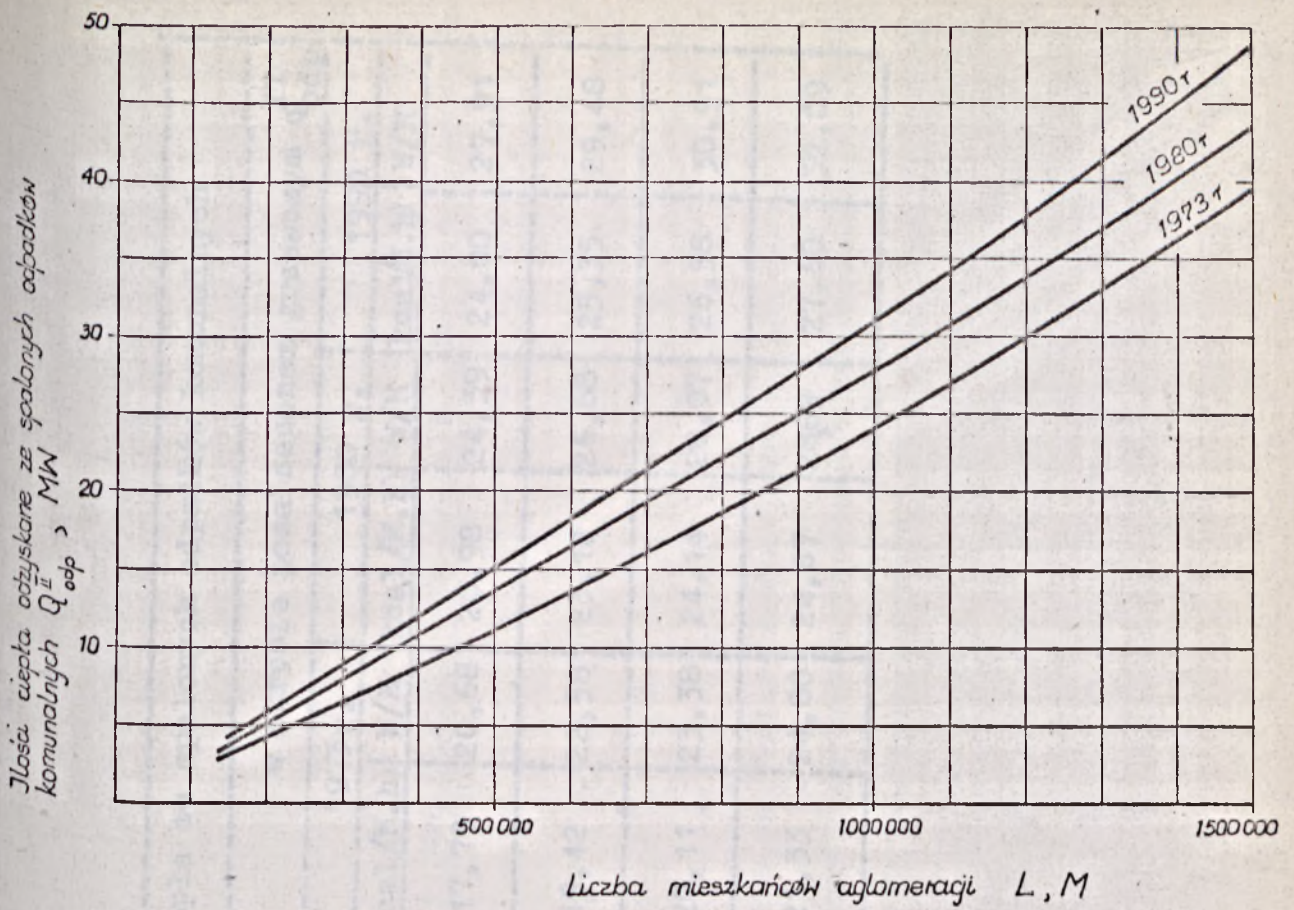


b)



Rys.nr. 3.3-3 Średnie ilości ciepła możliwe do odzyskania ze spalania odpadków komunalnych w aglomeracji zależnie od jej wielkości w sezonie grzewczym Q_{odp}^I

- a) wyrażone w MW
- b) wyrażone w Gcal/h



Rys. nr. 3.3-4 Średnie ilości ciepła możliwe do odzyskania ze spalania odpadków komunalnych w aglomeracji zależnie od jej wielkości w okresie poza sezonem grzewczym Q_{odp}^{II}

- a) wyrażone w MW
- b) wyrażone w Gcal/h

Tabela nr 3.3.-1.

Grupa miast	w sezonie grzewczym I ^o odp				w okresie poza sezonem grzewczym II ^o odp							
	1973 r.		1980 r.		1973 r.		1980 r.					
	kcal/(M.h)	W/M	kcal/(M.h)	W/M	kcal/(M.h)	W/M	kcal/(M.h)	W/M				
100 ÷ 200 tys.M	25,02	29,09	29,50	34,30	33,75	39,25	17,79	20,68	20,98	24,39	24,00	27,91
200 ÷ 500 tys.M	27,30	31,74	32,51	37,80	35,60	41,40	19,42	22,58	23,12	26,88	25,35	29,48
500 ÷ 1000 tys.M	28,28	32,88	33,93	39,46	37,37	43,46	20,11	23,38	24,14	28,07	26,58	30,91
ponad 1000 tys.M	30,00	34,89	34,68	40,33	38,81	45,13	21,33	24,80	24,67	28,69	27,60	32,09

Tabela nr 3.3.-2

Grupy miast	Wielkości średniego odzysku ciepła ze spalonych odpadów komunalnych dla miast według założonego ich rozwoju												
	w sezonie grzewczym Q_{odp}^I						w okresie poza sezonem grzewczym Q_{odp}^{II}						
	1973 r		1980 r		1990 r		1973 r		1980 r		1990 r		
	MW	Gcal/h	MW	Gcal/h	MW	Gcal/h	MW	Gcal/h	MW	Gcal/h	MW	Gcal/h	
100 tys. M	2,47	2,90	2,90	3,37	3,37	3,37	3,91	1,77	2,05	2,09	2,43	2,40	2,79
100 ÷ 200 tys.M	3,51	4,08	4,72	5,48	6,24	7,25	7,25	2,49	2,89	3,35	3,89	4,44	5,16
200 ÷ 500 tys.M	8,41	9,78	10,89	12,66	13,31	15,47	15,47	5,98	6,95	7,74	9,00	9,48	11,02
500 ÷ 1000 tys.M	22,08	25,67	27,65	32,15	32,32	37,58	37,58	15,70	18,25	19,67	22,87	22,99	26,73
ponad 1000 tys.M	41,63	48,41	52,71	61,30	58,99	68,60	68,60	29,60	34,42	37,49	43,60	41,95	48,78

3.3.2. M e t o d a b i l a n s o w a n i a
z a p o t r z e b o w a n i a c i e p ł a
d l a c e l ó w c i e p ł o w n i c t w a
w a s p e k t e o d z y s k u c i e p ł a
z e s p a l a n i a o d p a d k ó w

Dotychczas bilansowanie ciepła dla celów komunalnych było dokonywane w funkcji kubatury i przeznaczenia budynków. Takie ujęcie zagadnienia w analizie dotyczącej spalania odpadków komunalnych nie jest możliwe ponieważ wszystkie opracowania dotyczące odpadków są uzależnione od ilości mieszkańców. Z tego względu w metodzie bilansowania zapotrzebowania ciepła miast dla celów ciepłownictwa jako wielkość podstawową przyjęto liczbę mieszkańców. Liczba mieszkańców charakteryzuje aglomerację miejską pod względem potrzeb cieplnych jak też nagromadzenia odpadków komunalnych. W bilansie brano pod uwagę zapotrzebowanie ciepła na cele centralnego ogrzewania (c.o.) ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) i wentylacji w budownictwie mieszkaniowym i szeroko pojętym budownictwie użyteczności publicznej (budynki administracyjne, szkoły, przedszkola, budynki handlu i rzemiosła, szpitale itp.). W proponowanej metodzie aglomeracja miejska traktowana jest jako model o danej liczbie mieszkańców bez uwzględnienia specyfiki charakteryzującej poszczególne miasta. Bilans zapotrzebowania ciepła przeprowadzono dla roku 1973 oraz perspektywy rozwoju 1980 i 1990 roku w następujących grupach wielkości miast:

- grupa miast o wielkości 100 ÷ 200 tys. mieszkańców,
- grupa miast o wielkości 200 ÷ 500 tys. mieszkańców,
- grupa miast o wielkości 500 ÷ 1000 tys. mieszkańców,
- grupa miast o wielkości ponad 1000 tys. mieszkańców.

3.3.2.1. J e d n o s t k o w e z a p o t r z e b o w a n i e c i e p ł a

Jednostkowe zapotrzebowanie ciepła na cele centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej, wentylacji w odniesieniu do jednego mieszkańca zależnie od rodzaju budownictwa dla temperatury obliczeniowej i danej strefy klimatycznej (warunki obliczeniowe) określono na podstawie zależności:

$$q_M^o = V_M \cdot q_b \quad \text{kcal}/(\text{m}^3 \cdot \text{h}) ; \quad \text{W}/\text{m}^3 \quad [3.3.-5]$$

q_M^o - wskaźnik zapotrzebowania ciepła w odniesieniu do jednego mieszkańca zależnie od rodzaju budownictwa i rodzaju zapotrzebowania dla warunków obliczeniowych, $\text{kcal}/(\text{M} \cdot \text{h})$, W/M

V_M - wielkość kubatury przypadającej na jednego mieszkańca, m^3/M

q_b - ilość ciepła w odniesieniu do jednego metra sześciennego kubatury zależnie od rodzaju zapotrzebowania budownictwa, $\text{kcal}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$, W/m^3

Wielkość kubatury przypadającej na jednego mieszkańca V_M m^3/M na podstawie opracowania [38] podano w tabeli nr 3.3.-3.

Tabela nr 3.3.-3.

Rodzaj budownictwa	Wielkość kubatury przypadającej na jednego mieszkańca V_M		
	1973	1980	1990
	m^3	m^3	m^3
budownictwo mieszkaniowe	65	75	90
budownictwo użyteczności publicznej	26	30	36

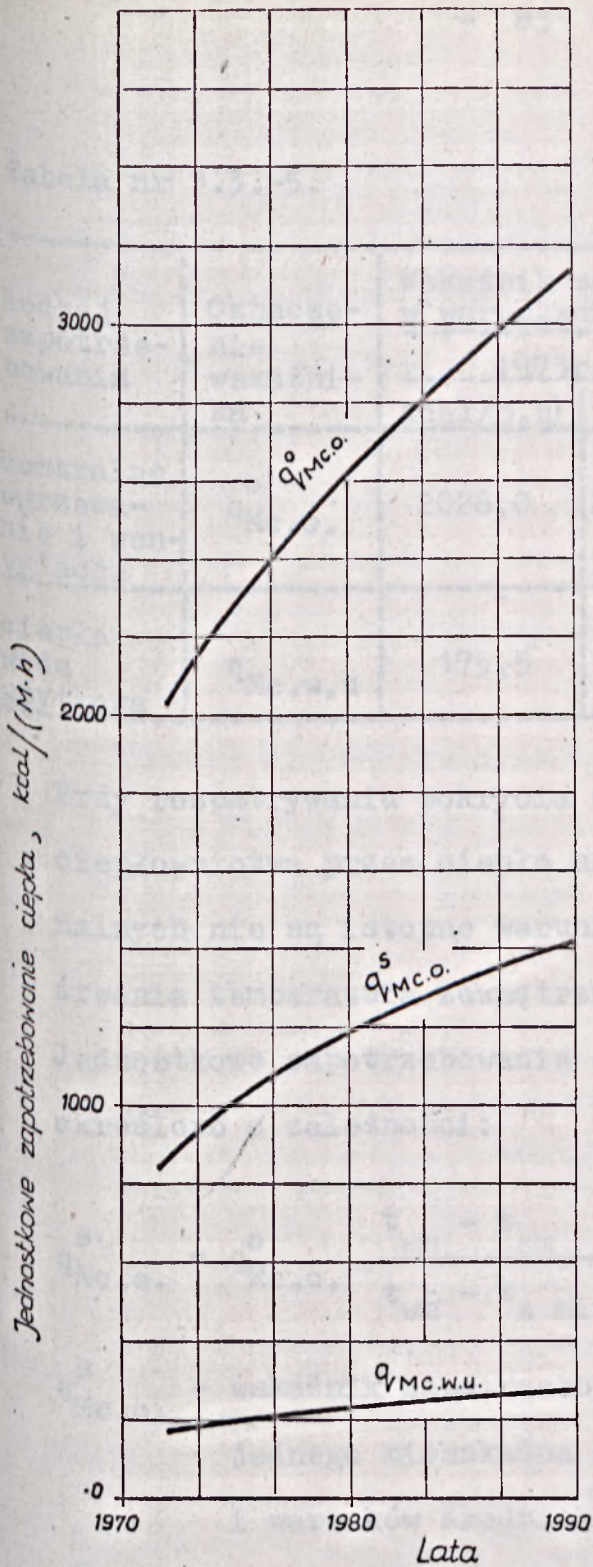
Ilości ciepła w odniesieniu do jednego metra sześciennego kubatury q_b zależnie od rodzaju zapotrzebowania i rodzaju budownictwa na podstawie opracowania [38] podano w tabeli nr 3.3.-4

Tabela nr 3.3.-4

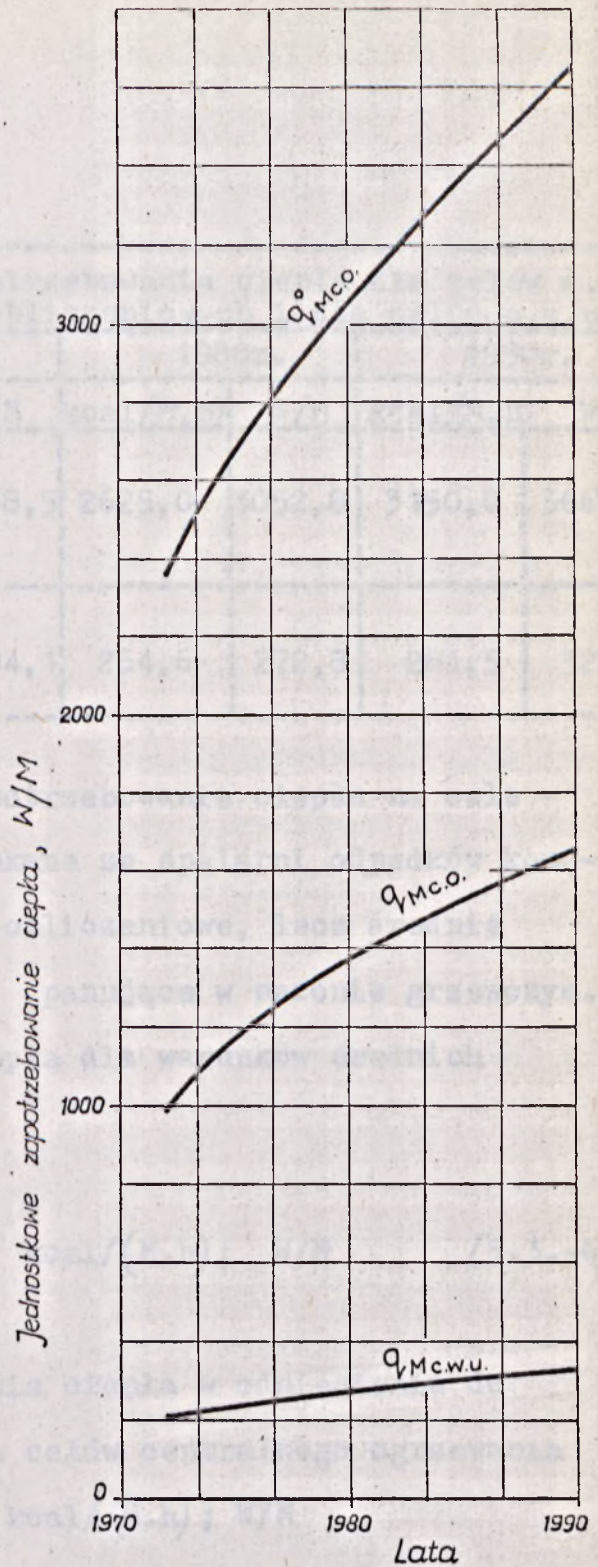
Rodzaj budownictwa	Rodzaj zapotrzebowania	1973		1980		1990	
		kcal/(m^3 h)	W/ m^3	kcal/(m^3 h)	W/ m^3	kcal/(m^3 h)	W/ m^3
budownictwo mieszkaniowe	c.o.	18,00	20,93	20,00	23,26	20,00	23,26
	c.w.u.	2,50	2,90	2,90	3,37	2,90	3,37
budownictwo użyteczności publicznej	c.o.	20,00	23,26	22,50	26,16	22,50	26,16
	c.w.u.	0,50	0,58	0,57	0,66	0,57	0,66
	wentylacja	13,00	15,11	15,00	17,44	15,00	17,44

Obliczone na podstawie zależności [3.3.-5] wskaźniki zapotrzebowania ciepła w odniesieniu do jednego mieszkańca w warunkach obliczeniowych dla sezonu grzewczego zależnie od rodzaju zapotrzebowania podano w tabeli nr 3.3.-5 i przedstawiono na rysunku nr 3.3.-5.

a)



b)



Rys.nr. 3.3-5 Jednostkowe zapotrzebowanie ciepła w odniesieniu do jednego mieszkańca:

- dla celów C.O i warunków obliczeniowych - q_{MCO}^0 ,
- dla celów C.O i warunków średnich - q_{MCO}^s ,
- dla celów C.W.U - q_{MCWU} .

a) wyrażone w kcal/(M·h)
 b) wyrażone w W/M

Tabela nr 3.3.-5.

Rodzaj zapotrzebowania	Oznaczenie wskaźnika	Wskaźnik zapotrzebowania ciepła dla celów c.o. w warunkach obliczeniowych i dla celów c.w.u.					
		1973r.		1980r.		1990r.	
		kcal/(M.h)	W/M	kcal/(M.h)	W/M	kcal/(M.h)	W/M
centralne ogrzewanie i wentylacja	$q_{Mc.o.}^o$	2028,0	2358,5	2625,0	3052,8	3150,0	3663,4
ciepła woda użytkowa	$q_{Mc.w.u}^o$	175,5	204,1	234,6	272,8	281,5	327,3

Przy rozpatrywaniu pokrycia zapotrzebowania ciepła na cele ciepłownictwa przez ciepło uzyskane ze spalarni odpadków komunalnych nie są istotne warunki obliczeniowe, lecz średnie średnia temperatura zewnętrzna panujące w sezonie grzewczym. Jednostkowe zapotrzebowanie ciepła dla warunków średnich określono z zależności:

$$q_{Mc.o.}^s = q_{Mc.o.}^o \frac{t_{wm} - t_{zm}}{t_{wm} - t_{z \min}} \quad \text{kcal/(M.h); W/M} \quad [3.3.-6]$$

$q_{Mc.o.}^s$ - wskaźnik zapotrzebowania ciepła w odniesieniu do jednego mieszkańca dla celów centralnego ogrzewania i warunków średnich, kcal/(M.h); W/M

$q_{Mc.o.}^o$ - wielkość wg tabeli nr 3.3.-5

t_{wm} - średnia temperatura wewnętrzna budynku, °C

t_{zm} - średnia temperatura zewnętrzna w sezonie grzewczym, °C

$t_{z \min}$ - najniższa obliczeniowa temperatura zewnętrzna, °C

Srednią temperaturę wewnętrzną w budynkach t_{wm} przyjęto dla 1973 roku - 18°C , zaś dla lat 1980 i 1990 według opracowania Biura Planowania Rozwoju Warszawy [57] równą 20°C .

Srednią temperaturę zewnętrzną w okresie ogrzewania t_{zm} obliczono na podstawie normy PN-66/B-02419, która dla Polski centralnej wynosi $2,0^{\circ}\text{C}$.

Wartość najniższej obliczeniowej temperatury zewnętrznej $t_{z\ min}$ przyjęto wg przygotowywanej normy obliczania strat ciepła równą -20°C .

Obliczone na podstawie zależności [3.3.-6] wskaźniki zapotrzebowania ciepła w odniesieniu do jednego mieszkańca w warunkach średnich podano w tabeli nr 3.3.-6 i na rysunku nr 3.3.-5.

Tabela nr 3.3.-6.

Wskaźniki zapotrzebowania ciepła dla celów c.o. w budownictwie w warunkach średnich $q_{Mc.o.}^s$					
1973		1980		1990	
kcal/(M.h)	W/M	kcal/(M.h)	W/M	kcal/(M.h)	W/M
853,9	993,0	1181,2	1373,7	1417,5	1648,5

3.3.2.2. Wpływ budownictwa bez instalacji c.o. i c.w.u. na bilans zapotrzebowania ciepła miast

W aglomeracjach miejskich istnieje budownictwo mieszkaniowe bez instalacji centralnego ogrzewania i ciepłej wody

użytkowej. Na podstawie przeprowadzonych przez autora pracy ankiet w przedsiębiorstwach energetyki ciepłej różnych miast i danych z Biura Planowania Rozwoju Warszawy określono współczynniki k_u^I i k_u^{II} zmniejszające do bilansu cieplnego (współczynniki ucieplownienia) uwzględniające wpływ budownictwa bez instalacji c.o. i c.w.u. na bilans cieplny. Bilans zapotrzebowania ciepła miast jest odniesiony do ilości mieszkańców. Wartości współczynników ucieplownienia k_u^I i k_u^{II} zamieszczono w tabeli nr 3.3.-7.

Tabela nr 3.3.-7.

Grupa miast	Współczynniki ucieplownienia uwzględniające wpływ budownictwa bez instalacji c.o. na bilans cieplny k_u^I			Współczynniki ucieplownienia uwzględniające wpływ budownictwa bez instalacji c.w.u. na bilans cieplny k_u^{II}		
	1973	1980	1990	1973	1980	1990
100 ÷ 200 tys.M	0,30	0,50	0,80	0,15	0,4	0,7
200 ÷ 500 tys.M.	0,40	0,70	0,85	0,20	0,55	0,8
500 ÷ 1000 tys.M	0,60	0,75	0,90	0,40	0,6	0,85
ponad 1000 tys.M	0,70	0,80	0,90	0,50	0,7	0,9

3.3.2.3. R o z w ó j d e m o g r a f i c z n y a g l o m e r a c j i m i e j s k i c h

Przy rozpatrywaniu rozwoju demograficznego brano pod uwagę dla każdej z grup jedną aglomerację miejską jako podstawę

do określenia zmian ludności.

Dla poszczególnych grup miast wzięto pod uwagę przykładowo aglomerację:

- grupa miast 100 ÷ 200 tys. mieszkańców - Toruń,
- grupa miast 200 ÷ 500 tys. mieszkańców - Bydgoszcz,
- grupa miast 500 ÷ 1.000 tys. mieszkańców - Łódź,
- grupa miast ponad 1.000 tys. mieszkańców - Warszawa.

Dane rozwoju poszczególnych miast zaczerpnięto z rocznika statystycznego 1973 i opracowania [57].

Zmiany ilości mieszkańców zamieszczono w tabeli nr 3.3.-8.

Tabela nr 3.3.-8.

Grupa miast	Ilość mieszkańców I		
	1973	1980	1990
100 ÷ 200 tys.M (Toruń)	140.400	160.000	185.000
200 ÷ 500 tys.M (Bydgoszcz)	308.100	335.000	374.000
500 ÷ 1000 tys.M (Łódź)	780.900	815.000	865.000
ponad 1000 tys.M (Warszawa)	1387.800	1520.000	1520.000

3.3.2.4. Z a p o t r z e b o w a n i e c i e p ł a w a g l o m e r a c j a c h m i e j s k i c h

Zapotrzebowanie ciepła w aglomeracjach miejskich obliczono dla sezonu grzewczego w warunkach obliczeniowych

i średnich oraz dla okresu poza sezonem grzewczym.

Obliczenia przeprowadzono w oparciu o wielkości zamieszczone w punktach 3.3.2.1.; 3.3.2.2.; 3.3.2.3.

Zapotrzebowanie ciepła dla poszczególnych aglomeracji określono z zależności:

- dla sezonu grzewczego i warunków obliczeniowych

$$Q_o^I = L(k_u^I \cdot q_{Mc.o.}^o + k_u^{II} \cdot q_{Mc.w.u.}) \text{ Gcal/h; MW} \quad [3.3.-7]$$

- dla sezonu grzewczego i warunków średnich

$$Q_s^I = L(k_u^I \cdot q_{Mc.o.}^s + k_u^{II} \cdot q_{Mc.w.u.}) \text{ Gcal/h; MW} \quad [3.3.-8]$$

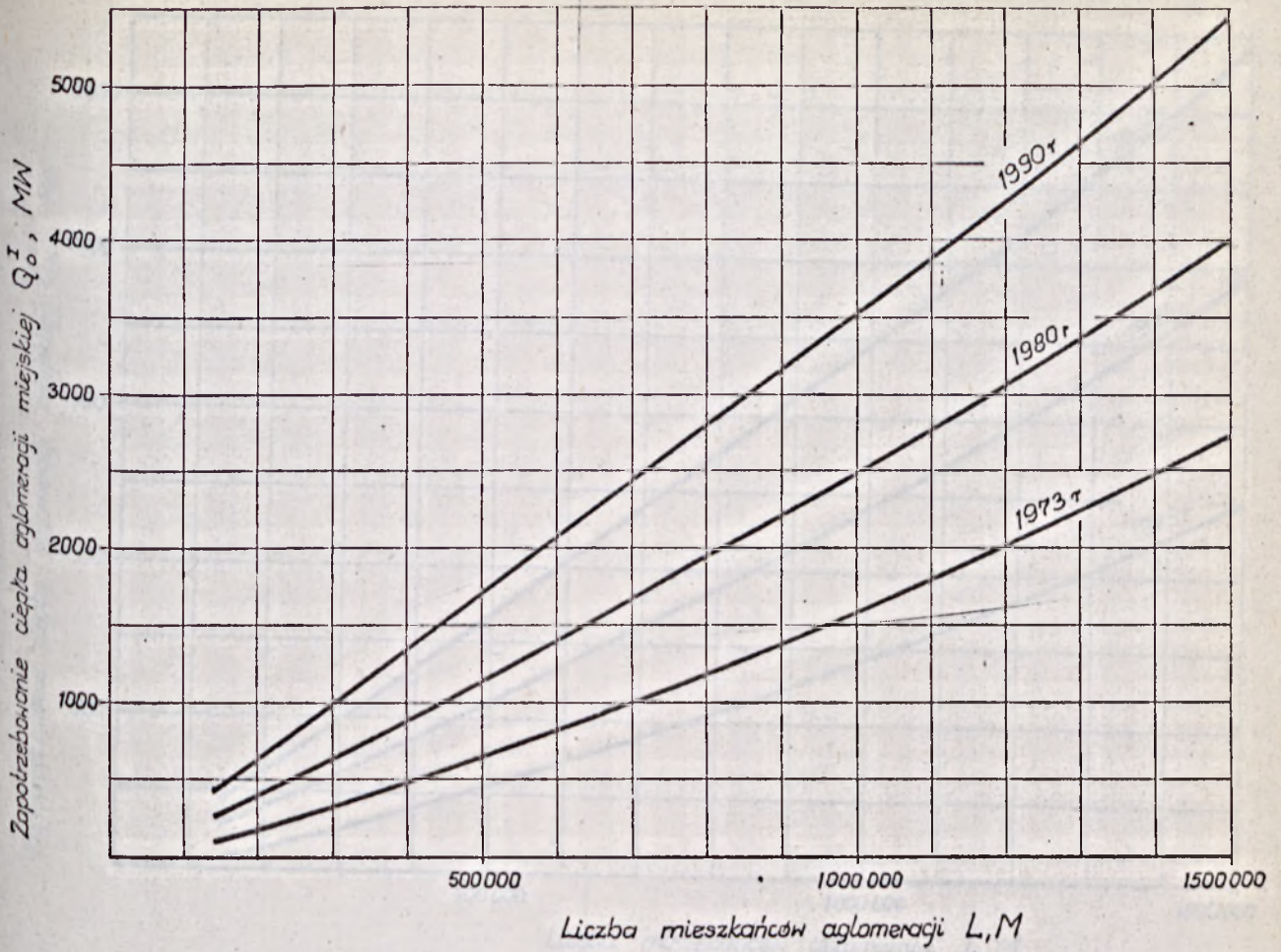
- dla okresu poza sezonem grzewczym

$$Q^{II} = k_u^{II} \cdot L \cdot q_{Mc.w.u.} \text{ Gcal/h; MW} \quad [3.3.-9]$$

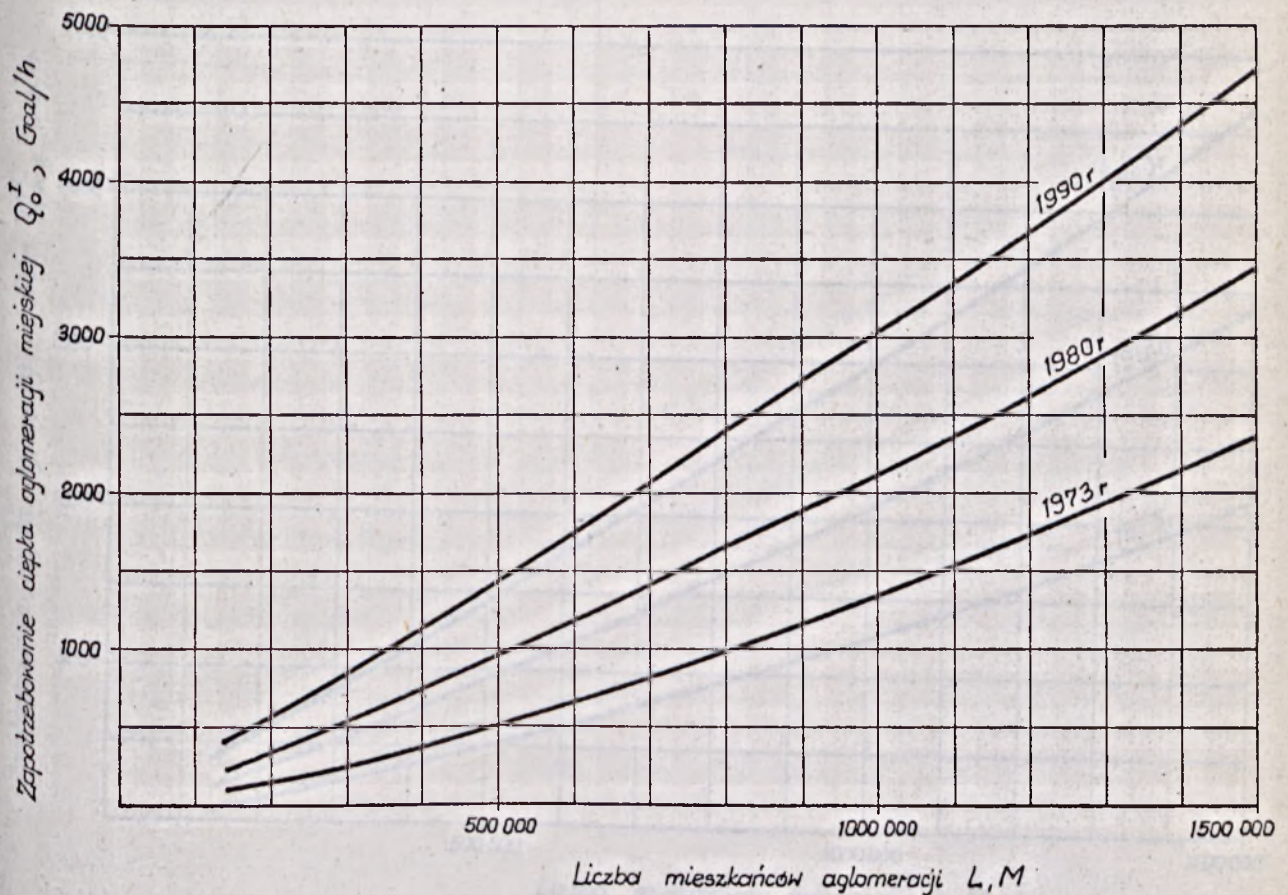
Obliczone z zależności [3.3.-7], [3.3.-8] wielkości zamieszczone w tabeli nr 3.3.9., zaś z zależności [3.3.-9] w tabeli nr 3.3.-10.

Wielkości zamieszczone w tabeli nr 3.3.-9 przedstawiono na rysunkach nr 3.3.-6 i 3.3.-7, zaś w tabeli nr 3.3.-10 na rysunku nr 3.3.-8.

a)



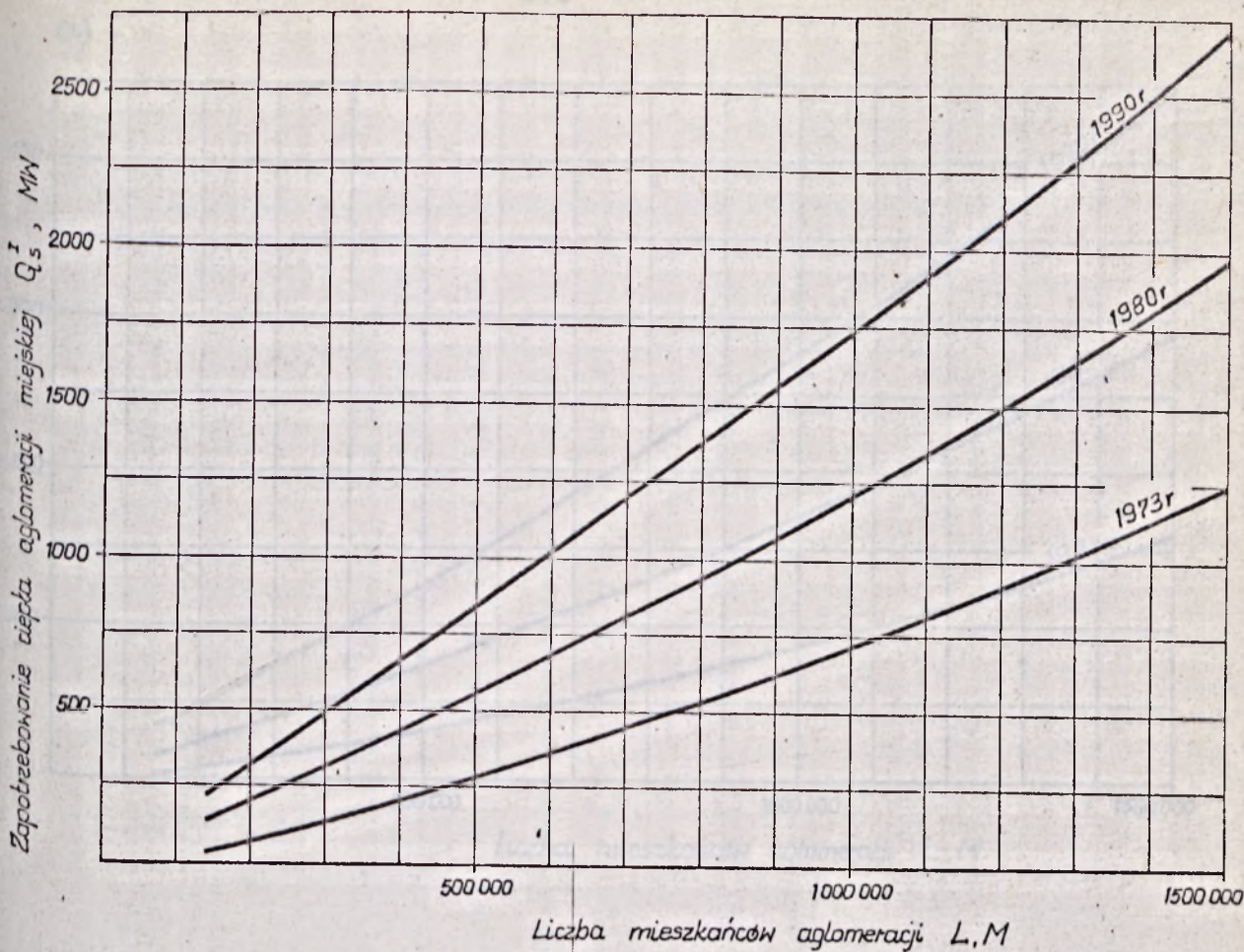
b)



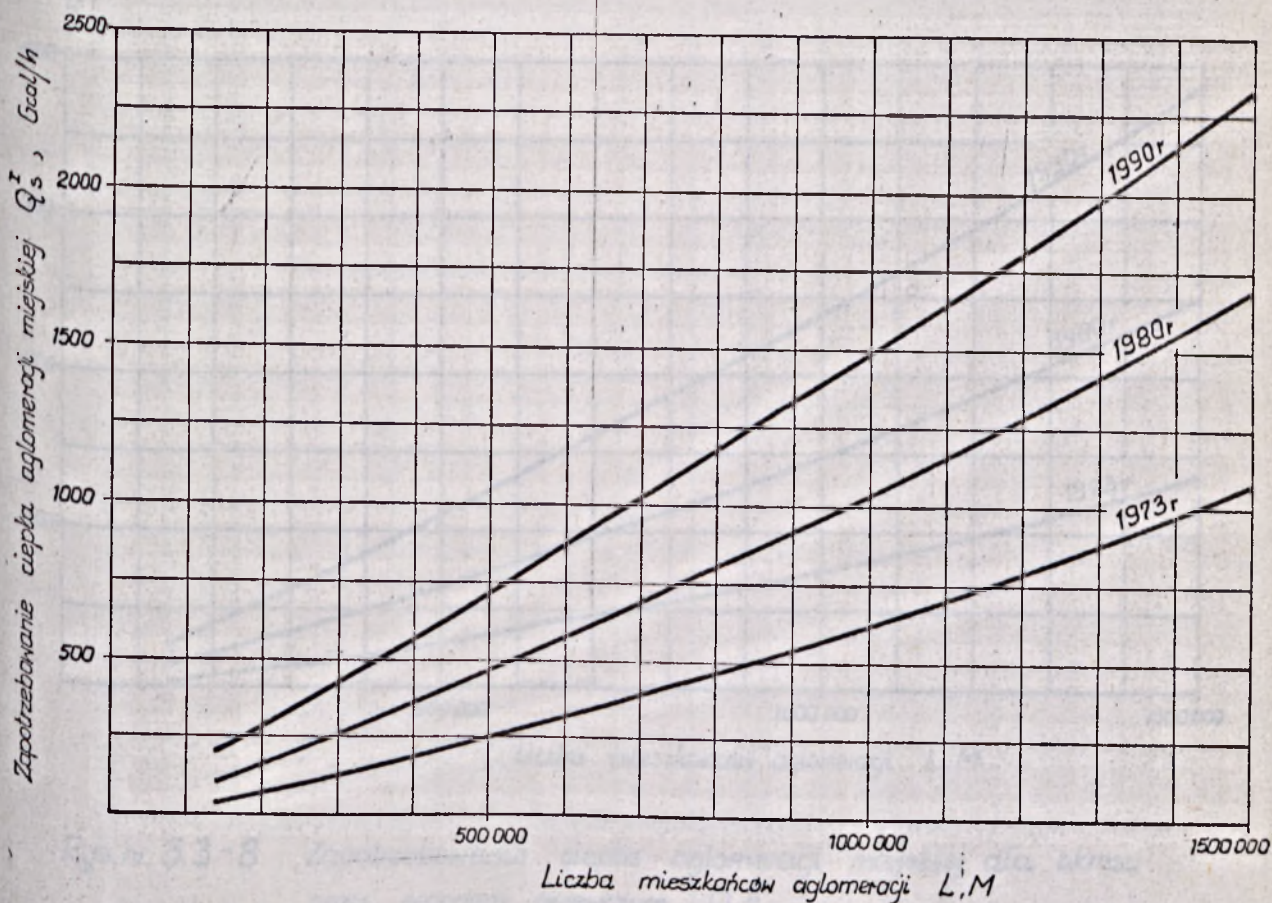
Rys. nr. 3.3-6 Zapotrzebowanie ciepła aglomeracji miejskiej dla sezonu grzewczego w warunkach obliczeniowych Q_o^I

- a) wyrażone w MW
- b) wyrażone w Gcal/h

a)



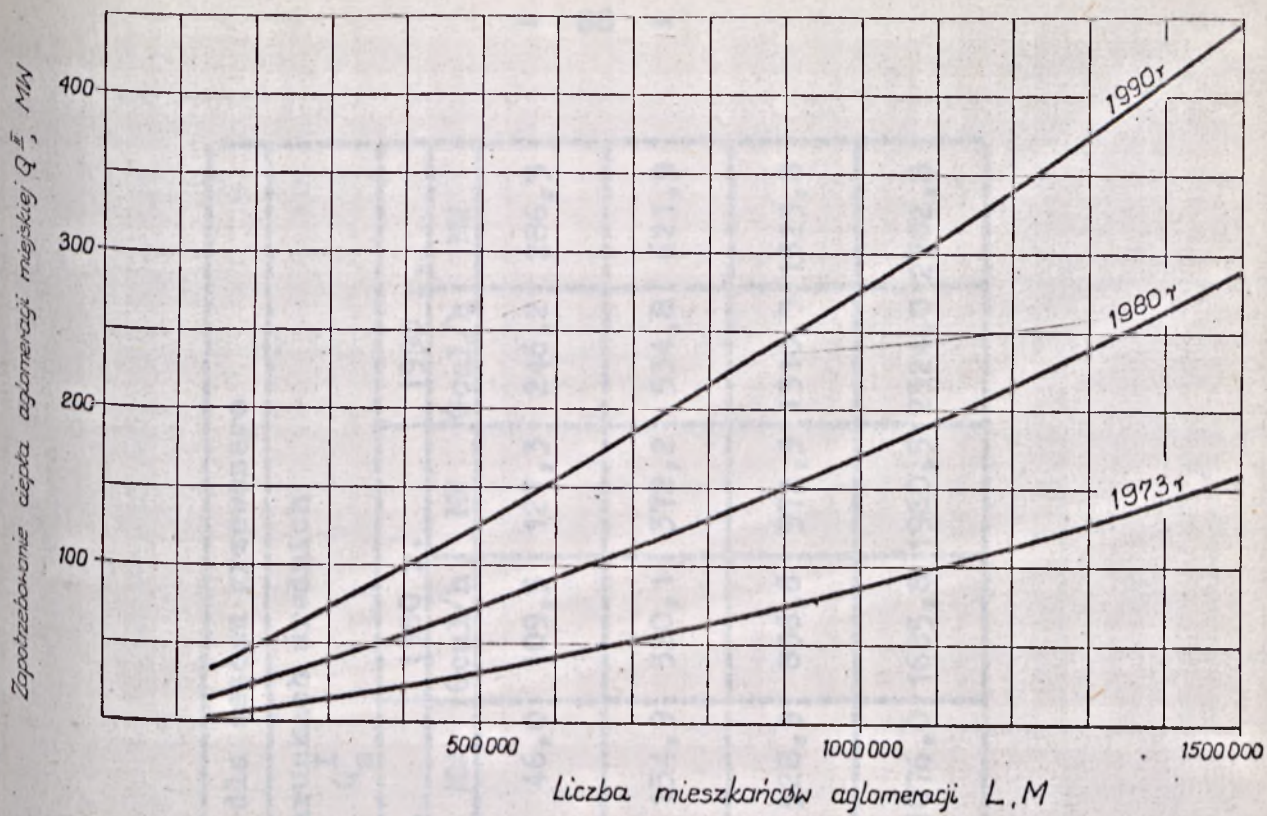
b)



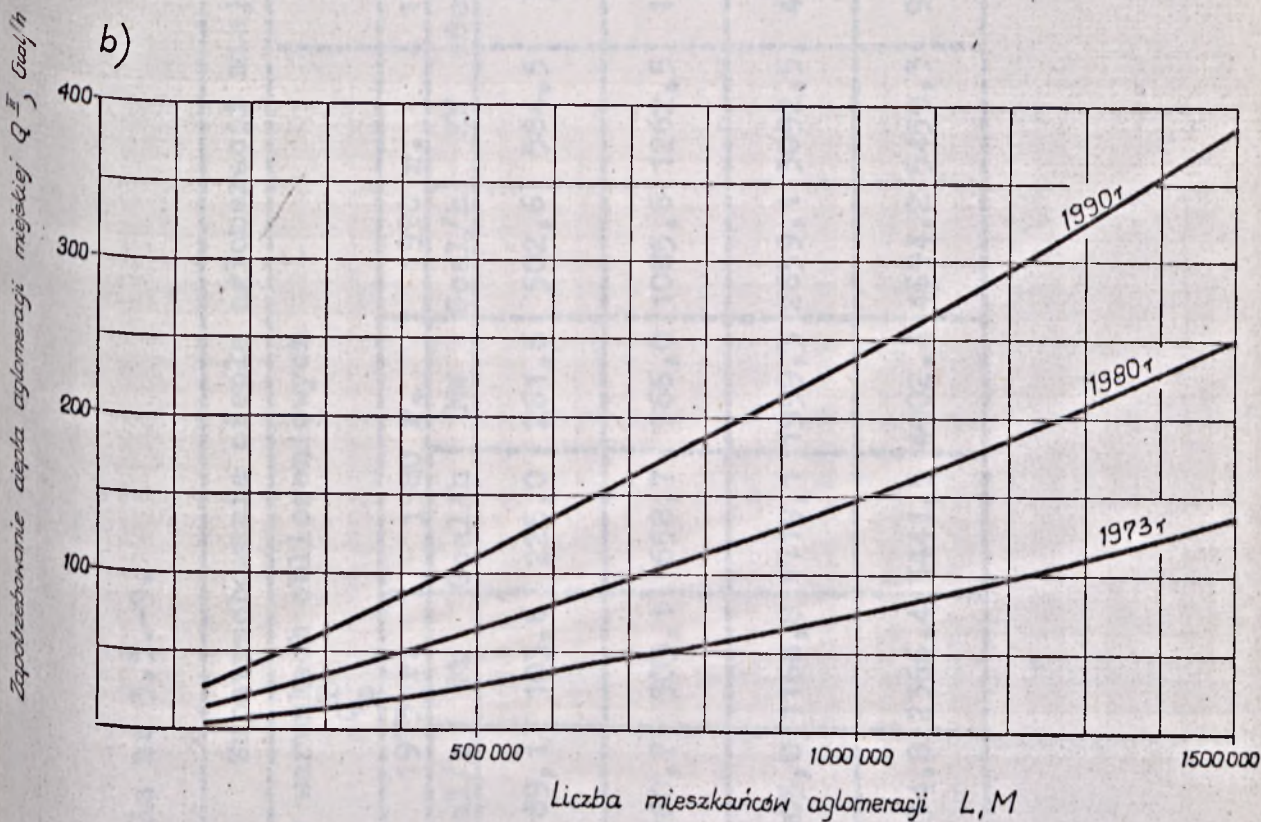
Rys.nr. 3.3-7 Zapotrzebowanie ciepła aglomeracji miejskiej dla sezonu grzewczego w warunkach średnich Q_s^I

- a) wyrażone w MW
- b) wyrażone w Gcal/h

a)



b)



Rys.nr. 3.3-8 Zapotrzebowanie ciepła aglomeracji miejskiej dla okresu poza sezonem grzewczym Q^{II}

- a) wyrażone w MW
- b) wyrażone w Gcal/h

Tabela nr 3.3.-9.

Grupa miast	Zapotrzebowanie ciepła aglomeracji miejskiej dla sezonu grzewczego w warunkach obliczeniowych											
	w warunkach obliczeniowych						w warunkach średnich					
	1973 r.		1980 r.		1990 r.		1973 r.		1980 r.		1990 r.	
	Gcal/h	MW	Gcal/h	MW	Gcal/h	MW	Gcal/h	MW	Gcal/h	MW	Gcal/h	MW
0 ÷ 200 tys.M	89,1	103,6	225,0	261,6	502,6	584,5	39,6	46,0	109,5	127,3	246,2	286,3
0 ÷ 500 tys.M	260,7	303,1	658,7	766,0	1085,6	1262,5	116,0	134,9	320,1	372,2	534,8	621,9
0 ÷ 1000 tys.M	1005,0	1168,8	1719,1	1999,3	2659,1	3092,5	454,8	528,9	836,6	972,9	1310,3	1523,8
ponad 1000 tys.M	2034,8	2366,4	3441,5	4002,4	4694,2	5459,3	925,2	1076,0	1685,8	1960,5	2324,0	2702,8

Tabela nr 3.3.-10.

Grupy miast	Zapotrzebowanie ciepła aglomeracji miejskiej dla okresu poza sezonem grzewczym II					
	1973 r.		1980 r.		1990 r.	
	Gcal/h	MW	Gcal/h	MW	Gcal/h	MW
100 ÷ 200 tys.M	3,7	4,3	15,0	17,4	36,4	42,3
200 ÷ 500 tys.M	10,8	12,5	43,2	50,2	84,2	97,9
500 ÷ 1000 tys.M	54,8	63,7	114,7	133,3	206,9	240,6
ponad 1000 tys.M	118,4	137,6	249,6	290,2	385,0	447,7

3.3.3. Udział ciepła odzyskanego ze spalania odpadków komunalnych w zapotrzebowaniu ciepła aglomeracji miejskich

Na podstawie zależności zamieszczonych w punktach 3.3.1. i 3.3.2. ustalono udziały ciepła odzyskanego ze spalania odpadków komunalnych w zapotrzebowaniu ciepła aglomeracji miejskich:

- dla sezonu grzewczego i warunków obliczeniowych

$$p_o^I = \frac{Q_{odp}^I}{Q_o^I} \cdot 100 \% \quad [3.3.-10]$$

- dla sezonu grzewczego i warunków średnich

$$p_s^I = \frac{Q_{odp}^I}{Q_s^I} \cdot 100 \% \quad [3.3.-11]$$

- dla okresu poza sezonem grzewczym

$$p^{II} = \frac{Q_{odp}^{II}}{Q^{II}} \cdot 100 \% \quad [3.3.-12]$$

Obliczone z zależności [3.3.-10, 3.3.-11, 3.3.-12] wielkości zamieszczono w tabeli nr 3.3.-11.

Zmniejszający się udział ciepła odzyskanego ze spalania odpadków w zapotrzebowaniu ciepła aglomeracji miejskich z upływem lat wynika ze zwiększającej się ilości budownictwa posiadającego instalację c.o. i c.w.u. w miastach.

Wielkości tych udziałów dążą dla roku 1990 do wartości:

- dla sezonu grzewczego i warunków obliczeniowych

$$p_o^I = 1,25\%$$

- dla sezonu grzewczego i warunków średnich

$$p_s^I = 2,5\%$$

- dla okresu poza sezonem grzewczym

$$p^{II} = 12,0\%$$

Tabela nr 3.3.-11.

Grupa miast	Udział procentowy odzysku ciepła ze spalonych odpadków komunalnych w zapotrzebowaniu ciepła											
	w sezonie grzewczym i warunkach obliczeniowych I				w sezonie grzewczym i warunkach średnich I				w okresie poza sezonem grzewczym II			
	P ₀		P _S		P _S		P _S		P		P	
	1973	1980	1990	1973	1980	1990	1973	1980	1990	1973	1980	1990
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
100 ÷ 200 tys.M	3,94	2,10	1,24	8,86	4,31	2,53	67,30	22,33	12,20			
200 ÷ 500 tys.M	3,23	1,65	1,23	7,25	3,40	2,49	55,37	17,92	11,26			
500 ÷ 1000 tys.M	2,20	1,61	1,22	4,85	3,31	2,47	28,65	17,15	11,11			
ponad 1000 tys.M	2,05	1,53	1,26	4,50	3,13	2,54	25,00	15,02	10,90			

Należy podkreślić, że wyżej zamieszczone udziały są odniesione do zapotrzebowania ciepła dla całej aglomeracji miejskiej.

Przykładowo udział ciepła odzyskanego ze spalania odpadków z całej aglomeracji miejskiej o wielkości 335.000 mieszkańców w roku 1980 w zapotrzebowaniu ciepła rejonu miasta obejmującego jedną piątą ludności wyniesie:

- dla sezonu grzewczego i warunków obliczeniowych

$$p_o^I = 8,25\%$$

- dla sezonu grzewczego i warunków średnich

$$p_s^I = 17,0\%$$

- dla okresu poza sezonem grzewczym

$$p^{II} = 89,6\%$$

Zamieszczone powyżej udziały ciepła ze spalania odpadków w zapotrzebowaniu rejonu miasta w sezonie grzewczym są znaczne. W okresie poza sezonem grzewczym ciepło ze spalania odpadków może pokryć prawie całe zapotrzebowanie tego rejonu.

4. OPTIMALNE WARUNKI WYKORZYSTANIA CIEPŁA SPALANIA ODPADKÓW KOMUNALNYCH W AGLOMERACJACH MIEJSKICH

4.1. Wykorzystanie ciepła spalania odpadków komunalnych dla centralnego przygotowania ciepłej wody użytkowej c. w. u.

W istniejących spalarniach odpadków w krajach Europy Zachodniej powstałe ciepło jest wykorzystane do produkcji:

- pary wysokoprężnej dla turbin wytwarzających energię elektryczną,
- pary wysokoprężnej dla potrzeb technologicznych zakładów przemysłowych,
- pary niskoprężnej dla potrzeb technologicznych zakładów przemysłowych.

W analizie wykorzystania ciepła spalania odpadków komunalnych wzięto pod uwagę następujące względy:

- technologiczne,
- energetyczne,
- egzenergetyczne,
- ekonomiczne.

4.1.1. W z g l ę d y t e c h n o l o g i c z n e
w y k o r z y s t a n i a c i e p ł a
s p a l a n i a o d p a d k ó w d o
p r o d u k c j i c i e p ł e j w o d y
u ż y t k o w e j

Odpadki komunalne powstają w okresie całego roku i nie mogą być ze względów higienicznych gromadzone. Z tego względu powinny być one spalane w sposób ciągły. Powoduje to całoroczne wytwarzanie energii cieplnej i konieczność ciągłego jej wykorzystania. Zapotrzebowanie ciepła dla przygotowania ciepłej wody użytkowej jest także całoroczne. Powyższe względy skłaniają do wykorzystania ciepła spalania odpadków do wytwarzania czynnika grzejnego (woda) o parametrach 70/35°C.

4.1.2. W z g l ę d y e n e r g e t y c z n e
w y k o r z y s t a n i a c i e p ł a
s p a l a n i a o d p a d k ó w d o
p r o d u k c j i c i e p ł e j w o d y
u ż y t k o w e j

W procesie spalania odpadków komunalnych należy dążyć do największego odzysku ciepła. W punkcie 3.1. niniejszej pracy wykazano, że różnice sprawności kotła $\Delta \eta$ z tytułu zmniejszenia straty kominowej przy produkcji czynników o parametrach 70/35°C i 150/70°C w stosunku do produkowanej pary nasyconej o ciśnieniu 11 ata ($107,87 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$) wynoszą:

- przy wytwarzaniu wody o parametrach 150/70°C - $\Delta\eta_1 = 7,0\%$,
- przy wytwarzaniu wody o parametrach 70/35°C - $\Delta\eta_2 = 10,5\%$

Przytoczone różnice sprawności termicznej $\Delta\eta$ wskazują wyraźnie, że wzrost odzysku ciepła przy wytwarzaniu wody o parametrach 70/35°C w stosunku do innych najczęściej stosowanych w ciepłownictwie czynników grzejnych jest znaczny z tego względu parametry 70/35°C czynnika grzejjego są najbardziej korzystne.

4.1.3. W z g l ę d y e g z e r g e t y c z n e w y k o r z y s t a n i a c i e p ł a s p a l a n i a o d p a d k ó w d o p r o d u k c j i c i e p ł e j w o d y u ż y t k o w e j

Dla określenia najwłaściwszych parametrów czynnika grzejjego produkowanego przy spalaniu odpadków przeprowadzono w punkcie 3.2. niniejszej pracy analizę egzergetyczną kotła opalanego odpadkami komunalnymi i miąłem węglowym jako paliwem najczęściej stosowanym. Różnice sprawności egzergetycznej kotłów $\Delta\varepsilon$ opalanych miąłem węglowym i opalanych odpadkami komunalnymi przy odpowiednich parametrach wytwarzanego czynnika wynoszą:

- woda o parametrach 70/35°C - $\Delta\varepsilon_{wm} = 1,97\%$
 - woda o parametrach 150/79°C - $\Delta\varepsilon_{ww} = 4,20\%$
 - para nasycona o ciśnieniu 11 ata $107,87 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$
- $\Delta\varepsilon_p = 5,97\%$

Zamieszczone różnice sprawności wskazują, że sprawność egzergetyczna kotła opalanego odpadkami komunalnymi jest najbardziej zbliżona do sprawności egzergetycznej kotła opalanego paliwem tradycyjnym (miak węglowy) przy wytwarzaniu przez te kotły czynnika o parametrach 70/35°C.

Z powyższych względów czynnik grzejny można uznać za optymalny.

4.1.4. W z g l ę d y e k o n o m i c z n e w y k o r z y s t a n i a c i e p ł a s p a l a n i a o d p a d k ó w d o p r o d u k c j i c i e p ł e j w o d y u ż y t k o w e j

Przy rozpatrywaniu każdego problemu technicznego należy zawsze brać pod uwagę względy ekonomiczne. Według opracowań [13,62] kotłownie wytwarzające czynnik grzejny o wysokich parametrach (para) wymagają około 50% wyższych nakładów inwestycyjnych w stosunku do kotłowni produkujących czynnik niskoparametrowy (woda) przy tej samej wydajności cieplnej. Eksploatacja kotłowni wodnych jest tańsza. Jak zaznaczono w punkcie 2.2.1.4. niniejszej pracy korozja powierzchni wymiany ciepła od strony spalin zachodzi szczególnie intensywnie przy temperaturach tej powierzchni powyżej 300°C [20,41]. Przy wytwarzaniu czynników grzejnych o wysokich parametrach temperatura ta byłaby znacznie wyższa. Skutki szybkiej korozji kotła powodowałyby konieczność częstych remontów powodując dodatkowe zwiększenie kosztów eksploatacji.

Powyższe względy preferują parametry niskie ($70/35^{\circ}\text{C}$) jako najbardziej właściwe ze względów ekonomicznych.

4.1.5. Uwagi ogólne

Analizując elementy rozpatrywane w punkcie 4.1. należy stwierdzić, że optymalnym czynnikiem wytwarzanym przy spalaniu odpadków komunalnych jest woda o parametrach $70/35^{\circ}\text{C}$.

4.2. Analiza wielkości spalarni odpadków komunalnych w funkcji zaludnienia aglomeracji miejskich

4.2.1. Ustalenie jednostkowych kosztów spalania odpadków komunalnych w zależności od wielkości (zaludnienia) aglomeracji miejskich

Dla określenia jednostkowych kosztów spalania odpadków komunalnych (bez kosztów transportu) w odniesieniu do jednej tony należy ustalić:

- ilość spalanych odpadków, R , ton/rok, kg/rok,
- moc cieplną spalarni, Q_{odp} , Gcal/h, MW,
- koszty inwestycyjne spalarni, K_{in} , zł,
- koszty eksploatacyjne spalarni, K_e , zł/rok,
- - koszty stałe, K_s , zł/rok,
- - koszty ruchowe, K_r , zł/rok.

Srednie ilości odpadków komunalnych wytworzonych w aglomeracjach miejskich w okresie roku określono z zależności

$$R = L \cdot N \cdot \gamma \cdot 10^{-3} \quad \text{ton/rok} \quad [4.2.-1]$$

R - ilość odpadków komunalnych wytworzonych w okresie roku,
ton/rok

N - odpowiednie wartości przyjęto według punktu 2.1.1.

tabela nr 2.1.-5, $\text{m}^3/(\text{M.rok})$

γ - odpowiednie wartości przyjęto według punktu 2.1.2.
tabela nr 2.1.-7, kg/m^3

L - odpowiednie wartości przyjęto według punktu 3.3.2.
tabela nr 3.3.-8, oraz wartość 100000 mieszkańców dla
aglomeracji porównawczej nierozwijającej się w czasie.

Obliczone ze wzoru [4.2.-1] ilości wytworzonych odpadków
komunalnych w okresie roku dla aglomeracji miejskich zamiesz-
czono w tabeli nr 4.2.1.

Tabela nr 4.2.-1

Grupa miast	Ilość wytworzonych odpadków w aglomeracjach miejskich R, ton/rok		
	1973	1980	1990
100 tys. mieszk.	27522	28600	29700
100÷200 tys.mieszk.	38641	45760	54945
200÷500 tys.mieszk.	83679	85927	100980
500÷1000 tys.mieszk.	208793	206806	205437
ponad 1000 tys.miesz.	366379	376960	364800

Moc cieplną spalarni odpadków przyjęto według punktu 3.3.1.
(tabela 3.3.-2.) Ilość i wielkość jednostek kotłowych przyjęto
jak dla stypizowanych źródeł na paliwo konwencjonalne
(kotłownie wodne) według COBPBP "Bistyp".

Przy określaniu kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych spalarni odpadków oparto się na:

- materiałach uzyskanych bezpośrednio u producentów urządzeń kotłowych: Fabryka Kotłów Przemysłowych "FAKOP" w Sosnowcu, Fabryka Palenisk Mechanicznych w Mikołowie,
- informacjach i opracowaniach: BSiPE "Energoprojekt" w Warszawie, COBPBP "Bistyp" w Warszawie, Biura Planowania Rozwoju Warszawy, OBPKiUE w Tarnowskich Górach, Stołecznego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej w Warszawie, Państwowego Inspektoratu Gospodarki Paliwowo-Energetycznej w Warszawie,
- danych zawartych w katalogach i cennikach.

Ze względu na brak konkretnych projektów spalarni odpadków oraz ze względu na charakter porównawczy przedstawianej analizy, określono przybliżone koszty inwestycyjne i eksploatacyjne spalarni. Takie ustalenia kosztów stosuje się w zagadnieniach energetycznych na etapie analizy techniczno-ekonomicznej.

Jako podstawę do wyceny inwestycji (spalarni odpadków) K_{in} , zł przyjęto koszty typowych kotłowni K_k , zł. opalanych paliwem tradycyjnym (miał węglowy), a następnie na podstawie założeń techniczno-ekonomicznych wykonanych przez autora pracy i cen jednostkowych [39] określono koszty dodatkowe dla spalarni K_p , zł (koszty: bunkra na odpadki, suwnicy, stanowiska wyładowcze, wagi samochodowe, bramy śluz wyładowczych itp.) Z powodu braku opublikowanych aktualnych wielkości kosztów inwestycyjnych stypizowanych źródeł ciepła na paliwo tradycyjne określono zależność wskaźnika nakładów inwestycyjnych k_{in} , tys.zł/Gcal/h od mocy cieplnej źródła na podstawie opracowania [13] dla

roku 1970 i na podstawie uzyskanych materiałów w COBPBP "Bistyp" dla roku 1975 co ilustruje rysunek nr 4.2.-1.

Koszty inwestycyjne spalarni odpadków określono z zależności:

$$K_{in} = K_k + K_p \quad \text{zł} \quad [4.2.-2]$$

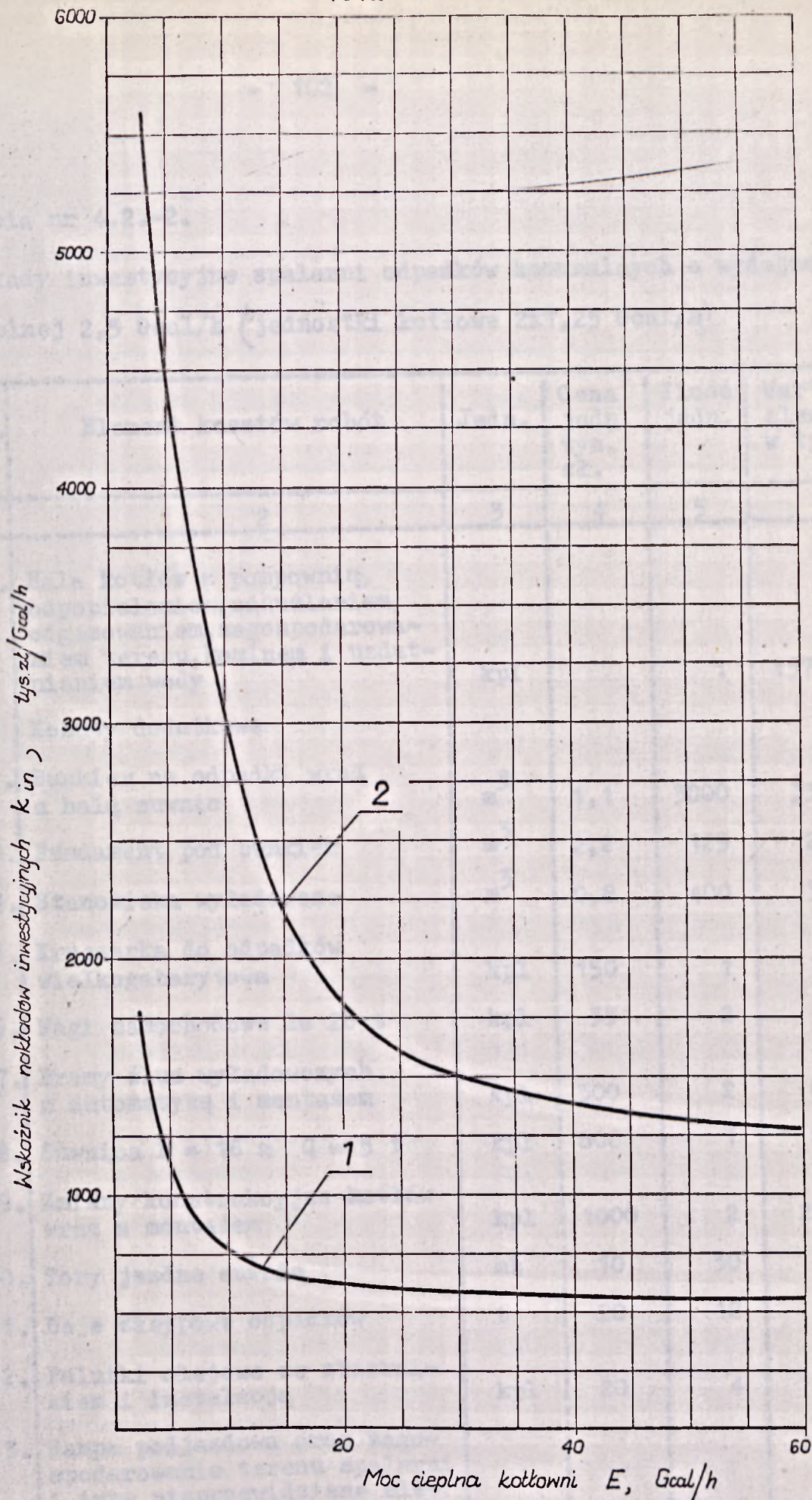
K_k - koszty inwestycyjne typowych kotłowni na paliwo tradycyjne o mocy cieplnej równej mocy uzyskanej ze spalarni odpadków, zł.

K_p - koszty dodatkowe związane z budową spalarni odpadków, zł

Obliczenia kosztów inwestycyjnych przedstawiono w formie tabelarycznej dla ilości odzyskanego ciepła $1 \div 60$ Gcal/h ($1,16 \div 69,60$ MW) według stypizowanych ilości i wielkości jednostek kotłowych jak dla paliw konwencjonalnych - tabele nr 4.2.-2.; 4.2.-3.; 4.2.-4.; 4.2.-5.; 4.2.-6.; 4.2.-7.; 4.2.-8.; 4.2.-9.; 4.2.-10.; 4.2.-11.

Dla określenia kosztów eksploatacyjnych spalarni odpadków przyjęto następujące założenia:

- jako podstawowy okres obliczeniowy przyjęto okres jednego roku,
- uwzględniono koszty stałe i ruchome,
- koszty stałe wyliczono według kosztów inwestycyjnych spalarni niezależnie od prowadzonej eksploatacji,
- wskaźniki kosztów stałych przyjęto następujące:
 - - stawka amortyzacji r_a kosztów inwestycyjnych spalarni,
 - - stawka remontów bieżących r_b kosztów inwestycyjnych spalarni,



Rys.nr. 4.2-1 Zależność wskaźnika nakładów inwestycyjnych od mocy cieplnej kotłowni.

1 - dla poziomu cen 1970r.
2 - dla poziomu cen 1975r.

Tabela nr 4.2.-2.

Nakłady inwestycyjne spalarni odpadków komunalnych o wydajności cieplnej 2,5 Gcal/h (jednostki kotłowe 2x1,25 Gcal/h)

Lp.	Element kosztów robót	Jedn.	Cena jedn. tys. zł.	Ilość jedn.	Wartość elementu w tys. zł.
1	2	3	4	5	6
1.	Hala kotłów z pompownią, odpopielaniem, odżużlaniem, odgazowaniem, zagospodarowaniem terenu, kominem i uzdatnianiem wody	kpl		1	13750
	Koszty dodatkowe				
2.	Bunkier na odpadki wraz z halą suwnic	m ³	1,1	3000	3300
3.	Fundament pod bunkier	m ³	2,2	125	275
4.	Stanowiska wyładowcze	m ³	0,8	400	320
5.	Kruszarka do odpadków wielkogabarytowa	kpl	150	1	150
6.	Wagi samochodowe do 20 t	kpl	35	2	70
7.	Bramy śluz wyładowczych z automatyką i montażem	kpl	300	2	600
8.	Suwnica L = 16 m Q = 5 t	kpl	800	1	800
9.	Zmiany konstrukcyjne kotłów wraz z montażem	kpl	1000	2	2000
10.	Tory jezdne suwnic	mb	10	30	300
11.	Leje zasypowe odpadków	t	20	12	240
12.	Palniki olejowe ze zbiornikiem i instalacją	kpl	20	4	80
13.	Rampa podjazdowa oraz zagospodarowanie terenu spalarni i inne nieprzewidziane elementy obiektu	kpl	1500	1	1500
14.	Elektrofiltry	kpl	3000	1	3000
	Razem				26385

Tabela nr 4.2.-3.

Nakłady inwestycyjne spalarni odpadków komunalnych o wydajności cieplnej 5 Gcal/h (jednostki kotłowe 2x2,5 Gcal/h)

Lp.	Element kosztów robót	Jedn.	Cena jedn. tys. zł.	Ilość jedn.	Wartość elementu w tys.zł.
1	2	3	4	5	6
1.	Hala kotłów z pompownią, odpopielaniem, odżużlaniem, odgazowaniem, zagospodarowaniem terenu, kominem i uzdatnianiem wody	kpl		1	23000
	Koszty dodatkowe				
2.	Bunkier na odpadki wraz z halą suwnic	m ³	1,1	3500	3850
3.	Fundament pod bunkier	m ³	2,2	130	286
4.	Stanowiska wyładowcze	m ³	0,8	450	360
5.	Kruszarka do odpadków wielkogabarytowa	kpl	150	1	150
6.	Wagi samochodowe do 20 t	kpl	35	2	70
7.	Bramy śluz wyładowczych z automatyką i montażem	kpl	300	2	600
8.	Suwnica L = 16 m Q = 5 ton	kpl	800	1	800
9.	Zmiany konstrukcyjne kotłów wraz z montażem	kpl	1000	2	2000
10.	Tory jezdne suwnic	mb	10	30	300
11.	Leje zasypowe odpadków	t	20	14	280
12.	Palniki olejowe ze zbiornikiem i instalacją	kpl	4	20	80
13.	Rampa podjazdowa oraz zagospodarowanie terenu spalarni i inne nieprzewidziane elementy obiektu	kpl	1500	1	1500
14.	Elektrofiltry	kpl	3250	1	3250
	Razem				36526

Tabela nr 4.2.-4.

Nakłady inwestycyjne spalarni odpadków komunalnych o wydajności cieplnej 7,5 Gcal/h (jednostki kotłowe 3x2,5 Gcal/h)

Lp.	Element kosztów robót	Jedn.	Cena jedn. tys. zł.	Ilość jedn.	Wartość elementu w tys.zł.
1	2	3	4	5	6
1.	Hala kotłów z pompownią, odpopielaniem, odżużlaniem, odgazowaniem, zagospodarowaniem terenu, kominem i uzdatnianiem wody Koszty dodatkowe	kpl		1	28500
2.	Bunkier na odpadki wraz z halą suwnic	m ³	1,1	4000	4400
3.	Fundament pod bunkier	m ³	2,2	1400	308
4.	Stanowiska wyładowcze	m ³	0,8	500	400
5.	Kruszarka do odpadków wielkogabarytowa	kpl	150	1	150
6.	Wagi samochodowe do 20 t	kpl	35	2	70
7.	Bramy śluz wyładowczych z automatyką i montażem	kpl	300	3	900
8.	Suwnica L = 16 m Q = 5 ton	kpl	800	1	800
9.	Zmiany konstrukcyjne kotłów wraz z montażem	kpl	1000	3	3000
10.	Tory jezdne suwnic	mb	10 ³	30	300
11.	Leje zasypowe odpadków	t	20	15	300
12.	Palniki olejowe ze zbiornikiem i instalacją	kpl	20	6	120
13.	Rampa podjazdowa oraz zagospodarowanie terenu spalarni i inne nieprzewidziane elementy obiektu	kpl	1500	1	1500
14.	Elektrofiltry	kpl	3500	1	3500
	Razem				44248

Tabela nr 4.2.-5.

Nakłady inwestycyjne spalarni odpadków komunalnych o wydajności cieplnej 10 Gcal/h (jednostki kotłowe 2x5 Gcal/h)

Lp.	Element kosztów robót	Jedn.	Cena jedn. tys. zł.	Ilość jedn.	Wartość elementu w tys. zł.
1.	Hala kotłów z pompownią, odpopielaniem, odżużlaniem, odgazowaniem, zagospodarowaniem terenu, kominem i uzdatnianiem wody	kpl		1	30000
	Koszty dodatkowe				
2.	Bunkier na odpadki wraz z halą suwnic	m ³	1,1	5000	5500
3.	Fundament pod bunkier	m ³	2,2	150	310
4.	Stanowiska wyładowcze	m ³	0,8	650	520
5.	Kruszarka do odpadków wielkogabarytowa	kpl	150	1	150
6.	Wagi samochodowe do 20 t	kpl	35	2	70
7.	Bramy śluz wyładowczych z automatyką i montażem	kpl	300	5	1500
8.	Suwnica L = 16 m Q = 5 ton	kpl	800	1	800
9.	Zmiany konstrukcyjne kotłów wraz z montażem	kpl	1000	3	3000
10.	Tory jezdne suwnic	mb	10	50	500
11.	Leje zasypowe odpadków	t	20	21	420
12.	Palniki olejowe ze zbiornikiem i instalacją	kpl	20	6	120
13.	Rampa podjazdowa oraz zagospodarowanie terenu spalarni i inne nieprzewidziane elementy obiektu	kpl	2000	1	2000
14.	Elektrofiltry	kpl	4500	1	4500
	Razem				49390

Tabela nr 4.2.-6.

Nakłady inwestycyjne spalarni odpadków komunalnych o wydajności cieplnej 15 Gcal/h (jednostki kotłowe 3x5 Gcal/h)

Lp.	Element kosztów robót	Jedn.	Cena jedn. tys. zł.	Ilość jedn.	Wartość elementu w tys.zł.
1.	Hala kotłów z pompownią, odpopielaniem, odżużlaniem, odgazowaniem, zagospodarowaniem terenu, kominem i uzdatnianiem wody	kpl		1	33000
	Koszty dodatkowe	kpl		1	6000
2.	Bunkier na odpadki wraz z halą suwnic	m ³	1,1	6500	7150
3.	Fundament pod bunkier	m ³	2,2	170	374
4.	Stanowiska wyładowcze	m ³	0,8	850	680
5.	Kruszarka do odpadków wielkogabarytowa	kpl	150	1	150
6.	Wagi samochodowe do 20 t	kpl	35	2	70
7.	Bramy śluz wyładowczych z automatyką i montażem	kpl	300	6	1800
8.	Suwnica L = 16 m Q = 5 ton	kpl	800	1	800
9.	Zmiany konstrukcyjne kotłów wraz z montażem	kpl	1000	3	3000
10.	Tory jezdne suwnic	mb	10	50	500
11.	Leje zasypowe odpadków	t	20	21	420
12.	Palniki olejowe ze zbiornikiem i instalacją	kpl	20	6	120
13.	Rampa podjazdowa oraz zagospodarowanie terenu spalarni i inne nieprzewidziane elementy obiektu	kpl	2000	1	2000
14.	Elektrofiltry	kpl	4500	1	4500
	Razem				54564

Tabela nr 4.2.-7.

Nakłady inwestycyjne spalarni odpadków komunalnych o wydajności cieplnej 20 Gcal/h (jednostki kotłowe 2x10 Gcal/h)

Lp.	Element kosztów robót	Jedn.	Cena jedn. tys. zł.	Ilość jedn.	Wartość elementu w tys.zł.
1.	Hala kotłów z pompownią, odpopielaniem, odżużlaniem, odgazowaniem, zagospodarowaniem terenu, kominem i uzdatnianiem wody	kpl		1	36000
	Koszty dodatkowe				
2.	Bunkier na odpadki wraz z halą suwnic	m ³	1,1	8000	8800
3.	Fundament pod bunkier	m ³	2,2	190	418
4.	Stanowiska wyładowcze	m ³	0,8	950	760
5.	Kruszarka do odpadków wielkogabarytowa	kpl	150	1	150
6.	Wagi samochodowe do 20 t	kpl	35	3	105
7.	Bramy śluz wyładowczych z automatyką i montażem	kpl	300	8	2400
8.	Suwnica L = 20 m Q = 5 ton	kpl	900	1	900
9.	Zmiany konstrukcyjne kotłów wraz z montażem	kpl	1000	2	2000
10.	Tory jezdne suwnic	mb	10	60	600
11.	Leje zasypowe odpadków	t	20	25	500
12.	Palniki olejowe ze zbiornikiem i instalacją	kpl	20	4	80
13.	Rampa podjazdowa oraz zagospodarowanie terenu spalarni i inne nieprzewidziane elementy obiektu	kpl	2000	1	2000
14.	Elektrofiltry	kpl	5000	1	5000
	Razem				59713

Tabela nr 4.2.-8.

Nakłady inwestycyjne spalarni odpadków komunalnych o wydajności cieplnej 30 Gcal/h (jednostki kotłowe 3x10 Gcal/h)

Lp.	Element kosztów robót	Jedn.	Cena jedn. tys. zł.	Ilość jedn.	Wartość elementu w tys. zł.
1.	Hala kotłów z pompownią, odpopielaniem, odżużlaniem, odgazowaniem, zagospodarowaniem terenu, kominem i uzdatnianiem wody	kpl		1	45000
	Koszty dodatkowe				
2.	Bunkier na odpadki wraz z halą suwnic	m ³	1,1	11000	12100
3.	Fundament pod bunkier	m ³	2,2	210	465
4.	Stanowiska wyładowcze	m ³	0,8	1100	880
5.	Kruszarka do odpadków wielkogabarytowa	kpl	150	1	150
6.	Wagi samochodowe do 20 t	kpl	35	3	105
7.	Bramy śluz wyładowczych z automatyką i montażem	kpl	300	10	3000
8.	Suwnica L = 20 m Q = 5 ton	kpl	900	1	9000
9.	Zmiany konstrukcyjne kotłów wraz z montażem	kpl	1000	3	3000
10.	Tory jezdni suwnic	mb	10	70	700
11.	Leje zasypowe odpadków	t	20	28	560
12.	Palniki olejowe ze zbiornikiem i instalacją	kpl	20	6	120
13.	Rampa podjazdowa oraz zagospodarowanie terenu spalarni i inne nieprzewidziane elementy obiektu	kpl	2000	1	2000
14.	Elektrofiltry	kpl	6500	1	6500
	Razem				83580

Tabela nr 4.2.-9.

Nakłady inwestycyjne spalarni odpadków komunalnych o wydajności cieplnej 40 Gcal/h (jednostki kotłowe 4x10 Gcal/h)

Lp.	Element kosztów robót	Jedn.	Cena jedn. tys. zł.	Ilość jedn.	Wartość elementu w tys.zł.
1.	Hala kotłów z pompownią, odpopielaniem, odżużlaniem, odgazowaniem, zagospodarowaniem terenu, kominem i uzdatnianiem wody	kpl		1	54400
	Koszty dodatkowe				
2.	Bunkier na odpadki wraz z halą suwnic	m ³	1,1	13000	14300
3.	Fundament pod bunkier	m ³	2,2	250	550
4.	Stanowiska wyładowcze	m ³	0,8	1300	1040
5.	Kruszarka do odpadków wielkogabarytowa	kpl	150	1	150
6.	Wagi samochodowe do 20t	kpl	35	3	105
7.	Bramy śluz wyładowczych z automatyką i montażem	kpl	300	12	3600
8.	Suwnica L = 20 m Q = 5 ton	kpl	900	1	900
9.	Zmiany konstrukcyjne kotłów wraz z montażem	kpl	1000	4	4000
10.	Tory jezdne suwnic	mb	10	80	800
11.	Leje zasypowe odpadków	t	20	35	700
12.	Palniki olejowe ze zbiornikiem i instalacją	kpl	20	8	160
13.	Rampa podjazdowa oraz zagospodarowanie terenu spalarni i inne nieprzewidziane elementy obiektu	kpl	2000	1	2000
14.	Elektrofiltry	kpl	8000	1	8000
	Razem				90705

Tabela nr 4.2.-10.

Nakłady inwestycyjne spalarni odpadków komunalnych o wydajności cieplnej 50 Gcal/h (jednostki kotłowe 5x10 Gcal/h)

Lp.	Element kosztów robót	Jedn.	Cena jedn. tys. zł.	Ilość jedn.	Wartość elementu w tys. zł.
1.	Hala kotłów z pompownią, odpopielaniem, odżużlaniem, odgazowaniem, zagospodarowaniem terenu, kominem i uzdatnianiem wody	kpl		1	65000
	Koszty dodatkowe				
2.	Bunkier na odpadki wraz z halą suwnic	m ³	1,1	14000	15400
3.	Fundament pod bunkier	m ³	2,2	275	605
4.	Stanowiska wyładowcze	m ³	0,8	1450	1160
5.	Kruszarka do odpadków wielkogabarytowa	kpl	150	1	150
6.	Wagi samochodowe do 20 ton	kpl	35	4	140
7.	Bramy śluz wyładowczych z automatyką i montażem	kpl	30	14	420
8.	Suwnica L = 20 m Q = 5 ton	kpl	900	1	900
9.	Zmiany konstrukcyjne kotłów wraz z montażem	kpl	1000	5	5000
10.	Tory jezdne suwnic	mb	10	90	900
11.	Leje zasypowe odpadków	t	20	40	800
12.	Palniki olejowe ze zbiornikiem i instalacją	kpl	20	10	200
13.	Rampa podjazdowa oraz zagospodarowanie terenu spalarni i inne nieprzewidziane elementy obiektu	kpl	2000	1	2000
14.	Elektrofiltry	kpl	9000	1	9000
	Razem				101675

Tabela nr 4.2.-11.

Nakłady inwestycyjne spalarni odpadków komunalnych o wydajności cieplnej 60 Gcal/h (jednostki kotłowe 6x10 Gcal/h)

Lp.	Element kosztów robót	Jedn.	Cena jedn. tys. zł.	Ilość jedn.	Wartość elementu w tys. zł.
1.	Hala kotłów z pompownią, odpopielaniem, odżużlaniem, odgazowaniem, zagospodarowaniem terenu, kominem i uzdatnianiem wody	kpl		1	75600
	Koszty dodatkowe				
2.	Bunkier na odpadki wraz z halą suwnic	m ³	1,1	15000	16500
3.	Fundament pod bunkier	m ³	2,2	300	660
4.	Stanowiska wyładownicze	m ³	0,8	1600	1280
5.	Kruszarka do odpadków wielkogabarytowa	kpl	150	1	150
6.	Wagi samochodowe do 20 t	kpl	35	4	140
7.	Bramy śluz wyładowniczych z automatyką i montażem	kpl	30	16	480
8.	Suwnica L = 20 m Q = 5 ton	kpl	900	1	900
9.	Zmiany konstrukcyjne kotłów wraz z montażem	kpl	1000	6	6000
10.	Tory jezdne suwnic	mb	10	100	1000
11.	Leje zasypowe odpadków	t	20	45	900
12.	Palniki olejowe ze zbiornikiem i instalacją	kpl	20	12	240
13.	Rampa podjazdowa oraz zagospodarowanie terenu spalarni i inne nieprzewidziane elementy obiektu	kpl	2000	1	2000
14.	Elektrofiltry	kpl	9000	1	9000
	Razem				<u>114850</u>

- - stawka remontów kapitalnych r_k kosztów inwestycyjnych spalarni,
- - stawka podatków, opłat ubezpieczeniowych, konserwacji r_o kosztów inwestycyjnych spalarni,
- koszty ogólne uzależniono od kosztów płac personelu spalarni,
- praca spalarni odbywa się przy pełnym jej obciążeniu cieplnym.

W rachunkach kosztów nie uwzględniono zysków (np. sprzedaż ciepła). Spowodowane zostało to koniecznością porównania kosztów spalania odpadków z kosztem transportu samochodowego tych odpadków.

Srednia stawka amortyzacji obliczona została na podstawie przewidywanej struktury środków trwałych oraz umorzeń nakładów niematerialnych i prawnych według wytycznych [58].

Dla kotłowni wodnych o mocy cieplnej $1 \div 80$ Gcal/h ($1,16 \div 92,80$ MW) średnia stawka amortyzacyjna r_a na podstawie opracowania [59] wynosi 4,5%.

Remonty bieżące i kapitalne jako wskaźniki kosztów stałych przyjęto w oparciu o branżową instrukcję [61] według której wynoszą one:

- stawka remontów bieżących $r_b = 1,5\%$ kosztów inwestycji,
- stawka remontów kapitalnych $r_k = 3,0\%$ kosztów inwestycji.

Stawka: podatków, opłat ubezpieczeniowych, konserwacji według literatury [28] wynosi $r_o = 0,5\%$ kosztów inwestycji.

W obliczaniu kosztów ruchowych, koszty paliw i energii określono na podstawie opracowania PIGPE [60] i kosztów uwzględnianych w rozliczeniach Przedsiębiorstw Energetyki Ciepłej. Udział ruchowych materiałów pomocniczych określono na podstawie zaleceń literatury [28]

Roczne koszty eksploatacyjne określono z zależności:

$$K_e = K_s + K_r \quad \text{zł/rok} \quad [4.2.-3]$$

przy czym $K_s = (r_a + r_b + r_k + r_o) K_{in}$ zł/rok [4.2.-4]

K_r - koszty ruchowe zależne od mocy cieplnej spalarni odpadków, zł/rok

r_a - stawka amortyzacji, %

r_b - stawka remontów bieżących, %

r_k - stawka remontów kapitalnych, %

r_o - stawka podatków, opłat ubezpieczeniowych, konserwacji, %

Wielkości kosztów eksploatacyjnych przedstawiono w formie tabelarycznej w zależności od ilości odzyskanego ciepła w spalarniach odpadków $1 \div 60$ Gcal/h ($1,16 \div 69,60$ MW) według stypizowanych ilości h i wielkości jednostek kotłowych E Gcal/h jak dla paliw konwencjonalnych - Tabele nr 4.2.-12; 4.2.-13; 4.2.-14; 4.2.-15; 4.2.-16; 4.2.-17; 4.2.-18; 4.2.-19; 4.2.-20; 4.2.-21. Koszty spalania jednej tony odpadków dla odpowiednich wielkości aglomeracji miejskich określono z zależności:

$$K_{sp} = \frac{K_e}{R} \quad \text{zł/tonę} \quad [4.2.-5]$$

K_{sp} - koszt spalania jednej tony odpadków komunalnych, zł/tonę

K_e - odpowiednie wartości przyjęto według odpowiednich tabel nr 4.2.-12. do 4.2.-21. dla ilości ciepła możliwego do odzyskania ze spalania odpadków komunalnych w okresie sezonu grzewczego dla roku 1973, które są bardzo zbliżone do aktualnych ilości (1975 r). Dane te zamieszczono w punkcie 3.3.1. tabela nr 3.3.-2, zł/rok

R - odpowiednie wartości przyjęto według tabeli nr 4.2.-1. dla roku 1973, które są bardzo zbliżone do aktualnych wielkości (1975r), t/rok

Tabela nr 4.2.-12.

Roczne koszty eksploatacyjne spalarni odpadków komunalnych dla ilości ciepła $Q_{\text{odp}} = 1,0 \div 2,5 \text{ Gcal/h}$ (jednostki kotłowe $hxE = 2 \times 1,25 \text{ Gcal/h}$)

Lp.	Składniki kosztów	Jednostki	Cena jednostk. w zł	Ilość jedn.	Koszty roczne w tys.zł.
	I Koszty stałe				
1.	Amortyzacja - 4,5%		26385000		1187,32
2.	Remonty bieżące -1,5%		26385000		395,77
3.	Remonty kapitalne-3%		26385000		791,55
4.	Podatki, opłaty ubezpieczeniowe, konserwacja - 0,5%		26385000		131,92
	II Koszty ruchowe (pracy)				
1.	Ruchowe materiały pomocnicze - 1,1%		26385000		290,23
2.	Koszt wywozu ścieków	m ³	4,1	1300	5,33
3.	Koszt oleju do rozpalania	t	6033	0,6	3,61
4.	Zużycie energii elektrycznej	tys.kWh	720	1000	720,00
5.	Zużycie ciepła	Gcal	180	2000	360,00
6.	Zużycie wody	m ³	5,1	700	3,57
7.	Pozostałe koszty		szacunk.		80,00
8.	Płace	zł/prac	40000	20	800,00
9.	Koszty ogólne 50% płac		800000		400,00
	Łączne koszty stałe i ruchowe				5169,30

Tabela nr 4.2.-13.

Roczne koszty eksploatacyjne spalarni odpadków komunalnych

dla ilości ciepła $Q_{\text{odp}} = 2,5 \div 5,0 \text{ Gcal/h}$ (jednostki kotłowe $hxE = 2 \times 2,5 \text{ Gcal/h}$)

Lp.	Składniki kosztów	Jednostki	Cena jednostk. w zł.	Ilość jedn.	Koszty roczne w tys. zł.
I Koszty stałe					
1.	Amortyzacja - 4,5%		36526000		1643,67
2.	Remonty bieżące - 1,5%		36526000		547,89
3.	Remonty kapitalne - 3%		36526000		1095,78
4.	Podatki, opłaty ubezpieczeniowe, konserwacja - 0,5%		36526000		182,63
Koszty ruchowe (pracy)					
1.	Ruchowe materiały pomocnicze - 1,1%		36526000		401,78
2.	Koszt wywozu ścieków	m ³	4,1	1400	5,74
3.	Koszt oleju do rozpalania	t	6033	0,75	4,52
4.	Zużycie energii elektrycznej	tys.kWh	720	1000	720,00
5.	Zużycie ciepła	Gcal	180	2200	396,00
6.	Zużycie wody	m ³	5,1	750	3,82
7.	Pozostałe koszty		szacunk.		90,00
8.	Płace	zł/prac.	40000	22	880,00
9.	Koszty ogólne 50% płac		880000		440,00
Łączne koszty stałe i ruchowe					6411,83

Tabela nr 4.2.-14.

Roczne koszty eksploatacyjne spalarni odpadków komunalnych

dla ilości ciepła $Q_{\text{odp}} = 5,0 \div 7,5 \text{ Gcal/h}$ (jednostki kotłowe $hxE = 3 \times 2,5 \text{ Gcal/h}$)

Lp.	Składniki kosztów	Jednostki	Cena jednostk. w zł.	Ilość jedn.	Koszty roczne w tys.zł.
	I Koszty stałe				
1.	Amortyzacja - 4,5%		44248000		1991,16
2.	Remonty bieżące - 1,5%		44248000		663,72
3.	Remonty kapitalne - 3%		44248000		1327,44
4.	Podatki, opłaty ubezpieczeniowe, konserwacja - 0,5%		44248000		221,24
	II Koszty ruchowe (pracy)				
1.	Ruchowe materiały pomocnicze - 1,1%		44248000		486,72
2.	Koszt wywozu ścieków	m ³	4,1	1500	6,15
3.	Koszt oleju do rozpalania	t	6033	0,75	4,52
4.	Zużycie energii elektrycznej	tys.kWh	720	1100	792,00
5.	Zużycie ciepła	Gcal	180	2500	450,00
6.	Zużycie wody	m ³	5,1	800	4,08
7.	Pozostałe koszty		szacunk.		100,00
8.	Płace	zł/prac.	40000	24	960,00
9.	Koszty ogólne 50% płac		960000		480,00
	Łączne koszty stałe i ruchowe				7487,03

Tabela nr 4.2.-15.

Roczne koszty eksploatacyjne spalarni odpadków komunalnych dla ilości ciepła $Q_{\text{odp}} = 7,5 \div 10,0 \text{ Gcal/h}$ (jednostki kotłowe $hxE=2x5,0 \text{ Gcal/h}$)

Lp.	Składniki kosztów	Jednostki	Cena jednostk. w zł.	Ilość jedn.	Koszty roczne w tys. zł.
	I Koszty stałe				
1.	Amortyzacja - 4,5%		49390000		2222,55
2.	Remonty bieżące - 1,5%		49390000		740,85
3.	Remonty kapitalne - 3%		49390000		1481,70
4.	Podatki, opłaty ubezpieczeniowe, konserwacja - 0,5%		49390000		246,95
	II Koszty ruchowe (pracy)				
1.	Ruchowe materiały pomocnicze - 1,1%		49390000		543,29
2.	Koszt wywozu ścieków	m ³	4,1	1700	6,97
3.	Koszt oleju do rozpalania	t	6033	1,0	6,03
4.	Zużycie energii elektrycznej	tys.kWh	720	1200	864,00
5.	Zużycie ciepła	Gcal	180	3000	540,00
6.	Zużycie wody	m ³	5,1	900	4,59
7.	Pozostałe koszty		szacunk.		120,00
8.	Płace	zł/prac.	40000	26	1040,00
9.	Koszty ogólne 50% płac		1040000		520,00
	Łączne koszty stałe i ruchowe				8336,93

Tabela nr 4.2.-16

Roczne koszty eksploatacyjne spalarni odpadków komunalnych

dla ilości ciepła $Q_{\text{odp}} = 10 \div 15 \text{ Gcal/h}$ (jednostki kotłowe $h \times E = 3 \times 5 \text{ Gcal/h}$)

Lp.	Składniki kosztów	Jednostki	Cena jednostk. w zł.	Ilość jedn.	Koszty roczne w tys. zł.
	I Koszty stałe				
1.	Amortyzacja - 4,5%		54564000		2455,38
2.	Remonty bieżące - 1,5%		54564000		818,46
3.	Remonty kapitalne - 3%		54564000		1636,92
4.	Podatki, opłaty ubezpieczeniowe, konserwacja - 0,5%		54564000		272,82
	II Koszty ruchowe (pracy)				
1.	Ruchowe materiały pomocnicze - 1,1%		54564000		600,21
2.	Koszt wywozu ścieków	m ³	4,1	1900	7,79
3.	Koszt oleju do rozpalania	t	6033	1,5	9,04
4.	Zużycie energii elektrycznej	tys.kWh	720	1400	1008,00
5.	Zużycie ciepła	Gcal	180	3500	630,00
6.	Zużycie wody	m ³	5,1	1000	5,10
7.	Pozostałe koszty		szacunk.		140,00
8.	Płace	zł/prac	40000	28	1120,00
9.	Koszty ogólne 50% płac		1120000		560,00
	Łączne koszty stałe i ruchowe				9263,72

Tabela nr 4.2.-17.

Roczne koszty eksploatacyjne spalarni odpadków komunalnych dla ilości ciepła $Q_{\text{odp}} = 15 \div 20 \text{ Gcal/h}$ (jednostki kotłowe $hxE = 2 \times 10 \text{ Gcal/h}$)

Lp.	Składniki kosztów	Jednostki	Cena jednostk. w zł.	Ilość jedn.	Koszty roczne w tys. zł.
	I Koszty stałe				
1.	Amortyzacja - 4,5%		59713000		2687,08
2.	Remonty bieżące - 1,5%		59713000		895,69
3.	Remonty kapitalne - 3%		59713000		1791,39
4.	Podatki, opłaty ubezpieczeniowe, konserwacja - 0,5%		59713000		298,56
	II Koszty ruchowe (pracy)				
1.	Ruchowe materiały pomocnicze - 1,1%		59713000		656,84
2.	Koszt wywozu ścieków	m ³	4,1	2100	8,61
3.	Koszt oleju do rozpalania	t	6033	2,0	12,06
4.	Zużycie energii elektrycznej	tys.kWh	720	1700	1224,00
5.	Zużycie ciepła	Gcal	180	4000	720,00
6.	Zużycie wody	m ³	5,1	1100	5,61
7.	Pozostałe koszty		szacunk.		160,00
8.	Płace	zł/prac	40000	30	1200,00
9.	Koszty ogólne 50% płac		1200000		600,00
	Łączne koszty stałe i ruchowe				10259,84

Tabela nr 4.2.-18

Roczne koszty eksploatacyjne spalarni odpadków komunalnych
dla ilości ciepła $Q_{\text{odp}} = 20 \div 30 \text{ Gcal/h}$ (jednostki kotłowe $h \times E = 3 \times 10 \text{ Gcal/h}$)

Lp.	Składniki kosztów	Jednostki	Cena jednostk. w zł.	Ilość jedn.	Koszty roczne w tys. zł.
	I Koszty stałe				
1.	Amortyzacja - 4,5%		83580000		3761,10
2.	Remonty bieżące - 1,5%		83580000		1253,70
3.	Remonty kapitalne - 3%		83580000		2507,40
4.	Podatki, opłaty ubezpieczeniowe, konserwacja - 0,5%		83580000		417,60
	II Koszty ruchome (pracy)				
1.	Ruchome materiały pomocnicze - 1,1%		83580000		929,38
2.	Koszt wywozu ścieków	m ³	4,1	2300	9,43
3.	Koszt oleju do rozpalania	t	6033	2,5	15,08
4.	Zużycie energii elektrycznej	tys.kWh	720	2000	1440,00
5.	Zużycie ciepła	Gcal	180	4500	810,00
6.	Zużycie wody	m ³	5,1	1300	6,63
7.	Pozostałe koszty		szacunk.		180,00
8.	Płace	zł/prac.	40000	33	1320,00
9.	Koszty ogólne 50% płac		1320000		660,00
	Łączne koszty stałe i ruchome				13310,32

Tabela nr 4.2.-19.

Roczne koszty eksploatacyjne spalarni odpadków komunalnych
dla ilości ciepła $Q_{\text{odp}} = 30 \div 40 \text{ Gcal/h}$ (jednostki kotłowe $hx E = 4 \times 10 \text{ Gcal/h}$)

Lp.	Składniki kosztów	Jednostki	Cena jednostk. w zł.	Ilość jedn.	Koszty roczne w tys. zł.
	I Koszty stałe				
1.	Amortyzacja - 4,5%		90705000		4081,72
2.	Remonty bieżące - 1,5%		90705000		1360,57
3.	Remonty kapitalne - 3%		90705000		2721,15
4.	Podatki, opłaty ubezpieczeniowe, konserwacja - 0,5%		90705000		453,52
	II Koszty ruchowe (pracy)				
1.	Ruchowe materiały pomocnicze - 1,1%		90705000		997,75
2.	Koszt wywozu ścieków	m ³	4,1	2500	10,25
3.	Koszt oleju do rozpalania	t	6033	3,0	18,09
4.	Zużycie energii elektrycznej	tys.kWh	720	2300	1656,00
5.	Zużycie ciepła	Gcal	180	5000	900,00
6.	Zużycie wody	m ³	5,1	1500	7,65
7.	Pozostałe koszty		szacunk.		200,00
8.	Płace	zł/prac	40000	35	1400,00
9.	Koszty ogólne 50% płac		1400000		700,00
	Łączne koszty stałe i ruchowe				14506,70

Tabela nr 4.2.-20.

Roczne koszty eksploatacyjne spalarni odpadków komunalnych
dla ilości ciepła $Q_{\text{odp}} = 40 \div 50 \text{ Gcal/h}$ (jednostki kotłowe $hxE = 5 \times 10 \text{ Gcal/h}$)

Lp.	Składniki kosztów	Jednostki	Cena jednostk. w zł.	Ilość jedn.	Koszty roczne w tys. zł.
	I Koszty stałe				
1.	Amortyzacja - 4,5%		101675000		4575,37
2.	Remonty bieżące - 1,5%		101675000		1525,12
3.	Remonty kapitalne - 3%		101675000		3050,25
4.	Podatki, opłaty ubezpieczeniowe, konserwacja - 0,5%		101675000		508,37
	II Koszty ruchowe (pracy)				
1.	Ruchowe materiały pomocnicze - 1,1%		101675000		1118,42
2.	Koszt wywozu ścieków	m ³	4,1	2750	11,27
3.	Koszt oleju do rozpalania	t	6033	3,75	22,62
4.	Zużycie energii elektrycznej	tys.kWh	720	2750	1980,00
5.	Zużycie ciepła	Gcal	180	5200	936,00
6.	Zużycie wody	m ³	5,1	1750	8,92
7.	Pozostałe koszty		szacunk.		225,00
8.	Płace	zł/prac	40000	38	1520,00
9.	Koszty ogólne 50% płac		1520000		760,00
	Z łączne koszty stałe i ruchowe				16241,34

Tabela nr 4.2.-21.

Roczne koszty eksploatacyjne spalarni odpadków komunalnych

dla ilości ciepła $Q_{\text{odp}} = 50 \div 60 \text{ Gcal/h}$ (jednostki kotłowe $hxE = 6 \times 10 \text{ Gcal/h}$)

Lp.	Składniki kosztów	Jednostki	Cena jednostk. w zł.	Ilość jedn.	Koszty roczne w tys. zł.
	I Koszty stałe				
1.	Amortyzacja - 4,5%		114850000		5168,25
2.	Remonty bieżące - 1,5%		114850000		1722,75
3.	Remonty kapitalne - 3%		114850000		3445,50
4.	Podatki, opłaty ubezpieczeniowe, konserwacja - 0,5%		114850000		574,25
	II Koszty ruchowe (pracy)				
1.	Ruchowe materiały pomocnicze - 1,1%		114850000		1263,35
2.	Koszt wywozu ścieków	m ³	4,1	3000	12,30
3.	Koszt oleju do rozpalania	t	6033	4,5	27,14
4.	Zużycie energii elektrycznej	tys.kWh	720	3000	2160,00
5.	Zużycie ciepła	Gcal	180	6000	1080,00
6.	Zużycie wody	m ³	5,1	2000	10,20
7.	Pozostałe koszty		szacunk.		250,00
8.	Płace	zł/prac.	40000	40	1600,00
9.	Koszty ogólne 50% płac		1600000		800,00
	Łączne koszty stałe i ruchowe				18113,74

Obliczone z zależności [4.2.-5] jednostkowe koszty spalania odpadków komunalnych zamieszczono w tabeli nr 4.2.-22. i na rysunku nr 4.2.-2.

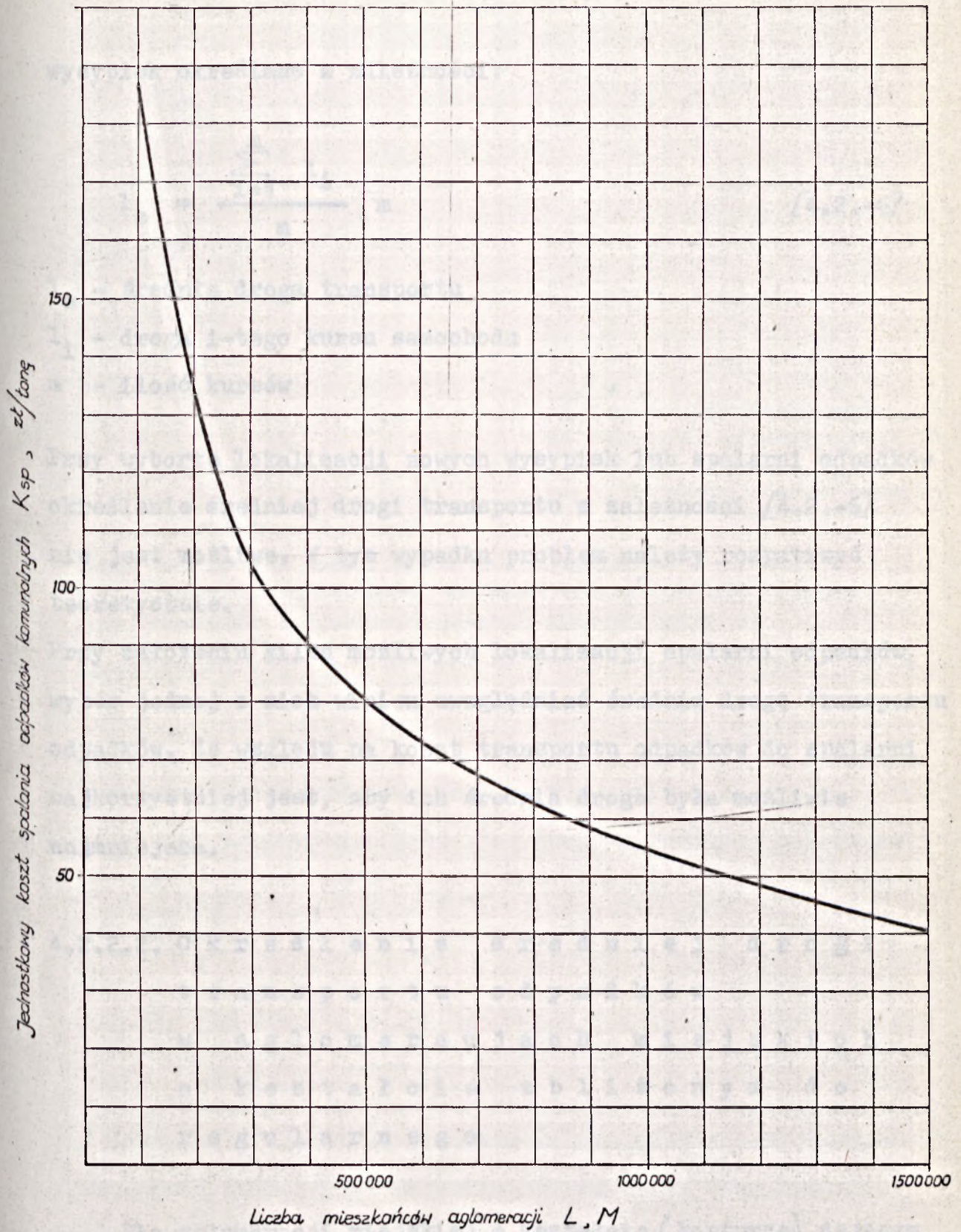
Tabela nr 4.2.-22.

Grupa miast	Wielkości aktualnych jednostkowych kosztów spalania odpadków K_{ED} , zł/tonę
100 tys. mieszkańców	187
100 ÷ 200 tys. mieszkańców	165
200 ÷ 500 tys. mieszkańców	99
500 ÷ 1000 tys. mieszkańców	63
ponad 1000 tys. mieszkańców	44

4.2.2. Średnia droga transportu odpadków komunalnych w aglomeracjach miejskich

4.2.2.1. Określenie średniej drogi transportu do istniejącego wysypiska

W istniejących warunkach aglomeracji miejskich średnią drogą transportu odpadków od średniego punktu ich poboru do



Rys. nr. 4.2-2 Jednostkowy koszt spalania odpadków komunalnych dla roku 1975 zależnie od wielkości aglomeracji miejskiej $K_{sp}, zł/tong$

wysypisk określano z zależności:

$$l_s = \frac{\sum_{i=1}^m l_i}{m} \quad m \quad [4.2.-6]$$

l_s - średnia droga transportu

l_i - droga i-tego kursu samochodu

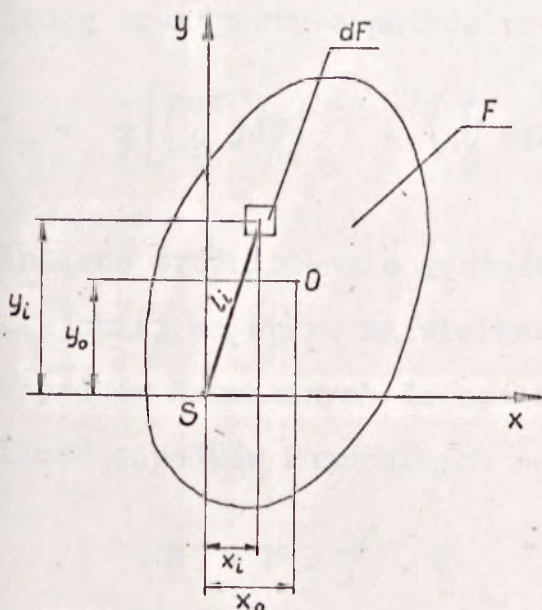
m - ilość kursów

Przy wyborze lokalizacji nowych wysypisk lub spalarni odpadków określenie średniej drogi transportu z zależności [4.2.-6] nie jest możliwe. W tym wypadku problem należy rozpatrzeć teoretycznie.

Przy założeniu kilku możliwych lokalizacji spalarni odpadków, wybór jednej z nich winien uwzględniać średnią drogę transportu odpadków. Ze względu na koszt transportu odpadków do spalarni najkorzystniej jest, aby ich średnia droga była możliwie najmniejsza.

4.2.2.2. Określenie średniej drogi transportu odpadków w aglomeracjach miejskich o kształcie zbliżonym do regularnego

Dla aglomeracji miejskiej o kształcie (konturze) dającym się z pewnym przybliżeniem opisać krzywą (wzorem), średnią drogę transportu odpadków można ustalić analitycznie.



F - powierzchnia aglomeracji miejskiej, m^2
 dF - elementarna powierzchnia z której, m^2 zabierane są odpadki.
 l_i - i -ta odległość powierzchni elementarnej dF do spalarni odpadków, m

$S(0,0)$ - przyjęty punkt lokalizacji spalarni odpadków komunalnych

x_i, y_i - współrzędne środka powierzchni elementarnej dF z której zabierane są odpadki

x_0, y_0 - współrzędne szukanego środka powierzchni aglomeracji miejskiej.

Rys.nr. 4.2-3

Dla założeń jak na rysunku nr 4.2.-3. współrzędne środka powierzchni aglomeracji miejskiej można określić z zależności:

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^m |y_i| dF}{F} = \frac{\iint_F |y| dF}{F} \quad m \quad [4.2.-7]$$

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^m |x_i| dF}{F} = \frac{\iint_F |x| dF}{F} \quad m \quad [4.2.-8]$$

Dla lokalizacji spalarni odpadków na krańcach miasta środek powierzchni aglomeracji miejskiej można uznać jako średni równoważny punkt poboru odpadków komunalnych. Przy dowolnej lokalizacji spalarni odpadków współrzędne x_0, y_0 oznaczają średni równoważny punkt poboru odpadków, który jest różny od środka aglomeracji. Przy tych założeniach i na podstawie zależności [4.2.-7, 4.2.-8] wzór na średnią

drogą transportu odpadków przyjmuje postać:

$$l_s = \frac{1}{F} \left[\left(\iint_F y dF \right)^2 + \left(\iint_F x dF \right)^2 \right]^{1/2} \quad m \quad [4.2.-9]$$

Znaczne zróżnicowanie gęstości zaludnienia w aglomeracji miejskiej ma wpływ na wielkość średniej drogi transportu odpadków komunalnych do spalarni.

Ilość odpadków komunalnych można obliczyć z zależności:

$$R' = N \cdot \gamma \cdot F \quad m^3/dn \quad [4.2.-9a]$$

R' - ilość odpadków w aglomeracji w odniesieniu do doby, m^3/dn

N - wskaźnik nagromadzenia odpadków w aglomeracji w odniesieniu do mieszkańca i doby, $m^3/(N \cdot dn)$

γ - gęstość zaludnienia aglomeracji, M/m^2 (M/km^2)

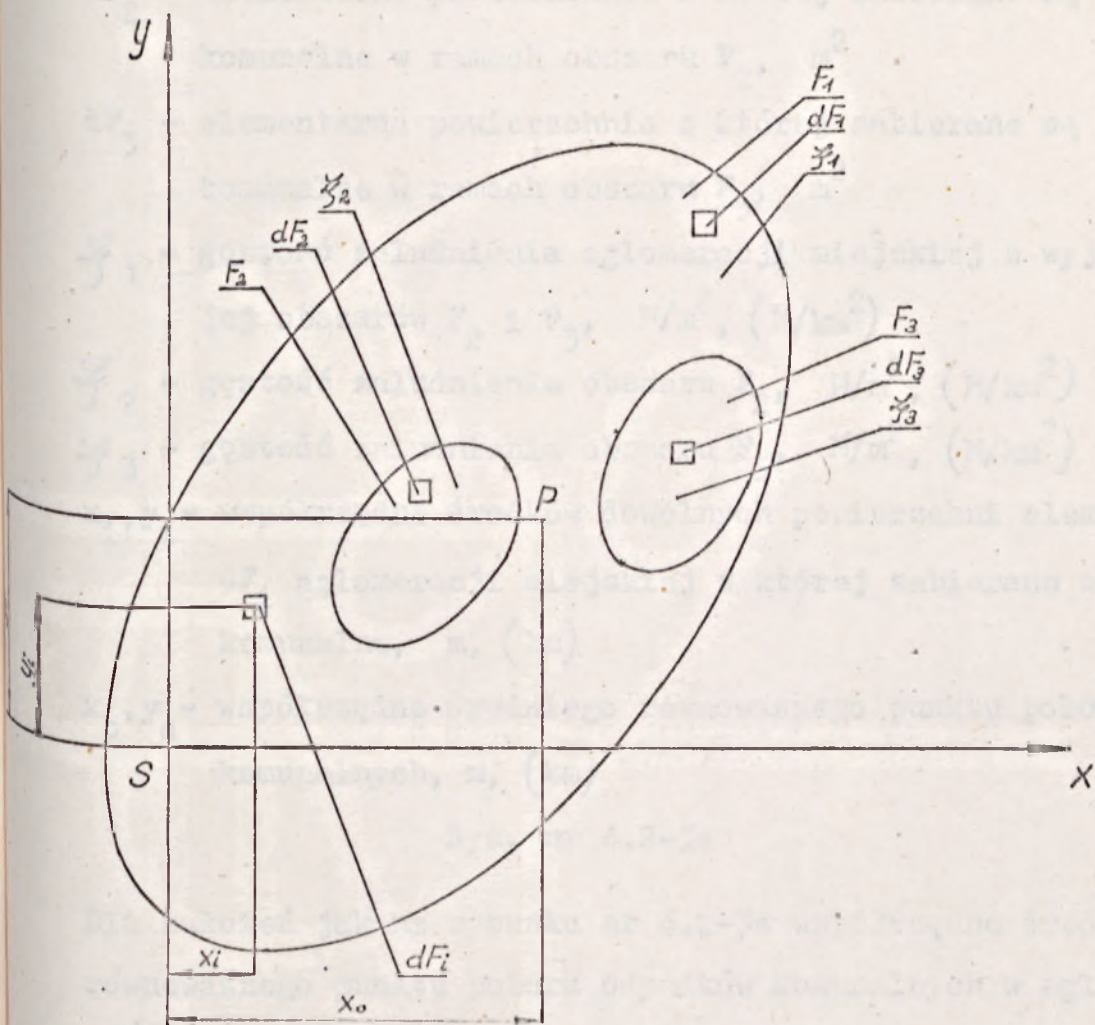
F - powierzchnia aglomeracji, m^2 (km^2)

Do obliczeń ilości odpadków komunalnych przyjmuje się zwykle średnią wielkość wskaźnika nagromadzenia odpadków jako stałą w danym mieście i roku.

Ze względu na proporcjonalność nagromadzenia odpadków (R') do zaludnienia aglomeracji oraz stałą wartość wskaźnika nagromadzenia dla danego miasta, gęstość zaludnienia można przyjąć za wielkość reprezentatywną ilości odpadków przy obliczaniu ich średniej drogi transportu do spalarni w danej aglomeracji miejskiej.

W aglomeracjach miejskich o wyraźnie zróżnicowanych gęstościach zaludnienia w pewnych obszarach ich powierzchni średniej drogi transportu odpadków komunalnych nie można wyznaczać ze wzoru

Jeżeli powierzchnia aglomeracji miejskiej i obszary o zróżnicowanej gęstości zaludnienia tej powierzchni są o kształtach (konturach) dających się z pewnym przybliżeniem opisać krzywymi (wzorami), średnią drogę transportu można ustalić analitycznie.



$S(0,0)$ - przyjęty punkt lokalizacji spalarni odpadków komunalnych

$F(x_0, y_0)$ - średni równoważny punkt poboru odpadków komunalnych

F_1 - powierzchnia całej aglomeracji miejskiej, $m^2, (km^2)$

F_2 - powierzchnia obszaru aglomeracji miejskiej o gęstości zaludnienia ζ_2 , $m^2, (km^2)$

F_3 - powierzchnia obszaru aglomeracji miejskiej o gęstości zaludnienia ζ_3 , $m^2, (km^2)$

- dF_i - dowolna elementarna powierzchnia aglomeracji miejskiej z której zabierane są odpadki komunalne, m^2
- dF_1 - elementarna powierzchnia z której zabierane są odpadki komunalne w ramach powierzchni F_1 tylko o gęstości zaludnienia ξ_1 , m^2
- dF_2 - elementarna powierzchnia z której zabierane są odpadki komunalne w ramach obszaru F_2 , m^2
- dF_3 - elementarna powierzchnia z której zabierane są odpadki komunalne w ramach obszaru F_3 , m^2
- ξ_1 - gęstość zaludnienia aglomeracji miejskiej z wyjątkiem jej obszarów F_2 i F_3 , M/m^2 , (M/km^2)
- ξ_2 - gęstość zaludnienia obszaru F_2 , M/m^2 , (M/km^2)
- ξ_3 - gęstość zaludnienia obszaru F_3 , M/m^2 , (M/km^2)
- x_i, y_i - współrzędne środków dowolnych powierzchni elementarnych dF_i aglomeracji miejskiej z której zabierane są odpadki komunalne, m, (km)
- x_o, y_o - współrzędne średniego równoważnego punktu poboru odpadków komunalnych, m, (km)

Rys. nr 4.2-3a

Dla założeń jak na rysunku nr 4.2-3a współrzędne średniego równoważnego punktu poboru odpadków komunalnych w aglomeracji miejskiej można określić z zależności:

$$x_o = \frac{\sum_{i=1}^m \xi_i dF_i \cdot |x_i|}{\sum_{i=1}^m \xi_i dF_i} =$$

$$= \frac{\xi_1 \iint_{F_1} |x| dF_1 - \xi_1 \iint_{F_2} |x| dF_2 - \xi_1 \iint_{F_3} |x| dF_3 + \xi_2 \iint_{F_2} |x| dF_2 + \xi_3 \iint_{F_3} |x| dF_3}{\xi_1 (F_1 - F_2 - F_3) + \xi_2 F_2 + \xi_3 F_3}$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \xi_i dF_i \cdot |y_i|}{\sum_{i=1}^n \xi_i dF_i} =$$

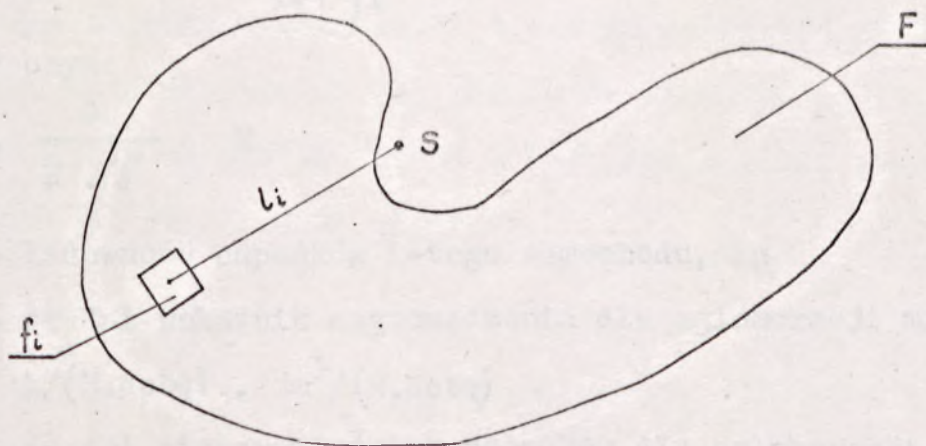
$$= \frac{\xi_1 \iint_{F_1} |y| dF_1 - \xi_1 \iint_{F_2} |y| dF_2 - \xi_1 \iint_{F_3} |y| dF_3 + \xi_2 \iint_{F_2} |y| dF_2 + \xi_3 \iint_{F_3} |y| dF_3}{\xi_1 (F_1 - F_2 - F_3) + \xi_2 F_2 + \xi_3 F_3}$$

[4.2.-9c]

Znając współrzędne średniego równoważnego punktu poboru odpadków komunalnych (x_0, y_0) , średnią drogę transportu odpadków dla danej aglomeracji można określić ze wzoru:

$$l_s = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \quad m \quad [4.2.-9d]$$

4.2.2.3. Określenie średniej drogi transportu w aglomeracjach miejskich o kształtach bardzo nieregularnych



- l_i — i -ta odległość środka powierzchni f_i do spalarni odpadków, m
- f_i — i -ta część powierzchni aglomeracji miejskiej z której jeden samochód może zabrać odpadki, m^2
- F — całkowita powierzchnia aglomeracji miejskiej, m^2
- S — punkt lokalizacji spalarni odpadków

Dla założeń jak na rysunku nr 4.2-4 wzór na średnią drogę transportu ma postać:

$$l_s = \frac{\sum_{i=1}^m f_i \cdot l_i}{F} \quad [4.2-10]$$

przy czym

$$L_i^x = \zeta_i \cdot f_i \quad M \quad [4.2-11]$$

$$L = \zeta_{sr} \cdot F \quad M \quad [4.2-12]$$

L_i^x - ilość mieszkańców na powierzchni f_i od których jeden samochód zabiera odpadki, M

L - ilość mieszkańców aglomeracji, M

ζ_i - gęstość zaludnienia powierzchni f_i , M/m²

ζ_{sr} - średnia gęstość zaludnienia aglomeracji miejskiej, M/m²

Po uwzględnieniu zależności [4.2-11, 4.2.-12] wzór [4.2-10] przyjmie postać:

$$l_s = \frac{\zeta_{sr}}{L} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{L_i^x}{\zeta_i} \cdot l_i \quad m \quad [4.2-13]$$

przy czym:

$$L_i^x = \frac{G_i}{N \cdot \gamma} \quad M \quad [4.2-14]$$

G_i - ładowność odpadków i-tego samochodu, kg

N - średni wskaźnik nagromadzenia dla aglomeracji miejskiej, 1/(M.dobę), m³/(M.dobę)

γ - średni ciężar właściwy odpadków dla aglomeracji miejskiej, kg/m³

Po uwzględnieniu zależności [4.2.-14] wzór [4.2.-13] ma postać:

$$l_s = \frac{\xi_{\acute{s}r}}{L \cdot N \cdot \gamma} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{G_i l_i}{\xi_i} \quad m \quad [4.1.-15]$$

Dla średniej ładowności samochodu $G_{\acute{s}r}$ i średniej gęstości zaludnienia w każdym obszarze f_i aglomeracji miejskiej $\xi_{\acute{s}r}$ wzór [4.2.-15] przyjmie postać:

$$l_s = \frac{G_{\acute{s}r}}{L \cdot N \cdot \gamma} \cdot \sum_{i=1}^m l_i \quad m \quad [4.2.-16]$$

$$\frac{l_s}{\sum_{i=1}^m l_i} = \frac{G_{\acute{s}r}}{L \cdot N \cdot \gamma} \quad [4.2.-17]$$

Stosunek średniej drogi transportu do sumy poszczególnych i -tych dróg transportu dla danej aglomeracji miejskiej jest stały i zależy od parametrów odpadków oraz środków transportu. Dla znalezienia wielkości " l_s " należy podzielić graficznie aglomerację miejską na jej planie na składowe powierzchnie f_i a następnie od środka każdej z tych powierzchni pomierzyć odległości do spalarni odpadków.

4.2.3. U s t a l e n i e j e d n o s t k o w y c h k o s z t ó w t r a n s p o r t u o d p a d k ó w k o m u n a l n y c h w a g l o m e r a c j a c h m i e j s k i c h

Jednostkowe koszty transportu odpadków w odniesieniu do jednej tony ustalono w oparciu o aktualne dane 1975r uzyskane w Miejskich Przedsiębiorstwach Oczyszczania miast: Warszawa, Lublin, Łódź, Bydgoszcz, Toruń, Gdańsk, Gdynia, Szczecin, Kraków, Białystok, Kielce na podstawie zależności:

$$K_1 = K_d \cdot l_s \quad \text{zł/tonę} \quad [4.2.-18]$$

K_1 - jednostkowe koszty transportu odpadków w odniesieniu do jednej tony, zł/tonę

K_d - koszty transportu jednej tony odpadków na drodze jednego kilometra, zł/(tonę . km)

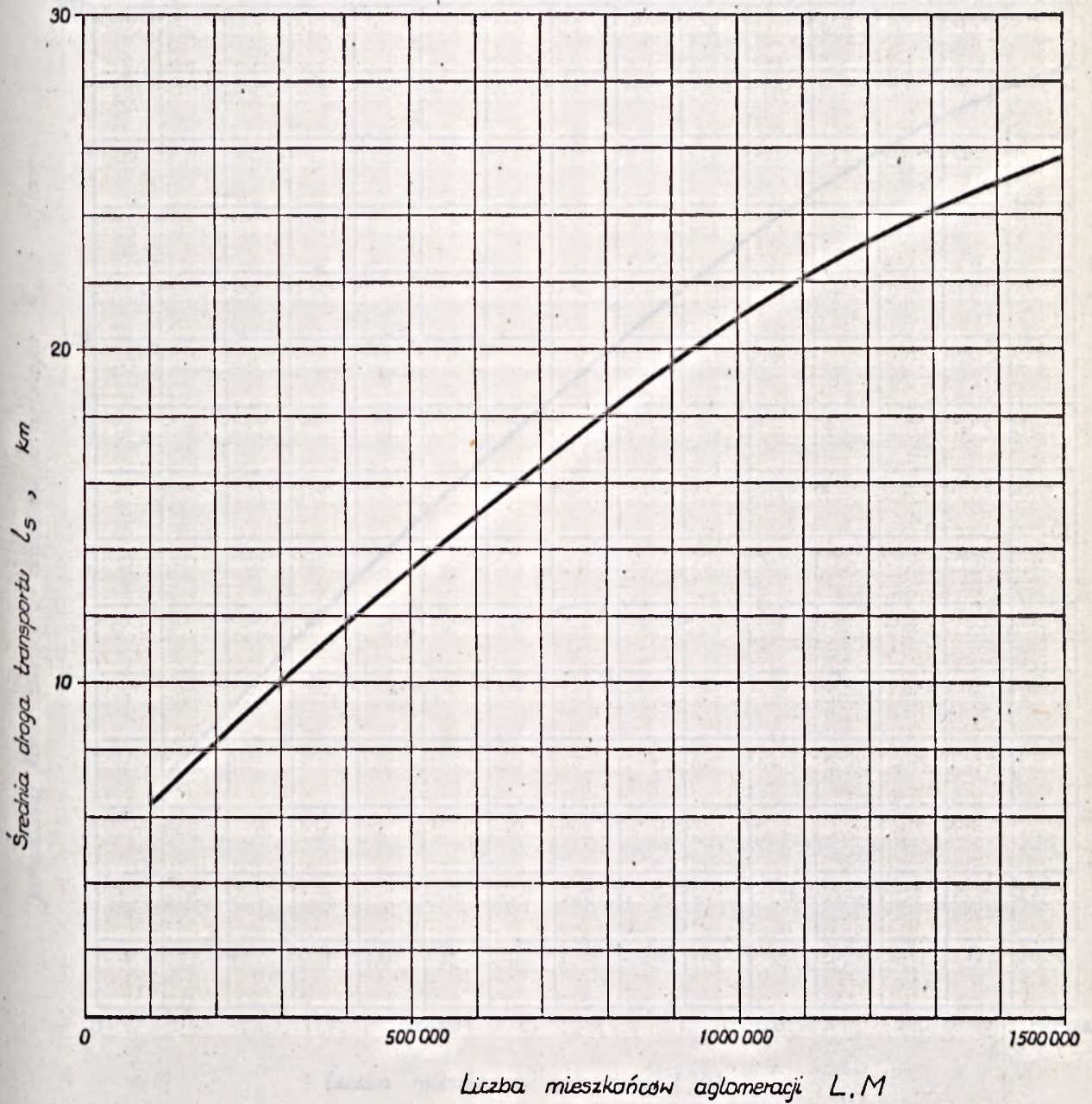
l_s - średnia droga transportu odpadków w danej wielkości aglomeracji miejskiej, km

Koszty transportu jednej tony na drodze jednego kilometra zależą od rodzaju posiadanych samochodów oraz stanu i wyposażenia baz transportu. Na podstawie danych z Miejskich Przedsiębiorstw Oczyszczania w aglomeracjach miejskich ponad 100.000 mieszkańców koszty " K_d " wynoszą $9,6 \div 12,4$ zł/(tonę.km) . Do obliczeń przyjęto średnią wartość kosztów transportu jednej tony na drodze jednego kilometra wynoszącą 11 zł/(tonę . km) . Średnia droga transportu od punktu poboru odpadków do wysypiska jest funkcją wielkości (liczba mieszkańców) oraz kształtu

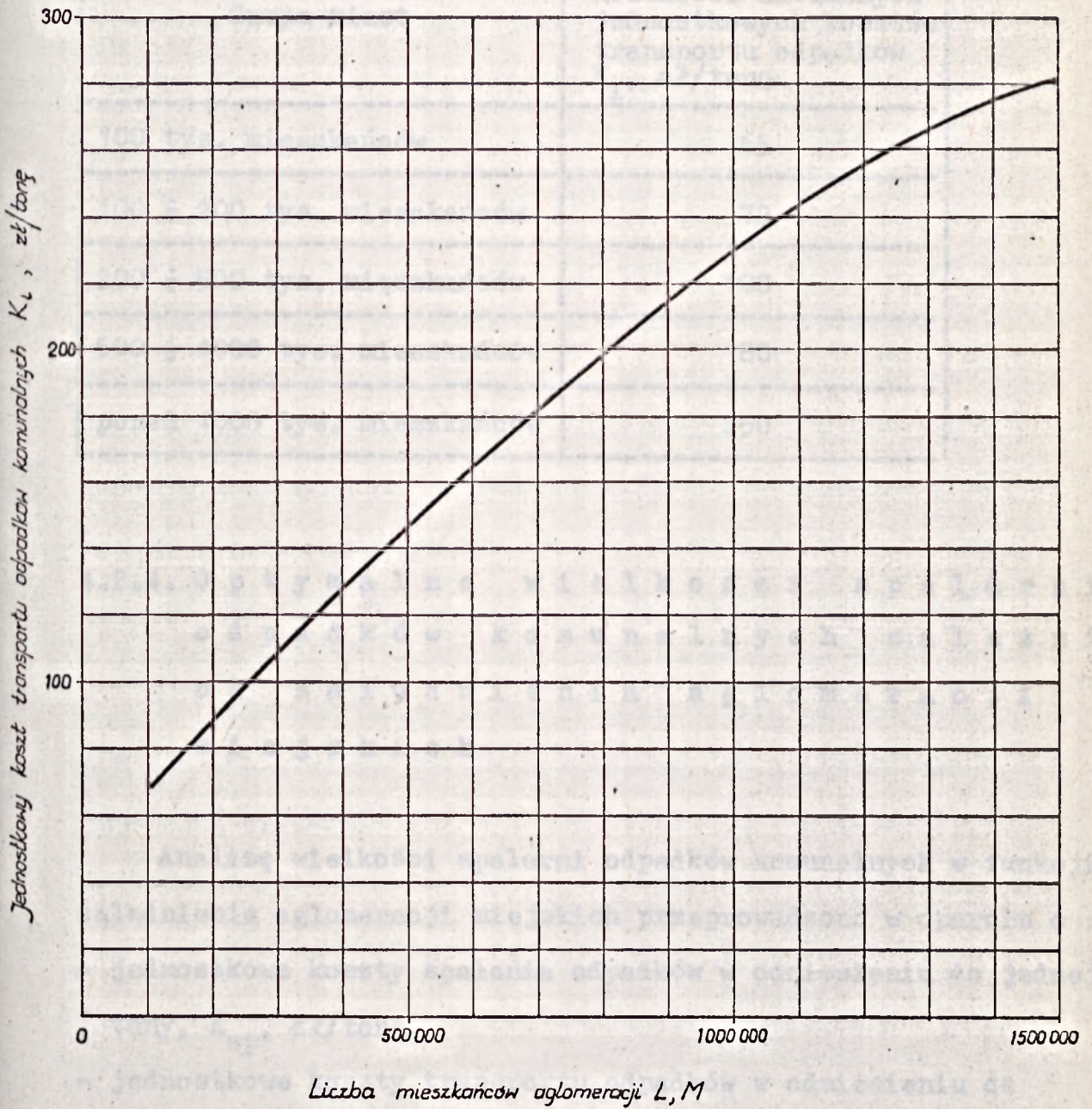
miasta. Kształt miasta ma duże znaczenie tylko wtedy, gdy aglomeracja miejska ma powierzchnię w formie wydłużonej. Ze względu na to, że większość miast w Polsce nie ma kształtu wydłużonego średnią drogę transportu odpadków od punktu poboru do wysypiska uzależniono tylko od liczby mieszkańców aglomeracji. Na podstawie danych z Miejskich Przedsiębiorstw Oczyszczania średnią drogę transportu odpadków komunalnych do wysypisk w miastach polskich przedstawiono graficznie w funkcji ilości mieszkańców aglomeracji na rysunku nr 4.2.-5. Obecna lokalizacja wysypisk odpadków komunalnych w miastach polskich nie jest odległa od geometrycznego centrum miast i dość często nawet w ich granicach.

Większe źródła ciepła w aglomeracjach miejskich w Polsce lokalizowane są obecnie blisko ich granic a niekiedy poza tymi granicami. Z powyższych względów do przeprowadzonej analizy przyjęto umownie lokalizację spalarni odpadków komunalnych dla miast w miejscu wysypisk tych odpadków. Zależność średniego kosztu transportu jednej tony odpadków od punktu poboru do zlokalizowanej w miejscu wysypiska spalarni odpadków w zależności od wielkości aglomeracji miejskiej ustalono na podstawie zależności [4.2.-18] i przedstawiono na rysunku nr 4.2.-6. oraz tabeli nr 4.2.-23.

Lokalizacja spalarni odpadków bliżej geometrycznego centrum miasta w stosunku do wysypiska pozwoliłaby zmniejszyć średnią drogę transportu odpadków, a w konsekwencji i średni koszt transportu jednej tony odpadków.



Rys. nr. 4.2-5 Zależność średniej drogi transportu odpadków komunalnych do wysypiska (spalarni) L_s od wielkości aglomeracji miejskiej dla warunków roku 1975.



Rys. nr. 4.2-6 Jednostkowy koszt transportu odpadków komunalnych dla roku 1975
zależnie od wielkości aglomeracji miejskiej K_L , zł/tong.

Tabela nr 4.2.-23.

Grupa miast	Wielkości aktualnych jednostkowych kosztów transportu odpadków K_1 , zł/tonę
100 tys. mieszkańców	65
100 ÷ 200 tys. mieszkańców	72
200 ÷ 500 tys. mieszkańców	100
500 ÷ 1000 tys. mieszkańców	180
ponad 1000 tys. mieszkańców	250

4.2.4. O p t y m a l n e w i e l k o ś c i s p a l a r n i o d p a d k ó w k o m u n a l n y c h z a l e ż n i e o d z a l u d n i e n i a a g l o m e r a c j i m i e j s k i c h

Analizę wielkości spalarni odpadków komunalnych w funkcji zaludnienia aglomeracji miejskich przeprowadzono w oparciu o :

- jednostkowe koszty spalania odpadków w odniesieniu do jednej tony, K_{sp} , zł/tonę,
- jednostkowe koszty transportu odpadków w odniesieniu do jednej tony, K_1 , zł/tonę,

Całkowity jednostkowy koszt unieszkodliwiania /koszt spalania i transportu/ odpadków w aglomeracji miejskiej określono z zależności:

$$K = K_{sp} + K_1 \quad \text{zł/tonę}$$

[4.2.-19]

K - całkowity jednostkowy koszt unieszkodliwiania odpadków komunalnych w aglomeracji miejskiej, zł/tonę

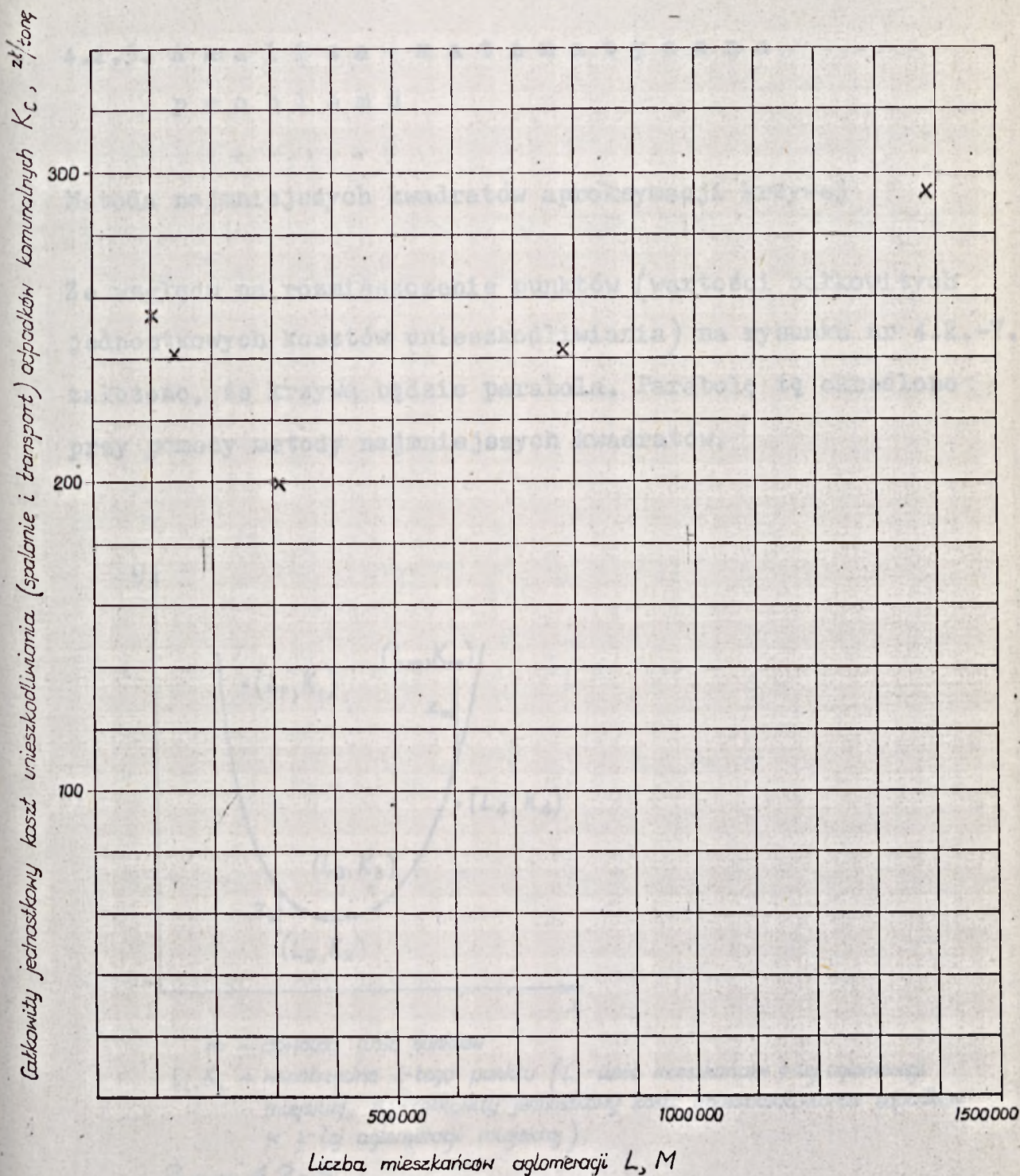
K_{sp} - odpowiednie wartości przyjęto według punktu 4.2.1. tabela nr 4.2.-22. i rysunek nr 4.2.-2, zł/tonę

K_1 - odpowiednie wartości przyjęto według punktu 4.2.3. tabela nr 4.2.-23 i rysunek nr 4.2.-6, zł/tonę

Obliczone z zależności [4.2.-19] całkowite jednostkowe koszty unieszkodliwiania przedstawiono w tabeli nr 4.2.-24, zaś wartości tych kosztów dla ilości odzyskanego ciepła ze spalania odpadków w sezonie grzewczym zależnie od wielkości aglomeracji miejskich na rysunku nr 4.2.-7. Ze względu na to, że koszty "K" dla aglomeracji 100.000 mieszkańców są bardzo zbliżone do kosztów dla przyjętej wielkości aglomeracji w grupie miast 100 ÷ 200.000 mieszkańców do dalszych rozważań wzięto tylko pod uwagę wartości kosztów dla aglomeracji 100.000 mieszkańców jako reprezentatywnej dla nich obu.

Tabela nr 4.2.-24.

Grupa miast	Wielkości aktualnych całkowitych jednostkowych kosztów unieszkodliwiania spalanie i transport odpadków komunalnych K zł/tonę
100 tys. mieszkańców	252
100 ÷ 200 tys. mieszkańców	241
200 ÷ 500 tys. mieszkańców	199
500 ÷ 1000 tys. mieszkańców	243
ponad 1000 tys. mieszkańców	294

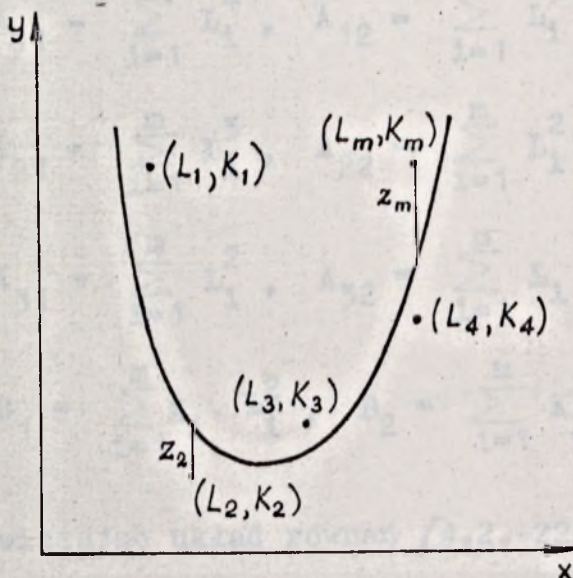


Rys. nr. 4.2-7 Wartości całkowitego jednostkowego kosztu unieszkodliwiania (spalanie i transport) odpadków komunalnych dla roku 1975 zależnie od wielkości aglomeracji miejskiej K_c , zł/tonę.

4.2.5. Analiza matematyczna problemu

Metoda najmniejszych kwadratów aproksymacji krzywej

Ze względu na rozmieszczenie punktów (wartości całkowitych jednostkowych kosztów unieszkodliwiania) na rysunku nr 4.2.-7. założono, że krzywą będzie parabola. Parabolę tę określono przy pomocy metody najmniejszych kwadratów.



m - dowolna ilość punktów
 L_i, K_i - współrzędne i -tego punktu (L_i - ilość mieszkańców i -tej aglomeracji miejskiej, K_i - całkowity jednostkowy koszt unieszkodliwiania odpadków w i -tej aglomeracji miejskiej).

Rys.nr. 4.2-8

Budujemy funkcję

$$z = \sum_{i=1}^m \left[K_i - (aL_i^2 + bL_i + c) \right]^2 \quad [4.2.-20]$$

Warunki w których ta funkcja osiąga ekstremum minimum

$$\frac{\partial z}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial z}{\partial b} = 0, \quad \frac{\partial z}{\partial c} = 0 \quad [4.2.-21]$$

Po przekształceniach otrzymujemy układ liniowy trzech równań z trzema niewiadomymi a, b, c.

$$\left. \begin{aligned} a A_{11} + b A_{12} + c A_{13} &= B_1 \\ a A_{21} + b A_{22} + c A_{23} &= B_2 \\ a A_{31} + b A_{32} + c A_{33} &= B_3 \end{aligned} \right\} \quad [4.2.-22]$$

gdzie:

$$A_{11} = \sum_{i=1}^m L_i^4, \quad A_{12} = \sum_{i=1}^m L_i^3, \quad A_{13} = \sum_{i=1}^m L_i^2$$

$$A_{21} = \sum_{i=1}^m L_i^3, \quad A_{22} = \sum_{i=1}^m L_i^2, \quad A_{23} = \sum_{i=1}^m L_i$$

$$A_{31} = \sum_{i=1}^m L_i^2, \quad A_{32} = \sum_{i=1}^m L_i, \quad A_{33} = m$$

$$B_1 = \sum_{i=1}^m K_i \cdot L_i^2, \quad B_2 = \sum_{i=1}^m K_i \cdot L_i, \quad B_3 = \sum_{i=1}^m K_i$$

Rozwiązując układ równań [4.2.-22] ze względu na a, b, c otrzymamy:

$$a = \frac{W_a}{W^*}, \quad b = \frac{W_b}{W^*}, \quad c = \frac{W_c}{W^*} \quad [4.2.-23]$$

gdzie:

$$W^* = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{vmatrix} \quad [4.2.-24]$$

$$W_a = \begin{vmatrix} B_1 & A_{12} & A_{13} \\ B_2 & A_{22} & A_{23} \\ B_3 & A_{32} & A_{33} \end{vmatrix} \quad [4.2.-25]$$

$$W_b = \begin{vmatrix} A_{11} & B_1 & A_{13} \\ A_{21} & B_2 & A_{23} \\ A_{31} & B_3 & A_{33} \end{vmatrix} \quad [4.2.-26]$$

$$W_c = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & B_1 \\ A_{21} & A_{22} & B_2 \\ A_{31} & A_{32} & B_3 \end{vmatrix} \quad [4.2.-27]$$

przy czym $W^* \neq 0$

Krzywa ma postać

$$K = aL^2 + bL + c \quad [4.2.-28]$$

i przyjmuje minimum dla wartości

$$L_K = -\frac{b}{2a} \quad [4.2.-29]$$

przy zachowaniu warunku, że $a > 0$

Minimum to wynosi:

$$K_{\min} = -\frac{b^2}{4a} + c \quad [4.2.-30]$$

Metoda "mieszana" aproksymacji krzywej

Zakładamy, że dla rozmieszczenia punktów jak na rysunku 4.2.-7. szukaną krzywą jest parabola w postaci

$$K = pL^2 + rL + s \quad [4.2.-31]$$

Nakładamy warunek, że parabola ta przechodzi przez punkt o najmniejszej wartości K [niech dla ustalenia uwagi będzie to punkt (L_2, K_2)]

Uwzględniając to otrzymujemy:

$$K_2 = p L_2^2 + r L_2 + s \quad [4.2.-32]$$

Licząc z zależności [4.2.-32] s i wstawiając do równania paraboli [4.2.-31] otrzymujemy:

$$K = p(L^2 - L_2^2) + r(L - L_2) + K_2 \quad [4.2.-33]$$

Następnie stosujemy metodę najmniejszych kwadratów dla pozostałych punktów

$$z = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 2}}^m \left\{ K_i - \left[p(L_i^2 - L_2^2) + r(L_i - L_2) + K_2 \right] \right\}^2 \quad [4.2.-34]$$

Warunki w których ta funkcja osiąga ekstremum (minimum)

$$\frac{\partial z}{\partial p} = 0 \quad \text{oraz} \quad \frac{\partial z}{\partial r} = 0 \quad [4.2.-35]$$

Po przekształceniach otrzymujemy układ równań liniowych z niewiadomymi p i r

$$\left. \begin{aligned} p C_{11} + r C_{12} &= D_1 \\ p C_{21} + r C_{22} &= D_2 \end{aligned} \right\} \quad [4.2.-36]$$

gdzie:

$$C_{11} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 2}}^m (L_i^2 + L_2^2)^2,$$

$$C_{12} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 2}}^m (L_i - L_2)(L_i^2 - L_2^2) ,$$

$$C_{21} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 2}}^m (L_i^2 - L_2^2)(L_i - L_2) ,$$

$$C_{22} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 2}}^m (L_i - L_2)^2 ,$$

$$D_1 = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 2}}^m (K_i - K_2)(L_i^2 - L_2^2) ,$$

$$D_2 = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 2}}^m (K_i - K_2)(L_i - L_2) ,$$

Po obliczeniu z układu p i r otrzymamy szukane równanie paraboli [4.2.-33].

Dla tej paraboli minimum wynosi:

$$K'_{\min} = -\frac{r^2}{4p} - p \cdot L_2^2 - r \cdot L_2 \quad [4.2.-37]$$

W przeprowadzonych obliczeniach na maszynie cyfrowej Odra 1204 dla obu metod aproksymacji krzywej wszystkie wyznaczniki były różne od zera i wszystkie współczynniki przy L^2 były dodatnie. W wyniku przeprowadzonych obliczeń dla wartości kosztów jak w tabeli nr 4.2.-23. i na rysunku nr 4.2.-7. wielkość

aglomeracji miejskiej dla której całkowity jednostkowy koszt unieszkodliwiania odpadków komunalnych osiąga minimum zależnie od metody aproksymacji krzywej wynosi:

- przy zastosowaniu metody najmniejszych kwadratów 504.000 mieszkańców,
- przy zastosowaniu metody "mieszanej" 479.000 mieszkańców

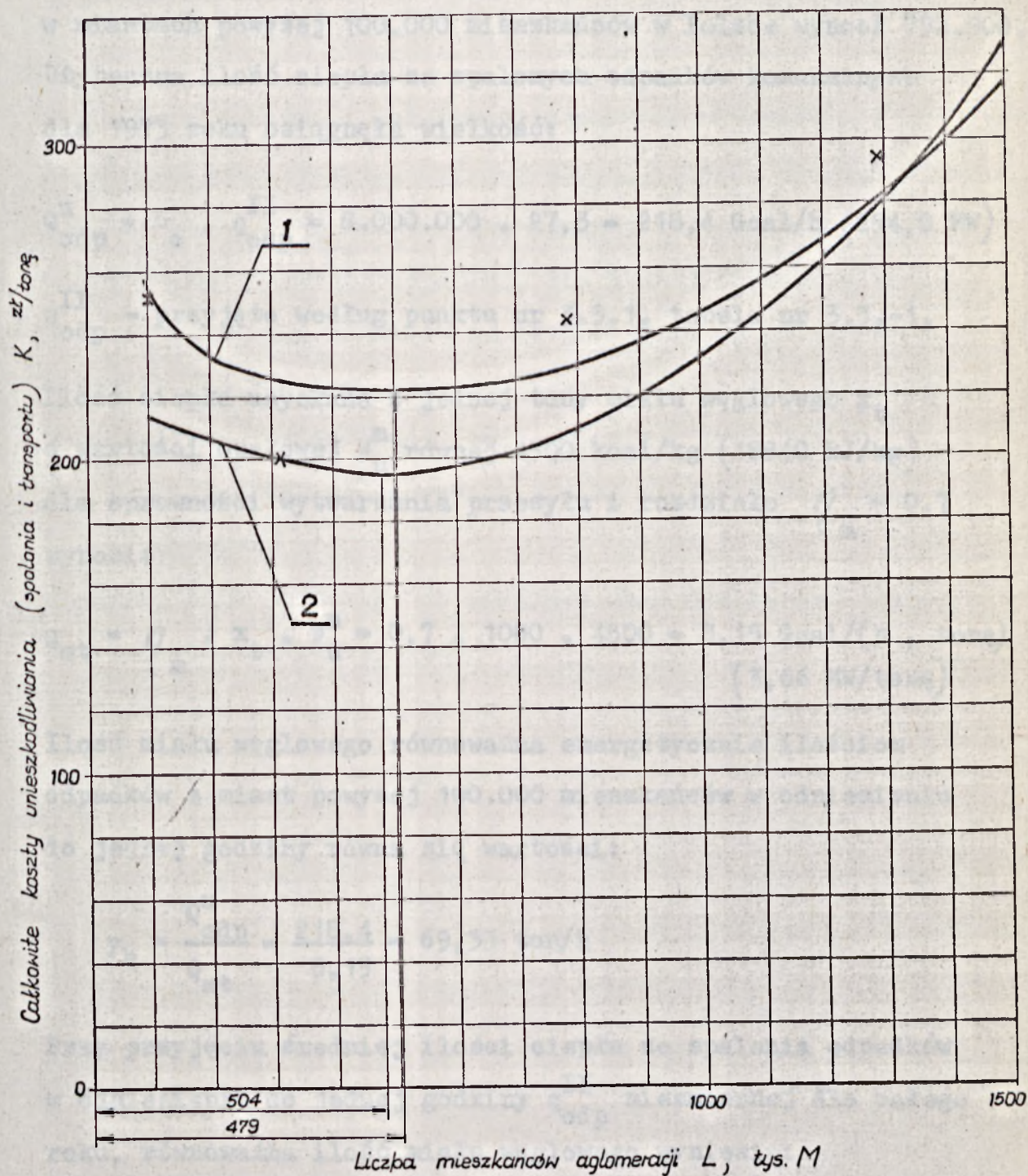
Biorąc pod uwagę powyższe obliczenia można stwierdzić, że w aglomeracji miejskiej o wielkości 450.000 ÷ 500.000 mieszkańców całkowite koszty unieszkodliwiania (koszty spalania i transportu) osiągają wartość ekstremalną i najmniejszą. Wyniki obliczeń i wykresy całkowitych kosztów unieszkodliwiania K uzyskane z maszyny cyfrowej pokazano na rysunku nr 4.2.-9.

Dla wielkości aglomeracji miejskiej 450.000 ÷ 500.000 mieszkańców moc cieplna spalarni odpadków komunalnych wzrasta w czasie i powinna wynosić:

- dla roku 1973 - 12,3 ÷ 13,7 Gcal/h (14,3 ÷ 15,9 MW) ,
- dla roku 1980 - 14,6 ÷ 16,3 Gcal/h (17,0 ÷ 19,0 MW) ,
- dla roku 1990 - 16,0 ÷ 17,8 Gcal/h (18,6 ÷ 20,7 MW) .

4.2.6. I l o ś c i c i e p ł a z e s p a l o n y c h o d p a d k ó w k o m u n a l n y c h z d u ż y c h m i a s t w P o l s c e

Dla zobrazowania problemu wykorzystania ciepła spalania odpadków komunalnych wykonano skrócony bilans cieplny dla miast polskich powyżej 100.000 mieszkańców. Na podstawie danych z rocznika statystycznego 1974r. liczba ludności L_c



Rys. nr. 4.2-9 Krzywe zmienności całkowitych kosztów unieszkodliwiania (spalania i transportu) K uzyskane z obliczeń maszyny cyfrowej.

- 1 - aproksymacja krzywej zmienności kosztów przy pomocy metody najmniejszych kwadratów.
- 2 - aproksymacja krzywej zmienności kosztów przy pomocy metody „mieszanej”.

w miastach powyżej 100.000 mieszkańców w Polsce wynosi 792.900. Użyteczna ilość ciepła ze spalonych odpadków komunalnych dla 1973 roku osiągnęła wielkość:

$$Q_{\text{odp}}^{\text{u}} = L_{\text{c}} \cdot q_{\text{odp}}^{\text{II}} = 8.000.000 \cdot 27,3 = 218,4 \text{ Gcal/h (254,0 MW)}$$

$q_{\text{odp}}^{\text{II}}$ - przyjęto według punktu nr 3.3.1. tabela nr 3.3.-1.

Ilość ciepła uzyskana z jednej tony miazgu węglowego x_t o wartości opałowej W_u^{m} równej 4500 kcal/kg (18840 kJ/kg) dla sprawności wytwarzania przesyłu i rozdziału $\eta_m = 0,7$ wynosi:

$$Q_{\text{mt}} = \eta_m \cdot x_t \cdot W_u^{\text{m}} = 0,7 \cdot 1000 \cdot 4500 = 3,15 \text{ Gcal/(h \cdot tonę)} \\ (3,66 \text{ MW/tonę})$$

Ilość miazgu węglowego równoważna energetycznie ilościom odpadków z miast powyżej 100.000 mieszkańców w odniesieniu do jednej godziny równa się wartości:

$$y_h = \frac{Q_{\text{odp}}^{\text{u}}}{Q_{\text{mt}}} = \frac{218,4}{3,15} = 69,33 \text{ ton/h}$$

Przy przyjęciu średniej ilości ciepła ze spalania odpadków w odniesieniu do jednej godziny $q_{\text{odp}}^{\text{II}}$ niezmiennej dla całego roku, równoważna ilość miazgu węglowego wyniesie:

$$y_r = 8760 \cdot y_h = 8760 \cdot 69,33 = 607330 \text{ ton/rok}$$

Ilość miazgu węglowego równoważna energetycznie ilościom odpadków z miast ponad 100.000 mieszkańców w skali rocznej t.j. 600.000 ton wynosi około 70% rocznego wzrostu wydobycia węgla w Polsce.

4.2.7. Program na maszynę cyfrową

Dla wielkości i zależności zawartych w punktach 2.1.1., 2.1.2., 2.1.6., 3.3.1., 4.2.1., 4.2.2., 4.2.3. ułożono program na maszynę cyfrową pozwalający obliczyć optymalną wielkość aglomeracji miejskiej, dla której całkowity koszt unieszkodliwiania odpadków na drodze spalania osiągnie minimum. Program jest tak zbudowany, że może być wykorzystany po niewielkiej modyfikacji przy zmianie ilości danych (np. ilość pozycji składających się na wielkość kosztów inwestycyjnych) .

Program, dane wyjściowe do programu oraz wyniki obliczeń zamieszczono na końcu pracy.

5. WNIOSKI

W oparciu o przeprowadzone analizy w niniejszej pracy sformułowano następujące wnioski:

- 1/ W przypadku unieszkodliwiania odpadków komunalnych na drodze spalania powstałe w tym procesie ciepło winno być wykorzystane dla celów produkcji ciepłej wody użytkowej. Potwierdzają to udziały procentowe w bilansie cieplnym aglomeracji oraz optymalne parametry czynnika grzejnego ze względów: technologicznych, energetycznych, egzergetycznych i ekonomicznych.
- 2/ Ilość ciepła ze spalania odpadków komunalnych dla okresu poza sezonem grzewczym zależnie od wielkości i ucieplnienia miast dla 1973 roku wynosiły $2,5 \div 30$ Gcal/h ($2,9 \div 35$ MW) przy zapotrzebowaniu ciepła $3,7 \div 120$ Gcal/h ($4,3 \div 140$ MW) co stanowi $68 \div 25\%$ tego zapotrzebowania.
- 3/ Optymalna wielkość aglomeracji miejskiej ze względu na koszty transportu i spalania odpadków komunalnych wynosi $450.000 \div 500.000$ mieszkańców, zaś wielkość mocy cieplnej spalarni odpadków $12,3 \div 13,7$ Gcal/h ($14,3 \div 15,9$ MW) . W aglomeracjach miejskich większych od 500.000 mieszkańców należy rozważyć możliwość budowy dwu lub więcej spalarni odpadków.
- 4/ Przy wyborze lokalizacji spalarni odpadków komunalnych w danej aglomeracji miejskiej oprócz wielu czynników (np. ochrona środowiska, potrzeby cieplne rejonu itp.) winien być uwzględniony parametr wielkości średniej drogi transportu odpadków do spalarni.

- 5/ Użyteczne ilości ciepła możliwe do odzyskania ze spalonych odpadków komunalnych w miastach polskich powyżej 100.000 mieszkańców w skali rocznej są znaczne i równoważne ilościom ciepła ze spalania około 600.000 ton węgla.
- 6/ Ze względu na konieczność opracowania planów rozwoju unieszkodliwiania odpadków komunalnych wyniki niniejszej pracy mogą być przydatne przy podejmowaniu decyzji budowy spalarni odpadków oraz wyborze jej lokalizacji w różnych wielkościach aglomeracji miejskich.

Piśmiennictwo

- [1] Albinus G.: Grundsätzliche Überlegungen zu Fragen der Müllbeseitigung durch Verbrennen. Müllverbrennung. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 1963.
- [2] Andritzky M.: Müllkraftwerk München. Müllverbrennung. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 1963.
- [3] Badanie nagromadzenia i własności fizyko-chemicznych odpadków miejskich dla m. Bielsko-Biała. Opracowanie IGK, Warszawa 1972.
- [4] Badanie nagromadzenia i własności fizyko-chemicznych odpadków miejskich dla m. Bydgoszczy. Opracowanie IGK, Warszawa 1972.
- [5] Badanie nagromadzenia i własności fizyko-chemicznych odpadków miejskich dla m. Gdynia. Opracowanie IGK niezakończone.
- [6] Badanie nagromadzenia i własności fizyko-chemicznych odpadków komunalnych dla m. Katowice i Tychy. Opracowanie Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1974.
- [7] Badanie nagromadzenia i własności fizyko-chemicznych odpadków miejskich m. Torunia. Opracowanie IGK, Warszawa 1971.
- [8] Badanie nagromadzenia i własności fizyko-chemicznych odpadków miejskich dla m.st. Warszawy. Opracowanie IGK Warszawa 1968.
- [9] Badanie nagromadzenia i własności fizyko-chemicznych odpadków miejskich dla m.st. Warszawy. Opracowanie IGK, Warszawa 1973.

- [10] Bluhm-Kwiatkowski J.: Koncepcje rozwiązania problemu unieszkodliwiania odpadków w dużych miastach. Referat na seminarium PZITS, Kraków 1973.
- [11] Budziński K., Skalmowska M., Skorupski W., Skalmowski K.: Technika Sanitarna i Gazownictwo. Kalendarz NOT, Warszawa 1974.
- [12] Busso R.: Zanieczyszczenie atmosfery produktami spalania odpadków miejskich. Ochrona Powietrza 2/1972.
- [13] Cygan M.: Zasady doboru kotłowni. Zakład Wydawnictw CRS, Warszawa 1970.
- [14] Die Müllabfuhr in USA mit den Augen eines Europears gesehen. Unsere kleine Stadt und ihre grosse Probleme, 10/1966.
- [15] Engel W., von Weihe A.: Müllverbrennung. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 1963.
- [16] Fait F.: Likwidacja odpadków miejskich i ich wykorzystanie do wytwarzania energii, Brno 1966.
- [17] Ferencowicz J.: Wentylacja i Klimatyzacja. Arkady, Warszawa 1962.
- [18] Filipowicz J., Rosada J.: Energetyka w planowaniu urbanistycznym. Arkady, Warszawa 1967.
- [19] Furtak L.: Możliwości wykorzystania ciepła spalania odpadków komunalnych w ciepłownictwie. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 7/8/1975.
- [20] Haseler E., Kjaer G.: District heating from refuse incineration. Międzynarodowa Konferencja Ciepłownicza, Budapeszt 1973.

- [21] Kamler W.: Ciepłownictwo cz.I. PWN, Warszawa 1968.
- [22] Kamler W.: Wykorzystanie ciepła ze spalania odpadów stałych. Przegląd Informacyjny IGK. Oczyszczanie miast 4/1965.
- [23] Kampschulte J.: Die Müllverbrennung im Hamburg und ihre Erweiterung durch von Roll Öfen. Müllverbrennung VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 1963.
- [24] Katalog E3. Ministerstwo Przemysłu Ciężkiego, Warszawa 1963.
- [25] Kimura H., Maskawa K.: Present situation of refuse incineration in Japan and problems in utilization of its waste heat for district heating and other purposes. Międzynarodowa Konferencja Ciepłownicza, Budapeszt 1973.
- [26] Knoll E.: Berliner Plane zur Müllbeseitigung. Der Stadtetag 2/1964.
- [27] Kołodziejczyk L.: Termodynamika dla Wydziałów Inżynierii Sanitarnej. PWN, Warszawa 1964.
- [28] Kołodziejczyk L.: Urządzenia kotłowe, ciepłownicze i technologiczne. Arkady, Warszawa 1964.
- [29] Labus F., Pampuch T.: Energetyczne wykorzystanie odpadów komunalnych. Przegląd Informacyjny IGK. Oczyszczanie miast 1/1967.
- [30] Lawson H., Mason P.: The Nottingham refuse incineration and district heating scheme. Międzynarodowa Konferencja Ciepłownicza, Budapeszt 1973.
- [31] Liefer Programm. EVT Energie und Verfahrenstechnik GmbH.
- [32] Müller H.J.: Die Müllverbrennung nach dem System Völund. Müllverbrennung. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 1963.

- [33] "Mullverbrennung, Kohlenscheidungs. Gesellschaft MBH
Stuttgart - prospekt fabryczny.
- [34] Orgler O.: Spalanie odpadków. Referat firmy Waagner Biro
Wiedeń. Sympozjum NOT, Warszawa 1973.
- [35] Pacelt J.: Organizacja i zadania unieszkodliwiania
odpadków w Polsce. Seminarium PZITS, Kraków 1973.
- [36] Pacelt J.: Rola unieszkodliwiania odpadków we współczesnej
gospodarce miejskiej kraju. Konferencja PZITS,
Warszawa 1971.
- [37] Piotrowska H.: Unieszkodliwianie odpadków miejskich
metodą spalania i perspektywy rozwoju tej metody.
Konferencja PZITS, Warszawa 1971.
- [38] Problem węzłowy 11.2.1.06.05. Podtemat: Sieci ciepłownicze.
Ustalenie związków między ciepłownictwem jako elementem
infrastruktury przestrzennej, a rozwojem aglomeracji
miejskich w Polsce. Opracowanie Politechniki Warszawskiej
1974.
- [39] Projekt koncepcyjny spalarni odpadków dla m.st. Warszawy
cz.I i II. Opracowanie Biura Studiów Inżynierii
i Komunikacji Miejskiej, Warszawa 1970/71.
- [40] Rasch R.: Die Rolle von Natriumchlorid bei fenerseitigen
Hochtemperatur. Korrosionen, Energie 2/1971.
- [41] Rasch R.: Termiczny przerób odpadków. Seminarium PZITS,
Kraków 1973.
- [42] Raznjevic K.: Tablice cieplne z wykresami. WNT,
Warszawa 1966.

- [43] Rossian T.: Eksploatacja małych kotłowni centralnego ogrzewania. Wydawnictwa PZITS, Warszawa 1966.
- [44] Rudolf Z., Mączyński M., Linowski Z., Skalmowski K.: Usuwanie i wykorzystanie odpadków miejskich. Arkady, Warszawa 1967.
- [45] Sibiga J.: Analiza podstawowych parametrów wywozu odpadków stałych w miastach polskich dla ustalenia prawidłowych kierunków oczyszczania. Praca doktorska.
- [46] Sibiga J.: Nowe spalarnie odpadków. Przegląd Informacyjny IGK. Oczyszczanie miast 3/1967.
- [47] Sibiga J.: Podstawy spalania odpadków. Przegląd Informacyjny IGK. Oczyszczanie miast 1/1966.
- [48] Sibiga J.: Prognozowanie kierunków unieszkodliwiania odpadków. Konferencja PZITS, Warszawa 1971.
- [49] Sibiga J.: Spalanie nieczystości wykonane przez firmę von Roll. Przegląd Informacyjny IGK. Oczyszczanie miast 2/1963.
- [50] Sibiga J.: Spalanie odpadków miejskich jako metoda ich unieszkodliwiania. Przegląd Informacyjny IGK. Oczyszczanie miast 1/1967.
- [51] Skalmowski K.: Charakterystyka odpadków miejskich jako paliwa. Przegląd Informacyjny IGK. Oczyszczanie miast 1/1967.
- [52] Studium nad unieszkodliwianiem odpadków metodą spalania. Instytut Gospodarki Komunalnej, Warszawa 1971.
- [53] Szargut J., Patela A.: Egzergia. WNT, Warszawa 1965.

- [54] Tanner R.: Betriebsergebnisse der Müllverbrennungsanlage der Stadt Laussane. Brennstoff, Wärme, Kraft 9/1968.
- [55] Tanner R.: Die Entwicklung der von Roll.
Müllverbrennungsanlagen Schweizerische Bauzeitung 16/1965.
- [56] Zankl W.: Die Zellenrost - Müllvernichtungsanlage.
Müllverbrennung. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 1963.
- [57] Zasady bilansowania mocy cieplnej. Opracowanie Biura Planowania Rozwoju Warszawy. IG-242/1974.
- [58] Ocena ekonomicznej efektywności inwestycji i innych zamierzeń rozwojowych. Zbiór przepisów. PWE, Warszawa 1974.
- [59] Rossian T.: Koncepcja zaopatrzenia w ciepło miasta Ożarowa Mazowieckiego. Opracowanie Biura Planowania Rozwoju Warszawy. IG-318/1975.
- [60] Wskaźniki wartości paliw i energii dla celów opracowania analiz techniczno-ekonomicznych. FIGPE, Warszawa 1974.
- [61] Tymczasowa instrukcja branżowa. Badania efektywności inwestycji energetycznych. Ministerstwo Górnictwa i Energetyki, Warszawa 1965.

Program

```

begin
  integer p, r, k, i, j, l, m, s;
  real n1, kn, kg, kw, it, t, E, S, S1, L, K1, F, F1, F2, M1,
    C, B, D, D1;
  read(p,k,r);
  begin
    array N, K, K2, G, W, KS, M[1:p], A[1:k,1:r], A1[1:p,1:(p+1)];
    comment Wprowadzic procedure matinv;?
  real procedure matinv(n,m,A,et);
  value n,m; integer n,m; array A; label et;
  begin integer i,j,k,row,colum;
  real det,amx,t;
  integer array pvt[1:n],index[1:n,1:2]; array pivot[1:n];
  det:=1;
  for i:=1 step 1 until n do pvt[i]:=0;
  for i:= 1 step 1 until n do
  begin
    amx:=0;
    for j:=1 step 1 until n do
    if pvt[j] = 1 then
    for k:=1 step 1 until n do
    if pvt[k] = 1 then
    begin
      if abs(amx)<abs(A[j,k]) then
      begin row:=j; colum:=k; amx:=A[j,k] end
    end;
    if abs(amx)<10-9 then go to et;
    pvt[colum]:=pvt[colum]+1;
    if row=colum then
    begin
      det:=-det;
      for j:= 1 step 1 until n+m do
      begin t:=A[row,j]; A[row,j]:=A[colum,j]; A[colum,j]:=t end
    end;
    index[i,1]:=row; index[i,2]:=colum;
    pivot[i]:=A[colum,colum];
    det:=det*pivot[i];
    A[colum,colum]:=1;
    for j:=1 step 1 until n+m do A[colum,j]:=A[colum,j]/pivot[i];
    for j:=1 step 1 until n do
    if j=colum then
    begin
      t:=A[j,colum]; A[j,colum]:=0;
      for k:= 1 step 1 until n+m do A[j,k]:=A[j,k]-A[colum,k]*t
    end
  end;
  for i:=n step -1 until 1 do
  if index[i,1]≠index[i,2] then
  begin
    for j:= 1 step 1 until n do
    begin
      t:=A[j,index[i,1]];
      A[j,index[i,1]]:=A[j,index[i,2]];
      A[j,index[i,2]]:=t
    end
  end;
  matinv:=det
end;?

```



```

n1:=0.65/8760;
if key(10) then
begin
kn:=1.05;
kg:=1.02;
kw:=1.1;
end else
begin
kn:=0.95;
kg:=0.98;
kw:=0.9;
end;
read(A);
E1: read(N,G,W,M,KS);
for i:=1 step 1 until p do
begin
E:=n1*kn*kg*kw*N[i]*G[i]*M[i]*W[i];
E:=E/1016;
it:=N[i]*G[i]*M[i]/1013;
if E<2.5 then
begin
l:=1;
m:=2;
L:=1.25;
end else
if E<5 then
begin
l:=2;
m:=2;
L:=2.5;
end else
if E<7.5 then
begin
l:=3;
m:=3;
L:=2.5;
end else
if E<10 then
begin
l:=4;
m:=2;
L:=5;
end else
if E<15 then
begin
l:=5;
m:=3;
L:=5;
end else
if E<20 then
begin
l:=6;
m:=2;
L:=10;
end else

```



```
if E<30 then
```

```
begin
```

```
l:=7;
```

```
m:=3;
```

```
L:=10;
```

```
end else
```

```
if E<40 then
```

```
begin
```

```
l:=8;
```

```
m:=4;
```

```
L:=10;
```

```
end else
```

```
if E<50 then
```

```
begin
```

```
l:=9;
```

```
m:=5;
```

```
L:=10;
```

```
end else
```

```
begin
```

```
l:=10;
```

```
m:=6;
```

```
L:=10;
```

```
end;
```

```
line(1);
```

```
print('? Qodp h E');
```

```
line(1);
```

```
format('? 12.34 3 12.34');
```

```
print(E,m,L);
```

```
S:=0;
```

```
S1:=0;
```

```
for j:=1 step 1 until 14 do
```

```
S:=S+A[1,j];
```

```
S:=.095*S;
```

```
for j:=15 step 1 until r do
```

```
S1:=S1+A[1,j];
```

```
S:=S+S1;
```

```
K[i]:=S/i;
```

```
K2[i]:=KS[i]+K[i];
```

```
format('? L[12]=1234567 K[12]=1234.56');
```

```
line(2);
```

```
print(i,M[i],i,K2[i]);
```

```
M[i]:=M[i]/1000;
```

```
end;
```

```
if key(11) then
```

```
begin
```

```
for i:=1 step 1 until 3 do
```

```
for j:=1 step 1 until 3 do
```

```
begin
```

```
S:=0;
```

```
for s:=1 step 1 until p do
```

```
S=S+M[s]^(6-i-j);
```

```
A1[i,j]:=S;
```

```
end;
```

```
for i:=1 step 1 until 3 do
```

```
begin
```



```

S:=0;
for s:=1 step 1 until p do
S:=S+K2[s]*M[s]^(3-i);
A1[i,4]:=S;
end;
matinv(3,1,A1,E2);
format('?.....-1.23451012...');
line(2);A1[2,4]:=-abs(A1[2,4]);
for i:=1 step 1 until 3 do
print(A1[i,4]); line(2);
B:=-A1[2,4]/A1[1,4]/2;
C:=A1[1,4]*B*B+A1[2,4]*B+A1[3,4];
format('?.....L=1234567...Kmin=1234.56');
print(B,C); line(2);

end
else
begin
for i:=1 step 1 until p do
for j:=1 step 1 until p do
A1[i,j]:=(M[i])^(j-1);
for i:=1 step 1 until p do
A1[i,5]:=K2[i];
matinv(p,1,A1,E2);
format('?.....-1.23451012...'); line(2);
for i:=1 step 1 until p do
print(A1[i,5]);line(2);
B=3*A1[4,5];
C=2*A1[3,5];
D=A1[2,5];
D1=C^2-4*B*D;
D1:=sqrt(D1);
B=(C-D1)/(2*B); B=abs(B);
C=(-C-D1)/(2*B);
F1=A1[4,5]*B^3+A1[3,5]*B^2+A1[2,5]*B+A1[1,5];
F2=A1[4,5]*C^3+A1[3,5]*C^2+A1[2,5]*C+A1[1,5];
format('?.....L=1234567...Kmin=1234.56...L=1234567...Kmin=1234.56');
print(B,F1,C,F2);
end;
if key(12) then
begin
for i:=1 step 1 until 3 do
for j:=1 step 1 until 3 do
A1[i,j]:=M[i]^(3-j);
for i:=1 step 1 until 3 do
A1[i,4]:=K2[i];
matinv(3,1,A1,E2);
format('?.....-1.23451012...');
line(2);
A1[2,4]:=-abs(A1[2,4]);
for i:=1 step 1 until 3 do
print(A1[i,4]); line(2);
B:=-A1[2,4]/A1[1,4]/2;
C:=A1[1,4]*B*B+A1[2,4]*B+A1[3,4];
format('?.....L=1234567...Kmin=123.56');
print(B,C); line(2);
end

```



```

else begin
A1[1,1]:=0;A1[1,2]:=0;A1[1,3]:=0;
A1[2,1]:=0;A1[2,2]:=0;A1[2,3]:=0;
for s=1,3,4 do begin
A1[1,1]:=A1[1,1]+(M[s]^2-M[2]^2)^2;
A1[1,2]:=A1[1,2]+(M[s]-M[2])*(M[s]^2-M[2]^2);
A1[1,3]:=A1[1,3]+(K2[s]-K2[2])*(M[s]^2-M[2]^2);
A1[2,1]:=A1[2,1]+(M[s]^2-M[2]^2)*(M[s]-M[2]);
A1[2,2]:=A1[2,2]+(M[s]-M[2])^2;
A1[2,3]:=A1[2,3]+(K2[s]-K2[2])*(M[s]-M[2]);
end;
matinv(2,1,A1,E2);
format('?LLLLLLLLLLL-1.23451012LL'); line(2);
A1[2,3]:=-abs(A1[2,3]);
A1[3,3]:=K2[2]-A1[1,3]*M[2]^2-A1[2,3]*M[2];
print (A1[1,3],A1[2,3],A1[3,3]); line (2);
B:=-A1[2,3]/A1[1,3]/2;
C:=A1[1,3]*B*B+A1[2,3]*B+A1[3,3];
format('?LLLLLLLLLLL=1234567LLKmin=1234.56');
print(B,C);
line(2);
end;
go to KONIEC;
E2: print('?MACIERZ OSOBLIWA');
KONIEC:
go to E1;
end;
end?

```


4, 10, 23,

13.75₁₀6, 3.3₁₀6, 2.75₁₀5, 3.2₁₀5, 1.5₁₀5, 7₁₀4, 6₁₀5,
 8₁₀5, 2₁₀6, 3₁₀5, 2.4₁₀5, 8₁₀4, 1.5₁₀6, 3₁₀6, 2.9023₁₀5,
 5.33₁₀3, 3.61₁₀3, 7.2₁₀5, 3.6₁₀5, 3.57₁₀3, 8₁₀4,
 8₁₀5, 4₁₀5,

23₁₀6, 3.85₁₀6, 2.86₁₀5, 3.6₁₀5, 1.5₁₀5, 7₁₀4, 6₁₀5,
 8₁₀5, 2₁₀6, 3₁₀5, 2.8₁₀5, 8₁₀4, 1.5₁₀6, 3.25₁₀6, 4.017₁₀5,
 5.74₁₀3, 4.52₁₀3, 7.2₁₀5, 3.96₁₀5, 3.82₁₀3, 9₁₀4,
 8.8₁₀5, 4.4₁₀5,

28.5₁₀6, 4.4₁₀6, 3.08₁₀5, 4₁₀5, 1.5₁₀5, 7₁₀4, 9₁₀5, 8₁₀5,
 2₁₀6, 3₁₀5, 3₁₀5, 1.2₁₀5, 1.5₁₀6, 3.5₁₀6, 4.8672₁₀5,
 6.15₁₀3, 4.52₁₀3, 7.92₁₀5, 4.5₁₀5, 4.08₁₀3, 1₁₀5,
 9.6₁₀5, 4.8₁₀5,

3₁₀7, 5.5₁₀6, 3.1₁₀5, 5.2₁₀5, 1.5₁₀5, 7₁₀4, 1.5₁₀6,
 8₁₀5, 3₁₀6, 5₁₀5, 4.2₁₀5, 1.2₁₀5, 2₁₀6, 4.5₁₀6, 5.4329₁₀5,
 6.97₁₀3, 6.03₁₀3, 8.64₁₀5, 5.4₁₀5, 4.59₁₀3, 1.2₁₀5,
 1.04₁₀6, 5.2₁₀5,

33₁₀6, 7.15₁₀6, 3.74₁₀5, 6.8₁₀5, 1.5₁₀5, 7₁₀4, 1.8₁₀6,
 8₁₀5, 3₁₀6, 5₁₀5, 4.2₁₀5, 1.2₁₀5, 2₁₀6, 4.5₁₀6, 6.0021₁₀5,
 7.79₁₀3, 9.04₁₀3, 1008₁₀3, 6.3₁₀5, 5.1₁₀3, 1.4₁₀5,
 1.12₁₀6, 5.6₁₀5,

36₁₀6, 8.8₁₀6, 4.18₁₀5, 7.6₁₀5, 1.5₁₀5, 1.05₁₀5, 2.4₁₀6,
 9₁₀5, 2₁₀6, 6₁₀5, 5₁₀5, 8₁₀4, 2₁₀6, 5₁₀6, 6.5684₁₀5,
 8.61₁₀3, 12.06₁₀3, 1224₁₀3, 7.2₁₀5, 5.61₁₀3, 1.6₁₀5,
 1.2₁₀6, 6₁₀5,

45₁₀6, 12.1₁₀6, 4.65₁₀5, 8.8₁₀5, 1.5₁₀5, 1.05₁₀5, 3₁₀6,
 9₁₀6, 3₁₀6, 7₁₀5, 5.6₁₀5, 1.2₁₀5, 2₁₀6, 6.5₁₀6, 9.2939₁₀5,
 9.43₁₀3, 15.08₁₀3, 1.44₁₀6, 8.1₁₀5, 6.63₁₀3, 1.8₁₀5,
 1.32₁₀6, 6.6₁₀5,

54.4₁₀6, 14.3₁₀6, 5.5₁₀5, 1.04₁₀6, 1.5₁₀5, 1.05₁₀5, 3.6₁₀6,
 9₁₀5, 4₁₀6, 8₁₀5, 7₁₀5, 1.6₁₀5, 2₁₀6, 8₁₀6, 9.9775₁₀5, 10.25₁₀3,
 18.09₁₀3, 16.56₁₀5, 9₁₀5, 7.65₁₀3, 2₁₀5, 1.4₁₀6, 7₁₀5,

65₁₀6, 15.4₁₀6, 6.05₁₀5, 1.16₁₀6, 1.5₁₀5, 1.4₁₀5, 4.2₁₀5,
 9₁₀5, 5₁₀6, 9₁₀5, 8₁₀5, 2₁₀5, 2₁₀6, 9₁₀6, 1.11842₁₀6,
 11.27₁₀3, 22.62₁₀3, 1.98₁₀6, 9.36₁₀5, 8.92₁₀3, 2.25₁₀5,
 1.52₁₀6, 7.6₁₀5,

75.6₁₀6, 16.5₁₀6, 6.6₁₀5, 1.28₁₀6, 1.5₁₀5, 1.4₁₀5, 4.8₁₀5,
9₁₀5, 6₁₀6, 1₁₀6, 9₁₀5, 2.4₁₀5, 2₁₀6, 9₁₀6, 1.26335₁₀6,
12.3₁₀3, 27.14₁₀3, 2.16₁₀6, 1.08₁₀6, 10.2₁₀3,
2.5₁₀5, 1.6₁₀6, 8₁₀5,

1.09, 1.12, 1.15, 1.2,
252, 242, 232, 220,
1020, 1150, 1210, 1300,
1₁₀5, 3.081₁₀5, 7.809₁₀5, 1.3878₁₀6,
65, 100, 180, 250,
1.30, 1.35, 1.45, 1.60,
220, 190, 175, 155,
1180, 1450, 1530, 1600,
1₁₀5, 3.35₁₀5, 8.15₁₀5, 1.52₁₀6,
65, 108, 185, 255,
1.65, 1.8, 1.9, 2.0,
180, 150, 125, 120,
1300, 1510, 1800, 1850,
1₁₀5, 3.74₁₀5, 8.65₁₀5, 1.52₁₀6,
65, 115, 190, 255,
?

504 Kmln= 222.27

477 Kmln= 196.27

Wyniki

Qodp	h	E
2.45	2	1.25

L[1] = 100000 K[1] = 253.19

Qodp	h	E
8.39	2	5.00

L[2] = 308100 K[2] = 199.83

Qodp	h	E
22.04	3	10.00

L[3] = 780900 K[3] = 243.89

Qodp	h	E
41.64	5	10.00

L[4] = 1387800 K[4] = 294.33

9.6392_{10}^{-05}
 -9.7104_{10}^{-02}
 2.4673_{10}^{02}

L = 504 Kmin = 222.27

1.2905_{10}^{-04}
 -1.2360_{10}^{-01}
 2.2567_{10}^{02}

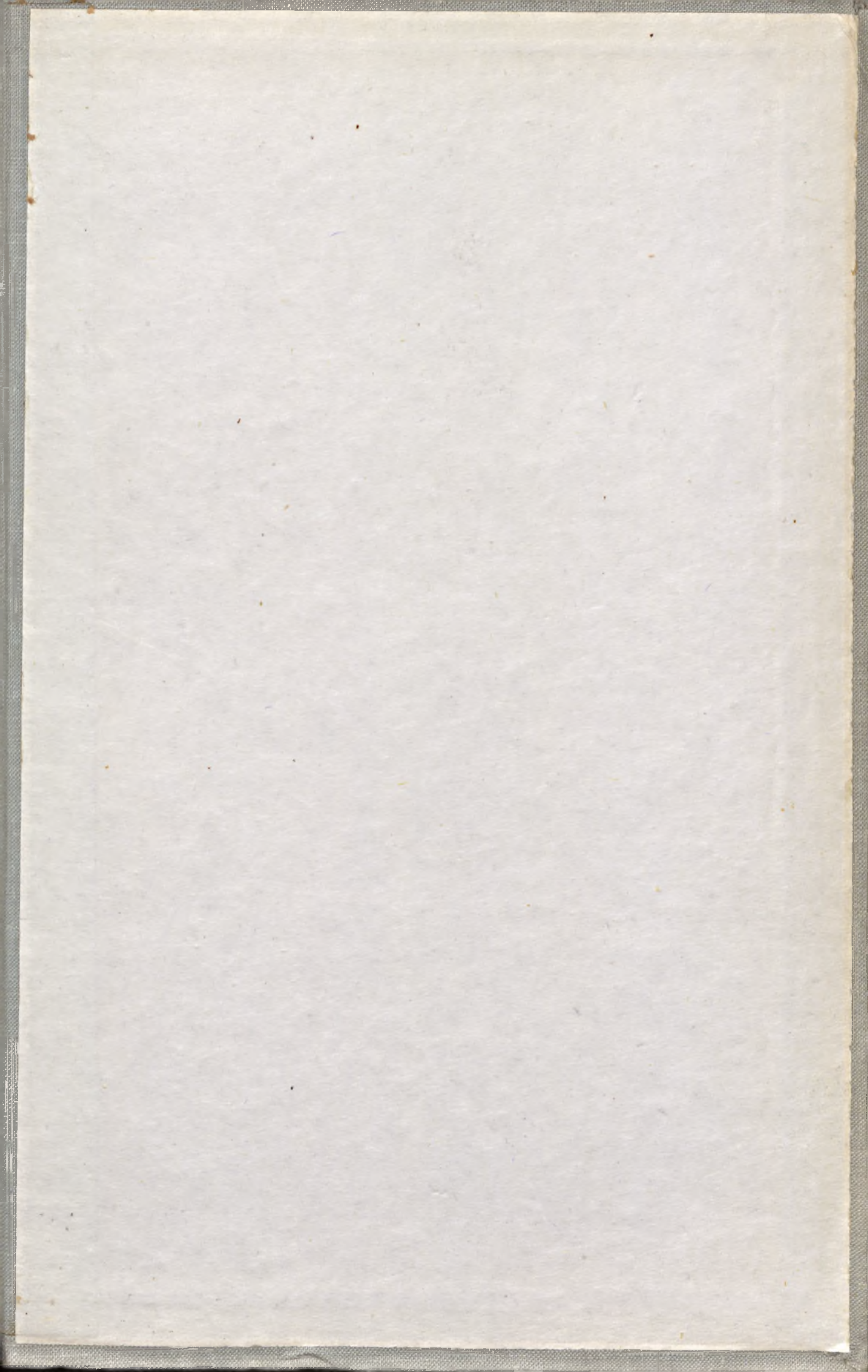
L = 479 Kmin = 196.07

Qodp	h	E
2.95	2	2.50

L[1] = 100000 K[1] = 289.19

Qodp	h	E
10.89	3	5.00







R

2186