

**ZESZYTY
NAUKOWE
POLITECHNIKI
ŚLĄSKIEJ**

ENERGETYKA

**Z. 59
GLIWICE
1976**



POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 498

JERZY MICHNA

**METODA PROGNOZOWANIA WYKRESÓW
STATYSTYCZNYCH RÓŻNYCH POSTACI ENERGII
W ZAKŁADZIE PRZEMYSŁOWYM (HUTNICZYM)**

REDAKTOR NACZELNY WYDAWNICTW UCZELNIANYCH
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Jan Bandrowski

REDAKTOR DZIAŁU

Gerard Kosman

SEKRETARZ REDAKCJI

Jan Znamirowski

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Śląskiej

Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej
Gliwice, ul. Kujawska 2

Nakł. 80+146 Ark. wyd. 4,5 Ark. druk. 4,7 Papier offsetowy kl. III 70x100, 80 g
Oddano do druku 18 8 76 Podpis. do druku 25 10. 76 Druk ukończ. w listopadzie 1976
Zam. 994/76 N-25

Cena zł 11,-

Skład, fotokopie, druk i oprawę
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

SPIS TREŚCI

	Str.
1. STOSOWANE METODY PRZEWIDYWANIA ZAPOTRZEBOWANIA ENERGII PRZEZ ZAKŁADY PRZEMYSŁOWE	5
2. CEL PRACY	9
3. MODEL PROCESU TECHNOLOGICZNEGO	10
4. WAHANIA W POBORZE STRUMIENIA ENERGII W PROCESACH HUTNICZYCH	15
4.1. Wpływ zmian parametrów materiałów technologicznych	16
4.2. Wpływ czynników organizacyjnych procesu	18
4.3. Wpływ zmian stanu technicznego urządzeń technologicznych ..	20
4.4. Wpływ zmian parametrów nośników energii	22
4.5. Wpływ czynników zewnętrznych	23
5. METODA PROGNOZOWANIA WAHAŃ ZUŻYCIA ENERGII	24
5.1. Prognoza wahań zużycia energii przez pojedyncze urządzenia procesu hutniczego	25
5.2. Prognozowanie wahań zużycia energii przez całe procesy technologiczne	32
6. PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA METODY	42
6.1. Zużycie energii elektrycznej przez wydział walcowni blach .	43
6.2. Pobór strumienia gazu do opalania pieców grzewczych walcowni zgniatacza	46
6.3. Zużycie koksu przez wielkie piece	52
7. MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA PRZEWIDYWANYCH WYKRESÓW UPORZĄDKOWANYCH .	55
7.1. Optymalizacja zapotrzebowania gazu koksowniczego	55
7.2. Optymalizacja odbioru buforowego gazu wielkopiecowego	58
8. PODSUMOWANIE	64
9. LITERATURA	68
Spis ważniejszych oznaczeń	71
Streszczenia	74

1. STOSOWANE METODY PRZEWIDYWANIA ZAPOTRZEBOWANIA ENERGII PRZEZ ZAKŁADY PRZEMYSŁOWE

"Gospodarka energetyczna" to ogólnie rzecz biorąc pojęcie związane z problematyką wytwarzania i użytkowania energii. Zagadnienia te występują samodzielnie jedynie w przemyśle energetycznym, tj. w branży przemysłowej zajmującej się wytwarzaniem i przesyłaniem energii. W innych przemysłach jak np. w hutnictwie, wytwarzanie i użytkowanie energii jest ściśle sprzężone z technologią produkcji. Z tych powodów istnieją trudności w jednoznacznym sprecyzowaniu zasięgu gospodarki energetycznej w zakładach przemysłowych a hutniczych w szczególności. Np. zgodnie z obowiązującą w Polsce zasadą wielkie piece traktuje się jako urządzenia energetyczne mimo, że wiodący jest tu proces wytwarzania surówki a zagadnienia energetyczne są pochodnymi technologii produkcji surówki.

Ograniczając zasięg gospodarki energetycznej do problematyki wytwarzania i użytkowania energii przyjmuje się, że celem gospodarki energetycznej jest racjonalne wykorzystanie zasobów energetycznych. Jedynie w przemyśle energetycznym racjonalne wykorzystanie zasobów energetycznych można uznać za cel podstawowy.

W zakładach przemysłowych cel ten jest podporządkowany ogólniejszemu celowi całego przedsiębiorstwa przemysłowego. Celem przedsiębiorstwa przemysłowego jest optymalne (w oparciu o kryteria wynikające z potrzeb całej gospodarki narodowej) realizowanie zadań produkcyjnych. Celem systemu gospodarki energetycznej w zakładzie przemysłowym jest zapewnienie możliwości optymalnego wykorzystania urządzeń produkcyjnych, natomiast racjonalne wykorzystanie zasobów energii powstaje jako cel cząstkowy nie zawsze skorelowany z celami ogólnymi. Rozbieżność celów gospodarki energetycznej i celów produkcji widoczna jest m.in. w aktach normatywnych regulujących użytkowanie paliw i energii w Polsce. I tak np. bodźce mające stymulować oszczędzanie paliw i energii nie działają w tym samym kierunku, co bodźce stymulujące wydajność produkcji. Stan taki jest wynikiem między innymi tego, że niektóre akty normatywne opracowano w oparciu o doświadczenia energetyki zawodowej i to w okresie kiedy rachunek ekonomiczny nie zdobył sobie jeszcze znaczenia niekwestionowanego miernika działalności gospodarczej.

Wynikiem takiej sytuacji jest stosunkowo mała liczba prac badawczych, które zmierzałyby do coraz dokładniejszego określenia sprzężeń między parametrami technologicznymi i energetycznymi. Niezadowalający stan tego rodzaju badań rzutuje niekorzystnie w szczególności na dokładność prognozo-

wania zużycia energii oraz na stosowanie metod związanych z poszukiwaniem optymalnych rozwiązań problemów energetycznych zakładu przemysłowego jako całości. Stan taki stwarza również trudności określania efektów przedsięwzięć modernizacyjnych gospodarki energetycznej. Częściowo sytuację taką uzasadnia niski udział kosztów energii i paliw w kosztach produkcji wyrobów hutniczych, przez co efekty usprawnień gospodarki energetycznej mieszczą się w dopuszczalnych tolerancjach efektywności produkcji.

Większość zakładów przemysłowych zużywa energię w różnych postaciach: energię elektryczną, węgiel, koks, olej opałowy, gaz wielkopiecowy, gaz ziemny, gaz koksowniczy, parę, wodę. Z tego względu w analizach zużycia energii powszechnie stosowane są wskaźniki obrazujące zużycie pewnego nośnika energii dla wyprodukowania jednostki określonego wyrobu [39, 40, 69]. Wskaźnik taki (a_T) oblicza się jako stosunek ilości zużytego nośnika energii (θ_T) w pewnym okresie czasu T (np. doba, miesiąc) do ilości wyrobów (Q_T) wyprodukowanych w tym samym czasie:

$$a_T = \frac{\theta_T}{Q_T} \quad (1)$$

Oceny zużycia energii przez zakład dokonuje się w oparciu o bilanse cząstkowe określające zużycie poszczególnych nośników energii potrzebnych dla wyprodukowania określonego wyrobu. Pomija się wówczas fakt, że w ramach poszczególnych nośników istnieje konieczność operowania umownymi parametrami średnimi charakteryzującymi ich stan. Dla przykładu węgiel stosowany do produkcji gazu ozadnicowego jest inny niż do produkcji koksu. Podobnie woda służąca do oczyszczania gazu wielkopiecowego różni się od wody używanej do produkcji pary wodnej.

Korzystanie z bilansów cząstkowych ma również tę wadę, że wytwarzanie i zużycie każdego nośnika energii rozpatruje się w oderwaniu od wytwarzania i zużycia innego nośnika w danym procesie technologicznym. Poza tym pomija się wpływ jakości produkcji na zużycie energii i to nie tylko rozpatrywanego procesu technologicznego, lecz również procesów sprzężonych.

Zmniejszenie błędów w ocenie zużycia energii przy korzystaniu z bilansów cząstkowych próbuje się zwykle uzyskać stosując powiązania zużycia energii o różnych postaciach między sobą, jak również z wielkościami technologicznymi drogą kolejnych przybliżeń. Zwykle do obliczeń przyjmuje się model powiązań liniowych i założenie stałości współczynników określających jednostkowe zużycie energii w danej postaci.

Badania, jakie przeprowadzono w hutnictwie [66], wykazały przydatność stosowania modelu matematycznego bilansu materiałowo energetycznego zakładu do prognozowania zużycia poszczególnych nośników energii w większych okresach czasu np. kwartału oraz planowania zużycia energii w skali branżowej. Taki sposób oceny zużycia paliw i energii nie uwzględnia charakteru procesu traktując go statycznie i biorąc pod uwagę wielkości średnie strumieni energii. W rzeczywistości większość procesów technologicznych

oraz związanych z nimi procesów energetycznych wykazuje zmienność w czasie.

Dynamika, jak również zjawiska przypadkowe procesu technologicznego powodują, że średnie wskaźniki zużycia energii obliczone dla różnych okresów T mogą różnić się

$$a_{T_1} \neq a_{T_2} \neq a_{T_3} \neq \dots$$

W następstwie tego dopiero dla stosunkowo długich okresów czasu, których wielkość uzależniona jest od specyfiki procesu, uzyskuje się porównywalność wskaźników.

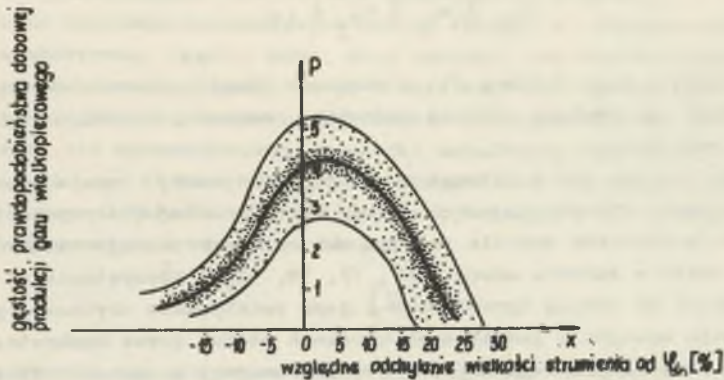
Ostatnio spotyka się w literaturze specjalistycznej wiele opracowań prognostycznych, wykorzystujących metody bezpośredniej ekstrapolacji trendu średnich wskaźników zużycia energii lub metody korelacji związków przyczynowych zmian w zużyciu energii [7, 17, 30, 32]. Korzystanie ze wskaźników średnich ma zasięg ograniczony i jest praktycznie użyteczne przy ocenie zużycia energii w jednakowych okresach czasu przez konkretne urządzenia dla rozliczeń księgowo-finansowych oraz przy prognozach długookresowych. Analizy przyczyn zużycia energii, jak również projektowanie sieci oraz urządzeń energetycznych w oparciu o wskaźniki średnie dają często niepełne a nawet mylne wyniki [48, 50]. To samo dotyczy projektowania systemów energetycznych [47, 51]. Za jedną z dróg pokonania tych trudności można uznać zastosowanie charakterystyki wskaźnika pełniejszej niż jego wartość średnia i wprowadzenie do analiz obliczonych statystycznie przedziałów wahań wskaźników energetycznych [40]. Na ogół na skutek niedostatecznego rozeznania przyczyn wahań wskaźników jednostkowego zużycia nie mamy pewności, czy w innych warunkach wahania te będą podobne. Poza tym przedziały wahań wskaźników zawierają zmiany wartości średnich wskaźników pewnych procesów technologicznych bez zdefiniowania rodzaju oraz ilości urządzeń zużywających określony nośnik energii, jak również sposobu organizacji produkcji. W rezultacie znajomość przedziałów wahań wskaźników zużycia energii daje również ograniczone możliwości wykorzystania w analizach zużycia energii [45].

Próby zastosowania rachunku optymalizacyjnego do rozwiązywania praktycznych zagadnień energetycznych spowodowały, że w ostatnich latach podejmuje się badania, których celem jest poszukiwanie rozkładów wahań zużycia energii przez konkretne procesy technologiczne [43, 44].

Badania te zmierzają do określenia gęstości rozkładu prawdopodobieństwa $P(x)$, odchylenia strumienia energii φ pobieranego przez dany proces technologiczny od wielkości średniej φ_{sr} ,

$$\text{gdzie odchylenie } x = \frac{\varphi - \varphi_{sr}}{\varphi_{sr}}$$

Zjawiska przypadkowe, jak również niezgodność analizowanych okresów T z cyklami poboru strumienia energii przez poszczególne urządzenia (odbiorniki) wchodzące w skład procesu technologicznego powodują, że dane statystyczne układają się w pewien obszar [45]. Krzywą $P(x)$ można otrzymać drogą aproksymacji np. za pomocą metody minimum sumy kwadratów odchylen (rys. 1).



Rys. 1. Gęstość prawdopodobieństwa dobowej produkcji gazu wielkopieczowego pieca o objętości 490 m^3 (1964-69)

Liczne problemy spotykane na co dzień w analizach procesów energetycznych zakładu produkcyjnego, wymagają znajomości wykresów statystycznych wahań wielkości produkcji oraz zużycia energii.

Wykresy takie są tylko wtedy przydatne do prognozowania zużycia energii, gdy znana jest struktura organizacyjna procesu technologicznego oraz wynikająca z niej struktura organizacyjna dostaw paliw i energii potrzebnych do realizacji procesu.

Zastosowanie praktyczne funkcji wahań strumienia zużycia energii ograniczone jest dokładnością estymacji. W konkretnych przypadkach odchylenie standardowe dla wyznaczonej krzywej może być większe od tolerancji metod określających inne wielkości np. kosztów inwestycyjnych.

Zastosowanie krzywych wahań strumienia do prognozowania zużycia energii nie zawsze jest dopuszczalne. Brak znajomości przyczyn wahań energii, a przede wszystkim brak znajomości cyklu wahań energii, nie daje pewności czy zebrane dane statystyczne w różnych okresach czasu nie dadzą różniących się wykresów statystycznych.

Ogólnie można stwierdzić, że obecnie stosowane metody bilansowania oraz prognozowania zużycia energii mają ograniczone możliwości praktycznego wykorzystania do analiz procesów energetycznych. Brak analiz modelowych zużycia energii w procesach technologicznych uniemożliwia ocenę błędów popełnionego przy stosowaniu odpowiedniej metody bilansowania zużycia energii.

Z tego też względu poszukiwania metod analizowania modeli konkretnych

procesów technologicznych jest konieczne, aby ustalić zakres ich użyteczności.

2. CEL PRACY

Spotykane w fachowej literaturze analizy wahań strumienia pobieranej energii dokonywane są głównie dla okresów pracy nieustalonej [4, 5, 14, 56]. Często spotyka się również pogląd, że wahania w zużyciu energii występują wyłącznie w okresie nieustalonej pracy urządzenia. W rzeczywistości wahania strumienia pobieranej energii są nieodłączną cechą prawie każdego procesu technologicznego w okresie jego pracy ustalonej. Trzeba to mieć na uwadze przy ocenie błędu, jaki popełnia się pomijając te wahania strumienia energii i posługując się wskaźnikami średnimi [45].

Analiza gospodarki energetycznej zakładu hutniczego, dokonana z punktu widzenia racjonalnego kierowania gospodarką energetyczną wykazuje, że bez uwzględnienia wahań strumienia pobieranej energii, niektóre problemy związane z użytkowaniem energii można rozwiązać jedynie w sposób przybliżony [7, 31, 46, 47, 48, 50].

Badania statystyczne prowadzone w hutnictwie [43, 45] wykazały, że uzyskane wyniki układają się w obszary, które tylko w niektórych przypadkach można z wystarczającą dokładnością aproksymować dla praktycznej użyteczności za pomocą jednej funkcji.

Celem pracy jest analiza przyczyn wahań strumienia paliw i energii w procesach hutniczych dla okresów ich ustalonej pracy i na jej podstawie przedstawienie propozycji metody pozwalającej na prognozowanie uporządkowanych wykresów wielkości strumieni paliw i energii w procesach hutniczych z uwzględnieniem organizacji procesów produkcyjnych, planowanego asortymentu wyrobów, wahań parametrów technologicznych i jakości nośników energii, czynników zewnętrznych oraz stanu technicznego urządzeń.

Dla osiągnięcia tego celu zachodziła potrzeba zbadania struktury procesów hutniczych a następnie określenia modelu procesu technologicznego, pozwalającego na ilościową analizę czynników mających wpływ na wielkość wahań strumienia pobieranej energii.

Produkcja hutnicza charakteryzuje się dużą ilością asortymentów różniących się wielkościami jednostkowego zużycia energii i paliw.

Wahania w zużyciu energii spowodowane produkcją różnych asortymentów wyrobów określają technolodzy sposobami teoretycznymi lub empirycznymi. Są one szczególnie istotne w prognozach długookresowych.

Urządzenia hutnicze można podzielić na zbiór urządzeń o stałym poborze strumienia energii oraz urządzenia o cyklicznym poborze strumienia energii.

Zakładając pewną wydajność procesu technologicznego określa się równocześnie wielkość cyklu pracy poszczególnych urządzeń procesu. W przypadku, gdy praca tych urządzeń jest wzajemnie nieuwarunkowana, wykres uporządkowany strumienia energii pobranej przez proces technologiczny można uży-

skąć obliczając prawdopodobieństwo występowania poszczególnych kombinacji wielkości strumienia energii.

Część urządzeń hutniczych pobierających energię warunkuje wzajemnie swoją pracę. Zwykle funkcje cykliczne poboru strumienia energii przez takie urządzenia są przesunięte o pewne okresy czasu, wynikające z określonej wydajności procesu. Istnieje zatem możliwość skonstruowania krzywej sumarycznego poboru strumienia określonego nośnika energii przez wszystkie urządzenia współpracujące ze sobą. Na tej podstawie można określić wykres uporządkowany wahań strumienia danego nośnika energii dla całego procesu technologicznego.

W każdym procesie oprócz przyczyn zdeterminowanych, powodujących wahania w zużyciu paliw i energii, istnieją także przyczyny o charakterze przypadkowym. Są one następstwem przypadkowych zmian parametrów technologicznych oraz parametrów paliw i energii, dla których współczynniki regresji liniowej z jednostkowym zużyciem energii są stosunkowo duże. Zwykle występują one niezależnie od siebie i ich rozkłady wahań lub oo najmniej przedziały wahań są znane [40, 41, 63, 70].

Znajomość funkcji regresji między parametrami technologicznymi a jednostkowym zużyciem energii pozwala na określenie wykresu uporządkowanego wahań w poborze strumienia energii pobranej. Wahania sumaryczne, spowodowane zmianami przypadkowymi, można określić sumując statystyczne wykresy uporządkowane względnych wahań poboru energii pochodzących od parametrów technologicznych oraz parametrów paliw i energii.

Niektóre wahania w poborze energii, mające charakter deterministyczny, wiążą się ze zmianami stanu technicznego urządzeń oraz zmianami czynników zewnętrznych. Wahania takie występują cyklicznie. Przy sporządzaniu prognoz dla okresów znacznie krótszych od owych cykli wahań, ich wpływ ogranicza się do zmiany wartości średniej wielkości pobieranego strumienia energii. Dla prognoz długoterminowych względne wahania można sumować statystycznie ze wspomnianymi poprzednio wykresami uporządkowanymi wahań spowodowanych czynnikami przypadkowymi, bowiem są one od nich niezależne.

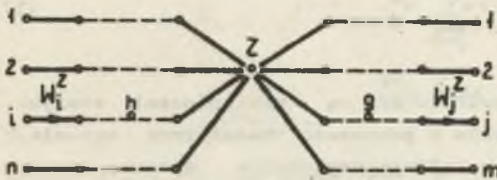
3. MODEL PROCESU TECHNOLOGICZNEGO

Gospodarka energetyczna huty składa się z gospodarek energetycznych poszczególnych procesów technologicznych huty oraz z gospodarek związanych z przesyłaniem i rozdziałem poszczególnych nośników energii.

Można wobec tego przyjąć, że gospodarka energetyczna każdego procesu technologicznego huty jest podsystemem systemu gospodarki energetycznej huty. Podstawowym ogniwiem w analizie gospodarki energetycznej huty jest zatem model gospodarki energetycznej pewnego procesu technologicznego huty. Sformułowanie modelu zużycia paliw i energii w poszczególnych procesach technologicznych huty pozwala na konstrukcję modelu całego systemu gospodarki energetycznej huty. Przez model procesu technologicznego rozumie się strukturę powiązań poszczególnych jego operacji. Znajomość powią-

zań organizacyjnych procesu technologicznego oraz strumieni energii potrzebnych dla realizacji poszczególnych operacji pozwala na określenie strumieni sumarycznych dla danego procesu technologicznego.

Każdy materiał (wsad) dostarczany jest do miejsc składowania lub miejsc przyjęcia materiału. Analogicznie każdy materiał przerobiony w procesie technologicznym składowany jest w miejscu, z którego zostaje przetransportowany do innych procesów technologicznych lub też do odbiorców wyrobów hutniczych (przy wyrobach finalnych). Można wobec tego przyjąć, że wejściami i wyjściami materiałów technologicznych w procesie technologicznym są ich składowiska przed obróbką technologiczną i po obróbce technologicznej. W niektórych procesach hutniczych, gdzie występują materiały sypkie, istnieje kilka wejść materiałów potrzebnych dla realizacji procesu. Każdy proces hutniczy ma co najmniej dwa wyjścia materiałowe, jedno dla wyrobów gotowych oraz drugie dla odpadów produkcyjnych.



Rys. 2. Schemat przepływu materiałów technologicznych w procesie produkcyjnym

Materiały wsadowe podlegają wstępnej obróbce przed podstawową operacją procesu. Po przejściu podstawowej operacji, materiał poddawany jest dodatkowym zabiegom wykańczającą. Trudności zsynchronizowania poszczególnych czynności technologicznych procesu wymagają zorganizowania przy niektórych urządzeniach technologicznych składowisk materiałów, które

kompensują wahania w dostawach zaplanowanych materiałów technologicznych.

Z analizy struktury grafu przepływu materiałów (rys. 2) wynika, że realizacja procesu odbywa się w obiekcie podstawowym danego procesu technologicznego (Z). Z pozostałych urządzeń procesu technologicznego wyróżnić można urządzenia służące do przygotowania wsadu lub obróbki produktu. Realizują one zatem pomocniczo operacje danego procesu technologicznego. Duża różnorodność operacji pomocniczych jest przyczyną istnienia licznych rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń pomocniczych. Stosunkowo duża ilość operacji technologicznych oraz duży ciężar wyrobów hutniczych wymaga również dużej różnorodności urządzeń transportowych. Do grupy urządzeń transportowych zalicza się suwnice o specjalnych konstrukcjach dla hutnictwa, przenośniki bębnowe i taśmowe, jak również przesuwacze.

Ogólnie rzecz biorąc dla realizacji pewnego procesu hutniczego potrzebnych jest "n" materiałów wsadowych tzn., że dla uzyskania pewnej wydajności W^Z procesu potrzebne są strumienie materiałów wsadowych o średniej wydajności danego kanału wsadowego.

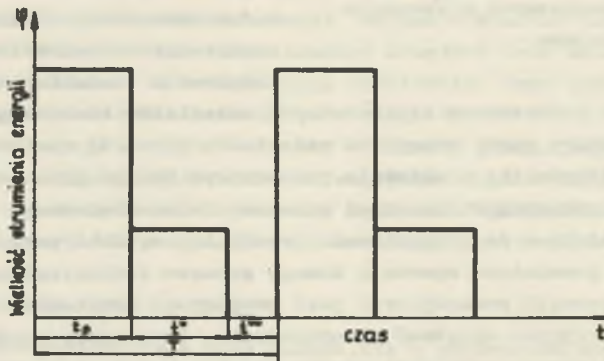
Z warunku bilansowania wynika, że

$$\sum_{i=1}^n W_i^z = \sum_{j=1}^m W_j^z, \quad (2)$$

gdzie W_j^z oznacza średnią wydajność, j-tego kanału produktów wyjściowych procesu (rys. 2). Warunki bilansowe odnoszą się do procesów o pojedynczym urządzeniu podstawowym. W niektórych procesach hutniczych np. stalowniach martenowskich, kanał materiałów wsadowych obsługuje kilka urządzeń podstawowych. W przypadku, gdy liczba urządzeń podstawowych obsługiwanych przez kanały wsadowe procesu technologicznego $B > 1$, obowiązuje zależność:

$$\sum_{i=1}^n W_i^z = \sum_{j=1}^{B \cdot m} W_j^z. \quad (3)$$

W rzeczywistości strumienie materiałów nie są wielkościami stałymi. Strumienie materiałów wsadowych zwykle w procesach hutniczych zmieniają się skokowo. W związku z tym w pracy każdego urządzenia danego procesu technologicznego wyróżnić można pewną cykliczność (rys. 3).



Rys. 3. Cykliczność pracy urządzeń transportowych

Okres cyklu T obejmuje czas pracy t_p , czas jałowy t_o oraz przerwę w pracy urządzenia t_{oo} :

$$T = t_p + t_o + t_{oo}. \quad (4)$$

Przyjmując, że suma czasu pracy oraz czasu jałowego stanowi czas użyteczny w pracy urządzenia:

$$t_u = t_p + t_o,$$

otrzymuje się, że

$$T = t_u + t_{oo}.$$

Jeżeli ilość materiału technologicznego, obrabianego w czasie jednego cyklu h -tego urządzenia w i -tym kanale oznaczy się przez Q_T^Z , wówczas wydajność operacji będzie

$$w_{ih}^Z = \frac{Q_T^Z}{T_{ih}^Z} = \frac{Q_T^Z}{t_{uih}^Z + t_{ooih}^Z} \quad (5)$$

Wydajność maksymalna urządzenia

$$w_{ih}^Z \text{ maks} = \frac{Q_T^Z}{t_{uih}^Z}$$

będzie miała miejsce wtedy, gdy $t_{ooih} = 0$.

W zasadzie o wydajności całego procesu technologicznego decyduje wydajność urządzenia podstawowego. W niektórych przypadkach zdarza się, że wydajność procesu uzależniona jest od wydajności pewnego urządzenia pomocniczego (i, h_o) względnie (i, g_o).

W przypadku, gdy kanały wsadowe oraz kanały produktów związane są z jednym z podstawowych urządzeń, którego wydajność wynosi W^Z , to wydajności poszczególnych kanałów wsadowych W_i^Z oraz kanałów produktów wyjściowych procesu W_j^Z wynikają z technologii produkcji, tzn.:

$$W_i^Z = k_i^Z W^Z, \quad W_j^Z = k_j^Z W^Z, \quad (6)$$

gdzie k_i^Z, k_j^Z - współczynniki wynikające z technologii procesu.

W przypadku, gdy o wydajności procesu decyduje wydajność pewnego urządzenia pomocniczego h_o dla i -tego kanału wsadowego i g_o dla j -tego kanału produktów, do obliczenia wydajności kanałów wsadowych i kanałów produktów wznaczyć należy odpowiednią wydajność zastępczą W^Z obiektu:

$$W^Z = \frac{W_{ih_o}^Z}{k_i^Z} \quad \text{lub} \quad W^Z = \frac{W_{jg_o}^Z}{k_j^Z},$$

a następnie określić przepustowość pozostałych kanałów. Wydajność każdego urządzenia pomocniczego W_{ih}^Z oraz W_{jg}^Z winna być większa lub równa wydajności średniej kanału, tzn.:

$$W_{ih}^Z \geq W_i^Z \quad \text{oraz} \quad W_{jg}^Z \geq W_j^Z.$$

Uzyskuje się to dobierając urządzenia pomocnicze o wydajności maksymalnej większej od wydajności kanału, tzn.:

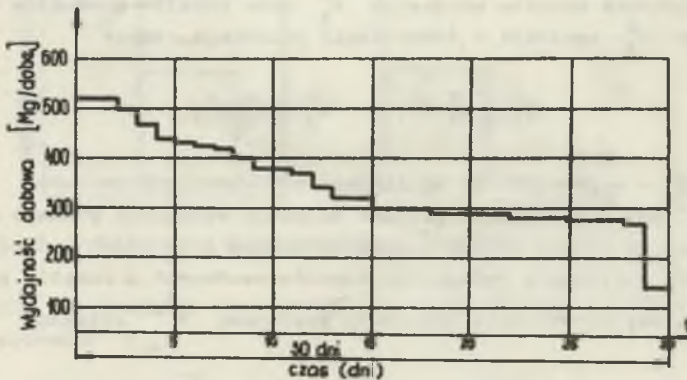
$$W_{ih}^Z \text{ maks} = \frac{Q_{Tih}^Z}{t_{uih}^Z} \geq W_i^Z \quad \text{oraz} \quad W_{jg}^Z \text{ maks} = \frac{Q_{Tjg}^Z}{t_{ujg}^Z} \geq W_j^Z.$$

W następstwie powstaje w urządzeniach pomocniczych przerwa w pracy t_{ooh}^Z lub t_{oojg}^Z , której wielkość uzależniona jest od różnicy maksymalnej wydajności kanału oraz maksymalnej wydajności rozpatrywanego urządzenia.

I tak:

$$t_{ooh}^Z = \frac{Q_{Tih}^Z}{W_i^Z} - \frac{Q_{Tih}^Z}{W_{ih}^Z \text{ maks}} \quad \text{oraz} \quad t_{oojg}^Z = \frac{Q_{Tjg}^Z}{W_j^Z} - \frac{Q_{Tjg}^Z}{W_{jg}^Z \text{ maks}}. \quad (7)$$

Określone w ten sposób wielkości są średnimi wynikającymi z przyjęcia modelu statycznego procesu technologicznego. W rzeczywistości należy uwzględnić ich wahania wynikające zarówno z przyczyn zdeterminowanych jak i przypadkowych.



Rys. 4. Wykres uporządkowany wydajności dobowej pieca martenowskiego o pojemności 150 t (VI.1975)

Do przyozyn zdeterminowanych zalicza się układ asortymentowy lub recepturę wsadową. Powodują one, że zarówno ilość materiału Q_T , jak również czas użyteczny t_u w jednym procesie może się zmieniać. W zasadzie wydajność każdego urządzenia procesu technologicznego jest pojęciem odnoszącym się do konkretnego asortymentu.

Zmiany przypadkowe wydajności urządzenia wynikają z tolerancji ciężaru składu chemicznego, a także geometrii określonego materiału. Powodują one, że wydajność zmieniając się w pewnych granicach (rys. 4) jest zmienną losową. Do tej kategorii zmian wydajności urządzenia zaliczyć należy przypadki postojów awaryjnych. Te ostatnie przypadki powodują również postój urządzeń całego kanału lub ograniczenia jego wydajności, gdy urządzenie pracowało w danym procesie technologicznym równolegle z innymi tego typu urządzeniami.

4. WAHANIA W POBORZE STRUMIENIA ENERGII W PROCESACH HUTNICZYCH

W bilansach energetycznych przyjmuje się do obliczeń stałe wartości wskaźników jednostkowego zużycia energii. Niezgodnie z rzeczywistością określa się zużycie nośników energii przez poszczególne procesy technologiczne w taki sposób, jak gdyby strumień pobieranego nośnika energii był stały. Założenie takie nie zawsze jest dopuszczalne i tylko w niektórych przypadkach daje wyniki, których błędy z praktycznego punktu widzenia są do pominięcia.

Zużycie danego nośnika energii jest sumą strumieni energii pobieranych przez poszczególne odbiory procesu technologicznego. Czas ich pracy jest zdeterminowany organizacją procesu oraz uzyskiwaną wydajnością. Również zmienność poszczególnych czynników, zarówno zdeterminowanych jak i przypadkowych, wpływa na wielkość produkcji oraz zużycie energii w konkretnych urządzeniach. W poważnym stopniu rzutuje to na kształt funkcji pobieranego strumienia energii.

Zwykle stosuje się wskaźnik średni określony wzorem (1). Znajomość tego wskaźnika umożliwia określenie wielkości ϕ_T w oparciu o planowaną wielkość Q_T .

$$\phi_T = a_T \cdot Q_T.$$

Z uwagi na to, że część odbiorców energii może nie być związana z wielkością produkcji [40, 63, 66] przyjmuje się, że oprócz składnika proporcjonalnego do wielkości produkcji, istnieje składnik od niej niezależny i w takim przypadku zapotrzebowanie na energię oblicza się wzorem:

$$\phi_T = \phi_{oT} + a_T^v \cdot Q_T, \quad (8)$$

gdzie ϕ_{oT} - zużycie energii w okresie T niezależne od wielkości produkcji,

a_T^v - przyrost względny zużycia energii proporcjonalnego do wielkości produkcji.

Potrzebny strumień energii φ określa się jako iloraz energii ϕ_T i czasu T:

$$\varphi = \frac{\phi_T}{T}$$

W ten sposób obliczone wielkości zawierają również wpływ jakości produkcji na wielkość zużycia energii. Wynika to z faktu, że

$$Q_T = Q_T^s - \Delta Q_T, \quad (9)$$

gdzie Q_T^s - surowa produkcja (całkowita) w okresie T,

ΔQ_T - produkcja wyrobów wybrakowanych ze względów jakościowych w okresie T.

Do analiz zużycia energii często używa się wskaźników jednostkowego zużycia energii odniesionych do produkcji surowej, tj. całkowicie wyprodukowanej

$$\phi_T = a_T^s \cdot Q_T^s \quad \text{lub} \quad \phi_T = \phi_{oT} + a_T^{vs} Q_T^s$$

Wskaźniki zużycia energii dla różnych okresów T wykazują różnice w większości procesów technologicznych:

$$a_{T_1} \neq a_{T_2} \neq a_{T_3} \neq \dots,$$

a oo zatem idzie:

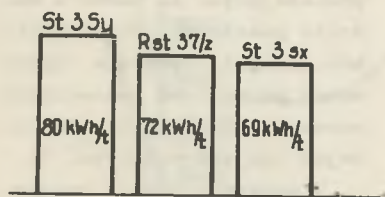
$$\phi_{T_1} \neq \phi_{T_2} \neq \phi_{T_3} \neq \dots$$

Wynika stąd, że założenie liniowej zależności między wielkością zużycia energii a produkcją nie jest ścisłe i posługiwanie się nią jest dopuszczalne dopiero po analizie wielkości błędu, jaki wprowadza ona do obliczeń. W rzeczywistości funkcja strumienia nośnika energii pobieranego przez proces technologiczny "Z" w okresie T ma bardziej skomplikowaną postać, gdyż wpływa na nią szereg dalszych czynników.

4.1. Wpływ zmian parametrów materiałów technologicznych

Na wielkość zużycia energii rzutują w zasadniczy sposób parametry technologiczne, wynikające z asortymentów produkcji końcowej. Istnieje jednak

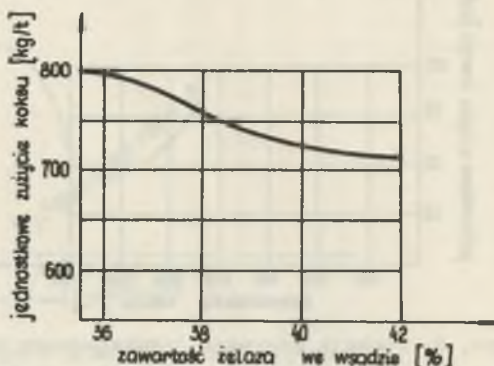
możliwość przewidywania zmian w poborze strumieni poszczególnych nośników energii w przypadkach zmiany składu chemicznego materiału technologiczne-



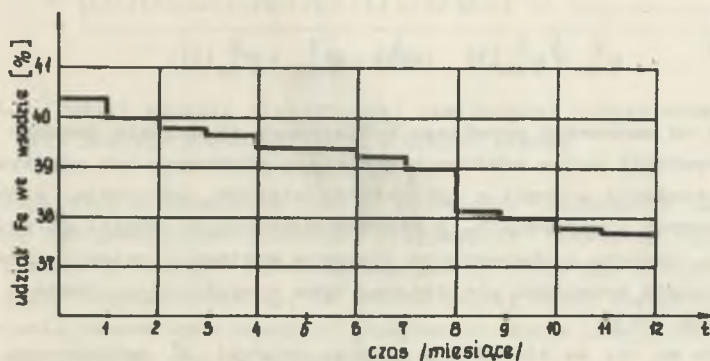
Rys. 5. Wskaźniki jednostkowego zużycia energii przy walcowaniu blach o gatunku St 35u, Rst 37z, St 3sx (1974 r.)

go oraz geometrii wyrobu hutniczego (przy wyrobach walcowanych i kutych). Z uwagi na to, że odchylenia zużycia energii dla różnych asortymentów mogą być znaczne (rys. 5) w analizach wielkości zużycia energii korzysta się ze wskaźników asortymentowych.

W procesach surowcowych (np. wielkich piecach) istotnymi czynnikami rzutuującymi na zużycie energii są parametry surowcowych materiałów technologicznych (rys. 6), jak również sposób ich rozmieszczenia w obiekcie podstawowym.

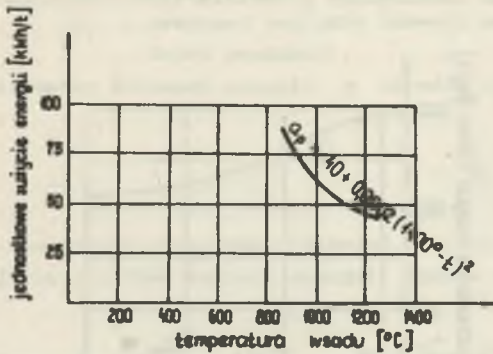


Rys. 6. Zmiana jednostkowego zużycia koksu przy wzrastającej zawartości żelaza we wsadzie wielkopiecowym jednego zakładu hutniczego (1974)



Rys. 7. Wykres uporządkowany udziału gramowego Fe we wsadzie wielkopiecowym jednego zakładu hutniczego (1974 r.)

W Z-tym procesie technologicznym przy produkcji u-tego asortymentu parametry charakteryzujące asortyment wahają się w pewnych granicach. Gra-



Rys. 8. Funkcja regresji jednostkowego zużycia energii i temperatury walcowania blachy grubej jednego zakładu hutniczego (1973 r.)

nice tych wahań określone są przez normy technologiczne, co umożliwia określenie odpowiadających im wahań w zużyciu poszczególnych nośników energii. Podobnie wpływ wahań parametrów materiałów surowcowych można ocenić badając ich rozrzut (rys. 7).

Z punktu widzenia energetycznego istotnym parametrem materiałów technologicznych jest dla niektórych procesów temperatura wsadu. Wpływa ona w zasadniczy sposób na zmianę strumienia energii potrzebnego do realizacji procesu przeróbki plastycznej na gorąco (rys. 8).

4.2. Wpływ czynników organizacyjnych procesu

Procesy technologiczne są systemami składającymi się z szeregu urządzeń technologicznych powiązanych urządzeniami transportowymi. Specyfika procesów technologicznych określa charakter zmian strumienia energii potrzebnej do realizacji poszczególnych operacji technologicznych oraz transportowych procesu. Ogólnie można przyjąć, że strumienie energii pobieranej przez poszczególne urządzenia procesu technologicznego φ_{ih}^Z lub φ_{jg}^Z są funkcjami czasu:

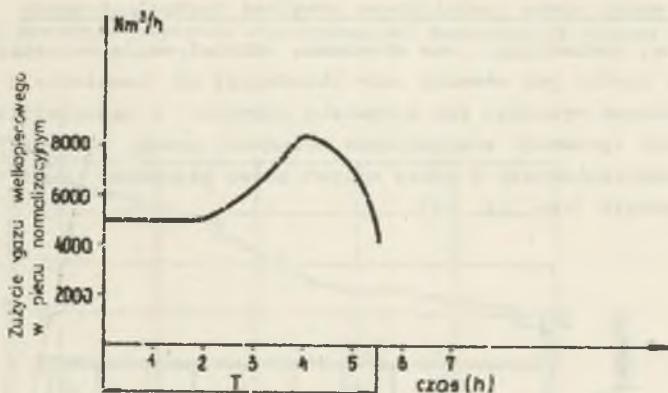
$$\varphi_{ih}^Z = \varphi_{ih}^Z(t) \quad \text{oraz} \quad \varphi_{jg}^Z = \varphi_{jg}^Z(t).$$

W zależności od czasowego przebiegu pobieranego strumienia pewnego nośnika energii wyróżnić można odbiory o wahaniami skokowymi lub ciągłymi.

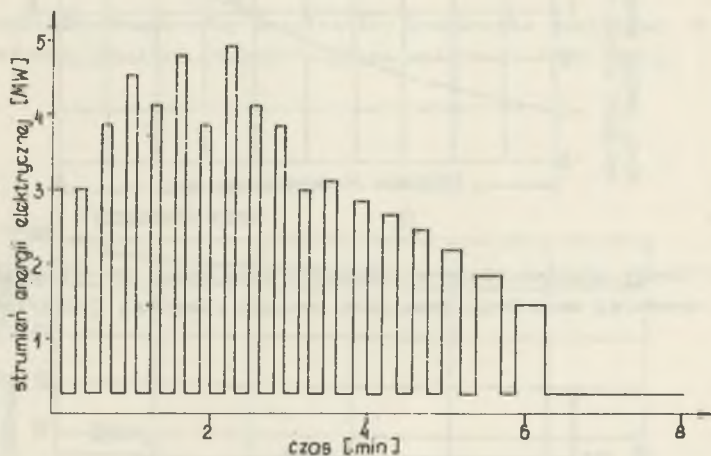
Zmiany strumienia energii o charakterze ciągłym występują głównie w zautomatyzowanych urządzeniach, w których dominujący udział ma przekazywanie ciepła. Wahania o charakterze skokowym występują natomiast we wszelkich urządzeniach przeróbki plastycznej oraz w większości urządzeń transportowych (rys. 10).

Ze względu na to, że strumienie nośnika energii δ pobieranego przez poszczególne odbiory procesu technologicznego są funkcjami czasu, również sumaryczny strumień tego nośnika energii, potrzebny do realizacji Z-tego procesu technologicznego, jest funkcją czasu tzn.:

$$\varphi^{Z\delta} = \sum_i \sum_h \varphi_{ih}^{Z\delta}(t) + \sum_j \sum_g \varphi_{jg}^{Z\delta}(t) + \sum_{w=1}^B \varphi_w^{Z\delta}(t) \quad (10)$$



Rys. 9. Zużycie gazu wielkopiecowego w piecu normalizacyjnym



Rys. 10. Strumień energii elektrycznej zasilającej silnik walcarki w czasie jednego cyklu walcowania blachy grubej

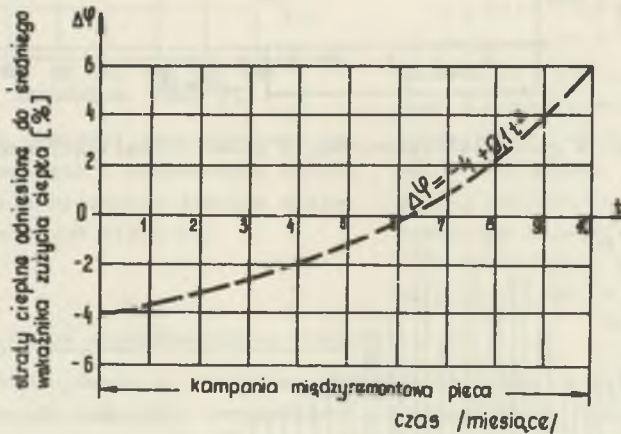
We wszystkich urządzeniach zmiany strumienia materiałów technologicznych mogą być przypadkowe i wówczas przypadkowy charakter mają również zmiany strumieni energii. Wynikają one przede wszystkim z zakłóceń planowanych cykli produkcyjnych np. na skutek awarii sieci energetycznych lub uruhożenia rezerwowych urządzeń napędzanych innym nośnikiem energii, zakłóceń zewnętrznych itp. W następstwie tego:

$$\varphi^{Z\delta}(t) = \sum_i \sum_h \varphi_{ih}^{Z\delta}(t) + \sum_j \sum_g \varphi_{jg}^{Z\delta}(t) + \sum_{w=1}^B \varphi_w^{Z\delta}(t) + \xi_t^{Z\delta} \quad (11)$$

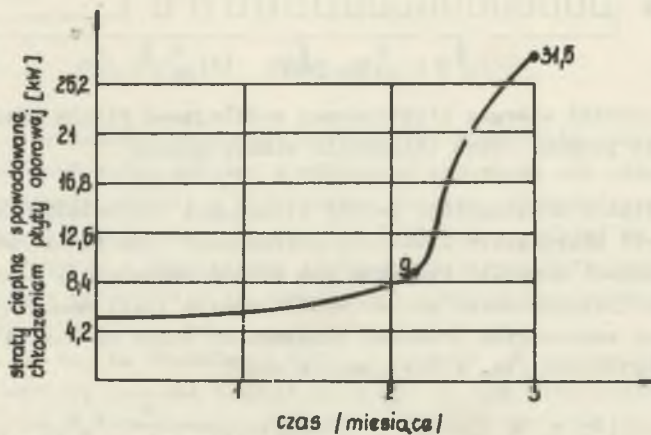
gdzie $\xi_t^{Z\delta}$ - ozyznik reprezentujący zmiany losowe.

4.3. Wpływ zmian stanu technicznego urządzeń technologicznych

Termiczne, mechaniczne oraz chemiczne oddziaływanie materiału technologicznego, gazów jak również wody chłodzącej na konstrukcję urządzeń technologicznych wywołuje ich stopniowe zużycie. W następstwie pogarsza się stopniowo sprawność energetyczna urządzeń, przez co dla realizacji procesu technologicznego w miarę upływu czasu potrzebny jest zwiększony strumień energii (rys. 11. 12).

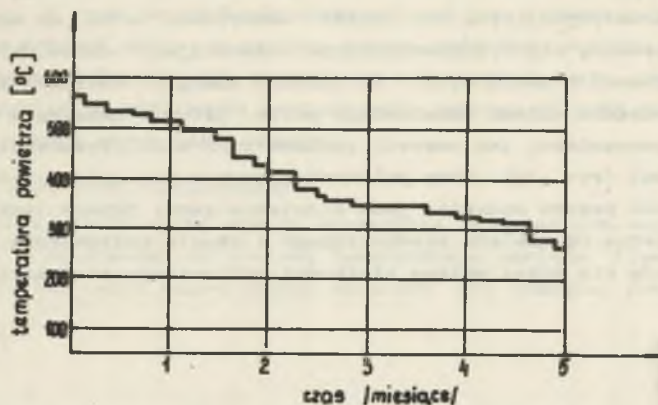


Rys. 11. Straty ciepłe pieca wglębnego o wydajności 20 t/h w stosunku do średniej wartości strumienia energii cieplnej (1963/74)

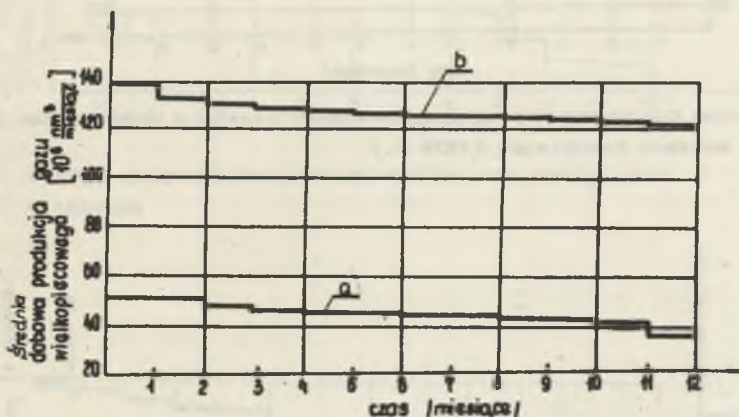


Rys. 12. Straty ciepłe spowodowane chłodzeniem płyty oporowej ściany przedniej pieca martenowskiego (1965 r.)

Z podobnych przyczyn pogarsza się sprawność rekuperacji ciepła (rys. 13).



Rys. 13. Wykres uporządkowany temperatury podgrzania powietrza w rekuperatorze "Fielda" (kampania pieca węglowego 1973-1974)



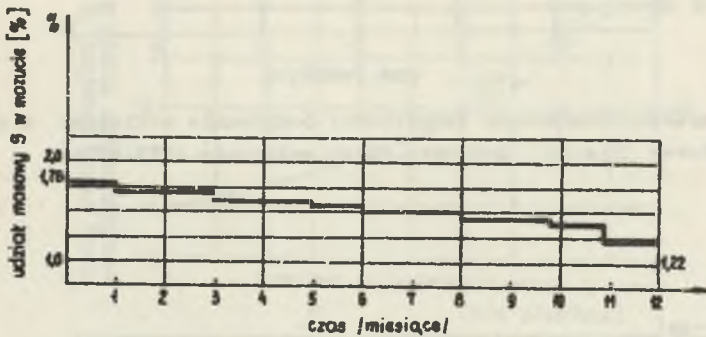
Rys. 14. Wykres uporządkowany miesięcznej produkcji gazu wielkopiecowego (1968)

- a) jednej jednostki wielkopiecowej (500 m³ objętości);
- b) trzech jednostek wielkopiecowych

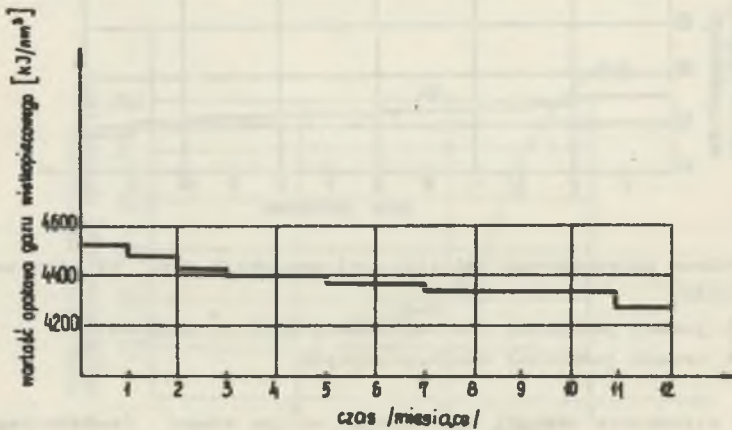
Wahania strumienia energii spowodowane zmianą stanu technicznego i sprawności urządzeń są szczególnie istotne wówczas, gdy w procesie pracuje tylko jedno urządzenie. W przypadku równoległej pracy kilku urządzeń z reguły dąży się do tego, aby ich cykle nie pokrywały się. W takich przypadkach sumaryczne względne wahania strumienia są mniejsze (rys. 14).

4.4. Wpływ zmian parametrów nośników energii

Nośniki energii pobierane przez zakład przemysłowy wykazują wahania parametrów charakteryzujących ich jakość. Odchylenia te są na ogół pomijalne o ile mieszczą się w dopuszczalnych tolerancjach określonych odpowiednimi przepisami i gwarancjami. Na zużycie energii szczególnie wyraźnie wpływają wahania składu chemicznego paliw. Istotne znaczenie mają wahania takich parametrów, jak wartość opałowa oraz zanieczyszczenia paliwa (popiół, siarka) (rys. 15). Przy paliwach gazowych parametrem, który rzuca na wielkość poboru energii, jest ciśnienie gazu. Zmiany tych parametrów są niezależne od zakładu produkcyjnego i często przypadkowe. Skutki wahań kompensuje się przez zmianę wielkości pobieranego strumienia paliwa.



Rys. 15. Wykres uporządkowany udziału masowego siarki w mazucie dla jednego zakładu hutniczego (1974 r.)

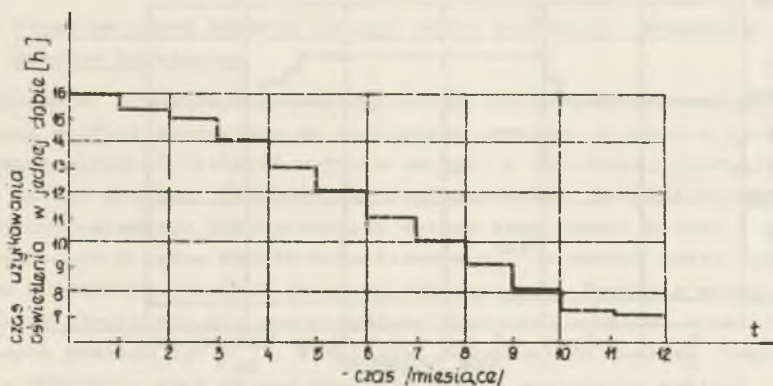


Rys. 16. Wykres uporządkowany wartości opałowej W_d gazu wielkopiecowego w jednym zakładzie hutniczym (1974 r.)

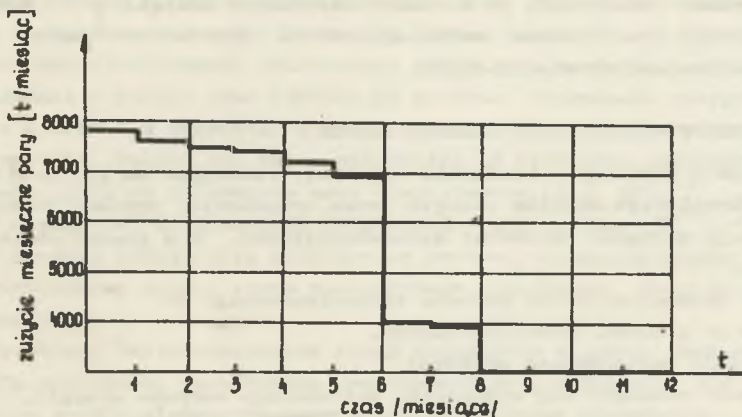
Wahania właściwości dotyczą również wtórnych nośników energii wytwarzanych w niektórych procesach technologicznych np. wielkich piecach, koksowni (rys. 16). W tych przypadkach wahania w poborze jednego nośnika energii mogą spowodować zmianę w poborze innych nośników energii. Takie zjawisko ma miejsce wówczas, gdy gospodarka nośnikami energii jest sprzężona tzn., gdy zakład ma możliwości zastępowania jednego nośnika energii innymi (np. gaz ziemny gazem koksowniczym).

4.5. Wpływ czynników zewnętrznych

Każdy proces produkcyjny wymaga stworzenia odpowiednich warunków pracy dla załogi. W zależności od poziomu technicznego zakładu ilość urządzeń służących do tworzenia odpowiednich warunków dla wydajnej pracy może się



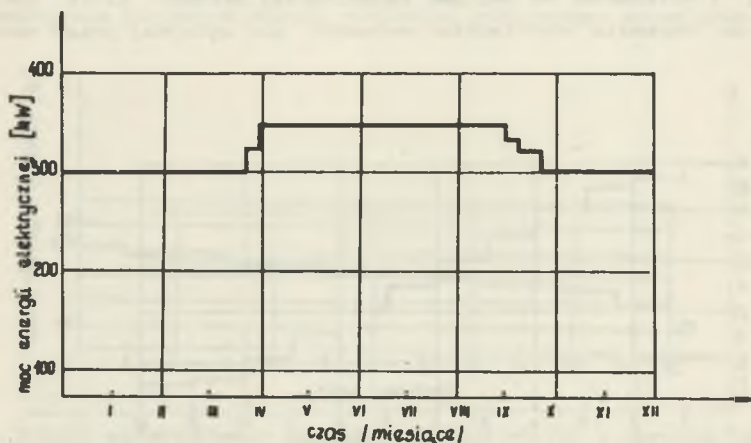
Rys. 17. Wykres uporządkowany czasu użytkowania oświetlenia w zakładzie hutniczym



Rys. 18. Wykres uporządkowany miesięcznego zużycia pary dla celów ogrzewania jednego zakładu hutniczego (1974)

w podobnych zakładach znacznie różnić. Do tej grupy odbiorców energii należy w ciągu całego roku oświetlenie stanowisk pracy oraz całego zakładu. Zmiany długości trwania nocy powodują zmiany czasu użytkowania oświetlenia (rys. 17). Z przyczyn naturalnych zmiennym składnikiem poboru energii jest ogrzewanie. Odbiory służące do ogrzewania pracują tylko w okresie zimowym (rys. 18).

W nowoczesnych zakładach występują okresowe pobory energii (szczególnie w okresie letnim) dla celów klimatyzacji i wentylacji stanowisk (rys. 19).



Rys. 19. Moc energii elektrycznej zużyta przez urządzenia wentylacyjno-klimatyzacyjne jednego zakładu hutniczego (1974 r.)

Ogólnie można stwierdzić, że wielkość strumienia energii $\varphi^{Z\delta}$ nośnika δ i pobieranego przez proces technologiczny Z przedstawić można jako funkcję kilku zmiennych niezależnych.

5. METODA PROGNOZOWANIA WAHANŃ ZUŻYCIA ENERGII

Nakreślone w poprzednim rozdziale czynniki, rzutujące na wielkość zmian w poborze określonego nośnika energii przez urządzenia procesu technologicznego, mają w części charakter deterministyczny, a w części charakter przypadkowy.

Czynniki deterministyczne procesu technologicznego to:

- 1) Organizacja procesu technologicznego,
- 2) Zmiana stanu technicznego urządzeń,
- 3) Asortymenty różniące się wielkością potrzebnego zużycia energii,
- 4) Zmiany czynników zewnętrznych rzutujących na zużycie energii potrzebnej,

- 5) Uruchomienie i zatrzymanie urządzeń oraz sieci procesu technologicznego.

Czynniki przypadkowe procesu technologicznego to:

- 1) Wahania parametrów charakteryzujących materiały technologiczne,
- 2) Wahania parametrów charakteryzujących nośniki energii,
- 3) Wahania czynników zewnętrznych odbiegające od rocznej cykliczności,
- 4) Uszkodzenia urządzeń oraz ich sieci zasilających.

W następstwie tych zjawisk, powodujących wahania w poborze strumienia energii poszczególnych urządzeń, również sumaryczna wielkość strumienia określonego nośnika energii zużywanego przez cały proces technologiczny charakteryzuje się wahaniami. Prognozowanie wahań w poborze strumienia energii może obejmować poszczególne urządzenia procesu oraz całe procesy technologiczne.

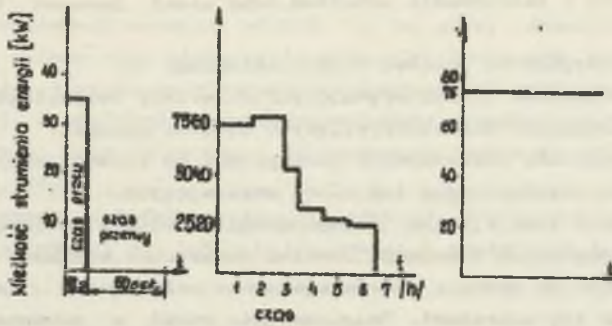
5.1. Prognoza wahań zużycia energii przez pojedyncze urządzenia procesu hutniczego

Znajomość parametrów technologicznych oraz funkcji korelacji ze strumieniem energii potrzebnym do realizacji procesu, pozwala w sposób zdeterminowany określić wielkość zużycia energii w określonej operacji oraz podczas całego procesu. Wielkość strumienia nośnika energii δ , Z-tego procesu technologicznego przy produkcji u-tego asortymentu h-tego urządzenia pomocniczego w i-tym kanale materiałowym $\varphi_{ih}^{Zu\delta}$ w czasie pracy urządzenia, można określić ze znanych obliczeń lub pomiaru. Podobnie można wyznaczyć wielkość strumienia dla poszczególnych urządzeń kanałów materiałów wyjściowych procesu tj. $\varphi_{js}^{Zu\delta}$. W dalszych rozważaniach analizę urządzeń kanałów wejściowych oraz wyjściowych procesu Z zastąpiono analizę urządzeń γ zużywających w procesie Z nośnik energii δ .

Jako podstawę analizy przyjęto stacjonarny model procesu produkcji hutniczej, tj. proces charakteryzujący się - poza okresem remontowym T_r - stałą wydajnością w analizowanym okresie czasu, przy czym jej wielkość wynika z planowanej wielkości produkcji. Wśród urządzeń hutniczych (ze względu na charakter funkcji pobieranego strumienia energii) wyróżnić można urządzenia o stałym oraz cyklicznym poborze strumienia energii. Urządzenia o cyklicznym charakterze pracy determinują wahania w poborze strumienia energii. Dzielą się one w zależności od wielkości strumienia w czasie jednego cyklu na dwustanowe oraz wielostanowe (rys. 20).

W niektórych urządzeniach istnieją dwa cykle pracy: $T_{\gamma}^{Zu\delta}$ - zdeterminowany średnią wydajnością produkcyjną procesu technologicznego oraz $T_{\gamma r}^{Zu\delta}$ zdeterminowany zmianą stanu technicznego urządzenia, równy cyklowi remontowemu.

Przebiegi zdeterminowanych wahań strumienia w czasie jednego cyklu wykazują zakłócenia spowodowane przyczynami przypadkowymi. Wpływy przypadkowe są zwykle nieuwarunkowane przebiegiem zmian strumienia z przyczyn deterministycznych. W następstwie można określić wykres uporządkowany wahań sumarycznych strumieni nośnika energii δ przy produkcji asortymentu



Rys. 20. Zmiana strumienia energii w czasie trwania jednego cyklu pracy charakterystycznych dla hutnictwa odbiorów energii: przenośnik blach, piec wstępny, pompa wysokiego ciśnienia

"u" poprzez sumowanie statystyczne wykresów uporządkowanych zmian poboru nośnika energii spowodowanych przyczynami przypadkowymi oraz zdeterminowanymi. Materiały technologiczne wykazują rozrzut parametrów nominalnych w granicach dopuszczalnych odchyżeń ϵ sędzonych dla danego asortymentu:

$$(\bar{\alpha}_e + \Delta\alpha_{e \max_1}, \bar{\alpha}_e - \Delta\alpha_{e \max_2}),$$

$$\alpha_e = \bar{\alpha}_e \pm \Delta\alpha_e,$$

gdzie $\bar{\alpha}_e$ - nominalna wielkość parametru,
 $\Delta\alpha_{e \max_1}$ - maksymalne dodatnie odchylenia parametru,
 $\Delta\alpha_{e \max_2}$ - maksymalne ujemne odchylenia parametru.

W przedziale dopuszczalnych wahań parametrów charakteryzujących materiał technologiczny można założyć korelację liniową między tymi wahaniami a wielkością pobranego strumienia energii. Dochodzi się do wniosku, że strumień zużycia energii wykazywać będzie wahania podobne do wahań parametrów technologicznych.

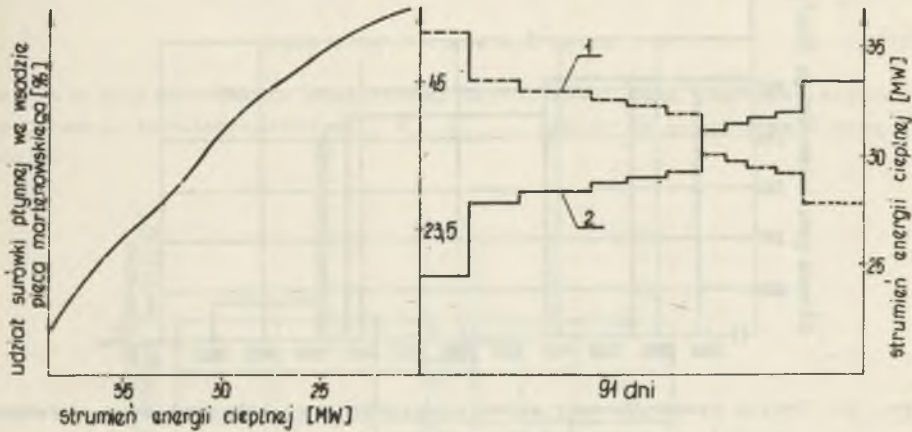
Znajomość wykresu uporządkowanego wahań parametrów technologicznych i korelacji między parametrem technologicznym a wskaźnikiem zużycia energii umożliwia określenie wykresu uporządkowanego strumienia nośnika energii δ gdyż

$$\varphi_T^{Zu\delta} = \varphi_T^{Zu\delta}(\bar{\alpha}_e) \pm \Delta\alpha_e \frac{\partial \varphi_T^{Zu\delta}}{\partial \alpha_e} \quad (14)$$

lub

$$\varphi_T^{Zu\delta} = \varphi_T^{Zu\delta}(\bar{\alpha}_e) \pm \Delta\alpha_e \cdot \alpha_e'$$

gdzie α_e - współczynnik regresji liniowej między parametrem technologicznym α_e i wskaźnikiem zużycia energii.



Rys. 21. Wykres uporządkowany wielkości udziału surówki płynnej we wadzie pleca martenowskiego 150 t oraz wykres uporządkowany odpowiadających im zmian zużycia energii cieplnej 2 (II kw. 1975 r.)

W przypadkach wpływu większej ilości - w parametrów materiału technologicznego, rzutujących na wielkość zużytego nośnika energii, wykresy uporządkowane można uzyskać drogą sumowania statystycznego tzn.:

$$\varphi_{\bar{x}}^{\alpha_e \delta} = \varphi_{\bar{x}}^{\alpha_e \delta} + \Delta \varphi_{\bar{x}}^{\alpha_1 \delta} * \dots * \Delta \varphi_{\bar{x}}^{\alpha_n \delta} \quad (15)$$

gdzie $\Delta \varphi_{\bar{x}}^{\alpha_i \delta}$ - wykres uporządkowany wahań strumienia spowodowanych wahaniami parametru α_i w stosunku do wartości średniej strumienia $\varphi_{\bar{x}}^{\alpha_e \delta}$.

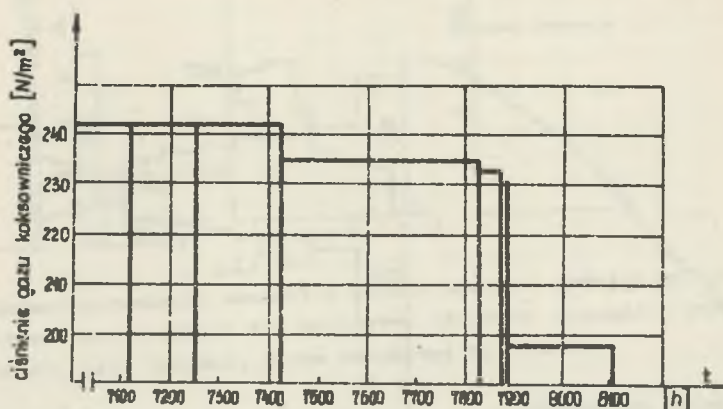
Do parametrów takich zaliczyć należy ilość materiału technologicznego, skład chemiczny oraz temperaturę materiału technologicznego.

Charakter wahań przypadkowych mają również parametry charakteryzujące wartość użytego do surowca nośnika energii (rys. 22).

$$\xi_d = \bar{\xi}_d \pm \Delta \xi_d, \quad \text{gdzie } \Delta \xi_d \in (\bar{\xi}_d + \Delta \xi_{d \max_1}, \bar{\xi}_d - \Delta \xi_{d \max_2}).$$

W następstwie zachodzi potrzeba zmiany ilości pobranego nośnika energii. Przy założeniu liniowej zależności między wahaniami parametrów ξ_d a wielkością strumienia zużywanego nośnika energii charakter wahań mieć będzie podobny kształt;

$$\varphi_T^{Zu\delta} = \varphi_T^{Zu\delta}(\bar{\xi}_d) + \Delta \xi_d \cdot \alpha \xi_d$$



Rys. 22. Wykres uporządkowany wahań ciśnienia gazu koksowniczego w jednym zakładzie hutniczym (1974 r.)

Dla sytuacji, w których na jakość energetyczną nośnika wpływa większa ilość jego parametrów " α_j ", zachodzi konieczność przeanalizowania ich wpływu na wahanie strumienia energii. W przeważającej ilości przypadków można się ograniczyć do parametru o największym współczynniku regresji liniowej. Jeżeli zmiany parametrów nośnika energii są od siebie niezależne, to krzywą zmian w poborze nośnika energii, wynikającą z wahań parametrów, otrzymać można poprzez sumowanie statystyczne, tzn.:

$$\varphi_T^{Z\xi_d\delta} = \varphi_T^{Z\xi_d\delta} + \Delta \varphi_T^{Z\xi_1\delta} * \dots * \Delta \varphi_T^{Z\xi_n\delta}, \quad (16)$$

gdzie $\Delta \varphi_T^{Z\xi_d\delta}$ - wykres uporządkowany wahań strumienia spowodowanych wahaniami parametru ξ_d w stosunku do wartości średniej strumienia $\varphi_T^{Z\xi_d\delta}$

Krzywe rozkładu zmian strumienia określonego nośnika energii " δ " w wyniku zmian parametrów charakteryzujących pod względem energetycznym jego „jakość” ξ_d , krzywe rozkładu w wyniku zmian technologicznych parametrów α_j , można aproksymować za pomocą rozkładu normalnego lub Poissona.

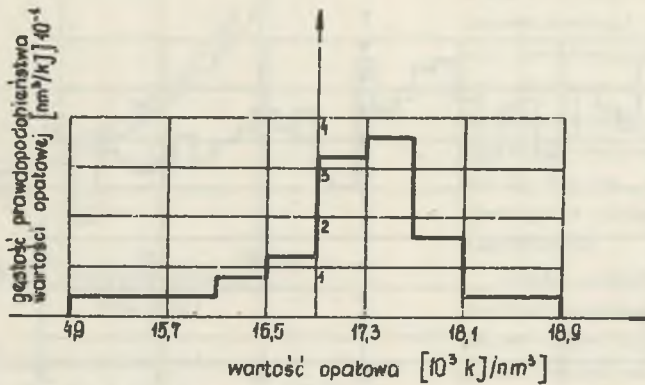
Wybór rozkładu uzależniony jest od tego, czy uzyskane parametry rzutu-jące na wielkość strumienia energii, mają jednakowo silne ograniczenia w ujemnym jak i w dodatnim przedziale wahań.

Przykładowo przeprowadzona analiza statystyczna wartości opalowej gazu wielkopiecowego wykazała (rys. 24) możliwość aproksymacji jej wahań za pomocą rozkładu normalnego przy średnim odchyleniu standardowym 10%

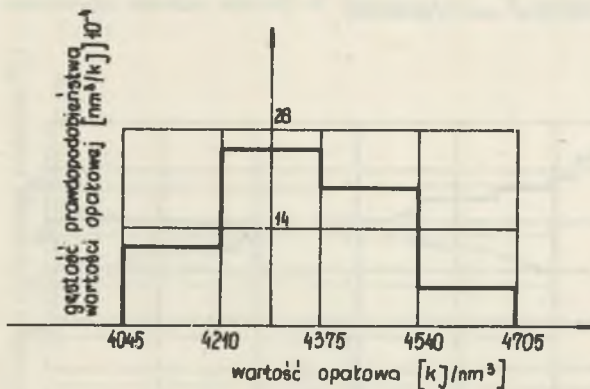
Wahania zużycia koksu przez wielkie pieco ograniczone są w przedziale dodatnich wahań specyfiką procesu i tę samą dokładność aproksymacji uzyskano przyjmując rozkład Poissona. Do aproksymacji ww. rozkładów można zastosować również funkcję wielomianową

$$\varphi(x) = A_0 + A_1x + A_2x^2 + \dots \quad (17)$$

Ma ona z punktu widzenia praktycznej użyteczności duże znaczenie, albowiem wyznaczenie współczynników $A_0, A_1, A_2 \dots$ należy do podstawowych programów ETO.



Rys. 23. Wykres gęstości prawdopodobieństwa wartości opałowej W_d gazu koksowniczego (10.1975 r.)



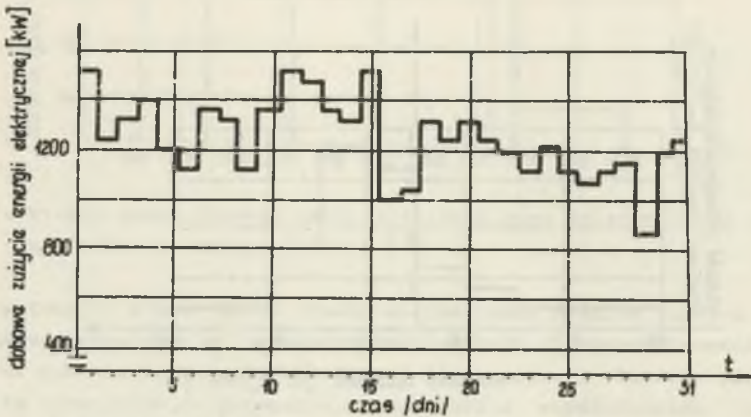
Rys. 24. Wykres gęstości prawdopodobieństwa wartości opałowej gazu wielkopiecowego w jednym zakładzie hutniczym (2.1975 r.)

Przeprowadzone badania wykazały, że aproksymacja wahań produkcji gazu wielkopiecowego dla jednego zakładu hutniczego za pomocą wielomianu 3 stop-

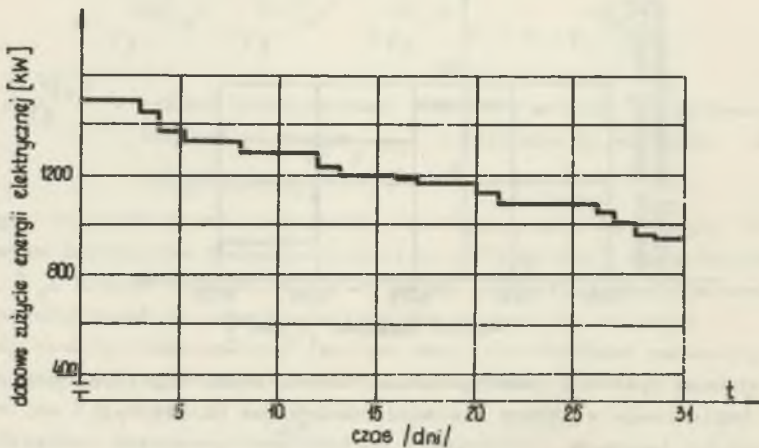
nia charakteryzowała się średnim odchyleniem standardowym mniejszym od 12%.

Funkcje regresji wahań parametrów technologicznych oraz wskaźników zużycia energii można znaleźć w fachowej literaturze hutniczej. Często jednak zależności te wymagają uwzględnienia konkretnych warunków danego wydziału.

W niektórych przypadkach liczba asortymentów materiałów wchodzących w program produkcji danego procesu technologicznego jest duża i z tego tytułu np. w miesięcznym poborze strumienia energii występują częste wahania (rys. 25).



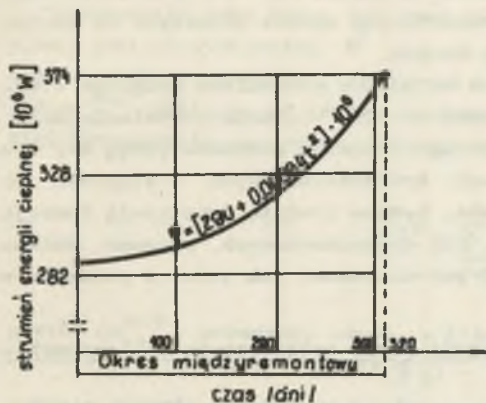
Rys. 25. Dobowe wahania zużycia energii elektrycznej przez wydział blachy grubej (12.1974 r.) jednego zakładu hutniczego, spowodowane produkcją różnych asortymentów



Rys. 26. Wykres uporządkowany zużycia energii elektrycznej przez wydział blachy grubej jednego zakładu hutniczego (12.1974 r.)

Wielkość strumienia określonego nośnika δ potrzebnego do realizacji γ -tej operacji przy produkcji U-asortymentów w Z-tym procesie technologicznym przedstawić można w formie uporządkowanej (rys. 26).

Wahania te charakteryzują się stosunkowo długim okresem trwania (kilkanaście godzin). Z tego względu w prognozach długookresowych zużycia energii procesu technologicznego podaje się maksymalny strumień nośnika energii potrzebny dla realizacji określonego programu asortymentowego.

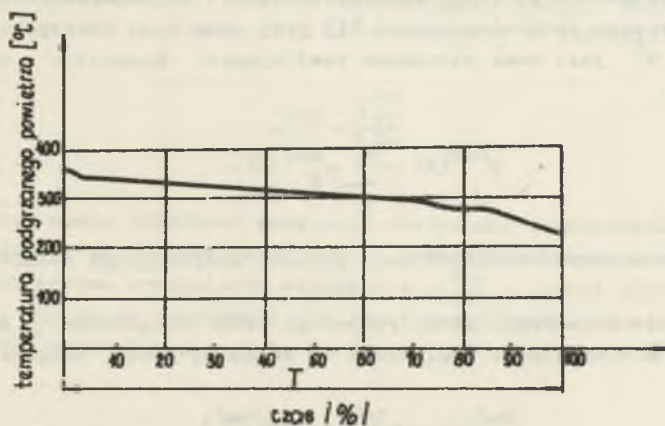


Rys. 27. Zmiana strumienia energii zasilającej piec przepychowy o wydajności 22 t/h (1963/64 r.)

energii. Dotyczy to przede wszystkim urządzeń, w których realizacja procesu technologicznego wymaga wysokich temperatur. W następstwie działania

W programach krótkoterminowych (np. doba, miesiąc) wykres uporządkowany potrzebnego strumienia energii dla przewidywanej ilości produkcji asortymentów w analizowanym okresie można traktować w taki sposób, jak gdyby jednostkowe zużycie energii zmieniło się na skutek zmian jednego z parametrów technologicznych.

Część urządzeń procesu technologicznego w miarę upływu czasu wykazuje zmianę stanu technicznego, w następstwie czego wzrastają straty energii i w efekcie pobór e-



Rys. 28. Zmiana temperatury podgrzania powietrza w rekuperatorze igłowym pieców wglębnych o wydajności 20 t/h w okresie międzyremontowym (1973/74 r.)

termicznego konstrukcja takich urządzeń stopniowo się zużywa. Dla utrzymania stałej wydajności technologicznej procesu w miarę upływu czasu zachodzi potrzeba zwiększenia poboru określonego nośnika energii (rys. 27, 28).

Przeprowadzone badania zmian strumienia energii wynikłych ze zmian stanu technicznego urządzeń wykazały, że aproksymacja tych przebiegów za pomocą wielomianu drugiego stopnia charakteryzowała się średnim odchyleniem standardowym do 10%. Niektóre urządzenia hutnicze (np. rekuperatory, elementy chłodzone wodą) wykazują zwiększanie się oporów cieplnych na skutek zanieczyszczenia powierzchni wymiany ciepła.

Zmiany strat energii aproksymowane za pomocą wielomianu drugiego stopnia charakteryzowały się również błędem do 10%. Wahania strumienia energii spowodowane zmianą stanu technicznego urządzeń charakteryzują się długim czasem trwania cyklu. W prognozach krótkoterminowych w stosunku do cyklu przyjmować należy wartości stałe, będące średnią wartością funkcji (rys. 27) w przedziale analizowanym. Dla długookresowych prognoz zmiana stanu technicznego urządzeń może być potraktowana, jak jeden z parametrów technologicznych.

5.2. Prognozowanie wahań zużycia energii przez ośle procesy technologiczne

W nielicznych tylko przypadkach urządzenia zużywające energię pracują samodzielnie. W zdecydowanej większości przypadków urządzenia te są organizacyjnie i technologicznie związane z pracą innych urządzeń. O wielkości pobieranego przez nie strumienia energii decydują strumienie przepływających przez nie materiałów technologicznych. Wielkości te zdefiniowane są wydajnością procesu technologicznego.

Funkcja strumienia zużytego nośnika energii δ w trakcie realizacji określonego procesu technologicznego "Z" przy produkcji asortymentu "u" z wydajnością W^Z jest sumą strumieni zasilających konkretne urządzenia procesu, tzn.

$$\varphi^{Z\delta}(t) = \sum_{j=1}^{\beta} \varphi_j^{Z\delta}(t),$$

β - liczba urządzeń analizowanego procesu zużywającego nośnik energii δ .

Funkcja strumienia energii przepływającego przez urządzenie γ procesu Z jest funkcją o charakterze cyklicznym ze składową stałą. Oznacza to, że:

$$\varphi_{\gamma}^{Z\delta}(t) = \varphi_{\gamma}^{Z\delta}(t + kT_{\gamma}^{Z\delta}), \quad (18)$$

gdzie: $T_{\gamma}^{Z\delta}$ - czas cyklu pracy urządzenia γ determinowany określoną wydajnością procesu technologicznego W^Z ,

k - liczba naturalna.

W zasadzie minimalne czasy trwania cyklu, wyznaczające maksymalne wydajności urządzeń wchodzących w skład procesu technologicznego, różnią się między sobą, tzn.

$$T_{1\min}^{Zu^{\delta}} \neq T_{2\min}^{Zu^{\delta}} \neq \dots$$

Rzeczywisty cykl pracy urządzeń procesu technologicznego $T^{Zu^{\delta}}$ uzależniony jest od wydajności W^Z całego procesu technologicznego. W każdym cyklu istnieją przedziały czasowe o stałych wielkościach strumienia energii $\varphi_{\gamma\epsilon}^{Zu^{\delta}}$ pobieranego przez urządzenia γ . Oznaczając przez q liczbę takich przedziałów czasowych, otrzymamy:

$$T_{\gamma}^{Zu^{\delta}} = \sum_{\epsilon=1}^q \Delta t_{\gamma\epsilon}^{Zu^{\delta}},$$

gdzie $\Delta t_{\gamma\epsilon}^{Zu^{\delta}}$ - przedział czasu, w którym pobierany strumień energii jest stały i wynosi $\varphi_{\gamma\epsilon}^{Zu^{\delta}}$.

Zużycie energii przez poszczególne urządzenia $\Phi_{\gamma T}^{Zu^{\delta}}$ obliczyć można jako iloczyn skalarny wektorów strumienia $\varphi_{\gamma\epsilon}^{Zu^{\delta}}$ oraz okresów $\Delta t_{\gamma\epsilon}^{Zu^{\delta}}$

$$\left\| \varphi_{\gamma\epsilon}^{Zu^{\delta}} \right\| \left\| \Delta t_{\gamma\epsilon}^{Zu^{\delta}} \right\| = \Phi_{\gamma T}^{Zu^{\delta}}. \quad (19)$$

Znajomość wielkości produkcji w czasie analizowanego cyklu Q_T^{Zu} umożliwia określenie współczynnika liniowej aproksymacji funkcji zużycia pewnego nośnika energii δ przy produkcji asortymentu u w procesie Z , tzn.:

$$a_{\gamma}^{Zu^{\delta}} = \frac{\Phi_{\gamma T}^{Zu}}{Q_T^{Zu}}.$$

Istnieje tym samym dodatkowa możliwość obliczenia współczynników występujących w modelu matematycznym bilansu materiałowo-energetycznego [66]. Prawdopodobieństwo wystąpienia strumienia $\varphi_{\gamma\epsilon}^{Zu^{\delta}}$ w czasie jednego cyklu w przypadku, gdy praca urządzenia nie jest uwarunkowana pracą innych urządzeń procesu technologicznego Z wynosi:

$$p_{\gamma\epsilon}^{Zu^{\delta}} = \frac{\sum_{\epsilon=1}^D \Delta t_{\gamma\epsilon}^{Zu}}{T^{Zu^{\delta}}}, \quad (20)$$

gdzie D - liczba przedziałów czasowych, w których wartość strumienia energii pobieranego przez \mathcal{T} urządzenia jest jednakowej wielkości równej $\varphi_{\mathcal{T}}^{Zu\delta}$.

Znajomość prawdopodobieństwa wystąpienia strumienia $\varphi_{\mathcal{T}}^{Zu\delta}$, pozwala na konstrukcję wykresu uporządkowanego prawdopodobieństwa poboru strumienia nośnika energii $\varphi_{\mathcal{T}}^{Zu\delta}$ w całym ciągu technologicznym składającym się z β urządzeń. Maksymalna wielkość strumienia

$$\varphi_{\max}^{Zu\delta} = \sum_{\mathcal{T}=1}^{\beta} \varphi_{\mathcal{T}\max}^{Zu\delta},$$

występuje z prawdopodobieństwem

$$p_{\varphi_{\max}^{Zu\delta}} = \prod_{\mathcal{T}}^{\beta} p_{\mathcal{T}\max}^{Zu\delta}, \quad (21)$$

lub

$$p_{\varphi_{\max}^{Zu\delta}} = \prod_{\mathcal{T}}^{\beta} \frac{\Delta t_{\mathcal{T}\max}^{Zu\delta}}{T_{\mathcal{T}}^{Zu\delta}}.$$

Znaczne uproszczenie dalszego toku obliczeń można uzyskać dla przypadku, gdy urządzenia zużywające nośnik energii δ charakteryzują się dwustanową pracą.

Zakładając w trakcie cyklu pracy urządzenia jedynie dwa stany

$$T_{\mathcal{T}}^{Zu\delta} = \Delta t_{\mathcal{T}p}^{Zu\delta} + \Delta t_{\mathcal{T}o}^{Zu\delta},$$

gdzie $\Delta t_{\mathcal{T}p}^{Zu\delta}$ - czas pracy, w którym urządzenie pobiera strumień energii,
 $\Delta t_{\mathcal{T}o}^{Zu\delta}$ - czas przerwy w pracy urządzenia.

Można obliczyć prawdopodobieństwo pracy urządzenia z następującej relacji:

$$p_{\mathcal{T}p}^{Zu\delta} = \frac{\Delta t_{\mathcal{T}p}^{Zu\delta}}{T_{\mathcal{T}}^{Zu\delta}}.$$

Natomiast prawdopodobieństwo przerwy wynosi wówczas

$$p_{\mathcal{T}o}^{Zu\delta} = 1 - p_{\mathcal{T}p}^{Zu\delta}.$$

Prawdopodobieństwo wystąpienia maksymalnego strumienia nośnika energii w procesie technologicznym

$$\varphi_{\max}^{Zu\delta} = \sum_{\gamma=1}^{\beta} \varphi_{\gamma}^{Zu\delta},$$

będzie iloczynem prawdopodobieństw maksymalnych poborów strumienia poszczególnych urządzeń tzn.:

$$p_p^{Zu\delta} = \prod_{\gamma} p_{\gamma}^{Zu\delta}.$$

Prawdopodobieństwo przerwy w pracy całego procesu obliczyć można wówczas:

$$p_o^{Zu\delta} = \prod_{\gamma} (1 - p_{\gamma}^{Zu\delta}).$$

Dla pośredniej wartości strumienia energii $\varphi_{\Sigma\mu}^{Zu\delta}$, gdzie $1 < \mu < \beta$ tzn.:

$$\varphi_{\Sigma\mu}^{Zu\delta} = \sum_{\gamma=1}^{\mu} \varphi_{\gamma}^{Zu\delta}$$

prawdopodobieństwo jego wystąpienia określa zależność:

$$p_{\Sigma\mu}^{Zu\delta} = \prod_{\gamma}^{\mu} p_{\gamma}^{Zu\delta} \prod_{\beta-\mu}^{\beta} (1 - p_{\gamma}^{Zu\delta}). \quad (22)$$

Ilość strumieni $\varphi_{\Sigma\mu}^{Zu\delta}$ jest stosunkowo duża, gdyż równa się ilości kombinacji μ - elementów ze zbioru β - elementów. Z tych powodów do obliczania prawdopodobieństw występowania poszczególnych strumieni $\varphi_{\Sigma\mu}^{Zu\delta}$ dogodnie jest posłużyć się maszyną cyfrową. Żądana dokładność sumowania strumieni energii określa liczbę przedziałów \mathcal{V} , na którą należy podzielić wielkość strumienia $\varphi_{\Sigma\mu}^{Zu\delta}$ i pozwala na obliczenie ilości kombinacji \mathcal{X} strumienia sumarycznego $\varphi_{\Sigma\mu}^{Zu\delta}$, których wartość mieści się w każdym przedziale $\Delta\varphi_{\mu}^{Zu\delta}$ oraz prawdopodobieństwo ich występowania.

Jeżeli więc:

$$\sum_{\mu=1}^{\mathcal{V}} \Delta\varphi_{\mu}^{Zu\delta} = \varphi_{\max}^{Zu\delta},$$

wówczas dla pełnego $\mu = \mathcal{Q}$ nierówność

$$\sum_{\mu=1}^{\mathcal{Q}} \Delta\varphi_{\mu}^{Zu\delta} < \varphi_{\Sigma\mathcal{Q}}^{Zu\delta} < \sum_{\mu=1}^{\mathcal{Q}+1} \Delta\varphi_{\mu}^{Zu\delta},$$

lub

$$g \cdot \Delta \varphi_{\mu}^{Zu\delta} < \varphi_{\Sigma g}^{Zu\delta} < (g+1) \Delta \varphi_{\mu}^{Zu\delta},$$

spełniają strumienie

$$\varphi_{\Sigma g_1}^{Zu\delta}; \varphi_{\Sigma g_2}^{Zu\delta}; \dots \varphi_{\Sigma g_x}^{Zu\delta},$$

o prawdopodobieństwie występowania

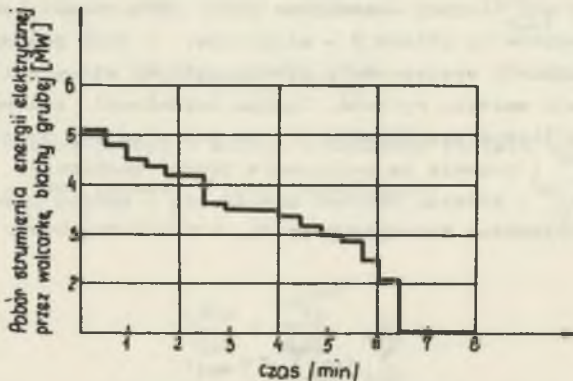
$$P_{\Sigma g_1}^{Zu\delta}; P_{\Sigma g_2}^{Zu\delta} \dots P_{\Sigma g_x}^{Zu\delta},$$

wobec tego prawdopodobieństwo wystąpienia strumienia energii w przedziale $(g \Delta \varphi_{\mu}^{Zu\delta}; (g+1) \Delta \varphi_{\mu}^{Zu\delta})$ wynosi:

$$P_{\Sigma g}^{Zu\delta} = \sum_{s=1}^x P_{\Sigma g_s}^{Zu\delta}. \quad (23)$$

Na tej podstawie określić można wykres uporządkowany (rys. 29) strumienia nośnika energii przy produkcji asortymentu u

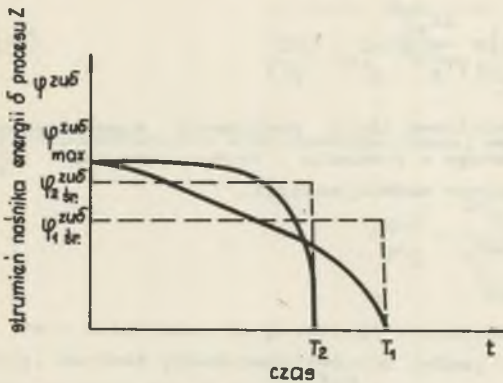
$$\varphi_{\Sigma g}^{Zu\delta} = \varphi(P_{\Sigma g}^{Zu\delta});$$



Rys. 29. Wykres uporządkowany poboru mocy elektrycznej przez walcarkę blachy grubej w czasie jednego cyklu walcowania

Wzrost produkcji zakładów produkcyjnych następuje w wyniku intensyfikacji procesu oraz w wyniku zmian zdolności produkcyjnych urządzeń decydujących o wydajności procesu. W przypadku intensyfikacji procesu drogą zmian organizacyjnych procesu (rys. 30) zmierza się do skrócenia cyklu.

Działalność taka powoduje zmniejszenie czasu przerw w pracy poszczególnych urządzeń, tzn. $\Delta t_{\text{po}}^{\text{zu}\delta}$. W efekcie następuje wzrost prawdopodobieństwa pracy urządzeń $P_{\text{Tp}}^{\text{zu}\delta}$ i

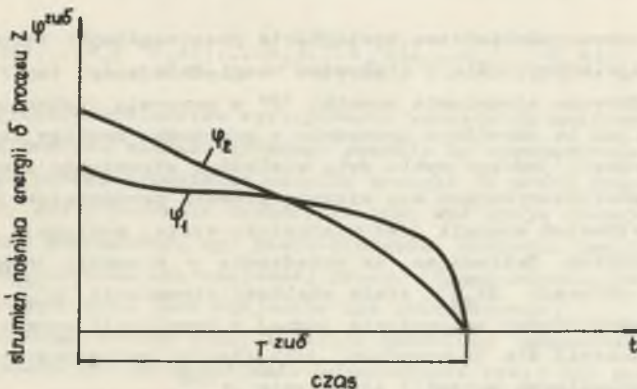


Rys. 30. Wykres uporządkowany poboru strumienia energii procesu o wydajności W_{z1} oraz W_{z2} . $W_{z2} > W_{z1}$ używano drogą zmian organizacyjnych

strumień energii jest funkcją czasu i aproksymacja zużycia energii za pomocą dwóch stanów jest obciążona dużymi błędami. Sytuacja taka w szczególności występuje w urządzeniach pobierających energię dla celów grzewczych (rys. 20).

zmiana wykresu uporządkowanego poboru określonego strumienia energii przez proces technologiczny. W przypadku ekstensywnego wzrostu produkcji (rys. 31) tj. wymiany określonego urządzenia procesu, następuje zmiana przebiegu strumienia pobieranej energii, jak również zmiana czasu jego pracy. W następstwie zmienia się maksymalny strumień nośnika energii, pobieranego w danym procesie technologicznym.

W niektórych urządzeniach technologicznych pobierany



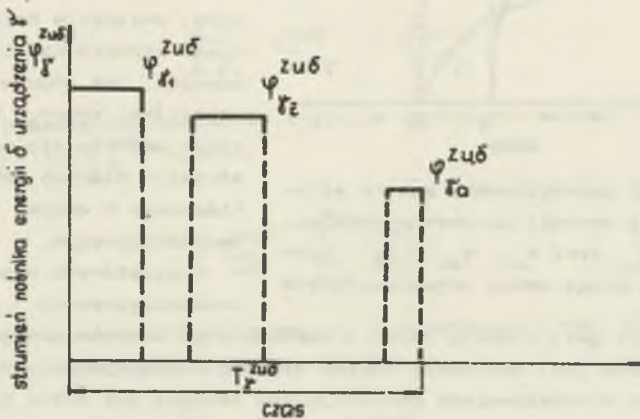
Rys. 31. Wykresy uporządkowane strumienia energii procesu technologicznego przed zmianą urządzenia- φ_1 oraz po zmianie urządzenia- φ_2

W takich przypadkach przebieg strumienia w czasie jednego cyklu pracy można zastąpić kilku okresami, w których wielkość strumienia jest wielkością stałą.

Prawdopodobieństwo występowania poszczególnych strumieni wynosi:

$$P(\varphi_{\beta\delta}^{Zu\delta}) = \frac{\Delta t_{\beta\delta}^{Zu\delta}}{T_{\beta}^{Zu\delta}}. \quad (24)$$

Urządzenia takie wprowadzają dodatkową ilość kombinacji sumarycznego strumienia nośnika energii, zużywanego w procesie technologicznym (Z) przez wszystkie urządzenia pobierające nośnik energii,



Rys. 32. Urządzenia o wielostanowym charakterze poboru strumienia energii

Obliczenie prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych strumieni sumarycznych wymaga korzystania z algorytmu uwzględniającego ten fakt. Wykresy uporządkowane strumienia nośnika "δ" w procesie technologicznym Z uzyskać można, jak to określono uprzednio w przypadku analizy urządzeń pobierających w czasie jednego cyklu dwie wielkości strumienia energii.

Urządzenie charakteryzujące się większą ilością przedziałów jednego cyklu, w którym strumień energii jest wielkością stałą, występują również w procesach hutniczych. Zakładając, że urządzenie γ w czasie jednego cyklu pobiera w "a γ " okresach $\Delta t_{\beta\delta}^{Zu\delta}$ stałą wielkość strumienia $\varphi_{\beta\delta}^{Zu\delta}$, można obliczyć prawdopodobieństwo wystąpienia jednej z kombinacji sumarycznego zużycia nośnika energii dla β urządzeń, jako iloczyn prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych wartości strumienia $\varphi_{\beta\delta}^{Zu\delta}$.

Wartość strumieni, jakie poszczególne urządzenia γ procesu technologicznego Z przyjmują, można zestawzić w następujący sposób:

$$\begin{array}{ccccccc} \varphi_{11}^{Zu\delta} & \varphi_{12}^{Zu\delta} & \dots & \varphi_{1\delta_1}^{Zu\delta} & \dots & \varphi_{1a_1}^{Zu\delta} & \\ \varphi_{21}^{Zu\delta} & \varphi_{22}^{Zu\delta} & \dots & \varphi_{2\delta_2}^{Zu\delta} & \dots & \varphi_{2a_2}^{Zu\delta} & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccc} \varphi_{\beta_1}^{Zu\delta} & \varphi_{\beta_2}^{Zu\delta} & \dots & \varphi_{\beta_{\epsilon_T}}^{Zu\delta} & \dots & \varphi_{\beta_{a_T}}^{Zu\delta} & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \\ \varphi_{\beta_1}^{Zu\delta} & \varphi_{\beta_2}^{Zu\delta} & \dots & \varphi_{\beta_{\epsilon_T}}^{Zu\delta} & \dots & \varphi_{\beta_{a_T}}^{Zu\delta} & \end{array}$$

Prawdopodobieństwo występowania pewnej wartości strumienia $\varphi_{\beta\epsilon}^{Zu\delta}$ jest równe

$$p_{\beta\epsilon_T}^{Zu\delta} = \frac{\Delta t \varphi_{\beta\epsilon_T}^{Zu\delta}}{T \varphi_{\beta}^{Zu\delta}}$$

Przy założeniu, że przebiegi strumieni energii wzajemnie się nie warunkują, wartość prawdopodobieństwa jednej z kombinacji sumy strumieni energii pobieranych przez β urządzeń

$$\varphi^{Zu\delta} = \sum_{\beta=1}^{\beta} \varphi_{\beta\epsilon_T}^{Zu\delta}$$

wynosi

$$p_{\beta}^{Zu\delta} = \prod_{\beta} p_{\beta\epsilon_T}^{Zu\delta} \quad (25)$$

gdzie

$$\epsilon_1 \in (1, \dots, a_1) \quad \epsilon_2 \in (1, \dots, a_2) \dots \epsilon_T \in (1, \dots, a_T) \dots \epsilon_{\beta} \in (1, \dots, a_{\beta}).$$

Znajomość prawdopodobieństwa występowania wszystkich możliwych kombinacji β urządzeń procesu technologicznego pozwala na sporządzenie wykresu uporządkowanego poboru strumienia nośnika energii δ przez proces Z.

W przypadku, gdy w procesie technologicznym występują równolegle pracujące urządzenia pomocnicze, np. piece grzewcze, zachodzi konieczność uwzględnienia uwarunkowania ich wzajemnej pracy. (Praca równoległa urządzeń podstawowych praktycznie jest wzajemnie nie uwarunkowana).

Dla ustalonego okresu pracy istnieje określona organizacja pracy tych urządzeń pozwalająca na określenie przesunięcia cykli ich pracy w czasie.

Wielkość przesunięć cykli pracy wynika z konieczności utrzymania stałej wydajności urządzenia podstawowego procesu technologicznego Z.

Przyjmując, że funkcja poboru strumienia nośnika energii jednego z urządzeń równolegle pracujących jest cykliczna.

$$\varphi_1^{Zu\delta} = \varphi_1^{Zu\delta} \left(t + T_{\beta_1} \right),$$

dochodzi się wówczas do wniosku, że sumaryczny strumień pobrany przez b urządzeń równoległe pracujących wynosi

$$\varphi_{\sum b}^{Zu_1} = \sum_{i=1}^b \varphi_{\tau_i} \left(t + T_{\tau_i}^{Zu_1\delta} + \Delta T_{\tau_i}^{Zu_1\delta} \right) \quad (26)$$

Z funkcji tej można określić wykres uporządkowany poboru strumienia nośnika energii przez urządzenia równoległe pracujące w okresie $T^{Zu_1\delta}$ tzn.:

$$\varphi_{\sum b}^{Zu_1\delta} = \varphi_{\sum b}^{Zu_1\delta} \left(t \ell T^{Zu_1\delta} \right).$$

Stosując jeden z poprzednio przytoczonych sposobów określenia wykresów uporządkowanych w poborze strumienia nośnika energii w procesie Z, uzyskuje się możliwość określenia wielkości wahań strumienia energii spowodowanego organizacją pracy poszczególnych urządzeń τ wchodzących w skład procesu technologicznego Z:

$$\varphi^{Zu_1\delta} = \varphi^{Zu_1\delta} \left(P_{\sum g}^{Zu_1\delta} \right).$$

W obliczeniach wygodniej posłużyć się następującym wzorem (rys. 33):

$$\varphi^{Zu_1\delta} \left(P_{\sum g}^{Zu_1\delta} \right) = \varphi_{sr}^{Zu_1\delta} + \Delta \varphi^{Zu_1\delta} \left(P_{\sum g}^{Zu_1\delta} \right). \dots \quad (27)$$

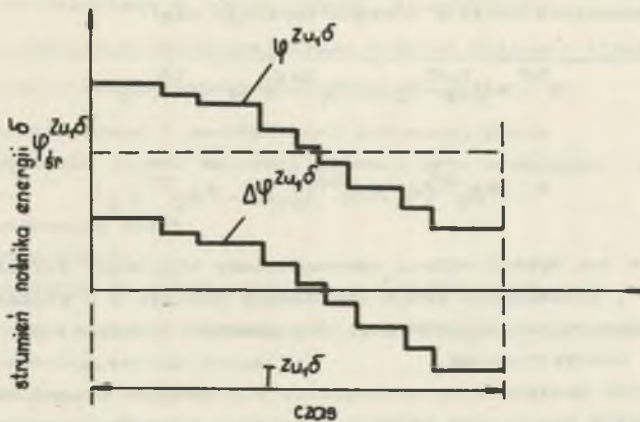
Wielkość strumienia nośnika energii δ uzależniona jest od produkowanych asortymentów w procesie Z. Znajomość potrzebnego strumienia energii dla realizacji produkcji poszczególnych asortymentów pozwala na konstrukcję wykresu uporządkowanego dla okresu prognozy t_Z względnych wahań strumienia nośnika energii pobieranego przez cały proces technologiczny.

Zwykle w procesach hutniczych okres prognozy jest kulkadziesiąt, a nawet więcej razy większy od cyklu procesu $T^{Zu_1\delta}$. Czasy produkowania poszczególnych asortymentów produkcji t_{Zu} w okresie t_Z są wielokrotnością cykli produkowania $T^{Zu_1\delta}$,

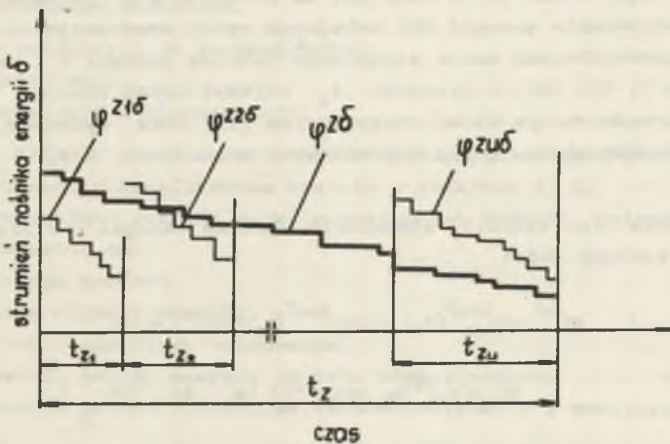
$$t_{Zu} = K_u \cdot T^{Zu_1\delta}, \quad (28)$$

przy czym

$$t_Z = t_{Z_1} + t_{Z_2} + \dots + t_{Z_u}.$$



Rys. 33. Wykres uporządkowany względnych wahań strumienia nośnika energii spowodowanych organizacją procesu technologicznego



Rys. 34. Wykres uporządkowany wahań strumienia nośnika energii δ zużywanego w procesie Z przy produkcji U asortymentów

Uporządkowany wykres strumienia nośnika energii δ dla okresu t_Z uzyskać można w oparciu o wykres uporządkowany poszczególnych asortymentów skonstruowanych na odcinkach proporcjonalnych do t_Z (rys. 34).

W celu uwzględnienia wpływu czynników przypadkowych dogodnie jest posłużyć się odchyleniami od średniego strumienia energii

$$\varphi^{Zu\delta} = \varphi_{sr}^{Zu\delta}(t_Z) + \Delta\varphi^{Zu\delta}(t_Z).$$

Po uwzględnieniu wpływów przypadkowych wahań parametrów technologicznych oraz parametrów paliw i energii uzyskuje się:

$$\varphi^{Z\delta} = \varphi_{sr}^{Z\delta}(t_Z) + \Delta\varphi^{Z\delta}(t_Z) * \Delta\varphi^{Z\delta}(\alpha_1) * \dots * \Delta\varphi^{Z\delta}(\alpha_w) * \Delta\varphi^{Z\delta}(\xi_1) * \dots * \Delta\varphi^{Z\delta}(\xi_d). \quad (29)$$

Uzyskany w ten sposób wykres uporządkowany wielkości strumienia nośnika energii δ , pobieranego przez urządzenia procesu Z w większości przypadków z wystarczającą dokładnością dla praktyki pokrywa się z rzeczywistymi danymi statystycznymi.

W niektórych przypadkach, szczególnie dla prognoz długoterminowych, pozostałe czynniki powodujące wahania w poborze strumienia energii jak zmiana techniczna urządzeń, zmiana czynników zewnętrznych, - mogą być znaczne (ok. 15%).

Cykl ich wahań $T_{\delta}^{Z\delta}$ jest kilkadziesiąt, a nawet więcej razy większy od cyklu produkcji. Można zatem przyjąć, że powodują one zmianę wielkości średniego strumienia energii dla kolejnych cykli produkcyjnych.

Wykres uporządkowany zmian strumienia nośnika energii δ , uwzględniający te czynniki dla okresu prognozy t_Z uzyskać można tworząc kompozycję wykresu uporządkowanego określonego wzorem (29) oraz wykresów uporządkowanych zmian strumienia energii wywołanych czynnikami σ tj. $\Delta\varphi_{\sigma_1}^{Z\delta}(t_Z)$, $\Delta\varphi_{\sigma_2}^{Z\delta}(t_Z)$, ...

Ostatecznie więc wielkość strumienia nośnika energii δ w procesie Z określa następujący wzór:

$$\varphi^{Z\delta} = \varphi_{sr}^{Z\delta}(t_Z) + \Delta\varphi^{Z\delta}(t_Z) * \Delta\varphi^{Z\delta}(\alpha_1) * \dots * \Delta\varphi^{Z\delta}(\alpha_w) * \Delta\varphi^{Z\delta}(\xi_1) * \dots * \Delta\varphi^{Z\delta}(\xi_{s_t}) * \Delta\varphi_{\sigma_1}^{Z\delta}(t_Z) * \Delta\varphi_{\sigma_2}^{Z\delta}(t_Z) * \dots \quad (30)$$

6. PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA METODY

Celem zilustrowania metody prognozowania wahań w zużyciu energii przez proces technologiczny wybrano trzy typowe dla hutnictwa przykłady:

- zużycie energii elektrycznej przez wydział walcowni blachy grubej - urządzenia tego wydziału, pobierające energię elektryczną, charakteryzują się dwustanową pracą w okresie jednego cyklu produkcji;
- zużycie gazu koksowego przez piece węgłne walcowni zgniatacz - piece węgłne charakteryzują się wielostanową pracą w okresie jednego cyklu produkcji;

- c) zużycie koksu przez wielki piec
- proces przebiega w sposób ciągły, niecykliczny.

6.1. Zużycie energii elektrycznej przez wydział walcowni blach

Energia elektryczna służy na analizowanym wydziale do:

1. Wytwarzania energii mechanicznej używanej przez
 - a) urządzenia napędu walcarki głównej oraz urządzenia nastawu walców,
 - b) prostownicę blach,
 - c) nożyce blach,
 - d) urządzenia do szlifowania blach (obróbka końcowa).
2. Wytwarzania energii mechanicznej potrzebnej do transportu materiałów technologicznych przez:
 - a) suwnice,
 - b) przesuwacze blach,
 - c) przenośniki bębnowe.
3. Wytwarzania wtórnych nośników energii, a więc:
 - a) wody o wysokim ciśnieniu,
 - b) sprężonego powietrza.
4. Celów socjalnych, w szczególności:
 - a) oświetlenie,
 - b) wentylacji i klimatyzacji.

Odbiory, których praca determinowana jest organizacją (rytmem) procesu technologicznego, sklasyfikowane zostały w punktach 1, 2.

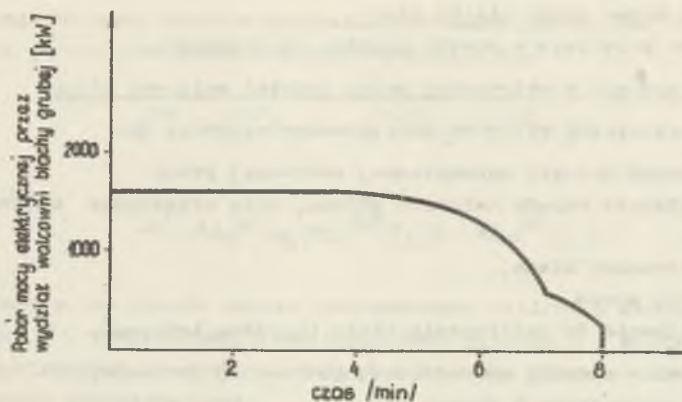
Wahania w zużyciu energii elektrycznej przez wydział walcowni blachy grubej spowodowane są:

- organizacją procesu,
- rozrzutem ciężaru wlewków,
- wahaniami temperatury walcowania,
- zmiennością poboru energii na cele oświetleniowe,
- zmiennością poboru energii na cele klimatyzacji i wentylacji.

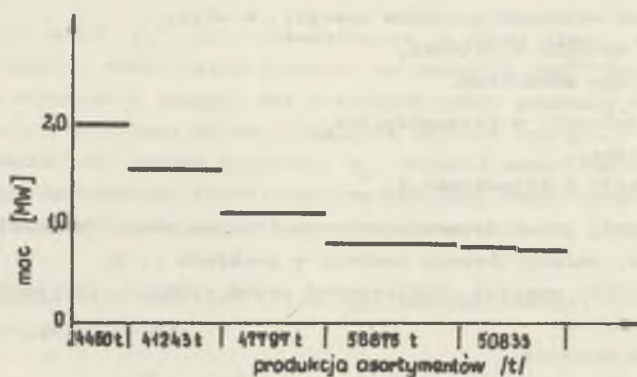
Wykres uporządkowany wahań sumarycznej mocy elektrycznej, pobieranej w okresie jednego cyklu, uzyskano określając prawdopodobieństwo występowania mocy w 1% przedziałach sumy mocy odbiorców (rys. 35).

Według kryteriów energetycznych produkowane przez walcownię asortymenty tworzą 6 grup. Dla każdej z tych grup określono wykres uporządkowany poboru mocy w jednym okresie produkcji. Znajomość wielkości planowanej produkcji poszczególnych grup asortymentów w pewnym okresie (np. jednego roku) (rys. 36) pozwala na konstrukcję wykresu uporządkowanego przewidywanych wahań mocy w tym okresie.

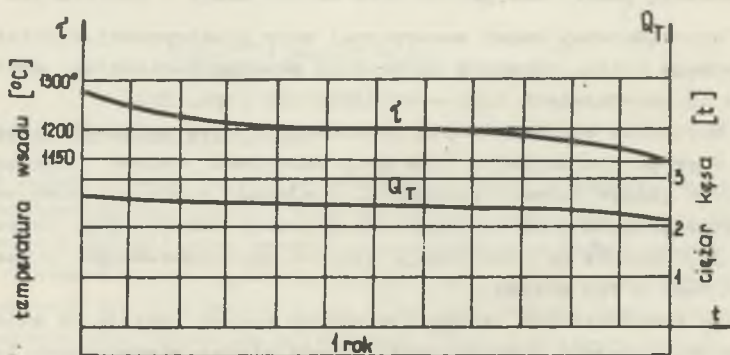
Do czynników przypadkowych, które w widoczny sposób rzutują na zmianę poboru strumienia energii elektrycznej, należą ciężar wlewków oraz temperatura wsadu.



Rys. 35. Wykres uporządkowany poboru mocy elektrycznej przez wydział blachy grubej dla trzeciej grupy asortymentów



Rys. 36. Wielkość maksymalnej sumarycznej mocy walcowni blachy grubej dla poszczególnych grup asortymentów



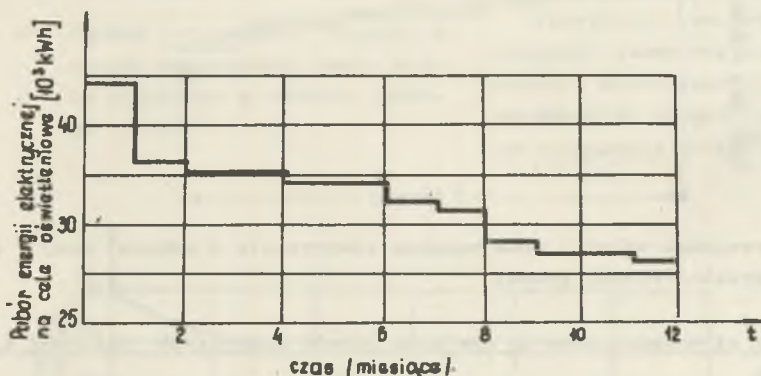
Rys. 37. Wahania ciężaru kęsa Q_T oraz temperatury τ dla asortymentu St 2S (1974 r.)

Dla roku 1974 wykres uporządkowany wahań ciężaru oraz wahań temperatury wsadu obrazuje rys. 37. Praktycznie nie różnią się one w stosunku do wykresów uporządkowanych poprzednich lat (średnie odchylenie standardowe nie przekraczało 3%) (rys. 37).

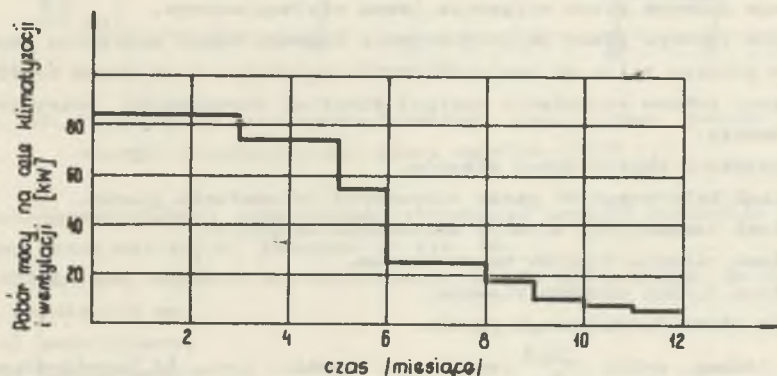
Współczynniki regresji względnych wahań w stosunku do średnich wielkości ciężaru wlewków, temperatury walcowanego materiału oraz odpowiadających im względnych wahań poboru ciepła przyjmuje się -1 lub $+1$.

Zużycie energii elektrycznej do wytwarzania wtórnych nośników energii wynosi 10,5% i praktycznie (poza okresami remontowymi) nie wykazuje istotnych wahań (sięgają $\pm 2\%$).

Zużycie energii na cele socjalne charakteryzuje się stałą wielkością pobieranego strumienia energii (8,2% średniego poboru przez wydział), leżącym czasem trwania w ciągu doby oraz roku (rys. 38).



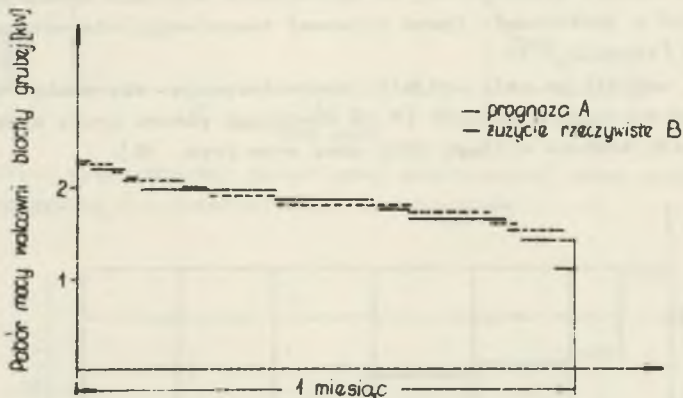
Rys. 38. Wykres uporządkowany miesięcznego poboru energii przez wydział blachy grubej na cele oświetleniowe (1974 r.)



Rys. 39. Wykres uporządkowany poboru mocy na cele wentylacji i klimatyzacji walcowni blachy grubej (1974 r.)

Zużycie energii na wentylację i klimatyzację okarakteryzuje się również stałym poborem zużywanego strumienia energii, a czas użytkowania tych urządzeń uzależniony jest od warunków klimatycznych danego roku (rys. 39).

Sumowanie statystyczne wykresów uporządkowanych określonych poprzednio pozwoliło uzyskać prognozę wahań w poborze mocy przez walcownię blachy grubej (rys. 40). Średnie odchylenie standardowe między krzywą prognozy a rzeczywistym przebiegiem wahań wynosi 5%.



Rys. 40. Prognoza wahań A oraz wahania rzeczywiste B poboru mocy przez wydział blachy grubej

6.2. Pobór strumienia gazu do opalania pieców grzewczych walcowni zgniatacza

Energia chemiczna paliw służy na analizowanym wydziale do:

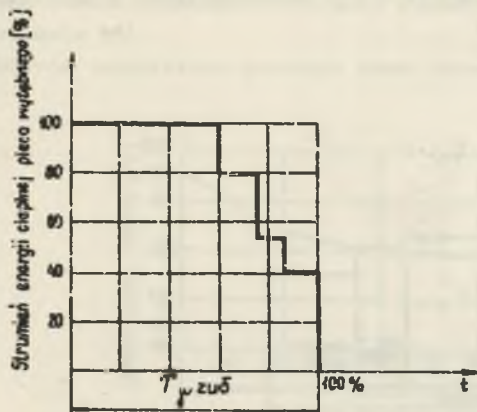
- 1) opalania pieców grzewczych mieszanką gazów (wielkopieczowego i koksowniczego),
- 2) opalania jednego pieca wyłącznie gazem wielkopieczowym,
- 3) opalania jednego pieca do podgrzewania zimnego wsadu mieszanką gazową.

Wahania w poborze paliw do opalania pieców węglanych mają swoje źródło w:

- 1) waniach poboru strumienia energii cieplnej narzuconych przez proces nagrzewania,
- 2) asortymentach wygrzewanych wlewków,
- 3) waniach kaloryczności gazów zużywanych do opalania pieców,
- 4) waniach temperatury wlewków wkładanych do pieców,
- 5) waniach ciężaru wlewków nagrzewanych,
- 6) waniach ilości zimnych wlewków,
- 7) zmianie stanu technicznego pieców.

W czasie jednego cyklu $T_j^{Zu\delta}$ trwającego 7 godzin (rys. 41) wyróżnić można cztery stany poboru strumienia gazu dla następujących okresów:

- 1) czasu nagrzewania - $t_{p1}^{Zu\delta}$,



Rys. 41. Zmiana strumienia energii w czasie nagrzewania wsadu pieca w głębnego w okresie jednego cyklu

2) czasu wygrzewania -

$$t_{p2} \cdot \frac{Zu\delta}{\delta}$$

3) czasu wyczekiwania -

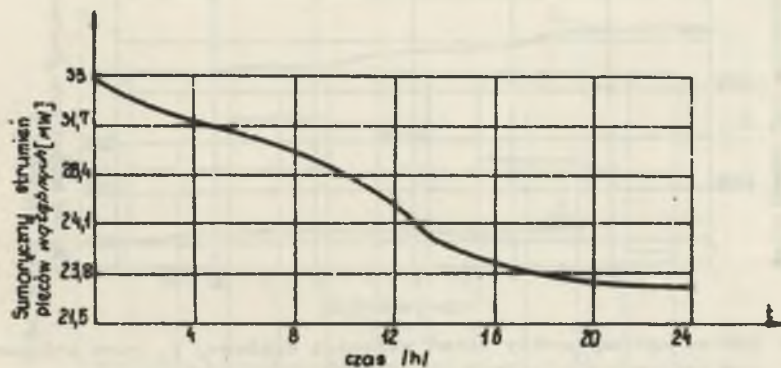
$$t_{o0} \cdot \frac{Zu\delta}{\delta}$$

4) czasu opróżnienia -

$$t_o \cdot \frac{Zu\delta}{\delta}$$

Przebieg sumarycznego poboru gazu przez wszystkie piece w głębne zależy od organizacji procesu wygrzewania wsadu.

Przyjmując za podstawę najczęściej stosowany sposób ładowania i opróżniania pieców można określić wahania sumarycznego strumienia energii cieplnej.



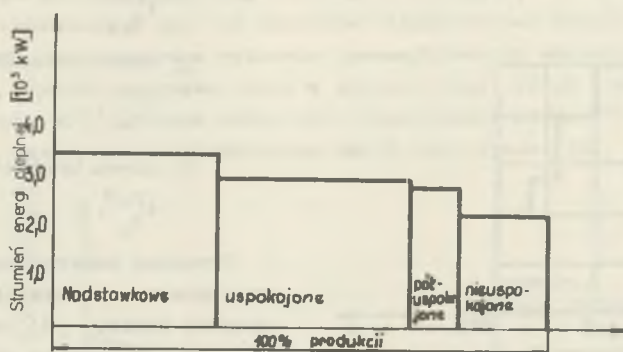
Rys. 42. Prognoza wykresu uporządkowanego sumarycznego poboru strumienia energii cieplnej przez piece w głębne (1974 r.)

Wykres uporządkowany sumarycznego strumienia energii cieplnej, pobieranej przez pracujące piece, pokazano na rys. 42.

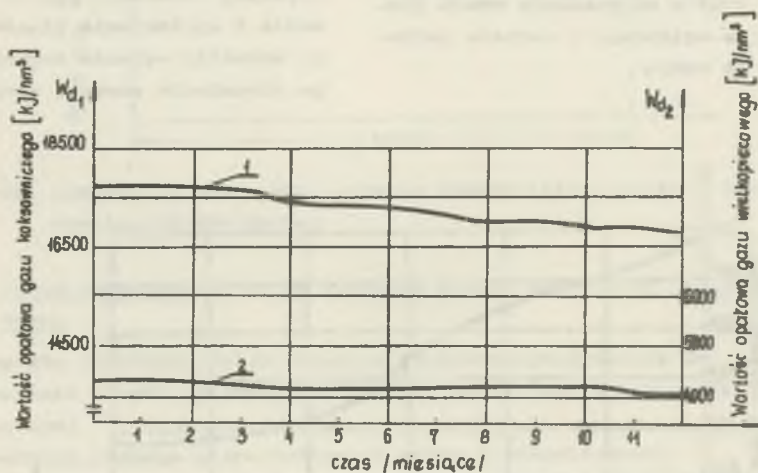
Wlewki pod względem zapotrzebowania ciepła potrzebnego do ich nagrzania dzielą się na:

- a) nadstawkowe,
- b) uspokojone,
- c) półuspokojone,
- d) nieuspokojone.

Udział w rocznej produkcji zgniatacza (1974 r.) poszczególnych grup wlewków pokazano na rys. 43.



Rys. 43. Wielkość dostaw wlewków poszczególnych asortymentów



Rys. 44. Wykres uporządkowany wahań wartości opałowej W_d gazu koksowniczego - 1 oraz gazu wielkopiecowego - 2 jednego zakładu hutniczego

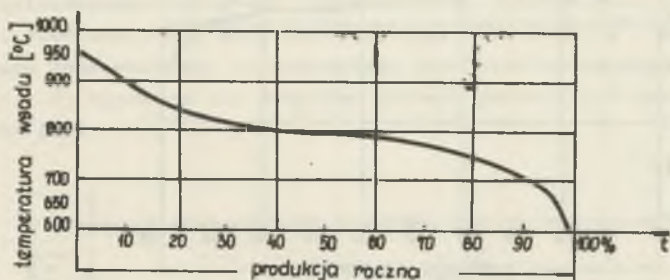
Wykres uporządkowany wahań potrzebnej energii cieplnej dla 1974 r. uzyskano w oparciu o wykresy uporządkowane wahań energii cieplnej poszczególnych grup wlewków.

Z wielkości przypadkowych, rzutuujących na wielkość pobieranego strumienia gazu, należy uwzględnić wahania ciężaru wlewków, udział zimnego wsadu, temperatury wsadu oraz wartość opałową gazu koksowniczego, jak również wielkopiecowego.

Według badań przeprowadzonych w 1974 r. w analizowanym zakładzie hutniczym wahania wartości opałowej gazów pobieranych przedstawiają się jak na rys. 44. Nie różniły się one praktycznie od podobnych przebiegów w in-

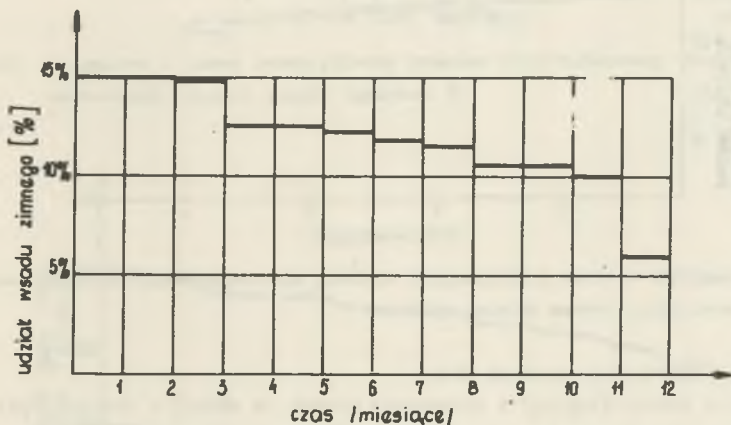
nych latach (średnie odchylenie standardowe w ostatnich 3 latach nie przekraczało 5%).

Wahania temperatury gorącego wsadu przedstawiono na wykresie rys. 45.



Rys. 45. Wykres uporządkowany temperatury wsadu w piecach wglębnych (1974 r.)

Analizowany wydział pracuje w przeważającej mierze na gorącym wsadzie. Procentowy udział zimnego wsadu w dobowej produkcji przedstawiony jest na rys. 46.

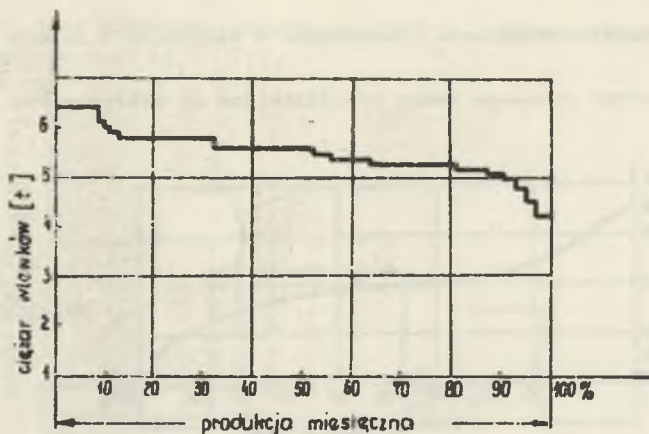


Rys. 46. Wykres uporządkowany udziału wsadu zimnego w piecach wglębnych (1974 r.)

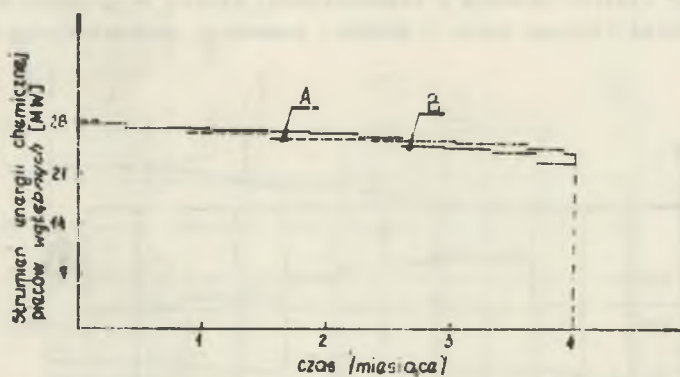
Wlewki dostarczane do pieców wglębnych charakteryzują się wahaniami wielkości ciężaru jak pokazano na rys. 47.

Odchylenia standardowe między wykresami pokazane na rys. 45, 46, 47 a podobnymi wykresami z 3 innych lat nie przekraczały 5%.

Prognozę wahań w zużyciu energii chemicznej dla wszystkich pieców zgniatacza z uwzględnieniem poprzednio wyszczególnionych czynników, rzutujących na zużycie ciepła, przedstawiono na rys. 48. Przyjęto, że współczyn-



Rys. 47. Wykres uporządkowany wahań ciężaru wlewków (10.1975 r.)



Rys. 48. Prognoza A oraz rzeczywisty wykres uporządkowany zużycia energii chemicznej przez piec węglany B

niki regresji liniowej wynoszą dla:

- 1) udziału wsadu zimnego i odpowiadających im wahań w zużyciu paliw +3;
- 2) wartości opalowej gazu oraz odpowiadających im wahanom w zużyciu paliw -1;
- 3) temperatury wsadu oraz odpowiadających im wahań w zużyciu paliw -1;
- 4) ciężaru wlewków oraz odpowiadających im wahań w zużyciu paliw +1.

Porównanie wyników wahań za rok 1974 i danych uzyskanych z prognozowania (rys. 48) daje odchylenie standardowe o wartości 14%.

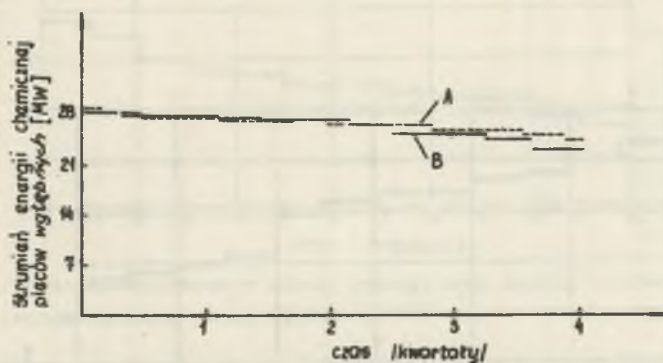
W okresie międzyremontowym w wyniku zmiany stanu technicznego pieców następuje zwiększenie strat energii elektrycznej (rys. 11).

Wykres uporządkowany wahań energii chemicznej, pobieranej przez piec węglany, z uwzględnieniem ww. czynnika pokazano na rys. 49. Średnie odchy-

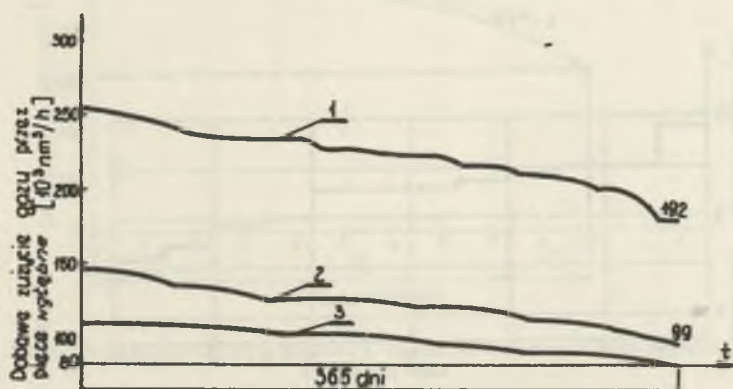
lenie standardowe w stosunku do wartości rzeczywistych zmniejszyło się o 3%.

Otrzymany w ten sposób przebieg strumienia energii jest sumą poborów gazu wielkopiecowego oraz gazu koksowniczego.

Dla analizowanego przypadku, gdzie wartość opałowa gazu wielkopiecowego wynosi 1000 kcal/nm^3 , gazu koksowniczego 4000 kcal/nm^3 , stosunek zużywanego gazu koksowniczego do zużywanego gazu wielkopiecowego pozostaje w proporcji 1:2, uzyskuje się prognozę wykresu poboru tych gazów przez piece węglane (rys. 50).



Rys. 49. Prognoza A oraz rzeczywisty wykres uporządkowany zużycia energii chemicznej przez piece węglane B

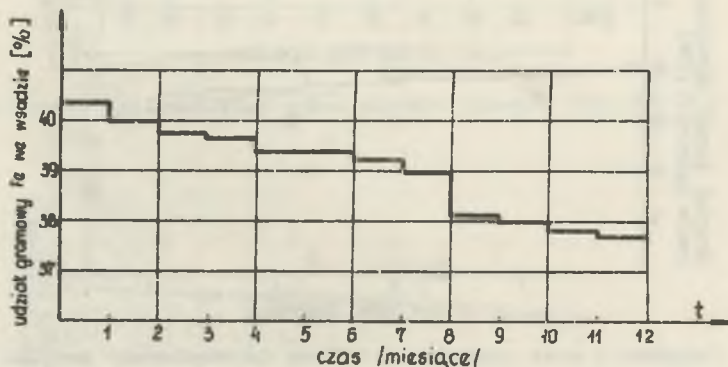


Rys. 50. Wykres uporządkowany zużycia dobowego gazu koksowniczego (1), mieszanego (2), wielkopiecowego (3) przez piece węglane (1975 r.)

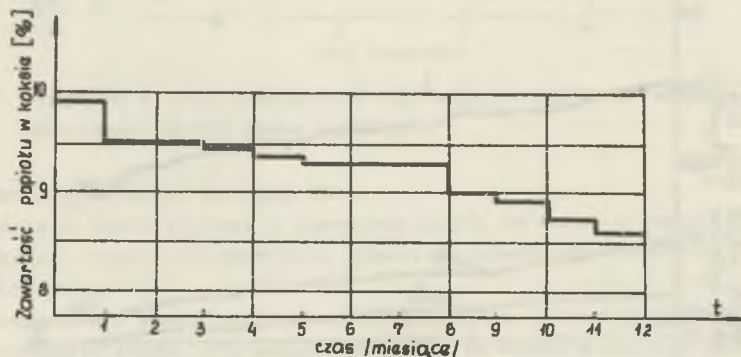
6.3. Zużycie koksu przez wielkie piece

Przy danej wydajności wielkiego pieca jednostkowe zużycie koksu jest wielkością stałą. Wahanie zużycia koksu od wielkości średniej spowodowane są wahaniami przypadkowymi:

- a) parametrów rudy - w szczególności zawartości Fe we wsadzie,
 - b) parametrów koksu - w szczególności zawartości popiołu
- oraz zdeterminowanymi zmianami
- a) stanu technicznego pieca,
 - b) temperatury dmuchu wielkopiecowego,
 - c) stanu nagrzewnicy.



Rys. 51. Wykres uporządkowany zawartości Fe we wsadzie wielkopiecowym jednego zakładu hutniczego (1974 r.)

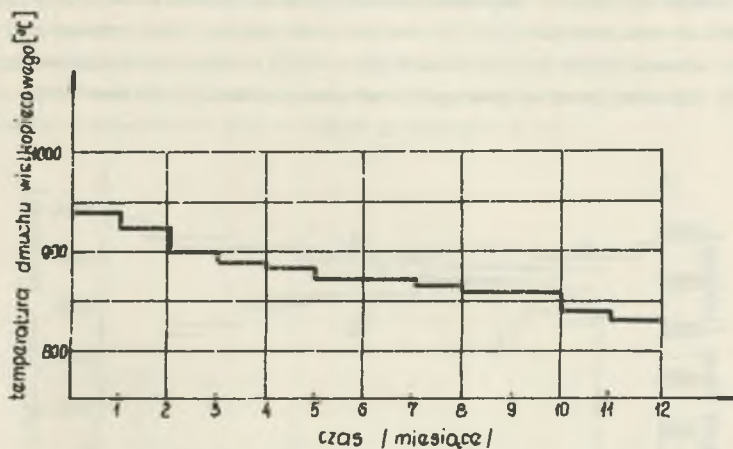


Rys. 52. Wykres uporządkowany zawartości popiołu w koksie (1974 r.)

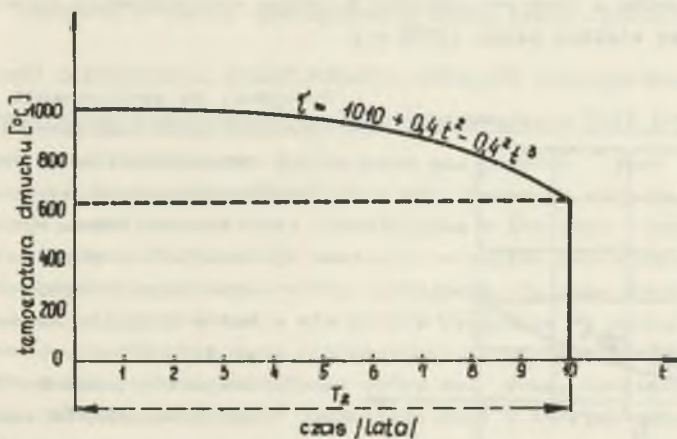
Wahania zawartości Fe podyktowane są dopuszczalnymi tolerancjami jak również recepturę wsadową.

W oparciu o przeprowadzone badania roczne 1974 roku wahania zawartości

Fe w rudzie przedstawiono na rys. 51. Wahań zawartości popiołu w koksie, wynikające wyłącznie z wahań zawartości popiołu węgla koksującego, przedstawiono na rys. 52.



Rys. 53. Wykres uporządkowany wahań temperatury dmuchu wielkopieczowego na jednym wielkim piecu 1974 r.



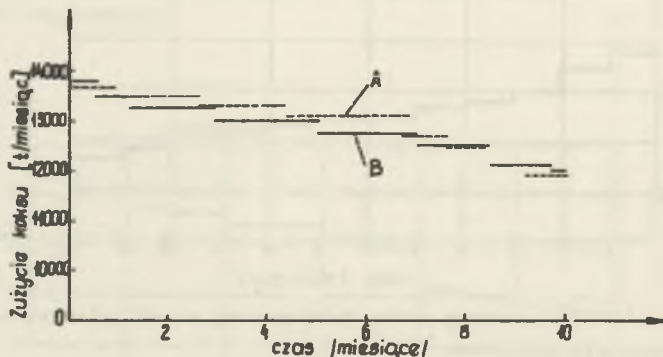
Rys. 54. Spadek temperatury dmuchu w okresie międzyremontowym nagrzewnicy

Praktycznie roczne wykresy uporządkowane zawartości Fe w poszczególnych rudach, jak i popiołu w koksie nie zmieniają się. Wynika to stąd, że dostawcy rud oraz dostawca koksu w analizowanym przypadku od kilkunastu lat pozostają bez zmian.

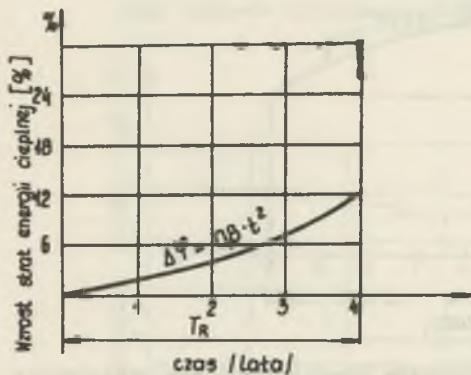
Temperatura dmuchu wahała się na analizowanym piecu między 940°C oraz 830°C wg wykresu uporządkowanego, pokazanego na rys. 53. Wahań temperatury dmuchu wynikają ze zmiany stanu technicznego nagrzewnicy wielkiego

pieca w okresie międzyremontowym. Wykres uporządkowany dla jednego roku jest wycinkiem krzywej z rys. 54.

Prognozowanie wahań w zużyciu koksu w okresach krótkoterminowych np. miesiąca, kwartału można uzyskać sumując statystycznie wykresy uporządkowane wahań strumieni energii od wartości średniej spowodowanych przez parametry o charakterze przypadkowym (rys. 55). Obliczone odchylenie standardowe dla wykresu prognozowanego oraz rzeczywistego na rok 1974 wynosiło 16%.



Rys. 55. Prognoza A oraz rzeczywisty B wykres uporządkowany zużycia koksu przez wielkie piece (1974 r.)



Rys. 56. Wzrost strat ciepłych jednego pieca (500 m³ - 1974 r.)

Przyjęto, że współczynnik regresji liniowej wahań względnych:

- 1) zawartości Fe we wsadzie oraz odpowiadających im wahań w zużyciu koksu wynosi -2,5;
- 2) zawartości popiołu w koksie oraz odpowiadających im wahań w zużyciu koksu wynosi +2,5;
- 3) temperatury dmuchu oraz odpowiadających im wahań w zużyciu koksu wynosi -0,2.

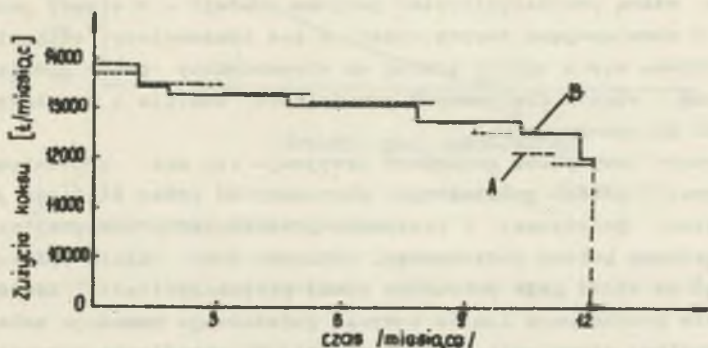
Przy prognozach długookresowych zachodzi konieczność uwzględnienia pewnych tendencji o charakterze deterministycznym jak:

- zmiany stanu technicznego wielkiego pieca,
- zmiany stanu technicznego nagrzewnic,
- innowacji zmierzających do zmniejszenia jednostkowego zużycia koksu.

Stan techniczny wielkiego pieca, szczególnie pod koniec kampanii, wymaga zwiększenia zużycia koksu na skutek wzrostu strat energii cieplnej,

spowodowanych zużyciem wymurówki.

Znajomość krzywej strat ciepłych w okresie międzyremontowym pozwala na prognozę i kształtowanie jej w poszczególnych latach. W analizowanym przypadku obliczano straty energii cieplnej dla trzeciego roku kampanii pieca. Wykres przewidywanego wahanía strumienia koksu dla wielkiego pieca, uwzględniającego zmianę stanu technicznego pieca, pokazano na rys. 56. Średnie odchylenie standardowe między prognozą a rzeczywistym wykresem zużycia koksu zmniejszyło się w takim przypadku o 1%.



Rys. 56a. Prognoza uwzględniająca zmianę techniczną pieca - A oraz rzeczywisty B wykres uporządkowany koksu przez wielki piec.

7. MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA PRZEWIDYWANYCH WYKRESÓW UPORZĄDKOWANYCH

7.1. Optymalizacja zapotrzebowania gazu koksowniczego [46], [48]

W każdym przedsiębiorstwie zużywającym gaz istotną jest umiejętność przewidywania zużycia gazu. Odpowiednie programowanie zużycia gazu wpływa nie tylko na prawidłową politykę inwestycyjną w zakresie urządzeń gospodarki gazowej, lecz równocześnie umożliwia właściwe zamawianie potrzebnych ilości gazu w przedsiębiorstwie zajmującym się jego dystrybucją.

Obecnie zużycie gazu określa się prawie wyłącznie w oparciu o bilanse materiałowo-energetyczne i przy wykorzystaniu średnich wskaźników zużycia energii dla pewnego okresu minionego czasu np. roku, kwartału, miesiąca. Metoda taka zakłada, że procesy technologiczne, w których zużywa się gaz, są typu statycznego i w związku z tym zużycie gazu dla pewnej wielkości produkcji jest w pełni określone. W rzeczywistości dla tej samej wielkości produkcji z przyczyn zdeterminowanych, jak i przypadkowych potrzebne mogą być różne ilości gazu. Z tego względu stosuje się dla lepszego określenia charakteru poboru gazu pojęcia średniej i maksymalnej wielkości zużycia gazu. Znajomość tych wielkości jest niewystarczająca dla prowadzenia odpowiednich analiz ekonomicznych. Mogą one być robione wówczas, gdy znany jest przewidywany wykres uporządkowany zużycia gazu przez zakład. W oparciu o znajomość wykresów uporządkowanych odbiorów można wyznaczyć wykres uporządkowany zużycia gazu przez zakład.

$$\varphi^P = \varphi_1^P * \varphi_2^P * \dots * \varphi_\psi^P,$$

gdzie $\varphi_1^P \dots \varphi_\psi^P$ - wykresy uporządkowane poszczególnych wydziałów zużywających gaz koksowy,

ψ - liczba wydziałów zużywających gaz koksowniczo.

W oparciu o zasady sprecoyzowane w taryfie gazowej i przy użyciu rachunku ekonomicznego, można określić optymalną wielkość strumienia gazu koksowniczego, którą przedsiębiorstwo powinno zamówić u dostawcy gazu.

Zgodnie z obowiązującą taryfą opłat za gaz koksowniczo, całkowita opłata za gaz składa się z opłaty stałej za obrachunkowy pobór godzinowy według ustalony stawek dla pewnych przedziałów zużycia i z opłaty zmiennej za ilość pobranego gazu.

Jako obrachunkowy pobór godzinowy przyjmuje się dla przedsiębiorstwa limit maksymalnego poboru godzinowego, przyznany mu przez właściwą jednostkę administracji państwowej. W przypadku przekroczenia o więcej niż 3% limitu maksymalnego poboru godzinowego, odbiorca musi uiścić opłatę dodatkową (karną) za ilość gazu pobranego ponad przyznany limit. Równocześnie przekroczenie przyznanego limitu zużycia godzinowego powoduje zmianę wielkości maksymalnej strumienia gazu, przyjętej do określenia zużycia do poszczególnych blokach taryfowych.

Ogólna opłata za zużyty gaz składa się z:

- 1) części proporcjonalnej do wielkości zużycia gazu w pewnym okresie T

$$K_{T_Z} = C \cdot \Phi_T, \quad (28)$$

gdzie C - koszt jednostkowy gazu koksowniczego;

- 2) części stałej - za zamówioną wielkość strumienia gazu φ_P

$$K_{T_C} = E + B \cdot \varphi_P, \quad (29)$$

gdzie E, B - wielkości obliczone dla poszczególnych przedziałów taryf;

- 3) opłat dodatkowych K_{T_K} .

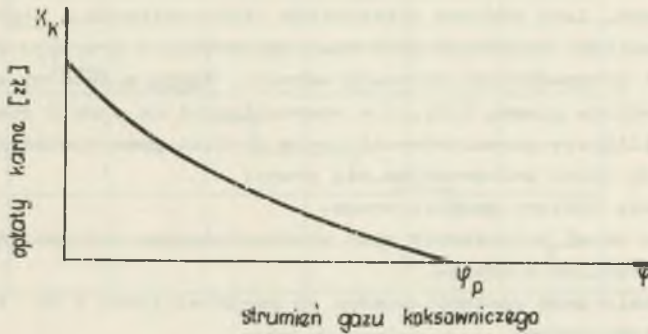
Ostatecznie całkowity koszt zużytego gazu K_T można przedstawić jako sumę poprzednio wyszczególnionych składników tzn.:

$$K_T = K_{T_Z} + K_{T_C} + K_{T_K}. \quad (30)$$

Przyjmując stałe zużycie gazu w jednym roku Φ_T można określić koszt całkowity jego poboru jako funkcję wielkości zamówionego strumienia gazu φ tzn.

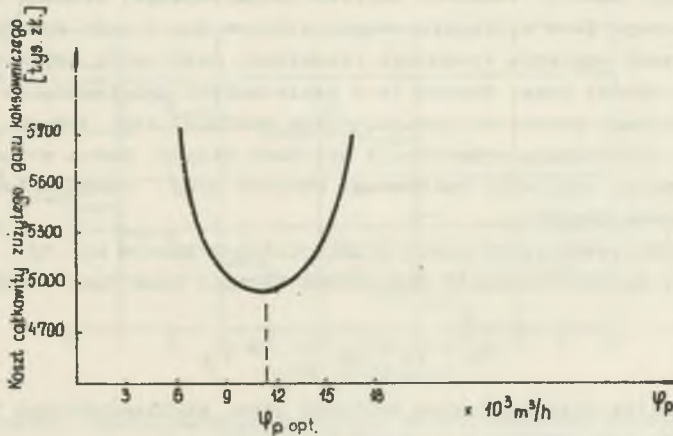
$$K_T = K_{T_Z} + f(\varphi_P). \quad (31)$$

Wielkość opłaty za zamówioną wielkość strumienia gazu φ_p jest funkcją liniową od φ_p . Natomiast opłaty karne maleją w miarę wzrostu wielkości φ_p (rys. 57).



Rys. 57. Wielkość opłat karnych w zależności od wielkości planowanego strumienia gazu koksowniczego

Koszt całkowity w ciągu jednego roku jest sumą tych przebiegów (rys. 58).



Rys. 58. Koszt całkowity opłat za zużyty gaz w zależności od planowanej wielkości strumienia gazu koksowniczego φ_p

Istnieje pewna wielkość zaplanowanego strumienia gazu, przy której koszt roczny za pobór gazu koksowniczego jest minimalny $\varphi_{p \text{ opt.}}$

Obliczenie jego wielkości wymaga znajomości wykresu uporządkowanego zużycia gazu przez zakład. Wielkość kar zależy od maksymalnego poboru godzinowego oraz ilości gazu pobranego nad zaplanowaną wielkość strumienia gazu.

7.2. Optymalizacja odbioru buforowego gazu wielkopiecowego [47, 51]

Gaz wielkopiecowy stanowi dla gospodarki energetycznej huty poważne źródło energii. Wykorzystuje się go do spalania nie tylko w nagrzewnicach wielkopiecowych, lecz również w bateriach koksowniczych, piecach grzewczych, kotłowniach. Produkcja gazu wielkopiecowego z przyczyn zdeterminowanych, jak i przypadkowych wykazuje wahania, które w istotny sposób wpływają na gospodarkę gazową huty, a w szczególności na straty gazu, jak również na stabilizację parametrów ciśnienia w sieci gazu wielkopiecowego.

Kompensację wahań przeprowadza się przez:

- 1) zastosowanie odbioru dwupaliwowego,
- 2) wyrównanie wahań w dostawach gazu wielkopiecowego zmianami dostaw gazu koksowniczego lub ziemnego,
- 3) wykorzystanie gazu wielkopiecowego do produkcji pary i do wytwarzania energii elektrycznej,
- 4) stosowanie zbiorników wyrównawczych.

W polskim hutnictwie przyjął się głównie pierwszy sposób kompensacji wahań w produkcji gazu wielkopiecowego tj. przez zastosowanie odbiorów dwupaliwowych. Z tego względu rozwinęły się konstrukcje kotłów przystosowanych do spalania gazu wielkopiecowego oraz paliwa, które można magazynować (węgiel, mazut). Wielkość odbioru dwupaliwowego, zwanego również odbiorem buforowym gazu wielkopiecowego, dobiera się w taki sposób, aby istniała możliwość spalania średniego strumienia gazu netto wyprodukowanego przez jeden wielki piec. Wynika to z konieczności uwzględnienia okresu postojowego jednego pieca. Do innego wyniku dochodzi się jednak, gdy znany jest wykres uporządkowany produkcji wielkich pieców. Można wówczas poszukiwać optymalnej wielkości buforowego odbioru przy uwzględnieniu zasad rachunku ekonomicznego.

W przypadku równoległej pracy kilku wielkich pieców np. "β" wykres uporządkowany zmian strumienia gazu można uzyskać jako sumę statystyczną:

$$\varphi_G = \varphi_1 * \varphi_2 * \dots * \varphi_\beta$$

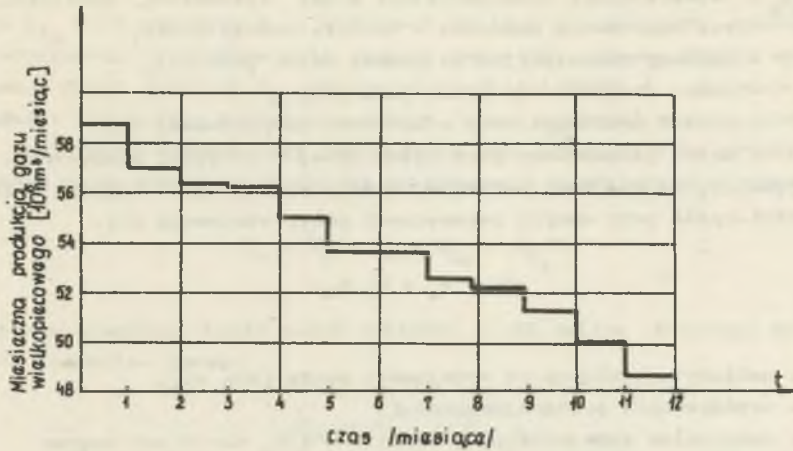
Podobnie analiza poszczególnych odbiorów gazu wielkopiecowego P_1 pozwala na określenie ich sumarycznych wahań (rys. 59).

$$P_{1_1} = P_1 * P_2 * \dots * P_1.$$

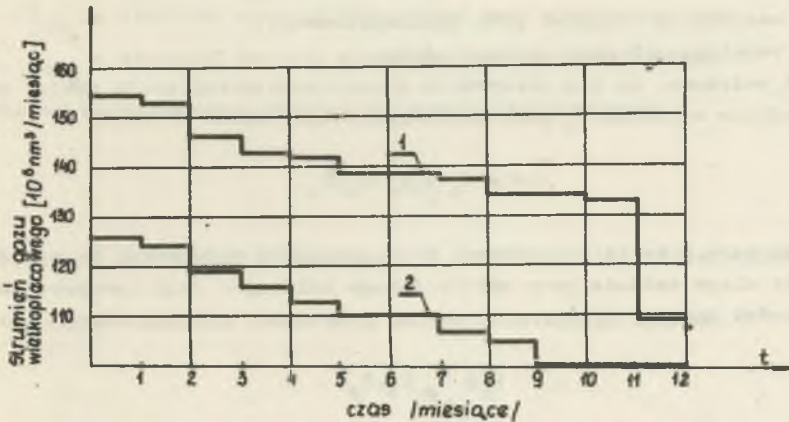
Otrzymane wykresy uporządkowane pozwalają uzyskać różnicę między produkcją a zużyciem gazu wielkopiecowego $\Delta\varphi$, gdzie:

$$\Delta\varphi * P_{1_1} = \varphi_G. \quad (32)$$

Spalanie nadmiaru gazu w kotle dwupaliwowym pozwala na obniżenie kosztów



Rys. 59. Wykres uporządkowany produkcji gazu wielkopiecowego w jednostce 500 m^3 (1974 r.)



Rys. 60. Wykresy uporządkowane produkcji gazu (1) wielkopiecowego oraz jego zużycia (2) w jednym zakładzie hutniczym (1974 r.)

paliwa. Wynika to z faktu, że gaz wielkopiecowy jest paliwem odpadowym, w którym cena energii chemicznej jest mniejsza od ceny energii chemicznej zawartej w innych paliwach.

Zgodnie z obowiązującymi w Polsce zasadami, zakres inwestycji jest optymalny, gdy spełniony jest warunek:

$$E = (k_k + s_k) \cdot \Delta J \cdot x_k + K_0 - De \rightarrow \min \quad (33)$$

- k_k^s, k_k^z - współczynniki uwzględniające stopę dyskontową, amortyzację oraz zamrożenie nakładów w trakcie budowy kotła,
 ΔJ - nakłady inwestycyjne na budowę kotła (mln zł),
 K_e - koszt eksploatacji kotła (mln zł),
 D - roczna produkcja pary w kotłowni dwupaliwowej (t),
 e - koszt jednostkowy pary wytwarzanej w kotłowni klasycznej.

Przyjmując, że wielkość nakładów inwestycyjnych jest funkcją liniową wydajności kotła przy danych parametrach pary, otrzymuje się:

$$\Delta J = J_0 + \dot{G}_x a_G, \quad (34)$$

gdzie:

- J_0 - nakłady niezależne od wydajności kotła (mln zł),
 a_G - współczynnik proporcjonalności,
 \dot{G}_x - maksymalna wydajność pary z kotła w t/h, określona wzorem

$$\dot{G}_x = c_x \cdot \dot{P}_x, \quad (35)$$

w którym:

- \dot{P}_x - maksymalny strumień gazu wielkopieczowego,
 c_x - współczynnik proporcjonalności.

Ponieważ założono, że dla utrzymania stałej wydajności kotła spalać można w nim jedynie strumień \dot{P}_x gazu wielkopieczowego, stąd

$$\Delta J = J_0 + a_G c_x \dot{P}_x.$$

Produkcja pary z kotła buforowego, przy przyjętym założeniu, że wydajność kotła nie ulega zmianie przy użyciu innego paliwa, - jest proporcjonalna do wielkości kotła:

$$D = C_w C_x \dot{P}_x, \quad (36)$$

gdzie: C_w - współczynnik proporcjonalności, określający roczny czas wykorzystania znamionowej wydajności kotła.

Koszty eksploatacji kotła dwupaliwowego K_e zależą od kosztów paliwa K_p oraz pozostałych nakładów eksploatacyjnych K_z

$$K_e = K_p + K_z.$$

W kosztach paliwa wyodrębnia się dwa składniki, a mianowicie:

- K_g - koszt zużytego gazu wielkopieczowego,
 K_{cg} - koszt paliwa dodatkowego, np. węgla.

Wielkość kosztów K_z można przyjąć jako sumę dwóch składników, z których

jeden K_{Z_0} jest niezależny od wielkości kotła w analizowanym zakresie wa-
hań wydajności i obejmuje m.in. koszty remontów, płace, koszty ogólnofa-
bryczne. Drugi składnik K_Z zależy od wielkości kotła i obejmuje takie
składniki jak koszty transportu paliwa, koszt zużytej energii elektrycz-
nej, koszt preparowania wody zasilającej itp. Uwzględniając przedstawione
elementy można przedstawić koszty eksploatacji w następującej postaci:

$$K_e = K_g + K_d + K_{Z_0} + K_Z D. \quad (37)$$

Z bilansu cieplnego kotła można obliczyć ilość paliwa zużytego przez ko-
ciół w jednostce czasu:

$$\dot{E}_{ch} = \dot{E}_{ch_g} + \dot{E}_{ch_d}, \quad (38)$$

gdzie:

\dot{E}_{ch} - strumień energii chemicznej paliwa zużyty przez kocioł o wy-
dajności \dot{G}_x ,

\dot{E}_{ch_g} - strumień energii chemicznej gazu wielkopieczowego,

\dot{E}_{ch_d} - strumień energii chemicznej paliwa dodatkowego.

Godzinowy koszt energii chemicznej gazu wielkopieczowego

$$\dot{K}_g = \dot{E}_{ch_g} \cdot k_g, \quad (39)$$

gdzie: k_g - koszt jednostkowy energii chemicznej gazu wielkopieczowego w
zł/kJ.

Podobnie koszt energii chemicznej paliwa dodatkowego wynosi:

$$\dot{K}_d = \dot{E}_{ch_d} k_d, \quad (40)$$

gdzie: k_d - koszt jednostkowy energii chemicznej paliwa dodatkowego w
zł/kJ.

Ilość paliwa dodatkowego wynika z określenia różnicy całkowitej ener-
gii chemicznej paliwa zużywanej przez kocioł i energii chemicznej gazu
wielkopieczowego. Stąd strumień kosztów paliwa można przedstawić w nastę-
pującej postaci:

$$\dot{K}_p = \dot{E}_{ch_g} k_g + (\dot{E}_{ch} - \dot{E}_{ch_g}) k_d$$

lub

$$\dot{K}_p = \dot{E}_{ch} k_d - \dot{E}_{ch_g} (k_d - k_g). \quad (41)$$

W okresie jednego roku koszty paliwa wynoszą:

$$K_p = \sum_{l=1}^R \dot{K}_{pl},$$

gdzie: R - liczba godzin pracy kotła w roku,
stąd

$$K_p = \sum_{l=1}^R \left[\dot{E}_{chl} k_d - \dot{E}_{ch_{g1}} (k_d - k_g) \right]. \quad (42)$$

Przyjęto, że zapotrzebowanie na energię cieplną dla kotła jest wielkością stałą w zależności od czasu, to znaczy, że:

$$\dot{E}_{chl} = c_x \frac{\Delta_1}{\eta_k} P_x, \quad (43)$$

gdzie: η_k - sprawność kotła,
 Δ_1 - przyrost entalpii w kotle.

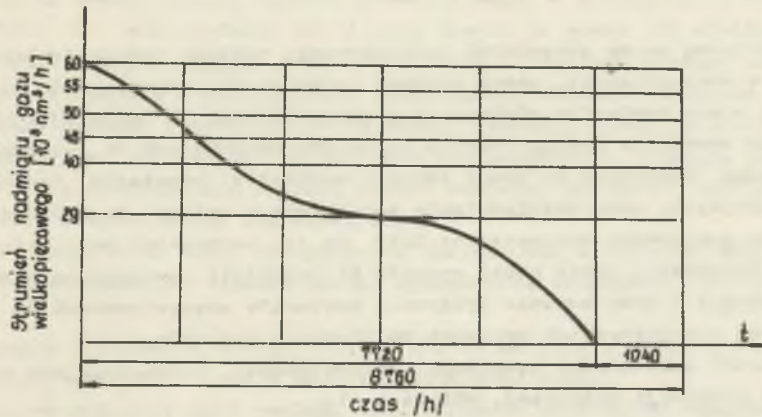
Stąd po wykorzystaniu zależności ww. otrzyma się dla pierwszego członu wzoru (42) równość:

$$\sum_{l=1}^R \dot{E}_{chl} = \frac{\Delta_1}{\eta_k} \dot{P}_x R c_x$$

Drugi człon wzoru (42) można obliczyć znając wykres uporządkowany, uzyskany z kompozycji wykresów zapotrzebowania i wytwarzania gazu wielkopiecowego (rys. 61),

$$\sum_{l=1}^R \dot{E}_{ch_{g1}} = \left[\dot{P}_x x \Delta t + \sum_{l=x+1}^R \dot{P}_l \Delta t \right] W_{dg}, \quad (44)$$

gdzie: \dot{P}_x - maksymalny strumień gazu wielkopiecowego,
 x - liczba przyjętych przedziałów czasu w obszarze strumienia maksymalnego gazu wielkopiecowego,
 Δt - przyjęty jednostkowy przedział czasowy,
 W_{dg} - wartość opałowa gazu wielkopiecowego.



Rys. 61. Wykres uporządkowany nadmiaru gazu wielkopieczowego jednego zakładu hutniczego (1974 r.)

Stąd po dokonaniu tych przekształceń

$$K_P = c_x \frac{\Delta t}{v_k} \dot{P}_x k_d R - \left[\dot{P}_x x \Delta t + \sum_{l=x+1}^R \dot{P}_l \Delta t \right] W_{dG} (k_d - k_g) \quad (45)$$

Przyjęto, że ewentualny postój remontowy jednego pieca nie wpłynie na zwiększenie poboru gazu ziemnego lub koksowniczego z sieci gazownictwa ponad przewidziany w umowie szczyt, a więc nie spowoduje wzrostu kosztów eksploatacyjnych w formie kary za jego przekroczenie. Ostatecznie więc, podstawiając wzory poprzednio uzyskane do ww. wzoru, otrzymuje się następujące wyrażenie na E:

$$E = (k_k + s_k) z_k (j_o + a_G \cdot c_x \dot{P}_x) + \left\{ \left[c_x \frac{\Delta t}{v_k} \dot{P}_x k_d R - (\dot{P}_x x \Delta t + \sum_{l=x+1}^R \dot{P}_l \Delta t) W_{dG} (k_d - k_g) \right] + K_{Z_o} + K_{Z_z} c_w c_x \dot{P}_x \right\} - e c_w c_x \dot{P}_x \quad \text{--- min.} \quad (46)$$

Jeżeli, tak jak to na wstępie przyjęto, E potraktuje się jako funkcję \dot{P}_x , to rozwiązanie równania (46) otrzymuje się przez podstawienie kolejnych wartości \dot{P}_x .

8. PODSUMOWANIE

Kompleksową ocenę gospodarki energetycznej zakładu przemysłowego, a hutniczego w szczególności, można uzyskać tylko wtedy, gdy przyjmie się jako podstawę oceny kryterium efektywności ekonomicznej. W takim ujęciu używa się wyważenie wpływu różnych czynników rzutuujących na gospodarkę energetyczną. Umożliwia to ocenę różnych wariantów rozwiązań techniczno-organizacyjnych, przy uwzględnieniu podstawowego wpływu technologii produkcji na gospodarkę energetyczną huty. Ma to szczególne znaczenie w zakładzie hutniczym, gdzie koszt wyrobów kilkakrotnie przewyższa koszt paliw i energii i przyjmowanie wyłącznie kryteriów energetycznych do oceny gospodarek energetycznych prowadzi do błędnych wniosków.

Na skutki ekonomiczne gospodarki energetycznej, uwidaczniające się w kosztach produkcji hutniczej, składają się:

- 1) koszty poniesione przez zakład w wyniku poboru określonej ilości paliw i energii (łącznie z nakładami niezbędnymi na przesyłanie i rozdzielanie),
- 2) straty powstałe w przedsiębiorstwie w następstwie przerw dostawy paliw i energii, względnie w następstwie niewłaściwych parametrów nośników energii.

Ww. czynniki, rzutuujące na wielkość kosztów prowadzenia gospodarki energetycznej zakładu, zależą nie tylko od wielkości zużytej energii, lecz również od wielkości jej strumienia. Z tych powodów taryfy opłat za zużycie energii przewidują:

- 1) opłaty za użytą ilość nośnika energii K_{Tz} ,
- 2) opłaty za zamówioną maksymalną wielkość strumienia energii K_{Tc} ,
- 3) opłaty karne w przypadku przekroczenia zamówionej wielkości strumienia K_{Tk} ,
- 4) bonifikaty w przypadku odohyleń parametrów nośnika energii od wielkości przyjętych w umowie o dostawę.

Opłaty uzależnione od wahań strumienia pobieranej energii przez zakład hutniczy tj. opłaty wyszczególnione w punktach 2 i 3, sięgają 30% całkowitych opłat za pobór energii. Pominięcie tego faktu przy dużych wahańach strumienia wprowadza istotny błąd do analiz ekonomicznych.

Również dobór urządzeń służących do przesyłania i rozdzielania energii musi uwzględniać wahania w poborze energii, narzucone przez techniczno-organizacyjne czynniki procesu technologicznego. Z tego też powodu wielkość nakładów inwestycyjnych, potrzebnych do budowy takich urządzeń, uzależniona jest nie tylko od przewidywanego zużycia energii, lecz również od wielkości wahań jej strumienia.

W licznych urządzeniach hutniczych dopuszcza się małe wahania niektórych parametrów nośników energii, np. ciśnienia gazów, napięcia elektrycznego itp. Potrzeba doboru odpowiednich sieci energetycznych lub urządzeń stabilizujących wymaga znajomości wahań strumienia energii w okresie pracy ustalonej.

Mimo uznania istotności wpływu wahań strumienia energii na efektywność gospodarki energetycznej zakładu przemysłowego, a hutniczego w szczególności, brak jest odpowiednich metod oraz danych do oceny ich wielkości. Prognozowanie zużycia energii oraz dobór sieci i urządzeń energetycznych odbywa się w oparciu o statystyczne jednostkowe wskaźniki zużycia energii podobnego procesu i przy założeniu pewnej rezerwy, której wielkość często wyłącznie jest uzależniona od przyczyn subiektywnych. Sytuacja taka powoduje, że po uruchomieniu obiektu często zachodzi potrzeba realizacji dodatkowych przedsięwzięć usprawniających.

Urządzenia oraz sieci energetyczne dobiera się z rezerwą, która w pewnym stopniu zmniejsza ujemne skutki spowodowane wahaniami w poborze energii.

Wahania strumienia energii dzielą się na wahania w okresach nieustalonej pracy urządzenia oraz w okresach ustalonej pracy.

Rozpowszechniony jest pogląd, że w okresach ustalonych wahania w zużyciu energii nie występują, a stosunkowo krótkotrwałe okresy nieustalonych pracy nie wpływają w istotny sposób na zmianę charakteru poboru. Są to między innymi główne powody, dla których dystrybutor energii wymaga, aby przedsiębiorstwo zlikwidowało wahania w zużyciu energii i stawia ten warunek jako jedno z kryteriów oceny całej gospodarki energetycznej zakładu.

Analiza struktury procesów hutnictwa wykazuje, że proces produkcyjny narzuca pewne wahania w zużyciu poszczególnych nośników energii. Wynikają one ze specyfiki techniczno-organizacyjnej procesu technologicznego. Określone przez autora wykresy uporządkowane dla podstawowych technologii hutnictwa wykazują wahania w poborze strumienia energii dochodzące w krańcowych przypadkach do $\pm 50\%$ wartości średniej wielkości zużycia energii. Znajomość ich umożliwia w analizowanym przypadku określenie optymalnego rozwiązania organizacyjno-technicznego. Przytoczone przykłady optymalizacji w rozdziale 7 niniejszego opracowania pozwoliły po ich praktycznym wdrożeniu na uzyskanie oszczędności kilku milionów złotych rocznie.

Badania statystyczne w konkretnych warunkach jednego zakładu mają jednak ograniczony zasięg wykorzystania, albowiem dotyczą określonych warunków lokalnych.

Dla ujęcia analitycznego wielkości wahań w zużyciu energii zachodziła potrzeba analizy struktury organizacyjnej procesu technologicznego w warunkach stacjonarnej pracy. Przyjęcie upraszczającego założenia, które potwierdziła praktyczna weryfikacja prognoz metodą zaproponowaną przez autora, że praca poszczególnych urządzeń w ramach jednego cyklu determinującego wydajność procesu nie jest uwarunkowana pracą innych urządzeń procesu, umożliwiła uzyskanie prognozy wykresu uporządkowanego wahań strumienia energii dla całego procesu technologicznego, spowodowanych czynnikami organizacyjnymi. Z przeprowadzonych badań wynika, że czynniki organizacyjne, oprócz różnorodności produkowanych asortymentów, w zasadniczy sposób rzutują na kształt krzywej uporządkowanej poboru strumienia energii przez proces technologiczny.

Uwzględnienie wpływu innych parametrów wymaga znajomości ich wykresów uporządkowanych oraz odpowiadających im wykresów zmian poboru strumienia energii w stosunku do wartości średniej.

W zdecydowanej większości przypadków z wystarczającą dokładnością można się ograniczyć do liniowej aproksymacji funkcji zależności wahań parametrów i odpowiadających im wahań w zużyciu energii. Wahania tego rodzaju parametrów mają charakter przypadkowy i zwykle są nieuwarunkowane czynnikami organizacyjnymi. Pozwala to na sumowanie statystyczne różnych wpływów.

Uwzględnienie zmian technicznych urządzeń pobierających energię oraz wpływów zewnętrznych rzutuujących na wielkość poboru energii zależy od przyjętego horyzontu prognozy. W przypadku prognoz na okres krótszy od cyklu międzyremontowego lub jednego roku wpływ tych parametrów uwzględnić można w zmianie φ_{sr} strumienia energii dla warunków średnich. W prognozach długookresowych wahania spowodowane tymi czynnikami można przedstawić w formie wykresów uporządkowanych i z uwagi na ich nieuwarunkowanie z poprzednio przeanalizowanymi parametrami, dodać statystycznie do wykresów uporządkowanych, uzyskanych przy uwzględnieniu zmian organizacyjnych i przypadkowych procesu technologicznego. Zaproponowana metoda pozwala zatem przewidywać zmianę strumienia poszczególnych nośników energii dla wydziału rozbudowującego się lub dla intensyfikującego pracę swoich urządzeń. Jest to następstwem wyprowadzenia prognozy z modelu struktury zmian parametrów rzutuujących na wielkość zużycia energii procesu technologicznego.

Dokładność prognozy wahań w poborze energii przez urządzenia procesu technologicznego zależy również od dokładności prognozy wartości średnich poboru strumienia energii. Korzystanie z wartości nominalnych strumienia energii poszczególnych urządzeń procesu powoduje stosunkowo duże błędy. Znacznie lepsze wyniki uzyskuje się korzystając z obliczeń potrzebnej wielkości strumienia energii wykonanych przez technologów lub też wielkości zużycia energii zmierzonych na podobnych urządzeniach, pracujących w warunkach podobnych do prognozowanych.

Metoda zakłada znajomość wykresów uporządkowanych wahań przypadkowych parametrów technologicznych oraz paliw i energii w konkretnych warunkach danego procesu technologicznego.

Praktyczne korzystanie z tego rodzaju wykresów w hutnictwie jest stosunkowo rzadkie mimo, że bieżące pomiary stanowią wystarczającą bazę do ich określenia.

Upraszczające założenia metody, jak również ograniczenie się do istotnych parametrów procesu technologicznego powoduje odchylenie wykresu uporządkowanego, uzyskanego zaproponowaną metodą, od przebiegu rzeczywistego.

W szczególności czynniki subiektywne wprowadzone przez obsługę urządzeń zużywających energię powodują, że maksymalne odchylenie od średniej wartości strumienia nośnika energii procesu technologicznego jest w pro-

gnozie mniejsze od rzeczywistych przebiegów. Brak innych metod, które pozwalałyby na prognozę wahań zużycia nośników energii w procesach hutniczych, spowodował, że do oceny zaproponowanej metody użyto porównania prognozy wykresu uporządkowanego wahań określonego nośnika energii z danymi okresu poprzedzającego z wykresem uporządkowanym rzeczywistych wahań nośnika energii dla okresu prognozy. Średnie odchylenie standardowe między tymi wykresami nie przekraczało w analizowanych przypadkach 15%.

9. LITERATURA

- [1] Ayres R.U.: Prognozowanie rozwoju techniki i planowania długookresowe. PWE, Warszawa 1973.
- [2] Benesch R., Janowski J., Mazanek E.: Proces wielkopiecowy. Wyd. Śląsk, 1973.
- [3] Bładowski S.: Metody sieciowe w planowaniu i organizacji pracy. PWE, Warszawa 1970.
- [4] Bocchino W.A.: Systemy informacyjne zarządzania. PWN, Warszawa 1975.
- [5] Bellman R.: Adaptacyjne procesy sterowania. PWN, Warszawa 1965.
- [6] Beckenbach E.: Nowoczesna matematyka dla inżynierów. Tom I, II. PWN, Warszawa 1962/68.
- [7] Biczysko J., Pocięcha Z., Michna J., Jędrzejewski K.: Badania nad chłodzeniem wodnym pieców martenowskich, Hutnik 1967/5.
- [8] Dobrzańska J.: Odwzorowanie pracy jednostek wytwórczych i optymalizacja ich struktury w systemie elektroenergetycznym. Archiwum Energetyki, 1972/2.
- [9] Dobrzańska J.: Bilansowanie energii jako element systemu zarządzania w zakresie eksploatacji zakładów hutniczych. a Materiały Konferencyjne SITPH, Katowice czerwiec 1974 r.
- [10] Daniels A.: Podstawy analizy systemów. WNT, Warszawa 1974.
- [11] Fuchs T.: Die Modellosung bei der INPUT-AUTPUT Analyse. VIII Oesterreichischer Mathematikerkongress, Wien 1973.
- [12] Filipowicz J., Hebda J.: Model transportu wewnątrz-zakładowego kombinatu metalurgicznego. Zeszyty Naukowe AGH, 1975. Automatyka 2.9.
- [13] Fuks, Hajduk: Algorytm produkcji zapotrzebowania gazu dla zakładu metalurgicznego. Zeszyty Naukowe AGH, 1975. Automatyka 2.9.
- [14] Falb A.: Sterowanie optymalne. PWN, Warszawa 1970.
- [15] Ford L., Fulkerson D.: Przepływy w sieciach. PWN, Warszawa 1969.
- [16] Findeisen W.: Wielopoziomowe układy. PWN, Warszawa 1974.
- [17] Filipowicz J., Siemianowski J.: Metody prognozowania zapotrzebowania energii, elektrycznej i obciążeń systemu elektroenergetycznego. Archiwum Energetyki 1972/2.
- [18] Gaussens J.: Problemy decyzji w badaniach i pracach rozwojowych. WNT, Warszawa 1975.
- [19] Goddard L.S.: Metody matematyczne badań operacyjnych. PWN, Warszawa 1965.
- [20] Gordon G.: Symulacja systemów. WNT Warszawa 1974.
- [21] Goldberger A.S.: Teoria ekonometrii PWE, Warszawa 1975.

- [22] Mc Guire J.W.: Stan nauk w zarządzaniu. Przegląd Organizacji, 12/74.
- [23] Gosztowt W.: Gospodarka elektroenergetyczna w przemyśle. WNT Warszawa 1971.
- [24] Hellwig Z.: Zarys ekonometrii, PWE, Warszawa 1973.
- [25] Holiday L.: Integracja technologii. WNT Warszawa 1973.
- [26] Hall A.D.: Podstawy techniki systemów. PWN, Warszawa 1968.
- [27] Kasprzak T.: Badania operacyjne w nowoczesnym zarządzaniu. PWE, Warszawa 1974.
- [28] Kulikowski R.: Sterowanie w wielkich systemach WNT, Warszawa 1974.
- [29] Kopecki K.: Analiza zmienności obciążeń systemów energetycznych w Polsce. Zeszyty Naukowe Polit. Gdańskiej, 1958/2.
- [30] Krasowski S., Michna J.: Optymalizacja ciśnienia gazu wielkopiecowego. Gospodarka Paliwami i Energią, 1974/4.
- [31] Kwiatkowski S.: Problemy programowania rozwoju systemu elektroenergetycznego. Archiwum Energetyki, 1972/2.
- [32] Lange O.: Optymalne decyzje. PWN, Warszawa 1969.
- [33] Luenberges D.G.: Teoria optymalizacji. PWN Warszawa 1974.
- [34] Łojewski, Olesiński: Planowanie inwestycji i rezerw w warunkach niepewności. PWE, Warszawa 1971.
- [35] Mańczak K.: Metoda intensyfikacji wielowymiarowych obiektów sterowania. WNT, Warszawa 1970.
- [36] Matczewski A.: Uwagi i propozycje w zakresie metod bilansowania energii dla potrzeb hutnictwa. Materiały konferencyjne SITPH, Katowice czerwiec 1974.
- [37] Mazanek E., Sabela W.: Proces spalania i wymiany ciepła w wielkim piecu. Wyd. Śląsk, Katowice 1970.
- [38] Muler Y.: Wprowadzenie do nauki organizacji i badań operacyjnych tom I, II. PWN, Warszawa 1971.
- [39] Mikulski J.: Bilansowanie zużycia energii w hutnictwie. Materiały konferencyjne SITPH, Katowice czerwiec 1974.
- [40] Mikulski J.: Wskaźniki energetyczne w hutnictwie żelaza. Wyd. Śląsk, Katowice 1970.
- [41] Mikulski J.: Energetyka w hutnictwie żelaza. WGH Katowice 1956.
- [42] Mikulski J., Trojak T.: Metoda badania ekonomicznej efektywności użytkowania nośników energii. GIG 1973/74.
- [43] Michna J.: Die Ausnutzung der Hochofengase in Huttenwerken im geschlossenen Kreislauf. Energetiker-Colloquium, Berlin 1964.
- [44] Michna J.: Ocena jednostkowego zużycia energii w procesach hutniczych o charakterze dynamicznym 1969. Materiały międzynarodowej Konferencji Energetyki Przemysłowej, Warna 1969.
- [45] Michna J.: Analiza zmienności wytwarzania i zużywania paliw grzewczych w hutnictwie. Gospodarka Paliwami i Energią, 1969/4.

- [46] Michna J.: Optymalizacja planowania zużycia gazu przez zakład hutniczy. Hutnik 1970/1.
- [47] Michna J.: Optymalizacja odbioru buforowego gazu wielkopiecowego. Hutnik 1971/3.
- [48] Michna J.: Analiza skutków zmian taryfy gazowej na przykładzie zakładów hutniczych. Gospodarka Paliwami i Energią, 1971/6.
- [49] Michna J.: Automatyzacja procesów hutniczych. Wektory 1973/7.
- [50] Matula E., Michna J.: Taryfy energii elektrycznej dla dużych odbiorców przemysłowych. Gospodarka Paliwami i Energią, 1972/5.
- [51] Maroń J., Michna J.: Optymalizacja kotła dwupaliwowego jako buforowego odbioru gazu wielkopiecowego. Problemy Projektowania, 1973/7.
- [52] Praca zbiorowa. Systemy pomiarowe. Skrypt Politechniki Śląskiej, 1974.
- [53] Pawłowski Z.: Prognozy ekonometryczne. PWN, Warszawa 1973.
- [54] Pałowski Z.: Ekonometria. PWN 1969, Warszawa 1975.
- [55] Piasecki St.: Optymalizacja systemów obsługi technicznej. WNT, Warszawa 1972.
- [56] Puchała A.: Teoria przetworników elektromechanicznych. Skrypt AGH, 1969.
- [57] Robiohaud L., Boissert M., Robert J.: Grafy przepływu. PWN, Warszawa 1968.
- [58] Radzikowski W.: Programowanie liniowe i nieliniowe ekonomistów. PWE, Warszawa 1971.
- [59] Świeszników A.A.: Podstawowe metody funkcji losowej. PWN, Warszawa 1965.
- [60] Sedlaczek J.: Einführung in die Graphentheorie. Teuber Verlag, Leipzig 1968.
- [61] Seidler J.: Systemy przesyłania informacji cyfrowych. PWN, Warszawa 1972.
- [62] Szargut J., Michna J., Matuszewski K.: Optymalna częstość remontów pieca grzejnego. Hutnik 1973/4.
- [63] Szargut J.: Energetyka cieplna w hutnictwie. Wyd. Śląsk, Katowice 1971.
- [64] Szargut J.: Uporządkowane wykresy wydajności urządzeń równoległe działających. GPE 1969/9.
- [65] Szargut J.: Uogólniona metoda podziału kosztów w procesach skojarzonych. GPE 1969/4.
- [66] Szargut J.: Metoda kompleksowa sporządzania bilansu energetycznego hutny. Materiały konferencyjne SITPH, Katowice czerwiec 1974.
- [67] Bvan der Wens: Wstęp do teorii badań operacyjnych. PWN, Warszawa 1970.
- [68] Wilson E.B.: Wstęp do badań naukowych. PWN, Warszawa 1968.
- [69] Warozewski Z.: Zużycie nośników energii w hutnictwie żelaza i stali i jego kontrola. Materiały konferencyjne SITPH, Warszawa czerwiec 1974.
- [70] Warozewski Z.: Systematyka i metodyka obliczania wskaźników jednostkowego zużycia różnych nośników energii w przemyśle. IMŻ nr 964.
- [71] Wusatowski R.: Podstawy procesu walcowania. PWT, Katowice 1952.

SPIS WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

- a_T - wskaźnik zużycia energii proporcjonalnej do wielkości produkcji,
- a_{o_1} - współczynnik proporcjonalności między wydajnością kotła oraz nakładami inwestycyjnymi,
- a_T - wskaźnik zużycia energii dla okresu $T \left(\frac{\text{kWh}}{t} \right)$,
- A_0, A_1, A_2 - współczynniki wielomianowe,
- B - ilości równoległe działających urządzeń podstawowych Z,
- b - ilość równoległe pracujących urządzeń pomocniczych zużywających nośnik energii,
- c_w - współczynnik określający wykorzystanie znamionowej wielkości kotła w jednym roku,
- c_x - współczynnik proporcjonalności między maksymalną wydajnością pary a maksymalnym zużyciem gazu wielkopiecowego,
- c_{ϕ} - koszt jednostkowy gazu koksowniczego,
- D - roczna produkcja pary z kotłowni dwupaliwowej - t,
- E_{ch} - strumień energii chemicznej paliwa zużytej przez kocioł,
- e - wskaźnik efektywności ekonomicznej kotłowni nowo wybudowanej wytwarzającej taki sam efekt użyteczny jak kotłownia dwupaliwowa,
- E, B - współczynnik równania liniowego kosztu stałego w zależności od planowanego maksymalnego godzinowego zużycia gazu w okresie T,
- F - ilość parametrów charakteryzujących czynniki zewnętrzne rzutujące na zużycie energii,
- G - wydajność kotła t/h,
- g - indeks urządzeń w kanałach wyjściowych,
- h - indeks urządzeń w kanałach wejściowych,
- i - indeks kanałów wejściowych procesu,
- J_o - nakłady jałowe, niezależne od wydajności kotła - zł,
- K - liczby naturalne,
- k_l^z, k_{σ}^z - współczynnik proporcjonalności wydajności procesu,
- k_d - koszt jednostkowy energii chemicznej paliwa dodatkowego,
- k_g - koszt jednostkowy energii chemicznej gazu wielkopiecowego,
- k_k, s_k, z_k - współczynniki uwzględniające stopę dyskontową, amortyzację oraz zamrożenie nakładów w trakcie budowy kotła,
- K_T - koszt opłat karnych w okresie T,
- K_p - koszt paliwa zużytego w kotle - zł,

- K_g - koszt zużytego gazu wielkopiecowego - zł,
- K_e - całkowite koszty eksploatacji kotła - zł,
- K_{Tz} - koszt proporcjonalny do zużytego gazu koksowniczego w okresie T,
- K_{T0} - koszt stały opłat za gaz koksowniczy zużyty w okresie T,
- K_z - koszty eksploatacyjne (poza kosztami paliwa) - zł,
- K_T - opłata całkowita za gaz koksowniczy zużyty w okresie,
- K_d - koszt paliwa dodatkowego - zł,
- M - ilość parametrów charakteryzujących organizację procesu a wpływających na wielkość zużycia energii,
- m - ilość kanałów wyjściowych,
- n - ilość kanałów wejściowych,
- P - gęstość prawdopodobieństwa odchyień strumienia od średniej wartości,
- \dot{P}_x - maksymalny strumień gazu wielkopiecowego,
- $P_{\frac{Zu\delta}{\delta}}^{\delta}$ - prawdopodobieństwo występowania strumienia $\varphi_{\frac{Zu\delta}{\delta}}^{\delta}$ w okresach $T_{\frac{Zu\delta}{\delta}}$,
- q - ilość okresów czasu pracy urządzenia γ zużywającego nośnik δ w procesie Z przy produkcji asortymentu u, z których wielkość pobieranego strumienia $\varphi_{\frac{Zu\delta}{\delta}}^{\delta}$ jest wielkością stałą,
- Q_T - ilość wyrobów wyprodukowanych w okresie T,
- Q_T^s - produkcja całkowita (surowa) w okresie,
- R - ilość godzin pracy kotła,
- a_{Σ} - ilość parametrów nośnika energii rzutuujących na zużycie energii,
- s - indeks jednej z kombinacji \mathcal{X} - pracujących urządzeń w procesie Z,
- t_0 - czas jałowy pracy urządzeń w okresie T (sek),
- t_{00} - czas przerwy urządzenia w okresie,
- t_p - czas pracy urządzenia w okresie T (sek),
- T_r - czas postoju remontowego w okresie T,
- $T_{\frac{Zu\delta}{\delta}}^{\delta}$ - cykl międzyremontowy urządzeń w okresie T (h),
- u - indeks asortymentów produkcji,
- U - ilość asortymentów produkcji,
- W^z - wydajność procesu Z,
- W - ilość parametrów technologicznych rzutuujących na wielkość zużycia energii,
- x - względne odchylenie strumienia od wartości średniej strumienia,
- X - ilość przedziałów czasowych w okresie, gdzie różnica strumieni produkcji i zużycia gazu są większe od \dot{P}_x ,
- Y - ilość przedziałów czasowych dla okresów, gdy różnice między strumieniem produkcji i zużyciem gazu są mniejsze od \dot{P}_x ,
- Z - symbol procesu technologicznego,

- α_e - parametr materiału technologicznego, rzutuującego na wielkość zużycia nośnika energii,
 $\bar{\alpha}_e$ - wielkość nominalna parametru α_e ,
 β - ilość urządzeń zużywających w procesie Z nośnik energii δ ,
 γ - indeks urządzeń używających w procesie Z nośnik energii δ ,
 δ - indeks poszczególnych nośników energii zużywanych w procesie Z,
 $\Delta\varphi$ - wykres uporządkowany różnicy produkcji i zużycia gazu wielkopiecowego,
 ΔJ - nakłady inwestycyjne na budowę kotła (zł),
 $\Delta t \frac{Zu\delta}{\gamma\epsilon}$ - okresy czasu pracy urządzenia γ zużywającego nośnik δ w procesie Z przy produkcji asortymentu u, w których pobierana wielkość strumienia $\varphi \frac{Zu\delta}{\gamma\epsilon}$ jest wielkością stałą,
 ΔQ_T - ilość wybraków w okresie T,
 $\Delta\alpha_{e \max}$ - maksymalne odchylenia parametru α_e od $\bar{\alpha}_e$,
 Δi - przyrost entalpii w kotle,
 γ_d - parametr nośnika energii δ rzutuujący na zużycie energii,
 γ_k - sprawność kotła,
 γ - liczba przedziałów maksymalnej wielkości strumienia,
 κ - liczba kombinacji strumienia,
 μ - indeks ilości pracujących urządzeń w procesie Z w czasie jednego cyklu,
 $\sum_t^{Z\delta}$ - czynnik reprezentujący przypadkowe wahania strumienia nośnika energii δ w procesie Z,
 g - pewna ilość pracujących urządzeń γ w procesie Z w czasie jednego cyklu,
 G_c - ilość parametrów charakteryzujących stan techniczny urządzenia lub czynników zewnętrznych, a rzutuujących na zużycie energii przez niego,
 φ - chwilowa wartość strumienia energii kW,
 φ_p - wykres uporządkowany zużycia godzinowego gazu koksowniczego przez wydział,
 φ_ψ - zużycie energii w okresie T niezależne od wielkości produkcji,
 Φ_{cT} - ilość energii zużytej w okresie T (kWh),
 Φ_T - ilość wydziałów zużywających gaz koksowniczy w pewnym zakładzie hutniczym.

METODA PROGNOZOWANIA WYKRESÓW STATYSTYCZNYCH RÓŻNYCH POSTACI ENERGII
W ZAKŁADZIE PRZEMYSŁOWYM HUTNICZYM

S t r e s z c z e n i e

Omówiono, stosowane obecnie w przemyśle metody przewidywania zapotrzebowania strumienia nośników energii i wskazano na błędy jakie popełnia się używając je w praktyce hutniczej.

Analiza danych statystycznych zużycia energii i paliw, zebranych w jednym zakładzie hutniczym wykazała, że wahania strumienia pobranego nośnika energii są nieodłączną cechą każdego procesu technologicznego w okresie jego pracy ustalonej.

Badania struktury procesów technologicznych hutnictwa pozwoliły na określenie modelu procesu technologicznego umożliwiające ilościową analizę czynników wpływających na wielkość wahań strumienia pobranego nośnika energii.

W następstwie tych badań zaproponowano metodę prognozowania wykresów statystycznych różnych postaci energii.

Praktyczną użyteczność zaproponowanej metody pokazano na kilku przykładach charakterystycznych dla hutnictwa.

Zastosowanie metody do rozwiązania konkretnych problemów energetycznych huty zilustrowano na dwóch przykładach z praktyki przemysłowej, w których uzyskano poważne efekty ekonomiczne.

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ДИАГРАММ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ В ПРОМЫШЛЕННОМ ЗАВОДЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ

Р е з ю м е

Проведено методы прогнозирования запотребования потока энергоносителей применяемые в настоящее время и показано ошибки которые делается при использовании этих метод в металлургической практике.

Анализ статических данных расхода энергии в одном металлургическом заводе доказал, что колебания потока употребленного энергоносителя неразрывно связаны с технологическом процессом во время его работы в установившимся режиме. Исследования структуры технологических процессов металлургии допустили определить модель технологического процесса пригодную для количественного анализа факторов влияющих на размеры колебания потока употребленного энергоносителя. В результате этих исследований предложено метод прогнозирования статических диаграмм различных видов энергии. Полезность предложенного метода представлено в нескольких примерах характеристических для металлургии.

Применение предложенного метода к решению конкретных энергетических проблем металлургического завода представлено в 2 примерах с промышленной практики, в которых получено значительные экономические эффекты.

FORECASTING METHOD FOR STATISTIC DIAGRAMS OF VARIOUS ENERGY FORMS
AT AN INDUSTRIAL METALLURGICAL PLANT

S u m m a r y

Methods are being discussed of energy carrier flow forecast, which are presently used at industrial plants and errors are being indicated, which are made at their application for metallurgical practice.

An analysis of statistic data for energy and fuel consumption, which were gathered at a metallurgical plant, has shown that fluctuations of consumed energy carrier flow are an inseparable feature of each technological process during its established operation.

Investigations of metallurgic process structure made it possible to define a technological process model, which is permitting performance of an quantitative analysis of factors influencing fluctuation degree of consumed energy carrier flow.

As result of these investigations a method of statistic diagram forecasting for various energy forms are being suggested.

Practical usefulness of method suggested is being shown on several examples, which are typical for iron and steel industry.

Application of method described for solving of actual energy problems at a steel plant is being shown on two examples taken from industrial practice, where considerable economic effects were obtained.