

# ENERGETYKA

ORGAN MINISTERSTWA ENERGETYKI  
PISMO POŚWIĘCONE ZAGADNIENIOM ENERGETYKI

ROK IX

MARZEC-KWIECIEŃ 1955

ZESZYT 2

## *Uchwała uczestników II Krajowej Narady Aktywu Energetycznego z dnia 29 i 30 I. 1955 w Warszawie*

Przed energetyką, która w ciągu 10 lat naszego niepodległego bytu przeszła ogromną drogę rozwoju, stoją w latach 1955 ÷ 1957 szczególnie trudne i ważne zadania.

Referat tow. Bieruta oraz Uchwały III Plenum KC-PZPR wskazują nam energetykom drogę pełnego zaspokojenia wzrastających potrzeb miast i wsi w energię elektryczną — drogę terminowego uruchamiania nowych mocy produkcyjnych, znacznego poprawienia eksploatacji i remontów dla wykorzystania wszystkich możliwości produkcyjnych i obniżenia zużycia węgla oraz energii elektrycznej na potrzeby własne.

Narada aktywu partyjno-gospodarczego nad zadaniami energetyki w latach 1955 ÷ 1957 wynikającymi z Uchwały Prezydium Rządu Nr 863 z dnia 11. XII. 1954 r. postanawia:

Nieustannie podnosić kwalifikacje, dyscyplinę ruchową i odpowiedzialność personelu eksploatacyjnego, prowadzić zdecydowaną walkę o rygorystyczne przestrzeganie obowiązujących przepisów eksploatacyjnych, surowo karać winnych ich naruszenia. Wyeliminować całkowicie awarie łączeniowe.

Uzyskać dodatkową moc produkcyjną przez skrócenie czasu postoju urządzeń w remontach. Zorganizować wykonawstwo remontów podstawowych jednostek systemem scentralizowanym. Zwołać na początku kwietnia br. krajową naradę remontowców energetyki.

Narada wzywa remontowców energetyki do wykonania już w tym roku remontów szybkościowych najbardziej ekonomicznych jednostek siłami scentralizowanych brygad remontowych.

Zabezpieczyć wykonawstwo remontów niezbędnymi materiałami, częściami zapasowymi i narzędziami. Wzorowo zorganizować miejsca pracy brygad remontowych. Podnieść kwalifikacje zawodowe kierowniczego personelu inżynierskiego w remontach. Poprawić jakość wykonywanych remontów. Przestrzegać dyscypliny odbioru urządzeń z remontu do eksploatacji. Nieugięcie walczyć z brakoróbstwem w remontach.

Stworzyć zapasy części wymiennych. Przygotować albumy części zapasowych urządzeń.

Wprowadzić zasadę profilaktycznych napraw generatorów. Opanować technologię i podnieść jakość remontu generatorów średniej i dużej mocy. Zapewnić obsadę i wyposażenie brygad remontowych, gwarantującą najkrótszy czas przestoju remontowanego generatora.

W celu uzyskania oszczędności w zużyciu węgla i energii elektrycznej na potrzeby własne wykorzystać istniejącą aparaturę do pomiarów cieplnych i uzupełnić braki, rozwinąć laboratoria cieplne w elektrowniach i służby automatyki oraz pomiarów cieplnych w zarządach energetycznych, pogłębić specjalizację pomiarów i badań w „Energopomiarze”. Prowadzić stałą i operatywną kontrolę wskaźników techniczno-ekonomicznych, sporządzać bilanse cieplne elektrowni oraz opracować karty reżimowe kotłów rusztowych i pyłowych.

Wprowadzać automatykę procesów spalania.

Projektować i realizować modernizację kotłów i turbin dla uzyskania poprawy zużycia węgla w systemie.

Operatywnie prowadzić w Państwowym Zarządzie Dyspozycji Mocy, w okręgowych dyspozycjach mocy i w elektrowniach ekonomiczny rozdział obciążeń i pogłębić ustalanie tego rozdziału.

Narada wzywa załogi elektrowni do podjęcia inicjatywy Elektrowni Warszawa, aby wprowadzić metodę kompleksowego oszczędzania węgla i energii na potrzeby własne.

Zapewnić racjonalną konserwację i remonty sieci oraz urządzeń przemysłowych i rozdzielczych.

Zapewnić możliwość szybkiej likwidacji zakłóceń w sieciach. Zmniejszać stale straty sieciowe.

Należy radykalnie zlikwidować dotychczasowe zaniedbania w ciągłości dostarczania energii elektrycznej dla ludności, zwłaszcza w małych miastach i w rejonach wiejskich. Należy w tym celu zwiększyć nadzór nad eksploatacją małych stacji transformatorowych, stworzyć rezerwę transformatorów małej mocy przede wszystkim przez wyremontowanie i oddanie do eksploatacji nieczynnych transformatorów.

Zabezpieczyć bezawaryjną pracę systemów energetycznych drogą szerszego wprowadzania automatyki systemowej, wykorzystania rezerw mocy biernej w celu utrzymania prawidłowego poziomu napięć w systemach. W każdej elektrowni przejść na schemat zasilania potrzeb własnych dający maksymalną pewność ruchu. Zabezpieczyć rezerwę transformatorów o znaczeniu systemowym, wykorzystać nadające się do zainstalowania na wagonach transformatory jako przewoźne.

Nieustannie wprowadzać postęp techniczny na wszystkich odcinkach pracy. Likwidować ogniska awaryjne w elektrowniach, w stacjach rozdzielczych i w sieciach przez modernizację urządzeń do wytwarzania, przetwarzania i przesyłania energii elektrycznej.

Wprowadzić blokadę odłączników.

W celu zapewnienia bezawaryjnej pracy nowych urządzeń personel eksploatacyjny powinien wglądać w przebieg i jakość prac montażowych nowo instalowanych urządzeń, wymagać od projektantów i wykonawców, aby budowali urządzenia zgodnie z obowiązującymi przepisami; brać aktywny udział w przeprowadzeniu prób poszczególnych węzłów urządzeń.

Nieustępliwie stosować zasadę przyjmowania urządzeń do eksploatacji bez usterek.

Opanować technikę urządzeń wysokich parametrów pary oraz technikę najwyższych napięć.

Szybciej oswajać się z obsługą urządzeń nowowprowadzanych do eksploatacji, walczyć o pełne uzyskanie ich znamionowych wskaźników.

Szerzej stosować wymianę doświadczeń. Zwoływać systematycznie na szczeblu zarządów i Ministerstwa Energetyki narady branżowe personelu inżynieryjno-technicznego elektrowni i sieci.

W szczególności zwołać w 1955 r. pierwszą krajową naradę hydroenergetyków.

Uczestnicy narady przyjmują z zadowoleniem postanowienia Uchwały Prezydium Rządu o wprowadzenie w pionie eksploatacyjnym energetyki dodatku za usługę lat jako jednego ze środków do stabilizacji podstawowych kadr energetycznych.

Równocześnie uczestnicy narady wzywają wszystkie ogniwa administracji energetycznej, aktyw partyjny i związkowy do pełnego wykorzystania wszelkich dostępnych środków stabilizacji kadr, a przede wszystkim do głębokiego wnikania w potrzeby i w warunki bytowe załóg energetycznych, do rozwijania opieki socjalnej, do zapewnienia pełnego bezpieczeństwa i higieny pracy, do podniesienia poziomu technicznego, moralnego i kulturalnego pracowników energetyki.

Uczestnicy narady polecają otoczyć specjalną opieką stare kadry fachowców i równocześnie zapewnić stały wzrost poziomu fachowego i przywiązania do zakładów młodzieży.

Uczestnicy narady wzywają pracowników energetyki do skierowania wysiłków w kierunku realizacji zadań postawionych przed energetyką przez Prezydium Rządu w Uchwale Nr 863 z dnia 11. XII. 1954 r. na lata 1955 ÷ 1957 r.

Zadania stojące przed energetyką polską mogą być wykonane tylko przy pełnej mobilizacji wysiłku całego kolektywu energetyki, partyjnych i bezpartyjnych robotników, techników, inżynierów i pracowników administracji.

Uczestnicy narady widzą gwarancję wykonania tych zadań w pogłębieniu pracy partyjnej i związkowej, w ścisłym powiązaniu jej z zamierzeniami kierownictwa na każdym szczeblu, w oparciu jej na samokrytycznej i krytycznej dyskusji i na zasadzie dyscypliny wykonania powziętych decyzji.

Dla wykonania zadań konieczny jest dalszy rozwój wszelkich form socjalistycznego współzawodnictwa pracy.

Szeroki rozwój tego ruchu w ścisłym współdziałaniu administracji, organizacji, związkowych i partyjnych tak, aby współzawodnictwo pracy stało się podstawową dźwignią wykonania i przekroczenia planów produkcyjnych.

Uczestnicy narady widzą gwarancję wykonania zadań stojących przed energetyką w zwalczaniu przejawów biurokratycznego kierowania i bezdusznego wykonawstwa w oparciu kierownictwa na każdym szczeblu na zasadzie kolegiałnego podejmowania najważniejszych decyzji i jednoosobowej odpowiedzialności za ich wykonanie, we wnikliwym wstępowaniu się w głosy mas i rzetelny wysiłek w zaspokojeniu ich bolączek.

III Plenum KC - PZPR wskazało nam na nasze zadania i jednocześnie wszystkie środki do ich wykonania. Zadania te kolektyw polskich energetyków wykona z honorem.

# Elektrownie atomowe

Mgr Maria Wągiel

Prawie 90% użytkowanej w świecie energii elektrycznej wytwarzamy obecnie z paliw naturalnych, których zapasy ulegają systematycznemu i szybkiemu wyczerpaniu. Zaledwie 10% energii elektrycznej pochodzi z wykorzystania sił wodnych.

Ogólny zapas dotychczas używanych surowców energetycznych w świecie, które można wykorzystać ekonomicznie, ocenia się jako równowartość  $10^{15}$  -  $10^{16}$  kWh. Przy rocznym zużyciu energii  $6 \cdot 10^{12}$  kWh i stałym jego wzroście zachodzi uzasadniona obawa, że istniejące zapasy paliw mogą się wkrótce wyczerpać. To też energetyków wszystkich krajów żywo zainteresowała możliwość wykorzystania energii atomowej do produkcji energii elektrycznej.

## Reakcje jądrowe

Już na początku obecnego stulecia A. Rutherford i N. Bohr stwierdzili, że atomy składają się z jądra i powłoki elektronowej. Jądro atomu ma ładunek elektryczności dodatniej, elektrony zaś ładunki elektryczności ujemnej. Zjawiska zachodzące w powłoce elektronowej atomów zostały przez fizyków dokładnie zbadane. Wiele właściwości atomów, jak tworzenie związków chemicznych, właściwości magnetyczne, barwa itp. zależą głównie od budowy powłoki elektronowej.

Jądro atomu ma również budowę złożoną i składa się z protonów, tj. cząsteczek masy naładowanych dodatnio oraz z neutronów, tj. neutralnych cząsteczek, mających prawie taką samą masę jak protony. Ładunek protonu odpowiada co do wielkości elementarnej ładunkowi elektronu, tylko ma znak przeciwny.

Jądro atomowe, a zwłaszcza jądra pierwiastków ciężkich, jak np. uranu, plutonu, toru itp. bombardowane przez neutrony mogą ulec rozszczepieniu.

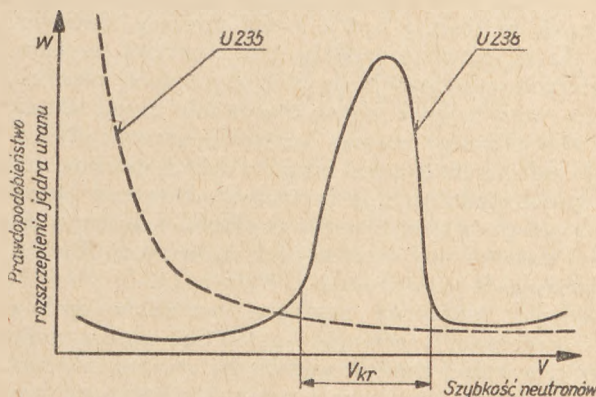
Rozszczepieniu może towarzyszyć wydzielanie się energii. Jednym z pierwiastków, który przy rozszczepieniu wydziela znaczne ilości ciepła jest uran. Nie wszystkie atomy uranu zachowują się jednakowo przy zderzeniu z neutronami. Niektóre pierwiastki spotykane w przyrodzie mają tę samą budowę powłoki elektronowej i tę samą liczbę protonów w jądrze, ale różne liczby neutronów. Określa się je mianem izotopów danego pierwiastka. W przyrodzie spotyka się izotopy uranu  $U^{234}$ ,  $U^{235}$  oraz  $U^{238}$ , różniące się masą jądra.

Uran składa się przeważnie (99,3%) z izotopów o masie jądra 238, bardzo małą natomiast część, gdyż około 0,7% atomów uranu stanowią izotopy o masie jądra równej 235.

Izotopu  $U^{234}$  jest mniej niż 0,01%, tak że można go pominąć.

Jako materiał do egzotermicznych reakcji jądrowych nadaje się zarówno izotop  $U^{235}$  jak i  $U^{238}$ . Oba te izotopy zachowują się jednak różnie wobec neutronów. Jądro izotopu  $U^{238}$  pęka jedynie pod wpływem neutronów szybkich, jądro zaś izotopu  $U^{235}$  może ulec rozszczepieniu przy zderzeniu z neutronami o dowolnie dużej energii kinetycznej, lecz największe prawdopodobieństwo rozbicia jego jądra istnieje przy niewiel-

kich prędkościach neutronów, w granicach prędkości ruchów ciepłych atomów, tj. mniejszej niż  $2 \cdot 10^5$  cm/s.



Rys. 1. Prawdopodobieństwo rozszczepienia jądra uranu  $U^{235}$  i  $U^{238}$  w zależności od prędkości neutronów

Na rys. 1 podano prawdopodobieństwo rozszczepienia izotopów uranu w zależności od prędkości neutronów. Przy każdym takim rozszczepieniu jądro rozpada się na dwie części, a mianowicie na jądro kryptonu (Kr) i na jądro baru (Ba); ponadto powstają drobne cząstki, które są neutronami o stosunkowo dużej prędkości. Ilość tych cząstek jest różna. Przy jednym rozszczepieniu jądra uranu powstaje 2 do 3 (średnio 2,55) nowych neutronów, które mogłyby w pewnych warunkach spowodować rozszczepienie dalszych jąder. Taki przebieg reakcji samodzielnego rozszczepienia kolejnych jąder określa się jako reakcję łańcuchową; towarzyszy jej lawinowy wzrost liczby nowych neutronów.

Opisana wyżej łańcuchowa reakcja rozszczepienia jąder uranu możliwa jest jedynie w uranie  $U^{235}$ . Wyzwolone przy pękaniu jąder wolne neutrony są na ogół zbyt szybkie, aby mogły powodować łańcuchową reakcję rozbicia uranu  $U^{238}$  lub  $U^{235}$ . Przez kilkakrotne zderzenia z jądrami uranu neutrony oddają przy każdym zderzeniu pewną ilość swej energii początkowej, wskutek czego prędkość ich maleje. Jeśli neutrony znajdą się w granicach prędkości krytycznej (rys. 1), to zostają pochłonięte przez  $U^{238}$  i tym samym stracone dla utrzymania reakcji łańcuchowej. Tylko nieznaczne ilości neutronów zmniejszają tak swą prędkość, że przy zderzeniu z jądrem uranu  $U^{235}$  następuje rozbicie jego jądra.

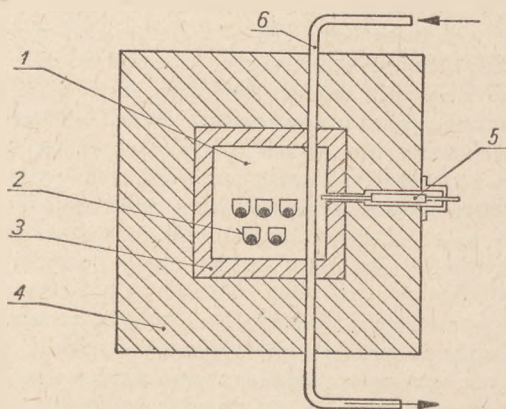
Ponieważ izotopu uranu  $U^{235}$  jest w uranie bardzo mało (0,7%), przeto utrzymanie ciągłości reakcji w tych warunkach jest bardzo trudne. Zagadnienie utrzymania łańcuchowych reakcji jądrowych rozwiązano praktycznie w budowie reaktorów atomowych w dwojaki sposób:

1. przez zastosowanie uranu sztucznie wzbogaconego izotopem  $U^{235}$ ,
2. przez zmniejszenie straty neutronów wewnątrz reaktora, stosując do jego budowy oraz do opóźniania prędkości szybkich neutronów materiały mało

pochłaniające neutrony, jak np. ciężka woda, grafit, hel itp.

Za pomocą bardzo skomplikowanych i kosztownych procesów fizycznych można z masy uranu wydzielić izotop uranu  $U^{235}$ , wykorzystując np. różne właściwości dyfuzji izotopów uranu lub odmienne zachowanie się ich po zjonizowaniu w zmiennym polu elektromagnetycznym. Przez dodanie sztucznie wytworzonego izotopu  $U^{235}$  do uranu naturalnego można stworzyć takie warunki, że reakcja będzie miała przebieg łańcuchowy. Na tej zasadzie działają tzw. reaktory szybkie, w których wykorzystuje się neutrony o dużej prędkości do rozbicia jądra uranu. Stosowanie uranu sztucznie wzbogaconego stwarza korzystne warunki dla reakcji jądrowych, lecz jest zarazem dość kosztowne. Inny sposób podtrzymania łańcuchowych reakcji jądrowych polega na zmniejszeniu prędkości neutronów do takiej wartości, aby zaistniały jak najlepsze możliwości rozszczepienia jąder izotopu  $U^{235}$  (rys. 1).

Zadanie opóźnienia prędkości neutronów spełnia tzw. moderator, zawierający grafit lub ciężką wodę ( $D_2O$ ), w której zamiast wodoru  $H_2$  znajduje się niezmierznie rzadko spotykany w przyrodzie izotop wodoru tzw. deutron ( $D$ ) o masie 2, składający się z jednego neutronu i jednego protonu. Rozpędzone neutrony przechodząc przez warstwę moderatora tracą wskutek zderzeń znaczną część swej energii kinetycznej, jednak nie zostają przez niego pochłonięte.



Rys. 2. Schemat reaktora grafitowego

1 — moderator grafitowy, 2 — elektrody uranowe, 3 — reflektor, 4 — ekran betonowy, 5 — elektroda kontrolna, 6 — przepływ medium chłodzącego

Reakcja łańcuchowa utrzyma się, jeżeli zarówno moderator jak i sztabki uranowe wykonane będą z materiału bez jakichkolwiek zanieczyszczeń. Już nawet nieznaczne ułamki procentu zanieczyszczeń mogą uniemożliwić narastanie lawiny neutronów. Tak wysokie wymagania są szczególnie trudne do osiągnięcia w reaktorach jądrowych, zwłaszcza że chodzi tu nieraz o setki tonn materiałów chemicznie czystych.

Budowane obecnie reaktory dla neutronów powolnych można podzielić na dwa zasadnicze typy: na tzw. reaktory niejednorodne i jednorodne.

Reaktor niejednorodny w swym klasycznym wykonaniu składa się ze sztabek uranowych umieszczonych w bloku grafitowym jako moderatorze. Między nimi znajdują się kanały dla przepływu czynnika chłodzącego (rys. 2). Zamiast bloku grafitowego można użyć jako moderatora ciężkiej wody, która w tym przypadku

służy równocześnie do odprowadzania ciepła, powstającego przy reakcjach jądrowych. Przez odpowiedni dobór odstępów i średnic sztabek uranowych można uzyskać takie warunki, że reakcja jądrowa utrzymuje się będzie samoczynnie.

W reaktorach jednorodnych uran znajduje się bądź to w postaci roztworu wodnego soli uranowych z ciężką wodą ( $D_2O$ ), bądź też w postaci stopu eutektycznego. Stracie wolnych neutronów dla reakcji zapobiegają umieszczone wewnątrz reaktora tzw. reflektory, tj. ściany z berylu lub grafitu, które mało absorbują wolne neutrony przy zderzeniu, lecz odbijają je i skierowują do wnętrza reaktora. Reaktory opisanego typu będą mogły działać, jeżeli mają odpowiednio duże wymiary w zależności od stopnia zmniejszania prędkości neutronów. Reaktor, w którym zastosowano ciężką wodę, musi zawierać kilka tonn uranu i kilka tonn wody ciężkiej. W reaktorach grafitowych umieszcza się natomiast dziesiątki tonn uranu i kilkaset tonn grafitu.

Na przykład według projektu reaktora doświadczalnego opracowanego w Szwajcarii przy stosowaniu ciężkiej wody jako moderatora potrzeba około 5 tonn uranu. Przy użyciu natomiast moderatora z grafitu potrzeba aż 40 tonn uranu. Reaktor na wodę ciężką wprowadzić jest znacznie mniejszy i lżejszy, lecz pod względem kosztów mało różni się od reaktora grafitowego, gdyż koszt wody ciężkiej jest bardzo duży. W omawianym projekcie przyjęto na tonnę  $D_2O$  cenę 1 miliona franków szwajcarskich.

Konieczność bardzo oszczędnej gospodarki neutronami wewnątrz reaktora uniemożliwia uzyskanie wyższych temperatur. Dlatego reaktory uranowe, w których wykorzystuje się wolne neutrony, nie nadają się do wytwarzania energii cieplnej do celów energetycznych, wymagających stosunkowo wysokich temperatur. W budowanych dotychczas reaktorach doświadczalnych tego typu reakcje jądrowe są tak powolne, że wydzielana energia cieplna ma stosunkowo niską temperaturę, niekiedy nawet poniżej  $100^{\circ}C$ , tak że w wielu przypadkach nie opłaca się jej nawet wykorzystywać. Jednak ilość energii cieplnej może być bardzo duża. Na przykład w reaktorze w Hanford (Stany Zjedn. Am. Płn.) około 360 000 kcal/s odprowadza się bezużytecznie do rzeki we wodzie chłodzącej reaktory. Reaktory tego typu służą głównie do produkcji plutonu lub do celów badawczych.

### Reaktory regenerujące

Najważniejszą charakterystyką reaktorów jest ich bilans wykorzystania neutronów. Z 2,55 neutronów, które średnio zostają wyzwolone przy rozszczepieniu jednego jądra uranu  $U^{235}$ , praktycznie tylko mała część z nich może być wykorzystana do podtrzymania reakcji łańcuchowej, znaczna natomiast część zostaje stracona. Pewną ilość neutronów pochłania moderator i reflektory, część tracimy w oprawach aluminiowych prętów uranowych i w medium chłodzącym, część zaś uchodzi na zewnątrz reaktora mimo stosowania reflektorów. Największa jednak ilość neutronów zostaje pochłonięta przez jądra uranu  $U^{238}$ . Powstaje wówczas nowy pierwiastek, niespotykany w przyrodzie, który nazwany został neptunem  $N^{239}$ . Pierwiastek ten nie jest stały, lecz wydzielając elektron przechodzi w pierwiastek pluton ( $Pu$  239). Proces ten ma duże znaczenie, gdyż pluton okazuje pod względem zdolności do reakcji jądrowej

wych takie same, a nawet lepsze właściwości jak uran  $U^{235}$ . Jego jądro może zatem ulec rozszczepieniu przez neutrony, a rozpadając się wyda średnio 3 wolne neutrony zdolne do dalszej reakcji jądrowej. Ponieważ pluton różni się pod względem chemicznym od uranu, przeto można go sposobem chemicznym wydzielić z uranu i uzyskać materiał jednorodny, nadający się w całości do reakcji jądrowych. Reaktory, w których za pomocą reakcji jądrowych wytwarza się z uranu  $U^{238}$  tzw. „wtórne paliwo” — pluton, określa się jako reaktory regenerujące.

Reakcje jądrowe powstające przy stosowaniu plutonu przebiegać mogą lawinowo w bardzo krótkim czasie, wydzielając energię cieplną o bardzo wysokiej temperaturze. Właściwości te wykorzystano przede wszystkim w bombach atomowych. W reaktorach jądrowych reakcja będzie mogła mieć przebieg zwolniony, zależnie od wymaganej temperatury, przy czym sam proces może trwać przez czas dłuższy.

Reaktory regenerujące paliwo uranowe mogą wytwarzać tak wysokie temperatury, jakie wytrzymują materiały konstrukcyjne reaktorów ( $400 + 500^{\circ}\text{C}$ ). W reaktorach takich oprócz wytwarzania ciepła odbywa się produkcja plutonu z uranu  $U^{238}$ . Należy wyjaśnić, że wytworzony w reaktorze uranowym pluton nie może być bezpośrednio w nim użyty do dalszych reakcji. Produkty rozpadu zostają najpierw oddane do fabryki chemicznej, w której wydzielą się pluton, następnie dopiero używany do reakcji jądrowych.

### Działanie reaktorów jądrowych

Do zapoczątkowania reakcji łańcuchowej nie jest potrzebne żadne sztuczne źródło neutronów. Jądra uranu w pewnych warunkach ulegają samorzutnemu rozszczepieniu, gdy masa uranu jest dostatecznie duża. Przy swobodnym przebiegu reakcja nabiera charakteru lawinowego i mogłaby doprowadzić do całkowitego zniszczenia reaktora wskutek znacznego podwyższenia temperatury. Ze wzrostem temperatury maleje co prawda intensywność reakcji jądrowych, gdyż przy wyższej temperaturze mniejsze jest prawdopodobieństwo rozszczepienia jądra uranu przez rozpędzony neutron. Jednak ten naturalny sposób regulacji procesów jądrowych nie jest wystarczający. Każdy reaktor posiada zatem regulację procesu za pomocą tzw. sztabek kontrolnych. Są to sztabki wykonane z materiału silnie pochłaniającego neutrony np. ze stopów baru, kadmu itp., które zawieszone we wnętrzu moderatora pochłaniają tak silnie neutrony, że reakcja lawinowa nie może powstać. Przez częściowe wysunięcie sztab na zewnątrz można spowodować rozpoczęcie reakcji i regulować jej przebieg w reaktorze. Głębokość zanurzenia sztab kontrolnych w reaktorze jest samoczynnie regulowana w zależności od wskazań przyrządu rejestrującego natężenie strumienia neutronów w reaktorze.

Ze względu na silną promieniotwórczość wszystkie procesy muszą być całkowicie zautomatyzowane i sterowane z odległości w komorach osłoniętych grubymi płytami z betonu i stali. Duże trudności przedstawia wymiana zużytych sztab uranowych, które oznaczają się wysoką radioaktywnością. W razie szerszego wykorzystania energii atomowej w reaktorach usunięcie znacznych ilości odpadkowych materiałów radioaktywnych stanowić będzie poważny problem techniczny, tj. nie tylko w jaki sposób odpady te usunąć, ale także

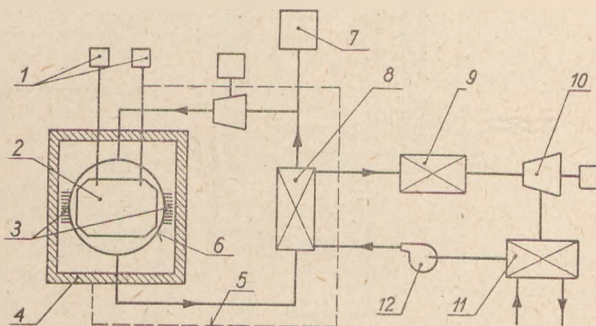
jak je unieszkodliwić. Proponowane między innymi zatapianie ich w morzu nie jest jednak właściwym rozwiązaniem. Już po kilkudziesięciu latach radioaktywność oceanów mogłaby tak dalece wzrosnąć, że powstałoby poważne niebezpieczeństwo nie tylko dla fauny i flory morskiej, lecz także i dla życia na świecie.

Zresztą materiały odpadowe zawierają wiele cennych pierwiastków, jak np. promieniotwórczy ksenon, jod i wiele innych, które mają lub mogą mieć duże zastosowanie w medycynie, w biologii i w technice.

### Wykorzystywanie energii cieplnej z reaktorów uranowych

W opisanych poprzednio procesach jądrowych wytwarzają się znaczne ilości ciepła, które można praktycznie wyzyskać. Przy rozszczepieniu 1 kg uranu  $U^{235}$  lub  $Pu^{239}$  w obecnych reaktorach otrzymuje się około  $1,7 \cdot 10^{10}$  kcal energii cieplnej, co odpowiada  $20 \cdot 10^3$  kWh lub 2430 tonnom węgla umownego, tj. o wartości opałowej 7000 kcal/s. Jest to zaledwie 0,1% całkowitej energii ( $25 \cdot 10^3$  kWh), którą można teoretycznie otrzymać przy zupełnej zamianie 1 kg masy jądra uranu na energię.

Przepuszczając przez reaktor płynny lub gazowy nośnik ciepła można odprowadzić wytworzone tam ciepło i wykorzystać je w wymienniku ciepła do wytwarzania pary wodnej dla napędu turbin parowych. Chcąc uzyskać wysoką sprawność w nowoczesnych turbinach parowych trzeba jednak doprowadzać do nich energię cieplną o temperaturze  $500 + 600^{\circ}\text{C}$ . Wytwarzanie wysokich ciśnień i temperatur w reaktorach jądrowych wymaga pokonania znacznych trudności. Z tego względu trzeba by wykonywać reaktory z materiałów, które byłyby nie tylko odporne na działanie wyższych temperatur, ale równocześnie nie pochłaniały zbyt silnie neutronów. Jeżeli jako moderator zastosujemy grafit, to pozostaje bardzo ograniczony wybór metali między aluminium, berylem i cyrkonem. Zwykła stal konstrukcyjna ze względu na silne pochłanianie neutronów nie wchodzi w rachubę. Nieco lepiej przedstawia się sprawa materiałów konstrukcyjnych przy stosowaniu ciężkiej wody jako moderatora. Chociaż wybór materiałów jest tu nieco większy, to jednak powstaje nowa trudność, gdyż przy wyższych temperaturach reaktora, np.  $200^{\circ}\text{C}$ , trzeba proces prowadzić pod dużym ciśnieniem.

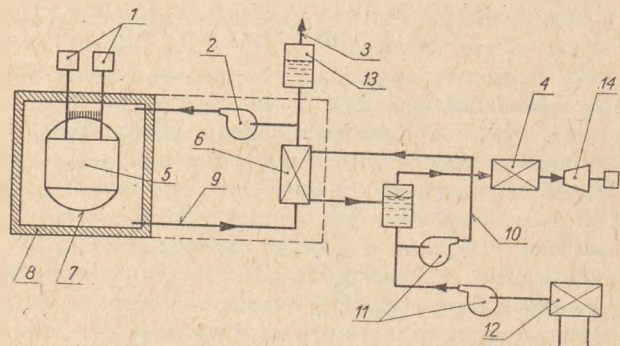


Rys. 3. Schemat reaktora z odprowadzeniem ciepła za pośrednictwem gazu

1 — elektrody kontrolne, 2 — rdzeń reaktora, 3 — elektrody uranowe, 4 — ciężka osłona przed promieniowaniem, 5 — osłona lekka przed promieniowaniem, 6 — osłona odporna na ciśnienie gazu, 7 — zbiornik gazu, 8 — główny wymiennik ciepła, 9 — dodatkowy przegrzewacz pary, 10 — turbogenerator, 11 — kondensator, 12 — pompa zasilająca

niem, aby ciężka woda, która jest materiałem bardzo drogim, nie wyparowała.

Zbiornik reaktora powinien mieć zatem dostateczną wytrzymałość mechaniczną, a jednocześnie być zbudowany z materiałów mało pochłaniających neutrony. Wobec tego na pierwszy plan wysuwa się znów aluminium jako materiał konstrukcyjny. Przy stosowaniu aluminium na osłony dla sztabek uranowych temperatura nie powinna przekraczać  $500^{\circ}\text{C}$ . Stąd wniosek, że temperatury we wnętrzu reaktora uranowego będą na ogół niższe od  $500^{\circ}\text{C}$ .



Rys. 4. Schemat reaktora z odprowadzeniem ciepła za pośrednictwem wody naturalnej pod ciśnieniem

1 — elektrody kontrolne, 2 — pompa do wody, 3 — zbiornik ekspansyjny do kontroli ciśnienia i uzupełnienia wody, 4 — dodatkowy przegrzewacz pary na paliwo naturalne, 5 — rdzeń reaktora, 6 — główny wymiennik ciepła, 7 — osłona odporna na ciśnienie, 8 — cienka osłona przed promieniowaniem, 9 — pierwotny obieg wody chłodzącej, 10 — wtórny obieg, 11 — kondensator

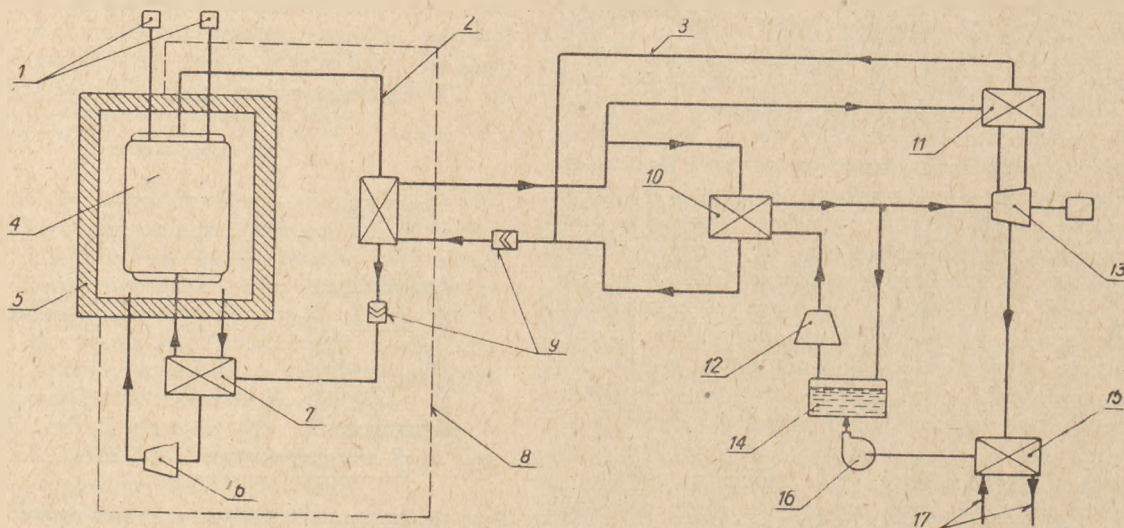
Przy niższych temperaturach sprawność procesu przemian cieplnych będzie stosunkowo niska ( $20 \div 25\%$ ) w porównaniu do wartości  $35 \div 40\%$ , osiągniętych w nowoczesnych elektrowniach cieplnych na duże ciśnienia (300 ata) i wysokie temperatury pary ( $650^{\circ}\text{C}$ ). Przenoszenie energii cieplnej z uranu do czynnika odprowadzającego ciepło jest również poważnym zagadnieniem. Jako czynnik odprowadzający ciepło wykorzystuje się bądź to gazy, bądź też ciecze. W reaktorach, w których moderatorem jest grafit, czynnikiem odprowadzającym często jest gaz (rys. 3). Ze

względem na znaczne długości rurociągów chłodzących a także dla uzyskania wysokiego współczynnika przenikania ciepła, trzeba stosować wyższe ciśnienie, tj. około 25 atm. Przetłaczanie gazu chłodzącego pod dużym ciśnieniem wymaga jednak znacznej mocy, nawet kilka procent ( $4 \div 5\%$ ) przenoszonej energii cieplnej, co obniża sprawność całego układu energetycznego.

Ciepło z reaktorów można również odprowadzać za pośrednictwem przepływającej wody zwykłej lub wody ciężkiej. Na rys. 4 podano układ chłodzony wodą naturalną pod ciśnieniem. Ponieważ czynnik chłodzący wewnątrz reaktora staje się radioaktywny, przeto ze względu na bezpieczeństwo obsługujących stosuje się podwójny obieg zamknięty wody odprowadzającej ciepło.

W silnym polu działania promieni radioaktywnych występują intensywne zjawiska korozji. Dlatego woda chłodząca powinna być idealnie czysta, materiały zaś stosowane do konstrukcji reaktorów powinny odznaczać się dużą odpornością na korozję i odpowiadać wymaganiom stawianym przez fizykę atomową, tj. nie pochłaniać wolnych neutronów. Nośnikami ciepła mogą też być roztopione metale. Ze względu na działanie promieniotwórcze można do tego celu stosować roztopiony ołów, bizmut, sód, potas; nie nadaje się natomiast rtęć (rys. 5). Najbardziej odpowiednim nośnikiem ciepła jest płynny sód, którego temperatura wrzenia przy ciśnieniu atmosferycznym wynosi  $800^{\circ}\text{C}$  i który ma duży współczynnik przejmowania ciepła.

Z działaniem reaktorów uranowych łączy się jeszcze sprawa długości czasu pracy reaktora, tj. czasu trwania reakcji jądrowych. W miarę postępu procesu reakcji jądrowych elektrody uranowe nasycają się produktami rozkładu i reaktor ulega zużyciu. Czas pracy pierwszych reaktorów uranowych był stosunkowo krótki, gdyż trwał zaledwie kilka tygodni lub miesięcy. Przez zwolnienie prędkości reakcji czas pracy można przedłużyć. Obecnie nawet przy reaktorach o dużej mocy można tak prowadzić proces reakcji, że nie trzeba wymieniać reagującej materii przez wiele lat. Z dotychczasowych publikacji nie wiadomo, jak długo mogą lub jak długo będą pracować zbudowane reaktory uranowe.



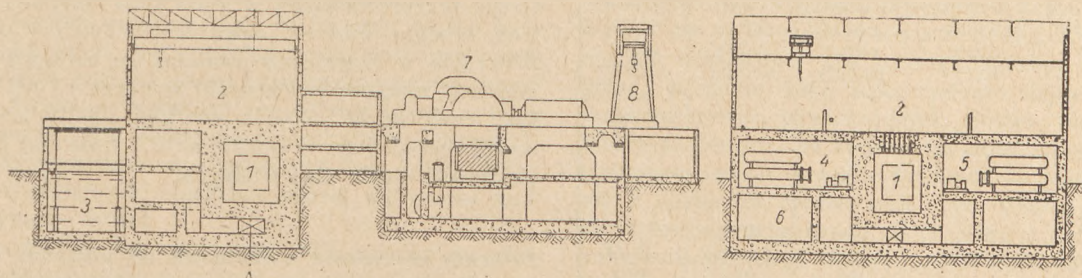
Rys. 5. Schemat reaktora z odprowadzeniem ciepła za pomocą roztopionego metalu, w podwójnym obiegu zamkniętym

1 — elektrody kontrolne, 2 — pierwotny obieg chłodzący, 3 — wtórny obieg chłodzący, 4 — rdzeń reaktora, 5 — ciężka osłona przed promieniowaniem, 6 — pompa do chłodzenia moderatora, 7 — wymiennik ciepła, 8 — lekka osłona przed promieniowaniem, 9 — pompy elektromagnetyczne do płynnego metalu, 10 — przegrzewacz pary, 11 — dodatkowy przegrzewacz pary, 12 — pompa obiegowa, 13 — turbogenerator, 14 — wyparka, 15 — kondensator, 16 — pompa zasilająca do wody, 17 — woda chłodząca kondensator

W projektach liczy się średnio czas pracy reaktora na  $10 \div 20$  lat.

### Projekty elektrowni atomowych

Wykonywane dotychczas reaktory jądrowe nie były przeznaczone do wytwarzania energii dla celów przemysłowych. Dopiero w czerwcu 1954 r. w Związku Radzieckim uruchomiono pierwszą elektrownię atomową.



Rys. 6. Elektrownia atomowa z odprowadzeniem ciepła z reaktora za pomocą wody naturalnej (Projekt I wg tablicy I)

1 — reaktor, 2 — miejsce obsługi, 3 — pomieszczenie na skład zużytego uranu, 4 — kocioł parowy, 5 — pompy, 6 — skład materiałów odpadkowych, 7 — turbogenerator (125 MW), 8 — dźwig

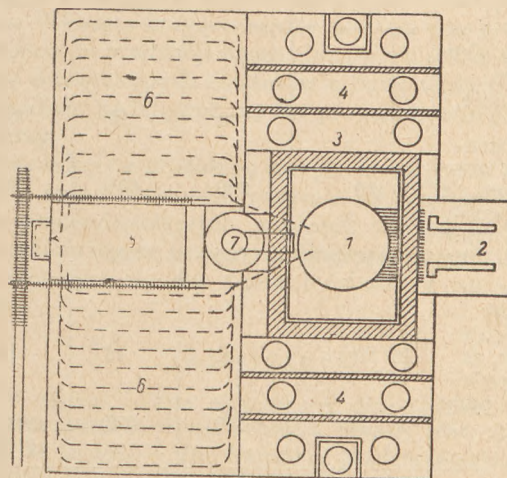
Budowa dalszych, potężnych elektrowni atomowych jest zapowiadana przez Ministerstwo Elektrowni ZSRR.

W krajach zachodnich dyskutowane są dopiero projekty elektrowni atomowych dla celów przemysłowych. Na rys. 6, 7 i 8 podano typowe rozwiązania elektrowni atomowych z moderatorami grafitowymi oraz na wodę ciężką ( $D_2O$ ). Charakterystyczne dane tych projektów podane są w tablicy 1 i 2. Niektóre projekty obejmują urządzenia do równoczesnego wytwarzania energii oraz do produkcji plutonu.

Z podanych tablic wynika, że jedynie reaktory pracujące na uranie wzbogaconym lub na plutonie umożliwiają wytwarzanie pary o dużych ciśnieniach i wysokich temperaturach dla wysokosprawnych, nowoczesnych elektrowni cieplnych.

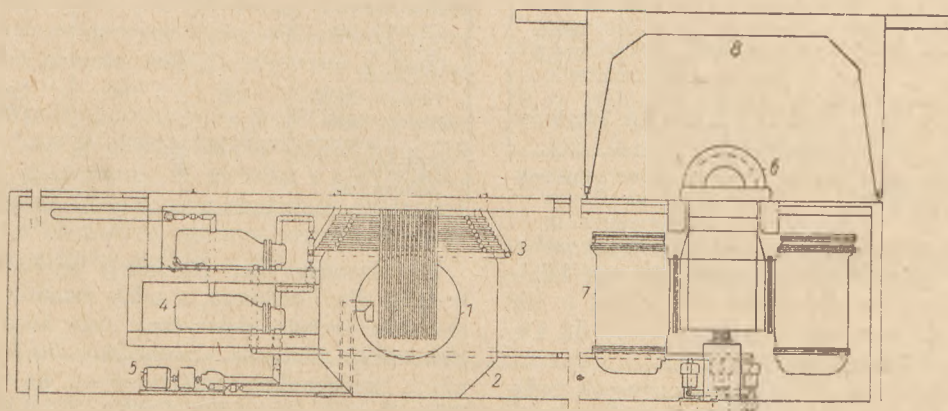
### Rentowność elektrowni atomowych

Warto rozpatrzyć, jak przedstawiają się ekonomiczne zagadnienia związane z wykorzystaniem energii reakcji jądrowych w elektrowniach atomowych. Przeprowadzone niekiedy w różnych publikacjach obliczenia są niepewne, gdyż nie znamy prawdziwego kosztu uranu,



Rys. 7. Elektrownia atomowa z odprowadzeniem ciepła z reaktora za pomocą gazu (Projekt III wg tablicy I)

1 — reaktor, 2 — miejsce zasilania, 3 — ekrany, 4 — pomieszczenie wymienników ciepłych i sprężarek, 5 — pomieszczenie dla turbogeneratorów, 6 — skład zużytego uranu, 7 — odprowadzanie radioaktywnych gazów



Rys. 8. Elektrownia atomowa z reaktorem na ciężką wodę jako moderatorem i nośnikiem ciepła (Projekt IV wg tablicy I)

1 — reaktor, 2 — ekrany, 3 — układ rurociągów na wodę ciężką, 4 — kocioł parowy, 5 — pompa na wodę ciężką, 6 — turbogenerator (8 MW), 7 — kondensator, 8 — dźwig

Tablica 1

## Projekty elektrowni atomowej na neutrony powolne

| Projekt                                   | I                          | II                                  | III                   | IV                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|
| Przeznaczenie reaktora                    | Pu + energia               | Energia                             | Energia               | Energia                                   |
| <b>Materiały</b><br>Źródło energii        | Uran wzbogacony rury       | Uran naturalny sztaby               | Uran naturalny sztaby | Uran naturalny sztaby w osłonie metalowej |
| Postać                                    |                            |                                     |                       |                                           |
| Ilość, t                                  | 214                        |                                     |                       |                                           |
| Najwyższa temperatura, °C                 | 600                        | —                                   | 550                   | —                                         |
| Moderator                                 | Grafit                     | D <sub>2</sub> O                    | Grafit                | D <sub>2</sub> O                          |
| Ilość, t                                  |                            | 60                                  | 985                   | 250                                       |
| Nośnik ciepła                             | Na                         | H <sub>2</sub> O                    | He                    | D <sub>2</sub> O                          |
| Reflektor                                 | Grafit                     | H <sub>2</sub> O i D <sub>2</sub> O | Grafit                | D <sub>2</sub> O                          |
| Materiał do przeróbki                     | U <sup>238</sup>           | —                                   | —                     | —                                         |
| <b>Obieg pierwotny</b><br>Ciśnienie, at   |                            | 70                                  | 10                    | 56                                        |
| Temperatura wylotowa, °C                  | 350 480                    | 260                                 | 300                   | 230                                       |
| Temperatura dołotowa, °C                  | 150 150 (260) <sup>1</sup> | 200                                 | 200                   |                                           |
| <b>Obieg wtórny</b><br>Ciśnienie pary, at | 10 28                      | 11                                  | 18                    | 13                                        |
| Temperatura pary, °C                      | nas. 400                   | 190                                 | 275                   | nasycona                                  |
| <b>Moc</b><br>Moc cieplna reaktora, MW    | 1000 3000                  | 500                                 | 350                   | 1064                                      |
| Moc elektrowni po stronie elektrycznej    |                            |                                     |                       |                                           |
| brutto, MW                                | 220 375 (579)              | 106                                 | 61,7                  | 225,5                                     |
| netto, MW                                 | 208 334 (554)              | 100,6                               | 46,7                  | 211,5                                     |
| Wymiary osłony, m                         | 11 × 6,5                   | 4,5Φ × 3,5                          | 11Φ × 6,5             | 7Φ, kula                                  |

1) Ciepło w zakresie temperatur poniżej 260 °C odprowadzone przez wodę chłodzącą

bot Chemical Engineering Progress, maj 1954) wzbogacenie uranu naturalnego izotopem U<sup>235</sup> na każde 0,1% dodatku izotopu podwyższa cenę uranu o 100 fr. szw./kg. Stąd cena uranu wzbogaconego do 1% U<sup>235</sup> może wynosić około 630 fr. szw./kg.

Obliczenia rentowności elektrowni atomowych podawane w literaturze wykazują niekiedy niższy koszt produkcji przy użyciu paliwa uranowego niż węgla. Dotyczy to jednak tylko członu kosztów zmiennych produkcji energii elektrycznej. Koszty stałe natomiast odgry-

wają w elektrowniach atomowych bardzo poważną rolę. Na razie trudno określić, jakie będą koszty budowy reaktorów w wykonaniu przemysłowym. Dotychczasowe reaktory bowiem mają charakter doświadczalny. Niemniej jednak można na podstawie dotychczasowych publikacji zagranicznych zorientować się w przybliżonej wysokości kosztów jednostkowych. Wahają się one w granicach od 1 600 ÷ 8 000 fr. szw./kW. Na podstawie przeprowadzonej w roku 1951 wstępnej kalkulacji kosztów budowy elektrowni atomowej o mocy 2 500 kW w Szwajcarii ustalono, że całkowity koszt instalacji reaktora i elektrowni wyniesie 13 000 000 fr. szw., czyli około 5 200 fr. szw./kW. Jest to koszt niewspółmiernie duży w porównaniu z kosztami budowy elektrowni ciepłych i wodnych.

Tablica 2

## Projekty elektrowni atomowych na neutrony szybkie

| Projekt                                            | V                                                 | VI                                        | VII                              | VIII                                              |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------|
| Przeznaczenie reaktora                             | Wytwarzanie energii i Pu 239                      |                                           |                                  |                                                   |
| <b>Materiały</b><br>Źródło energii                 | Wzbo-<br>gacony<br>stop<br>uran.                  | Wzbo-<br>gacony<br>uran.                  | Wzbo-<br>gacony<br>stop<br>uran. | U <sup>235</sup> lub<br>stop<br>Pu <sup>239</sup> |
| W postaci                                          | sztaby                                            | płynny                                    | płynny                           | płynny                                            |
| Nośnik ciepła                                      | Na                                                | Na                                        | Na                               | Na                                                |
| Reflektor                                          |                                                   |                                           | Pu, U <sup>238</sup>             |                                                   |
| Materiał do przeróbki                              | U <sup>238</sup> lub<br>Th <sup>232</sup><br>stop | U <sup>238</sup> lub<br>Th <sup>232</sup> | U <sup>238</sup>                 | U <sup>238</sup> lub<br>Th <sup>232</sup>         |
| <b>Obieg pierwotny</b><br>Temperatura wylotowa, °C | 550                                               | 480                                       | 480 460                          | 500                                               |
| Temperatura dołotowa, °C                           | 270                                               | 350                                       | 320 290                          | 200                                               |
| <b>Obieg wtórny</b><br>Ciśnienie pary, at          | —                                                 | —                                         | 35                               | —                                                 |
| Temperatura pary, °C                               | —                                                 | —                                         | 400                              | —                                                 |
| <b>Moc</b><br>Moc cieplna reaktora, MW             | 450                                               | 460                                       | 500                              | 220                                               |
| Moc elektrowni po stronie cieplnej                 |                                                   |                                           |                                  |                                                   |
| brutto, MW                                         | 135                                               | 138                                       | 154,5 145                        | 66                                                |
| netto, MW                                          |                                                   |                                           |                                  |                                                   |
| Wymiary osłony, m                                  |                                                   |                                           | 2,7Φ × 2,7                       |                                                   |

Projektowane dla produkcji energii elektrycznej w USA dla Pittsburga, a także ostatnio w Anglii dla zasilania energią elektryczną sieci krajowej „Gride” elektrownie atomowe o mocy 50 ÷ 70 MW mają łącznie z urządzeniami elektrycznymi kosztować prawie 2,5 ÷ 3 razy więcej niż nowoczesne elektrownie parowe.

Różnica między zwykłą elektrownią cieplną a elektrownią atomową polega na tym, że zamiast kotła pa-

rowego ustawiony będzie reaktor z wymiennikiem ciepła (rys. 8).

W budowanych obecnie elektrowniach parowych na niskie ciśnienia i temperatury koszty kotła wraz z urządzeniami do nawęglania i odpopielania, jednak bez rurociągów łączących, które muszą być stosowane zarówno w elektrowniach parowych zwykłych jak i w elektrowniach atomowych, wynoszą około 2/3 całkowitych kosztów budowy elektrowni ciepłych.

Jest bardzo wątpliwe, aby za tę cenę można było wykonać reaktor jądrowy wraz z wymiennikiem ciepła i z urządzeniami do usuwania odpadów paliwa uranowego. Nieznane są dotychczas roczne koszty napraw i remontów eksploatacyjnych reaktorów jądrowych, a przede wszystkim rzeczywisty ich czas pracy, który w doświadczalnych obiektach okazał się nieraz nadspodziewanie krótki.

Toteż trudno jest obecnie określić rzeczywistą wielkość rocznych kosztów stałych, od których głównie zależą koszty produkcji energii elektrycznej w elektrowni atomowej. Dane dotyczące kosztów produkcji 1 kWh w elektrowniach atomowych podawane w czasopiśmie zagranicznych zwykle nie wymieniają, po jakich cenach dostarczany będzie wzbogacony uran i po jakich cenach zostają sprzedane odpady paliwa uranowego  $U^{238}$  do dalszej produkcji plutonu.

Jeżeli większość kosztów stałych budowy reaktora oraz kosztów zmiennych związanych z jego eksploatacją zaliczy się czy to do kosztów produkcji pokojowej różnych izotopów i pierwiastków radioaktywnych mających duże zastosowanie w biologii i w medycynie, czy też do kosztów produkcji plutonu dla celów wojennych, uważając w obu przypadkach reaktor głównie jako fabrykę chemiczną, w której ciepło odpadowe wykorzystane jest do wytwarzania energii elektrycznej, to można łatwo obliczyć, że koszt energii elektrycznej wytwarzanej w elektrowniach atomowych wypadnie nawet niższy niż w elektrowniach ciepłych spalających węgiel. Nie daje to jednak właściwego obrazu ekonomii wytwarzania energii tą drogą.

Proces przemian energetycznych w obecnych elektrowniach atomowych jest jeszcze niezadawalający. Zestawiając bilans energetyczny całego procesu technologicznego od przeróbki rud uranowych i produkcji ciężkiej wody aż do energii wytworzonej w elektrowni atomowej dochodzi się do wniosku, że w elektrowniach atomowych nie potrafimy uzyskać nawet tej ilości energii elektrycznej, która jest potrzebna do procesów technologicznych związanych z przygotowaniem uranu i prowadzeniem procesu reakcji jądrowych w reaktorze.

W Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej przemysł atomowy jest w obecnej chwili największym odbiorcą energii elektrycznej. W związku z jego rozwojem przyspiesza się budowę nowych dużych elektrowni wodnych, mających pokryć ogromne zapotrzebowanie energii do wytwarzania ciężkiej wody.

Być może, że dopiero w następnych dziesiątkach lat udział energii elektrycznej wytwarzanej w elektrowniach atomowych będzie poważniejszy w ogólnej produkcji energii elektrycznej, zwłaszcza w krajach pozbawionych paliw naturalnych, jak np. w Szwajcarii, w Norwegii, w Szwecji itp.

Przemysł atomowy za granicą jest dotychczas głównie nastawiony na produkcję plutonu dla potrzeb wojennych, gdzie jak wiadomo zagadnienia kosztów i rentowności nie są w ogóle brane pod uwagę. Wytwarzanie energii elektrycznej jest tu zagadnieniem drugorzędnym i wtórnym, jako wykorzystanie ciepła odpadowego reaktorów, produkujących głównie materiał dla bomb atomowych. Na budowę urządzeń atomowych potrzebne są jednak poważne fundusze czerpane przeważnie z dochodów społecznych. Tym należy tłumaczyć sobie szeroką propagandę zagraniczną o ogromnej jakoby taniości energii elektrycznej produkowanej w elektrowniach atomowych.

Sprawy te zmieniają się jednak radykalnie, gdy narody świata przyjmą wniosek ZSRR na konferencję Narodów Zjednoczonych i przeprowadzą ogólne rozbrojenie, a w szczególności przeprowadzą kategoryczny zakaz stosowania energii atomowej do celów wojennych. Wówczas znaczne zapasy plutonu przygotowane skrzętnie do produkcji bomb atomowych umożliwią budowę ekonomicznych reaktorów o dużej mocy cieplnej, szczególnie nadających się do produkcji energii elektrycznej.

Równoległe z produkcją energii, która jest tylko jednym z zadań reaktorów, rozwinię się produkcja wielu ciał promieniotwórczych, mających doniosłe znaczenie w lecznictwie i w przemyśle. Wówczas energia atomowa przyczyni się dla dobra ludzkości, a nie do jej zguby.

#### Literatura

1. W. Hanle — Die Ausnützung der Atomenergie in Kernreaktoren. Bull. Schweiz. Electr. 1953, str. 836.
2. J. W. Landis — The Nature of Nuclear Power. Electrical Engineering 1953, str. 799.
3. D. Jacrot, F. Netter, V. Rajewski — Les piles atomiques. Electricité 1953, str. 49.
4. Czasopismo — Nucleonics, t. 10 i 11 z r. 1952-1953.
5. W. Traupel — Wykład wygłoszony w dniu 5—6 listopada 1953 na Politechnice w Karlsruhe. Elektrizitätswirtschaft r. 1953.
6. J. Cockroft — Nuclear Reactors and their applications; The Proceedings of the Inst. Electrical Engineering.
7. A. Kroms — Atomenergie in der Energieversorgung. Energie 1954 r. str. 2.
8. O. Wołczak — Stosy atomowe i możliwości zastosowania ich do wytwarzania energii elektrycznej. Przegląd Elektrotechniczny 1952 r. str. 353.
9. Oesterreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft, zeszyt 9, 1954 r., specjalnie poświęcony energii atomowej.
10. Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins zeszyt 25 i 26, poświęcony energii atomowej.

Korzystajmy wszechstronnie z przodującej techniki

Związku Radzieckiego

# Koszty budowy elektrowni ciepłych według analizy kosztorysów zbiorczych

Inż. T. Krygiel

Treść: Znaczenie dokumentacji kosztorysowej w świetle Uchwały Prezydium Rządu Nr 302. Dokumentacja kosztorysowa — podstawą kontroli finansowej inwestycji. Średnie wartości kosztorysowe, uzyskane na podstawie analizy dokumentacji kosztorysowej.

Sprawa kosztorysów zbiorczych do projektów wstępnych oraz kosztorysów generalnych do projektów technicznych pozostawała do niedawna otwartą, gdyż jakość ich opracowania oraz terminowość była niedostateczna. Stan ten trwał do czasu ukazania się Uchwały Prezydium Rządu Nr 302 z dnia 18 maja 1954 r., która sprawę tę rozwiązuje zasadniczo. Wiele biur projektowych nie posiadało dotąd odpowiednio wykwalifikowanych kosztorysantów a często nawet komórek opracowujących kosztorysy. Inwestorzy otrzymywali często kosztorysy dopiero po ukończeniu robót lub w ostatnim etapie realizacji inwestycji. Jeżeli nawet został opracowany kosztorys zbiorczy do projektu wstępnego, to był tak niedokładny, że bank finansujący stwierdzał często dużą rozbieżność pomiędzy nim a faktycznymi nakładami inwestycyjnymi.

Uchwała Nr 302 stara się zaradzić temu i wprowadzić pewien porządek, zmierza bowiem do usprawnienia prac w zakresie sporządzania dokumentacji kosztorysowej i do zapewnienia wykonywania jej w terminie oraz do umożliwienia prawidłowych rozliczeń za wykonane roboty budowlano-montażowe. Zamierzenia te mają być zrealizowane przez wzmocnienie komórek kosztorysowych delegowanymi do prac kosztorysowych pracownikami z wykonawstwa i służb inwestycyjnych, w samych zaś biurach projektowych przez przesunięcie do prac kosztorysowych pracowników z komórek organizacji budowy. Uchwała zezwalała w 1954 r. na zatrudnienie pracowników spoza biura projektowego na niepełnym etacie oraz na korzystanie przy opracowaniu kosztorysów z godzin nadliczbowych. W dalszym ciągu Uchwała wysunęła zagadnienie ustalenia trybu opracowania założeń wyjściowych i ich zakresu oraz odpowiedzialności za jakość i terminowość opracowania kosztorysów. W celu podniesienia poziomu opracowań kosztorysów Uchwała zaleca powiększyć w szkolnictwie zawodowym i wyższym zakres szkolenia w kosztorysowaniu robót budowlano-montażowych.

Podkreślić należy, że na etapie projektu wstępnego obowiązuje kosztorys zbiorczy, opracowany na podstawie wskaźników techniczno-ekonomicznych (ewentualnie na podstawie przybliżonej analizy), na etapie zaś projektu technicznego — kosztorys generalny wraz z kosztorysem obiektów i robót. Kosztorys generalny oparty jest na kosztorysach robót, wycenionych na podstawie odpowiednich cenników, np. C.R.B.I. (cennik robót budowlano-instalacyjnych) a w razie braku cenników na podstawie analizy, opartej o obowiązujące normy i katalogi, np. K.N.C.J. (katalog norm i cen jednostkowych).

Uchwała Prezydium Rządu Nr 416 z dnia 7 lipca 1954 r. dotyczy pewnego fragmentu dokumentacji kosztorysowej, gdyż poleca opracowanie kosztorysów

zbiorczych dla tych projektów wstępnych, dla których:

- a) nie było takich kosztorysów albo
- b) stały się one nieaktualne, np. wskutek wprowadzenia zmian rzeczowych w projekcie.

Celem Uchwały było stworzenie podstaw do kontroli bankowej. Dla inwestycji, które miały być ukończone w 1954 r. — Uchwała nie wymagała kosztorysów zbiorczych, udzielając w ten sposób pełnego absolutorium dla tej dokumentacji.

W wyniku rewizji kosztorysów zbiorczych przez GKOPI uzyskano pewne średnie wartości kosztorysowe, które mogą być pomocne przy sporządzaniu kosztorysów dla nowych obiektów oraz przy ich analizie. Chodziło głównie o uzyskanie średniego kosztu na jednostkę mocy zainstalowanej, gdyż ona orientuje w wielkości potrzebnych nakładów inwestycyjnych. Należy zaznaczyć, że koszt na 1 kW inst. wzrósł w niektórych wypadkach o  $40 \div 50\%$  w stosunku do projektowanego.

Jeżeli trudno jest operować ceną bezwzględną pewnego urządzenia bez podania źródła zakupu, np. kotła, gdyż koszt jego waha się w dużych granicach w zależności od tego, czy jest to fabrykat krajowy, czy zagraniczny (NRD, CSR, ZSRR), to o tyle cenne są wskaźniki techniczne poszczególnych obiektów czy urządzeń, których koszt ujęto procentowo w stosunku do całości nakładów, np. koszt kotłowni jest równy 35% ogólnego kosztu inwestycji.

Analizując projekty pod względem kosztów należy wyraźnie przeprowadzić linię podziału projektowanych elektrowni na trzy grupy:

1. rozbudowa starych elektrowni,
2. budowa nowych elektrowni kondensacyjnych,
3. budowa nowych elektrociepłowni.

Okazuje się, że najtaniej wypada rozbudowa istniejących elektrowni i na tej drodze należy w niektórych wypadkach szukać źródeł nowej mocy elektrycznej. Jeżeli przy budowie wskaźnik inwestycyjny wypada wyższy, to z reguły jest to wynikiem tego, że inwestycja obejmuje również modernizację starej części elektrowni. Wysoki koszt elektrociepłowni zostaje wyrównany przez niewspółmiernie korzystniejszy współczynnik sprawności technicznej, dochodzący do 70% i inne korzyści eksploatacyjne, wynikające z wykorzystania ciepła do ogrzewania i do celów technologicznych.

Układ kosztorysu zbiorczego elektrowni obejmuje 16 pozycji; na każdą z nich składa się pewna część urządzeń, która przeważnie pod względem technicznym stanowi odrębną całość, np. kotłownia, maszynownia, obiekty pomocnicze i inne. W celu lepszego zobrazowania przyjętego podziału zestawiono niżej urządzenia objęte każdą pozycją.

1. *Prace projektowo-badawcze*
  - a) studia naukowe i badawcze,
  - b) prace poszukiwawcze hydrogeologiczne, pomiarowe i projektowe,
  - c) prace projektowe, dotyczące całości dokumentacji technicznej.
2. *Prace przygotowawcze*
  - a) rozbiórka niepotrzebnych obiektów na terenie budowy,
  - b) uporządkowanie terenu budowy.
  - c) niwelacja terenu.
3. *Nawęglanie*
  - a) zasobniki węglowe
  - b) skład węgla,
  - c) wywrotnice, transportery taśmowe, elewatory,
  - d) wszystkie roboty budowlane. wchodzące w zakres nawęglania.
4. *Kotłownia*
  - a) budynek kotłowni i kominy,
  - b) kotły z pełnym wyposażeniem,
  - c) centralna młynownia (lub młyny indywidualne),
  - d) odpylanie i odpopielanie,
  - e) montaż wszystkich urządzeń kotłowych.
5. *Woda przemysłowa*
  - a) woda do zasilania kotłów.
  - b) woda do chłodzenia,
  - c) urządzenia do chemicznego czyszczenia wody.
6. *Rurociągi*
  - a) rurociągi wodne,
  - b) rurociągi parowe wysoko- i niskoprężne.
7. *Maszynownia*
  - a) budynek,
  - b) turbozespoły, podgrzewacze, wymienniki ciepła, pompy,
  - c) montaż części mechanicznej i elektrycznej.
8. *Transformatory i rozdzielnie*
  - a) rozdzielnia potrzeb własnych,
  - b) rozdzielnie główne (6, 15, 30, 60 kV),
  - c) rozdzielnie najwyższych napięć 110 i 220 kV,
  - d) nastawnia,
  - e) transformatory potrzeb własnych,
  - f) transformatory blokowe. sprężtłowe i inne.
9. *Obiekty pomocnicze*
  - a) budynek administracyjny,
  - b) warsztaty,
  - c) magazyny,
  - d) pomieszczenia BHP i TOPL.
10. *Obiekty transportu i łączności (wewnątrz zakładu)*
  - a) tory i drogi
  - b) lokomotywy, talboty,
  - c) telefony (radiofonizacja),
  - d) samochody, ciągniki itp.
11. *Połączenia zewnętrzne*
  - a) bocznice kolejowe,
  - b) blokada stacyjna,
  - c) łączność wysokiej częstotliwości,
  - d) doprowadzenie wody pitnej,
  - e) połączenie centrali telefonicznej własnej z siecią telefoniczną.

Tablica I

Udział poszczególnych pozycji kosztorysu zbiorczego w ogólnym koszcie inwestycji elektrowni

| Pozycja | Oznaczenie elektrowni | Moc instalowana w MW | Ogólny koszt inwestycji w 10 <sup>6</sup> zł | Koszt jednostkowy na 1 MW instalowany w 10 <sup>6</sup> zł | Procentowy udział poszczególnych pozycji w ogólnym koszcie inwestycji |                      |           |           |                   |           |              |                                |                    |                      |                           | Grupa inwestycji | U w a g i: |                      |                              |                       |                                |                   |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                  |
|---------|-----------------------|----------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|-------------------|-----------|--------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|---------------------------|------------------|------------|----------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------|---------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|------------------|
|         |                       |                      |                                              |                                                            | Prace projektowe i badawcze                                           | Prace przygotowawcze | Nawigacje | Kotłownia | Woda prze-mysłowa | Rurociągi | Maszy-nownia | Transforma-tory i roz-dzielnie | Obiekty pomocnicze | Transport i łączność | Zaplecza i doprowa-dzenia |                  |            | Uprząd-kowanie placu | Potrzeby bytowe i kulturalne | Roboty i kosz-cyowane | Koszty nad-bioru tech-nicznego | Prac. budownictwa | Konstakcja     |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                |                                     |        |         |                 |              |                    |                |                  |                |                |                  |
| 1. E1   |                       | 42                   | 72                                           | 1,71                                                       | 4,1                                                                   | 0,54                 | 15        | 42        | 3,6               | 2,2       | 8,0          | 2,5                            | 4,7                | 0,8                  | —                         | —                | —          | —                    | 6,2                          | 2,1                   | 4,1                            | I                 | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana | koszty modern. 30% obiegu otwartego | I etap | II etap | el. przemysłowa | el. zawodowa | na węgiel brunatn. | obiegi otwarte | obiegi zamknięte | el. kopalniana | el. kopalniana | el. kopalniana</ |

12. *Uporządkowanie placu*

- a) chodniki,
- b) zieleńce,
- c) ogrodzenia.

13. *Potrzeby bytowe i kulturalne*

- a) domy mieszkalne,
- b) hotel robotniczy,
- c) świetlica, boisko sportowe,
- d) przedszkole, żłódek,
- e) ogródki działkowe.

14. *Roboty specjalne i koszty niesprecyzowane*

- a) pracownicy zamiejscowi,
- b) uciążliwe warunki pracy,
- c) godziny nadliczbowe,
- d) diety,
- e) monterzy zagraniczni.

15. *Koszty nadzoru i odbioru technicznego*

- a) utrzymanie dyrekcji budowy,
- b) ekspertyzy i kolaudacje,
- c) koszty rozruchu urządzeń.

16. *Prowizoryczne budownictwo i wyposażenie wykonawstwa*

- a) zagospodarowanie terenu,
- b) likwidacja placu budowy.

Analiza wielu projektów zmierzała głównie do uzyskania średnich wartości kosztu na 1 MW zainstalowany, przy czym ze względu na charakter przedmiotowy inwestycji można podane wyżej grupy rozszerzyć na cztery pozycje:

- I. grupa — rozbudowa elektrowni przemysłowych,
- II. grupa — rozbudowa elektrowni zawodowych,

Tablica 2

Koszt 1 kW zainstalowanego w elektrowni i elektrociepłowni

| Lp. | Oznaczenie                | Koszt<br>zł/1 kW inst. | Uwaga                        |
|-----|---------------------------|------------------------|------------------------------|
| 1   | Elektrownie przemysłowe   | 2500 ÷ 3000            | rozbudowa                    |
| 2   | Elektrownie zawodowe      | 2500 ÷ 3500            | rozbudowa                    |
| 3   | Elektrownie kondensacyjne | 3000 ÷ 4000            | nowe budowy o mocy do 200 MW |
| 4   | j. w.                     | 2500 ÷ 3500            | o mocy 200' ÷ 300 MW         |
| 5   | Elektrociepłownie         | 4000 ÷ 5000            | nowe budowy                  |

Tablica 3

Porównanie kosztów budowy elektrowni w kraju i za granicą

| Lp. | Rodzaj elektrowni                 | Wykonanie zagraniczne |        |        |                 |         |         |                          | Wykonanie krajowe |        |         | Uwagi                                                |
|-----|-----------------------------------|-----------------------|--------|--------|-----------------|---------|---------|--------------------------|-------------------|--------|---------|------------------------------------------------------|
|     |                                   | Kraj                  | Moc MW | Koszt  |                 |         |         | Uwagi                    | Moc MW            | Koszt  |         |                                                      |
|     |                                   |                       |        | Ogółem | waluta          | na 1 kW | waluta  |                          |                   | ogółem | na 1 kW |                                                      |
|     |                                   |                       |        |        |                 |         |         |                          |                   | mln zł | zł      |                                                      |
| 1   | kondensacyjna blokowa blok 100 MW | Niemcy Zachodnie      | 400    | 84     | milion. m. n.   | 210     | m. n.   | Siemens-Zeitschrift 1951 | 300               | 902    | 3000    | blok 100 i 50 MW                                     |
| 2   | blok 62,5 MW                      | Niemcy Zachodnie      | 300    | 84     | milion. m. n.   | 280     | m. n.   | j. w.                    | 300               | 954    | 3180    | blok 50 MW                                           |
| 3   | kondensacyjna kolektorowa         | Niemcy Zachodnie      | 100    | 48     | milion. m. n.   | 480     | m. n.   | j. w.                    | 78                | 262    | 3350    | el. kolektorowa                                      |
| 4   | kondensacyjna blokowa blok 55 MW  | NRD                   | 175    | 70     | milion. m. n.   | 400     | m. n.   | Oferta z 1952 r.         | 275               | 809    | 2940    | blok 55 MW                                           |
| 5   | Elektrociepłownia                 | Anglia                | 480    | 30     | milion. f. szt. | 62,5    | f. szt. | BIKI nr 122              | 150               | 705    | 4700    | 25 MW, turbina 230 t/h-90 Gkal/h blok kocioł-        |
| 6   | Elektrociepłownia                 | USA                   | 120    | 12     | milion. \$      | 100     | \$      | BIKI nr 154/3            | —                 | —      | —       |                                                      |
| 7   | Elektrociepłownia                 | USA                   | 40     | 5,2    | milion. \$      | 130     | \$      | j. w.                    | 47                | 175    | 3720    | człon kondensacyjny przekracza 50% mocy instalowanej |

- III. grupa — budowa nowych elektrociepłowni przemysłowych i zawodowych,  
 IV. grupa — budowa nowych elektrowni kondensacyjnych przeważnie o dużej mocy rzędu 200 ÷ 300 MW.

Analiza umożliwiła również uzyskanie danych charakteryzujących udział poszczególnych pozycji kosztorysu zbiorczego w ogólnym koszcie inwestycji. Nie chodziło tu o wartości bezwzględne, gdyż — jak już wspomniano wyżej — z różnych powodów wskaźniki takie nie dają jasnego obrazu a raczej zniekształcają założenia wyjściowe jako kryterium do porównania kosztów przy tej samej wydajności kotłów czy mocy turbin. Dlatego w tabelcy 1 pozycje te ujęto w procentach całości nakładów. Jeżeli porównamy w podanej tabelcy koszty grupy I i II, które co do charakteru są do siebie podobne, gdyż jedno i drugie odnoszą się do rozbudowy elektrowni — to zauważymy, że koszty na 1 MW instal. w grupie I są niższe od kosztów grupy II i kształtują się normalnie poniżej 3 milionów zł/MW inst. Wynika to stąd, że elektrownie przemysłowe są przeważnie zakładami mniejszymi i rozbudowa ich jest dość ograniczona, podczas gdy rozbudowa elektrowni zawodowych z reguły wymaga modernizacji starych urządzeń. Koszt z pozycji drugiej — 3,35 milionów zł/MW jest za wysoki wskutek przewlekłego wykonawstwa najpierw w resorcie przemysłowym i opóźnienia inwestycji w wyniku przejścia zakładu przez inny resort. Pewnego wyjaśnienia wymaga również koszt z poz. 1:1,71 milionów zł/MW, który staje się zbyt niski. Pochodzi to stąd, że inwestycje ograniczały się do zainstalowania jednostki turbinowej czołowej wraz z kotłem, co pozwoliło na wykorzystanie starych turbin kondensacyjnych i uzyskanie w ten sposób dużej mocy.

Jeżeli chodzi o dwie dalsze grupy, to rzuca się w oczy przede wszystkim znaczny koszt inwestycji elektrociepłowni. Wy tłumaczyć to można tym, że kotłownie w elektrociepłowniach są prawie dwa razy większe niż w elektrowniach kondensacyjnych. Poza tym dochodzi tu jeszcze stacja wymienników i innych urządzeń potrzebnych do wyprowadzenia energii cieplnej.

Akcja zatwierdzania kosztorysów zbiorczych i kosztorysów generalnych zmusiła biura projektowe do

szczegółowego opracowania kosztorysów, a tym samym umożliwiła uzyskanie bardziej realnych liczb, jeśli chodzi o potrzebne fundusze inwestycyjne.

Na podstawie danych tabelcy 1 oraz analizy innych projektów (tutaj nie podanych) można ułożyć tabelę 2, w której podano koszt 1 kW instalowanego na dzisiejszym etapie finansowania inwestycji. W szczególnych wypadkach mogą powstać różnice w górę lub w dół, jak np. koszt z poz. 4 tabelcy 1 — 4,63 milionów zł/MW. Prawie zawsze wchodzi tu w grę czynnik, nie związane bezpośrednio z inwestycją „czystą“, jak np. w tym wypadku to, że 30% kosztów pochłonie modernizacja starych urządzeń, a dla „czystej“ inwestycji koszt jednostkowy wynosi około 3000 zł/kW inst.

Zaznaczyć należy, że Uchwała Nr 302 zaskoczyła tak inwestorów, jak i biura projektowe, które często nie były przygotowane do opracowania tej ilości kosztorysów zbiorczych, ażeby dotrzymać podanych w Uchwale terminów. Wskutek tego niektóre opracowania budzą zastrzeżenia, gdyż podane w nich liczby nie zawsze podają dość dokładnie faktyczny koszt danego urządzenia czy całości nakładów inwestycyjnych, potrzebnych do sfinansowania danej budowy.

Dla porównania, w jaki sposób kształtują się koszty budowy elektrowni u nas i za granicą zestawiono w tabelcy 3 odpowiednie nakłady dla krajowych i zagranicznych elektrowni (elektrociepłowni). Dane zaczerpnięto z radzieckich biuletynów przemysłowo-handlowych i zagranicznej prasy technicznej.

Kosztorys zbiorczy jest integralną częścią projektu wstępnego i określa całkowity nakład inwestycji podobnie jak w projekcie technicznym kosztorys generalny. Brak jednolitych, scalonych norm kosztorysowych może spowodować w szczególnych przypadkach pewne trudności w opracowaniu dokumentacji kosztorysowej. Wówczas aż do chwili opracowania jednolitych norm należy zastosować tymczasowy tryb odmienny od zasad podanych w Instrukcji Nr 98.

Należy spodziewać się, że opracowane dokumentacje kosztorysowe będą na tym samym co najmniej poziomie co opracowania dokumentacji technicznej a kosztorysy zbiorcze staną się bodźcem dla biur projektowych do zwiększenia wysiłków, aby zapewnić dokumentację kosztorysową odpowiednio do założeń gospodarczych.

621.182.94

## Odpielanie kotłowni

Inż. Jacek Janczak

### Część II

#### Urządzenia pneumatyczne

Urządzenia pneumatyczne mają tę wyższość nad instalacjami hydraulicznymi, że zużywają mało wody, o którą na niektórych terenach jest bardzo trudno.

Woda potrzebna jest bowiem do uzupełniania filtrów wodnych i próżniowych pomp rozbryzgowych. W obiegu otwartym zapotrzebowanie jednej pompy typu P-4552 o wydajności powietrza 30 m<sup>3</sup>/min wynosi 3 ÷ 3,5 m<sup>3</sup>/h. W obiegu zamkniętym zużycie wody spada do 15% (tj. do 0,45 ÷ 0,53 m<sup>3</sup>/h). Ilość wody do uzupełniania filtrów wodnych zależy od

sprawności cyklonów i jest równa 5 ÷ 10-krotnej wartości wydzielonego pyłu w filtrze.

Przy składowaniu popiołu na zwalach trzeba go zraszać, aby zapobiec pyleniu, co powoduje dodatkowe niewielkie zużycie wody w ilości równej około 7% wagi popiołu.

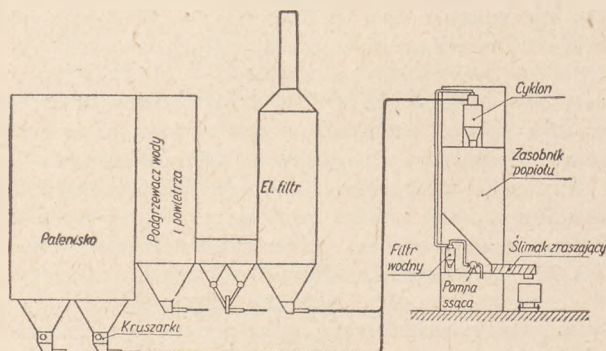
Jeżeli popiół lotny przeznaczony jest do dalszej przeróbki, to transportuje się go do przetwórci w stanie suchym (pneumatycznie lub w specjalnych wagonach).

Wadą instalacji pneumatycznej jest większe zapotrzebowanie mocy oraz bardziej skomplikowana aparatura, szczególnie w części oddzielającej popiół od po-

wietrza oraz większe zużycie samej instalacji w porównaniu z instalacją hydrauliczną.

### Urządzenia pneumatyczne ssące

Urządzenia tego typu nadają się do transportu popiołu na odległość do około 100 m. Schemat instalacji ssącej pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Schemat instalacji ssącej

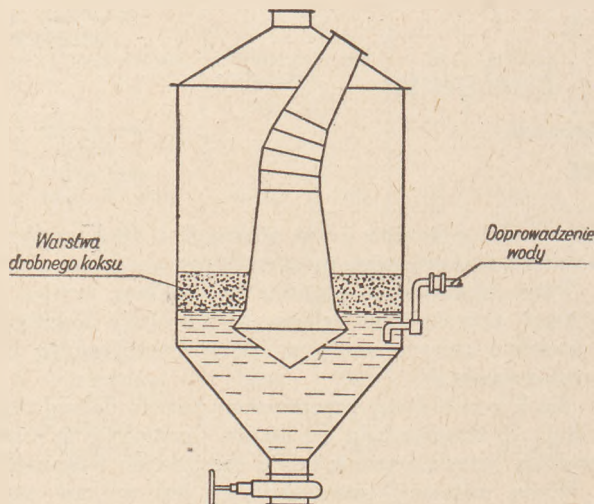
Najczęściej spotykane instalacje ssące wykonane są w sposób następujący:

Pod każdym koszem popiołu przy kotle jest umieszczona skrzynka, do której wmontowana jest dysza ssąca. Pomiędzy wylotem kosza a skrzynką znajduje się zasuwa popiołowa. Po otwarciu zasuwy popiół spada do skrzynki, skąd zostaje zassany przez dyszę.

Pod wylotami z koszy żużlowych, a w paleniskach pyłowych pod komorą paleniskową pomiędzy zasuwą i skrzynką, zmontowane są kruszarki do rozdrabniania dużych brył żużla. W instalacjach tego typu maksymalny wymiar brył żużla może dochodzić do 40 mm, jednak większość nie powinna przekraczać 20 mm.

Popiół i żużel doprowadza się rurociągiem do głównej stacji oddzielającej, składającej się przeważnie z dwustopniowego cyklonu. Grubsze części oddzielają się w cyklonie pierwszym, drobniejsze zaś w cyklonie drugim.

Powietrze zasysane z cyklonów przez pompę próżniową jest częściowo zanieczyszczone bardzo drobnymi cząstkami popiołu (około  $5 \pm 15\%$ ).



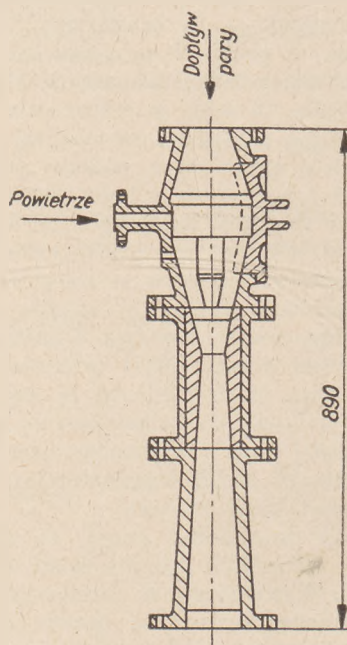
Rys. 2. Filtr wodny

W celu całkowitego oczyszczenia przepuszcza się powietrze przez filtry wodne (rys. 2) lub workowe, gdzie nawet najdrobniejsze cząstki zostają w większości oddzielone. W rezultacie zawartość pyłu w powietrzu wynosi  $0 \div 5\%$ .

Przy filtrach wodnych powietrze przechodzi przez oddzielacz wodny, następnie dopływa do urządzeń ssących, dobranych odpowiednio do warunków pracy oraz do parametrów projektowanej instalacji.

Do wypompowywania powietrza z instalacji ssących stosuje się następujące urządzenia:

1. Smoczki parowe o prostej konstrukcji i obsłudze, mające natomiast niską sprawność, co powoduje duże zużycie pary (około 1 kg pary na 1 kg powietrza) oraz znaczną stratę kondensatu, a tym samym wysokie koszty eksploatacji (rys. 3).



Rys. 3. Smoczek parowy

Ponadto smoczki parowe w czasie pracy hałasują, wskutek czego obsługujący nie mogą dłużej przebywać w ich pobliżu. Smoczki są używane z reguły jako urządzenia rezerwowe.

2. Pompy rotacyjne (rys. 4) o stosunkowo dużej sprawności, lecz zużywające się bardzo prędko wskutek zanieczyszczeń w powietrzu.

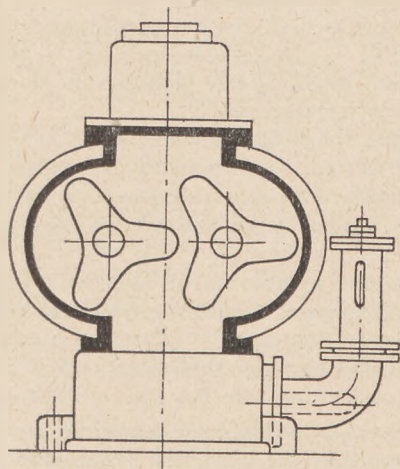
Zasięg działania dla pomp rotacyjnych jest ograniczony stosunkowo małym podciśnieniem, około 114 mm Hg, co nie wystarcza dla normalnie spotykanych wydajności instalacji (tj. około 10 t/h).

3. Pompy tłokowe, które są drogie i zajmują dość dużo miejsca. Sprawność tych pomp jest bardzo duża, jednak jak i pompy rotacyjne są one wrażliwe na zanieczyszczenie powietrza.

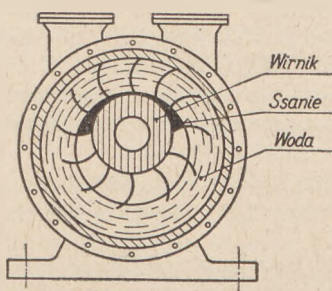
4. Pompy próżniowe rozbryzgowe (rys. 5) dają około 85% próżni, są mniej wrażliwe na zanieczyszczenie powietrza. W pierścieniu wodnym wydzielają się bardzo drobne cząstki popiołu tak, że z pompy uchodzi praktycznie czyste powietrze.

Woda w pierścieniu wodnym jest stale wymieniana, wskutek czego przy nieznacznej koncentracji pyłu w zasysanym powietrzu zużycie elementów

pompy jest małe. Wymiana wytartego wirnika jest prosta.



Rys. 4. Pompa rotacyjna



Rys. 5. Pompa próżniowa rozbryzgowa

W najnowszych instalacjach ssących pompy te stosuje się niemal wyłącznie.

5. Wentylatory odznaczające się wielką prostotą konstrukcji i obsługi. Zastosowanie ich jednak jest dość ograniczone wskutek małego podciśnienia, które wynosi około 69 mm Hg. Dlatego urządzenia te nie mają zastosowania przy dużym zasięgu transportu.

Stosunek ilości powietrza do ilości popiołu w urządzeniach pneumatycznych wynosi wagowo 1:1 ÷ 1:10 i zależy od długości rurociągów.

Odpopielanie pneumatyczne ssące ma wiele zalet, a mianowicie:

- a) transport popiołu z koszy pod kotłami jest bardzo prosty;
- b) rurociągi odprowadzające popiół zajmują mało miejsca i pozwalają na wygodne ich ułożenie pomiędzy istniejącymi urządzeniami w popielarni;
- c) instalacja polepsza warunki wentylacji, co ma duże znaczenie w starych kotłowniach, w których odczuwa się brak czystego powietrza;
- d) jeżeli urządzenia są nieszczelne (np. wskutek wytarcia się jakiegoś elementu), to pomieszczenie kotłowni nie jest zapyłane, gdyż przez uszkodzone miejsce jest zasysane powietrze.

Wadą instalacji tego typu jest ograniczony zasięg, stosunkowo szybkie wycieranie się aparatury i rurociągów oraz pewne trudności w wykrywaniu nieszczelności. Wadą jest również możliwość jednoczesnego odpopielania z jednej tylko skrzynki ssącej.

Wycieranie się poszczególnych elementów instalacji jest największe w miejscach, w których zmienia się nagle kierunek przepływu, a więc na kolanach oraz na wlocie do cyklonu. Dlatego kolana posiadają specjalną konstrukcję. Rurociągi na prostych odcinkach wycierają się bardziej równomiernie niż w instalacjach hydraulicznych. W celu zwiększenia trwałości można je również obracać o  $60 \div 90^\circ$ . Obracanie jest szczególnie ważne, gdy rurociągi są długie, biegną poziomo lub ukośnie.

W zależności od obciążenia instalacji rurociągi na prostych odcinkach wymienia się co  $3 \div 5$  lat.

Urządzenia pneumatyczne ssące nadają się do odpopielania głównie w części wewnętrznej, z uwagi na mały zasięg. Celowe jest instalowanie urządzeń odpopielania tego typu wtedy, gdy przewiduje się wywóz popiołu z elektrowni wagonami. Przy ładowaniu na wagony popiół przechodzi przez ślimaki zraszające, które zwilżają go wodą.

Przy pneumatycznym transporcie popiołu na zwzał lub do przeróbki stosuje się w instalacji zewnętrznej system tłoczący.

#### Urządzenia pneumatyczne tłoczące

Wraz z rozwojem kotłów pyłowych, przy których ilość lotnych popiołów wynosi  $80 \div 90\%$  oraz w związku z budową dużych kotłowni, co wymaga składowania ogromnych mas popiołu na zwzałach oddalonych znacznie od kotłowni, rozpowszechniły się instalacje odpopielające tłoczące, nadające się przede wszystkim do transportu lotnych pyłów na duże odległości (nawet do kilku kilometrów).

Schemat instalacji tłoczącej pokazano na rys. 6.

Instalacja tłocząca składa się z dwóch części:

- a) z części wewnętrznej, odprowadzającej popiół z koszy pod kotłami, oddzielnymi rurociągami do małego zbiornika popiołu, umieszczonego nad pompą popiołową, zwykle w środku kotłowni dla uzyskania możliwie krótkiej drogi transportu,
- b) z części zewnętrznej, odprowadzającej popiół z wymienionego zbiornika do przeróbki lub na zwzał.

Cała instalacja rozwiązana jest następująco:

Pod koszami popiołu umieszczone są indywidualne aparaty wysyłkowe, składające się z zasuw popiołowej, z dozownika obrotowego i z dyszy na powietrze sprężone.

Ponieważ koncentracja, tj. stosunek ilości popiołu do ilości powietrza jest mała oraz popiół transportuje się na nieznaczną odległość, przeto dozownik nie zawsze jest potrzebny.

Popiół spada do komory, w której umieszczona jest dysza powietrzna, skąd pod wpływem strumienia powietrza dostaje się rurociągiem do zbiornika. Średnica zewnętrzna rurociągów transportowych wynosi zwykle 60 mm.

Jeżeli do transportu żużła stosuje się instalację tłoczącą, to pod koszem żużlowym umieszcza się kruszarkę, pod nią zaś komorę z dyszą ssącą.

W instalacjach tego typu żużel musi być bardzo drobno pokruszony, gdyż przechodzi on przez pompy pyłowe z prędkoobrotowymi dozownikami i podajnikami ślimakowymi (900 obr/min), które przy dużej granulacji żużła szybko się wycierają. Trwałość ślimaka żeliwnego przy lotnym popiele wynosi około 100 go-

dzin. Wymiana ślimaków oraz pancerzy pomp pyłowych jest łatwa.

Dokładne rozkruszenie żużla na bardzo drobne ziarna jest kłopotliwe i kosztowne; dlatego też w dużych kotłowniach stosuje się czasem do usuwania żużla odrębną instalację innego typu, mniej wrażliwą na wymiary transportowanego żużla niż instalacja pneumatyczna tłocząca.

Jak wspomiano, rurociągi transportowe doprowadzone są do zbiornika, w którym osadza się żużel. W zbiorniku tym powietrze nie oczyszcza się dostatecznie, dlatego nad zbiornikiem ustawiony jest cyklon, oddzielający drobne części popiołu od powietrza nośnego uchodzącego na zewnątrz (np. do komina). Oczyszczenie za cyklonem wynosi  $80 \div 85\%$ . Pozostała część zanieczyszczeń wydzielana jest w elektrofiltrach ustawionych w kotłowni. Tak więc  $15 \div 20\%$  najdrobniejszych pyłów znajduje się w obiegu zamkniętym.

Na zewnątrz, tzn. na zwał lub do przeróbki odprowadza się popiół przez tzw. pompy popiołowe. Pompa popiołowa składa się z dozownika celkowego, z ślimaka podającego oraz z zespołu transportującego, tzw. dyszy z dyfuzorem, zaworem i wtórnym doprowadzeniem powietrza. Pompy popiołowe z reguły ustawia się z odpowiednią rezerwą.

Zespół składający się z dwu pomp popiołowych oraz ze zbiornika popiołu wraz z cyklonem tworzy główną stację wysylkową.

Średnica rurociągów transportowych w części zewnętrznej wynosi  $150 \div 250$  mm, co zależy od odległości, ciśnienia, wydajności itp. Na końcu rurociągu ustawione są zasobniki popiołu oraz urządzenie do oczyszczania powietrza.

Zasobnik spełnia zwykle rolę komory osadzającej, w której powietrze oczyszcza się wstępnie. Pozostałe zanieczyszczenia usuwa się w dużych stałych zasobni-

kach za pomocą filtrów workowych lub w małych przewoźnych zbiornikach, umieszczonych przy składowiskach popiołu, w cyklonach.

Jeżeli lotny popiół nie jest przeznaczony do dalszej przeróbki, to — aby zapobiec pyleniu — zwilża się go w ślimakach zraszających, podobnych do poprzednio opisanych w instalacji ssącej.

Przewoźne zbiorniki ustawione są na szynach. Popiół składa się na zwałach za pomocą przewoźnego przenośnika taśmowego. Zasobnik przesuwany na inne miejsce po wypełnieniu składowiska w zasięgu przenośnika taśmowego.

Przy dobrze uregulowanym dopływie wody do ślimaków zraszających popiół nie wytwarza pyłu.

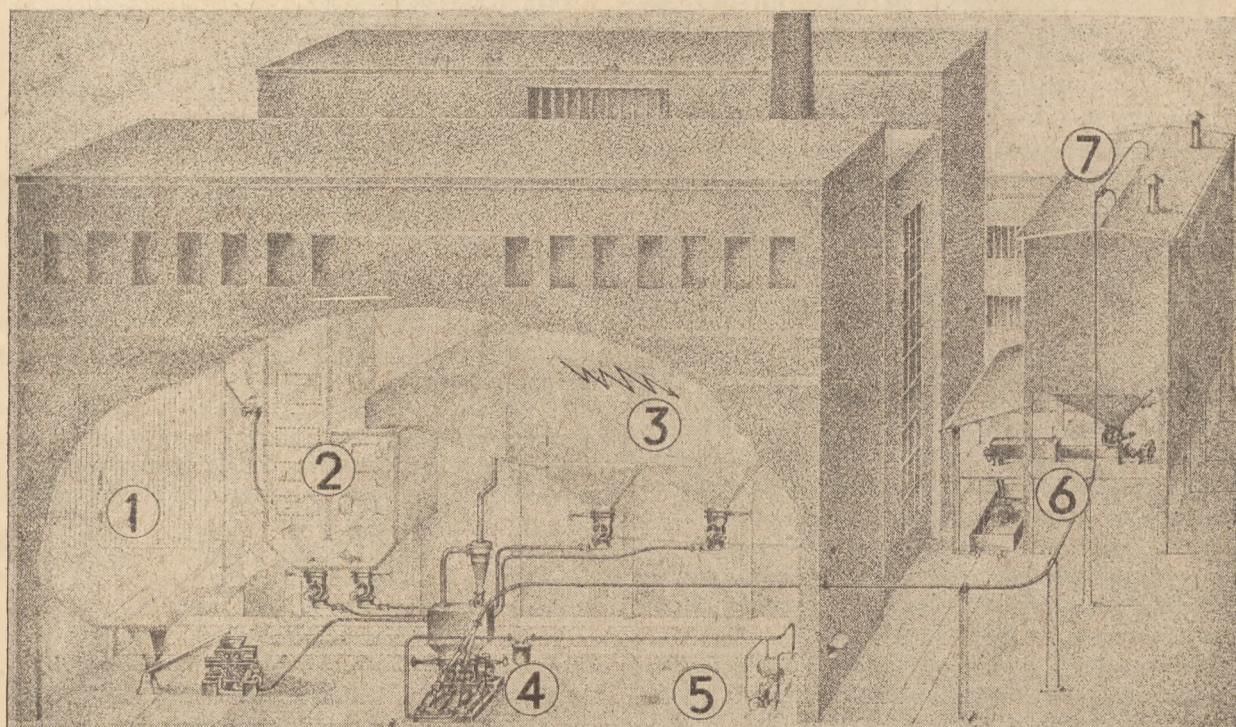
Ciśnienie w rurociągach odprowadzających wynosi w części indywidualnej  $0,35 \div 0,5$  atn, w części zewnętrznej może dojść do 2,5 atn.

Ciśnienie doprowadzanego powietrza wynosi  $3 \div 7$  atn. Zapotrzebowanie powietrza do transportu na odcinku kosz popiołowy — zbiornik pompy popiołowej wynosi około  $250 \div 120$  m<sup>3</sup>/t, a na drodze pompa popiołowa — zwał  $80 \div 200$  m<sup>3</sup>/t. Niewątpliwą zaletą tego typu instalacji jest możliwość jednoczesnego odpiekania kilku koszy popiołowych pod kotłami.

Wadą tego typu instalacji jest zapylenie pomieszczeń przez nieszczelne rurociągi oraz stosunkowo duża wrażliwość na granulację żużla.

W dużych kotłowniach stosuje się czasem instalacje ssące w części wewnętrznej, tłoczące zaś w części zewnętrznej.

Na ogół instalacje tłoczące z rozbudowaną częścią zewnętrzną nadają się do usuwania popiołu, gdy jego ilość nie przekracza 10 t/h. Instalacje tego typu stosuje się tylko w kotłowni z kotłami pyłowymi, przy których ilość żużla przechodząca przez centralne dozowniki popiołowe nie przekracza 15%.



Rys. 6. Schemat instalacji tłoczącej

## Wybór systemu odpopielania

Wybór systemu odpopielania zależy od:

1. pewności ruchu kotłowni przy projektowanym urządzeniu odpopielającym, zapewniającym higieniczne warunki pracy dla obsługujących kotły,
2. kosztu instalacji, kosztu eksploatacji i wynikającego stąd kosztu usuwania popiołu (po uwzględnieniu amortyzacji),
3. wymagań technologicznych dotyczących granulacji oraz zwilżania popiołu w razie dalszej przeróbki.
4. możliwości zaopatrzenia w wodę.

Przy rozpatrywaniu powyższych zagadnień należy uwzględnić:

- a) ilość popiołu i żużla oraz ich procentowe odpady w palenisku,
- b) chemiczne i fizyczne własności popiołu i żużla (skład chemiczny, zdolność do cementowania po zmieszaniu z wodą, twardość itp.).

Koszty usuwania popiołu z kotłowni zależą przede wszystkim od warunków lokalnych rozpatrywanej kotłowni, w szczególności od odległości składowiska, osadnika lub przetwórnicy popiołu od kotłowni, od konfiguracji terenu, od istniejącego miejsca pod kotłami oraz od układu kanałów kablowych i rurociągów pod kotłownią itp.

Ilość oraz własności chemiczne i fizyczne popiołu usuwanego z kotłowni uwzględnia się przy ustalaniu, czy dalsza jego przeróbka będzie możliwa i opłacalna. Jeżeli kalkulacja wypadnie pomyślnie, to ustala się cel użytkowania popiołu (np. do produkcji cementu, żużlo-betonu lub jako tzw. lesz na drogi i chodniki), następnie lokalizuje się przetwórnice.

W tym wypadku wybór systemu urządzenia odpopielającego zależy zasadniczo od tego, jak przebiega proces technologiczny przy dalszej przeróbce popiołu, który nie może odbiegać od metody produkcji nowego materiału. Na przykład w razie przerabiania lotnego popiołu na cement nie można go zwilżać, więc do jego transportu należy zastosować tylko instalację pneumatyczną.

W dużej kotłowni, z której transportuje się popiół bezpośrednio do przetwórnicy, położonej w odległości większej niż 150 m, opłaca się stosować system pneumatyczny kombinowany, a więc wewnątrz kotłowni — ssący, na zewnątrz tłoczący. Jeżeli do przeróbki potrzebny jest żużel płukany, to stosuje się hydrauliczne odpopielanie lub kombinowane z osadnikiem. Z powyższego wynika, że niekiedy trzeba stosować w jednej kotłowni kilka systemów odpopielania, np. do usuwania lotnego popiołu — pneumatyczny, do transportu żużla — hydrauliczny.

Jeżeli nie przewiduje się dalszej przeróbki popiołu i żużla (nieprzydatnego np. ze względów chemicznych lub gdy nie ma przetwórnicy itp.), to należy przeanalizować, czy możliwe będzie zastosowanie hydraulicznego systemu grawitacyjnego, który z reguły jest najtańszy.

Przy takim rozwiązaniu należy w szczególności rozważyć możliwość

- a) umieszczenia kanałów w kotłowni;
- b) składowania popiołu i żużla (odległość składowiska, możliwość transportu mieszanki wodno-popio-

łowej bezpośrednio na składowisko lub budowa osadnika i dalszy transport kolejną).

Niezależnie od systemu grawitacyjnego należy rozważyć możliwość zastosowania innych urządzeń.

O wyborze odpowiedniego urządzenia decyduje ostatecznie jak najniższy koszt transportu 1 tonny popiołu dla każdego rozwiązania.

Rzeczywisty koszt usuwania 1 tonny popiołu, który jest najważniejszym wskaźnikiem ekonomicznym, składa się ze stawki amortyzacyjnej i z kosztów eksploatacyjnych instalacji odpopielającej.

Stawkę amortyzacyjną oblicza się dla każdej części instalacji posiadającej różny okres zużycia według następującego wzoru

$$W_1 = \frac{P_w \cdot Z}{Q_{sr} \cdot t}$$

gdzie

$W_1$  — stawka amortyzacyjna dla danej części instalacji,  
 $P_w$  — koszty inwestycji przypadające na daną część instalacji (początkowa wartość),

$Q_{sr}$  — średnia wydajność urządzenia w t/h,

$t$  — liczba godzin pracy danej części do zniszczenia,

$Z$  — wartość złomu.

Łączną stawkę amortyzacyjną określa wzór:

$$W = \sum_{n=1}^n W_n$$

gdzie

$n$  — ilość części instalacji o różnej żywotności.

Koszty eksploatacji oblicza się według wzoru:

$$E = \frac{a + b + c + d}{i}$$

gdzie

$E$  — koszt eksploatacji na jedną tonnę popiołu,

$a$  — koszt energii elektrycznej, wody, sprężonego lub zassanego powietrza w jednostce czasu,

$b$  — koszty obsługi w jednostce czasu,

$c$  — koszty napraw w jednostce czasu,

$d$  — koszty materiałów pomocniczych w jednostce czasu

$i$  — ilość popiołu usuniętego w jednostce czasu w tonnach.

Koszt transportu jednej tonny popiołu jest sumą stawki amortyzacyjnej i kosztów eksploatacji

$$K = W + E$$

Jak wspomniano na wstępie, o koszcie transportu decydują warunki lokalne, które wpływają na stawkę amortyzacyjną i na koszt eksploatacji, a tym samym — o celowości zastosowanego urządzenia do odpopielania.

Dlatego przy tym samym systemie odpopielania, lecz w różnych warunkach lokalnych mogą znacznie różnić się jednostkowe koszty transportu.

Podawanie zatem pewnych wskaźników, jak np. zapotrzebowania mocy, kosztu transportu popiołu itp. bez ścisłego sprecyzowania warunków pracy instalacji, prowadzi często do mylnych wniosków. Tak np. w instalacjach hydraulicznych zapotrzebowanie energii dla różnych warunków lokalnych waha się od 0,2 ÷ 25 kWh/t popiołu, czyli dla krańcowych wypadków stosunek wynosi 1 : 125.

Pominięcie w projekcie wstępnym starannie opracowanego uzasadnienia ekonomicznego może stać się przyczyną niewłaściwego doboru instalacji odpopielania.

jącej i wysokich kosztów eksploatacji urządzeń pracujących w nieodpowiednich warunkach. Ogólne wytyczne do wyboru poszczególnych systemów odpapierania przedstawiają się następująco:

1. Kotłownie z kotłami rusztowymi, z reguły o małej lub średniej wydajności, mające składowiska popiołu w odległości do 3 km, powinny być wyposażone:
  - a) w instalację grawitacyjną w części wewnętrznej z wypompowywaniem mieszanki żużla i wody pod ciśnieniem bezpośrednio na mokre składowisko jeżeli jest zapewniona dostateczna ilość wody;
  - b) w instalację grawitacyjną oraz w osadnik w pobliżu kotłowni (z możliwie bezpośrednio wprowadzonymi do niego kanałami) — jeżeli dopływ wody jest ograniczony.

Jeżeli trzeba przepompowywać mieszaninę popiołu do osadnika na wyższy poziom, to należy zastosować w części wewnętrznej instalację ciśnieniową.

W obu wypadkach należy zaprojektować zamknięty obieg wodny. Popiół wywozi się na składowisko wagonami kolejki wąskotorowej, samochodami lub koleją;

- c) w instalację pneumatyczną ssącą w części wewnętrznej z wywozem na składowisko jak pod b) jeżeli jest specjalnie trudno o dostateczną ilość wody.

Jeżeli składowiska leżą w odległości większej niż 3 km, to raczej stosuje się rozwiązanie b) i c).

2. Kotłownie duże, z kotłami pyłowymi, mające składowiska popiołu w odległości do 5 km, powinny być wyposażone:

- a) w instalację grawitacyjną — jeżeli dostawa wody jest zapewniona;
- b) w instalację grawitacyjną do usuwania żużla oraz w instalację pneumatyczną — tłoczącą do usuwania popiołu (również w części wewnętrznej kotłowni) — jeżeli dostawa wody jest ograniczona;
- c) przy transporcie na dalsze odległości należy zastosować do usuwania żużla w części wewnętrznej system hydrauliczny z małym osadnikiem, dla lotnych popiołów zaś instalację pneumatyczną z małym zbiornikiem w pobliżu kotłowni.

Przy oddalonych składowiskach wywozi się popiół wagonami kolejowymi.

Jeżeli popiołu lotnego jest dużo, to stosuje się wówczas instalację tłoczącą. Przy transporcie na małą odległość i ilości popiołu lotnego nie przekraczającej 20 ÷ 30 t/h (z uwagi na obecnie wytwarzane urządzenia) lub gdy konieczne jest pneumatyczne usuwanie żużla, należy stosować instalację ssącą.

Według ogólnych wytycznych przy dużej masie popiołu lotnego opłaca się kotłownię odpapierać hydraulicznie, jeżeli istnieją składowiska mokre. Osadzanie bowiem dużych ilości lotnego popiołu w osadnikach jest bardzo kosztowne.

W dużych kotłowniach instalacje odpapierające dzieli się na kilka niezależnych członów, tak aby wydajność każdego z nich nie przekraczała 10 ÷ 20 t/h.

W kotłowniach o średniej wydajności stosuje się kombinacje opisanych rozwiązań.

## Eksploatacja urządzeń odpapierających

Sprawne działanie instalacji odpapierających zależy od:

- a) właściwego doboru konstrukcji kotła do danego paliwa oraz od warunków, w których on pracuje,
- b) prawidłowego zaprojektowania, wykonania oraz eksploatacji urządzenia odpapierającego, dobrego do ściśle określonych warunków pracy.

Z praktyki wynika, że nieodpowiednio dobrany kocioł może spowodować duże trudności przy odpapieraniu, a nawet przyczynić się do obniżenia wydajności pary, zaprojektowanie zaś dobrze działającej instalacji odpapierającej jest niemożliwe.

Często w takich wypadkach słyszy się narzekanie, że instalacja odpapierająca jest zła, mimo że przyczyną tego jest palenisko kotła lub paliwo, do którego ta instalacja nie nadaje się.

Urządzenie odpapierające przysparza najwięcej trudności w pierwszych miesiącach po uruchomieniu kotłowni. Powodem tego są błędy wykonawcze i montaże oraz niedostateczne opanowanie przez personel obsługujący zasady działania urządzenia odpapierającego.

Po pewnym czasie, gdy kwalifikacje personelu obsługującego podniosą się i usterki w wykonaniu zostaną usunięte, instalacja pracuje normalnie.

Do obsługi instalacji odpapierającej w każdej kotłowni musi być opracowana odpowiednia instrukcja eksploatacyjna.

Instrukcja taka powinna obejmować:

1. harmonogram odpapierania poszczególnych koszy popiołowych w ciągu doby;
2. sposób porozumiewania się między palaczem i odpapieraczem, co jest bardzo ważne przy odpapieraniu koszy żużlowych przy paleniskach pyłowych ze względu na niebezpieczeństwo wybuchu w kotłowni;
3. szczegółowe przepisy konserwacji i wymiany części, które szybko zużywają się;
4. normatywy na części zamienne, które powinny stale znajdować się w magazynie;
5. harmonogram remontów bieżących i głównych.

Najczęstszym błędem w eksploatacji instalacji odpapierających, powodującym nadmierne zużycie energii elektrycznej lub pary, jest zbyt długa praca urządzeń odprowadzających popiół. Zdarza się często, że urządzenia te po opróżnieniu zasobników popiołowych biegają później jałowo, zużywając niepotrzebnie wodę lub powietrze, a tym samym i energię elektryczną, co wpływa na koszty własne kotłowni. Wskutek tego np. w jednej z elektrowni stosunek zużycia wody na 1 tonne popiołu wynosił 100 : 1.

Z uwagi na małą trwałość części instalacji odpapierających zatrudnia się przy niej dwie grupy pracowników:

- a) personel ruchowy, który odpapiera kotły,
- b) personel konserwujący, który stale konserwuje urządzenia (wymienia szybko zużywające się części i przeprowadza drobne naprawy) oraz pomaga przy remontach głównych i bieżących.

Opisane instalacje odpapierające pracują w Polsce od kilkudziesięciu lat. Opierając się na wynikach eksploatacji można stwierdzić, że zasada zmechanizowanego odpapierania dobrze zdała egzamin.

## Modernizacja odpopielania kotłowni starych

Bardzo ważnym zagadnieniem jest modernizacja starych kotłowni zarówno ze względu na higienę pracy jak i na tendencje do mechanizacji prac wymagających dużego wysiłku fizycznego.

Modernizacja odpopielania w starych kotłowniach była dotychczas dość trudna z uwagi na brak krajowych urządzeń odpopielających, jak również na brak doświadczenia w projektowaniu takich instalacji.

Obecnie jeden z zakładów mechanicznych przystąpił do produkcji urządzeń odpopielających i wkrótce będzie mógł pokryć pełne zapotrzebowanie w kraju. Będą produkowane wszystkie urządzenia do opisanych systemów odpopielania.

Do modernizacji odpopielania w kotłowni nadaje się specjalnie system ciśnieniowy.

Na ogół w starych elektrowniach, położonych na terenach zabudowanych nie opłaca się zakładać składowisk z bezpośrednim transportem popiołu z uwagi na dużą odległość ich od kotłowni.

Żużel z kotłów rusztowych w elektrowniach o średniej mocy jest zwykle używany na drogi, wobec czego problem składowania go w ogóle nie istnieje. Dlatego też w wielu wypadkach modernizacja instalacji odpopielającej ogranicza się do wnętrza kotłowni z bardzo mało rozbudowaną częścią zewnętrzną, na którą przypada większość kosztów. Koszty modernizacji są wówczas dość małe, rozwiązanie zaś zagadnienia odpopielania przyczynia się do usprawnienia pracy, do podniesienia warunków zdrowotnych i w efekcie wpływa na stabilizację kadr na tym odcinku.

System odpopielania w wypadku modernizacji kotłowni dobiera się według podanych poprzednio zasad.

Podstawą do wykonania projektu modernizacji kotłowni jest ustalenie, ile miejsca znajduje się pod kotłami, jak przebiegają rurociągi i kanały itp., co zasadniczo wpływa na projekt odpopielania (inventaryzacja).

W kotłowniach, w których przewiduje się modernizację odpopielania, należy wcześniej wykonać rysunki inwentaryzacyjne, co ułatwi i przyspieszy opracowanie projektu odpopielania, a tym samym uruchomienie instalacji.

### Nowoczesne tendencje w rozwiązaniach zagadnienia odpopielania

Przy odpopielaniu dąży się obecnie do tego, aby zapobiec powstawaniu lotnych popiołów, które trudno jest transportować i składać na składowiskach.

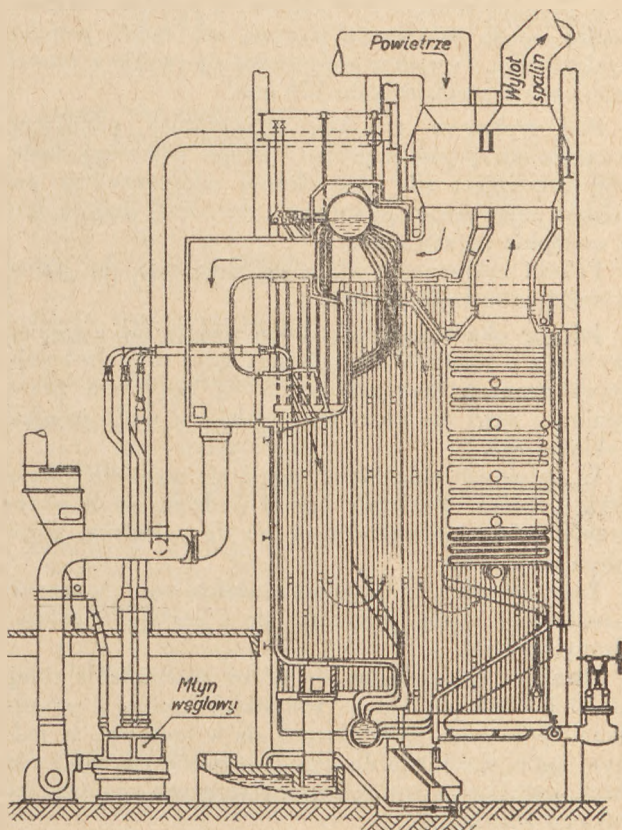
Dlatego konstruktorzy kotłów dążą do tego, aby w komorze paleniskowej wydzielić jak najwięcej popiołu i odprowadzić go w stanie płynnym.

Postęp techniczny w dziedzinie odpopielania nie zmierza do większych zmian w urządzeniach odpopielających, których konstrukcja od kilkudziesięciu lat w zasadzie nie wiele się zmieniała. Dąży się natomiast do stworzenia jak najlepszych warunków wydzielenia popiołu w kotle, który, jak już wspomniano poprzednio, jest główną przyczyną trudności przy odpopielaniu.

Obecnie najczęściej są stosowane dwa zasadnicze typy kotłów na płynny żużel:

a) kotły z kąpielą żużlową (rys. 7).

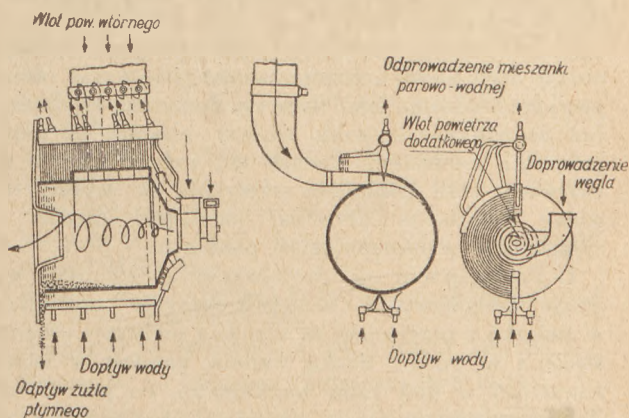
b) kotły z palnikiem cyklonowym (rys. 8).



Rys. 7. Kocioł na płynny żużel

Kocioł typu pierwszego ma specjalną komorę topiącą, na dnie której zbiera się płynny żużel. Palniki są wprowadzone prawie prostopadle do zwierciadła płynnego żużla. Wskutek tego osiąga się silne zagięcie płomienia, co powoduje, że cząsteczki żużla pod działaniem siły odśrodkowej wypadają ze strumienia spalin i osadzają się na dnie komory, skąd ściekają do zbiornika granulacyjnego wypełnionego wodą. W zbiorniku granulacyjnym umieszczone są kruszarki rozdrabniające zbyt duże kawałki żużla.

W komorze topiącej wydziela się około 60 : 80% popiołu, a nawet więcej. Pozostała część popiołu oddzielana jest w odpylaczach spalin.



Rys. 8. Palnik cyklonowy

Poza rozwiązaniem podanym na rys. 7 istnieje jeszcze kilka innych rozwiązań konstrukcyjnych, jednak zasada działania jest podobna do poprzednio opisanej.

Drugim rozwiązaniem jest palnik cyklonowy, w którym płomień wiruje. Pył węglowy i powietrze doprowadza się do palnika po stycznej do mufla palnika cyklonowego. Powietrze wprowadza się zwykle w trzech miejscach z prędkością do 150 m/s.

Pod wpływem wysokiej temperatury panującej w palenisku popiół topi się i krople płynnego żużla pod działaniem siły odśrodkowej odrzucane są na ścianki paleniska, skąd spływają do dolnej jego części, a następnie na zewnątrz.

Palniki cyklonowe nadają się specjalnie do paliw o dużej zawartości popiołu.

Jak się okazało, palniki takie nadają się najlepiej do węgla o ziarnach około 5 mm, gdyż przy drobniejszych ziarnach cząsteczki węgla są porywane przez spaliny i żużel nie zdąży się oddzielić w mufla palnika cyklonowego.

W opisanych paleniskach udaje się wydzielić około 80% popiołu. Pozostały popiół wydziela się w odpylaczach, skąd odprowadza się go do paleniska, gdzie ulega stopieniu.

Żużel spływa z mufla palnika cyklonowego do wanny napełnionej wodą, granuluje się i zostaje odprowadzony na zwal.

Obecnie przeprowadza się próby przetapiania całej ilości lotnego popiołu ze wszystkich kotłów z paleniskami pyłowymi, znajdujących się w kotłowni, w jednym kotle, specjalnie do tego dostosowanym. Na razie brak jest jeszcze szczegółów dotyczących rentowności takiego rozwiązania.

## Tendencje krajowe w dziedzinie odpopielania

W kraju stosuje się obecnie najczęściej następujące rozwiązanie instalacji odpopielających:

— w części wewnętrznej urządzenie grawitacyjne do stacji pomp bagrowych, skąd popiół transportuje się pod ciśnieniem na mokre składowisko.

Jeżeli brak jest wody lub nie ma możliwości założenia mokrego składowiska, to stosuje się najczęściej system pneumatyczny ssący, prosty i łatwy w eksploatacji.

Pozostałe systemy stosuje się rzadziej.

W związku z możliwością dużego rozwoju prefabrykacji żużla przypuszczalnie za kilka lat instalacje pneumatyczne będą przeważały w instalacjach odpopielających.

Niezależnie od sposobów odpopielania omówionych w artykule istnieje jeszcze wiele innych odmian, które różnią się w szczegółach wykonania, jednak zasady działania ich są podobne.

## Literatura

Inż. Glinka — Hydrauliczne odpopielanie kotłowni (nieopublikowany artykuł z 1952 r.)

Inż. Jerzy Drzewiecki — Urządzenia do nawęglania i odpopielania w elektrowniach. Przegląd Techniczny Nr 3/4, 1950 r.

Kuzniecowa P. M. — Zoloudalenije na elektriceskich stancjach.

Inż. Pavel Nikitin — Modernimechanicke a hydraulice odpopelnovani.

Inż. Glinka i inż. Janczak — Wytyczne do projektowania urządzeń odpopielania.

K. Spangemacher — Physikalische Vorgänge und Energiebedarf bei hydraulischem Aschetransport. Mitteilungen der VGB, zeszyt 20, 1952 r.

Kalbe — Wirtschaftlicher Dampfkesselbetrieb 1954 r.

621.187.112

## O zmianę jednostki używanej do oznaczania twardości wody

Inż. Marian Kwiatkowski i inż. Paweł Pałka

Artykuł dyskusyjny

Wśród wielu autorów panuje całkowita zgodność poglądu, że konieczna jest zmiana używanej jednostki twardości wody (3, 5, 6, 11, 13, 14, 15, 16). Poglądowi temu ostatnio dał wyraz prof. W. Rosner (16) apelując, aby Polski Komitet Normalizacyjny uregulował ostatecznie tę sprawę. Do apelu tego przyłączyła się niewątpliwie zainteresowani pracownicy energetyki największego w kraju konsumenta wody. Sądzić należy zresztą, że i Polski Komitet Normalizacyjny podziela tę opinię, gdyż w r. 1953 opracował projekt normy PN/C-35003, który jednak nie został dotąd przyjęty. Główną, jak łatwo się domysleć, trudnością jest uzgodnienie sposobu zmiany obecnie używanej jednostki twardości. Sposób ten jednak wydaje się oczywisty, jeśli dokładnie sprecyzuje się zarzuty stawiane dotychczas używanej jednostce. Zarzuty te można ująć w następujących punktach:

1. Posługiwanie się dotychczasową jednostką wymaga dodatkowych, skomplikowanych rachunków w związku z przyjęciem za umowną podstawę obliczeń stężenia w wodzie tlenu wapnia, zamiast w istocie zawartego w niej jonu wapniowego, co jest śladem dawno zarzuconego w chemii tlenkowego sposobu określania związków nieorganicznych.

2. Dotychczasowa jednostka oparta jest na mało dokładnej definicji pojęcia twardości wody, skąd wynikają takie nielogiczne określenia, jak np. „twardość chlorkowa i azotanowa“ (13 str. 61), „zasadowość w stopniach twardości“ (10) itp. Dla bliższego wyjaśnienia tego zagadnienia warto przytoczyć kilka typowych definicji twardości.

Według J. Zawadzkiego — „Wodę zawierającą dużo soli wapnia i magnezu nazywa się wodą twardą, tworzy ona z mydłem nierozpuszczalny osad soli wapniowych kwasów tłuszczowych, daje uczucie miękkości, gdy osadu tego jest bardzo niewiele i mydło prawie od razu jest zdolne do dawania piany“ (19).

Według H. Reichelta — „Z trudno rozpuszczalnych soli przeważają sole metali ziem alkalicznych, które określa się jako twardość wody“ (12).

Według W. Nowakowskiego — „Przez wodę twardą rozumie się taką wodę, która zawiera znaczne ilości soli wapnia i magnezu. Woda zawierająca sole tych metali daje przy odparowaniu twardy kamień kotłowy“ (5).

Według A. Szniolisa i J. Justa — „Twardością wody nazywa się własność wody, polegającą na zużywaniu pewnych ilości mydła bez wytwarzania piany.

Ilość mydła zużytego przez wodę do chwili wytworzenia piany charakteryzuje stopień twardości wody. Własność tę nadają wodzie głównie sole wapnia i magnezu, które tworzą z dodanym mydłem nierozpuszczalne w wodzie mydła wapnia i magnezu nie dające piany. Obecność większej ilości chlorku sodu uniemożliwia rozpuszczanie się mydła w wodzie i powstawanie piany. Nazywa się to twardością pozorną. Sole wapnia i magnezu znajdują się w wodzie przeważnie w postaci dwuwęglanów, siarczanów, chlorków, rzadziej w postaci azotanów, węglanów lub wodorotlenków" (17).

Według PN/C-04571 — „Pod pojęciem ogólnej twardości wody należy rozumieć właściwości, które nadają wodzie głównie jony wapniowe i magnezowe" (8).

Podobne definicje znajduje się także u innych autorów (1, 4, 6, 11, 13, 18). Otóż w każdej definicji powtarzają się słowa „głównie sole wapnia i magnezu" i słusznie, gdyż mydła dają nierozpuszczalne osady z wszystkimi tzw. ciężkimi kationami. Dlatego też np. roztwory mydeł mianowanych bardzo często nastawia się na sole baru a nie wapnia lub magnezu, kationy te znajduje się również w kamieniach i wodach zasilających kotły. Do częstych składników kationowych kamienia i mułu kotłowego należy również poza wapniem i magnezem także żelazo, glin, mangan oraz miedź i cynk, będące produktami korozji rurek kondensatorowych (20, str. 78).

3. Również określenie stężenia składników kamieniotwórczych i tłumiących pianę mydlaną niezgodne jest z używanymi jednostkami stężeń. Skale stężeń oparte o dowolne, umowne ilości substancji wypierane są przez skale oparte na ilościach posiadających tę szczególną właściwość, że reagują ze sobą bez reszty, tj. o równoważniki. Gdyby natomiast stężenia kationów kamieniotwórczych wyrażać, jak to np. proponuje inż. H. Przyłęcki (11) w mg/l, to całkowite zanieczyszczenia wody wyrażone w tych jednostkach byłyby nieporównywalne.

4. Niemieckie stopnie twardości nie są używane powszechnie i nie mają żadnych szans na pełne umiędzynarodowienie.

Z powyższego wynika, że najwłaściwiej byłoby uznać za jednostkę twardości równoważnik każdego kationu kamieniotwórczego zawarty w litrze wody. Jest to jednak jednostka za duża, również za duża wydaje się tysięczna część tej jednostki — milirównoważnik na litr, proponowana przez niektórych autorów. Ma ona tę niedogodność, że zamiast np. 1° mówiłoby się: „trzytysięciopięćsetścisześdziesiątścisześdziesiąt tysięcznych milirównoważnika na litr" (z dokładnością do 0,01° n). Najwygodniej posłużyć się używaną w ZSRR (2) jednostką milion razy mniejszą, a mianowicie mikrorównoważnikiem na litr i dla prostoty w potocznej mowie nazwać ją normalnym stopniem twardości. Mnożnik przeliczeniowy dawnych stopni niemieckich na nowe wynosi 356,6.

Dla ułatwienia podano w tablicy 1 ważniejsze wartości wód w obu jednostkach:

Jak widać, w zakresie wód ulepszanych skala jest bardzo rozciągnięta, co stanowi jej zaletę. Nieco natomiast mniej wygodna jest ona dla wód naturalnych, ale w tych przypadkach używa się jej znacznie rzadziej, wody zaś o twardości powyżej 4000° są w ogóle

Tablica 1

### Ważniejsze twardości wód w stopniach niemieckich i normalnych

| Woda                                                                             | Twardość w ° |                              |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------|
|                                                                                  | niemieckich  | normalnych (po zaokrągleniu) |
| <b>Zakres wód naturalnych</b>                                                    |              |                              |
| bardzo twarda powyżej                                                            | 30           | 10 000                       |
| twarda                                                                           | 18 ÷ 30      | 6500 ÷ 10 000                |
| średnio twarda                                                                   | 12 ÷ 18      | 4000 ÷ 6 500                 |
| średnio miękka                                                                   | 8 ÷ 12       | 3000 ÷ 4 000                 |
| miękka                                                                           | 4 ÷ 8        | 1500 ÷ 3 000                 |
| bardzo miękka poniżej                                                            | 4            | 1 500                        |
| zakres stosowania metody Warthy-Pfeiffera powyżej                                | 4            | 1 500                        |
| zakres stosowania mydeł stężonych powyżej (22)                                   | 0,5          | 175                          |
| <b>Zakres wód przemysłowych</b>                                                  |              |                              |
| szcztątkowa twardość osiągnięta przy zmiekczeniu metodą:                         |              |                              |
| — wapno-soda na gorąco                                                           | 0,3 ÷ 0,5    | 100 ÷ 200                    |
| — fosforanową                                                                    | 0,1 ÷ 0,2    | 35 ÷ 70                      |
| — jonitową                                                                       | 0,05 ÷ 0,1   | 20 ÷ 35                      |
| szcztątkowa twardość wyeliminowana przez obowiązujące w energetyce przepisy (21) |              |                              |
| — od wody zasilającej kotły w zależności od typu i ciśnienia                     | 1,0          | 350                          |
|                                                                                  | 0,5          | 200                          |
|                                                                                  | 0,2          | 70                           |
|                                                                                  | 0,1          | 35                           |
| — od kondensatu i skroplin                                                       | 0,1          | 35                           |

dziej, wody zaś o twardości powyżej 4000° są w ogóle rzadko spotykane.

### Literatura

1. Blitz H. i Blitz W. — Ausführung quantitativer Analysen. Lipsk 1930.
2. GOST 6055-51.
3. Kirkor T. prof. — Wiadomości PKN 11/1949.
4. Krause S. — Materiały do polskiego kodeksu żywnościowego. Warszawa 1948.
5. Krause S. i Nikonorow M. — Artykuły żywności i przedmioty użytku. Warszawa 1953.
6. Nowakowski W. — Metody oczyszczania wody zasilającej kotły parowe. Warszawa 1951.
7. Olczakowski W. i Ficki Z. — Woda w zakładach przemysłowych. Warszawa 1952.
8. PN/C-35003 — Polski stopień twardości wody (projekt).
9. PN/C-04571 — Obliczanie ogólnej twardości ze znanej zawartości jonu wapniowego i magnezowego.
10. PN/C-04554 — Oznaczanie ogólnej twardości metodą Clarka.
11. PN/C-04565 — Oznaczanie zasadowości.
12. Przyłęcki H. mgr inż. — Badanie wody, ścieków, osadów i gazów. Warszawa 1954.
13. Reichelt H. — Vom Rohwasser zum Hochdruckdampf. Halle 1949.
14. Rosner W. — Kontrola ruchu urządzeń do ulepszania wody. Warszawa 1950.
15. Rosner W. — Wiadomości PKN 5/1951, str. 333.
16. Rosner W. — Przegląd Techniczny 18 i 19/1947.
17. Rosner W. — Gospodarka cieplna, Energetyka przemysłowa nr 3/1954, str. 28.

17. Szniolis A. i Just J. — Projekt ujednolicienia metod fizycznego i chemicznego badania wody. Warszawa 1934.
18. Struszyński M. — Analiza ilościowa i techniczna. tom III. Warszawa 1950.
19. Zawadzki J. — Technologia chemiczna nieorganiczna. Warszawa 1948.
20. Wnukotłowyje fizyko-chemiczne procesy i wodny reżim kotłow wysokowo dawlenija. Moskwa, Leningrad 1951.
21. Tymczasowe przepisy technicznej eksploatacji elektrowni i sieci. Warszawa 1951.
22. Stalinskogrodzkie Biuro Siłowni Ciepłych — Projekt normy ZN-00511.

621.313.322

## Chłodzenie turbogeneratorów wodorem

Inż. Stefan Krzycki

We wszystkich krajach, w których rozwinął się wielki przemysł budowy maszyn elektrycznych, obserwuje się duże zainteresowanie zagadnieniami konstrukcji i eksploatacji turbogeneratorów chłodzonych wodorem.

Wyrazem tego zainteresowania są liczne artykuły, poświęcone temu zagadnieniu, które ukazały się w ciągu ostatnich miesięcy w zagranicznej prasie technicznej.

W „Energetyce” wydrukowano już przed rokiem dwie notatki na temat turbogeneratorów chłodzonych wodorem (1, 2). Wobec opublikowania nowych danych celowe jest uzupełnienie tych notatek materiałami opartymi w szczególności na ciekawej pracy konstruktorów czeskiej fabryki C.K.D.

W 1923 r. zgłosił M. Schuller w Niemczech patent na chłodzenie wodorem wirujących maszyn elektrycznych. Pierwszą maszyną chłodzoną wodorem był kompensator synchroniczny o mocy 12,5 MVA, uruchomiony w Stanach Zjednoczonych w 1928 r.

W latach 1928 + 1937 budowano nadal maszyny tego typu, jednocześnie przeprowadzono próby zastosowania wodoru również do chłodzenia turbogeneratorów.

Takie chłodzenie typowych w tym okresie maszyn o mocy do 50 MW nie było jeszcze konieczne.

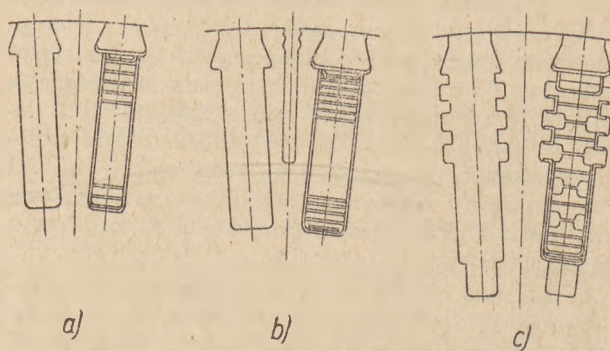
Z chwilą jednak, gdy w Stanach Zjednoczonych moc maszyn przekroczyła 50 MW, gdzie przy normalnie stosowanej częstotliwości 60 Hz ich prędkości obrotowe są o 20% wyższe niż europejskich jednostek na 50 Hz, ze względów konstrukcyjnych rozpoczęto w roku 1937 budowę generatorów chłodzonych wodorem. Wobec uzyskania dobrych wyników buduje się obecnie nawet mniejsze maszyny (o mocy powyżej 15 MW) chłodzone wodorem.

W Europie pierwszy turbogenerator chłodzony wodorem został uruchomiony w 1945 r. w Związku Radzieckim. Moc generatora wynosiła 100 MW. W Anglii oddano do ruchu w 1948 r. turbogenerator chłodzony wodorem o mocy 60 MW. BBC w Szwajcarii wyprodukowała w 1950 r. turbogenerator chłodzony wodorem o mocy 100 MW. W Czechosłowacji zbudowano w zakładach C.K.D. w Stalingradzie według projektu z 1943 r. pierwszy generator chłodzony wodorem.

Do dużego postępu w budowie turbogeneratorów chłodzonych wodorem przyczyniła się rozprawa opublikowana w 1950 r. przez N. A. Poliaka, uzasadniająca stosowanie do chłodzenia wodoru o ciśnieniu 2 atm. Poliak udowodnił, że dotychczas nie zostały wykorzystane wszystkie fizyczne własności wodoru jako czynnika chłodzącego i że całkowite wyzyskanie tych własności pozwoliłoby na zwiększenie mocy turbogeneratora bez zmiany jego wymiarów.

W r. 1951 Lafoon z firmy Westinghouse oraz Beckwith z firmy Allis Chalmers stwierdzili, że dalsze zwiększenie mocy można osiągnąć, chłodząc uzwojenia wirnika od wewnątrz wodorem przepływającym z dużą prędkością.

Na rys. 1 pokazano typowe kształty żłobków wirników turbogeneratorów w wykonaniu BBC.



Rys. 1. Żłobki turbogeneratorów BBC

a — turbogenerators o mniejszej mocy z chłodzeniem zwykłym, b — maszyny o średniej wielkości z chłodzeniem żłobów, c — dużego turbogenerators z bezpośrednim chłodzeniem uzwojenia

Wpływ chłodzenia wodorem na natężenie dopuszczalnego prądu w wirniku turbogenerators w zależności od typu żłobka (rys. 1) i ciśnienia wodoru podano w tablicy 1.

Tablica 1  
Wzrost dopuszczalnego prądu w wirniku generatora chłodzonego wodorem w zależności od ciśnienia i od typu żłobka

| Typ żłobka na rys. 1 | Wzrost dopuszczalnego prądu w % przy ciśnieniu wodoru |       |       |
|----------------------|-------------------------------------------------------|-------|-------|
|                      | 1,035 ata                                             | 2 ata | 3 ata |
| a                    | 11%                                                   | 22,5% | 27,5% |
| b                    | 11%                                                   | 27,0% | 33,0% |
| c                    | 9%                                                    | 49,0% | 80,0% |

W C. K. D. przeprowadzono w 1953 r. z dobrymi wynikami próby turbogenerators, którego uzwojenie wirnika było od wewnątrz chłodzone.

Ze względu na bezpieczeństwo przed wybuchem i na zmniejszenie kosztu chłodzenia oraz w celu uzyskania dobrej wentylacji używa się do chłodzenia wodoru o jak największej czystości. Najmniejsze straty na wentylację powstają bowiem przy czystym wodorze, tj. bez domieszki powietrza.

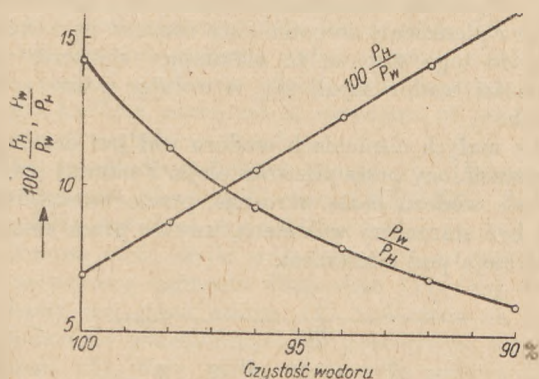
Jeżeli w chłodzącej mieszance jest  $a$  % wodoru i  $b$  % powietrza ( $a + b = 100\%$ ), to straty na wentylację wynoszą

$$P_H = P_{pow} \left( \frac{a}{1440} + \frac{b}{100} \right)$$

Przy czystym wodorze, tj. dla  $b = 0$

$$P_H = P_{pow} \cdot \frac{100}{1440}$$

czyli że straty wynoszą 6,95% wartości jak przy chłodzeniu powietrzem. Na rys. 2 przedstawiono wielkość straty na wentylację w zależności od czystości mieszanki chłodzącej.



Rys. 2. Zależność strat wentylacyjnych od czystości wodoru

Tablica 2  
Sprawności generatora osiągnięte przy chłodzeniu wodorem i powietrzem

| Obciążenie                             | 1/1   | 4/5   | 3/5   | 2/5   | 1/5   |
|----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sprawność przy chłodzeniu wodorem %    | 98,38 | 98,34 | 98,11 | 97,56 | 95,72 |
| Sprawność przy chłodzeniu powietrzem % | 97,62 | 97,32 | 96,86 | 95,73 | 92,25 |
| Różnica sprawności %                   | 0,76  | 1,02  | 1,25  | 1,86  | 3,47  |

Jeżeli czystość mieszanki chłodzącej zmaleje, to straty na wentylację szybko wzrosną i wyniosą np. przy

$a = 92\%$  — 14,4% strat

$a = 98\%$  — 8,8% strat

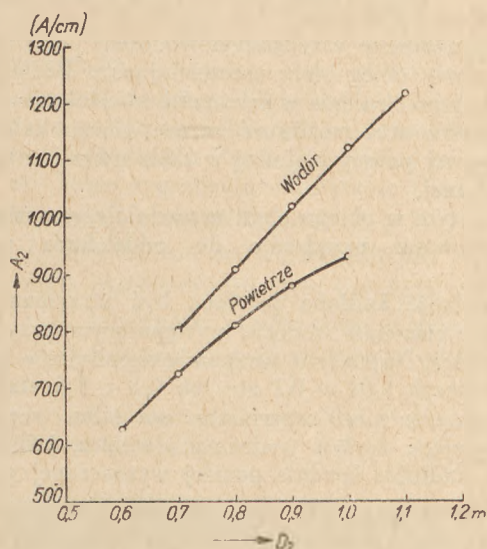
jak przy chłodzeniu powietrzem. Wobec tego dąży się w eksploatacji, aby mieszanka chłodząca nie zawierała wodoru mniej niż 96%. Mieszanka taka jest niepalna i w razie jej zastosowania do chłodzenia można nie instalować urządzeń przeciwpożarowych.

Prowaznik i Kabrna podali ciekawe wyniki badań nagrzania generatorów w zależności od obciążenia oraz ich sprawności przy chłodzeniu wodorem i powietrzem (tablica 2).

W tablicy 3 zestawiono wyniki prób wykonanych przez C. K. D. (1, 2, 3), przez Poliaka (4), przez Westinghouse (5, 6, 7), przez General Electric (8, 9) oraz przez Metropolitan Vickers (10), podające, w jakim stopniu zmniejsza się nagrzanie stojana i twornika maszyn chłodzonych wodorem w porównaniu do chłodzenia powietrzem. Dane C.K.D. dotyczą turbogeneratora 50 MW (62,5 MVA): 1 — przy biegu jałowym i napięciu 11,5 ÷ 12,0 kV, 2 — przy zwarciu i obciążeniu stojana prądem 3 600 ÷ 3 950 A, 3 — przy pracy jako kompensatora synchronicznego.

Poliak badał jedynie nagrzanie twornika i określił (rys. 3) wielkość okładu prądu twornika (A/cm) w zależności od jego średnicy przy chłodzeniu wodorem i powietrzem oraz przy nagrzaniu o 80° C.

Dane Westinghouse dotyczą kompensatora synchronicznego 30 MVar (5) oraz dwóch turbogeneratorów (6,7) o mocy po 50 MW. Dane General Electric odnoszą się do turbogeneratora 25 MVA (8) oraz 35 MW (9). Firma Metropolitan Vickers podała wyniki prób turbogeneratora 75 MVA.



Rys. 3. Zależność układu prądu twornika  $A_2$  od średnicy twornika  $D_2$

Z analizy danych w tablicy 3 wynika, że przy chłodzeniu wodorem można obciążyć twornik o 30% a stojan o 20 ÷ 25% więcej niż przy chłodzeniu powietrzem.

Mniejsza obciążalność stojana wynika z gorszych warunków przepływu wodoru przez kanały wentylacyjne stojana.

Jeżeli kompensator lub generator ma być chłodzony wodorem, to konieczne jest wprowadzenie pewnych zmian w jego konstrukcji. Kadłub generatora powinien być szczelny, a więc przejścia wału przez pokrywę

Zmniejszenie stopnia nagrzania przy chłodzeniu wodorem zamiast powietrzem

Tablica 3

| Część generatora | Č.K.D. Stalingrad |       |     | Poliak | Westinghouse |       |       | C. E. S. General Electric |     | Metrop. Vickers |
|------------------|-------------------|-------|-----|--------|--------------|-------|-------|---------------------------|-----|-----------------|
|                  | 1                 | 2     | 3   | 4      | 5            | 6     | 7     | 8                         | 9   | 10              |
| Stojan           | 20—30%            | 36%   | 38% | —      | 21%          | 20%   | 28,5% | 34%                       | 10% | 45%             |
| Twornik          | 40%               | 41,5% | 38% | 26,5%  | 39%          | 38,5% | 43,0% | 37,5%                     | 30% | 45%             |

muszą być specjalnie uszczelnione; poza tym powinien on wytrzymywać ciśnienie wewnętrzne 10 atn. W kadłubie maszyny muszą być umieszczone chłodnice do ochładzania wodoru.

Instaluje się najczęściej cztery chłodnice wodoru, aby je można było kolejno czyścić w czasie ruchu maszyny. Przy czyszczeniu jednej chłodnicy moc generatora jest ograniczona do 2/3 mocy znamionowej.

Inna musi być również izolacja blach stojana. Przy chłodzeniu powietrzem w miejscu uszkodzenia blachy powstaje cienka warstewka tlenku żelaza mająca własności izolujące. Przy chłodzeniu wodorem warstewka taka nie powstaje i dlatego blachy stojana trzeba starannie izolować.

Przy generatorze chłodzonym wodorem musi być zainstalowane urządzenie do napełniania kadłuba najpierw dwutlenkiem węgla ( $\text{CO}_2$ ) a następnie wodorem oraz aparatura do kontroli przebiegu napełniania.

Niezbędne jest również urządzenie do samoczynnego utrzymywania ciśnienia gazu na żądanym poziomie, do kontroli jego czystości oraz do alarmowania obsługującego w wypadku przekroczenia dopuszczalnej zawartości zanieczyszczenia.

W generatorze chłodzonym wodorem powinien być zapewniony obieg oleju uszczelniającego kadłub i regulacja jego ciśnienia w zależności od ciśnienia wodoru w kadłubie oraz możliwość samoczynnego załączania rezerwowej pompy olejowej w razie uszkodzenia pompy głównej.

Poza tym w obiegu oleju uszczelniającego musi być zainstalowane urządzenie do oddzielania wodoru z oleju.

Szczelność kadłuba powinna być utrzymana przy każdym ciśnieniu wodoru, występującym przy pracy generatora. Najczęściej utrzymuje się ciśnienie wodoru w granicach  $0,01 \div 0,1$  atn lub  $0,1 \div 1,6$  atn. Stały poziom ciśnienia zapewniają specjalne regulatory zwiększające dopływ wodoru z zewnątrz, jeśli ciśnienie w kadłubie spadnie poniżej wyznaczonej granicy.

Dla maszyn o wielkościach granicznych oraz maszyn, które muszą być ustawione na fundamencie o ograniczonych wymiarach lub w razie konieczności chwilowego zwiększenia produkcji mocy biernej stosuje się wyższe ciśnienie wodoru (2 atn).

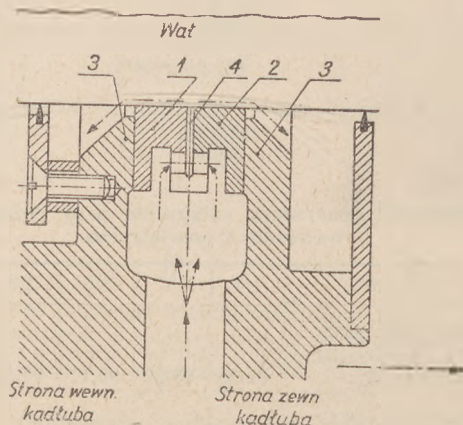
Ciśnienie wodoru nie powinno być za niskie, aby nigdy nie wytworzyło się podciśnienie w kadłubie generatora lub w rurociągach obiegu wodoru, tj. nawet wówczas, kiedy nagrzana maszyna po zatrzymaniu ochładza się.

Uszczelnienia wału nie powinny być wrażliwe na występujące czasem jego drgania. Warunek ten jest właściwie spełniony; duże natomiast trudności pod tym względem przedstawiają bardzo czułe na drgania labirynty zamykające komorę wstępną uszczelnienia.

Pomimo zastosowania urządzenia do samoczynnego uruchamiania rezerwowej pompy olejowej, trzeba uszczelnienia tak skonstruować, aby zapewniły szczelność wału przy wybiegu maszyny nawet w razie przerwania dopływu oleju do uszczelnienia.

Jeżeli dopływ oleju zostanie przez czas dłuższy przerwany, to powierzchnie uszczelniające mogą ulec uszkodzeniu a pierścienie uszczelniające nagrzać się wskutek tarcia do tego stopnia, że ulatniający się przez nie szczelności wodor zapali się, wywołując pożar w łożyskach.

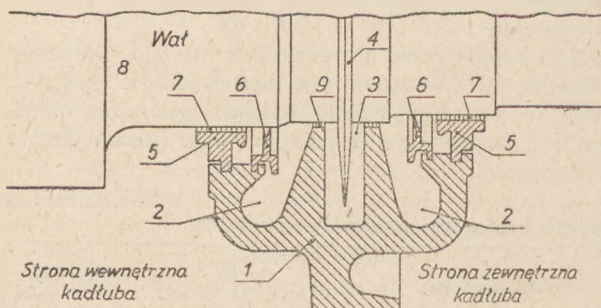
Przy małych ciśnieniach wodoru wał jest dostatecznie uszczelniony przez pierścień oleju. Ponieważ jednak ciśnienie wodoru może wzrosnąć, przeto uszczelnienie musi być starannie wykonane, zwykle przez zastosowanie oleju pod ciśnieniem.



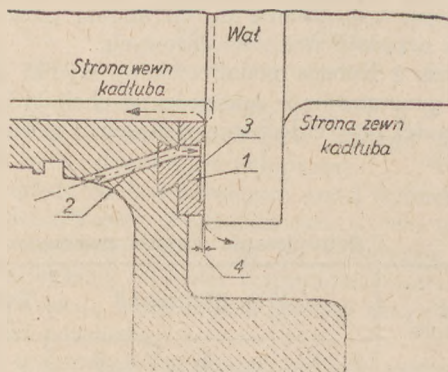
Rys. 5. Uszczelnienie szyjki wału  
1, 2 — pierścienie uszczelniające, 3 — obudowa, 4 — wycięcie w pierścieniu. — — — kierunek przepływu oleju

Typowe sposoby uszczelnienia wałów olejem pod niskim ciśnieniem pokazano na rys. 4, pod wyższym zaś ciśnieniem na rys. 5 i 6.

Przy uszczelnianiu olejem pod niskim ciśnieniem osadzona jest na wale generatora wewnątrz „komory ciśnienia” (3) tarcza uszczelniająca (4). Do tarczy tej doprowadza się stale olej, przepływający następnie



Rys. 4. Uszczelnienie wału przez pierścień olejowy  
1 — kadłub uszczelnienia, 2 — komora olejowa, 3 — komora ciśnienia, 4 — tarcza uszczelniająca, 5 — pierścień zewnętrzny, 6 — zbieracz oleju, 7, 9 — labiryntowe uszczelnienie, 8 — szyjka wału



Rys. 6. Uszczelnienie czołowej części szyjki wału  
1 — segment ślizgowy, 2 — otwór, 3 — kieszka, 4 — luz

przez labirynty (9) do komór (2) po obu jej stronach. Jeżeli maszyna jest w ruchu, to wówczas tworzy się pierścień oleju wirujący z pewnym poślizgiem względem tarczy (4). Przy takim uszczelnieniu nawet w razie przerwania dopływu oleju pierścień olejowy nie urywa się i zabezpiecza wał przed uszkodzeniem.

Uszczelnienie szyjki wału (rys. 5) składa się z jednego lub z dwóch pierścieni uszczelniających (1 i 2), osadzonych w specjalnej obudowie (3). Olej doprowadzony przez wycięcie w pierścieniu (4) tworzy między wałem a pierścieniami warstwę o grubości od  $0,04 \div 0,18$  mm, spływając do komór zbiorczych. Ciśnienie doprowadzanego oleju jest o około 0,5 at wyższe niż ciśnienie wodoru; wobec większej różnicy ciśnień oleju i powietrza więcej oleju odpływa na zewnątrz kadłuba, mniej zaś do wewnątrz, co jest zresztą celowe ze względu na tarcie.

Ten sposób uszczelnienia stosuje wiele fabryk, jak Westinghouse, General Electric, CKD, BBC, Siemens oraz kilka wytwórni angielskich.

Czołowa część szyjki wału (rys. 6) jest uszczelniona za pomocą segmentu ślizgowego (1). Olej doprowadzony jest przez otwory (2) wykonane na całym obwodzie do umieszczonych na powierzchni segmentu kieszeni (3). Przy ruchu obrotowym wału powstaje równomierna błonka olejowa, dobrze uszczelniająca wał. Przy takiej konstrukcji uszczelnienia znacznie większa ilość oleju przepływa również na zewnątrz kadłuba maszyny.

Opisaną konstrukcję uszczelnienia czołowej części szyjki wału zastosowała fabryka Allis-Chalmers i AEG. W razie przerwy w dopływie oleju szczelina między wałem a segmentem powiększa się do tego stopnia, że nie grozi zapłon wodoru, który wypływa przez nią.

Olej służący do uszczelnienia posiada właściwość pochłaniania zarówno wodoru jak i powietrza. Ilość pochłoniętych przez olej gazów rośnie wraz z ich temperaturą i ciśnieniem. Wskutek krążenia oleju w obiegu następuje zanieczyszczenie wodoru przez powietrze. Zapobiega się temu przez stałe oczyszczanie oleju najczęściej metodą próżniową (rys. 7).

Przy eksploatacji generatora chłodzonego wodorem należy stale kontrolować szereg wskaźników, a więc czystość wodoru, jego ciśnienie i temperaturę w kadłubie, szczelność kadłuba i ilość wodoru doprowadzanego z butli. Czystość wodoru bada się za pomocą przyrządów podobnych do analizatorów spalin.

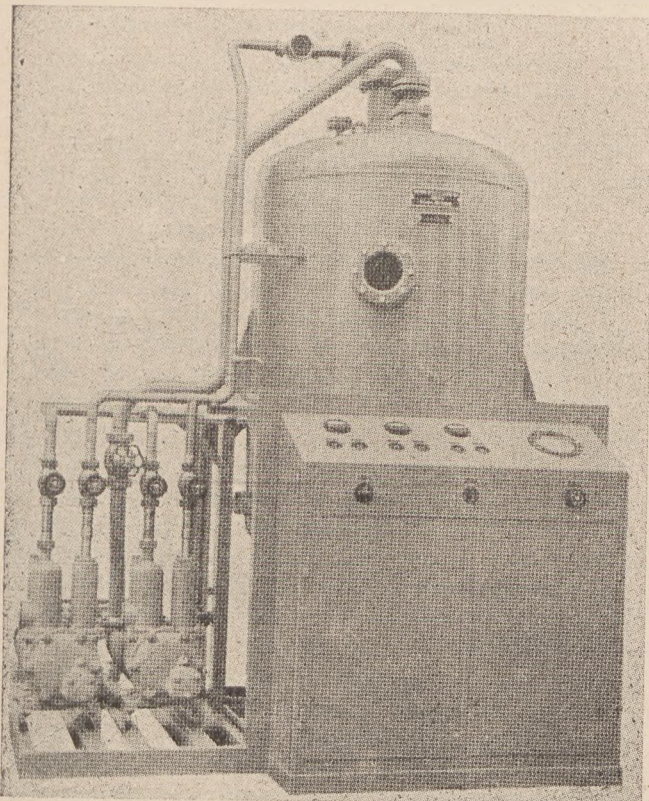
W obiegu oleju uszczelniającego kontroluje się ciśnienie oleju dopływającego do uszczelnienia, temperaturę oleju przed i za uszczelnieniem.

Reguluje się ciśnienie wodoru w kadłubie maszyny oraz poziom oleju w różnych jego zbiornikach. Do regulacji ciśnienia służą zainstalowane między butlami z wodorem a rurociągami do generatora dwa samoczynne zawory dławiące, regulujące ciśnienie w granicach  $0,01 \div 0,4$  atn oraz  $0,7 \div 1,6$  atn.

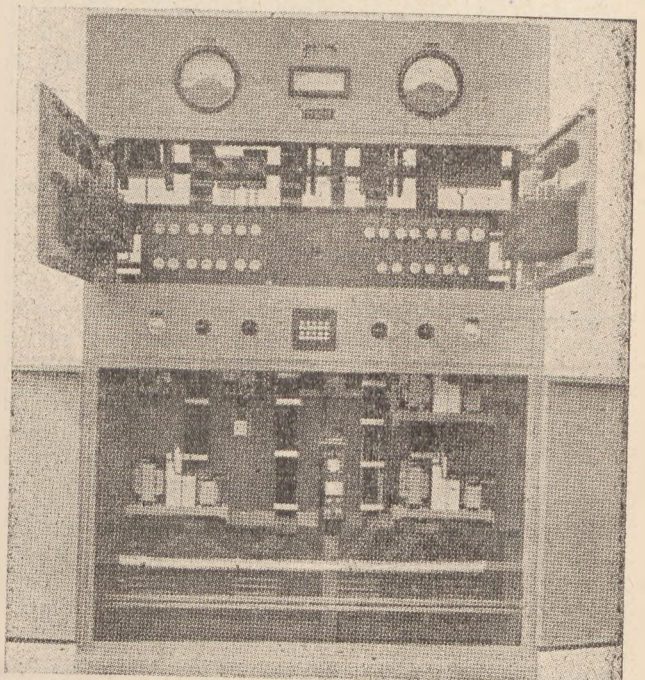
Regulator działa dopiero przy ciśnieniu powyżej ustalonej granicy.

W razie znaczniejszego odchylenia cech czynnika chłodzącego i oleju uszczelniającego od wartości regulowanych lub żądanych działają specjalne urządzenia alarmowe, które sygnalizują akustycznie i optycznie:

- a) niedostateczną czystość wodoru,
- b) zbyt niskie ciśnienie wodoru w kadłubie,
- c) zbyt małą różnicę ciśnień oleju i wodoru,
- d) zbyt niski lub wysoki poziom oleju w zbiorniku,
- e) zbyt niski lub wysoki poziom oleju w oddzielaczu wodoru,
- f) zbyt wysokie temperatury wodoru w chłodnicy i oleju uszczelniającego.



Rys. 7. Urządzenie do usuwania z oleju wodoru i powietrza (wg BBC)



Rys. 8. Tablica sterownicza i kontrolna obiegu oleju uszczelniającego (wg BBC)

Przrządy regulujące i alarmowe są umieszczone zwykle na wspólnej tablicy. Na rys. 8 pokazano taką tablicę dla obiegu oleju, wykonaną przez BBC.

Z dotychczasowych doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że generatory chłodzone wodorem nie ustępują co do pewności ruchu generatorom chłodzonym powietrzem. Przy podobnych awariach stwierdzono nawet, że zakres uszkodzeń w generatorach chłodzonych wodorem był prawie zawsze mniejszy niż w generatorach chłodzonych powietrzem.

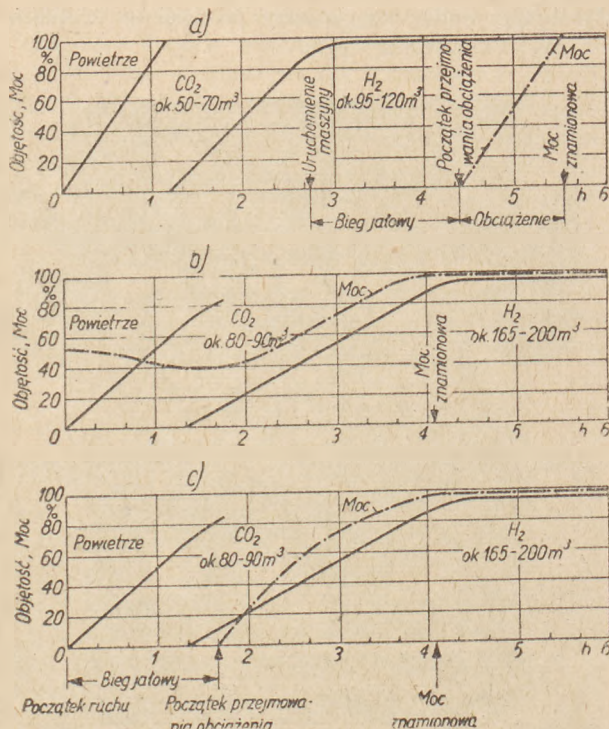
Na podstawie badań warunków pracy generatora chłodzonego wodorem ustalono sposób napełniania kadłuba wodorem oraz harmonogram tej czynności.

Jak już zaznaczono, przed doprowadzeniem wodoru napełnia się kadłub generatora najpierw dwutlenkiem węgla. Napełnianie dwutlenkiem węgla generatorów o średniej wielkości trwa 1 1/2 godz., tj. tak długo, aż w rurce kontrolnej umieszczonej w górnej części kadłuba maszyny zauważy się z całą pewnością dostateczną koncentrację dwutlenku węgla.

Po napełnieniu generatora dwutlenkiem węgla doprowadza się wodór do górnej jego części. Wypierany przez wodór dwutlenek węgla wypływa z dolnej części kadłuba generatora.

Napełnianie wodorem trwa tak długo, aż czystość mieszanki wodoru i dwutlenku węgla osiągnie co najmniej 97,5%.

Na rys. 9 podano harmonogram napełniania wodorem kadłuba generatora 100 MVA, na rys. 10 zaś harmonogram przejścia tego generatora z chłodzenia wodorem na chłodzenie powietrzem. W obu wypadkach opracowano harmonogramy przy najmniejszym zużyciu wodoru (a), w czasie pracy generatora (b) oraz przy

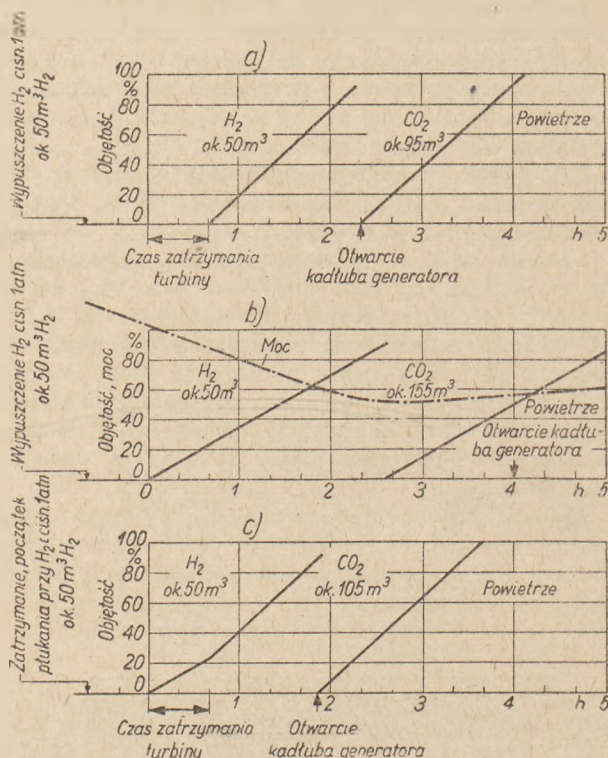


Rys. 9. Harmonogram napełniania wodorem kadłuba generatora 100 MVA

a — przy najmniejszym zużyciu wodoru, b — w czasie pracy turbogeneratora, c — przy napełnianiu przyspieszonym

pospiesznym uruchamianiu lub zatrzymywaniu turbo generatora (c).

Jak z harmonogramów wynika, przy „oszczędnym” napełnianiu generator osiąga swą znamionową moc po 5 1/2 godz., przy napełnianiu pospiesznym — już po 4 godz. Przy napełnianiu wodorem maszyny pracującej (obciążonej najwyżej w 55%) powietrze jest wypierane przez dwutlenek węgla wolniej. W miarę wzrastania zawartości CO<sub>2</sub> zmniejsza się obciążenie generatora do 40%.



Rys. 10. Harmonogram przechodzenia z chłodzenia wodorem na chłodzenie powietrzem

a — przy najmniejszym zużyciu wodoru, b — w czasie pracy turbogeneratora, c — przy przyspieszonym zatrzymywaniu

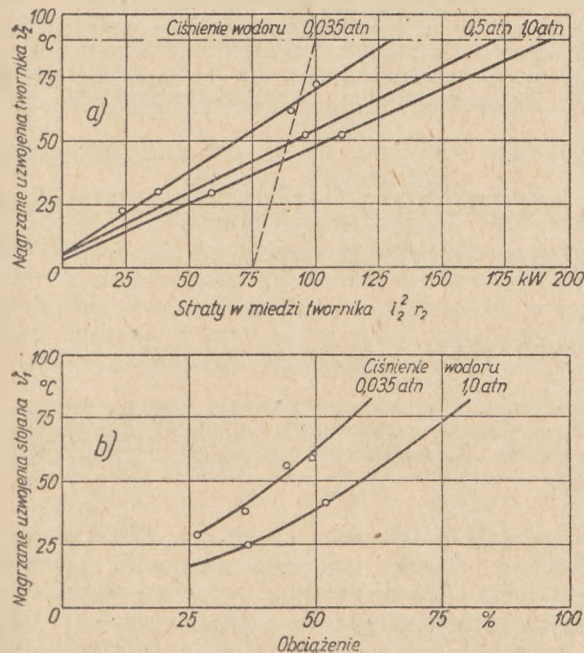
We wszystkich harmonogramach podano ilości zużytego dwutlenku węgla i wodoru.

Strata wodoru w czasie pracy maszyny zależy od skuteczności uszczelnienia. Przy pierwszych generatorach o mocy 50 MVA ubytek wodoru wynosił około 3 m<sup>3</sup>/dobę, obecnie udało się zmniejszyć go do 2 ÷ 2,5 m<sup>3</sup>/dobę.

Stopień nagrzania twornika i stojana zależy od ciśnienia wodoru. Zależność tę przedstawiono za pomocą wykresu na rys. 11a dla twornika przy różnych wielkościach strat w miedzi, na rys. 11b zaś dla stojana przy różnych obciążeniach generatora. Obydwa wykresy dotyczą generatora 46 MVA, cos φ = 0,7, 2,65 kA, 10,5 kV, 3 000 obr./min.

Z możliwości przeciążania generatora przy wyższym ciśnieniu wodoru nie korzysta się z uwagi na małą przeciążalność transformatora blokowego. Jeżeli natomiast przy małym stosunkowo obciążeniu mocą czynną trzeba przeciążyć generator z powodu zwiększonego zapotrzebowania mocy biernej, to wówczas podwyższa się ciśnienie wodoru. W tym wypadku nie ma obawy,

ze transformator blokowy zostanie przeciążony, gdyż prąd jego nie przekracza wartości znamionowej.



Rys. 11

- a) Nagrzanie twornika w zależności od ciśnienia wodoru przy różnych wielkościach strat w miedzi  
 b) Nagrzanie uzwojenia stojana w zależności od ciśnienia wodoru przy różnych obciążeniach generatora

Ciśnienie wodoru 1 atn w generatorze można szybko zmniejszyć do 0,035 atn, wypuszczając pewną ilość gazu z kadłuba lub powoli przerywając uzupełnianie wodoru straconego wskutek nieszczelności.

Jeżeli zabraknie wodoru, to można generator chłodzić powietrzem. Wówczas jednak obciążalność maszyn spada znacznie.

Obciążalność generatora zmniejsza się również wskutek tego, że wydajność chłodnic nie wystarcza do chłodzenia powietrzem.

Graniczna wartość obciążenia nie da się jednak z góry ustalić, gdyż z reguły występują miejsca o różnych stopniach nagrzania.

W rezultacie przy chłodzeniu powietrzem obciąża się generator tylko do 60% mocy znamionowej.

Generatory chłodzone wodorem są za granicą coraz częściej stosowane w praktyce tak, że zaszła konieczność opracowania dla nich instrukcji eksploatacyjnych.

Zarząd Techniki przy Ministerstwie Elektrowni Związku Radzieckiego wydał w marcu 1954 r. okólnik określający przepisy gospodarki wodorem. W okólniku tym podano również warunki, które powinny być spełnione w razie zastosowania wodoru do chłodzenia turbogeneratorów, do tego przystosowanych, lecz dotychczas chłodzonych powietrzem.

Ważniejsze wytyczne podane w tym okólniku są następujące:

1. Właściwy i racjonalny osprzęt oraz rurociągi dla obiegu gazowego i olejowego umieszcza się wewnątrz fundamentu turbogeneratora, tablicę zaś z urządzeniami sygnalizacyjnymi i sterującymi obiegiem oleju i gazów

ustawia się w pobliżu stanowiska maszynisty obsługującego zespół.

2. W czasie montażu bada się szczelność poszczególnych elementów a następnie całość rurociągów gazu i powietrza sprężonym powietrzem o ciśnieniu  $2 \div 3$  atn. Po usunięciu nieszczelności obniża się ciśnienie do 1 atn i kontroluje się prędkość spadku ciśnienia powietrza w badanym elemencie.

Jeżeli spadek ciśnienia nie przekracza  $0,01 \div 0,015$  at/h, to uznaje się, że badany element jest szczelny.

Po ukończeniu montażu całości obiegu chłodzącego wytwarza się nadciśnienie powietrza około 0,08 at a następnie rysuje się wykres spadku ciśnienia powietrza w ciągu godziny.

Dobowy ubytek powietrza określa wzór

$$v = \frac{p \cdot V}{2} \cdot 24 \text{ m}^3$$

gdzie

$v$  — ubytek powietrza w ciągu doby w  $\text{m}^3$ ,

$p$  — spadek ciśnienia w ciągu jednej godziny w at.

$V$  — objętość obiegu chłodzącego,

2 — współczynnik do przeliczenia na ciśnienie robocze.

Szczelność obiegu jest dostateczna, jeżeli obliczony ubytek powietrza na dobę nie przekracza 3% objętości obiegu.

3. Dostawa wodoru i dwutlenku węgla do elektrowni powinna być zapewniona.

Według § 664 „Przepisów technicznych eksploatacji“ zapas wodoru w elektrowni ma wystarczyć na pokrycie dwutygodniowego zapotrzebowania eksploatacyjnego oraz na dwukrotne napełnienie największego generatora.

Zapasy dwutlenku węgla powinien natomiast wystarczyć na trzykrotne napełnienie największego generatora.

W dużych elektrowniach zaleca się instalować urządzenia do wytwarzania wodoru. Przy przejściu na chłodzenie wodorem elektrownia powinna mieć następujący zapas płynnego dwutlenku węgla:

25 MW — 15 butli

50 MW — 25 butli

100 MW — 40 butli

po 40 litrów.

4. Laboratorium chemiczne elektrowni powinno być wyposażone w przyrządy do systematycznej i dokładnej kontroli chemicznej, używanych do chłodzenia gazów i mieszanki gazowej. Do obsługi specjalnych przyrządów w laboratorium należy przeszkolić 2 albo 3 pracowników.

W okólniku podano również główne przepisy z zakresu bezpieczeństwa pracy, obowiązujące przy eksploatacji turbogeneratorów chłodzonych wodorem.

Wobec wielkich zalet wodoru jako czynnika chłodzącego należy się spodziewać, że już w niedalekiej przyszłości wszystkie turbogeneratory o mocy 50 MW i większej będą budowane z chłodzeniem wodorem.

Ponieważ w naszej energetyce będą prawdopodobnie również instalowane turbogeneratory o dużej mocy, przeto należy śledzić i analizować wyniki eksploatacji maszyn chłodzonych wodorem.

## Literatura

1. Energetyka Nr 4/53. O. Chełmicki — Pierwsze turbogeneratory chłodzone wodorem w energetyce polskiej.
2. Energetyka Nr 1/54. St. Krzycki — Turbogeneratory chłodzone wodorem.
3. Elektrieskije Stancii Nr 6/1954, str. 60.

4. Elektrotechnický Obzor Nr 7/1954. Provazník i Kabrna — Turboalternator chlazený vodíkem.
5. ETZ-A Nr 14/1954. R. Modlinger — Grundlagen für die Wasserstoffkühlung bei Turbogeneratoren.
6. ETZ-A Nr 16/1954. R. Modlinger — Anlagen mit Wasserstoff-gekühlten Turbogeneratoren.
7. Brown-Boveri Mitteilungen Nr 3-4/54. E. Widemann — Wasserstoffkühlung für Turbogeneratoren.

621.316.925

# Zabezpieczenie ziemnozwarciowe stojanów turbogeneratorów pracujących w układzie blokowym

## Część I

Inż. Zdzisław Mroczkowski

**Treść:** Przebieg zjawisk fizycznych przy zwarciach doziemnych. Uszkodzenia wywołane prądami doziemnymi. Zadania zabezpieczenia ziemnozwarciowego generatorów. Rodzaje stosowanych układów zabezpieczeń. Zabezpieczenia zerowo-napięciowe; czułość, przykłady schematów. Zabezpieczenie zerowo-prądowe nadmiarowe; przykład schematu.

## Wstęp

Jednobiegunowe zwarcia uzwojeń stojanów turbogeneratorów z kadłubem, które przy uziemionym kadłubie przechodzą jednocześnie w zwarcia z ziemią, stają się przyczyną najczęstszych uszkodzeń tych maszyn. Skutki tego rodzaju uszkodzeń mogą być w niekorzystnych warunkach bardzo poważne.

Zabezpieczenie turbogeneratorów przed jednobiegunowym zwarcie z ziemią jest bardzo skomplikowanym zagadnieniem. W związku z tym stosuje się różnorakie środki techniczne i osiąga różny stopień skuteczności zabezpieczenia w zależności od wielu czynników, a więc od konstrukcji generatora, od sposobu przyłączenia go do sieci i od stojącej do dyspozycji aparatury.

Jednobiegunowe zwarcia doziemne mogą powstać w dowolnym miejscu uzwojenia generatora. Położenie miejsca zwarcia z ziemią uzwojenia generatora w układzie gwiazdowym charakteryzuje liczba „ $\alpha$ ”, podająca stosunek ilości zwojów między punktem zerowym a miejscem zwarcia do całkowitej ilości zwojów jednej fazy. W ogólnym przypadku miejsce zwarcia doziemnego przedstawia pewną oporność przejściową  $R_p$ .

Doziemne prądy pojemnościowe przy izolowanym punkcie zerowym

Jeżeli zarówno uzwojenie generatora jak i elementy połączone z nim galwanicznie nie są w żadnym punk-

cie na stałe połączone z ziemią, to obwód ziemnozwarciowy tworzy: uzwojenie generatora, oporność przejściowa miejsca zwarcia z opornością uziomu i pojemności poszczególnych faz względem ziemi (rys. 1).

Powstają tu właściwie trzy obwody, w których działają napięcia, istniejące między punktem zwarcia z ziemią „b”, a poszczególnymi zaciskami generatora. Oporności poszczególnych gałęzi przedstawiają pojemności względem ziemi: uzwojenia generatora, przewodów łączących go z transformatorem blokowym i uzwojenia transformatora, oznaczone przez „C” oraz wspólna dla wszystkich trzech gałęzi przejściowa oporność omowa  $R_p$ .

Natężenie prądu doziemnego oblicza się w tym przypadku z następującego wzoru (L. 1, tom I str. 42):

$$\hat{I}_{za} = j \cdot 3 \omega \cdot C \cdot \frac{1}{1 + 3 \cdot j \cdot R_p \cdot \omega \cdot C} \cdot \alpha \cdot \hat{U}_f \quad (1)$$

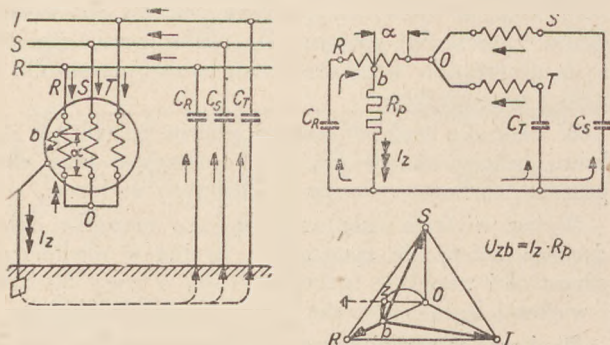
Przy zmianie oporności przejściowej  $R_p$  od  $\infty$  do 0 zmienia się  $\hat{I}_z$  od 0 do wartości równej

$$\hat{I}_{za \max} = j \cdot 3 \cdot \omega \cdot C \cdot \alpha \cdot \hat{U}_f \quad (2)$$

Koniec wektora napięcia doziemnego punktu zerowego  $\hat{U}_{oz}$  przesuwają się w zależności od spadku napięcia na oporności przejściowej  $U_{zb} = I_z \cdot R_p$  wzdłuż półkola o średnicy 0 — b.

Natężenie prądu doziemnego równa się zero przy wartości  $\alpha = 0$ , tj. przy zwarcie w punkcie zerowym. Osiąga ono największą wartość przy  $\alpha = 1$ , czyli przy zwarcie doziemnym na zaciskach generatora. Przy stałej wartości  $\alpha$  natężenie prądu doziemnego zależy od pojemności „C”. Przy zwarcie doziemnym następuje przesunięcie napięć doziemnych poszczególnych punktów generatora. Przy bezopornościowym zwarcie doziemnym napięcie punktu zerowego generatora względem ziemi  $U_o = \alpha \cdot U_f$ , a więc przy zwarcie na zaciskach generatora jest równe pełnemu napięciu fazowemu  $U_f$ . Napięcie względem ziemi faz nieuszkodzonych wzrasta w tym przypadku do wartości  $\sqrt{3} \cdot U_f$ .

Prąd doziemny  $I_z$  w opisanym powyżej przypadku jest przesunięty we fazie pojemnościowo o  $90^\circ$  względem napięcia  $U_o$ .

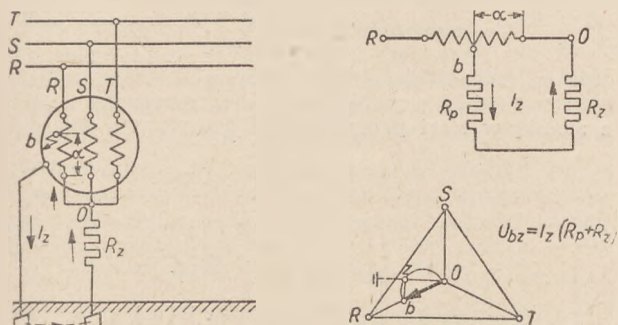


Rys. 1. Jednobiegunowe zwarcie doziemne w odległości  $\alpha$  zwojów od punktu zerowego generatora przez oporność przejściową  $R_p$  w układzie z izolowanym punktem zerowym

W układach blokowych — pojemności względem ziemi obwodu połączonego galwanicznie z uzwojeniem generatora są zwykle małe; nieznaczne są również doziemne prądy pojemnościowe. Mogą one jednak czasem przekraczać 5 A, a mianowicie w tych przypadkach, gdy generator połączony jest z transformatorem blokowym wielu równoległymi kablami o znacznej długości.

#### Prądy doziemne przy uziemionym punkcie zerowym

Na rys. 2 przedstawiono obwód prądu doziemnego przepływającego przez miejsce zwarcia z ziemią przy zwarcu w uzwojeniu generatora w odległości  $\alpha$  od punktu zerowego, uziemionego za pośrednictwem oporności omowej. Pominęto tu prądy pojemnościowe, które w tym przypadku nie odgrywają zasadniczej roli.



Rys. 2. Jednobiegunowe zwarcie doziemne w odległości  $\alpha$  zwojów od punktu zerowego generatora przez oporność przejściową  $R_p$  przy punkcie zerowym generatora uziemionym przez oporność omową  $R_z$

W obwodzie ziemnozwarciowym występuje napięcie części uzwojenia fazy uszkodzonej pomiędzy punktem zerowym a miejscem zwarcia. Oporność przejściowa połączona jest w szereg z opornością włączoną w obwód uziemienia. Natężenie prądu doziemnego oblicza się w tym przypadku ze wzoru:

$$I_z = \frac{\alpha \cdot U_f}{R_p + R_z} \quad (3)$$

Prąd doziemny jest tym większy, im bliżej zacisków generatora leży miejsce zwarcia i im mniejsza jest jego oporność przejściowa. Osiąga on największą wartość przy bezopornościowym zwarcu na zaciskach generatora:

$$I_{z \max} = \frac{U_f}{R_z} \quad (4)$$

Największe natężenie prądu doziemnego zależy dla danego generatora tylko od wartości oporności uziemniającej. Stosując oporność zmienną można zmieniać natężenie prądu doziemnego.

W razie uziemienia punktu zerowego za pomocą oporności omowej prąd doziemny jest w fazie z napięciem uszkodzonej fazy. Napięcie punktu zerowego względem ziemi równa się spadkowi napięcia na oporności uziemniającej.

Spotyka się układy, w których zamiast oporności uziemniającej stosuje się transformator jednofazowy z obciążeniem omowym załączonym na jego wtórne uzwojenie. Działanie takiego układu jest podobne do opisanego wyżej układu z uziemianiem opornością omową. Układ z transformatorem uziemianym sto-

suje się między innymi w tych przypadkach, gdy używa się lamp żelazo-wodorowych do utrzymania stałego prądu doziemnego, który nie zależy od napięcia doziemnego.

#### Prądy doziemne o częstotliwości potrójnej

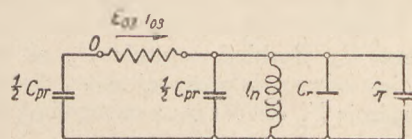
W układach blokowych poważną rolę odgrywają prądy wyższych harmonicznych, a w szczególności trzeciej harmonicznej, czyli o potrójnej częstotliwości. W maszynach synchronicznych powstają dwa napięcia o potrójnej częstotliwości, a mianowicie:

- Napięcie, wynikające z odkształcenia krzywej SEM maszyny, o potrójnej częstotliwości i skierowane w każdej chwili zgodnie we wszystkich fazach uzwojenia; można je nazwać napięciem trzeciej harmonicznej kolejności zerowej i oznaczyć przez  $U_{03}$ .
- Napięcie występujące przy niesymetrycznych zwarciach międzyfazowych. Pole magnetyczne, wytworzone przez przeciwny układ prądów, wirujący względem magnesu z podwójną synchroniczną prędkością obrotową, wzbudza w magnecie SEM i prądy o podwójnej częstotliwości. Pulsujące pole magnetyczne w magnecie, wywołane prądami o podwójnej częstotliwości, można rozłożyć na dwa pola wirujące w stosunku do niej w przeciwnych kierunkach z prędkością obrotową dwukrotnie większą od synchronicznej. Pole składowe, wirujące w kierunku przeciwnym do ruchu magnesu, wiruje w stosunku do stojana z synchroniczną prędkością obrotową przeciwną i osłabia współbieżne z nim pole magnetyczne, wytworzone przez przeciwny układ prądów w stojanie.

Składowe pole magnetyczne magnesu, wirujące w kierunku zgodnym z jej ruchem, wiruje z potrójną synchroniczną prędkością obrotową względem uzwojenia stojana. Pole to jest przyczyną powstawania trzeciej harmonicznej napięcia o charakterze trójfazowym, tworzącej zgodny układ napięć. Napięcie to można nazwać napięciem kolejności zgodnej trzeciej harmonicznej i oznaczyć przez  $U_{13}$ .

Siła elektromotoryczna trzeciej harmonicznej kolejności zerowej  $E_{03}$  powoduje przepływ prądu trzeciej harmonicznej kolejności zerowej  $I_{03}$  w obwodzie:

- pojemność systemu względem ziemi, składająca się z połowy pojemności uzwojenia generatora, pojemności przewodów łączących generator z transformatorem blokowym i pojemności uzwojenia transformatora; równoległe do tych pojemności załączona



Rys. 3. Obwód prądu doziemnego trzeciej harmonicznej generatora pracującego w bloku z transformatorem

$C_{pr}$  — pojemność uzwojenia generatora względem ziemi,  $C_D$  — pojemność względem ziemi przewodów łączących generator z transformatorem,  $C_T$  — pojemność względem ziemi uzwojenia transformatora,  $L_n$  — indukcyjność uzwojenia przekładnika napięciowego,  $E_{03}$  — siła elektromotoryczna trzeciej harmonicznej kolejności zerowej,  $I_{03}$  — prąd trzeciej harmonicznej kolejności zerowej

jest zwykle indukcyjność przekładnika napięciowego;

2. ziemia;

3. połowa pojemności uzwojenia generatora.

Obwód prądu doziemnego trzeciej harmonicznej podano na rys. 3. Należy zaznaczyć, że dla trzeciej harmonicznej pojemności przedstawiają oporność trzykrotnie mniejszą niż dla częstotliwości głównej, indukcyjności zaś oporność trzykrotnie większą. Wartości liczbowe prądu i napięcia trzeciej harmonicznej kolejności zerowej obliczyć można z następujących wzorów (L. 2 str. 432):

$$I_{03} = \frac{j \cdot E_{03}}{2 X_{Cpr3} + \frac{X_{n3} \cdot X_{C\gamma 3}}{X_{C\Sigma 3} - X_{n3}}} T_C \quad (5)$$

$$U_{03} = -j \cdot I_{03} \cdot \frac{X_{n3} \cdot X_{C\gamma 3}}{X_{n3} - X_{C\Sigma 3}} \quad (6)$$

gdzie

$$X_{Cpr3} = \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot C_{pr}}; X_{n3} = 3 \cdot \omega \cdot L_n; X_{C\gamma 3} = \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot C_{\gamma}} \\ C_{\gamma} = \frac{1}{2} C_{pr} + C_p + C_T$$

$C_{pr}$  — pojemność uzwojenia generatora względem ziemi,

$C_p$  — pojemność przewodów, łączących generator z transformatorem,

$C_T$  — pojemność uzwojenia transformatora,

$L_n$  — indukcyjność przekładnika napięciowego.

Prąd trzeciej harmonicznej kolejności zerowej osiąga największą wartość w przypadku zwarcia z ziemią w punkcie zerowym generatora, gdy pojemność  $\frac{1}{2} C_{pr}$  po lewej stronie rys. 3 zboczniowana jest małą opornością przejściową zwarcia. Zjawisko to wykorzystuje się w niektórych układach zabezpieczeń do sygnalizacji zwarć doziemnych w pobliżu punktu zerowego uzwojenia generatora.

Napięcia doziemne uzwojeń generatora w układzie blokowym, występujące przy zewnętrznych zwarcia z ziemią

Pewne napięcie może powstać w układach blokowych pomiędzy uzwojeniem generatora a ziemią w przypadku jednobiegunowych zwarć z ziemią po stronie wyższego napięcia transformatora blokowego, a więc w rozdzielni lub w sieci przemysłowej. Uwzględnić należy szczególny przypadek, gdy sieć ma izolowany punkt zerowy, a zabezpieczenia ziemnozwarciowe sieci działają tylko na sygnał. Powstający w tym przypadku obwód ziemnozwarciowy pokazano na rys. 4. Składa się on z połączonych w szereg pojemności obwodu generatora względem ziemi  $C_{op}$  i uzwojeń transformatora blokowego względem siebie  $C_T$ , pozostających pod napięciem kolejności zerowej po stronie napięcia podwyższonego  $U_o$ . Rozkład napięcia  $U_o$  na pojemności  $C_{op}$  i  $C_T$  jest odwrotnie proporcjonalny do tych pojemności. Napięcie  $U_p$  oblicza się z następujących równań:

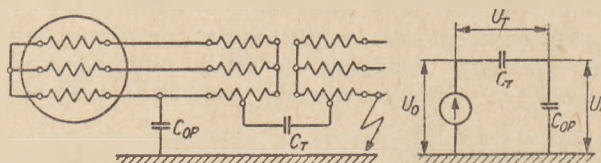
$$U_o = U_p + U_T; \quad \frac{U_p}{U_T} = \frac{C_T}{C_{op}}$$

Z obu równań

$$U_p = U_o \cdot \frac{C_T}{C_T + C_{op}} \quad (7)$$

Ponieważ pojemność  $C_T$  jest zwykle znacznie mniejsza od  $C_{op}$ , przeto obliczone z powyższego wzoru war-

tości  $U_p$  wynoszą  $10 \div 15\%$  napięcia znamionowego generatora. Przy uziemionym punkcie zerowym uzwojenia górnego napięcia transformatora blokowego wartości te wypadają jeszcze niższe, a czas działania napięcia  $U_p$  jest krótki, równy zwłocze czasowej zabezpieczenia ziemnozwarciowego po stronie górnego napięcia. W celu odprowadzenia do ziemi ładunków elektrostatycznych uziemnia się czasem punkty zerowe generatorów pracujących w bloku z transformatorami za pośrednictwem oporników omowych. Ze względu na nieznaczną wartość napięcia  $U_p$  uziemienia takie zostały w Związku Radzieckim zabronione (L. 3).



Rys. 4. Obwód ziemnozwarciowy generatora pracującego w bloku z transformatorem w przypadku zwarcia z ziemią w sieci przesyłowej z izolowanym punktem zerowym

$C_{op}$  — pojemność względem ziemi obwodu generatora,  $C_T$  — pojemność między uzwojeniami transformatora blokowego,  $U_o$  — napięcie kolejności zerowej po stronie napięcia podwyższonego,  $U_T$  — napięcie między uzwojeniami transformatora blokowego,  $U_p$  — napięcie względem ziemi obwodu generatora

#### Zwarcia doziemne w blokach z zaczepami

Opisane powyżej zjawiska fizyczne zachodzą ściśle biorąc tylko przy blokach bez żadnych odgałęzień. W praktyce najczęściej spotyka się układy, w których sekcja rozdzielni potrzeb własnych bloku jest zasilana bezpośrednio z zacisków generatora. Z uwagi na zabezpieczenie ziemnozwarciowe należy tu wyraźnie odróżnić układ potrzeb własnych zasilany bezpośrednio napięciem znamionowym generatora od układu zasilanego napięciem obniżonym.

Pierwszy przypadek zachodzi najczęściej przy napięciu znamionowym generatora 6,3 kV, aczkolwiek ostatnio dąży się do zasilania niektórych większych silników potrzeb własnych napięciem 10,5 kV. Mimo tych rzadkich na razie przypadków przy napięciu znamionowym prądnicy 10,5 kV stosuje się do zasilania silników potrzeb własnych wysokiego napięcia najczęściej napięcie 3 kV, a czasem 6 kV z transformatora przyłączonego do zacisków generatora.

Przy zasilaniu potrzeb własnych za pośrednictwem transformatora zaczepowego warunki ziemnozwarciowe całego układu są bardzo zbliżone do układu bloku bez zaczepu. Zwarcia doziemne w sieci potrzeb własnych wywierają bardzo mały wpływ na obwód generatora. Dlatego wpływ ten może być pominięty. W przypadku natomiast zasilania potrzeb własnych bezpośrednio napięciem znamionowym generatora warunki ziemnozwarciowe zbliżają się do warunków, w których generator pracuje bezpośrednio na sieć z izolowanym punktem zerowym.

#### Uszkodzenia wywołane prądami doziemnymi

Prąd doziemny, przepływający przez miejsce uszkodzenia uzwojenia stojana generatora do uziemionego kadłuba, może spowodować stosunkowo nieznaczne albo bardzo poważne uszkodzenia, co zależy od natę-

zenia prądu doziemnego i od czasu jego działania. Skutki przepływu prądu doziemnego w turbogeneratorach były badane w różnych krajach.

W Związku Radzieckim badania tego rodzaju przeprowadzone były między innymi przez Laboratorium im. Smurowa. Według niektórych charakterystycznych wyników tych badań (L. 1, str. 493) przy natężeniu prądu doziemnego od  $4 \div 20$  A — uszkodzenia blach stojana są małe i nawet po czasie  $10 \div 20$  min. Po dłuższym czasie następuje jednak nagrzanie izolacji w pobliżu miejsca zwarcia, co stwarza niebezpieczeństwo powstania zwarcia doziemnego w drugim jeszcze miejscu. Wskutek przepływu prądu doziemnego o natężeniu 50 A przez 2 sek przy napięciu znamionowym generatora 11 kV powstał w blachach jego stojana krater o średnicy około 5,5 mm. Przy prądzie o natężeniu 1200 A w ciągu 1,6 sek wytworzył się już krater o średnicy około 20 mm. Objętość wytopionego w żelazie krateru nie przekraczała  $1 \text{ cm}^3$ , jeżeli natężenie prądu nie było większe niż 400 A, a czas działania nie dłuższy niż 0,4 sek. Przy zwiększeniu natężenia prądu do 600 A i więcej objętość krateru wzrastała wprawdzie nieznacznie, lecz powstawało zjawisko silnego rozpryskiwania roztopionego metalu, co łatwo może spowodować uszkodzenie izolacji uzwojenia i zwarcie międzyzwojowe lub międzyfazowe.

Badania przeprowadzone przez firmę Siemens-Schuckert (L. 4) wykazały skutki poważniejsze. Nie stwierdzono uszkodzeń sięgających wgłąb zarówno izolacji, jak i w blachach stojana przy prądzie doziemnym 7,5 A, działającym przez 10 min; ustalono natomiast, że prąd doziemny o natężeniu 200 A, działający nawet bardzo krótko, bo zaledwie 0,28 sek, wywołał znaczne uszkodzenia, sięgające wgłąb blach (co spowodowało konieczność częściowego przepakietowania generatora) oraz uszkodził izolację na całej szerokości.

Z tych i z innych doświadczeń wyciągnięto następujące wnioski:

1. Małe prądy doziemne, nie trwające zbyt długo, nie wywołują uszkodzeń sięgających wgłąb żelaza.
2. Prądy doziemne o natężeniu powyżej 20 A, nawet krótkotrwałe, mogą wywołać poważne uszkodzenia blach stojana.
3. Długotrwały przepływ małych prądów doziemnych może spowodować poważne uszkodzenia izolacji przewodu uziemionego, a z kolei uszkodzenie izolacji przewodów sąsiednich i zapoczątkować zwarcia międzyzwojowe, a nawet międzyfazowe.

Inne zupełnie wyniki osiągnięto przy badaniu skutków działania prądów doziemnych w Stanach Zjednoczonych A. P. Stwierdzono bowiem, że nawet prądy rzędu  $1000 \div 2000$  A, płynące przez czas bardzo krótki, gdyż około 0,2 sek nie spowodowały jeszcze takich uszkodzeń generatora, wskutek których trzeba było wymieniać część blach stojana w fabryce.

W zakresie małych prądów doziemnych, tj. poniżej 20 A wyniki badań radzieckich i niemieckich pokrywają się całkowicie. Wyniki badań prądów  $20 \div 300$  A w ZSRR są bardziej optymistyczne. Wyższe prądy doziemne dopuszcza się jedynie w USA.

Tak duże rozbieżności otrzymanych wyników można tłumaczyć częściowo różnicami konstrukcyjnymi generatorów, różnymi gatunkami żelaza i materiałów izolacyjnych, a wreszcie granicą dopuszczalnego uszkodzenia.

W naszych warunkach najśluszniej jest oprzeć się na doświadczeniach radzieckich przy zachowaniu jednak pewnej ostrożności z uwagi na eksploatację znacznej jeszcze ilości przestarzałych generatorów oraz na mniejsze doświadczenie i możliwości technicznych naszych brygad remontowych.

C. d. n.

621.316.267:621.316.35

## Układy bezszynowe w rozdzielniach wysokiego napięcia

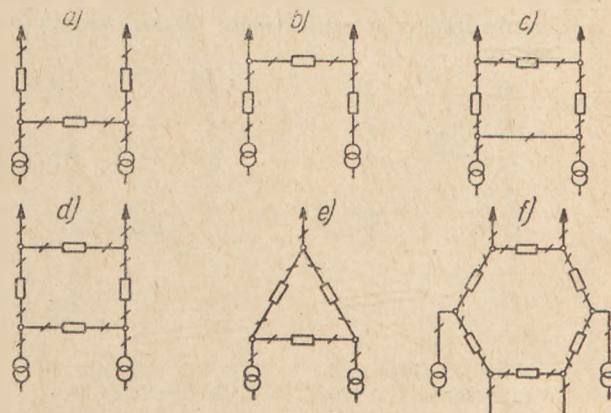
Inż. Zdzisław Skrypko

### Wstęp

W większych rozdzielniach elektrowni i stacji wysokiego napięcia, w których wymagana jest duża pewność i elastyczność pracy, stosuje się normalnie podwójny system szyn zbiorczych. (Wyjątek stanowią rozdzielnie zasilające odbiory potrzeb własnych elektrowni). Budując rozdzielnie dąży się do tego, aby były nie tylko pewne w eksploatacji lecz także, aby ich koszt był możliwie najniższy oraz aby do ich budowy dały się wykorzystać urządzenia krajowe. Kierując się tymi wymaganiami zaczęto szukać nowych rozwiązań przy projektowaniu rozdzielni w stacjach wysokiego napięcia.

Jednym z rozwiązań spełniającym powyższe zadania w rozdzielniach i stacjach od  $35 \div 220$  kV są tzw. układy bezszynowe. Przy stosowaniu układów bezszynowych oszczędza się na wyłącznikach a w niektórych wypadkach również i na odłącznikach w stosunku do rozdzielni o podwójnym systemie szyn. Pewność i elastyczność pracy rozdzielni zbudowanych w układzie bezszynowym nie jest mniejsza niż rozdzielni o pod-

wójnym systemie szyn. Duże doświadczenie eksploatacyjne z rozdzielniami i stacjami w układzie bezszynowym ma Związek Radziecki, w którym są one obecnie coraz częściej budowane.



Rys. 1. Schematy rozdzielni bezszynowych

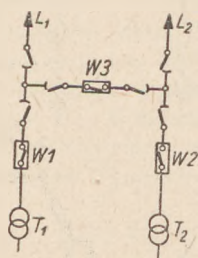
Najczęściej stosowanymi układami bezszynowymi jest układ czworoboków lub H, a rzadziej trójkątów i wieloboków. Schematy kilku typowych rozdzielni bezszynowych podano na rys. 1. Stosowanie tych układów jest jednak ograniczone, gdyż całkowita ilość pól zasilających i odpływowych rozdzielni nie może być większa niż sześć.

Praca oraz zalety i wady najczęściej stosowanych układów bezszynowych

A. Układ bezszynowy tzw. H stosuje się w tych wypadkach, gdy przewiduje się wyprowadzenie ze stacji rozdzielczej czterech pól, np. dwóch liniowych i dwóch transformatorowych. Stacja taka spełnia w dużej mierze tę samą rolę w układzie energetycznym co stacja z dwoma systemami szyn zbiorczych oraz z polem sprzęgłowym. W zależności od roli stacji w systemie energetycznym i od rodzaju pracy transformatorów stosuje się połączenia poprzeczne z wyłącznikiem po stronie transformatorów (rys. 1a) lub po stronie linii (rys. 1b). W tym drugim wypadku można wprowadzić dodatkowe połączenie z odłącznikiem po stronie transformatorów (rys. 1c), co pozwoli na pracę linii i transformatorów podczas remontu jednego z wyłączników. W układzie H zastosowane są trzy wyłączniki. Zależnie od ważności stacji i żądanej pewności ruchu dla układu na rys. 1b potrzeba sześć odłączników, dla układu na rys. 1a — osiem odłączników, w układzie natomiast na rys. 1c aż 11 odłączników. W stosunku do układu z dwoma systemami szyn przy układzie H zaoszczędza się zatem dwa wyłączniki, ponadto w układzie podanym na rys. 1b — cztery odłączniki, na rys. 1a dwa odłączniki. Jedynie w układzie na rys. 1c potrzebny jest jeden odłącznik więcej. Jak widać z powyższych porównań, w układzie H uzyskuje się poważne oszczędności.

Przy normalnej pracy linii i transformatorów w układzie jak na rys. 2 wyłączniki W1, W2, W3 są załączone. W wypadku uszkodzenia linii np. L. 1 i działania ochrony zostanie wyłączony wyłącznik W1, a wtedy linia L. 2 może być zasilana przez oba transformatory. Jeżeli linie L. 1 i L. 2 wzajemnie się rezerwują, to przy wypadnięciu jednej linii należy liczyć się z dodatkowymi stratami na przeciążonej linii.

W powyższym układzie powstają komplikacje w razie uszkodzenia transformatora, gdyż ochrona jego spowoduje wyłączenie wyłączników W1 i W3 (w wypadku uszkodzenia np. transformatora T1). Wówczas zostanie również wyłączona linia L. 1. Równoczesne wyłączenie linii przy uszkodzeniu transformatora jest



Rys. 2. Układ H z połączeniem poprzecznym po stronie transformatorów



Rys. 3. Układ H z połączeniem poprzecznym po stronie linii

poważną wadą tego układu. Jeżeli jednak są dopuszczalne krótkotrwałe przerwy w dostawie energii, to układ jest korzystny i należy go stosować, gdyż po krótkiej przerwie linia może być ponownie załączona. Czas ponownego załączenia linii ogranicza się do czasu potrzebnego do wykonania następujących manipulacji:

1. wyłączenie odłącznika transformatora, np. Od 1,
2. ponownego załączenia wyłączników W1 i W3.

Wady tego układu nie występują jednak tak często, gdyż:

- a) przy prawidłowej eksploatacji uszkodzenia transformatorów zdarzają się bardzo rzadko. Według danych statystycznych w Związku Radzieckim np. uszkodzenia transformatorów zdarzają się średnio raz na 15 ÷ 20 lat;
- b) przy powstaniu awarii transformatora ponowne załączenie linii nastąpi po czasie nie dłuższym niż 30 min, jeżeli nie ma sterowania zdalnego odłączników.

W powyższym układzie prawdopodobieństwo wyłączenia linii wskutek uszkodzenia transformatora zdarza się zatem raz na 15 ÷ 20 lat, przy czym czas wyłączenia linii nie jest dłuższy niż 30 min.

Jeżeli ze względów ruchowych wymagane jest częste wyłączanie i załączanie jednego z transformatorów, np. w celu zmniejszenia strat energii przy spadku obciążenia, to należy wyłączyć jeden z transformatorów, przy wzroście obciążenia należy natomiast załączyć oba transformatory. Odłączenie jednego transformatora, np. T1, wymaga jednak wyłączenia wyłącznika W1 i W3, a następnie odłącznika Od 1 oraz ponownego załączenia wyłącznika W1 i W3. Podobnie przy załączeniu transformatora T1 należy wyłączyć wyłączniki W1 i W3, a następnie załączyć odłącznik Od 1 oraz wyłączniki W1 i W3. Częste powtarzanie tych operacji może czasem doprowadzić do omyłkowych połączeń a zatem do awarii. Również częste wyłączanie jednej z linii razem z transformatorem nie zawsze może być możliwe. Przy tym układzie połączeń wyłączenie jednego transformatora w okresie małego obciążenia nie zawsze da się w praktyce zastosować.

W razie konieczności częstego załączania i wyłączania jednego z transformatorów należy zastosować raczej układ H z połączeniem poprzecznym po stronie linii (rys. 3).

Przy normalnej pracy linii i transformatorów wyłączniki W1, W2 i W3 są załączone. W wypadku uszkodzenia jednego z transformatorów i działania jego ochrony zostanie wyłączony wyłącznik W1 lub W2. W razie uszkodzenia linii np. L. 1 konieczne jest wyłączenie wyłączników W1 i W3, co spowoduje również wyłączenie transformatora T1.

Przy zasilaniu obu linii z jednego transformatora, w wypadku uszkodzenia jednej z nich, nastąpi wyłączenie uszkodzonej linii i transformatora, a więc druga nieuszkodzona linia zostanie pozbawiona zasilania. Prawdopodobieństwo uszkodzenia linii jest proporcjonalne do jej długości i zależy od napięcia oraz od konstrukcji linii.

Według danych radzieckich na każde 100 km długości linii przypadają 1 ÷ 2 wyłączenia awaryjne w roku dla linii o napięciu 110 kV, a 2 ÷ 4 wyłączenia dla linii o napięciu 35 kV. Przy długich liniach prawdopodobieństwo awarii jest znacznie większe niż usz-

kodzenia transformatora. W takich wypadkach należy raczej stosować układ podany na rys. 2, który w danych warunkach daje większą pewność pracy. W wypadkach częstego załączania i wyłączania transformatorów w celu zmniejszenia strat energii oraz przy liniach krótkich korzystniej jest stosować układ według rys. 3. Uzasadnione jest również przyjęcie układu podanego na rys. 2 w wypadku, gdy różnica wartości straconej energii przy stałej pracy obu transformatorów i przy wyłączaniu jednego z nich jest mała. Rozpatrzone powyżej dwa układy typu H zaleca się przyjmować raczej tylko dla stacji końcowych.

Można zwiększyć pewność pracy układu podanego na rys. 3, wprowadzając dodatkowe połączenie poprzeczne z odłącznikiem po stronie transformatorów, co pozwoli na pracę obu linii i transformatorów podczas remontu jednego z wyłączników. Koszt stacji wzrośnie w stosunku do dwóch podanych wyżej układów, gdyż trzeba będzie zainstalować 11 odłączników (rys. 4).

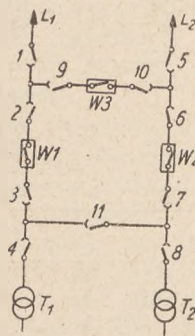
Przy normalnej pracy układu odłącznik 11 powinien być otwarty, a zatem układ będzie taki sam jak na rys. 3, ma więc jego zalety i wady.

Przy wyłączeniu natomiast jednego wyłącznika do remontu lub przeglądu — po poprzednim załączeniu odłącznika 11 — obie linie i transformatory mogą bez przerwy pracować, co jest dodatkową zaletą tego układu. Należy jednak liczyć się z tym, że przy załączeniu wszystkich pól i wyłączonym wyłączniku W1 lub W2 uszkodzenie na linii znajdującej się między załącz-

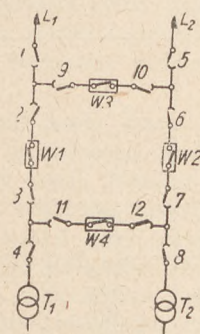
nymi wyłącznikami spowoduje wyłączenie całej stacji. Uszkodzenie jednego z transformatorów powoduje również wyłączenie wyłącznika łączącego linie z transformatorami.

W tablicach 1 i 2 zebrano 27 możliwych sposobów połączeń stacji z podaniem, które są zalecane i niewskazane oraz które wyłączniki powinny być wyłączane przez zabezpieczenia linii i transformatorów przy poszczególnych połączeniach, aby zapewnić maksymalną wybiórczość układu.

B. Układ bezszynowy w kształcie czworoboku, podobnie jak układ H, stosuje się w tych wypadkach, gdy



Rys. 4. Układ H z połączeniem poprzecznym po stronie transformatorów i linii



Rys. 5. Układ niesymetryczny czworoboku

Zestawienie możliwych połączeń stacji

Tablica 1

| Lp. | Linie |    | Transf. |    | Wyłączniki |    |    | Odłączniki |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | Uwagi                                                                               |
|-----|-------|----|---------|----|------------|----|----|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|-------------------------------------------------------------------------------------|
|     | L1    | L2 | T1      | T2 | W1         | W2 | W3 | 1          | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |                                                                                     |
| 1   | ×     |    | ×       |    | /          |    |    | /          | / | / |   |   |   |   |   | / | /  | /  | dobry<br>niewskazany<br>niewskazany<br>dobry<br>niewskazany<br>niewskazany<br>dobry |
| 2   | ×     |    | ×       |    | /          | /  | /  | /          | / | / |   |   | / | / |   | / | /  | /  |                                                                                     |
| 3   | ×     |    |         | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / |   |   | / | / |   | / | /  | /  |                                                                                     |
| 4   | ×     |    |         | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / |   |   | / | / |   | / | /  | /  |                                                                                     |
| 5   | ×     |    | ×       | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / |   |   | / | / |   | / | /  | /  |                                                                                     |
| 6   | ×     |    | ×       | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / |   |   | / | / |   | / | /  | /  |                                                                                     |
| 7   | ×     |    | ×       | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / |   |   | / | / |   | / | /  | /  |                                                                                     |
| 8   |       | ×  | ×       |    | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  | niewskazany<br>dobry<br>dobry<br>niewskazany<br>niewskazany<br>niewskazany<br>dobry |
| 9   |       | ×  | ×       |    | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
| 10  |       | ×  |         | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
| 11  |       | ×  |         | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
| 12  |       | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
| 13  |       | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
| 14  |       | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
| 15  | ×     | ×  |         |    | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  | dobry<br>niewskazany                                                                |
| 16  | ×     | ×  |         |    | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
| 17  | ×     | ×  | ×       |    | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  | dobry<br>niewskazany<br>niewskazany<br>dobry<br>niewskazany<br>niewskazany          |
| 18  | ×     | ×  | ×       |    | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
| 19  | ×     | ×  | ×       |    | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
| 20  | ×     | ×  |         | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
| 21  | ×     | ×  |         | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
| 22  | ×     | ×  |         | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
| 23  | ×     | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
| 24  | ×     | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  | najlepszy                                                                           |
| 25  | ×     | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
| 26  | ×     | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
| 27  | ×     | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | /  |                                                                                     |
|     |       |    |         |    |            |    |    |            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | zasilanie oddzielne<br>każdego transform.                                           |

× — załączona linia lub transformator  
/ — załączony wyłącznik lub odłącznik  
— — odłączony odłącznik

Tablica 2

Zestawienie wyłączeń wyłączników przez zabezpieczenia poszczególnych pól dla połączeń podanych w tablicy 1

| Lp. | Zabezpieczenie linii |    | Zabezpieczenie transformatorów |         |
|-----|----------------------|----|--------------------------------|---------|
|     | L1                   | L2 | T1                             | T2      |
| 1   |                      |    | W1                             |         |
| 2   |                      |    | W2                             |         |
| 3   |                      |    |                                | W1      |
| 4   |                      |    |                                | W2      |
| 5   |                      |    | W1                             | W1      |
| 6   |                      |    | W2                             | W2      |
| 7   |                      |    | W1                             | W2      |
| 8   |                      |    | W2                             |         |
| 9   |                      |    | W1                             |         |
| 10  |                      |    |                                | W2      |
| 11  |                      |    |                                | W1      |
| 12  |                      |    | W2                             | W2      |
| 13  |                      |    | W1                             | W1      |
| 14  |                      |    | W1                             | W2      |
| 15  | W3                   | W3 |                                |         |
| 16  | W1                   | W2 |                                |         |
| 17  | W3                   | W3 | W1                             |         |
| 18  | W3                   | W3 | W2                             |         |
| 19  | W1                   | W2 | W1 i W2                        |         |
| 20  | W3                   | W3 |                                | W2      |
| 21  | W3                   | W3 |                                | W1      |
| 22  | W1                   | W2 |                                | W1 i W2 |
| 23  | W3                   | W3 | W1                             | W1      |
| 24  | W3                   | W3 | W2                             | W2      |
| 25  | W3                   | W3 | W1                             | W2      |
| 26  | W1                   | W2 | W1 i W2                        | W1 i W2 |
| 27  |                      |    | W1                             | W2      |

przewiduje się wyprowadzenie czterech pól ze stacji rozdzielczej, np. dwóch pól liniowych i dwóch pól transformatorowych. Układ ten jest dość często stosowany dla napięć od 35 kV w górę i odpowiada układowi z dwoma systemami szyn zbiorczych oraz z polem sprzęgłowym.

Układ czworoboku jest droższy od układu H, tańszy natomiast od układu z podwójnym systemem szyn zbiorczych. Prostota budowy stacji w takim układzie, szczególnie w wykonaniu napowietrznym, jest również poważną jego zaletą. Stacje w układzie czworoboku można rozbudować, przechodząc na sześciobok. Częściej jednak stacji tego typu nie rozbudowuje się, gdyż bardziej celowe jest budowanie nowych stacji, nawet w bezpośrednim sąsiedztwie już istniejących.

W tablicy 3 zestawiono ilość aparatury rozdzielczej, ciężar konstrukcji żelaznej rozdzielni napowietrznej i wielkość terenu potrzebnego na rozdzielnię przy zastosowaniu układu z dwoma systemami szyn, układu H przy połączeniu poprzecznym z wyłącznikiem po stronie transformatorów oraz układu czworoboku, przy dwóch polach liniowych i dwóch polach transformatorowych.

Układ czworoboku jest pewniejszy w eksploatacji oraz bardziej elastyczny niż układ H i układ z podwójnym systemem szyn.

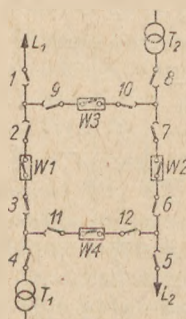
Najszerze zastosowanie znalazł układ symetryczny podany na rys. 6, w którym po wyłączeniu któregośkolwiek wyłącznika podczas remontu drugiego wyłącznika nie nastąpi unieruchomienie całej stacji. W układzie niesymetrycznym przedstawionym na rys. 5 może natomiast nastąpić całkowite odłączenie transformatorów od linii, a zatem przy przepływie energii od linii

Tablica 3

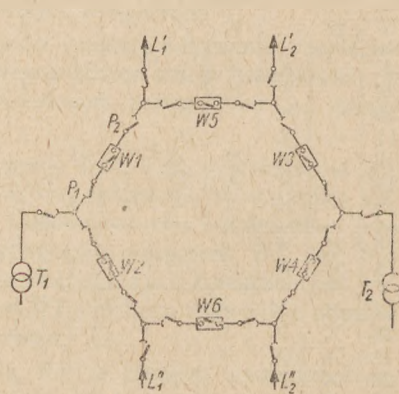
Zestawienie aparatury, konstrukcji i powierzchni różnych typów stacji

| Element                                          | Stacja z dwoma systemami szyn | Stacja w układzie H                        | Stacja w układzie czworoboku               |
|--------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Wyłączniki (szt.)                                | 5                             | 3                                          | 4                                          |
| Odlączniki (szt.)                                | 12                            | 8                                          | 12                                         |
| Przekładniki prądowe (szt.)                      | 5                             | 4                                          | 4                                          |
| Przekładniki napięciowe (szt.)                   | 4                             | 2                                          | 4                                          |
| Bramki transform. (szt.)                         | 2                             | 2                                          | 2                                          |
| Bramki liniowe (szt.)                            | 2                             | 2                                          | 2                                          |
| Bramki szynowe (szt.)                            | 4                             | —                                          | —                                          |
| Inne konstrukcje                                 | 2 bramki sprzęgłowe           | konstrukcje wsporcze pod izolatory szynowe | konstrukcje wsporcze pod izolatory szynowe |
| Powierzchnia terenu (minimalna) w m <sup>2</sup> | 45×62=2720                    | 27×52=1304                                 | 54×40=2161                                 |
| Ciężar całkowity konstrukcji żelaznych w kg      | 10 068                        | 3 700                                      | 5 292                                      |

do transformatorów lub odwrotnie stacja zostanie całkowicie wyłączona. Przy normalnej pracy czterech pól wszystkie wyłączniki są załączone.



Rys. 6. Układ symetryczny czworoboku



Rys. 7. Układ sześcioboku

W tablicy 4 i 5 podano możliwe połączenia stacji w układzie symetrycznym w różnych warunkach pracy z zaznaczeniem, które z połączeń są zalecane, a których należy unikać oraz które wyłączniki powinny być wyłączone przez zabezpieczenia linii i transformatorów przy poszczególnych połączeniach, zapewniających maksymalną wybiórczość układu.

C. Układ bezszynowy wieloboków stosuje się w stacjach przelotowych wysokiego napięcia. Jak wspomniano na wstępie, przy wielobokach nie przyjmuje się więcej jak sześć boków, gdyż przy większej liczbie boków układ staje się mniej pewny i mniej elastyczny. Z wieloboków najczęściej stosuje się sześciobok. Można go z powodzeniem zastosować np. w wypadku, gdy istnieją dwie linie przelotowe oraz dwa pola transformatorowe. Układ taki przedstawiono na rys. 7.

Przy normalnej pracy, tj. przy załączonych wszystkich wyłącznikach, każde pole sześcioboku jest wyłączane przez dwa wyłączniki.

Na przykład transformator T1 jest wyłączany lub załączany przez wyłączniki W1 i W2, linia L1 przez wyłączniki W1 i W5 itd. Taki układ umożliwia przegląd i remont dowolnego wyłącznika układu. Odłączenie jednego z wyłączników nie powoduje zaburzenia w pracy układu.

Z porównania operacji przy wieloboku z czynnościami, które są konieczne do odstawienia do remontu wyłącznika w układzie z dwoma systemami szyn zbiorczych, wynika, że przy sześcioboku są one prostsze i nie mogą spowodować awarii wskutek niewłaściwej operacji. Przy odstawieniu do remontu np. wyłącznika W1 i omyłkowym wcześniejszym odłączeniu jego odłączników P1 lub P2 nie powstanie awaria. (Przy odłączeniu odłącznika P1, jeżeli wyłącznik W1 był zamknięty, szczepka i nóż odłącznika będą znajdowały się

pod tym samym napięciem i dlatego między nimi nie może powstać łuk elektryczny).

W układzie bezszynowym wieloboku wszystkie operacje załączania i wyłączania przeprowadza się wyłącznikami.

W układzie z dwoma systemami szyn odłączniki są natomiast elementami operatywnymi, np. przy przejściu z jednego systemu szyn na drugi, przy remoncie itp. trzeba operować odłącznikami przy załączonych wyłącznikach.

Brak szyn w układzie wieloboku pozwala uniknąć wyłączenia całej stacji, gdyż przy zwarcu w jakimkolwiek miejscu następuje wyłączenie tylko jednego elementu układu. W układzie z szynami zbiorczymi zwarcie na szynach powoduje natomiast wyłączenie całej stacji.

Układ wieloboku posiada jednak wady, które ograniczają jego stosowanie. Jest to ograniczona ilość pól układu oraz trudność rozbudowy stacji. Remont jednego z wyłączników powoduje otwarcie wieloboku, wskutek czego przy powstaniu awarii może nastąpić wyłączenie nie tylko uszkodzonego pola, ale również wyłączenie pól nieuszkodzonych. Nie należy jednak z tego wnioskować, że w układzie wieloboku często wypadają z pracy pola nieuszkodzone. W normalnych warunkach wszystkie wyłączniki są załączone, a zatem w razie awarii zostaje wyłączone tylko jedno pole. Małe jest prawdopodobieństwo wyłączenia uszkodzenia

Zestawienie możliwych połączeń stacji

Tablica 4

| Lp. | Linie |    | Transf. |    | Wyłączniki |    |    |    | Odłączniki |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | Uwagi                                                                                     |
|-----|-------|----|---------|----|------------|----|----|----|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | L1    | L2 | T1      | T2 | W1         | W2 | W3 | W4 | 1          | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |                                                                                           |
| 1   | ×     |    | ×       |    | /          |    |    |    | /          | / | / | / |   |   |   |   |   |    |    |    | dobry<br>niewskazany<br>dobry<br>niewskazany<br>dobry<br>niewskazany<br>niewskazany       |
| 2   | ×     |    | ×       |    | /          | /  | /  | /  | /          | — | — | / | — | / | — | / | / | /  | /  | /  |                                                                                           |
| 3   | ×     |    |         | ×  | /          | /  | /  | /  | /          | / | / | — | — | / | — | / | / | /  | /  | /  |                                                                                           |
| 4   | ×     |    |         | ×  | /          | /  | /  | /  | /          | / | / | — | — | / | — | / | / | /  | /  | /  |                                                                                           |
| 5   | ×     |    | ×       | ×  | /          | /  | /  | /  | /          | / | / | / | — | / | — | / | / | /  | /  | —  |                                                                                           |
| 6   | ×     |    | ×       | ×  | /          | /  | /  | /  | /          | — | — | / | — | / | — | / | / | /  | /  | /  |                                                                                           |
| 7   | ×     |    | ×       | ×  | /          | /  | /  | /  | /          | / | / | / | — | / | / | / | / | —  | —  | /  |                                                                                           |
| 8   |       | ×  | ×       |    | /          | /  | /  | /  | —          | / | — | / | / | — | / | — | / | /  | —  | /  | dobry<br>niewskazany<br>dobry<br>niewskazany<br>dobry<br>niewskazany<br>niewskazany       |
| 9   |       | ×  | ×       |    | /          | /  | /  | /  | —          | / | / | / | / | / | / | — | / | /  | —  | —  |                                                                                           |
| 10  |       | ×  |         | ×  | /          | /  | /  | /  | —          | / | — | — | / | — | — | / | / | /  | —  | —  |                                                                                           |
| 11  |       | ×  |         | ×  | /          | /  | /  | /  | —          | / | / | — | / | / | / | / | / | /  | —  | /  |                                                                                           |
| 12  |       | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /  | —          | / | — | / | / | — | / | / | / | —  | /  | /  |                                                                                           |
| 13  |       | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /  | —          | / | / | / | / | — | / | / | / | /  | /  | /  |                                                                                           |
| 14  |       | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /  | —          | / | / | / | / | / | / | / | / | /  | —  | —  |                                                                                           |
| 15  | ×     | ×  |         |    | /          | /  | /  | /  | /          | — | — | — | / | / | / | — | / | /  | —  | —  | dobry<br>niewskazany<br>niewskazany<br>dobry<br>niewskazany<br>niewskazany<br>niewskazany |
| 16  | ×     | ×  |         |    | /          | /  | /  | /  | /          | / | — | — | / | — | — | — | — | —  | /  | /  |                                                                                           |
| 17  | ×     | ×  | ×       |    | /          | /  | /  | /  | /          | / | / | / | / | — | — | — | — | /  | /  | /  |                                                                                           |
| 18  | ×     | ×  | ×       |    | /          | /  | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | — | / | /  | —  | —  |                                                                                           |
| 19  | ×     | ×  | ×       |    | /          | /  | /  | /  | /          | — | — | — | / | / | / | — | / | /  | /  | /  |                                                                                           |
| 20  | ×     | ×  |         | ×  | /          | /  | /  | /  | /          | — | — | — | / | / | / | / | / | /  | /  | —  |                                                                                           |
| 21  | ×     | ×  |         | ×  | /          | /  | /  | /  | /          | / | / | — | / | / | / | / | / | /  | —  | /  |                                                                                           |
| 22  | ×     | ×  |         | ×  | /          | /  | /  | /  | /          | / | / | — | / | — | — | / | / | /  | /  | /  |                                                                                           |
| 23  | ×     | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /  | /          | — | — | / | / | / | / | / | / | /  | /  | /  | niewskazany<br>niewskazany<br>niewskazany<br>niewskazany<br>dobry                         |
| 24  | ×     | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /  | /          | / | / | / | / | — | — | / | / | /  | /  | /  |                                                                                           |
| 25  | ×     | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /  | /          | / | / | / | / | — | — | / | / | /  | /  | /  |                                                                                           |
| 26  | ×     | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | / | —  | —  | —  |                                                                                           |
| 27  | ×     | ×  | ×       | ×  | /          | /  | /  | /  | /          | / | / | / | / | / | / | / | — | /  | /  | /  |                                                                                           |
| 28  | ×     | ×  | ×       | ×  | /          | /  |    |    | /          | / | / | / | / | / | / | / | — | —  | —  | —  | zasłanie od-<br>dzielne każdego<br>transformatora                                         |

× — załączona linia lub transformator  
/ — załączony wyłącznik lub odłącznik  
— — odłączony odłącznik

Tablica 5

Zestawienie wyłączeń wyłączników przez zabezpieczenia poszczególnych pól dla połączeń podanych w tablicy 4

| Lp. | Zabezpieczenie linii |         | Zabezpieczenie transformatorów |         |
|-----|----------------------|---------|--------------------------------|---------|
|     | L1                   | L2      | T1                             | T2      |
| 1   |                      |         | W1                             |         |
| 2   | W3                   |         | W4                             |         |
| 3   |                      |         |                                | W3      |
| 4   | W4                   |         |                                | W2      |
| 5   |                      |         | W1                             | W3      |
| 6   |                      |         | W4                             | W3 i W2 |
| 7   |                      |         | W1 i W4                        | W2      |
| 8   |                      |         | W4                             |         |
| 9   |                      | W2      | W1                             | W2      |
| 10  |                      |         |                                | W3      |
| 11  |                      | W4      |                                | W2      |
| 12  |                      |         | W4                             | W3      |
| 13  |                      |         | W1 i W4                        | W2 i W3 |
| 14  |                      |         | W1                             |         |
| 15  | W3                   | W2      |                                |         |
| 16  | W1                   | W4      |                                |         |
| 17  | W1                   | W4      | W1 i W4                        |         |
| 18  | W1 i W3              | W2      | W1                             |         |
| 19  | W3                   | W2 i W4 | W4                             |         |
| 20  | W3                   | W2      |                                | W2 i W3 |
| 21  | W1                   | W2 i W4 |                                | W2      |
| 22  | W1 i W3              | W4      |                                | W3      |
| 23  | W3                   | W2 i W4 | W4                             | W2 i W3 |
| 24  | W1 i W3              | W4      | W1 i W4                        | W3      |
| 25  | W1                   | W2 i W4 | W1 i W4                        | W2      |
| 26  | W1 i W3              | W2      | W1                             | W2 i W3 |
| 27  | W1 i W3              | W2 i W4 | W1 i W4                        | W2 i W3 |
| 28  |                      |         | W1                             | W2      |

podczas remontu wyłącznika, gdyż remont taki trwa krótko. Prawdopodobieństwo uszkodzenia jednego elementu układu i wyłączenia paru pól w czasie remontu wyłącznika wzrasta ze zwiększeniem ilości boków wieloboku. Dlatego maksymalną ilość boków wieloboku przyjmuje się według doświadczeń eksploatacyjnych w Związku Radzieckim równą sześć. W celu zwiększenia pewności pracy układu przewiduje się zabudowanie odłączników w polach. Wskutek tego unika się dłuższego otwarcia wieloboku po odłączeniu transformatora lub linii.

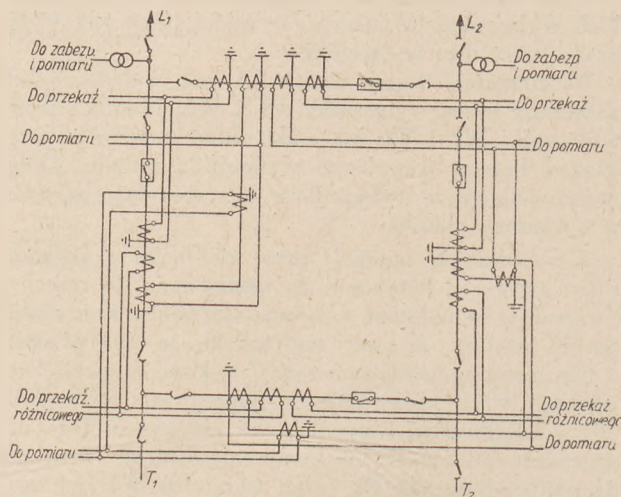
Wyłączniki, odłączniki i przekładniki prądowe w wieloboku muszą być dobrane nie na natężenie prądu linii, lecz na prąd, który może przepłynąć po wyłączeniu jednego z wyłączników, co jest też jedną z wad tego układu.

Poważną wadą układów bezszynowych jest załączanie zabezpieczenia i przyrządów pomiarowych na dwa przekładniki prądowe. Komplikuje to połączenia wtórnych obwodów przekładników prądowych, umieszczonych na bokach wieloboku i tworzących wierzchołek, z którego odchodzi zabezpieczone pole. Przy odstawieniu do remontu jednego wyłącznika zachodzi konieczność wykonania przełączeń w obwodach wtórnych zabezpieczeń. Takie przełączenia mogą być źródłem błędów, które są przyczyną wyłączeń wskutek nieprawidłowego działania zabezpieczenia.

Należy jednak zaznaczyć, że w układzie z dwoma systemami szyn mogą zdarzać się awarie z powodu błędnych połączeń wykonanych przez obsługujących.

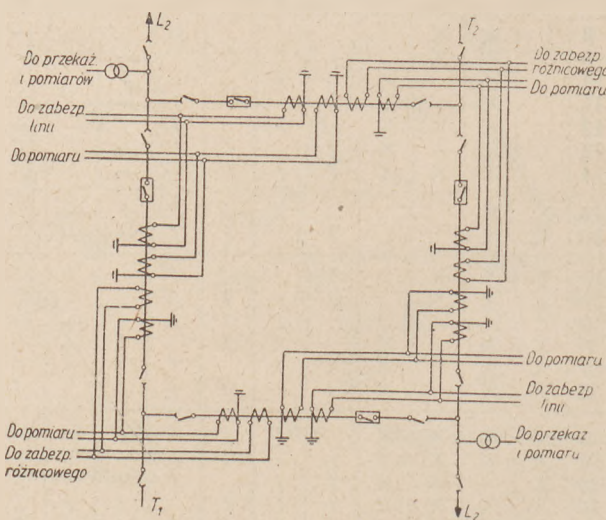
Ochrona różnicowa szyn według danych radzieckich ma również dodatkowe wady, gdyż na każde 100 stacji

zdarza się w roku 6 ÷ 19 wypadków nieprawidłowego zadziałania, tj. wyłączenia całej rozdzielni. Większość wypadków zadziałania ochrony szyn zbiorczych odnosi się do rozdzielni napowietrznych. Należy zatem przyznać obiektywnie, że wadliwe połączenia lub wyłączenia mogą nawet częściej zachodzić w układzie z dwoma systemami szyn niż w układzie bezszynowym. W układzie bezszynowym można również bez ograniczeń stosować w linii SPZ.



Rys. 8. Schemat zabezpieczenia i pomiaru dla układu czworoboku niesymetrycznego

Na rys. 8 i 9 przedstawiono schematy czworoboku w układzie symetrycznym i niesymetrycznym, na których podano połączenia obwodów wtórnych przekładników prądowych oraz wyprowadzenia przewodów do zabezpieczeń i do pomiaru w poszczególnych polach. Projektując w tych układach SPZ dla linii w układzie symetrycznym należy przewidzieć cztery wyłączniki dostosowane do SPZ, w układzie natomiast niesymetrycznym wystarczą trzy takie wyłączniki.



Rys. 9. Schemat zabezpieczenia i pomiaru dla układu czworoboku symetrycznego

Jak widać z rys. 8 i 9, w układzie czworoboku przekładniki prądowe muszą być trój- lub czterordzeniowe.

## Wnioski

Układy bezszynowe należy stosować równolegle z układami o dwóch systemach szyn. Przy wyborze układu należy przeanalizować warunki lokalne i wymagania stawiane układowi, gdyż w pewnych warunkach korzystniejszy jest układ z dwoma systemami szyn a w innych układ bezszynowy. Przy wyborze typu układu bezszynowego należy również przeanalizować, jaka jest potrzebna pewność ruchu oraz jakie są warunki pracy stacji.

Decydującym czynnikiem przy wyborze układu jest:

1. napięcie,
2. ilość pól,
3. możliwość rozbudowy stacji,
4. wymagana pewność pracy.

Jeżeli np. napięcie stacji ma być wyższe niż 35 kV, ilość pól mniejsza niż 6, nie przewiduje się rozbudowy stacji a wymagana pewność pracy stacji jest duża, to należy raczej przyjąć układ bezszynowy.

W Związku Radzieckim coraz częściej buduje się stacje w układzie bezszynowym, które w eksploatacji zdały w pełni egzamin i dały w budowie poważne oszczędności. Należy zatem w miarę możliwości stosować i u nas takie układy oszczędnościowe.

## Literatura

1. Nehrebecki L. — Urządzenia elektryczne, część 1, rok 1952 (skrypt).
2. Energoprojekt Warszawa — Schematy połączeń stacji w układzie H, rok 1951.
3. Krakowskie Biuro Projektów Energetycznych — Projekty typowe układów bezszynowych, rok 1953.
4. Moskiewski Instytut Energetyczny — Elektrieskij sprawocznik, rok 1952.
5. Głazunow A. A. — Elektrieskaja czaść stancii i podstancii, rok 1951.
6. Baptidjanow L. N. i Tarasow W. I. — Elektrooborudowanie elektriceskich stancii i podstancii, rok 1953.

621.3.015.12:621.314.214.4

## Wykreślne ustalanie procentowych spadków napięć w trójuzwojeniowych transformatorach mocy

Inż. Jerzy Ćwienk i inż. Roman Szoltysek

Kadra Sieci Elektrycznych Politechniki Śląskiej

## Wstęp

Transformator trójuzwojeniowy jako element wiążący trzy układy sieciowe o różnych napięciach jest coraz powszechniej stosowany w polskiej praktyce sieciowej.

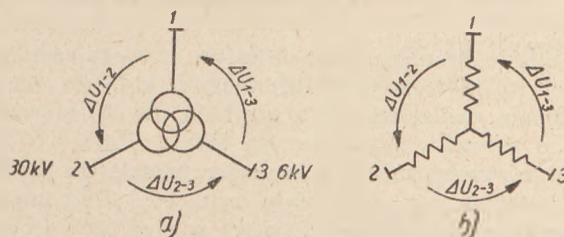
Obecnie buduje się lub projektuje wiele stacji transformatorowo-rozdzielczych na napięcie 110/30/15 albo 110/30/6 kV z typowymi jednostkami o mocy  $12,5 \div 31,5$  MVA. Analiza warunków pracy przy różnych stanach obciążenia drugiego oraz trzeciego uzwojenia tych transformatorów jest dość trudna wskutek zawiłych zależności spadków napięć od zmiennych parametrów obciążenia oraz od współczynnika mocy. Podana niżej metoda ustalania wykresów spadków napięć może ułatwić taką analizę i w wielu wypadkach doprowadzić do rozwiązania pewnych zagadnień energetycznych.

Przy opracowywaniu wykresów oparto się na danych transformatorów trójuzwojeniowych produkcji radzieckiej. Typowe transformatory trójuzwojeniowe produkcji krajowej mają te same procentowe spadki napięć między poszczególnymi uzwojeniami, a mianowicie 17% między uzwojeniem wysokiego i dolnego napięcia, 10,5% między uzwojeniem wysokiego i średniego napięcia oraz 6% między uzwojeniem średnim a dolnym (rys. 1a, b).

Transformatory trójuzwojeniowe w ZSRR są budowane o mocy 10; 15; 20 i 31,5 MVA. Nasza produkcja krajowa nastawiona jest na transformatory o mocy znamionowej 12,5; 16; 25 i 31,5 MVA.

Wykresy spadków napięć opracowano dla zakresu mocy od  $10 \div 20$  MVA. Posługiwanie się jednak nimi dla mocy mniejszych lub większych pozwoli również

na przybliżone określenie spadków napięć z dokładnością w wielu wypadkach wystarczającą.



Rys. 1 a) oznaczenie spadków napięć między poszczególnymi uzwojeniami transformatora trójuzwojeniowego 110/30/6 kV

b) oznaczenie reaktancji poszczególnych uzwojeń transformatora trójuzwojeniowego

Zasadniczo procentowe spadki napięć  $\Delta U_{12}$  oraz  $\Delta U_{13}$  i  $\Delta U_{23}$  są funkcjami 11 zmiennych, a mianowicie:

1. napięcia przychodzącego  $U_1$ , które waha się w zależności od warunków sieciowych,
- indukcyjnego napięcia zwarcia:
2.  $U_{x12}$  między uzwojeniem 1 — 2,
3.  $U_{x13}$  między uzwojeniem 1 — 3,
4.  $U_{x23}$  między uzwojeniem 2 — 3,
- omowego napięcia zwarcia
5.  $U_{r12}$  między uzwojeniem 1 — 2,
6.  $U_{r13}$  między uzwojeniem 1 — 3,
7.  $U_{r23}$  między uzwojeniem 2 — 3,
8.  $P_2$  — mocy pozornej uzwojenia 2,
9.  $P_3$  — mocy pozornej uzwojenia 3,
10.  $\cos \varphi_2$  — współczynnika mocy uzwojenia 2,
11.  $\cos \varphi_3$  — współczynnika mocy uzwojenia 3.

Dla każdej rozważanej jednostki wielkości wymienione od 2) ÷ 7) są stałe i określone przepisami, w związku z czym odpada 6 zmiennych. Napięcie do-

prorowadzone przyjęto również jako stałe, przez co zagadnienie ogranicza się do zależności od 4 zmiennych:  $\cos\varphi_2$ ,  $\cos\varphi_3$ ,  $P_2$  i  $P_3$ .

#### Procentowe spadki napięć ustalane wykreslini

Ponieważ wzory analityczne do obliczenia procentowych spadków napięć są zawiłe i wymagają żmudnych operacji matematycznych, a ponadto nie dają jasnego obrazu o zachowaniu się transformatora podczas zmiennego obciążenia, przeto opracowano wykresy określające spadki napięć w zależności od założonych obciążeń poszczególnych uzwojeń oraz od wartości współczynników mocy. Opracowane wykresy są ważne jedynie dla transformatorów obniżających.

Rozpatrzono transformatory o napięciu 110/30/6 kV i o mocy 10; 15 i 20 MVA, a ponadto ujęto zagadnienie jednocześnie dla stosunku mocy uzwojeń 100% : 100% : 100% oraz 100% : 67% : 100% lub 100% : 100% : 67%.

Przed zastosowaniem w praktyce wymienionych wykresów należy dobrze zdać sobie sprawę z analitycznego związku pomiędzy spadkami napięć a wspomnianymi zmiennymi  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $\cos\varphi_2$ ,  $\cos\varphi_3$ . W tym celu przeprowadzono poniżej krótki wywód teoretyczny.

Definicja napięcia zwarcia transformatorów trójuzwojeniowych według przepisów radzieckich jest następująca:

„Napięcie zwarcia jest to napięcie, które należy przyłożyć do uzwojenia zasilającego (o mocy maksymalnej), aby przy zwartym uzwojeniu drugim lub trzecim w uzwojeniu zasilającym przepłynął prąd znamionowy“.

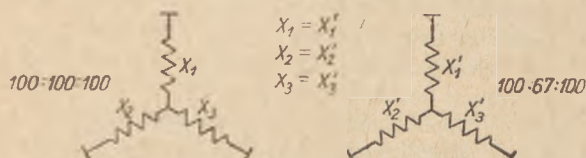
Napięcie zwarcia odnosi się zatem do mocy znamionowej (maksymalnej) transformatora, czyli do mocy uzwojenia zasilającego. Na przykład dla transformatora o stosunku mocy uzwojeń 100% : 100% : 67% napięcie zwarcia między uzwojeniem pierwszym i trzecim jest podane w odniesieniu do mocy 100%, mimo że przenośność uzwojenia trzeciego wynosi tylko 67%.

Jeżeli pomiar napięcia zwarcia byłby tak wykonany, że w uzwojeniu pierwszym płynął prąd znamionowy, to wtedy uzwojenie trzecie byłoby przeciążone o około 50%.

Z definicji napięcia zwarcia wynika, że transformatory trójuzwojeniowe produkcji radzieckiej (patrz „Elektrotechniczskij sprawocznik“) mają reaktancje jednakowe (stałe) i niezależne od stosunku mocy uzwojeń transformatora (rys. 2).

Napięcia zwarcia zostały przyjęte według danych „Elektrotechniczskij sprawocznik“, wydanie z 1950 r., a mianowicie między uzwojeniem:

|                    |        |
|--------------------|--------|
| 110 — 30 kV        | 10,5 % |
| 110 — 6 kV (15 kV) | 17 %   |
| 30 — 6 kV (15 kV)  | 6 %    |



Rys. 2. Reaktancje poszczególnych uzwojeń dla transformatorów trójuzwojeniowych przy stosunku mocy uzwojeń 100% : 100% : 100% oraz 100% : 67% : 100%

Do określenia trzech poszczególnych indukcyjnych napięć zwarcia w procentach potrzebne są wartości omowych napięć zwarcia w procentach. Dane radzieckie podają jedynie całkowite maksymalne straty omowe (obciążeniowe), tj. straty, które powstają przy przepływie mocy znamionowej przez dwa tylko uzwojenia.

Przy obliczeniu omowych napięć zwarcia w procentach przyjmuje się stałą gęstość prądu. W związku z tym podzielono te straty na dwie części. Procentowe spadki napięć  $U_r$  obliczono według następującego wzoru:

$$\frac{\Delta P_{\text{strat. max}}}{2 P_N} \cdot 100 = U_r \%$$

co jest w przybliżeniu słuszne.

Ponieważ wpływ wielkości  $U_r$  na wielkości spadków napięć ma znaczenie podrzędne, przeto obliczono dla trzech najbardziej typowych mocy średnią algebraiczną ze stosunku

$$\frac{P_{\text{strat. max}}}{2 P_N}$$

dla transformatora:

$$10 \text{ MVA: } \frac{97}{2 \cdot 10\,000} = \frac{0,0097}{2}$$

$$15 \text{ MVA: } \frac{132}{2 \cdot 15\,000} = \frac{0,0088}{2}$$

$$20 \text{ MVA: } \frac{163}{2 \cdot 20\,000} = \frac{0,00815}{2}$$

Średnia arytmetyczna:

$$\frac{0,0097 + 0,0088 + 0,00815}{2 \cdot 3} = 0,0045$$

$$U_{r \text{ str} \%} = 0,0045 \cdot 100 = 0,45 \%$$

$$U_{x \%} = \sqrt{U_{z \%}^2 - U_{r \text{ str} \%}^2}$$

Procentowa różnica między średnim a rzeczywistym omowym napięciem zwarcia wynosi dla:

transformatora 10 MVA

$$\frac{0,485 - 0,45}{0,485} \cdot 100 = + 7,75 \%$$

transformatora 15 MVA

$$\frac{0,44 - 0,45}{0,44} \cdot 100 = - 2,27 \%$$

transformatora 20 MVA

$$\frac{0,407 - 0,45}{0,407} \cdot 100 = - 10,45 \%$$

Wpływ jednak tych różnic na wartość spadków napięć można pominąć, jak to dalej zostanie udowodnione.

Podłużne spadki napięć na poszczególnych uzwojeniach określa się według następujących wzorów:

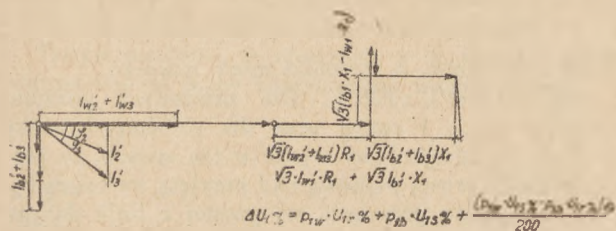
$$\Delta U'_{1 \%} = \frac{p_{1w} \cdot U_{1r \%} + p_{1b} \cdot U_{1s \%} + (p_{1s} \cdot U_{1s \%} - p_{1b} \cdot U_{1r \%})^2}{200}$$

$$\Delta U'_{2 \%} = \frac{p_{2w} \cdot U_{2r \%} + p_{2b} \cdot U_{2s \%} + (p_{2w} \cdot U_{2s \%} - p_{2b} \cdot U_{2r \%})^2}{200}$$

$$\Delta U'_{3 \%} = \frac{p_{3w} \cdot U_{3r \%} + p_{3b} \cdot U_{3s \%} + (p_{3w} \cdot U_{3s \%} - p_{3b} \cdot U_{3r \%})^2}{200}$$

Procentowe podłużne spadki napięć są odniesione do napięcia  $U_1$ .

Podany na rys. 3 wykres wektorowy przedstawia zależności ujęte podanymi wzorami.



Rys. 3. Wykres wektorowy przedstawiający zależność  $\Delta U_{1\%} = f(P_{1w}, U_{2r} \%, P_{1b}, U_{1s} \%)$

Procentowe podłużne spadki napięć między poszczególnymi uzwojeniami określają wzory:

$$\Delta U_{12\%} = \Delta U_{1\%} + \Delta U_{2\%} + \frac{\Delta U_{1\%} \cdot \Delta U_{2\%}}{100}$$

$$\Delta U_{13\%} = \Delta U_{1\%} + \Delta U_{3\%} + \frac{\Delta U_{1\%} \cdot \Delta U_{3\%}}{100}$$

Rzeczywiste napięcia (na uzwojeniu drugim i trzecim) oblicza się według wzorów:

$$U_2 = U_1 \left( 1 - \frac{\Delta U_{12\%}}{100} \right) U_{2n}$$

$$U_3 = U_1 \left( 1 - \frac{\Delta U_{13\%}}{100} \right) U_{3n}$$

gdzie:

$\Delta U_{1\%}$  — spadek napięcia % na uzwojeniu 1,  
 $\Delta U_{2\%}$  — spadek napięcia % na uzwojeniu 2, odniesiony do  $U_1$ ,  
 $\Delta U_{3\%}$  — spadek napięcia % na uzwojeniu 3, odniesiony do  $U_1$ ,  
 $P_{1w}$  — współczynnik obciążenia mocą czynną uzwojenia 1,  
 $P_{1b}$  — współczynnik obciążenia mocą bierną uzwojenia 1,  
 przy czym

$$P_{1w} = \frac{P_{2w} + P_{3w}}{P_{1b} = \frac{P_{2b} + P_{3b}}{P_{2w} = P_2 \cdot \cos \varphi_2 \quad \frac{P_{1n}}{P_2} \cdot \cos \varphi_2}$$

$$P_{2b} = P_2 \cdot \sin \varphi_2 \quad \frac{P_{1n}}{P_2} \cdot \sin \varphi_2$$

$P_2$  — obciążenie pozorne uzwojenia drugiego,

$P_{1n}$  — moc znamionowa transformatora,

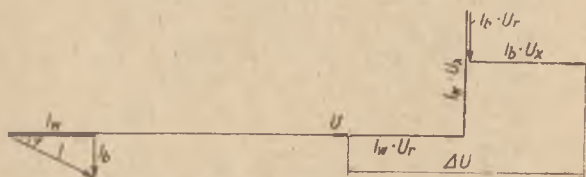
$U_{1r\%}$  — omowe napięcie zwarcia uzwojenia pierwszego w %,

$U_{1s\%}$  — indukcyjne napięcie zwarcia uzwojenia pierwszego w %,

$\Delta U_{1-2\%}$  — spadek napięcia między uzwojeniem pierwszym i drugim w %, odniesiony do napięcia  $U_1$ ,

$\Delta U_{1-3\%}$  — spadek napięcia między uzwojeniem pierwszym i trzecim w %, odniesiony do napięcia  $U_1$ ,

$U_{1n}, U_{2n}, U_{3n}$  — napięcie znamionowe uzwojenia pierwszego, drugiego i trzeciego.



Rys. 4. Wykres wektorowy  $\Delta U_{2\%} = f(I_w, I_b, U_r, U_x)$  dla  $\cos \varphi = 0,9$

Analiza błędu wskutek przyjęcia średniego napięcia zwarcia omowego

Największy wpływ omowego napięcia zwarcia na spadek podłużny napięcia występuje przy  $\cos \varphi = 1$ . Wynika to z wykresu wektorowego na rys. 4, przedstawiającego omowe i indukcyjne spadki napięć. Ponieważ współczynnik mocy  $\cos \varphi = 1$  praktycznie nie zdarza się, przeto wykonano obliczenie błędu dla  $\cos \varphi = 0,9$ .

$$\Delta U = \sqrt{3} (I \cdot R \cdot \cos \varphi + I \cdot X \cdot \sin \varphi)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{\sqrt{3}}{U} (I_w \cdot R + I_b \cdot X) \cdot 100$$

Maksymalny błąd procentowy dla transformatora 10 MVA

Procentowe omowe napięcie zwarcia

rzeczywiste — 0,485 %.

przyjęte — 0,45 %.

Dla  $U_{r\%} = 0,45\%$  wypada  $\Delta U_{13\%} = 5,525\%$ .

$\Delta U_{12\%} = 5,812\%$ .

Dla  $U_{r\%} = 0,485\%$  wypada  $\Delta U_{13\%} = 5,562\%$ .

$\Delta U_{12\%} = 5,905\%$ .

Procentowy błąd

$$B_{1-3} = \frac{5,525 - 5,562}{5,562} \cdot 100 = -0,66\%$$

$$B_{1-2} = \frac{5,812 - 5,905}{5,905} \cdot 100 = -1,57\%$$

Maksymalny błąd procentowy dla transformatora 15 MVA

Procentowe omowe napięcie zwarcia

rzeczywiste — 0,44 %.

przyjęte — 0,45 %.

Dla przyjętej wartości  $U_{r\%} = 0,45\%$  oraz dla  $P_2 = 100\%$  i  $\cos \varphi_2 = 0,9$  otrzymamy:

$\Delta U_{13\%} = 5,525\%$

$\Delta U_{12\%} = 5,812\%$

Dla poprawnej wartości  $U_{r\%} = 0,44\%$  oraz dla  $P_2 = 100\%$  i  $\cos \varphi_2 = 0,9$  otrzymamy:

$\Delta U_{13\%} = 5,526\%$

$\Delta U_{12\%} = 5,8204\%$

Procentowy błąd

$$B_{1-3} = \frac{5,525 - 5,526}{5,526} \cdot 100 = -0,018\%$$

$$B_{1-2} = \frac{5,812 - 5,8205}{5,8205} \cdot 100 = -0,145\%$$

Maksymalny błąd dla transformatora 20 MVA

Procentowe omowe napięcie zwarcia

rzeczywiste — 0,407 %.

przyjęte — 0,45 %.

Dla  $U_{r\%} = 0,45\%$  otrzymamy:  $\Delta U_{13\%} = 5,525\%$

$\Delta U_{12\%} = 5,812\%$

Dla  $U_{r\%} = 0,407\%$  otrzymamy:  $\Delta U_{13\%} = 5,508\%$

$\Delta U_{12\%} = 5,776\%$

Procentowy błąd:

$$B_{1-3} = \frac{5,525 - 5,508}{5,508} \cdot 100 = 0,30\%$$

$$B_{1-2} = \frac{5,812 - 5,776}{5,776} \cdot 100 = 0,62\%$$

Błąd wynikający z przyjęcia wartości średniego omowego napięcia zwarcia mieści się zatem w granicach dokładności suwaka.

Opracowane wykresy procentowych spadków napięć są więc słuszne dla trzech typów transformatorów, a mianowicie dla transformatora o mocy 10 MVA, 15 MVA i 20 MVA. Dla transformatora zaś 5,6 MVA maksymalny błąd wynikający z przyjęcia

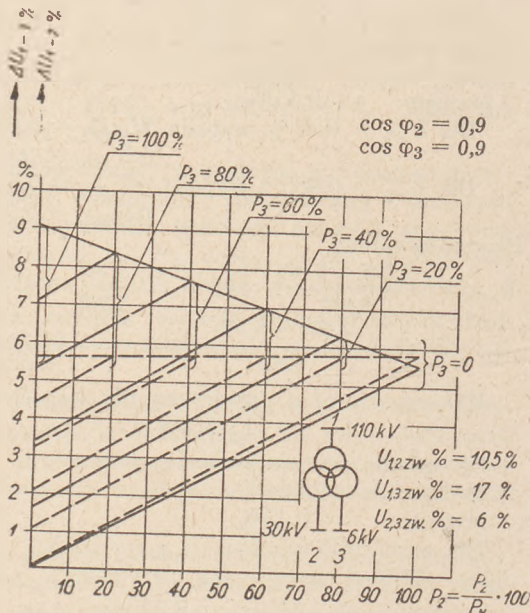
$$U_{r\text{ir}}\% = 0,45\% \text{ wynosiłby już } 6\%.$$

Zagadnienie przedstawiono za pomocą dziewięciu wykresów (rys. 5 ÷ 13). Na osi odciętych podano moc pozorną  $P_2$  w % mocy znamionowej transformatora. Każdy wykres opracowano dla dwu stałych parametrów, tj. dla  $\cos \varphi_2$  i  $\cos \varphi_3$ . Na osi rzędnych naniesiono procentowe spadki napięć  $\Delta U_{1-2}\%$  i  $\Delta U_{1-3}\%$ , odniesione do napięcia 110 kV. Trzecim parametrem stałym jest moc pozorna  $P_3$  wyrażona w procentach mocy

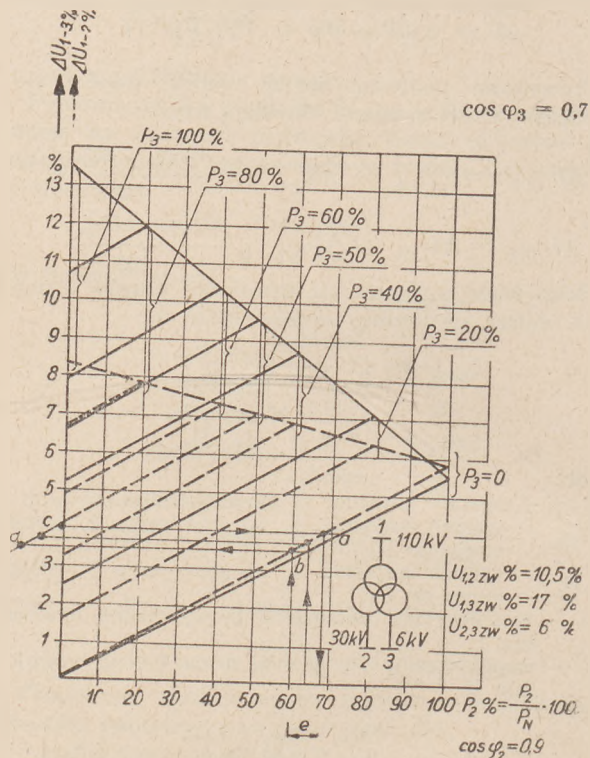
znamionowej transformatora. Parametr ten zmieniany jest skokami co 20%. Założone trzy wartości  $\cos \varphi_2$  i  $\cos \varphi_3$  równe 0,7; 0,8; 0,9 obejmują praktycznie cały zakres spotykanej zmienności  $\cos \varphi$ .

Posługiwanie się wykresami

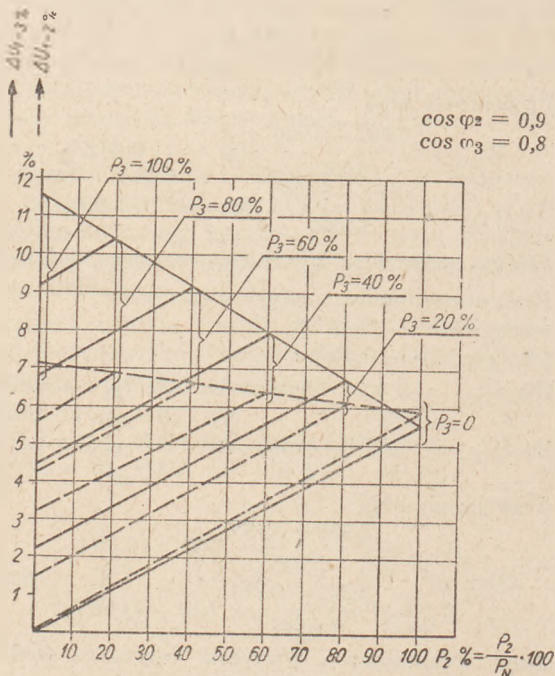
- a) Transformator o stosunku mocy uzwojeń 100% : 100% : 100%. Dla założonych parametrów  $\cos \varphi_2$  i  $\cos \varphi_3$  oraz dla założonych mocy  $P_2$  i  $P_3$  odczytujemy wynik w ten sposób, że prowadzimy prostą pionową nad przyjętą wartością  $P_2$ . Rzut punktu przecięcia tej prostej z linią danego



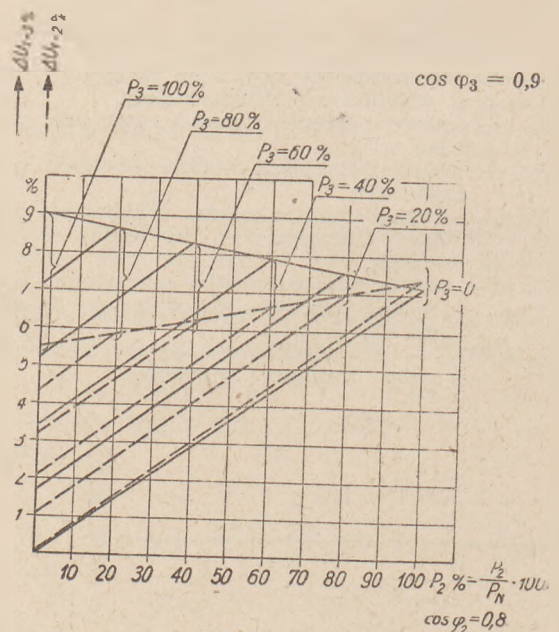
Rys. 5.



Rys. 7.



Rys. 6.



Rys. 8.

spadku napięcia dla przyjętej mocy uzwojenia trzeciego ( $P_3$ ) na oś rzędnych podaje wartość procentowego spadku napięcia.

- b) Transformator o stosunku mocy uzwojeń  
100% : 67% : 100%.

Trzeba pamiętać, że obliczoną w % moc  $P_2$  należy sprowadzić do mocy znamionowej transformatora.

### Przykład

Przyjęto:

Transformator 10 MVA (rys. 10)

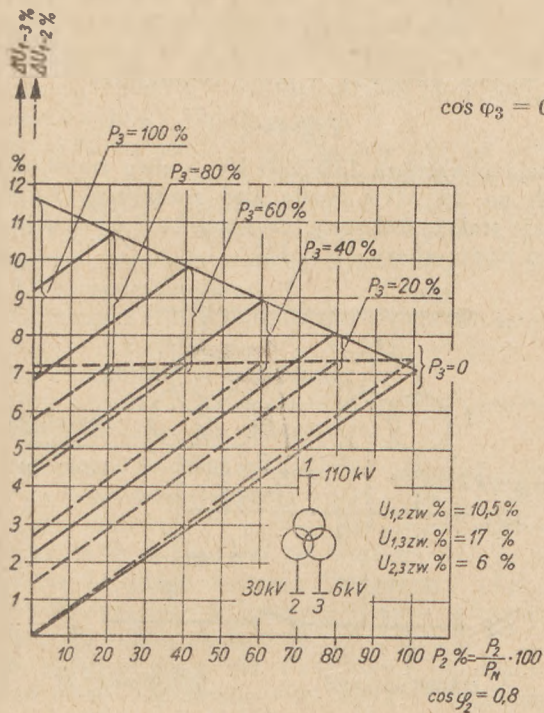
$P_2 = 4$  MVA,  $P_3 = 6$  MVA.

Procentowe obciążenie odniesione do mocy uzwojenia 2:

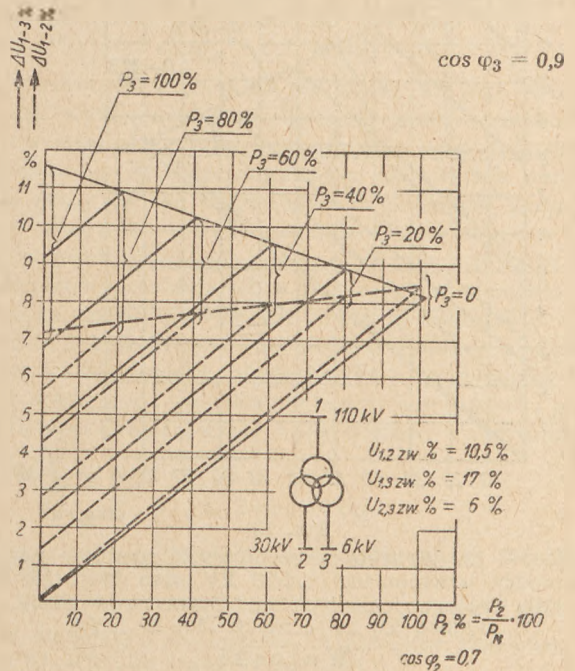
$$\frac{P_2}{P_{2n}} \cdot 100 = \frac{4}{6,7} \cdot 100 = 59,8\%.$$

Potrzebna jest natomiast wartość

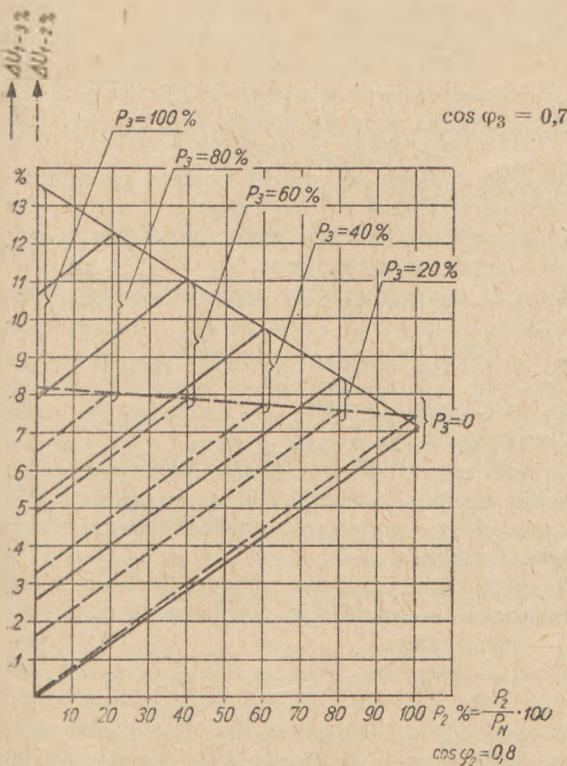
$$\frac{P_2}{P_n} \cdot 100 = \frac{4}{10} \cdot 100 = 40\% \text{ oraz } \frac{P_3}{P_n} \cdot 100 = \frac{6}{10} \cdot 100 = 60\%.$$



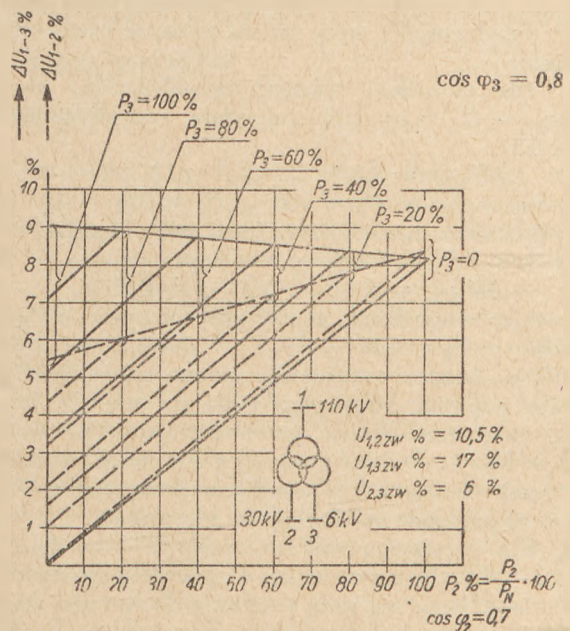
Rys. 9.



Rys. 11.



Rys. 10.



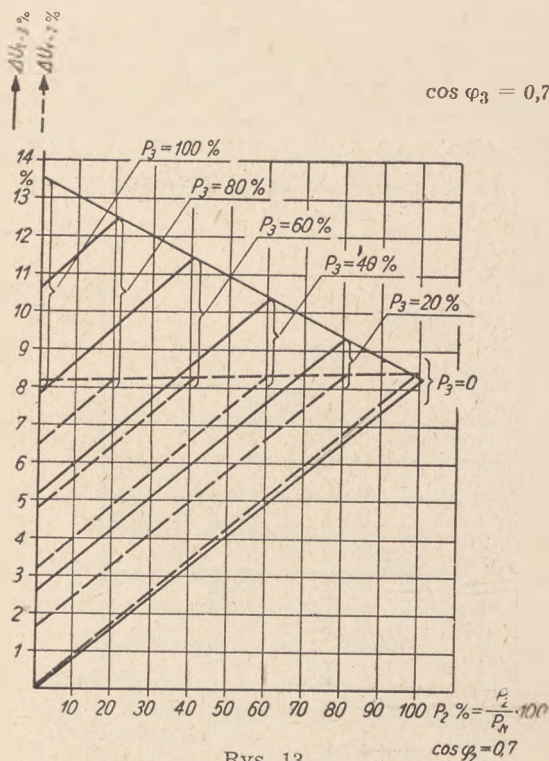
Rys. 12.

Dla założonych wielkości otrzymamy z wykresu na rys. 10

$$\Delta U_{12} = 7,89\%$$

$$\Delta U_{13} = 10,9\%$$

Dla transformatora 10 MVA o stosunku mocy uzwojeń 100% : 100% : 100% przy tych samych obciążeniach wypadną te same spadki napięć w procentach.



Rys. 13

Rys. 5 ÷ 13. Wykresy procentowych spadków napięć pomiędzy uzwojeniami 110/30 kV oraz 110/6 (15) kV dla trójuzwojeniowych transformatorów mocy 110/30/6 (15) kV o mocy 10 ÷ 20 MVA

### Wnioski

Na podstawie opracowanych wykresów określających procentowe spadki napięcia  $\Delta U_{12}$  i  $\Delta U_{13}$  w zależności od przyjętych obciążeń poszczególnych uzwojeń i współczynnika mocy można wysunąć następujące wnioski:

1. Dla najniższej wartości współczynnika mocy  $\cos \varphi_{2,3} = 0,7$  wypadają najwyższe spadki napięcia (rys. 13):

$$\Delta U_{12\%} = 8,2\%, \quad \Delta U_{13\%} = 13,56\%$$

przy założeniu, że  $P_3 = 100\%$ ,  $P_2 = 0\%$ .

Przy tych samych współczynnikach mocy lecz dla  $P_3 = 0\%$  i  $P_2 = 100\%$  otrzymamy:

$$\Delta U_{12\%} = 8,4\%, \quad \Delta U_{13\%} = 8,26\%$$

Różnice w spadkach napięć przy przejściu z  $P_3 = 0\%$  i  $P_2 = 100\%$  do  $P_3 = 100\%$  oraz  $P_2 = 0\%$  są bardzo wyraźne dla spadku napięcia  $\Delta U_{13}$ . Spadek napięcia  $\Delta U_{12}$  prawie nie zmienia się, jeżeli tylko moc przechodząca przez uzwojenie pierwotne wynosi 100%. Podział mocy  $P_2$  i  $P_3$  nie odgrywa zasadniczej roli. Jak z tego wynika, większa część spadku napięcia przypada na uzwojenie pierwotne.

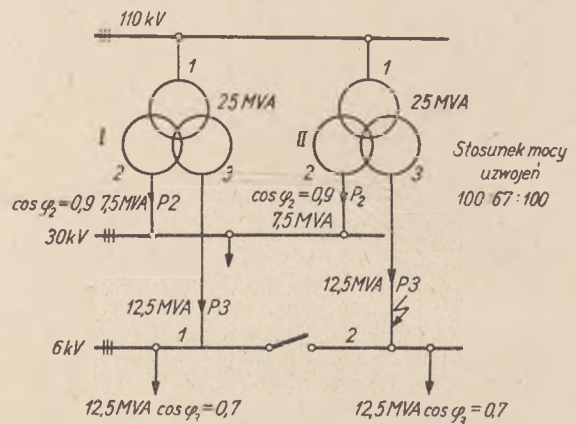
2. Dla przyjętego zakresu zmienności  $\cos \varphi_{2,3} = 0,7 \div 0,9$  obszar zmienności procentowego spadku napięcia  $\Delta U_{1-3\%}$  ma stałą tendencję do wzrostu, jeżeli rośnie moc  $P_3$  i jednocześnie odpowiednio maleje moc  $P_2$ .

Procentowy spadek napięcia  $\Delta U_{12}$  natomiast w miarę zmniejszenia się obciążenia  $P_2$  i odpowiedniego wzrostu mocy przelotowej  $P_3$  — może mieć również wybitną tendencję (rys. 7).

Na rysunku tym pokazano, że dla  $P_2 = 100\%$ ,  $\cos \varphi_2 = 0,9$ , spadek napięcia  $\Delta U_{12\%}$  wynosi 5,8%. Przy odciążeniu natomiast drugiego uzwojenia do  $P_2 = 0\%$  i równoczesnym obciążeniu uzwojenia trzeciego mocą od  $P_3 = 0 \div 100\%$  przy  $\cos \varphi_3 = 0,7$  — spadek napięcia  $\Delta U_{12\%}$  wzrasta do wartości 8,35%. Powyższe zależności dla transformatorów trójuzwojennych mogą często stać się powodem nieoczekiwanych stanów, zwłaszcza w pracy równoległej.

### Przykład

Stacja obniżająca 110/30/6 kV, o dwu transformatorach po 25 MVA zasila sieć rozdzielczą 30 kV, głównie trakcję kolejową, na napięciu 6 kV zaś duży zakład przemysłowy (rys. 14).



Rys. 14. Schemat połączeń stacji 110/30/6 kV

Zapotrzebowanie mocy na napięciu 30 kV wynosi 15 MVA przy średnim  $\cos \varphi_2 = 0,9$ , na napięciu 6 kV — 25 MVA przy  $\cos \varphi_3 = 0,7$ . Stosunek mocy uzwojeń transformatorów wynosi 100% : 67% : 100%. Napięcia zwarcia wynoszą kolejno  $U_{1,2 \text{ zw}\%} = 10,5\%$ ,  $U_{1,3 \text{ zw}\%} = 17\%$ ,  $U_{2,3 \text{ zw}\%} = 6\%$ .

Po stronie 30 kV oba transformatory pracują równolegle, po stronie 6 kV na wydzielone odcinki szyn.

W normalnym układzie pracy obciążenia poszczególnych sekcji są sobie równe.

Warunki napięciowe przy normalnej pracy równoległej:

$$P_2 = \frac{7,5}{25} 100 = 30\%; \quad P_3 = \frac{12,5}{25} 100 = 50\%$$

$$\cos \varphi_3 = 0,7, \quad \cos \varphi_2 = 0,9.$$

Z wykresu na rys. 7

$$\Delta U_{12\%} = 5,85\%, \quad \Delta U_{13\%} = 8,35\%.$$

Należy zbadać, jakie warunki napięciowe ustalą się po awaryjnym wyłączeniu zasilania sekcji drugiej wskutek zwarcia?

Wskutek wypadnięcia mocy  $P_3 = 12,5$  MVA z transformatora II — pomijając chwilowo pracę równoległą — otrzymamy:

dla  $P_2 = 30\%$ ,  $P_3 = 0$ , z wykresu na rys. 7  $\Delta U_{12\%} = 1,8\%$ .

W rzeczywistości skutek pracy równoległej na napięciu 30 kV nastąpi wyrównanie się poziomu napięcia po stronie 30 kV, konkretnie spadek napięcia  $\Delta U_{12\%}$

obniżyć się z wartości 5,85% do wartości  $3,7 \div 3,8\%$ , co spowoduje odciążenie uzwojenia 30 kV transformatora I od  $P_2 = 30\%$  do wartości  $P_2 \cong 0\%$ , a nawet do nieznacznej wartości ujemnej  $P_2$ .

Transformator II natomiast przejmie całkowite obciążenie sieci 30 kV, tj. 15 MVA (sieć otwarta).

W sieci zamkniętej (zasilanej jeszcze z innych źródeł energii) powstać może nawet przeciążenie transformatora II wskutek nagłego podskoku napięcia na szynach 30 kV danej stacji i przejścia przez ten transformator zasilania dalszych wycinków sieci.

Podobnie przy większym obciążeniu sekcji drugiej, np. mocą 14 MVA — może nastąpić już przeciążenie uzwojenia 30 kV transformatora II.

Wypadkową wartość spadku napięcia na szynach 30 kV  $\Delta U_{12\%} = 3,7\%$  łatwo można ustalić na podstawie wykresów przedstawiających spadki napięć dla trójuzwojeniowych transformatorów mocy. Dla rozważanego przykładu wartość wypadkową  $\Delta U_{12\%} = 3,7\%$  znaleziono z rys. 7.

Na rysunku tym przedstawiono dodatkowo zależność  $\Delta U_{12\%} = f(P_2)$  dla  $P_3 = 50\% = \text{const}$  przy  $\cos\varphi_3 = 0,7$  i  $\cos\varphi_2 = 0,9$ .

Linie przedstawiającą powyższą funkcję przedłużono w kierunku ujemnych wartości  $P_2$ .

Dla transformatora I należy odszukać wartość  $\Delta U_{12\%}$  odpowiadającą  $P_3 = 50\%$ ,  $\cos\varphi_3 = 0,7$  dla przyjętej zmiennej  $P_2 = 0\%$ . Konkretnie wartość ta wynosi około 4,1%. Dla tej wartości  $\Delta U_{12\%}$  znajduje się kolejno z wykresu  $\Delta U_{12\%} = f(P_2)$ , dla  $P_3 = 0\%$ ,  $\cos\varphi_3 = 0,7$ ,  $\cos\varphi_2 = 0,9$  — odpowiednią wartość  $P_2$  równą około 69%.

W dalszym ciągu dla  $P_2 = 60\%$ , co odpowiada całkowitemu obciążeniu sieci 30 kV wyszukuje się z wykresu  $\Delta U_{12\%} = f(P_2)$ , dla  $P_3 = 0\%$ ,  $\cos\varphi_3 = 0,7$ ,  $\cos\varphi_2 = 0,9$  — wartość  $\Delta U_{12\%} = 3,5\%$ .

Punkt przedstawiający tę wartość łączy się z punktem przecięcia się z linią wyobrażającą zależność

$\Delta U_{12\%} = f(P_2)$  przy  $P_3 = 50\%$ ,  $\cos\varphi_3 = 0,7$ ,  $\cos\varphi_2 = 0,9$ . Punkt przecięcia oznaczono literą „d“. Spadek napięcia  $\Delta U_{12\%}$  występujący w rzeczywistości jest średnią algebraiczną odpowiadającą odcinkowi „c“ — „d“, przy czym punkt „c“ oznacza wartość  $\Delta U_{12\%}$  dla  $P_3 = 50\%$ ,  $P_2 = 0\%$ . Z powyższego wynika, że wypadkowy spadek napięcia wynosi  $\Delta U_{12\%} = 3,7 \div 3,8\%$ .

Transformator I zostaje całkowicie odciążony po stronie 30 kV, a nawet zasila z uzwojenia 30 kV — sieć 6 kV mocą około 4%  $P_n$ . Jeżeli ujemna wartość  $P_2$  jest większa niż w rozważanym przykładzie, to zachodzi konieczność uwzględnienia faktu, że moc ujemna  $P_2$  zasilająca uzwojenie 6 kV transformatora I — posiada  $\cos\varphi_2$  różny od 0,9. W takich wypadkach należy posługiwać się dodatkowo wykresem  $\Delta U_{12\%} = f(P_2)$  przy  $\cos\varphi_2 = 0,7$ ,  $\cos\varphi_3 = 0,7$ .

Przedstawiony przykład wyjaśnia, w jaki sposób można szybko analizować warunki pracy transformatorów trójuzwojeniowych, posługując się wykresem spadków napięć. Przeprowadzając dla różnych warunków pracy danego układu sieciowego analizę przepływów mocy w transformatorach trójuzwojeniowych pracujących równolegle można ustalić np., czy zachodzi potrzeba wyposażenia ich w regulację pod obciążeniem oraz na jakich uzwojeniach należy ją zastosować. Ponieważ regulacja pod obciążeniem podraża znacznie koszt transformatora, przeto ustalenie konieczności jej zastosowania ma duże znaczenie przy oszczędnym i prawidłowym projektowaniu nowych stacji transformatorowych.

#### Literatura

1. Dr inż. P. J. Nowacki — Transformatory. Wrocław 1950. P. W. Szk.
2. „Elektrotechnischer справочник“, wydanie 1950 r.
3. T. Bödefeld i W. Sequenz „Elektrische Maschinen“, wyd. Wien Springer Verlag 1945 r.

\* \* \*

## Premiowanie za oszczędne i racjonalne użytkowanie energii elektrycznej w przemyśle

Inż. Edmund Kamiński

W zagadnieniu walki o obniżenie kosztów własnych produkcji przemysłowej na jedno z czołowych miejsc wysuwa się sprawa oszczędności węgla — podstawowego surowca energetycznego do wytwarzania ciepła i energii elektrycznej. Węgiel jest nie tylko paliwem, lecz także cennym surowcem metalurgicznym i chemicznym. W związku z tym Komitet Centralny PZPR powziął w jesieni 1954 r. specjalną uchwałę w sprawie oszczędności węgla w gospodarce narodowej, ogłaszając m. in. ogólnonarodową mobilizację do walki z marnotrawstwem węgla, o jak najoszczędniejsze zużycie węgla, koksu, gazu, pary i energii elektrycznej.

To połączenie oszczędności energii elektrycznej z oszczędnością węgla uzasadnia się tym, że produkcja energii elektrycznej w Polsce oparta jest w około 95% na węglu i stanowi w krajowym zużyciu węgla największą pozycję.

Oszczędna gospodarka energią elektryczną może przyczynić się nie tylko do bezpośredniego zaoszczędzenia węgla, lecz także do zupełnego zlikwidowania lub co najmniej znacznego zmniejszenia strat i trudności w produkcji przemysłowej, spowodowanych niedoborem mocy elektrycznej w godzinach szczytowego obciążenia. Poza tym — jak podał w swoim referacie Minister Energetyki inż. Jaszczyk — każde zaoszczędzone 5 000 kWh rocznie pozwala zmniejszyć inwestycje mocy w elektrowniach o 1 kW, co przy uwzględnieniu kosztów rozbudowy elektrowni, urządzeń sieciowych i urządzeń u odbiorców daje gospodarce narodowej oszczędność w nakładach inwestycyjnych około 7 000 zł. Możliwości największej oszczędności energii elektrycznej istnieją w przemyśle, którego udział w ogólnokrajowym zużyciu energii elektrycznej wynosi około 70%. W związku z tym został wydany Dekret z dnia 28 stycznia 1953 r. o zabezpieczeniu

racjonalnego i oszczędnego użytkowania energii elektrycznej w przemyśle oraz Zarządzenie Ministra Energetyki z dnia 24 lipca 1954 r. w sprawie limitowania mocy i energii elektrycznej.

Rząd Polski Ludowej, doceniając ważność oszczędności energii elektrycznej w przemyśle, stworzył ostatnio dla pracowników obsługujących i nadzorujących energochłonne urządzenia produkcyjne oraz dla pracowników służby elektroenergetycznej specjalną materialną zachętę do oszczędnego i racjonalnego użytkowania energii elektrycznej przy wykonywaniu planów produkcyjnych, jak również do podniesienia poziomu eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych. W tym celu Prezydium Rządu powzięło Uchwałę z dnia 18 grudnia 1954 r. w sprawie premiowania pracowników uspołecznionych zakładów przemysłowych za oszczędne i racjonalne użytkowanie energii elektrycznej. Uchwała ta wydana w porozumieniu z Centralną Radą Związków Zawodowych dotyczy pracowników zakładów przemysłowych podległych ministerstwu: górnictwa z wyjątkiem kopalń węgla, hutnictwa, przemysłu chemicznego, maszynowego, lekkiego, materiałów budowlanych, drzewnego i papierniczego oraz rolnego i spożywczego. W Uchwale przewidziano premiowanie za dwa wskaźniki, obliczone dla miesięcznego okresu sprawozdawczego, tj. za

1. zmniejszenie zużycia energii elektrycznej poniżej przyznanego miesięcznego limitu energii z uwzględnieniem stopnia wykonania planu produkcyjnego,
2. podwyższenie współczynnika mocy ( $\cos \varphi$ ), ustalonego w kwartalnych planach operatywnych stosownie do wytycznych dla opracowania szczegółowych regulaminów premiowania, podanych w załączniku do uchwały.

Planowane wielkości tych wskaźników powinny być zatwierdzone przez właściwy centralny zarząd przemysłu i potwierdzone przez terenowy zakład zbytu energii. Warunkiem wprowadzenia premiowania w danym zakładzie przemysłowym jest posiadanie aparatury pomiarowo-kontrolnej niezbędnej do ustalenia wielkości wskaźników podlegających premiowaniu. Ponieważ do ustalania tych wskaźników potrzebne są tylko liczniki energii elektrycznej czynnej i biernej, które obecnie można już w kraju nabyć, przeto zakłady, które na razie nie mogą być objęte premiowaniem wskutek braku niezbędnej aparatury pomiarowo-kontrolnej powinny starać się o uzupełnienie liczników, w czym resortowi ministrowie w myśl Uchwały są obowiązani im dopomóc. Po uzupełnieniu aparatury może być bezzwłocznie wprowadzone premiowanie w danym zakładzie. Jeżeli zakład posiada aparaturę niezbędną do obliczenia zużycia energii elektrycznej, lecz brak jej dla współczynnika mocy, to może być na razie premiowany tylko za zmniejszenie zużycia energii, aż do czasu zainstalowania licznika energii biernej niezbędnego do ustalenia miesięcznej wielkości współczynnika mocy.

Premiowanie obejmuje pracowników fizycznych i inżynierjno-technicznych zakładu, lecz tylko tych, którzy mają istotny wpływ na kształtowanie się objętych premiowaniem wskaźników energetycznych; wysokość premii dla poszczególnych pracowników zależy od ich wpływu na kształtowanie się tych wskaźników.

W związku z tym Uchwała przewiduje trzy grupy takich pracowników, a mianowicie:

- a) pracowników fizycznych i inżynierjno-technicznych służby elektroenergetycznej, zatrudnionych przy eksploatacji urządzeń odbiorczych,
- b) pracowników fizycznych i inżynierjno-technicznych bezpośrednio obsługujących duże energochłonne zespoły oraz kierowników tych zespołów, a także energochłonnych działów produkcyjnych,
- c) dyrektora, głównego inżyniera, szefa produkcji i głównego energetyka (głównego mechanika) zakładu przemysłowego.

Zgodnie z Uchwałą i dołączonymi do niej wytycznymi powinny być opracowane dla poszczególnych zakładów przemysłowych przy pomocy centralnych zarządów i ministerstw szczegółowe regulaminy premiowania, dostosowane do potrzeb poszczególnych gałęzi przemysłu i grup zakładów przemysłowych, ustalające między innymi wykazy stanowisk pracowniczych objętych premiowaniem i udział każdego pracownika w premii.

Opracowanie regulaminów premiowania nie jest proste, jak nie jest prosta gospodarka elektryczna w dużym zakładzie przemysłowym i komplikuje się specjalnie, gdy zakład ma własną elektrownię i jednocześnie pobiera energię z sieci energetyki oraz gdy istnieją pododbiorcy energii elektrycznej.

Na fundusz premii przeznaczają się:

1. 75 % oszczędności rzeczywiście uzyskanej przez zakład wskutek zmniejszenia kosztu energii elektrycznej, wynikającego z poprawienia warunków jej poboru w stosunku do całkowitego kosztu, odpowiadającego przydzielonemu miesięcznemu limitowi energii z uwzględnieniem stopnia wykonania planu,
2. pełną oszczędność uzyskaną przez zakład przemysłowy w wyniku zmniejszenia dopłat lub zwiększenia opustów za wartość osiągniętego współczynnika mocy w stosunku do wielkości przewidzianej w operatywnym planie kwartalnym.

Ogólnozakładową oszczędność energii elektrycznej w kWh otrzymuje się, odejmując rzeczywiste zużycie zakładu od przyznanego na dany miesiąc limitu energii, pomnożonego przez współczynnik uwzględniający przekroczenie planu produkcyjnego. Jeżeli plan produkcji został wypełniony bez przekroczenia, to współczynnik wynosi 1,0, a w przypadku niewykonania planu produkcyjnego przez zakład całe jego premiowanie za dany miesiąc — zgodnie z § 6 Uchwały — odpada.

Wartość pieniężną oszczędności energii otrzymuje się, mnożąc ilość zaoszczędzonych kWh przez średni koszt 1 kWh dla danego miesiąca. Przy poborze energii elektrycznej z sieci energetyki otrzymuje się średni koszt 1 kWh, dzieląc całkowitą kwotę miesięcznego rachunku (łącznie z opłatą za energię, moc i współczynnik mocy) przez ilość pobranych z sieci kWh. Przy poborze energii z własnej elektrowni przyjmuje się zgodnie z obliczeniem księgowości koszt wytworzonej 1 kWh. W razie poboru energii z kilku źródeł dostawy (np. z własnej elektrowni i kilku przyłączy z sieci energetyki) bierze się średni ważony koszt 1 kWh, obliczony z kosztów 1 kWh dla każdego ze źródeł zasilania, uwzględniając ilość kWh pobranych z danego źródła.

Z obliczonej wyżej podanym sposobem pieniężnej oszczędności energii elektrycznej przeznaczają się 75 %

na pokrycie premii pracowników objętych premiowaniem za zmniejszenie zużycia energii elektrycznej.

### Przykład

Limit energii na dany miesiąc wynosił 2 000 000 kWh, zakład zużył 2 020 000 kWh, lecz wykonał plan produkcji w 104%. Koszt 1 kWh z rachunku za energię elektryczną wypada średnio 0,10 zł/kWh.

W tym przypadku po uwzględnieniu wykonania planu produkcyjnego w 104% limit energii zwiększa się do  $1,04 \cdot 2\,000\,000 = 2\,080\,000$  kWh. Wobec tego przy faktycznym zużyciu 2 020 000 kWh oszczędność energii wynosi 60 000 kWh i przy koszcie jednostkowym 0,10 zł/kWh wartość pieniężna oszczędności wynosi 6000 zł, z czego 75%, a więc 4500 zł przeznaczają się na premie za oszczędność energii elektrycznej.

Ponieważ działy planowania prowadzą dla zakładów o większej ilości produktów różne wskaźniki wykonania planu przez zakład (wartościowy), ilościowy dla poszczególnych asortymentów), przeto odpowiednie centralne zarządy przemysłu muszą z góry rozważyć i ustalić jednoznacznie wskaźniki wykonania planu w procentach, miarodajne dla uwzględnienia stopnia wykonania planu przy przeliczaniu limitu energii elektrycznej.

*Pytanie:* Czy zużycie własne elektrowni przemysłowej wlicza się do zużycia energii elektrycznej przez zakład?

*Odpowiedź:* Zużycie własne elektrowni przemysłowej nie wlicza się do zużycia energii elektrycznej przez zakład, gdyż przyznany limit energii nie obejmuje zużycia energii na potrzeby własne elektrowni.

Odnosnie współczynnika mocy wytyczne Uchwały mówią, co następuje:

a) Ustalona dla zakładu przemysłowego przez właściwy centralny zarząd przemysłu w kwartalnych planach operatywnych wartość współczynnika mocy powinna:

- być nie niższa niż średnia z trzech miesięcy roku ubiegłego, z których środkowy miesiąc odpowiada miesiącowi ujętemu planem,
- uwzględniać poprawę przewidywaną w planach PKPG i możliwość przekroczenia tego planu w wyniku postępu technicznego, a także specyficzne warunki poboru energii w danym miesiącu.

b) Premia za poprawę współczynnika mocy nie przysługuje, jeśli równocześnie nastąpiło nieuzasadnione przekroczenie przyznanego limitu energii (po uwzględnieniu stopnia wykonania planu produkcyjnego) — więcej niż o 3%.

Rozważmy przykład zakładu, dla którego obliczono powyższą oszczędność energii elektrycznej. Jeżeli współczynnik mocy dla zakładu w ubiegłym roku wynosił 0,76 w lutym, 0,74 w marcu i 0,75 w kwietniu, to branżowy centralny zarząd przemysłu nie mógł ustalić w planie dla marca br. niższej wielkości niż 0,75. Przyjmijmy, że taki współczynnik mocy został zaplanowany. Jeśli zakład uzyskał w marcu br. współczynnik mocy 0,77, to według obowiązującej zakład skali A dopłata za współczynnik mocy wynosi 12%, zaś przy planowanym wskaźniku 0,75 wyniosłaby 20% (4% dopłaty za każdą setną wskaźnika współczynnika mocy poniżej wartości 0,80). Jeżeli rachunek miesięczny za energię elektryczną wynosił 202 000 zł,

a w tym dopłata za współczynnik mocy 12%, to przy planowanym wskaźniku 0,75 rachunek wyniosłby

$$202\,000 \frac{1,20}{1,12} = 216\,428 \text{ zł.}$$

Do podziału zatem pomiędzy pracowników, objętych premiowaniem za współczynnik mocy, przeznaczają się pełną oszczędność wynoszącą

$$216\,428 - 202\,000 = 14\,428 \text{ zł.}$$

Przeprowadzwszy takie orientacyjne obliczenia możliwych do uzyskania kwot na pokrycie premii miały zakłady przystąpić do ustalenia stanowisk służbowych i ilości osób proponowanych do objęcia premiowaniem osobno za oszczędność energii elektrycznej i osobno za poprawę współczynnika mocy. Ilość osób objętych zestawieniem powinna być rozsądnie dobrana w stosunku do przypuszczalnych kwot przeznaczonych na premiowanie, w oparciu o wytyczne podane w Uchwale, przystosowane do miejscowych warunków pracy. W zestawieniu do każdego stanowiska pracowniczego należy określić udział jego w ogólnej premii w zależności od istotnego jego wpływu na kształtowanie się każdego z dwu premiowanych wskaźników energetycznych. Poszczególne stanowiska mogą być premiovane również tylko za jeden z dwu rozpatrywanych wskaźników. Zestawienie stanowisk pracy i ich udziału w premiowaniu powinno być ustalone przez komisję zakładową w tym celu zwołaną z udziałem przedstawicieli rady zakładowej i Podstawowej Organizacji Partyjnej.

Odnosnie wyboru stanowisk służbowych objętych premiowaniem należy zaznaczyć, że nie wszyscy pracownicy służby elektroenergetycznej muszą być objęci premiowaniem oraz że nie zawsze bezpośrednia obsługa dużych energochłonnych zespołów ma istotny wpływ na kształtowanie się wskaźników energetycznych. W wielu przypadkach bezpośrednia obsługa silnika nawet o bardzo dużej mocy może nie mieć wpływu na oszczędność energii ani na współczynnik mocy.

Premiowaniem za współczynnik mocy wskazane jest objęcie zatem tylko takich stanowisk pracowniczych, którym główny energetyk zakładu potrafi wskazać, jakimi środkami w zakresie swojej pracy mogą oni istotnie wpłynąć na kształtowanie się tego wskaźnika. Typowym przykładem mogą tu być obsługujący bezpośrednio silniki synchroniczne o dużej mocy, przy których obsługujący ręcznie reguluje w ruchu ich wzbudzenie.

Zakładowy projekt premiowania powinien również określić udział poszczególnych pracowników w ogólnej kwocie premiowania. Najprostszym sposobem wydaje się tu ocena udziału i wpływu poszczególnego pracownika punktacją od 1 do 10. Mniejszą ilość punktów przyznaje się pracownikowi, który na swym stanowisku pracy ma mniejszy wpływ na ogólny wskaźnik, większą ilość punktów przyznaje się przy większym wpływie. Wskazane jest przyznanie największej ilości punktów głównemu energetykowi i pracownikom zajmującym się w szerokim zakresie gospodarką elektryczną zakładu, nie jest natomiast konieczne przyznanie największej ilości punktów dyrektorowi i głównemu inżynierowi.

Branżowe centralne zarządy przemysłu, które mają pomóc zakładowi w opracowaniu regulaminu premio-

wania i zaopiniować przedłożone przez zakład propozycje oraz ministerstwa, zatwierdzające wykaz stanowisk premiowania powinny kierować się zasadą

— ujednolicenia regulaminów premiowania w podległych sobie zakładach, uwzględniając ich wielkości i wielkości zużycia energii elektrycznej.

— niedopuszczenia do wypaczenia intencji Uchwały Rządu przez fałszywy regulamin premiowania lub objęcie nim zbyt wielkiej liczby pracowników, co może doprowadzić do tego, że nawet przy niezłych wynikach poprawy wskaźników energetycznych zakładu premia na poszczególnego pracownika wypadnie tak niska, że zniknie bodziec materialnej zachęty dla pracowników.

Uchwała Rządu przewiduje możliwość wprowadzenia w zakładzie premiowania obsługi poszczególnych oddziałów a nawet energochłonnych zespołów za poprawę wskaźników na obsługiwanych przez nich odcinkach pracy, co może w dużych zakładach być bardzo celowe i stwarzać większą zachętę pracownikom premiowanym za wyniki na własnym odcinku pracy. Warunkiem jest tu posiadanie niezbędnej aparatury kontrolno-pomiarowej do ustalania wielkości wskaźnika dla danego oddziału lub zespołu oraz opracowywanie dla nich odrębnych limitów energii w oparciu o normy jednostkowego zużycia energii i przewidzianą planem wielkość produkcji oraz ewentualnie odrębnych planów wskaźnika współczynnika mocy. Przy podziale premii trzeba w takim przypadku z oszczędności danego oddziału lub zespołu odliczyć odpowiednią część na premie dla pracowników premiowanych według wskaźników ogólnozakładowych.

Warunkiem wypłacenia premii pracownikom premiowanym według wskaźników dla oddziału lub ze-

społu jest jednak uzyskanie oszczędności w kosztach energii elektrycznej w skali całego zakładu, gdyż w przeciwnym razie brak będzie środków finansowych na pokrycie premii.

Niezależnie od wyżej omówionych ogólnych zasad premiowania wprowadza Uchwała Rządu dla kilkunastu wymienionych w załączniku zakładów przemysłowych tytułem próby aż do odwołania premiowanie za te same wskaźniki, lecz według nieco innych zasad, których tu nie omawiamy.

Jak wynika z powyższego, Uchwała Rządu otwiera pracownikom głównych przemysłów nowe możliwości połączenia cennych wysiłków w celu poprawy ogólnej gospodarki energią elektryczną z własną korzyścią pracownika. Powinno się to przyczynić do podniesienia poziomu eksploatacji urządzeń elektrycznych i zwiększenia ilości pomysłów racjonalizatorskich w dziedzinie oszczędności energii elektrycznej. Specjalnie dużego postępu należy spodziewać się w zmniejszeniu jednostkowego zużycia energii elektrycznej za pomocą pewnych zmian technologicznych, wobec możliwości objęcia premiowaniem za wskaźniki elektryczne również technologów i szefów produkcji różnych rodzajów przemysłu.

W technologii bowiem i w jej ulepszeniu kryją się największe rezerwy i możliwości oszczędzania energii elektrycznej.

Wciągnięcie natomiast umysłów szerokich rzesz pracowników fizycznych i inżynierjno-technicznych przemysłu — przez stworzenie dla nich materialnej zachęty — do wysiłków w kierunku oszczędnej gospodarki energią elektryczną, nad którą czuwali dotychczas nieliczni pracownicy, powinno uwielokrotnić postęp w tej dziedzinie gospodarki narodowej.

621.362.5:669.189.2

## Praca elektrycznych pieców łukowych do wytopu stali w godzinach obciążenia szczytowego

Inż. Zdzisław Czajczyński

### Część I

#### Wyłączanie stalowniczych pieców łukowych

W celu zlikwidowania lub zmniejszania niedoboru mocy w okresie obciążenia szczytowego okręgu energetycznego stosuje się powszechnie tzw. buforowe regulatory obciążenia, czyli wyłącza się niektóre odbiory w godzinach szczytowych, a załącza je w okresie pozaszczytowym. Powstającemu wskutek tego obniżeniu produkcji można zapobiec przez instalowanie dodatkowych urządzeń przemysłowych.

Odbiory, które mają spełniać rolę regulatorów obciążenia, powinny:

1. pobierać dużą moc,
2. mieć małą ilość obsługujących,
3. umożliwiać wyłączanie bez zaburzeń w procesie technologicznym oraz bez zniszczenia produkcji.

Powyższe warunki w dużym stopniu spełniają:

- a. piece łukowe do wytapiania karbidu,
- b. piece łukowe do wytapiania żelazostopów.

Pierwsze dwa warunki spełniają również stalownicze piece łukowe, które różnią się od pieców do wytopu

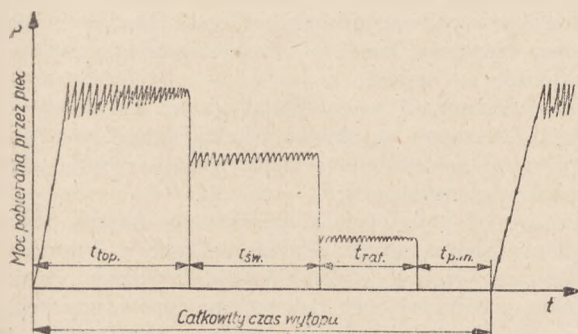
karbidu i żelazostopów przede wszystkim tym, że pracują w sposób okresowy, pobierając różną moc w poszczególnych fazach technologicznego procesu wytopu stali.

Proces technologiczny wytopu stali w elektrycznym piecu łukowym może być podzielony na następujące okresy:

- a. drobna naprawa pieca po spuszczeniu stali z poprzedniego wytopu oraz ładowanie wsadu do następnego wytopu,
- b. roztopianie wsadu,
- c. właściwy proces technologiczny obejmujący:
  - utlenianie, czyli świeżenie stali,
  - odtlanie, czyli rafinację zakończoną spustem.

W pierwszym okresie piec nie jest załączony i energii nie pobiera. W okresie roztopiania piec jest natomiast załączony z reguły na najwyższych zaczepach transformatora piecowego i pobiera największą moc. Jego wyłączenie w tym okresie daje z punktu widzenia energetycznego największe korzyści, gdyż zwolniona dla pokrycia szczytu moc dochodzi do 100%

maksymalnej mocy pobieranej przez piec (rys. 1). Wyłączenie pieca w okresie roztopiania nie wywołuje zaburzeń w samym procesie technologicznym, gdyż właściwy proces jeszcze się nie rozpoczął (w okresie roztopiania odbywa się co prawda częściowe utlenianie, lecz w stosunkowo małym stopniu). Długotrwałe jednak wyłączenie pieca przy końcu roztopiania może wywołać poważne komplikacje, zwłaszcza jeżeli znajdujący się w piecu wsad zastygnie.



Rys. 1. Typowy przebieg poboru mocy przez stalowniczy piec łukowy

$t_{top}$  — okres roztopiania,  $t_{su}$  — okres świeżenia,  $t_{rafi}$  — okres rafinacji,  $t_{p.m.}$  — czas postoju międzytopowego

Wskutek tego może bowiem nastąpić:

— większe zużycie sklepienia i ścian pieca pod wpływem silnego promieniowania łuku elektrycznego, który przy normalnym topieniu jest zakryty przez otaczający go złom metalowy,

— silne zniszczenie trzonu pieca wywołane trudnymi warunkami powtórnego roztopiania,

— znaczne przedłużenie czasu roztopiania, gdyż topienie dużej bryły zastygłego wsadu trwa dłużej niż topienie wsadu składającego się z drobnego złomu.

Jeżeli ze względów podanych w pierwszych dwu punktach powtórne topienie prowadzi się na niższym zaciepie transformatora piecowego, to czas topienia odpowiednio się przedłuża, gdyż na doprowadzenie niezbędnej ilości energii elektrycznej potrzeba dłuższego czasu. Ponadto w pewnych przypadkach traci się dodatkowo czas na powtórne podgrzewanie roztopionego wsadu do temperatury kąpieli przed wyłączeniem.

Wyłączenie pieca w okresie roztopiania poza wyżej podanymi skutkami (które nie zawsze muszą wystąpić) wywołuje z reguły:

— przedłużenie całkowitego czasu trwania wytopu (bez czasu samego wyłączenia), a więc zmniejszenie wydajności pieca<sup>1)</sup>, czyli w efekcie zmniejszenie produkcji,

— zwiększenie jednostkowego zużycia energii wskutek konieczności pokrycia strat ciepłych wywołanych postojem pieca.

Jeżeli przyjąć, że czas roztopiania w warunkach normalnej pracy wynosi  $t_{top}$ , to czas trwania roztopiania z wyłączeniami (bez uwzględnienia czasu wyłączenia) wyniesie  $t_{top \cdot w}$ . Pomiedzy tymi czasami zachodzi nierówność:

$$t_{top} < t_{top \cdot w} \quad (1)$$

<sup>1)</sup> Wydajnością pieca nazywamy stosunek ciężaru otrzymanego produktu do czasu trwania wytopu. Jednostką wymiarową jest t/h.

przy czym

$$t_{top \cdot w} = t_{top} + t_s \quad (2)$$

gdzie

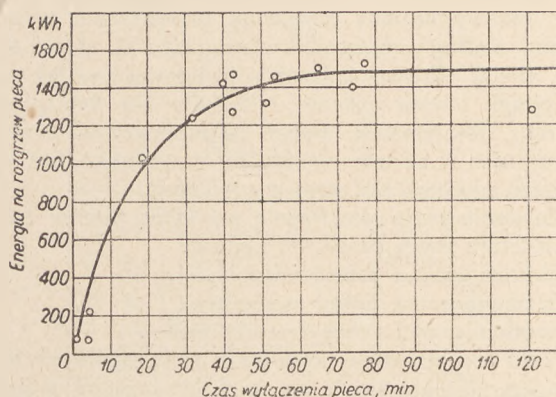
$t_s$  — czas potrzebny na pokrycie dodatkowych strat ciepłych wynikłych z wyłączenia.

Czas  $t_s$  jest funkcją czasu trwania wyłączenia; im dłużej bowiem trwa wyłączenie, tym straty ciepłe są większe, gdyż bardziej wystygła piec.

Ustalenie przebiegu funkcji

$$t_s = f(t_{wyl}) \quad (3)$$

gdzie  $t_{wyl}$  — czas trwania wyłączenia, wymaga przeprowadzenia odpowiednich badań dla poszczególnych pieców, przy czym badania te są dość kłopotliwe ze względów ruchowych. Dla lepszego zilustrowania podano na rys. 2 wykres zużycia energii elektrycznej na rozgrzew pieca w funkcji czasu trwania postoju dla pieca trzytonowego (L. 1). Według Okorkowa (L. 1) przy czterogodzinnym postoju straty ciepłe dla pieca trzytonowego wynosiły 640 kWh.



Rys. 2. Wykres zużycia energii elektrycznej przy rozgrzewie pieca 3 t w funkcji czasu wyłączenia

Wyłączenie pieca w okresie właściwego procesu technologicznego może spowodować nie tylko wyżej podane skutki, lecz także poważne zakłócenia w samym jego przebiegu, w skrajnym zaś przypadku wybrakowanie całego wytopu. Poza tym wyłączenie pieca w okresie właściwego procesu technologicznego (szczególnie w okresie rafinacji) nie daje z punktu widzenia energetycznego zbyt dużych korzyści, gdyż zwolniona moc jest stosunkowo mała i może wynosić mniej niż 30% maksymalnej mocy pobieranej przez piec w okresie roztopiania.

Z powyższego można wyciągnąć wniosek, że w przypadku konieczności obniżenia mocy pobieranej przez daną hutę — zarówno z punktu widzenia energetycznego jak i technologicznego — bardziej wskazane jest wyłączenie pieca w okresie roztopiania, niż w okresach pozostałych. Jeżeli huta posiada kilka pieców, w tym jeden duży a pozostałe mniejsze i zachodzi konieczność obniżenia poboru mocy, a wszystkie piece roztopiają wsad, to należy wyłączyć przede wszystkim piec największy, gdyż:

— wyłączenie jednego pieca spowoduje mniejsze straty w roboczo godzinach,

— straty ciepłe, które wiążą się z jednostkowym zużyciem energii przy tym samym czasie trwania wyłączenia jednego pieca i kilku pieców o całkowitej mocy równej mocy pieca największego, są mniej

sze w razie wyłączenia jednego największego pieca.

Jeżeli natomiast w największym piecu odbywa się właściwy proces technologiczny, a w małych piecach roztopianie, to wybór jednostek piecowych, które mają być wyłączone, należy pozostawić metalurgowi.

Jak więc widać, stalownicze piece łukowe odznaczają się tym, że nie jest całkowicie obojętny moment wyłączenia pieca. Na wstępie już podkreślono, że stalownicze piece łukowe pracują okresowo, a pobór mocy przez nie jest różny w poszczególnych fazach procesu technologicznego. Nie wdając się w szczegółową analizę poboru mocy przez piec stalowniczy, tzn. czy charakter wykresu podanego na rys. 1 pozostaje zawsze taki sam, można jedynie stwierdzić, że pobór ten w okresie wytopu stali da się podzielić z punktu widzenia energetycznego na kilka okresów. Dla uproszczenia przyjmuje się, że okresy te pokrywają się ściśle z okresami technologicznymi tak, jak to przedstawiono na rys. 1.

Charakter krzywej poboru mocy przez stalowniczy piec łukowy nasuwa możliwość prowadzenia wytopu pieców według pewnego harmonogramu, tj. w taki sposób, aby w okresie obciążenia szczytowego w jak najmniejszej liczbie pieców odbywało się roztopianie wsadu. Dotrzymanie takiego harmonogramu zwalnia pewną moc w okresie obciążenia szczytowego, bez wyłączania pieców i bez strat w produkcji.

Stalownie mają przeważnie po kilka pieców łukowych, które mogą pracować według:

- harmonogramu pracy równoległej,
- harmonogramu pracy szeregowej,
- harmonogramu pracy kombinowanej.

Przed rozpoczęciem omawiania poszczególnych harmonogramów przyjmuje się, że ilość wytopów w ciągu doby jest liczbą całkowitą dla wszystkich rozpatrywanych pieców. Na podstawie tego założenia wystarczy rozpatrzyć pracę pieców w ciągu jednej doby. W praktyce założenie to nie zawsze jest słuszne i dlatego w dalszym ciągu będzie ono jeszcze przeanalizowane.

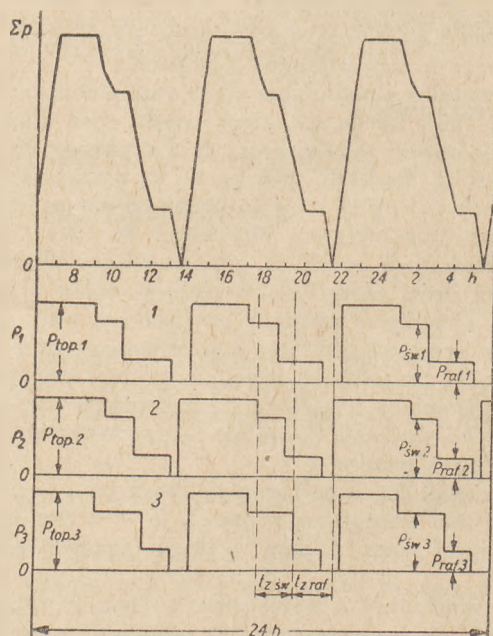
#### Harmonogram pracy równoległej

Określając ściśle — za pracę równoległą uważa się taką pracę, w czasie której w każdej chwili we wszystkich piecach przebiegają podobne procesy technologiczne, przy czym szczególnie odnosi się to do chwil rozpoczęcia poszczególnych okresów każdego procesu.

Ze względów praktycznych dotrzymanie harmonogramu pracy równoległej zgodnie ze ścisłą jej definicją jest prawie niemożliwe. Dlatego powyższe określenie zastąpić można definicją nieco zmienioną, a mianowicie jako równoległą pracę kilku pieców uważa się taką pracę, w czasie której roztopianie odbywa się jednocześnie we wszystkich piecach, pozostałe natomiast okresy procesu technologicznego mogą być w poszczególnych piecach przesunięte względem siebie. Ponieważ czas trwania roztopiania w poszczególnych piecach pracujących równolegle może nie być jednakowy (gdyż zależy on między innymi od wielkości pieca, mocy transformatora piecowego itp.), przeto nie wysuwa się żądania pokrywania się początków i końców okresów roztopiania we wszystkich piecach. Wskazane jest natomiast pokrywanie się środkowych momentów topienia, co wynika z cech charakterystycznych pracy równoległej pieców stalowniczych.

Pracę pieców stalowniczych według harmonogramu pracy równoległej charakteryzuje:

- możliwość powstawania gwałtownych i szczególnie dużych uderów prądu w sieci, równych sumie prądów zwarć eksploatacyjnych<sup>2)</sup> w poszczególnych piecach. W okresie roztopiania — zwarcia eksploatacyjne w piecach są bardzo częstym zjawiskiem. Przy pracy równoległej zachodzi w dużym stopniu możliwość jednoczesnego wystąpienia zwarć w kilku piecach, szczególnie w pierwszym okresie roztopiania, gdy pod elektrodami nie ma jeszcze kąpieli oraz czasem w końcowej fazie roztopiania przy zapadaniu się wsadu;
- dość duże wzajemne oddziaływanie kilku pieców wskutek zwarć eksploatacyjnych, szczególnie, gdy piece te są zasilane z tego samego układu szyn rozdzielni zasilającej;
- możliwość przedłużania się okresów między wytopami (obejmujących drobne naprawy i ładowanie wsadu), jeżeli elektrostalownia nie posiada warunków umożliwiających jednoczesne prowadzenie spuśtu lub ładowania kilku pieców (potwierdzają to przeprowadzone przez autora badania). Czynniki ten może być istotny przy piecach o załadunku kosztowym oraz przy piecach ładowanych ręcznie z rynny wsadowej, co jednak zależy w dużym stopniu od liczby takich pieców i od rodzaju ładowanego złomu,
- szeroki zakres zmian wielkości mocy pobieranej przez elektrostalownię w ciągu doby, gdyż w pewnych godzinach moc ta jest sumą mocy maksymalnych



Rys. 3. Wykres poboru mocy przy pracy równoległej trzech pieców

$P_{top.1}$ ,  $P_{top.2}$ ,  $P_{top.3}$  — moc pobierana przez poszczególne piece w okresie roztopiania,  $P_{sw.1}$ ,  $P_{sw.2}$ ,  $P_{sw.3}$  — jak wyżej w okresie świeżenia,  $P_{raf.1}$ ,  $P_{raf.2}$ ,  $P_{raf.3}$  — jak wyżej w okresie rafinacji,  $t_{z.sw.}$  — zastępczy czas świeżenia,  $t_{z.rafi.}$  — zastępczy czas rafinacji

<sup>2)</sup> Pod zwarćmi eksploatacyjnymi w stalowniczym piecu łukowym rozumie się zwarcia powstałe wskutek zetknięcia się jednej lub kilku elektrod z wsadem metalowym.

pobieranych przez poszczególne piece, w pozostałych zaś godzinach moc pobierana przez elektrostalownię jest bardzo mała lub nawet równa zero (w przerwach między wytopami).

Na rys. 3 podano wykres poboru mocy przez stalownicze piece łukowe pracujące według harmonogramu pracy równoległej. W celu wyznaczenia wielkości mocy, która jest pobierana przez elektrostalownię w przypadku pracy równoległej, wprowadza się pojęcie zastępczego czasu trwania świeżenia i rafinacji. Zastępczym czasem świeżenia dla pieców pracujących równolegle określa się okres czasu od chwili zakończenia roztopienia w piecu, w którym najpóźniej zakończyło się topienie, do chwili zakończenia świeżenia w piecu, który najpóźniej skończył świeżenie (odcinek  $t_{z.\dot{s}w}$ ). Zastępczym czasem rafinacji nazywamy okres czasu od zakończenia świeżenia  $t_{z.\dot{s}w}$  do chwili spustu stali przez ostatni piec.

Z rys. 3 wynika, że jeżeli harmonogram pracy równoległej został ułożony w taki sposób, że w okresie szczytowym okręgu energetycznego w piecach odbywa się utlenianie i rafinacja, to w okresie zastępczego czasu świeżenia moc pobierana przez elektrostalownię wynosi:

$$P_{\dot{s}w.mln} = P_{\dot{s}w.1} + P_{\dot{s}w.2} + \dots + P_{\dot{s}w.k} \quad (4)$$

gdzie  $P_{\dot{s}w.12k}$  — moc pobierana przez poszczególne piece w okresie świeżenia.

W okresie zastępczego czasu odtleniania (rafinacji) moc pobierana przez elektrostalownię wynosi:

$$P_{raf.mln} = P_{raf.1} + P_{raf.2} + \dots + P_{raf.k} \quad (5)$$

gdzie  $P_{raf.12k}$  — moc pobierana przez poszczególne piece w okresie rafinacji.

Czasu postojów między wytopami, jeżeli są krótkotrwałe, można nie wydzielać, lecz wliczać do czasu rafinacji (rys. 3).

Ze wzorów powyższych wynika, że jeżeli elektrostalownia przy pracy pieców bez harmonogramu pobiera w okresie szczytowym moc  $P_{sz}$ , to po wprowadzeniu harmonogramu pracy równoległej w pewnej części

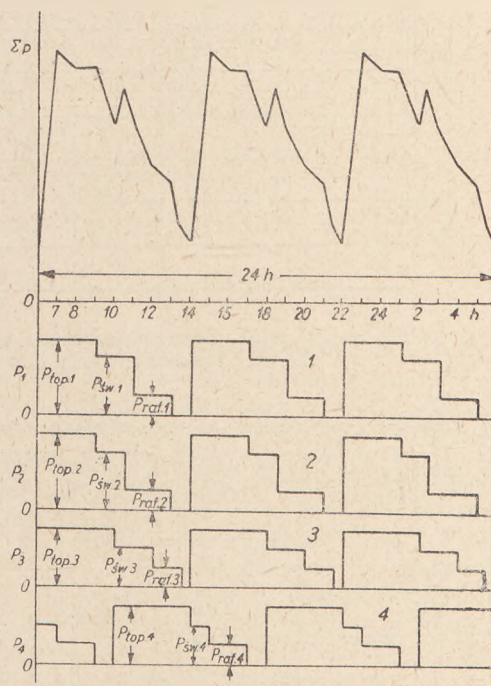
okresu szczytowego ( $t_{z.\dot{s}w}$ ) zwalnia się moc w wysokości:

$$P_{rez.u} = P_{sz} - P_{\dot{s}w.min} \quad (6)$$

oraz w pozostałej części okresu szczytowego ( $t_{z.raf}$ )

$$P_{rez.o} = P_{sz} - P_{raf.min} \quad (7)$$

Przy stosowaniu harmonogramu pracy równoległej nie ma zasadniczo ograniczeń liczby współpracujących pieców. Jednak utrzymanie pracy równoległej kilku pieców przez dłuższy okres czasu nie jest łatwe i z tych względów zaleca się stosowanie pracy równoległej w tych elektrostalowniach, w których ilość pieców jest mała, a moc pobierana przez poszczególne piece — duża (odnosi się to do pieców powyżej 15 t). Zalecenie to wypływa stąd, że zwolniona moc jest wówczas duża, a trudności w utrzymaniu harmonogramu pracy ze względu na małą ilość pieców stosunkowo niewielkie.



Rys. 5. Wykres poboru mocy. Piece 1, 2, 3 pracują równoległe, piec 4 — pracuje szeregowo z piecem 3.

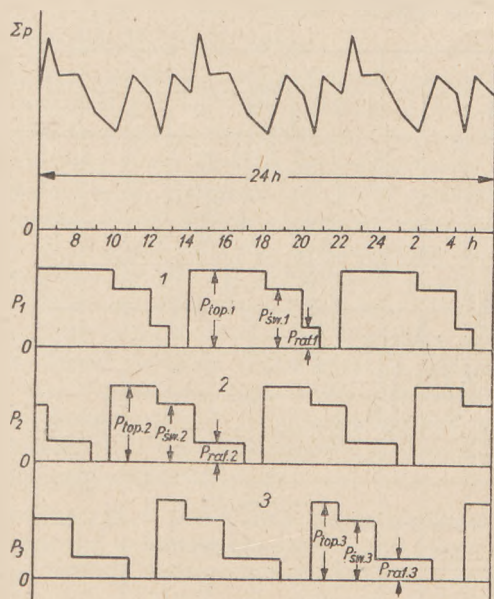
Oznaczenia jak na rys. 3

#### Harmonogram pracy szeregowej

Przy harmonogramie pracy szeregowej piece są załączane kolejno, po ukończeniu roztopienia w piecu poprzednio załączonym. Zaznaczyć należy, że koniec roztopienia nie zawsze pokrywa się z obniżeniem mocy pobieranej przez piec i w takim przypadku piece powinny być załączane po obniżeniu poboru mocy przez piec poprzednio załączony.

Harmonogram pracy szeregowej posiada następujące cechy:

- eksploatacyjne prądy zwarcia kilku pieców nie sumują się,
- wzajemne oddziaływanie pieców w okresie roztopienia jest mniejsze niż przy pracy równoległej,
- przerwy między wytopami nie przedłużają się z przyczyn podanych w punkcie c harmonogramu pracy równoległej,
- istnieje duża zależność w pracy pomiędzy poszczególnymi piecami, przejawiająca się w tym, że



Rys. 4. Wykres poboru mocy przy pracy szeregowej trzech pieców. Oznaczenia jak na rys. 3

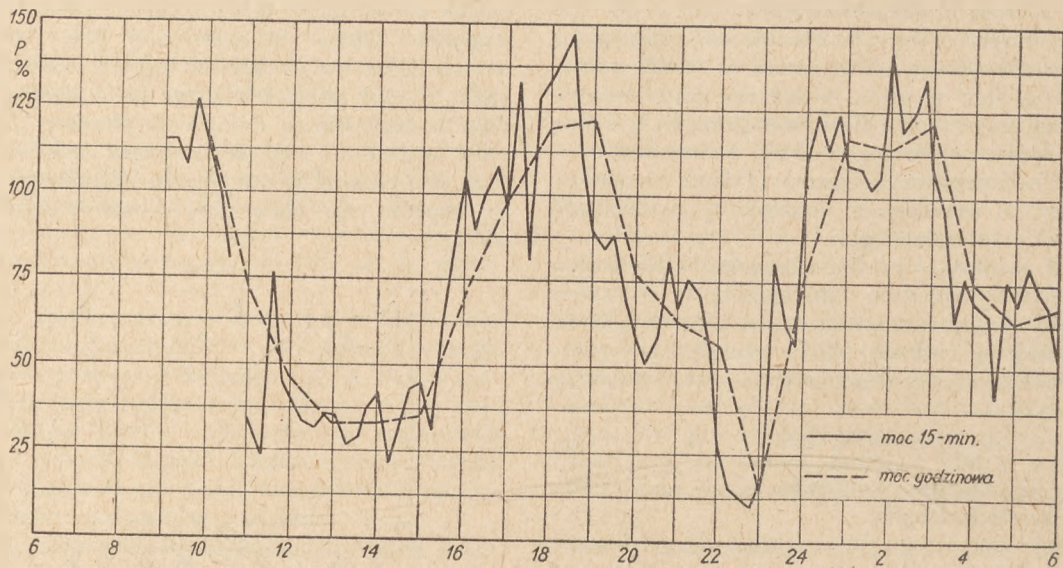
w przypadku przedłużenia się roztopiania w jednym piecu, następny piec nie może być załączony,  
e. tylko ograniczona ilość pieców może pracować według tego harmonogramu, przy czym powinien być spełniony dla wszystkich pieców następujący warunek:

— całkowity czas wytopu dla dowolnego pieca mniej czas roztopiania nie może być mniejszy od

Ze względów podanych w punkcie d. oraz ze względu na stosunkowo małą moc, którą zwalnia się, harmonogram pracy szeregowej bardzo rzadko może być stosowany.

#### Harmonogram pracy kombinowanej

Przy harmonogramie pracy kombinowanej część pieców pracuje równolegle, część zaś szeregowo. Do



Rys. 6. Pobór mocy przez piece stalownicze w pierwszym dniu pracy równoległej dwóch największych pieców. Pozostałe piece nie są objęte żadnym harmonogramem pracy

sumy czasów roztopiania w pozostałych piecach (rys. 4), w przeciwnym razie okresy roztopiania w dwóch lub w więcej piecach będą się nakładać. Zwolniona moc przy pracy szeregowej nie jest duża (rys. 4), gdyż minimum mocy pobieranej przez elektrostalownię wynosi:

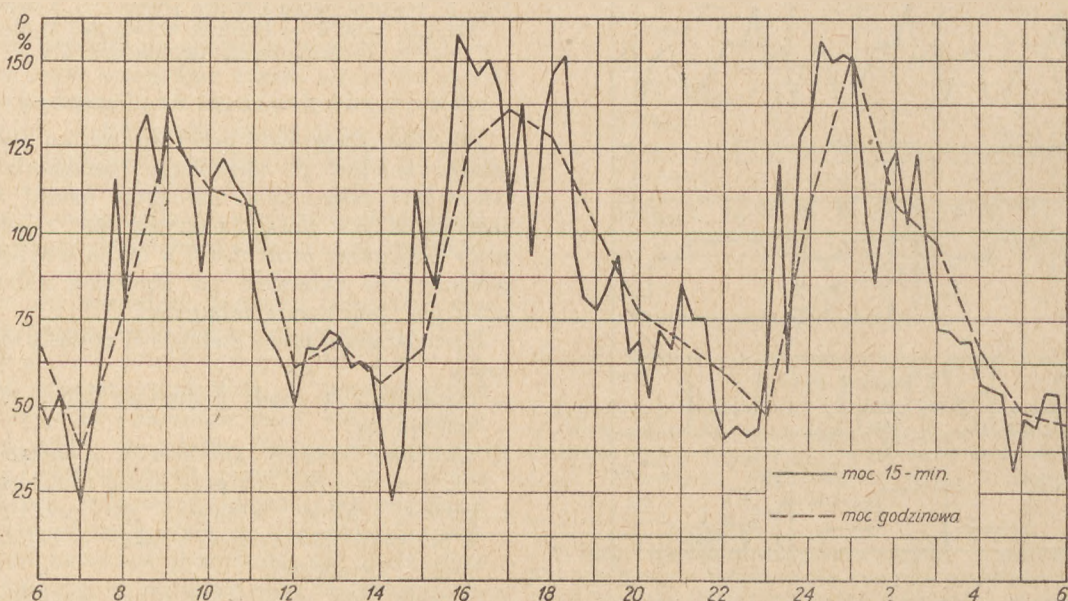
$$P_{el.min.} = P_{top.1} + P_{św.2} + P_{św.3} \quad (8)$$

a tylko przez pewien okres czasu

$$P_{el.min.} = P_{top.1} + P_{raf.3} \quad (9)$$

pracy kombinowanej można zaliczyć również taki przypadek, gdy część pieców pracuje według harmonogramu pracy szeregowej lub równoległej a część nie jest objęta żadnym harmonogramem.

Na rys. 5 podano przykład harmonogramu kombinowanego obejmującego pracę równoległą dwóch dużych pieców i szeregową dwóch małych. W przypadku tym pobór mocy przez wszystkie piece w ciągu doby mieści się w granicach od:



Rys. 7. Pobór mocy przez piece stalownicze w drugim dniu pracy równoległej

$$P_{maks} = P_{top1} + P_{top2} + P_{top3} + P_{sw4} \quad (10)$$

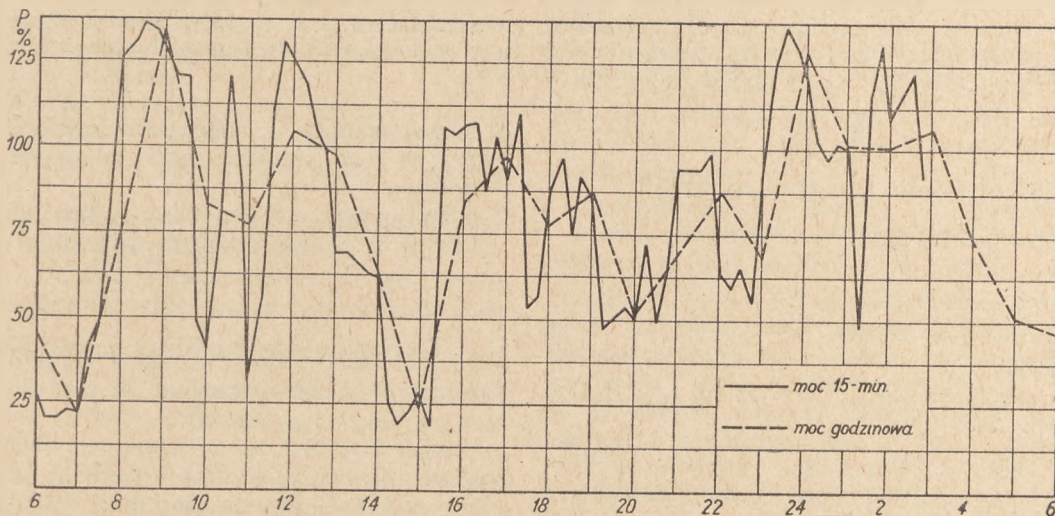
do

$$P_{min} = P_{top4} \quad (11)$$

przy założeniu, że

$$P_{top3} = P_{top4} \quad (12)$$

14,00 jest jeszcze utrzymana równoległa pracy największych jednostek piecowych). Jak widać, przy takiej pracy trudno jest mówić o zwolnieniu jakiejś mocy, gdyż krzywa poboru jest bardzo nieregularna. Należy dodać, że w tym dniu przez pół dnia jeden z mniejszych pieców był wyłączony, a przez następne pół dnia drugi zaś piec.



Rys. 8. Pobór mocy przez piec stalowniczy przy pracy bez harmonogramu

Na rys. 6 podano konkretny przykład wzięty z badań przeprowadzonych przez autora w jednej z hut krajowych. Wspomniana huta ma dwa duże piece stalownicze i kilka małych. Wykresy przedstawiają przebieg poboru mocy<sup>3)</sup> przez wszystkie piece stalownicze w dniu, w którym dwa największe piece pracowały równolegle. Na rys. 7 pokazano przebieg poboru mocy w następnym dniu pracy równoległej. Jak widać z tych wykresów, charakter poboru mocy pozostał zachowany, pomimo że oba piece posiadają różne czasy trwania wytopu (według średnich danych różnice wynoszą około jednej godziny). Czasy trwania poszczególnych wytopów w obu piecach różnią się także w pewnym stopniu między sobą.

Z wykresu na rys. 6 wynika, że jeżeli przyjąć limit mocy przypadający na elektrostalownię w okresie obciążenia szczytowego za 100%, to w rozpatrywanym dniu przy pracy równoległej pobór mocy przez elektrostalownię w godzinach od 19.00 ÷ 22.00 wynosił poniżej 77,5% limitu mocy. W ciągu godziny 22.00 ÷ 23.00 spadł do 15%. W następnym dniu według wykresu na rys. 7 pobór mocy w godzinach 19.00 ÷ 22.00 wynosił również poniżej 77,5%, a od godziny 22.00 ÷ 23.00 — 47,5%. Różnica w poborze mocy w okresie od godz. 22.00 ÷ 23.00 między wykresami 6 i 7 pochodzi stąd, że w pierwszym dniu w rozpatrywanym okresie jeden z mniejszych pieców był wyłączony, a w dniu następnym w podanym czasie odbywało się w nim roztopianie.

Wykres na rys. 8 przedstawia pobór mocy przez tą samą stalownię w przypadku, gdy praca pieców nie przebiega według żadnego harmonogramu (do godz.

Wykresy na rys. 6 i 7 potwierdzają możliwość pracy pieców według ułożonego harmonogramu i podają konkretne korzyści, które stąd wynikają. W omawianym przypadku zwolniona moc wynosi w okresie:

- trzech godzin — około 22,5% przyznanego limitu mocy (przypadającego na elektrostalownię),
- jednej godziny — około 52,5%.

Obniżenie mocy przypadające na godzinę od 19.00 ÷ 23.00, przy czym w okresie badań obowiązywały godziny szczytowe od 19.00 ÷ 21.30. W okresie zimowym, gdy czas trwania szczytu jest dłuższy, harmonogram można w taki sposób ułożyć, aby uzyskana obniżka mocy nastąpiła w godzinach szczytowych.

C. d. n.

#### ERRATA

do części I artykułu inż. Jacka Janczaka  
pt. „Odpopielanie kotłowni“ (Nr 5/1954)

| Str. | Łam   | Wiersz  | Jest:                                                  | Powinno być:                                                |
|------|-------|---------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 234  | prawy | Rys. 12 | Aparat Moskalkowa                                      | Smoczek tłoczący w instalacjach ciśnieniowych               |
| 236  | prawy | 9       | ...dużych ilościach lotnego popiołu tworzy się idealny | dużych ilościach lotnego popiołu tworzy się niemały idealny |

<sup>3)</sup> Podany przebieg poboru mocy otrzymano z odczytów maksygrafu sumującego.

## USZKODZENIA I ZAKŁÓCENIA W EKSPLOATACJI

621.165.1.004.64

# Uszkodzenie turbin przy pracy turbogeneratorów jako silników synchronicznych

Inż. Wilhelm Heller

Treść: Opisano dwa uszkodzenia turbin wskutek dopuszczenia do dłuższej pracy turbogeneratorów jako silników synchronicznych. Pierwszy wypadek zdarzył się w jednej z elektrowni zawodowych w kraju w połowie 1954 r., drugi zaś w zawodowej elektrowni w ZSRR.

## I

## Uszkodzenie turbiny w kraju

Typ turbiny — przeciwpiętna, akcyjna,

Wytwórca — Escher Wyss,

Rok budowy — 1949,

Moc znamionowa — 5,5 MW,

$n = 3\,000$  obr/min,

Parametry pary dolotowej —  $p_1 = 40$  ata,  $t_1 = 425^\circ\text{C}$  (maks.  $460^\circ\text{C}$ ),

Parametry pary odlotowej —  $p_2 = 15$  ata,  $t_2 = 324^\circ\text{C}$ ,

Układ turbiny — jednostopniowe koło regulacyjne oraz 5 kół akcyjnych.

### Przebieg awarii

Turbina przeciwpiętna zasilana była parą o ciśnieniu 40 ata z jednego tylko kotła, będącego w okresie rozruchu. Obciążenie turbozespołu bezpośrednio przed awarią wynosiło około 3 MW. Turbozespół pracował równolegle z innymi jednostkami na szyny zbiorcze elektrowni. Wskutek zatkania się zsypu nastąpiła przerwa w dostawie węgla surowego do młyna przy kotle. Płomień w palenisku zgasł i ciśnienie pary dolotowej do turbiny spadło poniżej ciśnienia wylotowego. Zauważywszy to, maszynista zamknął główną zasuwę pary dolotowej do turbiny oraz zasuwę pary odlotowej. Ponieważ generator pozostał załączony do szyn zbiorczych, przeto zaczął pracować jako silnik synchroniczny i turbozespół obracał się nadal z prędkością 3 000 obr/min. Po 30 minutach ruchu w takim układzie wystąpiły nagle silne drgania turbozespołu. Wówczas dopiero obsługa nastawni wyłączyła generator.

### Zakres uszkodzeń turbiny

Po zbadaniu stwierdzono następujące uszkodzenia turbiny:

1. skrzywienie wału o 0,24 mm,
2. całkowite zniszczenie grzebieni w przedniej tulei uszczelnień labiryntowych,
3. starcie grzebieni we wszystkich międzystopniowych uszczelnieniach labiryntowych,
4. starcie nitów bandaży na odcinku jednego pakietu łopatek koła czwartego,
5. starcie pierścieni węglowych w przedniej i tylnej dławnicy zewnętrznej,
6. zniszczenie brązowych ślimacznicy (napęd pompy olejowej i regulatora),
7. wytopienie dolnej półpanewki przedniego łożyska nośnego,

8. mocne zatarcia na olejowych pierścieniach odrzutowych i na przednim oraz na tylnym łożysku nośnym,

9. silne zagrzanie kół łopatkowych oraz tulei labiryntowych (wystąpienie koloru niebieskiego).

## II

## Uszkodzenie turbiny radzieckiej

Typ turbiny — kondensacyjna,

Moc znamionowa — 22 MW,

$n = 3\,000$  obr/min,

Budowa turbiny — dwukadłubowa, część niskopiętna — dwustrumieniowa,

Układ turbiny — część niskopiętna —  $2 \times 3$  koła koła łopatkowe,

Sprzęgło sztywne — wiążące wirnik części wysokopiętny z wirnikiem części niskopiętny,

Łożysko oporowe — grzebieniowe,

### Przebieg awarii

Na głównym przewodzie pary dolotowej do turbiny pojawiła się nieszczelność i trzeba było wymienić uszczelkę złącza kołnierzewego. Ponieważ zasuwy odcinające nie były dostatecznie szczelne, przeto postanowiono przeprowadzić naprawę bez zatrzymania turbiny. W tym celu zamknięto wszystkie zasuwy na rurociągach doprowadzających parę do głównego rurociągu dolotowego do turbiny, uważając, że do zapewnienia chłodzenia turbiny w czasie biegu jałowego wystarczy ciśnienie pary w przewodzie dolotowym rzędu 1 ata, które osiągnięto przez odpowiednie wyregulowanie głównej zasuwy parowej.

Z powodu zbyt niskiego ciśnienia i dużych strat przepływu w rurociągu do turbiny dopływała niedostateczna ilość pary. Ponieważ generator nie został odłączony od szyn zbiorczych, przeto zaczął pracować jako silnik synchroniczny. Pomimo obniżenia się próżni w kondensatorze z 97% do 68%, spowodowanego brakiem dopływu pary na uszczelnienia i nagrzaniem się wylotowej części turbiny do temperatury  $120^\circ\text{C}$  — personel maszynowni utrzymywał turbozespół w ruchu. Po 35 minutach pracy turbozespołu w opisanych warunkach wystąpiły bardzo silne drgania, które zmusiły obsługę do całkowitego zamknięcia głównej zasuwy parowej i do wyłączenia generatora w nastawni.

### Zakres uszkodzeń turbiny

Stwierdzono następujące uszkodzenia turbiny:

1. pomiędzy tarczą wirnika ostatniego stopnia niskiego ciśnienia a kierownicą powstała na obwodzie

- szczelina o szerokości 3 mm, spowodowana tarcieniem koła łopatkowego o kierownicę,
- 114 łopatek oraz bandaż na kole wirnikowym ostatniego stopnia części niskoprężnej zostało wyłamaanych,
  - kierownica na całym obwodzie uległa wyszlifowaniu na głębokość 2 mm i wygięciu w kierunku koła wirnikowego, krawędzie wylotowe łopatek kierowniczych zostały silnie zagięte,
  - panewka w tylnym łożysku części niskoprężnej turbiny została uszkodzona,
  - wał części wysokoprężnej uległ wyszlifowaniu na głębokość 1 mm w miejscu przylegania uszczelnień węglowych, wał zaś części niskoprężnej — na głębokość 0,3 mm,
  - wał części wysokoprężnej skrzywił się o 0,15 mm, wał zaś części niskoprężnej o 0,6 mm,
  - grzebienie w uszczelnieniach labiryntowych kół kierowniczych wszystkich stopni zostały całkowicie starte.

Powyższe opisy wyraźnie wskazują, że przyczyny awarii i zakresy uszkodzeń obu turbin były podobne. Wskutek braku dopływu dostatecznej ilości pary do turbin przestały one pracować jako maszyny napędowe a generatory zamieniły się na silniki synchroniczne. Tarcie kół łopatkowych o mieszanke parowo-powietrzną spowodowało silne ich nagrzanie. Wskutek wzrostu temperatury turbin znikły luzy w uszczelnieniach labiryntowych, powodując zatarcie się grzebieni, skrzywienie wałów oraz wytopienie łożysk. Personel obsługujący a nawet kierownictwo elektrowni nie zdawało sobie sprawy, że praca generatorów jako silników synchronicznych bez zapewnienia dostatecznego chłodzenia sprzęgniętych z nimi turbin przepływającą przez nią parą jest niedopuszczalna.

## Wnioski

1. Po przerwaniu dopływu pary do turbiny generator załączony do szyn zbiorczych pracuje jako silnik synchroniczny. Ruch turbozespołu w takich warunkach nie powinien trwać dłużej niż 3 minuty, wobec czego należy turbozespół szybko zatrzymać, jeżeli ponowne doprowadzenie pary do turbiny nie może nastąpić natychmiast.

2. Przejście generatora na pracę jako silnika synchronicznego można łatwo stwierdzić na podstawie wskazań watomierza, którego wskazówka wskaże zero (jeżeli watomierz ma zero w środku skali — wskazówka wskaże pobór mocy).

Amperomierze i woltomierze w obwodzie stojana i w obwodzie wzbudzenia będą wskazywać normalne natężenia prądu i napięcia.

3. Jeżeli istnieje konieczność nawet krótkotrwałej pracy generatora jako silnika synchronicznego bez rozłączenia sprzęgła głównego turbozespołu — należy ściśle ustalić minimalną ilość pary konieczną do chłodzenia turbiny. Należy przy tym wziąć pod uwagę stan turbiny oraz jej dane techniczne, a dla turbin reakcyjnych — dodatkowo wymiary luzów promieniowych między kołami łopatkowymi a kadłubem, które nie powinny być mniejsze niż 1 mm.

Dopuszczenie pracy turbozespołu w opisywanym układzie musi być ponadto uzasadnione w obliczeniu techniczno-ekonomicznym. Praca turbin dwu- i trójkadłubowych oraz jednokadłubowych turbin o mocy 6 MW w powyższym układzie nie jest dozwolona.

## Literatura

Sbornik direktivnykh materialov MES — 1951 r.

621.315.668.1

## Pożary słupów drewnianych na liniach wysokiego napięcia

Na drewnianych słupach linii wysokiego napięcia spotyka się czasem po dłuższym okresie drobne albo większe zwęglenia lub wypalenia. Powszechnie uważano, że są to skutki niewielkich wyładowań atmosferycznych, które pozostawiły tylko nieznaczne ślady nie niszczące słupa.

Badania laboratoryjne dały jednak podstawę do przypuszczenia, że takie zwęglenia a nawet pożary słupów mogą być spowodowane przez prąd upływu, przepływający przy pewnych warunkach atmosferycznych i zanieczyszczeniach.

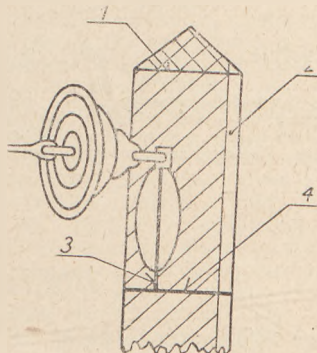
Zasadniczo powodem tego są następujące czynniki, które zdołano ustalić na podstawie paroletnich doświadczeń laboratoryjnych, a mianowicie:

- mała wilgotność drewna słupa,
- osad przewodzącego zanieczyszczenia na izolatorach,
- odpowiednia ilość opadów,
- odpowiednia prędkość wiatru,
- wiatr w kierunku prostopadłym do elementów konstrukcji.

Przebieg procesu powstawania pożaru przedstawia się następująco:

Jeżeli po dłuższej suszy zaczyna padać deszcz pędzony wiatrem ze stałego kierunku, to na słupach pozo-

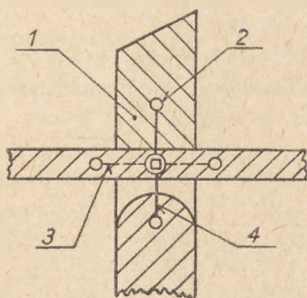
stają niewielkie powierzchnie suche osłonięte przez części konstrukcji. Te suche miejsca można nazwać „suchymi cieniami“. W przypadku, gdy na izolatorach znajduje się przewodzący osad, to wzdłuż konstrukcji drewnianej płynie minimalny prąd głównie po mokrej powierzchni. W miejscach, w których prąd natrafia na



Rys. 1. „Suchy cień“ rzucany przez izolator odciągowy i mostkowanie cienia

1 — powierzchnia normalnie zwilżona, 2 — powierzchnia niezacieniona jest sucha, 3 — odprowadzenie od śruby mocującej izolator, 4 — drut opasujący słup w odległości większej od średnicy izolatora, (licząc od śruby mocującej izolator)

suchy cień, ma on znacznie węższy przekrój przepływu, gdyż płynie po poszczególnych wilgotniejszych włókna. Pod wpływem prądu włókna te zwęglały się, tworząc dogodniejsze połączenie dla prądu, wskutek czego gęstość jego wzrasta w tym miejscu. W sprzyjających warunkach nawet minimalny prąd około 10 mA może spowodować pożar, którego rozmiary zależą od wpływów atmosferycznych. Dużo takich pożarów ulega zgaszeniu w początkowym stadium przez wzmagający się deszcz. Niektóre jednak zdołają się rozszerzyć do rozmiarów, które powodują nadpalenie lub zniszczenie słupa.

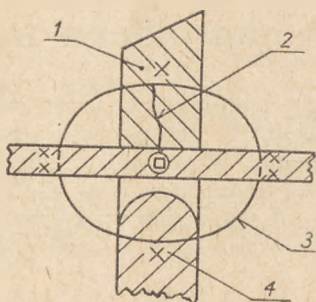


Rys. 2. Mostkowanie „suchych cieni” za pomocą drutów przybitych wzdłuż poprzeczki i słupa

1 — powierzchnia normalnie zwilżona, 2 — końce drutu odchodzące 20 cm lub więcej od słupa lub poprzeczki, 3 — należy przybić pętlę i cały drut do powierzchni poprzeczki i słupa, 4 — drut miedziany 2,5<sup>2</sup> lub grubszy, owinięty dokoła śruby łączącej dla dobrego kontaktu

Powierzchnia suchego cienia nie jest zacieniwana.

Powyższe zjawisko występuje najczęściej na liniach o słupach drewnianych z drewnianymi poprzeczkami, zwykle w miejscach, w których poprzeczka jest przymocowana do słupa. Prąd płynie wówczas z wilgotnej powierzchni poprzeczki do śruby łączącej poprzeczkę ze słupem, przechodząc przez suchy cień i dalej do



Rys. 3. Mostkowanie „suchych cieni” za pomocą koła z drutu

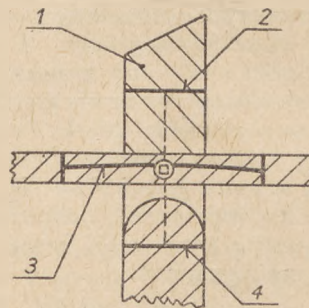
1 — powierzchnia normalnie zwilżona, 2 — połączenie między kołem a śrubą łączącą, 3 — drut miedziany 10<sup>2</sup> lub grubszy, 4 — koło ściślej przybite do słupa i poprzeczki w miejscach oznaczonych X. Powierzchnia „suchego cienia” jest niezacieniwana

mokrej powierzchni słupa, przez którą odpływa do ziemi.

Otoczenie w tym miejscu sprzyja podtrzymaniu ognia przy zwykłym deszczu.

W warunkach laboratoryjnych okazało się, że nawet przy całkowitym odsłonięciu ognia pożar może tak się rozszerzyć, że spali słup. Przy badaniach zdarzył wypadek, że odciągowy izolator talerzowy zawieszony poziomo rzucił suchy cień (rys. 1) na drewniany słup i gdy płynął prąd upływu odpowiadający zmierzanej wartości w normalnych warunkach ruchowych, powstał pożar słupa, który mógł go spalić całkowicie, gdyby specjalnie nie ugaszono ognia gaśnicą.

W celu zabezpieczenia się przed skutkami pożaru wskazane jest mostkowanie miejsc, w których mogą powstawać suche cienie za pomocą przewodów. Druty lub taśmy z aluminium lub z miedzi obejmują drewno w miejscach, które nie mogą być osłonięte przez konstrukcję, więc są wilgotne, gdy pada deszcz i z których można zebrać prąd płynący po powierzchni (np. poprzeczki) i odprowadzają go do równie wilgotnych miejsc słupa, skąd spływa on do ziemi. Na rys. 1—4 pokazano cztery sposoby zabezpieczeń wykonanych z odpadków przewodów.



Rys. 4. Mostkowanie „suchych cieni” za pomocą plecionki lub bednarki miedzianej

1 — powierzchnia normalnie zwilżona, 2 — plecionka otacza słup i poprzeczkę i jest mocno zacisnięta pod przednią i tylną podkładką śruby, 3 — przybić mocno w kilku miejscach do słupa i poprzeczki, 4 — giętka plecionka miedziana

Powierzchnia suchego cienia nie jest zacieniwana

Wskazane jest również odprowadzenie prądów upływu z trzonów izolatorów do tych miejsc konstrukcji, w których są one zawsze wilgotne przy opadach atmosferycznych.

Opisane wyżej doświadczenia mogą być wykorzystane przy kontroli istniejących słupów w celu uniknięcia pożarów. W wypadku zauważenia na słupach śladów zwęglenia należy zastosować środki zaradcze podane wyżej.

Opracowano na podstawie notatki w piśmie Electric light and power, wrzesień 1954

Dm

\* \* \*

## Krajowa narada racjonalizatorów

Dnia 12 lutego 1955 r. odbyła się w Elektrowni Chorzów krajowa narada racjonalizatorów energetyków na temat osiągnięć i zadań wynalazczości w energetyce ze specjalnym podkreśleniem oszczędnej gospodarki węglem.

Narada wykazała, że doradcy techniczni nie udzielają dostatecznej pomocy racjonalizatorom a olbrzymia większość klubów T i R nie spełnia nałożonych na nie

zadań. Nie jest stosowana zasada, że obowiązkiem doradców technicznych jest komunikować się z racjonalizatorami i zainteresować się ich pracami, a nie oczekiwać, aż racjonalizator sam się zgłosi.

Brygady robotniczo-inżynierskie w dalszym ciągu nie są właściwie wykorzystywane do pomocy przy realizacji zgłoszonego przez indywidualnego racjonalizatora projektu. Brygady powinny same rozwiązywać tematy

dotyczące potrzeb zakładu a nie opracowywać dokumentację do zagadnień już rozpracowanych.

Komisje wynalazczości oceniające projekty racjonalizatorskie nie zawsze spełniają należycie swoje obowiązki. Często sam skład osobowy nasuwa już zastrzeżenia. Komisje w nieodpowiednim składzie starają się unikać podejmowania decyzji, przerzucając ją na jednostkę zwierzchnią.

Zakłady wykorzystują w minimalnym stopniu fundusz przeznaczony na premiowanie pracowników za przyspieszenie realizacji projektów racjonalizatorskich. W ubiegłym roku wykorzystano na ten cel w całej energetyce zaledwie około 15 000 zł. W praktyce nie przestęga się również wstawiania przyjętych projektów do planu postępu technicznego, co wydatnie przyczyniłoby się do zmniejszenia ilości zaległych projektów w zakładach pracy.

Projekty racjonalizatorskie powinny być szerzej rozpowszechniane przez zakłady pracy i zarządy energetyczne. Zarządy energetyczne wysyłające projekty racjonalizatorskie do rozpowszechniania powinny zobowiązać podległe zakłady do przeprowadzania prób praktycznego stosowania ich, a w razie nieprzyjęcia żądać należytego umotywowania. Dlatego też przed wysłaniem projektu do zakładu w celu zastosowania, lub do Ministerstwa Energetyki do dalszego załatwienia powinien zarząd jak najdokładniej przeanalizować go.

Zebrani omawiali osiągnięcia na odcinku oszczędnego spalania węgla oraz dostosowywania urządzeń do spalania gorszych gatunków węgla.

Następnie poruszono zagadnienie spalania marnującego się dotąd koksiku. W Elektrowni Ołowianka opracowano dokumentację techniczną projektu spalania koksiku lotnego.

W zakresie spalania półproduktów (mułów i przeostów) resort energetyki ma duże osiągnięcia. W stosunku do 1951 r. zużycie półproduktów wzrosło w 1952 r. o 58% a w 1954 o dalsze 24%.

Wynalazczość pracownicza w energetyce stale się rozwija. W porównaniu z rokiem 1953 ilość projektów zgłoszonych wzrosła z 5060 do 5700 w 1954 r. Rozpowszechnienie ruchu racjonalizatorskiego zwiększa się stale. W 1953 r. jeden projekt przypadał na 11 pracowników grupy A, a w ubiegłym roku na 9 pracowników tej grupy. Wzrosła również przeciętna wartość projektu o około 30%.

Na 5900 projektów zgłoszonych przyjęto do realizacji 3690, czyli 62,5%.

Uzyskana oszczędność z zastosowanych projektów wynosi około 15 000 000 zł.

W naradzie brali udział racjonalizatorzy, palacze, pracownicy komórek wynalazczości, naczelnicy inżynierowie większych elektrowni i zarządów energetycznych.

E. Ziembicki

## WYDAWNICTWA NADESŁANE

### PAŃSTWOWE WYDAWNICTWA TECHNICZNE

#### Wskaźniki elektroenergetyczne zakładów przemysłowych

Inż. Bronisław Lis

Warszawa 1954, format B 5, str. 107, rys. 156, tablic 152, cena 10 zł

W książce omówione są wskaźniki charakteryzujące gospodarkę elektroenergetyczną zakładu przemysłowego, jak typowe wykresy dobowe i roczne obciążenia oraz współczynnika mocy, zużycie energii elektrycznej na jednostkę produkcji, czas użytkowania mocy szczytowej oraz współczynnika wykorzystania mocy zainstalowanej. Pomiary przeprowadzono w 85 zakładach przemysłowych zgrupowanych w 23 gałęziach przemysłu. Dane odnoszą się przeważnie do roku 1953, ponadto dla większości zakładów zestawiono w celu porównania dane z ostatnich 6 lat, co umożliwia analizę dynamiki zmian wskaźników.

Praca jest całkowicie oryginalna, oparta wyłącznie na źródłach krajowych i to współczesnych, daje nieocenione usługi dla projektujących urządzenia elektryczne w przemyśle, ułatwiając dobór trafnych wskaźników wykorzystania urządzeń elektrycznych lub ocenę wielkości zapotrzebowania energii elektrycznej. Należy zaznaczyć, że analogicznej publikacji nie ma dotychczas w literaturze zagranicznej, co należy uważać za poważny sukces naukowy zarówno autora jak i wydawnictwa.

Można tylko żałować, że bogaty materiał statystyczny nie został należycie zilustrowany opisem procesów technologicznych i wskaźnikami produkcyjnymi, jak np. wskaźnikami stopnia mechanizacji lub elektryfikacji w danym zakładzie przemysłowym, wielkością i asortymentem produkcji, które to czynniki wpływają w bardzo dużym stopniu na kształtowanie i ocenę gospodarki elektroenergetycznej zakładu przemysłowego. Bez tych danych trudno jest analizować głębiej bogaty zbiór wskaźników i typowe krzywe obciążenia lub przebiegu współczynnika mocy zakładu.

Należy przypuszczać że następne wydanie pracy inż. Lisa umożliwi przeprowadzenie pełnej już analizy nie tylko samej gospodarki elektroenergetycznej ale również i procesów produkcyjnych ściśle wiążących się z przebiegiem i charakterem obciążenia elektrycznego.

Praca inż. Lisa jako źródłowe i aktualne zestawienie wyników pomiarów i badań gospodarki elektroenergetycznej w zakładach przemysłowych będzie niewątpliwie szczegółowo studiowana zarówno przez inżynierów projektujących zakłady przemysłowe oraz energetyków przemysłowych, jak i przez ekonomistów analizujących na podstawie danych statystycznych formy i przejawy życia gospodarczego.

dr St. Bl.

#### Urządzenia elektryczne w zarysie

Praca zbiorowa

Warszawa 1955, format B 5, str. 492, cena 26 zł

Nakładem Państwowych Wydawnictw Technicznych w Warszawie ukazała się praca zbiorowa pod redakcją inż. Bohdana Walentynowicza, przeznaczona dla techników nie specjalizujących się w dziedzinie urządzeń elektrycznych. Książka, opracowana przez szereg wybitnych elektryków, stanowi przegląd wszystkich zagadnień związanych z urządzeniami elektrycznymi. Podzielona jest na pięć części: urządzenia odbiorcze, układ elektroenergetyczny, urządzenia przesyłowe i rozdzielcze, urządzenia wytwórcze i zasady bezpiecznej obsługi urządzeń elektrycznych. Odnosnie materiału zawartego w książce wydaje się, że w pracy omawiającej urządzenia elektryczne nie było może konieczne umieszczanie rozdziału o elektrowniach zwłaszcza, że ukazało się już kilka książek o elektrowniach. Prawdopodobnie ze względu na objętość pracy omówiono elektrownie ciepłe i wodne tylko na 50 stronach, co nie pozwoliło oczywiście na wyczerpanie wszystkich ważnych tematów.

Słownictwo książek dobre, czasami spotyka się tylko pewne usterki, np. „gazy spalinowe”, zamiast powszechnie używanych „spalin”, dalej „domowy turbospół”, (str. 437) zamiast — oddzielny turbospół do zasilania potrzeb własnych. Podane na str. 412 temperatury pary oparto na starszych danych. Przekroczenie 500 °C nie jest obecnie już tak niebezpieczne dla stali. Podrozdział 19.3.7.2. „Rozdzielnia elektrowni” nie jest zrozumiały. Aparaty i urządzenia do kontroli pracy prądnic, do regulacji napięcia i urządzenia synchronizacyjne nie są przecież zabudowane w rozdzielni głównej. Następny podrozdział, omawiający zasilanie potrzeb własnych elektrowni potraktowany jest stanowczo zbyt pobieżnie, zwłaszcza w książce „Urządze-

nia elektryczne". Wprawdzie na ten temat ukazało się już kilka artykułów, a wkrótce ma się ukazać książka poświęcona potrzebom własnym elektrowni, ale i tu należałoby przeznaczyć nieco więcej miejsca, chociażby na kilka ważniejszych rozwiązań zasilania potrzeb własnych i np. na bliższe omówienie tak ważnego zagadnienia jak samoczynne załączanie rezerwy.

Pod adresem wydawnictwa nasuwają się następujące uwagi: do książki o 492 stronach dodano spis aż 78 błędów dostrzeżonych w druku — trochę za dużo, a ponadto książka o tej objętości, przeznaczona jako podręcznik szkolny, powinna się ukazać w twardej, mocnej oprawie, zwłaszcza, że dobrze zestawiony, wyczerpujący materiał spowoduje, iż korzystać z niej będą technicy nie tylko w szkole ale i w czasie pracy zawodowej.

Mgr inż. Tadeusz Frank

#### **Rozwalcowywanie rur kotłowych**

Ignacy Szornel

Warszawa 1954, format A5, str. 70, rys. 75, cena zł 2,50

W książce podane są sposoby rozwalcowywania rur opłomkowych, płomieniówkowych, przegrzewaczowych itp. oraz stosowane przy tym przyrządy.

Książka jest przeznaczona dla początkujących monterów, podaje jednak wiele wiadomości interesujących monterów z dużą praktyką zawodową.

#### **Obsługa pomp odśrodkowych**

Inż. Szczepan Łazarkiewicz

Warszawa 1955, format A5, str. 63, rys. 33, cena zł 2,50

Praca zawiera podstawowe wiadomości o zasadzie działania i konstrukcji oraz wskazówki dotyczące ustawiania, obsługi, konserwacji i remontu pomp odśrodkowych.

Wiadomości zawarte w niniejszej pracy przeznaczone są dla obsługujących pompy odśrodkowe w różnych gałęziach przemysłu i usługi technicznej.

#### **Technika ochrony pracy w energetyce**

Mgr inż. Zbigniew Karasiński

Warszawa 1955, format A5, str. 91, rys. 21, cena zł 7

W książce są omówione pojęcia podstawowe i metody technicznej ochrony pracy oraz warunków ochrony pracy w energetyce przy urządzeniach transportowych, silnikach i kotłach parowych oraz urządzeniach elektrycznych.

Książka jest przeznaczona dla techników i inżynierów zatrudnionych w energetyce.

#### **POLSKIE WYDAWNICTWA GOSPODARCZE**

##### **Przewody i kable**

Materiałoznawstwo, przechowywanie i konserwacja

Ludwik Walewski

Warszawa 1955, format A5, str. 70, rys. 53, cena zł 3,10

#### **PRACE INSTYTUTÓW NAUKOWO-BADAWCZYCH**

##### **INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI**

Rok 1955 — zeszyt 13

Warszawa 1955, format A4, str. 68, cena zł 28,50

1. Mgr inż. Aleksander Bąk — Obliczanie prądów zwarciowych w sieciach niskonapięciowych,
2. Mgr inż. Stanisław Dominko — Modernizacja przekaznika SD4-ADo,
3. Mgr inż. Andrzej Podgórski — Pomiar wielkich prądów zmiennych przy pomocy boczników oraz przekładników prądowych,
4. Mgr inż. Zygmunt Skoczyński — Symetryczna prądnicą synchroniczną jako oporności przy zwarciach niesymetrycznych.

##### **INSTYTUT NAFTOWY**

Stalinogród 1955, format A4, str. 12, cena zł 5,20

Mgr inż. Zbigniew Turkowski — Badania techniki wiercenia obrotowego.

## **Centralny Instytut Dokumentacji Naukowo-Technicznej, WARSZAWA, Al. Niepodległości 188,**

dostarcza racjonalizatorom, technikom, inżynierom, naukowcom dokumentów naukowo-technicznych, tj.

- a) karty dokumentacyjne
- b) zestawienia bibliograficzne
- c) fotokopie artykułów
- d) mikrofilmy
- e) wykazy publikacji technicznych w formie abonamentu
- f) tłumaczenia

Materiały CIDNT oszczędzają wiele czasu i wysiłku racjonalizatorom.