

PRZEGLĄD TECHNICZNY

CZASOPISMO POŚWIĘCONE SPRAWOM TECHNIKI I PRZEMYSŁU

TREŚĆ:

Postępy fizyki jądra atomu, nap. Dr. L. Wertenstein, Profesor Wolnej Wszechnicy w Warszawie.
 Strata wylotowa w turbinach parowych, nap. A. J. Ukłański, inżynier-mechanik.
 Projekty sieci europejskiej najwyższego napięcia, nap. J. Silberstein, inżynier-elektryk.
 Znaczenie postępu techniki. Dwa przemówienia J. M. Rektora Politechniki Warszawskiej, Prof. Dr. W. Chrzanowskiego.
 Przegląd pism technicznych.
 Bibliografia.

SOMMAIRE:

Progrès de la science relative au noyau de l'atome (à suivre), par M. le Dr. L. Wertenstein, Professeur à l'Université Libre de Varsovie.
 La perte par entraînement d'énergie résiduelle au condensateur des turbines à vapeur (à suivre), par M. A. J. Ukłański, Ingénieur mécanicien.
 Les projets des lignes transeuropéennes de très haute tension, par M. J. Silberstein, Ingénieur électricien.
 L'importance du progrès de la science technique et industrielle. Deux discours de M. le Dr. W. Chrzanowski, Recteur de l'École Polytechnique de Varsovie.
 Revue documentaire.
 Bibliographie.

Postępy fizyki jądra atomu.

Napisał Dr. L. Wertenstein, Profesor Wolnej Wszechnicy w Warszawie.

Wielkie postępy, poczynione w latach ostatnich w fizyce jądra, nie tylko budzą entuzjazm wśród specjalistów w tej dziedzinie, ale są ponadto wysoce interesujące dla każdego fizyka, a nawet i dla badacza historii nauki, który się zastanawia nad tem nieustannem przesuwaniem się środka ciężkości fali postępu nauki na coraz to inne dziedziny. Jeszcze pięć lat temu w fizyce jądra panował pewien zastój, a natomiast coraz większe triumfy święciła elektronika, nauka o peryferycznych własnościach atomu. Sama nazwa *fizyka jądra* weszła w użycie od niedawna, gdyż nazwa „nauka o promieniotwórczości” stała się zbyt wąska: gdy dawniej niemal wszystkie wiadomości o jądrze zawdzięczaliśmy zjawiskom promieniotwórczym, obecnie wiadomości tych w niemniejszym stopniu dostarczają dziedziny nie związane bezpośrednio z promieniotwórczością. Ożywienie ruchu naukowego w fizyce jądra przypisać należy trzem tak splecionym z sobą czynnikom, że trudno rolę każdego wydzielić: wydoskonaleniu techniki doświadczalnej, zwłaszcza metod wykrywania oddzielnych cząstek jonizujących, świetnym, niekiedy przypadkowo dokonanym odkryciom, wreszcie osiągnięciu przez teorię atomową tak wysokiego stopnia doskonałości, że można zaufać ich wskazówkom i kierować się nimi w wyborze sposobów zgłębiania zagadki jądra. Jest przytem niezmiernie pouczającym przykładem zgodnego współdziałania wszystkich kierunków w fizyce, że ów rozkwit teorii, owo ukonstytuowanie się mechaniki atomowej nie byłoby możliwe bez owocnej i intensywnej pracy lat poprzednich na polu elektroniki i spektroskopji.

Zależność fizyki jądra od fizyki atomu peryferycznego jest zresztą także i bezpośrednia. Jądro jest układem w idealny niemal sposób izolowanym

od zewnętrznych części atomu i w pierwszym przybliżeniu działa na elektrony tylko polem, którego wielkość wyznacza jego całkowity nabój elektryczny. Jednakże szczegóły budowy jądra są, że tak powiem, widoczne od strony powłoki elektronowej. Z jednej strony powodują drobne zakłócenia pola elektrycznego, w którym poruszają się elektrony, z drugiej strony, dzięki mechanizmowi, którego zrozumienie zawdzięczamy teorii kwantów, te słabe sprzężenia wystarczają do tego, by pewne rysy budowy jądra znalazły zadziwiająco zupełny wyraz w statystyce stanów atomowych. Jest to wynikiem swoistej zasady mechaniki kwantowej, którą możnaby nazwać zasadą „wszystkiego lub niczego”, że jest głęboka różnica między przypadkiem, gdy np. jądra w cząsteczce są zupełnie identyczne, a przypadkiem, gdy różnią się między sobą choćby w drobnych bardzo szczegółach.

Mam tu na myśli wpływ struktury jądra, a w szczególności jego momentu obrotowego (*spinnu*) oraz momentu magnetycznego na rozkład natężeń w widmach pasmowych i na budowę nadsubtelną widm prążkowych. Zapomocą metod, których nie będę tu rozpatrywał, możemy w wielu przypadkach, na podstawie badań spektroskopowych, wyznaczyć moment obrotowy jądra danego pierwiastka oraz ustalić, czy jądra te są układami, których zbiory tworzą stany t. zw. symetryczne, t. j. rządzą się statystyką Bosego-Einsteina, czy też stany antysymetryczne, przepisane przez statystykę Fermiego-Diraca. Reasumując otrzymane w tej dziedzinie wyniki, powiem, że moment obrotowy jądra, wyrażony w wielokrotnościach $h/4\pi$, jest zawsze liczbą całkowitą. Liczba ta równa się zeru, rzadziej jest parzysta, gdy masa atomowa, wyrażona w wielokrotnościach masy protonu, jest liczbą parzystą, jest zaś nieparzysta i najczęściej

równa się jedności, gdy masa atomowa jest liczbą nieparzystą. Pierwszemu przypadkowi odpowiada statystyka symetryczna, drugiemu — statystyka antysymetryczna.

Sprawy te omawiam pobieżnie, gdyż zadaniem mojem jest przedstawienie tych wiadomości o jądrze, których nie zawdzięczamy spektroskopji.

Zagadnienie budowy jądra jest jakby wielką kampanją wojenną, prowadzoną jednocześnie wszystkimi dozwolonemi sposobami. Jest ona częściowo planowa i systematyczna, częściowo zaś składa się ze śmiałych, improwizowanych wycieczek, które niekiedy największe przynoszą zwycięstwa. Jakkolwiek ten ostatni typ kampanji najbardziej może obfituje w momenty dramatyczne, niemniej jest obowiązkiem referenta najpierw przedstawić ogólny plan działań. Pierwszą naszą troską jest odgadnąć „prawo wewnętrzne jądra”, ustalić podstawy, na których możnaby oprzeć teorię jego budowy. Dalej, chcemy wiedzieć, jaka jest liczba i natura składników jądra. Pragniemy poznać strefę przejściową między niedostępnem nam wnętrzem jądra a względnie dobrze nam znanym światłem „zewnętrznym”, światłem elektronów. Wreszcie — *last but not least* — celem ostatecznym jest wiedza czynna, jest zdobycie umiejętności wywoływania dowolnych rekonstrukcyj jądra, realizowanie transmutacji pierwiastków, choćby w skali mikroskopowej.

Jest uzasadnione naukowo, jest usprawiedliwione historycznie, że zasad teorii nie chcemy tworzyć niezależnie od pozostałej fizyki, że zapożyczamy je z dziedziny — dosłownie biorąc — najbliższej leżącej, z dziedziny atomu peryferycznego. Innymi słowy, postulujemy, że jądro ma być układem, w którym dają się odróżnić poszczególne cząstki, który istnieje w różnych stanach o ściśle określonej energii. Powstaje pytanie, czy możemy spełnić ten postulat. Zauważmy, że pojęcie stanu jądra — jeżeli założymy istnienie pramaterji powszechnej, wodoru oraz gazu elektronowego — obejmuje, jako przypadek szczególny, pojęcie pierwiastka chemicznego, gdyż np. jądro helu i jądro tlenu możemy uważać za dwa różne stany jądrowe. Powracając na chwilę jeszcze do spektroskopji, zaznaczę, że dostarcza ona niezmiernie przekonującego dowodu istnienia, w niektórych przynajmniej przypadkach, takich stanów dokładnie sprecyzowanych. Mianowicie, zanikanie kolejne pasm w widmie cząsteczkowym helu i tlenu stanowi niezbity dowód, że wszystkie jądra helu i tlenu są w stanie normalnym najzupełniej identyczne, a zatem mają jednakową energję. Inną metodą byłoby zbadanie, czy jądra czystych odmian izotopowych mają wszystkie dokładnie tę samą masę. Aston twierdzi, że tak jest istotnie, ale — rzecz prosta — w granicach niepewności pomiarów, których dokładność nie przekracza dwóch tysięcznych jednostki ciężaru atomowego. Zgodnie z podstawowem prawem Einsteina, niepewności masy Δm odpowiada niepewność energii $\Delta m \cdot c^2$. Prosty rachunek pokazuje, że spektrograf masowy zapewnić nas może co najwyżej, że wahania w zawartości energetycznej, jeżeli istnieją, są rzędu jednego miliona woltelektronów.

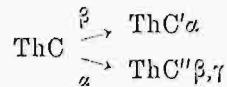
W przypadku przemian promieniotwórczych mamy możność bezpośredniego wyznaczenia różnicy energii w dwóch stanach jądrowych, miano-

wicie różnicy energii dwóch jąder, z których jedno powstaje z drugiego. Wiadomo, że to przetwarzanie się jąder może nastąpić bądź drogą przemiany α , bądź przemiany β . Studjowanie tych przemian prowadzi do wniosków, które w formie nieco uproszczonej dają się przedstawić, jak następuje. Energia przemiany α jest wielkością ściśle oznaczoną, energia przemiany β jest wielkością nieoznaczoną. W istocie wiemy, że prędkości cząstek β , t. zw. pierwotnych, posiadają wartości, stanowiące w pewnym dość znacznym przedziale zbiór ciągły, natomiast prędkości cząstek, przynajmniej niektórych, pierwiastków promieniotwórczych — a jak do niedawna sądzono — wszystkich, są dokładnie jednakowe we wszystkich indywidualnych przemianach. Tak zatem tylko przemiany α pozwalają nam wyznaczyć różnicę zawartości energetycznej jąder poszczególnych pierwiastków. Ponadto jednak poznajemy również zmiany stanu tego samego jądra w znaczeniu spektroskopistów, w znaczeniu chemików, w znaczeniu zwykłym. Wyrażają się one w promieniowaniu γ . Promieniowanie to uważamy za skutek wzbudzenia jądra do stanu o większej energii, do wyższego poziomu, jak się mówi w spektroskopji. Ma to miejsce niemal zawsze natychmiast po przemianie β , niekiedy również i po przemianie α . Częstości promieni γ , wyznaczone sposobami, o których nie będziemy tu mówić, dają się w niektórych przypadkach uporządkować w myśl optycznej zasady kombinowania poziomów, przez założenie istnienia pewnej liczby stanów wzbudzonych, oraz stanu normalnego, niewzbudzonego. Widzimy zatem, że zjawiska promieniowania α i γ przebiegają zgodnie z wyżej wymienionym postulatem stanów kwantowych i jest rzeczą naturalną doszukiwać się związku między temi typami promieniowania.

Związek ten został istotnie niedawno wyjaśniony, dzięki odkryciu t. zw. cząstek o długim zasięgu oraz t. zw. struktury subtelnej widma cząstek α . Rozpatrzmy przypadek, gdy po przemianie β następuje przemiana α . Jak już wiemy, przemiana β pozostawia jądra w stanie wzbudzonym, ich powrót do stanu normalnego następuje w jednym lub w kilku etapach. Jeżeli jednak, uprzedzając dalszy ciąg wykładu, założymy, że jądro składa się między innymi z cząstek α , jako z elementów swej budowy, i stan wzbudzony, przez analogję z optyką, rozumieć będziemy, jako przejście cząsteczki α na wyższy poziom energetyczny, możemy sobie wyobrazić, że powrót jądra ze stanu wzbudzonego odbędzie się nie przez emisję kwantu γ , lecz przez wyrzucenie jednej z cząstek α tego jądra. Jasną jest rzeczą, że w tym przypadku cząstka α uniesie ponad zwykłą wartość energii, charakterystyczną dla cząstek α danego jądra, pewien nadmiar energii, mianowicie energję wzbudzenia. Cząsteczka ta musi zatem posiadać zasięg większy od zwykłego. Zresztą prawdopodobieństwo takiego zdarzenia jest bardzo niewielkie, jak wynika z teorii emisji cząstek α oraz ogólnej teorii trwania stanów wzbudzonych. Stąd wniosek, że tylko nieliczne cząstki mogą posiadać zasięgi dłuższe od normalnych. Istnienie cząstek α o długim zasięgu zostało odkryte już dość dawno temu przez lorda Rutherforda; w nowszych czasach sumienne badania Pami Meitner i Philippa oraz Rutherforda, Wynn-Williamsa i Warda usła-

lają w przypadku RaC' i ThC' względną liczbę i zasięgi tych cząstek. Liczba ta jest rzędu kilku lub kilkunastu na milion cząstek normalnych.

Jeżeli pochodzenie tych cząstek jest istotnie takie, jak to podaliśmy wyżej, powinniśmy mieć $E_{ij} = h\nu_r$, gdzie E_{ij} jest różnicą energii dwóch jakichkolwiek grup cząstek o długim zasięgu, ν_r zaś jest jedną z częstości widma γ RaC, wzgl. ThC. W widmie γ RaC istnieje nawet kilka prążków o dość znacznym natężeniu, które dają się przedstawić w powyższy sposób, natomiast w przypadku ThC objaśnienie to nie daje się zastosować choćby z tego powodu, że widmo γ nie należy do ThC, lecz do ThC'' według schematu

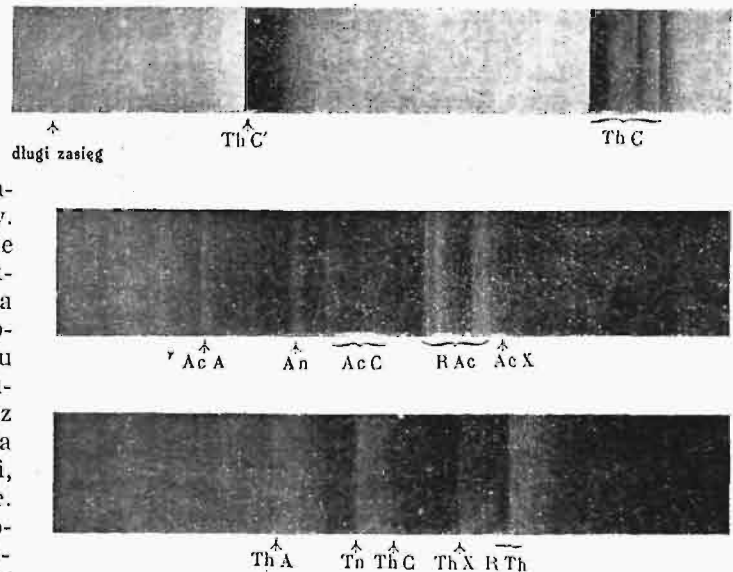


i tem samym nie może mieć wpływu na promienie ThC'.

Bardziej przekonujące są badania nad związkiem promieni α i γ , który odśladania dokonane przez Rosenbluma odkrycie t. zw. struktury subtelnej promieni α . Odchylając promienie zapomocą wielkiego elektromagnesu Akademii Paryskiej w Bellevue, w ten sposób, iż opisywały pełne półkole, tworząc, jak w znanej metodzie Danysza, ostry obraz źródła, Rosenblum wykrył, że niektóre pierwiastki wysyłają promienie złożone z grup o ściśle oznaczonych prędkościach. Rys. 1 przedstawia strukturę subtelną promieni ThC. Sprawa tą zajął się natychmiast szereg badaczy. Strukturę subtelną posiada promieniowanie Ra, RaC, AcC, AcX, An, Rth. Zjawisko struktury subtelnej różni się ilościowo od zjawiska długich zasięgów tem, że liczba cząstek w poszczególnych grupach jest w tym przypadku tego samego rzędu, co liczba cząstek w grupie głównej. Oznaczmy energję grup przez E, E_1, E_2 i t. d. Moglibyśmy sądzić, że energja przemiany może przybierać te różne wartości, że nie jest zatem określona jednoznacznie. Rozumowanie takie jest jednak zbyt uproszczone, opiera się ono milcząco na założeniu, że jądro w stanie normalnym ulega przemianie jedynie na inne jądro, również w stanie normalnym. Założmy natomiast, że nowe jądro może powstawać w stanie wzbudzonym do poziomu e_1, e_2 i t. d. W takich przemianach energja wydzielona wynosić powinna $E - e_1 = E_1, E - e_2 = E_2$ i t. d. Innemi słowy, struktura subtelna świadczy o istnieniu poziomów $E - E_1, E - E_2$ i t. d., gdzie E oznacza energję cząstek normalnych. Słuszność hipotezy można sprawdzić, badając częstości promieniowania γ , następującego natychmiast po danej przemianie α : kwanty tego promieniowania winny równać się wspomnianym różnicom energii. Nie możemy wchodzić w szczegóły: powiemy krótko, że naogół ta prosta konsekwencja teorii stanów wyróżnionych sprawdza się doskonale we wszystkich badanych dotąd przypadkach.

Zagadnienie związku między promieniami γ i α posiada jeszcze inne nader ciekawe oblicze. Jeżeli promienie γ pochodzą ze stanów wzbudzonych jądra, to należy oczekiwać, że są w stanie wzbudzić

jądra materji, przez które przechodzą. Innemi słowy, zachodzi absorpcja jądrowa promieni γ . Gdyby takiej absorpcji jądrowej nie było, promienie γ ze względu na wielkość ich kwantu, wielokrotnie przewyższającą wielkość energii wiązań wewnątrzatomowych (elektronowych), powinnyby być pochłaniane przez materję w stopniu proporcjonalnym do koncentracji elektronów w jednostce materji, niezależnie od natury pierwiastka, gdyż wszystkie elektrony K, L, M i t. d. zachowują się względem promieni γ jak elektrony swobodne. Współczynniki absorpcji *atomowe*, t. j. odniesione do jednego atomu, winny być proporcjonalne, do liczby porządkowej, czyli do liczby elektronów w atomie. W rzeczywistości, jak to wykazały prace p. Meitner, Jacobsona, Chao, Tarranta i Graya, współczynniki atomowe absorpcji promieni γ bardzo twardych, np. promieni γ ThC'', rosną ze wzrostem liczby porządkowej szybciej, niż ta liczba: nadwyżka wynosi ok. 30% w przypadku ołowiu. Jest rzeczą naturalną przypisać tę nadwyżkę absorpcji jądrowej. Zachodzi pytanie, w czym wyraża się ta absorpcja? Jak wiadomo, absorpcja w elektronach polega prze-



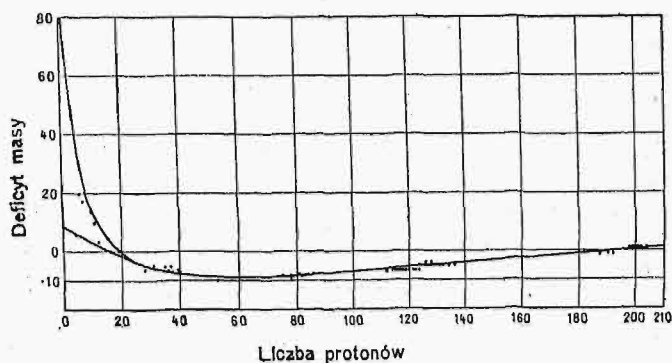
Rys. 1. Struktura subtelna promieni α .

Każdy z prążków na zdjęciach odpowiada grupie promieni α o ściśle oznaczonej prędkości. Są to t. zw. widma magnetyczne promieni α . Zdjęcie górne przedstawia widmo toru ThC i ThC', następnie — widmo pochodnych aktywno AcA, An, AcC, RaC, AcX, najniższe — widmo pochodnych toru ThA, Tn, ThC, ThX, RTh. Jak widać, niektórym pierwiastkom, np. ThC' i AcA, odpowiada jeden tylko prążek, większość innych posiada strukturę subtelną, która jest najwidoczniejsza w przypadku ThC. Prędkości maleją na zdjęciach od lewej do prawej ręki. Na zdjęciu górnym widać słabo zaznaczony, silnie odchylony prążek, odpowiadający cząstkom o długim zasięgu ThC'.

ważnie na efekcie Comptona i w słabym tylko stopniu na zjawisku fotoelektrycznym. Według p. Meitner i Hupfelda oraz Tarranta Graya, skutkiem absorpcji jądrowej jest reemisja promieniowania γ z wydajnością tem większą, im jądro jest cięższe. Według ostatnich autorów, promieniowanie wtórne jądra utworzone jest z dwóch składników o energii kwantowej 1 miliona i 0,5 miliona woltelektronów. Natura tych składników nie zależy od rodzaju pochłaniającej materji, zmienia się tylko ich względne natężenie oraz całkowite natężenie, proporcjonalne w pierwszym

przybliżeniu do kwadratu liczby atomowej. T a r a n t i G r a y czynią wielce ciekawe przypuszczenie, że promienie γ wzbudzą heljony¹⁾ wewnątrz jąder. Promieniowanie jądrowe ma być fluorescencją heljonów. Zauważymy jeszcze, że — jak to pokazał H e r s z f i n k i e l, a potwierdzają wspomniani autorzy — liczba elektronów wtórnych wysyłanych przez jądra jest również większa, niż to wynika z wielkości efektu Comptona, obliczonej na podstawie znanego wzoru Klena - Nishiny oraz z wielkości efektu fotoelektrycznego. Jest jednak rzeczą nieustaloną, czy ów nadmiar elektronów przypisać należy jądrze; możliwe, że świadczy on tylko o niedoskonałości wzoru Klena - Nishiny.

Po tej dygresji powrócimy do głównego zagadnienia, t. j. do zagadnienia budowy jądra. Biorąc rzeczy ściśle logicznie, istnienie ciągłego widma β uniemożliwia konsekwentną teorię budowy jądra,



Rys. 2. Krzywa deficytu masy.

Deficyt masy przedstawiony jest jako funkcja liczby protonów w jądrze, t. j. liczby całkowitej, najbardziej zbliżonej do masy atomowej danego jądra. Rzędniemi są deficyty masy „przeciętnego protonu w jądrze”, t. j. różnica między przeciętną masą protonu w danym jądrze a jednością. Liczby te otrzymujemy, dzieląc przez liczbę protonów ułamek, który dodać trzeba do liczby protonów, by otrzymać rzeczywistą masę danego jądra.

opartą na istnieniu stanów wyróżnionych. Jednakże uważamy za ważniejsze wnoszenie budowy tymczasowych, mieszczących i porządkujących choćby część danych doświadczalnych, od biernego wyczekiwania chwili, gdy teoria zupełna stanie się możliwa. Radzimy sobie w ten sposób, że przemiany β prowizorycznie ignorujemy i zakładamy, że jądra różnych odmian izotopowych posiadają ściśle określone zawartości energii. W tym stanie rzeczy tablica mas atomowych, jakiej dostarcza nam spektrografia masowa, jest równoważna tablicy wartości energetycznych jąder. W interpretacji tych danych czynimy, jak wiadomo, założenie, że pracogielką materjalną wszystkich jąder jest p r o t o n. Ponieważ jednak nabój jądra jest zawsze mniejszy od sumy nabożów zawartych w niem protonów, przeto możnaby sądzić, że jądra muszą zawierać również pewną liczbę elektronów, a wówczas sprawa nieoznaczoności ich energii, o której mówiliśmy poprzednio, staje przed nami w całej ostrości. Za chwilę zobaczymy, że jest wyjście z tej sytuacji. Narazie rozpatrzmy wyniki A s t o n a, poczytując jądra za utworzone z protonów i elektronów, tak jakgdyby zasada zachowania energii stosowała się również i do elektronów. Chcąc w wy-

¹⁾ Będziemy używali nazwy „heljon” równoległe z nazwą „cząstka α ”.

nikach tych dopatrywać się wskazówek o genezie pierwiastków, zakładamy, że jądra o coraz większej masie powstają przez kolejne wchłanianie protonów przez jądra lżejsze i że taka synteza w tym przypadku tylko odbywać się może samorzutnie, gdy towarzyszy jej wydzielanie się energii, t. j. (w myśl zasady równoważności masy i energii), utrata masy. Innemi słowy, przyłączenie się samorzutne protonu o masie m_H do jądra o masie m_n wtedy tylko jest możliwe, gdy $m_{n+1} < m_n + m_H$. Wiadomo, że najbardziej przejrzyste jest takie uporządkowanie tych wyników, w którym podane są t. zw. *deficyty masy*, t. j. odchylenia masy atomowej od liczby całkowitej. Ponieważ masa protonu swobodnego jest znacznie (blisko o 80%) większa od jedności, przeto liczba ta nie daje bezpośrednio ilości energii wydzielonej w związaniu się np. n protonów i m elektronów w jądro o masie atomowej $A = n$ i liczbie porządkowej $Z = n - m$. Jednakże fakt, że deficyt masy, jak widać na znanej krzywej A s t o n a (rys. 2), przechodzi przez minimum w okolicy $Z = 30$, poczem wzrasta, dowodzi, że energia wiązania protonu stopniowo słabnie wraz ze wzrostem masy jądra. Podkreślić należy z naciskiem, że to zmniejszanie się energii wiązania bynajmniej nie tłumaczy jeszcze nietrwałości jąder ciężkich, np. promieniotwórczych, gdyż samorzutne utworzenie się jądra o masie $n + 1$ z jądra o masie n i z protonu tylko w tym przypadku byłoby energetycznie niemożliwie, gdyby $m_{n+1} > m_n + m_H$ ^{1,0073}. Innemi słowy deficyt masy musiałby wzrastać przeszło o 0,0073, gdy n wzrasta o 1. Krzywa Astona daleka jest od takiego przebiegu, przysto deficytu masy, gdy masa wzrasta o 1, jest bardzo powolny. Natomiast, gdy masa wzrasta o 4, przyrost ten, w części krzywej odpowiadającej pierwiastkom ciężkim, jest większy od 0,0011, t. j. od deficytu masy heljonu. Możemy zatem napisać

$$m_{n+4} > m_n + 4m_H,$$

gdy n jest duże. Ta okoliczność tłumaczy nam, dlaczego jądra ciężkie mogą samorzutnie rozpadać się drogą utraty cząstek α .

Całkowitą korzyść z tablicy wartości energetycznych jąder odniesiemy wtedy dopiero, gdy będzie obejmowała wszystkie jądra, gdy dokładność jej będzie jeszcze większa niż obecnie, wreszcie, gdy zdobędziemy jasne wyobrażenie o liczbie i naturze elementarnych składników jądra. Zajmijmy się tem zagadnieniem.

Wspominałem już, że stanowisko prowizoryczne teoretyka jądra wobec przemian polega poprostu na ich ignorowaniu. Jest to grzech przeciw logice, istnieje jednak szereg okoliczności łagodzących, które zmniejszają jego doniosłość. Elektrony czynią niejako wszystko, co jest w ich mocy, by dać o sobie zapomnieć. Gdyby jądra utworzone były istotnie z protonów i elektronów, jako niezależnych elementów konstrukcyjnych, wówczas musiałoby być możliwe powstanie *izobaru*¹⁾ o Z mniejszem z izobaru o Z większem, np. złota z rtęci, przez wtargnięcie elektronu do jądra rtęci, przez odwrócenie przemiany β . W rzeczywistości, pomimo licznych prób, niekiedy przedwcześnie rozreklamowanych, nie dało się dotąd nigdy wbić elektronu

¹⁾ Izobarami nazywamy pierwiastki o jednakowej masie atomowej i różnej liczbie porządkowej Z .

w jądro, co jest tem bardziej uderzające, że jądro, jako dodalnie, winno przyciągać elektrony. Można by odpowiedzieć na ten argument, że niemożność sztucznego wywołania pewnej przemiany nie jest jeszcze dowodem, że nie zachodzi ona w naturze, ale bądź co bądź dziwne jest, że tylko tej, pozornie najłatwiejszej przemiany, nie umiemy zrealizować, gdy znamy już dzisiaj, o czem mowa będzie za chwilę, tyle innych typów sztucznej syntezy jąder. Bardziej jeszcze znamienne jest, że dostępne pomiarom własności jądra: jego spin oraz charakter statystyczny są całkowicie niezależne od obecności elektronów w jądrze. Można powiedzieć, że elektrony istnieją w jądrze w stanie zamaskowanym, rola ich ogranicza się do zmniejszenia całkowitego naboju jądra. Przeważa obecnie pogląd, że jądro nie zawiera elektronów wolnych, co oznacza, że w rozważaniach matematycznych, dotyczących budowy jądra, elektron wogóle nie wchodzi w rachubę.

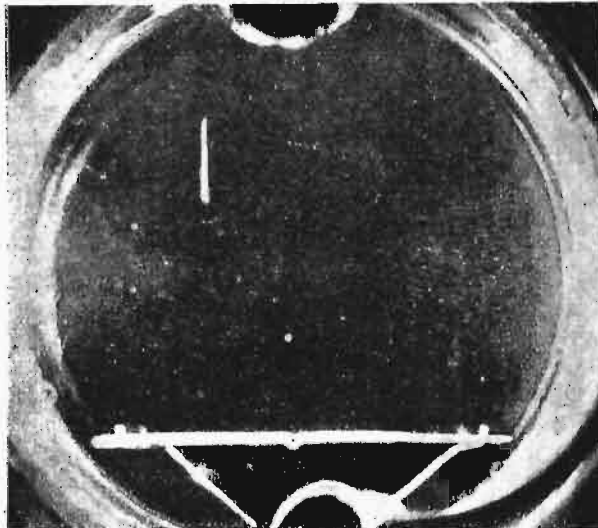
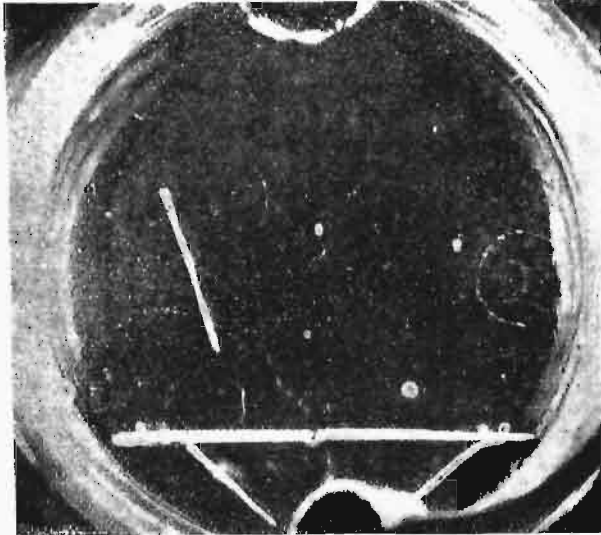
Przystępując z kolei do ustalenia natury innych składników jądra, zatrzymamy się na chwilę tylko na protonie. Jakkolwiek „obrona protonu” może się wydać zbyt zbyteczna, można przytoczyć, jako bezpośrednie dowody istnienia protonów w jądrach, po pierwsze, zjawiska rozbijania przez cząsteczki α pierwiastków lekkich, którym towarzyszy emisja protonów, po drugie odwrócenie tych zjawisk, mianowicie dezintegrację jąder drogą bombardowania ich protonami, dokonaną świeżo przez Cockrofta i Waltona. Następuje wówczas, jak o tem mowa będzie w dalszym ciągu, pochłonięcie protonu przez jądro i emisja heljonu. W zupełnie podobny sposób, opierając się ponadto na istnieniu samorzutnych przemian α , możemy twierdzić, że również i heljony są składnikami budowy jąder. Heljon jest utworem energetycznie bardzo trwałym, jego powstaniu z 4 protonów towarzyszy znaczne wydzielenie energii, jak widać ze wzoru: $m_{He} = 4 m_H - 0,026$. To też jest rzeczą ponętną, dopatrywać się w heljone elementu konstrukcyjnego par excellence, jak gdyby gotowego bloku cegiełek, szczególnie dogodnego przy wznoszeniu budowli. Gamow założył, że każde jądro zawiera maksymalną liczbę heljonów, jaka daje się utworzyć z danej liczby protonów, np. jądro o masie $4n + a$, gdzie $a < 4$, zawiera n heljonów. Wobec tego, że heljony posiadają podwójny nabój elementarny dodatni, a zatem odpychają się wzajemnie, powstaje pytanie, jakie są siły, wiążące je w większą całość. Na pytanie to nie umiemy dać odpowiedzi; musimy pozostać na przypuszczeniu, że w odległościach bardzo małych elektrostatyczne siły odpychania ustępują miejsca siłom przyciągania. Że siły takie — których natura jest dotąd zagadką — istnieją, o tem świadczą pewne anomalje w rozpraszaniu cząstek przez jądra, anomalje, o których mowa będzie w dalszym ciągu. Według Gamowa, w jądrach bardzo lekkich, a więc posiadających bardzo małe wymiary, siły te dominują nad wszystkimi innymi i nadają jądrum wielką spójność i trwałość. Natomiast w jądrach ciężkich, w których wzajemne odległości heljonów są większe, pojawiają się i uzyskują przewagę odpychania elektrostatyczne: stąd nietrwałość jąder największych, najcięższych, której wyrazem są samorzutne przemiany promieniotwórcze. Ta hipoteza Gamowa, zmniejsza nieco kłopot, jakiego przysparzają nam elektrony, gdyż heljony występują jako

samodzielne jednostki, elektrony w nich zawarte są naprawdę zamaskowane i mogą nie być brane w rachubę. Ponieważ każdy heljon zawiera 2 elektrony, przeto na każde cztery jednostki ciężaru atomowego mamy dwa elektrony nieczynne. Jednakże, z wyjątkiem niektórych pierwiastków lekkich (hel, węgiel, azot i t. d.), liczba porządkowa jest mniejsza od połowy masy atomowej, a zatem liczba elektronów w jądrze *większa* od połowy masy atomowej. Np. w jądrze uranu, którego masa wynosi 238, liczba porządkowa zaś 92, istnieje 146 elektronów. Ponieważ w tem jądrze, zgodnie z postulatem Gamowa, istnieje $236/4 = 59$ heljonów, przeto we wspomniany sposób możemy „ukryć” tylko 118 elektronów, a co do pozostałych 28 nie ma, jak możnaby sądzić, innego wyjścia, jak założenie, że istnieją w jądrze, jako samodzielne jednostki. Trudność tę rozwiązuje *hipoteza neutronów*, wygłoszona po raz pierwszy przez Bragg'a i Rutherforda, następnie rozwijana przez G. Fourniera, a w ostatnich czasach potwierdzona przez odkrycia małżonków Joliot, odkrycia, których właściwą interpretację podał uczeń i współpracownik lorda Rutherforda, J. Chadwick. Neutron — to cząstka o masie 1 (w jednostkach ciężaru atomowego), o naboju 0, jest to zatem proton, którego nabój uległ zobojętnieniu. Należy wyobrazić sobie neutron, jako utwór, wynikły ze złączenia się protonu z elektronem, jak gdyby atom wodoru skurczony do ostatecznych granic.

Punktem wyjścia odkrycia neutronów były prace Bothe'go i Becker'a, dotyczące emisji promieniowania γ przez jądra lekkich pierwiastków, bombardowanych promieniami α . Najsilniejsze promieniowanie pochodzi od berylu, boru i litu, energia kwantu α obliczona na podstawie absorpcji waha się, według Bothe'go, od miliona do kilku milionów woltelektronów; promienie te są bowiem nieco bardziej przenikliwe od najtwardszych, jakie znamy, promieni γ naturalnych. Małżonkowie Joliot badali promienie berylu, boru i litu za pomocą komory jonizacyjnej, połączonej z niezmiernie czułym elektrometrem (Hofmanna) i zamkniętej od strony źródła blaszką glinową grubości 0,01 mm. Na drodze promieni ustawiali różne substancje pochłaniające i zauważyli, że prąd jonizacyjny wzrasta niemal dwukrotnie, gdy ekran utworzony jest z materji, bogatej w wodór, np. z parafiny. Jest rzeczą zadziwiającą, że badacze ci, mając do czynienia z promieniami o tak wielkiej przenikliwości, użyli jako substancji pochłaniającej materji tak lekkiej. Trudno powiedzieć, czy to był szczęśliwy przypadek, czy genialna intuicja. Uczeń francuscy¹⁾ stwierdzili, że wzrost prądu jonizacyjnego należy przypisać promieniowaniu wtórnemu, wzbudzonemu przez promienie berylu w parafinie. Charakter tego promieniowania, jego wydajna zdolność jonizacyjna oraz bardzo mała przenikliwość przekonały ich niebawem, że polega ono na emisji protonów z parafiny pod wpływem promieniowania berylu. Przypuszczenie to zostało potwierdzone przez nich i przez A. Ugera za pomocą zdjęć w komorze Wilsona. Na rys. 3 widzimy odbitki takich zdjęć: jasne smugi—

1) Pani Joliot jest córką pani Curie i prace swe ogłasza pod nazwiskiem Ireny Curie.

to ślady protonów, wyrzuconych z umieszczonej w komorze blaszki parafiny lub ze znajdującej się w niej zawsze pary wodnej. Odkrycie małżonków Joliot wzbudziły powszechne zainteresowanie i wkrótce potem Chadwick ze współpracownikami pokazał, że pod wpływem promieni berylu zachodzi również emisja jąder innych lekkich pierwiastków, np. helu lub azotu. Wyznaczając wytworzo-



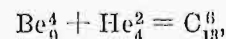
Rys. 3. Fotografje śladów protonów, rozpedzonych przez neutrony.

Punktem wyjścia toru protonu na górnym zdjęciu jest (nie-widoczny) skrawek parafiny, bombardowany przez neutrony. Na zdjęciu dolnym proton wyrzucony został z cząsteczki pary wodnej. Jak widzimy, sam neutron nie pozostawia po sobie żadnego bezpośredniego śladu.

ną przez te jądra jonizację zapomocą komory połączonej ze wzmacniaczem wielolampowym, fizycy angielscy mogli ustalić wartość maksymalną energii kinetycznej rozpedzonych jąder. Małżonkowie Joliot sądzili, że obserwowane przez nich zjawisko jest rodzajem efektu Comptona, w którym kwanty promieniowania gamma udzielają prędkości nie elektronom, lecz protonom lub innym jądrom. Hipoteza ta jednak nie dała się utrzymać. Nie możemy tu wchodzić w szczegóły, podamy tylko główne argumenty, które przemawiają przeciwko niej. Jeżeli jądra uzyskują istotnie pręd-

kości wskutek zderzenia z kwantami, możemy na podstawie ich energii kinetycznej wyliczyć wielkość kwantu γ . Otrzymujemy w ten sposób wartości niezmiernie wysokie, np. kwanty zdolne do nadania protonom obserwowanej prędkości musiałyby mieć energję, rzędu 50 milionów woltelektronów, co jest zgoła nieprawdopodobne, gdyż stoi w sprzeczności z wartością współczynnika ich absorpcji, pozatem nie umiemy sobie wyobrazić procesu jądrowego, któremu towarzyszyłoby aż tak znaczne wydzielanie energii. Bardziej jeszcze ważki jest fakt, że energja kwantu wyliczona na podstawie domniemanego efektu Comptona nie jest jednakowa w przypadku wszystkich jąder, lecz wzrasta szybko wraz z ich masą, np. w przypadku jąder azotu energja ta musiałaby być większa od 100 milionów woltelektronów. Wobec tych trudności, Chadwick postawił śmiało hipotezę, że przyczyną zjawiska są nie kwanty γ , lecz neutrony. Zaznaczymy mimochodem, że jest rzeczą psychologicznie zrozumiałą, iż koncepcja ta zrodziła się w umyśle badacza, który w ciągu wielu lat współpracował z Rutherfordem i w środowisku, w którym niejednokrotnie omawiano hipotezę istnienia neutronów.

Na pierwszy rzut oka nie widzimy związku między neutronami a odkryciem małżonków Joliot; nasuwa się pytanie, co właściwie ma być źródłem powstawania neutronów i dlaczego one to mają być odpowiedzialne za owe szczególne, dotąd niespotykane w nauce efekty. Zastanówmy się przeto bliżej nad tem, co zająć może, gdy cząstki trafiają w jądra berylu. Już Bothe i Becker założyli, że następuje wówczas synteza jądrowa: jądro berylu łączy się z cząstką, wytwarzając jądro izotopu węgla, według wzoru „alchemicznego”:

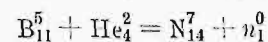


(liczby górne oznaczają liczbę porządkową, liczby dolne zaś — masę danego jądra).

Jak już zaznaczyliśmy, analizując krzywą Astona w dziedzinie pierwiastków lekkich, powstawaniu jąder złożonych i jąder prostszych towarzyszy wydzielanie się energii. Bothe i Becker sądzili nawet, że kosztem tej właśnie energii powstaje promieniowanie γ berylu. Wyobraźmy sobie jednak za Chadwickiem, że świeżo utworzone jądro C_{13} jest nietrwałe i zamienia się natychmiast na jądro głównego izotopu węgla, to jest C_{12} . Ponieważ nabój tych jąder jest jednakowy, przeto przemianie tej towarzyszyć musi jednoczesna emisja protonu i elektronu. Jest rzeczą niezmiernie ponętną założyć, że są to idealne warunki do wyzwolenia się neutronów, to jest, że proton i elektron są wysyłane nie osobno, lecz jako jedna całość. Zastanówmy się teraz nad tem, w jaki sposób ten ciekawy domysł zdać może sprawę z obserwowanych faktów. Promienie berylu są nadzwyczajnie przenikliwe; łatwo pokazać, że cecha ta winna przysługiwać neutronom. W istocie neutron jest układem elektrycznym niemal zupełnie obojętnym; jeśli mu przypiszemy wymiary jakiegoś lekkiego jądra, np. protonu, pole elektryczne, jakie wytwarza, powinno być znikomo małe w odległości rzędu wymiarów atomowych, neutron wywierać może zatem działania na inne jądra lub elektrony jedynie z odległości niezmiernie małej, powiedzmy obrazowo w bezpośrednim zetknięciu. Stąd wynika, że neutron

znajduje na swej drodze bardzo mało sposobności do utraty swej energii kinetycznej; innymi słowy, promieniowanie neutronowe posiadać winno cechy promieniowania przenikliwego, takiego właśnie, jakim jest promieniowanie berylu. Wyobraźmy sobie jednak, że nastąpi zderzenie neutronów z protonem lub innym jądrem. Nie znamy co prawda natury sił, które wówczas w grę wchodzi, możemy jednak z całkowitą pewnością założyć, że zderzenie takie odbywa się zgodnie z podstawowymi prawami mechaniki, to jest z prawem zachowania energii i pędu. Jeżeli tak jest istotnie, możemy na podstawie obserwowanych maksymalnych wartości energii kinetycznej rozpędzanych jąder wyliczyć energię kinetyczną neutronu. Np. w przypadku spotkania neutronu z protonem energie te winny być sobie równe. Decydującym argumentem na korzyść hipotezy Chadwicka była okoliczność, że wyliczona w ten sposób energia neutronów jest niezależna od natury uderzanych jąder i wynosi w przypadku neutronów berylu około 6 milionów woltelektronów, co jest wielkością całkiem prawdopodobną w procesie jądrowym uważanego typu. To też hipoteza Chadwicka została ogólnie przyjęta: posługiwano się nią w licznych pracach, poświęconych neutronom, jakie wykonane zostały w ostatnich miesiącach w Cambridge przez Feathera i Deea, w Paryżu przez małżonków Joliot, Augera, de Broglie'a, Thiebauda i Leprince-Ringueta, w Berlinie przez Rasettiego, w Wiedniu przez Kirscha. Okazało się, że neutrony wysyła nie tylko beryl, lecz również bor i lit. Jako źródło promieniowania α , bombardującego te pierwiastki, używano bądź polonu, bądź radonu z jego pochodniami. Ponieważ jedynym znanym działaniem neutronów jest rozpędzanie lekkich jąder, przeto metoda badań polega zasadniczo na tem, że promienie berylu, boru i litu (po uprzednim przepuszczeniu przez ekran, pochłaniający promienio-

wania innej natury, o których bliżej mówić nie będziemy) skierowujemy neutrony do odbiornika (komory Wilsona lub jonizacyjnej) i badamy rozpędzone przez nie jądra. W ten pośredni sposób zdołano ustalić szereg własności neutronów. Na pierwszym miejscu wymienić należy przybliżone wyznaczenie masy neutronów. Posiłkujemy się przy tem tak zwaną metodą bilansu energetycznego, stosowaną często w zjawiskach dezintegracji szlucznej, wywołanej przez promienie α . Wymaga ona dokładnej znajomości mas wszystkich jąder, wchodzących w grę w zjawisku powstania neutronu, i dlatego nie może być zastosowana w przypadku promieni berylu, gdyż jedynymi danymi, na których się można opierać, są dane spektrografji masowej, a dotąd nie udało się na tej drodze wyznaczyć masy atomowej berylu, natomiast masy atomowe izotopów boru zostały dokładnie wyznaczone przez Astona. W przypadku neutronów boru reakcja „alchemiczna” pisze się jak następuje:



(symbol n oznacza neutron). Odpowiadające tej reakcji równanie bilansu energetycznego napiszemy, oznaczając przez E energię równoważną masie danego jądra, przez L — energię kinetyczną, jak następuje:

$$E_B + E_{He} + L_{He} = E_N + E_N + L_n + L_N.$$

Masa jądra boru wynosi 11,00825, heljonu 4,00106, jądra azotu 14,0042, energia kinetyczna heljonu (w jednostkach masy) 0,00565, energia neutronu 0,0035, energia jądra azotu 0,00061. Stąd wyliczamy, że masa neutronu wynosi 1,0067. Jest zatem mniejsza od masy protonu o 0,001, a może o 0,002, gdyż wyznaczenie powyższe nie jest bardzo dokładne. Dochodzimy wobec tego do wniosku, że syntezie neutronu z elektronu i protonu towarzyszy wydzielenie energii rzędu jednego do 2 milionów woltelektronów. (d. n.).

Strata wylotowa w turbinach parowych*)

Napisał Aleksander Jerzy Uklanski, inżynier - mechanik.

Zagadnienie straty wylotowej, posiadające pierwszorzędne znaczenie dla projektowania i ruchu turbin parowych, było już wielokrotnie poruszane i wyjaśniane z różnych stron. Zadaniem artykułu niniejszego jest ujęcie całości zagadnienia oraz uwydatnienie pewnych szczegółów, które nie były jeszcze, lub też w mierze niedostatecznej, przedstawione w literaturze.

Strata wylotowa zmniejsza przedewszystkiem sprawność turbiny i stanowi — zwłaszcza w turbinach o wielkiej mocy i dobrej próżni — stosunkowo dużą pozycję w porównaniu ze stratami wewnętrznymi. Racjonalny wybór wielkości straty wylotowej zgóry przy projektowaniu turbiny pozwala osiągnąć najmniejszy możliwy w danych warunkach rozchód ciepła, względnie najmniejszy możliwy koszt jednostki wytworzonej energii, a gra-

nica wielkości straty wylotowej określa pośrednio moc graniczną turbiny. Wreszcie znajomość zmienności straty wylotowej z obciążeniem turbiny pozwala na dokładniejsze określenie zmian rozchodu pary.

Wielkość straty wylotowej, zarówno jak i jej zmienność z obciążeniem, związane są ściśle z wielkością i zmiennością próżni za ostatnim wieńcem wirnika (czy też u wejścia pary do skraplacza), zatem przedstawienie zagadnienia straty wylotowej wymaga również krótkiego omówienia tej dziedziny.

Związki i pojęcia ogólne.

Według znanego równania bilansu energii, praca wewnętrzna 1 kg pary w turbinie może być wyrażona wzorem

$$H_i = i_1 - i_2 - \frac{1}{2g} (c_2^2 - c_1^2),$$

w którym i_1, i_2 oznacza zawartość ciepła, zaś c_1, c_2 — szybkość bezwzględna pary przed i za turbiną.

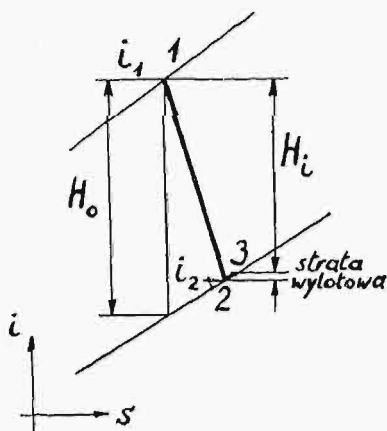
*) Referat, wygłoszony na VI Zjeździe Inż. Mechaników Polskich (w maju r. ub.).

We wzorze tym nie jest uwzględniona strata zewnętrzna ciepła przez promieniowanie i przewodzenie. Pomijając także wyraz $Ac_2^2 : 2g$, jako posiadający wartości nieznaczne w porównaniu z innymi (np. ok. 0,2 Kal/kg dla $c_1 = 40$ m/sek), otrzymamy wzór zasadniczy

$$H_i = i_1 - i_2 - \frac{Ac_2^2}{2g} = \Delta i - \Delta i_a,$$

gdzie strata wylotowa $\Delta i_a = Ac_2^2 : 2g = c_2^2 : 8380$.

Praca wewnętrzna jest zatem mniejsza niż różnica zawartości ciepła, względnie różnica rzędnych $i_1 - i_2$ w układzie $i - s$ (rys. 1), o wielkość energii



Rys. 1.

kinetycznej pary odlotowej. Punkt 1 na rys. 1 określa stan pary przed zaworem głównym turbiny, punkt 2 — u wylotu z ostatniego wieńca wirnika. Wielkość $Ac_2^2 : 2g$ jest całkowicie stracona dla pracy wewnętrznej w turbinie, niestety byłoby jednak ozna-

czanie punktem 3 (na linii stałego ciśnienia) stanu pary zaraz za wylotem. Punkt ten nie ma związku bezpośredniego z obiegiem pary w turbinie, gdyż energia kinetyczna pary odlotowej nie zamienia się od razu całkowicie w ciepło.

Związki liczbowe straty wylotowej z innymi wielkościami wyprowadzić można na podstawie rys. 2, przedstawiającego trójkąt szybkości u wylotu z wieńca wirnikowego. Kąt β_2 jest kątem wyjściowym łopatki. Przyjmujemy, że szybkość względna w_2 tworzy ten sam kąt β_2 z obwodem. Szybkość bezwzględna c_2 , określającą stratę wylotową, wyznaczamy ze wzoru:

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 \sin^2 \beta_2 + (w_2 \cos \beta_2 - u)^2}.$$

Szybkość względna w_2 wynika z zależności $w_2 F_2 = V_2 = G v_2$, gdzie F_2 oznacza przekrój wylotowy, prostopadły do kierunku szybkości względnej, G — rozchód pary w kg/sek, zaś V_2 i v_2 — objętość całkowitą, względnie właściwą przepływającej pary.

Przekrój wylotowy $F_2 = \pi D l \delta \sin \beta_2$, przytem D i l oznaczają średnią średnicę i wysokość łopatek u wylotu z ostatniego wieńca, zaś δ — współczynnik zwięzienia z powodu grubości łopatek. Zakładając, że współczynnik ten nie zmienia się ze zmianą kąta β_2 (przynajmniej w niewielkich granicach), możemy dla danych D i l napisać $F_2 = \text{const.} \sin \beta_2$.

Jeżeli objętość pary V_2 jest stała, wówczas $w_2 = \text{const.} : F_2 = \text{const.} : \sin \beta_2$, albo też $w_2 \sin \beta_2 = \text{const.}$, a szybkość bezwzględna c_2 zależy tylko

od wyrazu $(w_2 \cos \beta_2 - u)$ i osiąga minimum (a wraz z nią i strata wylotowa), jeśli $w_2 \cos \beta_2 = u$. W tym wypadku $c_2 = w_2 \sin \beta_2 = u \operatorname{tg} \beta_2$, skąd $\sin \alpha_2 = 1$, $\alpha_2 = 90^\circ$.

Wynik ten oznacza, że przy obciążeniu, dla którego rozchód pary ma być najmniejszy, szybkość c_2 powinna być skierowana osiowo, czyli prostopadłe do obwodu. Nazywa się to wyjściem prostopadłym. Zatem przy obciążeniu ekonomicznym turbiny wyjście pary z ostatniego wieńca wirnika powinno być prostopadłe.

Oznaczając szybkość bezwzględną wylotową pary przy wyjściu prostopadłym do obwodu przez $c_{2, \text{norm}}$, a przekrój wylotowy, prostopadły do osi, przez $F_{2, \text{norm}} = F_2 : \sin \beta_2 = \pi D l \delta$, mamy $c_{2, \text{norm}} = V_2 : F_{2, \text{norm}} = G v_2 : \pi D l \delta$.

W praktyce, z rozmaitych względów, nie zawsze można tak dobrać przekrój wylotowy, aby przy obciążeniu ekonomicznym było $w_2 \cos \beta_2 = u$, i często kąt α_2 jest nieco mniejszy lub większy od 90° . Gra tu rolę przede wszystkim ograniczona w praktyce ilość rozporządzalnych profili łopatek i konieczność dostosowania turbiny projektowanej do posiadanego modelu. Oprócz tego wybór kąta α_2 różnego od 90° może być spowodowany przez chęć otrzymania określonej wielkości straty wylotowej przy obciążeniu częściowym.

Strata wylotowa a sprawność turbiny.

Praca wewnętrzna 1 kg pary w turbinie $H_i = \Delta i - \Delta i_a$, zatem sprawność wewnętrzna turbiny, t. j. stosunek pracy wewnętrznej do pracy teoretycznej (adjabatycznej) będzie

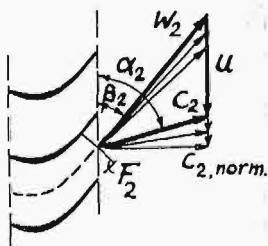
$$\eta_i = \frac{H_i}{H_0} = \frac{\Delta i - \Delta i_a}{H_0} = \frac{\Delta i}{H_0} - \zeta_w,$$

gdzie ζ_w oznacza stratę wylotową, jako część całkowitego spadku adjabatycznego H_0 .

Pierwszy wyraz możemy określić jako sprawność wewnętrzną maksymalną $\eta_{i, \text{max}}$, t. j. sprawność wewnętrzną, odpowiadającą turbinie bez straty wylotowej: $\eta_i = \eta_{i, \text{max}}$, gdy $\zeta_w = 0$.

Sprawność $\eta_{i, \text{max}}$ jest miarą strat, związanych z ułopatkowaniem turbiny i powstających wewnątrz turbiny, a więc strat tarcia i uderzeń pary w dyszach i łopatkach, wentylacji i tarcia części wirujących o parę, nieszczelności międzystopniowych i t. p. Wymienione straty zależą od stanu pary dolotowej, całkowitej ilości pary, przepływającej przez turbinę, sposobu wykonania dysz i łopatek, wreszcie od charakterystycznej liczby Parsonsa. Dla tych samych warunków pary dolotowej i tego samego typu turbin można przyjąć, że sprawność $\eta_{i, \text{max}}$ zależy tylko od ilości pary, a więc od mocy turbiny, i da się zgóry ustalić. W ten sposób ocena sprawności wewnętrznej η_i może następować na podstawie wielkości straty wylotowej.

Podobnie, jak sprawność wewnętrzna $\eta_{i, \text{max}}$, można również przyjąć, że i sprawność mechaniczna η_m zależy tylko od mocy turbiny, przytem w szerokich granicach obciążenia jest prawie stała. Możemy zatem przez analogję nazwać termodynamiczną (albo efektywną) sprawnością maksymalną iloczyn $\eta_{i, \text{max}} \cdot \eta_m = \eta_{e, \text{max}}$ i przyjąć, że zależy on tylko od mocy turbiny. Sprawność termodyna-



Rys. 2.

miczna (efektywna) $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = (\eta_{i, \max} - \zeta_w) \cdot \eta_m = \eta_{e, \max} - \zeta_w \cdot \eta_m$. Zakładając $\zeta_w \cdot \eta_m \cong \zeta_w$, otrzymamy $\eta_e = \eta_{e, \max} - \zeta_w$.

Dla turbin pewnego typu i danych warunków pary dolotowej można ustalić wykres sprawności termodynamicznej największej $\eta_{e, \max}$ w zależności od mocy turbiny. W ten sposób ocena sprawności termodynamicznej η_e oraz rozchodu pary może się opierać również na podstawie wielkości straty wylotowej. Oprócz tego, z podanej wyżej zależności wynika, że dla dużych jednostek turbinowych, w których straty wylotowe mają poważną wielkość, przeliczanie rozchodu pary na inne warunki pracy, a w szczególności na inną próżnię, musi się odbywać z uwzględnieniem straty wylotowej.

Strata wylotowa zmniejsza sprawność turbiny, może jednak w pewnych warunkach mieć korzystny wpływ na sprawność ogólną turbiny wraz ze skraplaczem. Mianowicie, przyjęliśmy, jako miarodajną do obliczenia straty wylotowej, próżnię u wylotu z ostatniego wieńca wirnika, a zatem na początku nasady wylotowej między turbiną a skraplaczem. Nadanie parze, przepływającej przez tę nasadę, odpowiedniej — często dość wysokiej szybkości — oraz pokonanie oporów przepływu wymaga pewnej różnicy ciśnień na początku i na końcu nasady (t. j. u wylotu z turbiny i wlotu do skraplacza), co sprawia, że dobra próżnia, wytworzona przez skraplacz, może nie być całkowicie wyzyskana, a rozchód pary się powiększa. Racjonalne ukształtowanie nasady wylotowej pozwala uzyskać przepływ bez straty próżni, wytworzonej przez skraplacz, kosztem energii kinetycznej pary odlotowej, jeżeli będzie ona dostatecznie duża, a więc w turbinach o dużej mocy i dobrej próżni. W ten sposób część straty wylotowej może być odzyskana (co jednak nie ma wpływu na sprawność wewnętrzną samej turbiny). Przy projektowaniu turbiny można wówczas nie uwzględniać spadku ciśnienia w nasadzie wylotowej i przyjmować próżnię u wlotu do skraplacza równą próżni u wylotu z ostatniego wieńca wirnikowego.

Wielkość i zmienność próżni.

Jak wynika ze związków zasadniczych, szybkość wylotowa przy wyjściu prostopadłem $c_{2, \text{norm}} = V_2 : F_{2, \text{norm}} = G v_2 : \pi D l \delta$, zatem strata wylotowa

$$\Delta i_{a, \text{norm}} = c_{2, \text{norm}}^2 : 8380 = G^2 v_2^2 : 8380 (\pi D l \delta)^2.$$

Widoczna jest stąd paraboliczna zależność straty wylotowej od całkowitej objętości pary, względnie od objętości właściwej v_2 , jeżeli inne wielkości są stałe. Wówczas $\Delta i_{a, \text{norm}} = \text{const. } v_2^2$. Odpowiada to np. wypadkowi, gdy przy projektowaniu turbiny wymiary przekroju wylotowego, t. j. wielkości D i l , są już zgóry oznaczone ze względu na wybór określonego modelu turbiny, a ilość pary G , odpowiadająca pewnej mocy, zmienia się niewiele, albo, gdy stosunek $G : F_{2, \text{norm}}$ jest stały.

Objętość właściwa pary odlotowej zmienia się w przybliżeniu odwrotnie proporcjonalnie do ciśnienia, można przeto powiedzieć, że strata wylotowa zmienia się w przybliżeniu odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu przeciwności (wyrażonego w ata).

Przy projektowaniu turbiny, wielkość próżni, jaka da się wytworzyć w skraplaczu, jest do pewnego stopnia określona rozporządzalną temperaturą wody chłodzącej, a zależy przede wszystkim od ilości wody chłodzącej i jednostkowego obciążenia skraplacza, zaś w mniejszym stopniu od współczynnika przenikania ciepła oraz zawartości ciepła pary odlotowej (ze względu na nieznaczną zmienność obu tych wielkości). Istnieją pewne granice, pomiędzy którymi zmieniają się te wielkości, określając jednocześnie granice wyboru normalnej próżni dla danej temperatury wody chłodzącej. Wybór mniejszej albo większej próżni w tych granicach powinien uwzględniać, oprócz zmiany w rozchodzie pary, napędu pomp kondensacyjnych i kosztu skraplacza, także zmianę straty wylotowej, którą można przez odpowiednią zmianę próżni znacznie zmniejszyć lub powiększyć. Oprócz granic wymienionych, istnieje jeszcze jedna. Wybór modelu turbiny określa wielkość przekroju wylotowego i jednocześnie pewną największą objętość pary, która może przejść przez ten przekrój. Objętość właściwa pary określa dla danej próżni ilość pary, a zatem i moc turbiny. Drogą prób można określić największą możliwą jeszcze do wyzyskania przez turbinę próżnię, powodującą jednocześnie największą stratę wylotową. Przy wyborze próżni będzie chodziło w tym wypadku o określenie punktu, w którym strata rozchodu pary z powodu zmniejszenia próżni zrównoważy się zmniejszeniem mocy napędu pomp, zmniejszeniem kosztu skraplacza, wreszcie powiększeniem sprawności z powodu mniejszej straty wylotowej.

Dla obciążeń innych niż normalne przyjmuje się w wypadku ogólnym, że ilość wody chłodzącej pozostaje bez zmiany, co powoduje polepszenie próżni przy obciążeniach częściowych, a pogorszenie — przy przeciążeniu. Te zmiany próżni wpływają na zmniejszenie stopnia zmienności straty wylotowej. Charakter zmienności próżni z obciążeniem wynika z ogólnych związków pomiędzy temperaturą nasycenia pary odlotowej a wielkościami charakterystycznymi skraplacza. Opierając się na tych związkach oraz na pewnych założeniach, można ustalić mniej lub więcej przybliżoną zależność pomiędzy temperaturą nasycenia a temperaturą wejściową wody chłodzącej i rozchodem pary: $t_0 = f(t_1, G)$. Stąd, oraz z zależności $p = f(t_0)$, można wyznaczyć wykres próżni w funkcji ilości pary.

W szczególnym wypadku można przyjąć, że próżnia się nie zmienia, co wymaga regulowania ilości wody chłodzącej. Wypadek ten ma znaczenie wtedy, gdy zmiany obciążenia są długotrwałe, t. j. gdy turbina pracuje długi okres czasu z danym obciążeniem, czy też przeciążeniem.

Przedstawienie wykresne straty wylotowej.

Związek szybkości wylotowej c_2 z innymi wielkościami trójkąta szybkości może być użyty do przedstawienia wykresnego. Założenie stałej objętości pary V_2 , przepływającej przez przekrój wylotowy, pozwala na określenie t. zw. normalnej szybkości i straty wylotowej. Określenie wielkości kąta β_2 według równania $w_2 \cos \beta_2 = u$ wyznacza jednocześnie przekrój wylotowy turbiny i kierunek szybkości w_2 tak, że odtąd zmieniać się może tylko

wielkość tej szybkości wskutek zmiany ilości pary ze zmianą obciążenia turbiny, czy też wskutek zmiany objętości właściwej (przyczem nie uwzględniamy narazie wpływu tej zmiany na kierunek szybkości w_2), słowem, wskutek zmiany całkowitej objętości pary V_2 .

Jak wynika z trójkąta szybkości,

$$c_2^2 = w_2^2 - 2 u w_2 \cos \beta_2 + u^2.$$

Podstawiając $w_2 = G v_2 : F_2$, otrzymamy

$$c_2^2 = \frac{G^2 v_2^2}{F_2^2} - 2 u \cos \beta_2 \cdot \frac{G v_2}{F_2} + u^2,$$

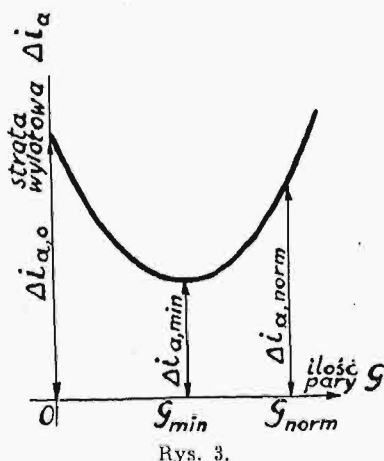
zaś $\Delta i_a = c_2^2 : 8380$.

Równanie to dla danego przekroju F_2 i stałego kąta β_2 przedstawia się w postaci

$$\Delta i_a = \text{const. } V_2^2 + \text{const. } V_2 + \text{const.},$$

zaś dla pewnej określonej wartości v_2 :

$$\Delta i_a = \text{const. } G^2 + \text{const. } G + \text{const.},$$



Rys. 3.

skąd widać, że wykres straty wylotowej w zależności od objętości, czy też ilości pary, będzie parabolą, posiadającą minimum.

Charakterystycznymi wielkościami tej paraboli są przede wszystkim: rzędna początkowa oraz spórzędne punktu najniższego (rys. 3).

Dla $G = 0$ otrzymujemy $c_{2,0}^2 = u^2$, $c_{2,0} = u$, $w_2 = 0$, co zresztą wynika wprost z trójkąta szybkości, wreszcie strata wylotowa, czyli rzędna początkowa paraboli, będzie $\Delta i_{a,0} = u^2 : 8380$.

Minimum osiągnie funkcja, gdy pochodna względem w_2 będzie $= 0$, t. j. gdy $2 w_2 - 2 u \cos \beta_2 = 0$, $w_2 = u \cos \beta_2$. Wówczas

$c_{2,min}^2 = u^2 - w_2^2 = u^2 (1 - \cos^2 \beta_2) = u^2 \sin^2 \beta_2$, $c_{2,min} = u \sin \beta_2$, odcięta punktu najniższego $G_{min} = w_2 \cdot F_2 : v_2 = u F_2 \cos \beta_2 : v_2$, zaś rzędna, czyli strata wylotowa

$$\Delta i_{a,min} = u^2 \sin^2 \beta_2 : 8380.$$

Trzecim punktem charakterystycznym paraboli jest punkt, odpowiadający wyjściu normalnemu, gdy $w_2 \cos \beta_2 = u$, a szybkość wylotowa $c_{2,norm} = w_2 \sin \beta_2 = u \operatorname{tg} \beta_2$. Ilość pary $G_{norm} = w_2 F_2 : v_2 = u F_2 : v_2 \cos \beta_2$, wreszcie strata wylotowa $\Delta i_{a,norm} = u^2 \operatorname{tg}^2 \beta_2 : 8380$.

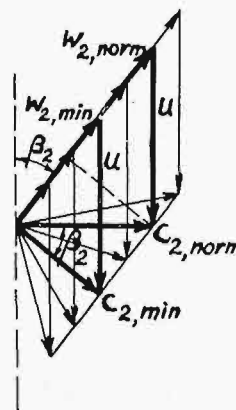
Charakterystycznym współczynnikiem, określającym zawartość paraboli, jest współczynnik przy G^2 , równy $v_2^2 : 8380 \cdot F_2^2$.

Dla różnych wartości objętości właściwej v_2 wykresem straty wylotowej jest pęk parabol. Wszystkie będą miały teoretycznie jednakowe minimum, gdyż nie zależy ono od v_2 . W rzeczywistości powiększenie objętości właściwej (t. j. zmniejszenie przeciwciśnienia), jeżeli skutkiem niego objętość całkowita pary odlotowej wzrośnie ponad wielkość normalną, może spowodować, jak to wyjaśnimy dalej, iż kąt wyjściowy szybkości w_2 będzie większy od kąta nachylenia łopatki, co z kolei

sprawia powiększenie się wartości minimum. Im lepsza próżnia, t. j. im większe v_2 , tem bardziej strome są parabole oraz tem bliżej osi rzędnych znajduje się wierzchołek. Wszystkie parabole będą przecinały oś rzędnych w tym samym punkcie, gdyż wielkość rzędnej początkowej również nie zależy od v_2 ani od kąta β_2 .

Strata wylotowa przy obciążeniach częściowych.

Poprzednie rozważania teoretyczne wyjaśnia rys. 4, przedstawiający szereg trójkątów szybkości dla różnych wielkości w_2 , t. j. dla różnych objętości V_2 , albo dla różnych obciążeń turbiny. Zaznaczony jest na tym rysunku przedewszystkiem trójkąt normalny, gdy $c_{2,norm}$ jest prostopadłe do obwodu. Ze zmianą obciążenia zmienia się szybkość względna w_2 , a wraz z nią szybkość bezwzględna i strata wylotowa. Strata wylotowa rośnie, gdy $w_2 > u : \cos \beta_2$. Gdy $w_2 < u : \cos \beta_2$, wówczas szybkość c_2 , a wraz z nią strata wylotowa początkowo maleją. Jak widać z rysunku, szybkość wylotowa c_2 osiąga minimum, gdy staje się prostopadła do kierunku szybkości względnej w_2 , co zresztą wynika z poprzednich rozważań. Odpowiednią wielkość oznaczamy przez $c_{2,min}$. Po przekroczeniu tego minimum szybkość wylotowa znowu wzrasta i może osiągnąć wartość większą niż $c_{2,norm}$.



Rys. 4.

Z rys. 4, jak i z poprzednich rozważań, widoczne są następujące związki:

$$c_{2,norm} = u \operatorname{tg} \beta_2, \quad c_{2,min} = c_{2,norm} \cdot \cos \beta_2 = u \sin \beta_2,$$

$$\text{oraz } w_{2,norm} = u : \cos \beta_2, \quad w_{2,min} = u \cdot \cos \beta_2.$$

Ze związków tych wynikają stosunki

$$\frac{\Delta i_{a,min}}{\Delta i_{a,norm}} = \frac{c_{2,min}^2}{c_{2,norm}^2} = \frac{w_{2,min}}{w_{2,norm}} = \cos^2 \beta_2.$$

Taką samą wartość będzie miał również stosunek odpowiednich objętości czy też ilości pary, jeśli objętość właściwa pary będzie stała. Wówczas $G = w_2 F_2 : v_2 = \text{const. } w_2$, zaś $G_{min} : G_{norm} = \cos^2 \beta_2$.

Szczególnie interesującym jest wypadek, gdy kąt $\beta_2 = 45^\circ$, $\sin \beta_2 = \cos \beta_2 = 0,707$, $\operatorname{tg} \beta_2 = 1$. Wówczas $c_{2,norm} = u$, $c_{2,min} = 0,707 u$. Stosunek strat wylotowych będzie $\Delta i_{a,min} : \Delta i_{a,norm} = 0,5$, czyli strata wylotowa najmniejsza będzie połową straty normalnej. Taki sam będzie stosunek objętości całkowitych pary oraz ilości pary, jeśli $v_2 = \text{const.}$ Oznacza to, że strata wylotowa osiągnie minimum, jeśli ilość pary zmniejszy się do połowy, a zatem przy obciążeniu ok. 40 ÷ 45% normalnego.

Wreszcie, gdy $\beta_2 = 45^\circ$, strata wylotowa przy obciążeniu normalnym $\Delta i_{a,norm} = u^2 : 8380 = \Delta i_{a,0}$, czyli jest taka sama, jak przy $G = 0$.

Jeśli kąt $\beta_2 > 45^\circ$, wówczas $\cos^2 \beta_2 < \frac{1}{2}$, $\operatorname{tg}^2 \beta_2 > 1$, strata wylotowa przy obciążeniu normalnym $\Delta i_{a,norm} > u^2 : 8380$, stosunek straty najmniejszej do normalnej będzie $< 0,5$, a minimum przesunie się w kierunku mniejszych obciążeń.

Jeśli kąt $\beta_2 < 45^\circ$, wówczas $\cos^2 \beta_2 > \frac{1}{2}$, $\operatorname{tg}^2 \beta_2 < 1$, $\Delta i_{a,norm} < u^2 : 8380$, stosunek straty najmniejszej

do normalnej będzie $> 0,5$, wreszcie minimum przesunie się w prawo. Dla małych zatem kątów β_2 może się zdarzyć, że strata wylotowa przy małym obciążeniu przewyższy stratę przy obciążeniu normalnym.

Zakładaliśmy wyżej, że objętość właściwa pary nie zmienia się. Jeżeli — jak to się najczęściej zdarza — ze zmianą ilości pary zmienia się również i objętość właściwa pary odlotowej, wówczas mamy zależność bardziej złożoną i wykres straty wylotowej będzie krzywą, posiadającą minimum (i tę samą rzędną początkową), odbiegającą jednak kształtem od paraboli. Nie zmieni się również teoretycznie wielkość tego minimum, przesunie się ono tylko w kierunku mniejszych obciążeń.

Z powyższych rozważań wynika, że zmienność straty wylotowej z obciążeniem jest tem silniejsza, im większy jest kąt β_2 , a zatem stopień zmienności zwiększa się wraz z wielkością bezwzględnej straty wylotowej. Własność ta posiada duże znaczenie, jeśli chodzi o wzrost rozchodu pary przy obciążeniach częściowych turbin o dużej mocy. W turbinach takich rzeczywista sprawność termodynamiczna mało zależy od sprawności $\eta_{t, max}$, która zmienia się niewiele, a głównie od straty wylotowej. Ponieważ zmniejsza się ona znacznie przy obciążeniach mniejszych od normalnego, przeto wzrost rozchodu pary przy obciążeniach częściowych będzie mniejszy, niż w turbinach o małej mocy. Ogólnie można powiedzieć, że w turbinach z dużymi stratami wylotowymi punkt ekonomiczny ma tendencję do przesuwania się w kierunku mniejszych obciążeń.

Granice wielkości straty wylotowej.

Poprzednio wyprowadzony był wzór na stratę wylotową przy wyjściu prostopadłym, odpowiadającym obciążeniu normalnemu, mianowicie

$$\Delta i_{a, norm} = u^2 \operatorname{tg}^2 \beta_2 : 8380,$$

z którego wynika, że strata wylotowa przy wyjściu prostopadłym zależy wyłącznie od średniej szybkości obwodowej w osłatnim, t. j. wylotowym wieńcu wirnika oraz od kąta wylotowego β_2 .

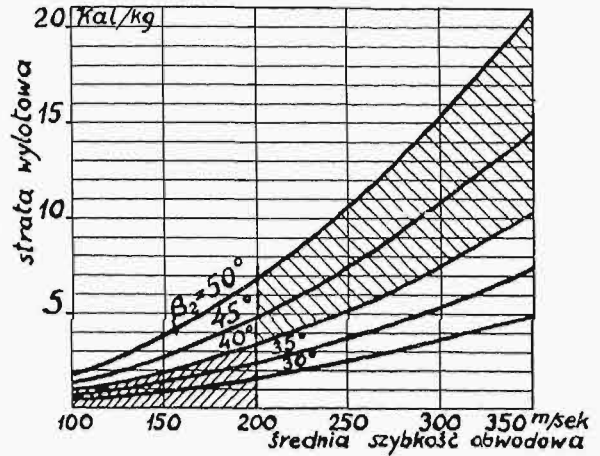
Rys. 5 przedstawia wykres straty wylotowej w Kal/kg w zależności od szybkości obwodowej, dla różnych wartości kąta β_2 . Wielkości, odpowiadające małym szybkościom obwodowym i małym kątom β_2 , dotyczą również małych średnic i małych ilości pary, względnie małych objętości. Jako wielkość graniczną, możnaby uważać szybkość około 200 m/sec oraz kąt 40° . Straty wylotowe poniżej tych granic można uważać jako małe, powyżej zaś — jako duże.

Przytoczony wzór wraz z wykresem jest miarodajny, jeśli chodzi o porównanie ze sobą turbin różnej wielkości i systemów, gdyż nie zależy on od mocy turbiny, ani od ilości pary przepływającej, ani wreszcie od tego, czy wylot jest pojedynczy, podwójny i t. d., a jedynie od wymiarów przekroju wylotowego.

Dolna granica straty wylotowej nie istnieje teoretycznie, praktycznie zaś ograniczony jest głównie kąt β_2 , gdyż zbyt małe kąty są niedogodne ze względów konstrukcyjnych.

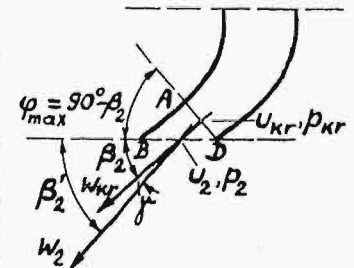
Jeżeli chodzi o granicę górną, to odróżnić trzeba względy na sprawność turbiny, oraz względy teoretyczne, ograniczające wielkość szybkości

względnej pary w_2 . Odmienne należy tu traktować wypadek, gdy stopień wylotowy turbiny jest reakcyjny, odmiennie zaś, gdy akcyjny. Wiadomo, że rozprężanie się pary w części końcowej ABD łopatek kierowniczych, czy wirnikowych, ograniczonej



Rys. 5.

ściankami tylko z jednej strony, powoduje w pewnych warunkach odchylenie strumienia pary od kierunku, wyznaczonego nachyleniem łopatki (rys. 6). W stopniu czysto akcyjnym, gdy niema rozprężania się pary w wirniku, niema również tego odchylenia, $\gamma = 0$, i przy wyjściu prostopadłym $c_{2, norm} = u \operatorname{tg} \beta_2$. Rozprężanie się pary w tej części końcowej łopatek wirnika następuje tylko w stopniu reakcyjnym, gdy wirnik ma pokonać większy spadek ciśnienia, niż to odpowiada stosunkowi krytycznemu. Wówczas przekrój najmniejszy AD jest t. zw. przekrojem krytycznym, w którym panuje ciśnienie krytyczne, a przeciwnieństwo występuje poza tym przekrojem, bądź w obrębie trójkąta ABD, bądź też poza nim, zależnie od wielkości całkowitego stosunku ciśnień, o czym mówimy dalej. Skutkiem tego rozprężania się pary powiększa się zarówno szybkość względna (ponad krytyczną), jak i bezwzględna, a strumień pary zbacza o kąt γ . Stratę wylotową określa szybkość, panująca w przekroju końcowym BD. Jeżeli w tym przekroju wyjście pary będzie prostopadłe, wówczas $c_{2, norm} = u \operatorname{tg} \beta'_2$, gdzie $\beta'_2 = \beta_2 + \gamma$.



Rys. 6.

Szybkość krytyczna, t. j. największa możliwa do osiągnięcia szybkość w przekroju AD, określa największą objętość pary, jaka może przejść przez ten przekrój, oraz — dla danej próżni — największą ilość pary i największą możliwą do osiągnięcia moc. Strata wylotowa osiąga wówczas również wartość największą, przytem określa ją szybkość krytyczna, jeśli dalsze rozprężanie się pary nie następuje, w przeciwnym zaś razie — szybkość w przekroju końcowym BD. W tym wypadku wielkość straty ograniczona jest przez największy możliwy jeszcze do pokonania w trójkącie ABD stosunek ciśnień.

Przy projektowaniu turbiny, jeśli chodzi o możliwość całkowite wyzyskanie przekroju wylotowego, a jednocześnie o możliwość dostosowania ostatniego stopnia do opanowania zmian próżni, można np. przyjąć, że przy obciążeniu normalnym szybkość w przekroju AD osiąga wartość krytyczną, ale w części końcowej łopatek para się już nie rozpręża (a rozprężać się będzie dopiero przy przeciążeniu). Odpowiada to założeniu, że ciśnienie w przekroju AD równe jest przeciwcisnieniu w skraplaczu, a spadek ciśnień w ostatnim wirniku określony jest stosunkiem krytycznym. W tym wypadku górna granica straty wylotowej normalnej wyznaczona jest szybkością krytyczną.

Ową szybkość krytyczną określimy ze znanego wzoru $w_{kr} = \sqrt{g k P_2 v_2} = 100 \sqrt{g k p_2 v_2}$, w którym p_2 i v_2 oznaczają ciśnienie i objętość właściwą pary za ostatnim wieńcem wirnika. Spółczynnik $k = 1,035 + 0,1x$. Przyjmując średnią wartość $x = 0,9$, otrzymamy $k = 1,125$. Dla obranej wartości x oraz przeciwcisnienia, zmieniającego się w wąskich granicach, np. $0,04 \div 0,08$ ata, iloczyn $p_2 v_2$ jest prawie stały i średnio $= 1,31$. Podstawiając te

wielkości, mamy $w_{kr} = \text{ok. } 380$ m/sek. Zakładamy $c_{2, \text{norm}} = w_{kr} \sin \beta_2$, stąd $\Delta i_{\text{max}} = w_{kr}^2 \sin^2 \beta_2 : 8380 = \text{ok. } 17,2 \sin^2 \beta_2 = \text{ok. } 8,6 \div 10,1$ Kal/kg, jeśli przyjmiemy $\beta_2 = 45 \div 50^\circ$, jako kąt największy.

Dla ostatniego stopnia czysto akcyjnego niema takiego ograniczenia, gdyż tam para w łopatkach wirnikowych nie rozpręża się, a tylko zmienia kierunek szybkości, podczas gdy rozprężanie następuje w łopatkach kierowniczych. W kierownicy ostatniego stopnia może być osiągnięta szybkość nadkrytyczna bezwzględna, zarówno jak i szybkość wylotowa względna z wirnika. Stratę wylotową ogranicza tu tylko dopuszczalna szybkość obwodowa średnia u oraz kąt wylotowy β_2 . Przyjmując największą wartość kąta $\beta_2 = 45^\circ$, mamy $\Delta i_{u, \text{max}} = u^2 : 8380$. Zamiast szybkości średniej może być wprowadzona szybkość obwodowa na końcach łopatek $u_{\text{max}} = (D + l) u : D$. Jeżeli jako największą wartość stosunku $l : D$ przyjmiemy $0,25$, wówczas $u_{\text{max}} = 1,25 u$, zaś $\Delta i_{u, \text{max}} = u_{\text{max}}^2 : 13100$. Np. dla $u_{\text{max}} = 350 \div 400$ m/sek otrzymamy $\Delta i_u = \text{ok. } 9,4 \div 12,2$ Kal/kg. Dla $\beta_2 = 50^\circ$ i tych samych szybkości obwodowych będzie $\Delta i_u = \text{ok. } 13,4 \div 17,3$ Kal/kg. (d. n.)

Projekty sieci europejskiej najwyższego napięcia

Napisał J. Silberstein, inżynier - elektryk.

Na Berlińskiej Konferencji Energetycznej w r. 1930 zgłosił dr. Oliven znany czytelnikom „Przeglądu Technicznego” projekt sieci europejskiej¹⁾, ujmujący w jeden system elektryczny Europę Zachodnią i Środkową wraz z południową częścią Rosji. Projekt wzbudził wielkie zainteresowanie w kołach techników całego świata. Zarówno rozmach, z jakim zagadnienie zostało potraktowane, jak i osoba autora, który jest generalnym dyrektorem największego niemieckiego holdingu elektrycznego „Gesellschaft für elektrische Unternehmungen — Ludw. Loewe & Co A. G.”, — nakazywały poważne ustosunkowanie się do sprawy, która przestaje już dziś być fantazją, czy muzyką przyszłości.

Główne uzasadnienie swego planu widział dr. Oliven w następujących punktach: wyrównanie wytwarzania i zapotrzebowania energii w różnych ośrodkach i krajach, możliwość zużytkowania sił wodnych, dotąd nierozbudowanych wobec braku odbiorców energii, złagodzenie szczytów obciążeń, które dziś są największą plagą elektrowni, dzięki różnicy czasu w różnych krajach, w których wobec tego godziny największego obciążenia wypadną nie jednocześnie.

Przypomnimy pokrótce przebieg głównych linii najwyższego napięcia (400 kV), według tego projektu. Są to trzy linie południkowe i dwie równoleżnikowe.

1-a linia południkowa bierze początek w Norwegii, gdzie zasilana jest przez bogate, a niewyżytkowane siły wodne; w Göteborgu łączy się z siecią

szwedzką; drogą na Hamburg i Berlin łączy się z elektrowniami środkowo-niemieckiego zagłębia węgla brunatnego, dalej — ze spadkami wodnymi Alp, przechodzi przez Brennero do Genui i dochodzi do Rzymu. Długość linii wynosi 3000 km.

2-a linia południkowa biegnie od Calais, gdzie byłaby wybudowana wielka elektrownia, korzystająca z taniego dowozu węgla angielskiego, francuskiego i belgijskiego, przechodzi przez Paryż i Lyon, łączy się ze spadkami wodnymi Rodanu i jego dopływów, przecina Hiszpanję szlakiem: Barcelona, Saragossa (spadki wodne), Madryt i kończy się w Lizbonie, gdzie projektowana jest wielka elektrownia na tanim węglu angielskim. Długość linii — 2100 km.

3-a linia południkowa zaczyna się w Warszawie, przecina Zagłębie Dąbrowsko-Śląskie, Czechosłowację, łączy się w Austrii ze spadkami wodnymi Tyrolu, kończy się w Jugosławii, dając możliwość rozbudowy sił wodnych wybrzeża Dalmatyńskiego. Długość linii — 1500 km.

4-a linia, równoleżnikowa, zaczyna się w Zagłębiu Dąbrowsko-Śląskiem (ewentualnie nawet w Małopolskim Zagłębiu Naftowym), łączy się w Halle (Saksonja) z 1-ą linią południkową, przechodzi przez zagłębie węglowe zachodnio-niemieckie i kończy się w Paryżu. Długość linii 1200 km.

5-a linia, równoleżnikowa, biegnie na południe od poprzedniej; zaczyna się w Zagłębiu Donieckim, łączy się z elektrownią wodną na Dnieprze (obecnie już zbudowaną), przechodzi przez Odesę, posiadającą dogodne warunki do budowy elektrowni na ropie naftowej, przez Bukareszt, spadki wodne na Dunaju przy Żelaznych Wrotach, Budapeszt, Wiedeń; tu krzyżuje się z 3-ą linią południkową, biegnie dalej po północnej stronie Alp, odbierając

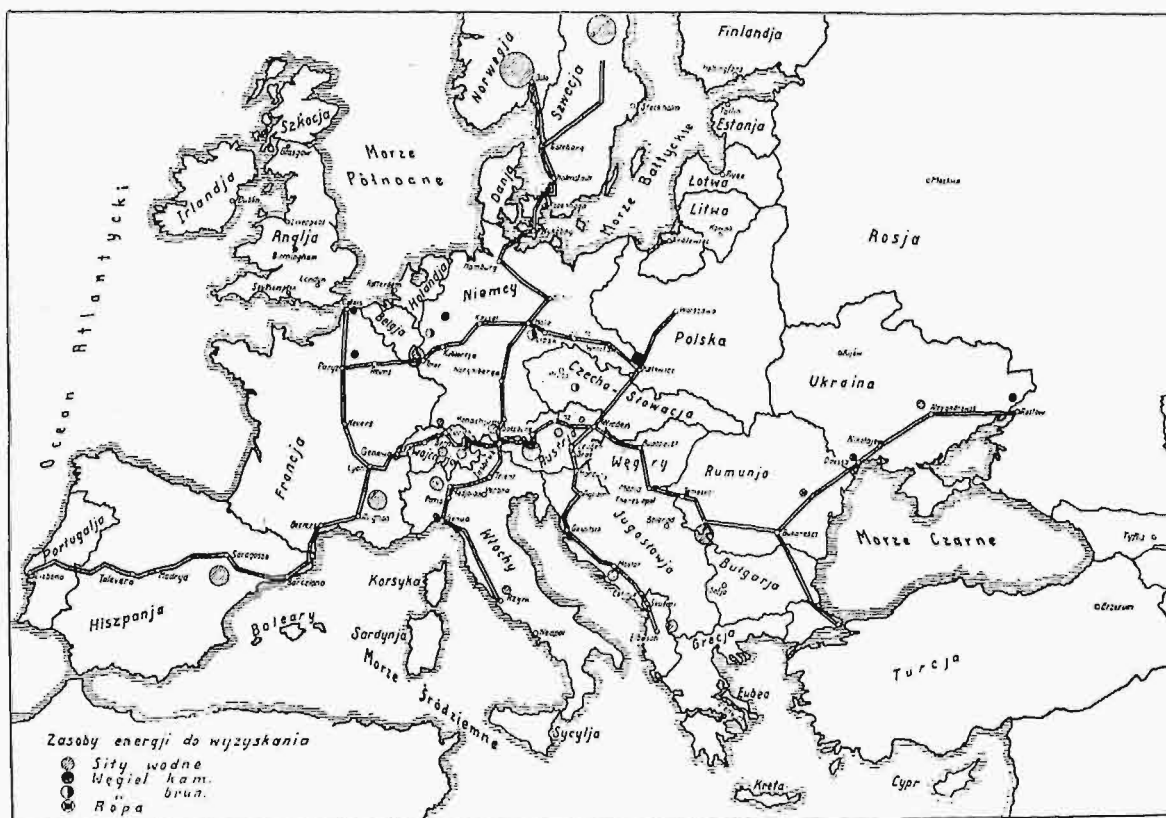
¹⁾ Nowiny Techniczne, 1930, zes. 29/30, str. 93—96. Patrz także ETZ, 1930, str. 986.

energję spadków wodnych austriackich, szwajcarskich i francuskich, kończy się w Lyonie. Długość linii 3000 km.

Koszt budowy sieci, nie licząc rozbudowy elektrowni wodnych i ciepłych, wyniósłby około 4500 milionów złotych. Zakładając oprocentowanie pożyczki, subskrybowanej przez kraje zainteresowane, wraz z amortyzacją, w wysokości $4\frac{1}{2}\%$, oraz kosztu ruchu i konserwacji 2%, Oliven otrzymuje koszt kilowatogodziny po stronie niskiego napięcia stacyj transformatorowych, przyłączających się krajową do europejskiej, 3,2 do 3,4 grosza.

sze rolę w elektryfikacji. Oczywiście, niema mowy o tem, by budować sieci na napięcia średnie na prąd inny, niż trójfazowy, mowa tu jest jedynie o sieci na napięcie najwyższe.

Zastosowanie prądu trójfazowego o napięciu 400 kV pociągnęłoby za sobą szereg niedogodności. Jedną z najpoważniejszych jest kolosalna moc bezwzględna, wywołana opornością indukcyjną linii; jeśli moc ta ma nie obciążać prądnic i transformatorów zakładu wytwórczego, muszą być zastosowane urządzenia, przesuwające kąt fazowy. Projekt Olivena przewiduje też budowę 25 takich stacyj, skła-



Rys. 1. Sieć transeuropejska najwyższego napięcia według projektu Dr. Olivena.

Realizacji projektu stoją na przeszkodzie względy raczej polityczne i finansowe, niż techniczne. Nie da się zaprzeczyć, że pozycja Niemiec w omawianej sieci jest jeszcze bardziej korzystna i uprzywilejowana, niż to wynika z ich sytuacji geograficznej. Nie ulega jednak wątpliwości, że poszczególne odcinki sieci budowane będą już w niedalekiej przyszłości. Ostatnio ogłoszono nawet parę projektów technicznych, dotyczących fragmentów sieci europejskiej.

Na pierwszy plan wysuwa się kwestja rodzaju prądu, użytego do przenoszenia energii na tak znaczne odległości i przy tak wysokim napięciu. Samo zagadnienie „rodzaju prądu” wydać się musi dziwnym każdemu, kto wie, że w ciągu ostatnich dziesiątków lat prąd zmienny, a w szczególności trójfazowy, wyparł całkowicie prąd stały. Cały rozwój przesyłania energii na odległość związany jest tak ściśle z wprowadzeniem prądu trójfazowego, że powrót do prądu stałego wydaje się nie tylko trudnym, lecz wręcz niemożliwym. Tem niemniej sprawa jest szeroko dyskutowana i wydaje się, że prądowi stałemu przeznaczone jest odegrać wielką je-

dającą się z transformatorów i silników synchronicznych, biegnących luzem. Jednak koszt takiego urządzenia jest bardzo wielki. Drugą niedogodnością prądu zmiennego jest zjawisko t. zw. korony — jarzenia, występującego na przewodach i powodującego wielkie straty energii; ażeby tego uniknąć, trzeba stosować przewody o bardzo znacznej średnicy, a więc linki puste w środku, drogie i kłopotliwe w montażu.

Zbudowanie kabla na 400 kV prądu zmiennego jest dziś niemożliwe, wobec czego przejście przez morze (Norwegja — Danja) prowadzone musi być linią napowietrzną. Można co prawda obrać szlak taki, że głębokość morza w żadnym miejscu nie przekroczy 25 m, więc budowa wież jest możliwa, koszty jednak byłyby bardzo znaczne.

Wszystkich tych wad, a oprócz tego i szeregu innych, nie posiada prąd stały wysokiego napięcia. Pamiętać trzeba pozatem, że — jeśli chodzi o izolację linii, — to napięcie 400 kV prądu stałego odpowiada napięciu $\frac{400}{\sqrt{2}} = 280$ kV prądu zmiennego, ponieważ dla izolacji ważna jest nie skuteczna, lecz

maksymalna wartość napięcia (amplituda krzywej). Budowa linii 400 kV prądu stałego nie odbiega więc tak daleko od wykonanej już budowy kilku linii na napięcie 220 kV prądu zmiennego; również i aparaturę na to napięcie uważać można za zupełnie pewną.

Zachodzi pytanie, czy technika prądu stałego stoi dostatecznie wysoko, by móc zrealizować podobny projekt. Zasadniczy schemat przesyłania energii byłby: energia byłaby wytwarzana przez turboprądnice prądu trójfazowego, transformowana na wysokie napięcie, zamieniana na energję prądu stałego, przesyłana w tej postaci po linii zakładu odbiorczego, gdzie skuteczniano byłby odwrotny proces zamiany na prąd trójfazowy, zniżanie napięcia i dostarczanie energii odbiorcom.

Wytwarzanie bezpośrednio prądu stałego o napięciu, jakie tu wchodzi w grę, należy uznać za możliwe, jednak niekorzystne. Jedyna w Europie instalacja na prąd stały jest to linja Moutiers-Lyon²⁾, pracująca od r. 1906. Długość linii wynosi 448 km, napięcie 125 kV; długość kabla 72 km. W instalacji tej zastosowano system Thury, polegający na szeregowym połączeniu kilku prądnic, które dają w ten sposób to samo natężenie prądu; jeśli zapotrzebowanie mocy spada, wyłącza się jedną (lub więcej) prądnic i obniża się przez to napięcie sieci, natomiast natężenie prądu pozostaje niezmiennie. Urządzenie to różni się więc zasadniczo od zwykłych instalacji trójfazowych, pracujących przy stałym napięciu. Turboprądnice ostatnio zainstalowane (1927 r.) są na napięcie 22 kV i moc 3500 kW; prądnica taka składa się właściwie z 3-ch mechanicznie sprzężonych osobnych maszyn, z których każda daje napięcie 7300 V.

Możliwe jest podniesienie napięcia na kolektorze do 10 kV, ale wyżej — przy obecnym stanie techniki — pójść nie można. Wobec tego dla osiągnięcia 400 kV trzeba byłoby połączyć w szereg co najmniej 13 takich turboprądnic (3-twornikowych). Każda z tych maszyn musi być odizolowana od ziemi na napięcie, odpowiadające jej miejscu w szeregu. Powoduje to, oczywiście, znaczne skomplikowanie urządzenia.

Największa moc turboprądnicy prądu stałego, jaką możnaby obecnie uzyskać, wynosi 30 — 40 tysięcy kW; maszyna taka składałaby się właściwie z 4-ch prądnic, umieszczonych po obu stronach turbiny wodnej. Moc byłaby stosunkowo znaczna, gdyż największa dotąd prądnica trójfazowa, pracująca z turbiną wodną, posiada moc 77 500 kVA (Dnieprostroj). Jednak podana tu moc 40 000 kW osiągnięta być może przy wolnych obrotach (125 obr/min), a w razie większych obrotów musi być obniżona. Wynika stąd, że bezpośrednio wytwarzanie prądu stałego, możliwe ostatecznie w zakładach, pracujących na małych spadkach wodnych, jest niemal wykluczone przy znacznych spadkach, wymagających większej liczby obrotów, a tembardziej w zakładach cieplnych, w których stosowane turbiny parowe są nie do pomyslenia przy małej szybkości obrotów.

Uznać więc należy, że jako maszyny wytwórcze nadają się o wiele lepiej prądnice prądu trójfazowego. Moc ich może być doprowadzona do 100 i wy-

żej tysięcy kW; zastosowanie turbin wodnych o dużej mocy powoduje też obniżenie kosztów urządzeń wodnych.

Do przetwarzania prądu trójfazowego na prąd stały byłyby zastosowane prostowniki rtęciowe. Budowa ich w okresie ostatnich kilku lat poczyniła bardzo znaczne postępy i wolno przypuszczać, że w niedługim już czasie osiągnąć będzie można napięcie do 50 kV i natężenie prądu 2000 — 2500 A. Prostowniki byłyby załączone równolegle po stronie prądu zmiennego, zaś szeregowo po stronie prądu stałego. Odpowiednie uzwojenia transformatora zasilającego musiałyby być odizolowane od ziemi na napięcie, odpowiadające miejscu, zajmowanemu przez dany prostownik w ich szeregu. Dla otrzymania mocy 1 000 000 kW przy napięciu 400 kV potrzebny byłoby 8 takich prostowników. Zastosowanie prostowników zamiast prądnic przedstawia szereg dogodności, wynikających z tego, że aparaty nieruchome są łatwiejsze do izolowania, niż maszyny wirujące, że nie posiadają one kolektorów, które są głównym źródłem uszkodzeń w maszynach prądu stałego.

Energja, przesłana w postaci prądu stałego do zakładu odbiorczego, musi być tu zamieniona z powrotem na energję prądu zmiennego. Również i tutaj maszyny wirujące — przetwornice, których silniki napędowe byłyby połączone w szereg, nastroczają szereg trudności. Muszą być zastosowane aparaty nieruchome. Skonstruowanie ich leży w założeniu całego systemu sieci prądu stałego.

Aparaty takie, które nazwiemy zmiennikami³⁾, są przedmiotem zainteresowania koncernów elektrycznych od kilku już lat. Amerykańska General Electric Co. prowadzi próby nad t. zw. thyatronem, który polega na wprowadzeniu siatki sterującej pomiędzy katodę i anodę; napięcie, przyłożone do siatki, powoduje jakgdyby modulację prądu stałego według wymaganej częstotliwości. Westinghouse oraz Siemens⁴⁾ prowadzą również prace w tym kierunku, których bliższe rezultaty nie były dotąd ogłaszane; pomysł polega, podobnie do poprzedniego, na stworzeniu dla prądów silnych urządzenia analogicznego do lampy trójelektrodowej. Japoński uczonec dr. Mitsuda wygłosił na Kongresie Energetycznym w Tokio (1929 r.) referat⁵⁾ o opracowanym przez siebie urządzeniu, które składa się z wspólnej katody i kilku anod w naczyniu próżniowym; łuk, powstający pod wpływem przyłożonego napięcia prądu stałego, przerywany jest przez tarczę z otworami, która obraca się w przestrzeni między katodą i anodami; częstotliwość prądu, otrzymanego na wtórnym uzwojeniu transformatora, zasilanego przez zmiennik, jest proporcjonalne do ilości anod, ilości otworów tarczy i jej szybkości obrotowej. Dr. Mitsuda wykonywał doświadczenie na modelu o mocy 7 kW.

Powyższe próby prowadzone są ze zrozumiałych względów w tajemnicy. Jednak dochodzące nas skąpo wieści pozwalają przypuszczać, że realizacja jest już niedaleka. Faktem jest, że niemiecki inżynier dr. Gosebruch, który z ramienia firmy Siemens prowadzi studia nad możliwościami i projektami sieci europejskiej, w ogłoszonym niedawno

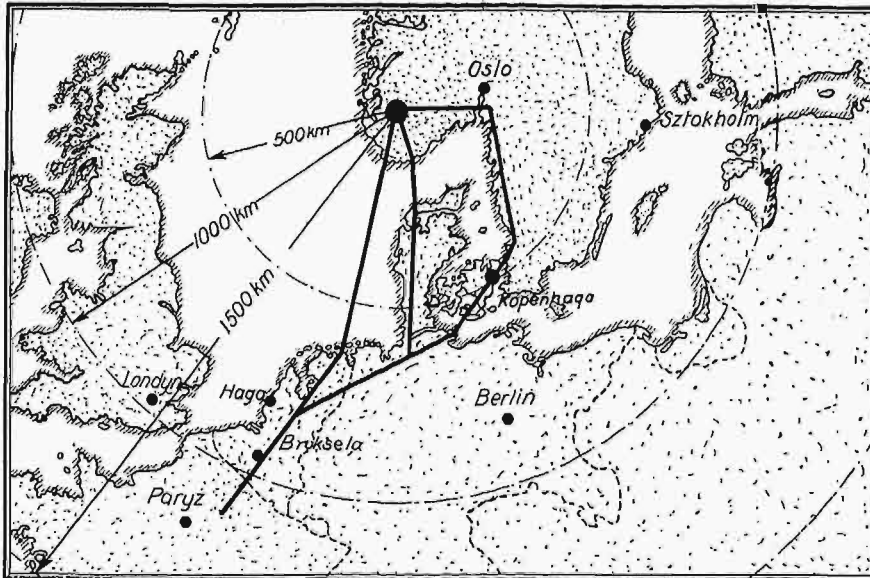
³⁾ Ang. rectinverter, niem. Wechselrichter.

⁴⁾ Siemens Zeitschrift 1931, str. 142.

⁵⁾ ETZ 1930, str. 806.

artykule⁶⁾ traktuje sprawę powyższą jako zupełnie realną i nawet zestawia to rozwiązanie z innymi. Podobne stanowisko zajmują i inni autorzy, którzy, wypowiadając się za prądem stałym, opierają się w swych projektach na wprowadzeniu omawianych aparatów. Sądzić więc należy, że ostateczne rozwiązanie jest kwestją bliskiej przyszłości.

Przy prądzie stałym zastosowany byłby układ trójprzewodowy, przytem przewód zerowy byłby skombinowany z ochronnym i uziemiony. Wobec tego napięcie przewodu względem ziemi wynosiłoby tylko połowę napięcia roboczego, czyli 200 kV; z punktu widzenia izolacji linii jest to równoznaczne z napięciem 142 kV prądu zmiennego.



Rys. 2. Przesyłanie energii z Norwegii do Holandji, Belgji i Francji według projektu inż. Schjölberg-Henriksena.

Jeśli chodzi o przekrój przewodu, to — przy tem samym natężeniu prądu — prąd stały wymaga o 33% więcej miedzi, niż prąd trójfazowy. Jednak — dla budowy linii znacznie donioślejsza — izolacja jest dla prądu zmiennego potrzebna wyższa, odpowiednio do napięć o 41% wyższych. Wobec tego przy danej budowie linii, danych izolatorach i odstępach między przewodami, można zamiast linii prądu zmiennego zawiesić linję prądu stałego o napięciu wyższym; ostatecznie osiągnąć można oszczędność miedzi, wynoszącą do 25%.

Omówimy teraz kolejno parę niedawno ogłoszonych projektów sieci najwyższego napięcia.

Cytowany już artykuł dr. Gosebrucha zawiera zestawienie 5-ciu możliwych rozwiązań przenoszenia energii z Norwegii do Niemiec, z odgałęzieniami w Göteborgu dla Szwecji i w Kopenhadze dla Danii.

Moc, odbierana w Hamburgu, celem przeniesienia na sieć niemiecką 220 kV, lub też na niższe napięcie dla potrzeb lokalnych, wynosić ma 750 000 kW, w Göteborgu — 100 000 kW, w Kopenhadze — 100 000 kW. Napięcie na początku linii 3×410 kV dla prądu zmiennego, 2×205 kV dla prądu stałego. Linje napowietrzne dla prądu zmiennego wykonane są z linki miedzianej, pustej w środku, o przekroju 520 mm^2 i średnicy zewnętrznej 50 mm,

przejścia nad wodą (głębokość morza nie większa, niż 20—25 m) są wykonane z linki z brązu krzemowego; na tych samych słupach prowadzone są dwa tory 3-przewodowe. Linja prądu stałego składałaby się z $2 \times 4 \times 500 \text{ mm}^2$ linek miedzianych pełnych oraz $2 \times 95 \text{ mm}^2$ linek przewodów zerowych; przewody te byłyby zawieszane na dwóch rzędach słupów; przejścia przez wodę — kablowe.

Straty przenoszenia wyniosłyby 18,2% przy prądzie zmiennym, 29,5% przy prądzie stałym, w stosunku do mocy użytecznej. Ponieważ zakład wytwórczy jest wodny, a spadki wodne w Norwegii pozwalają na nieograniczone niemal zwiększenie mocy zainstalowanej, więc większe straty powodują jedynie konieczność większych inwestycji, koszty ruchu zaś prawie nie zmieniają się.

Przy obliczeniu rentowności przyjęto oprocentowanie 6%, amortyzację w ciągu 30 lat oraz użytkowanie 6000 godzin rocznie, co odpowiada rocznej sprzedaży energii 5,7 miliardów kWh. Autor zastrzega się, że otrzymane ceny prądu mają charakter jedynie crjentacyjny, służąc do porównania różnych rozwiązań.

I. Prąd zmienny.

Elektrownia na fjordach posiada 16 prądnic trójfazowych 80 000 kW, 10,5 kV, 50 okr./sek, sprzężonych z turbinami wodnymi Peltona po 115 000 KM. Elektrownia obejmuje również transformatory 10,5/410 kV, urządzenia rozdzielcze i t. d.

Długość linii transmisyjnej, $2 \times 3 \times 520 \text{ mm}^2$, 410 kV, wynosi 1045 km. Długość linii nadwodnej 37 km; wysokość słupów do 200 m, odległość 800—1500 m. Do przesuwania kąła fazowego służy 6 stacji po 120 000 kVA; w Göteborgu i w Kopenhadze zainstalowane są stacje transformatorowe po 100 000 kW, 400/110/10 kV, w Hamburgu — 750 000 kW, 400/220/110/10 kV.

II. Prąd stały systemu Thury — na stałe natężenie prądu.

Elektrownia posiadałaby 32 turbiny wodne, z których każda pędziłaby 4 prądnice prądu stałego $3120 \text{ V} \times 3200 \text{ A} = 10 000 \text{ kW}$. W ten sposób moc elektrowni wyniosłaby, podobnie jak i w wypadku I, — 1 280 000 kW, ilość prądnic — 128 szt.

Linja przenosząca składa się z dwóch tras: $2 \times 1 045 \text{ km}$, $2 \times 500 \text{ mm}^2$ oraz $2 \times 95 \text{ mm}^2$ (przewód zerowy); przejścia przez wodę wykonane są w postaci 28 kabli jednożyłowych, kabla zerowego i sygnalizacyjnego; długość kabli 37 km. Na stacjach odbiorczych w Göteborgu i Kopenhadze pracują po 3 zespoły przetwornicowe po 40 000 kW, w Hamburgu — 11 zespołów po 80 000 kW; każdy zespół składa się z 8-iu silników prądu stałego, umieszczonych po 4 z obu stron prądnicy trójfazowej. Silniki połączone są w szereg tak, by napięcie na każdym z nich wynosiło 3120 V.

⁶⁾ ETZ 1931, str. 689.

III. Prąd stały systemu Thury — na stałe napięcie.

Elektrownia i zakład odbiorczy w Hamburgu — jak w wypadku II. Zakłady odbiorcze w Göteborgu i Kopenhadze pracują pomiędzy przewodem skrajnym i zerowym, t. zn. przy napięciu 200 kV. Zakłady te otrzymują po 40 silników prądu stałego 5000 V, 2500 kW; 8 silników pędzi prądnice trójfazową 20 000 kW. Przekrój przewodu zerowego pomiędzy Göteborgiem i Kopenhagą musi być powiększony do $2 \times 150 \text{ mm}^2$.

IV. Prąd stały — prostowniki w elektrowni i silniki szeregowy w zakładach odbiorczych.

V. Prąd stały — prostowniki w elektrowni i zmienniki w zakładach odbiorczych.

Autor nie podaje danych, dotyczących projektowanych prostowników i zmienników w rozwiązaniach IV i V.

W tabelce poniższej zestawione są koszty inwestycyjne oraz wytwarzania i przesyłania energii dla wszystkich pięciu rozwiązań.

TABELA I.

Rozwiązanie	Koszta zakładowe			Koszty kWh, groszy		
	elektrownia	urządzenie przesyłające	ogółem	loco elektrownia wytwórcza	koszt transportu	ogółem loco sieć Hamburg
	miljony złotych					
I	1310	730	2040	2,62	1,51	4,13
II	1370	735	2105	2,75	1,53	4,28
III	1370	755	2125	2,75	1,57	4,32
IV	1311	735	2046	2,62	1,53	4,15
V	1311	628	1939	2,62	1,30	3,92

Z zestawienia wynika, że najkorzystniejsze pod względem gospodarczym jest rozwiązanie V, stosujące prąd stały do przesyłania energii, oraz prostowniki i zmienniki na końcach linii. Trzeba tu raz jeszcze podkreślić, że prostowniki na tak wielkie moce, jakie tu wchodziłyby w grę, nie są dotąd wyrabiane, a zmienniki są dopiero w stadium opracowania laboratoryjnego. Ponieważ jednak rozwiązanie V, obok korzyści gospodarczych, posiada również wielkie zalety techniczne, można przewidywać, że będzie ono przyjęte, o ile tylko odpowiednie aparaty będą mogły być wytwarzane.

Wyniki podobne w tendencjach, aczkolwiek różniące się co do wartości liczbowych, otrzymał autor projektu⁷⁾ przesyłania energii z Norwegii do Holandji, Belgji i północnej Francji, zgłoszonego na czerwcową sesję zeszłoroczną Konferencji Międzynarodowej Wielkich Sieci, — inżynier norweski Schjölberg-Henriksen. Energia, wytwarzana w zakładach wodnych Norwegji południowo-zachodniej, byłaby zbierana w centrali zbiorczej o mocy 1 500 000 kW i stąd przesyłana. Projekt nie obejmuje instalacji zakładów wytwórczych, przyjmując pewną cenę za kWh przy użytkowaniu 6000 godzin rocznie.

Projekt rozpatruje 3 szlaki, którymi prowadzona być może linja przesyłająca. Rozwiązanie A przyjmuje drogę najkrótszą (1150 km), obejmując kabel podwodny Norwegja-Holandja o długości

550 km. Rozwiązanie B przyjmuje drogę przez Szwecję, Danję, Niemcy Północne; długość wynosi około 1650 km, jednak cała linja wykonana być może jako napowietrzna, nie wyłączając krótkich odcinków wodnych. Rozwiązanie C przyjmuje drogę przez Danję i Niemcy Północne z pominięciem Szwecji, obejmując kabel podwodny Norwegja — Danja o długości 160 km.

Dla szlaku B autor rozpatruje dwie alternatywy: przenoszenie przy pomocy prądu trójfazowego (B) oraz przy pomocy prądu stałego (D). Dla szlaków A i C, ze względu na konieczność układania kabli podmorskich, wchodzi w grę jedynie prąd stały. Pomijając względy natury gospodarczej, podkreślić należy, że na korzyść szlaku A przemawiają względy polityczne; wątpliwe jest, czy Belgja i Francja zgodziłyby się na zakontraktowanie znacznych ilości energii, dostarczanej linją, biegnącą przez terytorjum niemieckie.

Tabela II zestawia wyniki obliczenia i główniejsze dane techniczne, dotyczące 4-ch rozpatrywanych rozwiązań. Linja powietrzna prądu stałego składa się z 3-ch rzędów słupów, na których zawieszono po 2 przewody 400 mm²; linja kablowa obejmuje 2×9 kabli jednożyłowych 210 mm². Linja napowietrzna prądu zmiennego składa się z 2-ch rzędów słupów, na których wiszą po 3 przewody 400 mm². Prąd zmienny wymaga stacji pośrednich do przesuwania kąta fazowego. Zamiana prądu zmiennego na stały w centrali zbiorczej oraz prądu stałego na zmienny w miejscu odbioru energii odbywa się przy pomocy prostowników, względnie zmienników, których możliwość zastosowania autor zakłada.

Koszty zakładowe obejmują centralę zbiorczą oraz odbiorczą na końcu linii, wszystkie potrzebne transformatory, prostowniki, zmienniki, stacje przesuwnikowe.

Oprocentowanie przyjęto 5%, amortyzację 3%, konserwację i utrzymanie kabli 1%, linii napowietrznych 1,5%, urządzeń maszynowych 2%.

Koszt wytwarzania energii loco centrala odbiorcza przy 6000 godzin użytkowania rocznie wynosi 96 zł./kWh, czyli 1,6 gr./kWh.

Tabela uwidacznia wyższość gospodarczą prądu stałego nad zmiennym; kapitał zakładowy A w porównaniu z B wynosi zaledwie 52%, koszt przesyłania energii 49%, cena sprzedażna energii 67%.

Inż. Schjölberg-Henriksen, reasumując wyniki swych rozważań i obliczeń, twierdzi, że realizacja projektów przesyłania energii na wielkie odległości zależy od wypracowania systemu przesyłania prądem stałym.

Na zeszłoroczną również sesję Międzynarodowej Konferencji Wielkich Sieci zgłoszony został inny projekt⁸⁾ sieci najwyższego napięcia. Autor jego, inżynier francuski G. Viel, twierdzi, że przy pomocy linii prądu zmiennego o napięciu 400 kV przeprowadzić można unifikację gospodarki energetycznej Francji, rozprowadzając po całym kraju ogromne zasoby spadków wodnych (7,5 milionów kW), a nawet wysyłając nadmiar do krajów sąsiednich, jak Belgja i Holandja. W dalszym ciągu swej pracy Viel szkicuje projekt sieci europejskiej.

⁷⁾ Transmission et exportation d'énergie par courant continu à haute tension, Paris 1931.

⁸⁾ Etude d'un réseau à 400 000 volts, Paris 1931.

ne, stopniowo powiększanych, dochodząc wreszcie do 400 kV na otwartym końcu linii; w tej chwili włączano prądnice zakładu wytwórczego. Silniki synchroniczne na końcu odbiorczym normalnie pracowałyby, jako przesuwniki fazowe.

Wspomnieć należy, że obliczenia Viel doprowadziły go do paradoksalnego wniosku, że prąd zwarcia na linii może być w niektórych wypadkach mniejszy od prądu roboczego; wobec tego dla ochrony linii nie można stosować przekładników nadmiarowych, lecz specjalne urządzenia, reagujące na brak równowagi, uziemienie i t. d.

Ze względu na brak, ewentualnie na niepewność działania odpowiednich wyłączników na tak wysokie napięcia, nie dawano im wcale, wykonywając operacje włączenia i wyłączenia linii po stronie „niskiego” napięcia transformatorów, a mianowicie na napięciu 150 kV; linja więc traktowana jest jako jedna całość wraz z transformatorami na obu końcach.

Obciążenie kosztami: przesyłania i transformowania energii na obu końcach linii, regulowania napięcia i kąta fazowego, — podaje dla różnych czasów użytkowania poniższa tabelka.

TABELA III.

	Użytkowanie roczne godzin			
	1000	3000	6000	8000
Przesyłanie na 1000 km . . .	4,80	1,75	0,98	0,80
Transformowanie na początku linii	1,43	0,50	0,25	0,21
Transformowanie na końcu linii	1,43	0,50	0,25	0,21
Regulacja	1,61	0,50	0,27	0,21
Ogółem gr/kWh	9,27	3,25	1,75	1,43

Według tabeli powyższej, autor oblicza zasięg różnego rodzaju zakładów elektrycznych, uwzględniając koszt wytwarzania energii i porównyując go z kosztem transportu węgla.

Okazuje się, że energję spadków wodnych przy użytkowaniu rocznym 6000 godzin opłaca się prze-

syłać na odległość 1770 km, przy 8000 godzin — 3000 km. Ponieważ przy współpracy wielkich zakładów elektrycznych energia wodna służy do pokrycia obciążenia podstawowego, zaś zakłady ciepne pokrywają jedynie szczyty obciążenia, — zapewnione są więc wysokie wartości czasu użytkowania, dochodzące do 7500 godzin rocznie. W tych warunkach opłaca się przesyłać energję na odległość 2700 km.

Jeśli chodzi o transport energii zamiast transportu węgla, Viel oblicza, że opłaca się przesyłać energję, wytworzoną w zakładzie cieplnym przy kopalni, na odległość 1000 km przy użytkowaniu linii 2560 godzin rocznie. Liczbę tę otrzymano, przyjmując rozchód paliwa 0,8 kg/kWh oraz koszt transportu węgla 92,25 franków za tonnę i 1000 km.

Projekt Viel przewiduje rozbudowę zakładów wodnych w Alpach (2 400 000 kW), w Pirenejach (1 400 000 kW), w Massif Central (1 500 000 kW) i na Renie (500 000 kW). Zakłady wodne pracowałyby na wspólną sieć państwową wraz z zakładami cieplnymi, zgrupowanymi w północnych okręgach węglowych (2 300 000 kW). Rozbudowa projektowanych zakładów wodnych i sieci najwyższego napięcia kosztowałyby przeszło 18 miliardów złotych.

Viel zgłosił również projekt sieci europejskiej, opracowany nieco odmiennie, niż projekt Olivena. Do sieci tej przyłączona byłaby również i Anglja; w tym celu zostałyby wybudowane tunele pomiędzy Anglja a lądem Europy. Fakt, że szczyty obciążenia występowałyby w różnych krajach z przesunięciem o parę godzin ze względu na różne czasy, pozwoliłyby zmniejszyć moc, zainstalowaną w zakładach cieplnych, o 7 000 000 kW.

Celem wykazania możliwości finansowej zrealizowania tych ogromnych planów, autor zestawia je z budową sieci kolejowej w Europie, która według niego kosztowała około 400 miliardów złotych. Projekt sieci europejskiej wraz z rozbudową zakładów wodnych na ogólną moc 78 000 000 kW (w tem Rosja 33 000 000 kW), oblicza Viel na 190 miliardów złotych.

Znaczenie postępu techniki

Dwa przemówienia J. M. Rektora Politechniki Warszawskiej, Prof. Dr. W. Chrzanowskiego.

Przemówienie na inauguracji roku akademickiego 1932/33 w dn. 1.X.32.

Zgromadziłyśmy się dziś na uroczystość otwarcia nowego roku akademickiego.

Na wstępie tego obchodu składam w imieniu naszej Politechniki, jako tegoroczny jej gospodarz, najgorętsze podziękowanie Panu Prorektorowi Prof. Dr. Psenickiemu za Jego trzyletnie zaszczytne rządy rektorskie. Panie Prorektorze, sumiennosc i sprężystosc w spełnianiu ciężkich obowiązków Rektora naszej Uczelni, — ciągła troska o należyty jej rozwój, — wreszcie bezstronność, życzliwość i wielki takt w stosunku do profesorów i studentów zjednały Ci powszechne uznanie naszej Politechniki. Znając Twoje oddanie się sprawom Uczelni, jestem przekonany, że niejednokrotnie wesprzesz mnie Swą cenną radą w czasie mego urzędowania.

Panowie Koledzy, zaszczyciliście mnie powierzeniem rządów naszej Politechniki na obecny rok akademicki, dając mi przez to dowód Waszego zaufania. Dziękuję za to jak najserdeczniej. To zaufanie Wasze będzie mi największym bodźcem do wyłączenia wszystkich sił, aby obowiązki na mnie włożone należycie spełnić. Znaczenie Politechniki i jej rozwój zależą w głównej mierze od indywidualnej pracy profesorów, tak naukowej, jak i pedagogicznej, a następnie od zgranej ich współpracy w ciałach kolegjalnych Uczelni. Zdaję sobie z tego jasno sprawę, że zadaniu memu podołać mogą tylko przy Waszym współdziałaniu i wydatnej Waszej pomocy; — dla dobra naszej Uczelni proszę o nie jak najusilniej.

Młodzieży droga, okres Twego pobytu na Politechnice jest okresem przygotowania do zawodu technika, dla dobra Ojczyzny i ludzkości.

Zadaniem techniki jest tworzenie dóbr materialnych na użytek ludzkości. W tym najogólniejszym pojęciu technika nie ma nic wspólnego z wynikiem ekonomicznym, a istota jej polega na tworzeniu urządzeń, które ułatwiają człowiekowi ciężką pracę fizyczną i zaspakajają wymagania materialne. Dzięki środkom, stworzonym przez technikę, szerokie warstwy ludności winny mieć możliwość oddania się działalności umysłowej. Dopiero technika umożliwiła ogólny rozwój kulturalny, — jest więc ona jednym z elementów kultury.

Blizsze zadanie techniki polega na tworzeniu wartości ekonomicznych, służących do podniesienia dobrobytu ogólnego ludności i przynoszących zysk ich wytwórcy, oraz na tworzeniu urządzeń, służących do obrony państwa.

Ścisła łączność pomiędzy techniką i ekonomią rozciąga się na wszystkie dziedziny techniki. Drogi bitewne, czy kolejowe, uszluszenia rzeki czy kanały, zbudowania mostu czy tunelu nie wykonywujemy dlatego, aby stworzyć nowe dzieła techniki, lecz dla podniesienia dobrobytu danej części kraju, lub też ze względów strategicznych; równocześnie wykonywując te dzieła technik posiada osobisty cel ekonomiczny, mianowicie osiągnięcie pewnego zysku. Także utrzymanie komunikacji ma nie tylko na celu stworzenie dogodności dla ludności, lecz przede wszystkim względy ekonomiczne.

Jeszcze dobitniej występuje cel ekonomiczny działalności technicznej w produkcji przemysłowej, tak w dziedzinie mechaniki i elektrotechniki, jak i w dziedzinie przemysłu chemicznego. Przemysł tworzy i organizuje nie dla nauki, nie dla postępu techniki, nie dla wykonania rzeczy nowych, lecz bezcelowych, natomiast najbliższym zadaniem jego pracy jest zdobycie zysku dla przedsiębiorstwa.

Również w architekturze, która dawniej tworzyła wyłącznie dzieła sztuki, odgrywają obecnie względy ekonomiczne coraz większą rolę; to też nowoczesna architektura stara się łączyć piękno z użytecznością.

Z powodu wzajemnej zależności produkcji technicznej i życia gospodarczego, nie wolno inżynierowi nigdy ani na chwilę zapominać, że dla wszystkich jego prac prawa ekonomiczne są równie ważne, jak prawa nauk technicznych.

Niezależnie od tych zagadnień życia codziennego, ścisła praca badawcza musi mozolnie rozwijać się w imię postępu techniki. Z chwilą, gdy praca badawcza doprowadzi do stworzenia nowego produktu technicznego, staje się on wartością gospodarczą i wówczas powstaje zadanie ekonomiczne wykonania produktu nowego zapomocą najmniejszych kosztów własnych.

Działalność inżyniera zamyka się dotychczas przeważnie w zakresie t. zw. techniki klasycznej, obejmującej budowę mostów, tuneli, kanałów, środków komunikacyjnych wszelkiego rodzaju, wznoszenie wielkich budowli architektonicznych, budowę i fabrykację wszelkiego rodzaju maszyn, urządzeń maszynowych i elektrycznych, wyroby wielkiego i średniego przemysłu chemicznego, górnictwo i hutnictwo. Natomiast wielka dziedzina wytwarzania produktów codziennego użytku, jak przemysł produktów żywnościowych, ubraniowy, meblowy i t. p. obywateli się dotychczas bez współpracy inżyniera.

Znając w najogólniejszych zarysach zadania techniki, musimy postawić pytanie, jakie zadanie powinna spełnić Politechnika, jako najwyższa uczelnia nauk technicznych. Odpowiedź nasza musi brzmieć: praca badawcza, która w wyniku doprowadza do celów ekonomicznych, oraz kształcenie potrzebnych dla życia gospodarczego kierowniczych sił technicznych.

Praca badawcza odbywa się w zakładach naukowych Politechniki, — na polu nauk doświadczalnych w laboratorjach, na polu nauk teoretycznych w postaci prac naukowych, w dziedzinach więcej praktycznych przez utrzymywanie ścisłego kontaktu z praktyką techniczną, przez opracowywanie zadań dla niej w formie projektowania lub oceny projektów urządzeń technicznych, tak pod względem technicznym, jak i gospodarczym.

Kształcenie kierowniczych sił technicznych, które wymieniam jako drugie zadanie politechniki, wymaga odpowiednich studjów politechnicznych. Podstawą działalności technicznej są nauki przyrodnicze i mechanika, które wymagają nietylko znajomości wyższej matematyki, lecz i wyszkolenia umysłu pod względem ścisłego myślenia przy pomocy matematyki. Gruntowne wykształcenie w tych dziedzinach jest podstawą twórczej działalności technicznej. Studja praktyczne dzielą się, stosownie do głównych działów t. zw. techniki klasycznej, na szereg wydziałów. Nauki techniczne poszczególnych wydziałów rozrosły się jednakże tak bardzo, że zakresu jednego wydziału trudno objąć byłoby w ciągu czteroletnich studjów, — najwyżej encyklopedycznie. Ponieważ encyklopedyczne wykształcenie nie może przysposobić do pracy twórczej, przeto powstały na większości wydziałów sekcje, które przysposabiają studentów do samodzielnej pracy technicznej przy pomocy przedmiotów, które może pogłębić student stosownie do swych zdolności i swego zamiłowania. Skutkiem tego niedostatecznie włączeni w istotę kształcenia politechnicznego mniemają, że poszczególne sekcje wydziałowe kształcą specjalistów. Zapatrywanie to jest z gruntu mylne, bo specjalizować się można tylko w praktyce technicznej, a nie w uczelni. Politechnika ma za zadanie nauczyć studenta samodzielnie technicznie myśleć, aby w życiu praktycznym potrafił na podstawie zdobytej wiedzy technicznej tworzyć samodzielnie dobrą natury technicznej dla osiągnięcia celów ekonomicznych. Tak pojęte kształcenie, poparte należytem wyszkoleniem ekonomicznym, umożliwia absolwentom politechnik pożyteczną pracę w praktyce technicznej, nie tylko w zakresie przedmiotów, wykładanych na pewnym wydziale Politechniki, lecz i pokrewnych.

Wychodząc z założenia, że politechniki kształcą kierownicze siły techniczne, nie mogą podzielić zapatrywania, które czasem słyszymy, że politechniki powinny dostarczać przemysłowi dwa rodzaje inżynierów, mianowicie niższego i wyższego stopnia. Dla inżynierów niższego stopnia miałyby być ograniczone wymagania, w szczególności w teoretycznych naukach podstawowych. T. zw. inżynier stopnia niższego jest to technik, czynnik bardzo potrzebny w praktyce, lecz kształcony przez szkoły techniczne różnego typu. Kto nie posiada odpowiednich zdolności lub warunków do przewyciężenia studjów politechnicznych, ten powinien udać się,

mimo uzyskania świadectwa dojrzałości w szkole średniej, do zawodowej szkoły technicznej.

Przemysł potrzebuje tak techników, jak i inżynierów. Technik projektuje i fabrykuje według danych reguł, zadaniem inżyniera natomiast jest wprowadzanie na podstawie nauk przyrodniczych nowych reguł, np. dla konstrukcji i fabrykacji przyrządów, mających na celu osiągnięcie lepszego skutku ekonomicznego.

Konstruktor maszyn, który w swych projektach uwzględnia tylko stronę techniczną, a nie troszczy się o stronę ekonomiczną, t. j. o stosunek kosztów wyrobu projektowanego produktu do wartości jego dla odbiorcy, nie jest kierującym inżynierem, a jest natomiast technikiem.

Kierownik ruchu, który zna doskonale urządzenia maszynowe swego warsztatu, lecz nie potrafi wydać podległemu personelowi takich zarządzeń, aby wytwórnia pracowała z największą sprawnością, nie jest kierującym inżynierem, tylko dozoruującym technikiem.

Zastosowanie w życiu praktycznym wykształcenia, zdobytego w politechnice, zależy naogół od charakteru jednostki. On decyduje też o zdobyciu najwyższych stanowisk kierowniczych w technice przemysłowej. Do otrzymania stanowiska tego rodzaju, a przede wszystkim do utrzymania się na niem, nie wystarcza sama wiedza zawodowa, decydującym czynnikiem są dopiero cechy osobiste w połączeniu z umiejętnością zawodową. Naczelne stanowisko w przemyśle może piastować tylko człowiek dzielny, o silnej woli i niezłomnym charakterze, z dużym taktem życiowym, indywidualność wybitna, umiejąca produkować z zyskiem ekonomicznym.

Studjum politechniczne wymaga pracy wyjątkowo wytrwałej. W celu osiągnięcia możliwie dobrego wyniku tak pod względem ukończenia studjów w czasie ustalonym, jak i zdobycia rzeczywistej wiedzy i umiejętności zawodowej, trzeba zdobyć się na pełny, długotrwały wysiłek.

Młodziużo droga! Pamiętaj o tem, że nieugięta wola i energia osobista odgrywają w życiu rolę decydującą, o ile poparte są rozważą i doświadczeniem. Kształć więc te cechy charakteru, a we wszystkich sprawach, wymagających rozważa i doświadczenia, zwracaj się z pełnym zaufaniem o radę do nas, starszych, którzy razem z Wami tworzymy dopiero całość Uczelni.

W przekonaniu, że Uczelnia nasza spełni swe zadanie, otwieram nowy rok akademicki.

Przemówienie na „Święcie Politechniki“ w dn. 20.XI.32.

W imieniu Politechniki witam wszystkich do stojnych gości, którzy zaszczytli swą obecnością „Święto Politechniki”, witam serdecznie młodzież, która poświęca się mozolnym studjom technicznym w naszej Uczelni.

Politechnika posiada, jak wszystkie państwowe szkoły akademickie w Rzeczypospolitej, dość znaczny samorząd. Wobec tego, zdaje ona z wyniku swych prac i swej działalności w ubiegłym roku akademickim sprawozdanie publiczne przez usta profesora najwięcej powołanego, mianowicie tego, który w tym czasie piastował godność Rektora. Tradycją lat ubiegłych i dziś sprawozdanie to będzie wygłoszone, czuję się jednak w obowiązku za-

znaczyć, iż w myśl uchwały Senatu akademickiego „Święto Politechniki” ma być w przyszłości połączone z obchodzoną od kilku lat uroczystością inauguracyjną przy otwarciu nowego roku akademickiego.

Na tegorocznym obchodzie inauguracyjnym podkreśliłem w najogólniejszych zarysach zadania techniki i rolę, jaką w stosunku do tych zadań spełnić winny Politechniki. Technika jest ściśle złączona z ekonomją. Stąd wypływają w obecnie przeżywanem, ciężkiem przesileniu gospodarczem dość jednostronne zarzuty w stosunku do techniki. Słyszemy zdania, iż wynalazki techniczne spowodowały panujące ogromne bezrobocie, pod którego brzemieniem uginają się państwa i narody. Słyszemy zdanie, że „technika jest przekleństwem ludzkości”, bo prowadzi walkę z przyrodą, a w walce tej człowiek ulec musi.

Trudno podzielić te zapatrywania. Technika rozwijała się bowiem powoli przez tysiące lat, pracując dla zaspokojenia najprymitywniejszych potrzeb ludzkich i dając zatrudnienie oraz utrzymanie stosunkowo niewielkiej liczbie ludzi. Dopiero pod koniec 18-go wieku epokowy wynalazek maszyny parowej, tej staruszki, która dziś odgrywa już małą rolę, umożliwił rozwój najróżniejszych gałęzi przemysłu, dając przez to utrzymanie licznym rzeszom. Potwierdza to niezbita statystyka. Do r. 1800 liczba ludności w Europie wynosiła przez całe wieki około 180 milionów, a dopiero z rozwojem przemysłu wzrastała ona stopniowo, dochodząc obecnie do 460 milionów.

Temu ogromnemu przyrostowi ludności nie mogło dać zatrudnienia, zapewniającego możność egzystencji, ani rolnictwo, ani rzemiosło, — uczyniła to natomiast technika, w szczególności przez swe wielkie wynalazki i przez umiejętne zastosowanie pomysłów pionierów techniki. Wymienię tylko najważniejsze ich nazwiska z poszczególnych dziedzin, więc z dziedziny przemysłu maszynowego — Watt, Otto, Diesel, de Laval, Parsons, Linde, Stodola, — z dziedziny elektrotechniki: Galvani, Volta, Auer, Welsbach, Coolidge, Siemens, Hertz, Roentgen, Edison, Marconi, a w przemyśle chemicznym — Bayer, Hoffmann, Liebermann, Knorr, Chardonnier, Haber, Bosch. Nie mniejsze, a czasem nawet większe znaczenie od samego pomysłu posiada twórcza praca inżyniera wykonywającego, który z pomysłu stwarza dopiero produkt techniczny, przez co staje się on wartością gospodarczą. Pracę tę skuteczniły wytwórnie, kierowane przez wybitnych inżynierów o szerokim poglądzie ekonomicznym, którzy często, mimo pierwotnych liczących niepowodzeń, przyczynili się, dzięki wytrwałości i celowemu działaniu, do wielkich postępów techniki.

Postęp techniki odciąża coraz więcej człowieka od ciężkiej pracy fizycznej. Jeden z największych inżynierów-teoretyków doby obecnej, prof. Stodola z Zurychu, wypowiedział w roku ubiegłym zapatrywanie, iż można wyobrazić sobie przyszłość, w której technika podniesie człowieka do takiego poziomu życiowego, przy którym zniknie wszelka ogłupiająca i uciążliwa praca mięśni, a nowe pokolenie ludzi będzie pielęgnowało organizm fizyczny jedynie ze względów higienicznych, zapomocą ulubionych sportów. Z pewnością niewielu z nas uważałoby taką przyszłość za dobrą dla ludzkości, oba-

wiając się jej degeneracji. A jednak w oświadczeniu prof. Stodoli zarysowują się dwa wielkie zadania, które czekają na rozwiązanie. Przedewszystkiem trzeba podnieść przy pomocy techniki ogólny poziom życiowy ludzi, co dotyczy jeszcze bardzo wielu krajów. Niezależnie od tego trzeba stworzyć warunki, w których ogół ludzi, przy krócej trwającej pracy, miałby zapewniony dostateczny byt materialny.

Zagadnienia te są wybitnie ekonomiczne, lecz technika jest z nimi jak najściślej złączona.

Jaką drogę ma obrać technika, aby w rozwiązaniu tych zagadnień spełnić rolę twórczego elementu, gdy ogólne warunki ekonomiczne zezwolą na zmiany?

Z pewnością powrót do rzemiosła, zalecany przez wielu, jako jedyne lekarstwo na obecne bezrobocie, jest niemożliwy, bo nikt z tych, którzy zakosztowali wygody dobrych komunikacji lub przyjemności światła elektrycznego, samochodu i radja, nie chciałby wyrzec się ich. Rzemiosło nie mogłoby zaspokoić naszych dotychczasowych wymagań. Biegunowo przeciwne byłoby rozwiązanie zapomocą t. zw. ogólnej gospodarki planowej. Twórcza praca techniki, złączonej nierozdzielnie z ekonomją, wymaga pracy wybitnie indywidualnej, przy posiadaniu jasno określonego planu działalności, — nie może jej zastąpić „praca komisyjna”. Ogólna gospodarka planowa zabija indywidualność, a technika gospodarcza wykazuje, że bardzo często plan „przy zielonym stoliku”, jak najszczegółowiej rozważony i nakreślony, nie uwzględnił różnych czynników, bo nie mógł ich uwzględnić, a jednak obróciły one w niwecz wyniki spodziewane.

Innym dowodem słuszności powyższego twierdzenia jest trudność, z jaką wielkie zcentralizowane wytwórnie przemysłowe przeżywają obecne przesilenie gospodarcze. Powstały one przeważnie z ekonomicznie niezdrowego założenia, bo ze względów spekulacyjnych, licząc na utopijne możliwości zbytu. Stosownie do tego założenia, zainwestowały w urządzenia mechaniczne, które zastępują pracę ludzką, zbyt wiele kapitału. Z powodu znacznie mniejszego zbytu swych wyrobów, urządzenia wspomniane mogą być tylko częściowo, przeważnie w bardzo nieznacznym procencie wykorzystane. Strata jest podwójna, raz nierentujące się zastąpienie pracy ludzkiej przez maszynę, drugi raz załamywanie się ekonomiczne przedsiębiorstw, wyrażające się ograniczeniem pracy, a spowodowane zbyt dużymi inwestycjami. Zastosowanie postępu technicznego jest tylko wówczas słuszne i zdrowe, jeśli daje towar tańszy i lepszy, — a zatem pracę fizyczną ludzką

i zwierzęcą należy tylko wtedy zastępować maszyną, gdy zmiana taka zapewnia trwałe wyniki ekonomiczne.

Widzimy też, że mniejsze i średnie wytwórnie, w których indywidualna i planowa praca jednostek kierowniczych odgrywać może większą rolę, w których nie utopiono w nierentującym się zmechanizowaniu zbyt dużo kapitału, znoszą obecne przesilenie gospodarcze znacznie lepiej.

Droga, prowadząca do ideału, przedstawionego przez prof. Stodolę, jest długa i wymaga stopniowego rozwoju, jeśli mamy uniknąć wielkich wstrząsów ekonomicznych. Obecne przesilenie gospodarcze zostało bezwątpienia wywołane skutkami wojny europejskiej, lecz pogłębiły je błędy, popełnione na całym świecie w dziedzinie ekonomicznej i społecznej, tak przez sfery rządowe, jak i prywatnogospodarcze.

W życiu ekonomicznym pracują finansisci, przemysłowcy, ekonomiści, prawnicy i kierujące siły techniczne. Nie mówiąc o winach innych, otwarcie przyznać trzeba, że kierujący inżynierowie ponoszą dużą, choć może tylko pośrednią winę w stosunku do pogłębienia obecnego przesilenia gospodarczego.

Ulegając sugestji, że brak towarów, który panował w czasie wojny i po wojnie, będzie trwały, inżynierowie mechanicy, elektrycy i chemicy dostosowali do tego swe projekty. Zachęceni przez finansistów, rozbudowali i zmechanizowali zbyt wiele wytwórnie, wychodząc z założenia, że technika nowoczesna ma przeogromne możliwości produkowania, a zapominając o podstawowej zasadzie gospodarczej, że produkcja musi być dostosowana do możliwego zbytu. Wielkie przecenienie tego zbytu przyniosło niepowetowane straty. Zawinili też inżynierowie dróg i mostów oraz architekci, skłaniając się do wykonywania budowli kosztownych, nie raz nawet luksusowych, lecz nie rentujących się; czasem nie potrafili oni przekonać swych mocodawców, że w okresie zubożenia powojennego należy tworzyć nie tylko dzieła piękne i trwałe, lecz przede wszystkim ekonomiczne.

Mimo obecnego przesilenia gospodarczego, ludzie nie będą chcieli obejść się bez dobrodziejstw tej „przeklętej” techniki. Dla ogólniejszego korzystania z darów techniki, konieczna jest jednak odbudowa gospodarcza, w której indywidualna praca kierowniczych inżynierów o szerokim poglądzie ekonomicznym musi odegrać dużą rolę.

Pragnąłbym szczerze, aby w wielkiej tej pracy wzięli w przyszłości udział uczniowie naszej Uczelni.

PRZEGLĄD PISM TECHNICZNYCH

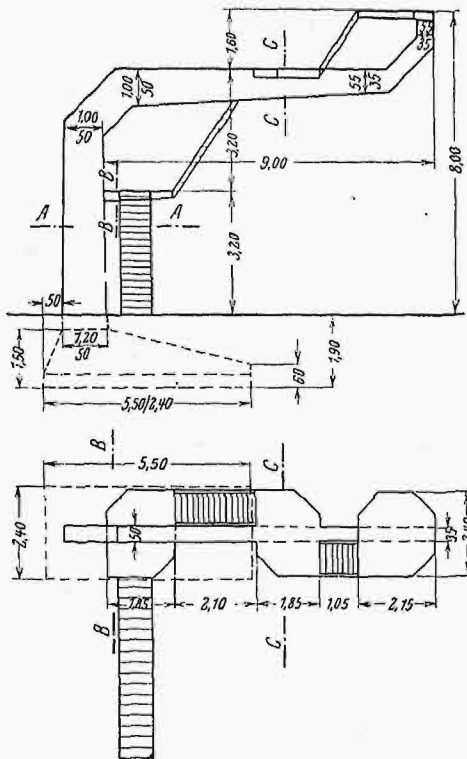
BUDOWNICTWO.

Oryginalna konstrukcja wspornikowa z żelbetu.

Na targach w Budapeszcie wykonano ciekawą budowlę z żelbetu w celu przekonania zwiedzających o niezwykłych możliwościach konstrukcyjnych przy zastosowaniu tego tworzywa.

Budowla składa się z filara, zamocowanego w fundamencie (rys. 1 i 3), ze wspornikiem o wysięgu 9 m. Koniec wspornika, wygięty pod kątem 45°, podtrzymuje mimochodowo osadzoną na wysokości 8 m płytę.

Na wysokości 3,2 m i 6,4 m znajdują się spoczniki żelbetowe.



Rys. 1. Rzuty pionowy i poziomy konstrukcji.



Rys. 2. Widok budowli obciążonej ludźmi.

Płyta górna połączona jest poprzez spoczniki z terenem schodami, które jednak wykonano ze stali, aby całość wyglądała przejrzysto.

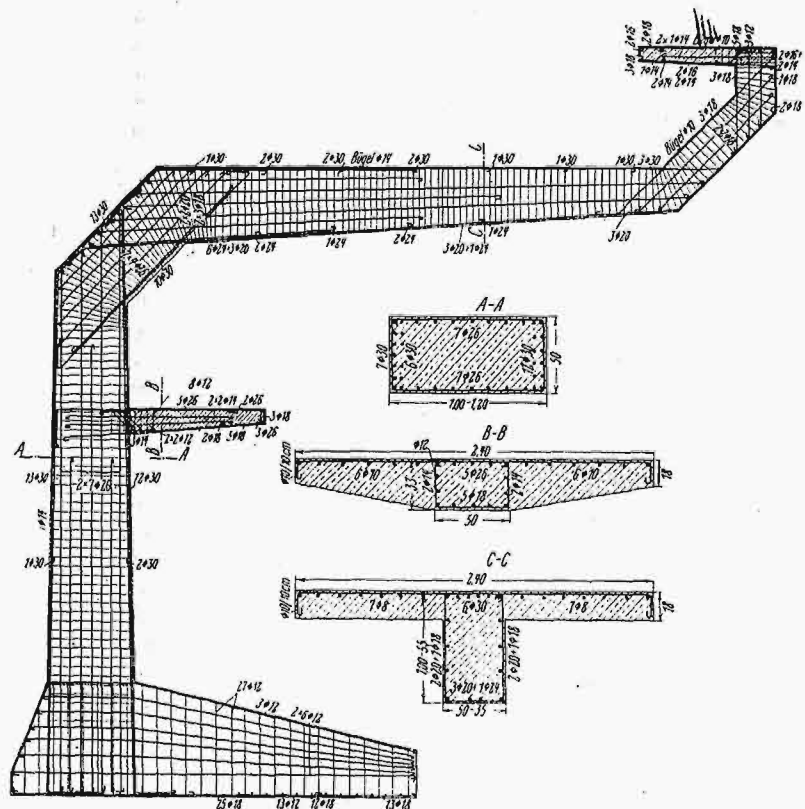
Konstrukcję obliczono na mimośrodkowe zginanie i skręcanie. Wykonanie desekwań i uzbrojenia trwało 5 dni, betonowanie 1 dzień. W 36 godzin po zabetonowaniu konstrukcję rozdeskowano i poddano próbnemu obciążeniu 500 kg/m^2 ; następnego dnia obciążono ludźmi (rys. 3) i oddano do użytku publiczności. Tak szybkie wykonanie całości robót objaśnia się zastosowaniem do betonu szybkoztwardniejącego cementu glinowego, dla którego opisana konstrukcja jest cenną reklamą. (Beton u. Eisen, zes. 19 z 1932 r.). W. Z.

GOSPODARKA ENERGETYCZNA.

Wielkie siłownie w Magnitogorsku

Jak wiadomo, wśród wielkich instalacji przemysłowych, wznoszonych obecnie na obszarze Rosji sowieckiej, jeden z większych ośrodków wytwórczych budowany jest na Uralu, w Magnitogorsku. Ośrodek ten będzie miał za zadanie głównie wyrób stali w oparciu o miejscowe nadzwyczaj bogate zasoby magnetytu. Z wytwórczością tą jednak połączony będzie wyrób koksu i przeróbka produktów ubocznych koksownictwa, tak że całość obejmie wielkie przedsiębiorstwa: górnicze, metalurgiczne i chemiczne. Zespół tych przedsiębiorstw obsługiwany będzie przez 5 siłowni.

Dział hutniczy zawierać będzie 8 wielkich pieców o wydajności 2,5 miliona tonn rocznie. Dwa z tych pieców, największe w Europie, są już w ruchu. Wielkie piece będą



Rys. 3. Uzbrojenie konstrukcji żelbetowej.

obsługiwane przez 2 centrale dmuchaw, które będą ponadto zużytkowane jako elektrownie; poza tem będą 3 elektrownie właściwe o mocy łącznie 632 000 kW.

Pierwsza stacja dmuchaw, której budowa jest ukończona, posiada 3 kotły sprowadzone z Niemiec (Dürrwerke) i 5 turbodmichaw dwu typów (wyrobu Gutehoffnungshütte i Brown - Boveri). Kotły są optymkowe, opalane pyłem węglowym z domieszką gazu wielkopiecowego i gazu koksownia-

nego w proporcji 60:20:20. Komory spalinowe posiadają palniki w 4-ch rogach, wdmuchujące mieszanke ukośnie; ściany boezne komór są chłodzone rurami wodnymi, od dołu zamyka komory ruszt wodny.

Wydajność każdego kotła wynosi 115 t/godz., pow. ogrzewana — 1684 m², pow. płaszcza i rusztu wodnego 340 m², przegrzewacza 1038 m², podgrzewacza powietrza 710 m²; objętość każdej komory spalinowej — 650 m³. W drugiej stacji dmuchaw pracować będzie 4 kotły wyrobu rosyjskiego (z nich jeden zapasowy).

Poza temi dwiema instalacjami, fabryka metalurgiczna dostarczać będzie 100 000 kg pary na godz., uzyskanej z ciepła odpadkowego, pochodzącego z 71 pieców.

Co się tyczy elektrowni, to pierwsza z nich wytwarzać będzie 344 000 kW; obecnie jest ona zbudowana tylko w części. Druga elektrownia jest w stadium projektowania, przy czem rozważa się możliwość pobierania z jej turbin pary, która dostarczałaby wody gorącej do ogrzewania tworzącego się miasta, liczonego na 200 000 mieszkańców. Moc tej elektrowni wyniosłaby 48 000 kW. Trzecia elektrownia, o mocy prawdopodobnie 150 000 kW, obsługiwałaby wytwórnię chemiczną, która, poza przeróbką produktów koksowania, dystylowałaby smołę i wytwarzała amoniak syntetyczny oraz nawozy sztuczne. (P o w e r, sierpień 1932). M.

METALOZNAWSTWO.

Stal do azotowania o wyższej zawartości siarki łatwiej się obrabia.

Zazwyczaj poddaje się stal do azotowania obróbce cieplnej przed azotowaniem, co sprzyja wytwarzaniu się struktury sorbitycznej. Po hartowaniu wyżarza się tworzywo w temperaturze 650 do 700°C, poczem materiał ulega obróbce wiórowej, jak stal zwykła podobnej twardości. Istnieje jednak zrozumiałe dążenie do uzyskania stali do azotowania łatwiej obrabialnej.

Autor zbadał dwa gatunki stali do azotowania: jeden normalny, drugi — o wysokiej zawartości siarki, zakładając a priori, iż ostatni wykaże łatwiejszą obrabialność. Skład chemiczny obu gatunków stali był następujący:

	a	b	
Węgla	0,330	0,320	%
Manganu	0,480	0,470	„
Krzemu	0,230	0,070	„
Aluminjum	1,086	1,110	„
Chromu	1,200	1,290	„
Molibdenu	0,220	0,260	„
Siarki	0,022	0,170	„
Fosforu	0,017	0,018	„

Próby wytrzymałości i udarności wykonano po hartowaniu w wodzie od 925° i wyżarzeniu w 540 do 760°C.

Wyniki badań wskazują, że granica sprężystości jest prawie jednakowa u obu gatunków stali; wydłużenie i przerwienie stali b są nieco niższe, natomiast udarność jej ustępuje o wiele stali a. Atoli naogół własności stali o wyższej zawartości siarki czynią zadość wymaganiom większości zastosowań stali do azotowania.

Autor podaje nadto krzywe twardości w zależności od głębokości, otrzymane przy badaniach po azotowaniu próbek obu gatunków w temp. 525° w ciągu 48 godzin. Krzywe te, jak również mikrofotografie, wykazują nieco niższą twardość w głębi warstwy naazotowanej stali o wyższej zawartości siarki. Próby zaś obrabialności wypadły wyraźnie na korzyść tej ostatniej stali. Badania korozyjności dały wyniki jednakowe dla obu gatunków.

Tak więc stal o wyższej zawartości siarki może być stosowana tam, gdzie chodzi o łatwiejszą obróbkę i gdzie nie zależy na szczególnie wysokiej udarności. (Iron Age, 21 lipca 1932). C.

SPAWANIE.

Spawanie w budowie statków.

Tam, gdzie chodzi o lekkość i szczelność, jak w budowie statków i okrętów, spawanie znajduje naturalny teren do jaknajszerszego rozwoju. Pierwsze statki oceaniczne z r. 1920 całkowicie spawane przeszły już próbę czasu i potwierdziły te nadzieje, które pokładano w nowego typu konstrukcjach. Zalety spawanych ustrojów występują szczególnie w razie uszkodzeń statków przez zderzenie i t. p. W licznych wypadkach tych niepożądanych prób wytrzymałości i szczelności ustroje spawane wykazały swoją wyższość nad nitowaniami. Ostatnio zbudowane krążowniki 10 000-tonnowe amerykańskie i niemieckie mogły otrzymać, dzięki spawaniu, znacznie silniejsze uzbrojenie, niż to było przewidziane w chwili ograniczenia tonnażu jednostek bojowych.

Na 24 rysunkach autor podaje przykłady statków spawanych, wykonanych w Ameryce, Anglii, Belgji, Niemczech i Francji. Jest to pierwsze studjum tego rodzaju w prasie technicznej polskiej. (Spawanie i Cięcie Metali, 1932, zes. 4 i 5—6).

D.

Naprawa styków szyn zapomocą spawania acetylenowo-tlenowego.

Naprawa wybitych i wykruszonych końców szyn na stykach przez nakładanie metalu zapomocą palnika acetylenowo-tlenowego i doprowadzanie tym sposobem końców szyn do normalnych wymiarów jest od 10 lat szeroko rozpowszechnione w Ameryce. Chicagoskie koleje naprawiły w ten sposób przeszło milion styków, kolej Southern Pacific Co. — 1 200 000 styków i t. d.

Głównym powodem, dla którego jest stosowane spawanie acetylenowe, a nie spawanie łukowo-elektryczne, jest możliwość przekuwania metalu nakładanego w stanie gorącym, co ulepsza strukturę metalu i pozwala nadać warstwie nałożonej odpowiedni kształt bez późniejszego szlifowania. Przy spawaniu łukowym metal nakładany stygnie tak szybko, że przekuwanie jest niemożliwe, a obróbka zapomocą szlifierki znacznie podraża robotę. Przez zagrzanie palnikiem i odpowiednie przekucie można koniec szyny doprowadzić częściowo dożądanego kształtu, zanim się przystąpi do nakładania, przez co można naprawę skutecznie mniejszą ilością metalu, niż przy spawaniu łukowym; poza tem przy spawaniu łukowym musi być metal nałożony z nadmiarem, aby po zeszlifowaniu dostać powierzchnię gładką. Naprawa styku odbywa się na torze, bez rozkręcania styku, przytem normalny ruch pociągów nie jest zakłócany. Wycinanie odstępu dylatacyjnego między szynami, przy spawaniu palnikiem, odbywa się na gorąco zapomocą ścinaka, a wycinanie go szlifierką — przy spawaniu łukowym — jest dość kosztowne.

Styk nakładany palnikiem można również poddać obróbce termicznej przez hartowanie i odpuszczanie, co jest niemożliwe przy spawaniu łukowym.

Metoda stosowana w praktyce amerykańskiej polega na zagrzaniu styku do temperatury 1500°F (816°C) i ochłodzeniu go następnie strumieniem wody, którym polewa się styk, póki temperatura nie spadnie poniżej 100°. Następnie powoli zagrzewa się styk do temperatury 400°C, co się sprawdza zapomocą pałeczek stopu, łopiącego się przy tej temperaturze. Osiąga się tym sposobem twardość ok. 300° Br.

Drut, którym się nakłada szynę, zawiera więcej węgla niż szyna, gdyż część węgla wypala się w płomieniu palnika. Oprócz drutów węglistych, zawierających większe do-

mieszki manganu, stosuje się druty specjalne ze stali chromomolibdenowej.

Autor omawia badania przeprowadzone w Polsce nad przydatnością różnych drutów do nakładania styków *) oraz podaje szczegółowy opis metody, stosowanej przy próbnym robotach, wykonanych na liniach Polskich Kolei Państwowych. Dzięki inicjatywie Stow. dla Rozwoju Spawania i Cięcia Metali oraz zrozumieniu, jakie dla tej sprawy okazało Ministerstwo Komunikacji, Polska jest pierwszym krajem w Europie, która stosuje spawanie acetylenowe do naprawy styków. Polskie próby wykazały, że twardość warstwy nałożonej wynosi po zahartowaniu około 400⁰Br i spada po odpuszczeniu do 270⁰Br, przytem zawartość węgla wynosi 0,48%, a więc pod względem twardości i zawartości węgla naprawiona szyna odpowiada szynie nowej.

Autor podkreśla fakt, stwierdzony przez badania polskie, że gruboziarnista struktura szyny, która powstaje następstwem ciągłego walcowania jej na zimno przez koła pojazdów, ulega ulepszeniu w czasie procesu spawania, a to dzięki wyżarzaniu w płomieniu palnika. W zakończeniu autor nawołuje koleje francuskie do przeprowadzenia analogicznych studjów. (*Revue de la Soudure Automatique*, Nr. 226, 1932).

D.

Bibliografia

Elektrische Lichtbogenschweissung. Handbuch für die Anwendung der Lichtbogenschweissung in der gesamten Industrie. K. Meller. Wydanie 2-gie. 374 rys. Nakład S. Hirszel, Lipsk.

Jest to podręcznik spawania elektrycznego łukowego, przeznaczony dla inżynierów i techników, zawierający tak teoretyczne podstawy spawania łukowego, jak i praktyczne wiadomości, niezbędne do stosowania spawania w przemyśle.

Na wstępie autor opisuje różne metody spawania łukowego oraz podaje charakterystykę łuku elektrycznego. Maszyny do spawania ręcznego i automatycznego, prądem stałym lub zmiennym — są treścią rozdziału drugiego. Ten dział elektrotechniki spawania łukowego jest potraktowany bardzo szczegółowo i pieczołowicie zilustrowany przez obrazki wyrobów (wyłącznie) Siemens, czemu znowu dziwić się nie można, biorąc pod uwagę stanowisko autora w tej firmie.

Rozdział III — najważniejszy — traktuje o spawaniu stali miękkiej. Autor zrecenzuje wprawdzie czytelnika w zagadnienia metaloznawcze połączeń spawanych, rozpatrując strukturę i skład naprzód stali używanych w przemyśle, a potem drutów i elektrod używanych do spawania (spoiwo) i wreszcie wpływ rozmaitych czynników na własności mechaniczne spoin. Sama technika spawania jest hye może zbyt pobieżnie potraktowana, za mało zanalizowano również możliwe błędy spawania i ich rozliczne przyczyny. Reklamowy charakter tej publikacji, a może tylko entuzjazm autora do spawania łukowego, tłumaczy tę jego niechęć do rozwodzenia się nad błędami wykonania. Zagadnienie naprężeń szkodliwych z powodu skurczu — pierwszorzędnej wagi, a tak mało zbadane dotychczas — zostało poruszone przez autora na zasadzie ciekawych, acz jeszcze niekompletnych badań Lottmana. Prace R. Kinhead'a (St. Zj.) i Keel'a (Szwajc.), które ukazały się w tym czasie, będą zapewne uwzględnione przez autora w następnym wydaniu. Sposoby obliczania wytrzymałości połączeń spawanych ograniczył autor, zapewne ze względu na brak miejsca, do kilku typowych przykładów **).

*) Badania te pozwoliły zapoczątkować krajowy wyrób tych drutów. (Przyp. ref.).

***) Dokładniejsze informacje znaleźć można u Kommerella, Schmucklera (niem.), Goeltzera (franc.) i u prof. Bryły.

Autor podaje dalej sposób znakowania spoin i przykłady projektowania części spawanych zamiast odlewów, względnie konstrukcyj nitowanych.

Ciekawym studjum o kosztach spawania kończy się dział o spawaniu stali miękkiej. Studjum to, świetnie ułożone i bardzo przejrzyste zilustrowane 40 wykresami, jest pierwszą pracą tego rodzaju, racjonalnie wykonaną. Autor podaje, jak wpływa na koszt własny spawania blach różnej grubości: stopień wyzyskania czasu roboczego, szybkość topienia elektrod, ich cena jednostkowa, zużycie i cena jednostkowa prądu, cena robocizny i t. p. Nie podaje natomiast (i słusznie) „przeciętnych” cyfr bezwzględnych, które nigdy nie odpowiadają rzeczywistości i wprowadzają zwykle czytelnika w błąd. Autor zresztą nie ustrzegł się tej pomyłki w zakończeniu tego rozdziału, porównując koszty spawania łukowego i acetylenowego i wprowadzając już zupełnie konkretnymi, a błędnymi cyframi na niekorzyść spawania palnikiem. Chęć reklamowania spawania łukowego zbyt jaskrawo znalazła tu wyraz.

Następne 3 krótkie rozdziały zawierają spawanie żelaza, metali nieżelaznych oraz cięcie łukiem — dziedziny, w których spawanie łukowe nie robi postępów, ani nie znajduje przemysłowego zastosowania.

Natomiast bardzo pożyteczne jest zestawienie przez autora w rozdziale VII rozmaitych metod badań spoin pod względem jakości wykonania i wytrzymałości. Ponieważ przy wykonywaniu konstrukcyj podlegających nadzorowi władz, jak kotły, zbiorniki, konstrukcje budowlane, mostowe i t. p., muszą być przeprowadzane próby w celu wyboru odpowiednich elektrod i stwierdzenia kwalifikacyj spawaczy, dział ten ma duże znaczenie praktyczne.

Ostatni rozdział zawiera liczne fotografie i staranne opisy wybitnych konstrukcyj, wykonanych zapomocą spawania łukowego. Nie wszystkie przykłady są szczęśliwie dobrane, dotyczy to np. typowych połączeń konstrukcyj żelaznych (rys. 326), którym można przeciwstawić już z naszej polskiej praktyki bardziej racjonalne rozwiązania. Bardzo szczegółowo potraktowano dział konstrukcji statków spawanych.

Bardzo poważną wadą tego działu jest jego charakter reklamowy. Spawanie łukowe jest w stadium wywalczania sobie należytego miejsca w technologii wśród dawnych, wypróbowanych latami, metod łączenia metali. Silna propaganda ze strony zainteresowanego przemysłu jest zrozumiała, gdyż spawanie jest mało znane i wielu techników trzeba jeszcze przekonywać o jego zaletach. W zapale propagandowym jednak idzie się często zbyt daleko, bo aż do zwałczania innych metod, zapomocą cyfr, mówiąc delikatnie „naciągniętych”. Od dzieła naukowego wymaga się powagi i bezstronności, choćby było wydane przy wybitnym poparciu firmy zainteresowanej (w danym wypadku f. Siemens-Schuckert, jak wynika z przedmowy).

Uwadze czytelnika polskiego polecam na str. 348 opis pierwszego na świecie mostu drogowego całkowicie spawanego, wykonanego pod Łowiczem wg. projektu prof. Bryły. Autor podaje o nim różne szczegóły techniczne i pisze, że jest pierwszym mostem tego rodzaju w Europie, ale w jakim kącie Europy... przemilcza. Jest to rzecz dla niemieckiej literatury technicznej charakterystyczna.

I jeszcze jedna drobna uwaga: co ma wspólnego spawanie łukowe z Traktatem Wersalskim? A jednak na str. 374 autor wspomina „schr harte Bedingungen des Versailler Vertrages”. Nie jest to odosobniony wypadek w niemieckiej literaturze technicznej w dziedzinie spawalnictwa. Pewien rodak p. Meller'a w podręczniku o „Cięciu palnikiem tlenowo-acetylenowym” zilustrował (jako przykład) cięcie na złom starych łuf armatnich i przy tej okazji „wyciął” tyradę na temat oburzającego traktatu wersalskiego, który zmusił Niemcy do zniszczenia swego uzbrojenia.

To jako przyczynek do charakterystyki propagandy niemieckiej, która nawet prasy technicznej używa do celów politycznych.

Z. Dobrowolski.