

PRZEGLĄD TECHNICZNY

TYGODNIK POŚWIĘCONY SPRAWOM TECHNIKI I PRZEMYSŁU.

TREŚĆ:

Chłodzenie silników lotniczych, nap. Inż. K. Księski.

O wytrzymałości prętów ściskanych mimosrodkowo lub jednocześnie zginanych i ściskanych, nap. Inż. Fr. Szełągowski.

Wartość nawozowa osadów kanalizacyjnych oraz względy higieniczne przy stosowaniu ich do celów rolniczych, nap. Inż. Z. Rudolf.

Przegląd pism technicznych.

SOMMAIRE:

Refroidissement des moteurs d'aviation (à suivre), par M. K. Księski, Ingénieur.*

Sur la résistance des barres soumises à la pression excentrique, ou à la pression et la flexion simultanément, par M. Fr. Szełągowski, Dr. Ingénieur.

L'emploi des sédiments des eaux d'égout comme les engrais (à suivre), par M. Z. Rudolf, Ingénieur.

Revue documentaire.

Z NADROZBIENIA

LABORATORIUM

TYTUŁOWY

POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

J.N. 111-689

Chłodzenie silników lotniczych.

Napisał Inż. K. Księski.

Dążeniu do zwiększenia mocy jednostkowej silników lotniczych, t. j. mocy przypadającej na 1 kg ciężaru silnika, przeciwstawiają się, prócz trudności konstrukcyjnych i wytrzymałościowych materiałów oraz trudności w samych przebiegach termicznych, przede wszystkim komplikacje w działaniach pomocniczych silnika, jak: zapalanie, smarowanie i chłodzenie.

Ilość ciepła, którą należy odprowadzić w drodze chłodzenia, jest z dużym przybliżeniem proporcjonalna do mocy użytecznej silnika. Moc użyteczna silnika jest, jak wiemy, funkcją zarówno pojemności cylindrów, jak i średniego ciśnienia, ilości wybuchów na minutę, a w końcu sprawności termicznej i mechanicznej silnika. Przy wzroście wymiarów linjowych silnika, z zachowaniem podobieństwa konstrukcji, stałego ciśnienia wybuchu i stałej prędkości katowej, moc użyteczna silnika zwiększać się będzie mniej więcej proporcjonalnie do sześciastu jego wymiarów linjowych. Ponieważ równocześnie powierzchnia ochładzana rośnie tylko proporcjonalnie do kwadratu wymiarów linjowych, przeto ilość ciepła, którą będzie należało odprowadzić przez jednostkę powierzchni ochładzanej, zwiększać się będzie równolegle z wymiarami silnika.

Pociąga to za sobą konieczność wzmoczenia wydajności chłodzenia, tem większego, że niezależnie od wymiarów geometrycznych moc użyteczna wzrastać będzie w nowoczesnych silnikach lotniczych również na skutek

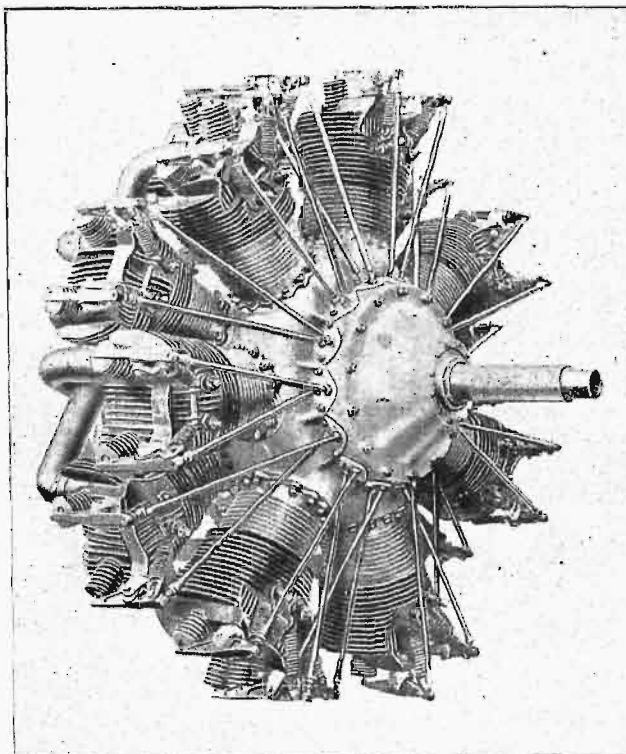
podwyższania ciśnienia średniego oraz polepszenia się sprawności termicznej i mechanicznej silnika. Wobec tego, zagadnienie chłodzenia, które w silnikach wybuchowych było zawsze czynnikiem bardzo ważnym, wybija się w obecnych wysoko obciążonych silnikach lotniczych nieomal na plan pierwszy, decyduje o mocy maksymalnej silnika i uzależnia od siebie kwestje układu, wymiarów i konstrukcji silnika. Rozpatrzmy to pokrótce.

Istnieją, jak wiadomo, dwa sposoby chłodzenia silników lotniczych: chłodzenie wodą, lub prądem powietrza wytwarzanym przez obrót śmigła oraz ruch postępowy samolotu.

Przyjęty system chłodzenia rozstrzyga w pierwszym rzędzie o wyborze układu cylindrów w pro-

jektowanym silniku.

W istocie, chłodzenie wodą pozwala na zupełną swobodę rozmieszczania cylindrów i skłania do przyjęcia systemu silnika szeregowego, jedno lub wielorzędowego, którego zaletą jest zwartość konstrukcji w kierunku poprzecznym, stąd mały opór

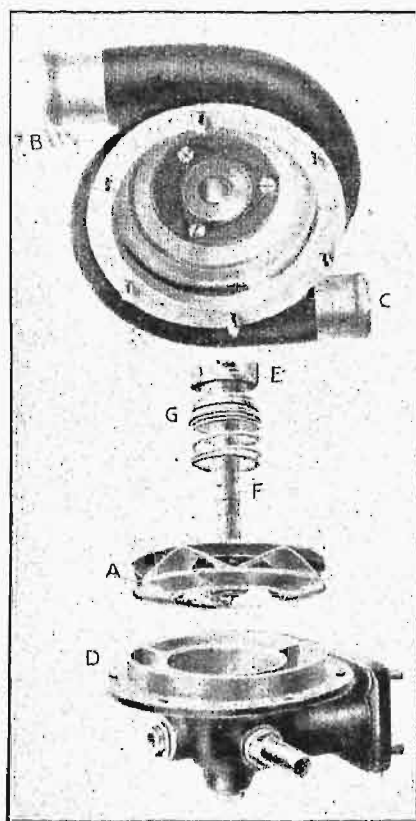


Rys. 1. Silnik gwiazdowy Lorraine o mocy 470 KM, 1800 obr/min, 14 cylindrach, w du gwiazdach.

rzając równocześnie najlepsze w tym dziale pierwowzory, które służą następnie za wzór niemal wszystkim krajom europejskim.

czołowy i możność najdoskonalszego z punktu widzenia aerodynamiki profilowania kadłuba samolotu. Poza to silnik szeregowy rozkłada siły wywołane wybuchami w cylindrach na większą ilość czopów korbowych, a dopuszczając stosowanie dowolnie dużej liczby cylindrów, pozwala na podniesienie mocy silnika aż do tej granicy, którą określają względy dynamiczne i wytrzymałościowe wału korbowego i karteru silnika oraz racjonalność konstrukcji.

Chłodzenie powietrzem pociąga za sobą konieczność dobrania takiego układu cylindrów, by wszystkie były wystawione na silny prąd powietrza chłodzącego. Stąd pochodzi system silników gwia-



Rys. 2. Pompka wodna wirnikowa silnika Lorraine 450 ÷ 480 KM.

A — wirnik; B, C — wylot wody chłodzącej; D — pokrywa; E — sprężko kłowe; F — wał; G — kulki kołożysko oporowe.

dowych, nader zresztą interesujący pod względem wyważenia mas, lekkości układu korbowego i karteru. Ze względu na regularność wybuchów, liczba cylindrów każdej gwiazdy jest nieparzysta, a więc 3, 5, 7, 9. Ilość cylindrów jednej gwiazdy ograniczona jest możliwością umieszczenia ich na karterze, oraz konstrukcją łbów korbowodów. Za praktyczną granicę uważa się 9 cylindrów w gwieździe. Często jednak już powyżej 7 cyl. stosuje się gwiazdę podwójną, przyczem cylindry obu gwiazd albo kryją się wzajemnie, albo też wstawione są na przemian (rys. 1). Historia rozwoju silnika lotniczego jest równocześnie historią walki między systemem chłodzenia powietrznego, a chłodzenia wodnego. Wraz z dążeniem do podniesienia mocy silnika, wysuwały się na plan pierwszy trudności chłodzenia cylindrów o coraz większej pojemności cieplnej. Chłodzenie powietrzem, delikatniejsze i wymagające drobiazgowych studjów i doświadczeń, było znacznie trudniejsze do urzeczywistnienia. Zwrócono się

więc do chłodzenia wodą, bardziej skutecznego i mającego aż nadto dużą ilość pierwowzorów w silnikach samochodowych i przemysłowych. Przeżyliśmy epokę silników o chłodzeniu wodnym, a w konsekwencji silników szeregowych. Niedogodności, jakie pociągało za sobą obarczanie samolotu ciężarem chłodnicy, balastu wodnego, komplikacje oraz delikatność i łatwość uszkodzenia rurek i przewodów do obiegu wody chłodzącej, a z drugiej strony nęcająca prostota systemu chłodzenia powietrzem i naturalne warunki, jakie mu stwarzało śmigło samolotu, pociągały konstruktorów w kierunku tego ostatniego rozwiązania. To też z chwilą, gdy po zawarciu pokoju powróciła możność spokojniejszej pracy laboratoryjnej, wychodzi znów na światło dzienne zapoznany niemal silnik gwiazdowy i, w żywej walce konkurencyjnej, spycha silnik szeregowy z dotychczasowego stanowiska uprzywilejowanego.

Chłodzenie silnika powietrzem nasuwało trudne do rozwiązania zagadnienie większego rozchodu benzyny, a zwłaszcza smarów, większe prawdopodobieństwo lokalnego rozgrzania się cylindra, nierównomierność chłodzenia, a — co za tem idzie — rozszerzania się cieplnego cylindrów i głowic; wreszcie sam układ gwiazdowy stwarzał trudne zadanie smarowania dolnych cylindrów oraz rozrzadaw zaworów.

Prace postępowały systematycznie. Z jednostek zupełnie małych wyrastają silniki gwiazdowe o średniej mocy, doświadczenia poczynione pod wszystkimi szerokościami geograficznymi wykazują skuteczność chłodzenia powietrznego, niebezpieczeństwo zaoliwienia dolnych cylindrów maleje wraz z ulepszeniem obiegu oliwy koło tłoka i szczelności pierścieni tłokowych, nadmierny rozchód smarów zmniejsza się, rozchód benzyny spada w zasadzie niemal do rozchodu silników chłodzonych wodą.

W latach ostatnich pojawiają się silniki gwiazdowe o mocy ogólnej 550 — 600 KM, o cylindrach dających 60 KM mocy użytecznej,¹⁾ a więc jednostki już równorzędne dużym silnikom o chłodzeniu wodnym. Wyprawy podbiegunowe, jak i przeloty oceanów, wykazują doskonałe zalety silników chłodzonych powietrzem. Różnica kilkudziesięciu stopni temperatury powietrza chłodzącego nie wpływa szkodliwie na skuteczność chłodzenia, podczas gdy ta sama różnica temperatur wpływa silnie na działanie systemu chłodzenia wodą, zmuszając do regulacji chłodnic, zależnie od średniej temperatury danego kraju.

Nie zapominajmy, że silnik gwiazdowy chłodzony powietrzem powstał i rozwinął się w okresie udoskonalającego się lotnictwa i że o formach jego decydowały a priori warunki pracy na samolocie, podczas gdy silnik szeregowy, biorąc genetycznie, jest silnikiem samochodowym, przystosowanym do samolotu.

Przegląd obecnej wytwórczości światowej silników lotniczych pozwala stwierdzić niewątpliwą przewagę zasady chłodzenia powietrzem.

Stany Zjednoczone przechodzą prawie wyłącznie na silniki o chłodzeniu powietrzem, stwa-

¹⁾ Przy zastosowaniu turbosprężarki do powietrza dołotowego uzyskano w angielskim silniku wyciągowym gwiazdowym 9 cyl. Bristol-Mercur ponad 100 KM mocy użyt. w cylindrze.

W Europie mamy narazie więcej silników chłodzonych wodą, głównie z powodu użytkowania starszego materiału, przyzwyczajenia do zużycia i wypróbowanych modeli oraz nastawienia wytwórczości na wyrób seryjny silników szeregowych. Atoli postęp w tym dziale ogranicza się przeważnie do przerabiania i udoskonalania typów istniejących. Oryginalne konstrukcje pojawiają się coraz rzadziej, podczas gdy w zakresie silników chłodzonych powietrzem niemal każdy miesiąc przynosi nowe rozwiązania i pomysły.

Pole stosowalności silników szeregowych zacieśnia się powoli do samolotów jednosilnikowych, o dużych mocach, ponad 500 KM, i bardzo szybkich, gdzie względy aerodynamiczne przemawiają za silnikiem o małym oporze czołowym i dającym się łatwo oprofilować. A więc należeć tu będą przede wszystkim samoloty wyścigowe, wojskowe, myśliwskie i wywiadowcze. Poza to duża ilość towarzystw osobowej żeglugi powietrznej używa jeszcze chętniej silników chłodzonych wodą, na skutek zakorzenionego przekonania o wyższości tych silników pod względem pewności ruchu, oraz w niektórych krajach, jak np. w Niemczech lub we Włoszech, wobec braku dostatecznej ilości odpowiednich typów silników chłodzonych powietrzem.

Natomiast silniki powietrzne dominują niepodzielnie w dziale samolotów lekkich, sportowych i turystycznych, a równocześnie zyskują sobie coraz większe wzięcie w dużych samolotach wielosilnikowych, hydroplanach, częściowo w samolotach osobowych. W końcu, równoległe ze wzrostem mocy wkraczają w dziedziny samolotów wojskowych, wobec dużych korzyści, jakie z militarnego punktu widzenia przedstawia łatwe ich utrzymanie, mniejsza obawa uszkodzenia, krótszy czas ogrzewania się oraz większa zwrotność samolotów, zaopatrzonych w silniki gwiazdowe.

W lotnictwie francuskim statystyczne ustosunkowanie się typów silników według systemu chłodzenia przedstawia się następująco:

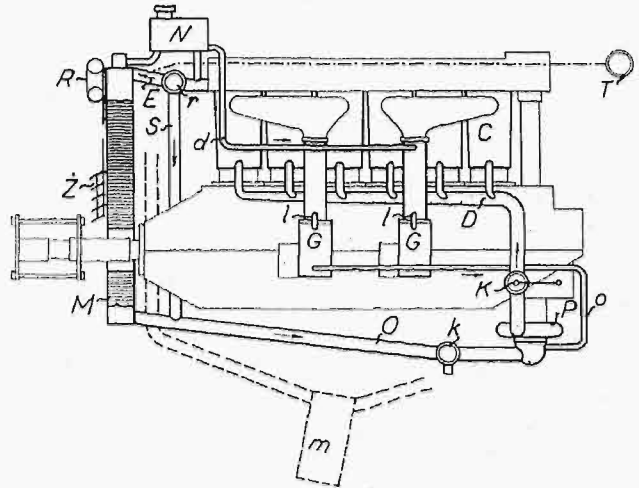
W zakresie mocy małych, do 250 KM, stosuje się prawie wyłącznie silniki chłodzone powietrzem. W granicach mocy średnich, od 250—550 KM, panuje niemal równorzędność obu systemów, z przewagą chwilową silników o chłodzeniu wodnym, lecz z tendencją przejścia na silniki chłodzone powietrzem. Wreszcie moce powyżej 550 KM uzyskuje się wyłącznie zapomocą silników chłodzonych wodą.

Jak już wspominaliśmy, podział na silniki o chłodzeniu wodnym i powietrznym jest niemal równorzędny z podziałem na silniki szeregowy i gwiazdowe. Wyjątków od tej zasady spotykamy niewiele, ze względu na nieracjonalność takiego odwrócenia konstrukcyjnego. W istocie, np. silnik szeregowy o chłodzeniu powietrznym wymaga dodatkowych przewodów, któreby kierowały prąd powietrza równomiernie na wszystkie cylindry,³⁾ organu stosunkowo dużego, utrudniającego oprofilowanie kadłuba, ukształtowanie rur dolotowych lub wydechowych silnika oraz zmniejszającego pole widzenia pilota. Przytem opór aerodynamiczny

³⁾ Mamy tu oczywiście na myśli ułożenie cylindrów w sposób normalny, t. j. w szereg wzdłuż osi samolotu. Inne rozmieszczenie cylindrów pociąga za sobą komplikacje w przeniesieniu ruchu wału korbowego na śmigło.

tego rodzaju konstrukcji jest duży, a więc zalety układu cylindrów w szereg, polegające na zmniejszeniu oporu czołowego silnika, odpadają tu zupełnie. Zato silnik ten będzie posiadał wszystkie ujemne strony silnika szeregowego, jak: długość układu, znaczniejszy ciężar wału korbowego, karteru i t. p.³⁾

Z drugiej strony, ułożenie w gwiazdę cylindrów o chłodzeniu wodnym zmusza do stosowania wielkich kadłubów samolotów, jeżeli chcemy oprofilować silnik tak, by zmniejszyć jego opór aerodynamiczny. Rozplanowanie przepływu wody przez poszczególne cylindry jest tu skomplikowane i wy-



Rys. 3. Schemat chłodzenia silnika lotniczego szeregowego. (Ustawienie chłodnicy czołowe. Zaznaczono schematycznie różne sposoby regulacji chłodzenia).

C — cylindry silnika; P — pompka wodna; D — doprowadzenie wody chłodzącej do cylindrów; E — doprowadzenie wody do chłodnicy; M — chłodnica; N — zbiornik zasilający; O — powrót wody do pompki; k — kurek opróżniający; G — karburator; d — dopływ wody ogrzewającej karburator; o — odpływ wody z karburatora; l — przewód łącznikowy; T — termometr.

Systemy regulacji: 1) K — kurek regulujący przepływ wody chłodzącej; 2) S — przewód okrężny (Shunt); r — kurek rozdzielczy; 3) R — zasłona; 4) Z — żaluzja. Inne, często używane, położenie chłodnicy — pod kadłubem samolotu — m.

magą dużej ilości rur i przewodów, ujęcie rozrządu zaworów w zamknięty karter, stanowiące wybitną korzyść w silnikach szeregowych, jest tu również znacznie niewygodniejsze.

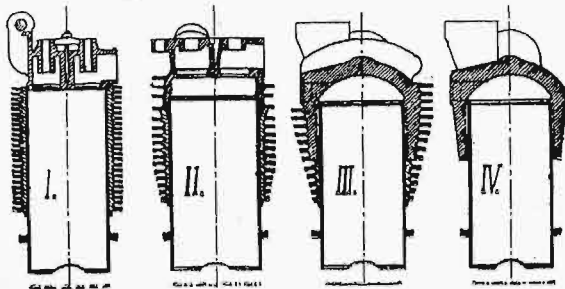
Z tych to powodów wśród nowoczesnych silników francuskich nie spotykamy ani jednego typu silnika szeregowego o chłodzeniu powietrznym, w innych zaś państwach konstrukcje tego rodzaju należą do wyjątków⁴⁾. Silników gwiazdowych o chłodzeniu wodnym posiada lotnictwo francuskie dwa typy: o mocy 260 i 500 KM. Są to modele starsze, fabryki Salmson, która — wyspecjalizowana w produkcji silników gwiazdowych — zastosowała w największych jednostkach swej ówczesnej serji chłodzenie wodą, jako skuteczniejsze i na owe czasy pewniejsze dla silników o tak dużej mocy. Ponieważ jednak obecne typy silników Salmson o chłodzeniu powietrznym dochodzą do

³⁾ Wyjątek stanowić tu mogą lekkie silniki szeregowy o chłodzeniu powietrznym, które przy swych niewielkich cylindrach o niskim obciążeniu termicznym chłodzą się zupełnie dobrze, bez specjalnych przewodów, a z punktu widzenia oporu aerodynamicznego oraz prostoty układu rozrządu zaworów przedstawiają pewne korzyści nad silnikami o układzie cylindrów w gwiazdę, aczkolwiek są zasadniczo nieco cięższe od tych ostatnich (znane silniki angielskie Cirrus).

⁴⁾ Angielskie silniki Cirrus, włoskie Isotta - Fraschini.

mocy 480 KM, jest wielce prawdopodobne, że wkrótce zastąpią one te konstrukcje dawniejsze.

Chłodzenie wodą silników lotniczych zbliża się bardzo w ogólnych zarysach do chłodzenia dużych silników samochodowych. Krażenie wody chłodzą-



Rys. 4. Różne typy cylindrów chłodzonych powietrzem.

- I. Zamknięta u góry tuleja stalowa, płaszcz aluminiowy z żeberkami
 $\rho = \frac{V + v}{v} = 4,7$.
- II. Otwarta tuleja stalowa, głowica żeliwna do odejmowania, płaszcz aluminiowy z żeberkami.
- III. Otwarta tuleja stalowa, głowica aluminiowa naśrubowana,
 $\rho = 5,6 \div 7$ (Siemens, typ z r. 1924—1928).
- IV. Model próbny, jak III, jednak bez żeberk (wedl. Goslau).

cej uzyskuje się zapomocą pompki odśrodkowej (rys. 2), którą umieszcza się w najniższym punkcie silnika, by uniknąć, lub przynajmniej zmniejszyć wysokość ssania.

Kształty cylindrów chłodzonych wodą opisaliśmy już poprzednio.⁵⁾

By zmniejszyć różnicę między temperaturą wody dopływającej do silnika i wody uchodzącej, dąży się do zrealizowania możliwie wielkiej szybkości krażenia, przez użycie pompki o dużym wydatku, przewodów krótkich i prostych, o dużych przekrojach. Dla uzyskania intensywnego i równomiernego chłodzenia wszystkich cylindrów, włącza się je równolegle w obieg wody chłodzącej. W tym celu do każdego szeregu cylindrów prowadzi się z pompki osobny przewód, który z kolei dzieli się na szereg odgałęzień, dostarczających wody chłodzącej do poszczególnych cylindrów, (rys. 3) lub, przy cylindrach bliźniczych, do każdej ich pary. Odprowadza się wodę przy cylindrach bliźniaczych osobno z każdej pary, cylindry zaś pojedyncze łączy się od góry przewodami w całym szeregu i odprowadza wodę od strony przeciwległej pompce.

Szczególnie starannie muszą być chłodzone gniazda i prowadzenia zaworów, zwłaszcza wydechowych. W niektórych typach silników niemieckich⁶⁾ doprowadza się w tym celu zimną wodę z pompki wprost na głowice cylindrów. Niższe części cylindrów chłodzą się tu albo przez konwekcję, albo też zmusza się wodę do okrażania ich przy pomocy odpowiednich przewodnic.

Chłodzenie wodą pozwala w zasadzie utrzymać umiarkowaną temperaturę ścianek dowolnie dużych cylindrów. Atoli zbyt niemu zwiększeniu pojemności cylindra przeciwstawia się będzie silne nagrzewanie się tych części komory spalinowej, które nie są w bezpośredniej styczności z wodą chłodzącą, jak: tłoki, zawory i świece. Wynikają stąd trudności smarowania, napełniania, zapłonu, zatem obniżenie sprawności objętościowej cylindra i pewności ruchu; w bardziej skrajnych wypadkach — niebezpieczeństwo przedwczesnych wybuchów,

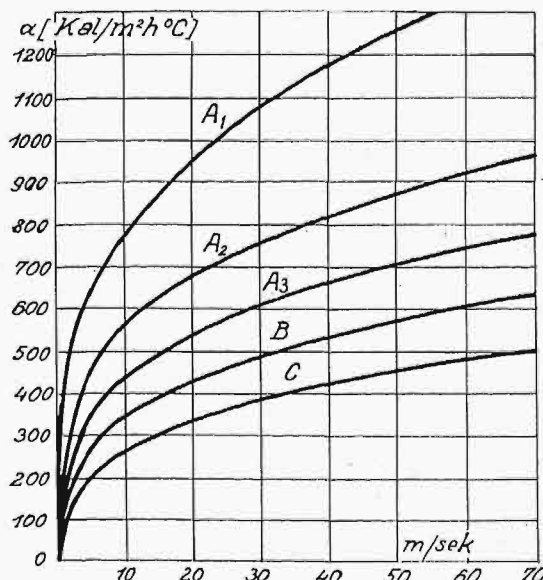
zapiekania się pierścieni tłokowych, a w końcu zatarcia się tłoka.

W pewnych granicach można zwiększyć moc cylindra, unikając podwyżki temperatur przez użycie długich skoków tłoka.

Stosowanie dużej liczby obrotów zwiększa moc wydobywaną z litra pojemności cylindra, komplikuje natomiast nieco konstrukcję, wobec konieczności stosowania przekładni zębatych, redukujących liczbę obrotów śmigła, i przyspiesza zużycie się powierzchni trących silnika.

Chętnie stosowanym sposobem uzyskiwania wysokich mocy w silnikach wieloszeregowych jest również zwiększanie liczby cylindrów przy zachowaniu ich wymiarów, korzystnych ze względów termicznych. Układ wieloszeregowy i chłodzenie wodą umożliwiają stosunkowo łatwo rozbudowę silnika w tym kierunku.

Wielkość i ciężar chłodnic wodnych zależy: od ilości kaloryj, które należy odprowadzić z wody chłodzącej, od konstrukcji chłodnic oraz od intensywności prądu powietrza, na który są one wystawione, a zatem od sposobu umieszczenia ich na samolocie. Przeciętnie woda chłodząca unosi na minutę, przy cylindrach stalowych z koszulką z blachy stalowej, 7 — 8 Kal/KM, przy cylindrach stalowych z koszulką aluminiową — 6,2 — 6,5 Kal/KM. Temperatura wody odpływającej z cylindrów wynosi normalnie 60°—80° C, w chłodnicy oziębia się woda o około 10° C.



Rys. 5. Krzywe ilości ciepła odprowadzonego w godzinie z 1 m² wewnętrznej powierzchni cylindra dla różnicy temp. 1° C, w zależności od szybkości strugi powietrza chłodzącego. (Dla cylindrów \varnothing 100 mm przy śr. różnicy temperatur ścianek cylindra i powietrza chłodzącego 150° C).

A₁ — Cylinder z głowicą aluminiową (typ III z rys. 4) z żeberkami wysokości 22 mm. A₂ — ten sam typ z żeberkami 10 mm. A₃ — ten sam typ z żeberkami 2 mm. B — cylinder z głowicą aluminiową bez żeberk (typ IV z rys. 4). C — zamknięty cylinder stalowy (typ I z rys. 4), (wedl. Goslau).

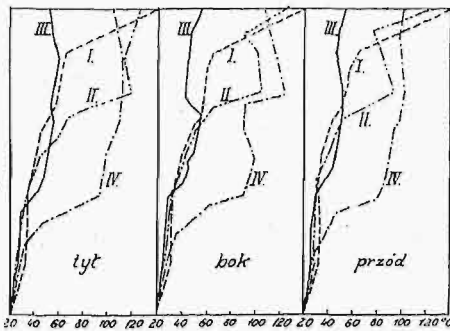
Wahania temperatury wody chłodzącej w granicach między 30°—90° mało zmniejszają moc silnika, o ile płynność oliwy jest wystarczająca, a ogrzewanie karburatora niezależne od obiegu wody. Przeciętnie przepuszcza się 0,7—1 l wody na minutę i 1 KM mocy silnika. W praktyce, przekroje przewodów wodnych dobiera się tak, by szybkość wody przepływającej wynosiła 1,5—3 m/sek. Zmiany temperatury i gęstości powietrza przy

⁵⁾ Nr. 48 Przegl. Techn. z r. 1928.

⁶⁾ Np. silniki B.M.W. i Junkersa.

różnych wzniesieniach samolotu wpływają dość znacznie na zdolność promieniowania chłodnicy wodnej. Ponadto właściwości ruchu samolotu, jak np. konieczność pracy silnika pod pełnym obciążeniem, przy zmniejszonej prędkości postępowej podczas wznoszenia się, lub z drugiej strony szybkie opuszczanie się samolotu przy silniku pracującym na małych obrotach — stwarzają dla chłodnicy nader niejednolite warunki pracy, zmieniając w szerokich granicach stosunek między ilością kalorii oddanych przez silnik wodzie chłodzącej, a ilością, którą chłodnica zdolna jest równocześnie wypromieniować. Jeżeli jeszcze ogrzewanie karburatorów jest włączone w obieg wody, wskazaną staje się regulacja chłodnicy, już to czasowa, zależnie od pory roku, już to chwilowa — w czasie lotu.

Regulację czasową uskutecznia się najłatwiej przez dołączenie lub wyłączenie pewnych części chłodnicy, ewentualnie przez użycie małych chłod-



Rys. 6. Linie rozkładu temperatur w cylindrach, począwszy od środka denka aż do kołnierzy dla cylindrów przedstawionych na rys. 4 przy jednakowym ogrzewaniu przestrzeni dawkowej i jednakowej prędkości strugi powietrza chłodzącego (wedł. Goslau).

nic dodatkowych. W czasie lotu regulować można intensywność chłodzenia następującymi sposobami:

1) działając na krążenie wody przez dławienie kurkiem przepływu wody, lub przepuszczanie części wody równoległe obok chłodnicy, przewodem, w którym się nie oziębia (rys. 3_{1,2}). Tych sposobów regulacji używa się rzadziej, gdyż działanie ich jest albo za słabe lub też zbyt raptowne;

2) zmieniając zdolność promieniowania chłodnicy, przez miarkowanie ilości przepływającego przez nią powietrza. Regulacja taka jest bardziej skuteczna i nie zmienia w niczem działania silnika. Używa się tu (rys. 3_{3,4}), żaluzji lub zasłon, zakrywających stopniowo chłodnicę, lub też wsuwa się częściowo chłodnicę w kadłub samolotu. Ten ostatni sposób jest teoretycznie najkorzystniejszy, gdyż nie wprowadza dodatkowego oporu czołowego, pociąga jednak za sobą pewne komplikacje konstrukcyjne, wobec konieczności stosowania przewodnic dla chłodnicy i przewodów przegibnych.

Dla zwiększenia powierzchni promieniującej ciepło, pokrywa się cylindry i głowice silników o chłodzeniu powietrznym żeberkami, wyciętymi w materiale głowicy czy cylindra (rys. 1). W niektórych wykonaniach nadlewa się na cylinder warstwę aluminium, metalu łatwo przewodzącego ciepło, i w nim kształtują się żeberka. Konstrukcję cylindrów i głowic chłodzonych powietrzem rozpatrywaliśmy już w jednym z dawniejszych artykułów.⁷⁾ Tu dodamy jeszcze parę uwag, dotyczących

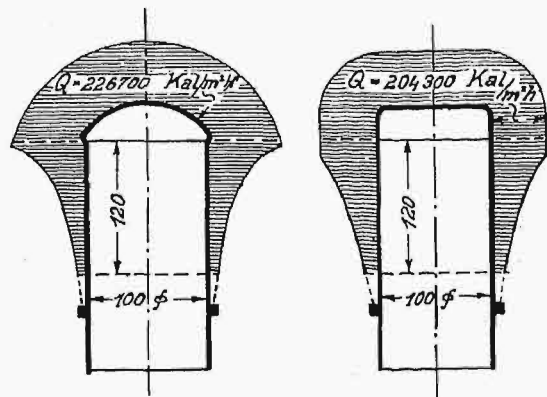
się ukształtowania cylindra, w związku z jego zdolnością chłodniczą.

Wielkość powierzchni promieniującej żeberek zależy od ilości kaloryj, które należy odprowadzić z cylindra na jednostkę czasu. W praktyce wykonywano najczęściej łączną powierzchnię żeberek na cylindrze w przybliżeniu równą 10 ÷ 12-krotnej powierzchni, z którą stykają się gorące gazy, a na głowicy stosowano największą możliwie ilość żeberek, na jaką pozwalała konstrukcja mechanizmów na niej umieszczonych.

Zawile geometrycznie kształty głowic i górnych części cylindrów, duża zależność przepływu ciepła od najdrobniejszych szczegółów konstrukcyjnych, a z drugiej strony matematyczna nieuchwytność wirów powietrznych, tworzących się koło cylindra, komplikują niezmiernie zjawiska chłodzenia, uniedostępniając je dla badań czysto teoretycznych. Jedyne wskazówki dać tu mogą doświadczenia, wykonywane dla każdej odmiany silnika.

Badań bardziej systematycznych i uporządkowanych nad chłodzeniem silników powietrzem mamy stosunkowo niewiele. Przeważnie zadawalniano się pomiarami na gotowych już silnikach, przeprowadzając zmiany konstrukcyjne zależnie od uzyskanych w ten sposób wskazań. Za pierwsze metodycznie przeprowadzone doświadczenia możemy, poza pracami prof. Gibsona w Anglii oraz licznymi, choć najczęściej jednostronnymi, badaniami amerykańskimi, uważać pomiary nad chłodzeniem cylindrów przeprowadzone od r. 1925 w instytucie doświadczalnym Zakładów Siemens-Halske pod kierownictwem Dr. inż. F. Goslau⁸⁾.

Celem tych badań było ujęcie liczbowe zależności między temperaturą ścianek cylindra a szybkością strumienia powietrza chłodzącego oraz wymiarami i budową cylindra, a to w tym celu, by zagadnienia chłodzenia uprzystępnąć dla rachunku, a przez ekstra i interpolację otrzymanych wy-



Rys. 7. Przykład obciążenia cieplnego cylindrów o różnych kształtach komory dawkowej (wedł. Goslau).

ników, umożliwić już uprzednio obliczenie temperatury cylindrów projektowanego silnika.

Dla pomiarów wypełniano komorę dawkową odwróconego cylindra oliwą, ogrzewaną elektrycznie, wstawiano cylinder w strumień powietrza, wpływający ze zwyczajnego, otwartego tunelu aerodynamicznego i, regulując temperaturę kąpieli oliwnej oraz szybkość strumienia powietrza chłodzącego, mierzono temperatury ścianek cylindra za-

⁸⁾ Die Wissenschaftlichen Veröffentlichungen des Siemens-Konzerns. Tom 7 (1928).

Zeitschrift d. Ver. d. Ing. Tom 72 Nr. 38 (1928).

⁷⁾ Przegl. Techn., zes. 48 z r. 1928.

pomocą termoelementów. Z licznych istniejących ówczesnie typów cylindrów wybrano cztery, najbardziej charakterystyczne:

1) Cylinder tworzący zamkniętą u góry tuleję stalową, otoczony nadłanym płaszczem aluminiowym z żeberkami, z głowicą i kanałami gazowymi ze stali (rys. 4,I).

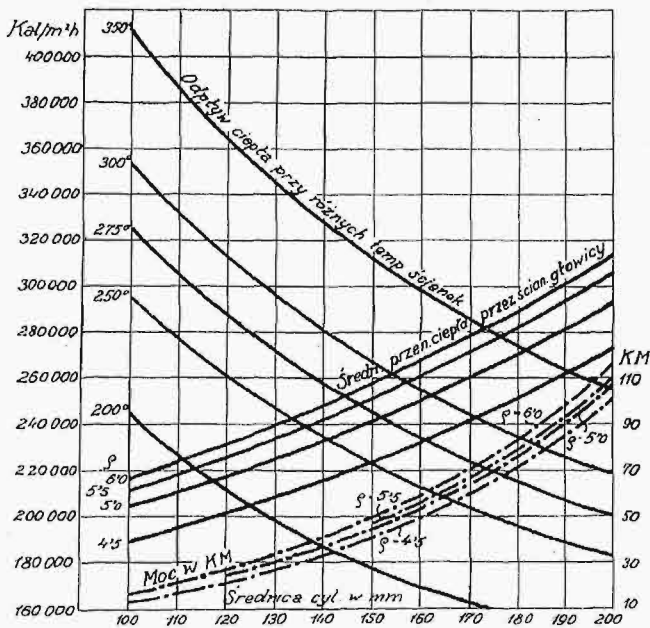
2) Cylinder w kształcie tulei stalowej bez dna, otoczony również płaszczem aluminiowym, z głowicą żeliwną, nałożoną na cylinder i przymocowaną doń śrubami szpilkowymi (rys. 4,II).

3) Cylinder w kształcie tulei stalowej bez dna, z głowicą aluminiową, gęsto uźebrowaną, połączoną na gwint (rys. 4,III).

4) Ten sam cylinder, co uprzednio, jednak bez żeberk (rys. 4,IV).

Badane cylindry wykazały nader różną zdolność ochładzania się. Jak widzimy z wykresu (rys. 5), przedstawiającego krzywe charakterystyczne ilości odprowadzonych kaloryj dla każdego z wymienionych typów cylindrów przy różnych szybkościach strumienia powietrza chłodzącego, skuteczność chłodzenia cylindra z głowicą aluminiową, pokrytą żeberkami o wysokości 22 mm (typ III) była przy szybkości powietrza 50 m/sek 3 razy większa, niż cyl. o tej samej średn. (100 mm), wykonanego całkowicie, łącznie z głowicą, ze stali.

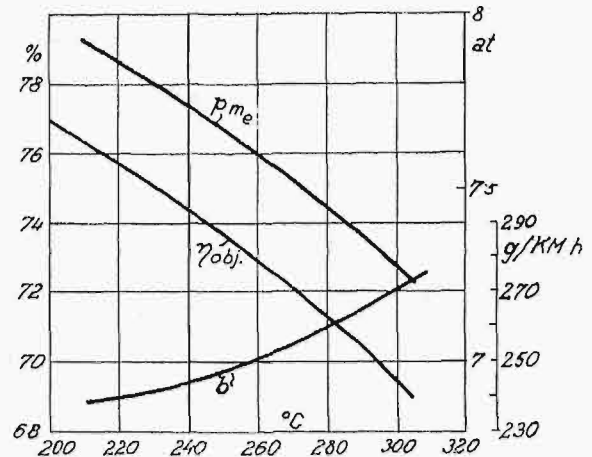
Przyczyn tak znacznych różnic w zdolności chłodzenia się badanych cylindrów szukać musimy z jednej strony w odmiennych spójczynnikach przewodnictwa i promieniowania ciepła metali, z których wykonano badane głowice, a przede wszystkim w konstrukcji głowic i rozmieszczeniu mas. Zupełnie wyraźnie uwydatnia się to w wykresach rozkładu temperatur w cylindrach (rys. 6),



Rys. 8. Zależność odpływu ciepła od średnicy cylindra, przy różnych stopniach sprężenia i różnych temperaturach ścianek dla cylindra typ III (Rys. 4) przy $s/D = 1,2$, $n = 1500$ obr./min. Prędkość postępowania samolotu (powietrza chłodzącego) $w = 180$ km/godz. (50 m/sek.) (wedł. Goslat).

gdzie linie łagodnie faliste wskazują na swobodne spływanie ciepła wzdłuż ścianek cylindrów, podczas gdy gwałtowne załamania linii temperatur zdradzają miejsca dławienia przepływu ciepła. Bez trudności zauważymy, że w cylindrach typu I i II przeważną ilość ciepła musi wypromieniować gło-

wica, skutkiem czego jej temperatura nadmiernie się podnosi. Zwłaszcza w konstrukcji II wyraźnie się zaznacza dławienie przepływu ciepła w miejscu złączenia głowicy z tuleją, gdzie izolatorem cieplnym stał się pierścień z azbestu i miedzi, umieszczony tu dla uszczelnienia złącza. Natomiast głowica aluminiowa cylindra typu IV, nawet pozbawiona żeberk, wykazuje temperaturę względnie



Rys. 9. Zależność ciśnienia średniego (efekt.) p_{me} , sprawności objętościowej $\eta_{obj.}$ oraz rozchodu paliwa b od temperatury cylindra (wedł. Gibsona).

nizszą, gdyż duża jej masa, łącznie ze znakomitym spólc. przewodnictwa ciepła aluminium, ułatwia odpływ ciepła na zimniejsze części cylindra.

Jeżeli na podstawie szeregu pomiarów ustalimy dla danego typu cylindra jego linie charakterystyczne chłodzenia, które ekstrapolowane według znanych praw przepływu ciepła uzyskają ważność dla wszystkich średnic cylindra w pewnym zakresie, możemy z dużym przybliżeniem obliczyć temperatury geometrycznie podobnych cylindrów czy głowic — o dowolnej średnicy.

Obliczamy przede wszystkim z zależności termodynamicznych obciążenie cieplne projektowanego cylindra. Dla przykładu podajemy przedstawiony wykres rozkład obciążeń cieplnych dla dwu rodzajów cylindra, o denku płaskim i sklepieniem (Rys. 7). Przez porównanie tego obciążenia ze znaną, na podstawie wykresów doświadczalnych, zdolnością odprowadzenia ciepła projektowanego cylindra, możemy wyznaczyć w każdym punkcie różnicę temperatur cylindra i powietrza chłodzącego, a tem samym znaleźć temperatury maksymalne, najwięcej nas tu obchodzące.

Zdolność odprowadzania ciepła maleje wraz ze wzrostem średnicy cylindra, podczas gdy równocześnie zwiększa się jego obciążenie cieplne (patrz rys. 8). Ze wzrostem przeto średnicy cylindra podnosi się jego średnia temperatura. Jak wykazały doświadczenia prof. Gibsona⁹⁾, nadmierne podwyższenie się temperatury cylindra wpływa w bardzo silnym stopniu na obniżenie się jego sprawności objętościowej oraz ciśnienia średniego, podczas gdy z drugiej strony rozchód jednostkowy paliwa szybko wzrasta (rys. 9). Wchodzimy wreszcie w zakres temperatur, gdzie ruch staje się już zupełnie nieekonomiczny. Praktycznie możemy za taką temperaturę graniczną uważać 300° C.

Jeżeli odwrócimy uprzednie rozważania, obli-

⁹⁾ Prof. Gibson. Aero Engines Efficiencies, London, The Aeronautical Society.

czymy łatwo, że przy temperaturze granicznej 300° C najwyższą moc, którą możemy wydobyć z cylindra chłodzonego powietrzem, nie może przy normalnym ciśnieniu przekroczyć 70 KM.

Dalsze zwiększenie mocy cylindra możemy uzyskać przez podwyższanie ciśnienia powietrza dolotowego, zgęszczając je np. zapomocą turbosprężarek, napędzanych spalinami lub mechanicznie od wału korbowego. Turbosprężarka pozwoli na utrzymanie wystarczających napełnień przy wysokich temperaturach cylindrów, jednakowoż nadwyżkę mocy, uzyskaną tym sposobem, okupujemy dużą komplikacją mechaniczną i obniżeniem stopnia bezpieczeństwa konstrukcji. Poza to wysokie temperatury pogarszają warunki smarowania, zmniejszają pewność ruchu i trwałość części zespołu. To też forsowanie przy pomocy turbosprężarek napełnień w cylindrach pierwotnie już termicznie wysoko obciążonych nie przedstawia dotychczas większych praktycznych korzyści i znalazło zastosowanie jedynie w kilku silnikach wyścigowych.¹⁰⁾

Inną możliwością zwiększenia mocy cylindra

bez podwyższenia jego średnicy, a zatem i temperatury ścianek, będzie użycie długich suwów tłoka. Ten sposób, mało dotychczas oceniany przez konstruktorów, daje jeszcze szereg dalszych korzyści. I tak duże skoki zmniejszają liczbę obrotów śmigła, przy zachowaniu dawnych szybkości linjowych tłoka; że zaś dla sił w mechanizmie korbowym, a w przybliżeniu i dla jego ciężaru miarodajne są właśnie szybkości linjowe tłoka, ciężar silnika wolnobieżnego o skoku długim nie będzie zbyt przewyższał ciężaru równoległego silnika szybkobieżnego, krótkoskokowego. Mała liczba obrotów silnika usuwa potrzebę stosowania przekładni redukcyjnej dla śmigła, przedewszystkiem zaś podnosi pewność ruchu i przedłuża czas służby części silnika. W tych więc wypadkach, gdzie nie wymaga się od samolotu ani dużej szybkości, ani też nadzwyczajnej zwrotności, a więc szczególnie w większych samolotach handlowych, użycie silnika wolnobieżnego długoskokowego mogłoby być mimo jego znaczniejszych wymiarów w rzucie czołowym, a co zatem idzie — większego oporu aerodynamicznego, rozwiązaniem bardzo celowym. (d. n.)

O wytrzymałości prętów ściskanych mimośrodkowo, lub jednocześnie zginanych i ściskanych.

Napisał Inż. Dr. Fr. Szelągowski.

W teorii wytrzymałości tworzyw zasadniczy wzór gięcia jest wyprowadzony na podstawie pewnych hipotez i ograniczeń.

Hypotez tych jest dwie, mianowicie: 1) płaskie przekroje poprzeczne pręta, normalne do pierwotnej nieodkształconej jego osi, pozostają płaskimi i normalnymi do jego osi i po odkształceniu, nie zmieniając przytem swej wielkości pierwotnej; 2) między podłużnymi włóknami pręta nie powstają naprężenia normalne do ich bocznych powierzchni, to znaczy że włókna podłużne ulegają rozciąganiu

lub ściskaniu tak, jak gdyby nie były ze sobą połączone.

Ograniczenia zaś są następujące: a) oś pręta jest krzywą płaską, leżącą w płaszczyźnie, której ślad na poprzecznych przekrojach pręta pokrywa się z jedną z głównych osi środkowej elipsy bezwładności tych przekroi; b) wymiary poprzecznych przekroi są małe w stosunku do promieni krzywizny osi pręta; c) siły zewnętrzne, działające na pręt, leżą w płaszczyźnie osi tego pręta oraz d) tworzywo pręta winno podlegać prawu Hooke'a.

Różnica między hipotezami i ograniczeniami polega oczywiście na tem, że hipotezy stanowią podstawę samej teorii gięcia, podczas gdy ograniczenia wskazują te granice, w których wyniki teorii mogą być stosowane, i po przekroczeniu których stają się błędne.

W wymienionych powyżej warunkach, równanie odkształconej osi pręta o pierwotnej krzywiznie zerowej wyraża się znanym wzorem

$$(1) \quad \frac{EI}{\rho} = \pm M.$$

Oznaczając przez θ kąt, jaki tworzy z osią ox styczna poprowadzona w danym punkcie do krzywej, otrzymamy

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{ds},$$

$$\frac{dy}{ds} = \sin \theta,$$

$$\theta = \arcsin \frac{dy}{ds},$$

¹⁰⁾ Wymieniony już silnik angielski Bristol-Mercur. Ostatnio rozpowszechnia się metoda uzyskiwania całkowitych napełnień cylindrów, ewentualnie nawet pewnych nadciśnień, przez stosowanie w silnikach gwiazdowych wirników mieszankowych, napędzanych z szybkością kilkakrotnie wyższą niż szybkość wału korbowego. (Bristol-Jupiter (angielski), Titan (ang., franc.) 4100 obr/min, Wasp, Hornet (ameryk.) 10 000 obr/min).

Uzyskuje się w ten sposób pewne podwyższenie mocy silnika (10%—20%) bez wyraźnego obniżenia stopnia pewności ruchu, gdyż wymiary cylindrów i ich obciążenie cieplne utrzymywane są w tych granicach, by nie dopuszczać zbyt dużego wzrostu temperatur.

Nie należy mieszać z wymienionymi wyżej turbosprężarkami znanych nam już z opracowań uprzednich (Przeł. Techn. zesz. 3 z r. b.) turbosprężarek silnikowych wysokościowych. Te ostatnie obsługują silniki o normalnym obciążeniu termicznym, a załączone dopiero na pewnej wysokości służą do zapobiegania spadkowi napełnień cylindrów i mocy silnika w atmosferze rozrzedzonej. Konstrukcyjnie nie różnią się zresztą te sprężarki od opisanych powyżej turbosprężarek dla silników wyścigowych. O klasyfikacji decyduje tu tylko cel i warunki ich stosowania, przyczem możliwe są w jednej konstrukcji kombinacje obu zastosowań.

oraz

$$(2) \quad \frac{1}{\rho} = \frac{d\left(\arcsin \frac{dy}{ds}\right)}{ds} = \frac{\frac{d^2y}{ds^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{dy}{ds}\right)^2}}$$

Jeżeli, ze względu na istniejące w zastosowaniach technicznych przesunięcia niezmiernie małe, pominąć w mianowniku wzoru (2) wyraz $\left(\frac{dy}{ds}\right)^2$ wobec jedności, to równanie (1) będzie można napisać w sposób przybliżony

$$(3) \quad \frac{d^2y}{ds^2} = \pm \frac{M}{EI}$$

Daje ono wyniki dokładniejsze od wzoru zwykle stosowanego

$$(4) \quad \frac{d^2y}{dx^2} = \pm \frac{M}{EI}$$

Różnica wartości promienia krzywizny, wynikająca z zastosowania wzoru przybliżonego (4) zamiast ścisłego (1), wynosi

$$R_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{d^2y}{dx^2} \left(\frac{dy}{dx}\right)^2,$$

lub też

$$R_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{\operatorname{tg}^2 \theta}{\cos^2 \theta} \cdot \frac{d\theta}{dx}$$

Podobnie wykazano wielkość różnicy, która wynika z zastosowania wzoru przybliżonego (3), zamiast ścisłego (1), t. j.

$$R_3 = \frac{d^2y}{ds^2} \cdot \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{dy}{ds}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{dy}{ds}\right)^2\right]^{3/2}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2y}{ds^2} \cdot \frac{\operatorname{tg}^2 \theta}{\cos^3 \theta}$$

Przekształcając odpowiednio powyższą zależność, będzie można wyrazić R_3 w postaci następującej:

$$R_3 = \frac{1}{2} \cdot \cos^3 \theta \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{\operatorname{tg}^2 \theta}{\cos^2 \theta} \cdot \frac{d\theta}{dx} = \frac{1}{3} \cos^3 \theta \cdot R_1,$$

skąd ostatecznie wynika, że

$$R_3 < \frac{1}{3} R_1.$$

Tak więc błąd, jaki otrzymuje się przez zastosowanie równania (3), jest mniejszy od $\frac{1}{3}$ błędu, wynikającego z zastosowania równania (4).

Równanie (3) jest więc dokładniejsze od równania (4), a — co za tem idzie — i wyniki otrzymane przez całkowanie równania (3) będą również stosunkowo dokładniejsze.

Zauważa się przytem, że równaniu ścisłemu odpowiada większe zgięcie pręta, a tem samem większe odkształcenia i naprężenia.

Będzie to można zauważyć przez porównanie wartości odkształceń, odpowiadających ścisłemu wzorowi gięcia oraz przybliżonemu.

Oznaczając zatem przez z odległość włókna od osi obojętnej, a przez ds i ds' elementarną długość włókna, mieszczącego się na osi obojętnej przed

odkształceniem i po odkształceniu, otrzymamy jednostkowe wydłużenie dowolnego włókna wyrażone ściśle następującym wzorem:

$$\varepsilon_z = \frac{ds' - ds + z \frac{ds'}{\rho}}{ds},$$

który w porównaniu ze wzorem przybliżonym

$$\varepsilon'_z = \frac{ds' - ds}{ds} + \frac{z}{\rho}$$

daje różnicę

$$R_\varepsilon = \frac{ds' - ds}{ds} + \frac{z}{\rho} \cdot \frac{ds'}{ds} - \frac{ds' - ds}{ds} - \frac{z}{\rho} = \frac{z}{\rho} \cdot \left[\frac{ds'}{ds} - 1 \right] = \frac{ds' - ds}{ds} \cdot \frac{z}{\rho} = \varepsilon_0 \cdot \frac{z}{\rho} > 0,$$

gdzie ε_0 oznacza wydłużenie jednostkowe włókna, leżącego na osi obojętnej pręta²⁾.

Ażeby sobie przytem uprzytomnić, jakiej wielkości popełnia się błąd przy całkowaniu równania przybliżonego gięcia (4) zamiast ścisłego (1), należy określić każdorazowo ściśle wartości $\frac{dy}{dx}$ oraz

y i następnie porównać je z wartościami przybliżonemi, gdyż motyw pominięcia wyrazu $\left(\frac{dy}{dx}\right)^2$ wobec

1 przy przesunięciach niezmiernie małych jest niewystarczający, ponieważ właśnie ze względu na małe wielkości przesunięć, ogólnie rzecz biorąc, wpływ odrzuconego wyrazu może być znaczny.

W wypadku, kiedy moment gnący M jest funkcją tylko zmiennej x , co zachodzi przy działaniu sił prostopadłych do osi pręta, całki równań

$$\frac{EI}{\rho} = \pm f(x)$$

i

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = \pm f(x)$$

różnią się stosunkowo bardzo mało. W zastosowaniach technicznych, różnica np. strzałek ugięcia otrzymanych z równań ścisłego i przybliżonego liczebnie jest mniejsza od 0,000 003 rozpiętości pręta, a stosunek tej różnicy do przybliżonej wartości strzałki ugięcia jest mniejszy od $\sin^2 \theta$ ³⁾.

Jeżeli jednak siły działają wzdłuż osi pręta, to rzecz się ma nieco inaczej. Tak np., w wypadku wyoboczenia pręta, można, jak to pierwszy dowiódł Jasiński⁴⁾, korzystać z przybliżonego równania gięcia dla otrzymania ścisłej wartości obciążenia krytycznego, jednakże różnica strzałek⁵⁾ między wynikiem ścisłym a przybliżonym może dochodzić do + 50%⁶⁾.

Ponieważ w zagadnieniu mimośrodowego ścisłania pręta niezbędna jest dla oceny jego wytrzy-

²⁾ Powyższa uwaga jest słuszna również w wypadku działania na przekrój momentu gnącego i siły ściskającej.

³⁾ F. Maksimenk o. „O predielach primienimosti niekotorych formuł teorji izgiba”. Sb. inst. inż. put. soobszcz. 1885 r.

⁴⁾ F. Jasiński. „O soprotiwlenji prodolnomu izgibu”. Sb. inst. inż. put. soobszcz. 1894 r.

⁵⁾ D. B o b y l e w. „Gidrostatika i Teorja Uprugosti”. 1886 r.

⁶⁾ B e r t r a n d e F o n t v i o l a n t. „Résistance des matériaux”. Paris. 1927 r.

¹⁾ F. Jasiński. „Opyt razwitja teorji prodolnago izgiba”. Sbornik instituta inżynierow putiej soobszczenia. 1902 r.

małości znajomość mimośrod⁷⁾ działania siły $\delta + f$ (rys. 1), ze względu na wartość naprężenia skrajnego

$$\sigma = \frac{P}{F} \pm \frac{P(\delta + f)}{W}$$

to, w myśl twierdzenia Jasińskiego, korzystanie z przybliżonego równania gięcia dla określenia tej wartości wogóle byłoby błędem.

W artykule „Wpływ siły krytycznej na stateczność prętów zginanych lub ściskanych mimośrodkowo⁸⁾” został wyprowadzony wzór ścisły odkształconej pręta w wypadku mimośrodkowego ściskania, przyczem zostały rozpatrzone trzy rodzaje krzywych w zależności od stałej całkowania

$$\mu = \frac{P \delta^2}{2EI} - \cos \theta_0,$$

t. j. gdy
 $-1 < \mu < 1,$
 $\mu = 1,$
 $\mu > 1.$

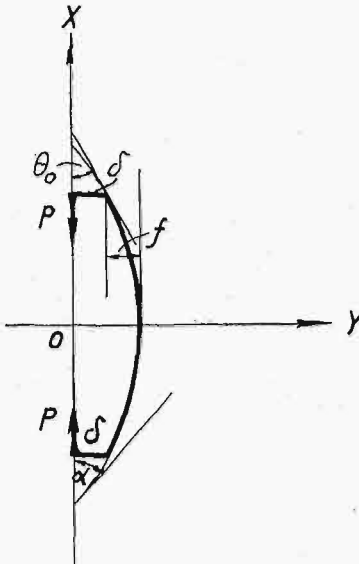
W zastosowaniach technicznych, ważny jest głównie tylko wypadek pierwszy, dla którego równanie odkształconej wyraża się wzorem

$$y = \frac{2k}{p} \cdot \text{cn}(ps, k),$$

gdzie

$$k = \sin \frac{\alpha}{2},$$

$$p = \sqrt{\frac{P}{EI}},$$



Rys. 1.

oraz

$$\cos \alpha = -\frac{P \delta^2}{2EI} + \cos \theta_0 = -\mu.$$

Największa wartość strzałki ugięcia pręta, ze względu na symetrię obciążenia, jest w środku jego długości, t. j. przy obranym układzie osi współrzędnych prostokątnych (rys. 1) przy \$s = 0\$.

Zatem

$$(5) \quad \delta + f = y_{s=0} = 2k \sqrt{\frac{EI}{P}},$$

gdzie \$k\$ oznacza moduł funkcji eliptycznych.

Otóż wartość modułu \$k\$, jak również i \$\varphi_0\$, otrzymamy z równania

$$\sqrt{\frac{P}{EI}} \cdot \frac{l}{2} = \int_0^{\varphi_0} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} = F(k, \varphi_0),$$

posługując się przytem tablicami funkcji eliptycznych.

⁷⁾ F. Jasiński. „Dopólniteliynja napriazhenja ot ekscentrisitetow prodolnych usilij i pierwonaczalnego iskrilenija osi szimajemych tief”. „Sb. inst. inż. put. soobszcz. 1885 r.

M. T. Huber. „Obliczenie wytrzymałościowe prętów podłużnie ściskanych”. Przegląd Techniczny 1928 r.

H. Czopowski. Słów kilka o wyboczeniu sprężystem”. Czasopismo Techniczne 1924 r.

A. E. H. Love. „Lehrbuch der Elastizität”. tłum. niem. L. u. B. 1907 r.

⁸⁾ Artykuł autora. Dodatek do Nr. 51 „Przeglądu Technicznego”. Warszawa 1927 r.

Ponieważ jednak

$$(6) \quad \sin \frac{\theta_0}{2} = k \sin \varphi_0,$$

zaś

$$k = \sqrt{\frac{1 + \frac{P \delta^2}{2EI} - \cos \theta_0}{2}},$$

to, uwzględniając powyższą zależność w równaniu (6), otrzymamy

$$(7) \quad \sin \varphi_0 = \sqrt{1 - \frac{P \delta^2}{4EI k^2}}.$$

Zatem między \$\varphi_0\$ i \$k\$ istnieje zależność (7), której dobrane wartości winne czynić zadość.

Chcąc sobie zdać sprawę, jaka jest różnica między wynikiem ścisłym (5), a przybliżonym, niżej podamy

$$(8) \quad \delta + f_1 = \frac{\delta}{\cos \left(\frac{l}{2} \sqrt{\frac{P}{EI}} \right)}$$

dla wartości siły \$P\$ znacznie mniejszej od \$P_{KR}\$, co ma miejsce w częstych zastosowaniach praktycznych, przytoczę niżej przykład.

Niechaj więc będzie pręt o długości \$l = 500\$ cm ściskany siłą \$P = 60\,328,87\$ kg, działającą na mimośrodku \$\delta = 1,18\$ cm. Przekrój dwuteowy Nr. 40; \$I = 1185\$ cm⁴; \$W = 149\$ cm³; \$F = 118\$ cm².

Dla wartości

$$F(k, \varphi_0) = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{P}{EI}} = \frac{500}{2} \sqrt{\frac{60\,328,87}{2\,150\,000 \cdot 1185}} = 1,230\,634\,5$$

otrzymujemy z tablic

$$\frac{\alpha}{2} = 30' \text{ } ^\circ,$$

$$\varphi_0 = 70^\circ 30' \text{ } ^\circ,$$

$$\sin 30' = 0,00873,$$

$$\sin 70^\circ 30' = 0,94264,$$

które to wartości czynią zadość równaniu (7).

Uwzględniając powyższe dane we wzorze (5), otrzymamy

$$\delta + f = 2 \cdot 0,00873 \cdot \sqrt{\frac{2\,150\,000 \cdot 1185}{60\,328,87}} = 3,547 \text{ cm},$$

oraz

$$\sigma_s = \frac{60328,87}{118} + \frac{60328,87 \cdot 3,547}{149} = 1947,4 \text{ kg/cm}^2,$$

podczas gdy z równania przybliżonego gięcia otrzymujemy wartości

$$\delta + f_1 = \frac{1,18}{\cos \left(\frac{500}{2} \cdot \sqrt{\frac{60\,328,87}{2\,150\,000 \cdot 1185}} \right)} = 3,535 \text{ cm}$$

i

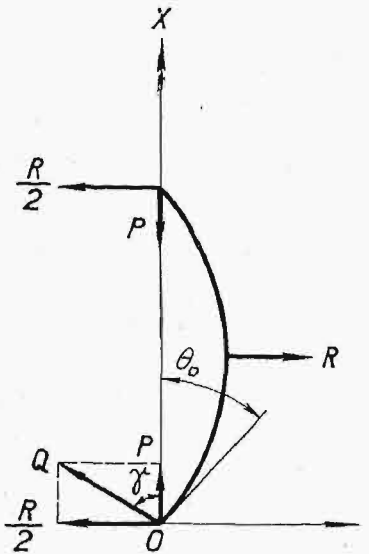
$$\sigma_s = \frac{60328,87}{118} + \frac{60328,87 \cdot 3,535}{149} = 1942,6 \text{ kg/cm}^2,$$

⁹⁾ J. Bertrand. „Traité de calcul différentiel et de calcul intégral”. Paris 1870 r.

Dr. E. Jahnke und ing. F. Emde. „Funktionentafeln mit Formeln und Kurven”. L. u. B. 1909 r.

t. j. różnica wartości naprężeń, obliczonych zapomocą wzoru ścisłego a przybliżonego, jest + 0,3%.

Oczywiście, że tego rodzaju błąd praktycznie nie ma wielkiego znaczenia, wobec czego wzór przybliżony może być w zupełności stosowany, lecz przy wartości siły ściskającej znacznie mniejszej od wartości siły krytycznej danego pręta, w wypadku obciążenia osiowego. Jednakże, chcąc mieć wzór ścisły, ważny dla wartości siły P nietylko znacznie mniejszej od P_{KR} , ale nawet bliskiej i większej od P_{KR} , należy wzór przybliżony (8) zastąpić wzorem ścisłym (5).



Rys. 2.

Rozpatrzmy drugie wspomniane na wstępie zagadnienie jednoczesnego ściskania pręta siłą osiową P i zginania siłą poprzeczną R , dla którego to wypadku zostały wyprowadzone wzory¹⁰⁾, określające rzędne dowolnego punktu osi pręta (rys. 2) w postaci następującej:

$$x = \frac{2k}{p} \operatorname{cn} u \sin \gamma + \frac{1}{p} \cos \gamma \{ 2[E(k, u) - E] - u + K \}$$

$$y = -\frac{2k}{p} \operatorname{cn} u \cos \gamma + \frac{1}{p} \sin \gamma \{ 2[E(k, u) - E] - u + K \}.$$

Największa wartość rzędnej y jest przy $s = \frac{l}{2}$.

Zatem
$$u_0 = \frac{pl}{2} + K,$$

oraz¹¹⁾

$$(9) \quad \sin \frac{\gamma}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{P}{Q}} = k \sin (\pi + \varphi_0).$$

Tak więc

$$\frac{pl}{2} = \int_0^{\pi + \varphi_0} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} - K,$$

skąd

$$\operatorname{sn} \left(\frac{pl}{2} + K \right) = \sin (\pi + \varphi_0).$$

Ponieważ jednak

$$(10) \quad \operatorname{sn} \left(\frac{pl}{2} + K \right) = \frac{1}{\sqrt{k}} \cdot \frac{\vartheta_2(v)}{\vartheta_3(v)},$$

gdzie symbolem $\vartheta(v) = \vartheta \left(\frac{pl}{4K} \right)$ oznaczono funkcje

Jacobi'ego w oznaczeniu Weierstrass'a, to z równań (9) i (10) otrzymamy zależność

$$(11) \quad \sqrt{\frac{Q - P}{2kQ}} = \frac{\vartheta_2(v)}{\vartheta_3(v)},$$

której muszą czynić zadość dobrane wartości k i K .

Biorąc pod uwagę, że

$$\operatorname{cn} \left(\frac{pl}{2} + K \right) = -\sqrt{\frac{k'}{k}} \cdot \frac{\vartheta_1(v)}{\vartheta_3(v)},$$

$$\sin \gamma = -\frac{R}{2Q}$$

oraz

$$\cos \gamma = \frac{P}{Q},$$

napiszemy wzory, określające rzędne punktu $s = \frac{l}{2}$, w postaci następującej:

$$(12) \quad y_{s=\frac{l}{2}} = \frac{2P\sqrt{kk'}}{pQ} \cdot \frac{\vartheta_1(v)}{\vartheta_3(v)} - \frac{R}{2pQ} \cdot \left\{ 2[E(k, u_0) - E] - \frac{pl}{2} \right\}$$

$$(13) \quad x_{s=\frac{l}{2}} = \frac{R\sqrt{kk'}}{pQ} \cdot \frac{\vartheta_1(v)}{\vartheta_3(v)} + \frac{P}{pQ} \cdot \left\{ 2[E(k, u_0) - E] - \frac{pl}{2} \right\},$$

przyczem wartość $E(k, u_0)$ wyznaczmy ze wzoru

$$E(k, u_0) = \left\{ \left(\frac{pl}{2} + K \right) \left[1 - \frac{\vartheta_0''(0)}{\vartheta_0(0)} \right] + \frac{\vartheta_0'(u_0)}{\vartheta_0(u_0)} \right\},$$

gdzie $\vartheta_0'(u)$ i $\vartheta_0''(u)$ otrzymuje się przez odpowiednie zróżniczkowanie funkcji

$$\vartheta_0(u) = 1 - 2q \cos 2\pi u + 2q^4 \cos 4\pi u - 2q^9 \cos 6\pi u + \dots$$

Różnicę wartości strzałki ugięcia oraz skrajnego naprężenia między wzorem ścisłym (12) a przybliżonym

$$(14) \quad f = \frac{Rl^3}{48EI} \frac{1}{1 - \frac{Pl^2}{\pi^2 EI}}$$

wskaże podany niżej przykład.

Niech będzie pręt o długości $l = 750 \text{ cm}$, ściskany siłą $P = 149\,997,9 \text{ kg}$ i zginany w środku rozpiętości siłą $R = 1587,4 \text{ kg}$. Przekrój dwuteowy Nr. 50 B; $I = 11718 \text{ cm}^4$, $W = 781 \text{ cm}^3$; $F = 261,8 \text{ cm}^2$.

Dla powyższych wartości, otrzymujemy

$$Q = \sqrt{P^2 + \frac{R^2}{4}} = 150\,000 \text{ kg},$$

$$p = \sqrt{\frac{Q}{EI}} = 0,002\,440,$$

$$a = 15',$$

$$k = \sin 15' = 0,004\,363,$$

$$k' = \sqrt{1 - k^2} = 0,999\,994,$$

$$K = 1,570\,825,$$

$$v = \frac{pl}{4K} = 0,291\,248,$$

$$\vartheta_1(v) = 0,052\,353,$$

$$\vartheta_2(v) = 0,040\,281,$$

$$\vartheta_3(v) = 0,999\,999\,4,$$

$$E = 1\,570\,775,$$

$$q = 0,000\,001\,189\,9,$$

oraz

$$E(k, u_0) = 2,485\,594.$$

¹⁰⁾ Patrz artykuł autora: „Wpływ siły krytycznej na stateczność prętów zginanych lub ściskanych mimośrodowo”. Dodatek do Nr. 51 „Przełądu Technicznego”. Warszawa. 1927 r.

¹¹⁾ Patrz cytowany wyżej artykuł autora.

Równanie (11) w powyższych warunkach jest spełnione.

Podstawiając otrzymane wartości we wzory (12) i (13), będziemy mieli

$$y_{s=l/2} = 2,83 - 1,98 = 0,85 \text{ cm}$$

oraz

$$x_{s=l/2} = 0,01 + 374,19 = 374,20 \text{ cm.}$$

Skrajne naprężenie ściskające wynosi więc w tym wypadku

$$\sigma_s = \frac{P}{F} + \frac{P \cdot y_{s=l/2} + \frac{R}{2} \cdot x_{s=l/2}}{W} =$$

$$= \frac{149\,997,9}{261,8} + \frac{149\,997,9 \cdot 0,85 + 793,7 \cdot 374,2}{781} =$$

$$= 1116,4 \text{ kg/cm}^2,$$

podczas gdy ze wzoru przybliżonego (14) otrzymujemy

$$f = \frac{1587,4 \cdot 750^3}{48 \cdot 2\,150\,000 \cdot 11718} = 0,83 \text{ cm,}$$

$$1 - \frac{149\,997,9 \cdot 750^2}{3,14^2 \cdot 2\,150\,000 \cdot 11718}$$

jak również

$$\sigma_s = \frac{149\,997,9}{261,8} + \frac{149\,997,9 \cdot 0,83 + 793,7 \cdot 375}{781} =$$

$$= 1113,4 \text{ kg/cm}^2.$$

Porównyując więc otrzymane wyniki ze wzoru ścisłego i przybliżonego, zauważamy, że różnica wartości strzałek ugięcia oraz skrajnych naprężeń jest w danym wypadku stosunkowo mała, przyczem wielkość powyższej różnicy zależna będzie głównie od wielkości siły ściskającej P .

Tak więc i w tym wypadku, przy wartości siły

P znacznie mniejszej od wartości siły krytycznej rozpatrywanego pręta, wzór ścisły daje praktycznie zupełnie zgodne wyniki ze wzorem przybliżonym.

Jeżeli w końcu porównamy wynik wzoru często używanego w zastosowaniach praktycznych na wartość naprężenia skrajnego

$$\sigma_s = \frac{P}{F \cdot \varphi} + \frac{Rl}{4W}^{12)}$$

choć teoretycznie nieuzasadnionego, to otrzymamy wielkość tego naprężenia w wysokości

$$\sigma_s = \frac{149\,997,9}{261,8 \cdot 0,504} + \frac{793,7 \cdot 375}{781} = 1520 \text{ kg/cm}^2.$$

Zatem nadmiar naprężenia w porównaniu z wynikiem ścisłym wynosi w tym wypadku 36%.

Należy przytem wspomnieć, że sprawa stosowania ścisłego wzoru gięcia w rozpatrywanych wyżej zagadnieniach, celem określenia danych wytrzymałościowych pręta, ogólnie rzecz biorąc, przy jakiegokolwiek wartości siły ściskającej P , z teoretycznego punktu widzenia jest dostatecznie uzasadniona¹³⁾, co zresztą potwierdzają również wyniki przeprowadzonych badań laboratoryjnych¹⁴⁾.

Stwierdzono bowiem, że w wypadku gięcia mimośrodowego nieuwzględnienie w równaniu gięcia ścisłej wartości promienia krzywizny powoduje tylko przy obciążeniach mniejszych od wartości siły krytycznej pręta stosunkowo małe różnice w skrajnych naprężeniach; zauważono również, że w wypadku jednoczesnego zginania i ściskania, dla wartości siły ściskającej bliskiej wartości siły krytycznej, wzory oparte na przybliżonym równaniu gięcia prowadzą do niekorzystnych wyników, co zresztą jest zgodne w zupełności z otrzymanymi wyżej wynikami teoretycznymi.

Wartość nawozowa osadów kanalizacyjnych oraz względy higieniczne przy ich stosowaniu do celów rolniczych*).

Napisał Inż. Mag. Z. Rudolf (Warszawa).

I. Wartość nawozowa osadów.

Wwielu krajach czynione są wysiłki w kierunku wykorzystania wartości nawozowych ścieków miejskich oraz osadów kanalizacyjnych. Brak niektórych nawozów sztucznych w kraju oraz ich wysoka cena zmusza nas do zastanowienia się nad tem zagadnieniem, mającym tak podstawowe znaczenie dla dobrobytu państwa. Niemcy jedne z pierwszych przystąpiły do wyzyskania ścieków miejskich dla rolnictwa, o nich więc z konieczności wypadnie mówić najwięcej.

Już podczas wojny dał się odczuć w Niemczech brak nawozów sztucznych, szczególnie azotowych i fosforowych. Aczkolwiek możliwość otrzymywania azotu z powietrza wypełniła wielką lukę, to jednak potrzeby rolników nie mogły być zaspokojone. Jeszcze gorzej przedstawiała się sprawa na-

wozów fosforowych. Zaczęto głęboko się zastanawiać nad wytwarzaniem nawozów ze ścieków i żądano, w interesie odżywiania szerszych mas ludności, wykorzystania tych wartości, jakie ścieki pod względem nawozowym niewątpliwie posiadają.

Dobry początek dało miasto Monachjum, gdzie uprzednio osadzone ścieki zostały użyte do irygacji pól, a same osady zostały przerobione i wykorzystane, jako nawozy. Nie ulega wątpliwości, że najlepszym rozwiązaniem zadania wykorzystania zawartych w ściekach części, mających wartość

¹²⁾ φ — współczynnik zmniejszający na wyoboczenie.

¹³⁾ H. Czopowski, „Warunki fizyczne powstawania wyoboczenia sprężystego”. Sprawozdania i prace Warszawskiego Towarzystwa Politechnicznego, 1924 r.

S. Miller, „O kursie Wytrzymałości Materiałów prof. S. Timoszenki w przekładzie prof. M. Hubera”. Czasopismo Techniczne, 1923 r.

Patrz również cytowany na wstępie artykuł autora.

¹⁴⁾ M. R o s., „Die Bemessung zentrisch und exzentrisch gedrückter Stäbe auf Knickung”. 2. Internationale Tagung für Brücken- und Hochbau in Wien, 1928.

* Odczyt wygłoszony w dniu 30 stycznia 1929 r. w Wydziale Urzędzeń Zdrowotnych Stowarzyszenia Techników w Warszawie.

nawozową, jest sposób pól irygowanych. Pomijając ten fakt, że tą drogą można osiągnąć bodaj że najlepsze oczyszczanie ścieków, części rozpuszczone i nierozpuszczone w ściekach dadzą się tu do pewnego stopnia wykorzystać. Gerlach ocenia straty w częściach nawozowych z powodu rozkładu ścieków i wytwarzania się z nich gazów przy stosowaniu irygacji na 50%. Z pozostałych zaś części wartościowych, według spostrzeżeń na berlińskich polach irygacyjnych, da się wykorzystać w gruncie tylko 1/5,5. Ze względu jednak na specjalne wymagania co do wielkości terenu oraz charakteru odpowiedniego gruntu, sposób ten rzadko może być brany w rachubę. Naprzykład, w okręgu Emscherskim pola irygowane ma tylko miasto Dortmund, przyczem pola te są już za małe i z powodu braku sąsiednich terenów nie mogą być rozszerzone.

Nasuwa się więc tu konieczność zastosowania sposobu mechanicznego oczyszczania ścieków z ewentualnym oczyszczaniem biologicznym. Jedyne osady, uzyskane drogą mechanicznego klarowania ścieków, mogą być zużytkowane do celów nawozowych. Zależnie od rodzaju oczyszczalni, otrzymać można osad świeży, t. j. taki, w którym substancje nie uległy jeszcze rozkładowi (np. ze zwykłych osadników), lub osad przegniły (np. z osadników Imhoffa), który uległ daleko idącemu rozkładowi, przedewszystkiem w częściach organicznych i związkach azotowych.

Wartość nawozową w ściekach posiadają związki azotowe, kwas fosforowy, potas, wapień, magnez i przedewszystkiem substancje organiczne. Ogromne znaczenie mają, zwłaszcza jeżeli chodzi o osad przegniły, bakterje azotowe, których liczba ulega wahaniu w zależności w dużym stopniu od tego, czy oczyszczalnia przyjmuje ścieki tylko domowe, czy także ścieki przemysłowe. Te ostatnie w pewnych przypadkach zawierają związki trujące, przez co osady, otrzymane ze ścieków, nie mogą być zastosowane do celów nawozowych.

Hönig i Brün dają następujące zestawienie procentowe:

Tabela 1.

	Woda	Azot	Kwas fosforowy	Potas	Popiół	Substancję organiczne
Osad świeży kanal. (przesuszony)	75	0,71	0,41	0,10	3,50	14,65
Przegniły nawóz koński	75	0,50	0,25	0,63	4,76	20,24

z którego wynika, że osad świeży posiada wystarczającą wartość nawozową.

Stutzer zaś podaje nast. zestawienie przegniłego osadu kanalizacyjnego z nawozem końskim:

Tabela 2.

	Woda	Części organ.	Części nieorg.	Azot	Kwas fosfor.	Potas
Przegniły osad	46,0	24,0	30,0	1,06	0,71	—
Nawóz koński	77,0	17,0	6,0	0,54	0,25	0,70

Zasadnicza różnica pomiędzy składem chemicznym osadu świeżego i osadu przegniłego polega na tem, że gdy osad świeży zawiera przeciętnie 20—30% części mineralnych i 70—80% części organicznych, w osadzie przegniłym części mineralne stanowią około 50%, tyleż mniej więcej części organiczne.

Także w zawartości azotu, który stanowi czynnik najbardziej wartościowy pod względem nawozowym, panuje pewna różnica pomiędzy temi dwoma rodzajami osadu. Świeży osad zawiera więcej azotu, niż osad przegniły, ma to jednak tylko po-

zorne znaczenie, gdyż świeży osad, zastosowany w gruncie, musi przejść proces utlenienia, przy którym następuje również rozkład substancji azotowych.

Dla ustalenia wartości nawozowej ścieków oraz osadów kanalizacyjnych, wykonano sporo doświadczeń. Geissler w Hanowerze obliczył, że 1000 m³ ścieków (10 000 mieszkańców) daje 110 kg azotu, 70 kg potasu i 30 kg kwasu fosforowego, które wystarczą do nawożenia 4 ha chudej ziemi ornej lub 2 ha łąk.

Keppner obliczył, że ścieki z ogólnospławnego systemu kanalizacji w Monachjum (ludność 460 000) zawierają 4000 tonn azotu, 890 tonn kwasu fosforowego i 830 tonn potasu. Z tych ilości w świeżym osadzie uzyskuje się 400 tonn azotu, 224 tonn kwasu fosforowego i 110 tonn potasu. Ścieki osadzone są wykorzystane do irygacji pól, których obszar wynosi 4900 ha. Świeży osad miesza Keppner w stosunku 1 : 1 ÷ 2,25 z rozdrobnionymi śmieciami, wyrabiając tą drogą środek nawozowy, dający się rozsiewać, a przez dodanie śmieci zwiększając w samym osadzie zawartość kwasu fosforowego i potasu. Sposób ten dał dobre wyniki.

Wskazania co do wartości nawozowej ścieków i osadów różnią się dość znacznie. Hönig oblicza części nawozowe w ściekach przy irygacji (w ilości około 750 m³ na 1 hektar) na 35 kg azotu, 21½ kg kwasu fosforowego i 25 kg potasu na ha, zapotrzebowanie zaś gruntu na substancje pożywne ocenia on w przypadku nawożenia pod zboża na 31 kg azotu, 50 kg kwasu fosforowego i 100 kg potasu. Dethweiler i inni podają liczby znacznie wyższe, a mianowicie: zapotrzebowanie na ha w ilości 60 — 100 kg azotu, 80 — 120 kg kwasu fosforowego i 100 kg potasu. Ustalenie ścisłych norm w tym względzie byłoby rzeczą niemożliwą, gdyż ilości te są każdorazowo zależne od własności gleby.

Helbig i Jöhrens podają wartość nawozową osadów z dołów Imhoffa, na podstawie badań Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Münster, w następującym zestawieniu (obliczenie w stosunku do substancji suchej): części organiczne 38 0%, azot 1,4,

kwas fosforowy 1,16, potas 0,17 i wapno 3,8.

Osad ten zawiera około 65% wody. Ze względu na wysoką zawartość wody w osadzie i stosunkowo mały procent części użytecznych transport osadu na dalsze odległości prawdopodobnie nie opłaca się, ale jeżeli osady te ulegają zupełnemu wyzyskaniu pod względem wartości nawozowych w okolicach, sąsiadujących z zakładem oczyszczania ścieków, jest to nie bez znaczenia, gdyż nawozy sztuczne mogą być zużytkowane gdzieindziej. W okręgu Emscherskim osady te są także stosowane do zasypywania miejsc zapadających się naskutek rozwoju kopalń oraz do zwykłego podnoszenia terenu.

Części organiczne mają dużą wartość, odgrywają one w osadach rolę substancji humusowych, które wzbogacają glebę, nadają jej własność zachowania potrzebnej ilości wilgoci oraz wpływają na zwiększenie wilgotności gruntu. Zawartość pruchnicy w glebie w dostatecznej ilości nie pozwala na zbyt prędkie wsiąkanie wody w głąb gruntu oraz zapobiega zbyt szybkiemu jej parowaniu.

Dlatego też przefermentowany osad z dołów Imhoffa nadaje się do rozluźnienia ciężkiej glinia-

stej gleby oraz do wzbogacenia substancją humusową gleby, pozbawionej części organicznych, szczególnie piaskowej, na której zwiążłość ma on wpływ bardzo korzystny.

Zazwyczaj za mało uwagi przy zużytkowaniu osadów zwraca się na bakterje. Przez nawożenie gruntu osadami można go silnie wzbogacić w bakterje tak, aby drobnoustroje były w stanie wykonywać swą normalną pracę. Za ich pośrednictwem dochodzi także ciepło do gleby, która w wyniku zachodzących procesów rozkładowych z towarzyszącym im wydzielaniem się gazów rozluźnia się, co ma duże znaczenie dla życia roślin.

Dr. W. Rudolfs w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej (Rolnicza stacja doświadczalna Stanu New Jersey) od kilku już lat bada drobnoustroje, które wchodzi w grę przy różnych sposobach oczyszczania ścieków, oraz znajdują się w najrozmaitszych osadach. Prace te, jako bardzo wyczerpujące, zasługują na dokładne przestudjowanie.

Pozostaje zasadnicze pytanie, czy osad kanalizacyjny winien znaleźć zastosowanie w rolnictwie w stanie świeżym, czy też przegniłym. Opinie w tej dziedzinie, szczególnie w kołach rolniczych, są bardzo podzielone, co tłumaczy się tem, że dla rolników osad rzeczywiście przegniły jest do pewnego stopnia jeszcze nowością. Oczywiście, pytanie to zjawia się przedewszystkiem tam, gdzie buduje się nowy zakład oczyszczania ścieków.

Osad świeży różni się od osadu przegniłego zarówno pod względem chemicznym, jak i fizycznym. Różnice te polegają na następującem:

a) Osad świeży zawiera zwykle do 95% wody, w osadzie przegniłym ilość ta obniża się do 75—80%, a nawet daje się zredukować do 65%. Przy świeżym osadzie, koszty transportowe wynoszą przez to od 4—5 razy więcej, niż przy osadzie przegniłym.

b) Mimo swej wysokiej zawartości wody, osad świeży stanowi masę ciągliwą (obfitość koloidów), która z trudnością daje się pompować i łatwo zatyka rury (w tym celu trzeba go rozcieńczać); natomiast osad przegniły, chociaż zawiera mniej wody, jest płynny, daje się łatwo wypompować i rozdzielić po polu, daje się przechowywać i jest stale zdalny do użytku.

c) Osad świeży ma własność tworzenia kul, które otaczają się mocną i suchą warstwą, chroniącą wewnątrz od wysuszenia. Gdy te tłuste bryły znajdują się w glebie, rozkład ich następuje bardzo powoli, zdarza się nawet, że jeszcze po roku nie zostają całkowicie wykorzystane. Osad przegniły, ze względu na zawartość w nim gazu, traci łatwo wodę i tworzy przy wysychaniu na poletkach duże bryły, które bez trudności rozpadają się w proszek. W tym stanie osad jest rozsiewalny i może służyć do nawożenia pól lub łąk.

d) W świeżym osadzie znajdują się zazwyczaj jeszcze rozarte włókna papierowe oraz włókna innych ciał, które w gruncie odcinają korzenie roślin od dostępu powietrza i pozostają długo w stanie nierozłożonym. W osadzie przegniłym natomiast części te, składające się przeważnie z celulozy, uległy rozkładowi pod wpływem bakterij beztlenowych.

e) Zachwaszczenie, które jest zwykłym zjawiskiem na polach irygacyjnych, jest przy nawożeniu świeżym osadem większe, niż przy osadzie przegniłym, gdyż nasiona chwastów ulegają w procesie gnicia prawie zupełnemu rozkładowi, względnie ich siła kiełkowania zostaje osłabiona.

f) Osad świeży wydaje nieprzyjemny zapach i przy przeróbce staje się bardzo przykry dla otoczenia. Osady przegniłe posiadają przeważnie zwykły zapach ziemny lub smołowy. Ciekawy przykład daje oczyszczalnia ścieków w Hagen, w okręgu Ruhry, gdzie cała powierzchnia będących w rozporządzeniu pól jest co 3 lata napompowywana osadami do wysokości 20 cm, przez co osiąga się wystarczające nawożenie. Jest to możliwe tylko przy osadzie przegniłym, który także schnie prędzej.

g) Świeży osad jest środkiem, zwabiającym wielkie masy much (żółtawo-brunatne *Scatophaga stercoria*), które mogą roznosić zarazki. Obserwuje się je tylko tam, gdzie osady nie uległy jeszcze zupełnej fermentacji, natomiast do osadów przegniłych muchy te nie ciągną.

h) Należy bardzo silnie podkreślić, że świeży osad zawierać może zarazki chorobotwórcze i, jako ich przenosiciel, staje się bardzo niebezpieczny, natomiast co do osadu przegniłego niema obawy pod tym względem, gdyż zarazki pod wpływem fermentacji przeważnie giną. O tem będę mówił dalej.

i) Osad przegniły posiada jednak pewną wadę, która polega na wyższej zawartości siarczków. W procesie rozkładu tworzą się siarczki, szczególnie siarczki żelaza, które w ziemi, przy dalszym rozkładzie osadu, mogą mieć wpływ szkodliwy na drobne korzonki roślin. Tę wadę można jednak usunąć przez zastosowanie krótkiego przewietrzania osadu przegniłego, w którego wyniku siarczki utleniają się do siarczanów.

Przytoczone wyżej względy zdają się wyraźnie wskazywać, że osad przegniły przedstawia wiele korzyści w porównaniu z osadem świeżym. Pozostawałoby jeszcze praktyczne wypróbowanie, czy i pod względem czysto rolniczym osad przegniły jest wydajniejszy od osadu świeżego.

Trzeba zaznaczyć, że osad świeży, po znalezieniu się w gruncie, musi przejść proces rozkładu przy udziale bakterij tlenowych (w obecności tlenu powietrza), przyczem przy rozkładzie części organicznych tworzy się woda i kwas węglowy, a jako produkt ostateczny rozkładu substancyj azotowych otrzymuje się elementarny azot. Przy procesie anaerobowym straty w azocie są znacznie mniejsze, wydaje się więc zupełnie naturalnem, że rolnicy woleliby stosować osady przegniłe. Jest to analogja do tego, że zazwyczaj przecież rolnik przechowuje nawóz stajenny w stanie wilgotnym, przykrywając go słomą, która wchłania wilgość i chroni nawóz od dostępu powietrza, w celu utrzymania części wartościowych.

Niezmiernie interesujące doświadczenia przeprowadził w roku 1923 zakład oczyszczania ścieków w Rellinghausen (Technisches Gemeindeblatt, Nr. 3, 1924, Berlin, str. 33-35). Badania prowadzono nad osadem świeżym (z piaskownika, po kilku dniach wysuszenia) oraz nad osadem dobrze przegniłym, który leżał przez jakiś czas na powietrzu.

Skład chemiczny obu osadów był następujący:

Tabela 3.

	a) Osad świeży.	b) Osad przegniły.
Woda	56,4%	57,5%
Substancje suche	43,6	42,5
W substancji suchej było:		
części mineralnych	38,5%	58,9%
„ organicznych	61,5	41,1
kwasu fosforowego	0,31	0,11
azotu	1,63	1,26
potasu (K ₂ O)	0,31	0,57
wapna (CaO)	6,0	5,6
magnezji (MgO)	0,42	0,39
części lotnych	42,2	22,3
węglanów	20,2%	18,8%

Z tabeli tej widać, że osad świeży był silnie zanieczyszczony piaskiem (wysoka zawartość części mineralnych). Dzięki obecności piasku, udało się osad ten osuszyć aż do 43% zawartości wody, co normalnie byłoby niewykonalne. Przytoczone zestawienie wykazuje małe różnice zawartości wapna i magnezji w obu osadach, większe różnice zaś w azocie, potasie i kwasie fosforowym.

Poletko doświadczalne miało ok. 18 m szerokości i przeszło 40 m długości i zostało podzielone rowkami na trzy pasy, każdy o szerokości 6 m, przyczem pas środkowy pozostał bez nawożenia, pierwszy ulegał nawożeniu osadem świeżym, a trzeci — osadem przegniłym. Przed nawożeniem całe poletko zostało możliwe jednakowo obrobione. Na-

Tabela 6.

a) przy osadzie świeżym:	
1. Jeden gatunek	8,96 kg (— 0,30)
2. Drugi gatunek	15,9 „ (— 3,1)

b) przy osadzie przegn.:	c) bez nawożenia:
13,6 kg (+ 4,34)	9,26 kg (+ 0)
27,9 „ (+ 8,9)	19,0 „ „

wożenie odbywało się w ten sposób, że osady mieszano najpierw z małymi partjami ziemi, później partje te stopniowo zwiększano i całą mieszanię przewracano szuflami, rozdzielając ją w końcu równomiernie po całej powierzchni. Grunt, będący w rozporządzeniu, był średnio ciężkim gruntem gliniastym, który dzięki poprzedniemu stosowaniu w ciągu dłuższego czasu osadów z piaskownika został trochę rozluźniony. Doświadczenia bardzo ucierpiały z powodu niekorzystnych warunków atmosferycznych, bowiem z wyjątkiem pierwszych dni lipca panowała stale zimna i mokra pogoda.

Na 1 m² gruntu użyto 2,3 kg osadu, co w stosunku do 1 ha wynosi 23 000 kg. Liczbie tej w przypadku osadu świeżego (zawartość wody 56%) odpowiada 10 028 kg substancji suchej, w przypadku zaś osadu przegniłego (zawartość wody 57,5%) — 9 775 kg substancji suchej, z czego wynika, iż na 1 ha gruntu przypadły następujące ilości części odżywczych:

Tabela 4.

	a) przy osadzie świeżym:	b) przy osadzie przegniłym:
Azotu	163,45 kg	123,2 kg
Kwasu fosforowego (P ₂ O ₅)	31,08 „	10,75 „
Potasu (K ₂ O)	31,08 „	55,75 „
Wapna (CaO)	601,6 „	547,0 „
Magnezji (MgO)	42,0 „	38,0 „

Porównywując te dane z uprzednio wymienionymi danymi na podstawie doświadczeń, wykonanych przez Hö n i g a i D e t h w e i l e r a, widzimy, że w stosunku do azotu wykonano bardzo silne nawożenie, natomiast zastosowane ilości kwasu fosforowego i potasu są tutaj znacznie mniejsze.

Wartość nawozową osadu wypróbowano na hodowli: 1) marchwi, 2) grochów, 3) okopowizny, 4) ziemniaków i 5) rzepy.

Marchew. Trzy poletka o powierzchni 15 m² każde były rzadko zasiane rzędami z początkiem kwietnia (nasiona uprzednio zmieszane z piaskiem). Okazało się, że na nawożonych poletkach pierwszy wzrost roślin był znacznie większy, niż na poletkach nienawożonych. Bardzo wyraźnie wystąpiły różnice w ilościach chwastów, a najwięcej zachwaszczone było poletko, nawożone osadem świeżym. Chwasty, oczyszczone z ziemi i obliczone jako substancja sucha, wyniosły dla poletka, nawożonego osadem świeżym, 700 g, a osadem przegniłym — 280 g, dla poletka nienawożonego — 190 g, czyli ilości chwastów miały się jak 3,7 : 1,47 : 1.

Ze względu na bardzo gęsty rozrost marchwi, już w połowie sierpnia trzeba było ją przerzedzić. W początku października zebrano na poszczególnych poletkach następujące ilości marchwi:

Tabela 5.

1. Przy osadzie świeżym:	102,85 kg z nacią i 49 kg bez naci (o 16,9% więcej, niż bez nawożenia)
2. „ „ przegniłym:	105,80 kg z nacią i 51,5 kg bez naci (o 20,8% więcej, niż bez nawożenia)
3. Bez nawożenia:	92,50 kg z nacią i 42,7 kg bez naci.

Groch y. Na dwóch poletkach o powierzchni 90 m² każde zasadzono z końcem maja i na początku czerwca dwa rodzaje grochu, przyczem każdy rodzaj wypróbowano na 3 poletkach po 30 m² przy nawożeniu osadem świeżym, osadem przegniłym i bez nawożenia. Zbiór wyniósł:

W obu przypadkach otrzymano przy osadzie przegniłym o 46,8% większe plony, niż przy nie stosowaniu nawożenia, oraz znacznie lepsze zbiory, niż przy stosowaniu nawożenia osadem świeżym.

O k o p o w i z n a. Jedno poletko o powierzchni 90 m² podzielono na trzy równe działki i na każdej wypróbowano inny rodzaj kapusty dla trzech przytoczonych przypadków. Zbiór przedstawia się następująco:

Tabela 7.

	a) przy osadzie świeżym	b) przy osadzie przegniłym	c) bez nawożenia
1. Kapusta włoska	58,9 kg	66,1 kg	41,7 kg
2. „ czerwona	67,8 „	73,3 „	61,3 „
3. „ biała	63,3 „	155,3 „	102,8 „

Przy osadzie przegniłym, zbiory kapusty białej wyniosły o przeszło 50% więcej, niż w przypadku niestosowania nawożenia.

Liczyby te, sprowadzone do wagi jednej roliny, dały:

Tabela 8.

	a) przy osadzie świeżym	b) przy osadzie przegn.	c) bez nawożenia	Przyrost przy osadzie przegn. w stos. do c)
1. Kapusta włoska	1,05 kg	1,75 kg	1,07 kg	63,6%
2. Kapusta czerwona	1,54 „	1,67 „	1,43 „	16,8
3. Kapusta biała	2,88 „	3,53 „	2,39 „	47,7

Również i w tym przypadku osad przegniły wykazał wielką przewagę nad osadem świeżym.

Z i e m n i a k i. Zasadzono w połowie kwietnia trzy poletka o powierzchni 45 m² każde. Na poletkach tych wyrosło:

Tabela 9.

		Przeciętna wydajność jednej rośliny
1. Przy osadzie świeżym z 224 zasadzonych	— 205 roślin (91,8 ⁰ / ₀)	9,75 kg (+ 17,6 ⁰ / ₀)
2. „ „ przegniłym z 210 „	— 193 roślin (92 ⁰ / ₀)	12,40 „ (+ 49,0 ⁰ / ₀)
3. Bez nawożenia z 224 „	— 213 roślin (95,2 ⁰ / ₀)	8,32 „ (0)

W zachowaniu się roślin nie zauważono żadnej różnicy. Jak i w poprzednich przypadkach, osad przegniły wykazał tu znaczną przewagę nad osadem świeżym.

Wyniki wszystkich przeprowadzonych doświadczeń można ująć w następujące zestawienie:

Tabela 10.

	a) przy świeżym osadzie	b) przy osadzie przegniłym
1. Marchew	+ 16,8%	+ 20,8%
2. Grochy:		
a) gatunek 1	— 3,2	+ 46,8
b) „ 2	— 16,3	+ 46,8
3. Okopowizna:		
a) kapusta włoska	—	+ 63,6
b) „ czerwona	+ 7,7	+ 16,8
c) „ biała	+ 24,0	+ 47,7
4. Ziemiaki	+ 17,6	+ 49,0

Liczby dodatnie oznaczają procentowy przyrost lub ubytek zbioru w stosunku do przypadku niestosowania nawożenia.

Z tablicy 10-ej wynika, że we wszystkich doświadczeniach (z wyjątkiem przypadku rzepy) daleko lepsze wyniki dało nawożenie osadem przegniłym, niż osadem świeżym. Tłumaczy się to przede wszystkim tem, że świeży osad musi w ziemi przejść proces rozkładu i przez wydzielanie się gazów traci część swych wartości nawozowych, oraz że, jako mniej jednorodny, łatwiej podlega wymywaniu. Analogiczne badania powinny być przeprowadzone w Polsce, gdyż ścieki nasze różnią się od ścieków miast niemieckich. Jest to wdzięczne zadanie dla Miejskiej Stacji Doświadczalnej na Kasadzie w Warszawie.

(d. n.)

PRZEGLĄD PISM TECHNICZNYCH.

HUTNICTWO.

Wielki piec o wydajności 920 t.

Na zebraniu jednego z koncernów hutniczych amerykańskich w Pittsburgu, w lutym r. b., referowano o nowym wielkim piecu o wydajności dobowej 922,5 t. Piec ten ma 27 m wysokości, 73,47 mm średnicy w gardzieli, 78,74 mm średnicy w przestrzeni, kąt wierzchołkowy stożka szybu wynosi 86°14'. Powietrze jest wdmuchiwane przez 14 dysz. Pomost górny ma średnicę 5100 mm, zaś dzwon — 3747 mm. Ilość wdychiwane powietrza wynosi ok. 2000 m³/min, ciśnienie — 1,3 ata. W ciągu 24 godzin dokonywa się 5 spustów. Do wytworzenia 1 t surówki zużywa się 890 kg koksu (Iron Age, 123 (1928), zes. 8).

KOTŁY PAROWE.

Z praktyki wysokich ciśnień pary.

Na zebraniu American Society of Mechanical Engineers w New Yorku omawiał p. I. E. Moulthrop wyniki gospodarce zastosowania wysokich prędkości pary w elektrowni Edgar Station, należącej do Edison Electric Illuminating Co, w Bostonie.

Temperaturę parę stosuje się tam do 400° C, prędkość pary — 100 at. Jest to, wedł. referenta, obecnie granicą rentowności zakładów wysokoprężnych. Urządzenia bez przegrzewania międzystopniowego są rentowne w Ameryce przy ciśnieniach do 28 at. Dobrze zaprojektowane urządzenia wysokoprężne nie wymagają zresztą większych kosztów na 1 kW wytworzonej energii, niż urządzenia na większe ciśnienia pary, gdyż maszyny wysokoprężne stanowią tylko niewielką część całkowitych kosztów siłowni, natomiast część wysokoprężna nie wymaga dużego wydatku na skraplacze, pompy, przewody do chłodni, budynku i t. d., które to wydatki mogą być zatem zaoszczędzone.

W elektrowni Edgar - Station, zbudowanej nie dla do-

świadczeń, lecz czysto praktycznie, starano się zmniejszyć powierzchnię ogrzewaną kotłów kosztem powierzchni ogrzewanych podgrzewaczy wody i powietrza. Wynikiem było osiągnięcie znacznie wyższej wydajności kotła. Natomiast uważa autor za zagadnienie nierozwiązane jeszcze — dokładną regulację obrotów silników asynchronicznych do napędu wysokoprężnych pomp zasilających.

Drugi referent, R. Brown, podkreślił, iż wiele urządzeń zastosowanych w omawianej elektrowni przy pierwszej instalacji wysokoprężnej, dla większego bezpieczeństwa i pewności ruchu, okazały się zbędnymi w późniejszych instalacjach. Dotyczy to m. in. specjalnych zaworów bezpieczeństwa, zasuw przy przegrzewaczach międzystopniowych itp. Z drugiej strony, powstały trudności nieoczekiwane w zakresie regulacji zasilania wodą, chłodzenia wodnego ścian komory paleniskowej i wysokoprężnych pomp zasilających. Na podstawie wyników ruchu powyższej siłowni, twierdzi referent, że instalacja wysokoprężna może dać 12% oszczędności paliwa. (Power, 12 lutego r. b., str. 291).

MATERJAŁOWNICTWO.

Nowy sposób konserwacji i ulepszania drzewa.

Jak wiadomo, przed użyciem drzewa do celów technicznych należy je poddać pewnym zabiegom w celu jego ulepszenia. Przedewszystkiem należy usunąć zeń wodę w sposób umiejętny (nie powodując pęcznienia się i pęknięcia), następnie zabezpieczyć od robactwa i fermentacji przez usunięcie soków drzewnych. Zabiegi te, aczkolwiek proste, nie zawsze są wykonywane należycie, t. zn. bez zachwiania równowagi przez zbyt szybkie usuwanie wody i soków.

Przechodząc do konserwacji drzewa, zaznaczyć należy, iż drzewo, leżąc przez czas dłuższy w warunkach właściwych, ulega procesowi samoulepszenia się, opartemu na przekształcaniu się komórek tkanki i ich zawartości. Na tem tle po-

wstało zagadnienie sztucznego przeprowadzenia tego procesu. względnie jego sztucznego przyspieszania.

Zabiegi takie opierają się na utwardzeniu protoplazmy komórki przez utlenianie węglowodorów, stanowiących część jej substancji. Oczywiście, zabiegi te są trudne, gdyż mogą się opierać jeno na osmozie przez ścianki komórki. To też najchętniej uciekamy się do naturalnego „starzenia się” drzewa, podczas którego możemy zaobserwować pod mikroskopem zmiany, jakie zachodzą w budowie tworzywa. M. in. można stwierdzić wówczas mniejsze lub większe stężenie jonów wodoru, zmieniające się wraz z postępowaniem „starzenia się”, co pozwala kontrolować i klasyfikować drzewo pod tym względem. Dalszym zabiegiem jest dezynsekcja drzewa, co jest czynnością prostą, polegającą na wprowadzeniu do drzewa odpowiednich cieczy. Trudność polega tu atoli na utrzymaniu ich w tkankach.

W ostatnich wszakże czasach powstała nowa metoda ulepszenia drzewa przez nasycanie go żywicami syntetycznymi, np. bakelitem¹⁾.

Bakelit wprowadza się w postaci ekstraktu z roztworu w rozpuszczalniku o dość niskiej temperaturze wrzenia. Ponieważ mamy do czynienia z roztworem koloidalnym, ekstrakcja nie jest łatwą; udało się jednak znaleźć odpowiedni przemysłowo sposób wykonywania tego zabiegu. Bakelit koloidalny utrzymuje się łatwo w tkance, gdyż ulega przekształceniom, polegającym na powiększaniu się cząsteczek koloidalnych. Polimeryzacja bakelitu tworzy zeń ciało stałe, nietopliwe i nierozpuszczalne. Przekształcenie to jest egzotermiczne i towarzyszy mu wydzielanie się fenolu i formolu o postaci szczególnie aktywnej, wywołujących wiązanie albuminów. Wynik ten otrzymuje się przy niskiej temperaturze o tyle, że ścianki celulozowe komórek nie ulegają uszkodzeniom. Wprowadzony zaś bakelit sprowadza sztuczne postarzenie drzewa. W dodatku bakelizacja zastępuje wszystkie te zabiegi, które po kolei wspomnieliśmy wyżej, stanowiąc doskonałą metodę ulepszenia drzewa. Do tego dodać należy, iż bakelizacja prowadzi do antyhygroskopijności, a zatem usuwa skurcz drzewa. Wreszcie nabywa drzewo tą drogą wyższych własności wytrzymałościowych.

Wytrzymałość drzewa bakelizowanego na rozciąganie, wyboczenie i zginanie podwaja się, wytrzymałość zaś na ściskanie — potraja się. Zdolności izolacyjne (elektr.) oraz odporność na działanie kwasów i zasad zwiększa się znacznie. Obróbka mechaniczna drzewa staje się znacznie łatwiejszą i zarazem powstaje możliwość większej dokładności jej wykonania. Drzewo bakelizowane poddaje się łatwo polerowaniu, zachowując je następnie trwale; jest udpornione przeciwko robactwu i grzybowi. Trwałość drzewa bakelizowanego jest niemal nieograniczona.

Dzięki tym licznym zaletom drzewa bakelizowanego, znalazło ono zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu elektrotechnicznego, maszynowego, chemicznego, włókienniczego, w budowie okrętów i in. Np. w przemyśle elektrotechnicznym stosuje się drzewo bakelizowane do wyrobu izolatorów, bowiem pod względem zdolności izolacyjnych nie ustępuje ono porcelanie, natomiast nie jest kruche, a, przede wszystkim, jest tańsze. W przemyśle maszynowym stosuje się z powodzeniem uzębienia z drzewa bakelizowanego w przekładniach zębatych turbin wodnych. W przemyśle chemicznym znajduje drzewo bakelizowane zastosowanie do wyrobu kadzi. (T e c h n. M o d. t. 21 (1929), zes. 1, str. 21).

¹⁾ O żywicach syntetycznych i bakelicie p. art. d-ra J. H. Frydlera. Przegl. Techn. t. 54 (1926) str. 480.

ODLEWNICTWO.

Teoria pęcznienia żeliwa przy wielokrotnym ogrzewaniu.

Znany jest oddawna fakt, że przedmioty odlewane z żeliwa i poddawane wielokrotnym ogrzewaniom zwiększają swą objętość. Równocześnie wzrasta kruchość materiału.

Przyczyną tych zmian mogą być trzy czynniki: 1) rozkład cementytu na ferryt i węgiel żarzenia, t. zn. grafit, a częściowo — o ile proces żarzenia odbywa się w atmosferze utleniającej — utlenianie krzemu, manganu i żelaza, zachodzące wewnątrz żeliwa kosztem tlenu dyfundującego; 2) naturalne rozszerzanie się i kurczenie, zachodzące w czasie ogrzewania i chłodzenia¹⁾; 3) odkształcenia, zachodzące wskutek przemiany allotropowej.

C. Benedicks i H. Löfquist, rozważając reakcję $Fe_3C \rightarrow 3Fe + \text{grafit}$, wychodzą z następujących stałych:

	Ciężar drobinowy	Gęstość	Objętość właściwa
Fe_3C	179,5	2,25	0,4440
3Fe	$3 \times 55,84 = 167,5$	7,87	0,1270
Grafit	12,0	7,673	0,1304

Zwiększenie objętości gramocząsteczki, równej $179 \times 0,1304 = 23,41 \text{ cm}^3$, wynosi wskutek powyższej reakcji $167,5 \times 0,127 + 12,0 \times 0,444 - 179,5 \times 0,1304 = 3,19 \text{ cm}^3$.

Zwiększenie więc objętości w czasie rozkładu cementu Fe_3C wynosi $\frac{3,19 \times 100}{23,41} = 13,63\%$. Zatem przejście 1% węgla chemicznie związanego do stanu swobodnego, t. zn. rozpad cementytu na żelazo + grafit, powoduje zwiększenie objętości o $\frac{13,63 \times 179,5}{12 \times 100} = 2,04\%$, co zostało potwierdzone przez Kituta w latach 1922, 1926.

Jednak może najciekawszym wynikiem tych doświadczeń Kituty jest stwierdzenie faktu, że wskutek powtarzających się ogrzewań otrzymuje żeliwo coraz nowe odkształcenia trwałe, które powodują zjawiska dalszego pęcznienia. W wypadkach, kiedy żarzenie żeliwa odbywa się w atmosferze utleniającej, zachodzi coraz dalszy wzrost objętości (a jednocześnie — zwiększenie wagi) wyrobów żeliwnych, a to wskutek utleniania rozpuszczonych w niem: krzemu, węgla, manganu i t. p. domieszek, do których tlen dociera przez szczeliny (nadpęknięcia).

Ograniczenie zjawisk pęcznienia surówki białej można osiągnąć przez zmniejszenie zawartości węgla, krzemu i manganu, a również przez dodatek glinu (od 3 do 4%). Na surówkę szare taką wpływ wywiera również zmniejszenie zawartości węgla, a obok tego — dodawanie pewnych ilości tytanu oraz tych domieszek, które podnoszą punkt przemiany allotropowej (naprz. krzemu), ponieważ zwiększenie objętości praktycznie nie zachodzi dopóki nie zostanie osiągnięta temperatura przemiany allotropowej. W celu zapobieżenia nadmiernemu utlenieniu żeliwa szarego, bogatego w krzem, należy poddawać wyroby z niego kalozacji, t. zn. cementowaniu glinem (Journ. Iron and Steel Inst. 1927, I, 603—645).

F. Cz.

¹⁾ J. H. Whiteley (1918) i J. E. Keller dowiedli, że cylinder metalowy, w czasie powtarzających się ogrzewań związanych z następnym hartowaniem, przybiera postać sferyczną. W czasie kolejnych operacji ogrzewania i hartowania, zachodzą zmiany ciężaru właściwego, a również działają pewne wpływy hydrostatyczne cieczy hartowniczej, powodujące zwiększenie wymiarów wzdłuż średnicy cylindra i zmniejszenie długości tegoż.