

PRZEGLĄD TECHNICZNY

TYGODNIK POŚWIĘCONY SPRAWOM TECHNIKI I PRZEMYSŁU.

Tom LIV.

Warszawa, dnia 26 stycznia 1916.

Nr 3 i 4.

TREŚĆ: *Witoszyński C.* Podstawy teorii hydrodynamicznej turbin, wentylatorów i pomp odśrodkowych [c. d.]. — *Trojanowski A.* Wyrób waty opatrunkowej [c. d.]. — *Mierzejewski H.* Postępy w dziedzinie obróbki kół zębatach. — Z towarzystw technicznych.

Elektrotechnika. *Potemski E.* Współczesne oświetlenie elektryczne ulic i placów. — Drobne wiadomości.

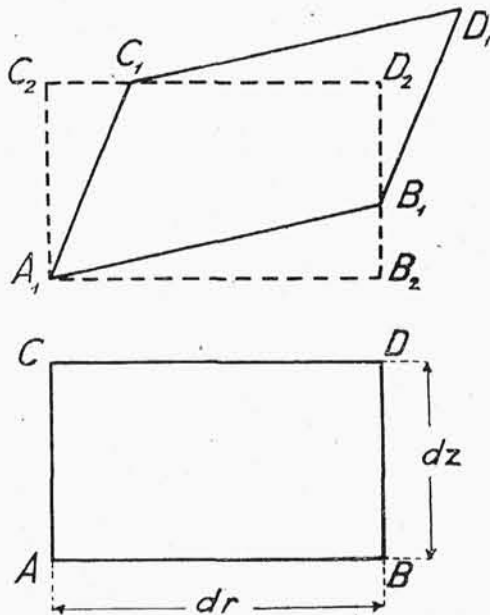
Z 19-ma rysunkami w tekście.

Podstawy teorii hydrodynamicznej turbin, wentylatorów i pomp odśrodkowych.

Podał inż. Czesław Witoszyński.

(Ciąg dalszy do str. 7 w Nr 1 i 2 r. b.)

§ 5. Ruch wirowy i ruch niewirowy cieczy nieściśliwej.
Określmy ω_θ , ω_r , ω_z składowe prędkości wirowania elementu cieczy około trzech osi wzajemnie do siebie prostopadłych, przez ten element przechodzących. ω_θ będzie prędkością wirowania około osi prostopadłej do promienia wodzącego i do płaszczyzny przez ten promień i przez oś z przechodzącej; ω_r — prędkość wirowania około promienia wodzącego i ω_z — prędkość wirowania około osi równoległej do osi z . ω_θ obliczymy sposobem następującym: niech bę-



Rys. 2.

dzie $ABCD$ (rys. 2) przecięcie elementu cieczy rozważanego na rys. 1 płaszczyzną przechodzącą przez oś z . Punkty $ABCD$ będą stanowiły wierzchołki prostokąta o wymiarach boków dr i dz . Przy obliczeniu ω_θ możemy przyjąć $w_\theta = 0$, gdyż ta składowa prędkości oczywiście nie wpływa na prędkość wirowania ω_θ . Po upływie czasu dt punkty $ABCD$ zajmą odpowiednio położenia $A_1 B_1 C_1 D_1$. Narysujmy również prostokąt $A_1 B_1 C_1 D_1$ tak, iżby $C_1 D_1$ przechodziło przez C_1 , zaś $B_1 D_1$ — przez B_1 , i boki $A_1 B_1$, $A_1 C_1$, $C_1 D_1$, $B_1 D_1$ były równoległe do AB , AC , CD , BD .

W wypadku ogólnym przy $\omega_\theta > 0$ element cieczy uległ po upływie czasu dt obrotowi o pewien średni nieskończony mały kąt $d\alpha_\theta$, którego wartość jest następująca:

$$d\alpha_\theta = \frac{1}{2} (C_2 A_1 C_1 - B_2 A_1 B_1) = \frac{1}{2} \left(\frac{C_1 C_2}{A_1 C_2} - \frac{B_1 B_2}{A_1 B_2} \right) \quad (1)$$

Ponieważ $C_1 C_2 = \frac{\partial w_r}{\partial z} dz dt$; $B_1 B_2 = \frac{\partial w_z}{\partial r} dr dt$;

$$A_1 C_2 = dz; \quad A_1 B_2 = dr \quad (2)$$

otrzymamy $d\alpha_\theta = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w_r}{\partial z} - \frac{\partial w_z}{\partial r} \right) dt$,

skąd prędkość wirowania

$$\omega_\theta = \frac{d\alpha_\theta}{dt} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w_r}{\partial z} - \frac{\partial w_z}{\partial r} \right)$$

Obliczając podobnym sposobem składowe ω_r , ω_z , otrzymamy:

$$\left. \begin{aligned} \omega_\theta &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w_r}{\partial z} - \frac{\partial w_z}{\partial r} \right) \\ \omega_r &= \frac{1}{2r} \left[-\frac{\partial(rw_\theta)}{\partial z} + \frac{\partial w_z}{\partial \theta} \right] \\ \omega_z &= \frac{1}{2r} \left[\frac{\partial(rw_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial w_r}{\partial \theta} \right] \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Jeżeli nie wszystkie składowe ω_θ , ω_r , ω_z są zerami, ruch będziemy nazywali *wirowym*, jeżeli zaś $\omega_\theta = \omega_r = \omega_z = 0$, natenczas ruch cieczy będzie *niewirowy*. Równania powyższe stosuje się jednakowo do ruchu względnego jako też i bezwzględnego. Jeżeli teraz zrózniczkujemy pierwsze równanie względem θ , drugie pomnożymy przez r i zrózniczkujemy względem r , trzecie pomnożymy przez r i zrózniczkujemy względem z , a potem dodamy wyniki, to otrzymamy

$$\frac{\partial \omega_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial(r\omega_r)}{\partial r} + \frac{\partial(r\omega_z)}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

Widzimy z tego, iż prędkości składowe wirowania za dość czynić muszą równaniu podobnemu do równania ciągłości cieczy.

§ 6. Zachowanie ruchu wirowego. Twierdzenie Helmholtza. Przekształcimy równania ruchu względnego (2) § 2 tak, aby w nich wyraźnie występowały prędkości wirowania.

Pierwsze z pomienionych równań można napisać:

$$\frac{\partial w_\theta}{\partial \theta} w_\theta + \left[\frac{\partial(rw_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial w_r}{\partial \theta} + \frac{\partial w_r}{\partial \theta} \right] w_r + \left[\frac{\partial(rw_\theta)}{\partial z} - \frac{\partial w_z}{\partial \theta} + \frac{\partial w_z}{\partial \theta} \right] w_z + 2\omega_r w_r = -\frac{g}{\Delta} \frac{\partial p}{\partial \theta}$$

Na podstawie równań (3) § 5 mamy:

$$\frac{\partial w_\theta}{\partial \theta} w_\theta + \left[2\omega_z r + 2\omega_r + \frac{\partial w_r}{\partial \theta} \right] w_r - \left[2\omega_r r - \frac{\partial w_z}{\partial \theta} \right] w_z = -\frac{g}{\Delta} \frac{\partial p}{\partial \theta}$$

$$2(\omega_z + \omega) r w_r - 2\omega_r r w_z + w_\theta \frac{\partial w_\theta}{\partial \theta} + w_r \frac{\partial w_r}{\partial \theta} + w_z \frac{\partial w_z}{\partial \theta} = -\frac{g}{\Delta} \frac{\partial p}{\partial \theta}$$

Przyjmując pod uwagę równanie (1) § 4, otrzymamy:

$$2(\omega_z + \omega) r w_r - 2\omega_r r w_z + \frac{1}{2} \frac{\partial(w^2)}{\partial \theta} = -\frac{g}{\Delta} \frac{\partial p}{\partial \theta}$$

Przekształcając podobnie dwa pozostałe równania, otrzymamy równania ruchu względnego w nowej postaci:

$$\left. \begin{aligned} 2(\omega_z + \omega) r w_r - 2\omega_r r w_z + \frac{1}{2} \frac{\partial(w^2)}{\partial \theta} &= -\frac{g}{\Delta} \frac{\partial p}{\partial \theta} \\ 2\omega_\theta w_z - 2(\omega_z + \omega) w_\theta + \frac{\partial(w^2)}{\partial r} - \omega^2 r &= -\frac{g}{\Delta} \frac{\partial p}{\partial r} \\ 2\omega_r w_\theta - 2\omega_\theta w_r + \frac{1}{2} \frac{\partial(w^2)}{\partial z} &= -\frac{g}{\Delta} \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Jeżeli zrózniczkujemy pierwszą część pierwszego z powyższych równań względem r , zaś pierwszą część drugiego względem θ , to otrzymamy jednakowe wyniki, możemy przeto napisać:

$$\begin{aligned} r w_r \frac{\partial}{\partial r} (\omega_z + \omega) + (\omega_z + \omega) \frac{\partial(rw_r)}{\partial r} - w_z \frac{\partial(r\omega_r)}{\partial r} - r \omega_r \frac{\partial w_z}{\partial r} &= \\ = w_z \frac{\partial \omega_\theta}{\partial \theta} + \omega_\theta \frac{\partial w_z}{\partial \theta} - w_\theta \frac{\partial(\omega_z + \omega)}{\partial \theta} - (\omega_z + \omega) \frac{\partial w_\theta}{\partial \theta} \end{aligned}$$

Dalej grupując i mając na uwadze, iż prędkość kąto-
wa wirnika ω jest wielkością stałą, otrzymamy:

$$w_{\theta} \frac{\partial \omega_z}{\partial \theta} + r w_r \frac{\partial \omega_z}{\partial r} - w_z \left[\frac{\partial (r \omega_r)}{\partial r} + \frac{\partial w_{\theta}}{\partial \theta} \right] =$$

$$= - (\omega_z + \omega) \left[\frac{\partial (r w_r)}{\partial r} + \frac{\partial w_{\theta}}{\partial \theta} \right] + r \omega_r \frac{\partial w_z}{\partial r} + w_{\theta} \frac{\partial w_z}{\partial \theta}.$$

Uwzględniając równanie ciągłości (1) § 3, oraz równa-
nie (4) § 5, otrzymamy:

$$w_{\theta} \frac{\partial \omega_z}{\partial \theta} + r w_r \frac{\partial \omega_z}{\partial r} + r w_z \frac{\partial \omega_z}{\partial z} = w_{\theta} \frac{\partial w_z}{\partial \theta} + r \omega_r \frac{\partial w_z}{\partial r} + r (\omega_z + \omega) \frac{\partial w_z}{\partial z}.$$

Pierwsza część otrzymanego równania jest iloczynem
pochodnej zupełnej prędkości wirowania ω_z względem czasu
przez r , otrzymamy przeto:

$$\frac{d\omega_z}{dt} = w_{\theta} \frac{\partial w_z}{r \partial \theta} + \omega_r \frac{\partial w_z}{\partial r} + (\omega_z + \omega) \frac{\partial w_z}{\partial z}.$$

Postępując podobnie, obliczyć możemy z równań (1)
§ niniejszego pochodne zupełne względem czasu dwóch po-
zostałych prędkości wirowania, tak iż, pamiętając, że ω jest
wielkością stałą, otrzymamy razem trzy następujące rów-
nania:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\omega_{\theta}}{dt} &= w_{\theta} \frac{\partial w_{\theta}}{r \partial \theta} + \omega_r \frac{\partial w_{\theta}}{\partial r} + (\omega_z + \omega) \frac{\partial w_{\theta}}{\partial z} + \frac{w_{\theta} w_r}{r} - \frac{\omega_r w_{\theta}}{r} \\ \frac{d\omega_r}{dt} &= w_{\theta} \frac{\partial w_r}{r \partial \theta} + \omega_r \frac{\partial w_r}{\partial r} + (\omega_z + \omega) \frac{\partial w_r}{\partial z} \\ \frac{d(\omega_z + \omega)}{dt} &= w_{\theta} \frac{\partial w_z}{r \partial \theta} + \omega_r \frac{\partial w_z}{\partial r} + (\omega_z + \omega) \frac{\partial w_z}{\partial z} \end{aligned} \right\} (2).$$

Dla ruchu bezwzględnego, zakładając $\omega = 0$, otrzy-
mamy następujące wyrażenia pochodnych zupełnych prę-
dkości składowych wirowania względem czasu:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\omega_{\theta}}{dt} &= w_{\theta} \frac{\partial u_{\theta}}{r \partial \theta} + \omega_r \frac{\partial u_{\theta}}{\partial r} + \omega_z \frac{\partial u_{\theta}}{\partial z} + \frac{w_{\theta} u_r}{r} - \frac{\omega_r u_{\theta}}{r} \\ \frac{d\omega_r}{dt} &= w_{\theta} \frac{\partial u_r}{r \partial \theta} + \omega_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \omega_z \frac{\partial u_r}{\partial z} \\ \frac{d\omega_z}{dt} &= w_{\theta} \frac{\partial u_z}{r \partial \theta} + \omega_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \omega_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \end{aligned} \right\} \dots (3).$$

Ponieważ wyrażenia te są funkcjami liniowymi jedno-
rodnymi prędkości wirowania, możemy zatem powiedzieć,
co następuje: jeżeli ω_{θ} , ω_r , ω_z są zerami w pewnym momen-
cie dla danego elementu cieczy, to będą one również zerami
dla tegoż elementu po upływie czasu dt , czyli element cie-
czy, który ruchu wirowego nie posiada, nigdy go nie
nabędzie, jeżeli oczywiście na ciecz żadne siły oprócz ciśnie-
nia nie działają. Twierdzenie to, jak łatwo zauważyć, za-
chowuje swoją moc i w tym wypadku, kiedy na ciecz dzia-
lają siły, mające potencjał.

Jednocześnie z równań powyższych wynika, iż przy
zachowaniu omówionych warunków, element cieczy, który
posiada ruch wirowy, nigdy go nie straci.

W zastosowaniu do turbiny, pompy odśrodkowej lub
wentylatora powiedzieć możemy, iż przed wejściem na łopat-
ki wirnika ruch cieczy jest niewirowy, gdyż wywołany zo-
staje tylko przez różnicę ciśnień. Ruch ten, o ile mowa jest
o ruchu bezwzględnym, pozostaje również niewirowym pod-
czas przepływu cieczy między łopatkami wirnika i dalej po
wyjściu z niego. Natomiast ruch cieczy względem wir-
nika będzie ruchem wirowym takim, iż

$$\omega_{\theta} = 0; \quad \omega_r = 0; \quad \omega_z = -\omega. \dots (4).$$

Łatwo wywnioskować o tem z równań (2) § niniejsze-
go, gdyż równania te tylko tem się różnią od równań (3), iż
występuje w nich wszędzie $\omega_z + \omega$ zamiast ω . Innemi sło-
wy, jednakowo wnioskować możemy o wielkościach ω_{θ} , ω_r , ω_z
w ruchu bezwzględnym, jak o wielkościach ω_{θ} , ω_r , $\omega_z + \omega$
w ruchu względnym.

Jeżeli przepisujemy teraz równania (1) § niniejszego
przy uwzględnieniu równań (4), otrzymamy:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{2} \frac{\partial (w^2)}{\partial \theta} &= -\frac{g}{\Delta} \frac{\partial p}{\partial \theta} \\ \frac{1}{2} \frac{\partial (w^2)}{\partial r} - \omega^2 r &= -\frac{g}{\Delta} \frac{\partial p}{\partial r} \\ \frac{1}{2} \frac{\partial (w^2)}{\partial z} &= -\frac{g}{\Delta} \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \dots (5).$$

Równania te mają postać bardzo prostą, podatną
do zastosowań. Widać z nich bezpośrednio, iż ciśnienie za-
leży tylko od kwadratu prędkości względnej, oraz od kwa-
dratu prędkości uniesienia. Widocznym też jest, iż z rów-
nań powyższych może być wyprowadzona całka, stanowią-
ca równanie Bernoulliego [równ. (2) § 4].

§ 7. Potencjał prędkości. Dla uniknięcia niejasności,
zaznaczam wyraźnie, iż w dalszym ciągu, o ile nie będzie
inaczej wyraźnie zaznaczone, będziemy mieli do czynienia
z ruchem bezwzględnym niewirowym lub też z ruchem
względny wirowym, przy którym według § 6: $\omega_{\theta} = 0$;
 $\omega_r = 0$; $\omega_z = -\omega$.

Jeżeli ruch bezwzględny jest niewirowy, to okolicz-
ność ta, jak to widać z równań (3) § 5, spełnia warunek, iżby
pierwsza część równania poniższego była całką zupełną.

$$u_{\theta} r d\theta + u_r dr + u_z dz = 0 \dots (1).$$

$$\text{gdź} \quad \frac{\partial (r u_{\theta})}{\partial r} - \frac{\partial u_r}{\partial \theta} = 0; \quad \frac{\partial (r u_{\theta})}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial \theta} = 0; \quad \frac{\partial u_r}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial r} = 0.$$

W tym wypadku całką równania (1) będzie:

$$\Phi(\theta, r, z) = \text{const} \dots (2),$$

$$\text{gdzie} \quad u_{\theta} = \frac{\partial \Phi}{r \partial \theta}; \quad u_r = \frac{\partial \Phi}{\partial r}; \quad u_z = \frac{\partial \Phi}{\partial z} \dots (3).$$

Funkcja Φ nazywa się *potencjałem prędkości*, zaś
równanie $\Phi = \text{const}$ jest równaniem powierzchni potencyo-
nalnej. Znając potencjał Φ , możemy według (3) określić
składowe prędkości, zaś według (5) § poprzedniego ciśnie-
nie w każdym punkcie cieczy.

Jasnym jest, iż jeżeli s jest normalną zewnętrzną do
powierzchni potencjonalnej, to

$$u = \sqrt{u_{\theta}^2 + u_r^2 + u_z^2} = \frac{\partial \Phi}{\partial s} \dots (4).$$

Jasnym jest również, iż prędkość w kierunku stycznej
do powierzchni potencjonalnej jest zerem.

Różne znaczenia stałej w równaniu (2) odpowiadają
różnym powierzchniom potencjonalnym. Prędkość skiero-
wana jest od powierzchni mniejszego ku powierzchni więk-
szego potencjału. Jeżeli będziemy rozpatrywali dwie są-
siednie powierzchnie potencjalne, to w miejscach, gdzie te
powierzchnie położone są bliżej siebie, prędkość cieczy jest
większa, natomiast w miejscach, gdzie są one więcej odda-
lone, prędkość jest mniejsza.

Potencjał prędkości również stosować się daje przy
rozważaniu ruchu cieczy względem wirnika. W tym wy-
padku równania (3) § niniejszego należy zmienić na nastę-
pujące:

$$w_{\theta} = \frac{\partial \Phi}{r \partial \theta} - \omega r; \quad w_r = \frac{\partial \Phi}{\partial r}; \quad w_z = \frac{\partial \Phi}{\partial z} \dots (5).$$

Podstawiając znaczenia w_{θ} , w_r , w_z w równanie (2) § 5
przekonamy się, iż warunki (4) § 6, wynikające z twierdze-
nia Helmholtza, dotyczące ruchu względnego, są spełnione.

Równanie różniczkowe dla określenia funkcji Φ otrzy-
mamy, podstawiając wyrażenia (3) lub (5) § niniejszego
w równanie ciągłości (1) § 3; otrzymamy:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \Phi}{r^2 \partial \theta^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} &= 0 \\ \text{albo} \quad \frac{\partial^2 \Phi}{r^2 \partial \theta^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots (6).$$

Każde z równań powyższych jest równaniem różnic-
kowym drugiego rzędu o pochodnych cząstkowych, którego
całka ogólna nie da się wyrazić w skończonej postaci. Nato-
miast łatwo jest odnaleźć cały szereg całek szczególnych, któ-
remi będziemy się posługiwali przy zastosowaniach. Wszelka
funkcja, stanowiąca całkę równania (6), może odpowiadać
pewnemu ruchowi cieczy, z warunkiem, aby ciśnienie p ,
określone z równań ruchu, nie wypadło ujemne i aby ruch
cieczy odpowiadał warunkom początkowym i końcowym.

§ 8. Linie i powierzchnie prądu cieczy. Jeżeli ruch
cieczy jest trwały, to równanie różniczkowe linii prądu albo
strugi cieczy czyli toru danej cząstki cieczy, posiadającej
prędkości składowe w_{θ} , w_r , w_z , będzie

$$\frac{r d\theta}{w_{\theta}} = \frac{dr}{w_r} = \frac{dz}{w_z} \dots (1).$$

Ogólnie powiedzieć można, iż równania powyższe zawsze zcałkować możemy, o ile przedtem określimy składowe prędkości w_θ, w_r, w_z w funkcjach współrzędnych ϑ, r, z ; to znów będzie możliwe, o ile znamy potencjał prędkości Φ . W tym wypadku na podstawie (5) § 7 równania linii prądu przy ruchu względnym otrzymają postać:

$$\frac{rd\vartheta}{r^2\partial\vartheta} = \frac{dr}{\partial r} = \frac{dz}{\partial z} \quad (2).$$

Powierzchnią prądu będziemy nazywali wszelką, znajdującą się wewnątrz cieczy, powierzchnię, której nie przecina żadna linia prądu. Rzeczą jest oczywistą, iż przez daną linię prądu możemy przeprowadzić nieskończoną ilość powierzchni prądu. Niech równanie powierzchni prądu będzie:

$$\varphi(\vartheta, r, z) = \text{const.} \quad (3).$$

Warunkiem, aby równanie (3) było powierzchnią prądu, t. j. aby cząstka cieczy podczas ruchu na tej powierzchni pozostawała, będzie:

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta} w_\theta + \frac{\partial\varphi}{\partial r} w_r + \frac{\partial\varphi}{\partial z} w_z = 0 \quad (4).$$

albo wyrażając w_θ, w_r, w_z w zależności od Φ :

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta} \left[\frac{\partial\Phi}{r^2\partial\vartheta} - \omega \right] + \frac{\partial\varphi}{\partial r} \frac{\partial\Phi}{\partial r} + \frac{\partial\varphi}{\partial z} \frac{\partial\Phi}{\partial z} = 0 \quad (5).$$

Równania (4) i (5) są różnymi postaciami równania różniczkowego powierzchni prądu. W zastosowaniach będziemy się posilkowali całkami szczególnymi tego równania różniczkowego pierwszego rzędu o pochodnych cząstkowych.

§ 9. Ruch równoległy do płaszczyzny. W tym wypadku ograniczyć się możemy rozważaniem ruchu na płaszczyźnie:

$$z = \text{const.}; \quad w_z = 0.$$

Równanie ruchu (5) § 6 i równanie różniczkowe potencjału prędkości (6) § 7 otrzymują postać:

$$\frac{1}{2} \frac{\partial(w^2)}{\partial\vartheta} = -\frac{g}{\Delta} \frac{\partial p}{\partial\vartheta}; \quad \frac{1}{2} \frac{\partial(w^2)}{\partial r} - \omega^2 r = -\frac{g}{\Delta} \frac{\partial p}{\partial r} \quad (1);$$

$$\frac{\partial^2\Phi}{r^2\partial\vartheta^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial\Phi}{\partial r} = 0 \quad (2);$$

zaś równanie ciągłości (1) § 3 i równanie linii prądu (1) § 8 można napisać:

$$\frac{\partial w_\theta}{\partial\vartheta} + \frac{\partial(rw_r)}{\partial r} = 0 \quad (3); \quad \frac{rd\vartheta}{w_\theta} = \frac{dr}{w_r} \quad (4).$$

Dalej, jeżeli przepiszemy równanie (4) w postaci:

$$r w_r d\vartheta - w_\theta dr = 0 \quad (5);$$

to zauważymy łatwo, iż na zasadzie równania (3) spełniony jest warunek, iżby pierwsza część równania (5) była różniczką zupełną pewnej funkcji ϑ i r , którą oznaczymy przez $\Psi(\vartheta, r)$. Będziemy mieli przeto w tym wypadku całkę równania różniczkowego linii prądu (4) lub (5) pod postacią:

$$\Psi(\vartheta, r) = \text{const.} \quad (6).$$

Funkcja Ψ nazywa się *potencjałem prądu*. Różne znaczenia stałej odpowiadają różnym liniom prądu. Widać z równania (5), iż między Ψ i składowymi prędkościami w_θ, w_r istnieje zależność:

$$w_r = \frac{\partial\Psi}{r\partial\vartheta}; \quad w_\theta = -\frac{\partial\Psi}{\partial r} \quad (7);$$

możemy przeto określać prędkości składowe na zasadzie potencjału prędkości Φ , lub też z potencjału prądu Ψ .

Ponieważ mamy do czynienia z ruchem względnym, przeto według (4) § 6 $w_\theta = -\omega$, czyli na podstawie (3) § 5 będzie:

$$\frac{\partial(rw_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial w_r}{\partial\vartheta} = -2\omega r.$$

Podstawiając w to równanie znaczenia w_θ i w_r (7), otrzymamy:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(-r \frac{\partial\Psi}{\partial r} \right) - \frac{\partial^2\Psi}{r^2\partial\vartheta^2} = -2\omega r;$$

albo
$$\frac{\partial^2\Psi}{r^2\partial\vartheta^2} + \frac{\partial^2\Psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial\Psi}{\partial r} = 2\omega \quad (8).$$

Jestto równanie różniczkowe potencjału prądu Ψ przy ruchu względnym. Równanie dla ruchu bezwzględnego otrzymamy, zakładając $\omega = 0$:

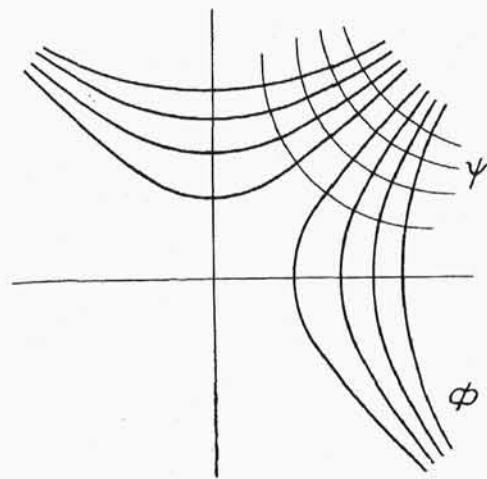
$$\frac{\partial^2\Psi}{r^2\partial\vartheta^2} + \frac{\partial^2\Psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial\Psi}{\partial r} = 0 \quad (9).$$

W tym ostatnim wypadku, jak widzimy z równań (2) i (9) § niniejszego, mamy dla określenia Φ i Ψ równania identyczne. Linie potencjalne $\Phi = \text{const.}$ i linie prądu $\Psi = \text{const.}$ przecinają się pod kątem prostym (patrz § 7). Wyobrazić sobie zawsze można ruch zwany sprzężonym, przy którym $\Psi = \text{const.}$ będzie równaniem linii potencjalnych, zaś $\Phi = \text{const.}$ równaniem linii prądu.

Widzimy dalej, iż równaniu (2), jako też równ. (9) czyni zadość rozwiązanie $f(re^{i\vartheta}) = \text{const.}$, gdzie f jest funkcją dowolną, e —zasada log. nat., $i = \sqrt{-1}$. Jeżeli oddzielimy część rzeczywistą od urojonej, otrzymamy $f(re^{i\vartheta}) = \Phi + i\Psi$, lub też $f(re^{i\vartheta}) = \Psi + i\Phi$. Oczywistą jest rzeczą, że Φ i Ψ , otrzymane tym sposobem, zadość czynić muszą równaniom (2) i (9). Wybierając dowolnie funkcję f , otrzymamy zawsze 2 ruchy sprzężone.

Przykład. $f(re^{i\vartheta}) = (re^{i\vartheta})^n = r^n \cos n\vartheta + i r^n \sin n\vartheta$;
 $\Phi = r^n \cos n\vartheta$; $\Psi = r^n \sin n\vartheta$.

Na rys. 3 wykreślone są linie potencjalne grube $\Phi = \text{const.}$, oraz linie prądu cienkie $\Psi = \text{const.}$; przy $n = 2$.



Rys. 3.

Zwróćmy uwagę na jedną jeszcze własność potencjału prądu Ψ . Niech będzie s łuk krzywej $\Psi = \text{const.}$, oraz n łuk krzywej $\Phi = \text{const.}$, prosta styczna do s będzie normalna do n i odwrotnie. Według (4) § 7 będziemy mieli:

$$w = \sqrt{w_\theta^2 + w_r^2} = \frac{\partial\Phi}{\partial s} = -\frac{\partial\Psi}{\partial n} \quad (10).$$

Objętość cieczy Q , przepływająca w ciągu sekundy pomiędzy liniami prądu $\Psi = \Psi_1$ i $\Psi = \Psi_2$, przy grubości warstwy cieczy równej jedności będzie:

$$Q = \int_{\Psi=\Psi_2}^{\Psi=\Psi_1} w dn = - \int_{\Psi=\Psi_2}^{\Psi=\Psi_1} \frac{\partial\Psi}{\partial n} dn = \Psi_2 - \Psi_1 \quad (11).$$

§ 10. Ruch cieczy, symetryczny względem osi z, będzie miał miejsce, jeżeli w_θ, w_r, w_z , jak również potencjał prędkości Φ nie zależą od ϑ , lecz tylko od r i z . Wtedy równanie różniczkowe potencjału prędkości (6) § 7 i równanie ciągłości (1) § 3 przyjmą postać:

$$\frac{\partial^2\Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial\Phi}{\partial r} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2} = 0 \quad (1); \quad \frac{\partial(rw_r)}{\partial r} + \frac{\partial(rw_z)}{\partial z} = 0 \quad (2).$$

Równanie linii prądu (1) § 8 zachowa swą postać, zaś (3) $\frac{dr}{w_r} = \frac{dz}{w_z}$ będzie równaniem powierzchni obrotowych, na których leżą linie prądu. Jeżeli napiszemy to równanie w postaci:

$$r w_r dz - r w_z dr = 0 \quad (4),$$

to na podstawie (2) dojdziemy do wniosku, iż pierwsza część równania (4) jest różniczką zupełną. Otrzymamy przeto całkę równania (3) lub (4), w postaci:

$$\Psi(r, z) = \text{const.} \quad (5),$$

gdzie funkcja Ψ jest *potencjałem prądu*, zaś równanie (5) jest równaniem powierzchni obrotowych, na których leżą linie prądu. Na podstawie równania (4) pomiędzy Ψ i składowymi prędkości w_r, w_z otrzymamy związki:

$$w_r = \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial z}; \quad w_z = -\frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial r} \quad (6).$$

Równanie różniczkowe dla określenia funkcji Ψ otrzymamy, uwzględniając według (3) § 5 i (4) § 6, iż składowa prędkości wirowania ω_θ jest zerem, t. j.:

$$\omega_\theta = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w_r}{\partial z} - \frac{\partial w_z}{\partial r} \right) = 0.$$

Podstawiając zamiast w_r, w_z ich znaczenia w zależności od Ψ (6), otrzymamy:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial r} \right) = 0;$$

albo

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial r^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} = 0 \quad (7).$$

W tym wypadku, jak widzimy, równanie różniczkowe (1) dla określenia Φ różni się od równania (7) dla określenia Ψ .

Rozważmy dalej dwa systemy linii krzywych, otrzymanych od przecięcia powierzchni obrotowych $\Phi = \text{const.}$ i $\Psi = \text{const.}$ płaszczyzną, przechodzącą przez oś z . Linie obu systemów będą się wzajemnie przecinały pod kątem prostym. Niech będzie s łuk krzywej $\Psi = \text{const.}$, zaś n łuk krzywej $\Phi = \text{const.}$ Oznaczmy przez α kąt, który tworzy z osią r styczna w punkcie dowolnym do łuku s , czyli normalna do linii $\Phi = \text{const.}$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial s} = \frac{\partial \Phi}{\partial r} \frac{dr}{ds} + \frac{\partial \Phi}{\partial z} \frac{dz}{ds} = \frac{\partial \Phi}{\partial r} \cos \alpha + \frac{\partial \Phi}{\partial z} \sin \alpha = w_r \cos \alpha + w_z \sin \alpha$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial n} = \frac{\partial \Psi}{\partial r} \frac{dr}{dn} + \frac{\partial \Psi}{\partial z} \frac{dz}{dn} = \frac{\partial \Psi}{\partial r} \sin \alpha - \frac{\partial \Psi}{\partial z} \cos \alpha = -r w_s \sin \alpha - r w_z \cos \alpha.$$

Z powyższego widocznym jest, iż

$$\frac{\partial \Phi}{\partial s} = -\frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial n} = w_s = \sqrt{w_r^2 + w_z^2} \quad (8),$$

gdzie w_s oznacza składową prędkości, zawartą w płaszczyźnie, przechodzącej przez oś z , i styczną do łuku s .

Podobnie, jak to ma miejsce dla ruchu równoległego do płaszczyzny, potencjał prądu Ψ stoi w ścisłym związku z objętością cieczy Q , przepływającą na sekundę pomiędzy dwiema powierzchniami prądu $\Psi = \Psi_1$ i $\Psi = \Psi_2$:

$$Q = \int_{\Psi_2}^{\Psi_1} 2\pi r w_s dn = - \int_{\Psi_2}^{\Psi_1} 2\pi r \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial n} dn = 2\pi (\Psi_2 - \Psi_1) \quad (9).$$

Ciekawą jest zależność pomiędzy promieniem krzywizny ρ krzywej $\Psi = \text{const.}$ na płaszczyźnie, przechodzącej przez oś z , i szybkością w_s cząstki cieczy. Jak wiadomo

$$\rho = \frac{\left[1 + \left(\frac{dz}{dr} \right)^2 \right]^{3/2}}{d^2 z / dr^2}.$$

Jeżeli przyjmiemy pod uwagę, iż

$$\frac{dz}{dr} = \frac{w_z}{w_r}; \quad \frac{d^2 z}{dr^2} = \frac{d}{dr} \left(\frac{w_z}{w_r} \right);$$

dalej, jeżeli uwzględnimy zależności:

$$w_r = w_s \cos \alpha; \quad w_z = w_s \sin \alpha, \quad \text{oraz} \quad \sin \alpha = \frac{dr}{dn}; \quad \cos \alpha = -\frac{dz}{dn},$$

otrzymamy

$$\frac{\partial w_s}{\partial n} = -\frac{w_s}{\rho} \quad (10).$$

Równanie to dowodzi następującego twierdzenia: Podczas ruchu symetrycznego względem osi z , składowa w_s prędkości cząstki cieczy, zawarta w płaszczyźnie, przechodzącej przez oś z , zmniejsza się w kierunku zwiększającego się promienia krzywizny. Ujemny przyrost tej składowej prędkości na jednostkę długości równa się co do wartości liczbowej prędkości kątowej obrotu cząstki cieczy około środka krzywizny jej toru.

§ 11. Całkowanie równania różniczkowego potencjału prędkości (1) § 10 i potencjału prądu (7) § 10 przy ruchu symetrycznym względem osi z .

Przepiszmy pomienione równania różniczkowe:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \quad (1),$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial r^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} = 0 \quad (2).$$

Łatwo napisać całkę równania (1) w postaci szeregu według rosnących potęg z , zawierającą dwie funkcje dowolne. W tym celu założmy

$$\Phi = \Sigma R_n z^n \quad (3),$$

gdzie R_n jest tymczasem nieokreśloną funkcją samego tylko r . W dalszym ciągu dla skrócenia będziemy oznaczali:

$\frac{dR}{dr}$ przez R' , $\frac{d^2 R}{dr^2}$ przez R'' i t. d.

Różniczkując (3) względem r i względem z dwa razy i wstawiając wyniki w równanie (1), otrzymamy:

$$\Sigma R_n'' z^n + \Sigma \frac{R_n'}{r} z^n + \Sigma R_n n(n-1) z^{n-2} = 0;$$

albo

$$\Sigma R_n'' z^n + \Sigma \frac{R_n'}{r} z^n + \Sigma R_{n+2} (n+1)(n+2) z^n = 0;$$

skąd

$$R_{n+2} = -\frac{R_n'' + \frac{R_n'}{r}}{(n+1)(n+2)};$$

albo

$$R_{n+2} = -\frac{1}{r} \frac{(r R_n)'}{(n+1)(n+2)} \quad (4).$$

Tym sposobem otrzymujemy:

$$\Phi = R_0 + R_2 z^2 + R_4 z^4 + \dots + R_1 z + R_3 z^3 + R_5 z^5 + \dots$$

gdzie R_0 i R_1 są funkcjami dowolnymi samego tylko r , zaś funkcje R_2, R_4 i t. d., oraz R_3, R_5 i t. d. otrzymujemy według (4).

Podobnym sposobem można otrzymać całkę równania (2), również zawierającą dwie funkcje dowolne. Wybierając teraz różne R_0 i R_1 , możemy otrzymać dowolną liczbę całek szczególnych. Rozważmy bliżej wypadek $R_0 = A r^m$; $R_1 = B r^{m-1}$; A, B, m stałe wybrane dowolnie.

W tym wypadku będziemy mieli:

$$\Phi = A \left[r^m - \frac{m^2}{2!} r^{m-2} z^2 + \frac{m^2(m-2)^2}{4!} r^{m-4} z^4 + \dots \right] + B \left[r^{m-1} z - \frac{(m-1)^2}{3!} r^{m-3} z^3 + \frac{(m-1)^2(m-3)^2}{5!} r^{m-5} z^5 + \dots \right] \quad (6),$$

czyli Φ składa się z dwóch szeregów wogóle nieskończonych, ułożonych według rosnących potęg z , zaś malejących potęg r . W wypadku szczególnym, kiedy m jest całkowite parzyste, szereg pierwszy urywa się na wyrazie, zawierającym z^m , kiedy zaś m jest całkowite nieparzyste, szereg drugi urywa się na wyrazie, zawierającym z^m . Jeżeli w tych wypadkach odwrócimy szeregi skończone, czyniąc ostatni wyraz pierwszym i podzielimy przez współczynnik przy z^m , otrzymamy:

$$\Phi_m = z^m - \frac{m(m-1)}{2^2} z^{m-2} r^2 + \frac{m(m-1)(m-2)(m-3)}{2^2 \cdot 4^2} z^{m-4} r^4 - \quad (7),$$

który to wzór, jak to widać bezpośrednio, obejmuje oba wypadki szeregów skończonych.

Jeżeli teraz przyjmiemy pod uwagę zależności:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial r} = w_r = \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial z} \quad \text{i} \quad \frac{\partial \Phi}{\partial z} = w_z = -\frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial r},$$

otrzymamy

$$\Psi_m = -\frac{m z^{m-1} r^2}{2} + \frac{m(m-1)(m-2)}{2^2 \cdot 4} z^{m-3} r^4 - \frac{m(m-1)(m-2)(m-3)(m-4)}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6} z^{m-5} r^6 + \dots \quad (8).$$

Otrzymana całka potencjału prędkości (6) tylko przy m całkowitem, t. j. pod postacią (7), a dla potencjału prądu pod postacią (8) posiada zawsze skończone znaczenia przy skończonych z i r . Dotyczy to również składowych prędkości, otrzymanych z potencjału prędkości lub potencjału prądu. Stąd wynika, iż pomienione całki tylko pod postaciami (7) i (8) stosować można bez ograniczeń do celów praktycznych, gdzie oczywiście prędkość musi mieć wartość skończoną.

Że funkcje (6) i (7) posiadają w istocie wyżej wyszcze-

gólnione własności, łatwo okazać, sprowadzając je do funkcji kulistych strefowych. Wyprowadzając za nawias w szeregach drugiej części równania (6) r^m , względnie r^{m-1} , i oznaczając $\frac{z}{r}$ przez x , możemy przedstawić (6) w postaci:

$$\Phi = r^m f(x) \dots \dots \dots (7).$$

Różniczkując i podstawiając wartości pochodnych w równaniu (1), otrzymamy dla f następujące równanie różniczkowe:

$$m^2 f - (2m-1) x f' + (1+x^2) f'' = 0 \dots (8).$$

Łatwo sprawdzić przez różniczkowanie, iż funkcja $f(x)$, otrzymana w postaci szeregu sposobem poprzednio wskazanym, czyni zadość równaniu (8).

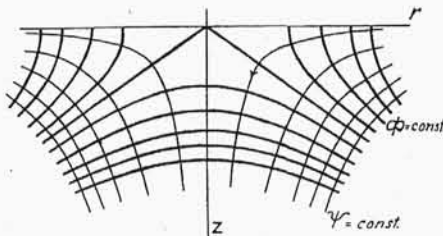
Jeżeli teraz założymy $f = (1+x^2)^{\frac{m}{2}} P_m$, to po uskutecznieniu odpowiednich przeróbek, otrzymamy dla P_m nowe równanie różniczkowe:

$$m(m+1) P_m + x(1+x^2) P'_m + (1+x^2) P''_m = 0.$$

Dalej, zmieniając zmienną niezależną przez podstawienie $\frac{x}{\sqrt{1+x^2}} = u$, otrzymamy równanie:

$$\frac{d}{du} \left[(1-u^2) \frac{dP_m}{du} \right] + m(m+1) P_m = 0 \dots (9),$$

które to równanie jest równaniem różniczkowym funkcji kulistych strefowych. Równanie to posiada, jak wiadomo, całkę, która pozostaje skończoną na całej powierzchni kuli promienia dowolnego, lecz tylko wtedy, kiedy m jest całkowite. W tym wypadku całka powyższa wyraża się przez szereg skończony. Tym sposobem własności całek (7) i (8) zo-



Rys. 4.

stały dowiedzione. Całki powyższe przy różnych m dają różne całki szczególne, rozmaicie otrzymywane przez różnych autorów. Równania (7) i (8) dają możliwość w zasadzie obliczyć prędkość, a więc i ciśnienie w każdym punkcie cieczy, przepływającej przez naczynie, mające postać dowolnej powierzchni obrotowej. Mianowicie, biorąc potencjał prądu

$$\Psi = \sum A_m \Psi_m \dots \dots \dots (10),$$

gdzie A_m —dowolna stała, oraz uważając, iż równanie powyższe przy znaczeniu $\Psi = \Psi_1$, jest równaniem południka powierzchni, przez podstawienie w równaniu (10) współrzędnych m punktów, leżących na południku, otrzymamy m równań dla określenia A_1, A_2, \dots, A_m . Otrzymany tym sposobem potencjał pozwoli nam określić wszelkie właściwości ruchu. Dokładność powyższego rachunku będzie tem większa, im gęściej wybierzemy punkty na południku.

Jeżeli rozpatrywać będziemy całki (7) i (8) przy jednym tylko znaczeniu m , natenczas otrzymamy odpowiedni kształt powierzchni prądu, a więc i kształt naczynia, którego ścianki muszą stanowić jedną z pomienionych powierzchni. Np.

$$m = 2, \quad \Phi = A \left(z^2 - \frac{r^2}{2} \right), \quad \Psi = -zr^2.$$

Linie potencjalne i linie prądu wskazane są na rys. 4.

$$w_r = -A_1 k; \quad w_z = 2Az.$$

Oprócz powyżej określonej grupy całek szczególnych równań (1) i (2), zasługują jeszcze na uwagę całki szczególne pomienionych równań, wyrażające się zapomocą funkcji Bessela.

Założmy, iż całka równania (1) ma postać $\Phi = R e^{\frac{z}{a}}$, gdzie R jest funkcją samego tylko r . Różniczkując oraz podstawiając w równaniu (1), otrzymamy następujące równanie różniczkowe dla określenia R :

$$r^2 R'' + r R' + \frac{r R}{a^2} = 0 \dots \dots (11).$$

Jestto równanie różniczkowe funkcji Bessela o argumentie zero. Jeżeli przyjmiemy za warunek, iżby potencjał prędkości pozostawał skończonym dla skończonych r i z , natenczas całką równania (11) będzie funkcja Bessela pierwszego rodzaju $R = J_0 \left(\frac{r}{a} \right)$,

zaś potencjał prędkości wyrazi się:

$$\Phi = A J_0 \left(\frac{r}{a} \right) e^{\frac{z}{a}} \dots \dots \dots (12).$$

Jeżeli uwzględnimy zależności pomiędzy Φ i Ψ , otrzymamy

$$\Psi = A r J_0' e^{\frac{z}{a}} \dots \dots \dots (13).$$

A w obu wzorach (12) i (13) oznacza stałą dowolną.

Ponieważ funkcje Bessela są dostatecznie znane, nie będę się zatrzymywał nad rozbiorem całek powyższych. Pominę również grupę całek szczególnych, które łatwo otrzymać z powyższych przez podstawienie $a = a_1 i$, gdzie $i = \sqrt{-1}$.

§ 12. Całkowanie równania różniczkowego (6) § 7 w wypadku ogólnym. Ograniczam się dwiema grupami całek szczególnych, analogicznych do otrzymanych w paragrafie poprzednim. Przepiszmy równania różniczkowe, które całkować mamy:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{r^2 \partial \vartheta^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \dots (1),$$

Założmy, iż potencjał Φ ma postać:

$$\Phi = e^{\lambda z} r^m f(x), \quad \text{gdzie } x = \frac{z}{r}; \quad \lambda \text{ i } m \text{ stałe dowolne.}$$

Różniczkując, otrzymujemy:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial \vartheta^2} = \lambda^2 e^{\lambda z} r^m f(x);$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial r} = e^{\lambda z} r^{m-1} (mf - x f');$$

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} = e^{\lambda z} r^{m-2} [m(m-1)f - (2m-2)xf' + x^2 f''];$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = e^{\lambda z} r^{m-1} f'; \quad \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = e^{\lambda z} r^{m-2} f''$$

Po podstawieniu w równaniu (1) oraz uproszczeniu, mamy

$$(\lambda^2 + m^2) f - (2m-1) x f' + (1+x^2) f'' = 0 \dots (2).$$

Całka ogólna równania powyższego wyraża się zapomocą następującego szeregu podwójnego:

$$f = A \left\{ 1 - \frac{m^2 + \lambda^2}{2!} x^2 + \frac{(m^2 + \lambda^2) [(m-2)^2 + \lambda^2]}{4!} x^4 - \frac{(m^2 + \lambda^2) [(m-2)^2 + \lambda^2] [(m-4)^2 + \lambda^2]}{6!} x^6 + \dots \right\} + B \left\{ x - \frac{(m-1) + \lambda^2}{3!} x^3 + \frac{[(m-1)^2 + \lambda^2] [(m-3)^2 + \lambda^2]}{5!} x^5 - \dots \right\} (3)$$

Szeregi zawarte w powyższej całce pozostają zbieżnymi przy x skończonym, natomiast przy $x = \infty$, t. j. przy $r = 0$, ponieważ $x = \frac{z}{r}$, stają się rozbieżnymi, będziemy mieli

przeto prawo stosować całkę powyższą do wszystkich punktów za wyjątkiem punktów, leżących na osi z . Okoliczność ta nie uszczupli ogólności rachunku, gdyż w ciągu dalszym będziemy stosowali całkę powyższą, jako potencjał prędkości, przy przepływie cieczy pomiędzy łopatkami wirnika, które to łopatki nigdy do osi nie dochodzą.

Inną grupę całek szczególnych otrzymamy, zakładając, iż potencjał prędkości Φ posiada postać:

$$\Phi = e^{\lambda z} R e^{\frac{z}{a}} \dots \dots \dots (4),$$

gdzie R jest funkcją samego tylko r . Różniczkując i wstawiając w równanie (1), otrzymamy dla określenia R następujące równanie różniczkowe:

$$r^2 R'' + r R' + \left(\lambda^2 + \frac{r^2}{a^2} \right) R = 0 \dots \dots (5).$$

Jestto równanie liniowe 2-go rzędu, podobne do równania różniczkowego funkcji Bessela o argumentie λ , z tą różnicą, iż mamy w niem $+\lambda^2$, gdy tymczasem w równanie różniczkowe funkcji Bessela wchodzi $-\lambda^2$.

Całka ogólna równania (5) może być przedstawiona w postaci całki określonej, podobnie jak to ma miejsce dla funkcji Bessela, a mianowicie:

$$R = A \int_0^{\pi} \cos \left(\lambda \log \frac{r}{b} + \frac{r}{a} \cos u + \lambda \log \sin^2 u \right) du + \\ + B \int_0^{\pi} \sin \left(\lambda \log \frac{r}{b} + \frac{r}{a} \cos u + \lambda \log \sin^2 u \right) du \quad (6),$$

gdzie A i B —stałe dowolne, jednakże postać powyższa jest do obliczeń niedogodna, gdyż w obu całkach pod znakiem \sin i \cos wchodzi funkcja $\log(\sin u)$, tak, iż obie funkcje pod znakiem całek określonych ulegają coraz prędszym wahanom w miarę zbliżania się u do zera. Dla obliczeń dogodniej jest rozwinąć całkę równania (5) w szereg podwójny postaci następującej:

$$R = \cos \left(\lambda \log \frac{r}{b} \right) \left[A_0 + \lambda_1 r + A_2 r^2 + \dots \right] + \\ + \sin \left(\lambda \log \frac{r}{b} \right) \left[B_0 + B_1 r + B_2 r^2 + \dots \right] \quad (7).$$

Po wstawieniu wartości pochodnych w równanie (5) otrzymamy, iż współczynniki przy potęgach nieparzystych w obu szeregach są zerami, natomiast współczynniki przy potęgach parzystych można wyrazić przez A_0, B_0 zapomocą następującej zależności:

$$A_{2p} = - \frac{1}{(2a)^2} \frac{p A_{2p-2} - \lambda B_{2p-2}}{p(p^2 + \lambda^2)}; \\ B_{2p} = - \frac{1}{(2a)^2} \frac{\lambda A_{2p-2} + p B_{2p-2}}{p(p^2 + \lambda^2)} \quad (8).$$

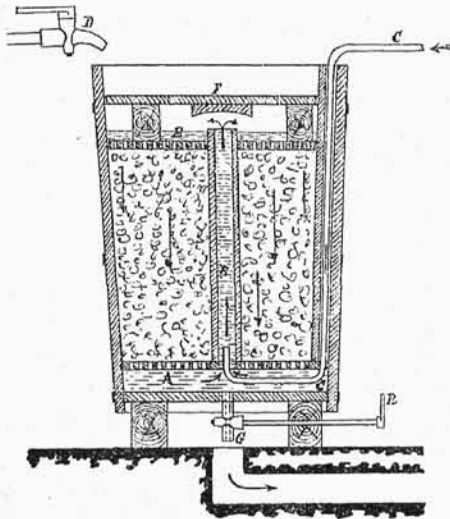
Przy a dużym w porównaniu z r , oba szeregi są szybkozbieżne, tak, iż wystarczy przyjąć pod uwagę dwa lub trzy pierwsze wyrazy. (C. d. n.)

Wyrób waty opatrunkowej.

Opracował Adam Trojanowski.

(Ciąg dalszy do str. 8 w № 1 i 2 r. b.)

Pierwotnie gotowanie odbywało się w *otwartych kadziach drewnianych*, sosnowych (rys. 5) o podwójnym dnie, z których wewnętrzne A , dziurkowane, zaopatrzone jest pośrodku w kominek drewniany B , do którego doprowadza się parę rurką żelazną C w oszalowaniu drewnianem. Naladowawszy kadź bawełną, otwieramy zawór D i napelniamy kadź ługiem, następnie przykrywamy plachtą i denkiem dziurkowanym E , przyciskamy krzyżakiem F i otwieramy zawór parowy; wówczas ług zagotowuje się, wznosi do gó-



Rys. 5.

ry kominkiem, zalewa bawełnę i krąży dokola, jak pokazują strzałki.

Po ukończeniu gotowania, które, zależnie od gęstości ługu, trwa 6 do 18 godzin, wypuszczamy ług do kanału zaworem G z rączką R i przemywamy bawełnę niezwłocznie wodą ciepłą póty, póki nie stanie się zupełnie czystą.

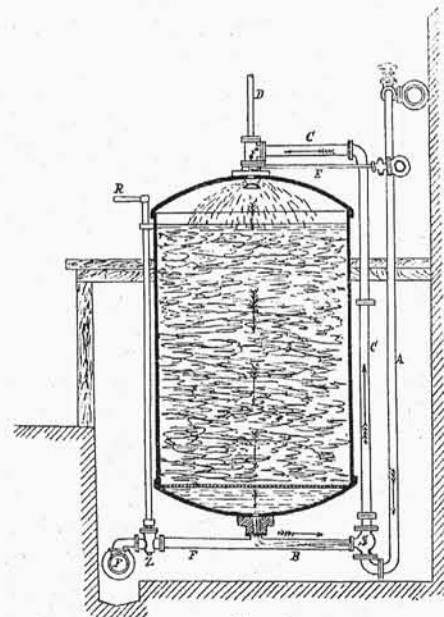
Oprócz drewnianych kadzi otwartych do gotowania bawełny, używano także dawniej *kadzi żelaznych*.

Miejsce otwartych kadzi drewnianych i żelaznych do gotowania bawełny z biegiem czasu zajęły *zamknięte kotły żelazne* (rys. 6), pozwalające na odbywanie zabiegu pod ciśnieniem pary, które jest zależne od budowy kotła, jednak nie powinno przekraczać $2\frac{1}{2}$ atmosfer, gdyż przy przekroczeniu tego ciśnienia, a więc i związanej z nim ciepłoty 127°C. , następuje skurczenie, skręcenie i osłabienie włókien bawełnianych. Im ciśnienie jest mniejsze, tem dłużej trwa gotowanie; zwiększone ciśnienie jest o tyle racjonalne, że pozwala oszczędzać na chemikaliach i czasie. Ładowanie bawełny do takiego kotła skutecznia się dwoma włączami na rysunku niewidocznymi i zamykającymi się szczelnie; do zalewania bawełny ługiem służy przewód D , do doprowadza-

nia wody przewód E , do wypróżniania zaś kotła z cieczy służy przewód F , zamykany zaworem Z z rączką R .

Krążenie cieczy w kotłach tych z początku utrzymywano zapomocą *smoczka parowego* (injektora) S . Para, dostawszy się do smoczka przewodem A , porywa ciecz, spływającą z kotła przewodem B , wtłacza ją przewodem C do górnej części kotła, zalewa bawełnę i krąży dokola jak pokazują strzałki. Przy tym sposobie obróbki doprowadza się do kotła nieprzerwanie świeżą parę, która, skraplając się, stale rozcieńcza ług i osłabia oczywiście jego działanie, a tem samem przedłuża czas gotowania.

Celem zapobieżenia tej niedokładności, do zagotowania cieczy zastosowano *wężownicę parową*, nagrzewaną podczas pracy kotła żywą parą i umieszczoną na dnie takowe-



Rys. 6.

go; ponad wężownicą na denku dziurkowanym stoi pośrodku rura żelazna, przez którą wznosi się do góry wrzący ług, zalewa bawełnę, przeciska się przez nią na dół, znowu zagotowuje się, wznosi do góry, zalewa bawełnę i tak krąży dokola. Niektórzy stosują do kotłów tych *wtryskacze żywej pary*, celem prędszego zagrzania ługu i przyspieszenia krążenia cieczy. Parę tę należy wpuszczać w wrzący ług, nie zaś w przestrzeń ponad zatopioną bawełną, w tym bowiem wypadku wolna przestrzeń owa wypełni się parą i ustanie krążenie cieczy. Do odprowadzenia skroplonej w wężownicy pary służy *odwadniacz*.

Zamiast rury stojącej pośrodku wewnątrz kotła, stosują niektórzy trzy rury zewnętrzne, łączące dolną część ko-

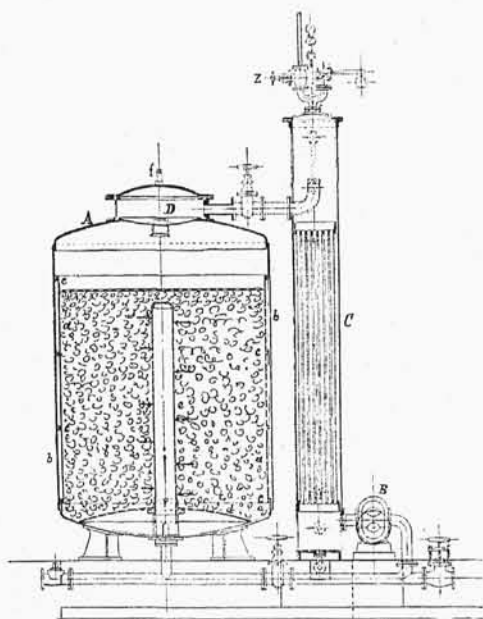
ła, w której odbywa się, jak wiadomo, zagotowywanie lugu, z górną jego częścią ponad zatopioną bawełną. Przez rury te podnosi się do góry wrząca ciecz, zalewa bawełnę i t. d. krąży dokoła.

Wypróżnienie kotła z cieczy skutecznia się w najniższej części dna kotłowego zapomocą rury z zaworem.

Następnym udoskonaleniem kotłów do gotowania bawełny jest zastosowanie *rotacyjnej pompy zębatej*, powodującej stałe krążenie cieczy w kotle i *podgrzewacza lugu*, zapobiegającego bezpośredniemu dopływowi pary do lugu, tem samem wykluczającego wszelkie jego rozcieńczenie.

Zamiast powyżej opisanych kotłów do gotowania bawełny, które zresztą pracują bardzo dobrze, zastosowano ostatnimi czasy *kocioł komórkowy* (rys. 7), przewyższający je tak pod względem krążenia cieczy i wydajności kotła, jak wybitnej oszczędności pary i chemikalii.

Kocioł taki przez zastosowanie dziurkowanego, pobielanego płaszcza wewnętrznego *a*, przymocowanego do płaszcza kotłowego *b* na odpowiednio rozłożonych wycinkach pierścieniowych *c*, posiada przestrzeń komórkową, otaczającą materiał zawarty w kotle i wypełniającą się lugiem podczas pracy kotła. Resztę wewnętrznego uzbrojenia kotła



Rys. 7.

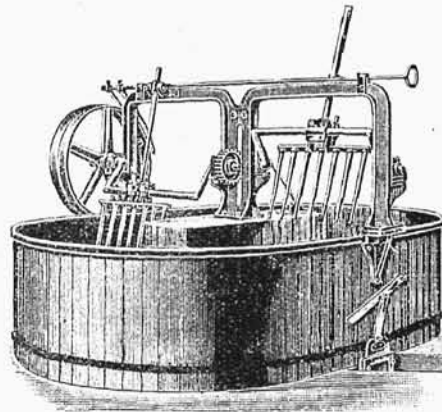
stanowi pobielane denko dziurkowane *d* i stojąca na nim pośrodku również pobielana rura ssąca, dziurkowana *e*; rura ta łączy się bezpośrednio z silnie działającą rotacyjną pompą zębatą *B*, wsysającą lugu od obwodu kotła poprzez bawełnę poziomo ku środkowi. To poziome krążenie cieczy przy ogromnej powierzchni działania jej na odtłuszczaną bawełnę jest nader energiczne, zupełnie równomierne we wszystkich częściach kotła, skutkiem czego osiąga się dokładne traktowanie wszystkich włókien przy jak najmniejszym ich uszkodzeniu.

Pomiędzy pompą *B* a kotłem *A* jest wbudowany *podgrzewacz rurkowy C*, przez którego rurki rotacyjna pompa zębata przetłacza do kotła lugu, ogrzewający się równomiernie parą, otaczającą rurki, a więc nie bezpośrednio. To urządzenie, nie rozcieńczające lugu, umożliwia pracę przez cały ciąg zabiegu gotowania jednakowo zgęszczonym lugiem i pozwala na istotne skrócenie procesu gotowania.

Ładowanie bawełny skutecznia się przez znajdujący się na wierzchu kotła dużej średnicy włącz *D*, którego pokrywa zamyka się szczelnie zapomocą odrzucanych zawiasów śrubowych.

Przy ładowaniu kotła należy uważać, jak już wyżej powiedziano, aby bawełna była równomiernie ściśle utkana, celem zredukowania do minimum nieuniknionego tworzenia się kanałów, i aby dobrze pokrywała rurę ssącą, pionową *e*, w przeciwnym bowiem razie lugu przepływać będzie podczas pracy kotła bezpośrednio przez rurę ssącą, a nie przez bawełnę.

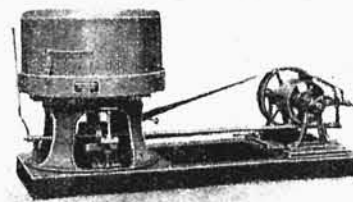
Po naładowaniu kotła zalewa się bawełnę *odlużem* (lugu używany już raz do gotowania), które nie może być o wiele słabsze od lugu, i, celem prędkiego oraz zupełnego usunięcia powietrza z bawełny, gotuje się ją bez ciśnienia 20 do 30 minut przy otwartej pokrywie, następnie przy zamkniętej pokrywie, a otwartym *zaworze powietrznym f*. Po upływie mniej więcej godziny wypuszcza się odluż do kanału, bawełnę przykrywa się lekką płachtą i przyciska dziurkowanym denkiem drewnianem lub żelaznym, pobielanem, celem zapobieżenia wznoszeniu się w górę zawartości kotła podczas jego pracy, poczem zalewa się bawełnę



Rys. 8.

świeżym lugiem, zamyka pokrywę szczelnie, usuwa resztę powietrza przez zawór powietrzny i rozpoczyna się gotowanie pod ciśnieniem przy nieustannem oczywiście krążeniu cieczy. To wtórne gotowanie, zależnie od budowy kotła i rodzaju surowca, trwa 6 do 8 godzin.

Po skończonem gotowaniu wypuszcza się powoli parę z kotła przez *zawór parowy z* i przepompowuje odluż bądź do drugiego świeżo naładowanego kotła, bądź do przeznaczanego ku temu zbiornika, bądź wreszcie wypuszcza go się do kanału, a pozostała w kotle bawełnę przemywa się niezwłocznie strumieniem przepływającej przez kocioł najpierw ciepłej (40—50° C.), później coraz chłodniejszej wody tak długo, aż stanie się zupełnie czystą, przyczem przestrzegając należy, ażeby bawełna, póki jest jeszcze gorąca, była całkowicie w wodzie pogrążona. W przeciwnym razie na powierzchni bawełny, stykającej się z rozgrzaniem ściankami kotła, osiada brud z rozłożonych tłuszczów roślinnych i sprawia plamy, widzialne dopiero po wybieleniu.



Rys. 9.

Możliwie zupełne wymycie bawełny z odluża jest niezmiernie ważnym czynnikiem w osiągnięciu dobrze bielonego i wsiąkliwego materiału.

Po wygotowaniu i przemyciu bawełny w kotle, gdy ma się do czynienia z wodą żelazistą, przepłukuje się bawełnę w *pluczce* (rys. 8) w roztworze wodnym 0,1% *kwasu siarczanego* lub *solnego* dla rozpuszczenia żelaza, następnie kilkakrotnie płucze się w czystej wodzie i zupełnie odwadnia na *wirówce* (rys. 9), poczem już odtłuszczona, wsiąkliwa bawełna o jasno-siniej barwie podlega właściwemu bieleniu.

Pluczka do płukania bawełny składa się z owalnej kadzi drewnianej, z przymocowanych do niej ruchomych grabi drewnianych lub ze spiżu fosforowego (rys. 8) do przetrzęsania i przesuwania bawełny dokoła kadzi oraz z wewnętrznego dna dziurkowanego, aby części stałe, wydzielające się z bawełny podczas płukania, mogły opaść na dno dolne.

(C. d. n.)

Postępy w dziedzinie obróbki kół zębatach.¹⁾

Podał Henryk Mierzejewski, inż. mech.

Dziedzina stosowania kół zębatach, będących jednym z podstawowych elementów maszynowych przy przenoszeniu energii mechanicznej i stanowiących prosty i dogodny sposób zmiany prędkości obrotowych i momentów sił przenoszonych, rozszerzyła się niezwykle w ostatnich czasach. Spontęgowana wytwórczość przemysłowa w zakresie maszyn i urządzeń roboczych wywołała prędko wzrost zapotrzebowania na koła zębata. Równoległe z popytem wzrastały i wymagania pod względem wytrzymałości i trwałości kół zębatach, oraz cichości biegu, skłaniając do pracy na polu teorii ząbienia i budząc pomysłowość i twórczość w dziedzinie budowy obrabiarek specjalnych. Wielki wpływ na technikę wyrobu kół zębatach wywarło stworzenie prędkoobieżnych maszyn i silników, oraz specjalnie samojazdów. Okazało się przytem, że warunek cichego i równego biegu kół zębatach jest trudny do spełnienia, zwłaszcza przy większych prędkościach obrotowych i że zastąpienie kół lanych surowych przez obrabiane mechanicznie nie wyczerpuje w zupełności zagadnienia. Zmniejszenie zużycia kół zębatach i hałaśliwości ich biegu zależy od bardzo wielu czynników natury teoretycznej i praktycznej, tak, że wykonanie dokładne i zgodne z podstawami naukowymi natrafia nader często na nieprzezwyciężone trudności. Pomimo to jednak gałąź techniki, obejmująca wykonanie kół zębatach, może się poszczycić poważnymi postępami, czego najwymowniejszym dowodem są przekładnie zębata, zmniejszające liczbę obrotów turbin parowych o wielkiej mocy. Równoległe z wymaganiami co do jakości wykonania kół zębatach zjawilo się, wobec coraz powszechniejszego ich stosowania, za-

gadnienie taniego i prędkiego wytwarzania tych elementów maszynowych, wywołując dążenie do stworzenia obrabiarek o dużej wydajności, zbliżonych mniej lub więcej do typu automatów. Wyniki osiągnięte na tem polu są bardzo poważne.

Praca niniejsza ma na celu zobrazowanie ogólnych postępów w dziedzinie obróbki kół zębatach. Pominęliśmy w niej rozmyślnie wobec rozmiarów zagadnienia rozważania teoretyczne nad działaniem i budową rozlicznych przekładni zębatach, jakkolwiek wiążą się one organicznie z obróbką. Na pierwszy plan wysunęliśmy technikę wykonywania kół zębatach. Tam, gdzie zagadnienie wymagało specjalnego traktowania naukowego i rozwiązania, wskazane zostały odpowiednie źródła, ułatwiające czytelnikowi przystąpienie do jądra rzeczy. Uwzględnienie natomiast matematycznego obliczania błędów popełnianych przy wyrobie narzędzi i przy obróbce na maszynach, rozszerzyłyby zbyt obszernie zakres pracy, która ma na celu zobrazowanie dokonanych postępów w dziedzinie obróbki i zapoznanie z materiałem faktycznym.

Zanim rozpoczniemy omawiać wyrób przekładni zębatach, stosowanych w praktyce, należy, chociażby w sposób elementarny i pobieżny, ustalić ich podział na podstawie wzajemnego położenia osi obrotu, rodzaju t. zw. powierzchni początkowych, będących powierzchniami osi chwilowych ruchu względnego kół, wreszcie kształtu samych zębów. Uwzględniając wszystkie powyższe cechy charakterystyczne, które omówimy poniżej, możemy znaczną większość istniejących przekładni zębatach podzielić na następujące klasy:

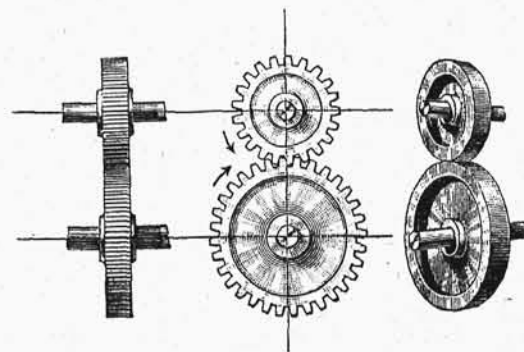
T a b l. I.

Z a z ę b i e n i e	Wzajemne położenie osi obrotu	Powierzchnie początkowe	Tworząca powierzchni zęba	Rodzaj kół według nazw, używanych w praktyce
Walcowe prostoliniowe (czołowe)	Równoległe	Walcowe	Prosta	Koła czołowe cylindryczne i eliptyczne
Walcowe krzywoliniowe (skrętne)			Krzywa (linia śrubowa)	Koła śrubowe i daszkowe
Stożkowe prostoliniowe	Przecinające się	Stożkowe	Prosta	Koła stożkowe
Stożkowe krzywoliniowe (skrętne)			Krzywa	Koła stożkowe, śrubowe, daszkowe
Hyperboloidalno-śrubowe	Krzyżujące się	Hyperboloidy jednopowłokowe	Prosta	Koła skośne stożkowe. Koła hyperboloidalne Oliviera i Bealea.
Ślimakowe (śrubowe)	Krzyżujące się	Walce i powierzchnie obrotowe	Linia śrubowa	Koła śrubowe i ślimakowe. Przekładnie ślimakowe kuliste (globoidalne).

Pierwszą klasę stanowią przekładnie zębata, przenoszące ruch obrotowy pomiędzy osiami równoległymi. Najprostszym przykładem w tym razie jest przekładnia złożona ze zwykłych kół czołowych, których zęby są proste w kierunku swej długości (rys. 1). Powierzchniami początkowymi, odpowiadającymi gładkim kołom ciernym, przedstawionym obok na rysunku, są w kołach czołowych zwykle walce kołowe, o wiele rzadziej eliptyczne. Tworzącymi powierzchnie zębów są proste, równoległe do osi obrotu. Zęby we chwycie dotykają się według linii prostej.

Do tej samej klasy możemy zaliczyć przekładnie z ząbieniem walcowym krzywoliniowym, czyli skrętnym (rys. 2), które jednak wymaga pewnego omówienia. Powierzchnie początkowe tych kół są walcowe tak samo jak i poprzednie. Przekrój koła skrętnego w płaszczyźnie prostopadłej do osi nie różni się niczem od przekroju koła czołowego, jak o tem możemy się przekonać porównując rys. 1 i 2. Aby zrozumieć działanie tych kół, należy wyobrazić sobie, że koła

z ząbieniem krzywoliniowym składają się z wielkiej liczby nieskończenie cienkich tarcz, stanowiących elementarne koła czołowe z ząbieniem prostoliniowym, przyczem każ-

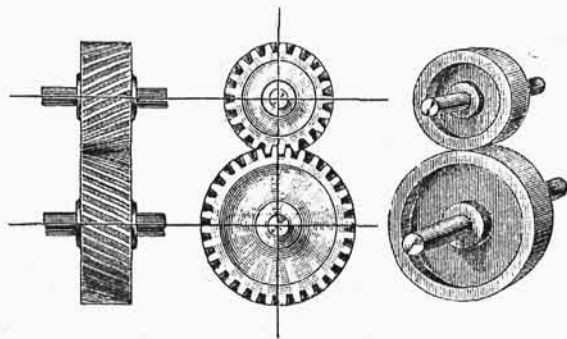


Rys. 1. Ząbienie walcowe, czołowe.

de dwie sąsiednie tarcze są przestawione względem siebie o bardzo mały kąt. Zasadę działania kół z ząbieniem krzywoliniowym możemy sobie uzmysłwić zresztą jeszcze

¹⁾ Odczyt wygłoszony na posiedzeniu Koła Mechaników przy Stow. Techników w Warszawie w dniu 8 kwietnia 1914 r.

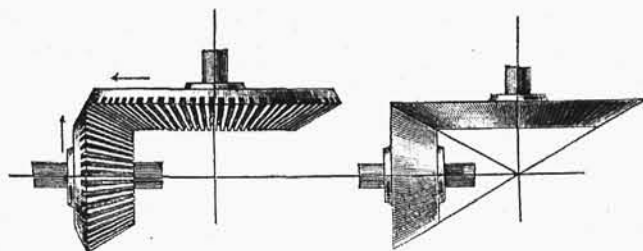
inaczej. Wyobrażamy sobie mianowicie, że skręcamy względem swych osi oba koła czołowe, będące we chwycie (rys. 1), nie naruszając w niczem przekrojów tych kół w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu. Ponieważ w każdym z takich przekrojów chwyt będzie istniał i nadal, więc zęby kół skręconych według podanego sposobu będą się dotykać wzdłuż ciągłej linii, nie będącej już jednak prostą, jak to było w kołach czołowych.



Rys. 2. Zazębienie walcowe, krzywoliniowe (skrętne).

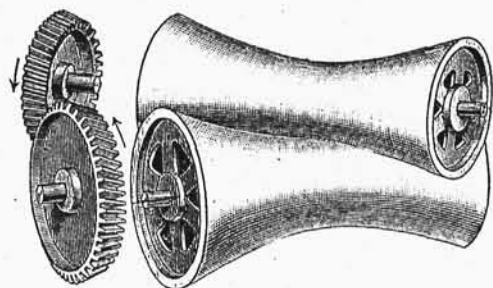
Prosta tworząca koła czołowego po dokonaniem skręceniu staje się krzywą, pozostającą jednakże na tej samej powierzchni walcowej. Łatwo pojąć, że krzywe powyższe mogą posiadać najróżnorodniejszy kształt, stosownie do rodzaju skręcenia. O ile skręcenie będzie jednostajne, linia prosta tworząca koła czołowego zamieni się na linię śrubową. W praktyce, ze względu na łatwość obróbki, stosuje się najczęściej koła śrubowe, rzadziej daszkowe.

Drugą klasę stanowią przekładnie zębate, przenoszące ruch obrotowy pomiędzy osiami przecinającymi. Ruch względny tych kół sprowadza się do toczenia się stożka ru-



Rys. 3. Zazębienie stożkowe prostoliniowe.

chomego po nieruchomym: powierzchniami początkowymi są więc w danym wypadku stożki o wspólnym wierzchołku (rys. 3). Zęby kół stożkowych we chwycie dotykają się wzdłuż linii prostych, będących tworzącymi powierzchni tych zębów i przechodzących przez wspólny wierzchołek stożków początkowych. Podobnie jak przy kołach walcowych, możemy wyobrazić sobie zazębienie stożkowe krzywoliniowe, polegające na skręceniu, w myśl określonej metody, zwykłego koła stożkowego tak, by tworzące powierzchnie zęba pozostały na tych samych powierzchniach stożkowych. Prawdopodobnie wykonać skrętne koło stożkowe jest rzeczą niemożliwą.



Rys. 4. Zazębienie hyperboloidalno-śrubowe.

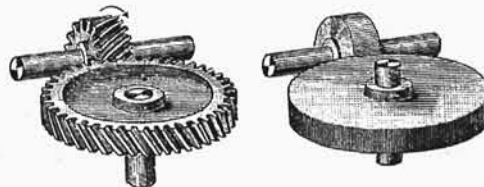
Bardzo ciekawą pod względem teoretycznym klasę przekładni zębatach stanowią koła hyperboloidalno-śrubowe, przenoszące ruch pomiędzy osiami, krzyżującymi się w przestrzeni. Powierzchnie początkowe tych kół są hyperboloidami jednowłokowymi (rys. 4), a tworzącymi powierzchnie zębów są proste. Dawniej sądzono powszechnie, że powierzchnię zębów należy tworzyć, tocząc hyperboloidy po-

mocnicze po hyperboloidach początkowych: zasada powyższa była głoszona przez Willisa, Rankinea, Weisbacha, Reuleaux i innych. Amerykanie: Mac Cord, Grant, Beale, oraz niemiec Disteli wykazali, że zastosowanie hyperboloidu pomocniczego przy tworzeniu powierzchni zęba prowadzi do zazębienia wadliwego. Disteli wykazał prócz tego, że jest rzeczą możliwą użycie w tym celu powierzchni śrubowej¹⁾.

Z kół hyperboloidalno-śrubowych w praktyce przemysłowej znalazły zastosowanie jedynie koła skośne stożkowe, stanowiące ich wypadek szczególny, o których będzie mowa poniżej. Wynalezione przez Oliviera koła skośne t. zw. spiraloidalne, jakkolwiek prawidłowe pod względem zazębienia, nie weszły w użycie z powodu trudności wykonania i niedogodności praktycznych, polegających na prędkim zużyciu się powierzchni zębów. To samo można powiedzieć o kołach śrubowych z chwytem prostoliniowym, wykonanych przez Bealea, głównego kierownika Brown and Sharpe Mfg. Comp. w Providence (St. Zjedn.). Należy dodać, że koła Oliviera przenosiły ruch obrotowy w jednym tylko kierunku, gdy Bealeowi udało się wykonać przekładnię hyperboloidalną, działającą w obu kierunkach.

Bardzo szerokie zastosowanie w przemyśle znalazła klasa przekładni śrubowo-ślimakowych. Nowsze piśmiennictwo techniczno-naukowe poświęca im wiele uwagi, traktując wyczerpująco geometryczne i mechaniczne własności tego zazębienia.

W przekładniach śrubowo-ślimakowych osi obrotu krzyżują się, a powierzchnie początkowe stykają się w jednym punkcie. Wynika z tego, że zęby we chwycie przylegają do siebie nie wzdłuż prostej, jak w poprzednich przekładniach, lecz w jednym punkcie; przez ciśnienie przyleganie rozszerza się na niewielką powierzchnię. Zwykle zazębienie kół śrubowych jest rozpatrywane w ten sposób, że przekrój jednego z kół uważa się za zębatkę, z którą pracuje drugie koło śrubowe. Jestto jednak przybliżony sposób badania, nadający się bardziej w stosunku do właściwych przekładni ślimakowych, składających się z koła śrubowego o bardzo małym pochyleniu linii śrubowej, czyli t. zw. ślimaka, i koła ślimakowego o dużym pochyleniu tej linii. Przekładnie ślimakowe dają duży stosunek przekładni; odwrotnie przekładnie śrubowe zmieniają prędkości obrotowe i momenty sił w węższym zakresie. Ścisłej granicy pomiędzy przekładniami śrubowymi a ślimakowymi wyznaczyć nie można; różnicę stanowi zwykle specjalny kształt powierzchni początkowej



Rys. 5. Zazębienie śrubowe.

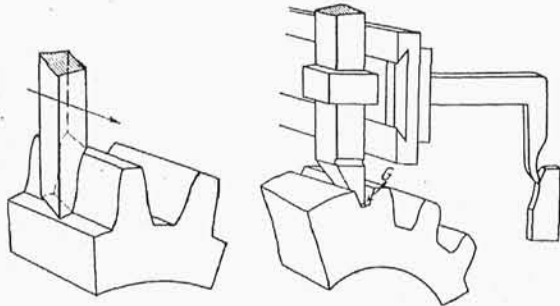
koła ślimakowego. Do cech, charakteryzujących przekładnie ślimakowe, należy zaliczyć również i to, że koło ślimakowe jest narzynane przez narzędzie, zbliżone swym kształtem najzupełniej do ślimaka, gdy w przekładniach śrubowych oba koła są obrabiane niezależnie.

Podane cztery główne klasy przekładni zębatach nie wyczerpują wszystkich rodzajów zazębienia stosowanych w praktyce. Tak powodzeniem cieszą się przekładnie ślimakowe kuliste, nazywane często od nazwisk wynalazców przekładni Lorenza, Hindleya i in. Przekładnie czopowe, będące w powszechnym użyciu przed wynalezieniem nowoczesnych kół zębatach i wyparte z zastosowań przemysłowych, powracają do praktyki w zmienionej radykalnie postaci, jako nowoczesne przekładnie rolkowe. Charakter pokrewny z przekładniami zębatach posiadają ulepszone znakomicie w ostatnich czasach łańcuchowe przekładnie zębate.

W przemyśle stosowane są głównie czołowe koła walcowe i stożkowe, mniej ślimakowe i śrubowe. Obrabiarki do wyrobu powyższych kół są najliczniejsze i najróżnorod-

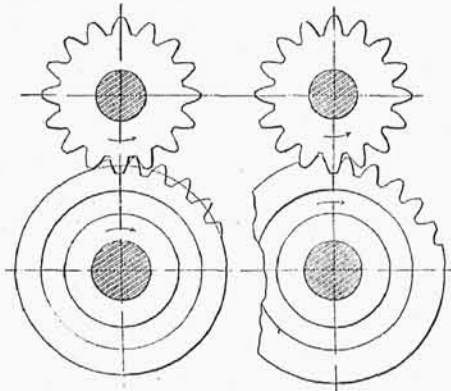
¹⁾ Disteli. Ueber instantane Schraubengeschwindigkeit und die Verzahnung der Hyperboloidraeder. *Zeitschrift für Mathematik und Physik*, r. 1904. Również R. Crain. Schraubenraeder. *Werkstatt Technik*, 1907.

dniejsze. Wiele z nich daje możność obrabiania kilku rodzajów kół zębatach, np. walcowych, śrubowych i ślimakowych. Koła śrubowe daszkowe, eliptyczne i skośne stożkowe, stanowiąc szczególne odmiany kół hiperboloidalnych, spotyka się o wiele rzadziej w zastosowaniach przemysłowych i do wyrobu ich służą najczęściej przyrządy ustawiane na innych obrabiarkach, niewyodrębnione w specjalne ma-



Rys. 6. Schemat profilowania kształtowego.
G—oznacza punkt profilujący.

szyny. Wyrób specjalnych przekładni skrętnych i ślimakowych jest często strzeżony przez patenty. Dodać należy, że o ile obróbka typowych kół zębatach jest zbadana dość dobrze pod względem teoretycznym, o tyle w zakresie działania i wyrobu niektórych specjalnych przekładni pozostaje wiele rzeczy spornych, niewyjaśnionych lub zgoła wadli-



Rys. 7. Schemat profilowania chwykowego (obwiedniowego).

Odciskanie wrębów w krążku z masy plastycznej.

Dłutowanie zębów w krążku za pomocą koła zębatego—narzędzia (narzędzie posiada prócz ruchu obrotowego poprzeczny posuw roboczy).

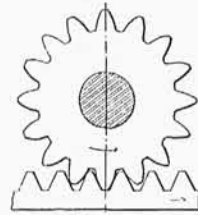
wych. Profile tych przekładni są wykończane często na drodze empirycznej, np. zapomocą docierania mechanicznego powierzchni.

Metody obrabiania typowych, najczęściej stosowanych kół zębatach, można podzielić na trzy grupy zasadnicze. Pierwsza z nich, metoda profilowania kształtowego, polega na tym, że narzędzie wycinające wręby na krążku nieobrobionym bądź posiada krawędzie tnące, odpowiadające zarysowi zęba, bądź też jest prowadzone przez specjalny szablon. Charakterystyczną cechą tej metody jest konieczność wykonania narzędzia lub szablonu w celu odwzorowania żądanej krzywej na kole obrabianym (rys. 6).

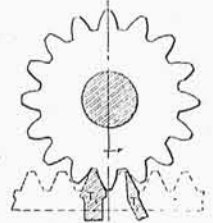
Druga metoda, profilowania chwykowego, polega na zasadzie wzajemnego chwytu pary kół zębatach¹⁾. Zespół tworzy w danym wypadku narzędzie i koło obrabiane. Najprostszym przykładem tej metody byłoby wytłaczanie zębów na krążku z masy plastycznej przez koło zębate, będące w danym razie narzędziem. Maszyna zmusza koło obrabiane i narzędzie do takiego ruchu, jaki istnieje przy wzajemnym chwycie pary kół zębatach (rys. 7). Metoda profilowania chwykowego przedstawia kilka odmian charakterystycznych i bardzo cennych w praktyce przemysłowej.

Metody powyższe nie są jedynymi i należy uważać je jedynie za najbardziej rozpowszechnione.

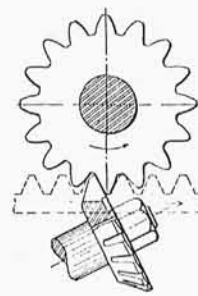
Istnieją jeszcze inne sposoby profilowania krzywych zęba, polegające na urzeczywistnieniu takich ruchów, że wynikiem ich jest otrzymanie



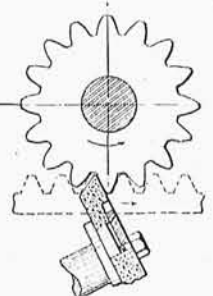
Rys. 8. Schemat metody profilowania chwykowego (obwiedniowego).



Rys. 9. Dłutowanie (struganie).



Rys. 10. Frezowanie.



Rys. 11. Szlifowanie.

Rys. 8—11. Sposoby obróbki kół zębatach według metody profilowania chwykowego (obwiedniowego).

mniej lub więcej dokładnych profili. Sposoby powyższe można uogólnić jako trzecią metodę obróbki, a mianowicie wykresłotwórczą. Obrabiarka

naśladuje w danym razie rysownika, kreślącego krzywą zęba dokładną lub przybliżoną, według pewnych założeń geometrycznych. Metoda wykresłotwórczą jest stosowana również przy wyrobie narzędzi do obróbki kół zębatach. Co się tyczy technologicznych metod wykonania, to przy obróbce kół zębatach jest stosowane dłutowanie (struganie), frezowanie i szlifowanie. Rys. 9—11 przedstawiają różne sposoby obróbki w zastosowaniu do metody profilowania chwykowego: dla łatwiejszego zrozumienia podany został również na rys. 7 schemat tej metody, polegający na odciskaniu wrębów w kole plastycznym przez zębatkę. Rys. 9 przedstawia dwie odmiany narzędzia: T_1 i T_2 , które posiadają poprzeczny ruch roboczy, a których krawędzie tnące odpowiadają profilowi urojonej zębatki, a mianowicie: nóż T_1 umożliwia obróbkę obu profili naraz, przedniego i tylnego, gdy nóż T_2 obrabia jeden tylko profil. W analogiczny sposób jak nóż strugarski działa frez i tarczka szlifierska. Ostatnia metoda jest stosowana najczęściej przy wykończeniu kół obrobionych po ich zahartowaniu i ma na celu usunięcie niedokładności, wywołanych przez procesy termiczne.

(C. d. n.)

¹⁾ Niemcy na określenie tej metody znaleźli wyrażenie: Wälzverfahren, anglicy: moulding-generating method. Na język polski trudno je dobrze przetłumaczyć. Możemy, uwzględniając związek pomiędzy zasadniczą treścią tej metody, a prawami kinematyki, nazwać ją metodą profilowania obwiedniowego, gdyż przy ruchu względnym profil koła obrabianego jest obwiednią kolejnych położenia profilów koła—narzędzia.
Przyp. Aut.

Z TOWARZYSTW TECHNICZNYCH.

Stowarzyszenie Techników w Warszawie. Sprawozdanie z posiedzenia technicznego w d. 7 stycznia r. b. Na propozycję przewodniczącego inż. Alfonsa Kühna zebrani uczcili pamięć ś. p. Romana Rejewskiego. Protokółu nie odczytano z powodu nie wyjścia w świat *Przeglądu Technicznego*. W skrzynce zapytań nic nie znaleziono. Ze spraw bieżących przewodniczący odczytał list ks. Alfonsa Trepkowskiego, prefekta szkoły im. Staszica, w sprawie wzięcia udziału b. uczniów w jubileuszu dyr. Witolda Wróblewskiego. Następnie p. Ign. Bendetson zakomunikował wiadomość o przystąpieniu Stowarzyszenia Techników do Kooperatywy Stowarzyszeń Warszawskich. Z kolei zabrał głos prelegent inż. Ludwik Knauff, wygłaszając odczyt na temat:

„Utrzymanie powierzchni ulic miejskich w czystości, sposoby oczyszczania i niszczenia śmieci i odpadków (padliny)“.

Odczyt ten, jak wszystkie z tej seryi, zostanie pomieszczony w *Przeglądzie Technicznym*, wobec czego nie podajemy jego streszczenia. Przewodniczący przypomina o odłożeniu dyskusji z poprzedniego odczytu inż. Sznuka i otwiera dyskusję najpierw na temat ostatniego odczytu. W dyskusji zabierali głos pp.: W. Budziński, Biberstein, Z. Sznuć, J. Chrzastowski, Meyer i Pinkus.

Dyskusję nad referatem p. Sznuka, wobec spóźnionej pory, odłożono. Wniosków członków nie zgłoszono.

Wł. Wr.

ELEKTROTECHNIKA.

Współczesne oświetlenie elektryczne ulic i placów.¹⁾

Podał E. Potemski, inż.

Sprawa oświetlenia naszych miast, zarówno większych jak i mniejszych, zwłaszcza zaś tych ostatnich, znajduje się w nadzwyczajnym zaniedbaniu. Przedewszystkiem oświetlenie to jest niedostateczne, ponieważ nawet w miastach gubernialnych zaledwie parę głównych ulic oświetlonych jest mniej więcej wystarczająco, reszta zaś ginie w mroku, zlekka rozpraszany przez rzadkie światelka; w mniejszych miastach mamy zazwyczaj jedną „wielką“ lampę na rynku i kilka latarni na głównej ulicy, pozostałe zaś ulice zawdzięczają swoje oświetlenie księżycowi. Powtórnie, oświetlenie to jest w przeważającej liczbie miast i miasteczek bardzo nieekonomiczne, mianowicie naftowe, które, jak to zresztą będziemy mieli możność wykazać dalej, jest droższe od gazowego i elektrycznego. Okoliczność ta ma znaczenie bardzo doniosłe, bo gdy raz rozproszy się panujące dotychczas powszechnie przekonanie o drożyznie nowoczesnych sposobów oświetlenia, to nawet małe nasze miasta i miasteczka będą mogły być odbiorcami elektryczni okręgowych, jako konsumenci prądu do oświetlenia ulicznego, co stanowić może niejako podstawę do budowy takich elektrowni, które niewątpliwie przyczyniłyby się znacznie do podniesienia stanu kulturalnego i rozwoju drobnego przemysłu w małych miastach.

Oświetlenie elektryczne, oczywiście tylko częściowe, posiada zaledwie kilka miast naszych (w Królestwie Kongresowym), a mianowicie: Warszawa, Łódź, Częstochowa, Kielce, Płock; gazowe — Warszawa, Łódź, Częstochowa, Piotrków, Lublin, Kalisz; pozostałe, a również znaczna część ulic w powyżej wymienionych miastach cieszy się oświetleniem naftowym. Dla porównania przytoczę tu liczby, wskazujące, ile największe miasta polskie wydają rocznie na oświetlenie na jednostkę ludności (według Strassburgera): Warszawa 47 kop., Kraków 53, Lwów 52, Poznań 78, Łódź 16 kop., gdy tymczasem małe miasta amerykańskie, liczące mniej niż 15 000 mieszkańców, wydają średnio 1.90 kop. rocznie na głowę ludności. Widzimy z tego, że Łódź wydaje 12 razy mniej na oświetlenie, niż małe miasta amerykańskie i 5 razy mniej, niż Warszawa, a Warszawa przeszło 4 razy mniej, niż miasteczka amerykańskie, i 1,7 razy mniej, niż najlepiej pod tym względem stojący z miast polskich Poznań. Mamy więc przed sobą dużo pracy, zanim doprowadzimy nawet w dużych naszych miastach oświetlenie do poziomu, uważanego za dostateczne w kulturalnych miastach Zachodu, lub dalekiej Północy — myślę o Finlandyi, gdzie np. takie małe miasteczko, jak Torneo, które wielu naszych rodaków przymusowo poznało w ubiegłym roku, zaimponowało im swą wymuskaną czystością i pięknem oświetleniem elektrycznym. Gdy więc będziemy już mieli możność rządzenia w naszych miastach, wśród innych, ważniejszych zapewne zadań, stanie przed nami i kwestya lepszego ich oświetlenia.

Rozpatrując współczesne systemy elektrycznego oświetlenia ulicznego, musimy dla porównania zatrzymać się nad innymi rodzajami oświetlenia, ażeby choć w grubszych zarysach można było zdać sobie sprawę, czy światło elektryczne może i w jakich mianowicie warunkach konkurować do oświetlenia ulic i placów z oświetleniem gazowym, gazożarowym i naftowym.

Do oceny wartości danego oświetlenia i do porównania różnych źródeł światła między sobą koniecznym jest przedewszystkiem ustalenie pewnych jednostek zasadniczych. Jednostki, używane w technice oświetleniowej, nie są absolutne, lecz są wyprowadzone z jednej dowolnie przyjętej, ponieważ dotychczas nie udało się jeszcze znaleźć i ustalić pewnego stałego związku między jednostkami absolutnego systemu miar i wag, a jednostkami oświetleniowymi. Za dowolną zasadniczą jednostkę przyjęto jednostkę siły

światła, ponieważ pojęcie to najłatwiej dostępne jest naszym zmysłom: oko nie sądzi źródła światła, ani według całkowitego prądu świetlnego, ani też według otrzymanego oświetlenia, lecz według siły światła w tym kierunku, w którym oko obserwuje dane źródło światła. Ponieważ dla rozmaitych źródeł światła siła światła jest bardzo zależna od kierunku i niejednokrotnie w jednym kierunku jest wiele razy większa, niż w drugim, więc dla ustalenia pewnej miary porównawczej dla różnych źródeł światła mierzono ich siłę w tym kierunku, w którym siła ta jest maksymalną. Przed wprowadzeniem lamp łukowych, prawie wszystkie źródła siły światła dawały maximum w pobliżu kierunku poziomego, a przytem mierzenie siły światła właśnie w tym kierunku było najłatwiejsze; z tych też względów przyjęte zostało mierzyć i porównywać źródła światła według ich siły poziomej. Dla lamp łukowych tego rodzaju pomiary dają bardzo niekorzystne wyniki, ponieważ w kierunku poziomym mają one bardzo małą siłę światła, natomiast korzystnym jest dla nich kierunek pionowy; wskutek tego porównanie siły światła lamp łukowych z siłą innych lamp nie było możliwe na podstawie poziomej siły światła i trzeba było ustalić nowe pojęcie — średniej sferycznej siły światła. Jestto ta siła światła, która panowałaby na powierzchni kuli, otaczającej punkt świetlny, znajdujący się w jej centrum, gdyby cały prąd świetlny, wychodzący z tego punktu, był rozdzielony równomiernie na tej powierzchni. Jeżeli zatem wyobrazimy sobie punkt świetlny umieszczony w centrum kuli, to średnią sferyczną siłę światła danego punktu świetlnego będzie całkowita ilość światła, oddanego w ciągu jednostki czasu, czyli prąd świetlny dzielony przez powierzchnię kuli. Dla kuli o promieniu $R = 1$, otrzymujemy

$$I_0 = \frac{\Phi_0}{4\pi},$$

gdzie I_0 oznacza średnią sferyczną siłę światła, a Φ_0 — prąd świetlny. Dla teoretycznych porównań różnych źródeł światła miarodajną jest przedewszystkiem średnia sferyczna siła światła, ponieważ daje ona miarę całkowitej energii, zamienionej na światło. Dla celów praktycznych chodzi często nie o całą ilość światła, lecz o tę, która jest rzeczywiście wyzyskana do celów oświetlenia. Przy oświetleniu ulicznym chodzi tylko o tę część światła, która wysyłana jest na dolną półkulę dokoła punktu świetlnego, znajdującego się w centrum. Dlatego też dla praktyki ważnym jest pojęcie średniej siły światła półkuli dolnej (lub górnej), czyli tak zwana średnia półsferyczna siła światła.

$$\text{Dla kuli o promieniu } = 1, \text{ otrzymujemy } I_0 = \frac{\Phi_0}{2\pi}.$$

Za jednostkę siły światła przyjęto w Niemczech i w szeregu innych państw siłę światła lampy amylacetatowej Hefnera w kierunku poziomym przy pewnych określonych warunkach co do konstrukcji lampy i jej palenia się. We Francyi używano się dawniej jako jednostki 1 Carcel = 10,9 św. Hefnera, później „bougie decimale“ = 1,13 św. H. Od r. 1909 Francya, Anglia i Ameryka używają, jako jednostki, świecy międzynarodowej = 1,11 św. H.: jest to światło lampy, w której pali się gaz pentan (C_5H_{12}) przy pewnych, ściśle określonych warunkach. Z tej jednostki wyprowadza się inne jednostki, używane w technice oświetleniowej, a więc jednostkę prądu świetlnego i jednostkę oświetlenia.

Prądem świetlnym nazywamy całkowitą ilość światła oddanego w ciągu jednostki czasu przez źródło światła, jednostkę prądu świetlnego nazywamy Lumen, to jest prąd świetlny, wysyłany w kącie sześciennym = 1 przez źródło światła, które we wszystkich kierunkach w przestrzeni posiada równomierną siłę światła = 1 świecy Hefnera. Przytem kąt sześcienny = 1; jest to kąt, który wycina na powierzchni kuli o promieniu 1 m powierzchnię 1 m^2 .

Oświetleniem nazywamy stosunek prądu świetlnego, padającego prostopadle do powierzchni, do wielkości powierzchni, na którą pada.

¹⁾ Referat wygłoszony na zebraniu Koła Elektrotechników d. 6 grudnia 1915 r.

Jednostką oświetlenia nazywamy Lux, to jest to oświetlenie, które daje źródło światła = 1 św. H. w odległości 1 m na jednostkę płaszczyzny ($1 m^2$), prostopadłej do kierunku promienia. Można zatem określić inaczej 1 Lux jako oświetlenie, które wywołane jest przez Lumen na $1 m^2$ powierzchni, prostopadłej do kierunku promieni. Pewne znaczenie ma jeszcze blask światła, czyli stosunek siły światła do powierzchni świecącej; za jednostkę blasku przyjmuje się blask źródła światła o sile 1 św. H. i powierzchni $1 cm^2$. Im większy jest blask, tem bardziej oślepiąco działa źródło światła, co niejednokrotnie wywołuje konieczność otaczania punktu świecącego kloszami, rozpraszającymi światło dla osiągnięcia większej powierzchni świecącej.

Dla wnioskowania o wartości rozmaitych źródeł światła do celów oświetlenia ulicznego niedostatecznym jest porównywanie jedynie siły światła — trzeba porównywać osiągnięte przez te źródła światła oświetlenia, gdyż zależy ono nie tylko od siły światła, lecz i od podziału promieni świetlnych w różnych kierunkach, umiejętnego rozkładu źródeł światła, wreszcie i od jego blasku.

Nie jest celem niniejszego artykułu podawanie sposobów mierzenia i obliczania sferycznej i półsferycznej siły światła oraz oświetlenia, które są opracowane zarówno teoretycznie, jak i praktycznie — są fotometry, zastosowane specjalnie do mierzenia oświetlenia ulicznego — musimy jednak zastanowić się nad podstawami do wyrokowania o dobroci oświetlenia ulic i placów. Przedewszystkiem powstaje pytanie, czy mamy mierzyć oświetlenie w płaszczyźnie pionowej, czy poziomej: jeżeli chodzi o możliwość dobrego rozejrzenia płaszczyzny chodnika, o rozglądanie planu lub czytanie, to ważnym jest dobre oświetlenie w płaszczyźnie poziomej; jeśli będziemy dbali o rozpoznawanie twarzy osób przechodzących, czytanie szyldów i t. p., to miarodajnym będzie oświetlenie w płaszczyźnie pionowej. Oba te punkty widzenia są pod względem praktycznym jednakowo uprawnione, jednak zazwyczaj przy mierzeniu oświetlenia bierzemy pod uwagę oświetlenie w płaszczyźnie poziomej, ponieważ posiada ono w każdym określonym punkcie ulicy tylko jedną wielkość, gdy tymczasem oświetlenie pionowe w tym samym punkcie zależy od pozycji pionowej, w której będziemy mierzyli oświetlenie: jeżeli np. obserwujemy osobę, idącą w stronę latarni, to twarz jej, patrząc od strony latarni, będzie oświetlona zupełnie dobrze; jeżeli jednak, nie schodząc z miejsca, osoba ta odwróci twarz w stronę przeciwną od latarni, to obserwując ją z tamtej strony, dojdziemy do wniosku, że oświetlenie w danym punkcie jest bardzo niedostateczne. Wogóle, kręcąc daną płaszczyznę pionową dokoła osi pionowej, przeprowadzonej przez wybrany punkt, otrzymamy pod każdym kątem inne oświetlenie. Dlatego też przy wyrokowaniu o oświetleniu zewnętrznym bierzemy pod uwagę oświetlenie płaszczyzny poziomej, tem bardziej, że przy zadowalającym oświetleniu płaszczyzny poziomej, warunki, stawiane oświetleniu pionowemu, są zwykle dochowane. Chodzi jeszcze o ustalenie, na jakiej wysokości należy przeprowadzić płaszczyznę poziomą, na której mierzy się oświetlenie; wybrano w tym celu płaszczyznę poziomą, znajdującą się na wysokości 1,5 m od ziemi, i wskutek tego, mówiąc o oświetleniu zewnętrznym, myślimy o oświetleniu na powierzchni płaszczyzny poziomej, znajdującej się na wysokości 1,5 m od ziemi. Czynniki, które wchodzi w grę przy porównywaniu i wyrokowaniu o dobroci oświetlenia ulicznego, są następujące: 1) równomierność oświetlenia, 2) spokój światła, 3) barwa światła, 4) blask źródła światła, 5) ekonomiczność oświetlenia. Każdy z tych czynników ma wielkie znaczenie i niejednokrotnie światło, idealne pod niektórymi względami, staje się niemożliwe do zastosowania wskutek tego, że nie odpowiada któremukolwiek z warunków, określonych przez te czynniki.

Przy każdym oświetleniu sztucznym rozkład światła na płaszczyźnie oświetlonej jest nierównomierny, i oświetlenie poziome waha się w pewnych granicach od minimum do maximum; ani z jednego, ani z drugiego nie można jednak wnioskować o dobroci oświetlenia; jeżeli lampy wiszą nisko i są rozstawione daleko jedną od drugiej, to maximum może być bardzo duże, a jednak oświetlenie ogólne będzie bardzo niedostateczne, również minimum może być i bywa

zwykle tak małe, że nawet nie daje się dokładnie zmierzyć, pomimo to zaś oświetlenie może być dostateczne. Dla ustalenia pewnego kryterium należało wprowadzić pojęcie średniego oświetlenia poziomego. Jeżeli podzielimy całą oświetloną powierzchnię na x drobnych cząstek o powierzchni f , to średnie oświetlenie będzie $E_{sr.} = \frac{\sum E f}{\sum f} = \frac{E}{x}$, gdzie E oznacza obliczone lub zmierzone oświetlenie każdej cząstki w jej centrum. Ponieważ bezpośrednie mierzenie średniej oświetlenia poziomego nie jest możliwe, więc trzeba używać tego rodzaju przybliżonego rachunku, który też daje zupełnie wystarczające wyniki. W praktyce przyjęto jako dostateczne średnie oświetlenie w płaszczyźnie poziomej na wysokości 1,5 m od ziemi następujące dane:

- 1) dla głównych ulic 3—6 Lux,
- 2) „ bocznych „ o dużym ruchu 1,5—3 Lux,
- 3) „ „ „ o małym „ 0,5—1 „

Dla porównania przytoczę, że światło księżycy w pełni daje średnie oświetlenie 0,25 Lux, a słoneczne przy dniu pogodnym—500 Lux. Samo pojęcie średniego oświetlenia nie daje jeszcze pojęcia o równomierności oświetlenia, o czem możemy wnioskować ze stosunku maximum i minimum do średniego oświetlenia: im większy jest stosunek maximum do minimum, tem mniej równomierne jest oświetlenie; jeżeli stosunek maximum do średniego i minimum do średniego blizkie są do 1, to oświetlenie jest równomierne. Szczególnie ważnym jest, aby stosunek minimum do średniego nie był zbyt mały, ponieważ oznacza to, że powierzchnia posiada ciemne punkty; natomiast stosunek maximum do średniego niekoniecznie ma być zbliżony do 1; niekiedy, a mianowicie zwłaszcza wówczas, gdy oświetlenie wogóle nie jest zbyt dobre, może być nawet pożądane posiadanie kilku specjalnie jasnych punktów. Przytoczę tu dla orientacji parę przykładów istniejącego oświetlenia ulicznego. Na Friedrichstrasse w Berlinie (lampy łukowe ze zwyczajnymi węglami: $E_{sr.} = 6,8$ Lux, $E_{max.} = 11,1$ L., $E_{min.} = 2,6$ L., $\frac{E_{max.}}{E_{min.}} = 4,3$; Podtsdamer Platz (lampy płomienne z nasycanymi węglami) $E_{sr.} = 18,8$ L., $E_{max.} = 82$ L., $E_{min.} = 1,3$ L., $\frac{E_{max.}}{E_{min.}} = 63$; Inwalidenstrasse (światło gazo-żarowe wiszące) $E_{sr.} = 5,5$ L., $E_{max.} = 58$ L., $E_{min.} = 0,6$ L., $\frac{E_{max.}}{E_{min.}} = 97$. W Warszawie na wiadukcie koło mostu Poniatowskiego $E_{min.}$ około 1,8 L., inne wielkości nie były mierzone.

Spokój światła, czyli równomierność jego w czasie, przy oświetleniu ulic oznacza się najczęściej w dostatecznej mierze okiem: o ile nierównomierność ta nie razi oka, to jest ona wystarczająca; w rzadkich tylko wypadkach, dla oznaczenia obiektywnej miary zachodzi konieczność wykonania szeregu pomiarów w ciągu kilku prędko po sobie następujących przerw. Największy spokój ma żarowe światło elektryczne, gorzej zaś zachowuje się światło łukowe, które w zależności od mniej lub więcej dobrego działania regulatorów oraz od stanu pogody może czasami być niedostateczne. Barwa światła ma obok innych warunków decydujące znaczenie dla oznaczenia stopnia użyteczności źródła światła. Najlepszy jest ten, który najbardziej zbliża się do dziennego, przy którym nie dominuje żadna specjalna barwa; trzeba sobie przypomnieć, jak trudno było publiczności przyzwyczaić się do nowego tonu i barwy światła gazo-żarowego, oraz niektórych lamp łukowych i odzwyczaić się od dawnej barwy lampy naftowej. Są rodzaje lamp, które pomimo wielkich i rozmaitych zalet swoich znalazły tylko ograniczone pole zastosowania, jedynie wskutek niezwykłej barwy światła, jak np. lampy rtęciowe. Zbyt wielki blask światła jest czynnikiem ujemnym, ponieważ działa on oślepiąco na oko, które spotkawszy się z nim, nie widzi potem nawet zupełnie dobrze oświetlonych przedmiotów; wywołuje to konieczność zbyt wysokiego zawieszania lamp, co wpływa wprawdzie dodatnio na równomierność oświetlenia, zmniejsza jednak ekonomiczność lampy. Dochodzimy wreszcie do oszczędności oświetlenia, które ma bardzo wielkie i decydujące nieraz znaczenie przy porównywaniu i wyborze źródeł światła. Oszczędność oświetlenia ozna-

cza stosunek spotrzebowanej energii albo potrzebnego na to kosztu do osiągnięcia tego oświetlenia.

Przy pomocy pojęcia o średnim oświetleniu poziomem daje się ustalić pewną wielkość, która pozwala na porównywanie rozmaitego rodzaju oświetleń pod względem ich oszczędności: jest to spotrzebowanie energii (w watach, m^3 gazu albo litrów płynnego paliwa na godzinę) na jednostkę oświetlonej powierzchni ($1 m^2$) i na każdy 1 Lux średniego oświetlenia poziomego. Nie można mówić ogólnikowo, że jeden rodzaj oświetlenia jest zawsze ekonomiczniejszy od drugiego, zarówno w tym wypadku, jeśli będziemy porównywali różne rodzaje oświetlenia elektrycznego pomiędzy sobą, jak też przy porównywaniu oświetlenia elektrycznego z gazowym lub naftowym; koszty te są tak bardzo zależne od warunków, w których palą się lampy, i od wymagań, którym ma zadośćuczynić oświetlenie danego miejsca, że tylko szczegółowa analiza wykazać może dla każdego poszczególnego wypadku, jaki rodzaj światła i lamp jest najkorzystniejszy. Najlepiej dowodzi tego życie praktyczne, gdzie spotykamy wciąż zjawiska jakoby sprzeczne ze sobą, a więc w jednym mieście lampy gazowe zamieniane są na elektryczne zarówno lampy lukowe, w innym — odwrotnie, istniejące lampy elektryczne zastępowane są przez światło gazowe; tu żarówki wprowadzane są na miejsce lamp lukowych, gdzieindziej okazuje się korzystnym zastosować lampy lukowe zamiast żarówek. To też wszelkie twierdzenia ogólne, że dla oświetlenia zewnętrznego światło elektryczne jest tańsze od gazowego lub odwrotnie trzeba przyjmować „cum grano salis“, chociażby potwierdzały je najściślejsze i zupełnie prawdziwe wyliczenia i fakty z życia praktycznego; każdy taki przykład mówi tylko za siebie i dowodzi, że w danych warunkach jeden rodzaj oświetlenia ściśle określonym systemem był ekonomiczniejszy od drugiego. Jeżeli więc dalej przytaczamy różne przykłady i obliczenia kosztów oświetlenia, to bynajmniej nie w celu wykazania bezwzględnej wyższości tego lub innego rodzaju oświetlenia, lecz tylko dla ustalenia, które systemy mogą i powinny być ze sobą porównywane i które mogą ze sobą współzawodniczyć; któremu zaś systemowi należy przyznać wyższość w poszczególnym wypadku, tego nie może dowieść dowodzenie empiryczne, lecz jedynie obliczenie.

Dla zewnętrznego oświetlenia znajdują zastosowanie żarówki, lampy lukowe i rtęciowe — jedno tylko światło Moorea, oraz najnowsza jego odmiana — światło neonowe nie znalazły jeszcze zastosowania w tej dziedzinie. Żarówki węglowe nigdy nie znalazły większego rozpowszechnienia przy oświetleniu ulicznym — stało temu na przeszkodzie duże spotrzebowanie energii, oraz niemożność otrzymania wielkich jednostek świetlnych — ponad sto świec lampy węglowe nie były wyrabiane — to też nie mogły one współzawodniczyć ani ze światłem gazowym, ani z lampami lukowymi; światło gazowe mogło przeciwstawić im znacznie mniejszy koszt eksploatacji, zaś lampy lukowe — mniejsze zużycie prądu przy większej wydajności świetlnej, oraz posiadanie źródeł światła wielkiej siły. Dopiero od chwili zjawienia się lampy żarowej jednowatowej, metalowej, a ściślej mówiąc, wolframowej, światło żarowe stanęło w szeregu poważnych konkurentów do oświetlania ulic; przeszło 3 razy mniejsze zużycie prądu, oraz zwiększenie jednostek świetlnych do 1000 świec usunęło obie wady żarówki węglowej. Bardzo charakterystyczny pod tym względem jest przykład Drezna: od roku 1903 do 1907 paliło się tam na ulicach przeszło 500 lamp żarowych węglowych; w 1907 r. zjawily się pierwsze metalowe, a już w roku 1908 wszystkie węglówki zastąpione zostały przez lampy metalowe, które dały dwa razy lepsze światło i 25% oszczędności; również do roku 1911 liczba lamp lukowych na ulicach Drezna wciąż wzrastała, od tego zaś czasu zaczęła się zmniejszać na korzyść żarówek wysokoświecowych. W danym wypadku decydującym motywem dla zamiany lamp lukowych przez żarówki była trudność obsługi wobec ciasnoty ulic i wielkiego ruchu ulicznego; okazało się jednak, że i pod względem ekonomicznym, biorąc pod uwagę koszt obsługi, żarówki, pomimo większego spotrzebowania prądu, stały wyżej od lamp lukowych: 8-ampierowe lampy lukowe z nasycanymi węglami, dające 800—1000 świec, zastąpione zostały przez żarówki 600-świecowe, na skutek czego oświetlenie średnie stało się mniejsze, lecz

za to znacznie równomierniejsze. Trzeba jeszcze wziąć pod uwagę, że przy takiej zamianie lamp, obliczonej i przeznaczonej dla światła lukowego, korzysta się z istniejących już słupów, drutów i t. p., i pomimo to jednak żarówki oplacają się; jest to dowodem pośrednim, że w nowych instalacjach, które uwzględnią ich specjalne właściwości, zalety ich wystąpią w całej pełni. Wogóle żarówka metalowa jednowatowa do 200 świec powołana jest głównie do oświetlania węższych ulic w mniejszych miastach; tutaj napotyka ona, jako jedyne konkurenta, lampy gazożarowe, ponieważ lampy lukowe są ekonomiczniejsze, dopiero przy wyższych ilościach świec — wogóle lampy te dla małych ilości świec były tylko złem koniecznym, dopóki nie było odpowiednich żarówek. To też w ostatnich czasach widzimy, że w wielu miastach, zwłaszcza mniejszych, walka pomiędzy gazem a żarówką staje się coraz zaciętsza i nieraz rozstrzyga się na korzyść żarówki; najwięcej przykładów tego dostarcza nam Anglia i Ameryka. Harrison przytacza, że w Hammersmith wszystkie latarnie gazowe zamienione zostały przez żarówki metalowe o sile 100 świec z najlepszym powodzeniem; w Marylebon 3300 latarni gazowych zamieniono na żarówki i otrzymano znacznie więcej światła przy niższym koszcie; również korzystnym okazało się zastąpienie lamp lukowych żarówkami w Harrogate. W Ameryce dochód stacji elektrycznej stanu Massachusetts za oświetlenie uliczne żarówkami stale wzrasta, gdy tymczasem dochód za oświetlenie lampami lukowymi stale się zmniejsza, co dowodzi, że lampy lukowe zamieniane są przez żarówki.

Jeszcze bardziej uzdolnioną do współzawodnictwa z gazem i światłem lukowym staje się żarówka $\frac{1}{2}$ -watowa; przytoczę tu niektóre dane ze sprawozdania stacji miejskiej w Nowym Jorku. W roku 1914 przystąpiono do zamiany lamp gazowych i lukowych na $\frac{1}{2}$ -watówki; zamiana ta przy 2 razy silniejszym oświetleniu dała mniejszy koszt oświetlenia; w r. 1915 projektowana była zamiana 15000 lamp gazowych na $\frac{1}{2}$ -watówki, co miało dać oszczędności rocznej około 400000 dolarów. Przytaczam te przykłady z praktyki nie dlatego, abym pragnął dowieść, że oświetlenie żarówkami jest bezwzględnie tańsze od lukowego lub gazożarowego, gdyż jest to zależne od różnych miejscowych warunków, lecz aby uzasadnić zdanie, że w obecnym rozwoju światła żarowego przy projektowaniu oświetlenia ulicznego koniecznym jest wzięcie pod uwagę tego rodzaju światła, które przed kilku jeszcze laty nie wchodziło prawie w rachubę i to w porównaniu do oświetlenia gazowego, jak i lukowego. Na podstawie obecnego stanu uważam, że na przyszłość ze wszystkich rodzajów światła elektrycznego największe widoki dla powszechnego oświetlenia ulic, a głównie węższych, posiada żarówka metalowa, ponieważ pozwala ona na znacznie dalej idący podział światła, dzięki czemu możemy otrzymywać równomierniejsze oświetlenie oraz przystosować się do wymagań zarówno dobrego, jak i gorszego oświetlenia ulic przez zastosowanie mniejszych lub większych jednostek; mamy tu do wyboru wszelkie wielkości, od 5-świecówki, aż do 3000 świec; względ na spokój, blask i barwa również przemawiają na korzyść światła żarowego; co zaś do ekonomii, jest to kwestya każdorazowego obliczenia.

Najbardziej zagrożona przez konkurentów zarówno w własnym obozie, jak i w obozie najgroźniejszego przeciwnika — światła gazowego — jest lampa lukowa. Przewszystkiem, nie mogą się ostać wszelkie typy mniejsze, aż do 600 świec włącznie, których oszczędność jest co najwyżej równa oszczędności żarówki metalowej, a konieczność obsługi, zamiana węgla oraz niezupełnie spokojne światło stanowią wady, nie zrównoważone choćby większą oszczędnością; następnie $\frac{1}{2}$ -watówki próbują usunąć i wyższe typy, aż do 1000—2000 świec i wskutek tego lampa lukowa staje się coraz bardziej lampą dla bardzo wysokich ilości świec ponad 2000 — i najnowszy jej rozwój dąży w tym właśnie kierunku. Z powodu większej oszczędności lampy lukowe z węglami płomiennymi usuwają na plan drugi lampy z czystymi węglami; zużycie w tych lampach dochodzi do 0,15—0,3 W./św., posiadają więc one wielką jeszcze wyższość pod względem małej ilości zużywanego prądu nad innymi rodzajami światła elektrycznego.

Wielką uwagę zwrócono na samą fabrykację węgla;

badania teoretyczne Hechlera dowiodły, że chodzi przede wszystkim o to, aby sole, które nasycane są węglem, mogły przyjąć wysoką temperaturę łuku, zanim go opuszczą, gdyż tylko w tym wypadku będą one posiadały zdolność wysyłania promieni, odpowiednią do temperatury łuku, t. j. bardzo wysoką. Z tego punktu widzenia naturalnym było użycie dla osiągnięcia tego specjalnego celu do nasycania węgla tych metali lub ich odpowiednich połączeń chemicznych, których wyższej wytrzymałości na temperaturę zawdzięczają swą wysoką oszczędność nowe lampy żarowe. Okazało się, że rzeczywiście elektrody, nasycane solami tych metali, dają znacznie lepszą oszczędność, niż dawne.

Przy kombinowaniu różnych dodatków do węgla ważnym jest dla osiągnięcia lepszej oszczędności nie tylko rodzaj poszczególnych składników, lecz i ich wzajemny stosunek ilościowy. Jest w tem duża analogia z koszulkami Auera, które, jak wiadomo, zawdzięczają swą wysoką zdolność wysyłania światła małej zawartości tlenku ceru, gdy tymczasem koszulka z czystego tlenku toru bez domieszki tlenku ceru nie daje praktycznych wyników. Pierwsze lampy z elektrodami, opartymi na badaniach Hechlera, są już w użyciu w Berlinie, brak jednak jeszcze wiadomości, czy usprawiedliwiły one pokładane w nich nadzieje. Do najnowszych prób w kierunku ulepszenia wydajności lamp łukowych należy też lampa Schäffera do prądu 3-fazowego z 3 lub 4-ma węglami, między którymi tworzą się 3 łuki. Pomiarów fotometrycznych tej lampy wykazały, że przy 3000 świec zużycie właściwe wynosi 0,16 W./św., a przy 12000 świec — 0,1 W./św. Widzimy z tego, że jest to lampa dla bardzo wysokich jednostek świetlnych — w tym właśnie kierunku szukają przeważnie konstruktorzy ratunku dla zagrożonej lampy łukowej. Na tym terenie wielkich jednostek świetlnych spotyka się ona znowu z dwoma konkurentami: gazem ścięśnionym i lampami rtęciowymi, jednakże, jak dotychczas, daje sobie z nimi radę. Co się tyczy gazu ścięśnionego, to dosyć miarodajny jest przykład Strasburga, gdzie dla praktycznego przekonania się o wyższości jednego z dwóch rodzajów oświetlenia, łukowego lub za pomocą gazu ścięśnionego, oświetlono jedną połowę ulicy lampami łukowymi, drugą — gazowymi. Użyte były lampy płomienne otwarte z węglami nasycenymi, stojącymi jeden nad drugim dla prądu zmiennego (dwóch różnych systemów), oraz trzy rodzaje lamp z gazem ścięśnionym. Na zasadzie pomiarów okazało się, że lampy łukowe dały średnie poziome oświetlenie 9—13,3 Lux, gazowe 3—5,7 Lux; ogólny koszt eksploatacji wynosił przy lampach łukowych na 1 Lux, 100 m² i godzinę 0,139—0,172 fen., a przy gazowych 0,3—0,45 fen. Ceny prądu i gazu wzięte były według obowiązujących w Strasburgu cen miejskich, mianowicie 7 fen. za 1 l gazu i 6,9 fen. za kW-godz. Dokładność tych pomiarów znalazła swoje potwierdzenie w tem, że miasto zdecydowało sprawę na korzyść elektryczności, pomimo nawet tego, że gazownia jest miejska, a stacja elektryczna — prywatna. Podobne wyniki otrzymano w Karlsruhe.

Prof. Wedding, znana powaga w dziedzinie oświetlenia, doszedł na zasadzie swoich badań do wniosku, że koszt światła elektrycznego łukowego odnosi się do kosztu światła, otrzymanego zapomocą gazu ścięśnionego, prawie jak 1 : 3, co zaś do oświetlenia żarówkami metalowymi, znalazł Wedding, że kosztuje ono tyleż, co oświetlenie gazem ścięśnionym (brane były pod uwagę jednowatówki).

Co do drugiego konkurenta — lamp rtęciowych, z których najgroźniejsze są lampy kwarcowe, zużywające 1/5 W./św. i nie wymagające żadnej obsługi, to współzawodnictwo z nimi trudnym na razie jest tylko tam, gdzie barwa światła nie odgrywa prawie żadnej roli; do oświetlenia ulic i placów jest jednak ta lampa jeszcze niezdatna, chociaż lampy kwarcowe mają już znacznie lepszą barwę światła, a lampa z anodą, składającą się ze stopu kadmu i rtęci, pomysłu rodaka naszego, p. Wolfkego, ma mieć barwę światła bardzo zbliżoną do światła lamp łukowych; dotychczas jednak nie spotkałem się z żadną wzmianką o użyciu tych lamp na większą skalę. Wogóle są już wypadki zamiany lamp łukowych kwarcowymi przy oświetlaniu dworców kolejowych, placów na składy fabryczne lub towarowe, portów i t. p. i to z wynikiem bardzo dodatnim.

W Ameryce jest w użyciu bardzo dużo lamp magnety-

towych do oświetlenia ulicznego, co zawdzięcza ona nie jakimś specjalnym swoim zaletom, lecz przystosowaniu się do warunków amerykańskich, mianowicie posiada ona dużą trwałość, dochodzącą do 250 godzin, a zatem pochłania mniejsze koszty na obsługę, która w Ameryce jest bardzo droga, powtóre zaś oszczędność jej jest dobra przy łączeniu po kilka w większe seryje, np. przy 500 V, co jest bardzo ulubione w Ameryce. Boston posiada 3500 lamp magnetytowych, które mają dawać 3 razy lepsze światło przy tym samym koszcie, co używane poprzednio lampy o łuku krytym. Streszczając to, co można w obecnym stanie techniki lamp elektrycznych powiedzieć o zastosowaniu lampy łukowej do oświetlenia ulicznego, dochodzimy do następujących wniosków: Lampy łukowe z czystymi węglami dla prądu stałego ustępują pod względem oszczędnościowym lampom półwatowym, ponieważ ich zużycie właściwe jest 0,5—0,9 W./św., a więc średnio wyższe, niż zużycie właściwe półwatówek, zaś koszty zamiany węgla i obsługi są zawsze wyższe, niż koszt zamiany i oczyszczenia lampy półwatowej. Tem bardziej dotyczy to lampy łukowej z czystymi węglami dla prądu zmiennego, ponieważ zużywają one 1—1,4 W./św. Natomiast lampy łukowe z węglami nasycenymi, a zwłaszcza nowszych systemów i przy zastosowaniu odpowiednich reflektorów mogą z korzyścią współzawodniczyć z półwatówkami przy użyciu jednostek powyżej 1000—1500 świec. Tego rodzaju lampy zużywają od 0,17—0,45 W./św., a średnio około 1/4 W./św., a więc, pomimo nawet większych kosztów eksploatacji, są w przeważnej liczbie wypadków, t. j. przy obecnych cenach normalnych prądu, ekonomiczniejsze od półwatówek. Weźmy praktyczny przykład oświetlenia ulicznego: 100 lamp łukowych 10-amperowych paliło się 1000 godzin przy koszcie 5 fen. za 1 kW-godz., dając po 2300 świec; roczny koszt prądu i obsługi wraz z zamianą węgla wynosił 5110 mk. Gdyby zamienić je przez 100 półwatówek 2000-świecowych, to koszt wyniósłby 8125 mk. Tem większa naturalnie wypadnie różnica, jeśli cena prądu jest wyższa. Jeszcze raz jednak muszę się zastrzedz, że nie można absolutnie opierać się z góry na tego rodzaju obliczeniach, podawanych w piśmie, a zwłaszcza broszurach reklamowych, lecz trzeba dla każdego wypadku konkretnego powtórzyć obliczenie, opierając się na danych faktycznych, ponieważ w tych porównaniach albo zestawiane są nieodpowiednie typy lamp, albo brane są nieodpowiednie liczby godzin palenia się lamp lub węgla, albo wreszcie wyliczenie dane ma wartość tylko dla zastosowanych w tym wypadku cen prądu lub gazu. Gdy chodzi o jednostki świetlne ponad 3000 świec, trzeba wziąć pod uwagę lampy łukowe, gaz pod ciśnieniem i ewentualnie lampy kwarcowe. Że światło elektryczne może skutecznie współzawodniczyć z gazo-żarowym, dowodzą różne obliczenia, np. według statystyki angielskiej wydatek średni na rok i świecę z 14-tu miast, w których ulice oświetlone są gazem i elektrycznością, wypadł dla światła gazo-żarowego 2,7 raza większy, niż dla światła elektrycznego; w Londynie koszt 1 świecy elektrycznej wynosił rocznie 8,2 kop., gazowej zaś 18,0. Zwolennicy światła gazowego przytaczają zwykle przykład Berlina, gdzie światło gazowe jest rozpowszechnione bez porównania więcej, niż elektryczne; przykład ten jednak sam w sobie niczego jeszcze nie dowodzi, ponieważ gra tu wielką rolę ta okoliczność, że Berlin posiada gazownię miejską, stacja elektryczna zaś jest w rękach prywatnych. Nie będę zatrzymywał się nad porównaniem kosztów światła elektrycznego i naftowego, ponieważ, jeśli dajemy w pewnych wypadkach pierwszeństwo naftcie przed elektrycznością dla oświetlenia ulic, to nie wypływa to ze względów oszczędności przy eksploatacji, lecz ze względów natury instalacyjnej; przytoczę tylko, że koszt 1000 godzin jednej świecy naftowej wynosi 7,35 fen., gdy tymczasem dla światła łukowego wynosi to 4—5 fen. przy cenie 20 fen. za kW-godz.

Duże i niedostatecznie dotychczas ocenione znaczenie mają dla oświetlenia ulicznego klosze, a zwłaszcza reflektory. Jeżeli chcemy uchronić źródła światła od działania prądu powietrza, wilgoci, kurzu i t. p., to otacza się je kloszami ze szkła przezroczystego; jeżeli chodzi oprócz tego o rozproszenie światła lub uniknięcie oślepienia, to używamy kloszy opalowych, opalinowych, alabastrowych, matowych i mlecznych, wreszcie ze szkła szlifowanego, tak zwane „holofanowe“. Klosze te mało wpływają na krzywą podziału światła,

jeśli podział ten jest względnie równomierny, natomiast, jeśli rozdział światła bez zastosowania klosza jest bardzo nierównomierny, to klosz w znacznym stopniu wpływa na złagodzenie różnic jaskrawych. Przy zastosowaniu klosza mamy zawsze pewne straty wskutek absorbowania światła; dla rozmaitych kloszy strata ta wynosi w % średniej sferycznej siły światła:

Klosze przezroczyste	3 — 10 %
„ opalowe	10 — 20 „
„ matowe	15 — 30 „
„ alabastrowe	20 — 40 „
„ mleczne	30 — 50 „

Reflektory mają przede wszystkim na celu podział światła i skierowanie go tam, gdzie jest ono potrzebne, a więc najczęściej na dolną półkulę. W ten sposób reflektory wywołują zwiększenie średniej półsferycznej siły światła, jednocześnie jednak absorbują część padającego na nie światła i w ten sposób zmniejszają średnią sferyczną. Najważniejszym jest działanie reflektorów przy tych rodzajach świa-

ta, które, jak np. żarówki lub stojące światło gazo-żarowe, rzucają znaczną część swego światła na górną półkulę. Kwestya reflektorów długi czas nie była traktowana dostatecznie poważnie i naukowo, pomimo, że ma ona wielkie znaczenie praktyczne; dopiero w ostatnich czasach naukowo prowadzone badania wykazały, że liczne formy reflektorów mają znaczenie minimalne, i wówczas rozpoczęto konstrukcje, oparte na badaniach teoretycznych, co dało wyniki bardzo dodatnie. Tak np. badania Harrisona wykazały, że żarówka metalowa bez odpowiedniego reflektora daje w kierunku 10—15° pod poziomą, a więc w kierunku bardzo ważnym dla oświetlenia ulicznego—na 1 wat 0,91 św. H., gdy tymczasem przez zastosowanie specjalnej armatury i reflektora otrzymujemy w tym samym kierunku 1,71 świecy H. na 1 wat, a więc blisko dwa razy więcej. Okoliczność, że światło elektryczne pozwala na zastosowanie specjalnie korzystnych reflektorów, które są niemożliwe przy gazie wskutek wielkiego wydzielania ciepła, jest uważana za wielką zaletę lamp elektrycznych. Wogóle na tem polu jest jeszcze wiele do zrobienia.

DROBNE WIADOMOŚCI.

Koło Elektrotechników. *Sprawozdanie z posiedzenia odbytego w d. 6 grudnia r. z.* Przewodniczący kol. Gnoiński, obecnych 37 kolegów. Po odczytaniu sprawozdania z poprzedniego zebrania, przewodniczący udzielił głosu kol. Potempskiemu, który wygłosił odczyt pomieszczoney w niniejszym zeszytcie na temat:

„Współczesne oświetlenie elektryczne ulic i placów”.

Prelegent zwrócił uwagę na zaniechanie sprawy oświetlenia ulicznego przez większość miast Królestwa, gdyż zaledwie kilkanaście z nich posiada oświetlenie gazowe lub elektryczne. Taki stan rzeczy ulegnie zmianie z chwilą zaprowadzenia samorządu miejskiego i dlatego ważnym jest zdać sobie sprawę z różnych sposobów oświetlania ulic. W krótkich słowach przypomniął prelegent o jednostkach promienia świetlnego (Lumen), oświetlenia (Lux), siły światła (w ilości świec określanych w różnych krajach rozmaicie) i blasku światła. Dla oświetlenia ulicznego ważne jest oświetlenie na wysokości 1,5 m w płaszczyźnie poziomej. Wymagania co do intensywności i równomierności oświetlenia są różne, zależnie od większego lub mniejszego ruchu na oświetlanej ulicy, czy placu. Przedstawiliśmy wymagania, jakie w poszczególnych wypadkach stawiać należy oświetleniu ulic i placów, prelegent przeszedł do porównania rozmaitych sposobów oświetlenia elektrycznego (lampy żarowe 1 i ½-watowe, oraz lampy łukowe i kwarcowe) i gazo-żarowego, nie tylko pod względem ekonomicznym, lecz i jakościowym. Wreszcie zwrócił uwagę prelegent na reflektory, które przez umiejętne zastosowanie zdolne są obniżyć koszt oświetlenia, kierując właściwie światło, oraz wpływając na lepszy podział światła w różnych kierunkach.

Ożywioną dyskusję zagalł kol. Gnoiński, wspominając o nowych próbach racjonalnego oznaczania siły światła lamp elektrycznych: dla żarówek proponuje się oznaczanie siły tej dla dolnej i górnej sfery, dla lamp łukowych—dla dolnej. Kol. K. Sliwiński przytacza przykład lampy kwarcowej, zastosowanej przez niego w jednej z cukrowni. Wymaga ona bardzo niewielkiej obsługi i służy czas długi, zużywa jednak nieco więcej watów na świecę, niż podawał prelegent. Kol. Potempski wyjaśnia, że liczby zużycia, podane przez niego, dotyczą lamp najnowszej konstrukcji. Kol. Siemaszko wspomina o dokonanych przez niego pomiarach oświetlenia na wiadukcie w Al. Jerozolimskich, które były czynione dla ustalenia, co będzie odpowiedniejsze: pozostawienie lamp łukowych, czy też zawieszenie na tych samych słupach i wysokości lamp półwatowych wysokoświecowych. Wyniki pomiarów doprowadziły do uznania lamp łukowych za odpowiedniejsze. Kol. Opęchowski objaśnia te wyniki większymi stratami światła w armaturach zastosowanych do lamp półwatowych, jak również tem, że miasto nie uwzględnia strat w transformatorach lamp łukowych, gdyż za energię w nich straconą nie płaci towarz. elektrowni. Kol. Tarczyński zwraca uwagę na korzyści stosowania do oświetlenia ulicznego armatur z kilkoma lampami, które dają możliwość otrzymania w porze wieczornej lepszego oświetlenia, podczas nocy zaś słabszego, lecz równomiernego, wspomina o praktycznych wynikach używania do oświetlenia zewnętrznej armatury bez szkieł ochronnych, tudzież o niewłaściwym stosowaniu, przy oświetleniu ulicznym małych miasteczek, oddzielnych wyłączników przy każdej lampie. Ostatni system jest nader nieracjonalny, gdyż nie wyzskuje się przy nim cennej zalety oświetlenia elektrycznego, jaką jest centralizacja obsługi. W pewnych wypadkach godnym natomiast zalecenia jest użycie wyłączników odległościowych, umożliwiających zapalanie i gaszenie lamp z elektrowni.

Sprawozdanie z posiedzenia odbytego w d. 20 grudnia r. z. Po odczytaniu protokołu z poprzedniego posiedzenia, przewodniczący kol. K. Gnoiński udzielił głosu kol. B. Dembińskiemu, który wygłosił referat na temat:

„Elektryfikacja miejskich stacji pomp wodociągowych i kanalizacyjnych”.

Po ogólnem omówieniu sposobów zaopatrywania miast w wodę i opisanu stacji pomp wodociągowych i kanalizacyjnych w kilku

większych miastach, prelegent stwierdził, że stacje te, wskutek małej mocy instalowanych maszyn, zmienności obciążenia w ciągu doby, niskiego ciśnienia pary zwykle nieprzegrzanej i stosowania maszyn wolnochojących, pracują naogół nieekonomicznie, gdyż zużycie węgla dochodzi w nich do 4,81 kg na konia i godzinę. Z tego powodu poczęto w ostatnich latach stosować do wodociągów i kanalizacji pompy szybkochojące odśrodkowe, poruszane zapomocą silnika parowego (Paryż), spalinowego (Hameln), wreszcie elektrycznego (Berlin, Warszawa—stacja kanalizacyjna na Pradze). Wobec dobrych wyników, osiągniętych przez zastosowanie napędu elektrycznego, byłoby do życzenia, aby nasze miasta prowincjonalne przy zaprowadzaniu wodociągów i kanalizacji korzystały dla nich ze wspólnych urządzeń z elektrownią; w ten sposób zarówno kosztu urządzenia, jak i eksploatacyi mogą się znacznie zmniejszyć. Prelegent podał przykład miasta o 30 000 mieszkańców, dla którego same pompy parowe wolnochojące będą kosztowały więcej, aniżeli pompy odśrodkowe z silnikami i turboprądnicą do wytwarzania prądu: do napędu pomp wodociągowych i kanalizacyjnych, zasilania lamp oświetlenia ulicznego i dla odbiorców prywatnych.

W dyskusyi inż. Z. Wendrowski sprostował przytoczone przez prelegenta dane co do kanalizacji i wodociągów, służące za podstawę do obliczanych przez prelegenta tablic, mianowicie:

ilość wody na głowę i dobę średnio wynosi w Warszawie 85 l, ilość wód ulewnych, na którą jest obliczona większa część sieci kanalizacyjnej naszego miasta—10—15 l z hektara przez sekunde.

Wobec wielu zalet stosowania energii elektrycznej, szczególnie zaś łatwej jej zamiany na mechaniczną, od lat kilkunastu przy różnych projektach wodociągów i kanalizacji, przeróbkach i uzupełnieniach, zawsze jest poruszana myśl, czy nie byłoby celowem zastosowanie energii elektrycznej, np. przy budowie stacji pomp kanalizacyjnych przy ulicy Dobrej róg Karowej. Szczegółowa kalkulacja techniczna, przy uwzględnieniu oprocentowania i amortyzacyi kapitału i bezpośrednich kosztów eksploatacyi przy zastosowaniu prądu elektrycznego ze Stacji Centralnej przy cenie 3—4 kop. za kW-godzinę, nie wykazywała znacznej oszczędności. Wskazywano, co gorsza, że dołączenie raptowne do sieci elektrycznej pomp o sile 400 kW było ponad moc elektrowni i żądano uprzedniego zawiadomienia na pół godziny. W takich okolicznościach o elektryfikacyi Stacji pomp kanalizacyjnych nie mogło być mowy. Stacja na prawym brzegu Wisły w Gołędzinowie jest tymczasowa, budowana bez żadnego planu, i dlatego jej całkowita elektryfikacja jest wynikiem dążenia do możliwie małych wydatków jednorazowych, z wyraźną stratą dla miasta przy obecnej cenie za prąd elektryczny. Stacja pomp wodnych przy ul. Czerniakowskiej podnosi 100 m³ na wysokość 45 m za 50 kop., co czyni koszt kW-godziny rzeczywiście zaledwie 4 kop.

Inż. R. Baranowicz uważa, że przeprowadzenie elektryfikacyi stacji pomp wodociągowych i kanalizacyjnych nie jest rzeczą tak prostą, jakby się to na pozór wydawało. Że tak jest, dowodem tego jest fakt usiłowania zastąpienia pomp wodociągowych tłokowych, przez inne rodzaje pomp nie koniecznie o napędzie elektrycznym, np. nowe pompy Humphreya beztłokowe, eksplozyjne, zastosowane świeżo na stacji wodociągowej w Londynie. Pompy tłokowe mają tę ogromną przewagę nad pompami odśrodkowymi, że współczynnik wydajności pierwszych jest o wiele wyższy, niż odśrodkowych, i jeżeli wogóle może być mowa o elektryfikacyi stacji pomp, to już chyba tylko dotyczyć to może stacji przepompowywania ścieków kanalizacyjnych, szczególnie w związku z przepompowywaniem wód burzowych. W tym bowiem wypadku przy stosowaniu pomp tłokowych parowych trzeba mieć stałe kotły pod parą, by być na wszelki wypadek ulewy przygotowanym. Jest to rzeczywiście stroną ujemną takich urządzeń i tutaj właśnie współzawodniczyć może zastosowanie elektropomp. Tak właśnie urządzona jest najnowsza stacja oczyszczania i przepompowywania ścieków kanalizacyjnych w Kaditz pod Dreznem, gdzie ustawione są na wypadek deszczów ulewnych (podczas wysokiego stanu wód w Elbie) olbrzymie odśrodkowe t. zw. „Cyklop” pompy o wydajności 5000 l na sekundę,

osadzone na jednym wale z elektromotorem o sile 350 k. m. Naogół jednakże niepodobna powiedzieć nie stanowczego na korzyść tego lub owego systemu i w każdym poszczególnym wypadku trzeba tę rzecz rozstrzygnąć oddzielnie.

Kol. Tarczyński przytacza dane ze stosunków galicyjskich, gdzie napęd elektryczny zastosowano na stacjach pomp wodociągowych: w Tarnowie, Nowym Sączu, Czortkowie, a ostatnio i na Bielanach pod Krakowem. Jak korzystnie na działalność elektrowni wpływa posiadanie takiego odbiorcy, jak wodociągi—świadczą wyniki osiągnięte w Tarnowie: moc instalacji stacji pomp wynosi 25,4% ogółu przyłączeń, spotrzebowanie zaś energii—52,5%, liczba godzin pracy tej stacji 3140 w ciągu roku, gdy tramwajów 620 godz., silników w odbiorców 341 i lamp 336 godz. Ruch stacji pomp, przy posiadaniu odpowiedniej wielkości zbiornika wody, ma miejsce przed południem i podczas nocy, skutkiem czego otrzymuje się równomierne obciążenie elektrowni. Współczynnik wyzyskania elektrowni tarnowskiej wynosi 40,9%, gdy w zwykłej elektrowni miejskiej, służącej głównie dla światła, 25,8%.

Ze stosowanie napędu elektrycznego jest korzystnym i dla wodociągów, świadczy przykład miasta Bochni, które, posiadając urządzenia wodociągowe z 2-ma maszynami parowymi po 50 k. m., po 8-miu latach ich ruchu, przy zamierzonej budowie elektrowni, bierze pod uwagę elektryfikację stacji pomp, co jest połączone z wydatkiem na silniki elektryczne i kabel wysokiego napięcia około 30 000 kr. Przykładem innego rodzaju połączenia elektrowni ze stacją pomp jest miasto Mińsk litewski, w którym wspólna kotłownia obsługuje obydwie zakłady. Wreszcie wspomina, że galicyjski Wydział Krajowy udziela ze specjalnego funduszu zapomogi i niskoprocentowe pożyczki miastom na zaprowadzenie wodociągów. Ze sprawę tę można połączyć z budową elektrowni, świadczy miasto Borszczów, w którym, przy zamierzeniu urzędniczym z funduszu Wydziału Krajowego wodociągów, projektowano użyć silniki ropne, pędzące pompy do napędu dynamomaszyn.

Kol. St. Sliwiński zaznacza, że przy napędzie elektrycznym stosuje się szybkochochzące pompy odsrodkowe, a tych sprawność wynosi zaledwie 60%, gdy dla pomp tłokowych wolnochochzących przekracza 80%, ta okoliczność może znacznie wpłynąć na wyniki eksploatacji.

Kol. Jaworski zwraca uwagę, że i do napędu pomp tłokowych można stosować silniki elektryczne.

Następnie przewodniczący poruszył sprawę posiadania własnej biblioteki przez Koło, gdyż księgozbiór Stowarzyszenia jest za ubogi w dzieła treści elektrotechnicznej. Uchwalono na razie wydatkować 50 rb. na kupno dzieł polskich, a przewodniczący zwraca się z apelem do kolegów-autorów, by ofiarowali własne prace do tej biblioteki. Postanowiono też wszcząć starania u władz politechniki, by członkowie Koła mogli korzystać z biblioteki tej uczelni.

Sprawozdanie z posiedzenia odbytego w d. 3 stycznia r. b. Przewodniczy kol. Gnoiński. Po odczytaniu protokołu z poprzedniego zebrania, zabiera głos kol. Tarczyński i wygłasza referat na temat:

„Zasady obliczania taryf prądu“.

W pierwszej części referatu prelegent na zasadzie wyników, osiągniętych przez dwie elektrownie miejskie: wileńską i tarnowską, posiadające odmienny rodzaj odbiorców (pierwsza—typowych dla przeważnej liczby elektrowni, z przewagą światła, druga—bardziej nowoczesna pod względem posiadanych odbiorców, dostarcza energię głównie dla potrzeb samego miasta: do uruchomienia stacji pomp wodociągowych, tramwajów, tudzież do oświetlenia ulicznego), rozpatrzył, jak na wyniki eksploatacji zakładu elektrycznego wpływa rodzaj odbiorców. Przeważde odbiorców na siłę zawdzięcza elektrownia tarnowska wysoki współczynnik wyzyskania swych urządzeń. Dla elektrowni nie jest zatem obojętnym, w jaki sposób odbiorca zużytkowuje energię, i czy korzystnym będzie spożywający dużą ilość energii w stosunku do maksymalnego jednoczesnego zapotrzebowania, czerpiący prąd czas dłuższy i w porze mniejszego obciążenia zakładu. Jednym z ważniejszych zadań kierownictwa elektrowni musi być pozyskanie większej liczby odbiorców i to możliwie korzystnych dla zakładu; ułatwia to odpowiednio ułożona i zastosowana taryfa prądu. Winna ona dawać lepsze warunki tym korzystnym odbiorcom i wogóle pobudzać do używania energii w sposób najbardziej pożądanym przez elektrownię. W cenach prądu taryfy należy uwzględnić stopień, w jakim odbiorca przyczynia się do wysokości kosztów produkcji i kosztami tymi obciążyć w odpowiedni sposób spóżywców.

Druga część referatu była poświęcona opisaniu obecnie używanych taryf: licznikowej, ryczałtowej i mieszanej, t. j. ryczałtowo-licznikowej wraz z ich różnymi odmianami, oraz rozpatrzeniu, o ile taryfy te odpowiadają zaznaczanym poprzednio warunkom. Na zakończenie referent wyraził życzenie, aby więcej uwagi poświęcać sprawie taryf prądu, jako mającej wielkie znaczenie dla rozpowszechnienia elektryczności i rozwoju elektrowni miejskich.

W dyskusji kol. Opęchowski i Basis informują o opłacie ryczałtowej, wynoszącej 1 rb. od pokoju, jaką elektrownia warszawska zmuszona była wprowadzić dla nowoprzybywających odbiorców, z powodu braku liczników; jest to tylko środek tymczasowy i w przyszłości instalacje te otrzymać mają liczniki. Zdaniem tych kolegów i kol. Kühna, próby z tą taryfą na gruncie warszawskim nie pozwolą wyprowadzić żadnych wniosków, co do jej praktyczności, gdyż nie stosuje się żadnych przyrządów, ograniczających wielkość zużycia prądu i odbiorcy korzystają z oświetlenia w sposób nieumiejętny lub wprost rabunkowy. Kol. Kühn wspominał o małej ruchliwości elektrowni warszawskiej pod względem zjednywania sobie odbiorców drogą stosowania różnych odmian taryf, co kol. Opęchowski wytyłmaczył trudnościami formalnymi, związanymi z warunkami koncesyj. Kol. Jaworski podnosi, że brak zainteresowania u nas dotychczas

sprawami taryfowymi pochodzi stąd, że posiadamy zbyt mało elektrowni miejskich, a zatem i mało pobudek do zajmowania się tą kwestją. Kol. Meeh i Gnoiński zwracają uwagę, że elektrownia warszawska mogłaby przyczynić się do większego rozpowszechnienia oświetlenia elektrycznego, gdyby wzorem gazowni wykonywała instalacje gratisowe. Kol. Rzewnicki stwierdza, że taryfę ryczałtową wprowadzono już podczas wojny w Płocku, oraz że ma być stosowana przez sosnowiecką elektrownię okręgową. Kol. Szczygliński zwraca uwagę, że elektrownia łódzka jest bardziej ruchliwą niż warszawska; dla pozyskania odbiorców prądu stosuje cztery różnorodne odmiany taryf i ryczałtową dla światła w sklepach.

Następnie kol. Brokman porusza sprawę uchwalonego przez zarząd miasta podatku od energii elektrycznej i wyraża obawę, aby ten podatek nie przeistoczył się na stały, co mogłoby wpłynąć hamująco na rozwój zastosowań elektryczności, szczególnie dla przemysłu drobnego. Przemówienia kol. Kühna i innych wyjaśniają, że jest to środek czasowy, który przy zastój obecnym tego ujemnego wpływu nie wyrwie, że jednak należy czuwać, aby nie pozostał na stałe.

Kol. St. Sliwiński występuje z wnioskiem urządzenia przez koło cyklu odczytów popularnych, mających na celu zapoznanie szerszego ogółu ze zjawiskami elektrycznymi; zdecydowano, aby życzęcy przyjąć udział w charakterze prelegentów porozumieć się z kol. Sliwińskim i opracowali szczegółowiej ten projekt.

Przewody żelazno-miedziane. Wzrost cen miedzi zniwala do zastępowania jej o ile możliwości przez inne metale. Z tego powodu czynione są próby używania w elektrotechnice przewodów żelaznych lub stalowych z dostatecznie grubą powłoką miedzianą. Przewody podobne wykonane po raz pierwszy w Ameryce, poczynają obecnie być stosowane i w Europie. Sposób ich wykonania jest następujący: blok żelazny lub stalowy o średnicy 150—160 mm i długości 0,75 do 1 metra, po uprzednim oczyszczeniu za pomocą kwasów i silnem nagrzaniu, pogrąża się w roztopionej miedzi, posiadającej temperaturę 1500—1600°. Skutkiem wysokiej temperatury miedź osadza się na powierzchni żelaza i przenika do jego wnętrza, tworząc na powierzchni bloku stop z żelazem. Tak przygotowany blok umieszcza się następnie w formie o wewnętrznej średnicy 200 mm, którą napenia się roztopioną miedzią; miedź ta łączy się ze stopem miedzi i żelaza powierzchni bloku lepiej niż z czystym żelazem i tworzy na bloku powłokę grubości ok. 25 mm. Przepuszczając blok z tą powłoką przez zespoły grubych i drobnych walcarek, otrzyma się drut żądanej grubości, który będzie miał rdzeń z czystego żelaza i zewnętrzną powłokę z czystej miedzi, połączone warstwą stopu miedzi i żelaza. Stosunek ilości miedzi i żelaza w drucie będzie ten sam, co w bloku pierwotnym, gdyż metale te wydłużają się zupełnie równomiernie. Stosunek ten może być dowolnie obrany i waha się pomiędzy 1:1 i 9:1. Cena przewodów podobnych, dorównujących prawie miedzi pod względem przewodnictwa elektrycznego, jest znacznie niższa niż czysto miedzianych.

Żarówki półwatowe zamiast lamp łukowych i gazowych przy oświetleniu ulicznym. Oświetlenie ulic i parków miejskich w Nowym Jorku za pomocą 40 000 lamp elektrycznych i 45 000 gazowych kosztowało w r. 1913 ok. 3 382 mil. dolarów. Zastąpienie 15 000 lamp gazowych przez żarówki półwatowe o dwukrotnie większej sile świetlnej, oraz wielu lamp łukowych przez także żarówki ma przynieść w r. 1915 ok. 400 000 dol. oszczędności. Koszt oświetlenia jednego tylko z mostów skutkiem zastosowania żarówek 300 wat. zamiast lamp łukowych zmniejszy się o 4000 dol. rocznie.

Koszta roczne palenia i jednej lampy żarowej—półwatowej 300 wat. wynoszą 70 dol., 400 wat.—77 dol., gdy lampy łukowej—85 dol.

Podobnie w Chicago zastąpiono przy oświetleniu ulicznym lampy łukowe przez 2000 żarówek wolframowych półwatowych. W dzielnicach handlowych użyto lampy o sile świetlnej 1100—1200 św., w dzielnicach zaś mieszkalnych—600 św. Żarówki te dla napięcia 30 woltów są włączone do obwodów dawnych lamp łukowych po 125 w jedną grupę.

Czas służby maszyn elektrycznych. O czasie służby maszyn elektrycznych i tem samym wysokości stawki, jaką należy przyjmować na ich odpisy, praktyka daje mało informacji, gdyż są one w użyciu od stosunkowo niedawnego czasu i skutkiem ciągłego rozwoju i postępów elektrotechniki, maszyny, będące nieraz w dobrym stanie, są zastępowane przez maszyny innego typu, lub o lepszej sprawności. Ciekawym przyczynkiem do tej sprawy jest artykuł d-ra Luis Bella w *Electrical World*.

Najdawniejsza w Kalifornii stacja elektryczna, służąca do przenoszenia energii na odległość za pomocą trójprądu o 10 000 woltach napięcia, posiada od r. 1893 dwie prądnice o mocy 250 kW każda i 2600 woltach napięcia. Po 20 latach pracy prądnice znajdują się w zupełnie dobrym stanie i mogą jeszcze służyć czas dłuższy.

Jednocześnie przytacza jednak autor przykład dwóch urządzeń prądu jednofazowego w Ameryce zachodniej, założonych również w r. 1893, które w ciągu 20-letniego istnienia posiadają już trzeci rodzaj maszyn. Pierwsze już po 2—3 latach jako przestarzałego typu zastąpiono przez inne, drugi zespół pracował również czas krótki.

Elektryczność przy wydobywaniu ropy. Na terenach naftowych okręgu Whittier w Kalifornii robiono, jak podaje *Electrical World*, próby nowego zastosowania elektryczności przy wydobywaniu ropy. Zapuszczenie na dno otworu wiertniczego grzejnika elektrycznego ma wpływać na zwiększenie otrzymanej z otworu ilości ropy, co się objaśnia tem, że gazy, znajdujące się w ropie, rozszerzają się skutkiem nagrzania, i zwiększona ich prężność powoduje silniejszy wypływ ropy. Grzejnik składa się z długiego cylindra mosiężnego z dużą liczbą szpul ogrzewających, o ogólnem zapotrzebowaniu energii ok. 9 kW.