

# NAJKORZYSTNIEJSZE PRZEKROJE.

Napisał **Stanisław Wysocki**, dypl. inż. elektr.

Przy projektowaniu urządzeń elektrycznych przywykliśmy obliczać przekroje wyłącznie tylko na spadek napięcia. W instalacjach oświetleniowych i mieszanych jest to najzupełniej uzasadnione, o ile chodzi o przewody i sieci rozprzewadzające. Natomiast wszelkie przewody wiodące prąd do silników i wszelkie przewody zasilające, bez względu na to czy służą do siły, czy światła, winny być obliczane z punktu widzenia gospodarczego, a więc na najniższe koszty prowadzenia prądu.

Właśnie w obecnej chwili wojennej okazało się, jak ważnym jest gospodarczy punkt widzenia, skoro z powodu podrożenia materiałów wypadło nawet w przepisach bezpieczeństwa pozmieniać wielkości dopuszczalnego prądu i dopuszczalne spadki napięć. Jeżeli jednak w czasie równowagi rynkowej można było obywać się bez obliczania „na oszczędność“, to dziś jest to obliczenie pierwszorzędnej wagi. Moglibyśmy się spotkać z odpowiedzią, iż inżynier projektujący nie ma czasu na zbyt złożone obliczenia. Tak jest, i właśnie dlatego chcemy go w tem wyręczyć, dając mu gotowe wzory i dane.

Wzorów wyprowadzać nie będziemy, choć bieg wywodu jest dość prosty i polega na zsumowaniu kosztów wywołanych stratą energii w przewodnikach, kosztów oprocentowania i umorzenia kapitału wyłożonego na instalację przewodów, a następnie na wyznaczeniu minimum tych kosztów przez różniczkowanie. Wyprowadzenie wzorów czytelnik znajdzie w książce C. Hochenegga „Anordnung und Bemessung elektrischer Leitungen“, dziś już przestarzałej, ale traktującej obliczenie z punktu widzenia gospodarczego bardzo szczegółowo. Dla ułatwienia czytelnikowi pozostawimy znakowanie Hochenegga bez zmiany.

Najkorzystniejszy przekrój  $Q$  oblicza się według wzoru:

$$Q = J \frac{z_b}{z_l} \dots \dots \dots (1^a)$$

gdzie  $J$  jest wielkością prądu w Amp.

- $z_b$  — wielkością stałą zależną od warunków ruchu i dlatego nazwiemy ją „liczbą ruchu“ (Betriebszahl);
- $z_l$  — wielkością stałą zależną od samych przewodników i dlatego nazwiemy ją „liczbą przewodu“ (Leitungszahl).

Nie wnikając tymczasem w istotę tych liczb, widzimy odrazu, iż z gospodarczego punktu widzenia przekroje proporcjonalne są do wielkości prądu, inaczej mówiąc, gęstość prądu jest wielkością stałą. Przekształcając ten wzór, otrzymujemy najkorzystniejszy spadek napięcia  $\Delta E_w$

$$\Delta E_w = \frac{L}{k} \frac{z_l}{z_b} \dots \dots \dots (1^b)$$

gdzie  $L$  — długość przewodu w metrach,  
 $k$  — współczynnik przewodnictwa.

Wzory te mogą być zastosowane do każdego przewodnika z osobna tylko w tym wypadku, gdy przewodniki te są niezależne jeden od drugiego. Gdybyśmy np. kilka przewodów zasilających z jednej sieci obliczyli w ten sposób, popełnilibyśmy błąd. Spadki bowiem napięcia w przewodnikach byłyby różne, a mianowicie—jak to widać ze wzoru (1<sup>b</sup>)—wypadłyby proporcjonalnie do ich długości. Inaczej mówiąc, odleglejsze punkty zasilające miałyby napięcie niższe, niż punkty bliżej elektrowni położone. Błąd polegał na tem, iż każdy przewód przyjęto za niezależną jednostkę, gdy w rzeczywistości wszystkie przewody zasilające razem tworzą jedną całość, skrupowaną warunkiem jednakowego spadku napięcia.

Obliczenie najkorzystniejszego spadku napięcia ( $\Delta E_w$ )<sub>m</sub> dla wszystkich przewodów zasilających wspólnej sieci, rozpatrywanych jako jedna całość, prowadzi do wzoru

$$(\Delta E_w)_m = \frac{1}{k} \frac{z_l}{z_b} \sqrt{\frac{\sum (J L^2)}{\sum J}} \dots \dots \dots (2)$$

Wartość pierwiastka przedstawia do pewnego stopnia średnią długość wszystkich przewodów zasilających. Z ogólnego wzoru (2), można również wyprowadzić wzór (1<sup>b</sup>), przyjmując wypadek specjalny, gdy sieć ma jeden tylko punkt zasilający.

Obliczywszy spadek ( $\Delta E_w$ )<sub>m</sub> według wzoru (2), dostosujemy do niego przekroje wszystkich przewodów zasilających i w ten sposób osiągnąmy równość napięcia w punktach zasilających.

Cechą charakterystyczną obliczenia z punktu gospodarczego jest niezależność spadku od napięcia roboczego. Jeżeli np. obliczamy sieć rozprzewadzającą na spadek napięcia 2%, to przy 220 V otrzymamy 4,4 V, a przy 440 V—8,8 V spadku. Natomiast przewody zasilające obliczane na oszczędność zarówno przy 220 V, jak przy 440 V, jak wreszcie przy każdym innym woltażu będą miały spadek napięcia jednaki.

Jedyną trudnością przy obliczaniu gospodarczem jest ustalenie liczby ruchu i liczby przewodu. Liczba ruchu

$$z_b = \sqrt{\frac{p_b}{100} b + \beta T} \dots \dots \dots (3)$$

gdzie  $p_b$  — % roczny na umorzenie i oprocentowanie kapitału wyłożonego na maszyny i przyrządy w elektrowni;

$b$  — koszt instalacji maszyn i przyrządów w elektrowni podzielony przez moc największego zapotrzebowania prądu, czyli koszt zakładowy 1 wata (wzgl. wolt-ampera) przy maksymalnym obciążeniu;

$\beta$  — koszt wyprodukowania 1 wat-godziny (wzgl. wolt-ampero-godz.);

$T$  — liczba godzin, w ciągu których elektrownia musiałaby pracować przy maksymalnym obciążeniu, aby stracić w sieci przewodników tyle watów, ile traci normalnie w ciągu roku; inaczej mówiąc, jest to średni czas trwania maksymalnych strat w ciągu roku.

Liczba przewodu

$$z_l = \sqrt{\frac{p_l}{100} a k} \dots \dots \dots (4)$$

gdzie  $p_l$  — % roczny na umorzenie i oprocentowanie kapitału wyłożonego na przewody;

$a$  — koszt instalacji 1 m przewodu podzielony przez przekrój  $Q$  w mm<sup>2</sup>, czyli koszt zakładowy 1 m przewodnika o przekroju 1 mm<sup>2</sup>;

$k$  — współczynnik przewodnictwa.

Jak widzimy, obie liczby są w wysokim stopniu zależne od cen rynkowych i od warunków eksploatacji. Obliczmy wartość tych liczb dla chwili obecnej i w zastosowaniu do przewodów zasilających prowincjonalnych sieci miejskich.

Cheąc ustalić liczbę  $p_b$  — przyjmijmy, iż budowane obecnie elektrownie przetrwają 10 lat, poczem przedstawiać będą 25% wartości wyłożonego kapitału. Jako stopę procentową przyjmijmy 6%. Procent na umorzenie wyniesie

$$(100 - 25) \frac{0,06}{(1 + 0,06)^{10} - 1} = 5,7.$$

Jeżeli dodamy do tego na oprocentowanie 6, a na podtrzymanie i naprawy maszyn 1,3%, otrzymamy

$$p_b = 5,7 + 6 + 1,3 = 13\%.$$

Koszt jednej z elektrowni o dwóch zespołach 75 + 40 kW wyniósł około 56 000 Mk. Licząc w danym wypadku jako najwyższe spodziewane obciążenie 75 kW, otrzymany na 1 W—0,75 Mk. Dla pewności powiększamy tę liczbę do 1 Mk

$$b = 1,0 \text{ Mk.}$$

Koszt własny wyprodukowanej 1 kWh przyjmujemy równy 0,38 Mk

$$\beta = 0,00038 \text{ Mk.}$$

Czas trwania maksymalnych strat w elektrowniach oświetleniowych waha się w granicach od 300 do 700 godzin, przyjmujemy

$$T = 400 \text{ godzin.}$$

Stąd liczba ruchu

$$z_b = \sqrt{\frac{13}{100} \cdot 1 + 0,00038 \cdot 400} = 0,531.$$

Co się tyczy sieci, to przyjmujemy, iż zawieszane obecnie przewody żelazne przetrwają 5 lat, poczem przedstawiać będą 15% wartości wyłożonego kapitału. Procent na umorzenie wyniesie

$$(100 - 15) \frac{0,03}{(1 + 0,06)^5 - 1} = 15,1.$$

Jeżeli dodamy do tego na oprocentowanie 6, a na podtrzymanie sieci i naprawy 1,9% otrzymamy

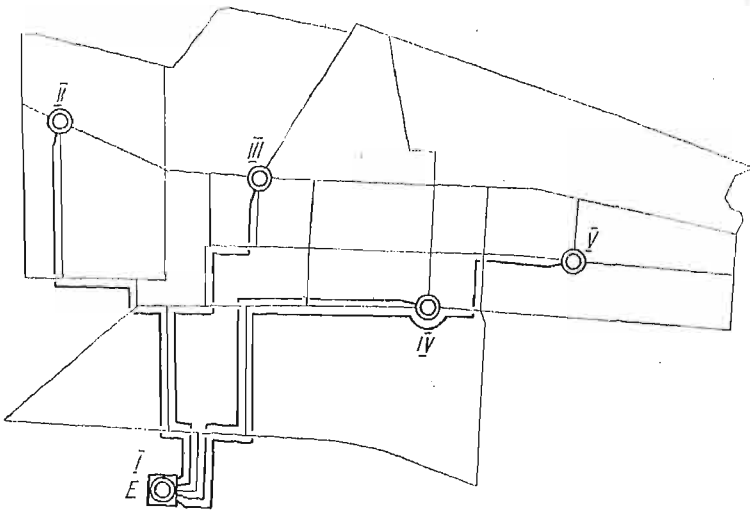
$$p_i = 15,1 + 6 + 1,9 = 23\%.$$

Przyjmując cenę przewodników żelaznych 1,5 Mk za kg, otrzymamy koszt zredukowany na 1 m długości i 1 mm<sup>2</sup> przekroju—0,012 Mk.

$$a = 0,012.$$

Przewodnictwo żelaza  $k=7,5$ . A więc liczba przewodu

$$z_i = \sqrt{\frac{23}{100} \cdot 0,012 \cdot 7,5} = 0,144.$$



Jeżeli chodzi o pojedyncze przewody, pracujące w powyższych warunkach, to możemy dla nich obliczyć najkorzystniejszą gęstość prądu

$$\frac{z_i}{z_b} = \frac{0,144}{0,531} = 0,271 \text{ Amp./mm}^2$$

i zestawić następującą tabelicę najkorzystniejszych obciążeń:

$Q = 4 \text{ mm}^2$	$J = 1,1 \text{ Amp.}$	$Q = 150 \text{ mm}^2$	$J = 41 \text{ Amp.}$
6	1,6	185	50
10	2,7	240	65
16	4,3	310	84
25	6,8	400	108
50	13,5	500	136
70	19,0	625	169
95	26,0	800	217
120	33,0	1000	271

Jak widzimy, obciążenia są niskie, znacznie niższe, niż można byłoby dopuścić ze względu na nagrzewanie.

Dla przykładu obliczmy przewody zasilające do sieci, które rozpatrywaliśmy poprzednio (*Przeł. Techn.* r. z. № 47 i 48, str. 447). Przy punktach zasilających (rys.) przewód wiodący prąd do punktu

I o długości pojedynczej	0 m, ma obciążenie 29,5 Amp. <sup>1)</sup>
II	1400 „ „ 28,5 „
III	1150 „ „ 56,0 „
IV	1100 „ „ 55,0 „
V	1650 „ „ 29,5 „

<sup>1)</sup> Obciążenie przewodów zasilających składa się z obciążenia sieci rozprowadzającej (I—1,1 kW, II—11 kW, III—22 kW,

Wstawiając te dane do wzoru (2)

$$(\Delta E_w)_m = \frac{1}{7,5} \frac{0,144}{0,531} \times$$

$$\sqrt{29,5 \cdot 0 + 28,5 \cdot 1400^2 + 56 \cdot 1150^2 + 55 \cdot 1100^2 + 29,5 \cdot 1650^2} = \frac{29,5 + 28,5 + 56 + 55 + 29,5}{7,5} \cdot 0,271 \cdot 1185 = 42,8 \text{ V.}$$

Ponieważ braliśmy długości pojedyncze, przeto znaleziony spadek napięcia jest również pojedynczym. Całkowity spadek w każdym przewodzie zasilającym wyniesie:

$$2 \times 42,8 = 85,6 \text{ V,}$$

co przy naszym woltażu—440 V,—wynosi 19,5%.

Jeszcze raz powtarzamy, iż przy obliczeniu gospodarzem niarodajną liczbą jest spadek absolutny, a nie procentowy. Gdybyśmy tę samą sieć obliczyli na 220 V, otrzymalibyśmy dla przewodów zasilających również 85,6 V spadku, co jużby stanowiło nie 19,5%, lecz 38% napięcia roboczego

Liczba punktów zasil.	4			5			8				
	Dopuszcz. spadek napięcia			2 × 45,08 V			2 × 42,8 V			2 × 45,21 V	
Przewody zasilające	Obciążenie	Długość	Przekrój	Obciążenie	Długość	Przekrój	Obciążenie	Długość	Przekrój		
	kW	m	mm <sup>2</sup>	kW	m	mm <sup>2</sup>	kW	m	mm <sup>2</sup>		
Do punktu I	17,4	0	—	13,0	0	—	8	0	—		
„ II	17,4	1400	95+95	12,5	1400	50+70	8	700	35		
„ III	34,8	900	95+95	24,5	1150	95+95	16	750	70		
„ IV	17,4	2050	95+70+70	24,0	1100	95+95	16	1400	70+70		
„ V	—	—	—	13,0	1650	70+70	8	2050	50+70		
„ VI	—	—	—	—	—	—	8	1400	70		
„ VII	—	—	—	—	—	—	15	1100	70+70		
„ VIII	—	—	—	—	—	—	8	1750	95		

Przekroje obliczone na powyższy spadek wypadają tak wielkie, iż ze względów praktycznych trzeba je rozdzielić na gałęzie równoległe; a mianowicie przewód zasilający do punktu

II—Q	= 125	będzie wykonany z 2 gałęzi	50 mm <sup>2</sup> + 70 mm <sup>2</sup>
III	= 201	„ „	95 „ + 95 „
IV	= 189	„ „	95 „ + 95 „
V	= 152	„ „	70 „ + 70 „

Okoliczność ta jednak zmienia nasze rachuby uprzednie w sprawie wyznaczenia najkorzystniejszej liczby punktów zasilających. Przyпускаłaliśmy bowiem dotychczas (*Przeł. Techn.* 1916, № 47 i 48), iż przewody zasilające będą pojedyncze. Obecnie koszt zawieszenia przewodów zasilających przy 5 punktach wzrasta dwójnasób. Przy 4 punktach zasilających — jak wskazuje tabelka powyższa — dwa przewody wypadają podwójne, a jeden potrójny. Wreszcie przy 8 punktach — cztery przewody byłyby pojedyncze, a trzy podwójne. Uwzględniwszy to wszystko, otrzymujemy zestawienie trzech pozycji kosztorysowych, zależnych od liczby punktów zasilających, w następującej formie ostatecznej:

Liczba punktów zasilających	N =	4	5	8
Koszt przewodników rozprowadzających Mk.		20 264	14 630	10 076
„ zawieszenia przewodn. zasilających Mk.		4 300	4 240	5 480
„ punktów zasilających Mk.		5 600	7 000	11 200
Suma Mk.		30 164	25 870	26 756

Jak widzimy, korekcja wprowadzona obecnie, w tym wypadku na rezultat nie wpłynęła (por. *Przeł. Techn.* 1916, str. 448). Sieć o pięciu punktach zasilających pozostała nadal najtańszą.

Co się wreszcie tyczy punktu I, znajdującego się w elektrowni, to chcąc utrzymać w nim napięcie stałe i równe in-

IV—22 kW, V—11 kW) i z obciążenia oświetlenia ulicznego (I—2 kW, II—1,5 kW, III—2,5 kW, IV—2 kW, V—2 kW). Liczby amperów otrzymano przy uwzględnieniu woltażu—440 V.

nym punktem, wypadnie włączyć w odpowiedni przewód dodatni i ujemny po oporniku dodatkowym o oporze  
 $42,8 : 29,5 = 1,45 \Omega$ .

W ten sposób sieć, którą wzięliśmy jako przykład, została w dwóch naszych artykułach całkowicie obliczona.

## BIBLIOGRAFIA.

Dr. Ing. G. Liebe. *Wind-Elektrizität*. Berlin 1915. Mk 2,80; str. 124, rys. 47. Pod szumnym tytułem kryje się treść dość uboga. Elektrotechnik interesujący się zastosowaniem wiatraków do napędu elektrycznego nie wiele ma tu do czytania, najwyżej 20 stroniczek. Reszta traktuje o „istocie elektryczności, o wytwarzaniu elektryczności w prądnicach, o przechowywaniu jej w akumulatorach i o rozprowadzaniu w przewodnikach“. Widocznie autor miał na myśli rolników, którzy, zakładając instalację wiatrowo-elektryczną, chcieliby nauczyć się wszystkiego z jednej niewielkiej broszury. Nie naszą rzeczą jest rozstrzygać, czy tego rodzaju wydawnictwa cel swój osiągają, postaramy się tylko wyłuszczyć z tej broszury kilka informacji, mogących interesować naszych czytelników.

A więc przede wszystkim, autor wymienia jako nadające się do napędu elektrycznego wiatraki czterościgowe i stalowe „turbiny wiatrowe“ z regulacją zapomocą chorągwi czyli steru, który przy wietrze powyżej 7 m/sek. zaczyna działać i stopniowo wyprowadza koło z powierzchni prostopadłej do kierunku wiatru. Wahania szybkości biegu takiego wiatru nie są większe od wahań turbiny zaopatrzonej w łopatki żaluzjowe. Prądnicą musi być obliczona na maksymalną wydajność, a przy normalnym wietrze 4—5 m/sek. może być obciążona najwyżej do połowy swej mocy. Prądnicą Rosenberga nie nadaje się do tego celu, natomiast dobre wyniki osiągnięto przy maszynie przeciwłukowo-bocznikowej z biegunami zwrotnymi. Maszyna nie powinna korzystać z akumulatorów do wzbudzenia magnesów, aby nie rozładowywać akumulatorów podczas godzin bezwietrznych. Opornik regulacyjny jest zbyt czuły. Przy-

rząd samoczynny do rozłączania i łączenia prądnic z akumulatorami jest, zdaje się celowo, tak opisany, aby go nie można było zrozumieć. Widać tylko, iż ma 2 uzwojenia: grube i cienkie, przy czym w to ostatnie włączone jest małe ogniwo polaryzacyjne z elektrodą platynową i glinową. Przez ogniwo przepływa w czasie rozruchu prąd niewielki i krótką tylko chwilę.

Najciekawszą jednak rzeczą jest w tego rodzaju broszurach opis wykonanych instalacji wiatrowo-elektrycznych. Niestety, i pod tym względem spotyka nas zawód. Pierwszą instalację taką zbudowano jakoby w roku 1901 w jakiejś fabryce farb w Saksonii. Drugą wybudował w roku 1902 prof. Paweł La Cour w Askov (w Danii). Trzecią wymienia autor w „Josephs-Polytechnicum“ w Budapeszcie, czwartą — w Wyższej Szkole Technicznej w Dreźnie. Znajdujemy jeszcze wzmiankę o jakiejś gminie w Lotaryngii, która jakoby od wielu lat pompuje wodę z oddali zapomocą silnika szeregowego i prądnicę szeregową poruszaną wiatrakami, następnie o 3 stacjach telegrafii bez drutu w koloniach holenderskich wreszcie już w dziale ogłoszeń drezdeńskiej firmy „Vereinigte Windturbinenwerke“ znajdujemy fotografię wiatrowej elektrowni wiejskiej w Portugalii. To wszystko.

Żeby już żadnej informacji nie pominąć, nadmienimy, iż w sprawozdaniu o tej broszurze w *E. T. Z.* (r. 1916, str. 463) jest mowa o setkach (?) elektrowni wiatrowych w Danii, posiadających się zwyczajnymi prądnicami bocznikowymi (system La Cour) i o firmie „Ziehl-Abegg-Elekt. Gesell.“ w Berlinie—Weissensee, która buduje specjalne prądnice do elektrowni wiatrznych. *St. Wys.*

## SPRAWY SZKOLNICTWA.

### Szkoła Rzemieślnicza Warsz. Gminy Starozakonnych.

Zarząd szkoły wydał interesującą książeczkę o 34 str., która jest sprawozdaniem i zarazem programem szkoły. Zawiera wiadomości ogólne o szkole, warunki przyjęcia uczniów, ich prawa i przywileje, rozkład zajęć, zaświadczenia, opinie o instytucji i listy uczniów.

Szkoła obejmuje 6 oddziałów zawodowych: 1) kowalsko-ślusarski, 2) artystyczno-ślusarski, 3) mechaniczno-ślusarski, 4) elektromechaniczny, 5) elektromonterski, 6) modelarsko- i meblowo-stolarski. Oddziały elektrotechniczne powstały w r. 1909. Sądząc z czego miejsc, szkoła kształci jednocześnie około 300 uczniów, z czego na oddziały elektrotechniczne przypada około 125 uczniów.

Szkoła przyjmuje uczniów w wieku od 13 do 17 lat i prowadzi ich w ciągu 5 lat przez klasę wstępną, I-szą, II-gą, III-cią i IV-tą. Od kandydatów do klasy wstępnej wymagana jest umiejętność płynnego czytania, pisanie bez ważnych błędów i rachowania liczbami całkowitemi. Lekcje trwają 3 godziny dziennie, zajęcia warsztatowe — w klasie wstępnej i I-szej — 3 godziny, a w klasach wyższych — 6 godzin. Godziny zajęć: od 8 do 11 $\frac{3}{4}$  i od 1 $\frac{1}{4}$  do 4 (w klasach niższych), względnie do 6 (w klasach wyższych). Wykładane są przeważnie przedmioty ogólnokształcące (język polski, arytmetyka, rysunki, geografia, historia, śpiew, higiena i kaligrafia). Przedmiotom specjalnym (rysunki techniczne, chemia, fizyka, mechanika, elektrotechnika prądu słabego, kotły i silniki, pędnie i obrabiarki) poświęca się względnie mało godzin.

Warsztaty posiadają 10 tokarek, heblarki, wiertarki, frezarki, gwinciarke, piły mechaniczne, prasy, warsztaty ręczne, kuźnię na 4 ogniska, 6 kowadeł, aparat kinematograficzny, roentgenowski, prądnicę i silniki elektryczne, tablice rozdzielcze, przyrządy miernicze i t. p. Wartość gmachu wynosi 45 tysięcy rubli, majątek ruchomy — 62 tysiące rubli. Utrzymanie szkoły kosztuje rocznie 26,5 tysięcy rubli, średnio na jednego

ucznia około 100 rb. Z wpisów od uczniów zamożnych wpływa rocznie 1200 rubli.

W oddziałach elektrotechnicznych uczeń kształci się bądź na elektrotechnika, bądź na elektromontera. Specjalizacja ta odbywa się dopiero w klasie IV. Elektromechanik buduje, naprawia i montuje maszyny i przyrządy, elektromonter zaś — projektuje i zakłada instalacje prądu słabego i silnego, montuje urządzenia elektromedyczne, kinematografy a także ćwiczy się w najprostszyc pracach laboratoryjnych.

Z listów pisanych przez uczniów do Zarządu szkoły widać, iż szkoła osiąga cel swój w zupełności. Uczniowie otrzymują stanowiska odpowiedzialne i dobrze płatne. Elektrotechnicy pracują jako rysownicy, magazynierzy, monterzy przy prądzie silnym i słabym, jako pracownicy w fabrykach maszyn elektrycznych i w elektrowniach. Zarobki przekraczają 1 markę na godzinę. Znaczna liczba uczniów wyjeżdża zagranicę, głównie do Ameryki.

Nadmienimy, iż szkoła powstała z inicjatywy b. p. d-ra Ludwika Natansona, kierowana jest przez znanego przyrodnika i pedagoga p. Maksymilianą Heilperna. *sw.*

**Elektrotechnika w szkołach warszawskich.** Oprócz Politechniki i Kursów wieczornych dla techników, jest jeszcze wykładana elektrotechnika w wielu szkołach specjalnych w Warszawie. Wykładający napotykają jednak na duże trudności do przewyciężenia, a temi są nie tylko zupełny brak odpowiednich podręczników, ale i brak przy szkołach pracowni elektrotechnicznych, umożliwiających pokazywanie doświadczeń słuchaczom i przerabianie ćwiczeń z nimi. Tylko szkoła techniczna Wawelberga i Rotwanda, Kursa dla elektromonterów przy Muzeum Przemysłu i Rolnictwa oraz Kursa zawodowego wykształcenia ślusarzy przy T-wie popierania drobnego przemysłu metalowego, posiadają mniej lub więcej zaopatrzone w odpowiednie pomoce laboratoryjne, reszta szkół zmuszona jest