

Biblioteczka
**PRZYJACIELA
PRZY PRACY**

Mgr inż. KAZIMIERZ PAZDRO

**CZY ZNASZ
NIEBEZPIECZEŃSTWO
ELEKTRYCZNOŚCI
STATYCZNEJ**

WYDAWNICTWO ZWIĄZKOWE

BIBLIOTECZKA „PRZYJACIELA PRZY PRACY“

MGR INŻ. KAZIMIERZ PAZDRO

CZY ZNASZ
NIEBEZPIECZEŃSTWO
ELEKTRYCZNOŚCI
STATYCZNEJ?



Warszawa 1960

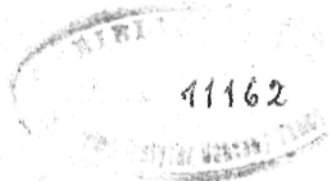
W Y D A W N I C T W O Z W I Ą Z K O W E

Opiniodawca
Anatol Dzikowski
Redaktor
Robert Trzeciński
Redaktor techniczny
Jerzy Brzosko
Korektor
Jerzy Kania

Zjawiska występowania elektryczności statycznej w praktyce przemysłowej i życiu codziennym mnożą się wskutek stosowania szeregu nowych materiałów, np. plastyków. Autor omawia wyczerpująco istotę tych zjawisk oraz ich przyczyny i okoliczności pojawiania się.

Na przykładach zaczerpniętych z praktyki wskazane są niebezpieczeństwa tych zjawisk i podane sposoby zapobiegania pojawianiu się napięć elektryczności statycznej oraz ich rozładowywaniu. Autor omawia również zagadnienie ochrony człowieka przed ich wyładowaniami, bądź pośrednimi skutkami ich powstawania.

Książka przeznaczona jest dla szerokiego kręgu pracowników, a w szczególności dla zakładowych służb bhp oraz technicznych i społecznych inspektorów pracy.



WYDAWNICTWO ZWIĄZKOWE - WARSZAWA 1960

Nakład 7.200 egz., objętość ark. wyd. 5,45, ark. druk. 5,5. Papier druk. sat. V kl. 70 g. Do składania oddano w lipcu; druk ukończono w październiku 1960 r.

Cena zł 10,-

Zakłady Graficzne RSW „Prasa” we Wrocławiu. Zam. 2131 H-18

DLACZEGO PISZEMY O ELEKTRYCZNOŚCI STATYCZNEJ?

Znane są tragiczne wypadki pożaru w czasie mycia benzyną np. podłogi lub w czasie prania czy czyszczenia benzyną osobistych rzeczy, np. rękawiczek. Nawet najbardziej staranne przestrzeganie podstawowych zasad przeciwpożarowych przy wykonywaniu takich czynności nie zapobiegało niespodziewanym wybuchom pożarów. Dawniej nie umiano wyjaśnić przyczyn takich pożarów, a i dziś wiele osób nie zdaje sobie sprawy, że to iskra elektryczna spowodowała wypadek.

Skąd wzięła się iskra elektryczna, skoro np. myjący podłogę benzyną w ogóle nie stykał się z instalacją elektryczną? Więcej nawet, w miejscu gdzie pożar wybuchł w ogóle nie było instalacji elektrycznej, a jednak iskra elektryczna była przyczyną wypadku.

Iskra ta pochodzi od elektryczności statycznej, która pojawia się w rozmaitych okolicznościach. Wywołana jest różnymi przyczynami powodując zniszczenia i wypadki. W Polsce nie mamy statystyki strat, których źródłem jest właśnie elektryczność statyczna, ale np. w Stanach Zjednoczonych ocenia się te straty rocznie na około 100 milionów dolarów! Niemala to kwota, która zresztą nie obejmuje strat pośrednich, jak przerwa w produkcji, obrażenia, a nawet śmierć pracowników i inne.

Elektryczność statyczna wpływa w różny sposób na straty w produkcji. Na przykład w zakładach przemysłu włókienniczego na skutek tarcia o części maszyny włókna wełny czy bawełny ładują się często elektrycznością statyczną i przylepiają do wątków nici, wzajemnie się odpychają, płaczą i nie układają równymi warstwami na szpulkach. W tkalniach po nocnym postoju maszyn osnowa tkanin jest wyraźnie zabrudzona i robotnice mają sporo pracy z usunięciem zanieczyszczeń.

I to też dzieje się z powodu elektryczności statycznej, ponieważ naelektryzowane nitki osnowy przyciągają przez czas postoju rozmaite stałe cząstki znajdujące się w powietrzu. Niestaranne usunięcie tych zanieczyszczeń powoduje „braki” (plamy)

w gotowym materiale. Plamy takie powstają szczególnie w okresach zimy, kiedy suche i nagrzane powietrze sprzyja gromadzeniu się elektryczności statycznej.

Dawniej nie orientowano się w znaczeniu tych zjawisk i w ujemnych skutkach jakie one powodowały. Nie zdawano też sobie sprawy z tego, w jakich okolicznościach może pojawić się elektryczność statyczna.

Zapewne niejednen z czytelników przypomina sobie historię polskiej wyprawy do stratosfery, którą organizowano w 1936 r. Balon napełniony wodorem miał wznieść się na wysokość powyżej 11 kilometrów, gdzie załoga zamierzała przeprowadzić badania naukowe. Jako miejsce startu balonu wybrano dolinę Chochołowską niedaleko Zakopanego. Wiadomo, że balon taki, aby mógł się wznieść możliwie wysoko, musi być napełniony gazem lżejszym od powietrza, np. wodorem lub helem. Wodór jest wprawdzie palny, ale zato łatwiejszy do otrzymania. Hel przeciwnie — nie jest palny, ale trudno go zdobyć. Balon naszej wyprawy miał być napełniony wodorem. Pewnej jesiennej nocy wyznaczonej na start rozpoczęto napełnianie powłoki balonu wodorem. Pomagał przy tym liczny oddział żołnierzy trzymając brzegi powłoki. Pogoda nie była zbyt korzystna, gdyż wiał silny wiatr i targał powłoką balonu. Nagle — kiedy balon był dopiero częściowo napełniony wodorem — powłoka stanęła w płomieniach, a żołnierze zostali poparzeni. Napewno wszelkie przepisy przeciwpożarowe były tam zachowane. Nie było też żadnych wyładowań atmosferycznych, które przecież byłyby bez trudności zaobserwowane przez licznie zgromadzonych ludzi. A jednak pożar wybuchł i zniszczył dużą część powłoki. Więc co się stało? Skąd pożar?

To właśnie iskra elektryczna była przyczyną wypadku. Wiatr szarpiąc powłokę balonu powodował jej tarcie i pojawienie się elektryczności statycznej. Nie jest też wykluczone, że wodór wypływając z butli stalowych łądował elektrycznością statyczną powłokę.

Głośna również była przed wojną historia, jaka wydarzyła się w gabinecie dyrektora pewnego banku. Dyrektor i jego gość usiedli w głębokich wygodnych fotelach klubowych. Po pewnym czasie, gdy skończyli rozmowę, gość wstaje, wyciąga do dyrektora rękę na pożegnanie i w tym momencie przekazuje iskra od ręki gościa do gospodarza. Oczywiście obaj przerazili się i zdumieli, bo skąd iskra? Czary to, czy cud? Ani jedno, ani drugie. Obaj ci panowie siedząc w fotelach poruszali się, co praktycznie oznaczało tarcie ubrania o fotele i pojawienie się elektryczności

statycznej. W momencie wyciągnięcia rąk nastąpiło iskrowe wyładowanie.

Inny przykład: kierowca wysiada z dużego amerykańskiego samochodu. Siedzenia kryte są pięknym materiałem, ale dla ochrony osłonięte przezroczystym, cienkim plastykiem. Po chwili kierowca wraca i w momencie, kiedy zbliża rękę do klamki samochodu, przeskakuje dość duża iskra między ręką a klamką. Tu również tarcie ubrania o plastyk spowodowało pojawienie się elektryczności statycznej i iskrowe wyładowanie.

Również przed wojną zorganizowaliśmy piękną wyprawę wysokogórską na szczyty Kordylierów, pasma górskiego w Ameryce Północnej. Jeden z uczestników tej wyprawy, W. Ostrowski⁴⁾ tak opisuje okoliczności występowania elektryczności statycznej: „Ciekawe zjawisko zaobserwowaliśmy na Maercedario (6 800 m). Otóż w związku z nadzwyczajną suchością powietrza (pomiar meteorologiczne określające wilgotność względną powietrza wskazywały często zero!) i naelektryzowaniem atmosfery występowało silne iskrzenie. Wkładając np. wełniane swetry lub włączając do jedwabnego śpiwora iskrzyliśmy się jak maszyny elektryczne. Długie iskry z nieprzyjemnym trzaskiem i kluciem „wyskakiwały” z człowieka. Elektryczne mrówki chodziły po brwiach i brodach.

Kolega Osiecki, który nie rozstawał się z aparatem filmowym i nawet w szalejącej burzy na Maercedario kręcił scenki do przyszłego filmu, musiał często przerywać pracę, bo — iskry skakały od wizjera aparatu do oka. Zachodziła nawet obawa, że film przesuwał się w aparacie będzie naelektryzowany i nastąpi iskrzenie wewnątrz kamery. W takim wypadku naturalnie cała praca byłaby zepsuta, film byłby prześwietlony. Na szczęście obawy nasze nie sprawdziły się”.

Widzimy więc, że elektryczność statyczna może pojawić się w różnych okolicznościach i różne powodować skutki. Dlatego właśnie w tej książeczce opiszemy „mechanizm” pojawiania się elektryczności statycznej i sposoby nie tylko obrony przed nią, ale także jej praktycznego wykorzystania.

Pragniemy jednak podkreślić, że celem tej broszury jest przede wszystkim dać czytelnikowi podstawy do zrozumienia zjawisk związanych z pojawianiem się elektryczności statycznej, a nie tylko gotowe recepty do zastosowania w poszczególnych przypadkach. Jest to ważne szczególnie dla tych, którzy w swej pracy mogą spotkać się z wystąpieniem elektryczności statycznej w urządzeniach, o których tu w ogóle nie będziemy wspominać.

⁴⁾ W. Ostrowski: Na szczytach Kordylierów, 1935 r.

I. SKĄD BIERZE SIĘ ELEKTRYCZNOŚĆ STATYCZNA?

Zapewne niejedyn z czytelników przypomni sobie z nauki fizyki doświadczenie, które przedstawia rys. 1. Laska szklana, lub ebonitowa potarta kawałkiem futra lub szmatki przyciąga drobne kawałeczki papieru. Niekoniecznie potrzeba do tego używać laski. Weźmy np. grzebień (tylko nie metalowy) i potrzymajmy



Rys. 1. Laska szklana potarta kawałkiem futra przyciąga drobne kawałeczki papieru

o rękaw marynarki. Zobaczymy, że będzie on przyciągał kawałki papieru.

Zjawisko to przy użyciu bursztynu znane było już w starożytności i długie lata pokazywane jako ciekawostka. Dopiero w XVI w.

Wiliam Gilbert (czytaj Dżilbert), lekarz królowej angielskiej Elżbiety, rozpoczął systematyczne badania tego zjawiska i przekonał się, że dwa różne ciała potarte o siebie przyciągają skrawki papieru, słomy itp. Te siły przyciągania nazwał Gilbert siłami elektrycznymi od greckiego słowa elektron, które oznacza bursztyn. Jedynie metale i kilka innych materiałów mimo bardzo intensywnego i długotrwałego pocierania nie nabrały zdolności przyciągania. Gilbert nie umiał tego wytłumaczyć. Obecnie wszystkie te zjawiska zostały dokładnie wyjaśnione.

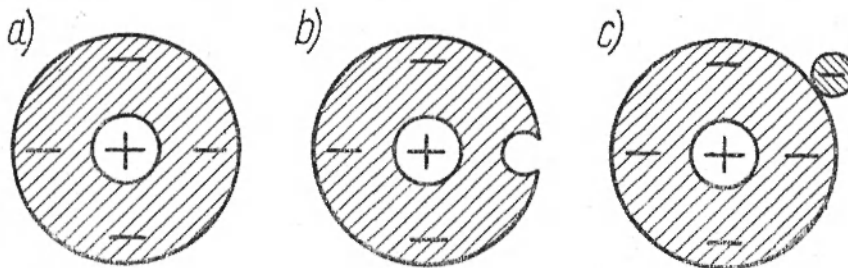
W zależności od pocieranych materiałów i warunków, siły elektryczne mogą objawić się nawet iskrzeniem. Możemy się o tym przekonać nawet w warunkach domowych: weźmy grzebień, potrzymajmy go o rękaw lub przeczeszmy się, a następnie przesunijmy grzebień bliźutko wzdłuż ucha. Usłyszymy wyraźne, ale delikatne trzaski, a jeżeli grzebień jest dobrze naelektryzowany, to nawet poczujemy leciutkie ukłucie. Zróbmy to doświadczenie w ciemności, a zobaczymy niebieskawe błyski iskielek.

Oczywiście ani rękaw, ani włosy nie mogą być tłuste, ponieważ grzebień pokryje się cieniutką warstewką tłuszczu i wtedy

będziemy w rzeczywistości pocierali tłuszcz o tłuszcz, a nie grzebień o włosy, a dla wystąpienia siły elektrycznej konieczne jest pocieranie o siebie dwóch różnych ciał.

Rozpatrzmy teraz opisane zjawiska od strony technicznej.

Wszystkim chyba wiadomo, że atom składa się z jądra, dookoła którego wirują elektrony. Zarówno elektrony jak i jądro obdarzone są pewną ilością elektryczności (elektrony elektrycznością ujemną, a jądro dodatnią). Tę ilość elektryczności, którą posiadają elektrony lub jądro, nazywamy nabojem lub ładunkiem elektrycznym. Ładunki elektryczne elektronów i jądra wzajemnie się przyciągają i równoważą, tak iż na zewnątrz atomu nie da się zaobserwować jakiegokolwiek działania tych sił elek-



Rys. 2. a — atom, w którym naboje elektryczne ujemne równoważą się z dodatnimi; b — atom, który stracił jeden elektron, ma obecnie nadmiar elektryczności dodatniej; c — elektron z atomu b przylgnął do innego atomu, który obecnie ma nadmiar elektryczności ujemnej

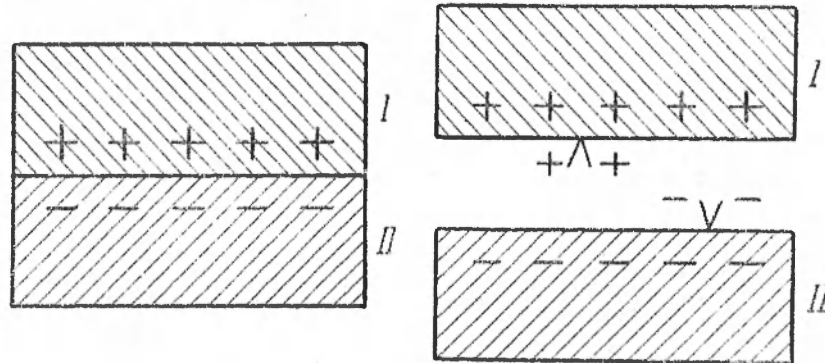
trycznych. Na rys. 2a jest przedstawiony atom w postaci małej kuleczki. Jądro atomu oznaczamy jako + (plus), a krążące dookoła elektrony, obojętnie ile ich jest i po jakich torach krążą, jako — (minus).

Powiedzieliśmy, że atom taki jest na zewnątrz elektrycznie obojętny. Ale może się zdarzyć, że z jakiegoś powodu jeden elektron zostanie wyrwany z atomu (rys. 2b) i przyczepiony do innego atomu rys. 2c). Nastąpi wówczas oczywiste zaburzenie równowagi i atom, który stracił jeden elektron, wykazuje nadmiar elektryczności dodatniej, atom zaś, który zyskał jeden elektron wykazuje nadmiar elektryczności ujemnej. Różnica w ilości elektryczności powoduje, że pomiędzy tymi atomami pojawiło się napięcie elektryczne.

A teraz zapytajmy, kiedy elektron zostaje z jednego atomu wyrwany, a do innego przyczepiony?

Przesunięcie elektronów następuje w miejscach styku w czasie pocierania o siebie dwóch różnych materiałów. Część elektro-

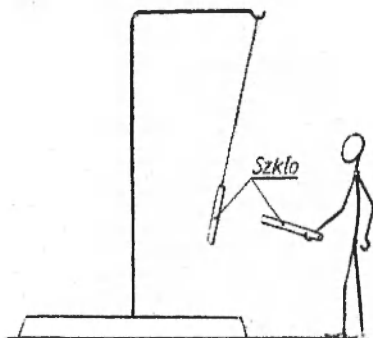
nów (rys. 3) przechodzi z materiału I do II, wskutek czego materiał I naelektryzowany zostaje dodatnio, a materiał II ujemnie. Na zewnątrz tego nie widać, ale jeżeli odsuniemy je od siebie — możemy przy pomocy paseczków cieniutkiej cynfolii prze-



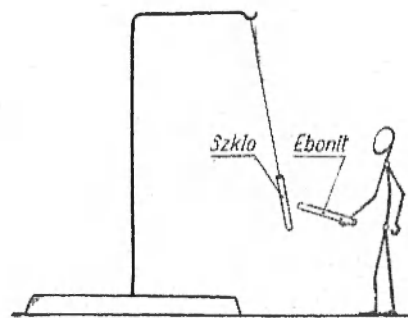
Rys. 3. Na powierzchni styku dwóch różnych materiałów pojawiają się ładunki elektryczne

konać się, że obydwa materiały zostały naelektryzowane. Końce paseczków pod wpływem elektryczności rozchylają się, ponieważ naboje elektryczne tego samego znaku odpychają się.

Naelektryzujemy na przykład szklany pręt przez pocieranie futerką i zawieśmy go swobodnie na cienkiej nici. Po zbliżeniu doń drugiego, również naelektryzowanego pręta szklanego zobaczymy wyraźne odpychanie się prętów (rys. 4). Natomiast zbliżenie naelektryzowanego pręta ebonitowego powoduje wyraźne przyciąganie (rys. 5). Jeżeli więc ta sama pałeczka raz



Rys. 4. Dwa naelektryzowane pręty szklane odpychają się



Rys. 5. Naelektryzowane pręty ebonitowy i szklany przyciągają się

jest przyciągana, a raz odpychana, świadczy to, że istnieją dwa różne rodzaje elektryczności. Odkrył je francuski uczoney Du Fay w 1730 r. i jedną nazwał elektrycznością szklaną, a drugą elektrycznością żywiczną.

Dziś mówimy, że na szkle gromadzi się elektryczność dodatnia, a na ebonicie (żywicy) elektryczność ujemna. Wiedząc o tym możemy przy pomocy takich naelektryzowanych, leciutkich i swobodnie zawieszonych pręcików szklanych lub ebonitowych stwierdzić, jakiego rodzaju elektryczność pojawiła się na badanych przez nas przedmiotach.

Wnikliwe badania fizyków nad zjawiskami pojawiania się elektryczności statycznej wykazały, że nie tylko tarcie powoduje jej wystąpienie, ale wystarczy zetknięcie i oddzielenie od siebie dwóch różnych materiałów. Tarcie jest właśnie takim zetknięciem. Wiemy, że nawet najlepiej wygładzone powierzchnie oglądane w bardzo dużym powiększeniu są w rzeczywistości bardzo nierówne i stykają się z sobą tylko w nielicznych miejscach. Tak np. przy bardzo starannym doszlifowaniu dwóch płytek ich miejsca zetknięcia obejmują zaledwie około jedną tysięczną część całkowitej powierzchni. Oczywiście, że przy pocieraniu znacznie większa liczba punktów styka się z sobą, a więc i większa liczba elektronów przechodzi z jednego materiału do drugiego. Znaczy to, że przez pocieranie możemy nieco intensywniej naelektryzować dany materiał. Oczywiście, że takie elektryzowanie ma swoje granice, bowiem w rzeczywistości żadnych nowych ładunków nie wytwarzamy, lecz jedynie wpływamy na przejście elektronów.

Uzyskanie pewnej, zresztą ograniczonej ilości elektryczności statycznej zależy od właściwości materiałów, które z sobą stykamy czy pocieramy. Gdybyśmy nawet cały dzień pocierali futerką laskę szklaną to uzyskamy zawsze tą samą ilość elektryczności. Nagromadziła się tam pewna jej ilość i nigdzie nie odpływa. Jest zmagazynowana, jest w stanie spoczynku, jest statyczna.

Inaczej przedstawia się sprawa z maszyną wytwarzającą prąd, z tzw. generatorem w elektrowni. Włączyliśmy np. żelazko elektryczne do sieci i w tym samym momencie popłynie wprost z odległej nawet elektrowni tyle energii elektrycznej, ile jej żelazko pobiera (w rzeczywistości popłynie nieco więcej ze względu na straty w sieci rozdzielczej). I tak jest z każdym odbiornikiem energii elektrycznej.

A co się dzieje wtedy w elektrowni? Ta ilość energii, która potrzebna jest np. do żelazka, natychmiast i bieżąco jest produk-

wana dzięki zamianie energii cieplnej (para w turbinie) na energię elektryczną (w generatorze¹). W elektrowni nie ma żadnej energii z magazynowanej ani w stanie spoczynku. Tu wszystko jest w ciągłym ruchu, a więc nie statyczne. Pamiętajmy jednak, że nośnikami zarówno energii elektrycznej płynącej przewodami z elektrowni do naszych domów, jak i tej pojawiającej się w zjawiskach elektrostatycznych są takie same elektrony.

Wróćmy jednak do zagadnień powstawania elektryczności statycznej. Skoro istotną sprawą elektryzowania jest zetknięcie i oddzielenie, zatem ładunki elektryczności statycznej muszą pojawiać się także przy każdej czynności, gdzie następuje stykanie i rozdzielanie się materiałów (wysypywanie, rozdrabnianie, naciskanie itp.). Również przy ruchu płynów (przelewianie, filtrowanie, pompowanie itp.) i gazów (wypływ z butli, rurociągów, dysz itp.) występują zjawiska elektrostatyczne.

Oczywiście, że pojawienie się elektryczności statycznej jest tylko tam niebezpieczne, gdzie mamy do czynienia z materiałami lub pomieszczeniami niebezpiecznymi pod względem wybuchowym. W innych przypadkach możemy narazić się czasem na dotkliwy wstrząs, np. gdy elektryczność statyczna wyładowuje się przez nasze ciało.

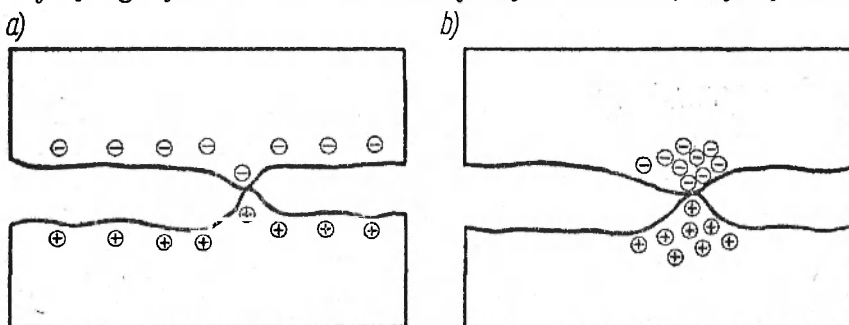
Elektryczność statyczna może pojawić się właściwie na wszystkich ciałach, ale na jednych ładunki elektryczne utrzymują się przez dłuższy czas, a z innych znikają prawie natychmiast. Dlaczego tak się dzieje?

Są materiały, które dobrze przewodzą elektryczność, jak np. wszystkie metale, a są i takie, które źle ją przewodzą, jak np. szkło, guma i inne. Wyrażając się bardziej technicznie, możemy powiedzieć, że są materiały, w których elektrony poruszają się bardzo swobodnie, a w innych poruszają się z największą trudnością. Zależy to od właściwości danych materiałów i ma zasadniczy wpływ na pojawianie się elektryczności statycznej.

Stykamy z sobą dwa różne materiały, ale takie, w których elektrony poruszają się z największą trudnością. Pewna liczba elektronów przesunęła się z jednego materiału do drugiego. W momencie odsuwania od siebie tych materiałów (rys. 6a) nic się nie zmieni, materiały zostaną naelektryzowane. Gdy zaś zetkniemy ze sobą dwa różne metale, to podobnie jak poprzednio, elektrony również się przesuną, w momencie zaś odsuwania

¹ Generator działa podobnie jak pompa wodna, lecz zamiast wody przetłacza ładunki elektryczne.

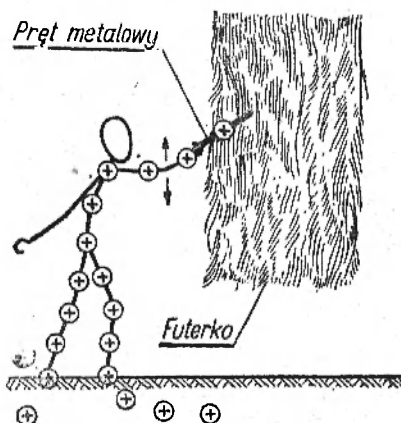
(rys. 6b) wszystkie elektrony powrócą z powrotem do atomów, z których poprzednio uciekły, i to przez miejsce, w którym materiały najpóźniej rozłączą się. Oczywiście nie trudno się domyślić, że materiały takie nie dadzą się naelektryzować, a przyczyną tego jest właśnie ta nadzwyczajna swoboda, z jaką elek-



Rys. 6. Moment przed rozdzieleniem dwóch materiałów:
 a) źle przewodzących elektryczność,
 b) dobrze przewodzących elektryczność

trony poruszają się w metalach. Zanim zdołamy odsunąć od siebie dwa kawałki metalu, wszystkie elektrony spływają z powrotem.

Nieco inaczej przedstawia się sprawa, gdy pocieramy czy stykamy z sobą metal i materiał, w którym elektrony poruszają się z trudnością, tzw. materiał izolacyjny. Takie dwa materiały dadzą się naelektryzować właśnie dlatego, że przynajmniej w jednym z nich elektrony nie są swobodne. Ale nie możemy metalu trzymać bezpośrednio w ręce, gdyż przez ciało człowieka elektrony również przechodzą dość swobodnie i wobec tego wszystkie spłyną do ziemi (rys. 7). Pręt metalowy można tylko wtedy naelektryzować, gdy będzie trzymany przy użyciu izolacji. Wręcz przeciwnie jest z laską ebonitową. Połączona nawet bezpośrednio z ziemią zachowa



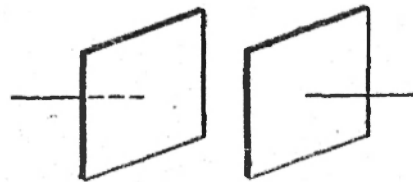
Rys. 7. Ładunki elektryczne z metalu spływają do ziemi przez ciało człowieka

przez dość długi czas ładunki elektrostatyczne właśnie dlatego, że ebonit jest materiałem źle przewodzącym elektryczność.

W związku z tymi zjawiskami, które opisaliśmy powyżej, można podzielić wszystkie materiały na dobrze przewodzące i źle przewodzące. Podział taki jest nam potrzebny z tego względu, że innymi sposobami odprowadza się ładunki elektryczne z materiałów dobrze przewodzących, a innymi z materiałów źle przewodzących. Zagadnienie odprowadzania ładunków elektrycznych jest bardzo ważne, gdyż chcąc uniknąć przeskoku iskry pomiędzy materiałami czy przedmiotami, które naelektryzowały się, musimy ich ładunki odprowadzić.

Przedmioty, na których ładunki elektryczności statycznej szczególnie łatwo się gromadzą, nazywamy kondensatorami.

Kondensator składa się z dwóch płytek metalowych (materiał dobrze przewodzący) przedzielonych jakimś materiałem izolacyjnym (materiał źle przewodzący). Najprostsza forma kondensatora (rys. 8) — to dwie płytki, które zwykle nazywamy okład-



Rys. 8. Najprostszy kondensator elektryczny

kami, z przymocowanymi przewodami ułatwiającymi odprowadzenie (a także doprowadzenie) ładunków elektrycznych. Pomiedzy okładkami znajduje się powietrze jako materiał izolacyjny. Zamiast powietrza może być również szkło, papier itp. Kondensatory są bardzo pospolitymi częściami

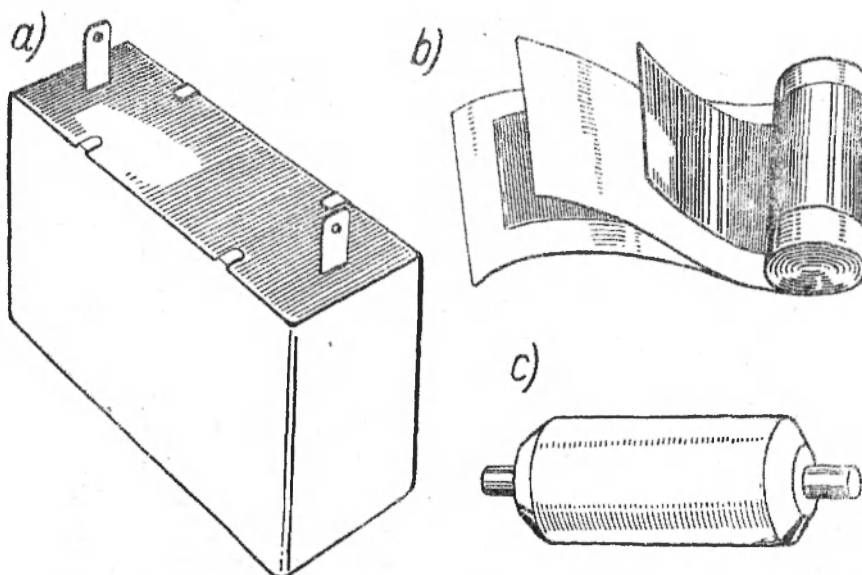
wszystkich radiodbiorników, telewizorów i innych elektronicznych przyrządów i wykonywane są w rozmaitych kształtach (rys. 9).

Charakterystyczną cechą kondensatorów jest ich pojemność. Tak jak każde naczynie ma określoną pojemność na jakiejś cieczy czy materiały sypkie, tak kondensator ma określoną pojemność dla ładunków elektrycznych. Oczywiście, że im większa pojemność, tym więcej elektryczności może on gromadzić.

Pojemność jest tym większa im większa jest powierzchnia płytek, ale również im bliżej siebie znajdują się okładki. Dlatego najchętniej stosujemy papier jako przekładki izolacyjne pomiędzy okładkami. Również i materiał przekładek ma pewien wpływ na pojemność. Jeżeli pomiędzy płytkami kondensatora zamiast powietrza znajdzie się parafina, to jego pojemność wzrośnie dwukrotnie. Jeżeli mamy ebonit, to pojemność wzrośnie pra-

wie trzykrotnie, przy szkłe — zależnie od jego gatunku — dziesięciokrotnie, a przy alkoholu (materiał palny) nawet trzydziestokrotnie.

Wynika z tego, że materiały izolacyjne, które możemy używać do oddzielania płytek kondensatora, posiadają jakieś specjalne



Rys. 9. Kondensatory: a) blokowy, b) paski cynfolii przedzielone cienkim papierem, c) rurkowy

właściwości, które określamy jako „zdolność do zwiększania pojemności kondensatora”. Elektrycy umówili się, że tę zdolność będzie się oznaczać liczbą, która powie nam, ile razy zwiększy się pojemność kondensatora, jeżeli zamiast powietrza¹⁾ wstawimy tam dany materiał izolacyjny. Liczbę tę nazywamy stałą dielektryczną, a wynosi ona np. dla parafiny 2, dla ebonitu prawie 3, dla szkła nawet 10, a dla alkoholu prawie 30.

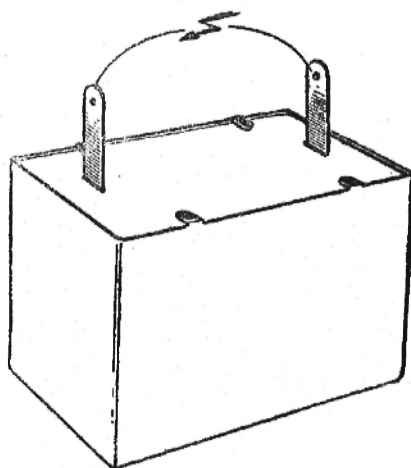
Stała dielektryczna zdradza nam jeszcze jedną tajemnicę. Dotychczas mówiliśmy, że przy pocieraniu, czy zetknięciu dwóch ciał na jednym z nich pojawia się elektryczność dodatnia, a na drugim ujemna. Ale na którym dodatnia, a na którym ujemna?

¹⁾ Właściwie zamiast próżni, ale ta różnica nie jest istotna.

Właśnie dzięki znajomości stałej dielektrycznej (którą można znaleźć w każdym kalendarzu elektrotechnicznym) możemy przewidzieć, gdzie i jaka elektryczność pojawi się.

Stykając z sobą dwa ciała o różnych stałych dielektrycznych powodujemy dodatnie elektryzowanie się ciała o wyższej stałej dielektrycznej, a ujemne — ciała o niższej stałej. Opierając się na tej zasadzie, popartej przez doświadczenie, możemy ułożyć następujący szereg materiałów: parafina, ebonit, szkło, alkohol itd. Z tego szeregu wynika, że jeżeli ebonit potrzymamy parafiną, to ebonit naładuje się dodatnio, a parafina ujemnie, ale jeżeli ebonit potrzymamy szkłem, to wtedy naładuje się on ujemnie, a szkło dodatnio. Orientacja i znajomość tego, jak dane materiały elektryzują się — będzie nam potrzebna przy omawianiu sposobów usunięcia elektryczności statycznej z rozmaitych urządzeń przemysłowych.

Naładowany elektrycznością kondensator możemy rozładować przez połączenie obu końcówek drutem (rys. 10). Zwykle między końcami drutów następuje przeskok iskry, zanim zdążymy druty



Rys. 10. Połączenie drutem okładek naładowanego kondensatora spowoduje jego rozładowanie

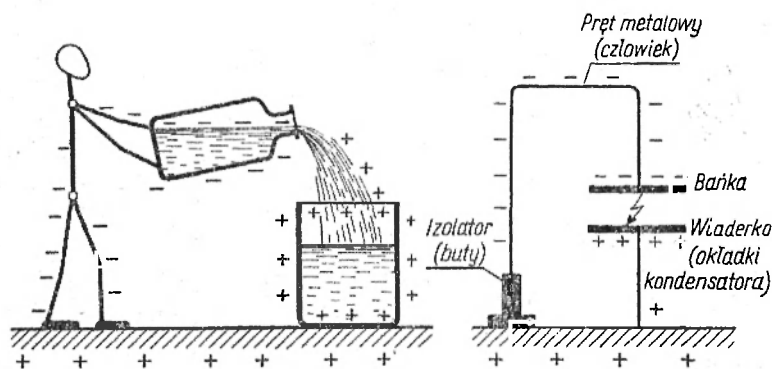
połączyć. Przy wykonywaniu tego doświadczenia trzeba być bardzo ostrożnym, gdyż przez dotknięcie okładek rękami można również spowodować rozładowanie kondensatora przez własne ciało, a przy dużym kondensatorze (jakie stosuje się w niektórych urządzeniach przemysłowych) doświadczenie może się skończyć porażeniem.

Właśnie kula ziemską jest takim olbrzymim kondensatorem, i to o bardzo dużej pojemności. Może niejednen z czytelników pokiwa w tym miejscu z powątpiewaniem głową myśląc, gdzie tu jedna okładka, a gdzie druga?

Właśnie jedną okładką jest ziemia, a drugą jonosfera, tzn. warstwa otaczająca kulę ziemską na wysokości ok. 80 kilometrów. Sama ziemia jest naładowana elektrycznością ujemną. Dowodem tego są wyładowania elektryczne w formie piorunów pomiędzy ziemią a chmurami; świad-

czą one, że ziemia musi mieć jakiś ładunek elektryczny, a skoro ma ładunek, to sama musi być okładką kondensatora.

Rozpisaliśmy się tak szeroko o kondensatorach, gdyż zjawiska elektryczne, które łączą się z nimi, są bardzo ważne i w życiu codziennym i w praktyce przemysłowej. Na przykład człowiek przelewający benzynę przedstawia również pewien kondensator. Sam człowiek i naczynie, które trzyma w ręce — to jedna okładka kondensatora, a naczynie, które stoi na ziemi — to druga okładka. Ciecz przelewana — to materiał przedzielający obie okładki kondensatora. Na rys. 11 widzimy człowieka



Rys. 11. Człowiek, który przelewa benzynę, przedstawia wraz z bańką i wiaderkiem kondensator elektryczny

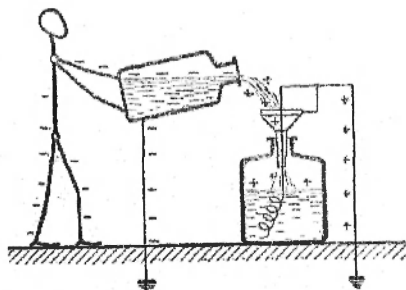
w butach na gumowej podeszwie, więc dobrze izolującej go od ziemi. Przelewa on benzynę z metalowej bańki do wiaderka metalowego, które stoi bezpośrednio na ziemi. Na skutek tarcia benzyny o brzegi i ścianki boczne bańki pojawiają się ładunki elektryczności statycznej i tak się rozkładają, że bańka i człowiek uzyskali nadmiar elektronów, a wiaderko na ziemi ma obecnie nadmiar elektryczności dodatniej. Również i w ziemi widzimy ładunki dodatnie dochodzące do butów człowieka. Izolujące podeszwy uniemożliwiają wyrównanie się tych ładunków, wobec czego elektryczność dodatnia i ujemna gromadzi się osobno. Ilość nagromadzonej elektryczności zależy od pojemności kondensatora.

Dla lepszego zrozumienia przebiegu tego zjawiska posłużyliśmy się układem zastępczym (schematem), na którym bańka i wiaderko stanowią bezpośrednie okładki kondensatora. Pręt metalowy, który podtrzymuje górną okładkę — to człowiek.

A izolator, w którym jest osadzony pręt, to buty człowieka. Nagromadzenie się pewnej ilości elektryczności na tym kondensatorze może spowodować przeskok iskry, który narysowaliśmy w formie strzałki pomiędzy okładkami. W rzeczywistości iskra przeskoczy pomiędzy bańką a wiaderkiem i wtedy nastąpi wybuch. Dla ścisłości należy zaznaczyć, że nogi pracownika wraz z ziemią, przedzielone gumowym obuwem, stanowią również pewien kondensator, na którym także może nastąpić przeskok iskry. Ale ponieważ tu iskra nie spowoduje żadnego wybuchu, więc sprawę tę pomijamy.

Co w takim razie robić, aby móc przelewać benzynę, a jednak nie dopuścić do wybuchu i pożaru? Wystarczy połączyć drutem bańkę z ziemią (uziemić). Wystarczy też, jeżeli człowiek będzie miał buty przewodzące prąd elektryczny.

Na rys. 12 pracownik również przelewa benzynę z bańki metalowej i sam stoi bezpośrednio na ziemi. Nawet bańka jest osobno uziemiona, aby ułatwić odprowadzenie ładunków do ziemi. Ale naczynie, do którego przelewa się benzynę jest z materiału izolacyjnego i bezpośrednie połączenie go z ziemią nic nie pomoże. W tym przypadku musimy połączyć wprost benzynę w naczyniu z ziemią, najlepiej przy pomocy giętkiej miedzianej linki. Uziemiamy również metalowy lejek, na którym także gromadzą się ładunki elektryczności statycznej.



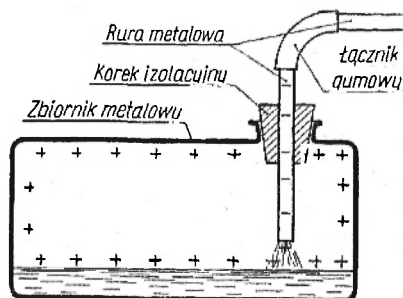
Rys. 12. Przy przelewaniu benzyny do naczynia z materiału izolacyjnego trzeba bezpośrednio uziemić benzynę

Jednak wyładowanie iskrowe nie zawsze musi spowodować wybuch. Do wywołania

wybuchu potrzebna jest mianowicie pewna określona ilość energii elektrycznej, która dla każdej mieszaniny wybuchowej jest na ogół inna. Zależy ona z kolei od pojemności układu i od czasu, w którym trwa przelewanie. Przekonano się np., że podczas filtrowania cieczy łatwiej dochodzi do wybuchu, niż podczas zwykłego przelewania. Jest to zrozumiałe, gdyż filtrowanie odbywa się zwykle wąską strugą, przy czym łączna powierzchnia cieczy, która trze o ścianki naczynia i wytwarza ładunki elektryczne jest znacznie większa, niż gdy ciecz wypływa szeroką strugą. Ciecz bierze więc przez dłuższy czas udział w oddawaniu

elektronów metalowej bańce, a więc i większy ładunek elektryczny nagromadzi się na kondensatorze, który utworzył człowiek wraz z naczyniem.

Również przykładem pojawiania się ładunków elektryczności statycznej przy ruchu cieczy jest napełnianie zbiornika stacyjnego lub przewodnego. Wyobraźmy sobie, że do zbiornika, który mamy napełnić jakąś łatwopalną cieczą, wprowadziliśmy metalową rurkę (rys. 13) uszczelniając ją gumowym korkiem, a więc izolującą tę rurkę od samego zbiornika. Rurka połączona jest z metalowym rurociągiem, którym tłoczmy ciecz również przy pomocy gumowego łącznika. Ciecz ocierając się o ścianki tego kawałka rurki tkwiącego w korku gumowym powoduje pojawienie się ładunków elektrostatycznych i to np. ujemnych na rurce, a dodatnich na ściankach zbiornika. Przy burzliwym wypływie cieczy z rurki i rozbryzgiwaniu się jej o



Rys. 13. Pompowanie benzyny do zbiornika

dno i ścianki boczne zbiornika powstają dodatkowo ładunki elektryczności statycznej. Więc znowu mamy naładowane elektrycznością dwa przedmioty: rurkę i zbiornik, i w jakimś niekorzystnym momencie może nastąpić iskrowe wyładowanie, powodując wybuch mieszanki nagromadzonej w zbiorniku i pożar.

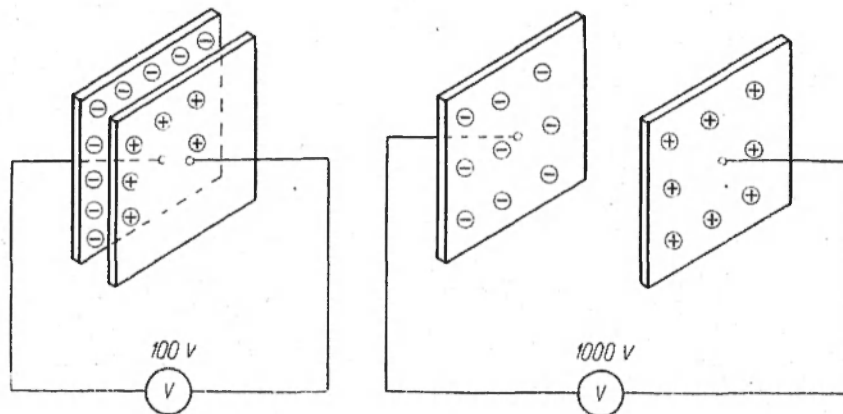
Na podstawie rys. 13 i opisu łatwo domyśleć się jak zapobiec pojawieniu się elektryczności statycznej, a przez to i wybuchowi. Całe urządzenie, tzn. zbiornik, rurka metalowa, oraz rurociąg, przez który tłoczmy ciecz powinny być połączone z sobą wzajemnie metalicznie. Dzięki temu ładunki elektryczności dodatniej i ujemnej, które pojawiają się przy tarcie cieczy o rurki natychmiast łączą się z powrotem. Nie ma więc obawy o ich nagromadzenie się i iskrowe wyładowanie.

JAK NAPIĘCIE NIESPODZIEWANIE ROŚNIE

Przy omawianiu kondensatorów powiedzieliśmy, że ich pojemność zależy od rozmaitych czynników, a między innymi, od wzajemnej odległości okładek i to w ten sposób, że im okładki są bliżej siebie tym pojemność kondensatora jest większa. Jest

rzeczą oczywistą, że pojemność ta będzie się zmniejszać w miarę odsuwania od siebie okładek.

Na rys. 14 widzimy kondensator złożony z dwóch metalowych płytek oddalonych od siebie o 1 cm. Kondensator jest naładowany, zawiera więc pewną określoną ilość elektryczności. Przyj-



Rys. 14. Po rozsunięciu płytek napięcie kondensatora wzrasta wielokrotnie

mijmy, że napięcie, jakie panuje pomiędzy okładkami, wynosi 100 woltów. Co się jednak stanie, jeżeli odsuniemy od siebie okładki kondensatora na odległość 10 cm, a wiemy że zmniejszyła się pojemność kondensatora, lecz ilość elektryczności się nie zmniejszyła, ponieważ kondensatora nie rozładowaliśmy.

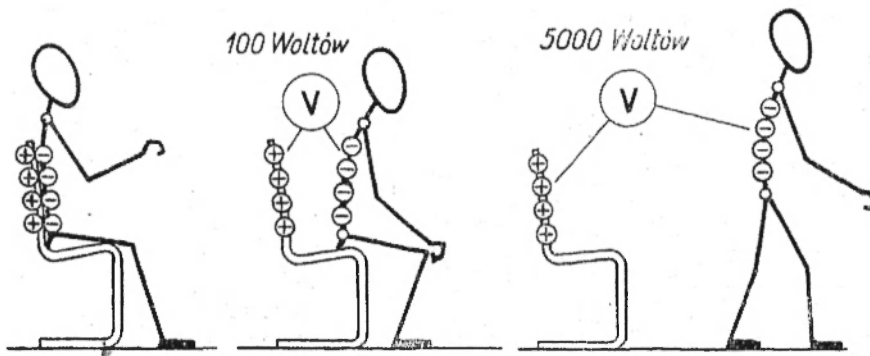
Odpowiedź — **wzrośnie** napięcie. I rzeczywiście pomiar wykaże, że napięcie wzrosło dziesięciokrotnie, tzn. do 1000 woltów. Jeżeli zaś odległość między okładkami wzrośnie do 100 cm — to napięcie wzrośnie do 10 000 woltów!! Z przykładu tego widzimy, że napięcie wzrasta, gdy pojemność elektryczna zmniejsza się.

A jakie to ma praktyczne znaczenie?

Siedzimy np. w wygodnym krześle (rys. 15) wykonanym z rur metalowych, obciążonych jakimś materiałem. Siedzący razem z krzesłem tworzy kondensator, przy czym jedną okładką jest ciało siedzącego, a drugą metalowe rury krzesła. Ubranie, a także obicie krzesła, stanowią izolacyjne materiały oddzielające obie okładki. Siedzący poruszając się ociera plecami o materiał krzesła i wywołuje powstanie ładunków elektryczności statycznej. W momencie, kiedy siedzący odsunął się nieco plecami od oparcia krzesła, wystąpiło pewne napięcie, a kiedy wstał na-

pięcie wzrosło do kilku tysięcy woltów. Pocięszającą okolicznością jest to, że napięcie to po krótkim czasie spada zwykle do zera, gdyż każdy kondensator rozładowuje się samoczynnie, czasem prędeziej, czasem wolniej, zależnie od wilgotności powietrza i od rodzaju materiałów izolujących go od ziemi.

Wartość napięcia 5 000 woltów, które podaliśmy na rys. 15,



Rys. 15. Pomiędzy krzesłem a wstającym z niego pojawiło się nagie napięcie kilku tysięcy woltów

potwierdzają pomiary wykonane w momencie, kiedy człowiek szybko podniósł się z krzesła krytego materiałem z tworzywa sztucznego.

A czy szybkie podniesienie się z krzesła ma jakieś znaczenie? Oczywiście, że ma. W czasie powolnego wstawania kondensator już się częściowo rozładował. Gdybyśmy wstawali bardzo powoli, to wysokie napięcie mogłoby w ogóle nie wystąpić.

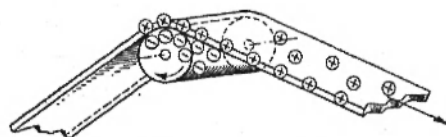
Więc pamiętajmy! Jeżeli nie chcemy „mieć na plecach 5000 woltów” — wstawajmy powoli.

ELEKTRYCZNOŚĆ NA PASIE TRANSMISYJNYM

Innym dawno znanym zjawiskiem jest występowanie ładunków elektrostatycznych na pasach transmisyjnych, a w ogólności na wszystkich materiałach izolacyjnych biegnących w czasie procesu produkcyjnego podobnie jak pas transmisyjny, a więc na taśmach przenośników gumowych, taśmach papieru, tkaniny, tworzyw sztucznych itp.

Na rys. 16 przedstawiono schemat taśmy biegnącej przez rolkę metalową. Na skutek stykania i rozdzielania się dwóch różnych materiałów (pas i rolka) pojawiają się ładunki elektrostatyczne

(ujemne na rolce, a dodatnie na taśmie). I rolka i taśma są w ciągłym ruchu, tzn. wciąż się stykają i rozchodzą, czyli że wciąż pojawiają się nowe ładunki elektryczne, a tym samym gromadzi się coraz większa ich ilość. W przypadku rolki metalowej zwykle połączonej z ziemią, przez łożyska i żelazną konstrukcję elektryczność ujem-

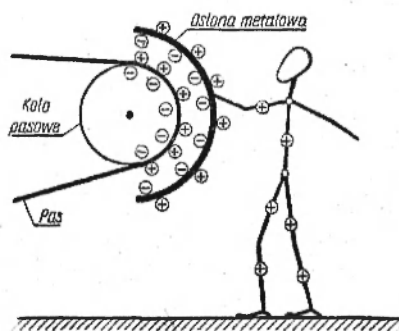


Rys. 16. Taśma materiału biegnąca przez rolkę metalową

na spływa do ziemi. Ale jeżeli rolka jest wykonana z jakiegoś materiału izolacyjnego, wtedy oczywiście elektryczność nie może odpłynąć i gromadzi się na niej w takiej ilości na jaką pozwoli pojemność kondensatora, tzn. konstrukcji, pasa i rolki, gdyż te 3 części tworzą kondensator. Pewna ilość elektryczności rozładowuje się przez powietrze, a w niekorzystnych przypadkach następuje iskrowe wyładowanie.

Obserwowano nawet bardzo intensywne przeskoky iskiek. Ładunki elektryczne, które pojawiły się na pasie czy taśmie materiału — i bieżą wraz z nią — mogą spływać na inne urządzenia techniczne, przez które taśma przechodzi w trakcie procesu produkcyjnego i łądować je elektrycznością. Niezależnie od tego ładunki te przyciągają jednocześnie z powietrza pył i drobniutkie ciała stałe, zanieczyszczając nimi taśmę. Zjawisko to może mieć poważne znaczenie, gdyż może ujemnie wpłynąć na jakość wyrobu.

Zwykle koła pasowe i pas są osłonięte siatką lub mają innego rodzaju osłonę chroniącą robotników przed porwaniem przez wirujące części. Taka metalowa osłona nie styka się ani z pasem, ani z instalacją elektryczną, a jednak może się zdarzyć, że dotknąwszy jej przypadkiem



Rys. 17. Przy zjawisku influencji rozładowanie może nastąpić przez ciało człowieka

poczujecie przepływ prądu elektrycznego przez ciało. Mówimy wtedy popularnie, że siatka „kopie“. Przyczyną tego jest zjawisko elektrostatyczne, które nazywamy *influencją*, a które najlepiej wytłumaczyć na przykładzie z pasem i osłoną (rys. 17).

Pod wpływem ładunków dodatnich, jakie nagromadziły się na

pasie, metalowa osłona zostaje naelektryzowana w ten sposób, że elektryczność ujemna pojawi się na niej bliżej pasa. Dzieje się to dlatego, że „plus” i „minus” przyciągają się, a elektryczność dodatnia gromadzi się dalej od pasa, tzn. na zewnętrznej stronie osłony.

Zapytacie zapewne, czy to jakieś nowe ładunki elektryczne pojawiły się na osłonie? Otóż nie! Prosto elektrony z pewnych atomów przesunęły się bliżej pasa, właśnie pod wpływem siły przyciągania. Ale jeszcze nie jasne jest dlaczego siatka „kopie”? Ładunki dodatniej elektryczności chciałyby jak najdalej uciec od pasa (zjawisko odpychania) i właśnie przez tego, który dotknie takiej osłony, ta elektryczność spłynie do ziemi. Oczywiście warunkiem jest, aby sama osłona nie była bezpośrednio połączona z ziemią, gdyż wtedy elektryczność w miarę pojawiania się jej będzie stale odpływać do ziemi.

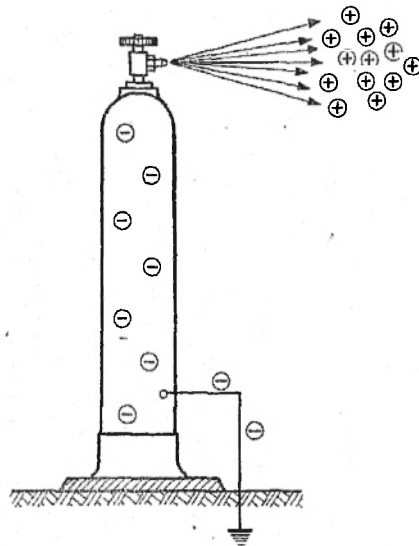
Opisane zjawisko influencji może wystąpić nie tylko na osłonie metalowej otaczającej pas transmisyjny, czy jakąś taśmę materiału produkowanego, ale w wielu innych podobnych okolicznościach. Wystarczającą obroną przed niespodziewanym „kopnięciem” jest uziemianie wszelkich metalowych przedmiotów znajdujących się w pobliżu urządzeń ładujących się elektrycznością statyczną.

WYPIYUW GAZÓW ELEKTRYZUJE

Wspomnieliśmy, że wypływ gazów technicznych z butli powoduje również pojawianie się napięcia elektrostatycznego pomiędzy butlą a ziemią. Charakterystycznym zjawiskiem jest, że gazy czyste, tzn. nie zawierające zanieczyszczeń takich jak pył, płatki rdzy, produkty kondensatu, płatki zestalonego w formie śniegu kwasu węglowego nie powodują elektryzowania butli. Stąd wniosek, że to właśnie te domieszki przez zetknięcie się i oderwanie od zaworu butli wywołują zjawiska elektryczności statycznej. Ponieważ w praktyce nie mamy właściwie gazów czystych, zawsze należy liczyć się z tymi zjawiskami i to nie tylko przy wypływie gazów z butli, lecz w ogóle przy wypływie gazów z rurociągów (powietrze sprężone, acetylenowanie, tlenowanie i wytwórnice innych gazów).

Wydawałoby się więc, że jeżeli butla jest izolowana od ziemi wystarczy ją uziemić aby uniknąć pojawienia się elektryczności statycznej. Jednak tak nie jest. Przez uziemienie rozładujemy samą butlę, ale cząstki dodatnio naładowane wypływają z niej

w dalszym ciągu (rys. 18). Cząstki te osiadają na przedmiotach (urządzeniach technicznych) znajdujących się w pobliżu i ładują je dodatnio. W sprzyjających warunkach może nastąpić iskrowe wyładowanie nagromadzonej tą drogą energii elektrycznej. Dla uniknięcia tego, należy uziemić wszystkie metalowe przedmioty, które znajdują się w zasięgu wypływającego gazu.



Rys. 18. Wypływ gazów technicznych z butli powoduje pojawienie się ładunków elektrycznych.

Szczególne znaczenia nabierają te zjawiska w górnictwie gdzie używa się dużych ilości sprężonego powietrza i, gdzie sucha atmosfera sprzyja pojawianiu się ładunków elektrostatycznych. Instalacja rurociągów sprężonego powietrza wykonana jest z rur metalowych wielokrotnie łączonych gumowymi odcinkami, które stanowią izolacyjne przerwy w instalacji i utrudniają rozładowania.

W jednej z niemieckich kopalń zaobserwowano następujące zjawisko:

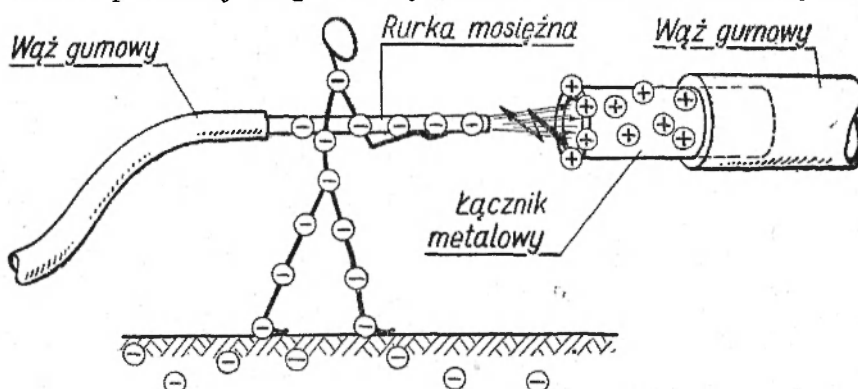
Czyszczono sprężonym powietrzem urządzenie do filtrowania zainstalowane w jednym z szybów wentylacyjnych. Robotnik trzymał w ręce (rys. 19) rurkę mosiężną, jako końcówkę gumowego wężyka instalacji sprężonego powietrza i strumień tego

powietrza skierował na część filtra, w której znajdowały się krótkie łączniki metalowe zamocowane w gumowych przewodach. Były więc one izolowane od ziemi. Strumień powietrza ładował tak intensywnie te łączniki, że duże iskry przeskakiwały pomiędzy mosiężną końcówką instalacji sprężonego powietrza, a tymi metalowymi łącznikami. Przy czyszczeniu innych metalowych części filtra nie zauważono żadnych iskier, gdyż części te były uziemione i dzięki temu ładunki elektryczności statycznej niesione strumieniem powietrza natychmiast spływały do ziemi. Również i przez robotnika, który mosiężną końcówkę trzymał bezpośrednio w ręce, ładunki elektrostatyczne, które na końcówce powstawały, spływały do ziemi. Robotnik oczywiście nie odczuwał tego, gdyż ładunki odpływały natychmiast z chwili-

ła pojawienia się. Opisane zjawisko iskrowego wyładowania zniknęło po uziemieniu metalowych łączników.

W pewnej niemieckiej gazowni zdarzył się wybuch gazu ulatniającego się z nieszczelności przy gazomierzu. Pracował tam robotnik posługując się przy czyszczeniu metalowych części strumieniem piasku wylatującego pod ciśnieniem z metalowej końcówki, podobnej do poprzednio opisanej. Robotnik był zapewne dobrze izolowany od ziemi i energia elektryczna nagromadzona na tej końcówce wyładowała się przez iskrę w pobliżu gazomierza, co spowodowało wybuch.

W kwietniu 1954 r. w jednej z kopalń zagłębia Ruhry zdarzył się wypadek spowodowany najprawdopodobniej pojawieniem się, a następnie wyładowaniem elektryczności statycznej. W jednym z przodków tej kopalni wywiercono przy pomocy świdra pneumatycznego otwory do ładunków materiałów wybu-



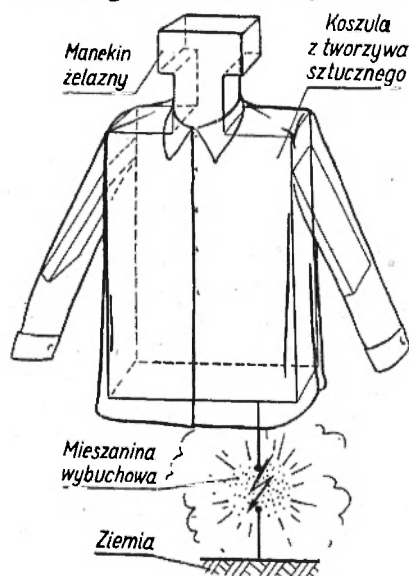
Rys. 19. Przy czyszczeniu sprężonym powietrzem łączników metalowych izolowanych od ziemi nastąpiło wyładowanie przez przeskok iskry

chowych, po czym założono ładunki wraz z zapalnikami, do których były przyłączone przewody, w celu wywołania wybuchu iskrą elektryczną. Przewody te leżały luzem na ziemi i nie były połączone. Instalacji elektrycznej w ogóle tam nie było. Rurociąg doprowadzający powietrze sprężone został zamknięty w pewnej odległości od tego miejsca. Na skutek nieporozumienia, w momencie kiedy górnicy zajęci byli swoimi robotami, ktoś otworzył dopływ sprężonego powietrza, które z przeraźliwym hałasem zaczęło dmuchać ze zdemontowanych końców rurociągów. Strumień powietrza podniosły kłęby pyłu węglowego, który przesłonił wszelki widok. W tym momencie nastąpił wybuch jednego ładunku. Odłamki węgla trafiły dwóch górników.

Wnikliwe badanie przyczyn wypadku wykluczyły wszelkie inne możliwości wywołania wybuchu, jak tylko pojawienie się elektryczności statycznej. Prawdopodobnie wypływ sprężonego powietrza powodował ładowanie elektrycznością statyczną cząstek pyłu węglowego, a przez nie wszystkich metalowych części, między innymi także drutów prowadzących do założonych ładunków wybuchowych. Druty te tworzyły wraz z ziemią pewien kondensator, który rozładował się przez przeskok iskry w materiale wybuchowym. Obliczono, że napięcie na tym kondensatorze mogło osiągnąć wartość ok. 10 000 woltów, co w sprzyjających warunkach dało iskrę wystarczającą do wywołania wybuchu. Oczywiście, że w tym wypadku, był jakiś wyjątkowy zbieg okoliczności.

CZŁOWIEK ELEKTRYZUJE SIĘ

Zjawisko ładowania się elektrycznością ciała ludzkiego zdarza się najczęściej wskutek noszenia ubrania sprzyjającego powstawaniu i gromadzeniu się ładunków elektrostatycznych. Szczególnie groźne może być to w atmosferze kopalń niebezpiecznych pod względem wybuchowym.



Rys. 20. Przeskok iskry pomiędzy manekinem, na którego wkładamy koszulę z tworzywa sztucznego, a ziemią może spowodować zapalenie mieszanki wybuchowej

nie groźne może być to w atmosferze kopalń niebezpiecznych pod względem wybuchowym.

Wspomnieliśmy już, że tworzywa sztuczne sprzyjają powstawaniu elektryczności statycznej, tzn. że bardzo łatwo się elektryzują. Przekonajcie się o tym sami. Potrzyjcie ręką — oczywiście suchą — najlepiej wierzchem dłoni „śniadaniówkę” z plastyku i zauważcie jak przyciąga drobne skrawki papieru. Jeszcze intensywniej występuje to zjawisko przy potarciu materiałem wełnianym.

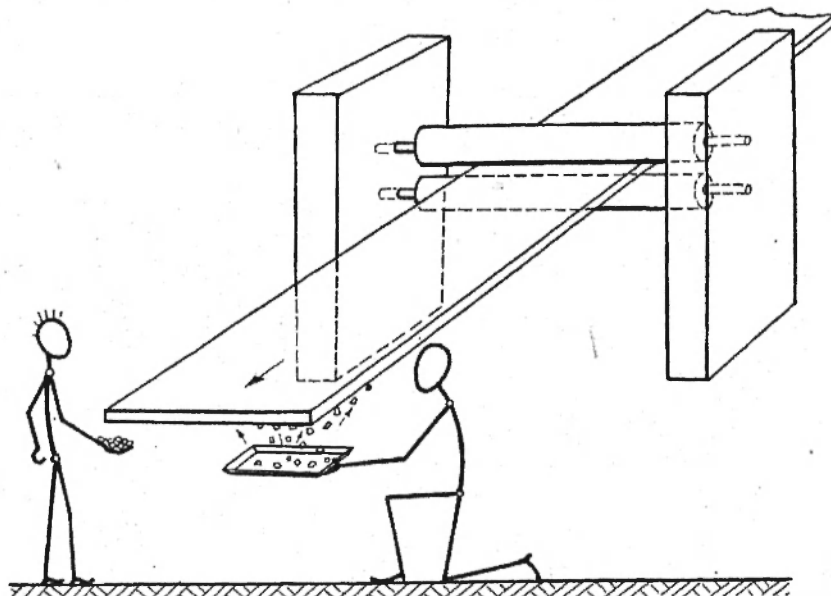
W celu przekonania się, jakie napięcia elektrostatyczne pojawiają się np. przy noszeniu koszuli z tworzywa sztucznego, wykonano poniższe doświadczenie. Koszulę z tworzywa sztucznego, nałożono na płytę metalową (rys. 20), mającą kontury

człowieka. Płyta była izolowana od ziemi. Pomiedzy kawałkiem drutu przyłączonym do tej płyty a drugim kawałkiem drutu połączonym z ziemią znajdowała się mieszanina powietrza z metanem (gaz występujący w kopalniach). Otóż przekonano się, że wkładanie koszuli na „metalowego manekina” powodowało pojawienie się tak wysokiego napięcia, że pomiędzy końcami drutów przeskakiwała iskra i powodowała wybuch mieszaniny.

Również i na „prawdziwym człowieku” przy noszeniu ubrań lub bielizny łatwo elektryzującej się mogą wystąpić napięcia elektrostatyczne, jeżeli człowiek będzie dobrze izolowany od ziemi, o co łatwo przy suchych butach i szczególnie suchym powietrzu, jakie trafia się np. w kopalniach.

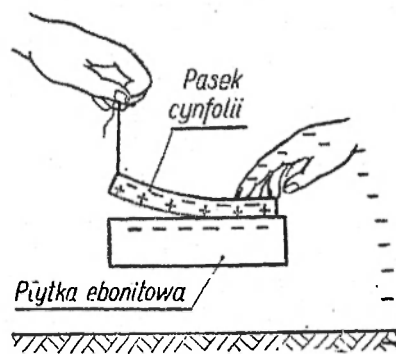
JAK PRZEKONAĆ SIĘ, CZY MAMY DO CZYNNIENIA Z ELEKTRYCZNOŚCIĄ STATYCZNĄ?

Skoro elektryczność statyczna jest w pewnych warunkach niebezpieczna, to przede wszystkim musimy się przekonać, czy istotnie występuje. Jeżeli tak, to jaka jest wysokość napięcia elektrostatycznego. Czy wynosi ono np. 50, czy 5000 woltów.



Rys. 21. Przy badaniu, czy urządzenie jest naelektryzowane, powinniśmy trzymać skrawki papieru na tekturce

Dla stwierdzenia, czy przy danej czynności występuje elektryczność statyczna mamy prosty sposób. Pamiętamy, że naelektryzowany przez potarcie grzebień przyciąga drobne kawałeczki papieru, więc i naelektryzowana maszyna, pas czy taśmy produkowanego materiału powinny także przyciągać papierki. Różnica



Rys. 22. Przygotowywanie paska cynfolii do badania, czy urządzenie naelektryzowane jest dodatnio czy ujemnie.

polegać będzie na tym, że nie maszynę zbliżamy do papierków, lecz papierki do maszyny. Nie trzymać skrawków papieru na dłoni, gdyż wilgotna dłoń może zepsuć doświadczenie, lecz na tekturce lub deseczce (rys. 21). Jeżeli papierki przyskoczą do badanego urządzenia, jest ono naelektryzowane. Trzeba jednak uważać, ponieważ przy urządzeniu poruszającym się morze się zdażyć, że pęd powietrza porwie nam papierki, a nie elektryczność statyczna.

Innym sposobem badania jest zbliżenie do urządzenia wierzchu dłoni pokrytej zwykle drobnym włosem. Jeżeli włosy „staną dęba”, tzn. wyprostują się, możemy być pewni, że wystąpiła elektryczność statyczna. Ale czy to jest elektryczność dodatnia, czy ujemna?

Dla stwierdzenia tego bierzemy cienki pasek cynfolii i trzymając za pośrednictwem nitki, kładziemy go na naelektryzowanej ujemnie (przez potarcie szmatką) ebonitowej płytce, a następnie, przesuwamy po nim palcem (rys. 22). Po podniesieniu paska cynfolii za nitkę (ręką już nie można go dotykać) okazuje się, że jest on naładowany elektrycznością... dodatnią! Nie ma żadnej pomyłki. Jest istotnie naładowany dodatnio, a to dlatego, że po położeniu paska na płytce ładunki elektryczności dodatniej przesunęły się bliżej płytki (różnoimienna elektryczność przyciąga się), a ładunki ujemne odsunęły się dalej. Gdy dotknęliśmy paska palcem wszystkie ładunki ujemne spłynęły przez nasze ciało do ziemi, a pozostały tylko ładunki dodatnie. Tak więc pasek jest naelektryzowany dodatnio.

Teraz zbliżamy ten pasek, trzymając go za nitkę, do urządzenia badanego. Jeżeli jest ono naelektryzowane dodatnio, to będzie pasek odpychało. Jeżeli zaś jest naelektryzowane ujemnie — będzie

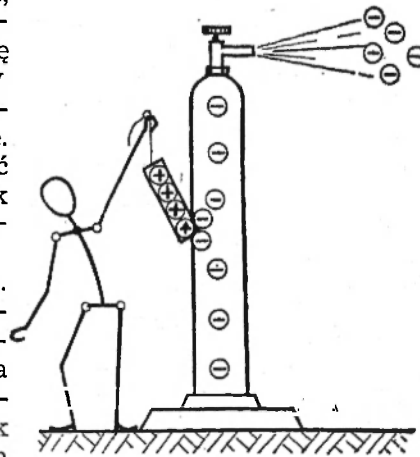
go przyciągało (rys. 23). Można również przeprowadzić podobne badanie elektryzując pasek ujemnie przy pomocy szklanej płytki.

Mówiliśmy, że naelektryzowane materiały przyciągają z powietrza różne cząstki i w ten sposób zanieczyszczają się. Otóż obserwując to zjawisko możemy również przekonać się o występowaniu elektryczności statycznej. Ale nie dajmy się zwieść, gdyż do materiałów wilgotnych również przyczepiają się takie drobne cząstki. Wiemy już jak stwierdzić, czy elektryczność statyczna występuje. A teraz pytanie — jak zmierzyć wartość napięcia, to znaczy jak stwierdzić, ile ono wynosi woltów?

Do zmierzenia napięcia, np. instalacji domowej, służy woltomierz. Łączymy go z gniazdkiem wtykowym (rys. 24a), a wskazówka bezpośrednio wskazuje wartość napięcia. Jednak elektrostatycznych napięć takim woltomierzem nie zmierzymy (rys. 24b).

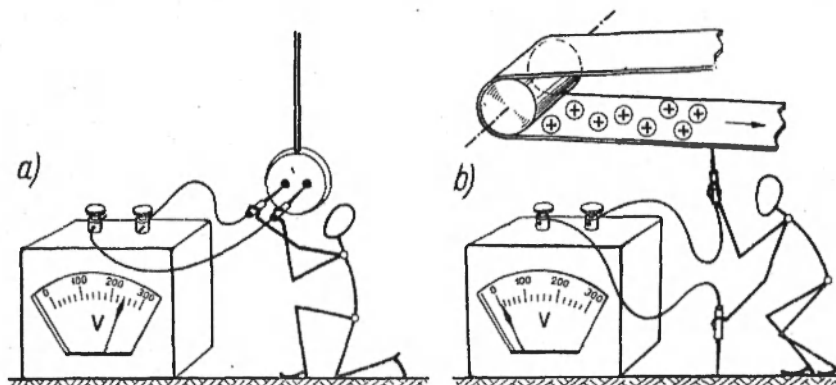
Normalne pomiary napięcia prądu stałego, np. akumulatora, przeprowadzamy woltomierzem, którego budowę przedstawia schematycznie rys. 25. Pomiędzy biegunami magnesu NS jest umieszczona cewka z kilkuset zwojów cieniutkiego drutu. Jest ona tak zamocowana, że może się obracać. Prąd z akumulatora przepływa przez tę cewkę za pośrednictwem dwóch spiralnych sprężynek powodując jej obrót. Im wyższe jest napięcie akumulatora, tym większy prąd przepływa przez cewkę, a więc tym większy jest jej obrót i wychylenie wskazówki, która na podziałce wskazuje wartość napięcia. Jak długo płynie prąd z akumulatora, tak długo wskazówka wskazuje napięcie. Z chwilą, gdy prąd przestanie płynąć, cewka wraca do początkowego położenia, a wskazówka wraca do zera.

Ale wiadomo, że w akumulatorze magazynujemy sporo energii elektrycznej, więc przez przyłączony woltomierz może prąd płynąć całymi dniami i woltomierz będzie przez cały czas wska-



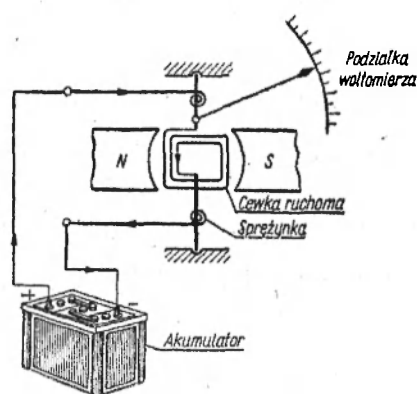
Rys. 23. Przy pomocy paska cynfolii stwierdzamy, że butla naelektryzowana jest ujemnie

zywał napięcie. Natomiast w zjawiskach elektrostatycznych mamy raczej do czynienia z niewielkimi ilościami energii elektrycznej, która błyskawicznie przepłynie przez woltomierz, a jego wskazówka wychyli się tylko na moment. Nie zdołamy nawet przeczy-



Rys. 24. Mierzenie napięcia:

- a) napięcie instalacji domowej mierzy się woltomierzem,
b) napięcia elektrycznego nie można nim zmierzyć.



Rys. 25. Schemat woltomierza do pomiaru napięcia akumulatora

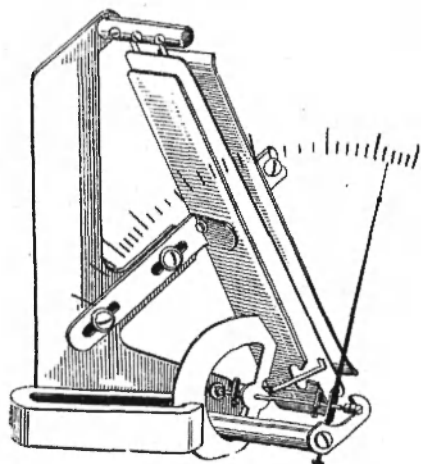
tać wartości napięcia, a już ładunek elektrostatyczny się rozładował — właśnie przez cewkę woltomierza.

Musimy więc zastosować taką metodę pomiaru, aby woltomierz nie rozładował ładunku elektrostatycznego, wskazał napięcie i to przez tak długi czas, jaki jest potrzebny do swobodnego odczytania wartości napięcia. Taki woltomierz nazywa się elektrostatycznym; działa na zasadzie odpychania i przyciągania.

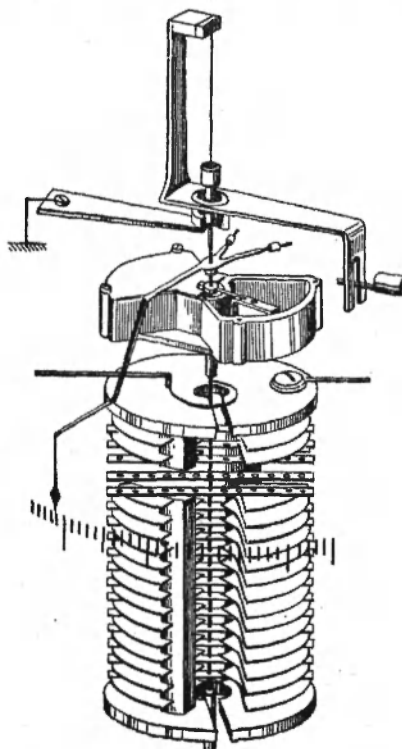
Na rys. 26, przedstawiającym właśnie taki woltomierz, widać dwie podłużne płytki zamocowane na stałe. W środku pomiędzy nimi zawieszona jest swobodnie trzecia płytki. Pod wpływem mierzonego napięcia ta zawieszona swobodnie płytki jest odpychana przez jedną, a równocześnie przyciągana przez drugą

stałą płytkę. Ponieważ wskazówka jest przymocowana do płytki ruchomej, więc ruchy jej przenoszą się na wskazówkę, która bezpośrednio wskazuje wartość napięcia. Istotną zaletą tego woltomierza jest to, iż żaden prąd przez niego nie przepływa, gdyż płytki nie są z sobą połączone. Oczywiście, po pewnym czasie urządzenie, na którym mierzymy napięcie, rozładowuje się, a to dlatego, że przez powietrze płynie także pewien, zresztą bardzo mały prąd, tym bardziej, że płytki woltomierza elektrostatycznego ustawione są bardzo blisko siebie, gdyż inaczej woltomierz byłby bardzo mało czuły.

Inną konstrukcję woltomierza elektrostatycznego przedstawia



Rys. 26. Woltomierz elektrostatyczny płytkowy



Rys. 27. Woltomierz elektrostatyczny wielokomórkowy

rys. 27. Widzimy tam szereg metalowych komórek, pomiędzy którymi mogą obracać się również metalowe i na metalowych tasiemkach zawieszono płaskie blaszki. Tutaj pod wpływem napięcia następuje przyciąganie i skręcanie blaszek zawieszonych na tasiemce. Wskazówka, podobnie jak w poprzednim woltomierzu, przymocowana jest do części ruchomej.

Poza opisanymi tutaj dwoma woltomierzami elektrostatycznymi istnieją i inne mierniki i metody pomiarowe, jednak są one bardziej skomplikowane.

CZY ELEKTRYCZNOŚĆ STATYCZNA MOŻE PORAZIĆ CZŁOWIEKA?

Powszechnie wiadomo, że przepływ prądu przez ciało człowieka jest niebezpieczny i że w zależności od natężenia prądu i czasu jego przepływu, skutki mogą być mniej lub bardziej poważne. Gdy natężenie prądu jest stosunkowo duże, a jednocześnie prąd przepływa przez serce, to wówczas może mieć miejsce wypadek śmiertelnego porażenia.

Natężenie prądu mierzymy w jednostkach zwanych amperami. Tak np. żarówka o mocy 100 watów pobiera w naszych mieszkaniach prąd o natężeniu nieco mniejszym aniżeli pół ampera. Nie jest to więc jednostka duża, ale na nasz organizm działa już prąd o natężeniu wielokrotnie mniejszym, bo wynoszącym zaledwie tysięczną część ampera. Na przykład przy przepływie przez ciało ludzkie prądu stałego o wartości ok. 25 tysięcznych ampera zaczynamy odczuwać ciepło i nieznaczny skurcz, np. mięśni rąk. Przy natężeniu ok. 1 setnej ampera może już wystąpić paraliż oddechu.

Niebezpieczeństwo rażenia zależy jeszcze od czasu, w ciągu którego prąd przepływa przez serce. Uważa się, że czas dłuższy niż 1 sekundy może już być groźny, nawet przy małych natężeniach prądu.

Po tych uwagach możemy odpowiedzieć na pytanie, czy elektryczność statyczna grozi porażeniem człowieka. Otóż teoretycznie jest to możliwe, ale dotychczas nie ma w literaturze wiadomości na ten temat. Przede wszystkim urządzenia przemysłowe musiałyby mieć dużą pojemność elektryczną, aby naładować się taką ilością energii elektrycznej, której przepływ przez ciało człowieka i to zarówno ze względu na natężenie, jak i czas trwania, mógłby spowodować jakieś groźne skutki.

Elektryczność statyczna może być jednak z innego powodu niebezpieczna dla człowieka. Wyobraźmy sobie na przykład taką sytuację. Nie spodziewający się niczego robotnik dotknął ręką naładowanego urządzenia i został nagle „kopnięty” — jak potocznie mówimy — prądem elektrycznym. Jego reakcja będzie zależna od jego wrażliwości. Jeden zniesie to ze śmiechem, a drugi zdenerwuje się, może odskoczyć i wpaść na inną maszynę, a jeżeli znajduje się na jakimś podwyższeniu, to może spaść z niego. I raczej takie należy widzieć niebezpieczeństwa zwią-

zane z elektrycznością statyczną, aniżeli obawiać się faktycznego porażenia.

W przepisach bezpieczeństwa pracy nie ma ostrzeżeń przed zjawiskami elektryczności statycznej. Normalne tablice ostrzegawcze z trupią główką nie będą się tu nadawały, gdyż wprowadzałyby robotników w błąd. Wydaje się, że np. prosty napis „**Uwaga — elektryczność statyczna**” byłby bardziej celowy, szczególnie po krótkim poinformowaniu robotników o możliwości elektryzowania się maszyny.

II. JAK BRONIMY SIĘ PRZED NIEBEZPIECZENSTWEM ELEKTRYCZNOŚCI STATYCZNEJ?

Uporządkujmy teraz zdobyte wiadomości:

1) Elektryczność statyczna pojawia się przy takich czynnościach, jak tarcie różnych stałych materiałów o siebie oraz stykanie i rozdzielanie, wytrząsanie, rozdrabnianie, przesiewanie itp., a także przy przelewaniu i wypływie cieczy, sączeniu, pompowaniu, wypływie gazów z rurociągów, butli i innych zbiorników.

2) Elektryczność statyczna jest niebezpieczna przede wszystkim tam, gdzie jej iskrowe wyładowanie może spowodować wybuch i pożar.

3) Elektryczność statyczna gromadzi się zarówno na materiałach źle przewodzących prądy (porcelana, szkło, ebonit, bakelit itp.), jak i na dobrze przewodzących, a więc przede wszystkim na metalach, lecz izolowanych od ziemi. Niebezpieczniejsze jest nagromadzenie się elektryczności statycznej właśnie na metalach izolowanych, ponieważ wystarczy tylko w jednym miejscu dotknąć takiego metalu, aby wszystkie nagromadzone na nim ładunki elektryczne spłynęły. Przy dotknięciu naelektryzowanego materiału izolacyjnego spływają tylko ładunki znajdujące się w miejscu dotknięcia.

A teraz, skoro już wiemy, gdzie wróg — elektryczność statyczna czai się i jak atakuje, możemy pomyśleć o obronie. Najlepiej byłoby w ogóle nie dopuścić do pojawiania się elektryczności statycznej. W niektórych przypadkach da się to zrobić. Należy mianowicie unikać stykania czy tarcia o siebie różnych materiałów, czyli stosować jednakowe materiały. Np. taśma w jakimś procesie produkcyjnym i rolka, po której ona biegnie, mogą być wykonane z tego samego materiału. Spotykamy to w papierniach, gdzie niektóre walce wykonane są z krążków papierowych silnie ściśniętych. Biegnąca po takim walcu taśma papieru nie będzie się elektryzowała. Ale i tu w pewnych warunkach mogą pojawić się ładunki elektryczności statycznej. Może się np. zdarzyć, że taśma papieru jest wil-

gotna a walec suchy i wtedy ta nadzwyczaj cieniutka warstewka wody oddziela od siebie papier taśmy od papieru walca, a więc stykają się z sobą różne materiały. Podobnie mogą wpłynąć i inne zanieczyszczenia, jak oliwa, lakier, pył. Jednak w każdym przypadku przez stosowanie jednakowych materiałów zmniejszamy możliwość pojawienia się elektryczności statycznej, a więc i niebezpieczeństwa.

Napęd pasowy możemy zastąpić napędem bezpośrednim, lub w ogóle usunąć go poza obręb pomieszczenia niebezpiecznego pod względem wybuchowym. Oczywiście powyższe rady dobre są tylko wtedy, gdy sam proces technologiczny pozwala na ich realizowanie.

UNIKAJCIE MIESZANIN WYBUCHOWYCH

Skoro wyładowanie elektryczności statycznej może spowodować wybuch i pożar, a nie możemy przeszkodzić w pojawieniu się tej elektryczności, wtedy spróbujmy postąpić inaczej. Wiadomo, że najłatwiej wybuchają mieszaniny par, gazów lub pyłów z powietrzem. A więc nie dopuścimy do tworzenia się takich mieszanin. Ciecze, szczególnie podgrzane, łatwo parują z otwartych naczyń, aparatów, zbiorników itp. Dbajmy zatem, aby ciecze, których pary z powietrzem tworzą mieszaninę wybuchową, były przykrywane albo zamykane. Oczywiście nie zawsze da się to zrobić. Są takie okresy produkcji w zakładach przemysłowych, kiedy musi być łatwy dostęp do powierzchni cieczy. Wtedy nie pozostaje nic innego, jak pilnować aby była dobra, intensywna wentylacja, która nie dopuści do wytworzenia się mieszaniny wybuchowej. Wentylatory są z reguły napędzane silnikami elektrycznymi, ale ponieważ zdarzają się przerwy w dostawie energii elektrycznej możliwe jest zatrzymanie wentylatorów i w konsekwencji wytworzenie mieszaniny wybuchowej. W takim przypadku wentylacja musi być wyposażona w urządzenie alarmujące obsługę optycznie lub akustycznie o grożącym niebezpieczeństwie. Gdy będziecie w takim pomieszczeniu, gdzie może się tworzyć mieszanina wybuchowa i gdzie zastosowano wentylację, zwróćcie uwagę, czy nie ma tam „martwych kątów”, tzn. takich części pomieszczenia, gdzie działanie wentylacji nie dochodzi i gdzie gazy mogą się swobodnie gromadzić.

W aparatach niektórych procesów technologicznych możliwe jest stosowanie atmosfery gazów obojętnych, tzn. takich, które z parami cieczy palnych nie tworzą mieszaniny wybuchowej. Jest to sposób dobry i bezpieczny, ale kłopotliwy, gdyż wy-

maga ścisłej kontroli, czy krycie gazem obojętnym jest wystarczające.

Nigdy nie ma za dużo ostrożności tam, gdzie chodzi o życie czy zdrowie pracowników. Dlatego pamiętajmy, aby w pomieszczeniach, gdzie może nastąpić pożar i wybuch na skutek wyładowania elektryczności statycznej, nie gromadzić niepotrzebnie i w nadmiarze palnych surowców, przeznaczonych do produkcji, a także podobnych wyrobów gotowych.

JAK ZAPOBIEGAMY GROMADZENIU SIĘ ELEKTRYCZNOŚCI STATYCZNEJ?

Wiemy, że niebezpieczeństwo elektryczności statycznej powstaje wtedy, kiedy na dwóch **izolowanych** od siebie częściach maszyny, dwóch pobliskich przedmiotach itp. nagromadzą się ładunki elektryczności. Grozi to iskrowym wyładowaniem, a tego właśnie musimy uniknąć. W tym celu należy te dwie części połączyć ze sobą metalicznie. Najogólniej oznacza to, że trzeba stworzyć warunki dla przepływu prądu bez iskry od jednego przedmiotu do drugiego.

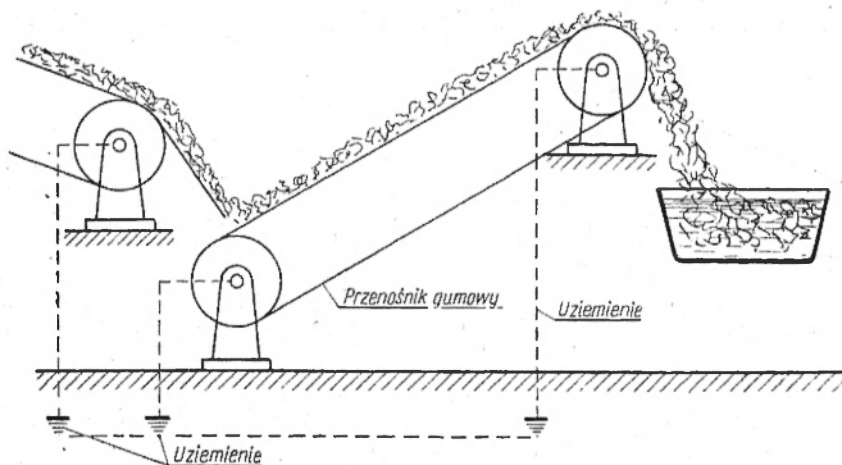
O UZIEMIENIACH

Dla umożliwienia przepływu prądu bez iskry od jednego przedmiotu do drugiego mamy kilka sposobów, które omówimy po kolei. Najłatwiej jest połączyć z sobą metalicznie (przewodem miedzianym, aluminiowym lub stalowym) te części, które ładują się elektrycznością statyczną. Jest to istotnie sposób prosty, często stosowany i w wielu przypadkach wystarczający. Praktycznie łączenie to wykonujemy w formie uziemienia elektryzujących się części. Ponieważ ziemia również przewodzi prąd elektryczny, więc łącząc obiekty metalicznie z ziemią łączymy je tym samym z sobą (rys. 28). Uziemianie urządzeń elektroenergetycznych, tzn. urządzeń dla siły i światła, jest powszechnie znane i są rozmaite przepisy normujące sposoby jego wykonania. Ponieważ dotychczas nie ma polskich przepisów w sprawie uziemień, zabezpieczających przed elektrycznością statyczną, powinniśmy korzystać z literatury obcej, tym bardziej, że wymagania dotyczące takich uziemień są znacznie łagodniejsze aniżeli uziemień elektroenergetycznych. Jest to zupełnie zrozumiałe, gdyż, jak wiemy z poprzedniego rozdziału, prądy występujące w zjawiskach elektrostatycznych są nadzwyczaj małe i krótkotrwałe, natomiast prądy w urządzeniach elektroenergetycznych mogą wynosić setki a nawet tysiące amperów. Przy tak dużych prą-

dach uziemienie (np. silnika) nie może być wykonane zbyt cienkim przewodem, a powtórę oporność samego połączenia pomiędzy tym przewodem a ziemią nie powinna być większa niż kilka omów¹⁾.

Dla ułatwienia przepływu prądu do ziemi zakopujemy w niej anodus blachy ocynkowanej, przez co uzyskujemy dużą powierzchnię styku z ziemią.

Dla celów elektrostatycznych wystarczy uziemienie o oporności nie większej niż milion omów. W skrócie milion omów



Rys. 28. Uziemienie konstrukcji przenośników

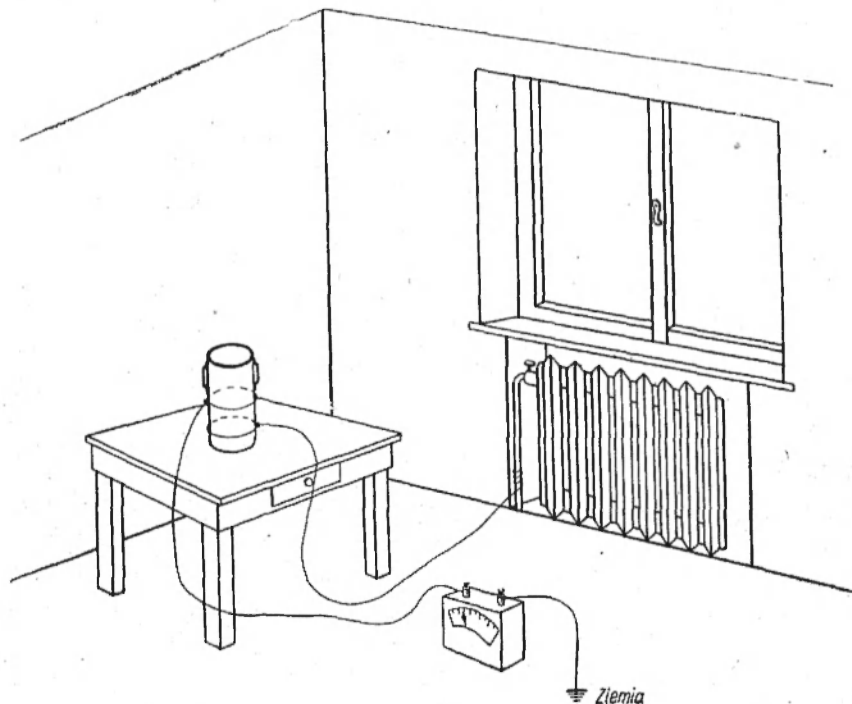
nosi nazwę megom ($M\Omega$). Jest to oporność stosunkowo duża, ale to wcale nie oznacza, że wystarczy naelektryzowany przedmiot połączyć z ziemią cieniutkim drucikiem o grubości włosa. Chodzi tu przecież także o wytrzymałość mechaniczną uziemienia. A więc właśnie ze względu na możliwość zniszczenia połączenia z ziemią powinno ono być wykonane przewodem nie izolowanym o przekroju kilku milimetrów kwadratowych. Przewód ten musi być ułożony w sposób widoczny, tak aby łatwo można było sprawdzić, czy dane urządzenie jest istotnie uziemione. Natomiast wysoka oporność miliona omów nie wymaga

¹⁾ Dla informacji czytelnika podajemy, że oporność cieniutkiej spiralki stu watomowej żarówki, jakiej używamy w naszych mieszkaniach, wynosi prawie 500 omów. Już z tego porównania widać, że aby uzyskać oporność uziemienia wynoszącą kilka omów, musimy dać przewód wiele razy grubszy aniżeli spiralka żarówki.

zakopywania specjalnej blachy do ziemi. Wystarczy połączenie przewodu uziemiającego z wodociągiem, rurociągiem parowym, kaloryferem itp.

JAK ZMIERZYĆ OPORNOŚĆ UZIEMIENIA?

W jaki sposób sprawdzić czy oporność uziemienia nie przekracza dopuszczalnej wartości miliona omów? Wykonujemy to przy pomocy przyrządu noszącego nazwę induktora (rys. 29). Mamy uziemieć (np. w jakimś składzie) naczynie, do którego będziemy przelewać benzynę. W pobliżu jest kaloryfer, z którym łączymy



Rys. 29. Pomiar oporności uziemienia przy pomocy induktora

naczynie. Dla sprawdzenia, czy pomiędzy tym naczyniem a ziemią nie ma zbyt dużego oporu, łączymy jeden zacisk induktora z naczyniem, a drugi z ziemią, tzn. z wodociągiem lub z jakimś innym uziemieniem elektroenergetycznym. Kręcąc korbką induktora odczytujemy wskazanie. Takim pomiarem sprawdza się

równocześnie dwie rzeczy: czy naczynie dobrze jest połączone z kaloryferem oraz czy kaloryfer ma dobre połączenie z ziemią. Przyjmujemy tu oczywiście, że np. wodociąg ma niezawodnie dobre uziemienie.

Przy łączeniu przewodu z kaloryferem należy najpierw rurę kaloryfera oczyścić z lakieru i rdzy, przewód kilkakrotnie obwinąć i najlepiej zacisnąć obejmą lub jakimś innym uchwytem śrubowym. Jeżeli uziemienie ma być stałe, to sprawdzić należy co pewien czas czy połączenie nie rozluźniło się, nie oderwało lub nie zardzewiało.

Tak więc omówiliśmy uziemienia jako pierwszy sposób ochrony przed niebezpieczeństwem elektryczności statycznej. Ale pamiętajmy, że uziemienie, choć konieczne, to jednak nie zawsze jest wystarczające, ponieważ nie powstrzymuje pojawiania się oddzielnie ładunków dodatnich i ujemnych. Wyjaśnia to rys. 18 i inne, na których, mimo uziemienia (np. butli), unoszą się w powietrzu cząstki naelektryzowane dodatnio. Także uziemianie izolatorów jest nieskuteczne, gdyż przez izolator prąd nie płynie, więc gdy go uziemimy, to ładunki odpłyną tylko z tego miejsca, którego dotyka przewód uziemiający.

JAK ODPROWADZIĆ ŁADUNKI Z MATERIAŁÓW IZOLACYJNYCH?

Skoro w materiale izolacyjnym mała ruchliwość elektronów sprawia nam takie trudności, to zastosujemy jakieś środki, które ułatwią i przyspieszą ich przepływ. Takim środkiem jest zmniejszenie oporności elektrycznej tych materiałów. W elektrotechnice zamiast mówić „zmniejszenie oporności” chętniej mówimy „zwiększenie przewodności”, co zresztą na to samo wychodzi. Czy da się jednak zwiększyć przewodność materiałów izolacyjnych skoro istotną ich właściwością jest właśnie mała przewodność? Przecież struktury materiałów nie zmienimy. Przy pokonywaniu tych trudności pomagamy sobie pewnego rodzaju podstępem. Mianowicie smarujemy z wierzchu materiały izolacyjne grafitem, gliceryną i innymi środkami, które przewodzą prąd, a o których będziemy jeszcze mówić. Dzięki temu, nie zmieniając struktury materiałów, uzyskujemy na ich powierzchni, a więc tam, gdzie pojawiają się ładunki elektryczności statycznej, warstewkę, przez którą one łatwo spłyną. Innym podstępem jest wplecenie cienkich drutów (np. w worki) albo otoczenie lub obwinienie danego przedmiotu czy materiału taśmą z cienkiej blachy lub drutem. Do cieczy izolacyjnych możemy w niektórych przypadkach dodać pewne środki, które zwiększą

ich przewodność. Tak np. dodanie do benzyny alkoholu lub kwasu octowego zwiększa jej przewodność. Oczywiście zastosowanie tego środka jest możliwe tylko w tych przypadkach, gdy benzyna może być zanieczyszczona takimi dodatkami.

DBAJCIE O WILGOĆ W POWIETRZU!

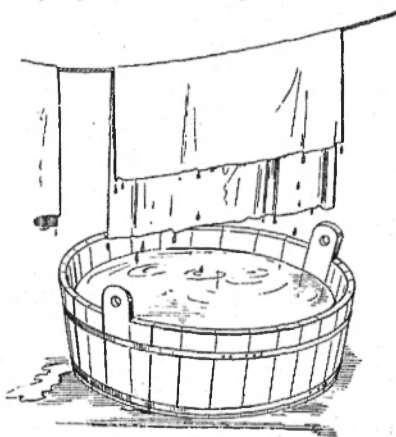
Nader ważnym czynnikiem, zwiększającym powierzchniową przewodność materiałów izolacyjnych, jest utrzymanie względnej wilgotności powietrza powyżej 70%. Sprawa wymaga bliższego wyjaśnienia. W powietrzu, w każdym pomieszczeniu, znajduje się stale pewna ilość pary wodnej, która powoduje, iż powietrze jest wilgotne, przy czym każdej temperaturze powietrza odpowiada pewna największa ilość tej pary, która w ogóle może się w 1 metrze sześciennym powietrza zmieścić. Mówimy wtedy, że powietrze jest nasycone parą wodną. Np. w 1 m³ powietrza o temperaturze 16°C może się zmieścić najwyżej 14 gramów pary wodnej. Jeżeli jednak w pomieszczeniu będzie więcej pary, wtedy zacznie się ona wydzielać w postaci mgły, rosy itp. Mówiąc o względnej wilgotności powietrza wyrażonej w procentach mamy na myśli procent tej największej ilości pary wodnej, która zmieści się w 1 m³ powietrza. Jeżeli więc żądamy, aby względna wilgotność powietrza w pomieszczeniu wynosiła 75%, tzn. że żądamy, aby np. w 1 m³ powietrza o temperaturze 16°C znajdowało się 75% od 14 gramów, tj. 10,5 grama pary wodnej. Wilgotność mierzymy za pomocą higrometru. Ale pamiętajmy, że wilgotność zmienia się wraz z temperaturą powietrza. Gdyby np. w naszym przykładzie temperatura powietrza podniosła się do 20°C, to wilgotność względna już spadnie do 60%. Ponadto pamiętajmy, że w powietrzu ruchomym, np. pod wpływem wiatru lub wentylacji, wilgotność może się zmieniać bardzo szybko i dlatego powinna być stale kontrolowana.

Otóż dzięki utrzymywaniu względnej wilgotności powietrza powyżej 75% tworzy się na powierzchni niektórych przedmiotów cieniutka warstewka wody. I ta właśnie warstewka podnosi na tyle przewodność powierzchniową materiału, że pojawiające się ładunki elektryczności statycznej mogą swobodnie odpłynąć. Mylnie jest jednak przekonanie, że na skutek zwiększonej wilgotności wzrasta również przewodność samego powietrza i przez to następuje szybsze rozładowanie. W rzeczywistości jest wręcz przeciwnie, gdyż w wilgotnym powietrzu jego cząstki poruszają się znacznie wolniej niż w powietrzu suchym, a właśnie ruchliwość cząstek przyspiesza rozładowanie.

Są jednak materiały nie zwilżające się, a równocześnie łatwo elektryzujące się. Takimi materiałami są np. niektóre tworzywa sztuczne. Spróbujcie zwilżyć zwykłą śniadaniówkę plastikową: utworzą się na niej kropelki wody w niektórych miejscach a reszta powierzchni pozostanie sucha. Takie materiały, które wykazują swoisty wstręt do wody, nazywamy hydrofobowymi. Inne materiały wskutek dużej wilgotności psują się i pęcznieją. Przy produkcji materiałów gorących wilgotność powietrza w ogóle nie daje rezultatów. Ale czasem są kłopoty nawet z materiałami, które normalnie przyjmują wilgoć, np. przy zwijaniu niektórych materiałów w formie rulonów czy bel albo w ogóle przy układaniu ich warstwami na sobie. W takich przypadkach nie ma po prostu czasu na utworzenie się tej mokrej warstewki.

JAK ZAPEWNIĆ WYSTARCZAJĄCĄ WILGOTNOŚĆ POWIETRZA?

Właśnie! Jak to zrobić w praktyce? Najlepiej rozwiązuje sprawę odpowiednie urządzenie klimatyzacyjne. Nastawiona wartość wilgotności jest automatycznie utrzymywana, a użytkownik dba tylko o działanie samego urządzenia. W starych zakładach poradzono sobie w ten sposób, że rozpyla się wodę przez cienkie dysze; wygląda to tak, jakby wydobywała się z nich mgła. Dysze mogą być zainstalowane w kilku miejscach na stałe, a reguluje się jedynie dopływ wody do nich. Jeżeli jednak i z tym są kłopoty, to należy ustawić balię z wodą i rozwiesić duże prześcieradła — płachty, mocząc je co jakiś czas w bali (rys. 30). Parująca z nich woda, szczególnie w gorących pomieszczeniach, może dostarczyć wystarczającej wilgotności.

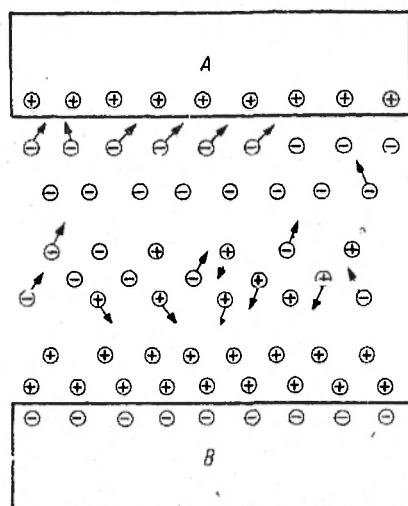


Rys. 30. Ten system nawilżania powietrza nie jest oparty na najnowszych zdobyczach techniki, ale spełnia dobrze swoje zadania

JONIZACJA POWIETRZA

Usuwanie ładunków elektrostatycznych z materiałów izolacyjnych, które ponadto nie dają się zwilżyć, dokonujemy przez jonizację powietrza. Omówimy tę sprawę nieco bliżej. W nor-

małych warunkach powietrze nie przewodzi prądu, lub w bardzo małym stopniu. Gdyby powietrze dobrze przewodziło, to nie doszłoby do naelektryzowania się dwóch różnych materiałów, a więc nie byłoby niebezpieczeństwa wyładowania iskrowego, a tym samym wybuchów i pożarów. Powietrze będzie wtedy dobrze przewodzić, kiedy znajdzie się w nim odpowiednia liczba swobodnych ładunków elektrycznych. Całe więc zagadnienie sprowadza się do tego, aby pomiędzy dwa przedmioty **A** i **B** (rys. 31), z których jeden jest naładowany ujemnie, a drugi dodatnio,



Rys. 31. Ruch w powietrzu ładunków elektrycznych dodatnich i ujemnych pomiędzy dwoma naładowanymi przewodami

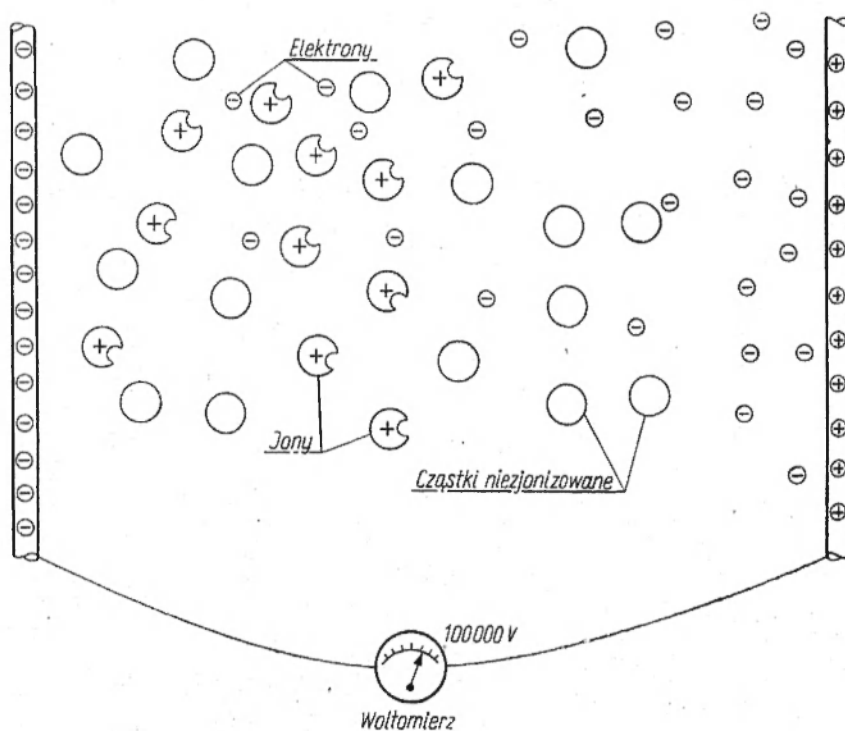
wprowadzić pewną liczbę ładunków elektrycznych ujemnych i dodatnich. Jak widać na rysunku, w środku pomiędzy tymi materiałami ładunki są częściowo pomieszane ale wszystkie ujemne dążą do materiału **A** naładowanego dodatnio, a wszystkie dodatnie do materiału **B** naładowanego ujemnie. Powstał więc w powietrzu ruch ładunków elektrycznych, czyli prąd pomiędzy **A** i **B**. Jeżeli tylko będzie wystarczająca liczba tych ładunków, to nastąpi całkowite rozładowanie obu materiałów, albo — jak inaczej mówimy — całkowite zneutralizowanie elektryczności statycznej.

Wytworzenie w powietrzu dodatnich i ujemnych ładunków elektrycznych nazywamy jonizacją powietrza. Mamy kilka sposobów wywołania jonizacji powietrza: działaniem wysokiego napięcia, działaniem ciał promieniotwórczych, promieniami nadfioletowymi, Roentgena itp. Dwa pierwsze sposoby są stosowane w zakładach przemysłowych celem zwalczania elektryczności statycznej i dlatego opiszemy je dokładniej.

Pomiędzy dwoma przewodami elektrycznymi (rys. 32) panuje napięcie 100 000 woltów, które wskazują woltomierz. W powietrzu znajduje się zawsze pewna liczba — zresztą niewielka — atomów pozbawionych jednego elektronu, które nazywamy jonami dodatnimi oraz wolnych elektronów, które oder-

wały się od tych atomów. Pod wpływem wysokiego napięcia wolne elektrony pędzą do przewodu naładowanego dodatnio roztrzaskując po drodze cząstki powietrza, których w 1 cm^3 znajduje się 27 000000 000000 000000.

Oczywiście elektron, pędząc przez taką ilość cząstek, musi po drodze w niejedną z nich trafić. Jeżeli trafi w elektron, który krąży dokoła danego atomu, to wyrzuci go z jego toru i od-tąd pędzą już dwa elektrony oraz jeden jon dodatni. Te dwa

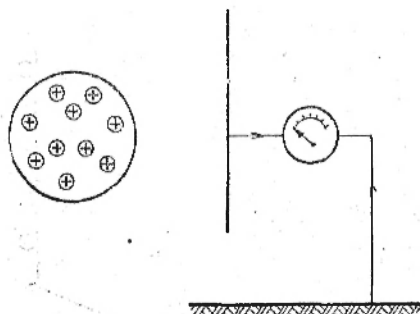


Rys. 32. Jonizowanie powietrza pod wpływem wysokiego napięcia

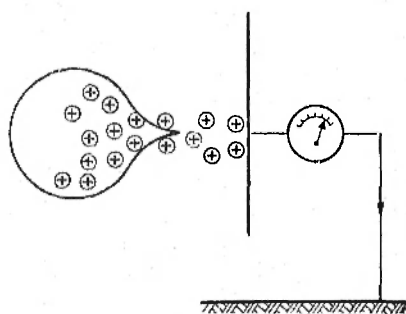
elektrony trafiają znowu w inne atomy i każdy z nich wybija znowu po jednym elektronie. Więc dalej pędzą już 4 elektrony, potem 8, 16, 32 itd. Ale nie zapominajmy o jonach dodatnich. One również pod wpływem wysokiego napięcia gonią, oczywiście do przewodu ujemnego, i również po drodze rozbi-jają inne atomy, czyli jonizują powietrze. Liczba elektronów i jonów dodatnich rośnie jak lawina i stąd się bierze nazwa

wprowadzona przez fizyków: jonizacja lawinowa. Oczywiście w powietrzu pozostaje jeszcze mnóstwo niezjonizowanych cząstek, elektrycznie obojętnych. Widać to na rys. 32. Na tym samym rysunku widzimy również, że elektrony już są przy przewodzie dodatnim a jony dość ciężkie poruszają się w kierunku przewodu ujemnego. Jest to zrozumiałe, gdyż elektrony są tysiące razy lżejsze od jonów dodatnich, a więc bez porównania szybsze.

W opisanym przykładzie jonizacji powietrza przyjęliśmy napięcie w wysokości 100 000 woltów. Ale dzięki temu, że z cienkich, przede wszystkim ostro zakończonych przewodów, intensywniej sphywają ładunki, możemy stosować w jonizatorach używanych w zakładach przemysłowych napięcie znacznie niższe, rzędu zaledwie kilku tysięcy woltów. O tym, że z przedmiotów ostro zakończonych z łatwością sphywają ładunki przekonano się w następujący sposób. Kulę naładowaną elektrycznością ustawiono w pobliżu blachy połączonej z ziemią (rys. 33).



Rys. 33. Z kuli naładowanej elektrycznie ładunki nie chcą sphywać do ziemi

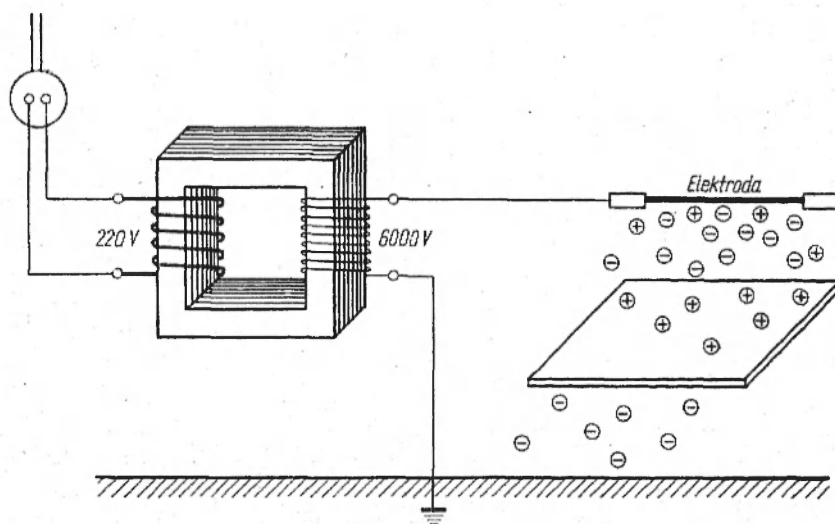


Rys. 34. Z kuli ostro zakończonej ładunki sphywają do ziemi

a w przewod łączący blachę z ziemią włączono czuły przyrząd mierzący prąd. Przyrząd ten nie wykazał żadnego przepływu prądu. Jednak gdy naelektryzowano podobną kulę z ostrym zakończeniem z jednej strony — stwierdzono przepływ prądu (rys. 34). Z tego powodu w urządzeniach wysokiego napięcia unikamy wszelkich ostrych krawędzi, szpiczastych i ostrych zakończeń, z których ładunki łatwo uciekają.

Poznaliśmy sposób jonizacji powietrza przy pomocy wysokiego napięcia. Ale wszystko, o czym dotychczas pisaliśmy, to teoria. A jak naprawdę wygląda takie urządzenie, które stosujemy

w zakładzie przemysłowym w celu zwalczania elektryczności statycznej? Urządzenie takie nazywane jest różnie: eliminator elektryczności statycznej, zubożniacz, neutralizator itp. Wszystkie te urządzenia są jednak jonizatorami powietrza. Na rys. 35 widzimy niewielki transformator zasilany napięciem 220 woltów, dający po wtórnej stronie napięcie 600 woltów. Jeden koniec uzwojenia wysokiego napięcia łączymy z ziemią, a drugi z elektrodą, która ma rozmaite kształty, zależnie od urządzenia. które jonizator ma rozładowywać. Najczęściej jest to przewód zapatrzony w kolce, z których — jak wiemy — ładunki łatwo spływają. Pomiedzy elektrodą a ziemią znajduje się przedmiot



Rys. 35. Schemat jonizatora wysokiego napięcia

nie przewodzące prądu, lecz naelektryzowany elektrycznością statyczną, który chcemy rozładować. Bez trudności domyślamy się jak tu jonizator działa. Pomiedzy elektrodą a ziemią powietrze zostaje zjonizowane i cząstki elektryczności ujemnej — elektrony pędzą do jonów dodatnich znajdujących się w materiale. Następuje zubożnienie ładunków, które pojawiły się na tym przedmiocie, a więc nie ma już elektryczności statycznej, nie grozi wyładowanie iskrowe, nie ma niebezpieczeństwa wybuchu czy pożaru.

Zorientowani, choćby tylko częściowo, w elektrotechnice będą zapewne mieli następującą wątpliwość. Z transformatora otrzy-

ujemy prąd zmienny, a więc na elektrodzie pojawiają się raz ładunki dodatnie, raz ujemne i to z szybkością 50 zmian na sekundę, gdyż taką częstotliwość ma prąd zasilający transformator. Dlaczego więc mowa jest tylko o elektronach? I jak działa jonizator, jeżeli pod elektrodą będzie materiał naładowany ujemnie? Wątpliwość ta i pytanie są uzasadnione, a odpowiedź jest następująca: badania i pomiary wskazały, że z elektrody spływają ładunki dodatnie i ujemne zgodnie ze zmianami prądu, jednak z tą różnicą, że spływ ładunków ujemnych jest znacznie intensywniejszy aniżeli dodatnich, a to dlatego, że elektrony są bez porównania ruchliwsze od jonów dodatnich. Jeżeli materiał został naelektryzowany ujemnie, to również nastąpi rozładowanie, mianowicie przy pomocy jonów dodatnich. Może to rozładowanie nastąpi o ułamek sekundy później niż w przypadku rozładowania przez elektrony, ze względu na mniejszą ruchliwość jonów dodatnich, ale praktycznie nie ma to znaczenia. Tak więc jonizator na prąd zmienny będzie działał dobrze w każdych warunkach.

Są również eliminatory zasilane prądem stałym wysokiego napięcia, ale droższe i bardziej skomplikowane, gdyż oprócz transformatora podwyższającego napięcie, muszą posiadać prostownik. Mają jednak tę zaletę, że na jednej elektrodzie zawsze mamy ładunki dodatnie a na drugiej ujemne i możemy ustawiać je odpowiednio do potrzeb.

Przy stosowaniu opisanych eliminatorów elektryczności statycznej, zasilanych wysokim napięciem, musimy pamiętać o możliwości wywołania iskry przez przypadkowe zbliżenie elektrody do uziemionych części, tzn. pośrednio do drugiego końca uzwojenia wysokiego napięcia transformatora. Pod napięciem ok. 6000 woltów, jakie mamy na eliminatorze, o przeskoku iskry nie jest trudno, tym bardziej, że elektrodę musimy trzymać możliwie blisko materiału. W związku z tym nasuwa się pytanie: eliminujemy elektryczność statyczną, aby zapobiec jej iskrowemu wyładowaniu, a robimy to przy pomocy urządzenia, które samo może wywołać iskry, a więc grozi wybuch i pożar? Tak jest istotnie, ale pamiętajmy, że elektryczność statyczną eliminujemy nie tylko z obawy przed niebezpieczeństwem wybuchu, ale także ze względu na różne trudności produkcyjne, jakie elektryczność statyczna powoduje. Tam więc, gdzie nie ma obawy o wybuch czy pożar, możemy swobodnie stosować jonizatory zasilane wysokim napięciem. Ale tam, gdzie grozi niebezpieczeństwo, trzeba zastosować jonizatory pracujące na innej zasadzie.

Iskry nie są jedynym niebezpieczeństwem, jakie stwarza jonizator zasilany wysokim napięciem. Istnieje jeszcze możliwość porażenia pracownika lub wywołania nienormalnej reakcji mięśni. Dobry jonizator powinien i może być tak zbudowany, że w żadnym przypadku nie porazi śmiertelnie pracownika. Jak wiemy, skutki rażenia zależą od natężenia prądu, jaki przez człowieka przepłynie. Jeżeli więc z eliminatora nie będzie mógł popłynąć prąd większy aniżeli kilka tysięcznych ampera, (tzn. kilka miliamperów), wtedy urządzenie będzie bezpieczne.

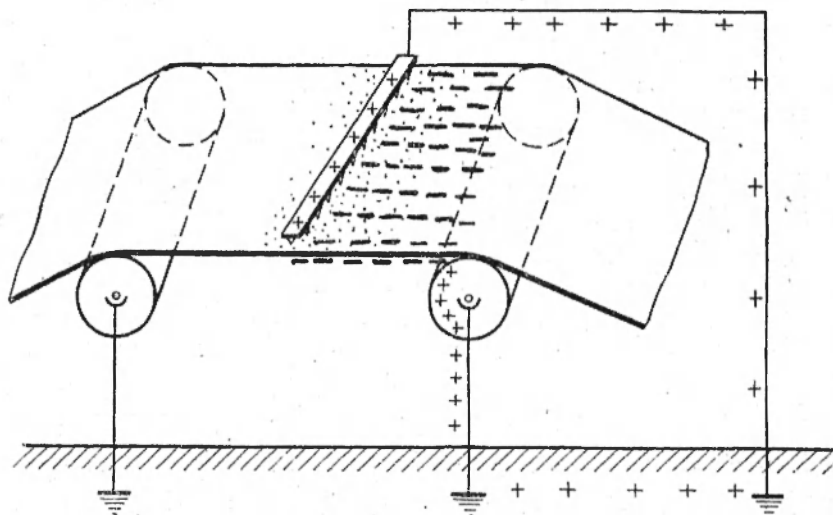
Nienormalna reakcja mięśni, to np. szarpnięcie ręką w chwili przypadkowego zetknięcia się z elektrodą jonizatora lub nawet tylko zbliżenia ręki do niej. Przecież człowiek stoi zwykle na ziemi, więc jest z nią połączony, jakkolwiek buty przedstawiają pewną oporność. Zatem przy zbliżeniu, np. końca palca, do elektrody — może się zdarzyć przeskok iskry. Wstrząs, jaki niespodziewanie odczujemy, może spowodować jakąś niespodziewaną reakcję człowieka. Jeżeli w pobliżu znajdują się jakieś części maszyn w ruchu, to taka reakcja mięśni może spowodować poważne obrażenie cielesne. Specjaliści od zagadnień zwalczania elektryczności statycznej radzą zbadać jonizator jeszcze przed zainstalowaniem, czy nie popłynie przez jego uzwojenie prąd większy aniżeli kilka miliamperów, a następnie po zainstalowaniu badać, przez zbliżenie palca do elektrody, czy nie „kopie” z siłą, która powodowałaby nienormalną reakcję mięśni.

NEUTRALIZATORY INFLUENCYJNE

Poznaliśmy mechanizm jonizacji powietrza, do czego potrzebne jest napięcie wynoszące co najmniej kilka tysięcy woltów. Im wyższe jest ono tym intensywniej przebiega jonizacja. Ale przecież w zjawiskach elektrostatycznych spotykamy również wysokie napięcia wywołane samym elektryzowaniem się materiałów. Zapewne wszyscy pamiętają, jak to pomiędzy plecami człowieka, który powstał z krzesła krytego plastykiem, a tym krzesłem pojawiło się napięcie 5000 woltów? Jeżeli tak jest naprawdę, to dlaczego nie można by tak wysokiego napięcia wykorzystać do rozpoczęcia jonizacji? Niewątpliwie takie pytanie postawili sobie specjaliści od elektryczności statycznej i wymyślili eliminator wykorzystujący właśnie napięcie wywołane elektryzowaniem się materiałów.

Urządzenie do jonizacji jest nadzwyczaj proste i składa się z pręta metalowego zaopatrzonego w kolce lub innego rodzaju ostrza, połączonego z ziemią i ustawionego możliwie blisko elek-

tryzującego się materiału (rys. 36). Skoro powstało napięcie pomiędzy materiałem i uziemioną konstrukcją rolek, po których ten materiał biegnie, i gdy pręt eliminatora połączymy z ziemią, to w takim razie mamy również napięcie pomiędzy materiałem i prętem. Narzędzie takie, które Amerykanie nazywają neutralizatorem influencyjnym, działa dobrze pod warunkiem, że napięcie jest wystarczająco wysokie do rozpoczęcia jonizacji. Po jej rozpoczęciu zaczyna się rozładowanie elektryczności statycznej, która nagromadziła się na materiale. Z kolei w czasie rozładowywania następuje oczywiście spadek napięcia. Skoro napię-



Rys. 36. Jonizator wykorzystujący napięcie powstałe pomiędzy naelektryzowanym materiałem a ziemią

cie spadło, to i jonizacja kończy się. Tak więc ten prosty typ jonizatora dobrze działa, gdy materiał jest stale elektryzowany i daje odpowiednio wysokie napięcie. Niestety, nie wszędzie da się zastosować. Np. przy układaniu na sobie elektryzujących się arkuszy papieru, albo innego izolacyjnego materiału eliminator influencyjny źle działa, gdyż rozładowuje tylko częściowo. Zawsze więc pozostaje napięcie szczątkowe, które w przypadku dobrze zaprojektowanych i celowo umieszczonych neutralizatorów influencyjnych wynosi ok. 500 woltów. W innych, nie tak dobrze zaprojektowanych czy zainstalowanych neutralizatorach napięcie

szczątkowe może być nawet wielokrotnie wyższe, co oczywiście podnosi trudności produkcyjne i powoduje niezadowolenie obsługi i powątpiewanie jej w celowość takich urządzeń.

JONIZACJA PRZY POMOCY PREPARATÓW RADIOAKTYWNYCH CZYLI PROMIENIOTWÓRCZYCH

Rozpad jąder atomów pierwiastków promieniotwórczych (rad, uran, polon) charakteryzuje się emitowaniem, czyli wysyłaniem 3 różnych rodzajów cząstek, które otrzymały nazwy od pierwszych liter alfabetu greckiego, a mianowicie alfa, beta i gamma. Ponieważ cząstki te mają zdolności jonizowania powietrza, więc zastosowano je w urządzeniach do zwalczania elektryczności statycznej.

Jonizator, zbudowany na takiej zasadzie, jest prosty w użyciu, nie wymaga żadnego zasilania energią elektryczną i nie może spowodować wyładowania iskrowego. Budowa jego jest nieskomplikowana, gdyż w cieniutkiej złotej lub niklowej kopercie znajduje się niewielka ilość substancji promieniotwórczej. Całość jest odpowiednio obudowana, zwykle w podłużnej rynience chroniącej delikatne koperty od uszkodzeń. Okres pracy zależy od rodzaju pierwiastka. Tak np. eliminator radowy straciłby połowę swojej zdolności do jonizowania powietrza dopiero po prawie 1700 latach⁴⁾, jednak w praktyce koperta pokrywa się z czasem osadami, które hamują bieg cząstek alfa jonizujących powietrze, a przy oczyszczaniu bardzo łatwo uszkodzić kruchą metalową powłoczkę. Wadą zubożeniacza pracującego przy pomocy radu, jest emisja promieni beta i gamma. Mianowicie promienie beta wywołują zapalenie skóry, a promienie gamma przenikają głęboko do tkanek ciała, powodując tam zmiany. Ze względu więc na zdrowie obsługi jonizatory radowe muszą być tak umieszczone, aby pracownicy nie byli narażeni na działanie bezpośrednich lub odbitych promieni beta i gamma. Niezależnie od tego pracownicy muszą być pouczeni o szkodliwym działaniu tych promieni.

⁴⁾ Każdy pierwiastek promieniotwórczy charakteryzuje tzw. „połowiczny okres rozpadu“, tj. czas, w którym zanika połowa jego masy. Należy to rozumieć w ten sposób, że po dalszym takim samym okresie zaniknie połowa pozostałej połowy itd. Połowiczne okresy rozpadu są bardzo różne dla różnych pierwiastków i ich odmian, czyli izotopów. Wynoszą one od sekund do miliardów lat. Dla radu okres ten wynosi prawie 1700 lat.

Innym pierwiastkiem, stosowanym w jonizatorach promieniotwórczych, jest polon. Jego połowiczny okres rozpadu jest stosunkowo krótki, tak że czas działania takiego jonizatora produkcji amerykańskiej wynosi zaledwie dwa lata. Zaletą tego pierwiastka jest emitowanie przede wszystkim cząstek alfa dobrze jonizujących powietrze, natomiast cząstki beta i gamma są wprawdzie emitowane, ale w ilościach nie działających szkodliwie na organizm ludzki. Zato sam pierwiastek posiada trujące własności i w przypadku uszkodzenia złotej powłoczki cząstki jego mogą dostać się z powietrzem do organizmu.

Poza wyżej wymienionymi pierwiastkami używa się za granicą do jonizatorów różnych izotopów promieniotwórczych, przy czym wtórnie podają sposoby ich instalowania, a zwłaszcza — odległości, w jakich należy je zamocować od powierzchni, którą chcemy rozładować.

Jakkolwiek poszczególne eliminatory zawierają minimalne ilości materiałów radioaktywnych, to jednak szereg eliminatorów zainstalowanych w jednej hali produkcyjnej stwarza pewne niebezpieczeństwo. Mianowicie w razie pożaru hali — wywołanego niekoniecznie elektrycznością statyczną — mogą powstać dymy radioaktywne, a później popiół radioaktywny w zgłiszczach. Nie ma wprawdzie jeszcze doświadczenia w tej dziedzinie, ale musimy o takiej możliwości pamiętać.

CZYM KIEROWAĆ SIĘ PRZY DOBORZE ZOBOJĘTNIACZY ELEKTROSTATYCZNYCH?

1) Dla maszyny, która konstrukcją swoją przedstawia jakieś niebezpieczeństwo dla obsługi, np. koła zębate, walce i inne ruchome, lecz łatwo dostępne części, zobojętniacz powinien być starannie dobrany na podstawie prób, które muszą wykazać, że żadne przypadkowe zetknięcie się obsługi z jakąkolwiek częścią zobojętniacza nie wywoła nienormalnych reakcji mięśni, które spowodowałyby obrażenie ciała.

2) Jeżeli istnieje niebezpieczeństwo wybuchu w zamkniętej przestrzeni, takiej jak np. suszarki pionowe czy poziome, nie można stosować zobojętniaczy wytwarzających iskry, chyba że zostanie zbadane, iż energia tych iskier jest kilkakrotnie mniejsza od energii potrzebnej do wywołania wybuchu mieszaniny występującej w danej przestrzeni. Badania takie potrafią przeprowadzić chemicy.

3) W procesach technologicznych, w których elektryczność statyczna powoduje takie zjawiska, jak wzajemne przyleganie

lub odpychanie się arkuszy papieru, warstw tkanin, tworzyw sztucznych itp. — stosowanie zubojetniaczy influencyjnych jest bezcelowe. Nadają się tu najlepiej jonizatory zasilane prądem zmiennym lub stałym.

4) W procesach technologicznych, w których elektryzowany materiał przesuwa się z szybkością około 50 m na minutę, a napięcie występujące pomiędzy materiałem a uziemionymi częściami dochodzi do 25 000 woltów — zubojetnienie elektryczności statycznej natrafia na trudności, nawet w tych krajach, w których działa szereg firm produkujących różne jonizatory. Jeżeli w takim procesie zostaną zastosowane jonizatory influencyjne, należy się liczyć z pozostaniem nawet dość wysokich napięć szczytkowych.

5) W przypadku stosowania zubojetniaczy promieniotwórczych należy szczególnie starannie przestrzegać wskazówek producenta oraz postarać się o systematyczną kontrolę skażenia powietrza w otoczeniu zainstalowanych zubojetniaczy, a także kontrolę napromieniania obsługi pracującej w odległościach co najmniej 6 metrów od zubojetniacza. Przy nieodpowiednio osłoniętym zubojetniaczu radowym na taką właśnie odległość mogą działać szkodliwie promienie gamma.

O WPLYWIE ZJONIZOWANEGO POWIETRZA NA CZŁOWIEKA

Czytelników zajmujących się szczególnie higieną pracy będą zapewne interesować zagadnienia związane z wpływem zjonizowanego powietrza na człowieka, tym bardziej, że są rozmaite czynności czy procesy techniczne powodujące mniej lub więcej intensywną jonizację powietrza, jak niektóre reakcje chemiczne, łuk elektryczny oraz pewne czynności mechaniczne (toczenie, szlifowanie, obcinanie itp.).

Wg źródeł radzieckich istnieje niewątpliwy wpływ, ale nie został on jeszcze wystarczająco zbadany, jakkolwiek istnieją materiały zebrane w klinikach oraz wyniki doświadczeń potwierdzające biologiczne działanie zjonizowanego powietrza. Tak np. stwierdzono, że pył naładowany elektrycznością osiada na drogach oddechowych w większej ilości aniżeli pył nienaelektryzowany.

Stwierdzono również, że zjonizowane powietrze działa korzystnie na organizm człowieka przy zaburzeniach uczuleniowych, alergicznych. Przypuszcza się, że zjonizowane powietrze działa w rozmaitych przypadkach normalizująco. Tak np. odpowiednie leczenie zjonizowanym powietrzem ma przywracać do normy

ciśnienie krwi, tzn. podwyższać je u osób, które cierpią na niskie ciśnienie i przeciwnie — obniżyć zbyt wysokie ciśnienie.

Nader ciekawe są badania prowadzone zarówno w Związku Radzieckim, jak i w Stanach Zjednoczonych, dotyczące ogólnego samopoczucia człowieka w zależności od stopnia zjonizowania powietrza. Stwierdzono korzystny wpływ jonów ujemnych, przy czym okazało się, że urządzenia do klimatyzacji powietrza zużywają je pod względem zawartości jonów i stąd częste skargi pracowników na złe samopoczucie w zakładach klimatyzowanych. Włącza się więc obecnie w urządzenia klimatyzacyjne specjalne aparaty wytwarzające jony ujemne. W związku z tym badania idą w kierunku ustalenia najkorzystniejszego stopnia zjonizowania powietrza. Jednak w niektórych przypadkach jonizacja zwiększa szkodliwe dla człowieka działanie pyłów i par zawieszonych w powietrzu.

Nie ulega więc wątpliwości, że zjonizowane powietrze ma istotny wpływ na warunki pracy. Prowadzone badania dostarczą po pewnym czasie konkretnych przykładów w tym zakresie.

O BUTACH PRACOWNIKA STYKAJĄCEGO SIĘ Z ELEKTRYCZNOŚCIĄ STATYCZNA

Przez stykanie z urządzeniem elektryzującym się ciało ludzkie również ładuje się elektrycznie. Jeżeli jest ono dobrze izolowane od ziemi, to gromadzące się na ciele i ubraniu ładunki elektryczne nie spłyną do ziemi i dopiero w momencie, kiedy człowiek przypadkiem dotknie ręką jakiegoś uziemionego przedmiotu, odczuje przepływ prądu. Co ciekawsze, będzie mu się wydawało, że to ten przedmiot jest naelektryzowany i że on właśnie „kopnął”. Aby temu zapobiec nie należy nosić butów dobrze izolujących od ziemi. Niech ładunki elektryczne, które mogłyby się nagromadzić na ciele ludzkim, swobodnie spływają przez buty do ziemi. Przy tym nasuwa się pytanie, który but przewodzi prąd elektryczny, a który nie? Mogłoby się wydawać, że np. męskie buty na grubej gumie, tzw. „traktory”, nie przewodzą prądu, jednak nie zawsze tak się dzieje. Są przecież gumy specjalnie produkowane jako przewodzące. Nie wiemy więc, czy dane buty przewodzą, czy nie. Najlepiej przy pomocy induktora zbadać, czy oporność podeszwy nie jest większa aniżeli 10 milionów omów (10 megomów) i nie mniejsza niż 500 000 omów (pół megoma); w takich bowiem granicach może znajdować się jej oporność, aby dobrze przewodziła ładunki elektrostatyczne. Chcąc zmierzyć oporność podeszwy, trzeba przygotować kawałek

giętkiej, czystej, niemalowanej blachy, mniej więcej tak duży jak stopa, połączyć ją w dowolnym miejscu przewodem z induktorem i włożyć do buta, którego oporność podeszwy mamy mierzyć. Blachę tę — nazywamy ją elektrodą — należy dobrze przycisnąć, najlepiej obciążając ją kawałkiem ołowiu lub żelaza. Chodzi o to, że stopa człowieka dobrze i silnie przylega do podeszwy, a więc podobnie powinna przylegać ta elektroda. But stawia się na innym kawałku blachy, który zastąpi teraz ziemię, łączy się go również z induktorem i przeprowadza pomiar. Przy tym pomiarze musimy pamiętać, że jeżeli blacha nie będzie wewnątrz dobrze przylegać, to wystąpi dodatkowy opór stykowy i pomiar wykaże większą wartość oporności podeszwy aniżeli ona w rzeczywistości posiada. Będziemy wtedy szukać innych butów, o mniejszej oporności podeszwy, a tymczasem te dobrze nadają się do naszych celów.

O PRZEWODZĄCEJ PODŁODZE

Uważny czytelnik mógł zwrócić w poprzednim ustępie uwagę, że mówiliśmy o spływie ładunków elektrycznych do ziemi przez podeszwę, a przecież w pomieszczeniach zakładów przemysłowych, gdzie występują zjawiska elektryczności statycznej nie chodzi się bezpośrednio po ziemi, lecz po podłodze. Określenie „ziemia” należy we wszystkich naszych rozważaniach zawsze rozumieć dosłownie jako ziemię. A więc na drodze przepływu ładunków elektrostatycznych od jakiejś maszyny poprzez człowieka i jego buty do ziemi pojawia się nowy element podłoga. Jest to element bardzo ważny i mogący sprawić dużo kłopotu, gdyż podłoga nie da się tak łatwo zmienić jak buty. Zatem podłoga musi być również przewodząca, gdyż w innym przypadku szkoda się trudzić dobieraniem przewodzących butów, skoro ładunków elektrostatycznych nie da się odprowadzić do ziemi. Wiadomo, np. że podłoga wykonana z kamienia, płytek klinkierowych, asfaltu, a także linoleum będzie miała dużą oporność, natomiast podłogi z betonu piankowego, gumy przewodzącej a przede wszystkim z ksylolitu (skałodrzew) mają oporność małą. Określenie oporność „duża” czy „mała” nie mówi nic konkretnego. Chcemy wiedzieć dokładnie, ile omów czy milionów omów może ona wynosić w stosunku do ziemi i jak ją mierzyć.

Ładunki elektryczności statycznej powinny odpływać do ziemi szybciej aniżeli pojawiają się na danej maszynie czy urządzeniu. Jest to zrozumiałe, gdyż w przeciwnym przypadku będą się gromadziły w nadmiarze. Szybkość odpływu zależy właśnie od

wartości oporności i jej górna granica nie powinna w zasadzie przekraczać miliona omów (1 megoma), w szczególności w urządzeniach, w których ładunki elektryczności statycznej szybko się pojawiają. W innych przypadkach, przy wolno pojawiających się, oporność podłogi może być znacznie wyższa i dochodzić nawet do 100 milionów omów (100 megomów). Decyzję co do wartości oporności w poszczególnych przypadkach można powziąć dopiero po przeprowadzeniu badań i stwierdzeniu, że w danych warunkach rozładowanie elektryczności statycznej następuje istotnie wystarczająco szybko.

Jednak zbyt małej oporności nie może podłoga posiadać. Ta sprawa wiąże się z możliwością porażenia pracowników przy zetknięciu z normalną instalacją elektryczną siły i światła. Mianowicie jeżeli w pomieszczeniu jest podłoga o dużej oporności, tzn. dobrze izolująca, wtedy jakieś uszkodzenie wyłącznika, gniazdka wtyczkowego, oprawki lampy, grzejnika, suszarki, sznura łączącego odbiornik z siecią itp. nie jest groźne, właśnie dzięki wysokiej wartości izolacyjnej podłogi. Uniemożliwiony jest bowiem przepływ przez nasze ciało do ziemi prądu niebezpiecznego dla życia. Ale w przypadku podłogi dobrze przewodzącej dotknięcie którejkolwiek z poprzednio wymienionych części instalacji elektrycznej może być katastrofalne. Z tego względu w pomieszczeniu takim wszystkie odbiorniki prądu powinny być uziemione lub zerowane⁴⁾. Ale i to nie zabezpiecza całkowicie, dlatego na wszelki wypadek dolna granica oporności podłogi powinna być taka, aby w razie zetknięcia się z napięciem stosowanym do zasilania przez ciało człowieka przepłynął prąd, który nie wyrządzi żadnej krzywdy, ani też nie wywoła nienormalnego odruchu mięśni. Tą dolną granicą oporności podłogi jest wartość 500 000 omów (pół megoma).

Nie znaczy to oczywiście, że wszystkie podłogi, które mają oporność mniejszą należy zrywać i zastąpić innymi. Są przecież miejsca, gdzie pracownicy pracują na żelaznych pomostach,

⁴⁾ W urządzeniach elektroenergetycznych jako ochronę przed porażeniem stosujemy albo „uziemienie“, albo „zerowanie“. Różnica polega na tym, że w przypadku uziemienia wszystkie korpusy maszyn elektrycznych, urządzeń, oprawek lamp itp., które na skutek uszkodzenia izolacji mogą znaleźć się pod napięciem, łączymy z ziemią, natomiast przy zerowaniu łączymy je z przewodem zerowym. Na terenie całego danego zakładu przemysłowego może być zastosowany tylko jeden z wymienionych sposobów ochrony przed porażeniem prądem z sieci elektrycznej; albo uziemienie, albo zerowanie, przy czym są przepisy, które te sprawy normują. Nie dotyczy to zabezpieczeń przed wyładowaniami elektryczności statycznej.

których oporność w stosunku do ziemi może być bliska zera. Chodzi tu o podłogi przede wszystkim w takich pomieszczeniach, gdzie człowiek normalnie nie obawia się zetknięcia z instalacją elektryczną bo przypuszcza, że podłoga dobrze izoluje go od ziemi, np. w salach operacyjnych, a właśnie tu ze względu na niebezpieczeństwo elektryczności statycznej musimy dawać podłogi przewodzące.

Przy pomiarze oporności podłogi powinniśmy również posługiwać się elektrodą z blachy, podobnie jak przy pomiarze oporności buta. Elektroda powinna mieć powierzchnię nie większą niż 20 cm² i dobrze przylegać do podłogi. Oporność mierzymy pomiędzy tą elektrodą a najbliższą „ziemią”, np. wodociągiem, kaloryferem itp. Oczywiście pomiar należy przeprowadzić w kilku miejscach i to przede wszystkim tam, gdzie obsługa będzie się normalnie stykała z urządzeniami, na których pojawia się elektryczność statyczna.

Ale to nie wszystko. Przecież podłoga bywa utrzymana w różnym stanie. Dlatego zróbcie dwa pomiary. Najpierw zmierzcie w takich warunkach, w jakich normalnie ta podłoga się znajduje. A więc nawet jeżeli jest brudna czy zasypana jakimiś odpadkami, szczególnie izolacyjnymi (tworzywa sztuczne, skrawki filmów itp.), a także natarta jakąś pastą, której zwykle używa się do podłogi. Następnie zmierzcie oporność w kilku miejscach podłogi, którą przedtem oczyścicie papierem ściernym, tak aby rzeczywiście zmierzyć oporność samej podłogi. Z porównania wyników tych obu pomiarów zorientujecie się, jakie należy wydać zarządzenia, aby zapewnić dobre odprowadzenie ładunków elektryczności statycznej do ziemi.

U w a g a. Przynajmniej na 24 godziny przed opisanymi powyżej pomiarami podłoga nie może być myta.

WPLYW ODZIEŻY

Nie zdajemy sobie na ogół sprawy, że my sami jesteśmy źródłem pojawiania się ładunków elektrycznych. Przy każdym naszym ruchu powodujemy tarcie o siebie różnych części ubioru, w szczególności bielizny o ubranie. Naelektryzowane materiały powodują przyciąganie z powietrza różnych stałych cząstek, co niewątpliwie jest powodem brudzenia się naszej bielizny. W normalnym, codziennym życiu nie potrzebujemy zwracać uwagi na dobór materiałów, które nosimy, ale w pomieszczeniach niebezpiecznych pod względem wybuchowym unikajmy materiałów szczególnie łatwo elektryzujących się, jak np. jedwab, nylon, per-

lon i podobne tworzywa sztuczne. Najbezpieczniejsze jest noszenie białej bielizny i wierzchnich okryć wykonanych z tego samego materiału. Szczególnie dobrze zaś nadaje się bawełna. Np. Amerykanie wymagają, aby cały personel obsługujący sale operacyjne obowiązkowo przebierał się właśnie w odzież bawełnianą.

Ale nie tylko tarcie odzieży o siebie powoduje elektryzowanie. Również tarcie naszego ciała o odzież wywołuje ładunki elektrostatyczne. Ponieważ ciało nasze przedstawia pewną pojemność, elektryczność gromadzi się na nim. Stwierdzono, że nawet chodzenie w obuwiu skórzanym po asfaltowej podłodze powoduje ładowanie się naszego ciała.

III. O TYPOWYCH PRACACH W PRZEMYŚLE, PRZY KTÓRYCH POJAWIA SIĘ ELEKTRYCZNOŚĆ STATYCZNA I JAK ZAPOBIEGAĆ NIEBEZPIECZEŃSTWU WYWOŁANEMU JEJ DZIAŁANIEM

CIECZE PALNE

Już w pierwszym rozdziale książki wyjaśniono, że ruch cieczy nie przewodzących elektrycznie powoduje pojawianie się ładunków elektryczności statycznej. Zjawiskom tym można przeciwdziałać w znacznym stopniu przez odpowiednie zwiększenie przewodności elektrycznej cieczy, co odbywa się zazwyczaj przez stosowanie dodatków do cieczy, jeśli jest to możliwe ze względu na proces technologiczny.

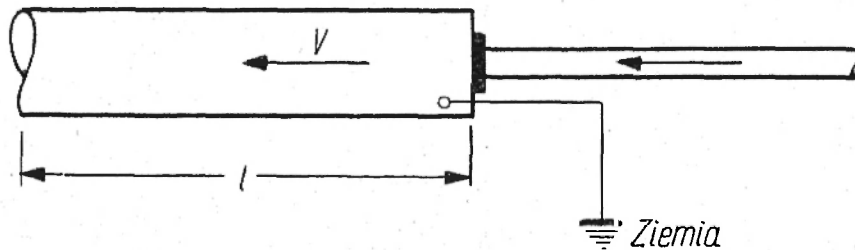
Zjawiska elektryczności statycznej występują szczególnie łatwo przy ruchu takich cieczy, jak eter i dwusiarczek węgla, przy czym napięcie elektrostatyczne może tu osiągnąć wielkie wartości. W dalszej kolejności trzeba wymienić benzen i jego homologi (pochodne), benzynę, naftę, niektóre chlorowane węglowodory, estry, ketony i alkohole. Przy stałej szybkości przepływu cieczy przez rurociąg ładowanie elektrostatyczne zwiększa się wraz ze wzrostem średnicy rurociągu, a przy stałej średnicy — zwiększa się ze wzrostem szybkości przepływu cieczy. Te zmiany szczególnie wyraźnie występują przy osprzęcie zwężkach, reduktorach itp. Naładowana ciecz, która wpływa do zbiornika i jest tam spokojnie składowana, rozładowuje się szybciej lub wolniej w zależności od cechującej ją przewodności elektrycznej. W związku z tym czas rozładowania może wahać się od ułamka sekundy do wielu minut.

Dla uniknięcia przeskoku iskry pomiędzy częściami, które mogą się ładować elektrostatycznie, wszystkie przewodzące części uziemiamy, a w razie trudności z uziemieniem (gdy mamy do czynienia ze zbiornikami i urządzeniami przewoźnymi) — łączymy metalicznie między sobą. Aby warunek ten był dobrze spełniony należy unikać wszelkich nie przewodzących części urządzeń, zbiorników itp. Ujście rurociągów do zbiorników mieszalników

i w ogóle wszelkich pojemników powinno być zbudowane w kształcie rury o możliwie dużej średnicy dla zmniejszenia szybkości wypływu. Należy dążyć do tego, aby wypływający burzliwie z ujęcia strumień cieczy stykał się w jak najmniejszym stopniu ze ścianami zbiornika i z powierzchnią cieczy, która znajduje się już w zbiorniku. Dla spełnienia tego warunku ujęcie rurociągu powinno znajdować się możliwie blisko dna. Ponieważ przy rozpoczęciu napełniania zbiornika nie można uniknąć rozbryzgiwania cieczy, więc do momentu, kiedy ujęcie rurociągu nie znajduje się całkowicie pod powierzchnią cieczy, należy szybkość wypływu bardzo znacznie zmniejszyć. Unikamy w ten sposób rozbryzgiwania, a także rozpylania cieczy.

Wymagania co do szybkości przepływu są następujące. Jeżeli w systemie rurociągów nie można uniknąć zwiększenia szybkości przepływu na skutek koniecznych zwojeń przekroju lub, gdy specjalne potrzeby ruchu wymagają dużych szybkości, zaleca się stosować strefę uspokojenia, która zmniejsza ładowanie elektrostatische.

Strefa uspokojenia (rys. 37) jest to uziemiony odcinek rury o zwiększonym przekroju. Dla takich cieczy, jak nafta, ropa do



Rys. 37. Strefa uspokojenia

napędu silników, benzyna do mycia — długość tego odcinka w metrach oblicza się ze wzoru $l = 3v$, gdzie v jest prędkością przepływu w metrach na sekundę w strefie uspokojenia. W związku z tym ustalono praktycznie pewne zależności pomiędzy średnicą rurociągu a prędkością przepływu. Z zależności tych wynika, że np. przy szybkości cieczy 8 m/sek i średnicy rury w strefie uspokojenia wynoszącej 1 cm, jej długość powinna wynosić $3 \times 8 = 24$ m. Ponieważ tak długie strefy uspokojenia mogłyby być kłopotliwe ze względu na brak miejsca, a więc raczej wskazane jest korzystanie z większych średnic i stosowanie mniejszych prędkości przepływu.

Dla eteru (przy średnicy rurociągu 12 mm) i dla dwusiarczku węgla (przy średnicy 24 mm) dopuszczalna jest szybkość do 1,5 m/sek. Dla estrów, ketonów i alkoholi dopuszczalne są szybkości do 10 m/sek. Przy napełnianiu eterem lub dwusiarczkiem węgla naczyń i zbiorników wykonanych z materiałów nie przewodzących należy odprowadzić ładunki z cieczy za pomocą uziemionych siatek, które muszą jednak być tak zainstalowane, aby wpływająca ciecz nie uderzała o siatkę i nie powiększała przez to stopnia wzburzenia.

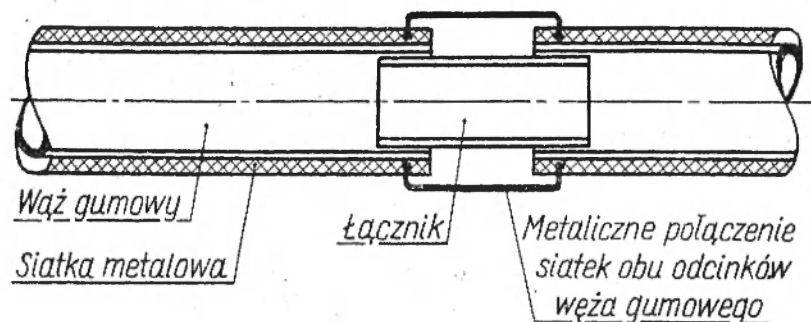
Przewoźne zbiorniki do tankowania stacji benzynowych mogą się w czasie jazdy łądować elektrycznością statyczną wskutek ruchu cieczy w zbiorniku. W związku z tym przed każdym za-tankowaniem zbiorniki powinny być uziemione przy pomocy odpowiednio zaostrzonych sond wbijanych lub wciskanych w ziemię, a połączonych giętkim przewodem ze zbiornikiem. Ponieważ uziemianie takie, w szczególności w miastach, jest trudne do przeprowadzenia, stosuje się łańcuszki, które wloką się po jezdni za zbiornikiem. Na ogół jest to uziemienie wystarczające z wyjątkiem okresu suszy, kiedy wzrasta oporność pomiędzy powierzchnią jezdni a ziemią.

Źródła angielskie przytaczają opis wybuchu zbiornika z benzyną. Nastąpił on w momencie wkładania do zbiornika metalowej miarki w celu zbadania ilości benzyny. Wypadek ten przypisano elektryczności statycznej. Oczywiście, że po wybuchu i po pożarze bardzo trudno jest określić istotną przyczynę wypadku, ale jeżeli podstawowe zasady przeciwpożarowe były zachowane, to wydaje się, że jedyną możliwością wybuchu była nagromadzona elektryczność statyczna. Mogła ona nagromadzić się na ciele pracownika, który był dobrze izolowany od ziemi. Ponieważ ciało ludzkie i metalowa miarka dobrze przewodzą elektryczność, więc w momencie, kiedy pracownik zbliżył miarkę do brzegu metalowego uziemionego zbiornika, cały ładunek elektryczności, jaki znajdował się na ciele ludzkim, wyładował się w postaci iskry. Parująca benzyna utworzyła z powietrzem mieszaninę wybuchową i katastrofa gotowa.

Przytoczyliśmy przykład bardzo charakterystyczny i niech on posłuży jako ostrzeżenie dla tych, którzy mają wątpliwości, czy sam człowiek może naładować się elektrycznością statyczną.

Rurociągi gumowe stosowane do przelewania cieczy palnych powinny być wykonane z gumy przewodzącej albo z gumy z wkładką z siatki drucianej lub drutu stalowego. Przy sztuko-

waniu takich rurociągów należy dbać o to, aby wkładki poszczególnych odcinków rurociągów były ze sobą połączone metalicznie (rys. 38). Oporność sztukowanego odcinka nie powinna być większa niż milion omów. W wyjątkowym przypadku użycia



Rys. 38. Sposób łączenia dwóch odcinków węża gumowego otoczonego siatką metalową

rurociągu nie przewodzącego należy wszelkie metalowe jego części (jak łączniki, gwintowane zakończenia itp.) połączyć metalicznie zarówno między sobą, jak i ze zbiornikiem, pompą, a następnie uziemić.

PRZELEWANIE ETERU I DWUSIARCZKU WĘGLA

Przy przelewaniu tych cieczy należy zachować szczególną ostrożność, przy czym nie powinno się używać naczyń z materiałów izolacyjnych, tzn. nie przewodzących prądu. Jeżeli jednak przelewana ciecz znajduje się w takim naczyniu, należy użyć lejka blaszanego, przyłączyć do niego giętą linkę miedzianą lub podobny materiał przewodzący o takiej długości, aby swobodnie sięgał do dna naczynia. Jeżeli nie można użyć lejka, należy wspomnianą linkę poprowadzić do ujścia węża gumowego czy rurociągu, z którego ciecz wypływa, aż do dna naczynia. Jeszcze lepiej jest wprowadzić to ujście do samego dna naczynia.

Przy pracach z wymienionymi cieczami ważne jest, aby pracownik był należycie „uziemiony”. Przez „uziemienie” pracownika należy rozumieć stworzenie takich warunków, aby ładunki elektryczne mogły swobodnie spływać z pracownika do ziemi. A więc przede wszystkim należy mieć przewodzące buty i stać na przewodzącej podłodze. Łączna oporność butów i podłogi może wynosić około 2 miliony omów. W przypadku gdy urządzenie tego rodzaju uziemienia natrafia na trudności, można nało-

żyć na przeguby rąk pracownika metalowe bransoletki i połączyć je bezpośrednio z rurociągiem, kaloryferem lub inną „ziemią”.

Przy stosowaniu w zbiornikach pływaków z tworzywa sztucznego musimy się liczyć z możliwością wystąpienia na nim ładunków wywołanych zjawiskiem influencji. Należy temu zapobiec przez instalowanie pod pływakiem siatki metalowej dobrze uziemionej i odpornej na korozję. Siatka odprowadzi ładunki z powierzchni cieczy i zjawisko influencji nie wystąpi.

CZYSZCZENIE PRZY POMOCY BENZYNY

Wszelkie urządzenia i aparaty, w których używa się benzyny jako środka do czyszczenia, muszą być uziemione. W maszynach pralniczych muszą być uziemione wszelkie metalowe okucia drewnianych części, i to zarówno ruchomych, jak i nieruchomych. To samo odnosi się do stołów drewnianych, na których odbywa się czyszczenie. Wszelkie rurociągi z izolującymi wkładkami nie powinny mieć większej oporności w stosunku do ziemi jak milion omów. Przewoźne naczynia i zbiorniki do spłukiwania muszą mieć koła z materiału przewodzącego, a podłoga musi być tak dobrana, aby jej oporność w stosunku do ziemi była utrzymana w granicach poprzednio podanych, tzn. aby miała wystarczającą przewodność dla odprowadzenia elektryczności statycznej. Odprowadzenie ładunków z benzyny można ułatwić przez odpowiednie zwiększenie jej przewodności. Uzyskujemy to przez dodanie do niej pewnej ilości jednego z następujących środków:

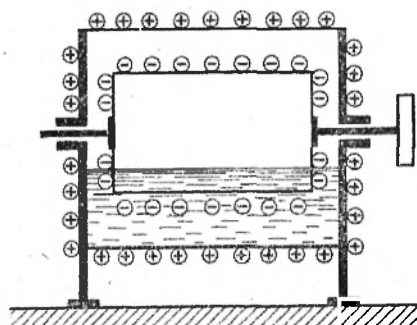
- alkoholu (3—4%),
- oleinianu magnezu (0,01—0,1%),
- kwasu octowego (0,1%).

Również mydła benzynowe, oleinowo-amoniakalne oraz olejo-potasowe okazały się dobrymi środkami zwiększającymi przewodność benzyny. Szczególnego zachowania ostrożności wymaga świeża, całkowicie bezwodna benzyna, która w wysokim stopniu ładuje się elektrostatycznie.

Z materiałów przeznaczonych do czyszczenia należy usunąć wszelkie metalowe guziki, naszywki itp. Po wyczyszczeniu należy unikać wyjmowania rzeczy w sposób nieciągły, tzn. skokami lub przez szarpanie. Niezależnie od powyższych zaleceń należy w pomieszczeniach do czyszczenia utrzymać względną wilgotność powietrza powyżej 70%. Pracownicy powinni nosić obuwie o wystarczającej przewodności, nie wolno im natomiast używać

ubrań z jedwabiu sztucznego i naturalnego, nylonu, perlonu i podobnych nie przewodzących tworzyw sztucznych.

Rys. 39 przedstawia schematycznie maszynę pralniczą. Wewnątrz obudowy znajduje się ruchomy bęben, obracający się w łożyskach zamocowanych w obudowie. Do bębna zaopatrzonego w otwory wkładamy rzeczy przeznaczone do czyszczenia. Podczas



Rys. 39. Schemat bębna do czyszczenia odzieży

ruchu bęben — na skutek tarcia przedmiotów szczególnie wełnianych — elektryzuje się ujemnie, a obudowa — na skutek indukcji — dodatnio. Jeżeli oliwa w obu łożyskach bębna wystarczająco izoluje bęben od obudowy, wtedy ładunki elektryczne nie mogą się rozładować i przy otwieraniu bębna, czy wyjmowaniu rzeczy — może nastąpić przeskoczenie iskry. Pary rozpuszczalnika znajdującego się na dnie obudowy tworzą z powietrzem wystarczająco wybuchową mieszankę, aby iskra spowodowała wypadek. Literatura notuje liczne wypadki i pożary w pralniach wyposażonych w tego rodzaju maszyny. Jak więc ochronić się przed wybuchem?

1) Przede wszystkim używać rozpuszczalników niepalnych.
2) Rozpuszczalniki palne powinny przewodzić elektryczność.
3) Uziemić obudowę.
4) Zainstalować na osi ruchomego bębna szczotki metalowe lub węglowe, podobnie jak na kolektorze czy pierścieniach silnika elektrycznego, i połączyć je z obudową. Szczotki te będą odprowadzać elektryczność z ruchomego bębna do obudowy i ziemi i niedopuszczą do gromadzenia się elektryczności statycznej mimo izolacyjnej warstwy oliwy w łożyskach.

PRODUKCJA FILMÓW

W czasie produkcji taśmy filmowej występują ładunki elektrostatyczne na skutek oddzielenia się filmu jako materiału nie przewodzącego od walców, rolek i innych części maszyn. Wysokość napięcia zależy od gatunku filmu, od gładkości, a zwłaszcza od prędkości, z jaką film biegnie i odwija się z rolki. Przy kondensacyjnej metodzie produkcji z ochroną gazem obojętnym skład gazu musi być bieżąco kontrolowany, aby nie dopuścić

do powstania mieszaniny wybuchowej. Szczególnie starannej kontroli wymaga moment rozruchu i odstawienia maszyny.

Przy odciągowej metodzie produkcji musi być zapewniona niezbędna ilość powietrza świeżego. Dotyczy to również suszarek, zwłaszcza gdy następuje dodatkowa obróbka filmu przy pomocy palnych rozpuszczalników. Wszystkie metalowe części maszyn należy uziemić.

Szczególne środki ostrożności muszą być zachowane przy produkcji filmów z nitrocelulozy. Przy wyjściu z maszyny należy film spryskiwać wodą lub zanurzać w wodzie. Nader łatwo powstające ładunki przy nawijaniu, odwijaniu lub przewijaniu filmu należy odprowadzać przy pomocy metalowych szczotek, łańcuszków i innych zbieraczy zamocowanych na uziemionej metalowej poprzeczce, umieszczonej nad bieżącym filmem. Szybkość biegu taśmy z nitrocelulozy nie może przekraczać 10 m/min.

Przy pracach z odpadkami filmów, które mają być rozpuszczone, w szczególności przy przerzucaniu ich, przenoszeniu, wytrząsaniu itp. pojawiają się ładunki elektrostatyczne. W związku z tym przed wrzuceniem odpadków do mieszalnika należy zwilżyć je cieczą przewodzącą, np. odpowiednio spreparowanym rozpuszczalnikiem, po czym wprowadzić do mieszalnika potrzebną ilość właściwego rozpuszczalnika, przestrzegając zasad podanych w sprawie przelewania cieczy palnych; następnie przy pomocy izolowanych narzędzi — napełnić mieszalnik odpadkami. Wszystkie przewodzące części mieszalnika powinny być uziemione, a podłoga wystarczająco przewodząca; należy usuwać z niej również resztki lakierów, które mogą tworzyć warstwę izolacyjną. Pożądane jest utrzymanie względnej wilgotności powietrza na poziomie co najmniej 70%. Przy wszelkich odpadkach filmu z nitrocelulozy, zwłaszcza przy maszynach perforujących taśmę utrzymanie wymienionej wilgotności jest konieczne. W braku odpowiednich urządzeń klimatyzacyjnych można to łatwo osiągnąć rozpylając wodę ponad kotłem mieszalnika.

W czasie nawijania gotowych taśm filmowych na rolki pojawiają się drobne iskierniki, które mogą naświetlić taśmę. Ślady tego znajdujemy na taśmie po jej wywołaniu w formie czarnych linii. Z tego względu konieczne jest staranne eliminowanie elektryczności statycznej z bieżących taśm.

PRACE PRZY POWLEKARKACH

Przy powlekarkach pojawiają się ładunki elektrostatyczne w momencie oddzielania się tkaniny (pokrytej np. gumą lub warstwą sztucznego tworzywa) od walca lub jakiegokolwiek innej

części maszyny. Wysokość napięcia elektrostatycznego zależy od rodzaju gumy, czy tworzywa, gładkości powierzchni, od właściwości aparatury, a w szczególności od szybkości biegu materiału. Możemy zapobiec niebezpieczeństwu wyładowania się nagromadzonej elektryczności statycznej przez zainstalowanie poprzecznie, tuż nad bieżącą taśmą, uziemionych metalowych grzebieni, które ułatwiają jonizację powietrza (eliminatory indukcyjne). Wskazane są również inne sposoby jonizacji, np. jonizatory radioaktywne.

Dla uniknięcia powstawania mieszaniny wybuchowej należy odciągać parujące rozpuszczalniki przy dużym nadmiarze powietrza. Dobre wyniki daje również praca aparatury w atmosferze azotu, oczywiście jeżeli to jest możliwe ze względów technologicznych.

GAZY TECHNICZNE

Jak już poprzednio zostało wyjaśnione, wypływ gazów z butli wywołuje ładunki elektrostatyczne. Pojawianie się ich przy gazach niepalnych nie jest w zasadzie groźne. Tylko w przypadku, gdy w pobliżu wypływu gazów znajdują się takie materiały, które na skutek iskrowego wyładowania mogłyby się zapalić czy wybuchnąć, musimy zapobiec tym zjawiskom. Przede wszystkim należy unikać gazów i par, które w połączeniu z powietrzem tworzą mieszaniny wybuchowe, i używać gazów możliwie czystych. Wskazane jest stosowanie możliwie małych prędkości wypływu gazów. Brak tu jednak danych liczbowych. Należy utrzymywać względną wilgotność powietrza w granicach co najmniej 70% i ziemić dyszę, przez którą gaz wypływa.

Nie zaleca się używania instalowanej czasem w strumieniu wpływającego gazu uziemionej siatki do odprowadzenia ładunków do ziemi. Siatka taka może spowodować burzliwy przepływ gazów i w związku z tym powiększyć liczbę ładunków elektrostatycznych. W żadnym razie nie należy zostawiać izolowanych przewodników, tzn. metalowych przedmiotów, na izolacyjnych rączkach, w strumieniu gazu, gdyż mogą się one naładować do wysokiego napięcia.

LAKIEROWANIE NATRYSKOWE

Przy tym procesie powstają również ładunki elektrostatyczne na skutek wypływu strumienia powietrza z cząstkami lakieru z pistoletu, przy czym pistolet i lakierowany przedmiot ładują się przeciwnie. Jeżeli lakier jest rozpylany przy użyciu dużej

ilości powietrza, a pomieszczenie jest dobrze wentylowane, to nie ma niebezpieczeństwa eksplozji. Możliwe jest raczej niebezpieczeństwo szoku nerwowego u pracownika na skutek wyładowania się przez niego elektryczności statycznej, zwłaszcza gdy natryskuje duże przedmioty.

Pistolet i wszystkie metalowe części aparatury, a także duże lakierowane przedmioty należy uziemić.

PYŁY

Stanowią one w przemyśle poważny problem. W pewnym zakładzie produkującym sproszkowane kakao powtarzały się niewielkie pożary i wybuchy. Badania natrafiały na trudności i nie można było znaleźć przyczyny tych zjawisk. Zapytywani robotnicy odpowiadali, że raptem, bez żadnej widocznej dla nich przyczyny, zaczyna się palić. Wysunięto przypuszczenie, że ogień wywołuje elektryczność statyczna. Po przeprowadzeniu w tym kierunku badań i pomiarów okazało się, że proszek kakaowy ładuje się elektrycznie, i to w wysokim stopniu, szczególnie w czasie mielenia i pod walcami, przy czym wysokość napięcia była zależna od nacisku walców. Stwierdzono też, że na metalowych częściach maszyn izolowanych od ziemi również gromadziły się ładunki elektryczności statycznej. Przeprowadzono rozmaite próby, a między innymi zauważono, że przy pobieraniu próbki proszku kakaowego przy pomocy metalowego narzędzia z rączką izolacyjną, w momencie zbliżenia narzędzia do uziemionej konstrukcji maszyny, przeskoczyła iskra. Świadczyło to, że narzędzie w strumieniu proszku kakaowego zostało naładowane elektrycznie, a wyładowanie nastąpiło od ziemi. Dopiero, gdy robotnicy przyjrzeliby się takim próbom, uświadomili sobie i przypomnieli, że ogień wybuchał zawsze w czasie manipulowania przy maszynie, i to zwykle jakimś kluczem do przykręcania nakrętek, śrubokrętem itp.

WYBUCH MĄCZKI GUMOWEJ

W jednym z zakładów produkujących mączkę gumową zdarzyła się poważna eksplozja w pomieszczeniu elewatora kubełkowego, który mączkę tę prznosił. Obudowa elewatora była prawidłowo uziemiona, jednak podczas badań okazało się, że pomiędzy łańcuchem, do którego przymocowane były kubelki, a metalową obudową elewatora powstał bardzo duży opór dla przepływu prądu. Wskutek tego elektryczność statyczna, która powstała przy ocieraniu się mączki gumowej o metalowe

kubelki, nie mogła odpłynąć do ziemi. Kierownictwo tego zakładu uważało, że łańcuch i kubelki są bezpośrednio połączone z obudową poprzez metalowe łożyska i osie i że wobec tego, nie ma potrzeby osobno uziemiać łańcucha i kubelków, tym bardziej, że nastęczało to trudności. Istotnie w początkowym okresie pracy wszystko odbywało się normalnie i wspomniany opór elektryczny był wystarczająco mały, aby gromadzącą się elektryczność szybko odprowadzić do ziemi. Ale po pewnym czasie mączka gumowa wcisnęła się wszędzie i osiadła tak, że powstała izolacyjna warstwa, utrudniająca odpływ elektryczności statycznej do ziemi. Któż by przypuszczał, że mieszanina mączki gumowej z powietrzem przedstawia materiał wybuchowy, który był przyczyną poważnej eksplozji.

ZAWINIŁ PYŁ PARAFINOWY

W jednym z chemicznych zakładów przemysłowych robotnik napełniał pyłem parafinowym zbiornik z benzyną. Normalnie czynność tę wykonywało automatyczne urządzenie, przechylające metalową beczułkę zawierającą ten pył. Możliwe, że robotnik, który sam był izolowany od ziemi, chciał sobie przyspieszyć pracę, a może coś się zacięło w mechanizmie, dość, że robotnik ów wziął tę beczułkę do rąk i potrząsnął nią energicznie w celu wysypania zawartości. W tym momencie spora iskra przeskoczyła z brzegu beczułki do brzegu zbiornika z benzyną zapalając benzynę.

Zapewne już każdy z czytelników potrafi wytłumaczyć sobie zjawiska elektryczne, które tam zaszły. W czasie wytrząsania z beczułki pył parafinowy ocierał się o boki i brzeg, i ładował beczułkę elektrycznością. Ponieważ robotnik trzymający ją w ręce był izolowany od ziemi, więc nagromadziła się na niej pewna ilość elektryczności statycznej i wyładowała w formie iskry przeskakującej do uziemionej części maszyny.

Ze względu na często spotykany w rozmaitych procesach przemysłowych transport pneumatyczny pamiętajmy, że zawsze powstają wtedy mieszaniny pyłu z powietrzem, oraz że na skutek wzajemnych zderzeń i tarcia o ściany urządzeń i rurociągów występują ładunki elektrostatyczne. W zasadzie jest to zjawisko podobne jak przy wypływie gazów technicznych z butli. Bardzo wysoko mogą się ładować pyły tworzyw sztucznych, a także tlenków żelaza, szelaku, karbidu, piasku kwarcowego itp.

Ponieważ wszystkie palne materiały stałe po rozdrobieniu tworzą z powietrzem mieszaninę wybuchową, należy podjąć od-

powiednie środki ochronne. Trzeba unikać dużych szybkości przepływu, a względną wilgotność powietrza utrzymywać nie mniejszą niż 70%. Dyszę wypływu pyłów i pozostałą aparaturę należy uziemić. Nie można stosować uziemionych siatek metalowych w strumieniu pyłu, gdyż burzą one strumień i zwiększają ładowanie elektrycznością statyczną. Pod żadnym warunkiem nie wolno stosować izolowanych metalowych przedmiotów w strumieniu pyłu.

Przy pobieraniu ze strumienia pyłu próbek należy zachować szczególną ostrożność. Trzeba uprzednio przeprowadzić badania, czy lepiej stosować przewodzący, czy też nie przewodzący przyrząd do pobierania próbek. Przyrząd przewodzący należy uziemić, a przy nie przewodzących przyrządach unikać jakichkolwiek metalowych okuć. Używane w młynach worki do ładowania poprzednio wymienionych pyłów powinny być wykonane z materiału przewodzącego elektryczność statyczną oraz uziemione. Worki z tkanin można uczynić przewodzącymi przez wplecenie w nie drutów.

MATERIAŁY WYBUCHOWE

Przy produkcji, dozowaniu, składowaniu i innych czynnościach z materiałami wybuchowymi mogą powstać wysokie napięcia elektrostatyczne prowadzące do iskrowego wyładowania. Sprawa jest groźniejsza niż przy innych materiałach dlatego, że zapalenie się materiału wybuchowego zależy nie tylko od energii iskry wyładowania elektrycznego, lecz także od rodzaju i stanu materiału wybuchowego. Najpodatniejsze na zapalenie się są materiały inicjujące, które równocześnie najłatwiej ładują się elektrycznością statyczną. Natomiast takie materiały, jak nitrogliceryna czy nitroglikol są znacznie mniej wrażliwe i już przy małej wilgotności w granicach 0,2—1,0% wykazują pewną przewodność elektryczną, zapobiegającą gromadzeniu się elektryczności statycznej. Materiały wybuchowe do celów przemysłowych nie wykazują skłonności do ładowania się przy normalnie występującej wilgotności.

Przy pracy z materiałami wybuchowymi należy przede wszystkim unikać ruchów i czynności, przy których następuje tarcie się materiałów o siebie. Wskazane jest przenoszenie ich na przenośnikach wykonanych z materiałów przewodzących, a nie na rynkach potrzęsalnych. Powiew powietrza może również — przy sprzyjających warunkach atmosferycznych — wywołać naładowanie elektrycznością statyczną swobodnie leżących materiałów wybuchowych. Także cienkie, jednorodne warstwy ciekłych lub

stopionych materiałów wybuchowych ładują się silnie przy tarcu. Kształt ziarn sypkich materiałów wybuchowych ma pewien wpływ na ładowanie się. Mianowicie okrągłe ziarna ładują się słabiej niż ziarna o ostrych kantach. Skłonność do ładowania się tych materiałów można zmniejszyć przez podwyższenie ich przewodności elektrycznej. Możemy to uczynić przez metalizowanie, grafitowanie lub nawilgacanie, przy czym jednak wzrasta wrażliwość na zapłon od iskry. Wszelkie narzędzia pracy i rurociągi powinny być wykonane albo wyłącznie z materiałów izolacyjnych, albo tylko z materiałów przewodzących.

W pomieszczeniach, w których powstają zjawiska elektryczności statycznej, wskazane jest stosowanie podłogi z materiałów przewodzących. W miarę możliwości wszelkie maszyny, urządzenia i środki transportowe powinny być wykonane z materiałów przewodzących i uziemione. W przypadku gdy zastosowany został materiał izolacyjny np. w rurociągach, wskazane jest uczynienie ich przewodzącymi przez metalizowanie lub grafitowanie oraz uziemienie. Używane w młynach worki powinny być wykonane z materiałów elektrostatycznie przewodzących i uziemione. W przypadkach, w których nie można uniknąć elektrostatycznego ładowania się produktu możemy ładunki odprowadzić instalując na drodze przesuwanego się produktu uziemione metalowe pręty lub druty. W młynach można zastosować metalowe uziemione tkaniny do przesiewania.

Przy produkcji materiałów wybuchowych, łatwo zapalających się nawet przy bardzo małej energii iskry, trzeba zwrócić szczególną uwagę na staranne uziemienie wszystkich metalowych części nawet o bardzo małej pojemności, aby nie dopuścić do gromadzenia się nawet minimalnych ilości energii. Powierzchnie stanowisk pracy i miejsc, gdzie odstawia się gotowy produkt, powinny być stale wilgotne albo wyłożone materiałem przewodzącym i uziemione. Również naczynia i pojemniki na łatwo zapalające się materiały wybuchowe powinny mieć powierzchnie przewodzące, np. grafitowane lub wykonane z gumy przewodzącej. Należy je ustawiać na uziemionych podkładach.

Dla odprowadzenia ładunków elektrostatycznych z wszelkich materiałów nieprzewodzących należy utrzymać względną wilgotność powietrza na poziomie nie niższym niż 70%.

NAPĘD PASOWY

Jak już poprzednio wspomniano, napęd pasowy jest źródłem pojawiania się ładunków elektrostatycznych. Wielkość ładunków zależy od materiału pasa i koła pasowego, od szerokości stykają-

cej się powierzchni koła i pasa, od poślizgu, a także od przewodności elektrycznej tych materiałów. Ze względu na niebezpieczeństwo, jakie napęd pasowy niesie ze sobą pod względem elektrostatycznym, należy w pomieszczeniach niebezpiecznych pod względem wybuchowym stosować napęd bezpośredni. W razie jednak konieczności zastosowania napędu pasowego koło pasowe powinno być wykonane z materiału przewodzącego i uziemione. Celowe jest również stosowanie w produkcji pasów z materiałów przewodzących.

Innym sposobem odprowadzania ładunków elektrostatycznych jest utrzymanie względnej wilgotności powietrza na poziomie nie niższym niż 70% lub posmarowanie pasa substancją przewodzącą. Możemy tu zastosować mieszaninę gliceryny z wodą lub gliceryny z alkoholem w stosunku 1:1. Rozprowadzamy ją pędzlem po zewnętrznej stronie pasa.

Dla pasów skórzanych nadaje się w szczególności następująca mieszanina: 9 części kleju rybiego, 7 części gliceryny, 7 części czerwonego oleju tureckiego, 12 części wody, 6 części sadzy acetylenowej i 2 części amoniaku w 2-procentowym roztworze. W mieszaninie tej sadza jest czynnikiem podwyższającym przewodność elektryczną. Przy przyrządzaniu mieszaniny rozgrzewa się najpierw glicerynę i klej rybi, mieszając prawie do zagotowania, po czym wlewa się pozostałe składniki. Mieszaninę należy rozprowadzić po wewnętrznej stronie pasa. Przechowywać ją trzeba w szczelnie zamkniętych naczyniach. Do pasów gumowych dobrze nadaje się mieszanina złożona z 9 części pokostu i 1 części sadzy acetylenowej, którą również należy rozprowadzić po wewnętrznej stronie pasa. Pasmowanie pasa jedną z wymienionych mieszanin wystarcza na ogół na okres 1 tygodnia, lecz zależy to oczywiście od warunków lokalnych.

Stosowane czasem woskowe preparaty dla zwiększenia przyczepności pasa do koła pasowego zwiększają równocześnie oporność powierzchniową pasa, przez co wzrasta niebezpieczeństwo występowania ładunków elektrostatycznych.

Napęd pasowy jest zwykle osłonięty jakąś konstrukcją chroniącą pracowników przed niebezpieczeństwem porwania przez pas. Jeśli jest to konstrukcja metalowa, należy się liczyć z możliwością pojawienia się na niej ładunków elektrostatycznych wywołanych zjawiskiem influencji. Konstrukcję taką należy uziemić, i to nie tylko w pomieszczeniach niebezpiecznych pod względem wybuchowym, ale w każdym przypadku, aby pracownik w razie jej dotknięcia nie uległ szokowi.

WKŁĘSŁODRUK

Również maszyny drukarskie są źródłem występowania ładunków elektrostatycznych. Pojawiają się one na papierze lub innym materiale drukowanym i na różnych elementach maszyny, takich jak walce, rolki, przewodniki i inne w momencie, kiedy materiał odrywa się lub schodzi z wymienionych elementów. Również i farbą może się poważnie naładować wskutek działania wirującego w niej walca. Wartość ładunków elektrostatycznych zależy od wielu czynników, jak np. od rodzaju i właściwości drukowanego materiału, wilgotności, nacisku, szybkości biegu materiału itd. Praktyka wykazała, że najwyższe napięcie występuje w bezpośredniej bliskości naczynia zawierającego farbę i że tu istnieje największe niebezpieczeństwo wybuchu mieszaniny par farb z powietrzem.

Przed wszystkim należy zapobiegać tworzeniu się mieszaniny wybuchowej przez odpowiednią obudowę naczyń z farbami, odciąganie tworzącej się mieszaniny i obniżenie temperatury. Następnie materiał drukowany musi być odpowiednio wilgotny, a części maszyny stykające się z tym materiałem powinny być przewodzące. Maszyna drukarska, zwłaszcza jej części wirujące, powinny być uziemione, podłoga wykonana z materiałów przewodzących, a obuwie obsługi nie może być izolujące.

Należy unikać ubrań z jedwabiu naturalnego i sztucznego, a także z włókien syntetycznych (nylon, perlon) oraz utrzymywać względną wilgotność powietrza w granicach 75% lub też jonizować powietrze. Przy czynnościach związanych z przygotowaniem farby, jak mieszanie, przelewanie, przepompowywanie, należy uziemić metalowe naczynia, lejki w taki sposób, jak opisany przy omawianiu czynności związanych z cieczami łatwopalnymi.

Oprócz niebezpieczeństwa wybuchu związanego z elektrycznością statyczną przemysł poligraficzny ma w ogóle kłopoty z elektryzowaniem się papieru. W szczególności „zlepianie” się papieru, które jest objawem przyciągania się różnoimiennie naelektryzowanych arkuszy, jest dokuczliwym zjawiskiem utrudniającym pracę. Przekonacie się sami, czytelnicy, jak łatwo się papier elektryzuje i „lepi”. Potrzyjcie wierzchem dłoni kilka leżących na sobie gładkich arkuszy papieru i spróbujcie je rozdzielić. Zjawisko lepienia występuje bardzo wyraźnie. W drukarniach można obserwować długie „ogony” ciągnących się za sobą arkuszy papieru. Posypywanie w takim przypadku papieru talkiem w celu zmniejszenia lepienia nie daje rezultatów, gdyż talk nie jest materiałem przewodzącym i nie ułatwia rozładowania naelektryzowanych powierzchni.

SALE OPERACYJNE

W salach operacyjnych szczególnie łatwo występuje zjawisko elektrostatyczne. Sucha i ciepła atmosfera, duża liczba różnych podkładów z gumy i z tworzyw sztucznych oraz prześcieradeł, ręczników i innych materiałów, które szybko ściągają się czy nakładają na stół operacyjny powoduje intensywne elektryzowanie się sali nawet do wysokiego napięcia. Poza tym podawanie pacjentom przy pomocy aparatury respiracyjnej czystego tlenu oraz środków narkotycznych stwarza atmosferę szczególnie podatną na wybuch, co zresztą potwierdza praktyka. Wybuch w niewielkiej objętościowo sali i połączony z tym zwykle pożar, pociąga za sobą zazwyczaj jeden wypadek śmiertelny — pacjenta — o którego życie lekarze właśnie walczą, oraz poparzenie czy porażenie personelu i zniszczenie aparatury.

O wrażliwości atmosfery sal operacyjnych na wybuch świadczy fakt, że trzepnięcie prześcieradłem na stole operacyjnym stwarza napięcie elektrostatyczne wystarczające do wywołania iskry powodującej wybuch. Podobne napięcie może wywołać posługiwanie się workiem respiracyjnym lub wypływ gazów z butli przy nagłym otwarciu zaworu, szybkie chodzenie po niewłaściwie zaprojektowanej czy wykonanej podłodze w butach izolacyjnych. Stwierdzono, że napięcie już powyżej 1100 woltów stwarza niebezpieczeństwo wybuchu.

Zapobieganie gromadzeniu się elektryczności statycznej w salach operacyjnych sprowadza się zasadniczo do zapewnienia odpowiedniej przewodności wszystkich urządzeń znajdujących się w sali, ze specjalnym uwzględnieniem podłogi, butów i ubrania personelu, oraz do unikania materiałów szczególnie łatwo elektryzujących się. Przewodność podłóg powinna być umiarkowana ze względu na możliwość porażenia w zetknięciu z normalną instalacją elektryczną. Buty powinny mieć podeszwy przewodzące, a poza tym cały personel powinien obowiązkowo przebierać się w odzież bawełniana. Gumowe pokrycia materiałów i podkłady powinny być bezwzględnie z materiałów przewodzących. Niestety, różne prześcieradła i koce bawełniane używane na stołach operacyjnych są nieprzewodzące i dlatego one są właśnie najpoważniejszym źródłem pojawienia się elektryczności statycznej. Praktykowane przez pielęgniarki i personel pomocniczy gwałtowne narzucanie czy zrzucanie takich materiałów, szczególnie suchych powoduje równie gwałtowne elektryzowanie się. Dopóki produkcja przewodzących koców i prześcieradeł nie zostanie zadowolająco rozwiązana, stoły operacyjne będą zawsze tym „ogniskiem

zapalnym". Powolne nakładanie i zdejmowanie tych nakryć ze stołów operacyjnych może w pewnym stopniu zapobiec elektryzowaniu się.

Również i pozostały gumowy sprzęt powinien być wykonany z gumy przewodzącej. Zaliczamy do niego worki respiracyjne, rękawice oraz kółka i nakładki na nóżki rozmaitych ruchomych mebli sali.

Lekarze zasypują czasem rękawice gumowe talkiem dla łatwiejszego wciągania ich na ręce. Talk rozsypywany przy tym po podłodze tworzy warstewkę izolującą buty, kółka, nakładki i utrudniającą spływ ładunków z ludzi i przedmiotów do ziemi.

W braku kółek i nasadek na nóżki z gumy przewodzącej używa się czasem łańcuszków wlokących się po podłodze i mających w ten sposób zapewnić uziemienie mebli. Badania prowadzone w Stanach Zjednoczonych wykazały, że są one nie tylko mało skuteczne, ale w niektórych przypadkach rozdzielanie się ogniów zwisającego łańcuszka może być powodem iskrzenia inicjującego wybuch.

Podłoga sal operacyjnych powinna być jednolita, tzn. nie składana z elementów, pomiędzy którymi istnieją pasowania zmniejszające przewodnictwo elektryczne. Pasty używane do podłóg powinny być takie, aby nie obniżały ogólnej przewodności podłogi.

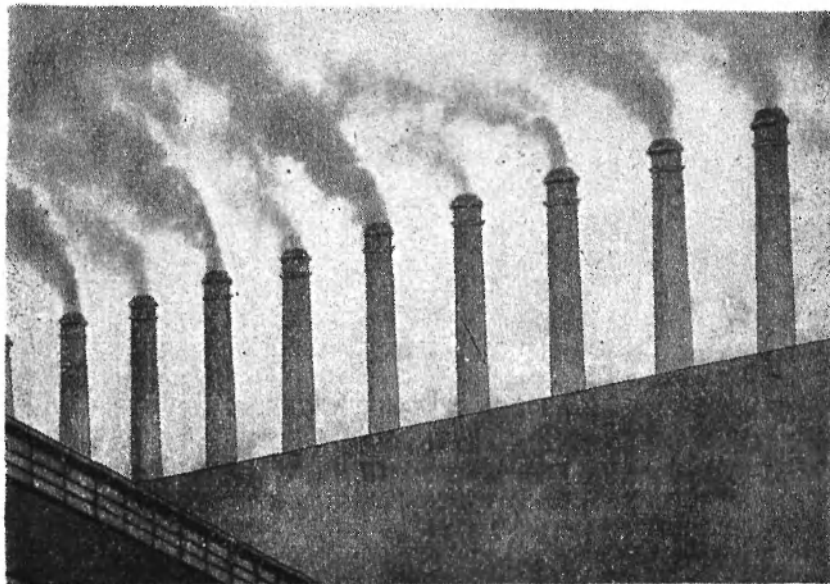
Personel sal operacyjnych, daleki od zainteresowań zagadnieniami elektryczności statycznej, powinien być szkolony na temat niebezpieczeństwa i zapobiegania pojawianiu się elektryczności statycznej. Niezależnie od tego powinny być wyznaczone osoby, do których obowiązków należałoby stałe kontrolowanie materiałów używanych w salach operacyjnych, oporności podłogi, sprzętu itp.

IV. O PRZEMYSŁOWYM WYKORZYSTYWANIU ELEKTRYCZNOŚCI STATYCZNEJ

Dotychczas opisywaliśmy niebezpieczeństwo, jakie elektryczność statyczna przedstawia dla przemysłu, oraz sposoby obrony przed nią. Lecz te same zjawiska, które w pewnych przypadkach są niebezpieczne, w innych zostają z pożytkiem wykorzystane.

ELEKTROFILTRY

Bardzo ważne dla przemysłu w ogólności, a dla przemysłu chemicznego w szczególności, wykorzystanie zjawisk elektrosta-



Rys. 40. Dymy naszych kotłowni to zmora okolicy

tycznych zostało zrealizowane w elektrofiltrach i daje dwie korzyści: odpyla gazy spalinowe i zatrzymuje cząstki wartościowych materiałów, które ze spalinami ulatują w powietrze. Jak wia-

domo, kominy kotłowni przemysłowych wyrzucają w powietrze duże ilości lotnego popiołu (rys. 40), który nie tylko zanieczyszcza okoliczne pola, domy i inne obiekty, ale wraz z atmosferą dostaje się do pomieszczeń produkcyjnych powodując trudności w procesie technologicznym i przez to straty.

Zapewne nie wszyscy czytelnicy wiedzą, że kotłownia zasilająca parą elektrownię średniej wielkości (o mocy ok. 100 000 kilowatów) wyrzuca w powietrze ok. 200 ton popiołu na dobę!! Przy stosowaniu mechanicznych filtrów jeszcze ok. 20 ton popiołu na dobę ucieka w powietrze. Zapylenie jest więc zimą okolicy i na ogół nie zdajemy sobie sprawy z olbrzymich szkód, jakie powoduje zanieczyszczone powietrze. Problem ten został szczegółowo zbadany w Wielkiej Brytanii, gdzie w 1956 r. weszła w życie ustawa o czystości powietrza. Bezpośrednie szkody wywołane zanieczyszczonym powietrzem, jak powodowanie korozji i zabrudzenia, a w związku z tym konieczne naprawy, zmywanie i ponowne przyozdabianie budynków, następnie utrata zdrowia ludności, opuszczone dni pracy, spadek wydajności w pracy, szacuje się tam na ok. 250 milionów funtów szterlingów rocznie. Olbrzymia ta kwota nie obejmuje trudnych do oszacowania zniszczeń dzieł sztuki wywołanych zabrudzeniem się oraz strat spowodowanych niekompletnym spalaniem węgla w kotłowniach, co w znacznym stopniu powoduje zadymianie i zanieczyszczanie powietrza. Celem wspomnianej ustawy jest zmniejszenie tego zanieczyszczenia o 80% w okręgach o gęstym zaludnieniu. Przewiduje się, że będzie to mogło być zrealizowane w przeciągu 10—15 lat kosztem ok. 625 milionów funtów szterlingów. Jednym z zasadniczych zaleceń ustawy jest instalowanie urządzeń odpylających, do których właśnie należą elektrofiltry.

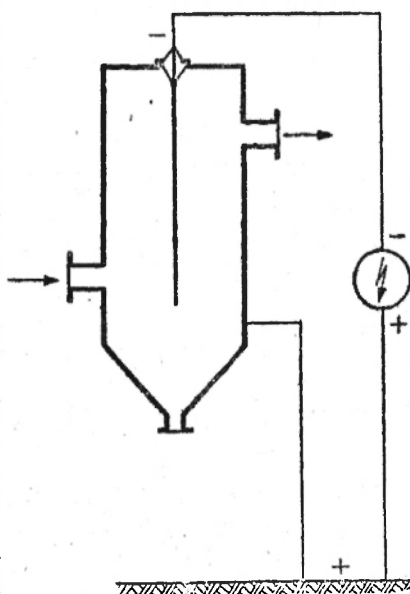
Ze spalinami pieców przemysłowych uciekają często w powietrze drobne cząstki wartościowych surowców. Stosując elektrofiltry odzyskujemy je, przy czym niektóre procesy produkcyjne byłyby w ogóle nieopłacalne, gdyby nie odzysk tych surowców.

Pomysł wykorzystania elektrostatycznych zjawisk do oczyszczania spalin pochodzi jeszcze z końca ubiegłego wieku, lecz w owym czasie nie potrafiono wytworzyć stałego napięcia o takiej wysokości, które nadawałoby się do praktycznego wykorzystania w przemyśle. Dopiero w 1908 r. Cotrell zastosował do tego celu wirujący prostownik mechaniczny wynaleziony przez Goldschmidta. Od tego czasu rozpoczął się intensywny rozwój elektrofiltrów. Zasada ich działania jest następująca: gaz przepływa pomiędzy dwiema elektrodami (rys. 41), między którymi panuje napięcie 40 000—80 000 woltów, w zależności od typu fil-

tru. Wzajemny odstęp elektrod zależny jest od napięcia i waha się w granicach 10—20 cm. Elektroda dodatnia, zwykle uziemiona, musi posiadać odpowiednio dużą powierzchnię, gdyż właśnie na niej osadzają się zanieczyszczenia. Pod wpływem napięcia panującego pomiędzy elektrodami przepływający gaz zostaje zjonizowany, przy czym ujemne jony kierują się ku dodatniej elektrodzie ze średnią szybkością 40—50 m/sek. Stałe cząstki zanieczyszczające spaliny, które znalazły się na drodze tych jonów, zostają również naelektryzowane ujemnie, dążą do anody i osadzają się na niej. Po osadzeniu się na anodzie zanieczyszczeń w formie większych bryłek opadają one same na dno filtru. W innych przypadkach wstrząsa się anodą co pewien czas w celu oderwania zbyt silnie przylegających cząstek.

Stopień odpylenia spalin zależy od czasu, w ciągu którego spaliny znajdują się pod działaniem jonizującego napięcia, a więc od szybkości przepływu i od długości drogi spalin, dalej od napięcia, czyli od energii, z jaką gaz zostaje zjonizowany, wreszcie od wagowej zawartości zanieczyszczeń i ich ziarnistości. Również temperatura i wilgotność spalin mają wpływ na stopień odpylenia. Pewne znaczenie ma również przewodność elektryczna cząstek zanieczyszczających gaz. Dobrze przewodzące cząstki szybko oddają anodzie swój ładunek, źle do niej przylegają i mają tendencję do odskoczenia z powrotem do spalin przepływających przez filtr. Także znaczne rozdrobnienie pyłów wpływa niekorzystnie na pracę elektrofiltrów. Zdolność odpylenia elektrofiltrów wynosi około 98% i większość z nich budowana jest dla takiej wartości odpylenia.

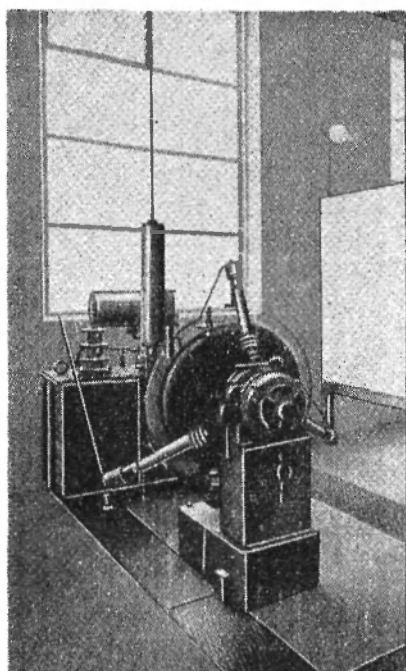
Zasadniczym elementem wyposażenia elektrofiltru jest transformator podnoszący napięcie sieci zasilającej do napięcia potrzebnego dla danego filtru oraz prostownik, dawniej z reguły



Rys. 41. Elektrofiltr firmy Lurgi (schemat)

mechaniczny, dziś także lampowy lub selenowy. W niektórych naszych zakładach przemysłowych można spotkać elektrofiltry firmy Lurgi, z mechanicznym prostownikiem dawnego typu (rys. 42).

Ze względu na wysokie napięcie panujące w filtrze pomiędzy elektrodami oraz ich wzajemną niewielką odległość zdarza się często bezpośredni przeskok iskry między elektrodami, który powoduje zaburzenie w pracy elektrofiltru. Dla uniknięcia takich zaburzeń urządzenie ma specjalny wyłącznik automatyczny, wyłączający w takim przypadku zasilanie i włączający je ponownie natychmiast, co zapewnia spokojny bieg filtru.



Rys. 42. Dawny typ wirującego prostownika spotykamy jeszcze dziś w niektórych naszych zakładach przemysłowych

W niektórych procesach chemicznych dzięki elektrofiltru odzyskuje się cenne materiały, tak że prowadzenie tych procesów staje się w ogóle gospodarczo uzasadnione. Tak np. w wielkich amerykańskich i perskich rafineriach ropy naftowej, które pracują na zasadzie krakingu katalicznego¹⁾ zainstalowanego w ostatnich latach wysokosprawne elektrofiltry dla odzyskania drogiego pyłu katalicznego, który uchodził z gazami. Koncentracja tego pyłu jest bardzo duża, gdyż dla rafinerii o wydajności dziennej około 2100 ton, ilość pyłu katalicznego znajdującego się w obiegu wynosi 2000—3000 ton. Po wstępnym wydzieleniu pyłów z gazów przez filtry mechaniczne reszta mieszaniny pył-

-gaz przenosi jeszcze 18 000 kg pyłu na godzinę. Mieszanina ta zostaje skierowana do elektrofiltrów, które wydzielają z niej około 99% pyłu. Przy podanej powyżej ogólnej ilości tego pyłu odzysk tylko dzięki elektrofiltru wynosi ponad 400 000 kg na dobę, co stanowi bardzo poważną ilość katalizatora, który dla ra-

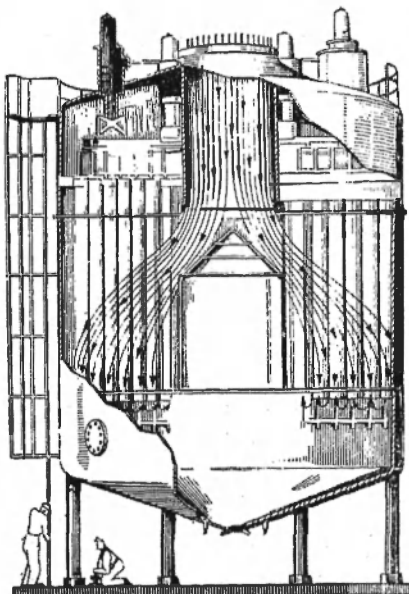
¹⁾ Metoda rafinowania ropy naftowej.

finerii ma podstawowe znaczenie dzięki bardzo dużej powierzchni swoich porów. Katalizatorem tym jest specjalna glina, która po odpowiednim spreparowaniu ma powierzchnię ok. 440 000 m²/kg.

Zastosowanie elektrofiltrów w fabrykach celulozy daje również poważne korzyści. W jednej z wielkich fińskich fabryk o dziennej produkcji około 300 ton celulozy wydzielają elektrofiltry siarczan sodu w ilości około 24 ton na dobę, co w skali rocznej wynosi około 7200 ton. Wartość tej ilości siarczanu sodu wystarcza nie tylko do zamortyzowania w krótkim czasie urządzeń elektrofiltru, ale przyczynia się znacznie do gospodarczego efektu całości inwestycji.

Innym przykładem wysokiej wartości elektrofiltrów jest wydzielanie tlenków baru ze spalin pieców elektrycznych. Zapotrzebowanie na tlenki baru i inne jego związki wzrosło znacznie w ostatnich latach. Ze spalinami pieców ulatują duże ilości pyłu tlenku baru, którego cząstki mają średnicę poniżej 1 mikrona¹⁾.

W roku 1953 zastosowano elektrofiltry w jednym z zakładów przemysłowych Kalifornii dla odzyskania tego ulatującego tlenku. Spaliny zostają najpierw ochłodzone do temperatury około 80° C, po czym wprowadzone od góry do elektrofiltru (rys. 43). Stózek kierujący rozdziela równomiernie strugę spalin i kieruje



Rys. 43. Schemat elektrofiltru do odzyskiwania tlenków baru

ją od dołu ku górze przez szereg rur, które są równocześnie elektrodami osadzającymi pyłek tlenku baru. Przez środek rur przechodzą elektrody jonizujące z drutu o przekroju 6×6 mm. Po wewnętrznych ściankach rur spływa stale cieniutka warstewka wody, która spłukuje gromadzący się tlenek baru. Z dolnej części filtra spuszcza się co pewien czas wartościowy szlam w celu dalszej przeróbki. Ilość gazu, która przechodzi przez filtr, wynosi

¹⁾ Mikron = jedna tysięczna milimetra.

około 85 000 m³/godzinę, przy czym zawartość pyłu wynosi 0,9—1,0 g/m³. W ciągu doby filtr ten wydziela około 2000 kg tlenku baru. Instalacja elektrofiltrów zamortyzowała się w przeciągu dwóch lat. Ale chodzi tu nie tylko o stronę czysto handlową. Filtr wstrzymał dzienne rozpylenie w okolicy tego zakładu 2 ton tlenku baru szkodliwego dla zdrowia.

W roku 1952 zakłady Torrance United States Steel Corporation w Kalifornii zainstalowały elektrofiltry przy piecach martenowskich. Chodziło o zatrzymanie różnych tlenków, jak tlenku żelaza, siarki, baru, manganu, chromu, antymonu, cynku, ołowiu i innych metali, które w czasie topienia złomu w piecach ulatują w powietrze i szarobiałym nalotem pokrywają okolicę stalowni. U nas, na Śląsku można również zauważyć ten nalot w stalowniach i ich okolicy. Przez wiele lat nie można było znaleźć odpowiednich urządzeń i metod dla zatrzymania tych tlenków. Pomysł zastosowania elektrofiltrów okazał się bardzo skuteczny, gdyż wydzielają one około 98% pyłów, a uchodzące z kominów spaliny są prawie niewidoczne. Wymiary cząstek tych pyłów wahają się w granicach 1—0,1 mikrona i przylegają bardzo silnie do elektrod osadzających, tak że musiano zastosować specjalne środki do ich usuwania.

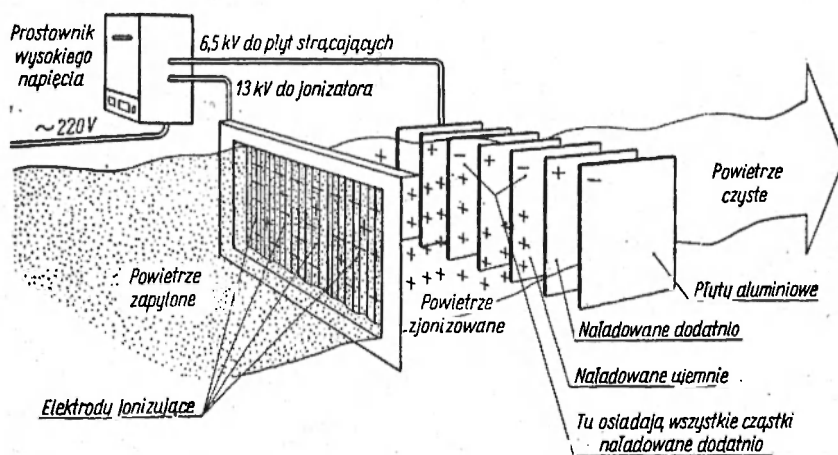
Podobne zastosowanie znalazły elektrofiltry w urządzeniach do czyszczenia grubych blach stalowych płomieniem. Mianowicie blachy takie po wyjściu spod walców wykazują często na brzegach rysy i inne wady, które przed dalszą przeróbką muszą być usunięte. Wykonuje to specjalna maszyna „obrębniarka” płomieniem przy zastosowaniu odpowiednich palników. Powstają przy tym duże ilości tlenków żelaza, z których elektrofiltr zatrzymuje do 98%.

Również przy modnym dziś świeżeniu stali tlenem powstają duże ilości tlenków o wymiarach cząstek poniżej 1 mikrona, które elektrofiltr wyłapuje.

Podaliśmy wyżej ciekawsze przykłady zastosowań elektrofiltrów zainstalowanych dla ochrony okolicy przed zanieczyszczeniem oraz dla odzyskania wartościowych składników. W niektórych przypadkach oczyszczamy powietrze z wszelkich mechanicznych zanieczyszczeń przed wprowadzeniem go np. do klinik, żłobków, teatrów, domów towarowych, zakładów produkujących środki lecznicze, spożywcze itp. Chodzi tu więc o doprowadzenie do pomieszczeń specjalnie czystego powietrza do oddychania lub też decydują względy produkcyjne.

Elektrofiltry stosowane w zakładach przemysłowych nie nadają się do tego celu przede wszystkim z tego względu, że przy

ich pracy wywiązuje się pewna ilość ozonu, który stale doprowadzany do płuc działałby szkodliwie. Również ze względu na niektóre procesy technologiczne ozon jest niedopuszczalny. Dla takiego oczyszczania powietrza atmosferycznego opracowano nieco odmienne typy elektrofiltrów, a mianowicie we wstępnej części elektrofiltru jonizuje się dodatnio cząstki pyłów, które dopiero w dalszej części filtru osadzają się na osobno ujemnie naładowanych elektrodach o formie płyt (rys. 44). Przy tym



Rys. 44. Schemat elektrofiltru do oczyszczania powietrza przeznaczonego dla ludzi

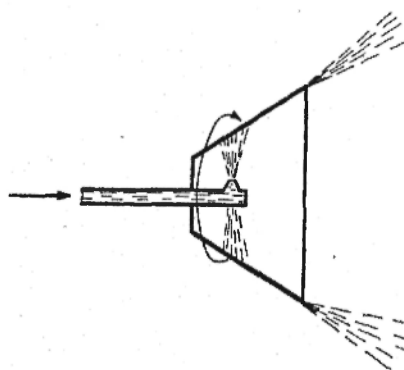
systemie zdołano bardzo znacznie obniżyć napięcie zasilania, mianowicie, w części wstępnej do 13 000 woltów, a w dalszej do 6 500 woltów. Mały typ takiego filtru mieści się w skrzyni o wymiarach około $1400 \times 1000 \times 700$ mm. Pobór energii jest bardzo niewielki, a filtr przyłącza się bezpośrednio do instalacji elektrycznej, tak jak np. lodówkę czy pralkę. Płyty, na których pył osadza się, wyjmuje się co pewien czas i oczyszcza.

Są też produkowane filtry w specjalnym wykonaniu, stosowane do oczyszczania powietrza z pyłów trujących i radioaktywnych. Dopuszczalne zanieczyszczenie powietrza wynosi do 100 mg/m^3 , a wymiary najmniejszych cząstek pyłu wylapywanego przez filtr wynoszą około 0,1 mikrona. Dla porównania warto nadmienić, że cząstki dymu tytoniowego mają wymiary około 0,25 mikrona, a więc filtr taki wylapuje je z łatwością.

ELEKTROSTATYCZNE MALOWANIE NATRYSKOWE

Masowa produkcja różnych przedmiotów, które wymagają pokrycia powierzchni lakierem pochłania ogromne ilości lakierów, przy zastosowaniu pneumatycznego pistoletu natryskowego duża część lakieru marnuje się osiadając na przedmiotach nie przeznaczonych do lakierowania i uchodząc wraz z powietrzem wyciąganym przez wentylatory z pomieszczeń lakierni. Względy te nasunęły myśl zastosowania napięcia elektrostatycznego pomiędzy pistoletem rozpylającym lakier a przedmiotem lakierowanym, w taki sposób, żeby wszystkie części lakieru zostały przyciągnięte przez lakierowany przedmiot. Amerykańska firma Ransburg jako pierwsza opracowała i opatentowała urządzenie do elektrostatycznego lakierowania natryskowego, które bardzo szybko zostało przyjęte przez przemysł. Dziś na terenie Stanów Zjednoczonych posługuje się tą metodą ponad 1000 firm.

Pierwsza metoda, tzw. „Ransburg I” polegała na tym, że przedmioty lakierowane stanowiły anodę, a siatka rozpięta dokoła

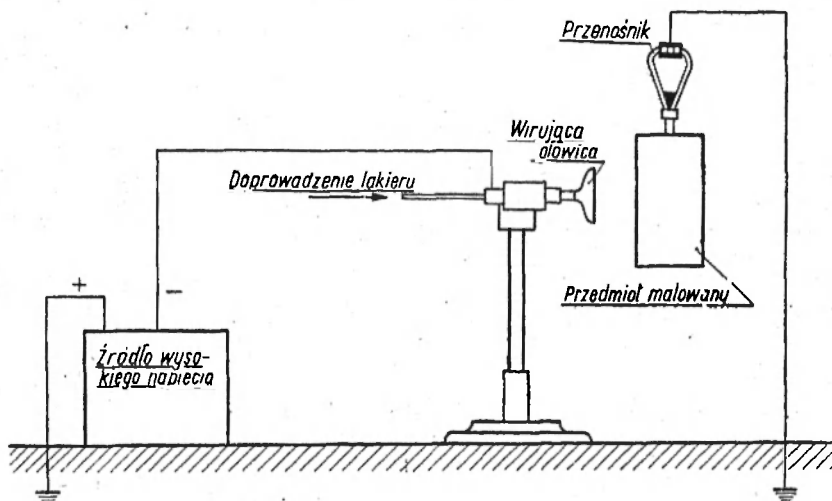


Rys. 45. Schemat głowicy rozpylającej lakier w urządzeniu do elektrostatycznego lakierowania

tych przedmiotów stanowiła katodę. Wysokie stałe napięcie, nawet do 140000 woltów, przyłączono pomiędzy anodę i siatkę, po czym wdmuchiowano w tę przestrzeń lakier, przy pomocy pistoletów. Metoda ta miała jednak różne wady i nie dała oczekiwanych rezultatów. Dalsze studia nad ulepszeniem elektrostatycznego lakierowania doprowadziły przed 10 laty do opracowania metody, którą nazwano „Ransburg II”. Pneumatyczny pistolet natryskowy zastąpiono specjalną wirującą głowicą rozpylającą lakier; ma ono kształt dzwonu o krawędzi ostro zeszlifowanej.

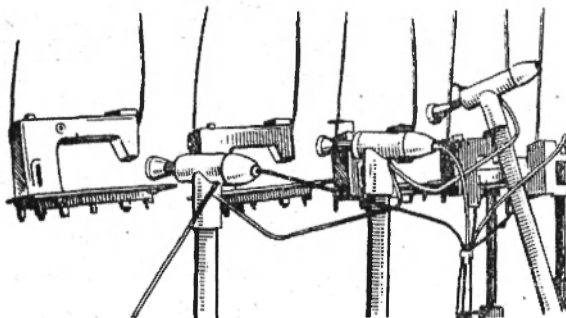
Lakier doprowadza się w sposób ciągły przy pomocy pompy do głowicy (rys. 45), tzn. do środka tej części, która ma kształt dzwonu, a na skutek jej ruchu obrotowego (około 900 obr./min) lakier rozpyla się równomiernie po wewnętrznej powierzchni dzwonu i dochodzi do jego ostrej krawędzi. Ponieważ głowica połączona jest bezpośrednio z jednym

biegunem źródła wysokiego napięcia (rys. 46), a przedmiot przeznaczony do lakierowania z drugim biegunem, więc pomiędzy głowicą a przedmiotem mamy napięcie, które dochodzi do 90 000 woltów. Na skutek zjawiska ulotu drobne cząstki lakieru zostają z krawędzi dzwonu rozpylone, elektrycznie naładowane i kie-



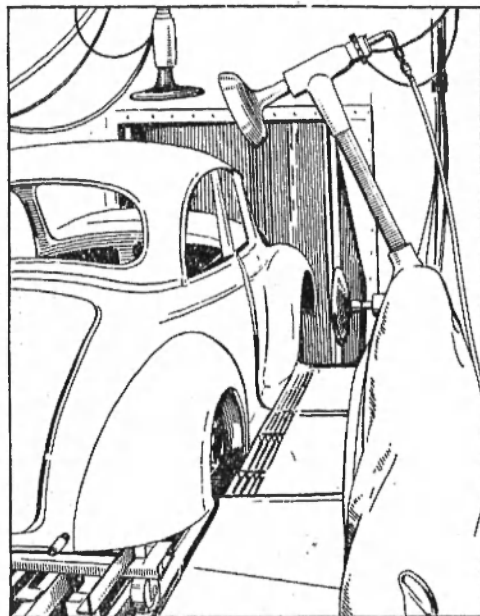
Rys. 46. Schemat urządzenia do elektrostatycznego lakierowania

rują się bezpośrednio ku przedmiotowi lakierowanemu. Jest on zawieszony lub ustawiony na przenośniku i przesuwa się z odpowiednio dobraną prędkością przed głowicami (rys. 47 i 48).

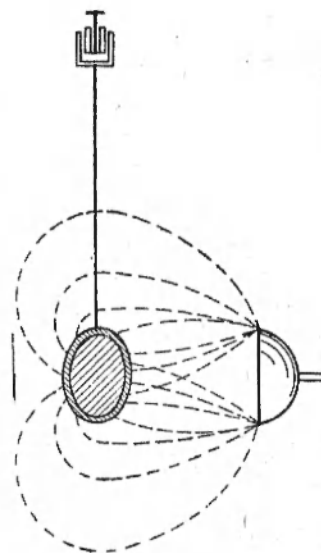


Rys. 47. Głowki od maszyn do szycia zawieszane na przenośniku, przesuwane przed rozpylaczami lakieru

Oczywiście, że polakierowaniu ulegają także wieszaki podtrzymujące przedmioty i części przenośnika, ponieważ w rzeczywistości jest on połączony ze źródłem wysokiego napięcia. Z rys. 47 widać, że głowice znajdują się tylko z jednej strony lakierowanego przedmiotu. W niektórych przypadkach wystarczyło to, gdyż cząstki lakieru dochodzą do lakierowanego przedmiotu ze wszystkich stron (rys. 49), a nie tylko od strony głowic. Zdarza



Rys. 48. Samochody na przenośniku w komorze do elektrostatycznego lakierowania



Rys. 49. Lakierowany elektrostatycznie przedmiot przyciąga cząstki lakieru ze wszystkich stron

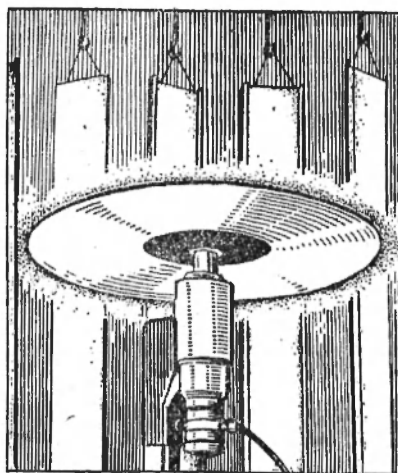
się to w szczególności przy małych przedmiotach o kształtach owalnych. Natomiast załamania, wgłębienia lub wnęki sprawiają przy lakierowaniu kłopoty nawet wtedy, gdy taka wnęka znajduje się od strony głowicy. Działa tu prawo Faradaya, w myśl którego ciała znajdujące się w osłonie metalowej pozostają nieelektryzowane. Dla wnęki czy otworu ich brzegi są właśnie taką metalową osłoną.

Zjawisko to sprawia poważne trudności przy lakierowaniu i zmusza do dodatkowego zastosowania pistoletu pneumatycznego lub innego sposobu pokrycia lakierem tych miejsc. Ale

z drugiej strony zjawisko to jest korzystne, gdyż dzięki niemu nie pokryją się lakierem gwintowane otwory na wkręty lub inne otwory nie przeznaczone do lakierowania.

Przed zastosowaniem lakierowania elektrostatycznego do ściśle określonej produkcji konieczne jest ustalenie w drodze prób laboratoryjnych sposobu ustawienia głowicy, szybkości posuwu przenośnika oraz ilości lakieru, który musi być do każdej głowicy doprowadzony oddzielnie pompą.

W pewnych przypadkach konieczne jest suszenie przedmiotów lakierowanych przy pomocy promieni podczerwonych lub podgrzanego powietrza. Wentylowanie lakierni i suszenie jest potrzebne po to, żeby nie tworzyła się mieszanina wybuchowa par rozpuszczalnika i powietrza. Ponieważ całe urządzenie pracuje pod wysokim napięciem, łatwo więc o wyładowanie iskrowe, które mogłoby spowodować wybuch. Dla niedopuszczenia do wybuchu urządzenie jest zblokowane z wentylatorami w ten sposób, że w razie wyłączenia się wentylatorów automatycznie wyłączy się zasilanie wysokiego napięcia. Również ze względu na bezpieczeństwo obsługi w podobny sposób zblokowane są z zasilaniem drzwi prowadzące do pomieszczenia lakierni. Jakkolwiek opisane urządzenia są drogie i dostępne dla nas tylko za dewizy, to jednak trzeba pamiętać, że chronią zdrowie ludzkie oraz dają bardzo dużą oszczędność lakieru i rozpuszczalnika (do 70%) w porównaniu z innymi sposobami pokrywania. Dają oszczędność robocizny i kosztów energii, gdyż zużycie energii jest minimalne. Ponadto — co dla wyglądu przedmiotu jest ważne — nakładają warstwę lakieru równomiernie, a więc dają lepszą jakość wykonania prac lakierniczych. Również urządzenia wentylacyjne i moc pobierana przez nie są bez porównania mniejsze, aniżeli przy malowaniu natryskowo-pneumatycznym. Oczywiście opłaca się to wszystko przede wszystkim przy wielkoseryjnej produkcji wyrobu.



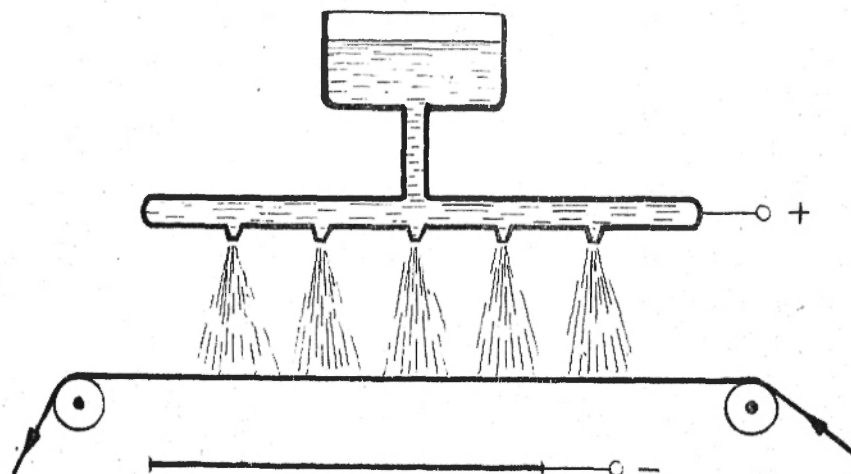
Rys. 50. Elektrostatyczne pokrywanie emalią osprzętu do świetlówek

Napięcie elektrostatyczne stosuje się również do odciągania kropeł lakieru z przedmiotów lakierowanych przez zanurzenie. Mianowicie po normalnym odcieknięciu lakieru zawieszona na przenośniku przedmioty kieruje się ponad siatkę, gdzie pod wpływem napięcia elektrostatycznego szybciej ściekają krople lakieru przychepione jeszcze do przedmiotu.

Jedna z angielskich firm zastosowała w ostatnich latach elektrostatyczne pokrywanie emalią części osprzętu do mocowania świetlówek. Głowica rozpylająca (rys. 50) wykonana jest w formie wirującej płaskiej tarczy, przesuwającej się swobodnie wzdłuż zawieszonoego osprzętu.

ELEKTROSTATYCZNE PRZĘDZENIE

W przemyśle tekstylnym zjawisko przyciągania cząstek naelektryzowanych wykorzystano do nakładania na podstawową nić warstwy „ciegłego włókna”. Rys. 51 przedstawia schemat takiego



Rys. 51. Schemat elektrostatycznego „przędzenia“

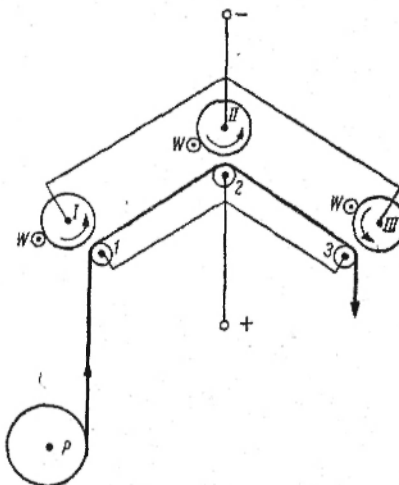
urządzenia, które działa w następujący sposób: cienka nić stanowiąca „duszę” przesuwana się pomiędzy dwiema elektrodami, między którymi panuje odpowiednio wysokie stałe napięcie. Elektroda dodatnia wykonana jest w formie dysz, z których wycieka tzw. „ciegłe włókno”, tzn. cząstki sztucznego włókna zmieszane z rozpuszczalnikiem. Do dysz roztwór ten dopływa z zasobnika. Odległość między dyszami a nicią jest tak dobrana,

że rozpuszczalnik częściowo wyparowuje, a drobne, lepkie cząstki włókna kierując się ku elektrodzie ujemnej trafiają po drodze na nić i osadzają się na niej. Dodatkowe urządzenie ściska nić, tak, że te lekko osadzone cząstki silnie przylegają tworząc nić elektrostatycznie przedzoną, o przewidzianej grubości.

W podobny sposób można zwilżać określone miejsca materiałów tekstylnych.

ELEKTROSTATYCZNE DRUKOWANIE

Drukowanie polega na tym, że naelektryzowane cząstki farby drukarskiej osadzają się na dodatnio naelektryzowanym papierze. Rys. 52 przedstawia schemat drukowania: taśma papieru odwija się z beli i przechodzi kolejno przez rolki 1, 2 i 3 przyłączone do dodatniego bieguna źródła wysokiego stałego napięcia. Bębny drukarskie I, II i III przyłączone są do ujemnego bieguna źródła. Cząstki farby nakładane na bębny przy pomocy walców elektryzują się ujemnie i zostają przyciągnięte przez dodatnio naładowany papier. Przyciąganiu podlegają oczywiście tylko cząstki z miejsc bębna, na których jest naniesiony tekst przeznaczony do druku. Papier nie przylega bezpośrednio do bębnow, nie ma więc obawy o zasmarowanie. Dlatego też możliwe jest równoczesne drukowanie np. w trzech kolorach. Na rys. 52 każdy bęben drukuje w innym kolorze. Ostrość konturów druku można regulować odstępem bębnow od papieru.

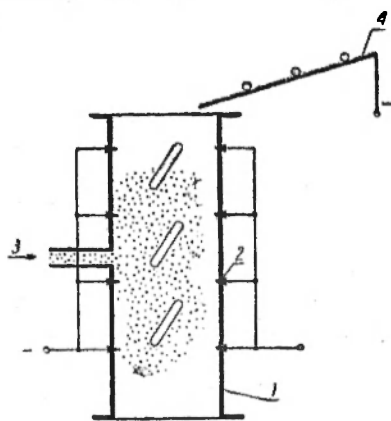


Rys. 52. Schemat elektrostatycznego drukowania

NAPYLANIE

Urządzenia do napyłania mają za zadanie pokryć pyłem określone przedmioty lub miejsca. Zastosowano je np. do pokrywania cygar brunatnym pudrem. Schemat urządzenia przedstawia rys. 53. W rurze z materiału izolacyjnego 1 zamocowane są ujemne elektrody 2 w formie kolców. Do rury tej wdmuchuje się

pył 3. Cygara, które mają być napyłone, toczą się po pochylni metalowej 4, przyłączonej do dodatniego bieguna źródła napięcia, elektryzują się dodatnio i przelatują w atmosferze pyłu pomiędzy

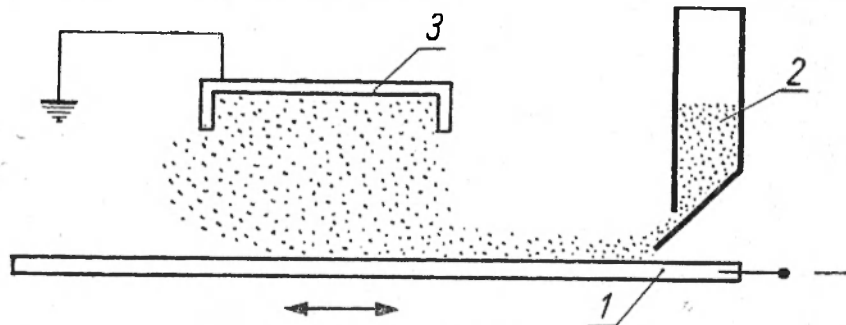


Rys. 53. Schemat elektrostacyjnego napyłania cygar pudrem

kolcami. Następuje osadzenie się ujemnie naładowanych cząstek pyłu na cygarach.

Zbliżone do napyłania jest nakładanie kosmyków (kłaczków) z jedwabiu i innych włókien na różnych przedmiotach, np. wnętrzach ozdobnych skrzynek na srebro lub biżuterię, na brzegach kaset filmowych itp. przedmiotach. Rys. 54 przedstawia schemat takiego urządzenia. Na stół potrząsalny 1 połączony z ujemnym biegunem wysypują się z zasobnika 2 włókna jedwabne o jednakowej długości, w granicach od 0,2 do 3 mm, zależnie od

przeznaczenia. Potrząsanie powoduje powstanie ponad stołem „chmury” tych włókien, które osiadają na powierzchniach przedmiotów 3. Przedmiot uprzednio pociągnięto odpowiednim klejem, ponieważ przyklejające się włókienka naelektryzowane są



Rys. 54. Schemat nakładania kosmyków

jednoimiennie i wzajemnie się odpychają. Wszystkie stoją więc równiutko jak „najeżone” i tworzą materiał podobny do aksamitu.

Opisany sposób zastosowano również do produkcji papierów ściernych.

ELEKTROSTATYCZNE WĘDZENIE

Na zakończenie warto nadmienić, że w wyniku kilkuletnich prac skonstruowano w Politechnice Gdańskiej aparat do ciągłego wędzenia produktów zwierzęcych¹⁾, w którym dym wędzarniczy wytworzony w specjalnym generatorze dymu zostaje zjonizowany. Naładowane elektrycznie cząstki dymu pędzą pod działaniem sił elektrostatycznych w kierunku wędzonego produktu osiadając na jego powierzchni i przenikając w głąb tkanki. Produkt poddawany wędzeniu przesuwany jest przez komorę elektrostatyczną na uziemionym przenośniku. Efekt wędzenia tym sposobem jest nadzwyczajny. Produkt, który w normalnej, tradycyjnej wędzarni musi być poddany działaniu dymu co najmniej w ciągu dwóch godzin (np. duży śledź dalekomorski), uzyskuje pożądane właściwości smakowe i zapachowe oraz piękne zabarwienie już po upływie 2—3 minut. Podstawowe korzyści płynące ze stosowania nowej aparatury i metody przerobowej — to poważne zmniejszenie zużycia drewna do wytwarzania dymu oraz skrócenie czasu wędzenia. Dotychczas w krajowym przemyśle mięsny i rybny pracują głównie wędzarnie komorowe starego typu, w których zarówno do ogrzewania, jak i produkcji dymu spala się ogromne ilości cennego twardego drewna w postaci szczap. W automatycznych tunelowych wędzarniach nieelektrostatycznych, ogrzewanych parą, zużycie trocin do wytwarzania dymu wynosi około 60 kg na tonę produktu. W wędzarni elektrostatycznej zużycie drewna zmniejsza się do około 10 kg na tonę, a czas wędzenia właściwego skraca się z około 90 minut do 2—3 minut.

Własne opracowanie elektrostatyczne wędzarni oszczędza nam dewiz na sprowadzanie podobnych urządzeń pracujących za granicą.

ZAKOŃCZENIE

Czytelników, którzy zainteresowali się zjawiskami elektrostatycznymi i pragną pogłębić swoje wiadomości, informujemy, że obszernie teoretyczne i praktyczne omówienie tych zagadnień znajdują w książce prof. A. Piekary „Elektryczność i magnetyzm”, a także w każdym podręczniku fizyki w dziale traktującym o elektryczności.

¹⁾ Wg informacji autorów opracowania mgr inż. J. Żyborskiego i mgr inż. Z. Sikorskiego.

Zagadnienia niebezpieczeństwa, jakie przedstawia elektryczność statyczna, są w naszej prasie fachowej omawiane bardzo skromnie. Kilka artykułów na ten temat ukazało się w roku 1959 w czasopiśmie „Ochrona Pracy” (nr 3, 4 i 8). Autor korzystał w swojej pracy z różnych czasopism francuskich, niemieckich i amerykańskich, gdzie zagadnienia te są częściej poruszane.

SPIS RZECZY

	Str.
Dlaczego piszemy o elektryczności statycznej?	3
I. Skąd bierze się elektryczność statyczna?	6
Jak napięcie niespodziewanie rośnie	17
Elektryczność na pasie transmisyjnym	19
Wpływ gazów elektryzuje	21
Człowiek elektryzuje się	24
Jak przekonać się, czy mamy do czynienia z elektrycznością statyczną?	25
Czy elektryczność statyczna może porazić człowieka?	30
II. Jak bronimy się przed niebezpieczeństwem elektryczności statycznej?	32
Unikajcie mieszanin wybuchowych	33
Jak zapobiegamy gromadzeniu się elektryczności statycznej?	34
O uziemieniach	34
Jak zmierzyć oporność uziemienia?	36
Jak odprowadzić ładunki z materiałów izolacyjnych?	37
Dbajcie o wilgoć w powietrzu!	38
Jak zapewnić wystarczającą wilgotność powietrza?	39
Jonizacja powietrza	39
Neutralizatory influencyjne	45
Jonizacja przy pomocy preparatów radioaktywnych czyli promieniotwórczych	47
Czym kierować się przy doborze zubożeniaczy elektrostatycznych?	48
O wpływie zjonizowanego powietrza na człowieka	49
O butach pracownika stykającego się z elektrycznością statyczną	50
O przewodzącej podłodze	51
Wpływ odzieży	53
III. O typowych pracach w przemyśle, przy których pojawia się elektryczność statyczna i jak zapobiegać niebezpieczeństwu wywołanemu jej działaniem	55
Ciecze palne	55
Przelewanie eteru i dwusiarczku węgla	58
Czyszczenie przy pomocy benzyny	59
Produkcja filmów	60

Prace przy powlekarkach	61
Gazy techniczne	62
Lakierowanie natryskowe	62
Pyły	63
Wybuch mączki gumowej	63
Zawinił pył parafinowy	64
Materiały wybuchowe	65
Napęd pasowy	66
Wkleśłodruk	68
Salę operacyjne	69
IV. O przemysłowym wykorzystywaniu elektryczności statycznej	70
Elektrofiltry	71
Elektrostatyczne malowanie natryskowe	78
Elektrostatyczne przędzenie	82
Elektrostatyczne drukowanie	83
Napylanie	83
Elektrostatyczne wędzenie	85
Zakończenie	85

11162

