Badanie wybranych wielkości fizycznych oraz przykłady zastosowań fotowoltaicznych przetworników energii słonecznej

Kazimierz Mikulski

Cele:

a) Ogólny: Kształtowanie umiejętności obserwacji przemian energii zachodzących w sytuacji zastosowania przetworników fotowoltaicznych i badanie wybranych wielkości fizycznych występujących w zachodzących przemianach w przyrodzie, ukazanie roli półprzewodnikowych ogniw słonecznych w ochronie środowiska.

b) Operacyjne

Poziom	Cele operacyjne
A	Wymienia odnawialne źródła energii, określa zastosowanie źródeł energii, zna przyrządy pomiarowe stosowane do pomiaru wielkości fizycznych związanych z prądem elektrycznym
B	Rozumie i potrafi podać rodzaje energii występujących w otoczeniu, podaje różnice między zastosowaniami energii, a także rozróżnia amperomierz, woltomierz i watomierz i różnice między nimi
C	Potrafi zmontować układ pomiarowy elektryczny zgodnie ze schematem, potrafi odczytać wskazania przyrządów pomiarowych i zanotować w tabelach oraz wykonać na ich podstawie wykresy
D	Potrafi zaprojektować układy pomiarowe oraz tabele do zbierania danych w trakcie pomiaru wielkości fizycznych w dostrzeżonych zjawiskach. Potrafi wskazać związki w zachodzących przemianach energii.

Adresaci: uczniowie szkół ponad podstawowych

Zastosowanie techniki pomiarowej: pomiar wielkości fizycznych umożliwiających obserwację oraz określenie efektów stosowania fotoogniw w zagadnieniach:

- Fotozłącza w pomiarze prądu.
- Model oświetlenia miejscowego.
- Mechaniczne efekty konwersji energii słonecznej.

Informacje o doborze przyrządów: przyrządy użyte w przedstawio-

nych ćwiczeniach są dostępne w pracowniach fizycznych szkół lub do zakupu – jako elementy składowe mierników uniwersalnych. Ogniwa słoneczne coraz częściej można nabyć w sklepach z elementami elektronicznymi.

Opracowanie i przedstawienie danych: uczniowie pod opieką nauczyciela wykonują przedstawione poniżej ćwiczenia.

Fotozłącza w pomiarze prądu

Każdego zainteresuje sposób wykonania elementu przetwarzającego fotoenergię na napięcie elektryczne. Właściwie należało napisać o przystosowaniu istniejących już elementów elektronicznych. Posługując się „sposobem kucharskim" napiszę: weź tranzystor mocy w obudowie metalowej. Odetnij metalowy kołpak tranzystora, zwracając uwagę na opiłki, które nie powinny się dostać do wnętrza. Powstałe okienko można okleić plexi lub celuloidem. Wiązka promieni o średnicy 0.5-1 [mm] powinna padać na złącze emiter-baza. Zwiększenie efektu fotooptycznego można uzyskać stosując soczewkę optyczną skupiającą. Odpowiednie elektrody połącz na przykład do wskaźnika wysterowania z magnetofonu, który wskazuje przepływ prądu. Posiadając odpowiednio dobry miernik elektroniczny, woltomierz lub amperomierz dokonaj pomiaru napięcia lub prądu. Jeśli efekt będzie niewielki, wykonaj połączenie tych prostych ogniw fotoelektrycznych w baterię słoneczną. Wskazówki połączeń są zawarte w dołączonych rysunkach poglądowych.

Dlaczego otrzymujemy taki ciekawy efekt?

Fototranzystor powstaje z zespolenia dwóch elementów półprzewodnikowych, czyli złącz p-n, w którym występuje zjawisko fotowoltaicznc. Złącze takie, znajdując zastosowanie w ogniwach fotoelektrycznych jest przyrządem półprzewodnikowym, na zaciskach którego powstaje siła elektromotoryczna podczas oświetlania go promieniami o określonej długości fali. Promieniowanie to zwiększa energię elektronów przewodnictwa, tak aby przeszły one na wyższe poziomy energetyczne i uzyskały zdolność swobodnego poruszania się w półprzewodniku. Mamy wówczas do czynienia ze zjawiskiem fotoelektrycznym wewnętrznym. W omawianej sytuacji interesuje nas zjawisko fotoelektryczne **w** złączu p-n. Obok nośników większościowych istnieją W obydwu obszarach złącza nośniki mniejszościowe powstałe w wyniku termicznej generacji par elektron-dziura. Oświetlenie złącza p-n spowoduje powstanie po obu jego stronach dodatkowej liczby swobodnych elektronów i dziur. Podobnie jest dla par generowanych termicznie. Elektrony będą przechodziły z obszaru p do obszaru

n, a dziury odwrotnie. Spowoduje to powstanie prądu foloefektrycznego If, o tym samym kierunku co prąd Is (prąd złącza nieoświetlonego). Ten ostatni jest ruchem nośników mniejszościowych powstających w wyniku termicznej generacji par eleklron-dziura. Pod wpływem oświetlenia charakterystyka prądowo-napieciowa złącza ulega przesunięciu w kierunku zaporowym o wartość prądu I proporcjonalnego do natężenia oświetlenia. Elektrony i dziury zostają rozdzielone przez barierę potencjału i nie mogą odpływać do obwodu zewnętrznego. Dzięki temu ładują one obszary złącz, uzupełniając część nośników większościowych odpływających z tych obszarów w wyniku dyfuzji. Powoduje to obniżenie bariery potencjału w złączu p-n podczas oświetlenia. Obniżenie bariery potencjału objawia się na zewnątrz powstaniem siły fotoelektromotorycznej na zaciskach złącza, której wartość możemy obliczyć ze wzoru:

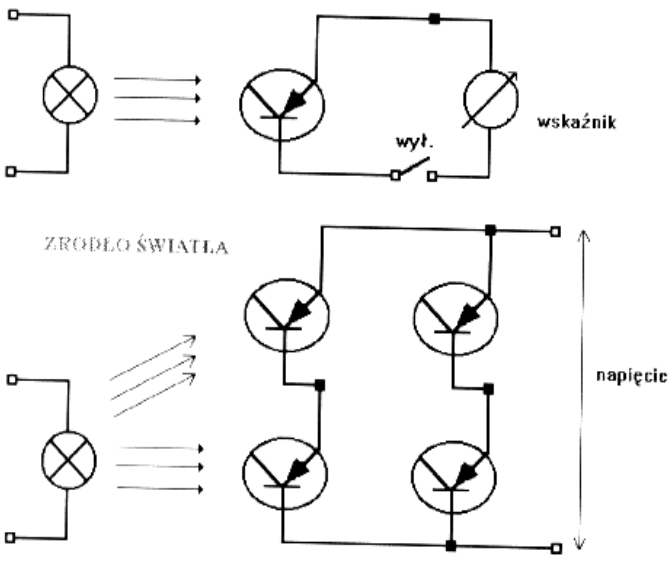
$$Efe=kT/q\ ln[l+(If/Is)\ [V]$$

Jako ogniwo może pracować każda fotodioda z ujemnym złączem p-n. Ponieważ fotodiody charakteryzują się niewielką powierzchnią złącza p-n, prąd zwarciowy tego elementu pracującego jako ogniwo fotoelektryczne będzie stosunkowo niewielki, a jako obciążenie stosuje się mikroamperomierze lub wzmacniacze prądowe. Jako typowe fotoogniwo stosuje się elementy półprzewodnikowe posiadające znacznie większą powierzchnię niż wspomniane fotodiody lub fototranzystory. Przez oporność obciążenia dołączonego do ogniwa płynie prąd I, który obliczamy jako różnicę prądu złącz Iz oraz prądu fotoelektrycznego If, korzystając z wzoru:

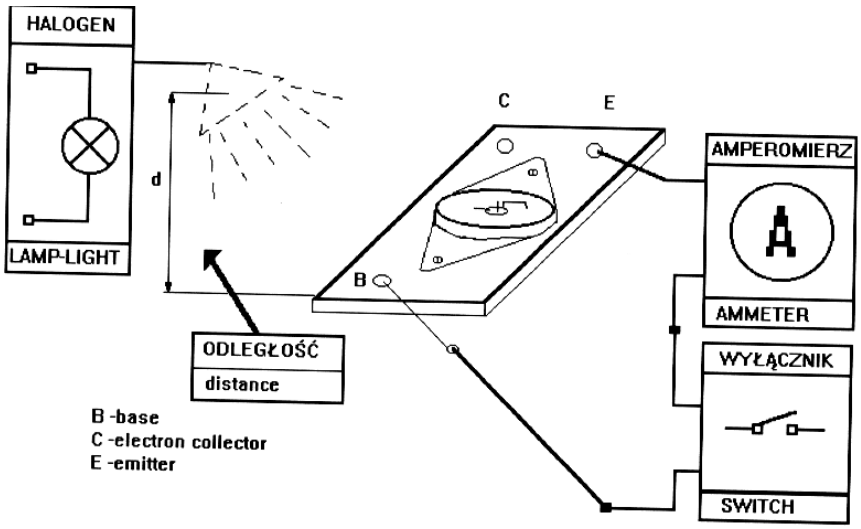
$$I = Iz - If = Is\ [exp(qU/kT) - 1] - f\ F$$

gdzie: ls - natężenie prądu nasycenia w złączu, T - temperatura bezwzględna, F - czułość fotoelektryczna złącza, f - strumień świetlny padający na złącze, q - ładunek elementarny, U - napięcie przyłożone do złącza, k - stała Boltzmana

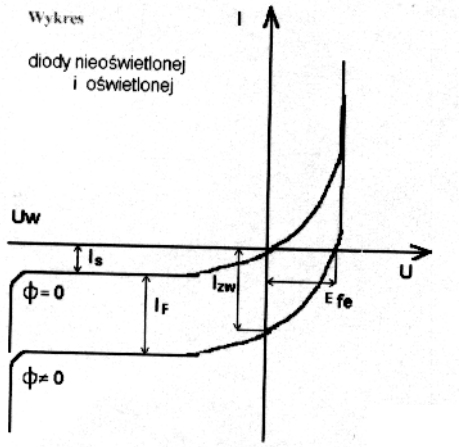
Powyższe równanie jest równaniem charakterystyki obciążenia ogniwa fotoelektrycznego. Charakterystykę obciążenia przedstawiono w odpowiednim rozdziale pracy. Z charakterystyki można odczytać ciekawe własności badanego elementu elektronicznego. Moc przekazywana przez ogniwo jest maksymalna dla danego natężenia promieniowania. Wynika dostrzegalna zasada, że ogniwo obciążone optymalną opornością posiada maksymalną sprawność.



Schemat ideowy układu pomiarowego



Schemat montażowy układu pomiarowego



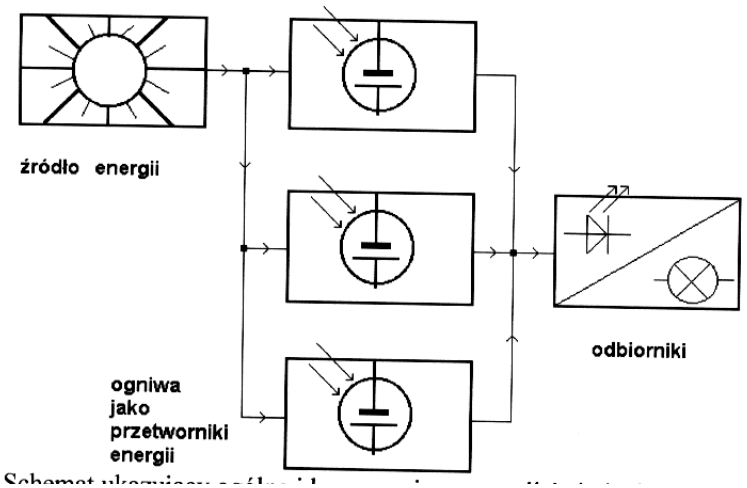
Wykres I=f(U)
dla złącza p-n

Model oświetlenia miejscowego

Jedną z szczególnych potrzeb człowieka jest oświetlenie jego miejsca pracy, odpoczynku, nauki. Nie chcę zajmować się fizjologicznymi aspektami potrzeby światła w życiu, ale chcę przedstawić najprostszy model wykorzystania światła słonecznego do oświetlenia np. mrocznych pomieszczeń piwnicznych lub pomieszczeń hodowlano-gospodarczych itp. Umiejętne łączenie źródeł zasilania, zgodnie z potrzebami i wymaganiami powstałych problemów to umiejętność, którą powinien nabyć każdy absolwent szkoły średniej. Blokowy model tego zagadnienia przedstawiono na schemacie. By móc zrealizować problem ujęty w temacie powinniśmy pamiętać o ważności wszystkich wymienionych na rysunku blokach oraz elementów wchodzących w skład bloków .

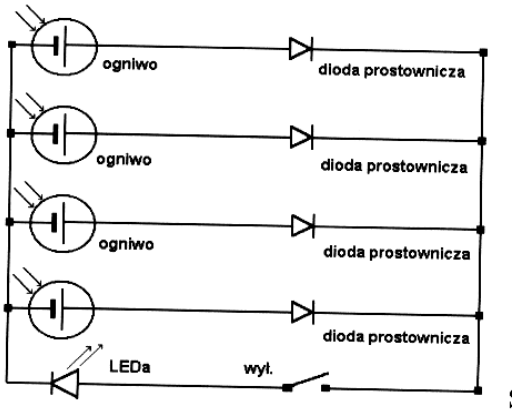
DOŚWIADCZENIE: Jako odbiornik w modelu zastosowano diodę elektroluminescencyjną. W zależności od tego jakim dysponujemy przetwornikiem (możliwymi do pozyskania fotoogniwami) oraz jak są one połączone, stosujemy diodę o odpowiednich parametrach. W tym modelu oświetlenia stanowi ona odbiornik przetworzonej energii. Proponujemy diodę niskoprądową, do której należy przyłożyć napięcie rzędu 2-3[V]. Układ załączający to wyłącznik mechaniczny. Jeśli chcemy uaktywnić model poprzez automatyzację włączania i wyłączania to można zastosować układ elektroniczny. Spowoduje to rozbudowę

układu i jednocześnie skomplikuje problem zasilania tego przełącznika, ale poeksperymentować warto. Elementem, który jest najistotniejszy to przetwornik światła słonecznego na napięcie (i prąd), czyli tutaj foloogniwa krzemowe. Wspomnę tylko, że w przypadku stosowania ogniw, a raczej baterii ogniw, np. "kalkulatorowych" z odzysku, prąd jaki możemy uzyskać przy napięciu około 3 [V] jest rzędu 1 [mA]. Dysponując bateryjkami od gier elektronicznych, które umożliwiają pobór prądu o większej wartości, mamy większe możliwości połączeń i dołączeń odbiorników. Wartość prądu jest zależna od wielkości powierzchni czynnej bateryjek, czyli od wartości pola powierzchni skierowanej prostopadle ku promieniom słonecznym. Diody elektroluminescencyjne niskoprądowe wymagają doprowadzenia prądu rzędu 20 [mA]. W dalszej konsekwencji musimy po prostu dokonać odpowiedniego połączenia, najczęściej równoległego, pamiętając o prawach Kirchhoffa, które należy sobie przypomnieć. Łączenie równoległe to problem, w którym pojawia się potrzeba uwzględnienia faktu, że jedno źródło może stanowić odbiornik dla drugiego elementu zasilająco-przetwarzającego. Należy wówczas w odpowiedni sposób wmontować w układ ogniw w baterii słonecznej diodę germanową lub Schottky'ego. Spadek napięcia na tym elemencie elektronicznym wynosi 0.2 [V] dla germanowej i 0.35 [V] dla wymienionej drugiej diody.



Schemat ukazujący ogólną ideę przemiany energii świetlnej na elektryczną zamienianą na świetlną odbiornika będącego źródłem światła sztucznego.

Model oświetlenia miejscowego



Schemat ideowy połączeń układu

Mechaniczne efekty konwersji energii słonecznej

Przedstawiona poniżej propozycja jest kontynuacją w badaniu i zastosowaniu ogniw słonecznych. Można przeprowadzić próby w laboratorium uczniowskim lub w gospodarstwie domowym Pragnę zachęcić uczniów do samodzielnego eksperymentowania i przeżywania radości z odkrywania interesujących praw i zjawisk w przyrodzie. Jednym z problemów w fizyce jest ruch ciała. Jest to piękne zjawisko nie tylko ze względu na kinematykę, ale także na istotę przyczyn , które są źródłem powstania przemieszczenia.

DOŚWIADCZENIE. Celem doświadczenia i badania jest obserwacja i pomiar mechanicznych efektów powstałych w wyniku wykorzystania przemiany energii słonecznej w elektryczną oraz elektrycznej w mechaniczna. Na rysunku przedstawiono schemat blokowy przemian energetycznych w danym temacie. Na szczególną uwagę zasługuje możliwość czytelnego dostrzeżenia zachodzących konwersji energii. Obok celu kształcącego badawcze umiejętności ucznia jest także wskazanie na pewne możliwości wykorzystania przemian energii w życiu domowym i praktyce zawodowej.

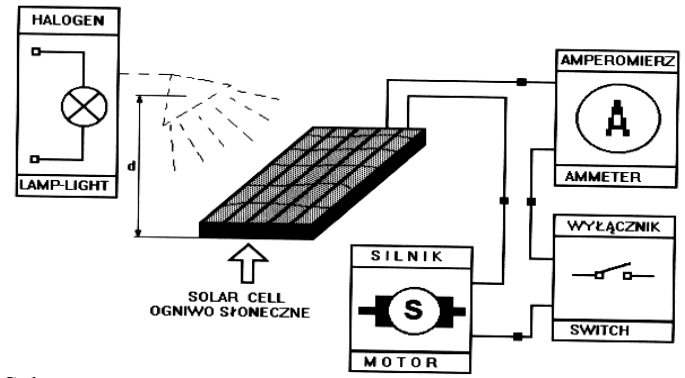
PRZYRZĄDY I MATERIAŁY

- ogniwo słoneczne (krzemowe);
- silniczki elektryczne od "wolkmena" lub inne niskonapięciowe;
- śmigiełko od wiatraczka (przymocowane do osi silniczka);
- ewentualnie wiatraczek samochodowy.

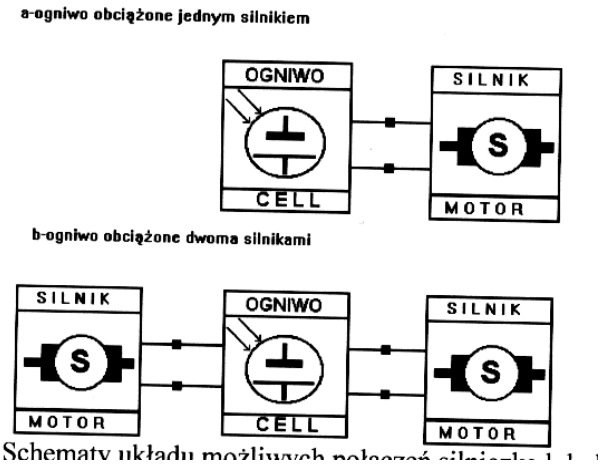
PROPOZYCJE POLECEŃ w doświadczeniach:

1) Zaobserwować ruch osi silniczka, który jest połączony w zestawie ogniwo-odbiornik energii (silniczek) - patrz odpowiedni rysunek.
2) Przeprowadź następujące badanie w tym temacie:
   a) Jak zmienia się ten ruch, gdy zmienia się intensywność oświetlenia ?
   b) W jaki sposób można zmienić częstotliwość obrotów ?
   c) Zaobserwuj ruch śmigiełka, które jest umocowane do osi silniczka elektrycznego. Używając stopera (lub innego przyrządu umożliwiającego pomiar czasu, ewentualnie ilości obrotów w czasie) dokonaj oszacowania prędkości obrotowej silniczka.
   d) Przebadaj jak zmienia się prędkość obrotowa w zależności od:
      – odległości ogniwa od źródła oświetlenia w = f [l] przy stałej mocy żarówki oświetlającej użyte ogniwo;
      – natężenia strumienia przy ustalonej odległości w = f [ϕ],
      – wielkości pola powierzchni ogniwa lub baterii ogniw fotowoltaicznych.
3) Podłączyć do ogniwa słonecznego równolegle dwa silniczki działające przy napięciu około 1.5 [V] i obserwuj zgodnie z zaleceniami zawartymi w punkcie ad. l) i ad. 2),

KOMENTARZ. Czy stosuje się proponowane konwersje energii nie tylko w laboratoriach badawczych? Pytanie to nurtuje każdego, kto przeprowadził proponowane doświadczenia. Odpowiedzią niech będą informacje zawarte w odpowiednich pozycjach literatury.



Schematy układu możliwych połączeń silniczka lub dwóch do przetwornika energii. Ukazanie przemiany energii słonecznej na energię mechaniczną.



Schemat montażowy układu pokazowego

Prawa Kirchhoffa, a ogniwa słoneczne

Odbiorniki energii elektrycznej typu oporniki, żarówki, silniki elektryczne, układy elektroniczne i inne przyłączamy do jednego lub większej ilości źródeł napięcia.

Odpowiednio połączone elementy tworzą obwód elektryczny. Duże znaczenie praktyczne ma znajomość zjawisk zachodzących w obwodzie elektrycznym, a w szczególności w łączeniu elementów zasilających. Znajomość praw i reguł nimi rządzących ma istotne wartości ekonomiczne dla praktycznego zastosowania elementów zasilających jakimi mogą być ogniwa słoneczne. Szeregowe, równoległe lub mieszane łączenie źródeł zasilających podlega prawom podanym po raz pierwszy w 1847 roku przez Gustawa Roberta Kirchhoffa (1824-1887). Przypomnijmy te prawa:

– *Pierwsze dotyczy prawa zachowania ładunków elektrycznych. Mówi ono, że suma algebraiczna prądów wpływających do węzła jest równa zeru. Inaczej suma prądów wpływających równa jest sumie prądów wypływających.*
– Drugie prawo dotyczy zamkniętego obwodu oporów i źródeł prądu. *Mówi ono, że suma iloczynów prądów przez opory (łącznie z oporami wewnętrznymi) jest równa sumie sił elektromotorycznych działających w tym obwodzie.*

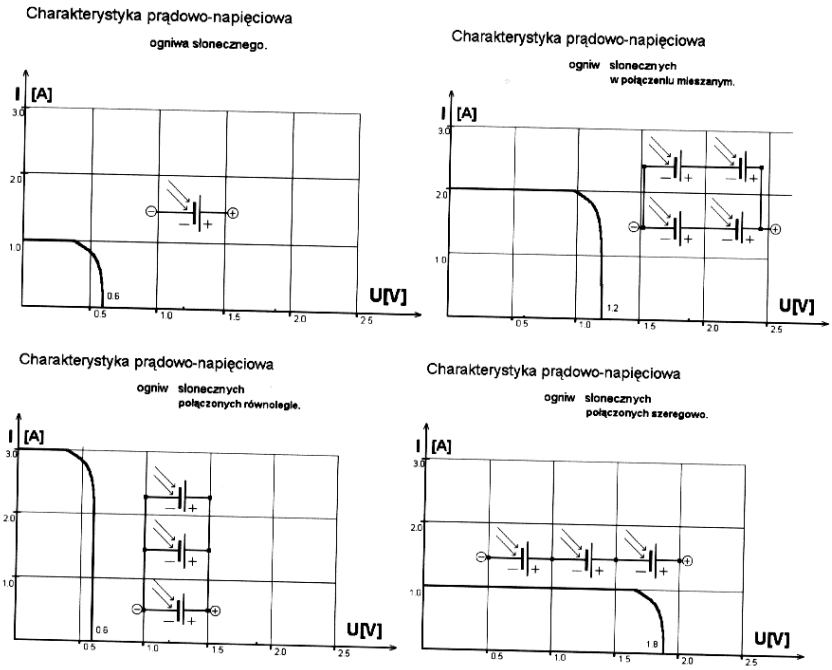
Praktyczne zastosowanie tego prawa jest bardzo proste, a pamiętać należy o konwencji znaków: siła elektromotoryczna źródła jest dodatnia, gdy poruszając się wzdłuż oczka przechodzimy przez źródło napięcia od

bieguna dodatniego do ujemnego. W ćwiczeniu mamy dokonać badania, po połączeniu, ogniw słonecznych w baterie i sprawdzić reguły:

1) jeśli ogniwa łączymy szeregowo, to ich siły elektromotoryczne sumują się;
2) jeśli te same ogniwa łączymy równolegle, to całkowity prąd I, przy użyciu n ogniw, obliczmy z wzoru:

$$\mathbf{I = n\ Io}$$

gdzie:
Io – prąd z jednego ogniwa.



DOŚWIADCZENIE

W przeprowadzeniu doświadczenia możemy zastosować:

a) bateryjki ogniw pozyskanych z kalkulatorów, które należy umocować na płytce plexi. Panel wykonany z bateryjek używamy do ćwiczeń już opisanych w tym opracowaniu,

b) pojedyncze ogniwa, gdy jesteśmy w posiadaniu kilku sztuk. Znając wyznaczanie charakterystyki prądowo-napięciowej, jedno ogniwo, możemy powtórzyć uzyskiwanie pomiarów w połączeniu szeregowym lub równoległym (trzy ogniwa), a także mieszanym (cztery ogniwa).

Korzystając z odpowiednich wskazówek zawartych w wymienionych modułach pomiarowych (ćwiczeniach) z tego opracowania, należy wykonać pomiary i na podstawie uzyskanych wyników wykonać wykresy.

KOMENTARZ. Otrzymane wykresy powinny być zbliżone do tych jaki umieściliśmy na załączonych rysunkach. *Po wykonaniu wykresów i po przeprowadzeniu rozważań, potrafimy odpowiedzieć napylania:*

a) które łączenie jest odpowiednie dla stosowanych odbiorników ?
b) kiedy, z punktu widzenia opłacalności, należy dokonać odpowiedniego połączenia ?

Bibliografia:

[1] H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna*. PWN, Warszawa 1977.

[2] M. Pilawski, *Fizyczne podstawy elektrotechniki*. WSiP, Warszawa 1982.

[3] J. Flis, *Szkolny Słownik Geograficzny*. WSiP, Warszawa 1982.

[4] T .Dryński, *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*. PWN, Warszawa 1977, s. 337.

[5] K. Mikulski, *Ogniwa słoneczne w szkolnej pracowni*. AURA 9/95.

[6] K. Mikulski, *Ogniwo słoneczne jako środek techniczny w ekologii szkolnej*. Gazeta Wojewódzkiego Ośrodka Metodycznego (gazeta WOM) w Bydgoszczy nr 5/93.

[7] K. Mikulski, *Ogniwa fotoelektryczne wykorzystywane w prostych przykładach modelowych*. Biuletyn Informacyjny PRZYRODA i TECHNIKA w szkole nr 9/93 wydawany przez SNPPiT w Bydgoszczy.

[8] K. Mikulski, *Kalendarium badań i zastosowań ogniw słonecznych*. Gazeta WOM w Bydgoszczy nr 12/94.

[9] K. Mikulski, *Fotooptyka w szkole*. Gazeta WOM w Bydgoszczy, nr 2/95.

[10] K. Mikulski, Appendix 1 Proceedings-CSIPWIC 1995 "The scientific bases of Environmental Studies" - *Experiments with solar cells in a School Physics Laboratory*.

[11] K. Mikulski, *Ogniwa słoneczne w edukacji ekologicznej*. Materiały pokonferencyjne III Forum Ochrony Środowiska w Bydgoszczy - zeszyt nr 10 wydawane przez TWWP Bydgoszcz 1995.

[12] *Źródła energii - gaz, wiatr, węgiel*. Młody Technik 2/96.

[13] K. Polewska, *Odnawialne źródła energii*: AURA 9/95.

[14] B.J.Brinkowrth, *Energia słoneczna w służbie człowieka*. PWN Warszawa l997.

[15] H.Rzewuski, Baterie słoneczne. Postępy Fizyki T32-Z5-1981.

[16] Z. Mjarzębski, *Ogniwa słoneczne SIS*. Postępy Fizyki.T32-Z6-1981.

[17] K. Mikulski, *Solar cells in the school physics laboratory* reprinted from: School Science Review, Sep 1996, 78, (282).

[18] K. Mikulski, *Monitoring usłonecznienia i nasłonecznienia w pracowni szkolnej*. Zielone Brygady - pismo ekologów.

[19] *Encyklopedia odkryć i wynalazków*, PW WP, Warszawa 1997.

[20] A.H. Piekara, *Elektryczność, materia i promieniowanie*, PWN, Warszawa 1986.

[21] J.B.Krieg, *Strom ausderSonne, Solartechnik in Theorie und Praxis*, Elektor Verlag, Aachen,1990.

Propozycje interpretacji – zadania, które stawiane są przed uczniami dotyczą:

1) oszukaj informacji o obserwowanych modelach w zastosowaniu na większą skale,
2) zastanów się jakie korzyści ekonomiczne, i nie tylko, ma zastosowanie badanych modeli,
3) zaproponuj zastosowanie fotoogniw w innych doświadczeniach,
4) szczególnie zastanów się nad zastosowaniem przetworników energii tego typu w oraz trakcie

Opis przebiegu zajęć:

a) *miejsce realizacji i ramy czasowe* – ze względu na uniwersalność przedstawionych powyżej propozycji, realizacja ich może być dokonana najlepiej w okresie słonecznych dni oraz w trakcie zajęć lekcyjnych lub zajęć pozalekcyjnych, jeżeli pozwalają na to warunki organizacyjne.

b) *harmonogram i wykaz indywidualnych działań uczniowskich* – uczniowie wykonują zadania w dwu lub trzyosobowych zespołach, a spostrzeżeniami i wynikami dzielą się na forum klasy (lub grupy ćwiczeniowej). Wskazane jest sporządzenie odpowiedniej notatki w zeszycie.

c) *efekty końcowe* – uczniowie w praktyczny sposób zapoznali się z przetwornikami energii słonecznej i jednocześnie zainicjowane zostały działania mające na celu poszerzenie informacji o skutkach zastosowania lego rodzaju przetworników – zadania poszukiwawcze dla uczestników przeprowadzonych działań. Podjęcie próby uświadomienia uczniom i ich rodzinom możliwości stosowania ekologicznych źródeł energii.

d) *Zdjęcie grupy uczniów w pracowni fizycznej z ogniwami słonecznymi*

Przedstawienie w pracy konkursowej systemu oceniania działań – zaangażowanie uczniów jest tak duże, że trudno mówić o braku aktywności. Uczniowie oceniani są za:

– dokładność wykonywanych pomiarów i działań w trakcie realizacji poleceń zawartych w doświadczeniu;
– zebrane informacje w ramach zadań domowych – zwłaszcza o zastosowaniu ogniw słonecznych w środowisku lokalnym;
– podjecie prób i realizację zestawienia innych działań w celu obserwacji zastosowania tego typu przetworników energii.