

Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej



Justyna Jarzyna

**Korzyści i zagrożenia wynikające z użycia niekonwencjonalnych
źródeł energii**

Praca licencjacka wykonana w Zakładzie
Dydaktyki Fizyki
opiekun: **dr Grzegorz Osiński**

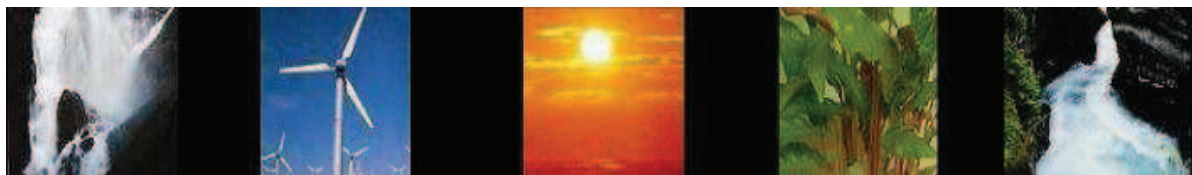
Toruń 2007

Spis treści

1. Wstęp.....	3
2. Konwencjonalne źródła energii i efekt cieplarniany.....	5
3. Niekonwencjonalne źródła energii –wprowadzenie.....	10
4. Energia wiatru.....	11
4.1. Budowa urządzeń wykorzystujących energię wiatru.....	12
4.2. Warunki wiatrowe w Polsce i ich wykorzystanie.....	14
4.3. Zależności opisujące energię wiatru.....	16
4.4. Zalety i wady urządzeń.....	18
5. Energia ziemi.....	20
6. Energia biomasy.....	22
6.1. Rodzaje i sposoby pozyskiwania biomasy.....	23
7. Energia wody.....	25
7.1. Zasoby wodne Polski i rodzaje urządzeń wykorzystujących energię wody.....	26
8. Energia słońca.....	28
8.1. Nasłonecznienie Polski.....	29
8.2. Urządzenia wykorzystujące energię słoneczną-kolektory słoneczne.....	31
8.3. Rodzaje kolektorów.....	33
8.4. Porównanie kolektorów.....	36
8.5. Rodzaje instalacji solarnych.....	37
8.6. Montaż kolektorów.....	42
8.7. Sposoby zabezpieczenia przed wyładowaniami atmosferycznymi.....	44
8.8. Podstawy teoretyczne kolektorów słonecznych.....	45
8.9. Bakteria legionelli.....	48
8.10. Baterie słoneczne.....	50
8.11. Zjawisko fotoelektryczne.....	52
8.12. Mechanika efektu fotowoltaicznego.....	57

8.13. Rodzaje ogniw i ich zastosowanie.....	59
8.14. Ogniwa wodorowe.....	62
9. Podsumowanie.....	64
9.1. Załącznik	
Projekt instalacji wraz z kolektorami słonecznymi znajdującymi się w Toruniu na Skarpie	
10. Literatura.....	69

1. Wstęp



Rys.1. Rodzaje energii

Zapotrzebowanie na energię w społeczeństwie jest olbrzymie. Trudno w dzisiejszych czasach wyobrazić sobie życie bez użytkowania energii elektrycznej. Energia pod różnego rodzaju postacią (Rys.1) była i jest niezbędna do rozwoju i życia człowieka. Miara rozwoju poszczególnych Państw jest ilość zużywanej energii w przeliczeniu na mieszkańca [2]. Zużycie energii wciąż wzrasta a przyczyną tego jest :

- przyrost ludności,
- rozwój techniki
- zmiany w strukturze gospodarczej (rozwój cywilizacji) [7].

W dobie tak daleko posuniętego rozwoju techniki, gdzie wszystkie urządzenia napędzane są przy pomocy energii elektrycznej, a sama energia elektryczna stanowi główną gałąź gospodarki każdego kraju - musimy odszukać nowych jej źródeł. Aby nie dopuścić do sytuacji w której by nam jej zabrakło, gdyż spowodowałoby to tragiczne skutki dla nas i dla naszego otoczenia. Z powodu braku surowców, które umożliwiają wyprodukowanie energii w konwencjonalny sposób i ze względu na niedostateczny rozwój niekonwencjonalnych metod jej pozyskiwania nastąpiłoby załamanie w dziedzinie produkcji-handlu – co spowodowałoby kryzys w gospodarce, który miałby tragiczne skutki, szczególnie dla państw które są wysoko uprzemysłowane.

Energię, którą my wykorzystujemy pozyskujemy głównie ze spalania konwencjonalnych i nieodnawialnych źródeł energii. W ten sposób wzrastają koszty wytwarzania energii, które powodują wzrost jej ceny [2].

Zaletami tego rodzaju źródeł energii jest duża gęstość mocy skumulowanej w jednostce masy lub objętości, opanowana technologia. Jednak stosowanie źródeł konwencjonalnych do produkcji energii niesie za sobą o wiele więcej negatywnych skutków takich jak:

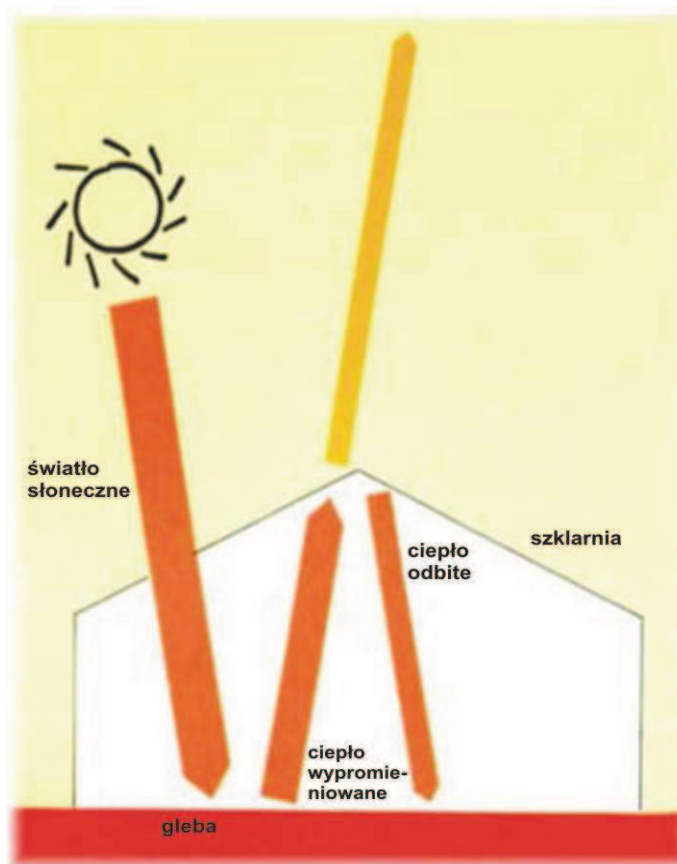
- skażenie powietrza produktami spalin,

- groźba globalnego skażenia środowiska w przypadku gdy nastąpi awaria
- problem z utylizacją produktów stanowiących odpady (radioaktywne)
- dewastacja terenów przez odwierty, kopalnie, magazynowanie
- wyczerpanie konwencjonalnych źródeł energii [8].

2. Konwencjonalne źródła energii i efekt cieplarniany

Dotychczasowe konwencjonalne źródła energii, które stosowane są najczęściej są to źródła, które wystarczą na ok. 300lat, dlatego warto już teraz wykorzystać źródła energii, z których będziemy mogli korzystać, przez co najmniej milion lat. Do tych konwencjonalnych źródeł, z których otrzymujemy energię elektryczną należą:

- węgiel kamienny – skała osadowa pochodzenia organicznego, powstała z drzewiastych paprotników, wydobywany w Europie od XVII wieku, choć jako źródło ciepła znany był już w czasach prehistorycznych,
- węgiel brunatny – powstał w ten sam sposób jak węgiel kamienny, ale zabrakło czasu do zakończenia karbonizacji – stąd słaba wartość energetyczna (zawiera dużo wody), jest używany bezpośrednio w kompleksach wydobywczo-energetycznych, natomiast jego transport jest nieopłacalny,
- ropa naftowa – występuje w tzw. pułapkach naftowych, które powstały w wyniku fałdowań alpejskich,
- gaz ziemny – „czapa” gazowa ropy naftowej, również może występować samodzielnie,



Rys. 2. Procesy zachodzące w szklarni

Spalenie tych konwencjonalnych źródeł dla uzyskania energii cieplnej, elektrycznej, mechanicznej, niesie za sobą powstawaniem dwutlenku węgla jest to zagrożeniem, które przyczyną ocieplenia klimatu Ziemi [1]. Ocieplenie to jest prawdopodobnie spowodowane rozwojem przemysłu i motoryzacji. Podwyższenie temperatury jest prawie nieodczuwalne przez człowieka, ale wpływ ocieplenia na planetę może spowodować katastroficzne skutki, takie jak susze, katastrofalne powodzie, huraganowe wiatry i pożary. Zauważalne zmiany mogą dotyczyć również świata roślin i zwierząt. Przyczyną wzrostu temperatury Ziemi jest nadmierne nagromadzenie w atmosferze pary wodnej, dwutlenku węgla, tlenu azotu, dwutlenku siarki i metanu. Większa ilość tych gazów dostają się do atmosfery również w wyniku procesów naturalnych. Jednak głównie człowiek odpowiada za wzrost koncentracji tych związków w atmosferze. Nagromadzone w atmosferze gazy i ich oddziaływanie na bilans cieplny Ziemi można porównać do procesów zachodzących w szklarni (rys.2).

Słońce jest bardzo gorące i duże. Wysoka temperatura słońca powoduje, że emitowana przez nie energia posiada bardzo małą długość fali (większość znajduje się w zakresie pasma widzialnego), w wyniku czego posiada bardzo wysoką częstotliwość, gdyż emitowane jest przez ciało doskonale czarne (słońce) w temperaturze ok. 6000°K . Ta częstotliwość umożliwia energii słonecznej łatwe przenikanie do wnętrza "globalnej szklarni". Część tej energii zostaje odbita od powierzchni Ziemi w niezmiennym stanie - energia przenikająca szybę na zewnątrz. Jest to tylko część całkowitej energii wprowadzonej do wewnątrz. Pochłonięte przez glebę ciepło, ogrzewa jej powierzchnię, co prowadzi do wtórnej emisji energii przez glebę. Powierzchnia Ziemi emituje nabytą energię w postaci fal o większej długości czyli w postaci promieniowania podczerwonego. Jak nietrudno się domyślić, powierzchnia Ziemi jest znacznie chłodniejsza od słońca, toteż jej promieniowanie ma znacznie mniejszą częstotliwość i zdolność przenikania. Dlatego też znakomita większość tego promieniowania zostaje odbita od szyby, a tylko bardzo niewielkiej części udaje się przez nią przedostać [22].

Stosunek ilości promieniowania odbitego do ilości promieniowania padającego na daną powierzchnię określa się mianem albedo. Wartość albedo zależy od charakteru powierzchni - szczególnie dużym albedo charakteryzuje się pokrywa i górna powierzchnia chmur. Dlatego im mniejsze stają się obszary pokryte wiecznym śniegiem, tym mniejsza część promieniowania ulega odbiciu i tym szybciej rośnie temperatura na Ziemi

Jednym z najważniejszych gazów występujących w atmosferze i odpowiedzialnym za ocieplenie klimatu jest CO₂.

Dwutlenek węgla jest naturalnym składnikiem atmosfery powstającym w procesach oddychania, gnicia i spalania. Gaz ten wchłaniają rośliny w procesie asymilacji, w którym z wody i dwutlenku węgla pod wpływem światła słonecznego powstaje materia organiczna. Uzupełnieniem tego procesu jest oddychanie, w którym z materii organicznej i tlenu powstaje energia, woda i dwutlenek węgla wydany do atmosfery. W ten sposób rośliny biorą udział w regulowaniu ilości CO₂ w atmosferze. Wahania ilości dwutlenku węgla w warstwie przyziemnej są często związane z metabolizmem roślin. W dzień jest go mniej niż w nocy w związku z intensywną asymilacją, więcej w pochmurny dzień i zimą, kiedy do Ziemi dociera mniej światła, a procesy asymilacyjne ulegają spowolnieniu. Dwutlenek węgla magazynowany jest przez wody mórz i oceanów. Między atmosferą i oceanami zachodzi wymiana CO₂, dzięki czemu stosunek ilości tego gazu w powietrzu i wodzie jest stały. Rola mórz i oceanów polega również na tym, że są one środowiskiem życia fitoplanktonu. Posiada on zdolność do asymilacji dwutlenku węgla, jak rośliny lądowe.

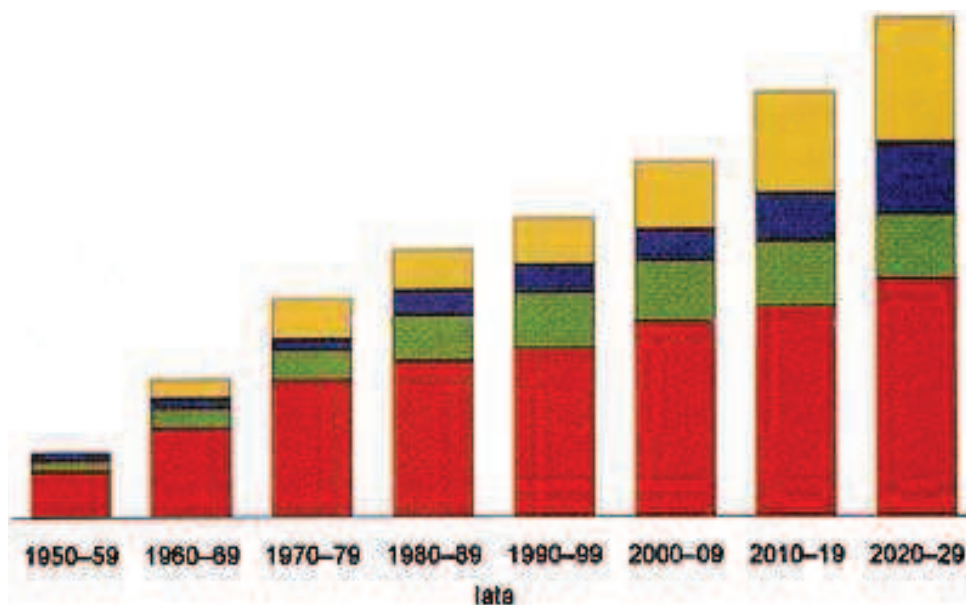
Przyczyną wzrostu stężenia dwutlenku węgla jest człowiek. W wielkich miastach przemysłowych ilość dwutlenku węgla osiąga nawet do 0,05-0,07%

(średnie zanieczyszczenie CO₂ w atmosferze wynosi 0,03%), głównie gdy jest pochmurno. Dwutlenek węgla jest ubocznym produktem spalania drewna i paliw kopalnych. Uzależnienie naszej cywilizacji od tych paliw jako głównego źródła energii w połączeniu z eksplozją demograficzną spowodowały, że wzrosła ilość dwutlenku węgla emitowanego do atmosfery. Ogromne ilości tego gazu powstaje na skutek wypalania lasów. Efektem spalania paliw kopalnianych jest również emisja dwutlenku siarki. Obecne silniki samochodowe wytwarzają tlenek azotu. Metan (CH₄) powstaje w procesie beztlenowej fermentacji celulozy pod wpływem bakterii metanowych. Bakterie żyją na podmokłych glebach, zamulonych dnach zbiorników wodnych, bagnach, ściekach komunalnych i w przewodach pokarmowych przeżuwaczy oraz termitów. Część metanu uwięziona jest w regionach polarnych w wiecznej zmarzlinie (stałe zamrożona warstwa gruntu). W miarę ocieplenia klimatu metan jest uwalniany do atmosfery. Istotnym źródłem metanu w atmosferze są również procesy zachodzące w przewodach pokarmowych zwierząt domowych. Szacuje się, że w ciągu ostatnich stu lat ilość metanu w atmosferze podwoiła się.

Freony to gazy stosowane jako nośne w opakowaniach aerozolowych oraz w chłodziarkach. Po zużyciu opakowań, te bardzo trwałe gazy przedostają się do atmosfery i gromadzą w stratosferze na wysokości 20-25km. Tu powodują rozbijanie zbudowanych z trzech atomów tlenu cząsteczek ozonu. W ten sposób niszczone warstwa ozonowa przepuszcza do powierzchni Ziemi więcej promieniowania ultrafioletowego, co też przyczynia się do globalnego ocieplenia klimatu [23].

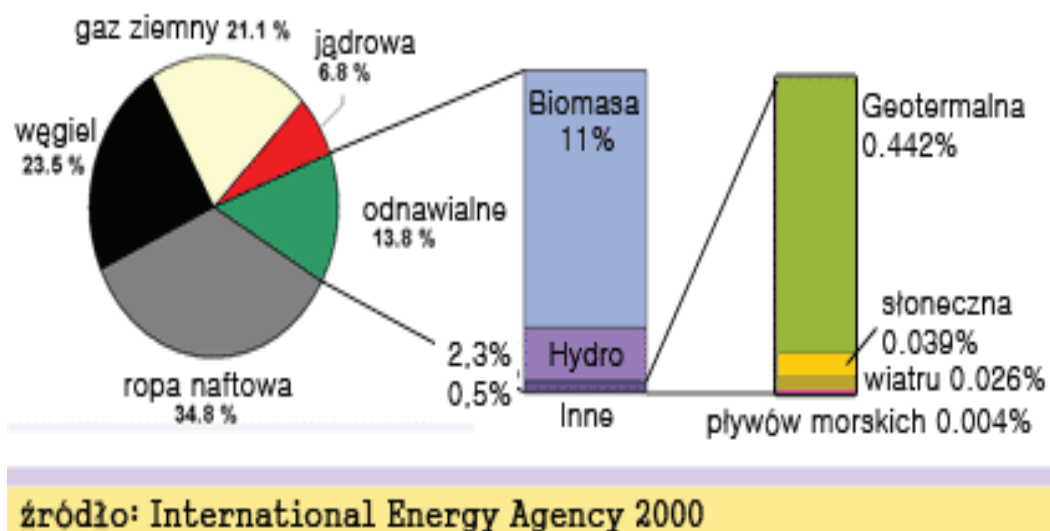
Zamieszczony poniżej wykres (rys.3) ukazuje ilość powstałych gazów takich jak:

- dwutlenek węgla,
- tlenki azotu,
- metan,
- freony,



Rys. 3. Ilość powstałych gazów

Jednak i tak stosujemy te konwencjonalne źródła energii, które powodują znaczne zmiany naszego klimatu a także zagrożenie wyczerpaniem tych nieodnawialnych zasobów surowców energetycznych. Poniższy wykres (Rys. 4.) przedstawia źródła energii konwencjonalnej i niekonwencjonalnej oraz ich wykorzystanie



Rys. 4. Źródła energii konwencjonalnej i niekonwencjonalnej

Na wykresie widoczne jest że ludzie chętniej korzystają z konwencjonalnych źródeł energii a przecież te źródła nie będą wieczne.

3. Niekonwencjonalne źródła energii -wprowadzenie

W przeciwieństwie do konwencjonalnych źródeł energii takich jak węgiel ropa gaz ziemny, których zasoby cały czas ulegają zmniejszeniu, niekonwencjonalne źródła energii utrzymują się na stałym poziomie tak długo jak długo będzie trwał Układ Słoneczny wraz z Ziemią ich stan nie ulegnie wyczerpaniu.

Aby zapobiec negatywnym czynnikom poszukuje się alternatywnych źródeł energii

- atomowej,
- słonecznej,
- siły wiatru,
- wykorzystywania zjawisk geotermicznych,
- odpadów roślinnych, zwierzęcych, przemysłowych

A także poszukiwanie bardziej racjonalnego wykorzystywania tradycyjnych źródeł (ropa, gaz, węgiel), wprowadzania mniej energochłonnych sposobów produkcji [1]. Niekonwencjonalne źródła energii są to źródła proekologiczne, są związane nierozdzielnie z naturalnymi procesami przyrodniczymi wywołanymi aktywnością Słońca, Księżyca, Ziemi [8].

Niekonwencjonalne źródła energii elektrycznej można rozdzielić na źródła odnawialne i nieodnawialne. Źródłami odnawialnymi są: energia wiatru, energia słoneczna, energia wód, energia cieplna oceanów, energia biomasy, natomiast do źródeł nieodnawialnych należą: wodór, energia magneto-hydro- dynamiczna oraz ogniwa palne. Energię gejzerów, czyli energię geotermiczną można zaliczyć do odnawialnych jak i do nieodnawialnych źródeł. Wykorzystanie prawie wszystkich tych niekonwencjonalnych źródeł energii elektrycznej jest związane z tym, że nie powodujemy negatywnego wpływu na środowisko [7]. W kolejnych rozdziałach przedstawione są rodzaje tych niekonwencjonalnych źródeł energii, urządzenia które wykorzystują tą energię. Warto jest się szczególnie zastanowić nad tymi źródłami energii ponieważ uzyskana energia jest „ekologicznie czysta”

4. Energia wiatru



Rys. 5. Turbiny wiatrowe

Energia wiatru –siłownie wiatru, turbiny wiatrowe (Rys.5.), jest to energia (siła wiatru), która może być przetwarzana na energię elektryczną w siłowniach, które przekazują prąd do sieci elektroenergetycznej lub pracujących indywidualnie .Energia wiatru może być wykorzystywana do pompowania wody konsumpcyjnej, oświetlania pomieszczeń, nawadniania pól,(zraszacze upraw) w rekultywacji i natlenianiu zbiorników wodnych, w telekomunikacji [7]. Wiatr jest przyczyną nierównomiernego nagrzania przez słońce różnych powierzchni na ziemi. Powodem tego jest zmienna topografia terenu oraz zabudowy jej powierzchni.

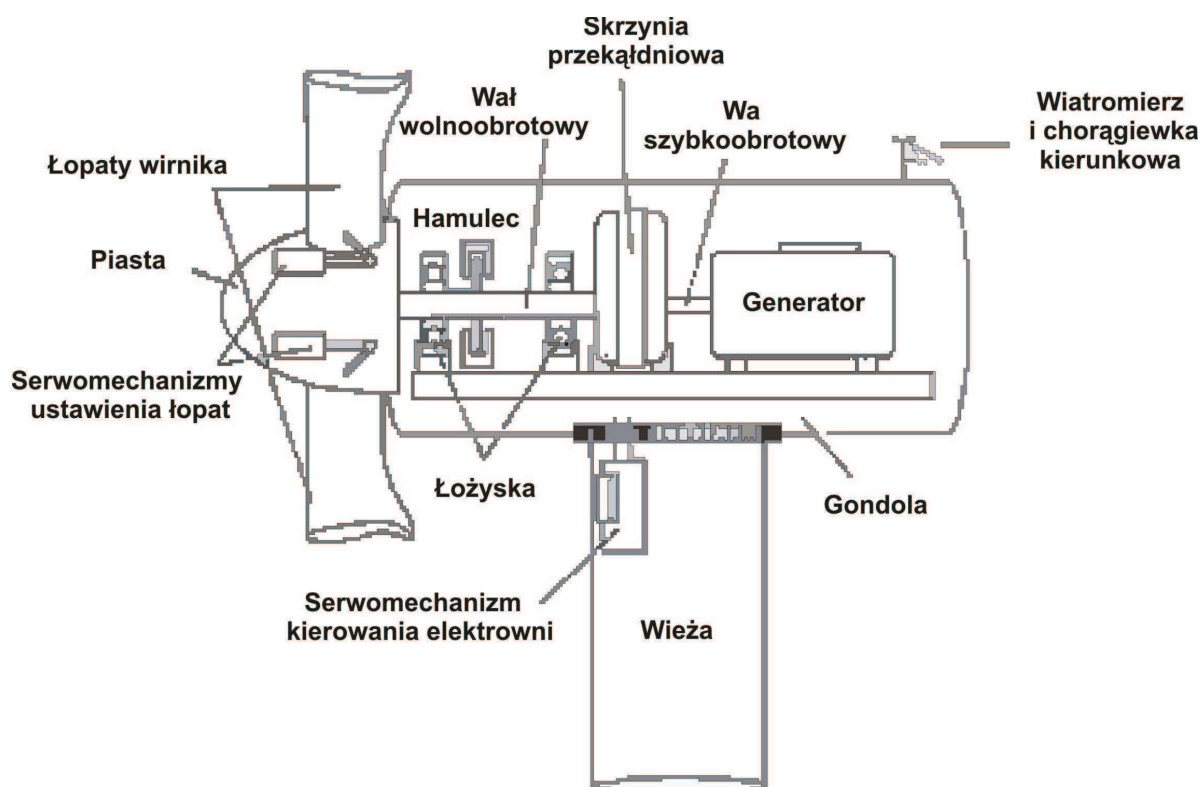
Powietrze znajdujące się nad powierzchnią, która jest nagrzana przez słońce unosi się do góry, co jest przyczyną zasysania chłodnego powietrza np. z nad dużej powierzchni zbiornika wody (morze, jezioro, ocean,). Powstałe w ten sposób różnice temperatur powodują przemieszczanie się mas powietrza zgodnie z naturalnymi warunkami ukształtowania powierzchni ziemi. Przy powierzchni ziemi wiatr jest hamowany przez występujące nierówności terenu [2].

Energię wiatru człowiek postanowił wykorzystać od wielu lat, już starożytni Babilończycy czy Chińczycy dostrzegli możliwość wykorzystania energii wiatru do pracy. Pomysłem na wykorzystanie tej energii było skonstruowanie wiatraka. Pierwsze wiatraki pojawiły się

w Holandii już w VIII wieku. Rozwój ich budowy następował w XVI i XVII wieku. Pod koniec XX wieku wobec kurczących się światowych zasobów paliw energetycznych oraz coraz większej randze nadawanej problemom ochrony środowiska następuje renesans wiatraków [2]. Ważne jest to, że energia elektryczna uzyskiwana z wiatru jest ekologicznie czysta gdyż jej wytwarzanie nie pociąga za sobą spalania żadnych paliw. W niektórych krajach budowane są elektrownie wiatrowe są to ustawione koło siebie turbiny wiatrowe [9].

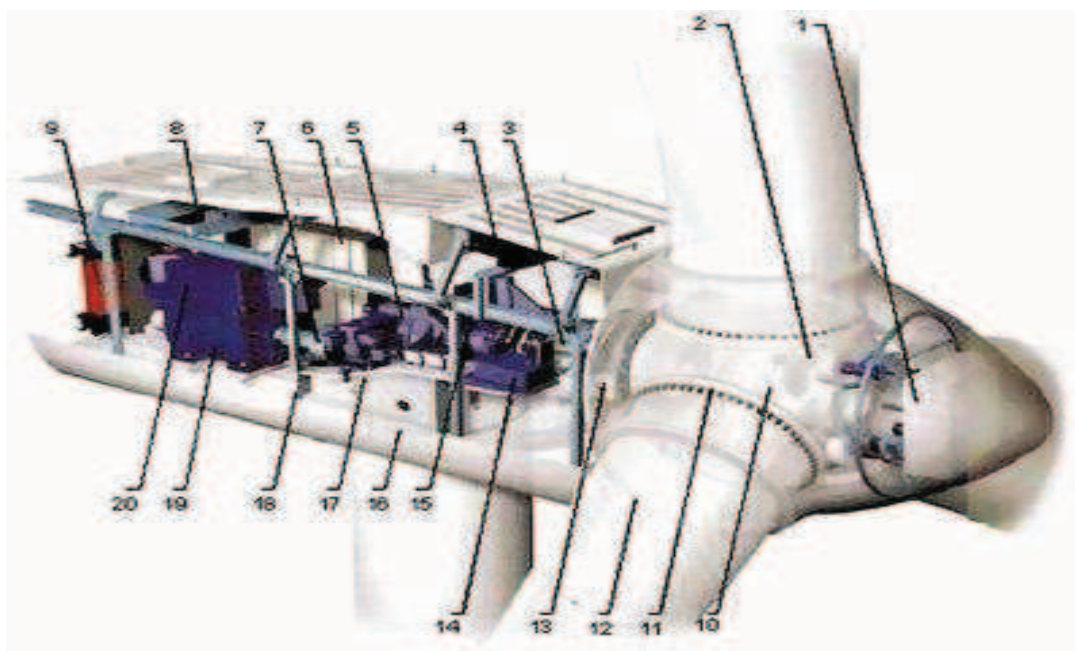
4.1. Budowa urządzeń wykorzystujących energię wiatru

Poniższy rysunek(Rys.6.) ilustruje budowę siłowni wiatrowej :



Rys. 6. Siłownia wiatrowa

Kolejny rysunek (Rys. 7.) ukazuje budowę elektrowni wiatrowej:



Rys. 7. Elektrownia wiatrowa

1-kontroler,

2-siłownik mechanizmu przestawiania łopat,

3-główny wał ,

4-chłodnica oleju,

5-skrzynia przekładniowa,

6-wieloprocessorowy układ sterowania,

7-hamulec postojowy,

8-dźwig dla obsługi,9- transformator,

10-piasta łopaty,

11- łożysko łopaty, 12-łopata, 13- układ hamowania wirnika, 14-układ hydrauliczny,

15-tarcza hydraulicznego układu hamowania wirnika, 16- pierścień układu kierunkowania, 17-fundament, 18-koła zębate układu kierunkowania, 19-generator, 20-chłodnica generatora powłok przymocowanych do belki nośnej [31].

Moc takiej elektrowni wiatrowej jest proporcjonalna do powierzchni śmigła omiatanej przez wiatr oraz do sześcienu prędkości wiatru. Podwojenie prędkości wiatru to ośmiokrotny wzrost mocy wiatraka. Wiatrak średniej wielkości o wysokości ok.60m i rozpiętości śmigła ok.44m pozwala na uzyskanie mocy ok.660kW. Taka moc pozwala na zaopatrzenie w energię dużego zakładu przemysłowego lub 300-400 gospodarstw domowych [9]. Elektrownie wiatrowe wymagają dużej powierzchni terenu ze względu na wielkość konstrukcji.

4.2. Warunki wiatrowe w Polsce i ich wykorzystanie

Zanim jednak przejdzie się do rozwoju i budowy energetyki wiatrowej niezbędne jest przeprowadzenie pewnych pomiarów. Podstawową informacją jest pomiar prędkości kierunku wiatru, pomiaru tego należy dokonać w miejscu gdzie ma powstać elektrownia wiatrowa. Pomiar ten wykonuje się co najmniej na dwóch wysokościach w ten sposób aby wyeliminować niekorzystne zawirowania wiatru spowodowane obecnością budynków, drzew. Takiego pomiaru dokonuje się przez rok, po zebraniu danych wyniki poddaje się obróbce w programie, który wskaże zasoby wiatru na poddawany badaniu terenie. Pomiar ten rejestrowany jest co 10 minut, pod uwagę bierze się także kierunek wiejącego wiatru [3].

Użyteczna prędkość dla potrzeb energetyki wiatrowej to prędkość wiatru wynosząca co najmniej 4 m/s. W Polsce wyróżnione są rejony o wzmożonej prędkości wiatru takie jak:

-Pobrzeże Słowińskie i Kaszubskie

-Suwalszczyzna

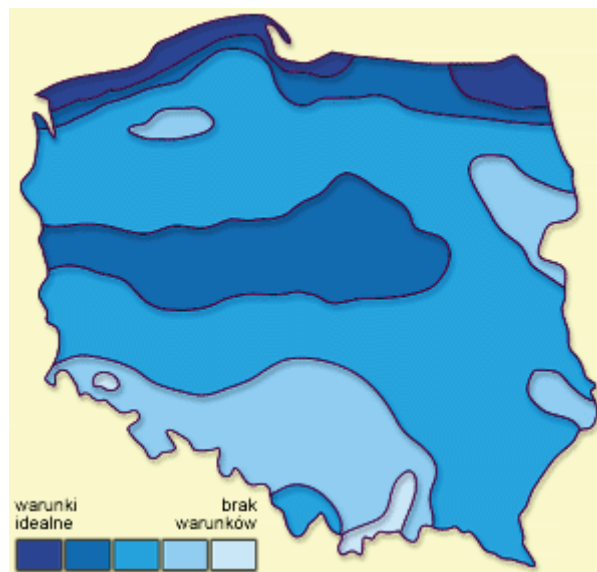
-prawie cała nizinna część Polski z udziałem prędkości na Mazowszu i środkowej części Pojezierza Wielkopolskiego

-Beskid Śląski i Żywiecki

-dolina Sanu od granic po Sandomierz

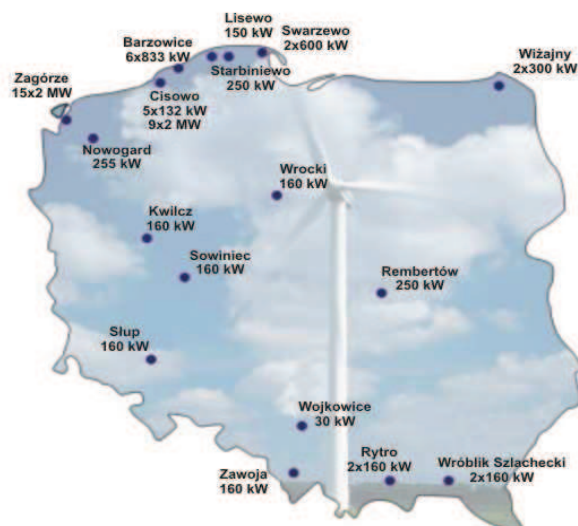
W tych rejonach średnia roczna prędkość wiatru przekracza 4m/s a w rejonach wybrzeża 6m/s [3].

Poniższa mapa (Rys. 8.) ukazuje warunki wiatrowe w Polsce:



Rys. 8. Warunki wiatrowe w Polsce

W Polsce pracuje ok. 29 elektrowni wiatrowych podłączonych do sieci i sprzedających energię zakładom energetycznym. Poniższa mapka (Rys. 9.) przedstawia duże elektrownie wiatrowe występujące w Polsce:



Rys. 9. Elektrownie wiatrowe w Polsce

Potęgą w Europie w dziedzinie produkcji i zastosowania wiatraków jest Dania.

W tym kraju zainstalowane jest ok.4000 wiatraków, co powoduje zaspokojenie ok.10% potrzeb energetycznych tego państwa [3].

Jednak energia wiatru nie jest tylko wykorzystywana do napędzania młynów i generowania energii elektrycznej, ale energia ta wykorzystywana jest także przez pompy wodne. Od dawnych lat takie pompy służyły do nawadniania lub osuszania pola pompując wodę. Pompy te charakteryzują się niskim kosztem eksploatacji i w miarę niskim kosztem początkowym. Stosowane pompy o wieków mają również odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne oraz technologiczne. Bardzo atrakcyjnie kosztowo jest zastosowanie tego rodzaju pomp w rolnictwie gdzie dzięki ich zastosowaniu można dostarczyć taniej wody użytkowej

z istniejących zbiorników otwartych dzięki czemu oszczędzamy drogą wodę pitną. Światowe zasoby wody nadającej się do spożycia z resztą są bardzo skromne i ich oszczędzanie jest wskazane pod każdym względem. Dlatego kraje bardzo rozwinięte technologicznie stosują tego rodzaju pompy. Pompy wiatrowe wykorzystywane są również do oczyszczania ścieków, oddalonych od terenów zabudowy (infrastruktury energetycznej), co powoduje zmniejszenie kosztów dalszego doprowadzenia sieci energetycznej o stosownych mocach [2-4].

4.3. Zależności opisujące energię wiatru

Energia wiatru jest wprost proporcjonalna do prędkości wiatru w potęgze trzeciej, przy czym prędkość wiatru ulega zmianie wraz z wysokością, a dodatkowo jest zależna od ukształtowania terenu. Przy powierzchni Ziemi prędkość wiatru jest równa zero, spowodowane jest to siłami tarcia. Siły te powodują, że tylko 1/4 energii kinetycznej wiatru przypada na wiatry wiejące na wysokości 100m, reszta czyli 3/4 energii mają wiatry wiejące powyżej 100m [8]. Ze względów technicznych i ekonomicznych budowanie tak wysokich siłowni wiatrowych jest nieopłacalne. Prędkość wiatru V_o ulega zmianie na skrzydłach turbiny wiatrowej do prędkości V_s , która z turbiną dalej się zmniejsza do wartości V_k , V_o z różnicy tej, a także ze spadku ciśnienia z p_s przed turbiną do p_s'' za turbiną wynika praca użyteczna. Moment sił obwodowych działających na łopatki jest przenoszony przez wał wirnika, przez przekładnię do generatora.: **Prędkość przepływu powietrza przez wirnik jest średnią arytmetyczną prędkości wiatru przed i za wirnikiem [8]:**

$$V_s = \frac{V_o + V_k}{2} \quad [\text{m/s}] \quad (1)$$

Moc użyteczna pobierana od strumienia jest różnicą energii kinetycznej powietrza przed i za wirnikiem, zgodnie z zależnością [8]:

$$P_u = Q * \rho \frac{V_0^2 - V_k^2}{2} = A_s * V_s * p * \frac{V_0^2 - V_k^2}{2} = A_s * \frac{V_0^2 + V_k^2}{2} * p * \frac{V_0^2 - V_k^2}{2} \quad [\text{W}] \quad (2)$$

Maksimum mocy dla danej prędkości wiatru V_0 i określonych wymiarów wirnika A_s , wynika z warunku [8] $dP_u/dV_k=0$

$$P_u = 1/2 * A_s * \rho * (V_0^3 - V_0 * V_k^2 + V_0^2 * V_k - V_k^3) \quad (3)$$

$$\frac{dP_u}{dV_k} = 1/2 * A_s * \rho * (-2 V_0 * V_k + V_0^2 - 3 * V_k^2) = 0 \quad (4)$$

$$V_k = \frac{V_0}{3} \quad (5)$$

Przy takim optymalnym zmniejszeniu prędkości powietrza teoretycznie maksymalna moc użyteczną określa wzór [8]:

$$P_{u \max} = \frac{8}{27} A_s p V_0^3 = \frac{2\pi}{27} D_s^2 * p * V_0^3 \quad [\text{W}] \quad (6)$$

Siła nośna i oporu śmigła opisane są zależnościami:

$$F_{N/op} = C_{N/op} * p * \frac{V_0^2}{2} A_s \quad [\text{N}] \quad (7)$$

Gdzie: C_N - współczynnik siły nośnej,

C_{op} -współczynnik siły oporu,

Są one funkcją profilu śmigła. Stosunek tych współczynników jest nazywany współczynnikiem doskonałości profilu dla danej powierzchni śmigła- A_s [8].

Moc silnika wiatrowego opisuje następująca zależność:

$$P = \frac{1-e}{1+e} \left[\frac{1}{2} \left(1 - \frac{d_s^2}{D_s^2} \right) - \frac{C_{op}}{C_n} z \frac{1 - \frac{d_s^2}{D_s^2}}{3} - \frac{1 - \frac{d_s^2}{D_s^2}}{4} \right] \pi D_s^2 p V_0^3 \quad [\text{W}] \quad (8)$$

Gdzie: e - współczynnik wykorzystania energii wiatru ($e=0,3-0,4$),

z -wyróżnik szybkobieżności,

Sprawność przetwarzania energii wiatru na energię elektryczną jest iloczynem sprawności turbiny wiatrowej i połączonej z nią prądnicy [8]

Cechą charakteryzującą napęd siłowni wiatrowej jest **wyróżnik szybkobieżności** z , który jest stosunkiem prędkości obwodowej końca wirnika U do prędkości wiatru V_0 :

$$Z = \frac{U}{V_0} = \frac{\omega D_s}{2V_0} \quad (9)$$

W zależności od współczynnika szybkobieżności silnika z , prędkości wiatru za wirnikiem V_k [8].

oraz jego sprawności mechanicznej η_s , różna jest jego **sprawność przepływową**:

$$\eta_p = \eta_s \frac{1}{z} \left(1 + \frac{V_k}{V_0}\right)^2 \left(1 - \frac{V_k}{V_0}\right) \quad (10)$$

Jeśli znamy współczynnik momentu obrotowego Φ możemy wyznaczyć **moment obrotowy na wale silnika wiatrowego**:

$$M_o = \Phi \frac{\rho V_0^2}{2} A_s \frac{d}{2} \quad (11)$$

gdzie: d -średnica wału,

Wydajność turbiny wiatrowej określa zależność :

$$E = A * K_{el} * \eta \quad [\text{kW} * \text{h/a}] \quad (12)$$

gdzie:

A - powierzchnia śmigła ($A = \pi * 2r^2/4$) [m^2],

K_{el} - potencjał energetyczny wiatru,

$\text{kW} * \text{h}/(\text{m}^2 * \text{a})$ -zależy od średniej rocznej prędkości wiatru, η - sprawność turbiny [8].

4.4 Zalety i wady urządzeń

Zalety siłowni wiatrowych:

- nie powodują zanieczyszczenia środowiska naturalnego,
- energia wiatru jest bezpłatna,
- mogą być budowane na nieużytkach (gruntach nie nadających się do zagospodarowania),
- zapewniają nowe miejsca pracy

Wady siłowni wiatrowych:

- wysokie koszty inwestycji
- wysokie koszty eksploatacji,
- mogą być przyczyną destabilizacji systemu energetycznego kraju,
- wymagają stosowania akumulatorów energii,
- są zagrożeniem dla ptaków,
- konstrukcje amatorskie pracują dość głośno [8].