

Tadeusz Halicki

**Jak zbudowałem własną
siłownię wiatrową o mocy ok. 1,5 kW**

Grabowiec 2023 r.



Wstęp

Wiatraki w moim najbliższym otoczeniu interesowały mnie od wczesnych lat młodości. Do dzisiaj pamiętam dwa miejsca w Grabowcu gdzie były ustawione wiatraki i wiem kto je zbudował. Jeden stał u pana Stanisława Grechuty przy ulicy Skierbieszowskiej a drugi u pana Chwedyka obok jego warsztatu kowalsko-ślusarskiego przy ul. Hrubieszowskiej (u podnóża Góry Zamkowej). Jak pamiętam oba napędzały prądnicę samochodową do ładowania akumulatorów kwasowych. (Wówczas akumulatora kwasowego używało się do żarzenia lamp w odbiorniku radiowym). Była to pierwsza połowa lat 50. XX wieku, kiedy Grabowiec nie był jeszcze zelektryfikowany (elektryfikacja Grabowca i okolic nastąpiła w roku 1956). Z przekazów wiem, że przed II wojną światową i w czasie wojny w Grabowcu pracował wiatrak - młyn wiatrowy do mielenia zboża pana Brylewskiego. Został on rozebrany ok. 1943 r. na polecenie okupanta niemieckiego. Wiatrak był zlokalizowany na polach w niedalekim sąsiedztwie bloku mieszkalnego dawnej Spółdzielni Kółek Rolniczych. Droga dojazdowa prowadziła od ul. Krynoczki. Jak wspominałem, od dawna interesowały mnie niekonwencjonalne źródła energii a w szczególności amatorskie elektrownie wiatrowe. Dopiero na początku lat 80. XX wieku zainteresowałem się praktycznymi rozwiązaniami takich siłowni do wykonania własnymi siłami. Wówczas w prasie (nie było jeszcze Internetu) znalazłem informację o produkowanych siłowniach wiatrowych w Państwowym Ośrodku Maszynowym w Nowym Mieście Lubawskim. Byłem ciekawy rozwiązań technicznych więc kupiłem uproszczoną dokumentację tej siłowni. Była to duża profesjonalna siłownia przeznaczona dla ferm drobiu jako alternatywne i awaryjne źródło zasilania w przypadku braku prądu z sieci energetycznej. Była to konstrukcja duża, profesjonalna gdzie do zwiększenia obrotów prądnicy zastosowano zwolnicę od ciągnika jako przekładni zębatej do napędu prądnicy. Tego typu przekładnia była ciężka, głośna i powodowała duże straty mocy. Myślałem także o wykorzystaniu przekładni pasowej z wykorzystaniem alternatora samochodowego. Jak widać problemem takich elektrowni jest mechaniczne sprzężenie wiatraka, którego obroty z natury są niezbyt duże - z prądnicą, której efektywna praca wymaga z kolei dużych obrotów. Najlepszym rozwiązaniem byłaby prądnica wolnobieżna, a takich prądnic wówczas nie było na polskim

rynku. Kolejnym bardzo istotnym problemem w konstrukcji wiatraka było zabezpieczenie przed silnym wiatrem. Stosowane wówczas rozwiązania ze składanym ogonem z odpowiednio dobranymi sprężynami albo nawet z dwoma ogonami i przemyślnymi hamulcami były skomplikowane i nie dawały gwarancji przetrwania małej amatorskiej konstrukcji w razie silnych podmuchów wiatru czy też burzy. Żywiol mógł zniszczyć całą konstrukcję wiatraka.

Pierwszą książką o wiatrakach, jaką wówczas znalazłem i przeczytałem, była publikacja pt. „Silniki wiatrowe”, autora Wacława Jagodzińskiego, wydana w roku 1959. Jak napisano w przedmowie: „Książka zawiera podstawowe wiadomości o wietrze i jego energii oraz elementarny wykład aerodynamiki w zastosowaniu do silników wiatrowych. Podano w niej również podstawowe zasady działania silników wiatrowych oraz omówiono ich konstrukcję, właściwości i zastosowanie. Szerzej zostały omówione silniki wiatrowe mniejszej mocy oraz urządzenia wiatrowo-elektryczne. Książka przeznaczona jest dla wszystkich interesujących się zagadnieniem wykorzystania energii wiatru, szczególnie zaś dla techników energetyków”. Ciekawa i wartościowa pozycja. Wiele skorzystałem z tej lektury. A przede wszystkim dowiedziałem się jak skomplikowana a zarazem kosztowna jest budowa wiatraka do użyczenia i praktycznego wykorzystania siły wiatru.

Swoje marzenia i plany mogłem zacząć realizować dopiero w dobie Internetu. W roku 2010 znalazłem amatorską konstrukcję wiatraka tzw „amerykanki” z prądnicą wolnobieżną. Zastosowano w niej magnesy neodymowe, własnoręcznie nawinięte cewki, tarcze hamulcowe i piastę koła od samochodu osobowego.

W prosty a zarazem skuteczny sposób rozwiązano w „amerykance” zawieszenie ogona, który przy silnych podmuchach wiatru zmniejsza obroty śmigła i zapobiega zniszczeniu całej konstrukcji. Obecnie w Internecie znaleźć można mnóstwo informacji praktycznych z gotowymi propozycjami konstrukcji takiej prądnicy. Po przeczytaniu wielu stron internetowych polskich i anglojęzycznych oraz obejrzeniu filmów na YT o budowie prądnic wolnobieżnych nie wymagających stosowania skomplikowanych i stratnych przekładni - przystąpiłem do realizacji swoich planów.

Opiszę kolejno jak planowałem i konstruowałem swoją pierwszą siłownię wiatrową. Nie będę tu podawał szczegółowych danych - takich jak konkretne wymiary elementów konstrukcji, czy też szcze-

głów uzwojeń cewek, przekrojów drutu itp. Dla zainteresowanych wszystkie takie dane są dostępne w Internecie i zależą od wyboru mocy i rodzaju siłowni wiatrowej a także jej przeznaczenia.

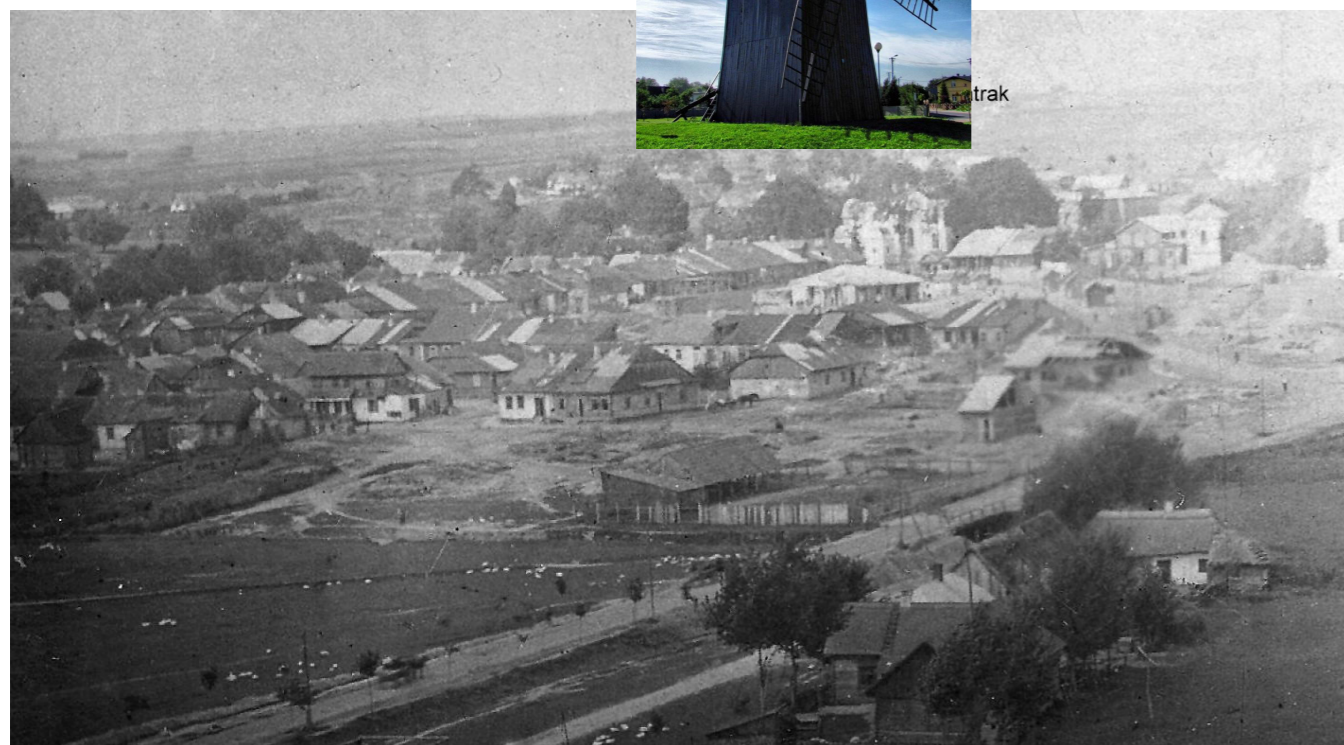
W tym opracowaniu omówię kolejno prace konstrukcyjne siłowni jaką ja wybrałem i wykonałem - a mianowicie: prądnicę trzyfazową o mocy ok. 1,5 kW, śmigło drewniane na osi poziomej z trzema łopatomi o średnicy 3 m i maszt spawany o wysokości ok. 10 m.. Wszystkie etapy prac zobrazuję własnymi zdjęciami. Co prawda wykonałem z kolegą także prototyp siłowni z wirnikiem na osi pionowej, ale po kilku praktycznych próbach zrezygnowałem z tego typu rozwiązania. O zaletach i wadach wirników poziomych i pionowych nie będę się tu rozpisywał - odsyłam do Internetu, gdzie jest wiele opracowań teoretycznych i praktycznych a także filmów na YT o pracy takich turbin. Jak wspominałem - w moim opracowaniu skoncentruję się na siłowni wiatrowej z wirnikiem na osi poziomej

z ruchomym ogonem zamocowanym pod kątem na specjalnym przegubie. Tak pomysłowo zamocowany ogon (w tzw. „amerykance”) w prosty sposób zabezpiecza wiatrak przed silnym wiatrem. Konkretnie - bardzo silny wiatr powoduje ustawienie łopat śmigła równoległe do kierunku wiatru co zapobiega „rozbieganiu się” śmigła a w konsekwencji uszkodzenia całej konstrukcji. Co prawda takie rozwiązanie zmniejsza wydajność prądnicy ale poprawia bezpieczeństwo konstrukcji.

Dziękuję Kol. Piotrowi Prokopowi za pomoc przy budowie mojego wiatraka a w szczególności za prace spawalnicze, wykonanie śmigła i ustawienie całej tej konstrukcji w pionie.

W pojedynkę nie sposób wykonać takiego przedsięwzięcia.

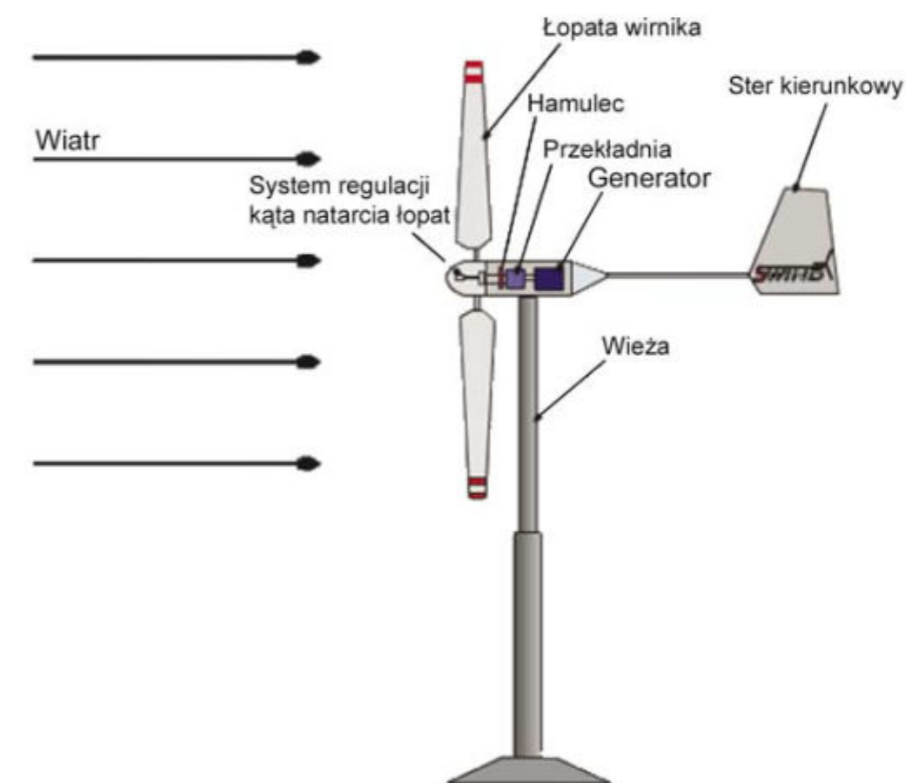
Grudzień 2023



Rok 1943. Zdjęcie centrum Grabowca. Na północny zachód od centrum Grabowca stał wiatrak do mielenia zboża. Pracował w okresie międzywojennym i w okresie II wojny. Pod koniec wojny okupant niemiecki polecił właścicielowi rozebrać młyn. Cel był taki aby ludność zboże oddawała na tzw. kontyngent na cele wojenne. Wiatrak stał na wzniesieniu przy ul. Skierbieszowskiej na polu w sąsiedztwie bloku mieszkalnego dawnej Spółdzielni Kółek Rolniczych.



Rok 1952. W tle Góra Zamkowa i wiatrak przy warsztacie kowalsko-ślusarskim Zygmunta i Adama Chwedyka (na zdjęciu w środku). Wiatrak napędzał prądnicę samochodową; oświetlał warsztat i ładował akumulatory kwasowe. Wiatrak był użyteczny do 1956 roku, kiedy to do Grabowca dotarła elektryfikacja. Stoją od lewej: Antoni Kalinowski, Zygmunt Chwedyk i Wielisław Kalinowski (autor zdjęcia). Obok dwaj chłopcy to Janusz Siek i Józef Chwedyk (syn Zygmunta).



Rys. 3.7. Zasada działania siłowni z wirnikiem o osi poziomej [<http://www.swind.pl>]

Ilość wyprodukowanej przez siłownię wiatrową energii zależy od kilku czynników, m. in. od prędkości wiatru oraz sprawności całego układu. Na rysunku zilustrowano powstawanie siły nośnej na łopacie wirnika. Odpowiednio wyprofilowane łopaty gwarantują wysoką sprawność silnika wiatrowego.

Wykonanie prądnicy trójfazowej o mocy ok. 1,5 kW

W początkach moich zainteresowań wiatrakami nie wyobrażałem sobie, że samodzielnie będę mógł skonstruować prądnicę wolnobiezną, trójfazową o mocy ok. 1,5 kW z magnesami neodymowymi.

Dopiero w dobie Internetu bardzo pomocne w tym przedmiocie okazały się filmy na YT i artykuły amerykańskich konstruktorów - stąd zapewne nazwa wiatraka „amerykanka”.

Do konstrukcji mechanicznej prądnicy wykorzystałem piastę i dwie tarcze hamulcowe od samochodu osobowego "Mercedes" z powodu ich większej średnicy od innych typów. Na całym obwodzie dwóch tarcz hamulcowych przykleiłem 24 magnesy neodymowe (po 12 na każdej - patrz zdjęcia). Dla zapewnienia niezawodnego działania piasty wymieniłem na nowe łożyska i nałożyłem świeżego smaru. Magnesy neodymowe zostały rozmieszczone biegunami naprzemiennie "N" "S" i zalane żywicą poliestrową (patrz zdjęcia niżej).

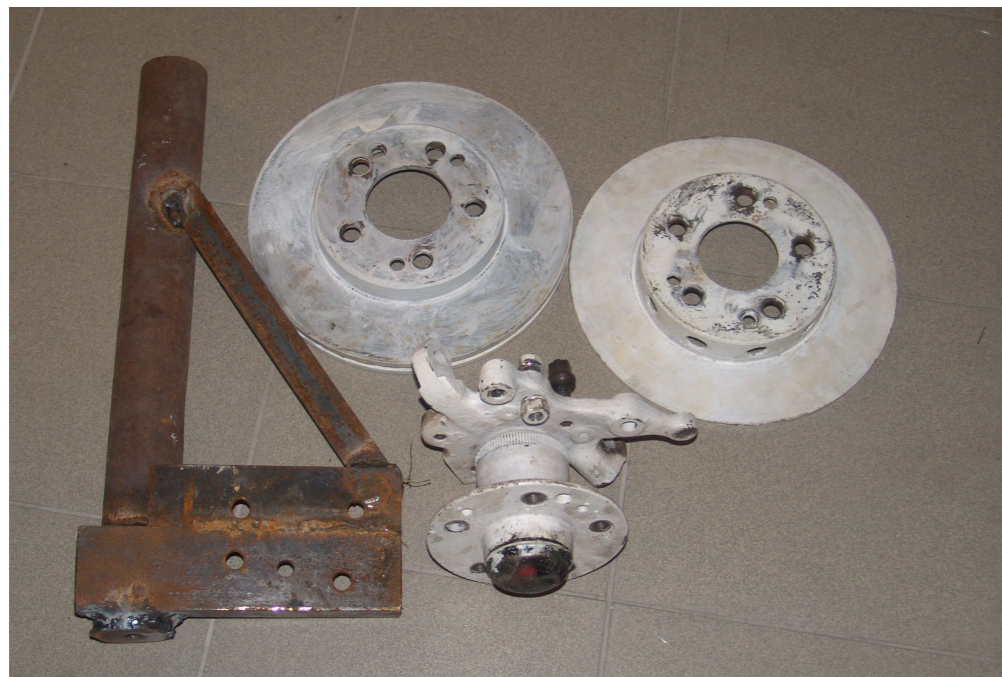
Wirnik (rotor) prądnicy

Jak już wspomniałem wirnik (rotor) to część obrotowa prądnicy sprzężona bezpośrednio ze śmigłem czterema śrubami. Do jego wykonania wykorzystałem piastę koła przedniego od samochodu osobowego „Mercedes” i dwie tarcze hamulcowe na które zostały przyklejone łącznie 24 magnesy neodymowe (po 12 szt. na każdą). Całość to rotor prądnicy. Przed przyklejeniem magnesów powierzchnia tarcz

Pozostała trudniejsza a zarazem wymagająca dużej dokładności praca tj. wykonanie stojana (statora) czyli nieruchomej części elektrycznej siłowni. Stator w mojej konstrukcji składa się z dziewięciu płaskich cewek nawiniętych drutem nawojowym miedzianym w emalii przy pomocy prostej nawijarki. (patrz zdjęcia). Cewki ułożone są w specjalnie wykonanej formie z płyty wiórowej (o grubości 2,5 cm) na włóknie szklanym i po połączeniu w gwiazdę zalane żywicą poliestrową (patrz zdjęcia). Te dwa elementy: mechaniczny (rotor) i elektryczny (stator) stanowią dopiero część siłowni wiatrowej. Kolejnymi ważnymi elementami będą: śmigło, ogon na specjalnym przegubie i maszt z odciągami.

A gdy już uzyskałem pierwszy własny prąd - doszedłem do wniosku, że nie jest sztuką wyprodukować prąd ale go ujarzmić... Ale po kolei.

została wyrównana na tokarce aby magnesy przylegały całą swoją powierzchnią. Na zdjęciu niżej piasta, dwie tarcze i wspornik (jeszcze niedokończony) do zamocowania piasty i całej prądnicy na maszcie wiatraka. O czym będzie mowa w dalszej części opracowania. Widoczne na zdjęciu elementy pochodzą ze złomu.

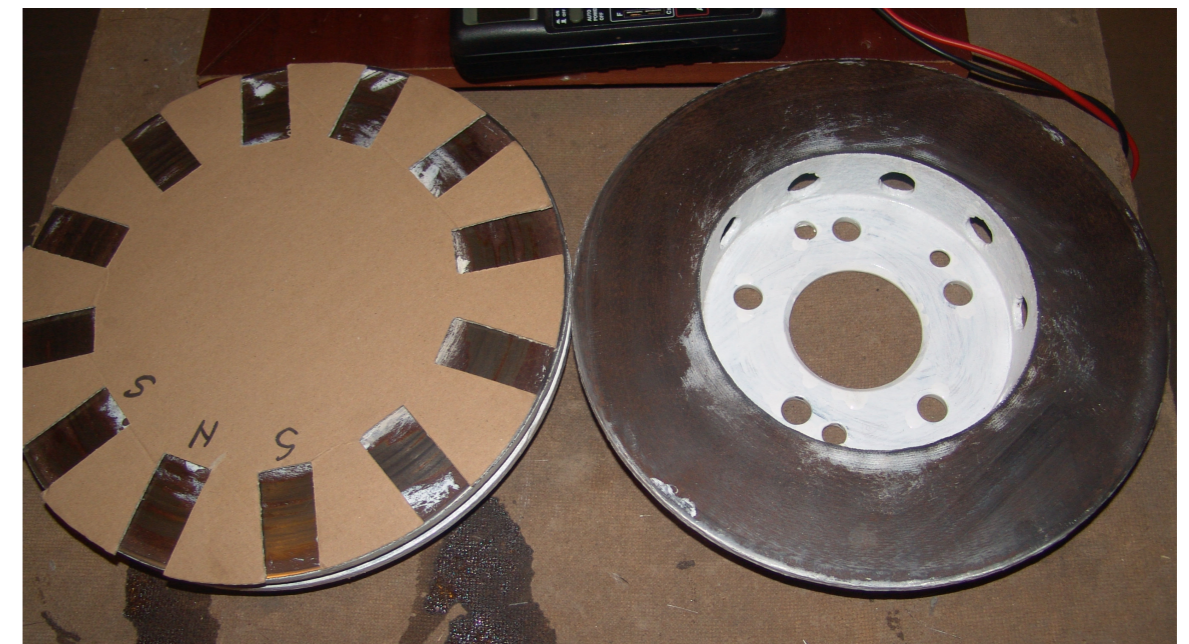


Po zakupieniu 24 magnesów neodymowych, (najdroższy element całej siłowni) należało je zamocować na tarczach hamulcowych (po 12 sztuk na każdej) by w ten sposób powstał wirnik prądnicy.

Na zdjęciach niżej pokazałem jak powstawał wirnik prądnicy.

W celu równomiernego rozłożenia magnesów na obu tarczach, wykonałem prosty szablon z tektury z wyciętymi otworami w miejscu mo-

cowania magnesów. Ułożone naprzemiennie magnesy biegunami N (północny) S (południowy) w równych odstępach na tarczy są gotowe do zalania żywicą poliestrową (Polimal 109-32K). Krawędzie tarczy na której ułożone są magnesy okleiłem taśmą papierową, aby żywica nie wyciekała poza krawędź. Po wyschnięciu żywicy tarcze wirnika oszlifowałem z nadmiaru żywicy tak aby powierzchnie były idealnie równe.



Magnesy ułożone, kolejno N, S, N, S...i oklejone taśmą papierową przed zalaniem żywicą poliestrową. Test poprawności: magnes trzymany w zamkniętej dłoni zbliżamy do kolejnych magnesów znajdujących się na tarczy. Powinien być odczuwalny efekt naprzemiennego przyciągania i odpychania. Nie stosowałem żadnych klejów.



Pojemnik z zakupioną żywicą poliestrową Polimal 109-32K.



Wypełnianie przestrzeni między magnesami tak aby żywica równomiernie wypełniała wszystkie pola wokół magnesów. Po wyschnięciu żywicy magnesy będą mocno przylegały do tarczy. Dokładne wypełnienie żywicą jest bardzo ważne, ponieważ magnesy przy obciążeniu prądnicy, dużych obrotach i wytwarzanej temperaturze mogą odpaść od metalowego podłoża.



Po wyschnięciu żywicy i usunięciu papierowych taśm, całość czyściłem papierem ściernym szlifierką kontową. Tak przygotowane dwie tarcze z magnesami stanowią gotowy wirnik (rotor) prądnicy - czyli część obrotową. Pomiędzy dwiema tarczami wirnika zostanie zamocowany stojan z dziewięcioma cewkami także zalanymi żywicą jak to pokazałem na kolejnych zdjęciach.



Mocowanie głowicy wiatraka. Piasta i widoczny zawias ogona przyspawany do głowicy pod kątem 45 stop..



Obrotowa głowica wiatraka. Jest już zamocowana oś piasty rotora i cztery nagwintowane druty 12 do zamocowania statora. Z lewej strony głowicy w ukośnie przyspawanej rurce będzie zamocowany na specjalnym przegubie ogon wiatraka.



Pierwsza tarcza rotora przykręcona czterema śrubami 12 (w obwodzie wewnętrznym). Druga tarcza rotora będzie zamocowana nad statorem który zostanie zamocowany na czterech skrajnych śrubach. (Stator to 9 cewek połączonych w gwiazdę zalanych żywicą poliestrową. Jego wykonanie pokażę na kolejnych zdjęciach.

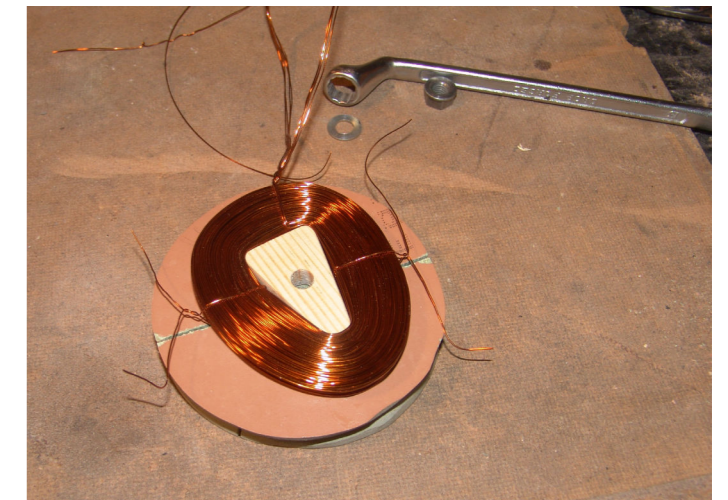
Stojan (stator) prądnicy.

Budowa stojana (statora) prądnicy, czyli części elektrycznej wiatraka wymaga dużej staranności. W statorze bowiem indukowane jest napięcie zmienne trójfazowe przekraczające 200 V a nawet więcej w zależności od szybkości obrotów śmigła. Nadmiernym obrotom śmigła zapobiega ogon wiatraka - pomysłowo zamocowany na zawiasie, pod ostrym kątem względem masztu. Przy silnych podmuchach wiatru ogon ustawia śmigło możliwie równoległe do kierunku wiatru, co powoduje zmniejszenie jego

obrotów.

W mojej konstrukcji stator posiada 9 cewek połączonych w gwiazdę i zalanych żywicą poliestrową. Cewki stojana ułożone są dokładnie pomiędzy magnesami dwóch rotorów.

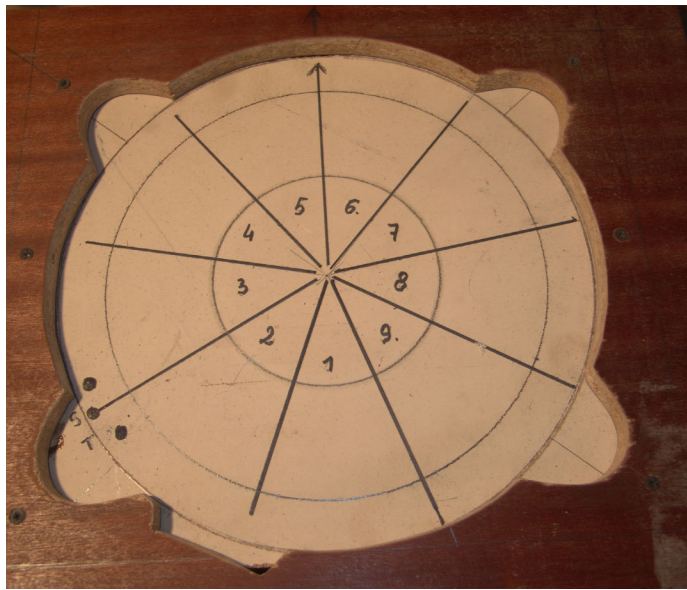
Aby wykonać stojan musiałem najpierw skonstruować prostą nawijarkę cewek i formę z płyty wiórowej do zalania cewek żywicą poliestrową. Kolejne etapy konstrukcji obrazują zdjęcia..



Prosta nawijarka cewek. Obok jedna z dziewięciu płaskich cewek nawinięta drutem miedzianym w emalii.



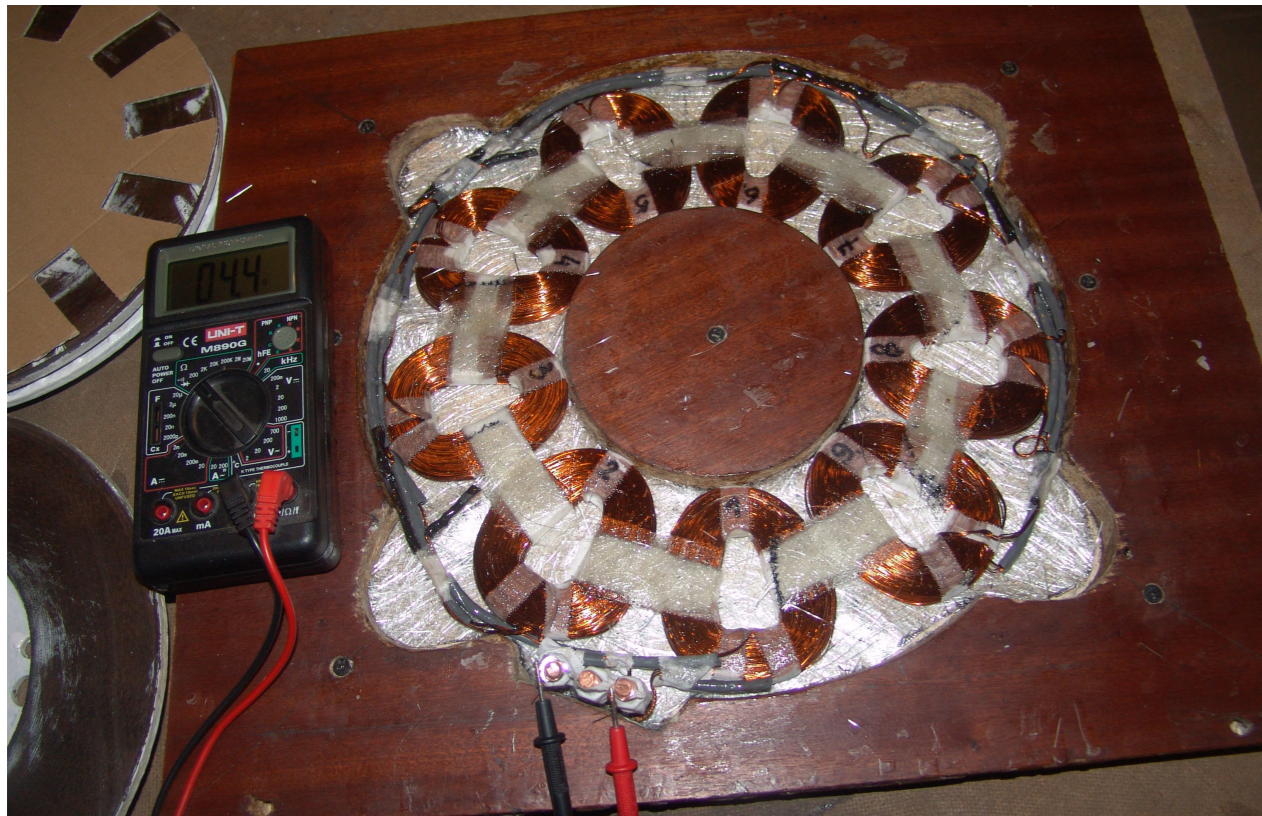
Komplet 9 cewek zabezpieczonych taśmą i ułożonych na dnie formy. Końcówki cewek będą łączone (lutowane) w układ trójfazowy w gwiazdę (można łączyć w trójkąt).



Forma wykonana z płyty wiórowej i komplet 9 cewek połączonych przez lutowanie do zalania żywicą poliestrową wraz miedzianymi trzema śrubami (R,S,T) do zamocowania przewodu odprowadzającego prąd trójfazowy.



Forma wykonana z płyty wiórowej z kompletem cewek połączonych przez lutowanie zalana żywicą poliestrową wraz miedzianymi trzema śrubami do zamocowania przewodu odprowadzającego prąd trzy fazowy. Po wypełnieniu formy żywicą - na wierzchu zostało zatopione włókno szklane.



Kształt cewki: Jeśli do wykonania rotora stosuje się magnesy o kształcie prostokąta to kształt cewek powinien być wycinkiem koła czyli przypominać literę „V” (trójkąt). Ilość miedzi: Ile wejdzie. Jak widać na zdjęciu cewka powinna wykorzystywać całą możliwą przestrzeń wycinka koła jaki zajmuje. Efekt jaki się dzięki temu uzyskuje to znacznie wyższe napięcie przy dużo niższych obrotach. Grubość cewki: Testy które przeprowadziłem wykazały, iż bez problemu można nawijać cewki o grubości

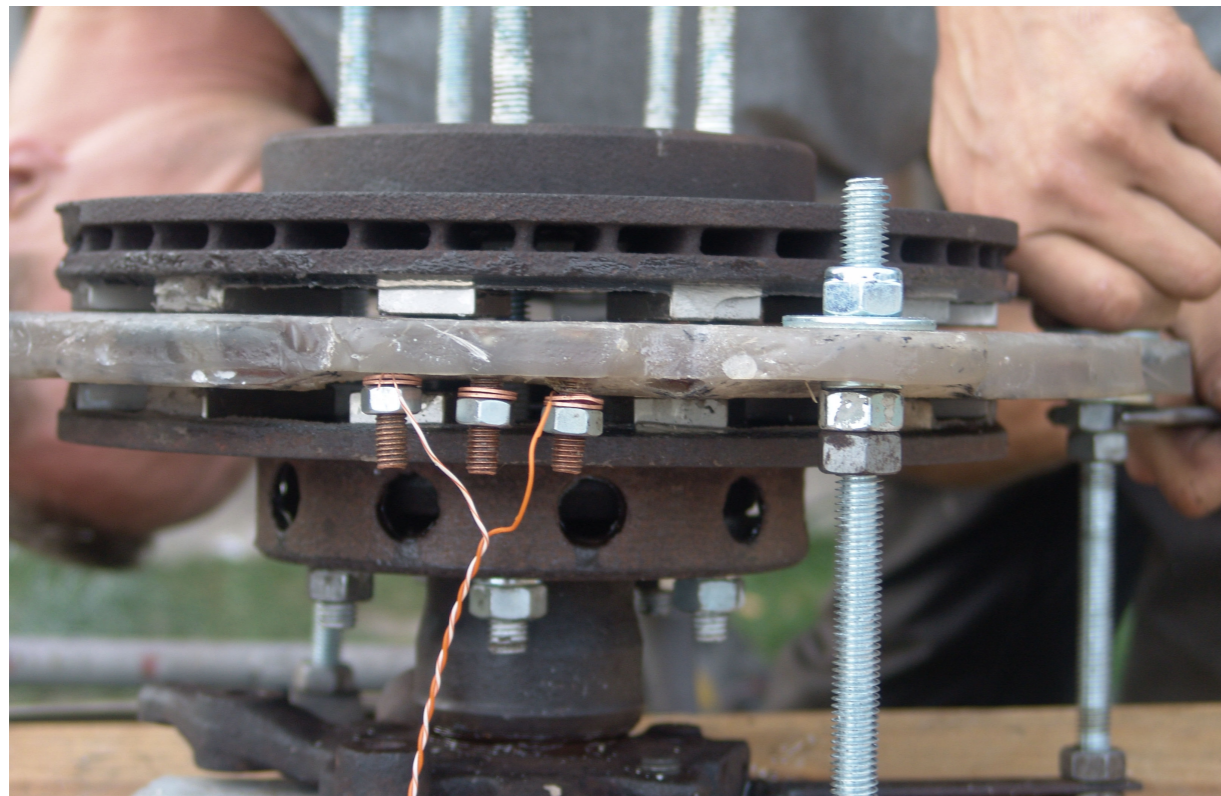
dwukrotnej grubości magnesu. Czyli stosując magnesy grubości 10 mm można z powodzeniem nawinąć cewkę grubości 20mm. N.zd. sprawdzenie obwodu i próba indukowania napięcia przy pomocy magnesu przesuwanego nad cewkami przed zalaniem całości żywicą poliestrową. Dno formy jest wyłożone włóknem szklanym. Po wypełnieniu formy żywicą na wierzchu cewek również zostanie zatopione włókno szklane.



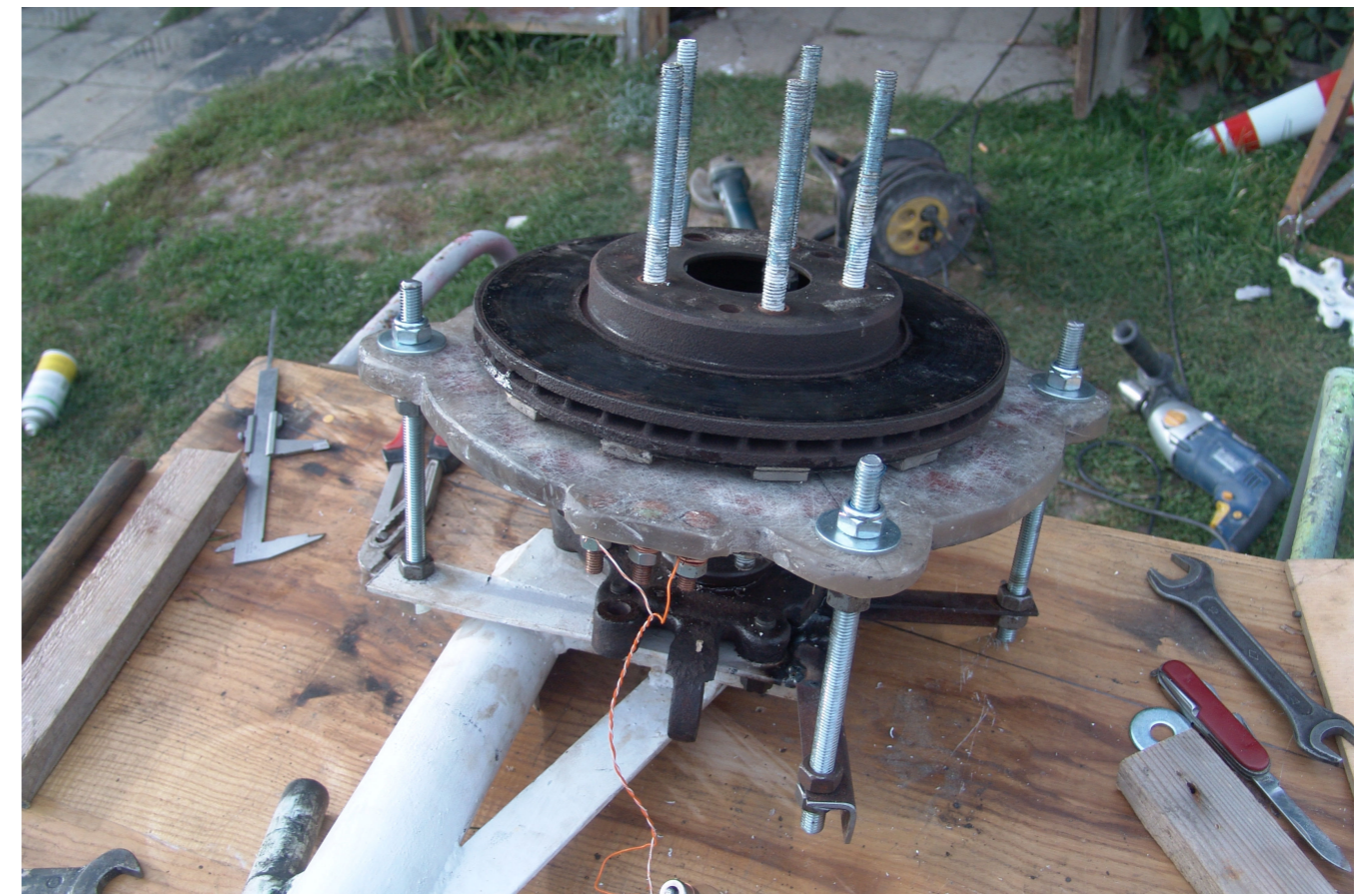
Cewki zalane żywicą poliestrową i szczelnie zamknięte do czasu całkowitego wyschnięcia. Po wyjęciu z formy będzie gotowy stator (stojan) do zamocowania między dwoma rotorami w części mechanicznej wiatraka. Widoczny na kolejnych zdjęciach.



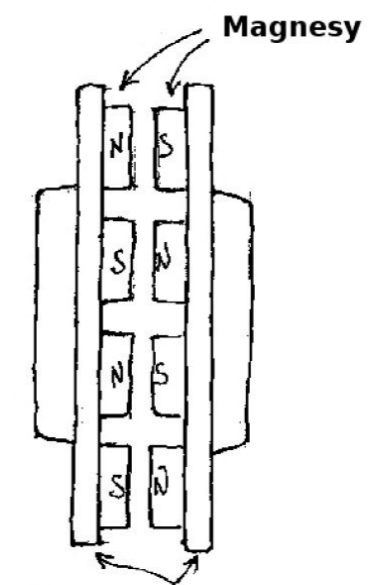
Gotowy stojan (stator) zamocowany na głowicy wiatraka nad pierwszą tarczą wirnika. Założenie drugiego wirnika wymaga ostrożności, ponieważ siła przyciągania magnesów jest tak duża, że może uszkodzić palce u rąk dociskając je do stojana.



Drugi rotor zamocowany na piaście wiatraka. Teraz wzmagane jest precyzyjne ustawienie szczelin względem statora, przy pomocy czterech śrub mocujących stator i czterech śrub na piaście na których opiera się rotor. Jest to bardzo ważna regulacja ponieważ rotory nie mogą ocierać o stator. Magnesy na przeciwnych tarczach także muszą leżeć względem siebie naprzemiennie. Jak widać na zdjęciu sprawdzam żarówką 12 v działanie prądnicy na poszczególnych fazach.



Zmontowana prądnica po regulacji i sprawdzeniu indukowania napięcia w stojanie w trakcie kręcenia wirnikiem. Na widocznych czterech śrubach wystających z wirnika będzie zamocowane śmigło wiatraka z trzema łopatkami o średnicy 3 m. Magnesy neodymowe znajdujące się na przeciwnych tarczach (rotorach) winny się przyciągać, więc już na etapie projektowania należy zachować odpowiednie ich ułożenie względem otworów montażowych szpilek piasty.



Rotory z tarcz hamulcowych

Przy montażu rotora z dwoma tarczami konieczne trzeba zwracać uwagę aby magnesy były ustawione były naprzemiennie (jak na rysunku wyżej)

Śmigło o średnicy 3 m

Prawidłowe wykonanie wirnika czyli trzech łopatek śmigła ma bardzo istotne znaczenie dla wydajnej i bezpiecznej pracy tej siłowni wiatrowej. Wirnik (śmigło) o średnicy 3 m z trzema łopatkami w zupełności wystarcza do napędu prądnicy z 9 cewkami w stojanie i 24 magnesami na dwóch tarczach tworzących wirnik (rotor). Charakterystyka prądnicy sprawia, że takie śmigło nie daje odpowiednio wysokiej mocy przy silnym wietrze (np powyżej 9m/s) skutkiem tego otrzymujemy mniej niż byśmy się spodziewali przy silnym wietrze, ale za to wiatrak działa bezpiecznie, spokojnie i cicho. Większość mocy tego wiatraka pochodzi z wiatru w przedziale 3 a 7 m/s.

Łopaty śmigła zostały wykonane z desek sosno-

wych o długości 153 cm, szerokości ok. 20 cm i grubości ok. 2 cali tj. 5 cm. Po wstępnej obróbce deski mają grubość ok. 1 cm na końcówkach i pełną grubość u nasady. Okazało się, że najlepiej do obróbki łopatek nadaje się ośnik. Należy strugać aż do uzyskania profilu lotniczego. Po obróbce ośnikiem wystarczy oheblować śmigła strugiem lub szlifierką taśmową. Ważne aby wszystkie łopaty były jednakowe. Środek śmigła wykonany jest z dwóch krążków ze sklejki grub. ok 15 mm i średnicy ok. 25 cm. Po skróceniu łopatek w jedno śmigło całość przed malowaniem kilkakrotnie nasączono gorącym olejem lnianym. Ostatnią czynnością jest wyważenie śmigła.



Gotowe śmigło po wstępnym zagruntowaniu gorącym olejem lnianym i farbą podkładową.



Gotowe śmigło pomalowane ostatecznie. Na środku kołpak z...lampki nocnej.



Wyważanie śmigła. Istotna czynność po zakończeniu budowy śmigła to jego wyważenie poprzez dodanie ciężarków np. metalowych podkładek.

Ogon wiatraka i zawias mocujący

Wbrew pozorom bardzo ważny element wiatraka. Podstawową rolą ogona jest ustawianie śmigła prostopadle do wiatru w celu efektywnego wykorzystania tej energii. Drugą zapewne ważniejszą rolą ogona jest zabezpieczenie całej konstrukcji wiatraka przed silnym wiatrem (nadmierna siła odśrodkowa jest w stanie rozerwać wirnik).

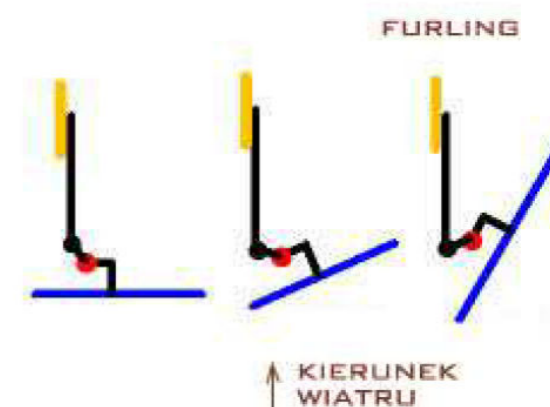
W małych elektrowniach wiatrowych do mocy 10 kW znalazły zastosowanie trzy główne metody zabezpieczenia przed nadmierną prędkością obrotową:

Pierwsza metoda, furling (rys. obok), polega na odchyleniu osi wirnika od kierunku wiatru (przy pomocy specjalnej konstrukcji ogona). Rozwiązanie jest tanie, lecz po przekroczeniu pewnej prędkości wiatru (furling wind speed) ilość energii produkowanej przez turbinę znacznie maleje. Na YouTube można znaleźć wiele filmików (należy wpisać „furling wind turbine”), ukazujących mechanizm w akcji.

Druga metoda to hamowanie elektromagnetyczne. Polega ona na zwieraniu wyjścia z generatora, co powoduje wytworzenie dużej siły hamującej wirnik. Niezbędny jest odpowiedni kontroler tym sterujący. W moim przypadku robiłem to ręcznie przy silnych podmuchach wiatru.

Trzecia metoda (Passive Pitch Control) polega na zmianie kąta natarcia łopatek, co wywołuje zmianę siły nośnej, a to z kolei ogranicza obroty, jednocześnie pozwalając na dalsze generowanie energii przy silnych wiatrach. Jest to najlepsze rozwiązanie, ale wiąże się z dodatkowym mechanizmem, który zazwyczaj składa się z ciężarków zamocowanych przy łopatkach (lub opiera się na sile oddziaływania masy samych łopatek), które przy odpowiednio dużej prędkości obrotowej (siła odśrodkowa) naciągają na sprężynę (przy mniejszym wietrze niepozwalającą im się ruszyć) i powodują zmianę kąta natarcia łopatek. Ogranicza to dalsze zwiększanie się prędkości obrotowej. Takie rozwiązanie komplikuje budowę wiatraka i stosowane w konstrukcjach większych.

W wiatraku typu „amerykanka” stosuje się dwa opisane tu rozwiązania: czyli zabezpieczenie przez zamocowanie ogona na specjalnym przegubie, który działa jak to przedstawiono na zał. rysunku i hamowanie elektromagnetyczne.



Metoda, furling polega na odchyleniu osi wirnika od kierunku wiatru (przy pomocy specjalnej konstrukcji ogona). Rozwiązanie jest tanie, lecz po przekroczeniu pewnej prędkości wiatru (furling wind speed) ilość energii produkowanej przez turbinę znacznie maleje.



Zawias ogona przyspawany do głowicy wiatraka pod kątem 45 stopni



Spawanie konstrukcji ogona wiatraka, który zostanie zawieszony na zawiasie pokazanym na zdjęciu wyżej.

Maszt, odciąg i kotwy

Efektywna praca siłowni wiatrowej w znacznej mierze zależy od masy - czyli jego solidnej konstrukcji i wysokości. Można zatem powiedzieć, że jest to najważniejszy element siłowni wiatrowej.

W mojej konstrukcji wiatraka maszt ma wysokość ok. 10 m i został wykonany z rurek cal i ćwierć oraz drutu średnicy 10 mm. Drut stanowi wzmocnienie konstrukcji i tworzy drabinkę umożliwiającą wejście na maszt ustawiony w pionie.

Spawanie elementów masytu wykonano metodą spawania elektrycznego (migomatem) w osłonie CO_2 ze szczególną starannością. Jakość połączeń jest bardzo ważna, ponieważ konstrukcja masytu ulega naprężeniom i wibracjom podczas pracy prądnicy pod obciążeniem i śmigła w czasie silnych podmuchów wiatru.

Maszt zamocowałem na betonowym fundamencie i metalowym zawieszaku, tak aby całą konstrukcję można było położyć na gruncie (uprzednio odpinając co najmniej dwa odciąg).

Całość konstrukcji utrzymują w pionie trzy odciąg z linek stalowych zakończone śrubami rzymskimi i zakotwiczone w betonowych krawężnikach szosowych zakopanych w ziemi.

Na zdjęciach niżej pokazują całą konstrukcję masytu i sposób zakotwiczenia odciągów.



Gotowy maszt przygotowany do postawienia. Na spodniej stronie widoczne szczebelki drabinki umożliwiającej wejście na maszt.

Gotowy maszt przygotowany do postawienia i podstawa w formie zawieszaka, pozwalająca na stabilne podnoszenie i opuszczanie konstrukcji masytu. Podstawa jest mocowana czterema śrubami zabetonowanymi w fundamencie masytu.



Trzy takie krawężniki szosowe posłużyły do zakotwienia odciągów masytu wiatraka. W krawężnikach zamocowałem łańcuchy do których zamocowałem linki odciągów przy zastosowaniu śrub rzymskich zacisków. Krawężniki zakopałem w ziemi na głębokość ok. 1,5 m solidnie zagęszczając ziemię.



Mocowanie odciagu masytu do kotwy betonowej za pośrednictwem łańcucha i śruby rzymskiej.

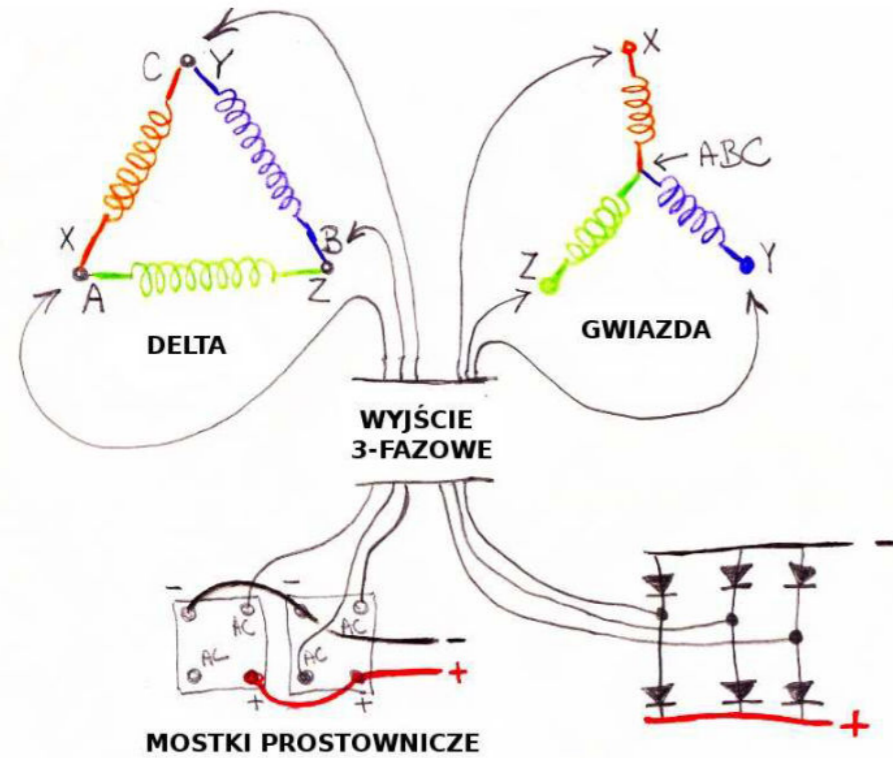


Wiatrak podniesiony, odciąg podpięty. Siłownia pracuje, woltomierz wskazuje pojawienie się prądu. Kolejne zadanie - jak spożytkować praktycznie wyprodukowany prąd?

Z lewej: Głowica wiatraka zamocowana na maszcie.

Wykorzystanie prądu z siłowni wiatrowej

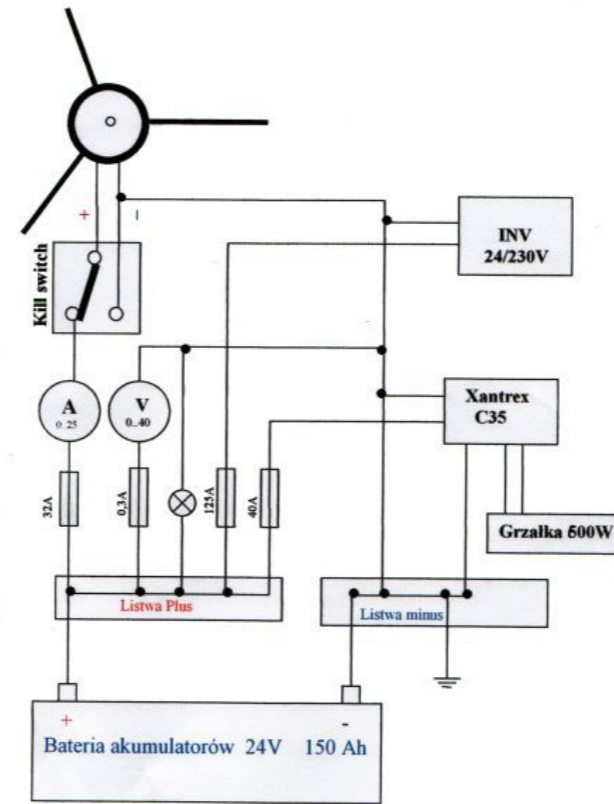
Napięcie trójfazowe wytwarzane w generatorze (prądniczy), posiadają trzy jednakowe uzwojenia, zwane uzwojeniami fazowymi przesunięte względem siebie geometrycznie o kąt 120°, wirujące ze stałą prędkością w polu magnetycznym. Fazy oznaczane są tradycyjnie literami : A, B, C ; R, S, T bądź U, V, W.



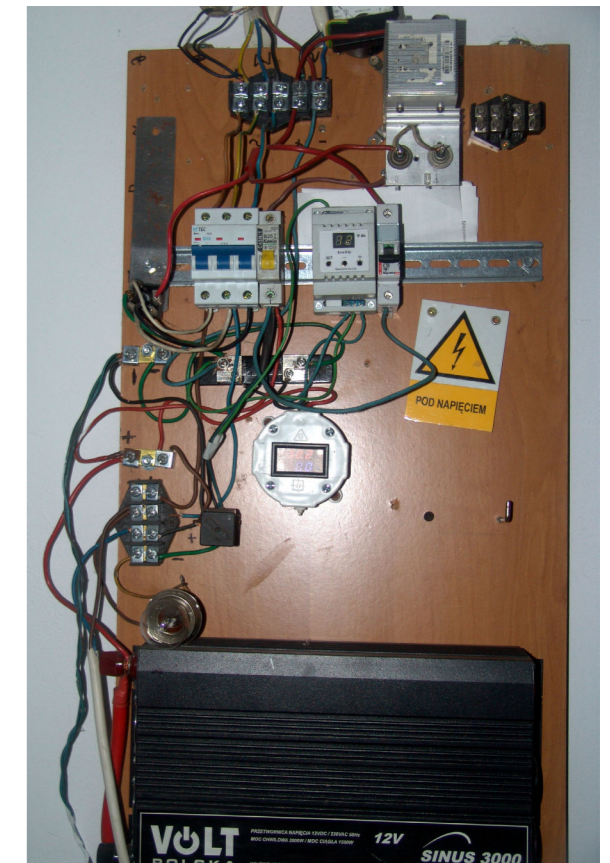
Mamy więc 3 kable, które doprowadzają do rozdzielni trójfazowy prąd zmienny z siłowni wiatrowej. Powyższy diagram pokazuje, jak użyć pojedynczych diod lub mostków prostowniczych by przekształcić ten trójfazowy prąd zmienny na prąd stały nadający się do ładowania akumulatorów. Z tego miejsca możemy podłączyć akumulatory bezpośrednio lub zainstalować w układzie regulator prądu ładowania.

Jak wcześniej wspominałem nie sztuką jest wyprodukować prąd - sztuką jest go ujarzmić, czyli racjonalnie wykorzystać do zasilania różnych odbiorników. Moja siłownia wytwarza prąd zmienny trójfazowy indukowany w uzwojeniach stojana (jak pokazałem na rysunku wyżej). W siłowni cewki stojana połączyłem w gwiazdę. Niektórzy stosują możliwość przełączania układu cewek w trójkąt (deltę). Uznałem, że będzie to dodatkowa komplikacja. Prąd z wiatraka doprowadziłem kablem trzy żyłowym (miedź) do tablicy rozdzielczej w domu. Dodatkowo zainstalowałem dwa panele fotowolta-

iczne o łącznej mocy 500 W, które w dzień wspomagają cały układ ładowania akumulatora żelowego o pojemności 200 Ah. 12 V tj. 2,4 kWh. Z dotychczasowego doświadczenia wiem, że aby usprawnić wydajność układu należy zastosować cztery takie akumulatory połączone równolegle i szeregowo aby uzyskać pojemność 800 Ah i 24 V tj. 19,2 kWh na przetwornicę. Wówczas cały układ może być praktycznie wykorzystany jako alternatywne źródło zasilania domu.



Uproszczony schemat układu elektrycznej tablicy rozdzielczej siłowni wiatrowej. Do układu włączone są dwa panele fotowoltaiczne o łącznej mocy 500 W. Na rys. brak mostka prostowniczego od zas. z wiatraka. Grzałkę łączy sterownik po naładowaniu akumulatorów.



Tablica w trakcie projektowania i pomiarów układu i podzespołów. Podłączony wiatrak i dwa panele fotowoltaiczne o mocy 500 W. Zawiera sterownik Sw-23s. i przełącznik do załączania grzałki. Akumulator MWL 12V, 200Ah (niewidoczny). zasila przetwornicę napięcia stałego z 12 V/230V, 3kV. zmiennego.



Tablica z zamontowanymi podzespołami. Niewidoczna przetwornica i akumulator.



Kiedy to piszę, siłownia istnieje już 10 lat. Od kilku lat stoi zatrzymana z powodu bardzo niekorzystnego usytuowania. Obracała się przy małym wietrze i wytwarzała 10 amperów przy najmniejszym podmuchu. Przy silniejszym wietrze przyspieszała i wytwarzała znaczącą ilość mocy, choć zaznaczam, że śmigło mogłoby być odrobinę większe a nawet czteropłatowe (mniejsze obroty) jeśli chcielibyśmy uzyskać więcej mocy z tej siłowni, szczególnie przy silniejszym wietrze.

W czasie jej pracy nie było słycać żadnego hałasu powodowanego przez śmigło a wytwarza ono odpowiednią moc, (przy wietrze 3-7 m/s!). Mamy ok.

100 watów przy 4,5 m/s, co jest dobrym wynikiem dla śmigła o śr. 3 m. Mamy ok. 500 watów przy 11 m/s i pewnie około 700 W przy 13,4 m/s. - kiedy śmigło zaczyna odchyłać się od wiatru. 500 watów przy 11 m/s to trochę mniej niż moglibyśmy oczekiwać od tego śmigła i myślę, że jest to spowodowane zbyt silnym jak dla niego alternatorem. Teraz ten alternator wytwarza 12 voltów prądu stałego przy 110 obr/min. Jeśli chcielibyśmy otrzymać więcej mocy z tej maszyny, odpowiednie byłoby śmigło o średnicy 3,35 m, choć wiatrak pracowałby ciężiej, a alternator bardziej by się nagrzewał co jest niebezpieczne dla stojana.