Fybikon AS
Rigetjønnveien 3
4626 Kristiansand
www.fybikon.no

Bruksanvisning

Vindturbinsett for forsøk – KidWind Basic Wind Experiment Kit

Art. 20302 og 20310

BESKRIVELSE

Vindturbinsettet er en robust modell av en vindturbin med tårn, turbinhus (nacelle), generator og utskiftbare blader. Elevene bygger egne blader av balsa eller kartong og undersøker hvordan bladvinkel, antall blader, bladform, utveksling og vindstyrke påvirker hvor mye strøm turbinen gir. Turbinen kan også bygges om slik at rotoren vinner opp en snor på en spole og løfter en liten bøtte med lodd. Da kan elevene måle mekanisk arbeid og effekt. Settet passer for ungdomsskole og videregående skole.

Generatoren er en likestrømsgenerator (DC) som går jevnt og gir god effekt ved lavt turtall. Til målingene følger det med et kretskort (KidWind Power Output Board) med visuelt voltmeter, motstander, kondensator og likeretterbro.

INNHOLD



Vindturbinsettet ferdig montert, uten blader

Pose 1

- Generator med ledninger, turbinhus (2 halvdeler) og motorfeste
- Sekskantaksel (ca. 20 cm) med navkobling, og vindturbinnav
- Tårnfot: 3 ben, låsering og nav
- Tannhjulsett: 3 sekskantlåser og tannhjul med 8, 16, 32 og 64 tenner
- Gradskive for bladvinkel
- Trespole, snor (ca. 1,2 m), plastbøtte og 25 skiver (lodd) til forsøket der turbinen løfter en vekt
- 25 trepinner til blader
- Power Output Pack: ledninger med klemmer, motor, propell og lysdioder

Pose 2

- Grått PVC-tårn
- 5 balsaplater og 10 kartongplater til blader (ca. 7,5 × 30 cm)

I tillegg

- KidWind Power Output Board (kretskort)

Klassesettet inneholder tre sett av pose 1 og 2, og i tillegg pose 3 med 5 vindturbinnav, 75 trepinner, 10 balsaplater, 20 kartongplater og 25 kartongark (ca. 22 × 28 cm).

Trepinner, balsa- og kartongplater, snor og Power Output Pack er forbruksmateriell.

Du trenger også: en bordvifte, saks, tape eller limpistol, linjal, vernebriller og gjerne et multimeter eller en Go Direct energisensor (art. 28316).

SIKKERHET

- Bruk vernebriller når rotoren går. Et blad kan løsne og bli slynget ut.
- Stå aldri i rotorens rotasjonsplan (ved siden av rotoren). Stå foran eller bak turbinen.
- Plasser flere turbiner slik at ingen står i rotasjonsplanet til en annen turbin.
- Endene på metallakselen kan være skarpe. Ikke sving eller lek med akselen.
- Lag blader uten skarpe spisser og kanter, og kontroller at alle blader sitter godt fast før viften slås på.

MONTERING

Det finnes også en monteringsvideo (på engelsk). Skann QR-koden med mobilen for å se videoen.

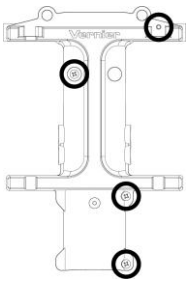
Monteringsvideo

1. Tårn og tårnfot

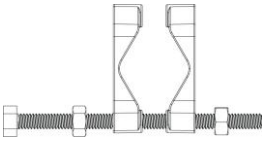
1. Skyv bena inn i navet til tårnfoten til de klikker godt på plass.
2. Sett låseringen rundt den ene enden av tårnet, og skyv denne enden inn i navet.
3. Kontroller at tårnet sitter godt fast.

2. Turbinhus og motorfeste

1. Legg de to halvdelene av turbinhuset mot hverandre, og skru dem sammen med stjerneskrutrekker og skruene fra motorfestesettet. Hver side skal ha fire skruer (figur 1).
2. Skru en sekskantmutter omtrent to tredjedeler opp på en bolt.
3. Træ de to delene av motorfestet, én om gangen, opp på bolten slik at de innbuede sidene vender mot hverandre.
4. Skru en ny sekskantmutter på bolten under motorfestet for å holde delene på plass (figur 2).

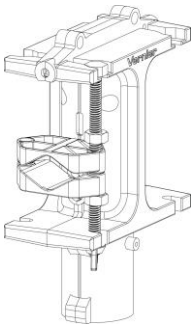


Figur 1

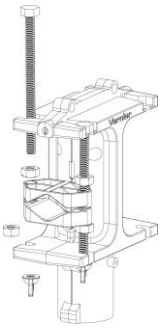


Figur 2

5. Skyv bolten med muttere og motorfeste inn i utsparingen på turbinhuset, og skru en vingemutter på bolten nedenfra (figur 3).
6. Skru en sekskantmutter omtrent en tredjedel opp på en ny bolt.
7. Skyv denne bolten inn i den øverste utsparingen og gjennom motorfestet.
8. Skru en sekskantmutter på bolten under motorfestet.
9. Flytt mutteren oppover på bolten, slik at bolten kan skyves helt ned til den nederste utsparingen.
10. Fest den andre bolten med en vingemutter på samme måte som den første (figur 4).



Figur 3



Figur 4

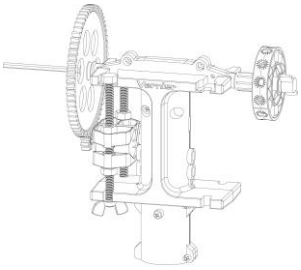
3. Generator

1. Løsne motorfestet til generatoren får plass mellom delene.
2. Stram mutterne opp og ned mot motorfestet slik at generatoren sitter godt fast.
3. Trykk det minste tannhjulet (8 tenner, drevet) godt inn på generatorakselen med fingrene.

Med PVC-tårn kan ledningene føres gjennom sporet bak motorfestet og ned gjennom røret.

4. Aksel og tannhjul

1. Skyv en sekskantlås omtrent to tredjedeler inn på akselen, med flensen mot turbinhuset.
2. Skyv akselen, med navkoblingen påmontert, inn i hullet øverst på turbinhuset fra siden motsatt av generatoren.
3. Træ en ny sekskantlås på akselen med flensen mot turbinhuset.
4. Sett på tannhjulet med 16, 32 eller 64 tenner, og trykk det inn på sekskantlåsen.
5. Juster generatoren opp eller ned med mutterne til drevet griper inn i tannhjulet (figur 5). Tannhjulene skal gå lett, uten å slure.



Figur 5

Utveksling: Med 64 tenner på akselen og 8 på generatoren går generatoren 64 : 8 = 8 ganger fortere enn rotoren. Med 32 tenner blir utvekslingen 4 : 1, og med 16 tenner 2 : 1.

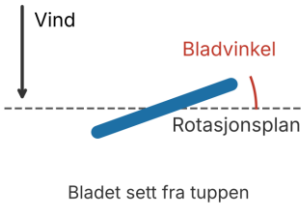
5. Turbinhuset på tårnet

1. Skyv turbinhuset ned på toppen av tårnet, og før ledningene ned gjennom PVC-røret.
2. Bruk eventuelt en settskrue for å låse turbinhuset slik at det ikke dreier seg.

6. Blader og nav

1. Klipp ut blader av balsa- eller kartongplatene. Alle bladene i ett sett skal være like.
2. Fest hvert blad til en trepinne med tape eller lim. La 2–3 cm av pinnen stikke ut ved bladroten, slik at den kan settes i navet.
3. Sett pinnene i hullene i navet. Fordel bladene jevnt rundt navet, slik at rotoren er i balanse.
4. Still inn bladvinkelen med gradskiven (figur 7). Bladvinkelen er vinkelen mellom bladet og rotasjonsplanet. Alle blader skal ha samme vinkel.
5. Fest navet på navkoblingen på akselen, og kontroller at alle blader sitter godt fast.

Tips: Begynn med 3–6 blader, en bladvinkel på 10–20° og blader som er ca. 15–20 cm lange og bredere ved roten enn ved tuppen. Rotoren bør ikke være større enn viften.



Bladet sett fra tuppen

Figur 7: Bladvinkel

7. Koble til måleutstyret

Koble ledningene fra generatoren til inngangen på kretskortet (Power Output Board). Hvordan du måler spenningen, står under «Generelt om forsøkene».

- Motstandene på 1 W (10 Ω, 30 Ω, 51 Ω og 100 Ω) brukes som belastning når du skal finne effekten.
- Lysdiodene og motoren i Power Output Pack viser at turbinen produserer strøm.

GENERELT OM FORSØKENE

Slik måler du spenningen

- **Multimeter:** Still multimeteret på likespenning (V⎓), området 20 V. Turbinen gir ofte under 2 V uten utveksling og 2–8 V med utveksling. Koble den røde ledningen fra generatoren til V-inngangen og den svarte til COM. Viser multimeteret minus foran tallet, bytter du om ledningene.
- **Med belastning:** For mer realistiske målinger kan du koble en av motstandene på kretskortet (for eksempel 30 Ω) til generatoren og måle spenningen over motstanden. Bruk samme motstand i alle forsøkene.
- **Uten multimeter:** Det visuelle voltmeteret på kretskortet viser bare omtrent hvor stor spenningen er. Du kan også bruke Go Direct energisensor (se forsøk 8).

Gode råd

- Plasser turbinen ca. 1 m foran viften, med senteret av rotoren midt foran viften. Bruk samme avstand og viftetrinn gjennom hele forsøket.
- Endre bare én ting om gangen. Alt annet skal være likt (særlig bladvinkelen).
- La turbinen gå i 20–30 sekunder før du leser av. Gjør hver måling minst tre ganger, og regn ut gjennomsnittet.
- Luften fra en vifte er urolig. Et «vindrør» av melkekartonger, pappruller eller PVC-rør foran viften gir jevnere vind.

FORSØK 1: BLADVINKEL

Formål: Finne bladvinkelen som gir høyest spenning.

1. Lag et sett med 3 like blader, og sett på tannhjulet med 32 eller 64 tenner.
2. Koble generatoren til multimeteret (se «Slik måler du spenningen»).
3. Still alle bladene på 5°, slå på viften og les av spenningen.
4. Gjenta med 10°, 20°, 30° og 45°.
5. Tegn en graf med bladvinkel på x-aksen og spenning på y-aksen.

Bladvinkel (°)	Spenning 1 (V)	Spenning 2 (V)	Spenning 3 (V)	Gjennomsnitt (V)
5				
10				
20				
30				
45				

FORSØK 2: ANTALL BLADER

Formål: Undersøke om flere blader gir mer strøm.

1. Bruk den beste bladvinkelen fra forsøk 1 og like blader.
2. Mål spenningen med 2, 3, 4 og 6 blader. Fordel bladene jevnt rundt navet.
3. Undersøk også hvor lett rotoren starter når viften står på lavt trinn.

Antall blader	Spenning, høyt viftetrinn (V)	Spenning, lavt viftetrinn (V)	Starter rotoren lett? (ja/nei)
2			
3			
4			
6			

Flere blader gir mer dreiemoment, men også mer luftmotstand. Det beste antallet avhenger av vindstyrken og belastningen.

FORSØK 3: BLADFORM, LENGDE OG MATERIALE

Formål: Finne ut hvordan bladets form, lengde og materiale påvirker spenningen.

1. Lag flere sett med blader der bare én ting er forskjellig, for eksempel rektangulære og avsmalnende blader, blader som er 10, 15 og 20 cm lange, eller blader av balsa og kartong.
2. Bruk samme antall blader og samme bladvinkel for alle settene.
3. Mål spenningen for hvert sett. Legg merke til om lange blader bøyer seg bakover i vinden.

Bladsett (beskrivelse)	Spenning (V)	Merknader

FORSØK 4: UTVEKSLING

Formål: Undersøke hvordan tannhjulene påvirker turtall, spenning og hvor lett rotoren starter.

1. Bruk det beste bladsettet fra forsøkene over.
2. Mål spenningen med tannhjulet med 16, 32 og 64 tenner på akselen.
3. Prøv også med lavt viftetrinn. Starter rotoren like lett med alle tannhjulene?

Tannhjul på akselen	Utveksling	Spenning (V)	Starter rotoren lett? (ja/nei)
16 tenner			
32 tenner			
64 tenner			

FORSØK 5: VINDSTYRKE

Formål: Undersøke hvordan vindstyrken påvirker spenningen.

1. Bruk det samme bladsettet hele tiden.
2. Mål spenningen når turbinen står 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m og 2,0 m fra viften. Du kan også bruke viftens ulike trinn.
3. Har du en vindmåler (anemometer), kan du måle vindhastigheten ved rotoren.

Avstand fra viften (m)	Vindhastighet (m/s), valgfritt	Spenning (V)
0,5		
1,0		
1,5		
2,0		

FORSØK 6: EFFEKT MED BELASTNING

Formål: Finne effekten turbinen gir, og hvilken belastning som gir størst effekt.

1. Koble én av motstandene på kretskortet (10 Ω, 30 Ω, 51 Ω eller 100 Ω) til turbinen.
2. Mål spenningen U over motstanden med multimeter.
3. Regn ut effekten: $\mathbf{P = U^2 / R}$. Har du et multimeter som måler strøm, kan du i stedet bruke $\mathbf{P = U \cdot I}$.
4. Gjenta med de andre motstandene.

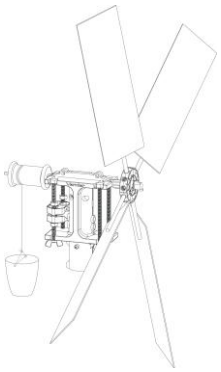
Husk enhetene: Gjør om mA til A før du ganger med spenningen (1 A = 1000 mA).

Motstand R (Ω)	Spenning U (V)	Effekt $P = U^2/R$ (W)
10		
30		
51		
100		

FORSØK 7: TURBINEN LØFTER EN VEKT

Formål: Bruke rotoren til å vinne opp en snor og løfte en bøtte med lodd, og måle det mekaniske arbeidet og effekten.

1. Ta det store tannhjulet av akselen, men la sekskantlåsen sitte. Trykk trespolen inn på sekskantlåsen, og sett den andre sekskantlåsen inn bak spolen.
2. Knyt den ene enden av snoren til bøtta og den andre enden til spolen. Tape snoren fast så den ikke glir (figur 6).
3. Vei skivene. Legg skiver i bøtta, og mål hvor lang tid turbinen bruker på å løfte bøtta 0,5 m.
4. Regn ut arbeidet $\mathbf{W = m \cdot g \cdot h}$ ($g = 9{,}81\ m/s^2$) og effekten $\mathbf{P = W / t}$.
5. Hvor mange skiver klarer turbinen å løfte? Hvilke blader løfter mest?



Figur 6

Eksempel: 0,1 kg løftet 0,5 m på 4 s gir $W = 0{,}1 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}5 \approx 0{,}49$ J og $P = 0{,}49 / 4 \approx 0{,}12$ W.

Masse m (kg)	Høyde h (m)	Tid t (s)	Arbeid W (J)	Effekt P (W)

FORSØK 8: MÅLINGER MED GO DIRECT ENERGISENSOR

Formål: Måle spenning, strøm, effekt og energi fra turbinen samtidig, og se målingene som grafer på PC, nettbrett eller mobil.

Utstyr: Go Direct energisensor (art. 28316, selges separat) og den gratis appen Graphical Analysis fra Vernier. Sensoren har en innebygd belastning på 30 Ω, så du trenger ikke kretskortet i dette forsøket.

Video fra Vernier

Oppkobling

1. Lad sensoren med USB-kabelen i minst 2 timer før første gangs bruk.
2. Sett bryteren på sensoren (Load) på «Internal» (innebygd 30 Ω belastning).
3. Koble den røde klemmen på sensoren til den røde ledningen fra generatoren, og den svarte klemmen til den svarte ledningen.
4. Slå på sensoren. Åpne Graphical Analysis, velg «Sensor Data Collection» og koble til sensoren trådløst. Velg kanalene spenning, strøm, effekt og energi.
5. Slå på viften en kort stund. Viser spenning og strøm negative verdier, bytter du om de to klemmene.

Måling

1. Sett på det beste bladsettet fra forsøk 1–3, og la rotoren gå til den har jevn fart.
2. Trykk «Collect» og mål i 30 sekunder.
3. Les av gjennomsnittlig spenning, strøm og effekt (velg «Graph Tools» og «View Statistics»), og energien ved slutten av målingen.
4. Gjenta med andre viftetrinn eller andre bladsett, og sammenlign.

Bladsett / viftetrinn	Spenning (V)	Strøm (mA)	Effekt (mW)	Energi etter 30 s (J)

Kontroller: Stemmer det at effekten $P = U \cdot I$? (Spenning i V ganger strøm i mA gir effekten i mW.) Energien som er produsert, er effekten ganget med tiden: $E = P \cdot t$.

Utvidelse: Sett bryteren på «External», og koble motstandene på kretskortet (10 Ω, 30 Ω, 51 Ω og 100 Ω) til kontaktene for ekstern belastning. Hvilken motstand gir størst effekt? Sammenlign med forsøk 6.

Merk: Lyser lampen «Check Load», er ingen belastning koblet til, og sensoren måler ikke strøm. Med innebygd belastning tåler sensoren opptil ca. 5 V. Gir turbinen mer, bruker du «External» med en motstand fra kretskortet.

FORSØK 9: DESIGNKONKURRANSE

Bruk resultatene fra forsøkene til å designe de beste bladene. Lag en tegning og en plan før dere bygger. Test bladene ved høyt og lavt viftetrinn, forbedre designet og test igjen.

Forslag til regler

- Ingen metall, ingen ferdigkjøpte propeller og ingen skarpe spisser eller kanter.
- Rotoren skal ikke være bredere enn viften.
- Turbinen står 1 m fra viften. Den høyeste spenningen eller effekten i løpet av 30 sekunder teller.
- Gi gjerne også poeng for godt håndverk og gode ideer.

FOR VIDEREGÅENDE: VIRKNINGSGRAD

Effekten i vinden som treffer rotoren er $\mathbf{P = ½ \cdot \rho \cdot A \cdot v^3}$, der $\rho = 1{,}23$ kg/m³ (luftens tetthet), $A = \pi \cdot r^2$ er arealet rotoren sveiper over, og v er vindhastigheten. Virkningsgraden er effekten fra turbinen (forsøk 6 eller 8) delt på effekten i vinden.

Modellturbiner har ofte en virkningsgrad under 5 %. Den teoretiske grensen for en vindturbin er 59 % (Betz' lov).

SPØRSMÅL

1. Hvilken variabel påvirket spenningen mest?
2. Hvilke blader fungerte best ved lav vind, og hvilke fungerte best ved sterk vind? Hvorfor?
3. Hvorfor har de fleste store vindturbiner tre blader?
4. Hvilke energiomforminger skjer fra vinden til lyset i en lysdiode?
5. Beskriv bladene du ville anbefalt som ingeniør. Begrunn svaret med minst tre variabler.

TIPS TIL LÆREREN

- Bygg gjerne en turbin selv på forhånd, og øv på å bruke multimeteret.
- Lag 3–4 eksempelsett med blader som er forskjellige i lengde, materiale og antall, slik at elevene raskt kommer i gang.
- La hver gruppe teste én variabel, og samle resultatene i en felles tabell for klassen.
- Sett opp testplassen ett sted i rommet, med flere vifter om mulig, så det blir mindre venting.
- Flere forsøk og elevark (på engelsk) finnes på kidwind.org/activities/, for eksempel «Which Blades Are Best?», «How Can I Design Better Blades?» og «MacGyver Windmills».

www.fybikon.no