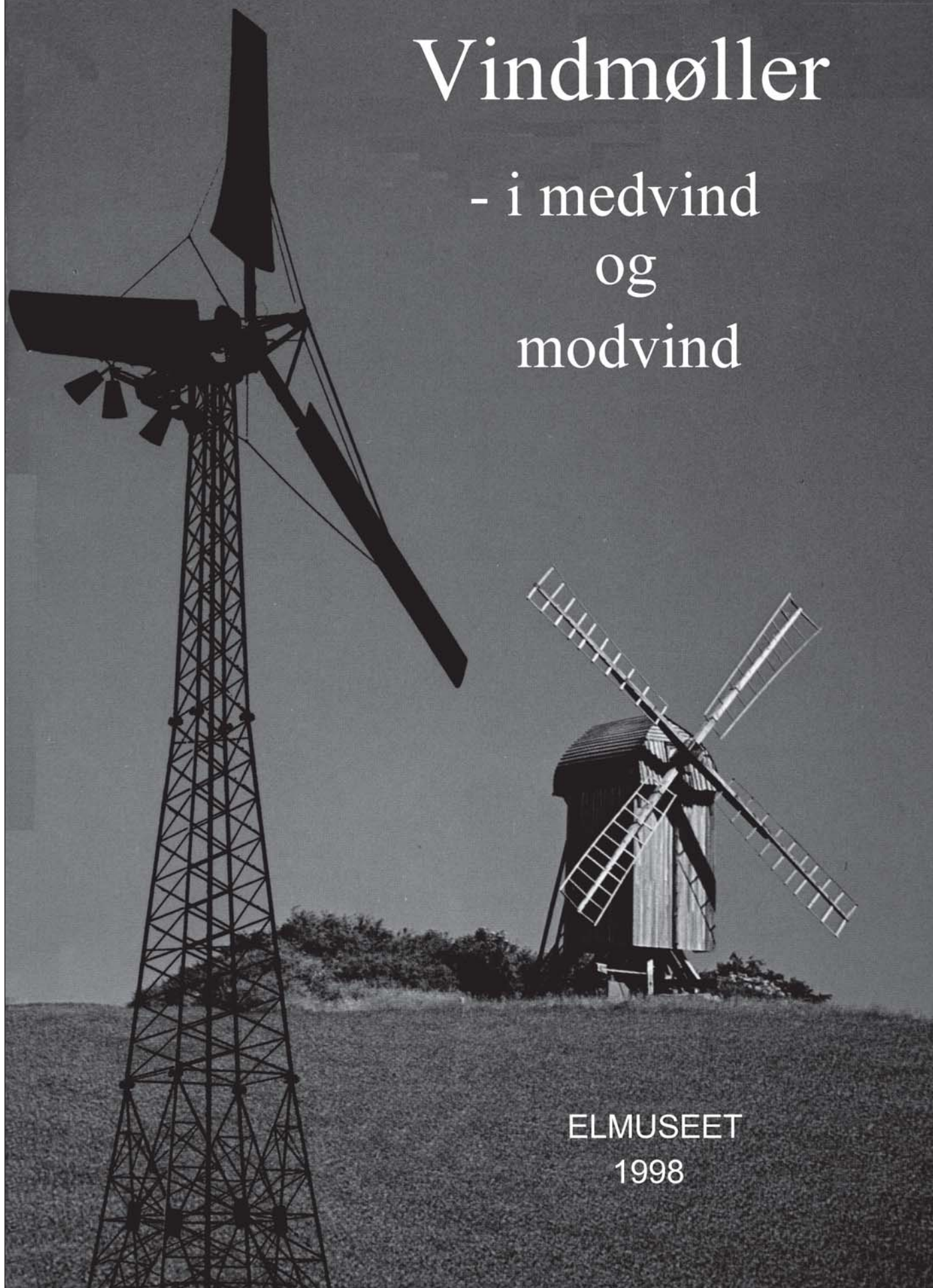


Vindmøller

- i medvind
og
modvind

ELMUSEET
1998



Indholdsfortegnelse

1. Forord	1
2. Hvorledes virker en vindmølle?	1
3. Hvor går strømmen hen?	2
4. Hvor skal en vindmølle placeres?	4
5. Hvorfor drejer møllevinger rundt?	4
6. Vinden og dens energi	7
7. Vindmøllens historie og udvikling	8
8. Poul la Cour og hans liv	11
9. Vindmøller og teknologi	20
10. Elektricitet og drivhuseffekt	20
11. Du og fremtiden?	21
12. Appendiks	22
Elektriske begreber	
13. Opgaver	23

Dette hæfte er et forsøg på at give Folkeskolens fysikundervisning et indhold og perspektiv, der opfylder læseplanens krav.

Ved at benytte hæftet i undervisningen og eventuelt lade klassen få en vindmølledag på Elmuseet, vil eleverne få mulighed for at lære om forholdet mellem fysik, teknologi, samfund og miljø.

Forsøgsmaterialet er udviklet med økonomisk støtte fra Undervisningsministeriet.

Niveau: 8.-10. klasse.

ELMUSEET

1998

Bjerringbrovej 44, 8850 Bjerringbro

Tlf: 86 68 42 11

Fax: 86 68 04 70

E-mail: elmus@elmus.dk

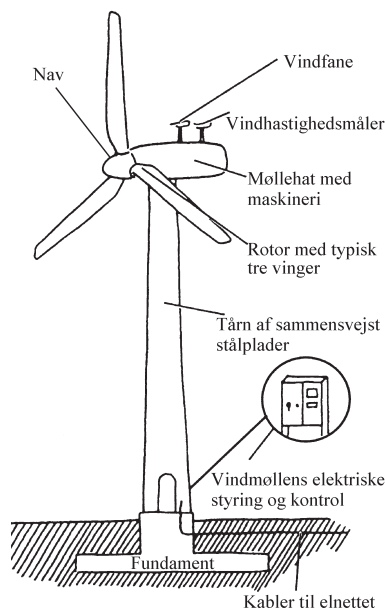
Web: www.elmus.dk

Forord

Formålet med dette hæfte er, at du skal lære noget om vindmøller. Ved at læse hæftet og løse opgaverne i det vil du få noget at vide om vindmøllernes historie og udvikling i Danmark.

Du vil også få lært, hvordan en vindmølle laver vind om til elektricitet, og hvor strømmen går hen, når den forlader vindmøllen.

Hæftet er lavet i tilknytning til Elmuseets vindmølleudstilling. Udstillingen dækker både et indendørs og et udendørs område. Blandt de udstillede genstande findes en rigtig fungerende vindmølle, som du skal måle og lave beregninger på.



Opbygningen af en vindmølle

Du skal også selv opstille en vindmølle og få den til at lave så meget strøm som muligt. På museets område skal du finde et par steder, hvor vindforholdene er så gode, at din vindmølle kan få forskellige elektriske apparater til at virke.

Hvorledes virker en vindmølle?

En vindmølle ser simpel ud. Den består af et mølletårn, en møllehat og tre vinger. Vingerne sidder fast i et nav, og møllevinger og nav kaldes samlet for en **rotor**.

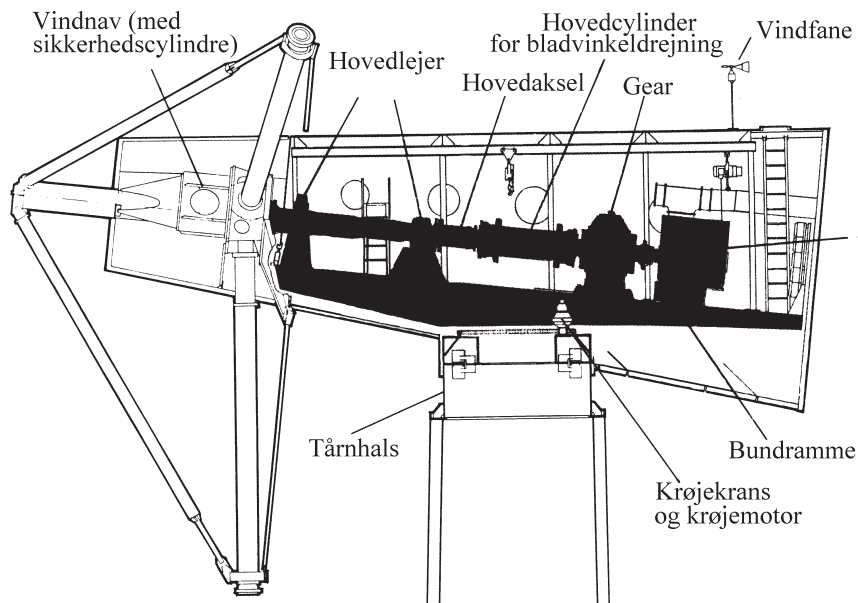
Når der er god vind, drejer vingerne rundt, og møllen laver strøm. Det sker i en generator inde i møllehatten, og det vil vi undersøge nærmere. Vi vil begynde i det øjeblik, hvor vinden rammer møllevingerne og slutte med at strømmen forlader møllen.

Når vindmåleren oppe på møllehatten måler vindhastigheden til at være godt 4 m/s, kan vinden sætte møllevingerne i bevægelse.

Men først skal de drejes på plads, så de bliver påvirket mest muligt af vinden. Det betyder, at navet skal pege direkte imod vinden. Derfor skal møllehatten krøje. Det sker ved hjælp af en krøjemotor, der hele tiden får besked om vindens retning fra vindfanen. Hvis vindretningen ændrer sig, krøjer møllehatten automatisk (at krøje betyder at dreje).

Møllevinger og nav sidder fast i en aksel, der stikker ud fra

møllehatten. Akslen fortsætter inde i møllehatten og går ind i en gearkasse. På den anden side af gearkassen ender den i en asynkron motor, der virker som en generator.



Møllehuset på toppen af tårnet hvor det mekaniske og elektriske udstyr findes.

Inde i gearkassen er akslen delt i to dele, hvor af den ene er hovedakslen. Den bliver drejet rundt af møllevingerne med omkring 50 omdr./min.. Ved hjælp af tandhjul sætter gearkassen omdrejningerne op til 1000 omdr./min. på den anden del af akslen. Denne del af akslen trækker generatoren. Det er nødvendigt med så højt et omdrejningstal, for at generatoren kan lave vekselstrøm med en frekvens på 50 Hz.

Hvor går strømmen hen?

Når rotoren kommer op på det beregnede omdrejningsantal, hvor generatoren skal lave strøm, sørger møllens elektriske styring for, at møllens generator bliver koblet til et elnettet. Gennem et kabel kan møllen så komme af med den producerede strøm.

Elnettet består af de mange tusinde kilometer ledning, der forgrener sig ud over hele landet. Det kaldes også for ledningsnettet. Gennem elnettet fordeles strømmen fra de store kulfyrede elværker i Danmark.

Vekselstrømmen på elnettet har en frekvens på 50 Hz. Da der er meget mere strøm på elnettet, end der kommer fra vindmøllens generator, vil det være elnettets frekvens, der hele tiden bestemmer frekvensen på vekselstrømmen fra møllen. Vindmøllen kan derfor ikke producere strøm med en større frekvens end 50 Hz. Det medfører, at møllevingerne altid drejer

En veltilpasset vindmølle kan producere elektricitet i mere end 20 år. På en god placering producerer en vindmølle i Danmark i et normalt år elektricitet i cirka 6.000 timer. Det er 68% af årets timer - nat og dag. I løbet af 20 år bliver det til cirka til 120.000 timer. Møllevingerne og hovedakslen har foretaget mere end 200 millioner omdrejninger i møllens levetid.

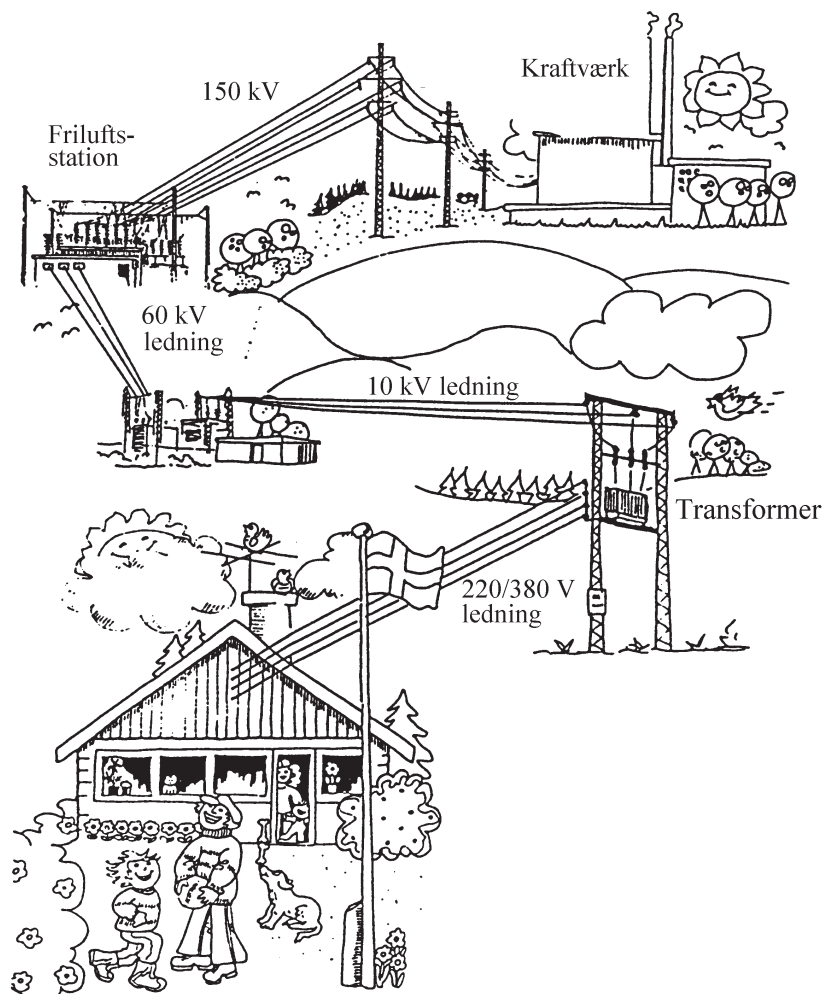
En privat benzindrevet personbil bliver skrottet, når den har kørt cirka 200.000 kilometer. Med en gennemsnitlig hastighed på 60 km/t betyder det, at bilmotoren har kørt mellem 3.000 til 3.500 timer, når bilen bliver hugget op.

rundt med samme omdrejningstal uanset vindhastigheden. Vinden vil forsøge at få rotoren til at dreje hurtigere rundt, men rotoren vil hele tiden blive bremset af frekvensen på elnettet, som konstant er på 50 Hz. Vindens forsøg på at presse rotorens omdrejningstal højere op får generatoren til at producere mere strøm, der sendes ud på elnettet. Møllen laver stadig mere strøm i takt med øget vindhastighed.

Når vindmøllen leverer strøm til elnettet, arbejder den sammen med de øvrige elværker om at forsyne hele Danmark med elektricitet. Det betyder, at de store elværker kan producere mindre elektricitet og derved får et mindre kulforbrug.

En vindmølles samarbejde med de store elværker kan sammenlignes med det, der sker, når en lille pige kører på tandem- cykel sammen med en voksen. Han bestemmer antallet af omdrejninger på pedalerne, men når pigen træder med, bliver arbejdet lettere for en voksen.

Til højre ses noget af elforsyningssystemets opbygning (Sønderjyllands Højspændingsværk). Vindmøller bliver koblet på dette system. I hele systemet er frekvensen 50 Hz.



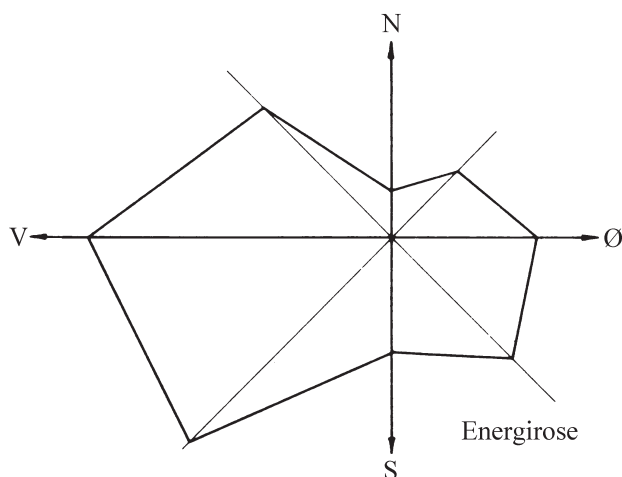
Hvor skal en vindmølle placeres?

Vindens energi udnyttes bedst ude ved kysterne, hvor vinden ikke bliver bremset af forhindringer i landskabet. For at få et overblik over, hvor møllerne kan stå, har man inddelt landet i forskellige områder, som er mere eller mindre velegnet til vindmøller. I den forbindelse bruges ordet "ruhedsklasse". Desto flere bakker, træer og huse der er i landskabet, desto mere bremses vinden. Når vinden bremses, mindskes vindens energiindhold.

Ruhedsklasser giver ikke et ægte billede af vindenergiens størrelse i de forskellige områder. En høj bakke i klasse D kan være et lige så ideelt sted at opstille en vindmølle som et område i klasse A.

Vindretninger

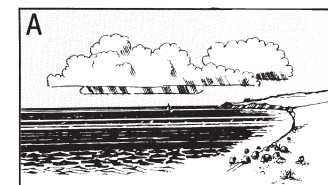
Før en vindmølle opstilles, er det også vigtigt at kende de dominerende vindretninger i området. Landskabet skal være åbent i de retninger, vinden oftest kommer fra.



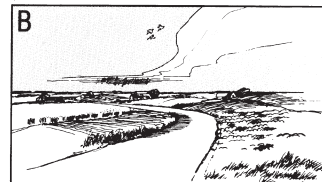
Hvorfor drejer møllevingerne rundt?

Det bestrøgne areal

Populært sagt høster møllevingerne vindens energi. Vinden bliver bremset, når den rammer vingerne. Det giver et tryk og et sug på vingerne, som får dem til at dreje rundt. Når de drejer, beskriver de en cirkel, og arealet af denne cirkel kaldes for det bestrøgne areal. Lange møllevinger giver således et stort areal at høste vindenergi på.



A
Åbent vand - fladt kystområde. Vindens hastighed dæmpes næsten ikke. Energi-indhold: 100 pct.



B
Fladt terræn uden lunde, læhegn og kun enkelte gårde. Vinden dæmpes moderat. Energi-indhold: 70 pct.

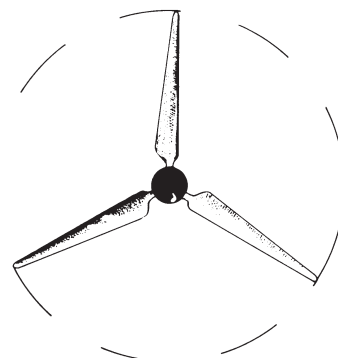


C
Fladt og jævnt bakket terræn med lunde, læhegn og gårde samt landsbyer. Energi-indhold tilbage: 50 pct.



D
Bakket terræn, skove og anden beplantning, mange læhegn, mange gårde og landsbyer. Energi-indhold: Ca. 30 pct.

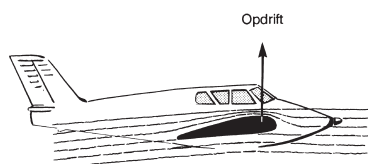
Energirosen til venstre viser den energi som fås fra de forskellige vindretninger. Den viser at vest og sydvest er de vigtigste retninger og nord er den mindst vigtige



Arealet af en cirkel angiver det bestrøgne areal

Aerodynamik

Møllevingernes form har en afgørende betydning for udnyttelsen af vindens energi. De ligner vingerne på en flyvemaskine. Disse har en form, der giver en opdrift på flyet, når vinden passerer vingerne. Det sker på følgende måde:

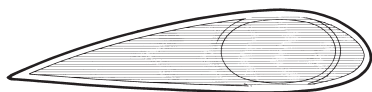


En møllevinge ligner en flyvinge

Når flyet kører hen ad startbanen, vil vinden suse både over og under vingerne. En flyvinge buer på oversiden og er flad forneden. Den form bevirker, at vinden løber hurtigere hen over vingens overside end på undersiden. Der opstår et undertryk på vingens buede overside, og det giver et sug, der løfter flyet op. Det kaldes for opdriftsprincippet. Når flyet er i luften, bliver det kun deroppe, så længe dets fart kan skabe en opdrift på vingernes overflade (se figuren til venstre).

En moderne møllevinge ligner en flyvinge, og når den drejer rundt, foregår det efter det samme opdriftsprincip, der holder et fly i luften. Det sker på følgende måde:

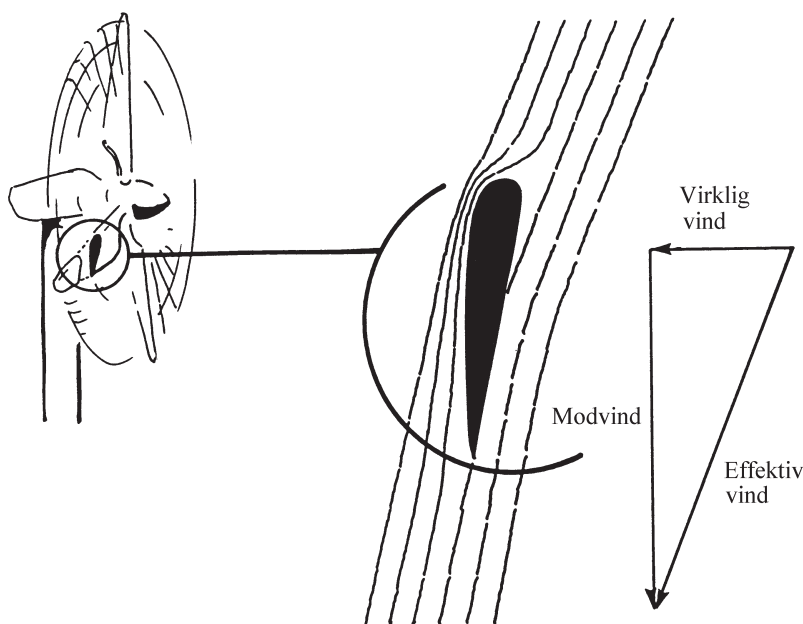
- 1) Vindmåleren viser, at vindens fart er ca. 4 m/s.
- 2) Vinden har krøjet møllehatten, således at vingernes flade side vender mod vinden.
- 3) Vingerne drejes en smule på langs, så den flade side vender lidt skråt imod vindretningen. Det kaldes en pitch-regulering (pitch er det engelske ord for *hældning* eller *indfaldsvinkel*). En pitch-regulering er nødvendig for at vinden kan skubbe vingerne i gang. Når nu vingerne begynder at dreje rundt, møder vingerne luftmodstand. Denne modstand mærker vingen som en modvind. Vingen bliver derfor påvirket af to vindretninger:



Tværsnit af en opdriftsmølles vinge minder meget om tværsnittet af en flymaskinevinge.

- a) Vinden der går direkte ind på vingens flade side.
- b) Modvinden den møder under sine omdrejninger.

De to vindretninger giver til sammen en effektiv vind, der går skråt ind på vingen (se figuren næste side).



Luftstrømmen om en vindmøllevinge i fart opad

Den effektive vind påvirker møllevingen på samme måde, som en flyvinge påvirkes af vinden. Der opstår et undertryk på vingens buede overflade. Undertrykket er størst, hvor vingen buer mest. En mølle, hvor vingerne drejer rundt, fordi der er undertryk på bagsiden, kaldes for en opdriftsmølle.

Moderne vindmøller er opdriftsmøller. De virker bedst med kun tre vinger. Flere vinger vil ødelægge opdriften.

Videnskaben om luftens bevægelser hedder aerodynamik. Dens resultater er vigtige ved konstruktion af både fly og vindmøller for at give vingerne den bedste aerodynamiske form.

Pitch-regulering og stall-regulering

Pitch-reguleringen sørger for, at vindmøllen udnytter vinden mest muligt. Men ved høje vindhastigheder bliver vingerne under deres omdrejninger udsat for så store belastninger, at det kan beskadige møllens maskineri. For at forhindre dette, har vingerne en bestemt aerodynamisk form, som gør, at der opstår små hvirvelvinde på vingernes buede bagside, når vindens hastighed kommer op på 20-24 m/s. Opdriften på vingerne bliver mindre. Fænomenet hedder **stalling**. Når vingerne staller, sikrer det møllen mod overbelastning (stall er det engelske ord for *farttab*).

Vinden og dens energi

Sol og vind

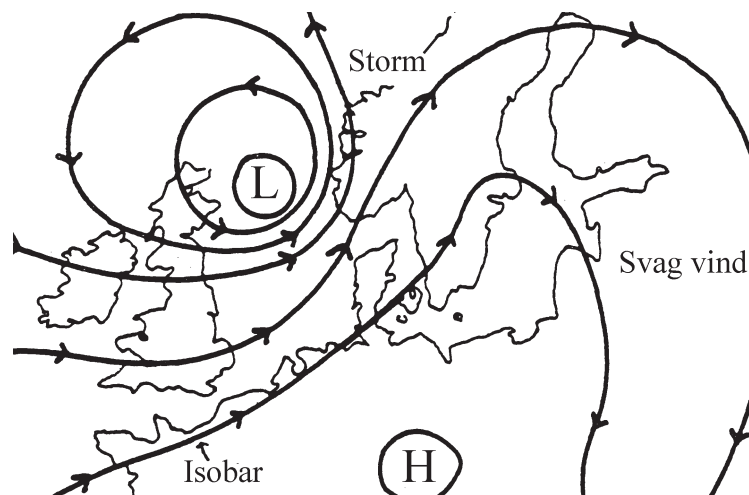
Vindenergi kaldes for vedvarende energi. Det er en oplagt betegnelse, når man tænker på, hvor ofte det blæser. Men hvordan kan der egentlig blive ved med at opstå vinde?

Næsten al energi kommer fra Solen. Selv om Solen befinder sig 150 millioner kilometer borte, modtager Jorden enorme mængder energi i form af synligt og usynligt lys. Energien vil blive ved med at strømme til Jorden, lige så længe Solen eksisterer. Det vil den gøre i omkring 5 milliarder år endnu.

Når Solens stråler opvarmer et bestemt område på jordkloden, opvarmes luften også. Den opvarmede luft stiger til vejrs, og der dannes et lavtryk ved jordoverfladen. Kolde luftmasser vil herefter søge ind mod lavtrykket og opfylde dette. Herved opstår der en vind.

Vindretning og vindstyrke afhænger af, hvor lavtrykket befinder sig, og hvor store forskellene i tryk er. Hvis man kigger på et vejrkort, kan man forudse, hvordan vinden vil blive i et område.

Vejrkort angiver høj- og lavtryk, hvor imellem vinden opstår



På et vejrkort tegnes linier gennem steder med ens lufttryk. Linierne kaldes isobarer. På grund af jordens omdrejning blæser vinden ikke direkte fra højtryk (H) til lavtryk (L), men afbøjes her på den nordlige halvkugle mod højre, så den blæser langs isobarerne. Hvis isobarerne ligger tæt, er vinden kraftig. Vindens effekt

Man kan beregne den energimængde, som i hvert sekund strømmer igennem det bestrøgne areal. Dens størrelse afhænger

af vindens hastighed (V) og af møllevingernes længde. Lange vinger giver et stort bestrøget areal (A), og dermed et større område de kan høste energi på. Energimængde/sekund hedder effekt (P) og har benævnelsen watt (W).

Ved hjælp af en formel kan effekten i det bestrøgne areal beregnes. Formlen har følgende udseende:

$$P_{\text{vind}} = 0,625 \cdot A \cdot V^3$$

A måles i kvadratmeter, m^2 , og V i meter pr. sekund, m/s. Så fås resultatet i W.

Det kan ikke lade sig gøre at udnytte al den effekt, der strømmer igennem det bestrøgne areal. Så skulle vinden stoppe helt op, når den har passeret vingerne, og det ville medføre, at møllen gik i stå. Det er nødvendigt, at vinden skal kunne løbe væk fra vingerne, når de har bremset den. Så kan der komme ny vind med ny energi ind til møllen. Vindmøller må derfor ikke stå så tæt sammen, at de forhindrer vinden i at løbe væk fra vingerne.

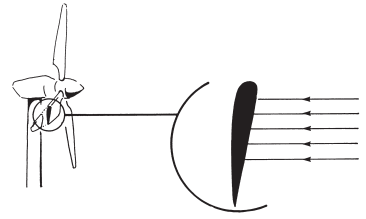
Det kan beregnes teoretisk, at en vindmølle højst kan udnytte 59 % af den effekt, der er til rådighed. De moderne møller udnytter helt op til 45%, når de fungerer bedst.

Vindmøllernes historie og udvikling

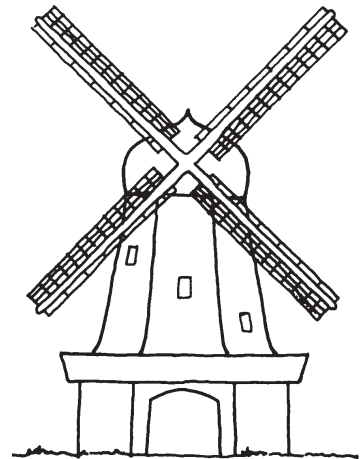
Stubmøller, hollandske møller og vindroser

I Danmark har udnyttelsen af vinden været kendt siden 1400-tallet. Dengang brugte man en lille mølletype, der hed stubmøllen. Dens vinger sad på selve møllehuset, kaldet stubben, så det gjorde det nødvendigt at dreje hele møllen, når vinden ændrede retning. Der er vist en stubmølle på forsiden af dette hæfte.

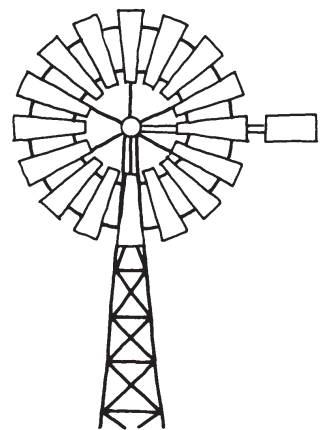
Omkring år 1800 begyndte en ny mølletype at dukke op. Det var de hollandske møller, hvor vingerne sad på en møllehat. Disse møller havde et system, der kunne krøje møllehatten, når vinden ændrede retning. Krøjesystemet gjorde de hollandske møller meget anvendelige, og de udkonkurrerede efterhånden stubmøllerne. I slutningen af 1800-tallet var der op mod 8000 vindmøller i Danmark. De blev brugt til at male korn, og de



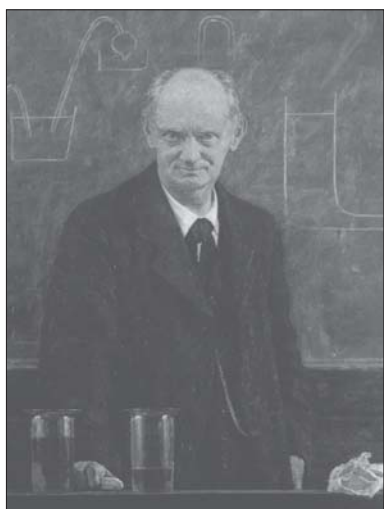
Når vinden har en fart på ca. 5 m/s, vil vindpresset på den skråtstillet vingeblade få rotoren på vindmøllen til at køre rundt



Hollandsk mølle



Vindrose



Poul la Cour

mange vindmøller var meget synlige i det danske landskab.

I 1874 blev der på Verdensudstillingen i Philadelphia i USA fremvist en vindmølle, der blev kaldt for en vindrose. Den fik stor udbredelse indenfor landbruget i mange lande. Dels fordi den var god til at trække forskellige maskiner til brug i landbruget, men også fordi den var billig at fremstille.

Fra vind til strøm

Vindmøller producerede trækraft til landbrugets maskiner. Men kunne en mølle også producere strøm? Dette spørgsmål stillede en fysiklærer på Askov højskole sig selv omkring 1890. Han opfattede en vindmølle som et kraftværk, der kunne forvandle vind til elektricitet. Læreren hed Poul la Cour, og i 1890'erne begyndte han at lave forsøg med en vindmølle. Møllen trak en dynamo, der lavede jævnstrøm, og formålet med forsøgene var at finde frem til den mølletype, der på bedste måde udnyttede vinden.

Der blev bygget en del elproducerende vindmøller forskellige steder i landet, men de fik kun en begrænset udbredelse. Under 1. og 2. Verdenskrig fik vindkraft dog en opblomstring og spillede en vis betydning for elforsyningen.

Gedsermøllen



Johannes Juul ved Gedsermøllen

I årene efter 2. Verdenskrig var man bekymret for, hvor længe Jordens lagre af kul og olie ville vare. På et internationalt elværksmøde i Lake Success i USA i 1949 blev det fastslået, at de kendte reserver af kul og olie ville være opbrugte omkring år 2000. I Danmark fik det Danske Elværkers Forening til at undersøge, hvilken rolle vindkraften i fremtiden kunne få for landets elforsyning. En ingeniør, der hed Johannes Juul, fik som opgave at bygge en forsøgsmølle ved Gedser. Han havde i sin ungdom haft Poul la Cour som fysiklærer og havde siden da været interesseret i vindmøller.

Møllen skulle lave vekselstrøm. Den blev indviet i 1957 og blev kendt under navnet Gedsermøllen, fordi den blev opstillet ved Gedser på Falster. Den var i drift i 10 år, men blev efter et havari stoppet i 1967. Det så ud til at vindkraft var for dyr en måde at lave strøm på. I 1960'erne var kul og olie så billig, at elværkerne med disse to former for brændsel kunne levere strøm til den laveste pris nogensinde.

Men Gedsermøllen havde givet nogle vigtige erfaringer, som der skulle blive brug for senere hen. Johannes Juul udviklede bl.a. de luftbremser, som sidder på vingespidsene af mange moderne vindmøller. Bremsene fungerer ved, at den yderste ende af møllens vinger drejes 90° og derved får rotorens omdrejninger til at blive mindre. Hans forsøg viste også, at en asynkron motor ville være velegnet som generator i en mølle, der skulle producere vekselstrøm. Og så var det Johannes Juul, der fandt på at give møllevingerne en form, så de kunne "stalle" i stærk vind. Og så havde Gedsermøllen tre vinger ligesom alle de moderne møller, der producerer el.

Energikrisen

I 1973 udbrød der krig mellem Israel og nogle af de arabiske lande. De arabiske lande syntes, at Vesten holdt for meget med israelerne og stoppede næsten deres olieeksport til Europa og USA. Oliepriserne steg og steg, og der opstod en såkaldt energikrise i den vestlige verden. I Danmark forsøgte regeringen at nedbringe danskernes olieforbrug på forskellig vis, bl.a. blev det forbudt at køre bil nogle søndage i vinteren 1973/74.

Også el-priserne steg. Så meget at det igen blev aktuelt at tænke på strøm fra vindmøller. Vindenergi kaldes for vedvarende energi i modsætning til energien fra kul, olie og gas, som kun findes i begrænsede mængder. En fordel ved vindenergi er, at den giver mindre forurening og dermed et bedre miljø. Nogle mennesker så også en fordel i, at vindmøller ville give mange små elværker. De mente, at de store elværker var blevet for store. Det var mennesker, der foretrak en decentral elforsyning frem for en central. Flere og flere blev interesseret i vindkraft og gik i gang med at bygge vindmøller.

Riisagermøllen

Een af dem var Christian Riisager fra Vestjylland. Han havde besøgt Johannes Juul og set Gedsermøllen, da den var i drift. Nu byggede han sin egen mølle med en asynkron motor som generator. Møllen blev stillet op ude i hans have, og i 1975 blev den for første gang og uden tilladelse koblet ind på husets elnet. Nede i kælderen så hans kone, at el-måleren løb baglæns. Møllen leverede åbenbart strøm ud af huset. Christian Riisager byggede omkring 70 eksemplarer af sin



Christian Riisager med sin hjemmelavde vinge og med sin private vindmølle i baghaven

mølle. Den blev solgt under navnet Riisagermøllen. Denne mølletype blev den første moderne mølletype, der leverede strøm til det landsdækkende elnet.

Energipolitik

Siden energikrisen er staten også blevet interesseret i at fremme brugen af vindenergi, bl.a. fordi det nedbringer importen af kul og olie. I 1979 vedtog Folketinget, at man ved køb af en vindmølle kunne få 30 % af prisen som statsstøtte. Den eneste betingelse var, at møllen var afprøvet og godkendt af statens prøvestation på Risø. Det var ellers atomkraft, man forskede i på Risø, men i 1978 havde staten oprettet en afdeling for afprøvning af vindmøller. Det gav nede den danske vindmølleindustri og tillige forskningen i vindmøller.

Den danske vindmøllebranche beskæftiger ved udgangen af 1995 cirka 9.000 mennesker i Danmark, direkte eller indirekte. Siden 1991 er tallet vokset fra cirka 3.400. Det skønner Vindmølleindustrien, som er vindkraftproducenternes brancheforening. Omkring 1.800 personer er direkte beskæftiget på de syv danske vindmøllefabrikker. Men hertil kommer en langt større indirekte beskæftigelse i andre virksomheder.

I dag er vindkraft både blevet en del af Danmarks industripolitik og energi- og miljøpolitik. Det er i dag ikke længere enkelt personer eller små virksomheder, der laver vindmøller. Produktionen foregår på store fabrikker, der også eksporterer til det meste af verden. Vindmøller er blevet til en milliard-industri, der beskæftiger næsten 10.000 personer. Mere end halvdelen af alle verdens elproducerende vindmøller fremstilles i Danmark.

Vindmøller og fremtiden

Møllerne bliver i 1990'erne både større og mere effektive. De er ikke længere udelukkende opstillet enkeltvis spredt rundt i landskabet. Nu opføres der også vindmølleparker. Ikke bare til lands, men også til vands. De danske elværker vil i fællesskab opføre disse mølleparker. Målet er, at 10 % af Danmarks elforbrug i år 2005 skal dækkes af vindkraft og 50 % i 2030.

Poul la Cour og hans liv

Vindmøller og landbrug

Vi vil nu se nærmere på vindmølleteknologiens nyere historie. Her har Danmark en fremtrædende plads. Som det er fortalt før, gennemgik det danske landbrug en rivende udvikling i slutningen af 1800-tallet. På mange gårde fik man anskaffet sig en vindmølle, som leverede kraft til drift af vandpumper,

kværne, tærskværker og hakkelsesmaskiner. Nogle møller var ikke større, end at de kunne anbringes direkte på laderne. De amerikanske vindroser var meget anvendelige. De kunne fungere ved lave vindhastigheder og blev kaldt for vindmotorer. Særligt på gårdene i Vestjylland var der mange vindmøller.

Elektrisk kraft på landet?

Omkring 1890 var dampkraften dominerende i det danske samfund. Dampmaskiner leverede trækraft til de mange maskiner på fabrikker inde i byerne og på de mange nye mejerier, der blev bygget på denne tid. Men på gårdene og i landsbyerne havde man ikke denne mulighed for at få kraft. Landsbyerne var for små og gårdene lå for spredte til, at det kunne betale sig at opstille dampmaskiner. Denne mangel på kraft kunne medføre, at beboerne på landet ville blive dårligere stillet end byboerne. Håndværkerne i landsbyerne ville ikke kunne konkurrere med byernes håndværk og industri, og landbrugets udvikling ville måske ikke fortsætte.

Men ude på landet havde man vindmøllerne. Kunne de laves om til kraftværker? Måske kunne den nyopdagede kraft, der kaldtes for elektricitet ligestille by og land. Spørgsmålet var blot: hvordan skal en vindmølle se ud, hvis den skal lave strøm?

Poul la Cours livsopgave

Denne opgave gik Poul la Cour i gang med at løse. Det blev hans livsopgave at bringe elektriciteten ud på landet. Han var overbevist om, at det ville forhindre, at folk søgte væk fra landbruget og de små landsbyer. Hans liv er en fortælling om at tro på noget og vælge ud fra det.

Barndom og ungdom

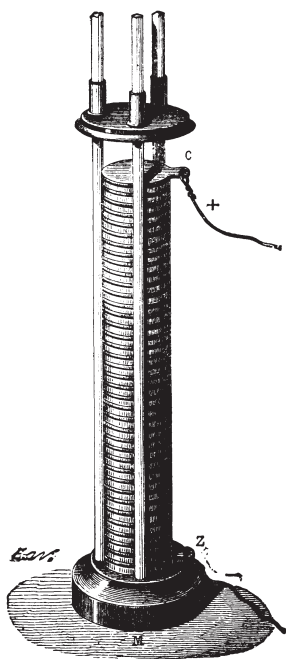
Poul la Cour blev født i Ebeltoft den 13. april 1846. Han var som dreng meget optaget af matematik, naturvidenskab og opfindelser. Hans bedste stykke legetøj var en Voltasøjle (se figuren næste side). Det var et simpelt batteri, der bestod af kobber- og zinksiver, som blev stablet oven på hinanden med stykker af fugtigt karton imellem. Kartonstykkerne var fugtet i eddike. Italieneren Alessandro Volta havde opfundet et sådant batteri i år 1800. Før den tid eksisterede der ikke batterier. Med sin Voltasøjle kunne Poul la Cour lave elektriske eksperimenter,



Stokmøllen eller gårdmøllen blev populær omkring århundredskiftet



Vindrose eller vindmotor



Voltasøjle

og han brugte mange timer i sin barndom med dette. Interessen for naturvidenskab fortsatte, og han besluttede sig for at tage en uddannelse i fysik. Han kom på universitetet i København, og i 1869 tog han eksamen som magister i fysik. Hans speciale var meteorologi, som dengang var et nyt område indenfor naturvidenskab. I 1870 besøgte Poul la Cour den hollandske vejrtjeneste, som på det tidspunkt var verdens bedste. Han blev overbevist om, at Danmark også måtte have et meteorologisk institut og begyndte at skrive artikler om det i forskellige tidsskrifter.

Poul la Cour arbejdede bevidst på at blive kendt som en dygtig meteorolog, og da Dansk Meteorologisk Institut blev oprettet i 1872, blev han ansat som underdirektør.

Livet som telegrafisk opfinder

Datidens vigtigste kommunikationsmiddel var telegrafen, og Poul la Cour brugte den dagligt i forbindelse med sit arbejde. Det førte med sig, at han blev mere og mere interesseret i telegrafi, og især hvordan telegrafen kunne forbedres. Han opfandt mange forbedringer på den, og efterhånden tog opfinderarbejdet det meste af hans tid. Han måtte foretage et valg, og i 1877 valgte han at forlade sin sikre stilling som meteorolog for at blive telegrafisk opfinder.

Det var et spændende arbejde, med det sled hårdt på ham. Han arbejdede i perioder så meget, at han blev syg af det. Arbejdet gav ham mange glæder, rejser og oplevelser, men helt tilfreds med sin tilværelse var han ikke. Han syntes endnu ikke, han havde fundet ud af, hvad han ville bruge sit liv til.

En klog mand lytter til sin kone

Den 4. april 1873 var han blevet gift med Hulda Barfod. Hun havde haft et sommerophold på Askov højskole, da hun var 17 år, og dette ophold havde gjort et stort indtryk på hende. Højskolen var åben for alle mennesker, og dens formål var at give "oplysning for livet". Det betød, at eleverne skulle lære om de ting, der var nødvendige for at leve et godt liv.

Poul la Cour blev påvirket af sin hustrus fortællinger om højskolelivet. I 1878 besøgte de begge to Askov højskole, og inden de tog hjem, var Poul la Cour blevet ansat som lærer på højskolen. Det var et stort spring, han foretog. Han skulle



Anvendelse af telegrafen

forlade sit arbejde og sin omgangskreds i København og drage helt over til en lille by i Jylland. Ikke for at lave opfindelser, men for at undervise unge mennesker i fysik og matematik.

Fysik og matematik hører med til livet

Poul la Cour ville åbne matematikkens og fysikkens verden for mennesker, der ikke kendte den eller fandt den svær at forstå. For ham hørte fysik og matematik med til ”oplysning for livet”. Han var en dygtig lærer, og eleverne beundrede ham for hans måde at undervise på.

Han skrev også bøger om naturvidenskab. Een af dem har titlen ”*Historisk Fysik*”, og mange fik interesse for fysik ved at læse den. Senere skrev han også en børnebog om elektricitet med titlen ”*Trolden*”. Poul la Cour opfattede nemlig elektriciteten som en vild trold. Den skulle tæmmes, så den ikke gjorde skade, men tvært imod hjalp mennesker.

Mindre end et år efter at de var flyttet til Askov, døde Hulda under en fødsel, og Poul la Cour stod alene med tre børn. De fleste regnede med, at han ville forlade Askov, men han var blevet fanget af livet på højskolen. Resten af sit liv blev han boende der, og han kom gennem årene til at betyde meget for skolen. Da han i 1884 blev tilbudt stillingen som direktør for Meteorologisk Institut, sagde forstanderen, at han måtte lukke højskolen, hvis Poul la Cour rejste.

Efter hans kones død passede Poul la Cours søster Jenny hjem og børn for ham, indtil han nogle år senere giftede han sig igen. Hans ny kone hed Christine Marstrand.

Forsøgsmøllerne på Askov højskole

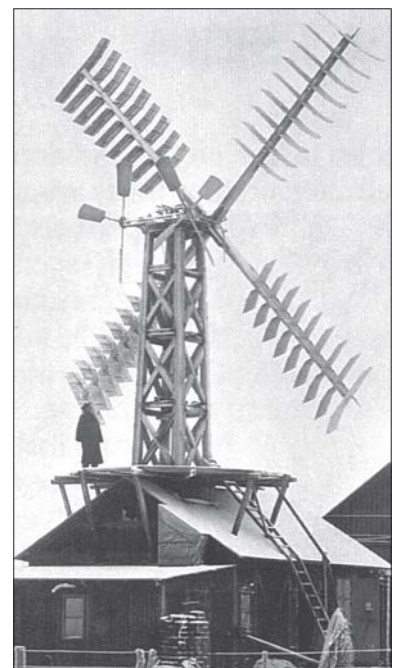
I 1891 begyndte Poul la Cour en række eksperimenter på Askov højskole med det formål at udnytte vindkraften til produktion af elektricitet. I 1891 opførte han en mindre forsøgsmølle, og i 1897 fik han økonomisk støtte fra staten til at opføre en større mølle. Begge møller producerede jævnstrøm, og den store havde også et laboratorium til aerodynamiske forsøg.

Hvordan gemmer man strøm?

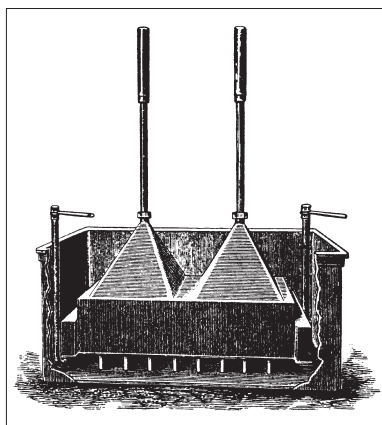
Et stort problem for Poul la Cour var, hvordan elektriciteten



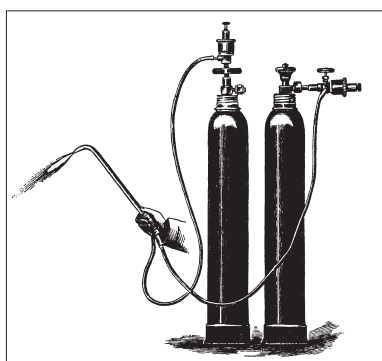
Hulda og Poul, november 1871.



Poul la Cour opstillede den første forsøgsmølle på Askov i 1891



Garuti-apparat til vandsønderdeling



Svejsning med knalddgas

Farligt og forbudt:

1. at røre ved Tingene,
2. at gaa i Kælderen med Ild — tændte Piber og Cigarer,
3. at bestige Møllen, naar den gaar.

Dette opslag fandtes flere steder på forsøgsmøllen 1895-1902

skulle gemmes. Der eksisterede jo ikke et landsdækkende elnet, som kunne aftage strømmen lige så hurtigt, møllen lavede den. En måde at løse problemet på var at anvende jævnstrømmen til at spalte vand i ilt og brint ved elektrolyse. Poul la Cour havde læst om en italiensk professor Pompeo Garutis apparater til "vandsønderdeling" og kunne se de muligheder, disse apparater gav. Blandingen af ilt og brint hedder knalddgas og giver meget varme fra sig, når den brænder. Ilten og brinten kunne opsamles i tanke, og føres gennem rørledninger til det sted, hvor knalddgassen skulle anvendes. F.eks. til belysning.

Knalddgaslys

Knalddgasbelysningen fik premiere den 1. november 1895 på Askov højskole. Da brintlamperne første gang blev tændt i foredragssalen, gjorde det et stort indtryk på eleverne. En af dem skrev hjem, at de "lyste så strålende klart som stjerner". Lamperne var af en type, der hed Drummond-lamper. Inde i dem sad der et fast stof, som bestod af zirkonilte. Når det blev opvarmet af gasflammen, begyndte det at gløde så stærkt, at det udsendte et blændende hvidt lys.

Brintmanden

Det var ikke ufarligt at bruge knalddgas. Blandingen af ilt og brint er særdeles eksplosionsfarlig, og under forsøgene med at forbedre Garutis apparater gik det ind i mellem galt. Adskillige gange skulle der sættes nye ruder i. Der var derfor strenge sikkerhedsregler på skolen for at begrænse eksplosionsfaren. Der forekom heller ingen alvorlige uheld i de 7 år, dette belysningssystem fungerede på skolen. Elektrolyseanlægget var ikke mere kompliceret, end at det kunne passes af højskolens elever. Den udvalgte blev kaldt for "brintmanden".

Det var en billig måde at skaffe lys på. Af 8 liter vand kunne der udskilles så meget ilt og brint, at højskolen kunne oplyses i 14 dage. Skolens forstander sagde, "at det kun var et spørgsmål om tid, hvornår brintlyset træder i stedet for alle lysende og varmende stoffer: kul, elektricitet, gas og olie".

Poul la Cour havde en vision om, at hele samfundet skulle forsynes med brintenergi. Ikke bare til belysning, men også til at drive motorer. Han eksperimenterede meget med at finde den rette løsning på anvendelse af knalddgas i motorer, men måtte

opgive det. Det fik ham til at gå væk fra elektrolyseprocessen, som måden at gemme strøm på.

Elektrisk lys og røntgenstråler på Askov

En anden måde var, at gemme strømmen på akkumulatorer af bly og derefter anvende den i almindelige glødelamper. Blyakkumulatoren var opfundet i 1887, så ligesom Garuti-apparatet var det en forholdsvis ny teknologi, Poul la Cour tog i anvendelse. Forsøgsmøllen skulle nu laves om til udelukkende at være et elektricitetsværk. Møllen skulle forsyne både højskolen og beboerne i Askov med strøm.

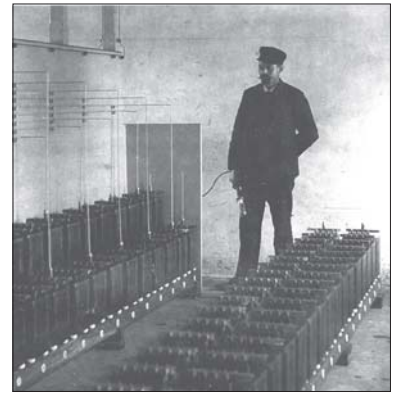
Den 15. marts 1902 blev knaldgaslyset på højskolen afløst af det elektriske lys. Møllen lavede så meget strøm, at der året efter blev opsat 5 gadelamper i Askov. Det kunne også lade sig gøre at få et røntgenapparat til at virke, og nogle hospitaler sendte patienter til Askov højskole for at få taget røntgenbilleder af brækkede arme og ben.

Poul la Cour bliver verdensberømt

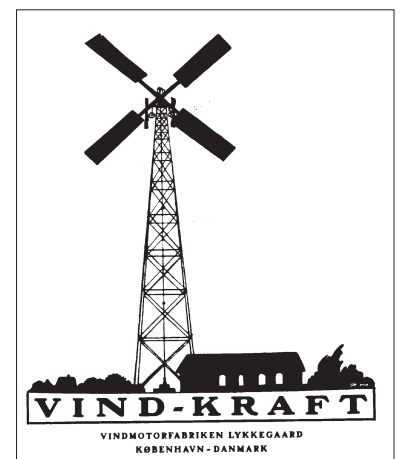
Da Poul la Cour fik bygget sin store forsøgsmølle i 1897, fik han også mulighed for at lave aerodynamiske forsøg. Han gik i gang med at lave forsøg med små modeller af forskellige møllevinger i en vindtunnel. Formålet var at finde frem til det antal vinger og deres form, der ville give den ideelle mølle. Luften, der susede gennem vindtunnellen, blev leveret af en ventilator, der fik strøm fra vindmøllen.

Hans forsøg viste, at det var en fordel med få vinger på en mølle. Det øgede dens udnyttelse af vindens energi. Poul la Cour anbefalede 4 vinger. Mange af de vindmøller, der blev bygget senere hen, havde derfor fire vinger.

Vindmølleforsøgene gjorde Poul la Cour verdenskendt. I år 1900 udgav han en bog med titlen *"Forsøgsmøllen"*, og et engelsk tidsskrift omtalte den som den bedste bog, der nogensinde var skrevet om vindmøller. Den blev i 1905 oversat til tysk, og i de næste tyve år var den grundbogen for ingeniør- og fysikstuderende i Tyskland, når de skulle lære om vindmøller.



Fra akkumulatorrummet på et vindelektricitetsværk



Reklame for Lykkegårdmøllen. Møllebygger Niels Hansen i Ferritslev på Fyn startede i begyndelsen af det 20. århundrede en produktion af klapsejlere. Poul la Cour anbefalede Lykkegårdmøllen. I 1930'erne og 40'erne var Lykkegårds Maskinfabrik nok den største leverandør af vindmøller i Danmark

D.V.E.S.

Poul la Cour ville ikke nøjes med at udvikle vindmøller. Han arbejdede også for at få dem opstillet ude omkring i landet. I 1903 startede han en forening med navnet ”*Dansk Vind Elektrisitets Selskab*”. Selskabets opgave var at give råd og vejledning, hvis en gård eller en lille landsby ønskede at få opført et vindelektricitetsværk. Poul la Cour rejste gerne ud for at fortælle om vindkraften og elektricitetens betydning for landbruget, og mange mødte op for netop at høre Poul la Cour.

Drengene fra Askov



Dansk Vind Elektrisitets Selskab's eget tidsskrift udgivet i perioden 1904-16

I 1904 oprettede han desuden et kursus i Askov, hvor man kunne blive uddannet til elektriker på tre måneder. Det tog ellers normalt fire år. Undervisningen foregik efter moderne principper. Både den teoretiske og praktiske del af uddannelsen foregik på forsøgsmøllen, og eksamensopgaven var en projektopgave. Lærlingene fik som opgave at installere strøm i huse og på gårde eller opstille en vindmølle med tilhørende ledningsnet i en lille landsby.

Når sådan en projektopgave var færdig, skulle den godkendes af myndighederne. Poul la Cours elever fik ofte ros, og deres arbejde var fuldt på højde med det, som elektrikere inde fra byerne kunne præstere.

Fra det første kursus startede i 1904 og til det sidste i 1916, blev der uddannet et par hundrede af disse elektrikere på Askov højskole. De blev kaldt for ”*Askov-drengene*”, og sammen med D.V.E.S. fik de stor betydning for udbredelsen af vindkraft på landet. Mange af dem blev så stærkt påvirkede af Poul la Cour og hans tanker, at de hele deres liv tænkte på vindmøller. Een af dem var Johannes Juul, der mange år senere begyndte at lave forsøg med vindmøller på Sydsjælland. Juul lavede sin første mølle i 1950 ved Vester-Egesborg. Som vi har hørt, var det også Juul, der konstruerede den vigtige Gedsermølle. Juuls forsøgsresultater fik stor betydning for udviklingen af de moderne vindmøller efter energikrisen i 1973.

Poul la Cours tanker

Poul la Cour døde i 1908. Fjorten dage før sin død havde han været ude at foretage nogle målinger i regnvejrr. Da han kom hjem, havde han travlt og gav sig ikke tid til at skifte til



Deltagerne i elektrikerkurset på Askov højskole sommeren 1904. Bl.a. ses Poul la Cour i miderste række yderst til venstre og Johannes Juul (Gedsermøllen) i øverste række nr. 3 fra højre.

tørt tøj. Det våde tøj gav ham en lungebetændelse, som han ikke overlevede. Da han døde, var han kendt af næsten alle i Danmark. Hans foredrag om naturvidenskab rundt omkring i landet var blevet hørt af mere end hundrede tusinde mennesker.

I sine foredrag forstod han at forklare naturvidenskabens betydning for menneskers liv, og mange fik på denne måde interesse for fysik og astronomi.

Han var ikke videnskabsmand og tekniker for blot at tjene penge. Han opfattede sit arbejde som en slags kamp mod naturkræfterne. De skulle tæmmes og udnyttes, så mennesker fik et bedre liv. Han mente, at hvert enkelt menneske havde evner og muligheder i sig, som det havde pligt til at bruge. Den bedste måde at udnytte sine evner på, var ved at tæmme



Diplom for gennemført elektrikerkursus på Askov Højskole

naturkræfterne. Men det måtte ikke blive en kamp imod naturen. Den måtte ikke blive ødelagt. Poul la Cour forklarede det selv således:

”Vi har en moralsk pligt til at skåne naturen for udtømmning af de ressourcer, hvis energi vi kun formår at anvende så lidt af. Vi bør derfor forske i andre energiformer”.

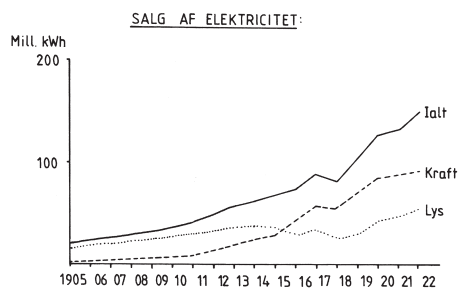
Poul la Cour brugte sit liv til at kæmpe med den opgave, at ”tøjle vindtrolden” og gøre den til en lydige tjener. Den skulle gå ind i menneskenes huse, tage det hårde slid på sig og skabe større skønhed, renlighed og tryghed. Han havde en stærk tro på det rigtige i sin livsopgave, og på at den kunne løses. En person med en sådan indstilling kaldes for en idealist.

Det blev ikke vindkraft og vindmøller, som kom til at udbrede strømmen. Der dukkede en konkurrent op, som bedre kunne forsyne landet med strøm.

I 1894 var dieselmotoren blevet opfundet i Tyskland. Den viste sig at være velegnet til at trække dynamoer i små elværker. De kunne levere jævnstrøm mere sikkert og pålideligt end vindmøller. De var også nemmere at få bygget end vindelektricitetsværker.

Poul la Cour var ikke modstander af de dieseldrevne elværker. Han havde nok engang haft en drøm om et land tæt overstrøet med vindmøller, der forvandlede vindkraft til elektricitet. Allerede i 1904 havde han lavet beregninger over, hvornår det bedst kunne betale sig at udnytte vindkraft og hvornår dieselmotorkraft. For ham havde vindkraften den store fordel, at vinden passerer toldfrit hen over landet. Andre energiformer skulle importeres.

Men det vigtigste for ham var at få elektriciteten ud til landbruget. Det skete ikke så hurtigt, som han havde forestillet sig, men alligevel fik Danmark tidligere end noget andet land elektriciteten ud til landbruget. Ikke mindst takket være Poul la Cour.



Udviklingen mellem lys og kraftsalget 1905-20

Vindmøller og teknologi

Som det er nævnt i dette hæfte, er der adskillige forhold, der har haft betydning for vindmølleteknologiens udvikling. I dag er det en så succesrig teknologi, at den indgår i planerne for Danmarks energiforsyning i fremtiden.

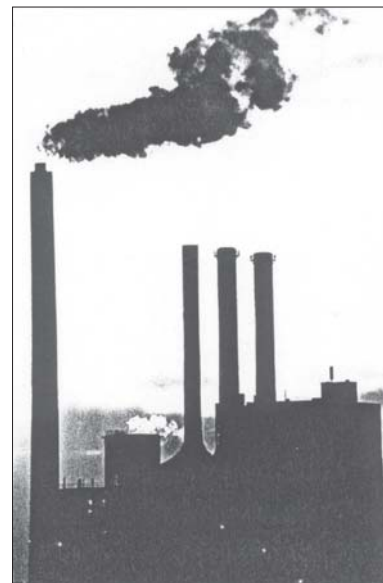
Det skyldes først og fremmest, at vindmøller passer ind i det system af ledninger, der i forvejen forsyner samfundet med energi. Som vi har set, fordeles elektriciteten gennem et vidtforgrenet ledningsnet, der omspænder hele landet. Man kan tage strøm ud fra nettet, og man kan sende strøm ind på nettet. En vindmølle skal blot kobles ind på dette net, når den er i drift. Så kan den komme af med sin strøm, lige så hurtigt som den producerer den.

Den mulighed eksisterede ikke på Poul la Cours tid. Der fandtes ikke et ledningssystem, der kunne fordele strømmen fra vindmøllerne hurtigt og effektivt. Derfor måtte den elektricitet, der ikke umiddelbart kunne bruges, laves om til brint eller gemmes på akkumulatorer. En vindmølle kunne kun forsyne et meget begrænset område med strøm. Den var et lille selvstændigt kraftværk uden forbindelse med andre.

Ledningsnettet med sine højspændingsledninger, transformatorer og elværker kaldes for et teknologisk system. Det består af mange dele der er afhængige af hinanden. Også de mennesker, der bruger og passer systemet hører med til det. Vindmøller i dag, der er koblet på nettet, skal derfor betragtes helt anderledes end dengang. Nu er de dele af et teknologisk system, der skal levere energi til større og større områder. Det teknologiske system forgrener sig også ud over hele Europa. Det giver gode muligheder for at udvikle vindmølleteknologien i retning af store og mere effektive møller. Og jo flere vindmøller der bliver opstillet, jo større betydning får de for at ledningsnettet kan fungere som et ændret teknologisk system der forurener mindre. Måske vil de blive helt uundværlige.

Elektricitet og drivhuseffekt

I dag produceres stadig væk langt den største del af Danmarks elektricitet på store, kulfyrede elværker. De leverer strømmen sikkert og billigt, men ikke uden bivirkninger. Når kul afbrændes, dannes der kuldioxid, og det danske energiforbrug er så stort, at hver dansker i gennemsnit forurener atmosfæren med



Et gennemsnits kulkraftværk i Danmark bruger 385 gram kul til at fremstille 1 kilowatt-time. Ved produktion af 1 kilowatt-time på et kulkraftværk dannes der ca. 850 gram kuldioxid (CO_2).

Den Danske regering har underskrevet Rio-Konventionen, der forpligter FNs lande til at beskytte verdens miljø mod bl.a. drivhuseffekten fra udledningen af CO_2 i atmosfæren. Danmark har forpligtiget sig til at formindske sit udslip af CO_2 med 20% fra 1988 til 2005.

12 tons kuldioxid hvert år. Hver gang elværkerne har produceret 1 kWh, har de også produceret 850 g kuldioxid. Den øvrige verdens elektricitet produceres også for en stor del på kulfyrede værker, og det gør udledningen af kuldioxid til et problem, der angår hele verden.

Atmosfærens indhold af kuldioxid giver en drivhuseffekt, som holder på en del af den varme, Jorden modtager fra Solen. Uden kuldioxid i atmosfæren ville udstrålingen af varme om natten blive så stor, at Jordens gennemsnitstemperatur ved overfladen ville falde fra + 15 grader til - 18 grader. Uden drivhuseffekt ville Jorden også være ubeboelig. Men en øget mængde kuldioxid i atmosfæren vil give en øget drivhuseffekt med et varmere klima til følge. Det vil medføre klimaændringer, som kan få nogle alvorlige konsekvenser for os alle. Hvis f.eks. en del af isen ved polerne begynder at smelte, vil det give oversvømmelser i lavtliggende landområder, og mange øer i Stillehavet vil simpelthen forsvinde.

Vindmøller skåner miljøet. En vindmølle producerer elektricitet uden at forurene luften med skadelige stoffer, og den udleder ikke kuldioxid, som på længere sigt kan ændre jordens klima. Danmarks officielle energiplan "Energi 2000" fastslår: Vindmøller er - set i forhold til drivhuseffekten - den mest miljøvenlige teknik til produktion af elektricitet.

Du og fremtiden?

Hvis vor kulturs energiforbrug er skyld i en øget drivhuseffekt, giver det os alle et stort ansvar for Jordens fremtid. Hvordan skal man leve op til det?

Vil det hjælpe at nedsætte sit forbrug af energi, og kan det overhovedet lade sig gøre?

Skal man prøve at ændre den måde, samfundet skaffer sig energi på, og hvordan gør man det?

Det er ikke elektriciteten, der forurener. Som Poul la Cour sagde, er det den reneste af vore hjælpemidler. Kun når den laves, er den forbundet med forurening.

Måske kan Poul la Cour inspirere dig til at gøre noget ved det. Han valgte at ændre på nogle forhold og brugte sit liv på den opgave. Han er et eksempel på, at den enkelte betyder noget og kan gøre en forskel.

Appendiks:

Elektriske begreber

Der er nogle begreber og forkortelser, som ustandselig dukker op, når der tales om elektricitet, og de findes også i dette hæfte. Her er nogle af de vigtigste:

Spænding: Måles i volt. Forkortes V.

Spændingen er populært sagt det, der trykker den elektriske strøm gennem ledningerne.

Strømstyrke: Måles i ampere. Forkortes A.

Det er et mål for, hvor meget elektricitet, der strømmer gennem ledningen.

Effekt: Måles i watt. Forkortes W.

Effekt er et mål for, hvor megen energi der laves i sekundet.

Effekt er lig med spænding gange strømstyrke, altså

$$W = V \cdot A.$$

Energi: Måles i watt-timer. Forkortelsen er Wh.

(h står for hour, det engelske ord for time).

Energien finder du frem til ved at gange effekten med den tid du bruger den.

$$1 \text{ Wh} = 1 \text{ watt} \cdot 1 \text{ time}.$$

Bogstaver i stedet for nuller

Når man skal fortælle om elforsyning, og specielt om effekt og energi, er der tale om store tal, som ville kræve en masse nuller. For nemheds skyld - ihvertfald for dem, der snakker elforsyning til hverdag - bruger man bogstaver i stedet for nuller. Bogstavet sættes foran forkortelsen.

De to mest brugte er:

k= kilo = 1.000 (du kender det fra en kilometer= 1.000 meter).

M = Mega = 1.000.000, altså en million (når du kalder noget for ”megagodt” betyder det altså en million gange godt).

1 kWh, som vi normalt måler elforbrug i, og som også står på elregningen, er altså 1.000 Wh.

Opgaver

Iagttagelsesopgaver:

- 1) Hvilken ruhedsklasse ligger landskabet i, der hvor du bor?
- 2) Hvor i landskabet findes der velegnede steder til opstilling af vindmøller?

Undersøgelsesopgave:

Undersøg hvorledes en asynkron motor virker som en generator.

Beregningsopgaver:

- 1) Hvor stort er det bestrøgne areal for en vindmølle, hvor vingerne har en længde på 34 meter?
1 m³ luft vejer 1,3 kg. Hvor mange kg luft i sekundet blæser gennem det bestrøgne areal, når vindhastigheden er 15 m/s?
- 2) Hvor stor effekt er der i en vindmølles bestrøgne areal, når vingerne er 10 meter lange, og vindhastigheden er 5 m/s?
Hvor mange gange er effekten steget, når vindens hastighed når op på 15 m/s?
- 3) En vindmølle skal konstrueres til at yde 1,5 MW ved en vindstyrke på 12 m/s. Hvilken længde skal vingerne have, når møllen skal have en udnyttelsesgrad på 40 % af effekten i det bestrøgne areal? (Du skal bruge formlen for størrelsen af det bestrøgne areal og formlen for effekten i det bestrøgne areal).

Forklaringsopgave:

- 1) Forestil dig, at en stærk vestenvind blæser direkte ind på et hustag af tagsten. På hvilken side af taget er der størst risiko for, at tagstenene river sig løse?

Temaopgave:

- 1) Undersøg hvordan det danske samfund blev påvirket af energikrisen i 1973.

Hvorledes reagerede befolkningen og politikerne på energikrisen?

Projektopgaver:

- 1) I 1978 blev verdens største vindmølle opført ved Tvind i Vestjylland. Det var Tvind-skolerne, der byggede den. Møllen fik stor omtale i medierne. Undersøg hvorfor og hvordan Tvind-møllen blev bygget?
- 3) Undersøg hvilke forhold i samfundet, der satte skub i udviklingen af vindmølleteknologi i:

A) 1890erne

B) 1950erne

C) 1970erne



Tekst: Erik Jørgensen
Lay-out: Henrik Munch Pedersen

© Elmuseet 1998

Skrifter fra Elmuseet (11):
Vindmøller - i medvind og modvind.

ISSN: 0905-2992
ISBN: 87-89292-38-3

