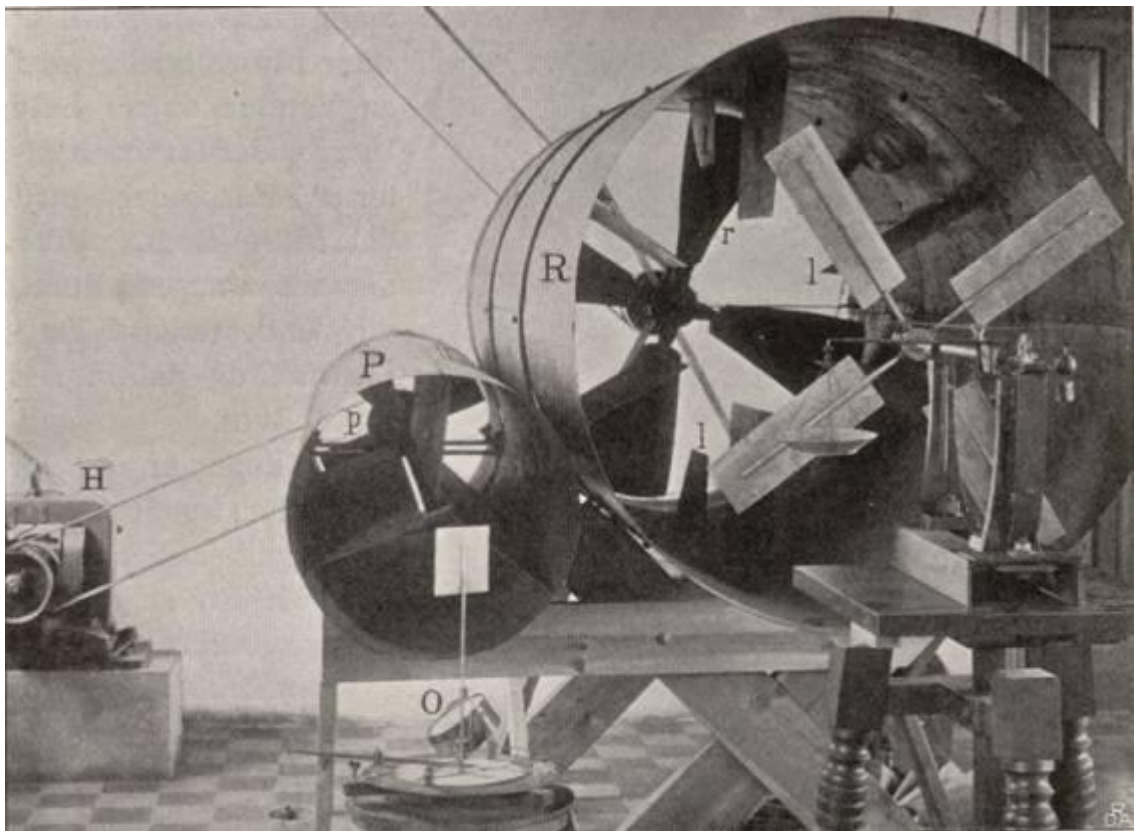


Vindtunnelene i Askov



Udgivet af Poul la Cour Museets Venner, 2004.



Dette lille hefte om Vindtunnelerne i Askov, er baseret på beskrivelser og fotos, som findes i Poul la Cour arkivet og i bogen ”Forsøgsmøllen I og II”, som Poul la Cour udgav som sin forsøgsrapport år 1900. Værdifulde informationer er endvidere baseret på dr. scient. H.C.Hansens afhandling ”Poul la Cour, grundtvigianer, opfinder og folkeoplyser” fra 1985.

Udgivelsen af heftet finder sted i forbindelse med Poul la Cour Museets indvielse af rekonstruktioner af henholdsvis kratostat, vindtrykmåler og vindtunneler, den 25. september 2004.

Rekonstruktionen af vindtunnelen samt Poul la Cours vindtrykmåler er udført af Bent Lykkegaard fra Lykkegaards Maskinfabrik, Ferritslev Fyn. Bent Lykkegaard har, i lyset af familiens og maskinfabrikkens mere end 100-årige samarbejde med Poul la Cour og Forsøgsmøllen, foræret sin rekonstruktion til Poul la Cour Museet.

Trykningen er muliggjort ved støtte fra Dansk Naturvidenskabs Formidling 2004.

Forbindende tekst, scanning og redigering: Povl-Otto Nissen

Udgiver: Foreningen ”Poul la Cour Museets Venner”
ISBN 87-988859-3-6



*Mærk min Tale, hør mit Ord,
Hver som skabtes til at virke!
Kald til Daad er Lykke stor,
Fuldbragt Dagværk skønnest Kirke.*
Poul la Cour

(Vers på kanten af møllestenen foran museet)

Indledning

Efter, at meteorologen, opfinder og højskolelærer Poul la Cour, i 1891 ekstraordinært kom på finansloven med ”4000 kr. til støtte for en opfindelse”, på basis af en idé om at lagre vindenergi som ilt og brint, startede en bemærkelsesværdig udvikling i Askov.

For det første blev der i den sydlige del af Askov bygget en mølle til at fange vindens energi og omdanne den til elektrisk strøm. Når man sætter jævnstrøm til vand, bobler der brint (hydrogen) op ved minus (-) og ilt (oxygen) op ved plus (+). Møllen stod færdig allerede i maj 1891. Det var den første strømproducerende mølle i Danmark, sandsynligvis den første uden for USA.

Den første opgave, Poul la Cour derefter måtte løse, var at få udjævnet den almindeligvis ret så urolige vind med dens pludselige vindkast til en jævn rotation, som kunne trække dynamoen uden at denne led skade. Det lykkedes Poul la Cour at løse dette problem ved i 1892 at opfinde kratostaten. Den er beskrevet i et særligt temahefte, ”Kratostaten – en opfindelse af Poul la Cour”.

Efter mange eksperimenter med vandadskillelsesprocessen (elektrolysen) for at finde den rigtige tekniske løsning, lykkedes det i slutningen af 1894 at få en produktion i gang, så man fra begyndelsen af 1895 kunne bruge knaldluften (ilt og brint sammen) som belysningsgas i særlige lamper i foredragssalen og i spisestuen på Askov Højskole. Luftarterne blev ledt gennem blyrør fra forsøgsmøllen de cirka 300 meter frem til højskolen. Alt dette er imidlertid et emne for et særskilt temahefte.

At man på denne måde kunne få omsat vindens energi, via en mølle til elektrisk strøm og videre gennem ilt og brint til belysning, vakte berettiget opsigt. Der blev skrevet om det vidt og bredt, og interessen var stor. Der opstod også en interesse for at få udformet så god en møllerotor som muligt, og mange mennesker indsendte forslag og nyopfundne mølletyper til udtalelse hos Poul la Cour. Den store interesse kulminerede i 1897 med, at forsøgsmøllen kunne udvides med stor flot hollandsk træmølle oven på en stenbygning med maskinhal, laboratorier og værksted. Bygningen var tegnet af P.V.Jensen-Klint, der 30 år senere byggede Grundtvigskirken på Bispebjerg i København.



Figur 1: Forsøgsmøllens udseende fra 1897.

Den første mølle fra 1891 ses til højre i billedet. Det store træhus nærmest vejen blev kaldt ”ilt og brint huset”. Her opsamledes de to luftarter i store beholdere, inden de ledtes i blyrørene frem til højskolen. Den ene beholder findes stadig i gulvet til den garagebygning, der nu står på stedet. Den store flotte møllerotor kaldtes et keglevindfang. Ophavsmanden til dens særlige kegleform var møllebygger Chr. Sørensen, Skanderborg Vindmotorfabrik. Det var samspillet mellem la Cour og Sørensen, der førte til starten af la Cours forskning i aerodynamiske forhold omkring møllevinger ved hjælp af vindtunneler, og det er den historie, der her skal fortælles.



Figur 2: Forsøgsmøllen 1896 med Chr. Sørensens 12-vingede keglevindfang, den i brevet af 6/8 omtalte ”større motor”, til højre.

Møllebygger Chr. Sørensen, der på det tidspunkt leverede gårdmøller i flere forskellige størrelser, kontaktede i begyndelsen af 1896 Poul la Cour og fik en aftale om at opstille en lidt større mølle til afprøvning hos la Cour. Den havde 12 vinger, som fra omdrejningsaksen hældede bagud, men som yderst i de brede ender var bøjet lidt fremad igen på en måde som mindede om skovle. Den ses yderst til højre på billedet figur 2, der findes som glasplade i egns museet på herregården Sønderskov.

Chr. Sørensen ville gerne have sit keglevindfang patenteret. I den forbindelse modtager Poul la Cour i begyndelse af august 1896 følgende brev fra Chr. Sørensen:

Oversigt over vindmotorforsøgene med Chr. Sørensens nye kegleformede Vindfang.

-0-

Foretaget i Kjøbenhavn fra 25de Juli til den 1ste August 1896

Skanderborg den 5/8 1896

Nærværende Prøver af Vindmotorens Nyttevirkning har jeg foretaget på Borch & Henrichsens Maskinfabrik i Kjøbenhavn fra den 25de Juli til 1ste August 1896 i Overværelse af Ingeniørerne Vald. Hansen og Vogt, begge Kjøbenhavn og F. Elfstrøm, Stockholm. Forinden Noteringen af nærværende Forsøg blev der foretaget en Del Prøver for at finde den heldigste Belastning af Bremsedynamometeret, Heldningsvinklen af Jalousierne og Arealet af Vindfanget. - Den til Fremstilling af en konstant Luftstrøm benyttede Blæsemaskine er konstrueret med 4 Skrueblade af Form som en Dampskibs Skrue med en Stigning af 2 Fod for 1 Omdrejning. og en Diameter paa 2 1/4 Fod; anbragt i en Cylinder af nævnte Diameter og af 3 1/2 Fods Længde; inden i samme er anbragt 3 radielle Jernplader for at forhindre Rotation af Luftstrømmen. I en afstand af 2 3/4 Fod fra Cylinderen (i hvis modsatte Ende Skruen var anbragt, altsaa i ca. 6 Fods Afstand fra Modellen) var Vindfangs Modellen anbragt paa en Axel 7/8" Diameter, paa hvilken Afbremningen blev foretaget, Axelen var lageret i et Jernstativ. Vindfangs Modellen var fremstillet i 2 fra hinanden afvigende Konstruktioner, idet den ene omfattede det almindeligste Vindrose- og Vindmotorsystem, medens den anden Model var konstrueret med kegleformede Midterpartier og med Konkav=Yderdele. Begge Modeller vare lige store, nemlig 30 1/2" i Diameter og indrettede saaledes, at der kunde anbringes flere eller færre Vingflader eller Jalousier paa samme, ligesom disse kunde gives en hvilken som helst Heldningsvinkel indenfor Vindfangets Plan. Omdrejningshastigheden af Blæsemaskinens Skrue findes ved at multiplicere den for Hovedakslen angivne Omdrejning med 1,91.-

ærb. Chr. Sørensen

I et ledsagebrev skriver Sørensen:

"Skanderborg den 6/8 1896

Hr: Professor Poul la Cour!

De erindrer maaske, at, da jeg sidst var hos Dem, talte jeg med Dem om Vindkrafts Forsøg med Modeller. Deres Mening desangående var ogsaa min, men for at vinde pekuniær Støtte til Patentets Udtagelse i Udlandet blev jeg nødsaget til at fremstille Modeller, for ved disse at bevise min Opfindelses Rigtighed, hvilket jo maa siges at være bleven meget godt bevist, idet jeg beder Dem sammenligne Prøverne Nr. 4, 5 og 6 for Vindrosesystemet med Nr. 7, 8 og 9 for mit nye kegleformede Vindfang. Det havde jo været interessant at have kunnet tage mange flere Forsøg med forskellige Vindhastigheder m.m., men dertil var Dampmaskinens gang for ujævn. Hvorvidt disse Miniature Forsøg kunne betragtes som identiske med Virkeligheden, da udtalte De Hrr., som overværede Forsøgene, nemlig Ingeniørerne Vogt, V.Hansen og F.Elfstrøm, sig meget gunstige derfor.-

| Prøve N ^o . | Antal Omdrejninger af Måle- redskabet i 10 Minutter. | Antal Omdrejninger af Hovedredskabet for hver Blæsemaskine i 10 Minutter. — | Luftstrømmens Hastighed per Sekund, beregnet efter Strøms Beregning. | Antal af Vingflader. | Vingfangets Areal i Q Fod. | Vandret- vindret. — | Vingfangets Konstruktion i betragtning af Vindretning. — | Højningsvinklen af Vingfangets Pind eller Skæve i Grader. — | Dynamometers Bælgning. Afstand = 15 1/4". | Arbejdsmængde. — | Samt Arbejde af 3 Prøve. — | Forberedelse i Minutter. — |
|------------------------|---|---|--|----------------------|----------------------------|------------------------|--|--|--|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 1. | 1510 Omdr. | 3216 Omdr. | 20,11' | 16. | 348 Q Fod. | — | — | 27 Grader. | 0,41 tB. | 4982, 88 tB ² | | 10 Minutter. — |
| 2. | 1915 " | 3400 " | 21,50' | 16. | do. | do. | do. | do. | do. | 5625, 20 tB ² | 16504, 46 tB ² | do. |
| 3. | 1807 " | 3302 " | 21,28' | 16. | do. | do. | do. | do. | do. | 5928, 40 tB ² | | do. |
| 4. | 2108 " | 4026 " | 25,05' | 8. | 194 Q Fod. | do. | do. | do. | 0,26 tB. | 9384, 00 tB ² | | do. |
| 5. | 1900 " | 3029 " | 23,00' | 8. | do. | do. | do. | do. | do. | 3952, 00 tB ² | 11947, 82 tB ² | do. |
| 6. | 1730 " | 3460 " | 22,00' | 8. | do. | do. | do. | do. | do. | 3610, 00 tB ² | | do. |
| 7. | 2965 " | 3980 " | 25,31' | 8. | do. | do. | do. | 24 Grader. | 0,41 tB. | 9725, 20 tB ² | | do. |
| 8. | 2804 " | 3571 " | 22,53' | 8. | do. | do. | do. | do. | do. | 860, 12 tB ² | 21345, 10 tB ² | do. |
| 9. | 2668 " | 3501 " | 22,19' | 8. | do. | do. | do. | do. | do. | 8251, 04 tB ² | | do. |
| 10. | 4123 " | 3345 " | 21,30' | 4. | 89 Q Fod. | do. | do. | do. | 0,16 tB. | 6009, 12 tB ² | | do. |
| 11. | 4125 " | 3344 " | 21,28' | 4. | do. | do. | do. | do. | do. | 6012, 00 tB ² | 21838, 40 tB ² | do. |
| 12. | 4816 " | 3684 " | 23,31' | 4. | do. | do. | do. | do. | 0,26 tB. | 9812, 12 tB ² | | do. |
| 13. | 2001 " | 3239 " | 20,50' | 6. | 193, 30 Q Fod. | do. | do. | 29 Grader. | do. | 4286, 00 tB ² | | do. |
| 14. | 1887 " | 3265 " | 20,66' | 6. | do. | do. | do. | do. | 0,41 tB. | 5260, 39 tB ² | 10712, 21 tB ² | do. |
| 15. | 2340 " | 3443 " | 22,00' | 6. | do. | do. | do. | do. | 0,26 tB. | 4689, 20 tB ² | | do. |
| 16. | 3160 " | 4238 " | 26,15' | 8. | 184 Q Fod. | do. | do. | 24 Grader. | 0,56 tB. | 10159, 80 tB ² | | do. |

Figur 3: Chr. Sørensens måleskema, som overbeviste la Cour om modellforsøgenes muligheder.

Hr. Ingeniør Vogt havde særlig Interesse for, at disse Forsøg blev fortsatte, og vilde, om jeg ønskede det, gennem Indenrigministeriet søge at få disse henlagte til Orlogsværftet. (Han har der selv foretaget en Del Experimenter med Luftpropeller).-

Jeg svarede hertil, at jeg først måtte tale med Dem, og mit Ønske er nu, at De vil lede Forsøgene. Jeg ved, Hr. Professor, at De kun har ringe Tillid til disse Miniature Forsøg, men jeg kan forsikre Dem, at Forsøgene i højeste Grad er overgaaet mine Forventninger, og jeg er vis paa, at De ligeledes vil forbavsnes over at se, med hvilken nøjagtighed man kan iagttage Luftstrømmens Virkning; saavel Sugning og Vindfangets Centrifugering af Luften som Bremsedynamometerets rolige Stilling, saa at man kan tage de fineste Maalinger.-

Jeg saa meget gerne, at De tog Dem af disse Prøver og det saa meget mere, som De jo nu har min større Motor til Forsøg. De kunne jo ved Hjælp af denne undersøge hvorvidt Modellerne stemme med Virkeligheden.

Jeg troer, at disse smaa Forsøg vil kunne spare en hel Del Arbejde ved Forsøgene med den større Motor, men Forsøgene med denne sidste ere dog absolut nødvendige for, som anført, at kunne anstille Sammenligninger.-

Pladsen som en nødvendig til Forsøgene behøver kun at være ca. 3 Alen bred og ca. 8-10 Alen lang, og der behøves kun en jævn Drivkraft af ca. 1/4 Hestes Kraft.-

Jeg tillader mig sluttelig at spørge Hr. Professoren, om De vil optage disse Forsøg hos Dem, eller i modsat Fald støtte mit Andragende til Ministeriet om at faa Forsøgene afholdte på Orlogsværftet og tillige, om De vil paatage Dem Ledelsen af disse.

Jeg tillader mig at afvente Deres gunstige Svar snarest muligt, og tegner med venligst Hilsen

*Deres ærbødige
Chr. Sørensen "*

Ifølge en kladde på brevet har la Cour svaret:

"11/8 96

Til Sammenligning og mulig Vejledning for de større Motorforsøg er Miniatureforsøgene vist meget gode. Jeg er rede, dog først efter 4 Sept. Vil De levere Modeller og Blæser. Senere er det muligt, at Forsøgsmøllen kan afkjøbe Dem Blæseren. Uvist om den skal drives af Petrol.mot. eller af Krato Staten. Møllen skal om fornødent lade et 3-4 Alen x 8-10 Alen Træskur opføre, maaske kan jeg sætte dette i gang paa Torsdag - Lørdag (13-15 aug.), da er jeg hjemme. Skriv omgaaende."

- Og det gør Sørensen så:

"Skanderborg d. 13/8 1896

Hr. Professor Poul la Cour!

Det glæder mig, at De har Interesse for mine Forsøg, og desmere, at de vil tage Dem af og fortsætte disse.-

Jeg forstaar, at der ved mine Forsøg kan sættes mange Spørgsmaalstegn, f. Eks., hvis Vindstrømmen nu kun havde den halve Hastighed, hvad saa?

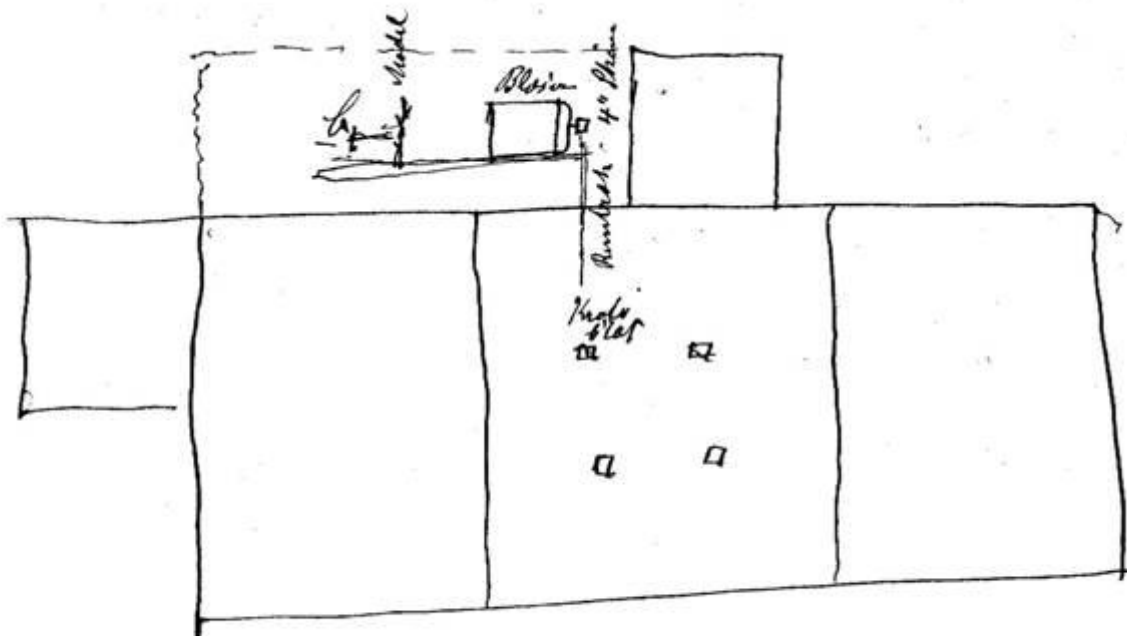
Skal Vindfanget da konstrueres som i første Tilfælde ?

Jeg troer det ikke. Arealet maa vist være større, men herom m.m. ville Vi da gennem Modelforsøgene kunne hente fornødne Oplysninger.- Hr. Professor, Vi ere jo enige om, at naar man overhovedet skal gjøre noget for at konstruere et Vindfang med den højest mulige Nyttevirkning, maa dette særlig være med Hensyn til den svage Luftstrøm, for, naar der er Vind

nok, er det josaa omtrent ligegyldigt, hvordan Vindfanget er. Jeg troer ikke, at der i den Plads, som De har, kan blive tilstrækkelig Plads for Blæsemaskine og Modeller, men, naar De som angivet i medfølgende Tegning vil bygge et Træskur ved \underline{h} paa ca. $3\frac{1}{2}$ Al. bredt og ca. 9 á 10 Al. langt, saa kan jo Blæseren drives fra Krato staten og i stille Vejr da ogsaa fra Petroleumsmotoren, eftersom denne jo maa være anlagt paa at kunne drive Forsøgsmøllens forskjellige Maskiner, saaledes ogsaa Krato staten og dermed Blæseren. - Jeg sender til Dem Blæsemaskine og Vindfangs=Modeller med tilhørende Stativ og Bremsedynamometer, saaledes, at det kan være hos dem til den 4de Septbr., og hvis De da vil underrette mig om, naar De er hjemme, skal jeg komme og opstille Modellerne; De kan selvfølgelig, hvis De efter Prøven skulde ønske det, beholde Blæseren og Modellerne til den Pris, de have kostet mig. - med Venlig Hilsen

*Deres ærbødige
Chr. Sørensen"*

Derefter følger en yderst primitiv håndtegnet skitse:



Figur 4: Ifølge brevet af 13/8 er skitsen Chr. Sørensens. Han anmoder i brevet la Cour om at lave et skur ved b. Poul la Cour har derefter tegnet model, blæser og remtræk til kratostaten ind. Det er la Cours karakteristiske håndskrift.

La Cour har i marginen på brevet skrevet, at han har svaret:

"14/8 96

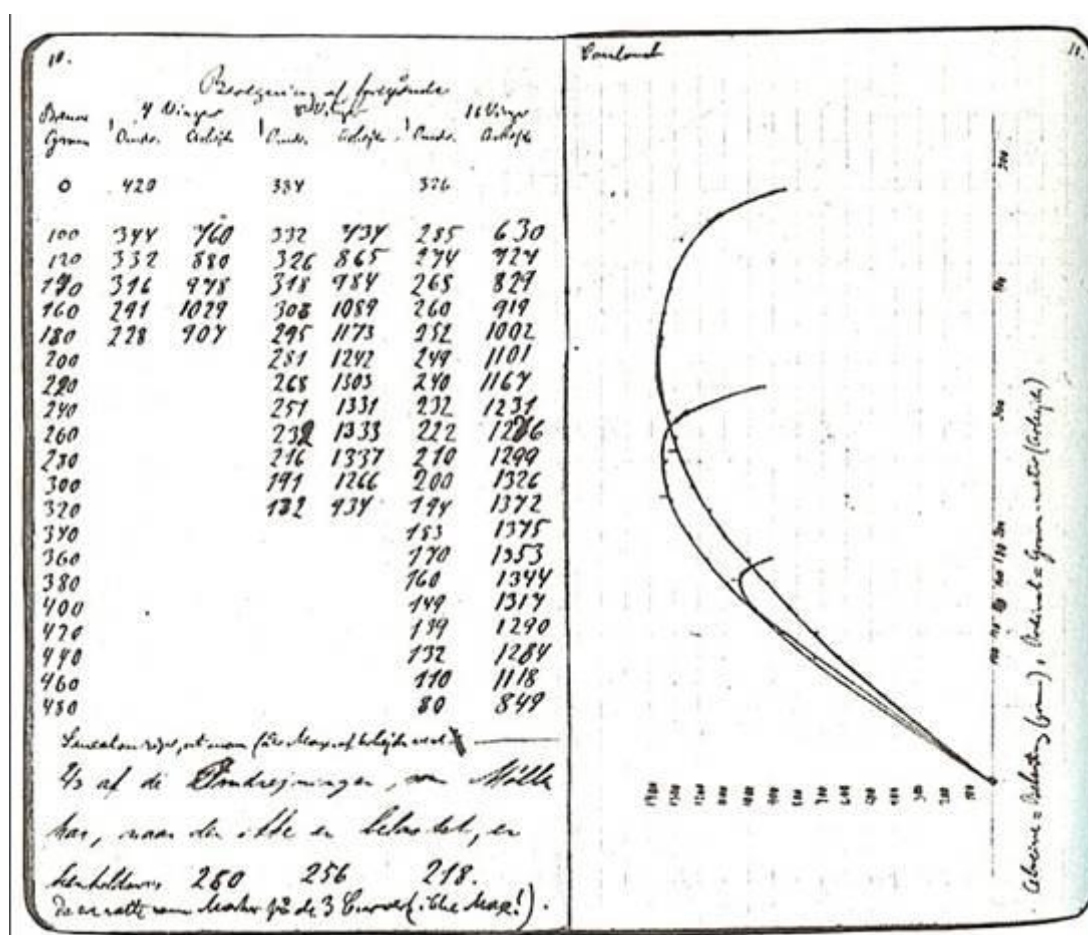
Jeg bygger 4 x 12 Alen.

venter App.- Skal underrette Dem om, naar jeg er hjemme".

Dette lidt aflange skur ses faktisk som en tilbygning foran møllebygningen hen mod højre på fotoet, figur 2.

Korrespondancen tyder således på, at de første vindtunneler (blæsecylindre) i Askov blev opstillet i september 1896, og at det var Chr. Sørensen, der leverede dem, og at det var på hans initiativ, at Poul la Cour kom i gang med modelforsøgene. Poul la Cour lod sig overbevise af Chr. Sørensens indledende måleresultater, og som det fremgår af Sørensens brev af 6/8 1896, var det behovet for større målenøjagtighed, der fik Sørensen til at henvende sig. Kratostatens stabiliserende egenskaber og tonehjulets præcision som måleinstrument blev dermed fundamentet for det næste gennembrud i aerodynamisk indsigt.

I den sidste del af 1896 er la Cour gået ind i et intenst arbejde med at teste Chr. Sørensens og en række andre modeller. I marts 1897 er i bladet "Ingeniøren", nr. 10, er trykt et foredrag "Forsøg med smaa Møllemodeller", som la Cour altså havde holdt forinden i Dansk Ingeniørforening. Her vises et par sider af optegnelserne i la Cours lommebog fra denne periode:



Figur 5: Et par sider fra Poul la Cours lommebog "Smaa Møllemodeller" fra denne periode. (AH 3.32)

Af det trykte foredrag "Forsøg med smaa Møllemodeller" som der vises et uddrag af nedenfor, fremgår det altså, at den første vindtunnel i Askov var leveret af Chr. Sørensen. Den var

tøndeformet, og havde en tovinget propel som blæser. La Cours første målinger foregik, som nævnt, i tilbygningen til den første møllebygning fra 1891, som ses på figur 2.

Forsøg med smaa Møllemodeller.

Foredrag i Dansk Ingeniørforening af Professor Poul laCour. M.Ing.F.

Inden Vand- og Vejrsmøllerne i forrige Aarhundrede endnu vare blevne distancerede af Dampmaskinerne, vare de Genstand for omhyggelige Studier. Særlig blev Vejrsmøllen behandlet med den største Ombu af Aarhundredets fineste Matematikere. Navne som Daniel Bernoulli, Maclaurin, d'Alembert, Euler, Lambert og Smeaton ere knyttede til Vejrsmølletheoriens Historie. — Efterat Dampen i dette Aarhundrede har taget næsten hele Interessen, er det rimeligt, at man har ment at kunne slaa sig til Taals med den Bearbejdelse, som hine Mænd have givet Vejrsmølletheorien. Hvorvidt dette gaar an, vil fremgaa af følgende Meddelelse om Forsøg udførte ved Forsøgsmøllen i Askov.

Der har fra flere Sider været rettet Opfordring til Forsøgsmøllen om at undersøge forskellige Former af Vindfang. Blandt disse forekom særlig en Opfordring fra Hr. Møllebygger Chr. Sørensen i Skanderborg ledsaget af Tilbud om at levere de fornødne Modeller til Undersøgelse af den af ham konstruerede saakaldte Keglemotor. Han havde allerede selv begyndt en Undersøgelse ved Hjælp af smaa Modeller, men ønskede, at Forsøgsmøllen skulde tage Sagen op, hvilket førte til et temmelig omfattende Studium af denne Sag i større Almindelighed.

De hidtige Maalinger ere dog alle udførte paa Modeller med samme Diameter, nemlig 0,8 m., og med kunstig og konstant Vindhastighed. Anordningen ses i skematisk horizontal Projektion i Fig. 1. Til Frembringelse af

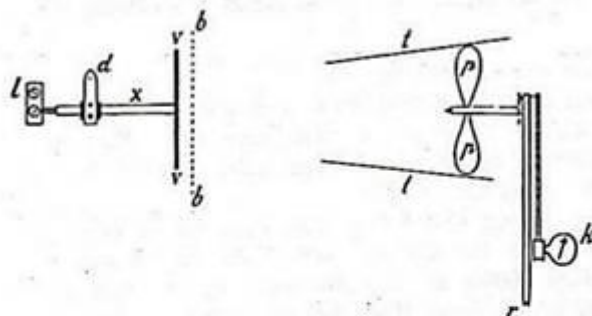


Fig. 1. En Møllemodel dreven af Vinden fra en Propeller.

Luftstrømmen var der anbragt en Tønde t uden Bund og med vandret Akse, Længde 1,12 m., Diameter bagest 0,73, forrest 0,66 m. I bageste Ende befandt sig en tovinget Propeller p med Diameter 0,715 m. og med en Stigning paa 0,625 m. pr. Omdrejning. Den blev ved Remmen r dreven rundt af Kratostaten, altsaa med jævn Hastighed, som kunde aflæses og kontrolleres ved Takometret k. Vindfangene vv bleve successivt anbragte paa Akslen x, der kan belastes med et lille Bremsedynamometer d, og hvis Omdrejninger optælles af Tælleværket l. I Tønden var radielt anbragt 3 Plader for at hindre Luftstrømmens Rotation.

Poul la Cour redegør i sit foredrag for testen af 10 forskellige modeller, alle med en rotordiameter på 0,8 m, men med hhv. 16, 8, 6 og 4 vinger, og dermed forskelligt vingefladeareal, samt forskellige vingeformer og smig.

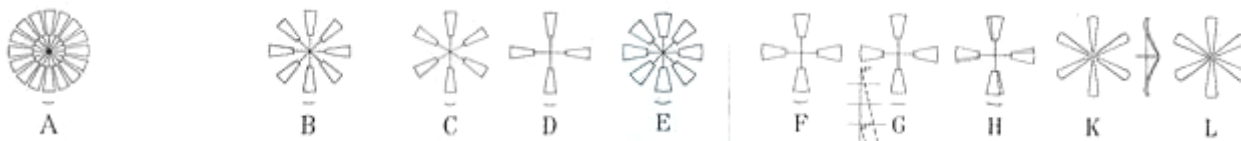
Efterhånden stod det klart for ham, at den gamle formel

$$L = 0,0338 F v^3 ,$$

hvor arbejdsydelsen L er proportional med vingefladearealet F og v^3 , var totalt ubrugelig. Han konstaterer, at arbejdsydelsen aldeles ikke er proportional med det samlede vingefladeareal. Han undrer sig i foredraget over, at de førnævnte matematikere i så lang tid ikke har tvivlet på denne formel, men blot indskrænket sig til at justere lidt på talkonstanten. Der er næppe nogen anden forklaring derpå, siger han, "end at det er et Eksempel mere paa, hvor galt det kan gaa, naar man begynder for udelukkende rationelt, og saa senere vil tvinge Virkeligheden til at passe i Formlerne blot ved et hensigtsmæssigt Valg af Konstanter."

Og han tilføjer: "Om nu noget nyt rationelt vil kunne opstilles, maa Fremtiden vise. Foreløbig gør man sikkert bedst i at holde sig til Emperien."

Figur 6: De 10 forskellige modeller ses her:



Figur 7: Og måleskemaet:

| Motors Betegnelse i Planchen. | Vingerne | | Frit Lob | | Størst Arbejde | | | | | | Ved Belastningsgrænsen | | |
|-------------------------------|--|---|----------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---|------------------------|-------------------------------|---|
| | Art | Maal i Centimeter | Antal | Vingespids Sving i Grader | Antal Omdrejninger pr. Min. | Vingespids Haast pr. Sek. i Meter | Bremsebelastn. p. Arm 0,214 m. i Gram | Vingespids Haast pr. Sek. i Meter | Arbejde pr. Sek. i Kg. m. | Procent af den Vindlevende Kraft, som træffer hele Cirkelen | | er Arbejdet pr. Sek. i Kg. m. | faaret Punkt af Arbejdsmaskin., som ved størst Ar. har Haast. 1 Meter et Tryk i Kg. |
| | | | | | | | | | | h | v | | |
| A | | | 16 | 60 | 84 | 3,52 | 3,75 | 1,97 | 0,34 | 4,8 | 8,1 | 0,28 | 0,47 |
| | | | 16 | 40 | 180 | 7,54 | 5,50 | 4,05 | 1,18 | 16,6 | 28,1 | 0,56 | 1,90 |
| | | | 16 | 30 | 250 | 10,46 | 6,00 | 5,60 | 1,77 | 21,9 | 42,1 | 1,23 | 2,65 |
| | | | 16 | 25 | 291 | 12,19 | 6,65 | 5,85 | 2,06 | 29,0 | 49,1 | 1,59 | 2,74 |
| | | | 16 | 20 | 327 | 13,68 | 5,50 | 7,15 | 2,08 | 29,8 | 49,5 | 1,59 | 2,82 |
| | | | 16 | 15 | 321 | 13,44 | 4,25 | 7,30 | 1,65 | 23,2 | 39,3 | 1,53 | 1,93 |
| B | Smalle concav-vindskæve | $\frac{11,2 + 5,0}{2} \cdot 23 = 186 \square \text{ cm.}$ | 8 | 25 | 296 | 12,39 | 300 | 7,67 | 1,21 | 17,0 | 57,6 | 1,19 | 1,42 |
| | | | 8 | 18 | 400 | 16,73 | 325 | 10,33 | 1,77 | 21,9 | 84,2 | 1,71 | 2,06 |
| | | | 8 | 15 | 426 | 17,85 | 350 | 10,68 | 1,94 | 27,8 | 93,8 | 1,91 | 2,25 |
| | | | 8 | 12 | 450 | 18,81 | 310 | 11,45 | 1,87 | 26,4 | 89,0 | 1,82 | 2,12 |
| C | | | 6 | 25 | 301 | 12,59 | 250 | 7,28 | 0,98 | 13,5 | 60,9 | 0,96 | 1,01 |
| | | | 6 | 20 | 391 | 16,34 | 270 | 9,72 | 1,38 | 19,4 | 87,6 | 1,37 | 1,47 |
| | | | 6 | 15 | 471 | 19,71 | 275 | 11,66 | 1,69 | 23,8 | 107,2 | 1,69 | 1,69 |
| | | | 6 | 12 | 490 | 20,25 | 255 | 13,45 | 1,81 | 25,5 | 114,8 | 1,75 | 2,09 |
| | | | 6 | 7 | 464 | 19,40 | 225 | 12,17 | 1,44 | 50,3 | 91,4 | 1,44 | 1,44 |
| D | | | 4 | 25 | 297 | 12,43 | 150 | 8,20 | 0,65 | 9,2 | 61,8 | 0,65 | 0,65 |
| | | | 4 | 10 | 540 | 22,60 | 170 | 14,33 | 1,29 | 19,2 | 122,7 | 1,22 | 1,44 |
| | | | 4 | 7 | 570 | 23,85 | 170 | 16,15 | 1,45 | 20,4 | 133,0 | 1,43 | 1,54 |
| | | | 4 | 5 | 558 | 23,36 | 180 | 15,90 | 1,51 | 21,3 | 143,7 | 1,51 | 1,51 |
| | | | 4 | 0 | 510 | 21,34 | 120 | 16,18 | 1,02 | 14,4 | 97,2 | 1,02 | 1,02 |
| E | Brede concav-vindskæve | $\frac{15,1 + 6,6}{2} \cdot 23 = 250 \square \text{ cm.}$ | 8 | 18 | 390 | 16,30 | 430 | 8,75 | 1,93 | 27,9 | 70,1 | 1,79 | 2,32 |
| | | | 8 | 15 | 410 | 17,16 | 382 | 10,50 | 2,12 | 29,9 | 75,0 | 2,03 | 2,50 |
| | | | 8 | 12 | 438 | 18,32 | 355 | 10,80 | 2,02 | 28,4 | 71,5 | 1,94 | 2,57 |
| F | | | 4 | 12 | 504 | 21,06 | 220 | 12,92 | 1,50 | 21,2 | 106,1 | 1,37 | 1,64 |
| | | | 4 | 10 | 527 | 22,06 | 230 | 13,20 | 1,60 | 22,6 | 113,2 | 1,59 | 1,68 |
| | | | 4 | 7 | 562 | 23,50 | 235 | 13,40 | 1,66 | 23,4 | 117,3 | 1,65 | 1,70 |
| | | | 4 | 5 | 554 | 23,20 | 200 | 15,86 | 1,67 | 23,5 | 118,1 | 1,60 | 2,00 |
| | | | 4 | 0 | 481 | 20,12 | 150 | 13,50 | 1,07 | 15,1 | 75,7 | 1,06 | 1,14 |
| G | Brede retliniet vindskæve | $\frac{15,6 + 6,8}{2} \cdot 23 = 258 \square \text{ cm.}$ | 4 | 25 | 260 | 10,83 | 120 | 7,40 | 0,47 | 6,6 | 32,2 | 0,47 | 0,47 |
| | | | 4 | 12 | 480 | 20,09 | 145 | 12,65 | 0,97 | 13,7 | 66,5 | 0,94 | 1,06 |
| | | | 4 | 10 | 545 | 22,82 | 150 | 14,00 | 1,11 | 15,6 | 76,2 | 1,10 | 1,18 |
| | | | 4 | 7 | 627 | 26,24 | 145 | 17,00 | 1,30 | 18,3 | 89,2 | 1,28 | 1,44 |
| | | | 4 | 5 | 690 | 28,90 | 150 | 17,70 | 1,40 | 19,7 | 96,0 | 1,38 | 1,48 |
| | | | 4 | 3 | 760 | 31,82 | 130 | 19,29 | 1,32 | 18,6 | 90,5 | 1,32 | 1,42 |
| | | | 4 | 0 | 646 | 27,05 | 100 | 15,67 | 0,83 | 11,7 | 57,0 | 0,83 | 0,83 |
| H | Brede retliniet vindskæve med Stormbrædeknek | $\frac{15,1 + 6,6}{2} \cdot 23 = 250 \square \text{ cm.}$ | 4 | 25 | 271 | 11,33 | 180 | 7,35 | 0,70 | 9,9 | 49,5 | 0,69 | 0,78 |
| | | | 4 | 12 | 455 | 19,05 | 220 | 12,22 | 1,42 | 20,0 | 100,4 | 1,42 | 1,42 |
| | | | 4 | 10 | 478 | 20,00 | 240 | 11,68 | 1,48 | 20,8 | 104,6 | 1,48 | 1,48 |
| | | | 4 | 7 | 510 | 21,35 | 210 | 14,00 | 1,55 | 21,8 | 109,7 | 1,55 | 1,63 |
| | | | 4 | 5 | 518 | 21,70 | 205 | 14,33 | 1,55 | 21,8 | 109,7 | 1,53 | 1,66 |
| | | | 4 | 3 | 502 | 21,02 | 190 | 14,48 | 1,45 | 20,4 | 102,5 | 1,41 | 1,53 |
| | | | 4 | 0 | 477 | 19,98 | 150 | 14,00 | 1,11 | 15,6 | 78,5 | 1,08 | 1,15 |
| K | Sørensen's Keglemotor | $\frac{10,1 + 2,7}{2} \cdot 88 = 243 \square \text{ cm.}$ | 6 | 18 | 501 | 21,11 | 340 | 13,08 | 2,34 | 33,0 | 113,6 | 2,06 | 2,75 |
| | | | 6 | 16 | 457 | 19,15 | 425 | 11,52 | 2,58 | 36,3 | 91,2 | 2,43 | 3,04 |
| L | | $\frac{14,0 + 3,6}{2} \cdot 88 = 334 \square \text{ cm.}$ | | | | | | | | | | | |

Det er af interesse at bemærke kolonnen "Arbejde pr. Sek. i Kg m" under "Størst Arbejde". Det er effekten, og her ligger Sørensen's Keglemotor højest med hhv. 2,34 og 2,58. Men det var først efter, at Sørensen havde forbedret den efter Poul la Cours anvisninger, både hvad angår antal

vinger, deres form og smig. Disse tal forklarer også, hvorfor Skanderborg Vindmotorfabrik fik entreprisen, da forsøgsmøllen skulle udvides i 1897, og Sørensens store flotte keglevindfang kom til at pryde møllen på toppen af P.V.Jensen-Klints stenbygning, se figur 1.

Poul la Cour fremhæver også i sit foredrag en *"anden Omstændighed, der aabenbarer sig, når man beregner, hvor mange Procent levende Kraft af den Vinds, som rammer Vindfanget, dette modtager"*. Det drejer sig om tallene i skemaets tredjesidste kolonne.

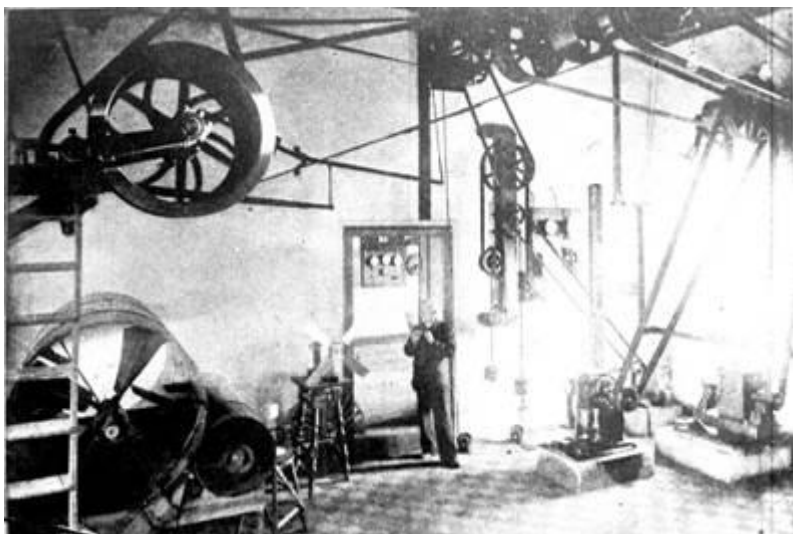
"Den levende kraft", som rammer vindfanget, handler alene om den energi, man kan beregne, at vingen vil modtage ved direkte stød fra vinden ind på vingearialet. I en række tilfælde kan man se, at møllen har kunnet yde mere end 100 % af denne energi, sågar helt op til 143,7 %. Dette kan naturligvis ikke lade sig gøre, medmindre der er andre kræfter i spil, og det var dem, Poul la Cour nu havde fået fært af:

"Det er altsaa klart, at Vindfanget maa opsamle Energi fra andre Vindstraaler end den, der rammer Vingerne; Vindfanget maa ogsaa opsamle Energi fra de Vindstråler, der passerer Vingernes Mellemrum, og denne Opsamling maa oven i Købet i visse Tilfælde navnlig ved aabne Vindfang, spille en meget betydelig Rolle.

Det Bidrag i Arbejde, som Vingernes Mellemrum yde, synes at være des større, jo hastigere Vingerne løbe. ----- De fremdragne Enkeltheder tyde paa, at den Vind, der passerer Mellemrummene, er i høj Grad virksom til Vingernes Fremdrift. Dette kan let forstaas deraf, at de Luftdele, der gaar igennem et Mellemrum lidt efter befinde sig bag ved en Vinge og her ville disse Luftdele paa Grund af deres Inerti frembringe et Vacuum, som fremskynder Vingen, samtidig med, at det berøver Luftdelene noget af deres Hastighed."

Der er ingen tvivl om, at dette foredrag blev af grundlæggende betydning for, at Poul la Cour fik tilslutning til, at forsøgsmøllen kunne udvides senere på året 1897 for et beløb på 27.000 kr. og en årlig driftsbevilling på 12.000 kr.

Inde i bygningens maskinhal opstillede Poul la Cour sine egne vindtunneler (blæsecylindre), som havde helt andre mål end Chr. Sørensen. Den store til afprøvning af møllemodeller havde en diameter på 1 meter og var 2,20 meter lang. Den lille havde en diameter på 50 cm og lige så lang. Den var beregnet til at skulle give blæst til mere detaljerede målinger af vindtryk og træk (opdrift, lift) på vingeprofiler opsat med forskelligt smig, eller angrebsvinkel, som det kaldes i dag. Se forsiden på dette hefte.



Figur 8: På dette lidt utydelige billede ses Prof. la Cour i Forsøgsmøllens maskinrum. Til højre for døren ses kratostaten. Til venstre for la Cour en møllemodel, og længere til venstre de to blæsecylindre.

Billedet findes på en glasplade i Vejen lokalarkiv. Den er affotograferet fra en artikel om Askov Højskole i "Illustreret Tidende", 6. juni 1901.

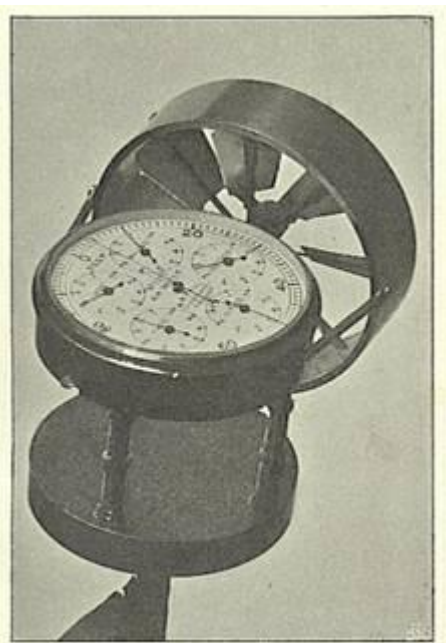
Med disse instrumenter startede han så en systematisk undersøgelse af de aerodynamiske forhold omkring vingeprofiler. Til det formål blev det nødvendigt at opfinde en særlig vindtrykmåler.



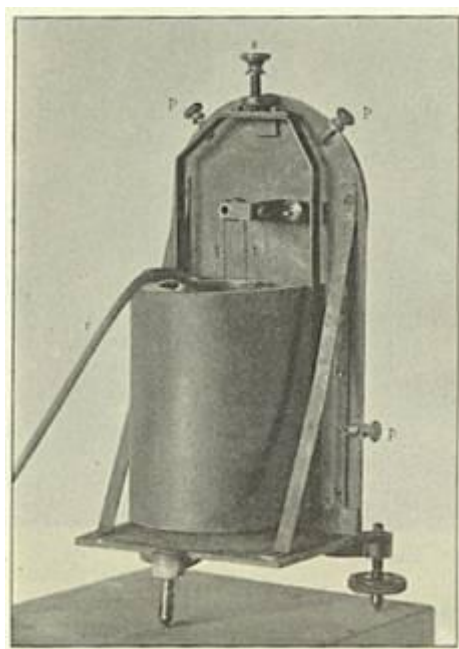
En drejelig skive med en vægtstang, som kunne vippe omkring en vandret akse i nogle pinollejer på skiven. I vægtstangens ene ende var ophængt en vægtskål, i modsat ende var en forskydelig kontravægt. Lodret op over skivens midtpunkt, vinkelret på akse og vægtstang var anbragt en mast med en 10 x 10 centimeter plade, der blev anbragt i luftstrømmen fra den lille vindtunnel. Trykket på denne plade kunne måles ved udbalancering med vægtlodder på vægtskålen.

Figur 9: Billedet af vindtrykmåleren findes i bogen "Forsøgsmøllen I og II" fra år 1900.

Foruden vindtrykmåleren var det nødvendigt med nogle apparater til måling af vindhastigheden.



Figur 10: Mølleanemometer, en meget præcis vindhastighedsmåler, der dækker et stort måleområde. Det egner sig bedst til målinger af middelvindhastigheder,



Figur 11: Rungs anemometer set bagfra med vandbeholderen. En slange med rør går om til en skala på forsiden. Når vinden blæser hen over rørmundingen, suges vandet mere eller mindre op. Følsomt overfor variationer.

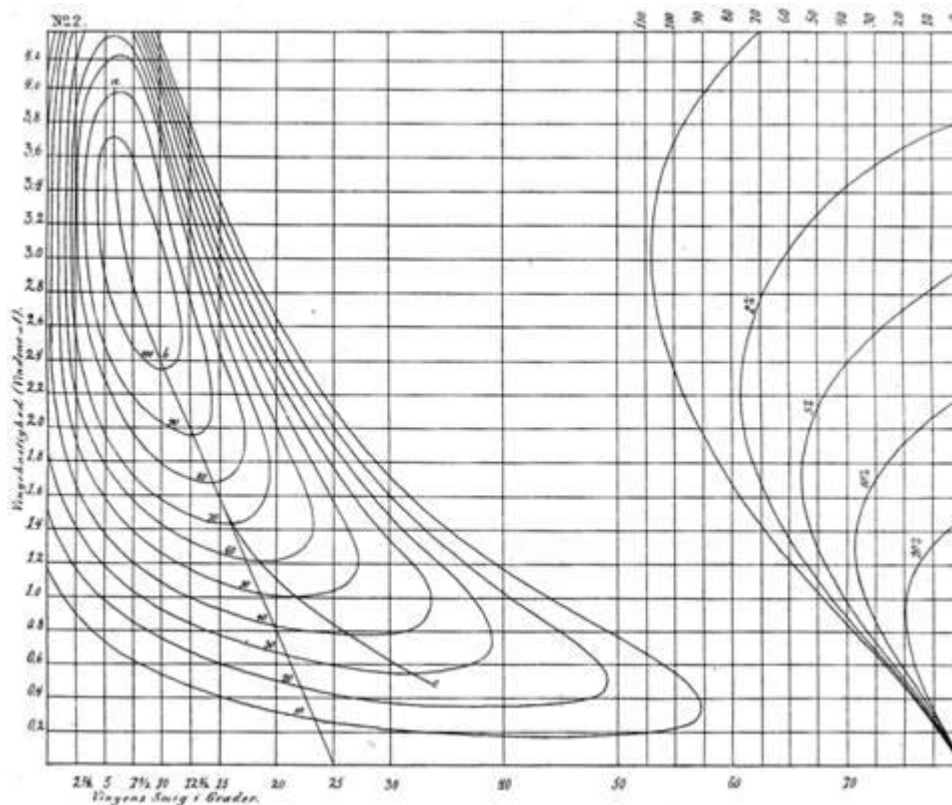
Med disse måleinstrumenter foretog Poul la Cour målinger på såvel flade, buede og knækkede vingeprofiler. Her ses som eksempel måleresultaterne fra den knækkede vingeprofil.

Figur 12:

Arbejdsevnen af en Knæklade paa 1 [] m. med 1 m. Vindhastighed med forskellige Smig og forskellige Pladchastigheder. Tallene ere g. m. pr. Sek.

| | 0° | 2 1/2° | 5° | 7 1/2° | 10° | 12 1/2° | 15° | 20° | 25° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° |
|-----|------|--------|-------|--------|-------|---------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| 0.2 | 0.1 | 0.7 | 1.1 | 2.1 | 2.7 | 3.4 | 4.1 | 5.4 | 6.8 | 8.6 | 11.1 | 11.3 | 9.3 | 5. |
| 0.4 | 0.4 | 1.9 | 3.5 | 5.0 | 6.6 | 8.7 | 10.0 | 13.9 | 17.8 | 21.1 | 22.1 | 18.3 | 6.9 | |
| 0.6 | 1.1 | 3.9 | 6.8 | 9.9 | 13.2 | 16.6 | 20.0 | 26.1 | 29.5 | 31.6 | 28.4 | 17.1 | | |
| 0.8 | 2.6 | 7.5 | 12.7 | 18.0 | 23.2 | 28.3 | 32.3 | 38.3 | 40.5 | 39.9 | 28.5 | 7.2 | | |
| 1.0 | 5.2 | 13.1 | 21.3 | 28.8 | 35.3 | 39.7 | 44.8 | 49.1 | 49.1 | 44.3 | 21.1 | | | |
| 1.2 | 9.6 | 21.4 | 31.2 | 40.0 | 47.3 | 52.5 | 56.1 | 58.5 | 54.3 | 42.1 | | | | |
| 1.4 | 15.2 | 29.1 | 41.3 | 51.3 | 58.6 | 63.8 | 67.6 | 65.3 | 53.8 | 34.7 | | | | |
| 1.6 | 20.9 | 37.8 | 51.6 | 62.7 | 71.2 | 74.3 | 75.7 | 68.4 | 48.6 | 19.6 | | | | |
| 1.8 | 25.7 | 45.7 | 61.6 | 72.7 | 79.9 | 82.6 | 82.8 | 66.6 | 37.2 | | | | | |
| 2.0 | 30.1 | 53.6 | 70.5 | 82.0 | 89.6 | 90.8 | 85.8 | 61.2 | 20.1 | | | | | |
| 2.2 | 34.2 | 59.8 | 78.4 | 90.4 | 97.1 | 95.0 | 85.0 | 50.7 | | | | | | |
| 2.4 | 36.9 | 65.2 | 85.5 | 98.0 | 102.1 | 95.6 | 82.1 | 32.1 | | | | | | |
| 2.6 | 38.6 | 69.2 | 91.8 | 104.9 | 105.8 | 93.2 | 76.3 | 15.9 | | | | | | |
| 2.8 | 36.1 | 72.6 | 96.2 | 108.2 | 103.6 | 89.6 | 64.7 | | | | | | | |
| 3.0 | 34.2 | 77.5 | 102.1 | 108.3 | 102.0 | 83.8 | 45.3 | | | | | | | |
| 3.2 | 31.1 | 78.6 | 104.1 | 108.0 | 97.0 | 73.0 | 23.3 | | | | | | | |
| 3.4 | 26.9 | 80.3 | 104.2 | 104.6 | 91.1 | 56.3 | 7.3 | | | | | | | |
| 3.6 | 21.7 | 76.4 | 99.7 | 100.2 | 80.7 | 30.3 | | | | | | | | |
| 3.8 | 15.5 | 73.0 | 94.1 | 92.9 | 67.4 | 7.5 | | | | | | | | |
| 4.0 | 8.2 | 66.4 | 85.9 | 83.6 | 49.1 | | | | | | | | | |
| 4.2 | | 57.0 | 78.1 | 73.7 | 19.9 | | | | | | | | | |
| 4.4 | | 43.4 | 67.3 | 56.2 | | | | | | | | | | |
| 4.6 | | 27.3 | 52.9 | 37.0 | | | | | | | | | | |
| 4.8 | | 9.9 | 37.1 | 13.6 | | | | | | | | | | |
| 5.0 | | | 21.7 | | | | | | | | | | | |

Figur 13: Det blev ikke til en ny formel, men et diagram med informationer om, hvordan man skulle bygge den "ideale" møllevinge:



På diagrammets vandrette akse er angivet ”smiget”, det vil sige vingefladens vinkel i forhold til rotorplanet, der jo står vinkelret på vindretningen. På den lodrette akse er angivet vingens hastigheder ud langs vingen i forhold til vindhastigheden. Diagrammet er tre-dimensionelt, idet arbejdsvevnen er afsat som højdekurver.

Eksempel på en aflæsning: Der, hvor vingehastigheden er 2,8 gange vindhastigheden, skal smiget være $7\frac{1}{2}$ grad. Nærmere akslen, hvor hastigheden er mindre, skal smiget være større. Vingen skal konstrueres efter en linie, der bevæger sig ”ned ad arbejdsbakken” i den mindst stejle retning. Den krumme linie er bedst, men den rette linie er den praktisk mulige med datidens byggematerialer, som i det væsentlige var træ og jern.

Poul la Cour offentliggjorde disse resultater i bogen ”Forsøgsmøllen I og II, år 1900.

Han mente selv, at han dermed havde fundet frem til den ”ideale” møllevinge, og han udskrev en konkurrence om hvem, der blandt møllebyggerne ville bygge den ideale mølle.

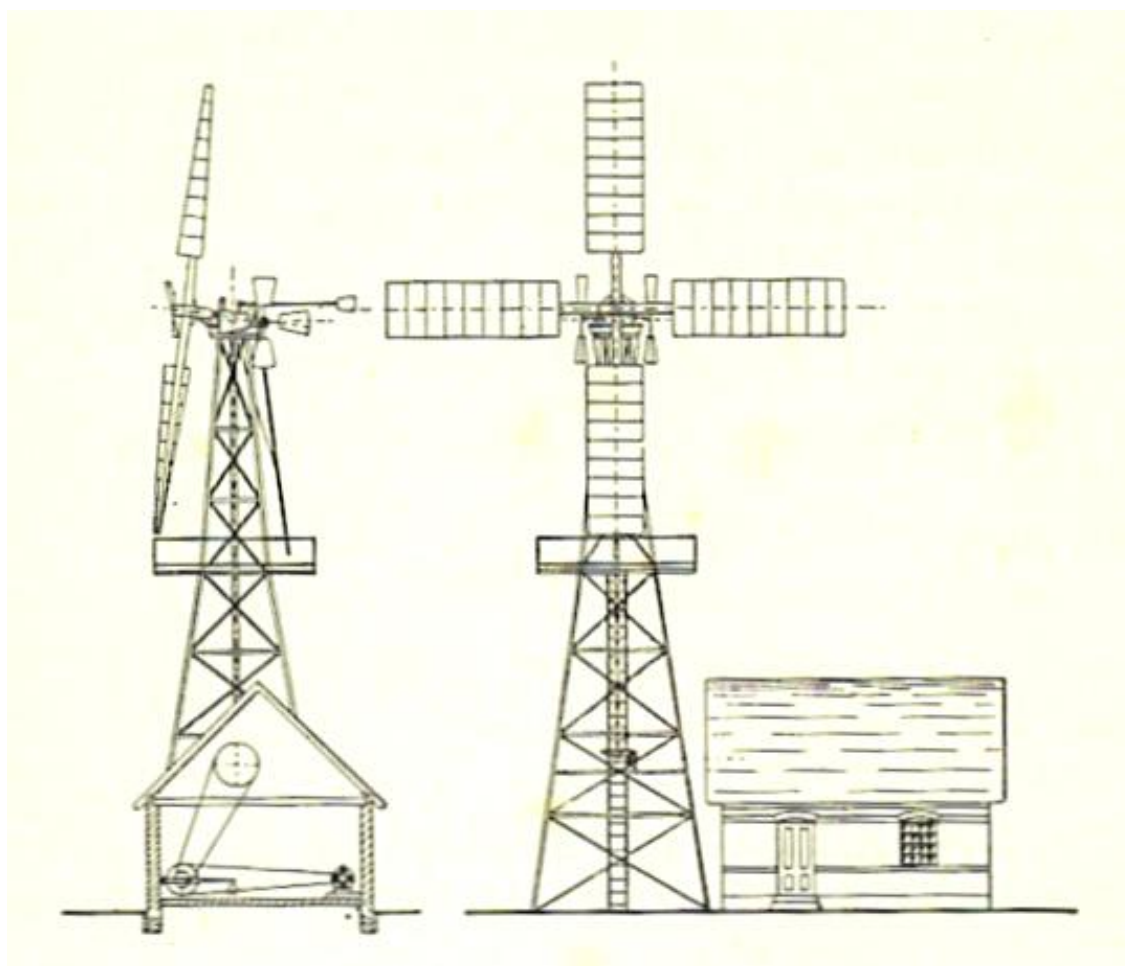
I mellemtiden var der desværre blevet problemer med Chr. Sørensens stor flotte keglevindfang. Uagtet, at den var fortrinlig i størrelse som gårdmølle på taget af laderne, var den altså blevet for stor og tung som møllerotor på forsøgsmøllen. Vingerne var jo bredest og dermed tungest yderst, så vingerne under rundturen gennem vandret stilling led af en ”tyngdepunktsdaling”, der truede med at sprænge bardunerne i rotoren. Reparationer holdt ikke, så til sidst mistede la Cour tålmodigheden og lod keglevindfanget udskifte med en traditionelt udseende firvinget rotor. Det var derfor dette billede af forsøgsmøllen, der kom til at figurere i bogen ”Forsøgsmøllen”.



Figur 14: Forsøgsmøllens udseende år 1900.

Dette medførte desværre, at det frugtbare samarbejde med møllebygger Chr. Sørensen endte i uvenskab. Dels syntes Sørensen vel, at keglevindfanget var taget ned for tidligt, dels blev han fornærmet over, at la Cour med sin konkurrence ville ”opkaste sig som overmøllebygger”. Sørensen skrev et modskrift mod la Cours ”ideale” mølle i Askov og skabte politisk uro, og der blev stillet spørgsmål om, hvad Poul la Cour havde brugt alle de penge til, når han var endt med noget, man kendte i forvejen – en firvinget møllerotor. Den var dog sikkert kun en nødløsning, hvorfor skulle han ellers udskrive konkurrencen?

Det endte med, at forsøgsmøllens driftsbevilling blev beskåret til 7000 kr. årligt, og sigtet med forsøgsmøllen blev omdefineret til at skulle gøre ”Forsøg angaaende Elektricitetens Anvendelse i Landbrugets Tjeneste”. Fra en overhængende trussel om lukning, blev dette starten på en meget frugtbar udvikling. Man oprettede Dansk Vind Elektrisitetes Selskab, DVES, og startede en vindelektrikeruddannelse. Man ansatte en ingeniør, Jacob Bjerre, til at rådgive andelsselskaber og private, som ønskede at bygge et vindelektricitetsværk, og Poul la Cour udgav fra 1904 et ”Tidsskrift for Vind-Elektricitet”.



Figur 15: Her ses et vindelektricitetsværk, dimensioneret til at kunne levere strøm til et par gårde. En opgørelse fra juli 1906 viser, at DVES og forsøgsmøllen har ydet rådgivning og praktisk håndlag til oprettelse af 44 elværker i landområderne. Heraf var de 24 vindelektricitetsværker, resten var hovedsagelig vandkraftværker.

Dette hefte er udgivet af Poul la Cour Museets Venner.

ISBN 87-988859-3-6