

Benny Christensen, Danmarks Vindkraftshistoriske Samling:

Med front mod vinden - eller med ryggen til den...

(Kapitler af vindkraftens historie i Danmark, 8. årgang, 2013
side 8-15)

Med front mod vinden - eller med ryggen til den..

Benny Christensen, Danmarks Vindkraftshistoriske Samling

De fleste moderne vindmøller har vingerne placeret foran tårnet og systemer, der "krøjer" (drejer) møllehatten op mod vinden. En enklere mulighed er at flytte vingerne om bag tårnet. "Bagvindsmøllerne" vil have tendens til selv at dreje efter vindretningen, så krøjeselementet i nogle tilfælde helt kan undværes. Ideen er gammel – men stadig aktuell – og der er både fordele og ulemper ved den løsning.

"Op fra en af de allerstørste gårdes lademønning rejste der sig et unikum af et møllestativ. Flygtigt set af form som Eiffeltårnet og mere end dobbelt så højt som en stok- eller klapmølle sat oven på hverandre..."

Denne allerførste vindmotor, der gik i bagvinde, og som trods sit himmelstræbende stativ synede endnu mere duknakkede end den mest uheldigt skabte stokmølle, havde det held at blive rejst på en virkelig stor gård, hos en meget estimeret mand, og dermed var den fastslået som det store hartkorns mølle. Og det næste Eiffeltårn viste sig så kort tid efter det første, at det var at forudse, at bagvindsmotoren ville brede sig og blomstre som mælkebøtter på egnens grøftekanter..."(1)

Sådan præsenterer forfatteren Erling Kristensen (1893-1961) i sin erindringsbog "Mens vindrosen blomstrede" den første "vindrose" der kom til hans fødeegn mellem Vrå og Brønderslev i Vendsyssel. Erindringen stammer fra hans barndom lige efter 1900. Den duknakkede mølle, der vendte ryggen til vinden, kom nu ikke til præge Vendsyssel i de følgende år. Der kom ganske vist masser af vindroser og Erling Kristensen, der efter en læretid som

cykelmekaniker fik job hos vindmøllefabrikanten Chr. Thomsen i Vrå, var i årene før og under Første Verdenskrig med til at producere nogle af dem.

Den glemte mølletype

Før vindroserne kom havde de første 4-vingede "stokmøller" fra slutningen af 1800-tallet og de senere "klapsejlere" med jernstativ og 4, 5 eller 6 vinger præget landskabet.. Senere blev det "vindroserne" med de mange tætsiddende blade, der dominerede i Vendsyssel. Men ligesom på stokmøllerne og klapsejlerne sad møllevingerne på de fleste af dem foran tårnet med front mod vinden.

Den duknakkede "bagvindsmølle" blev kun en kort parentes i den danske vindmøllehistorie – og det har hidtil ikke været muligt at finde ud af, hvem der producerede dem – og hvor mange, der var. De bedste spor er fundet i Serritslev sogn nord for Brønderslev, hvor man i det lokalhistoriske arkiv har registreret 2 "bagvindere". De blev opstillet i 1904 og 1906 – og den mest sejlivede af dem overlevede som "bagvinder" indtil 1946, da den med en brugt krøjekrans blev ombygget til en mere traditionel vindmølle med front mod vinden.(2)



I Serritslev Lokalhistoriske Arkiv findes dette billede, der viser en "bagvinder", der svarer meget godt til beskrivelsen af den lidt "duknakkede" mølle hos Erling Kristensen. (2)

Der er altså en god portion mystik om denne mølletype og selv i andre dele af Vendsyssel kender man ikke meget til den. Så måske har det været en lokal smed, der har fået idéen. Men internationalt set er ”bagvindsmøller” langt fra nogen sjældenhed. I USA – hvor vindroserne stammer fra – var der i 1870’erne og 1880’erne flere producenter, der valgte at placere rotoren bag tårnet. Det var der flere fordele ved. Først og fremmest kunne man spare de ”krøjesystemer”, der automatisk skulle dreje møllen med front mod vinden.

De traditionelle krøjesystemer

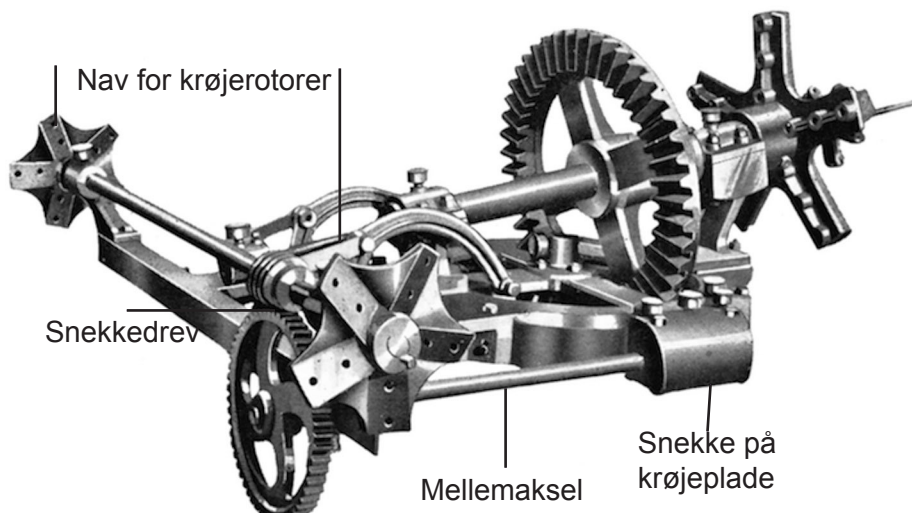
Der var flere krøjesystemer i brug omkring 1900. Et af dem var hentet hos de nyeste af de store ”hollandske” kornmøller. Her havde møllehatten to tværstillede ”krøjerotorer”, der begyndte at dreje, hvis vinden kom for meget på tværs. Rotorernes drejning kunne så – gennem flere trin – overføres til et tandhjul, der var i indgreb med en tandkrans på toppen af mølletårnet.

Overførslen skete normalt via to snekkedrev, så selv en svag vind på tværs kunne bevæge den tunge møllehat. Den kunne faktisk også drejes med håndkraft ved at dreje krøjerotorerne. Til gengæld skulle der drejes mange gange. Hvis møllen ved et stop eller



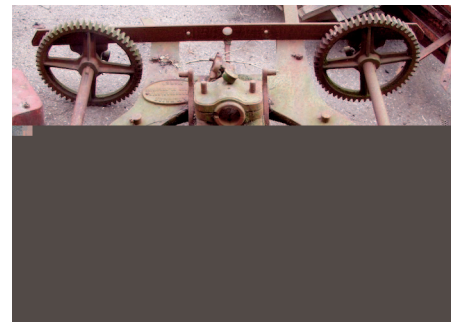
et uheld var kommet til at stå for meget på tværs (eller i ”bagvind”) og ikke kunne komme tilbage ved egen hjælp, var det typisk et job for yngste medhjælper på gården eller møllebyggerens læredreng at tage turen op i tårnet og dreje krøjevingerne nogle hundrede gange, indtil vinden kunne klare resten.

Teknikken i det traditionelle danske krøjesystem:



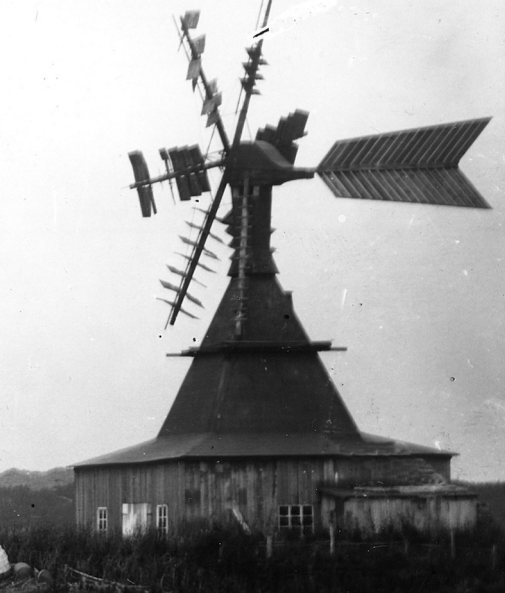
Det traditionelle danske krøjesystem havde to tværstillede krøjerotorer med 4-6 blade. Den tværgående fælles aksel for krøjerotorerne havde en eller to snekker, der var i indgreb med tandhjul i bagenden af en mellemaksel. I mølletoppen på billedet herover er der kun en enkelt mellemaksel, men oftest var der en på hver side af ”krøjepladen”, der bar mølletoppen.

På billedet øverst til højre ses krøjepladen med snekkedrevene i forenden af de to mellemaksler. De er i indgreb med en tandkrans på toppen af mølletårnet, som ses på nederste billede. Men der skal mange omdrejninger til. Hvis hjulet i det første snekkedrev fx. har 55 tænder skal krøjerotorerne dreje 55 gange for at give en enkelt omdrejning af mellemakslen.



Hvis tandkransen på tårnet har 65 tænder skal mellemakslen på samme måde drejes 65 gange for et dreje møllehatten en omgang. Det kræver altså $55 \times 65 = 3575$ omdrejninger af ”krøjerotorerne”,





Klapsejler med vindfane på et bådebyggeri i Nymindegab omkring 1900. (Foto i Nymindegab Lokalhistoriske Arkiv). Danskproduceret vindrose med vindfane ca. 1910.. (Arkivfoto, DVS). Den danske varmeproducerende vindmølle "SJ Windpower", der var meget populær sidst i 1970'erne, havde også en vindfane, men på møllen yderst t.h. er rotoren blevet vendt, så det blev til en "bagvindsmølle". (Fotos: Jan Vium og Benny Christensen)

Systemet med krøjerotorer var stabilt, men også ret dyrt, og det reagerede langsomt, når vindretningen skiftede. En enklere mulighed – og den som de fleste amerikanske vindroser benyttede sig af – var at udstyre møllehatten med en bagudvendt "vindfane" eller "hale". Hvis vinden begyndte at dreje på tværs påvirkede den vindfanen og rettede igen møllen op mod vinden. Samtidig var systemet normalt udformet så det automatisk drejede mølletoppen ud af vinden, hvis den blev for kraftig.

På mindre møller giver det system hurtig reaktion, hvis vinden drejer – men også ofte så hurtig, at møllen kommer til at stå og dreje ud og ind af vinden, så det går ud over energiproduktionen. På store møller med tung møllehat skal der til gengæld en voldsomt stor "vindfane" til for at være effektiv nok. På de små vindroser med faste blade, der blev verdens mest udbredte mølletype – og som stadig produceres og bruges til vandpumpning over det meste af verden – blev vindfanen standardløsningen. Det blev den også på mange af de små elproducerende "propelmøller" fra 1920'erne og helt frem til 2. verdenskrig

"Bagvindsmøllens" fordele

På "bagvindsmøllen" eller "bagløberen" med vingerne bag mølletårnet, vil møllehatten have tendens til at selv dreje sig efter vinden. På de mindste møller kan et "krøjesystem" derfor helt undværes – og på større møller er opgaven for krøjesystemet lettere. Vingerne kan også gøres lettere og mere fleksible uden risiko for kollision med tårnet. Møllerne kan derfor blive billigere end konkurrenterne med vingerne placeret foran tårnet.

Alligevel blev "bagvindsmøllerne" mere undtagelsen end reglen gennem hele den hidtidige vindmøllehistorie, selv om de er dukket op flere gange undervejs – og stadig gør det. Nogle af dem fungerede godt, men det viste sig hen ad vejen, at konstruktionen også kunne give nogle problemer, som ikke altid var lige lette at løse.

1941: Verdens første Megawatt-mølle

I løbet af 1920'erne og 1930'erne blev der bl.a. i Tyskland og Frankrig præsenteret prototyper til møller med vingerne bag tårnet. Men det var først i starten af Anden Verdenskrig, at der blev fremstillet en mølle af den type, der alene på grund af størrelsen vakte international opmærksomhed.

I 1939 besluttede det amerikanske firma S. Morgan Smith Company, der fremstillede vandturbiner, at undersøge vindkraftens muligheder. Idémændene bag deres forsøgesmølle var Palmer Cosslett Putnam – og den vindmølle, der kom ud af det, blev kendt som "Smith-Putnam møllen".

I 1940 startede opførelsen af en 1,25 MW mølle med 54 m rotordiameter – på det tidspunkt suverænt verdens største – på en sydvestvendt skråning i udkanten af White Mountains i Staten Vermont i det nordøstlige hjørne af USA. Tre vinger havde været under overvejelse, men efter beregningerne ville det kun give ca. 2% højere produktion end den løsning, med to blade, der blev valgt.

Før det havde der været foretaget grundige undersøgelser af vindforholdene forskellige steder i området og placeringen tæt ved toppen af skråningen fik

På de "traditionelle" konstruktioner med vingerne placeret foran tårnet var vingerne oftest afstivet med wirer og stænger ("stag"), der skulle sikre, at de kunne holde til vindtrykket og ikke blev deformeret, så de ramte tårnet. På "bagvindsmøllerne" forsøgte man sig med lettere, selvbærende vinger, samtidig med at man med forskellige fleksible navkonstruktioner og lidt bagudhældende rotor (som typisk ses både på Smith-Putnam møllen og på Hütters mølle) søgte at reducere belastningen på vingerne.

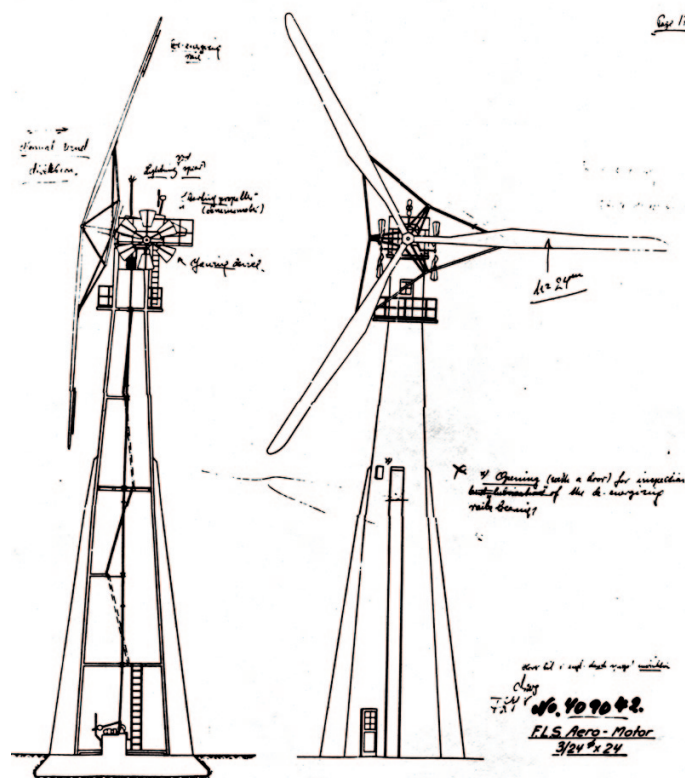
Med de hidtil benyttede materialer - træ, stål og aluminium - havde det været svært at få de selvbærende vinger til at holde. Men Hütters glasfiberarmerede vinger pegede fremad mod en løsning.

1940-50: Danske erfaringer

I Danmark blev der også i krigsårene gjort nye fremskridt med vindmølleteknologien, selv om det ikke vakte samme internationale opmærksomhed som det spektakulære Smith-Putnam projekt i USA.

Den danske FLS "Aeromotor" havde ligesom den amerikanske mølle vinger, der var inspireret af de aerodynamiske erfaringer fra flyene, men den byggede samtidig videre på den danske mølletradition. Vingerne var placeret på vindsiden af tårnet og afstivet med stænger, der både kunne optage vindtrykket og - på den 3-vingede mølle - de kræfter, der opstod på grund af rotationen. Der var også benyttet et traditionelle krøjesystem med krøjerotorer og snekkedrev.

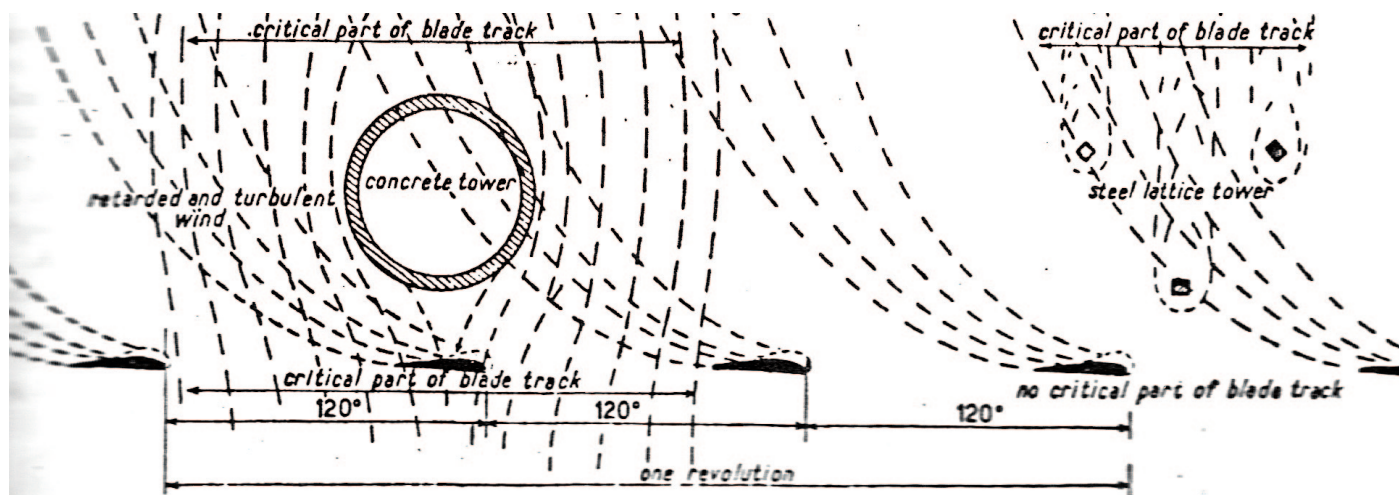
Møllehatten med gear og jævnstrømsdynamo var placeret på et kraftigt betontårn - og netop tårnet gjorde, at man fik nye erfaringer med de problemer, der kunne opstå ved en uheldig kombination af vinger og tårnkonstruktionen.



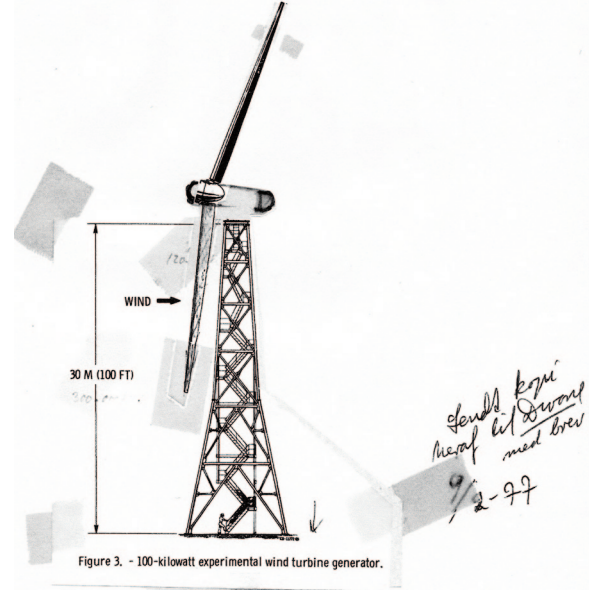
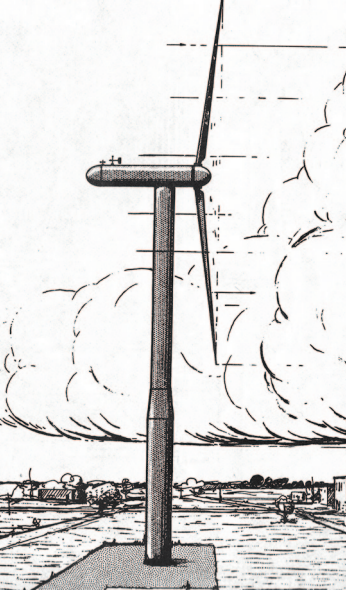
FLS "Aeromotor" med 3 vinget afstaget rotor foran betontårnet. (Ill. fra materiale i DVS-arkiv.)

De impulser, der kom ved vingerne passage af tårnet, ramte ved max. omdrejninger tårnets egen-svingningstal. Det gav vibrationer i tårnet og revner i betonen. De oprindeligt glatte betontårne fik derfor 4 udvendige afstivningsribber, der først var ført halvt op på tårnet, men på de sidst producerede af de 20 møller var ført helt op til toppen af tårnet.

At der også var tale om påvirkning af vingerne ved passage af tårnet, gav ikke umiddelbart problemer. Johannes Juul, der fra 1947 fortsatte vindmølleudviklingen, hvor Aeromotorerne slap, refererede dog i et indlæg på en UNESCO-konference i 1956, at der havde været træthedbrud i vinger på vindmøller



Johannes Juul's illustration af de kritiske områder foran og bag betontårne (t.v.) og gittertårne. (5)



Yderst t.v. Den første skitse fra 1974 til NASA's 100 kW Mod-0. De to midterste fotos viser den første udgave fra 1975 og møllen i 1976, da den indvendige trappe var fjernet. (Fotos: NASA - her vist spejlvendt) Yderst til højre Helge Claudi Westh's skitse, der blev sendt til Louis Divone 9/2 1977 (Materiale i DVS' arkiv).

med betontårne. Tilsvarende problemer havde man ikke haft ved møller med åbne gittertårne. Han advarede også om, at med vingerne på læsiden af gittertårne og specielt bag betontårne kunne der optræde endnu kraftigere påvirkninger: *“når man bruger møller med en konstruktion, hvor vingerne roterer bag (d.v.s. på læsiden af) tårnet, må der regnes med stødvise og højst skadelige belastninger på tårn og vinger”*.

Juul havde selv forsøgt sig med vinger, der var placeret bag tårnet. Hans første to-vingede forsøgsmølle fra 1950 var oprindeligt en “bagløber” men efter 3 måneders kørsel blev der skiftet til vinger foran møllen med afstivning til vingenavet.

Det var heller ikke Juul's idé, at den senere Gedsermølle skulle have betontårn. På hans første skitser af møllen havde den (ligesom de øvrige møller, han skitserede) gittertårn.

1974-77: Advarsler til NASA

I august 1974 deltog J.M. Savino og L.V. Divone fra NASA's amerikanske vindkraftprogram, i en international workshop i Stockholm. Fra dansk side deltog Jean Fischer fra FLS, den tidligere leder af “Aeromotor”-projektet Helge Claudi Westh, Niels Meyer fra Akademiet for de Tekniske Videnskaber (ATV) og Mogens Johanson fra Danske Elværkers Forenings Udredningsudvalg (DEFU).

Efter mødet i Stockholm var de to NASA-folk på besøg i Danmark, hvor man sammen med de 4 danske deltagere så på Juul's 200 kW forsøgsmølle og den trevingede FLS Aeromotor i Gedser.

Det førte dels til dansk-amerikansk samarbejde om nye målinger på Gedser-møllen, som omtalt i en anden artikel i dette årsskrift, dels til en løbende udveksling af tekniske erfaringer. Der var derfor i 1974-77 en intensiv korrespondance mellem Claudi Westh og Savino og Divone i USA.

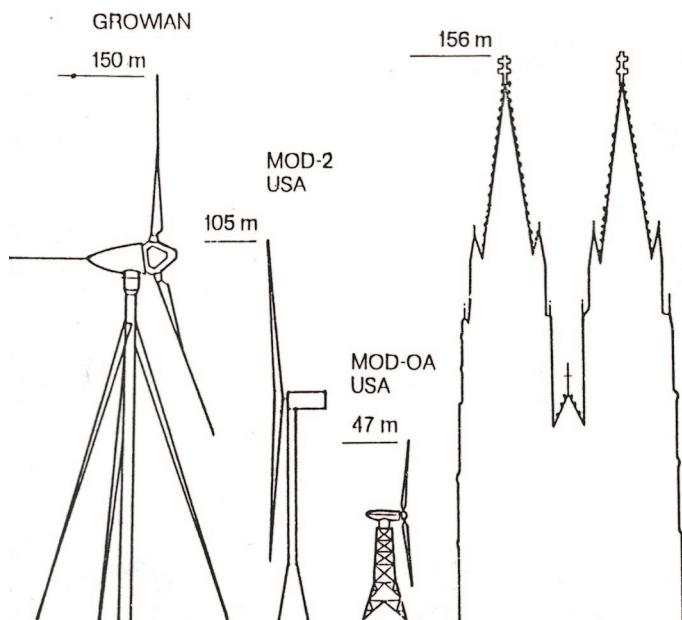
Claudi Westh fremhævede her flere gange fordelene ved den danske “upwind-løsning” (3 vinger placeret foran tårnet) og advarede om mulige problemer ved NASA's “downwind-koncept” med vingerne bag tårnet.

1975-77: NASA's Mod-0

På NASA's første 100 kW forsøgsmølle, Mod-0, var den 2-vingede rotor placeret bag tårnet - inspireret af Smith-Putnam møllen og især Hütters 200 kW. Der var oprindeligt kalkuleret med et rørtårn, men da egensvingningstallet (ca. 1,3 Hz) faldt sammen med frekvensen for bladpassagen for den 2 vingede rotor ved 40 o/min., blev der valgt et stivere gittertårn.

Allerede de første prøvekørsler af møllen i efteråret 1975 viste problemer med høje belastninger af vingerne. I 1976 forsøgte man at reducere “tårn skyggen” ved at fjerne en indvendig trappe i tårnet - og i et brev fra Savino til Claudi Westh i januar 1977 blev det slået fast, at på fremtidige store møller med “downwind-rotor” skulle tårnkonstruktionen være så åben som mulig. Beton-tårne, som man ellers også havde drøftet undervejs, var derfor foreløbig ude af billedet.

I sit svarbrev vedlagde Claudi Westh's bl.a. en skitse, hvor han med saks og tape havde flyttet rotoren på forsøgsmøllen om på den anden side af tårnet.



Den første amerikanske forsøgsmølle, MOD-0A, er her sammenlignet med den senere MOD-2 med vingerne foran tårnet og den tyske Growian. Deres størrelse sammenlignes med domkirken i Köln. (tegning i Growian-brochure fra M.A.N.)

I juli 1977 indrømmede Savino, at der kunne være betydelige fordele ved "upwind-løsningen" og fortalte, at man faktisk overvejede at lave forsøg med den på den amerikanske mølle. Disse forsøg blev gennemført og afrapporteret af NASA i 1980-81.(7) De nåede dog ikke at få konsekvenser for den næste 2 MW Mod-1, der også blev en bagløber. Først med den endnu større 2,5 MW Mod-2 fra 1982 rykkede vingerne om på den anden side af tårnet.

På det tidspunkt var "downwind-konceptet" med vingerne bag tårnet allerede blevet overtaget som standardløsningen på de fleste af de langt mindre amerikanske vindmøller, der blev opstillet under det voksende vindkraft-boom i Californien.

Udviklingen i Europa efter 1974

Også i Europa var Hütters mølle fra 1958 en vigtig inspirationskilde, da vindkraften igen kom på banen efter oliekriserne. Flere af de store forsøgsmøller, der blev bygget i 1970'erne var "bagløbere". Det gjaldt bl.a. en 3 MW mølle, der blev opført ved Maglarp i Skåne i 1982 og de noget mindre "Monopteros" møller med en enkelt vinge, der blev fremstillet af tyske MBB. Den største var på 700 kW.

Den suverænt mest markante af disse møller - og nok også den suverænt mest mislykkede - var Growian-møllen (Navnet stod for **GRO**sse **W**ind **AN**lage"), der blev opført tæt ved Nordsø-kysten i 1982 af 3 tyske el-selskaber. 3 MW møllen var med 100 m rotordiameter verdens hidtil største.

Det slanke rørtårn, afstivet ned barduner, og de to vinger bag tårnet fulgte Hütter's recept, men i vingerne var der var en bærende stålbjælke under glasfiber-skallen. Møllen, der havde kostet knap 90 mio. DM (ca. 330 mio. kr) nåede kun at køre 420 timer i de 5 år, den var i brug..



Growian-møllen (Foto: Flemming Hagensen)

Danske bagløber-møller 1975-85

I Danmark blev Hütter's mølle i 1975 en vigtig inspiration for folkene bag Tvind-møllen. Uheldigvis hentede de ikke blot inspiration til de selv bærende glasfiberarmerede vinger, men også til placeringen af dem bag tårnet. Derfor løb man ind i de samme problemer som FLS Aeromotorerne - blot forstærket af, at vingerne var bag betontårnet..

Man løste problemerne ved at begrænse omdrejnings-tallet, så vingeimpulserne aldrig kom op i nærheden af tårnets egenfrekvens. Det gik ud over produktionen, men var til gengæld en fordel for møllens holdbarhed. Og mens de andre store møller fra den periode forlængst er forsvundet, producerer Tvind-møllen stadig strøm mere end 30 år efter - selv om vingerne undervejs måtte udskiftes i 1992.

Tvinds lille PTG-mølle var også en bagløber, men var placeret på et slankt gittertårn, der var afstivet med barduner. Dens 4,5 m lange glasfiberarmerede vinger blev modellen for de følgende års danske møllevinger. og selve møllens konstruktion - incl. vingeplaceringen bag tårnet - blev også inspirationskilde for flere af de tidlige danske møller.

I første omgang handlede det om Adolphsen-møllen, der senere blev til Kuriant, en 15 kW mølle fra Jysk Vindkraft og adskillige selvbyggermøller. Senere kom der flere bagløbere til - bl.a. Odder-møllen og DWT's 2-vingede "Windane"-møller.



Tvind's PTG-mølle (Foto: Foto: Tvindkraft). Kuriant-mølle (Foto: Benny Christensen, DVS). Montage af rotor på Vølunds 265 kW mølle (Foto: Energimuseet). 300 kW DWT-møller ved Lynæs. (Foto: Flemming Hagensen)

Af dem fik kun Kuriant dog en reel succes på markedet. Den var til gengæld en sej overlever, som stadig kan ses i landskabet.

Det delvis statsejede firma DWT fremstillede de største bagløbere i denne periode. En 265 kW prototype blev opstillet ved Koldby nord for Højer i 1982. Møllen havde ikke nogen krøjemotor. I stedet var der bagest på vingeakslen placeret en stor rotor med faste blade, der skulle styrke mølletoppens evne til at selv at indstille sig efter vinden. Rotoren blev dog senere afmonteret.

En senere produktionsudgave fik 300 kW generator med rørtårn, der var slanket på den øverste halvdel for at minimere "tårnskyggen". Der blev dog ikke produceret ret mange - og DWT's sidste mølle fra 1987 (en 400 kW) havde vingerne foran tårnet.

Muligheder på de små møller

Trods mange forsøg med bagløbere blev det "danske koncept" med tre vinger foran tårnet dominerende - også internationalt. Der er dog stadig nicher, hvor bagløberne kan gøre sig gældende.



Gaia 11 kW møllen (Foto: Gaia-Wind)

På de små møller, der i Danmark betegnes som "husstandsmøller" (under 25 kW) eller "minimøller" (under 6 kW) kan man med fordel udnytte de økonomiske muligheder, der ligger i at krøjesystemet kan undværes og bladene kan gøres lettere og mere fleksible. Den populære danske 11 kW Gaia-mølle, der blev udviklet midt i 1990'erne, har et slankt gittertårn eller rørtårn og en møllehat med 2 blade, placeret i god afstand bag tårnet. Også flere af de udenlandske "minimøller" er bagløbere.

Her kunne historien om "bagvindsmøllerne" måske godt slutte - og så alligevel... I 2005 præsenterede Hitachi en 2 MW vindmølle, der var tilpasset det japanske hjemmemarked. "Tilpasningen" bestod i, at møllen med vingerne bag tårnet bedre kunne udnytte vindrige placeringer på skråninger, der vendte mod den fremherskende vindretning - altså præcis den samme filosofi, der lå bag Smith-Putnam møllen i 1939. I 2012 meddelte Hitachi, at også en 5 MW bagvinds-havmølle er under udvikling. Princippet skulle her gøre møllen mere robust overfor tyfoner og andre ekstreme vejrforhold. "Bagvindsmøllerne" rører altså stadig på sig...

1) Erling Kristensen: Mens vindrosen blomstrede, Hasselbalchs Forlag 1953, s.33.

2) Børge Larsen: Møller i Serritslev sogn. Fra land og by, Lokalhistorie fra Brønderslev og omegn, 1998.

3) Palmer Cosslett Putnam: Power from the wind, Van Nostrand Reinhold Company 1948

4) Peter Musgrove: Wind Power, Cambridge University Press 2010, s. 79-86

5) Johannes Juul: Wind Machines. Wind and solar energy, UNESCO Paris 1956, s. 68-69

6) Korrespondance i DVS-arkiv, Lem.

7) J.C. Glasgow et al.: Comparison of Upwind and Downwind Rotor Operations of the DOE/NASA 100 kW Mod-0 Wind Turbine. NASA TM-81744, 1981.

8) T. Matsunobu et al.: Development of 2-MW Downwind Turbine Tailored to Japanese Conditions, Hitachi Review, vol. 58, no.5. October 2009, s. 213-217