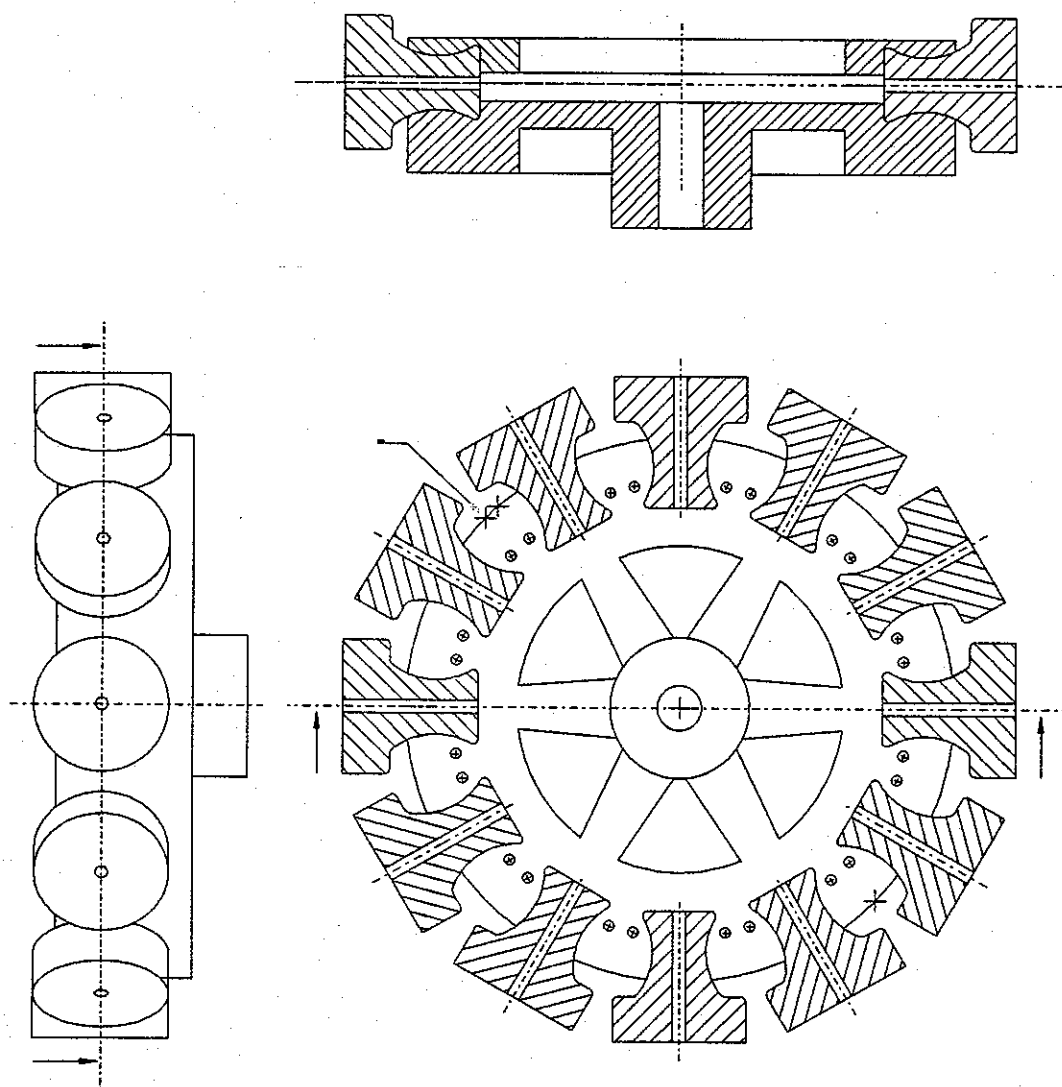


"Skitser og forundersøgelser til konstruktion af et vindmøllenav til en husstands-mølle (vingediameter 4-5 meter), som giver mulighed for montering af et variabelt antal vinger, således at møllen kan tilpasses vindforholdene på opstillingsstedet. Konstruktionen skal blandt andet optimeres ud fra relevante effektkurver for det varierende antal vinger"



Udarbejdet af:

Jørn Holm

Nordvestjysk Folkecenter
for Vedvarende Energi

December 1993



"Skitser og forundersøgelser til konstruktion af et vindmøllenav til en husstandsmølle (vingediameter 4-5 meter), som giver mulighed for montering af et variabelt antal vinger, således at møllen kan tilpasses vindforholdene på opstillingsstedet. Konstruktionen skal blandt andet optimeres ud fra relevante effektkurver for det varierende antal vinger"

Udarbejdet af:

Jørn Holm

Nordvestjysk Folkecenter
for Vedvarende Energi

December 1993

ISBN 87-7778-042-6

FC-tryk

december 1993

Indholdsfortegnelse

	<u>Side</u>
1. Opgaveformulering og afgrænsning	1
2. Omtale af teori om vindmøller	2
3. Kravspecifikation	7
4. Undersøgelse af andres løsning af opgaven	7
5. Skitser af løsningsmuligheder	8
6. Beregninger af effektkurver	14
7. Beregninger af årsproduktion	17
8. Styrkeberegninger	18
9. Konklusion	20

Bilag:

- 6 sider uddata fra programmet AERODYN
- 5 sider uddata fra programmet EFFEKTDESIGN
- 6 sæt udskrifter fra programmet LOAD

Referencer:

- 1. Jacob A. Chr. Bugge, Bogen om vindmøller, Clausen Bøger, ASCHEHOUG KØBENHAVN 1978
- 2. Niels Vilsbøll, Råd og vejledning

1. Opgaveformulering og afgrænsning

Hovedparten af de vindmøller der produceres idag både i Danmark og udlandet er store vindmøller, d.v.s. møller med en max. effekt på mere end 100 kW. Men der arbejdes i øjeblikket, både politisk og i mindre virksomheder, med at udvikle det man kalder husstandsmøller. Udbygningen af vindenergi i Danmark er løbet ind i problemer med diverse myndigheder og interesseorganisationer. Idéen er dels at mange mennesker godt kunne tænke sig at have deres egen vindmølle, og dels at husstandsmøller er så relativt små, at de ikke, som nogen synes, skæmmer landskabet på samme måde som store møller. Husstandsmøller kan muligvis være med til at øge udbygningen af vindkraft, således at målene i Energi2000 handlingsplanen kan nås. En husstandsmølles max. effekt ligger på mellem 5 og 20 kW.

Som et led i denne udvikling, har Niels Vilsbøll haft en idé om, at det muligvis kunne være en fordel, hvis man kunne variere antallet af vinger på en sådan husstandsmølle. Dette er baggrunden for for den opgaveformulering, som er fremsendt og lyder som følger:

"Skitser og forundersøgelser til konstruktion af et vindmøllenav til en husstandsmølle (vingediameter på 4-5 m), som giver mulighed for montering af et variabelt antal vinger, således at møllen kan tilpasses vindforholdene på opstillingsstedet. Konstruktionen skal blandt andet optimeres ud fra relevante effektkurver for det varierende antal vinger"

Da hele området omkring vindmøllers design og dimensionering er ret kompliceret, er der tidsmæssigt ikke mulighed for at lave håndberegninger, som dokumentation for resultaterne af de benyttede programmer.

Da en stor del af denne opgave bygger på grundlæggende forhold og begreber indenfor vindenergi, har jeg valgt at indlede med kort at beskrive det helt grundlæggende indenfor emnet. Min kilde til dette er Jacob A. Chr. Bugges bog "Bogen om vindmøller".

2. Omtale af teori om vindmøller

Bevægelsesenergien af en luftmasse er summen af de enkelte partiklers bevægelsesenergi. Luftens massefylde, ρ , kan betragtes som konstant i hele luftmassen og uafhængig af den lokale hastighed. Bevægelsesenergien af en kubikmeter luft er:

$$E = \frac{1}{2} \cdot 1 \text{ m}^3 \cdot \rho \cdot v^2$$

Det er her forudsat, at vindhastigheden er konstant i alle tværsnit af strømmingen.

Værdien af ρ sættes til $1,25 \text{ kg/m}^3$. Dette svarer til tryk og temperatur på hhv. 1013 mbar og $9,2^\circ\text{C}$. Værdien af $\frac{1}{2} \cdot \rho$ er dermed $0,625$.

Den luftmængde pr. sekund, der strømmer gennem et tværsnit af størrelsen A , er $A \cdot v$. Den effekt, der er til rådighed i tværsnittet A , er derfor:

$$P = \frac{1}{2} \cdot 1 \text{ m}^3 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot v = 0,625 \cdot v^3 \cdot A$$

Den teoretisk udnytbare andel af effekten er bestemt til $16/27$. Denne andel svarer til, at vindhastigheden i tværsnittet A og i kølvandet er hhv. $2/3$ og $1/3$ af den frie vindhastighed. I praksis er det imidlertid ikke muligt at opnå denne udnyttelse med vindmøller. Det skyldes to ting: For det første omsættes en del af energien til indre bevægelser i luftmassen (turbolens). For det andet er vindhastigheden ikke konstant i den del af luftmassen, der passerer gennem A . I virkeligheden er der en jævn overgang fra det inderste af tværsnittet til den uforstyrrede strømning.

Den andel af luftens effektindhold, som en vindmølle udnytter, betegnes effektkoefficienten, C_p .

$$C_p = \text{udnyttet effekt} / 0,625 \cdot v^3 \cdot A \quad (\text{teoretisk maksimum værdi} \\ = 16/27 \approx 0,59)$$

$$\eta = C_p / (16/27) = 27 \cdot C_p / 16$$

En sammenligning af forskellige vindmøllers virkningsgrad gælder ofte specielt den højeste virkningsgrad, der kan opnås med de pågældende møller.

Den uregelmæssige del af vindens turbolens giver anledning til stødpåvirkninger, som må optages i de konstruktionsdele, der bliver udsat for dem. Det er derfor nødvendigt, at tage hensyn til disse påvirkninger, når man opstiller de styrkekrav, som en vindmølle skal leve op til. Det har i første række betydning at vide, hvor voldsomme stødpåvirkninger, møllen kan forventes at komme ud for overhovedet. En hvirvel kan opleves som et vindstød, et vindspring (ændring i vindretningen) eller en kombination af begge dele samtidig, alt afhængig af, hvor man befinder sig i forhold til hvirvlen. Normalt vil det være på den sikre side at regne med en største hvirvelstyrke på 80% af vindhastigheden. Dette svarer til en ændring i vindhastigheden på højst 80 % uden samtidigt vindspring. Tilsvarende kan man regne med et rent vindspring på højst 47°.

En vindmølles spidshastighed $v(\text{spids})$ defineres som den største tangentialhastighed på bladene, d.v.s. hastigheden af de punkter på bladene, der befinder sig længst sig længst væk fra akslen:

$$v(\text{spids}) = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot f = \omega \cdot R$$

hvor R er rotorens radius, medens f er omdrejningsfrekvensen i omdrejninger/sekund (o/s) og ω er vinkelhastigheden i radianer/sekund (r/s).

Hastighedsforholdet λ defineres som forholdet mellem den frie vindhastighed v og spidshastigheden:

$$\lambda = v/v(\text{spids})$$

Det omvendte forhold,

$$v(\text{spids})/v = 1/\lambda$$

kaldes spidshastighedsforholdet og betegnes normalt X .

Startvindhastigheden $v(\text{start})$ og slutvindhastigheden $v(\text{slut})$ for en vindmølle defineres som hhv. mindste og største driftsvindhastighed.

Den resulterende vindhastighed $v(\text{res})$ defineres som den vindhastighed, som et punkt på det enkelte blad oplever, d.v.s. den lokale vindhastighed $v(\text{lokal})$ minus punktets egen hastighed $v(\text{blad})$.

Bredden af det enkelte mølleblad på et givet sted betegnes c (chorden).

r betegner lokal radius i bevægelsen for et punkt på det enkelte blad, d.v.s. afstanden fra punktet til akslen.

Antallet af blade betegnes N .

A betegner det bestrøgne rotorareal, medens $A(\text{blad})$ er arealet af det enkelte blad.

Rotorens højde betegnes L

Et fælles træk for alle vindmøller er, at effektkoefficienten C_p har maksimum for en bestemt værdi af λ . Der er derfor tale om en optimal driftstilstand for enhver vindmølle, nemlig:

$$\lambda = \lambda(\text{max}) \Leftrightarrow C_p = C_p(\text{max})$$

Den effekt i W/m^2 , som en vindmølle udvinder, er givet ved:

$$P = 0,625 \cdot v^3 \cdot C_p$$

idet $0,625 \cdot v^3$ er vindens effektindhold i W/m^2 .

Størrelsen $\lambda^3 \cdot C_p$ anvendes til at udtrykke forløbet af $P(\text{rotor})$. Et eventuelt maksimum for denne $\lambda^3 \cdot C_p$ forekommer altid ved en λ -værdi $\lambda(P_{\text{max}})$, der er større end $\lambda(\text{max})$. Dette skyldes, at λ^3 vokser med λ . $\lambda^3 \cdot C_p$ udtrykker direkte variationen af effektafgivelsen med vindhastigheden, når rotorens omdrejningshastighed er konstant. Denne situation optræder for alle møller, når de udsættes for vindstød. Endvidere giver $\lambda^3 \cdot C_p$ et udtryk for startmo-

mentet; hvis $\lambda^3 \cdot C_p$ bliver ved med at vokse tydeligt med λ , er startmomentet stort. Hvis derimod $\lambda^3 \cdot C_p$ bliver konstant eller aftager over en vis λ -værdi, har møllen kun et lille startmoment. Startsituationen, hvor rotoren står stille, svarer nemlig til, at λ er ubegrænset stor. Et stort startmoment bevirker, at rotoren starter hurtigt, medens en rotor med lille startmoment kun langsomt løber op i fart.

Forholdet mellem det samlede bladareal og rotorens bestrøgne areal kaldes arealforholdet S:

$$S = N \cdot A(\text{blad}) / A$$

Ved lodretakslede vindmøller anvendes tillige bladbreddeforholdet B:

$$B = N \cdot c / R$$

d.v.s. forholdet mellem den samlede bladbredde og møllens radius.

Fremdrivningsprincip:

Her skelnes mellem modstandstypen og opdriftstypen.

Modstandstypen er karakteriseret ved, at bladene virker som plader, der står omtrent vinkelret på den resulterende vindretning, og hvis strømningsmodstand driver møllen, idet vinden simpelthen søger at skubbe bladene væk.

Modstanden på et stykke af bladet kan udtrykkes som:

$$0,625 \cdot v(\text{res})^2 \cdot \Delta A \cdot C_d,$$

hvor C_d er modstandskoefficienten og ΔA er arealet af det pågældende stykke.

På møller af opdriftstypen virker bladene som vingeprofiler med lille modstand og stor opdrift. Opdriften kan udtrykkes som:

$$0,625 \cdot v(\text{res})^2 \cdot \Delta A \cdot C_l,$$

hvor C_l er opdriftskoefficienten.

Drivkraften i en opdriftsmølle er forskellen mellem opdriftens og modstandens projektion på bladets bevægelsesretning.

Omdrejningshastighed:

For en given effekt, som en rotor udvinder, er drivmomentet omvendt proportionalt med omdrejningshastigheden ($P=M \cdot \omega$).

Dette forklarer, hvorfor omdrejningshastigheden er afgørende for en vindmølles anvendelsesområde. En langsomtgående mølle er således velegnet, når det primære krav er stort drivmoment, som f.eks. ved stempelpumper og langsomtgående kraftmaskiner. Den er derimod mindre egnet, når energiomsætningen kræver en høj omdrejningshastighed som f.eks. ved elfremstilling. Dette skyldes, at det her er nødvendigt med en stor udveksling, der skal holde til et unødigt stort drivmoment.

Det omvendte forhold gælder for hurtiggående møller. Anvendelsesområdet er dog bredere for disse, idet det sjældent vil være nødvendigt ligefrem at geare ned selv ved en meget hurtiggående vindmølle. Gennemgående kræver de hurtiggående møller en mere kompliceret udformning, men har samtidig en højere virkningsgrad samt et mindre arealforhold og dermed materialeforbrug.

Inden for fælles anvendelsesområder er det forarbejdningsgraden over for materialeforbruget under hensyntagen til virkningsgraden, der bør afgøre valget af mølletype.

Generelt har langsomtgående møller en lavere virkningsgrad end hurtiggående møller. Dette skyldes, at de gennemgående frembringer en kraftigere indre bevægelse af luftmassen (turbolens). Herved mindskes den del af vindens energi, der kan nyttiggøres.

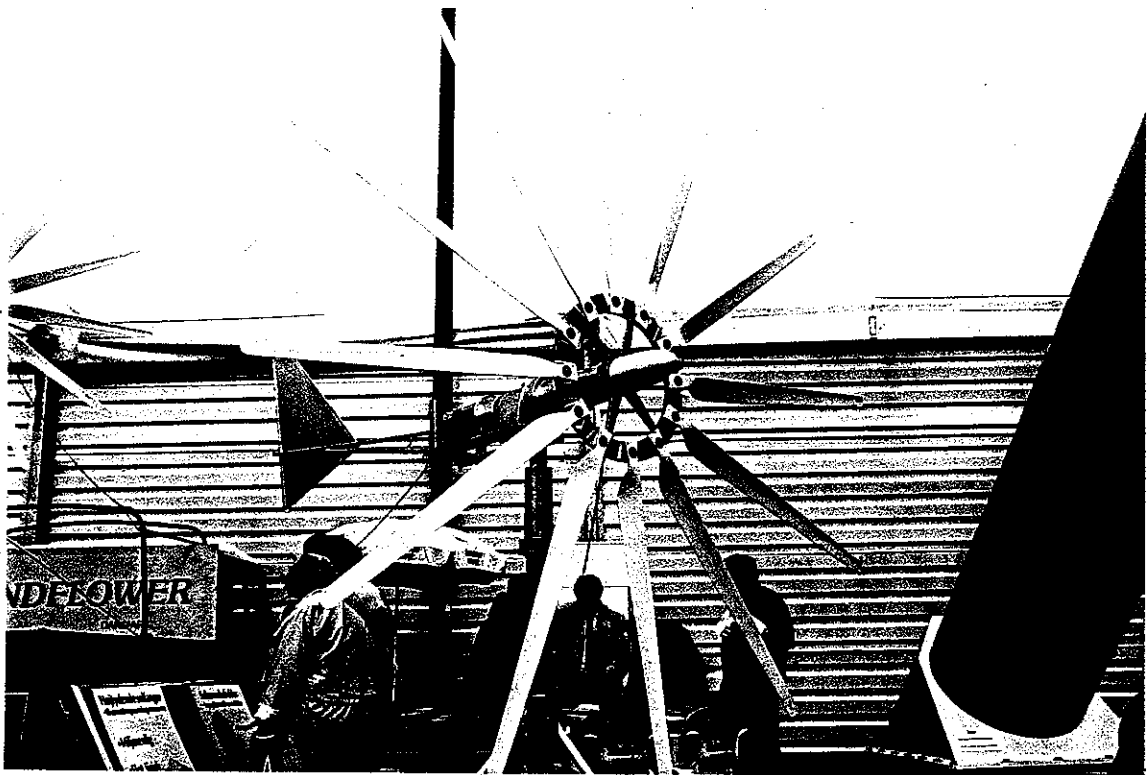
3. Kravspecifikation

Der er følgende krav til navet:

- Navet skal udvikles til et horisontalakslet mølle af opdriftstypen
- Navet skal kunne monteres med et variabelt antal vinger
- Navet skal kunne monteres med ekstruderede vingeprofiler
- Tip vinklen skal kunne justeres
- Navet skal have få indgående dele
- Navet må ikke være væsentligt dyrere end almindeligt nav

4. Undersøgelse af andres løsning af opgaven

I min søgen efter andres løsning af opgaven har jeg kun kunnet finde en enkelt, nemlig et nav der sidder på en 4 kW vindmølle, der sælges af Claus Nybroe:

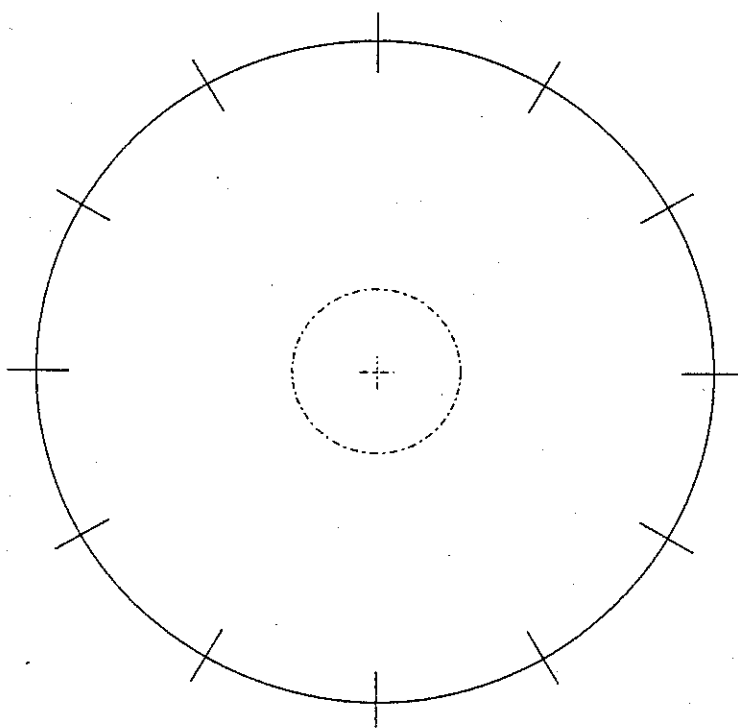


Navet er kendetegnet ved, at vingerne blot boltes fast uden mulighed for at variere pitch vinklen. Vingeroden og navet er i samlingen udformet således at de to kiles sammen p.g.a. centri-

fugalkraften. Men det betyder også, at vingeroden bliver smalle-
re udefter, hvorved der opstår en ubehagelig kær, som måske
giver problemer.

5. Skitser af løsningsmuligheder

Inden jeg lavede skitser blev det fastlagt hvor mange vinger
navet skulle kunne monteres med. Dette vil afhænge af det maksi-
male antal vinger som navet konstrueres til. En tegning illu-
strerer 'problemet':



Angivelse af
fæstningspunk-
ter til vinger
på nav til hhv.
2,3,4,6,12 vinger

På navet ovenfor er det maksimale antal vinger 12 og dermed fås,
som angivet, mulighed for at montere 2,3,4,6 og 12 vinger (disse
antal går op i 12). Hvis man valgte at sætte et andet antal
vinger på navet en angivet, ville der opstå problemer med uba-
lance og dermed uhensigtsmæssig drift og ekstra slitage på lejer
m.v.

Her følger en liste over mulige antal vinger:

Max antal:	Muligheder:	Max. antal:	Muligheder:
2	2	3	3
4	2,4	5	5
6	2,3,6	7	7
8	2,4,8	9	3,9
10	2,5,10	11	11
12	2,3,4,6,12	13	13
14	2,7,14	15	3,5,15
16	2,4,8,16	17	17
18	2,3,6,9,18	19	19
20	2,4,5,10,20	21	21
22	2,22	23	23
24	2,3,4,6,12,24		

Som det fremgår af ovenstående, er der kun følgende muligheder for at lave et multi vinget navn med mere end 3 valgmuligheder:

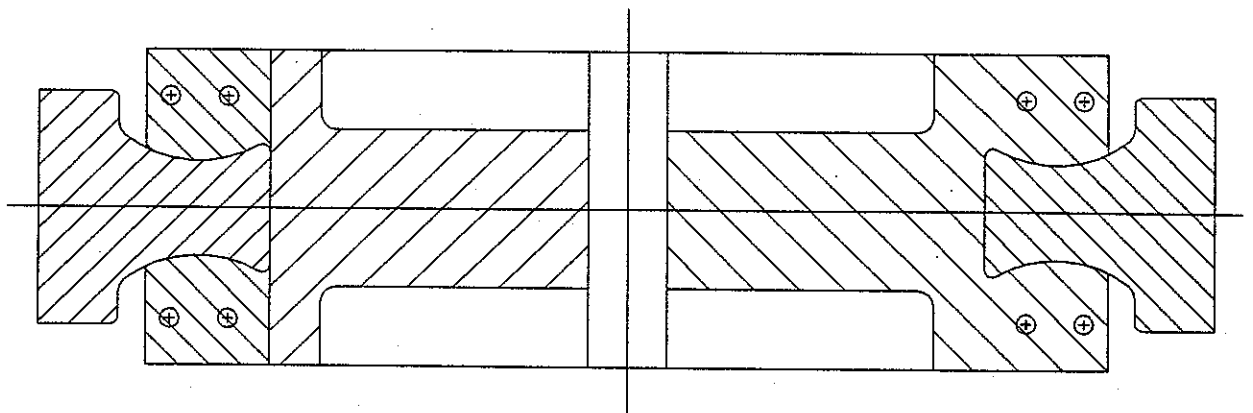
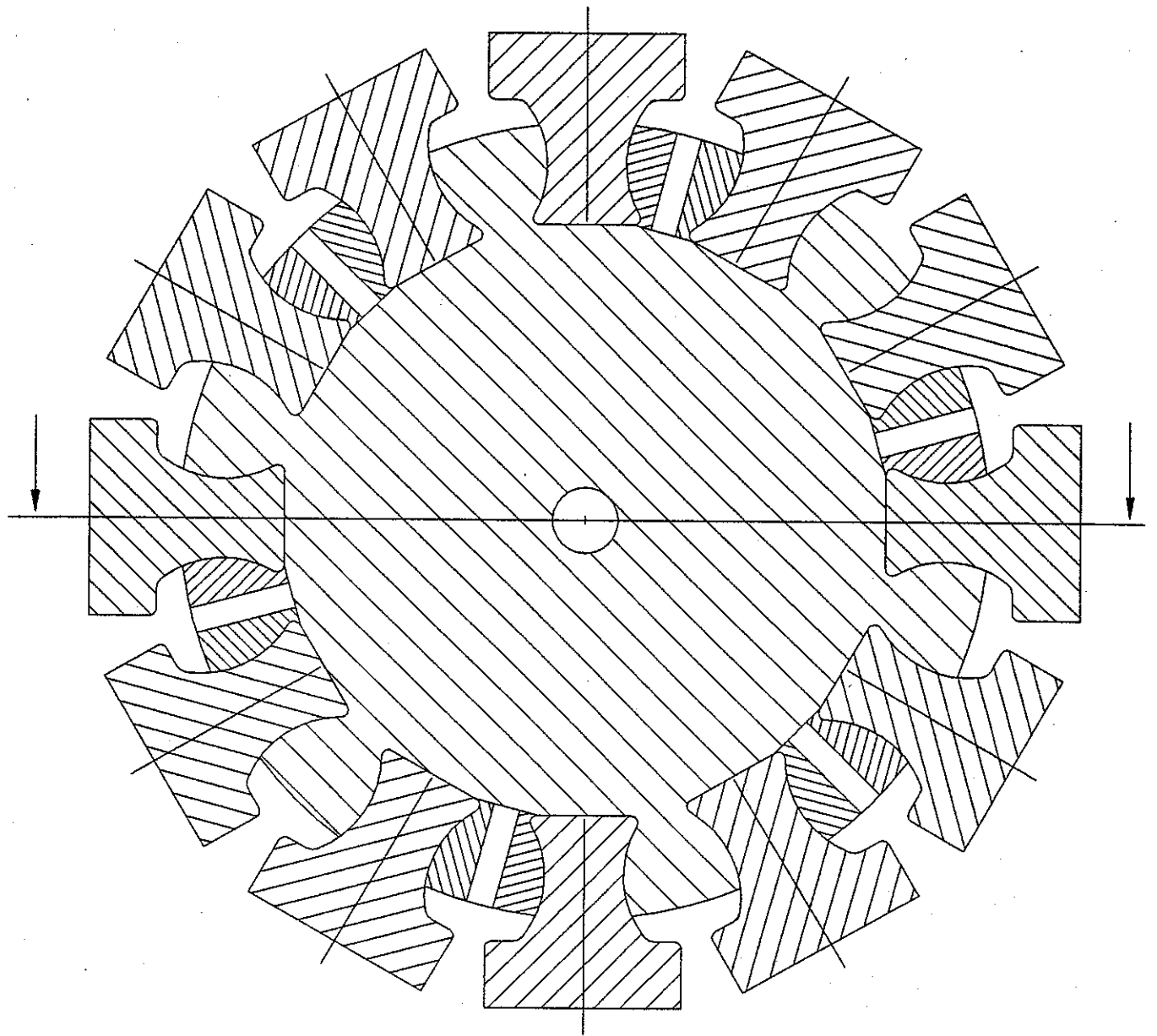
12, 16, 18, 20 og 24

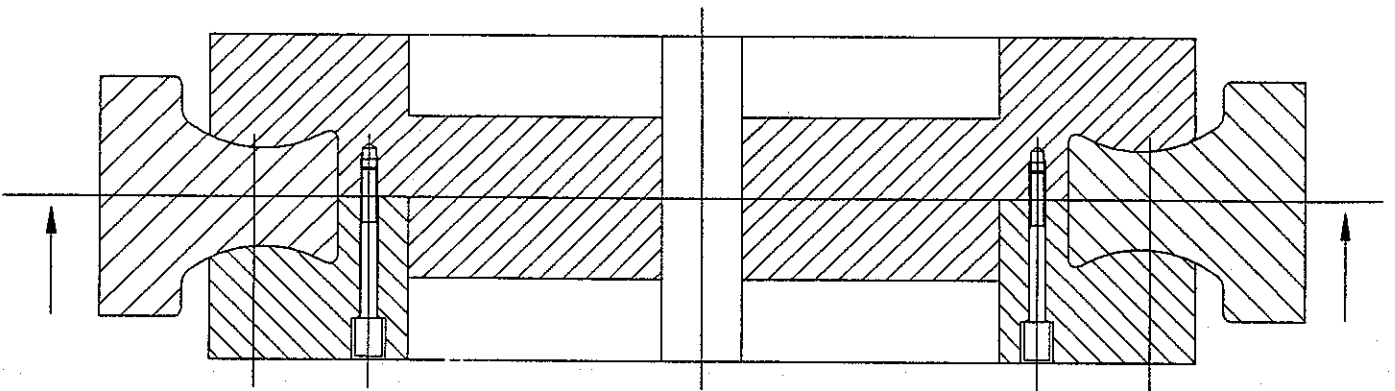
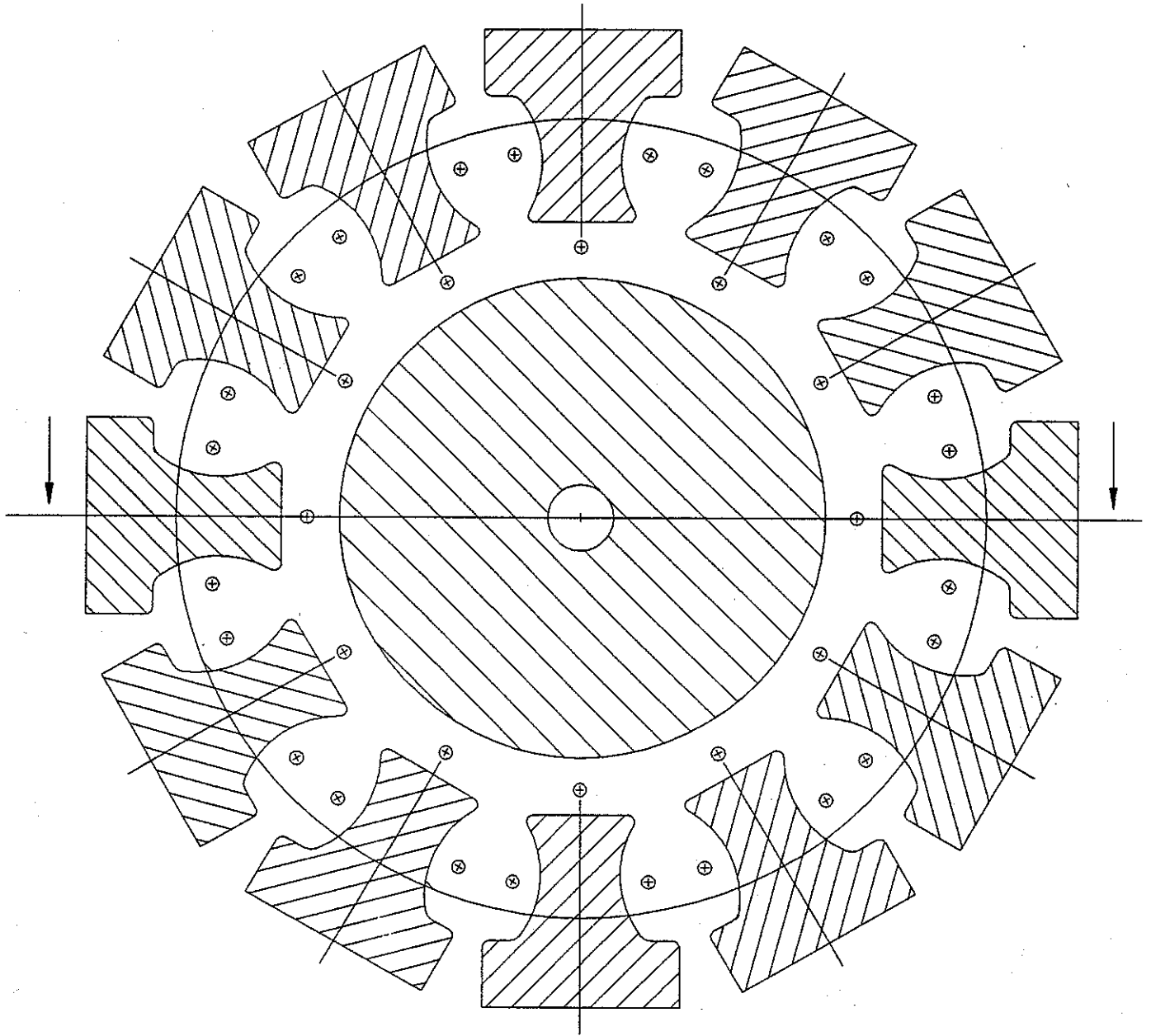
Af disse valgte vi at gå videre med navet, hvor der er plads til maksimalt 12 vinger, da der ikke vindes meget ved at montere mere end 12 vinger og de øvrige muligheder giver ikke bedre kombinationer.

Efter at dette var fastlagt gik jeg igang med at skitsere nogle forskellige muligheder for udformning af navet. Efter at have drøftet opbygningen nåede vi frem til at rotoren, d.v.s. navn og vinger, skulle bestå af 3 dele:

1. Det egentlige navn
2. Vingeroden
3. Vingen (monteres på vingeroden)

Det afgørende er fastgørelsen af vingeroden i navet. Vingen skal dels fastgøres forsvarligt og man skal undgå kærve i overgangen fra navn til vingerod. På de følgende to sider har jeg skitseret to alternative muligheder for design af navet:





De to skitser varierer ved måden hvorpå vingeroden fastgøres til navet. På den første skitse monteres dæksler fra siden, som møder selve navet i flanger over vingeroden. På den anden skitse fastgøres vingeroden ovenfra, enten med en ring eller med beslag.

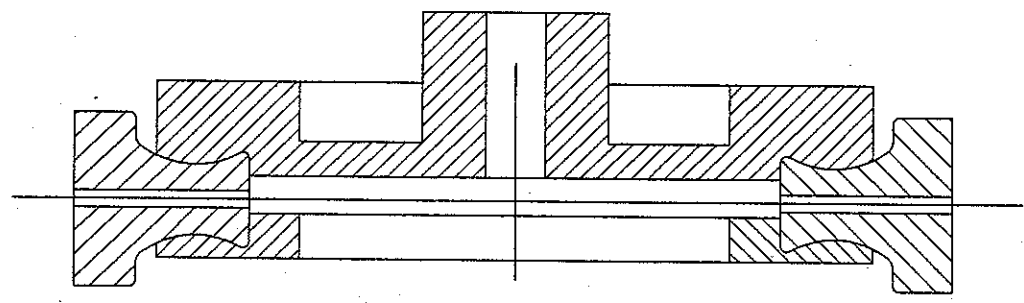
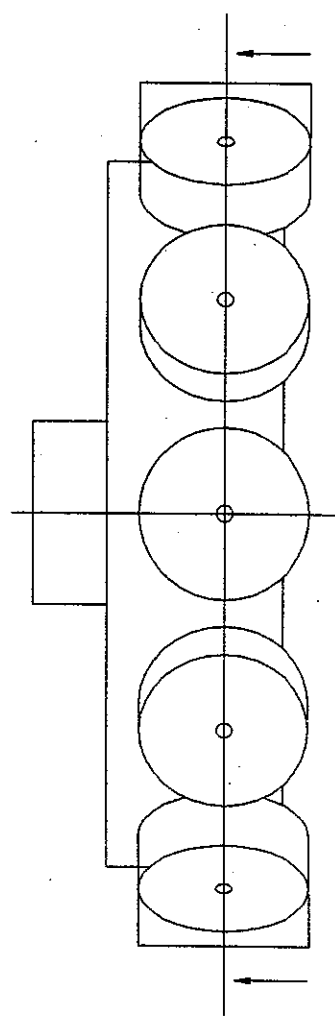
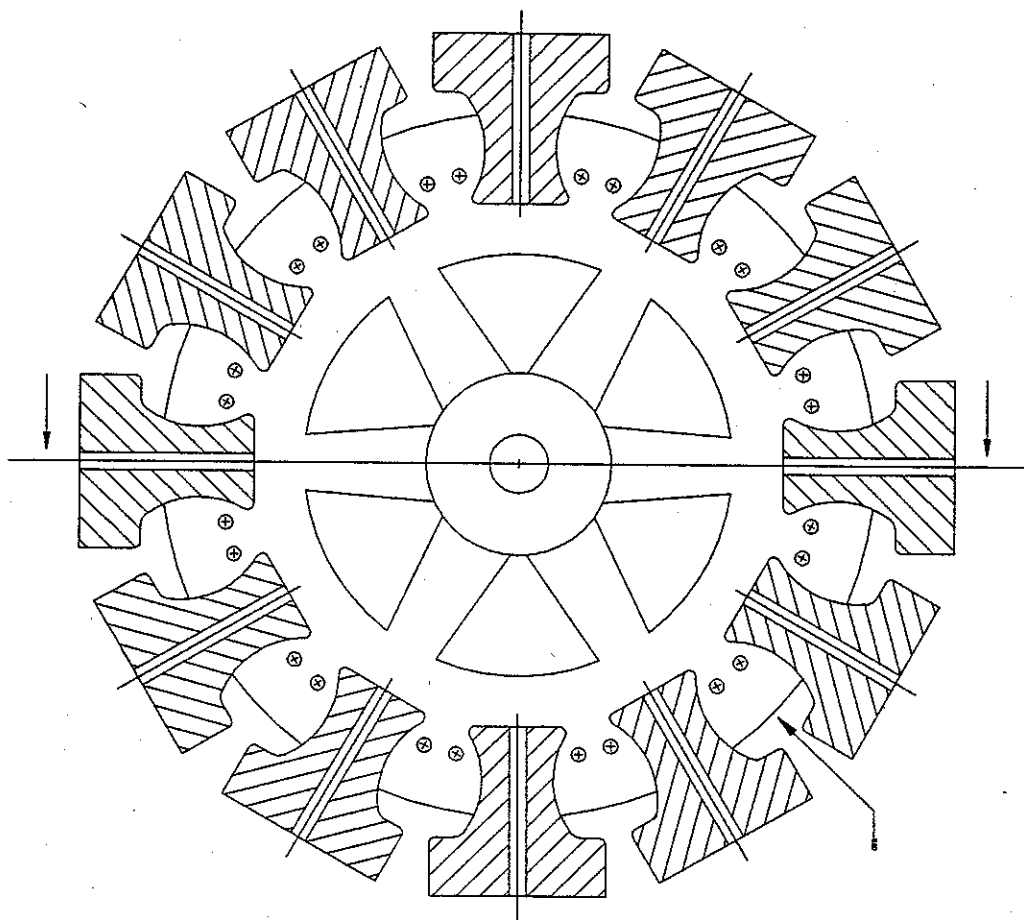
Udformningen af vingerodens facon har 3 formål:

1. At undgå kærsvirkning
2. At fastholde vingeroden radielt
3. At give mulighed for justering af tip vinklen

I stedet for at runde kan vingeroden naturligvis også udformes med som et X, kun med rounding på midten. Vi blev hurtigt enige om, at af de to muligheder var løsningen med fastgørelse af vingeroden ved montering af en ring eller beslag ovenfra det bedste. Jeg erfarede imidlertid at der er et væsentligt problem med de to skitserede løsningsforslag. Der er ikke plads til at der kan monteres et system til sikkerhedsbremser i form af tip bremses. D.v.s. et system, hvor det yderste af vingen drejer 90° i tilfælde af at møllen løber løbsk. Det kan f.eks. ske, hvis der sker netudfald, således at generatoren ikke er koblet til nettet og dermed ikke er låst i et fast omdrejningstal. Tip bremsen fungerer således, at tip bremserne under drift holdes fast af f.eks. fjedre. I tilfælde af at omdrejningstallet stiger, så stiger også centrifugalkraften og dermed kraften på fjedrene, som forlænges og giver mulighed for vinge tipperne til at bevæge sig udad i et spor, der drejer, således at vinge tipperne drejes.

Jeg måtte derfor i gang med at lave plads til et sådant system, som jeg havde set fungere på 5 kW møllen. Der skulle dels laves plads inde i midten af navet, således at systemet kan monteres på akslen og dels skal der bores ud i vingeroden. Samtidig ville jeg nedbringe godsmængden for at reducere vægten. Det kunne bl.a. gøres ved at montere "eger" mellem det indre og det ydre af navet.

På næste side ses den modificerede skitse af navet med de ovenfor beskrevne ændringer.



6. Beregninger af effektkurver

Efter at have skitseret mulige udformninger af navet gik jeg igang med at køre computerberegninger med henblik på at bestemme de årlige produktionstal i kWh for de 5 alternative udformninger for en mølle med en rotor diameter på 5 m. Beregningerne består af 2 faser:

1. Bestemmelse af det optimale omdrejningstal og den optimale tip vinkel for hvert af de fem alternativer af og dermed bestemmelse af den bedst mulige effektkarakteristik
2. På baggrund af resultaterne af 1), beregning af den forventede årlige produktion i kWh for hvert af de fem alternativer

Denne proces er ret langsommelig, idet jeg ikke på forhånd kendte det optimale omdrejningstal og den optimale tipvinkel for en mølle med 2 vinger, 3 vinger o.s.v. Jeg var derfor nødt til for hvert alternativ at køre beregninger for et interval af omdrejningstal kombineret med beregninger for et interval af tip vinkler.

Hele ideen med dette projekt er jo, at skabe et nav der kan monteres med et variabelt antal vinger, således at der monteres mange vinger i lavvindsområder og få vinger i højvindsområder. En mølle med mange vinger kan nemlig bedre udnytte vindressourcerne i et lavvindsområde. Jeg skulle derfor optimere effektkarakteristikken for det enkelte alternativ. D.v.s. at en mølle med mange vinger skulle producere godt i lavvindsområdet og en mølle med få vinger skulle producere godt i områder med højere gennemsnitsvindhastighed.

Programmet jeg anvendte hedder AERODYN og det er udviklet af VE-data i Aalborg. Som inddata kræver programmet:

1. Rotornavn (det man ønsker af kalde sin udfil)
2. Profildata fil (vingeprofil type)

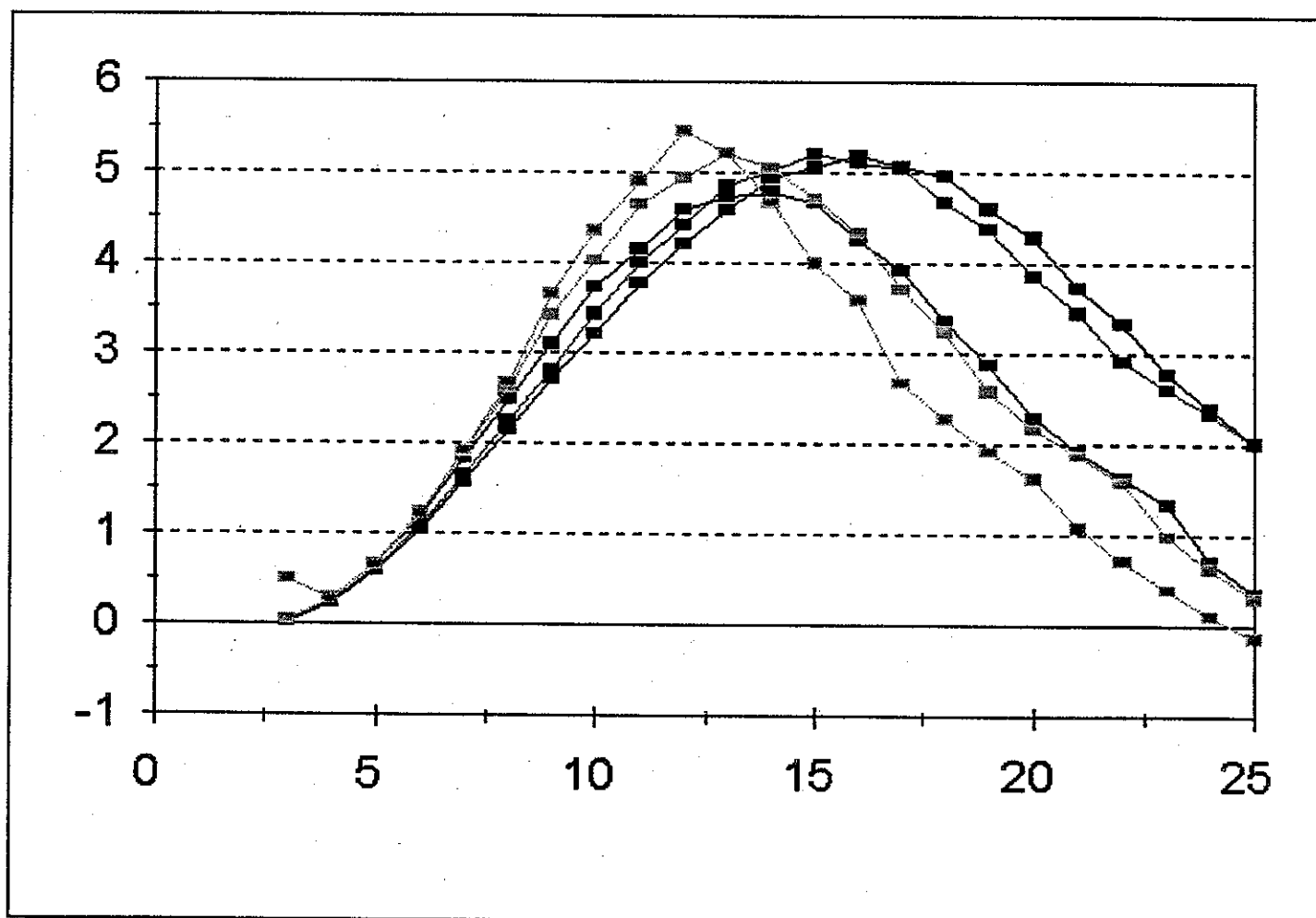
3. Bladdata: Kordelængde, vingevridning og profiltykkelse som funktion af radius
4. Bladantal
5. Rotordiameter
6. Omdrejningstal (fra, til, step)
7. Tipvinkel (fra, til, step)
8. Vindhastighed (fra, til, step)
9. Luftens massefylde

Jeg prøvede mig først frem med nogle anslåede værdier af omdrejningstal og tipvinkel og skød mig på den måde ind på det område, der var interessant. Jeg startede med beregninger for en rotor med 2 vinger og vidste, at omdrejningstallet går ned når antallet af vinger stiger. Alle beregningerne blev kørt for vindhastigheder mellem 2 og 25 m/s, da næsten alle møller idag dimensioneres til at kunne være i drift op til 25 m/s. Jeg satte luftens massefylde til $1,23 \text{ kg/m}^3$, som er den normale værdi man regner med i Danmark. Oplysningerne om bladdata svarer til en normal rotor på en mølle af den størrelse, der er tale om.

På næste side har jeg samlet tallene for den beregnede effekt som funktion af vindhastigheden for hver af de 5 varianter af møller, som jeg nåede frem til havde den bedste effektkarakteristik. Nedenunder tabellen har jeg lavet kurver for tallene. Som det fremgår, både af tal og kurver, ligger effektkarakteristikkerne således, at møller med få vinger er bedst ved højere vindhastighed og vice versa.

Jeg har som bilag vedlagt udskrift af inddate for beregningen på 2 vinge møllen samt udskrift for hver af de 5 varianter. Den eneste oplysning på udskrifterne der er interessant i denne sammenhæng, udover sammenhængen mellem vindhastighed og effekt, er effekt koefficienten c_p , der jo som tidligere beskrevet har et teoretisk maksimum på 0,59. Af bilagene fremgår, at man kan opnå en højere udnyttelsesgrad, når antallet af vinger vokser.

Vind (m/s)	Effekt (kW)				
	2 vinger	3 vinger	4 vinger	6 vinger	12 vinger
3	0.023	0.024	0.047	0.047	0.51
4	0.245	0.252	0.284	0.287	0.282
5	0.589	0.602	0.662	0.674	0.657
6	1.045	1.08	1.187	1.231	1.211
7	1.58	1.657	1.842	1.913	1.928
8	2.164	2.253	2.484	2.613	2.678
9	2.717	2.819	3.104	3.415	3.655
10	3.223	3.435	3.737	4.027	4.357
11	3.78	4.011	4.15	4.658	4.914
12	4.219	4.419	4.593	4.941	5.471
13	4.59	4.863	4.74	5.225	5.223
14	4.948	5.034	4.788	5.054	4.667
15	5.061	5.218	4.665	4.717	3.996
16	5.188	5.121	4.257	4.345	3.591
17	5.07	5.041	3.918	3.722	2.681
18	4.966	4.68	3.35	3.248	2.281
19	4.601	4.379	2.881	2.583	1.93
20	4.286	3.867	2.297	2.182	1.621
21	3.737	3.457	1.918	1.88	1.083
22	3.342	2.934	1.628	1.599	0.717
23	2.773	2.619	1.349	0.993	0.397
24	2.399	2.344	0.712	0.644	0.112
25	2.009	2.019	0.367	0.312	-0.127



7. Beregninger af årsproduktion

Efter at have fastlagt effektkurver for hver af de fem møller, er spørgsmålet hvor meget hver enkelt vil producere på årsbasis i kWh under forskellige vindhold.

Til beregning af dette benyttes et program, som Folkecenteret selv har udviklet. Programmet benytter det der kaldes en Rayleigh-fordeling af vindhastigheden, som passer på danske vindforhold. Den årlige middelvindhastighed i Danmark ligger typisk på mellem 4 og 6 m/s. Inddata til programmet er:

1. Effektkarakteristik (effekt som funktion af vind)
2. Stopvindhastighed (max. vind møllen producerer ved)
3. Middelvindhastigheder, som man ønsker beregning for

Udskrifterne af beregningerne er vedlagt som bilag. Resultaterne af beregningerne er således:

Middelvind- hastighed (m/s)	Årlig produktion i kWh				
	2 vinger	3 vinger	4 vinger	6 vinger	12 vinger
3	1688	1729	1825	1890	1869
3,5	2860	2947	3139	3265	3266
4	4284	4437	4746	4975	5030
4,5	5900	6130	6554	6925	7058
5	7660	7972	8509	9022	9270
5,5	9497	9915	10500	11100	11500
6	11300	11800	12400	13300	13600
6,5	13200	13700	14300	15300	15700
7	15000	15600	16100	17200	17500

Som det fremgår af tabellen viser tallene ikke den tendens, som vi havde regnet med, nemlig at møllerne med 2,3 eller 4 vinger producerer mere end 6 eller 12 vinge møllerne, når middelvindhastigheden er høj. Idet vi forudsætter at usikkerheden på beregningerne er relativt små, så må man konkludere at jo flere vinger der monteres på møllen, jo højere produktion opnår man.

Men der er andre forhold der skal tages i betragtning, når man skal overveje, hvor mange vinger der skal monteres på møllen (overvejelserne forenkles ved kun at inddrage 3 bladede og 12 bladede møller):

Fordele ved 3 bladede møller contra 12 bladede:

1. 3 bladede har lavere omkostninger til vinger
2. 3 bladede har dermed mindre tab i transmissionssystemet
3. 3 bladede kræver mindre opgearing (billigere) og kan evt. sluttes direkte til en permanent magnetiseret generator (pmg)

Ulemper ved 3 bladede møller contra 12 bladede:

1. Mindre produktion
2. Mere støj p.g.a. højere omdrejningshastighed

12 bladede møller har den fordel, i forhold til f.eks. 3 bladede, at man i områder med lav vind kan forøge rotordiameteren p.g.a. lavere laster på den enkelte vinge.

12 bladede møller er især egnede til mekanisk træk, f.eks. vandpumper, p.g.a. den relativt lave omdrejningshastighed.

Med baggrund i ovenstående overvejelser, anses det stadig at være relevant at udvikle et nav til et variabelt antal vinger.

8. Styrkeberegninger

Det næste spørgsmål der skal besvares er: Hvor stor en radius skal vingeroden have for at spændingerne i overgangen mellem vingerod og vingeprofilet (som erfaringsmæssigt er det kritiske punkt) kommer ned på $\sigma_{\max} = 150 \text{ N/mm}^2$?

Det gælder for vingeprofilet at:

$$W = 0,079 \cdot H^2 \cdot B = 0,079 \cdot (28,5)^2 \cdot 150 = 9625 \text{ mm}^3$$

Dermed fås:

$$M_{\max} = \sigma_{\max} \cdot W = 150 \cdot 9625 = 1443774 \text{ Nmm} = 1444 \text{ Nm}$$

Beregninger af momentet på vingen i forskellige radier og under forskellige forhold kan udføres af et program, som Folkecenteret har udviklet. Programmet hedder "Load" og det udregner en hel række forskellige kræfter og momenter af betydning ved design af en vindmølle. Programmet bygger på 140 siders "Forskrift for beregning af last på vindmøller", som er udarbejdet af Jacob Bugge, Folkecenteret.

Jeg har ikke haft tid til at sætte mig ind i det og har derfor støttet mig til Niels Vilsbølls vejledning i brugen af programmet. Programmet kræver naturligvis en lang række indgangsdata, hvoraf en del dog ikke er af betydning for beregningen af det moment, som vi ønsker at bestemme. Jeg vedlægger udskrifter af programmet for hvert af de fem tilfælde samt en udskrift af forklaring af variablerne.

Udskrifterne viser, som tidligere nævnt, at momentet falder for en given radius, jo flere vinger der monteres på møllen. Den værdi som har interesse i denne sammenhæng er "MHi", som svarer til det ovenfor bestemte moment. Værdien af MHi skal således ligge under 1444. De mange forskellige værdier af MHi svarer til forskellige lastsituationer, men der dimensioneres efter den største værdi. De største momenter må forekomme på 2 vinge møllen og udskriften viser, at radius skal ligge mellem 0,6 og 1 meter, idet:

$$MHi = 1241 \text{ Nm for en radius på 1 meter}$$

og

$$MHi = 1906 \text{ Nm for en radius på 0,6 meter}$$

Vi vælger at dimensionere med en vis sikkerhedsfaktor og vælger derfor en radius på 1 meter. Det betyder, at diameteren på nav og vingerod bliver på 2 meter og dermed skal vingeroden udgøre det inderste af vingen.

9. Konklusion

Formålet med dette lille projekt var at lave skitser og forundersøgelser til konstruktion af et vindmøllenav til en husstandsmølle (vingediameter på 4-5 m), som giver mulighed for montering af et variabelt antal vinger.

Jeg mener at have løst denne opgave og at have skabt udgangspunkt for at lave en mere detaljeret udformning af nav og vingerod.

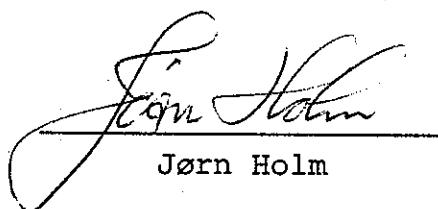
Det er vigtigt at være opmærksom på, at grundlaget for beregningerne af årsproduktionen er de af mig udvalgte effekt-karakteristikker for hver af de fem driftssituationer. Det er ikke sikkert at jeg har valgt optimalt, men jeg tvivler nu på at billedet vil ændres væsentligt, selvom man valgte anderledes.

Når dette forbehold er taget, kan det konstateres at beregningerne af den årlige energiproduktion for henholdsvis 2,3,4,6 og 12 vingers møller viste, at man opnåede den største produktion med 12 vingers møller. Der er jo imidlertid, som beskrevet, forskellige andre forhold der kan tale for at køre med et mindre antal vinger end 12.

Jeg har svært ved at gennemskue hvorvidt fordele og ulemper ved 3 bladede contra 12 bladede går lige op, så der vil være et behov for et nav med mulighed for at montere et variabelt antal vinger, eller om f.eks. 3 vinge møller viser sig at have fordele i forhold til 12 vinge møllen, der ikke kan modsvares af 12 vinge møllens højere produktion.

Til trods for disse overvejelser mener jeg, at det under alle omstændigheder må være interessant at få kontrolleret beregningerne, og dermed forudsætningerne, ved at få udviklet et prototype nav, som kunne afprøves på en vindmølle med varierende antal vinger.

Sdr. Ydby den 21. december 1993



Jørn Holm

AERODYN AUGUST 1983- June 1991
 PROGRAMMET BEREGNER NEFFEKT- OG BELASTNINGSFORHOLD FOR
 EN HORIZONTALAKSLET VINDMOELLE VED NORMAL ANSTROEMNING

ROTORNAVN: vnav2nac

PROFILDATA: NACA 63(2)-415, RE=330000 20/02-92

BLADDATA

RADIUS (M)	KORDE (M)	VRIDNING (GRD)	PROFILTYKKELSE (%)
.300	.150	20.00	17.00
.600	.150	7.00	17.00
1.000	.150	.00	17.00
1.500	.150	.00	17.00
2.000	.150	.00	17.00
2.500	.150	.00	17.00

DRIFTSFORHOLD:

BLADANTAL: 2
 ROTORDIAMETER: 5.00
 OMDREJNINGSTAL (RPM) (FRA, TIL, STEP): 190.00 220.00 10.00
 TIPVINKEL (GRD) (FRA, TIL, STEP): 2.00 7.00 1.00
 VINDHASTIGHED (M/S) (FRA, TIL, STEP): 2.00 25.00 1.00

BEREGNINGSPUNKTER:

RADIUS (M)	KORDE (M)	VRIDNING (GRD)	PROFILTYKKELSE (%)
.300	.150	20.00	17.00
.656	.150	6.03	17.00
.997	.150	.04	17.00
1.318	.150	.00	17.00
1.611	.150	.00	17.00
1.871	.150	.00	17.00
2.091	.150	.00	17.00
2.267	.150	.00	17.00
2.396	.150	.00	17.00
2.474	.150	.00	17.00

LUFTENS MASSEFYLDE: 1.230 KG/M**3

ROTORNAVN: vnav2nac
 OMDREJNINGSTAL (RPM): 210.0
 BLADVINKEL (GRD): 3.0

EFFEKTFORHOLD								
VINDHASTIGHED V (M/S)	AKSEL-EFFEKT P (KW)	AKSEL-TRYK T (KN)	TIPHAST-FORHOLD X	HASTIG-FORHOLD LAM	'EFFEKT KOEFF. CP	TRYK 'KOEFF. CT	DIM. LOS. EFFEKT KP	DIM TRY KT
2.0	-.082	.042	27.4889	.0364	-.8469	.8701	-.00004	.001
3.0	.023	.094	18.3260	.0546	.0712	.8642	.00001	.002
4.0	.245	.153	13.7445	.0728	.3168	.7941	.00012	.004
5.0	.589	.218	10.9956	.0909	.3905	.7234	.00029	.005
6.0	1.045	.282	9.1630	.1091	.4006	.6495	.00052	.007
7.0	1.580	.341	7.8540	.1273	.3815	.5766	.00079	.009
8.0	2.164	.394	6.8722	.1455	.3500	.5092	.00108	.010
9.0	2.717	.436	6.1087	.1637	.3086	.4459	.00135	.011
10.0	3.223	.471	5.4978	.1819	.2669	.3898	.00161	.012
11.0	3.780	.507	4.9980	.2001	.2352	.3469	.00188	.013
12.0	4.219	.533	4.5815	.2183	.2022	.3067	.00210	.014
13.0	4.590	.556	4.2291	.2365	.1730	.2723	.00229	.015
14.0	4.948	.579	3.9270	.2546	.1493	.2447	.00247	.015
15.0	5.061	.592	3.6652	.2728	.1242	.2178	.00252	.016
16.0	5.188	.608	3.4361	.2910	.1049	.1967	.00259	.016
17.0	5.070	.619	3.2340	.3092	.0855	.1772	.00253	.016
18.0	4.966	.634	3.0543	.3274	.0705	.1620	.00247	.017
19.0	4.601	.643	2.8936	.3456	.0555	.1474	.00229	.017
20.0	4.286	.659	2.7489	.3638	.0444	.1364	.00214	.018
21.0	3.737	.670	2.6180	.3820	.0334	.1257	.00186	.018
22.0	3.342	.691	2.4990	.4002	.0260	.1182	.00167	.018
23.0	2.773	.710	2.3903	.4184	.0189	.1111	.00138	.019
24.0	2.399	.738	2.2907	.4365	.0144	.1061	.00120	.020
25.0	2.009	.769	2.1991	.4547	.0106	.1019	.00100	.021

ROTORNAVN: vnav3nac
 OMDREJNINGSTAL (RPM): 175.0
 BLADVINKEL (GRD): 5.0

EFFEKTFORHOLD

VINDHASTIGHED V (M/S)	AKSEL- EFFEKT P (KW)	AKSEL- TRYK T (KN)	TIPHAST- FORHOLD X	HASTIG- FORHOLD LAM	'EFFEKT KOEFF. CP	TRYK 'KOEFF. CT	DIM.LOS. EFFEKT KP	DIM TRY KT
2.0	-.105	.015	22.9074	.0437	-1.0844	.3067	-.00009	.000
3.0	.024	.067	15.2716	.0655	.0742	.6202	.00002	.002
4.0	.252	.131	11.4537	.0873	.3266	.6791	.00022	.005
5.0	.602	.202	9.1630	.1091	.3988	.6695	.00052	.007
6.0	1.080	.275	7.6358	.1310	.4139	.6336	.00093	.010
7.0	1.657	.345	6.5450	.1528	.4002	.5835	.00143	.013
8.0	2.253	.405	5.7269	.1746	.3644	.5234	.00194	.015
9.0	2.819	.454	5.0905	.1964	.3202	.4646	.00243	.017
10.0	3.435	.505	4.5815	.2183	.2844	.4179	.00296	.019
11.0	4.011	.548	4.1650	.2401	.2496	.3748	.00345	.021
12.0	4.419	.578	3.8179	.2619	.2118	.3321	.00381	.022
13.0	4.863	.612	3.5242	.2838	.1833	.2997	.00419	.024
14.0	5.034	.632	3.2725	.3056	.1519	.2668	.00433	.024
15.0	5.218	.657	3.0543	.3274	.1280	.2418	.00449	.025
16.0	5.121	.674	2.8634	.3492	.1035	.2179	.00441	.026
17.0	5.041	.697	2.6950	.3711	.0850	.1997	.00434	.027
18.0	4.680	.713	2.5453	.3929	.0665	.1823	.00403	.028
19.0	4.379	.739	2.4113	.4147	.0529	.1696	.00377	.029
20.0	3.867	.761	2.2907	.4365	.0400	.1577	.00333	.030
21.0	3.457	.794	2.1817	.4584	.0309	.1491	.00298	.031
22.0	2.934	.826	2.0825	.4802	.0228	.1413	.00253	.032
23.0	2.619	.869	1.9920	.5020	.0178	.1361	.00226	.034
24.0	2.344	.918	1.9090	.5238	.0140	.1320	.00202	.036
25.0	2.019	.967	1.8326	.5457	.0107	.1282	.00174	.038

ROTORNAVN: vnav4nac
 OMDREJNINGSTAL (RPM): 160.0
 BLADVINKEL (GRD): 4.0

EFFEKTFORHOLD

VINDHASTIGHED V (M/S)	AKSEL-EFFEKT P (KW)	AKSEL-TRYK T (KN)	TIPHAST-FORHOLD X	HASTIG-FORHOLD LAM	'EFFEKT KOEFF. CP	TRYK 'KOEFF. CT	DIM. LOS. EFFEKT KP	DIM TRY KT
2.0	-.079	.040	20.9440	.0477	-.8136	.8202	-.00009	.001
3.0	.047	.099	13.9626	.0716	.1429	.9097	.00005	.004
4.0	.284	.173	10.4720	.0955	.3670	.8979	.00032	.008
5.0	.662	.258	8.3776	.1194	.4384	.8544	.00075	.012
6.0	1.187	.345	6.9813	.1432	.4553	.7935	.00134	.016
7.0	1.842	.428	5.9840	.1671	.4447	.7231	.00208	.020
8.0	2.484	.497	5.2360	.1910	.4017	.6425	.00280	.023
9.0	3.104	.555	4.6542	.2149	.3526	.5673	.00350	.026
10.0	3.737	.609	4.1888	.2387	.3094	.5042	.00421	.028
11.0	4.150	.644	3.8080	.2626	.2582	.4408	.00468	.030
12.0	4.593	.686	3.4907	.2865	.2201	.3944	.00518	.032
13.0	4.740	.710	3.2221	.3104	.1787	.3477	.00534	.033
14.0	4.788	.736	2.9920	.3342	.1445	.3111	.00539	.034
15.0	4.665	.760	2.7925	.3581	.1145	.2798	.00526	.035
16.0	4.257	.779	2.6180	.3820	.0861	.2520	.00480	.036
17.0	3.918	.811	2.4640	.4058	.0660	.2324	.00441	.038
18.0	3.350	.839	2.3271	.4297	.0476	.2145	.00377	.039
19.0	2.881	.880	2.2046	.4536	.0348	.2018	.00325	.041
20.0	2.297	.920	2.0944	.4775	.0238	.1905	.00259	.043
21.0	1.918	.976	1.9947	.5013	.0171	.1833	.00216	.046
22.0	1.628	1.037	1.9040	.5252	.0127	.1775	.00183	.048
23.0	1.349	1.102	1.8212	.5491	.0092	.1725	.00152	.052
24.0	.712	1.159	1.7453	.5730	.0043	.1666	.00080	.054
25.0	.367	1.232	1.6755	.5968	.0019	.1632	.00041	.058

ROTORNAVN: vnav6nac
 OMDREJNINGSTAL (RPM): 140.0
 BLADVINKEL (GRD): 5.0

EFFEKTFORHOLD

VINDHASTIGHED V (M/S)	AKSEL-EFFEKT P (KW)	AKSEL-TRYK T (KN)	TIPHAST-FORHOLD X	HASTIG-FORHOLD LAM	'EFFEKT KOEFF. CP	TRYK 'KOEFF. CT	DIM.LOS. EFFEKT KP	DIM TRY KT
2.0	-.085	.032	18.3260	.0546	-.8787	.6583	-.00014	.001
3.0	.047	.095	12.2173	.0819	.1451	.8778	.00008	.005
4.0	.287	.177	9.1630	.1091	.3708	.9152	.00048	.010
5.0	.674	.273	7.3304	.1364	.4467	.9055	.00113	.016
6.0	1.231	.378	6.1087	.1637	.4721	.8694	.00207	.023
7.0	1.913	.477	5.2360	.1910	.4619	.8065	.00322	.029
8.0	2.613	.564	4.5815	.2183	.4226	.7297	.00439	.034
9.0	3.415	.652	4.0724	.2456	.3879	.6662	.00574	.040
10.0	4.027	.712	3.6652	.2728	.3335	.5899	.00677	.043
11.0	4.658	.776	3.3320	.3001	.2898	.5313	.00783	.047
12.0	4.941	.816	3.0543	.3274	.2368	.4694	.00831	.050
13.0	5.225	.865	2.8194	.3547	.1969	.4240	.00879	.053
14.0	5.054	.895	2.6180	.3820	.1525	.3783	.00850	.055
15.0	4.717	.929	2.4435	.4093	.1158	.3418	.00793	.057
16.0	4.345	.974	2.2907	.4365	.0878	.3150	.00731	.060
17.0	3.722	1.016	2.1560	.4638	.0627	.2912	.00626	.062
18.0	3.248	1.079	2.0362	.4911	.0461	.2757	.00546	.066
19.0	2.583	1.136	1.9290	.5184	.0312	.2607	.00434	.070
20.0	2.182	1.216	1.8326	.5457	.0226	.2517	.00367	.074
21.0	1.880	1.304	1.7453	.5730	.0168	.2448	.00316	.080
22.0	1.599	1.397	1.6660	.6002	.0124	.2391	.00269	.086
23.0	.993	1.483	1.5936	.6275	.0068	.2321	.00167	.091
24.0	.644	1.586	1.5272	.6548	.0039	.2281	.00108	.097
25.0	.312	1.696	1.4661	.6821	.0017	.2247	.00052	.104

ROTORNAVN: vnav12na
 OMDREJNINGSTAL (RPM): 110.0
 BLADVINKEL (GRD): 6.0

EFFEKTFORHOLD

VINDHASTIGHED V (M/S)	AKSEL-EFFEKT P (KW)	AKSEL-TRYK T (KN)	TIPHAST-FORHOLD X	HASTIG-FORHOLD LAM	'EFFEKT KOEFF. CP	TRYK 'KOEFF. CT	DIM. LOS. EFFEKT KP	DIM TRY KT
2.0	-.082	.032	14.3990	.0694	-.8503	.6648	-.00028	.003
3.0	.051	.103	9.5993	.1042	.1553	.9469	.00018	.010
4.0	.282	.196	7.1995	.1389	.3647	1.0167	.00098	.019
5.0	.657	.312	5.7596	.1736	.4351	1.0347	.00228	.031
6.0	1.211	.446	4.7997	.2083	.4645	1.0258	.00420	.044
7.0	1.928	.582	4.1140	.2431	.4655	.9838	.00669	.058
8.0	2.678	.712	3.5997	.2778	.4331	.9207	.00929	.071
9.0	3.655	.856	3.1998	.3125	.4152	.8756	.01267	.085
10.0	4.357	.957	2.8798	.3472	.3608	.7929	.01511	.095
11.0	4.914	1.048	2.6180	.3820	.3057	.7174	.01704	.104
12.0	5.471	1.151	2.3998	.4167	.2622	.6618	.01897	.114
13.0	5.223	1.212	2.2152	.4514	.1969	.5939	.01811	.121
14.0	4.667	1.280	2.0570	.4861	.1408	.5409	.01618	.127
15.0	3.996	1.362	1.9199	.5209	.0980	.5012	.01386	.135
16.0	3.591	1.477	1.7999	.5556	.0726	.4779	.01245	.147
17.0	2.681	1.579	1.6940	.5903	.0452	.4525	.00930	.157
18.0	2.281	1.726	1.5999	.6250	.0324	.4412	.00791	.172
19.0	1.930	1.883	1.5157	.6598	.0233	.4319	.00669	.187
20.0	1.621	2.053	1.4399	.6945	.0168	.4250	.00562	.205
21.0	1.083	2.217	1.3713	.7292	.0097	.4162	.00376	.221
22.0	.717	2.405	1.3090	.7639	.0056	.4115	.00249	.240
23.0	.397	2.605	1.2521	.7987	.0027	.4079	.00138	.260
24.0	.112	2.813	1.1999	.8334	.0007	.4044	.00039	.280
25.0	-.127	3.036	1.1519	.8681	-.0007	.4022	-.00044	.303

17/03/90 19:34

EFFEKTURVE: 2naca

	VINDHASTIGHED (m/s)	EFFEKT (kW)
1	3.00	0.02
2	4.00	0.25
3	5.00	0.59
4	6.00	1.05
5	7.00	1.58
6	8.00	2.16
7	9.00	2.72
8	10.00	3.22
9	11.00	3.78
10	12.00	4.22
11	13.00	4.59
12	14.00	4.95
13	15.00	5.06
14	16.00	5.19
15	17.00	5.07
16	18.00	4.97
17	19.00	4.60
18	20.00	4.29
19	21.00	3.74
20	22.00	3.34
21	23.00	2.77
22	24.00	2.40
23	25.00	2.01

Resultater af årsenergiberegning
med Rayleigh-fordeling af vindhastigheden.
Stopvindhastighed : 25.0 m/s

Middelvindhastighed (m)	Energiproduktion (kWh/år)
3.00	1688
3.50	2860
4.00	4284
4.50	5900
5.00	7660
5.50	9497
6.00	11300
6.50	13200
7.00	15000

17/03/90 19:34

EFFEKTURVE: 3naca

	VINDHASTIGHED (m/s)	EFFEKT (kW)
1	3.00	0.02
2	4.00	0.25
3	5.00	0.60
4	6.00	1.08
5	7.00	1.66
6	8.00	2.25
7	9.00	2.82
8	10.00	3.44
9	11.00	4.01
10	12.00	4.42
11	13.00	4.86
12	14.00	5.03
13	15.00	5.22
14	16.00	5.12
15	17.00	5.04
16	18.00	4.68
17	19.00	4.38
18	20.00	3.87
19	21.00	3.46
20	22.00	2.93
21	23.00	2.62
22	24.00	2.34
23	25.00	2.02

Resultater af årsenergiberegning
med Rayleigh-fordeling af vindhastigheden.
Stopvindhastighed : 25.0 m/s

Middelvindhastighed (m)	Energiproduktion (kWh/år)
3.00	1729
3.50	2947
4.00	4437
4.50	6130
5.00	7972
5.50	9915
6.00	11800
6.50	13700
7.00	15600

17/03/90 19:34

EFFEKTURVE: 4naca

	VINDHASTIGHED (m/s)	EFFEKT (kW)
1	3.00	0.05
2	4.00	0.28
3	5.00	0.66
4	6.00	1.19
5	7.00	1.84
6	8.00	2.48
7	9.00	3.10
8	10.00	3.74
9	11.00	4.15
10	12.00	4.59
11	13.00	4.74
12	14.00	4.79
13	15.00	4.67
14	16.00	4.26
15	17.00	3.92
16	18.00	3.35
17	19.00	2.88
18	20.00	2.30
19	21.00	1.92
20	22.00	1.63
21	23.00	1.35
22	24.00	0.71
23	25.00	0.37

Resultater af årsenergiberegning
med Rayleigh-fordeling af vindhastigheden.
Stopvindhastighed : 25.0 m/s

Middelvindhastighed (m)	Energiproduktion (kWh/år)
3.00	1825
3.50	3139
4.00	4746
4.50	6554
5.00	8509
5.50	10500
6.00	12400
6.50	14300
7.00	16100

17/03/90 19:34

EFFEKTURVE: 6naca

	VINDHASTIGHED (m/s)	EFFEKT (kW)
1	3.00	0.05
2	4.00	0.29
3	5.00	0.67
4	6.00	1.23
5	7.00	1.91
6	8.00	2.61
7	9.00	3.42
8	10.00	4.03
9	11.00	4.66
10	12.00	4.94
11	13.00	5.22
12	14.00	5.05
13	15.00	4.72
14	16.00	4.35
15	17.00	3.72
16	18.00	3.25
17	19.00	2.58
18	20.00	2.18
19	21.00	1.88
20	22.00	1.60
21	23.00	0.99
22	24.00	0.64
23	25.00	0.31

Resultater af årsenergiberegning
med Rayleigh-fordeling af vindhastigheden.
Stopvindhastighed : 25.0 m/s

Middelvindhastighed (m)	Energiproduktion (kWh/år)
3.00	1890
3.50	3265
4.00	4975
4.50	6925
5.00	9022
5.50	11100
6.00	13300
6.50	15300
7.00	17200

17/03/90 19:34

EFFEKTURVE: 12naca

	VINDHASTIGHED (m/s)	EFFEKT (kW)
1	3.00	0.05
2	4.00	0.28
3	5.00	0.66
4	6.00	1.21
5	7.00	1.93
6	8.00	2.68
7	9.00	3.65
8	10.00	4.36
9	11.00	4.91
10	12.00	5.47
11	13.00	5.22
12	14.00	4.67
13	15.00	4.00
14	16.00	3.59
15	17.00	2.68
16	18.00	2.28
17	19.00	1.93
18	20.00	1.62
19	21.00	1.08
20	22.00	0.72
21	23.00	0.40
22	24.00	0.11

Resultater af årsenergiberegning
med Rayleigh-fordeling af vindhastigheden.
Stopvindhastighed : 24.0 m/s

Middelvindhastighed (m)	Energiproduktion (kWh/år)
3.00	1869
3.50	3266
4.00	5030
4.50	7058
5.00	9270
5.50	11500
6.00	13600
6.50	15700
7.00	17500