

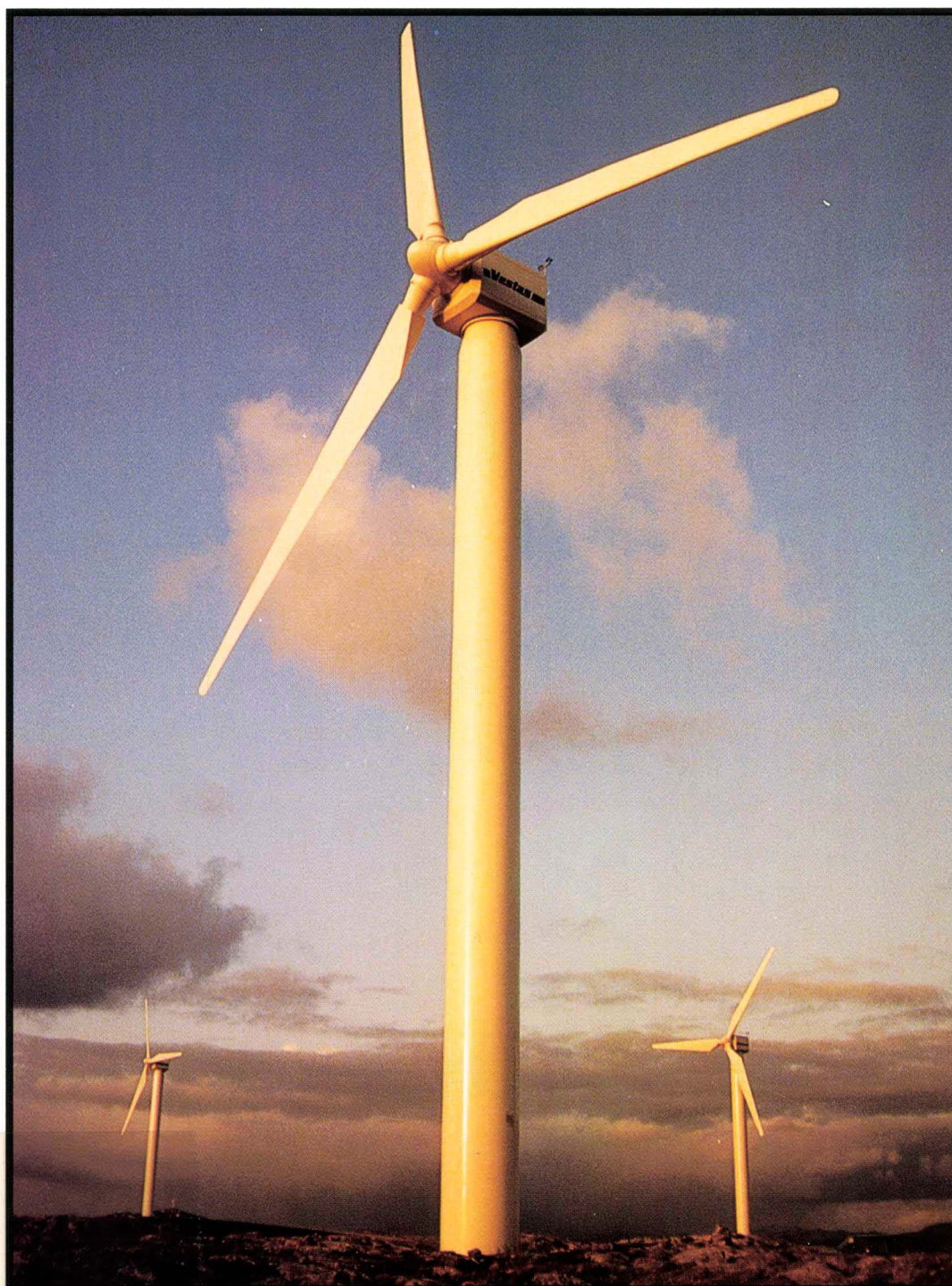


NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

Erling Solberg

VINDKRAFT

EN GENERELL PRESENTASJON
AV VINDKRAFT OG DET NORSKE VINDKRAFTPROGRAMMET



ENØK OG MARKEDSAVDELINGEN

PUBLIKASJON

Nr 23
1992

DETTE HEFTET ER UTARBEIDET AV EN KOMITÉ BESTÅENDE AV:

- Hans Fauske, Norsk Energi
- Lars K. Bjørnå, Norges Energiverkforbund
- Stein Kotheim, Sør-Trøndelag Kraftselskap
- Tor Anders Nygaard, Institutt for energiteknikk
- Trond Toftevaag, Energiforsynings Forskningsinstitutt A/S
- Erling Solberg, Norges vassdrags- og energiverk

I tillegg har meteorolog Petter Dannevig gitt innspill til utarbeidelsen av heftet.

Lay-out: Elisabeth Dahl
Trykkeri: Grafi Offset A/S

Forside: Vindpark på Husfjellet i Vikna.
Eier: Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk
Foto: Dag Halvard Ystgaard, mai 1992.

FORORD

Oljekrisen på begynnelsen av 1970-tallet medførte økende bevissthet om at forsyningen fra de fossile energikildene er sårbar, og at disse ikke fornybare kildene representerer en begrenset ressurs. For å kunne bli mindre avhengig av de fossile energikildene i fremtiden, ble det satset på å utnytte nye fornybare energikilder. I de senere årene har behovet for å beskytte jorda mot økt forurensning blitt en av de viktigste grunnene til å satse på slike energikilder.

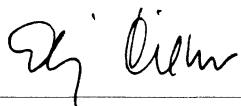
I utlandet pekte vindkraft seg ut som en av de mest lovende av de nye fornybare energikildene, og det ble tidlig på 1970-tallet igangsatt utviklingsprogrammer på vindkraftområdet. I Norge bevilget myndighetene først i 1978 midler til utvikling av nye fornybare energikilder. Regjeringens målsetting var å skaffe nok kunnskap til å kunne vurdere mulighetene for å utnytte nye fornybare energikilder i et fremtidig norsk energisystem.

I Norge ble det foretatt undersøkelser av ressursgrunnlaget for nye fornybare energikilder (vindforhold, bølgehøyder, solstråling m.m.). Det viste seg,

på linje med erfaringene fra utlandet, at vindkraft er en av de mest lovende av de nye fornybare energikildene. Som et ledd i det videre arbeid besluttet Olje- og energidepartementet (OED) i 1983 å gi Norges vassdrags- og energiverk (NVE) ansvaret for det nasjonale vindkraftprogrammet. Dette programmet omfatter i dag både forskning og utvikling (FoU) og en introduksjonsvirksomhet med mulighet for statlig delfinansiering ved bygging av vindkraftverk. Aktører innen vindkraftprogrammet er både forskningsinstitusjoner, industribedrifter og kraftselskaper/energiverk.

Hftet er ment å skulle gi informasjon om vindkraft til "folk flest". Det legges vekt på generell informasjon om teknikk og miljø ved bruk av vindkraft for elforsyning, samt informasjon om det norske vindkraftprogrammet. De som ønsker ytterligere informasjon henvises til NVE's «Håndbok for planlegging, bygging og drift av vindkraftverk», eller til de institusjoner som er involvert i vindkraftprogrammet. Disse er listet opp bakerst i hftet. Små vindkraftverk til bruk på hytter, båter etc. er ikke omtalt.

NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIVERK
OSLO, OKTOBER 1992



Erling Diesen

Hftet kan bestilles hos

NVE, biblioteket
Middelthuns gate 29, Postboks 5091, Maj. 0301 OSLO

Telefon: 02-95 95 95 Telefax: 02-95 90 00

VINDEN ER AVGJØRENDE

Et vindkraftverk er avhengig av vind for å kunne produsere elektrisitet. Lav vindhastighet og kortvarig vind gir liten elektrisitetsproduksjon, mens høy vindhastighet og langvarig vind kan gi stor produksjon.

Hvordan oppstår vinden ?

Sola er drivkraften bak vindenergi. Vind oppstår som følge av ujevn fordeling av lufttemperaturen og dermed også forskjeller i lufttrykket. Trykkforskjellene i luften setter luftmassene i bevegelse og det oppstår vind som kjennetegn på luftmassenes bevegelsesenergi, se figur 1.

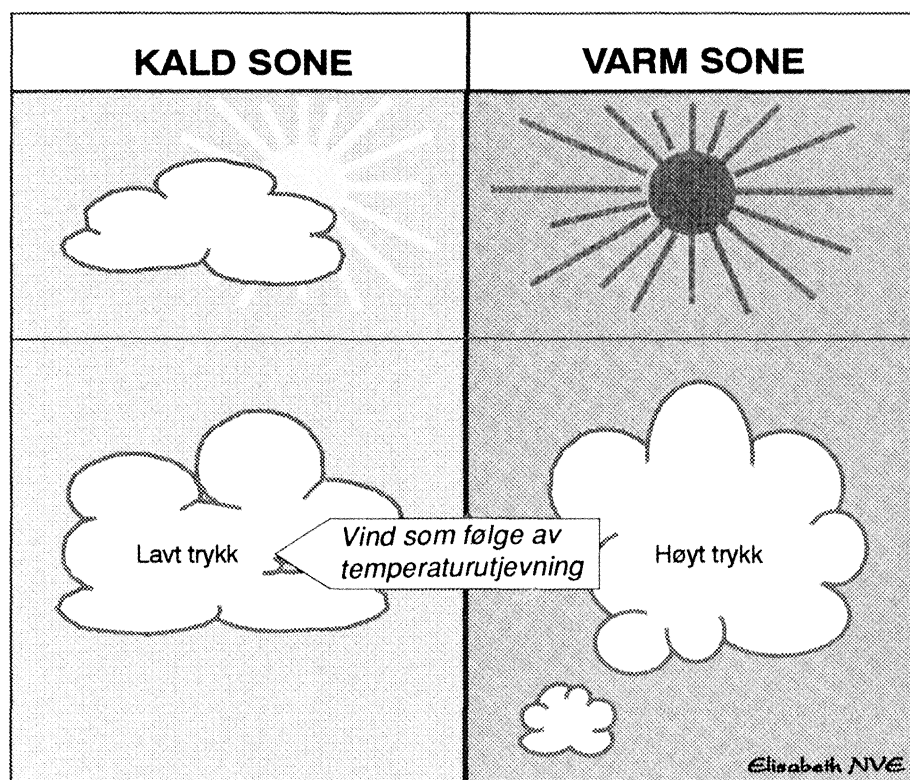


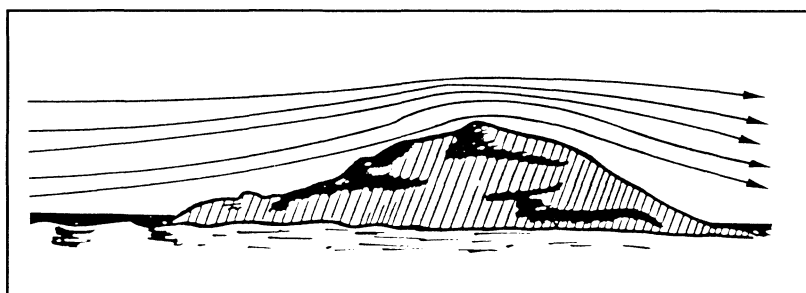
Fig.1 Illustrasjon av hvordan vind kan oppstå

Vinden påvirkes av terrenget

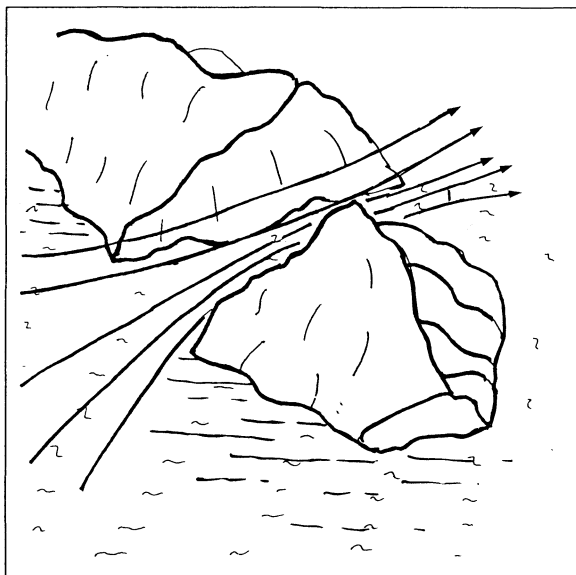
I høyder opptil 500-1000 meter påvirkes vinden av terrenget. Vinden bremses ned minst over islagte innsjøer, snødekte fjellvidder og breer. Over åpent hav bremses vinden ned lite, men nedbremsingen øker betydelig med sjøgangen som tapper energi fra luftstrømmene. Kupert skogkledd terreng, særlig barskog, yter vinden stor motstand sommer som vinter.

Glatte fjellformasjoner tapper luftstrømmen for lite energi, men avbøyer og splitter opp strømningsmønsteret i en «grovkornet» turbulens. Denne turbulensen arter seg som kraftige kast, lokale fallvinder osv.

Fjellformasjoner kan lokalt/regionalt akselerere vinden i skar, rundt nes osv. (se fig.2 og 3). Pilene på figurene symboliserer de baner som luftmassene vil følge. Av figurene fremgår det at luftstrømmen presses sammen. Dette fører til at lufthastigheten øker.



Figur 2.
Lokal akselerasjon over fjelltopp
(toppeffekt) [2].



Figur 3.
Lokal akselerasjon i skar (trakt- og hjørneeffekt) [2].

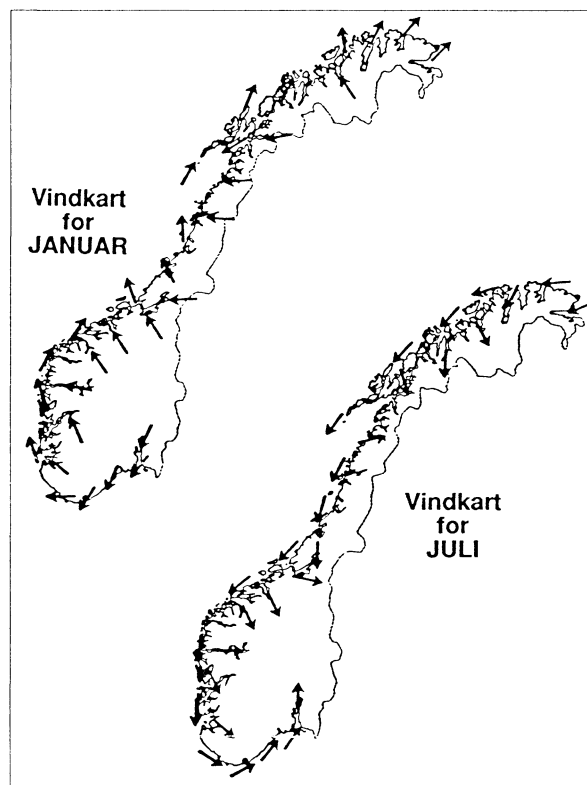
Vindklimaet i Norge

Vindklimaet i Norge karakteriseres av fremherskende luftstrømninger fra vest og sør-vest, samt store variasjoner, spesielt vinterstid. Pålandsvind er hyppigst om sommeren, mens fralandsvind er hyppigst om vinteren (se fig.4).

Figur 4.

Vindkart for Norge.

Pilene gir hyppigste vindretning på kysten og i fjordene [1].

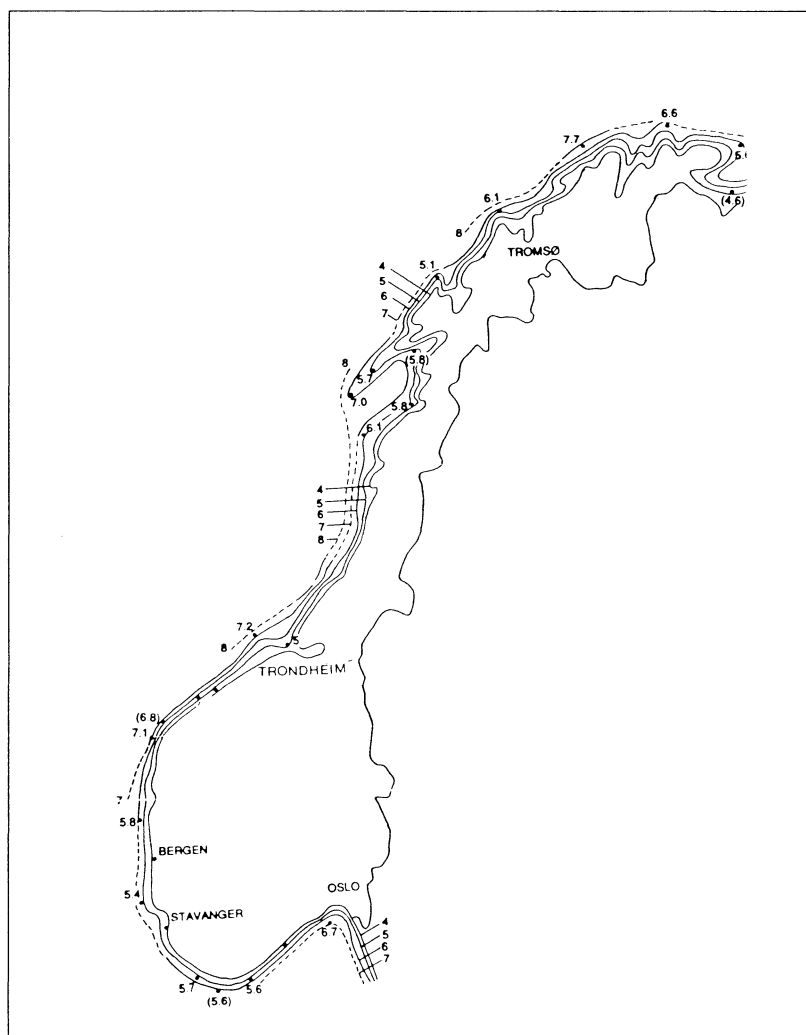


Vindregistreringer

I Norge blir vindregistreringer foretatt på værstasjoner over hele landet. Registreringene viser at gjennomsnittlig vindhastighet over året mange steder er mellom 5 og 9 meter per sekund i 10 meters høyde. Gjennomsnittlige vindhastigheter i dette intervallet regnes som interessante i vindkraftsammenheng. Figur 5 gir et bilde av gjennomsnittlige vindhastigheter over året langs norskeskysten. Linjene er trukket gjennom steder med samme vindhastighet (isoveler).

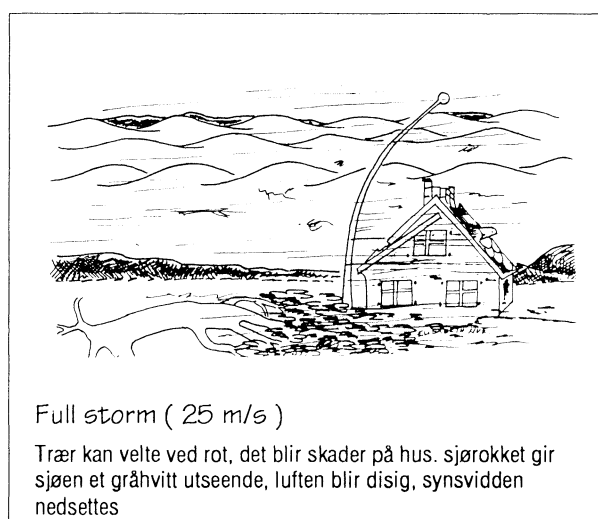
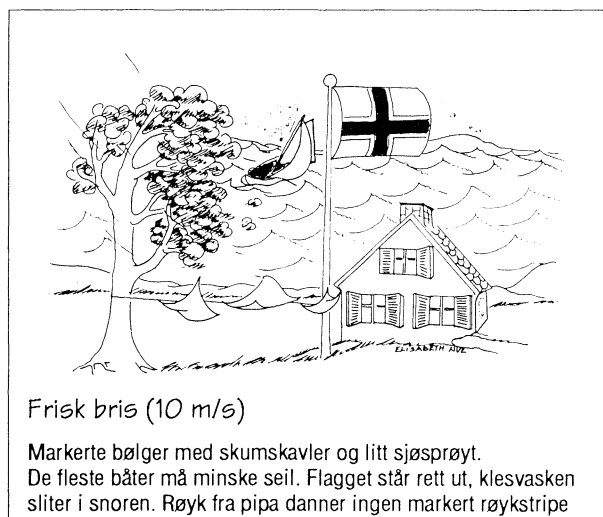
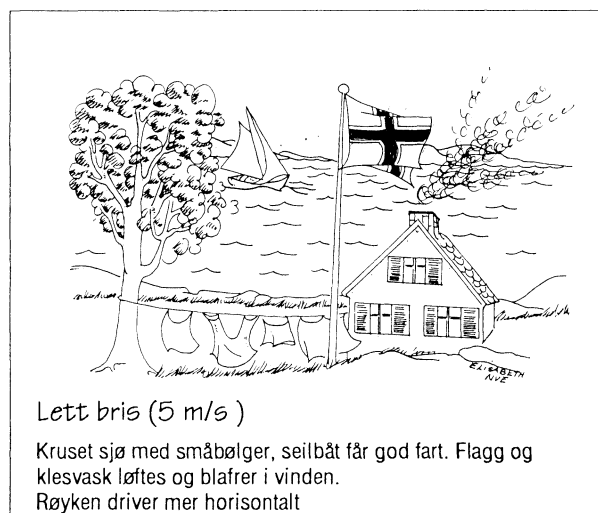
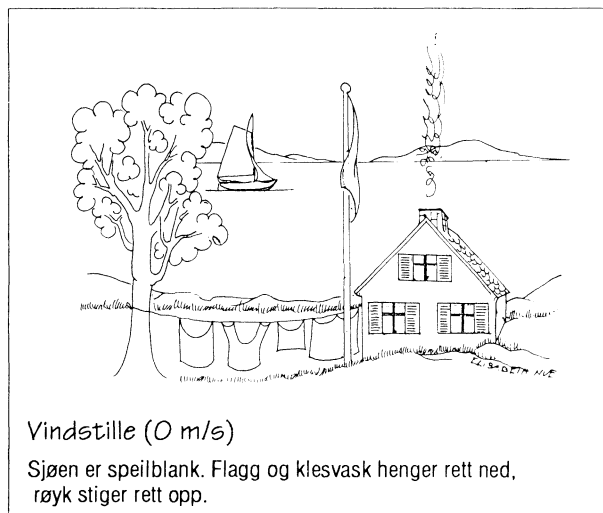
Figur 5.

Gjennomsnittlige vindhastigheter over året langs norskeskysten i meter per sekund [3].



Vindstyrke og energiproduksjon

I figur 6 er virkningen av vind ved forskjellige vindhastigheter illustrert og beskrevet.

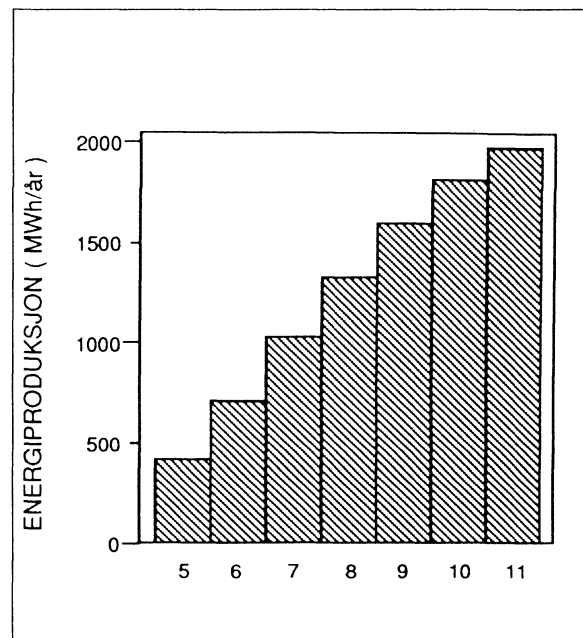


Figur 6. Illustrasjon av virkningen av vind ved forskjellige vindhastigheter [2].

Gjennomsnittlig vindhastighet over året, luftens tetthet (vekt/volumenhet), vindkraftverkets effekt og tilgjengelighet m. m. er avgjørende for hvor mye elektrisitet et vindkraftverk vil kunne produsere. Årsproduksjonen er en tilnærmet lineær funksjon av middelvindhastigheten, selv om energiinnholdet i vinden går som en tredjegrads funksjon av vindhastigheten. I figur 7 er elektrisitetsproduksjonen for et 400 kW vindkraftverk vist ved forskjellige gjennomsnittlige vindhastigheter.

Vindforholdene vil kunne variere mye fra sted til sted. Det er derfor viktig både å foreta lokale vindmålinger og å vurdere de lokale terrengforholdene, sett i forhold til den fremherskende vindretningen, ved planlegging av et vindkraftanlegg.

I vedlegg A er det gitt formel og metodikk for overslagsmessig beregning av årsproduksjonen fra et vindkraftverk.

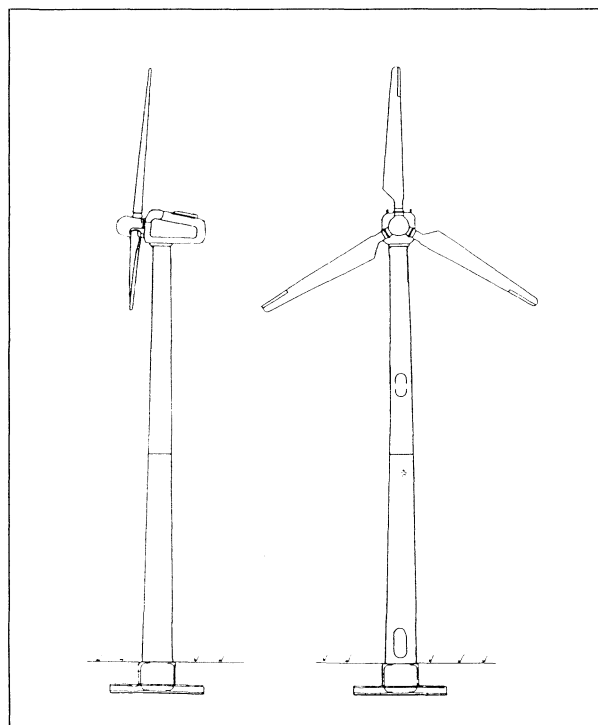
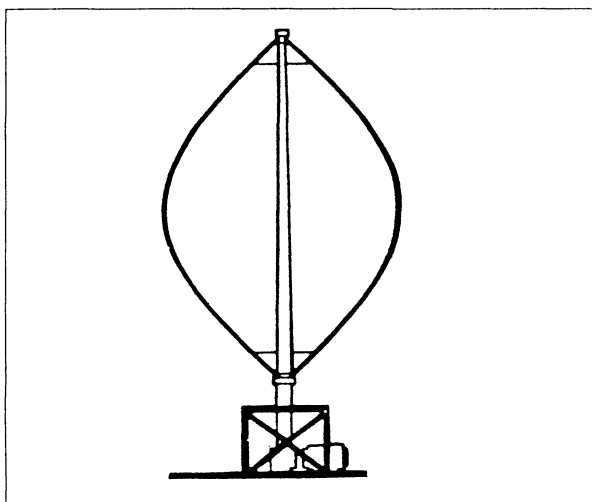


Figur 7.
Årlig energiproduksjon fra et 400 kW vindkraftverk plassert på norskekysten ved ulike gjennomsnittlige vindhastigheter.

VINDKRAFTVERK

Typer

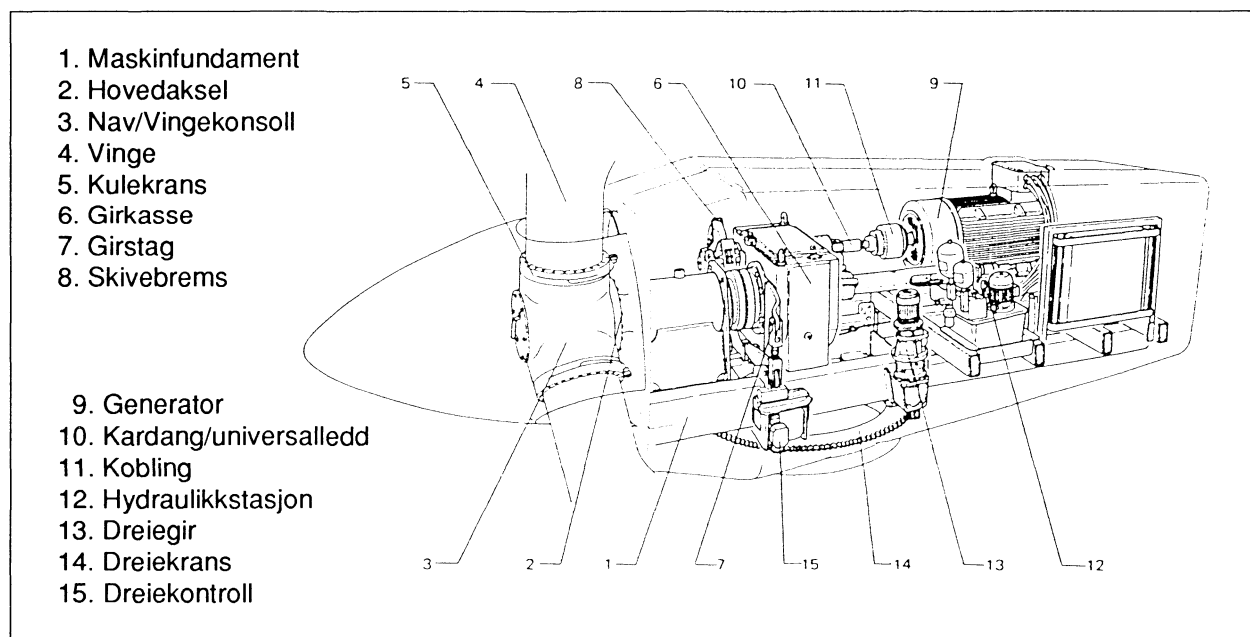
Det finnes i dag to hovedtyper vindkraftverk for elektrisitetsproduksjon. Den mest vanlige typen er horisontalakslet, den andre vertikalakslet. Figur 8 viser skisse av de to hovedtypene.



Figur 8. Vertikalakslet og horisontalakslet vindkraftverk.

Vertikalakslete vindkraftverk har maskineriet plassert i bakkeplan. Denne type vindkraftverk oppnår derfor gunstigere vektfordeling enn horisontalakslete.

Hovedkomponentene i horisontalakslete vindkraftverk er vinger, nav, maskineri og tårn. Sammenkoblingen av disse, samt endel andre komponenter som inngår i et horisontalakslet vindkraftverk er vist i figur 9.



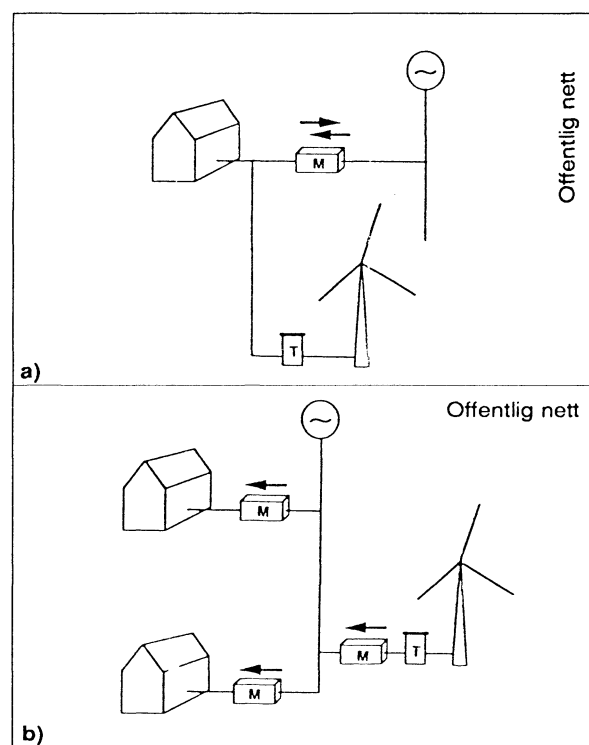
Figur 9. Sammenkoblingen av hovedkomponentene i et horisontalakslet vindkraftverk (4)

Fra vind til elektrisitet og forbruk

I et vindkraftverk overføres noe av luftstrømmens bevegelsesenergi til vindkraftverkets vinger, for så å bli omformet til elektrisitet i generatoren. Den produserte elektrisiteten kan leveres inn på elektrisitetsnettet. Ulike løsninger for tilkopling av vindkraftverk til elektrisitetsnettet er vist i figur 10 og beskrevet under.

a) Et vindkraftverk kan være privateiet og tjene til å dekke eget forbruk. Overskuddskraft fra kraftverket kan i så fall leveres til det offentlige nett via en strømmåler (M), mens kraftunderskudd tilsvarende dekkes fra nettet.

b) Et vindkraftverk kan eies av kraftselskap/energiverk og være direkte knyttet til det offentlige nett. Elektrisiteten som produseres, går da til alminnelig forbruk.



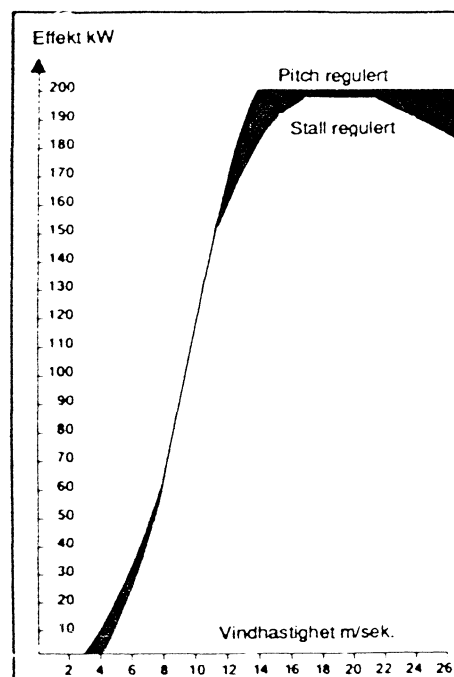
Figur 10. Ulike løsninger for tilkopling av vindkraftverk til elektrisitetsnettet.
M = Strømmåler.
T = Transformator. (hvis nødvendig)

Effekten må reguleres

Vindkraftverk er utstyrt med effektreguleringssystem for bl.a. å unngå overbelastning og for å optimalisere produksjonen. Pitch- og stall-regulering er to effektreguleringssystemer som er i bruk i dag. Førstnevnte kjennetegnes ved at vingene eller deler av vingene kan vrís. Dette gir mulighet for at vindkraftverket kan operere med god virkningsgrad over et stort vindhastighetsområde. Ved høye vindhastigheter begrenses effekten ved at vingene stilles i en ikke-optimal vinkel. Vindkraftverk med stall-regulering har faste vinger (ikke vridbare). Vingene er konstruert slik at aerodynamisk effektivitet avtar ved høye vindhastigheter, slik at effekten begrenses.

Stall-regulerte vindkraftverk har enklere konstruksjon og lavere innkjøpskostnad enn pitch-regulerte. De mekaniske påkjenninger ved start/stopp og drift er høyere, og energiproduksjonen noe lavere.

Avgitt generatoreffekt varierer med vindhastigheten. Figur 11 viser effektkurve for henholdsvis et pitch- og et stall-regulert vindkraftverk med 200 kW generator. De mørke flater indikerer mulig gevinst ved pitch-regulering.



Figur 11.
Effektkurve for henholdsvis et pitch- og et stall-regulert vindkraftverk med 200 kW generator [4].

Automatisk drift

Et moderne vindkraftverk produserer elektrisitet når vindhastigheten er mellom ca 4 og 25 meter per sekund. Driften foregår vanligvis automatisk. I moderne vindkraftverk oppnås automatisk drift ved hjelp av en datamaskin, som er koblet til kontroll- og styresystemet i vindkraftverket. Datamaskinen gir fortløpende informasjon om en rekke forhold som f.eks. vindretning, vindhastighet, temperatur i gir og generator, slitasje på bremsebelegg og vibrasjoner i maskinhuset. Dersom vinden skifter retning, vil datamaskinen registrere dette og gi signal til en motor som dreier maskinhuset opp mot vinden.

Vindkraftverk kan fjernovervåkes ved å koble datamaskinen til f.eks. telenettet. Dette medfører at den

driftsansvarlige kan overvåke og styre vindkraftverket fra en driftsentral.

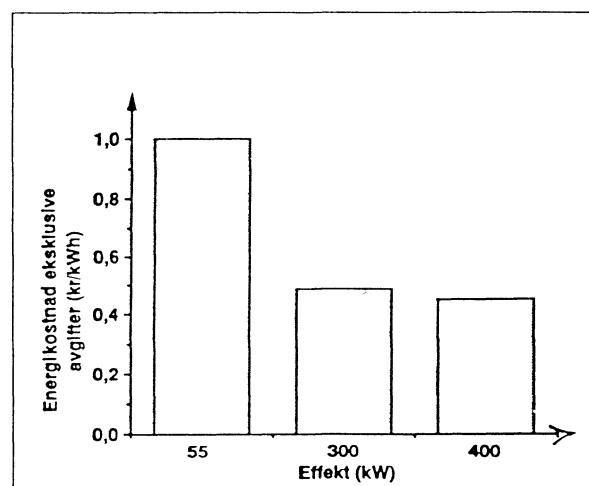
I moderne vindkraftverk inngår vanligvis to uavhengige bremsesystemer i kraftverkets sikkerhetssystem. Pitch-regulerte vindkraftverk stoppes normalt ved at vingene kantstilles. Ved nødstop og parkering aktiveres i tillegg en skivebrems, som normalt er montert på høyhastighetssiden av giret. For stall-regulerte vindkraftverk fungerer skivebremsen som hovedbrems. Reservebremsen består enten av klaffer eller små bremseskjerner ute på vingene (vingetippbrems). Disse utløses av sentrifugalkraften ved hastighet over nominelt turtall for vindkraftverket.

Elektrisitetsproduksjonen blir billigere

Kostnadene for elektrisiteten som produseres i vindkraftverk, er blitt redusert over tid. Dette skyldes forhold som bedre virkningsgrad, mer driftsikre anlegg og rasjonalisering ved serieproduksjon.

Figur 12 viser kostnadene for elektrisitet produsert i 3 ulike vindkraftverk i Norge.

Det forventes at produksjonskostnaden for elektrisiteten fra vindkraftverk vil bli ytterligere redusert som følge av fremtidige teknologiske fremskritt. Oppføring av flere vindkraftverk samlet i vindparker vil også kunne redusere kostnadene. Ved kjøp av flere vindkraftverk vil leverandøren kunne redusere enhetsprisen. Kostnader ved transport, fundamentering, montasje, drift og vedlikehold vil dessuten kunne reduseres som følge av stordriftsfordeler.



Figur 12.

Beregnet energikostnad for 3 vindkraftverk oppført i Norge. Kostnadene er inklusive drifts- og vedlikeholdskostnader, men eksklusive avgifter til staten. Økonomisk levetid 25 år, 7% kalkulasjonsrente, pengeverdi 1990.

Norske vindkraftverk

I Norge er det pr. 01.01.1992 oppført 10 vindkraftverk. En oversikt over disse er vist i tabell 1.

Type	Fabrikat	Forventet energiprod. (GWh/år)	Byggeår	Sted	Eier
55 kW stallregulert	Wincon	0,17	1986	Frøya	Sør-Trøndelag Kraftselskap
75 kW stallregulert	Vestas	0,20	1987	Vallersund	Vallersund gård (privat)
55 kW stallregulert	Vestas	0,10	1988	Klepp	Jæren Folkehøgskole
400 kW pitchregulert	Vestas	1,08	1989	Frøya	Sør-Trøndelag Kraftselskap
300 kW stallregulert	Nordtank	0,68	1989	Smøla	Møre og Romsdal Energiverk
400 kW pitchregulert	Vestas	1,00	1991	Kvalnes	Andøy komm. kraftverk
400 kW pitchregulert	Vestas	1,24	1991	Hovden	Vesterålens kraftlag
3 × 400 kW pitchreg.	Vestas	3,22	1991	Vikna	Nord-Trøndelag El.verk
Angitt energiproduksjon er beregnede midlere verdier					

Tabell 1. Oversikt over norske vindkraftverk pr. 01.01.1992.

Den midlere energiproduksjonen fra de norske vindkraftverkene er beregnet til 7,7 GWh/år. Denne produksjonen vil kunne dekke årsforbruket av elektrisitet i ca 300 eneboliger.

Alle vindkraftverkene som er oppført i Norge er horisontalakslete. Tekniske data for to av vindkraftverkene er gitt i tabell 2.

Tabell 2. Tekniske data for to vindkraftverk oppført i Norge

TEKNISKE DATA	300 kW VINDKRAFTVERK	400kW VINDKRAFTVERK
Fabrikat	Nordtank	Vestas/DVT
Merkeeffekt (kW)	300	400
Årsproduksjon (kWh)	680 000	1 075 500
Produksjonsområde (m/s)	4,5-25	4-25
Overlevelsesvind (m/s)	53	56
Generator	660 V asynkron	660 V asynkron
Akselretning	Horisontal	Horisontal
Antall blader	3	3
Oppvind/nedvind	Oppvind	Oppvind
Regulering	Stall	Pitch
Tårn	Rør	Rør
Mål:		
- navhøyde (m)	31	32
- rotor/diameter(m)	28	34,8
- bestrøket areal (m2)	616	951
Vekter (tonn):		
- tårn	15	20
- maskinhus	11	13,5
- vinger	4	4,8

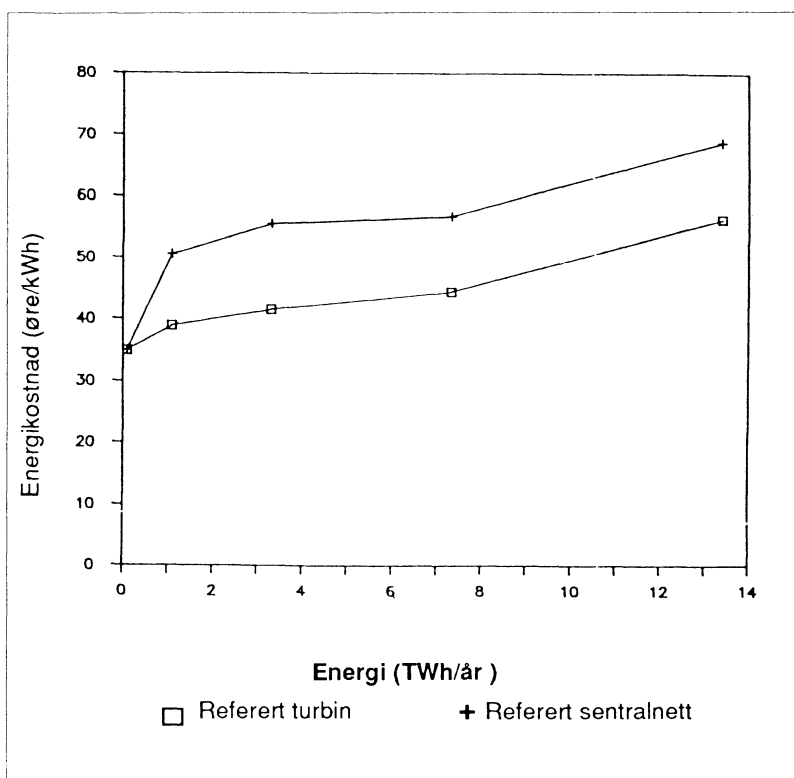
VINDKRAFTPOTENSIALET

Utbyggingspotensialet for vindkraft langs kysten fra Kristiansund i sør til Andøya i nord ble beregnet i 1990. Figur 13 viser at det totale potensialet er ca 12 TWh/år innen en produksjonskostnad fra 35 til 50 øre/kWh (referert kraftverket). Utbyggingsalternativer i høyere kostnadsklasser er foreløpig av liten interesse. Potensialet for ny vannkraft er til sammenligning ca 40 TWh/år til en energikostnad fra 10 til 50 øre/kWh /5/.

Figur 13.

Energikostnad ved utnyttelse av vindkraftpotensialet i Norge langs kysten fra Kristiansund i sør til Andøya i nord /6/.

Vindkraftpotensialet i Norge



DET NORSKE VINDKRAFTPROGRAMMET

Bakgrunn

Usikkerhet rundt ikke-fornybare energikilder som f.eks. olje, gass og kull, samt miljøbelastning ved bruk av disse kildene, har begrunnet satsingen på teknologi som utnytter nye fornybare energikilder i Norge.

Kartlegging av vindressurser (1979-83)

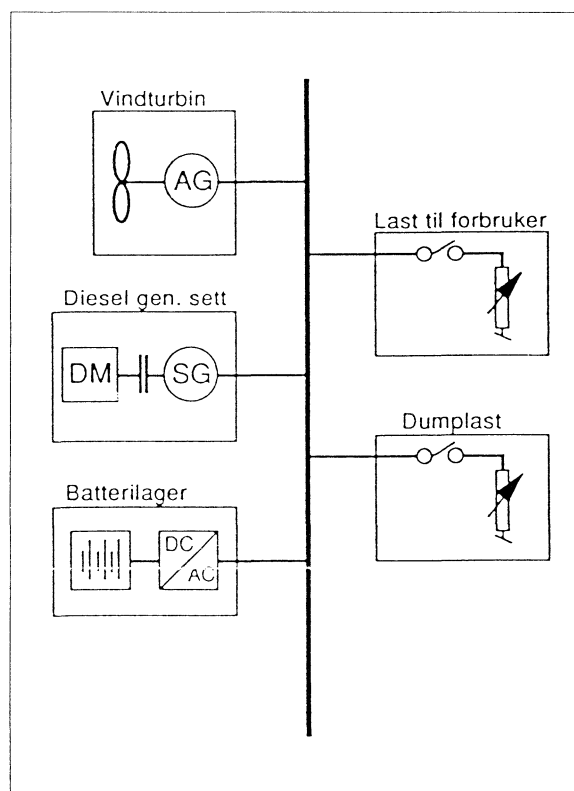
I perioden 1979-83 ble det gjennomført et program med sikte på å kartlegge vindressursene og mulighetene for å utnytte energien i vinden til elektrisitetsproduksjon i samspill med det norske vannkraftsystemet. Undersøkelsene viste at kyststrekningen fra Lindesnes i sør til Kirkenes i nord peker seg ut som egnede områder med tilstrekkelig vind og gode topografiske forhold.

I regi av NVE ble det i 1982-83 foretatt en nærmere lokaliseringsstudie, basert på detaljerte vindmålinger, miljøanalyser og sikkerhetsmessige vurderinger. Med basis i studien ble Frøya i Sør-Trøndelag utpekt som aktuelt byggested for et prøveanlegg. Etter å ha innhentet tilbud på vindkraftverk (750-3000 kW) viste det seg at produksjonskostnaden for elektrisiteten fra de tilbudte vindkraftverkene ble vesentlig høyere enn for nye vannkraftverk, og byggingen ble derfor utsatt.

I perioden 1984-85 ble arbeidet ført videre, men da med sikte på utprøving av kommersielt tilgjengelige vindkraftverk. Målsettingen var nå å samle driftserfaringer og å undersøke vindkraftens lønnsomhet på steder med spesielt dyr elektrisitetsforsyning, i første rekke på øyer med sjøkabelforbindelse til land og småsamfunn langs kysten.

Oppføring av prøveanlegg (1986)

Staten bevilget penger i 1986 til innkjøp av et 55 kW vindkraftverk for utprøving på Frøya. Dette vindkraftverket ble koplet til elektrisitetsnettet. Samtidig ble det startet et norsk vind/diesel prosjekt. Prosjektet fikk som mål å utvikle et styresystem for et kommersielt vind/diesel anlegg som er i stand til å levere elektrisk energi med akseptabel el-kvalitet og tilgjengelighet. I 1989 ble en fullskala prototyp av det norske vind/diesel systemet satt i prøvedrift på Frøya. Figur 14 viser prinsippskjema for dette vind/diesel systemet. Slike anlegg kan redusere det årlige dieselforbruket med 50-70% (avhengig av vindforholdene), og gi bedre driftsøkonomi enn rene diesel-kraftverk mange steder i verden.



Figur 14. Prinsippskjema for det norske vind/diesel anlegget på Frøya (prototypenanlegg).

Etablering av introduksjonsprogram (1989)

Gjennom forsknings- og utviklingsaktivitetene i perioden 1979-88 ble vindressurser kartlagt, kostnader for vindkraft ble beregnet og et utenlandsk produsert vindkraftverk ble testet under norske forhold. Aktivitetene viste at vindkraft kan bli lønnsomt på steder med kostbar elektrisitetsforsyning. For å få fortgang i byggingen av vindkraftverk i Norge tok NVE i 1989 initiativet til et introduksjonsprogram. OED fulgte i 1990 opp med bevilgning for dette. Det nåværende programmet som administreres av NVE, åpner for at de som ønsker å bygge vindkraftverk, kan få dekket inntil 50% av byggekostnadene ved statlige tilskudd. Som en følge av denne ordningen har det i perioden 1989-91 blitt bygget 6 vindkraftverk, hvorav 3 står samlet i en vindpark. I tillegg er det bygget et 400 kW vindkraftverk under forskningsprogrammet. Driften av vindkraftverkene har så langt gitt verdifulle erfaringer.

Dagens målsetting

Nåværende introduksjonsprogram sikter mot å få installert 3-4 MW vindkraft innen utgangen av 1992. Dette tilsvarer bygging av ca 8-12 vindkraftverk a 300-400 kW. Pr. 01.01.92 er det installert 2,9 MW. Hensikten med å installere vindkraft i det norske kraftsystemet er:

- å utprøve moderne vindkraftteknologi
- å utprøve vind/dieselanlegg
- å utprøve vindkraft i samkjøring med vannkraft
- å fremskynde bruk av teknologi som i fremtiden kan bli konkurransedyktig med vann- eller gasskraft
- å oppnå positive miljøeffekter ved bruk av en ren og fornybar ressurs

Hensikten er også å øke kunnskapene om norske vindforhold og å ha et referansegrunnlag for dokumentasjon av kostnadene for bygging og drift av vindparker.

Fremtidsutsikter

Norge er et av de landene i verden hvor forholdene fra naturens side ligger til rette for utbygging av vindkraftverk. Landet har gode vindforhold langs store deler av vestkysten, og deler av kyststrekningen er relativt ubebodd, slik at vindkraftverk kan bygges til liten sjenanse for folk. Kommersialisering av slik teknologi vil imidlertid ta tid fordi vindkraft i dag er dyrere å bygge ut enn vannkraft. Tiden jobber imidlertid for vindkraften. Det viser seg at vindkraft blir stadig billigere å bygge ut, mens vannkraft i gjennomsnitt blir dyrere.

Et annet forhold som taler for vindkraftutbygging er at den er miljøvennlig i forhold til kraftverk fyrt med fossile brensler. Det er en oppfatning at hvis man fikk inkludert miljøkostnadene i elektrisitetsprisen, f.eks. gjennom et avgiftsystem, ville vindkraften allerede i dag i mange tilfeller komme gunstig ut i forhold til andre energikilder.

Et forhold som kan hemme vindkraftutbygging er at vindkraften bare kan betraktes som en form for tilskuddsenergi til et annet system som utgjør basis for energiforsyningen.

I følge den nye Energiloven (Lov av 29.juni 1990 nr. 50) skal økonomi, miljø og sikkerhet vurderes ved valg av energikilde til elektrisitetsproduksjon. Det er mest sannsynlig at økonomi vil være bestemmende for valg av energikilde. Dersom vindkraft viser seg å være billigere enn andre oppdekningsalternativer, skal vindkraft bygges ut. Vindkraftandelen i den norske elektrisitetsproduksjonen vil imidlertid neppe kunne bli høyere enn det angitte utbyggingspotensialet. Blir den høyere, vil kostnadene med å innpasse vindkraften i elektrisitetssystemet øke betraktelig fordi det i så fall må tas i bruk ikke optimale plasseringer.

VINDKRAFT ER MILJØVENNLIG

Elektrisitet er en av de mest anvendte energiformer i verden. Produksjonen foregår gjerne i fossilt fyrte kraftverk, kjernekraftverk eller vannkraftanlegg. Fossilt fyrte kraftverk gir utslipp til luft og vann, mens kjernekraftverk - foruten å gi radioaktive avfallsprodukter som vanskelig lar seg destruere - kan gi radioaktive utslipp ved uhell.

Vannkraftanlegg gir ingen forurensende utslipp til luft og vann, men kan gi skader på miljøet som følge av oppdemning og regulering av vassdrag.

Vannkraft regnes som den mest miljøvennlige av de tradisjonelle energikildene. Men det er begrenset hvor mye vannkraft det er mulig og ønskelig å bygge ut. Vassdragene representerer storslått natur som er mangelvare i urørt tilstand rundt om i verden.

Vinden er en fornybar energikilde, som lar seg utnytte på en miljøvennlig måte. Et vindkraftverk opptar liten plass og behøver ikke å komme i konflikt med lokale interesser. Vindkraftverk kan i tillegg fjernes etter endt bruk.

Vindkraftverk kan i enkelte tilfeller ha en viss innvirkning på fuglelivet. Registreringer som er foretatt i utlandet, viser imidlertid at det er få fugler som kolliderer med vindkraftverk. Vindkraftverks innvirkning på trekkruiter og hekkeområder synes også å kunne begrenses gjennom fornuftig planlegging.

Vindkraftverk kan representere en kilde til akustisk støy. Støyen fra vindkraftverk vil være mest fremtredende ved lave vindhastigheter. Ved høyere vindhastigheter vil imidlertid vindsuset overdøve støyen fra vindkraftverket. For å unngå problemer med støy bør vindkraftverk plasseres i en viss avstand fra bebyggelse. For enkeltstående vindkraftverk av de typene vi kjenner i dag, vil en avstand på ca 300m være tilstrekkelig. For vindkraftverk samlet i parker, bør avstanden til bebyggelse være større.

For å unngå at vindkraftverk skal bli til sjenanse for folk, bør det være en «buffersone» mellom vindkraftverk og vei, bebyggelse og rekreasjonsområder. Vindkraftverk samlet i parker bør settes opp i et symmetrisk mønster, og fargen på tårn og maskinhus bør være nøytral. Ved å oppføre samme type vindkraftverk i små grupper, vil forstyrrelsen av landskapsbildet kunne reduseres. I og med at vi i Norge har en langstrakt kyst med liten bebyggelse, vil vindkraftverk kunne oppføres mange steder til liten sjenanse for folk.

ORD OG UTTRYKK

Nedenfor følger forklaringer på ord og uttrykk som benyttes i vindkraftsammenheng.

Aerodynamisk brems

Brems (basert på luftkrefter) som aktiviseres av f.eks. sentrifugalkraften ved for høyt omdreiningstall.

Mekanisk brems

En skive-, trommel- eller båndbrems. Bremsen aktiveres vanligvis av et hydraulisk system.

Autonome (alenestående) energianlegg

Energianlegg som ikke er tilknyttet det sentrale elektrisitetsnett.

Asynkron generator (AG)

Generator som omformer mekanisk arbeid til elektrisk energi. Den har omdreiningstall avhengig av produksjonen (avgitt elektrisk effekt) og nettets frekvens. AG må kjøres mot det eksisterende elektrisitetsnettet.

AG er nær sagt enerådende som generator i moderne vindkraftverk i dag.

Synkrongenerator (SG)

Generator som omformer mekanisk arbeid til elektrisk energi. Den stiller større krav ved innkobling på nettet enn en AG, da den skal være tilpasset både nettets frekvens og spenning. SG kan kjøres uavhengig av elektrisitetsnettet.

Bestrøket areal

Arealet av den sirkelflaten en vinge beskriver ved rotasjon.

Brukstid

Brukstid er lik årlig energiproduksjon (kWh) delt på nominell effekt (kW).

$$\text{Brukstid} = \frac{E \text{ (kWh)}}{P_n \text{ (kW)}}$$

Kapasitetsfaktor

Kapasitetsfaktoren er lik årlig energiproduksjon (kWh) delt på 8760 timer (h) og nominell effekt P_n (kW).

$$\text{Kapasitetsfaktor} = \frac{E \text{ (kWh)}}{8760 \text{ (h)} \cdot P_n \text{ (kW)}}$$

Watt (W)

Enhet for effekt. Effekt er energi per tidsenhet (joule per sekund).

1 Kilowatt	(kW)	er lik 1000 W.
1 Megawatt	(MW)	er lik 1000 kW.
1 Gigawatt	(GW)	er lik 1000 MW.
1 Terawatt	(TW)	er lik 1000 GW.

Wattime (Wh)

Enhet for elektrisk energi. 1 Wh tilsvarer å bruke 1 W i en time.

1 Kilowattime	(kWh)	er lik 1000 Wh.
1 Megawattime	(MWh)	er lik 1000 kWh.
1 Gigawattime	(GWh)	er lik 1000 MWh.
1 Terawattime	(TWh)	er lik 1000 GWh.

Rotor

Fellesbetegnelse for vinger, nav og aksling.

Vindkraftverkenes størrelse

På nåværende stadium benyttes følgende betegnelser:

Små vindkraftverk - mindre enn 100 kW
Middels store vindkraftverk - mellom 100 og 500 kW
Store vindkraftverk - større enn 500 kW

Vindpark

En gruppe av vindkraftverk.

Årstilgjengelighet

$$\text{Årstilgjengelighet (\%)} = \frac{(8760 \cdot N - h)}{8760 \cdot N} \cdot 100$$

Hvor

N = antall vindkraftverk ($N = 1, 2, 3$ osv.)

h = sum antall timer de enkelte vindkraftverkene ikke har vært tilgjengelig for drift

REFERANSELISTE

/ 1/ Vær, vind og sjø på norskekysten, meteorolog Petter Dannevig, Nordanger forlag, 1992.

/ 2/ Kilde: Meteorolog Petter Dannevig.

/ 3/ Vindenergi i Norge, IFE 1981.

/ 4/ Kilde: Vestas.

/ 5/ Klimarelaterte problemstillinger og energisektoren, NVE rapport nr. E-2/1990.

/ 6/ Oppdatering av vindkraftpotensialet i Norge, IFE 1990.

/ 7/ Kilde: IFE.

VEDLEGG A

Beregning av energiproduksjonen fra et vindkraftverk

Den årlige energiproduksjonen fra et enkeltstående vindkraftverk kan rent overslagsmessig beregnes etter følgende formel (gjelder i intervallet 5 til 9 meter per sekund):

$$E = A \cdot (0,3 \cdot V - 1,0)$$

hvor

E er energiproduksjonen (MWh)

A er bestrøket areal (m²)

V er den gjennomsnittlige vindhastighet over året (m/s)

Tap i energiproduksjonen oppstår av forskjellige grunner, f.eks. ved redusert tilgjengelighet på vindkraftverket og skyggevirksomheter fra andre vindkraftverk ved plassering i vindparker etc.. Forutsatt 90 % tilgjengelighet og 5 % skyggevirksomhet, kan den årlige energiproduksjonen fra et vindkraftverk i en vindpark anslås etter følgende formel:

$$E = A \cdot (0,27 \cdot V - 0,9) \text{ (MWh)}$$

Ved en mer nøyaktig beregning av energiproduksjonen, benyttes andre metoder.

Sammenhengen mellom bestrøket areal (m²) og anleggets nominelle effekt P_n (MW) er tilnærmet gitt ved:

$$A = 2500 \cdot P_n$$

VEDLEGG B

Beregning av midlere produksjonskostnad for vindgenerert elektrisitet

Energikostnaden for elektrisitet generert i et vindkraftverk er gitt ved:

$$K = (I \cdot \alpha + d)/E$$

hvor

K er kostnad pr produsert energienhet for vindkraftverket (kr/kWh)

E er forventet årlig energiproduksjon (kWh/år)

I er investeringskostnaden for vindkraftverket (kr)

α er annuitetsfaktoren

d er årlige drift- og vedlikeholdskostnader (kr)

For overslagsberegninger kan benyttes:

$$d = 0,025 \cdot I$$

Annuitetsfaktoren er gitt ved:

$$\alpha = \frac{\frac{r}{100}}{1 - \left(1 + \frac{r}{100}\right)^{-n}}$$

Hvor

n er økonomisk levetid for vindkraftverket (20-25 år)

r er realrenten i % p.a.

Ønsker du mer informasjon ?

For mer informasjon kan du kontakte:

FORVALTNINGSORGANER

Olje- og energidepartementet, Pb. 8148 Dep., 0033 Oslo.

Norges vassdrags- og energiverk, Pb. 5091 Majorstua, 0301 Oslo.

Det norske meteorologiske institutt, Pb. 43 Blindern, 0313 Oslo.

INTERESSEORGANISASJONER

Norsk Vindenergiforening, Solveien 37, 1360 Nesbru.

Norges Energiverkforbund, Pb. 74 Blindern, 0314 Oslo 3.

EIERE AV VINDKRAFTVERK

Andøy Kommunale Kraftverk, Pb. 40, 8484 Risøyhamn.

Jæren Folkehøgskole, Lensmann Karlsens vei 9, 4060 Kleppe.

Møre og Romsdal Energiverk, Pb. 1102, 6401 Molde.

Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk, Sjøfartsgt. 3, 7700 Steinkjer.

Sør-Trøndelag Kraftselskap, Pb. 3755, 7002 Trondheim.

Vallersund Gård, 7167 Vallersund.

Vesterålens Kraftlag, Pb. 84, 8401 Sortland.

FORSKNINGSINSTITUSJONER

Energiforsyningens Forskningsinstitutt A/S (EFI), 7034 Trondheim.

Institutt for energiteknikk (IFE), Pb. 40, 2007 Kjeller.

Veritas Research, Veritasvn. 1, 1322 Høvik.

INDUSTRIBEDRIFTER

ABB Energi A/S, Pb. 214, Økern, 0510 Oslo.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energiverk (NVE)
Adresse: Postboks 5091 Majorstua, 0301 Oslo 3

I 1992 ER FØLGENDE PUBLIKASJONER UTGITT:

- Nr 1 Opprusting og utvidelse av vannkraftverk. Seminar om småkraftverk Olavsgård, 29. jan. 1992. (95 s.)
- Nr 2 Gry Berg og Per Einar Faugli (red.): FoU-prosjekter i Orkla. Oppsummerende prosjektmøte. (349 s.)
- Nr 3 Hallgeir Elvehøy og Nils Haakensen (red.): Glasiologiske undersøkelser i Norge 1990 og 1991. (103 s.)
- Nr 4 John Cock: Pris på elektrisk kraft til husholdninger 1992. (7 s.)
- Nr 5 Opprustning og utvidelse av vannkraft. Nr 18. Mælafoss og Skulbørstadfoss kraftverker, Nord-Trøndelag.
- Nr 6 Ollianne Eikenæs og Per Einar Faugli (red.): Etterundersøkellesprogrammet - statusrapport 1991. (71 s.)
- Nr 7 Jon Arne Eie, Per Einar Faugli og Odd E. Sjulsen: Type og referansevassdrag
- Nr 8 Opprusting og utvidelse av vannkraftverk. Erfaringer fra gjennomførte prosjekter, nr 19 Aurland I kraftverk, Sogn og Fjordane. (27 s.)
- Nr 9 Opprusting og utvidelse av vannkraftverk. Erfaringer fra gjennomførte prosjekter, nr 20 Vamma kraftverk, Østfold. (35 s.)
- Nr 10 Anders Korvald og Torodd Jensen, NVE/Ødegård & Grøner: Vannkraftpotensialet relatert til kostnaden for vindkraftverk. Grunnlag: ressurskartlegging i Vesterålen. (122 s.)
- Nr 11 Opprusting og utvidelse av vannkraftverk. Erfaringer fra gjennomførte prosjekter, nr 21 Nedre Nea kraftverk, Sør-Trøndelag. (30 s.)
- Nr 12 Utgår
- Nr 13 Opprusting og utvidelse av vannkraftverk. Utnyttelse av minstevannføring til kraftproduksjon i Sira-Kvina. (19 s.)
- Nr 14 Opprusting og utvidelse av vannkraftverk. Erfaringer fra effektutvidelse ved Tronstad kraftverk. (22 s.)
- Nr 15 Opprusting og utvidelse av vannkraftverk. Beslutningsprosessen - en veiledning. (48 s.)
- Nr 16 Konesjonskraft. (59 s.)
- Nr 17 Tron Laumann : Simulering av breers massebalanse. (16 s.)
- Nr 18 Opprusting og utvidelse av vannkraftverk. Utnyttelse av minstevannføring til kraftproduksjon. Sluttrapport. (15 s.)
- Nr 19 Opprusting og utvidelse av vannkraftverk. Kraftverkene i nedre deler av Drammensvassdraget. O/U-planer 1980-92. (27 s.)
- Nr 20 Steinar Pettersen og Ollianne Eikenæs: Differensiert forvaltning av vernede vassdrag. (18 s.)
- Nr 21 Opprusting og utvidelse av vannkraftverk. Levetid og restlevetid. (42 s.)
- Nr 22 John E. Brittain og Jon Arne Eie (red.): Biotopjusteringsprogrammet - status 1991. (47 s.)
- Nr 23 Erling Solberg; Vindkraft. En generell presentasjon av vindkraft og det norske vindkraftprogrammet. (16 s.)

NORGES VASSDRAG
OG ENERGIVERK



00531876