



Vindkraftpotensialet i Norge

*Knut Hofstad
Kjersti Mølmann
Lars Tallhaug*

17
2005

R
A
P
P
O
R
T



Vindkraftpotensialet i Norge

Knut Hofstad, Kjersti Mølmann, Lars Tallhaug

Rapport nr 17/2005

Vindkraftpotensialet i Norge

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfattere: Knut Hofstad, Kjersti Mølmann; NVE, Lars Tallhaug; Kjeller
Vindteknikk

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 100

Forsidefoto:

Sammendrag:

Emneord: Vindkraftpotensial, vindkraftutbygging

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

August 2005

Innhold

Forord.....	4
Sammendrag.....	5
1. Innledning.....	6
2. Beregningsmetode.....	6
3. Resultater	10
Vest-Agder.....	12
Rogaland	15
Hordaland	17
Sogn og Fjordane	19
Møre og Romsdal.....	21
Sør-Trøndelag	23
Nord-Trøndelag.....	25
Nordland	27
Troms.....	30
Finnmark.....	32
Landsoversikt	35
4. Konklusjon	39
Referanser	40

Forord

Regjeringen har i Stortingsmelding nr 29 (1998-99) foreslått en omlegging av norsk energipolitikk som bl.a. innebærer en større satsing på nye fornybare energikilder. Ett av målene som er satt er ”å bygge vindkraftanlegg som årlig produserer 3 TWh innen 2010”. Dette målet er også lagt til grunn for Regjeringens Langtidsprogram for 2002-2005.

Økt fokusering på vindkraftens betydning for norsk energiforsyning gjør det ønskelig å kartlegge hvor stort vindressurspotensialet er og hvor i landet en finner de gunstigste betingelsene for vindkraftutbygging. Som Olje- og energidepartementets fagetat i energispørsmål pålegger det NVE et særlig ansvar for å bidra til denne ressurskartleggingen.

NVE har tidligere, som et første skritt, gjennomført en forenklet kartlegging av de fysiske vindkraftressursene i Norge langs kysten fra Lindesnes til den russiske grensen. I denne rapporten gjøres det anslag på hvor stor del av de påviste ressursene som, under nærmere angitte forutsetninger, er interessante for utbygging. Ikke alle områder med vind er like godt egnet for vindkraftutbygging. Både tekniske, økonomiske og miljømessige forhold har betydning. I denne undersøkelsen har en først og fremst lagt vekt på teknisk/økonomiske begrensninger. I tillegg er det tatt hensyn til at vindkraftutbygging ikke kan skje i områder der det er innført restriksjoner, for eksempel av hensyn til miljø eller befolkning.

Utbygging av vindkraft oppfattes av noen som et til dels sterkt inngrep i naturen. I praksis må en utbygging ta hensyn til en rekke miljøforhold som for eksempel estetikk og virkning på fauna. Det er viktig å understreke at denne undersøkelsen ikke har tatt slike forhold i betraktning. Det er først under konsesjonsbehandlingen av et konkret utbyggingsprosjekt at alle konsekvenser av en kraftutbygging kommer fram. Resultatene som presenteres i denne rapporten må derfor kun ses på som en ramme for hva som kan vurderes for videre detaljplanlegging.

Oslo, august 2005

Marit Lundteigen Fossdal
avdelingsdirektør

Torodd Jensen
seksjonssjef

Sammendrag

Norge har store fysiske vindkraftressurser. Bare en liten del av disse ressursene kan utnyttes. I rapporten er det beregnet hvor mye som kan bygges ut når en tar hensyn økonomi, noen valgte begrensninger og eksisterende restriksjoner vedrørende arealutnyttelse og miljø.

Undersøkelsen omfatter kystnære områder fra Lindesnes til den russiske grensen. Totalt er det i denne undersøkelsen funnet et vindkraftpotensial på ca. 250 TWh som kan bygges ut til en kostnad varierende mellom 27 – 40 øre/kWh. Over halvparten av de påviste vindkraftressursene finner en i Finnmark. Av de øvrige fylkene er det Troms og Sør-Trøndelag som har de største påviste vindkraftressursene, henholdsvis 19 TWh og 18 TWh. Vindressursene i de øvrige fylkene varierer mellom 0,7 TWh (Vest-Agder) og 11 TWh (Sogn og Fjordane).

Området som er undersøkt utgjør ca 12,5 % av det totale landområdet i Norge, og omfatter fortrinnsvis de deler av landet som har de gunstigste vindforholdene. Det er grunn til å tro at det også finnes noen områder med gunstige vindforhold utenfor de områder som er undersøkt. Den valgte metoden for kartlegging av det fysiske vindkraftpotensialet har klare begrensninger og er ikke egnet hvis en ønsker å gå lenger inn i landet. En eventuell ny og utvidet kartlegging vil ventelig avdekke flere områder som er egnet for vindkraftutbygging.

I praksis vil vindkraftutbyggingen begrenses av en rekke faktorer som ikke er vurdert i denne undersøkelsen. Dette gjelder i særlig grad nettkapasiteten i de nordligste fylkene. Mens tyngdepunktet av forbruket ligger i sør er de største vindkraftressursene i nord. Overføringskapasiteten mellom nord og sør må derfor styrkes vesentlig om disse vindkraftressursene skal utnyttes. Undersøkelsen kan muliggjøre løpende samfunnsøkonomiske vurderinger for å se vindressursene i Sør-, Midt- og Nord-Norge i sammenheng med utbyggingsbehovet for vindkraft de nærmeste 10-20 år.

Det er heller ikke vurdert hva som vil bli tillatt utbygd når alle særskilte skadevirkninger av miljømessig og annen karakter blir dokumentert i forbindelse med behandlingen av de enkelte utbyggingsprosjekter. For eksempel er det uklart hvilken betydning hensynet til visuelle virkninger og i noen grad reindrift og forsvarrets radaranlegg vil få for hvilke restriksjoner en må legge på vindkraftutbyggingen.

1. Innledning

Vindkraft har så langt spilt en beskjeden rolle i norsk kraftforsyning. Per mai 2005 er det bygd ut ca. 160 MW vindkraft, som på årsbasis utgjør ca. 500 GWh produsert energi. Det foregår imidlertid en omfattende planleggingsvirksomhet innen dette området. Til nå har NVE mottatt konsesjonssøknader og forhåndsmeldinger for over 20 TWh vindkraft.

De naturgitte forholdene for å utnytte vindkraften er meget gode i Norge sammenlignet med en rekke andre land som er kommet lengre i utbyggingen av vindkraft. Vindforholdene er spesielt gode langs kysten fra Lindesnes til den russiske grensen. NVE har derfor kartlagt de fysiske vindressursene i dette område. Kartleggingen ble utført av Vector AS i samarbeid med Det norske meteorologiske institutt (DNMI). Resultatene er vist i NVEs vindatlas som er tilgjengelig på NVEs nettside (www.nve.no). (Se også NVE-rapport nr 16/2001: "Vindressurser i Norge" [1]).

Selv om de fysiske vindressursene er store er det usikkert hvor mye av disse ressursene som i praksis kan utnyttes. Vindkraftutbyggingen er underlagt en rekke begrensninger og restriksjoner, både av økonomisk og miljømessig art. Norge er et langstrakt land med en komplisert geografi der mange lokale forhold spiller inn. Å kartlegge aktuelle områder langs norskekysten som er egnet for vindkraftutbygging blir dermed en svært omfattende og komplisert oppgave. For å forenkle dette arbeidet har NVE utviklet en metode som gjør det mulig å bruke datamaskinelle hjelpemidler [2]. Metoden er anvendt for fylkene fra Vest-Agder til Finnmark og foreliggende rapport viser resultatene av beregningene.

2. Beregningsmetode

Den delen av vindenergien over Norge som med dagens teknologi kan bygges ut når det ikke tas hensyn til miljø eller økonomisk lønnsomhet, har vi valgt å definere som det *fysiske vindkraftpotensialet* over Norge. En forutsetter her at en tenkt utbygging skjer på en konvensjonell måte uten at en tøyser de teknologiske grenser for hva som er mulig (se [1]).

Bare en mindre del av det fysiske potensialet er aktuell for utbygging. Det skyldes i første rekke at en vindkraftutbygging representerer et betydelig miljøinngrep. Mange potensielle utbyggingsområder er underlagt en rekke restriksjoner som utelukker enhver form for vindkraftutbygging. Dessuten vil det i praksis bli stilt økonomiske krav for at en utbygging skal komme på tale. Her vil vindforhold og infrastrukturkostnader, som nødvendig utbygging av vei og elnett, være avgjørende.

Den delen av det fysiske potensialet som er lønnsom å bygge ut kalles gjerne for det økonomiske potensialet. Vindkraften er imidlertid fremdeles ikke konkurransedyktig sammenlignet med andre kraftgenereringsformer, for eksempel vannkraft. Vindkraftens økonomiske potensial er derfor begrenset, og en utbygging vil i lang tid være avhengig av former for støtte. Vi vil derfor bruke begrepet *det betinget økonomiske potensialet* for å betegne den delen av det fysiske potensialet som kan bygges ut under nærmere angitte krav til økonomi, minstevind og restriksjoner vedrørende arealutnyttelse og miljø.

Ved siden av disse økonomiske rammebetingelsene vil det fysiske potensialet som kan bygges ut også være avhengig av mange forhold som vil variere med tiden, som for eksempel:

- Konkurransen med andre energibærere. Potensialet for vindkraftutbygging er i avgjørende grad bestemt av kraftmarkedets betalingsvillighet. Denne vil variere over tid. Dessuten er vindkraftteknologien forholdsvis ung og det er ventet fallende enhetskostnader for vindkraft i fremtiden.
- Miljøbegrensninger. Samfunnets vilje til å akseptere de miljøinngrep som vindkraftutbyggingen utgjør vil til enhver tid være avhengig av landets behov for ny kraft og om det finnes andre og mer miljøvennlige kraftgenereringsformer.
- Forsvarshensyn. Det har vist seg at forsvarets radaranlegg kan bli forstyrret av roterende vindturbiner.
- Nettbegrensninger. Det beste vindkraftpotensialet finnes i områder der nettet er svakt. For å realisere dette potensialet må nettet forsterkes, hvilket kan ta lengre tid enn kraftutbyggingen.

En beregning av et økonomisk vindkraftpotensial med datamaskinelle hjelpemidler er dessuten beheftet med de begrensninger som følger av at en kun kan ta hensyn til kvantifiserbare og registrerbare forhold. Miljøvurderinger må i stor grad baseres på skjønn. I praksis gjøres dette i tilknytning til konkrete vindkraftutbygginger som legges frem for offentligheten. Det er først i konsesjonsbehandlingen at alle relevante forhold knyttet til en utbygging kommer fram. Denne prosessen kan i prinsippet ikke foregripes og det beregnede potensialet kan derfor avvike fra det som i ettertid blir frigitt i en konsesjonsbehandling.

På denne bakgrunn kan det hevdes at å beregne et presist mål på hvor mye vindkraft som det er realistisk å bygge ut i Norge ikke gir noen mening. Det som kan bygges ut på grunnlag av økonomiske kriterier vil variere med tiden, og samfunnets vilje til å akseptere miljøinngrep kan i prinsippet ikke beregnes og vil dessuten endre seg over tid.

En beregning av vindkraftpotensialet i Norge basert på ulike og forenklede forutsetninger kan likevel være egnet til å belyse den aktuelle problemstillingen. Kunnskap om landets naturressurser er en viktig forutsetning for å kunne foreta strategiske valg i energipolitikken. Ulike fremstillinger av vindkraftpotensialet kan bidra til å klargjøre hvor stor rolle vindkraften kan få i fremtiden under ulike forutsetninger, og hvilke konsekvenser på for eksempel arealdisponeringen ulike utbyggingsnivåer kan få.

Foreliggende rapport gir derfor ikke et endelig estimat på hvor stort vindkraftpotensialet er i Norge. Rapporten må snarere ses på som et bidrag til å belyse problemstillingen: hvor mye vindkraft er det under ulike forutsetninger realistisk å bygge ut i Norge.

Utgangspunktet for beregningene er NVEs vindatlas som viser det fysiske vindkraftpotensialet. Det betinget økonomiske vindkraftpotensialet beregnes etter at alle områder som ikke oppfyller nærmere angitte krav er ekskludert. Eksklusjonen gjøres ved hjelp av GIS-verktøy. Kartgrunnlaget som benyttes er Norge 1:50 000.

Det er satt opp både fysiske og miljømessige kriterier for å ekskludere områder som skal unntas vindkraftutbygging:

- Områder med for lite vind. Det er gjort beregninger med krav om minste midlere vindhastighet på henholdsvis 7,0 m/s og 8,0 m/s.
- Terrengforhold. Sterkt kupertede områder må av teknisk/økonomiske grunner unntas fra vindkraftutbygging. Kriteriet for å ekskludere slike områder er stigningen i terrenget. Det er valgt en maksimalgrense på 25 % stigning (forhold mellom vertikal høyde og lengde i horisontalplanet). Dette tilsvarer en helningsvinkel på $14,0^{\circ}$.
- Skog. Skog er ikke i seg selv et eksklusjonskriterium da det rent teknisk er mulig å bygge vindparker i skogkledde områder, men i praksis vil det neppe være aktuelt å bygge vindparker på slike steder. Skog bidrar til en sterk nedbremsing av vinden. Det har vist seg at den vindmodellen som ble brukt til å beregne det fysiske vindkraftpotensialet hadde mangelfulle skogdata i sitt datamateriale. Den faktiske nedbremsingen over skogområder er derfor stedvis ikke fanget opp av vindmodellen (se [2]).
- Områder med vernestatus. Dette gjelder nasjonalparker, naturreservater, landskapsvernområder, fredningsområder og skytefeltområder.
- Bebyggelse. Minsteavstand til enkelthus er satt til 600 m og til tettsteder 1000 m.
- Strandsone. Det er byggeforbud i en strandsone på 100 m.
- Innsjøer. Det er ikke aktuelt å bygge vindturbiner i større innsjøer. Byggeforbud i strandsonen vil også gjelde innsjøer. Derimot vil mindre innsjøer lett kunne innpasses i en vindpark. Grensen for hvilke innsjøer som blir ekskludert fra utbyggingsområdet er satt til $0,04 \text{ km}^2$.

Områder som ikke er ekskludert og som oppfyller kravet til minste middelvind (på henholdsvis 7 og 8 m/s) legges til grunn som mulige utbyggingsområder. Forventet energiproduksjon beregnes av registrert middelvind i området (data fra NVEs vindatlas) og under forutsetning av at utbyggingstettheten er 15 MW per km^2 .

I beregningen av enhetskostnadene for produsert energi har en antatt at de totale utbyggingskostnadene er 8 mill. kr/MW, eksklusiv kostnader for nett- og veitilknytning (men inkl. nett- og veikostnader innen parkområdet), og at driftskostnadene er på 5 øre per produsert kWh. Det er benyttet en kalkulasjonsrente på 8 % og 20 års avskrivningstid.

Av påfølgende nettkostnader har en beregnet tilknytningskostnader til nærmeste 60 kV forbindelse (eller høyere), men ikke inkludert nødvendig forsterkning i overliggende nett. Det er også beregnet kostnader for å bygge vei inn til parkområde fra nærmeste offentlig vei.

Metoden for å beregne det betinget økonomiske vindkraftpotensialet er i detalj beskrevet i ref [2]. I de beregningseksemplene som ble benyttet i denne rapporten valgte en å fremstille kart over de potensielle vindparker som ble identifisert. P.g.a. usikkerheten som er knyttet til en detaljert lokalisering av mulige vindparker, har en valgt å ikke offentliggjøre disse kartene i foreliggende rapport.

Ressurskartlegging av denne art er ingen ”eksakt vitenskap” og resultatet må tas med alle mulige forbehold. Velges en annen tilnæringsmåte vil resultatet bli et annet. En metode

basert på datamaskinelle hjelpemidler forutsetter dessuten at alle kriterier som benyttes er formalisert. Dette representerer en forenkling i forhold til virkeligheten da det lokalt vil forekomme forhold som ikke er eller kan formaliseres, men hvor en i stedet må utøve et skjønn. Videre må det tas forbehold om at det datagrunnlaget som er benyttet kan inneholde feil eller mangler.

Det er i undersøkelsen heller ikke tatt i betraktning at hensynet til forsvarrets radaranlegg i praksis vil kunne stanse eller redusere mange vindkraftutbygginger.

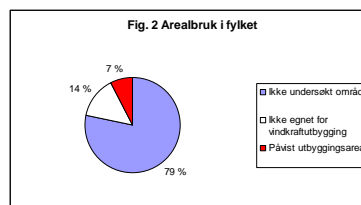
3. Resultater

I det etterfølgende vises resultatene fra undersøkelsen fylke for fylke. For hvert fylke vises følgende figurer:

Figur 1 viser kart over områder der vindforholdene er modellert (modellområder). Modellområdene er markert med rektangler, nummerert fra 1 og oppover. Det påviste vindkraftpotensialet er illustrert med søyler. Områder utenfor modellområdene er ikke kartlagt. Modellområdene skulle forutsetningsvis dekke de deler av fylket der en kunne forvente å finne de beste vindforholdene. I ettertid har det vist seg at enkelte fylker har områder med gode vindforhold også utenfor modellområdene. Vindforholdene er her ikke kartlagt og det faktiske vindkraftpotensialet kan derfor være større enn det som er påvist.

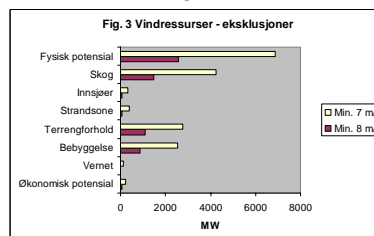


Figur 2 illustrerer hvor store andeler av fylkets areal som er berørt. Sirkelen representerer fylkets totale areal. Den hvite sektoren representerer de ekskluderte områdene, mens de betinget økonomiske utbyggingsområdene er representert med det røde feltet, der en har lagt til grunn at bare områder som har en middelvind > 7 m/s er aktuelle for utbygging. Summen av det hvite og røde feltet representerer det arealet som er undersøkt (dvs. modellområdene). Figuren illustrerer således både hvor stor del av fylket som er kartlagt (modellert) og hvor stor del av det kartlagte området som kan bygges ut.

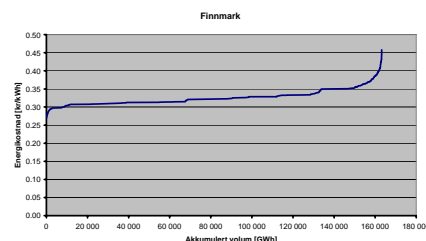


Figur 3 illustrerer betydningen av de ulike restriksjonene. Her er arealene regnet om til

MW, i det en forutsetter at et område kan bygges ut med en tetthet på 15 MW per km². Utgangspunktet for eksklusjonene er det fysiske potensialet som er beregnet for middelvind > 7 m/s (gul søyle) og > 8 m/s (rød søyle). Det samme er gjort for eksklusjonskriteriene skog, innsjøer osv. Summen av resultatene fra de enkelte restriksjonskriteriene og det økonomiske potensialet er større enn det samlede fysiske potensialet. Det betyr at et gitt område kan ekskluderes på grunnlag av flere enn ett kriterium.



Figur 4 viser kostnadskurven for fylket der utbyggingskostnaden er omregnet til en enhetskostnad i øre/kWh. Kostnadskurven er beregnet på grunnlag av de vindparker som metoden har identifisert med en middelvind > 7 m/s. For hver vindpark er det beregnet en utbyggingskostnad (8 mill. kr per MW), nettilknytningskostnad og produksjonsevne. Forholdet mellom årlige kapital-kostnader og årlig produksjonsevne danner grunnlag for å beregne enhetskostnaden der en også har tatt hensyn til driftskostnadene. Behov for forsterkninger i det overliggende elnettet er ikke inkludert i kostnadsoverslaget.



Kostnadskurven viser hvordan kostnadene til de enkelte identifiserte vindparker fordeler seg. Det er benyttet en datamaskinell metode for å identifisere vindparkene (se ref [2]). Med en manuell metode vil en selvsagt kunne avgrense vindparkene slik at disse kan bygges ut til en lavere enhetskostnad enn det som er vist i figuren og tilsvarende høyere enhetskostnad for de resterende områder. Spredningen av enhetskostnadene for vindparkene kan derfor i praksis bli større enn det som vises på figuren.

Vest-Agder

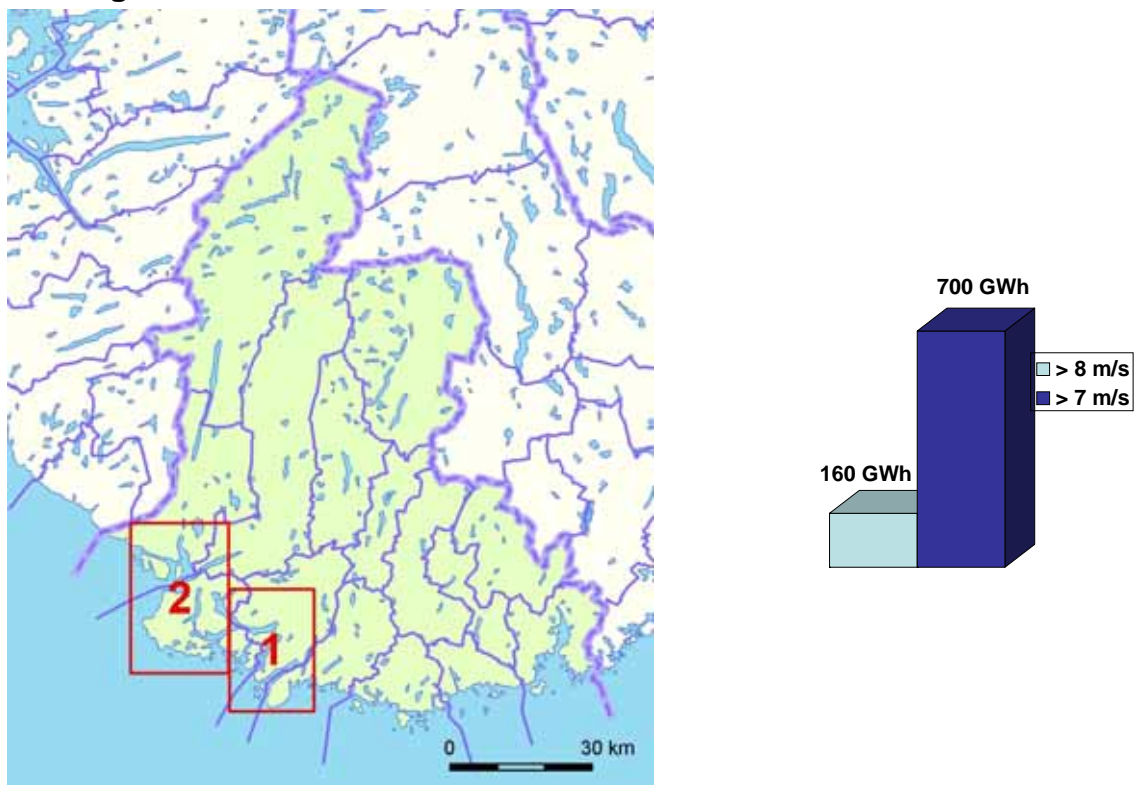


Fig. 1. Modellområder

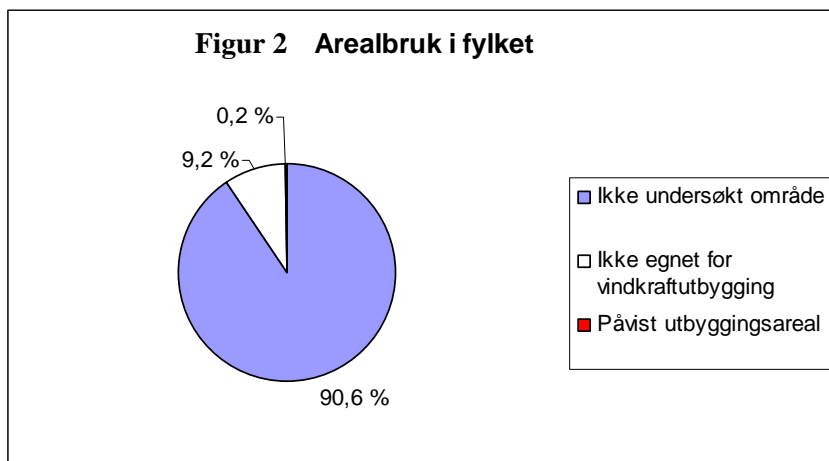
Figur 1 viser modellområdene som i Vest-Agder er begrenset til de vestre delene av fylket og utgjør ca. 9 % av fylkets totale areal. Oppsummert ble resultatet:

	MW	GWh
Middelvind > 7 m/s	239	704
Middelvind > 8 m/s	49	160

Tabell 1. Betinget økonomisk potensial

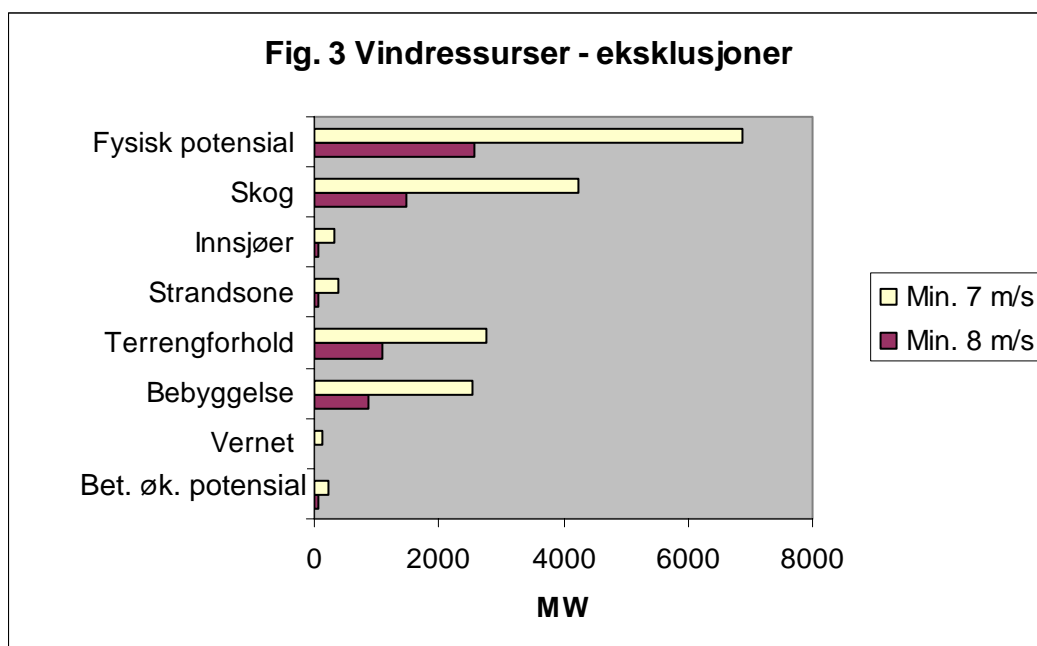
Som en ser er det bare en svært liten del av modellområdene i fylket som er egnet til vindkraftutbygging.

Andelen utbyggbare arealer i forhold til det totale arealet i fylket er illustrert i kakediagrammet i figur 2. Her fremgår det også at



bare en liten del (9 %) av fylket er undersøkt.

Undersøkelsen har vist at det betinget økonomiske potensialet er lite i forhold til det fysiske potensialet som er påvist innenfor det undersøkte område. Det fysiske potensialet i fylket er anslått til 6800 MW (min. middelvind 7 m/s) henholdsvis 2500 MW (min. middelvind 8 m/s). Store områder må imidlertid ekskluderes fra utbygging av ulike grunner, slik som vist i figur 3, slik at bare 240 MW (min. 7 m/s) eller 50 MW (min. 8 m/s) kan bygges ut. De eksklusjonskriteriene som gir størst utslag er skog, terrengforhold og minsteavstand til bebyggelse. Når det gjelder skog, er datagrunnlaget noe usikkert. De digitale kartdata som er brukt skiller ikke mellom ulike skogtyper. Mye av skogen langs kysten er lavt-voksende krattskog som ikke behøver å begrense en vindkraftutbygging. Det økonomiske potensialet i Vest-Agder kan således godt vise seg å være større enn det som er påvist.

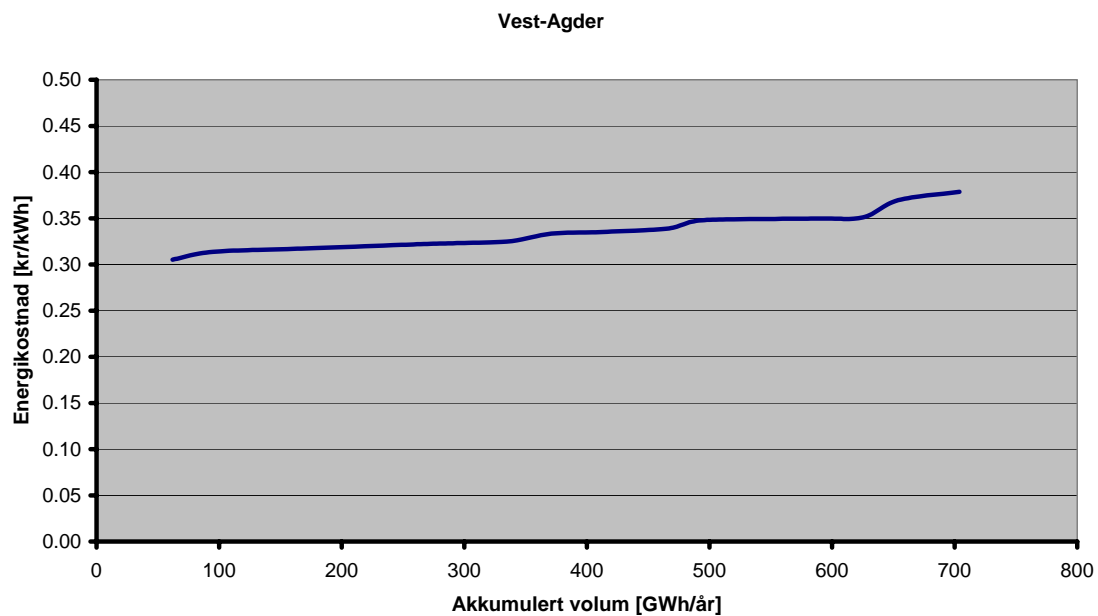


De fremtredende vindretningene i Vest-Agder er fra øst og fra vest-nord-vest. Om sommeren gir solgangsbrisen et viktig bidrag. Den kommer fra vest og nord-vest i denne regionen. Den er så vidt kraftig at variasjonen i vindhastighet over året er liten. Om vinteren er det dominans av vind fra øst. Denne vinden er styrt av kraftig lavtrykksaktivitet som kommer inn i Nordsjøen. Lenger øst i Vest-Agder er de dominerende vindretningene sør-vest og nord-øst.

Det er ingen observasjoner, som NVE kjenner til, i de høyereliggende områdene. Dette betyr at det er vanskelig å si noe om nøyaktigheten av modellen i dette området. Basert på sammenligninger i andre områder må en forvente at de beregnede verdiene på de eksponerte toppene er for høye. Dette gjelder spesielt lengst fra kysten.

Elnettet er godt utbygd i fylket og det påviste potensialet vil kunne realiseres med relativt beskjedne tiltak i sentral- og regionnettet.

Figur 4 viser kostnadskurven for fylket. Kort vei til nett og veiforbindelse, jevn spredning av vind i området gjør at utbyggingskostnadene varierer lite.



Figur 4 Kostnadskurve

Rogaland

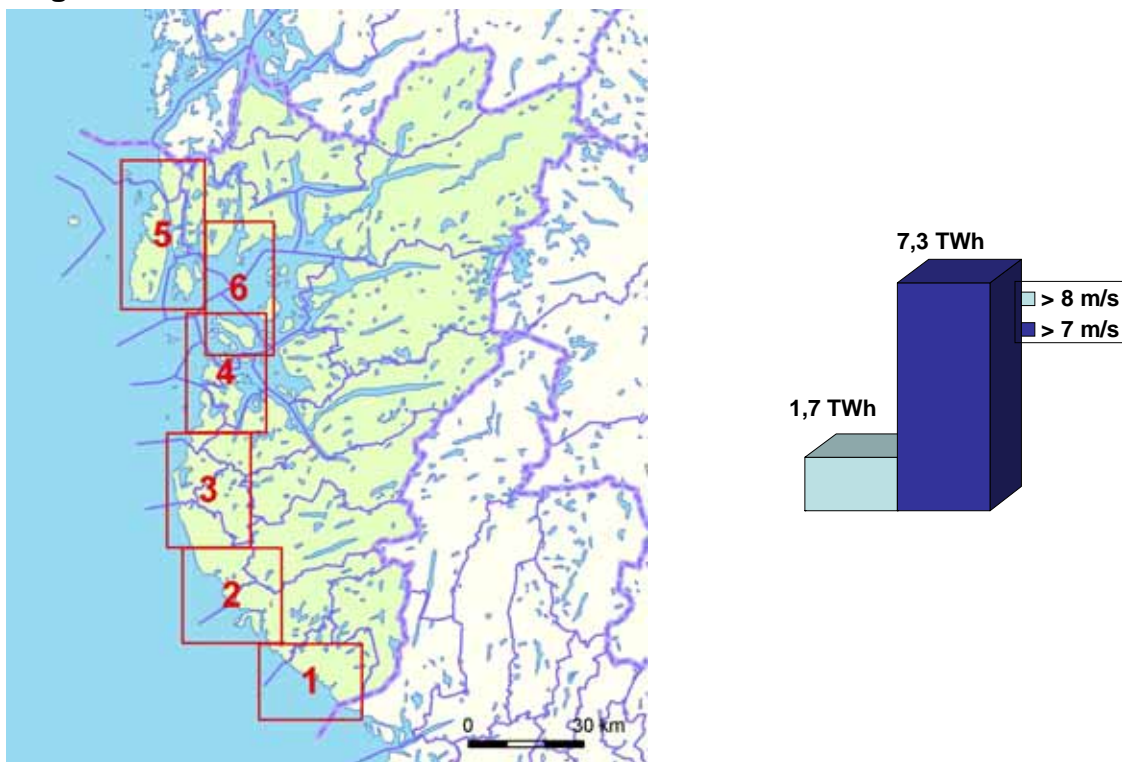


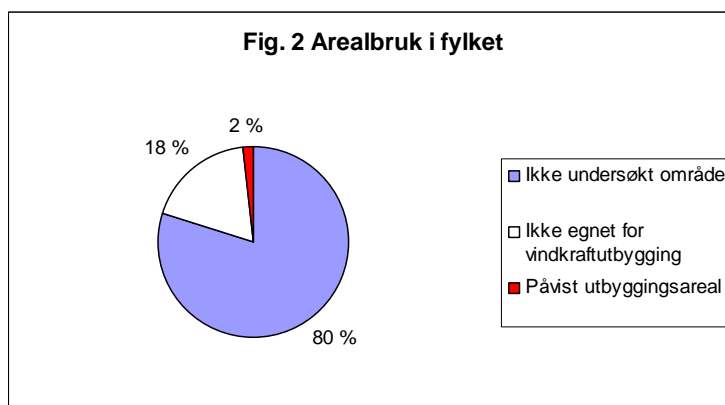
Fig. 1. Modellområder

Figur 1 viser modellområdene i Rogaland som her utgjør ca. 20 % av fylktes totale areal. Oppsummert ble resultatet:

	MW	GWh
Middelvind > 7 m/s	2 564	7 316
Middelvind > 8 m/s	535	1 676

Tabell 1. Betinget økonomisk potensial

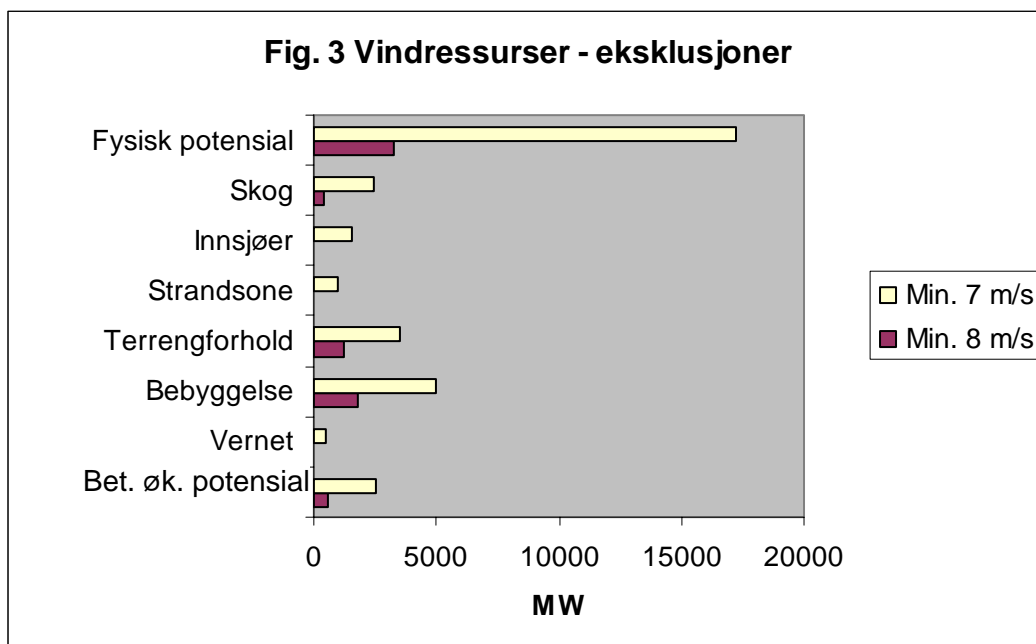
Det kan muligens finnes brukbare områder utenfor modellområdene, men disse er ikke kartlagt. Figur 2 viser hvor mye som er kartlagt i forhold til det totale arealet i fylket.



Vindforholdene langs kysten av Rogaland er gjennomgående gode. Det fysiske vindkraftpotensialet er betydelig og anslått

til 17 000 MW (min. middelvind 7 m/s) og 3 000 MW (min. 8 m/s). Mange områder er imidlertid uegnet for vindkraftutbygging, og det er særlig terrengforhold og hensyn til

bebyggelse som begrenser mulighetene. Skog er et mindre problem i Rogaland enn i Vest-Agder.

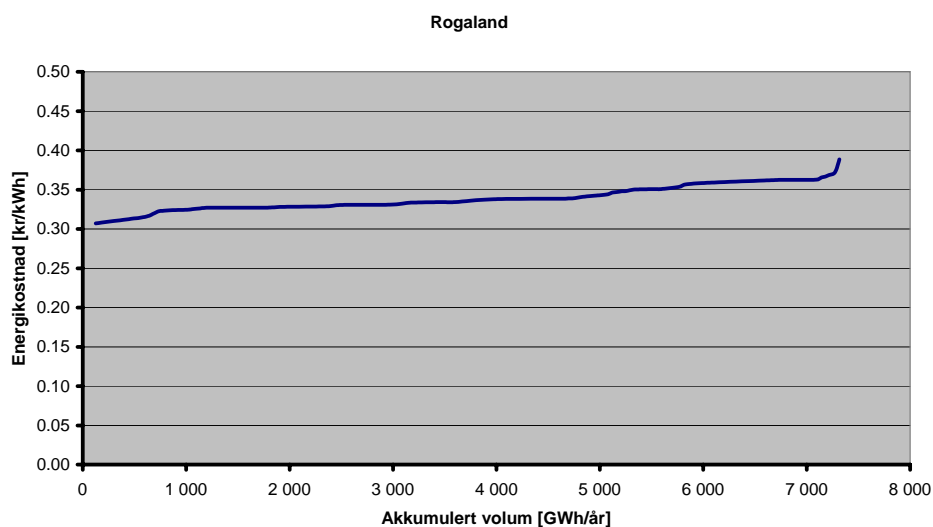


Vindforholdene i Rogaland ligner på de vi finner i Vest-Agder. Vindretningene er noe dreid, slik at nordvest og sørvest er mest dominerende. Variasjonen over året er relativt liten på grunn av at solgangsbrisen bidrar i sommerhalvåret.

Rogaland er et fylke der fjellene er relativt lave nær kysten. Dette gjør at en kan forvente gode vindforhold i områder med moderat høyde relativt langt fra kysten. En del av disse områdene er ikke inkludert i det kartlagte området.

Elnettet i fylket er dimensjonert slik at det påviste potensialet vil kunne realiseres med relativt beskjedne tiltak i sentral- og regionalnettet.

Fig. 4 viser kostnadskurven for fylket. Kort vei til nett og vei-forbindelse, jevn spredning av vind i området gjør at utbyggings-kostnadene varierer lite.



Figur 4 Kostnadskurve

Hordaland

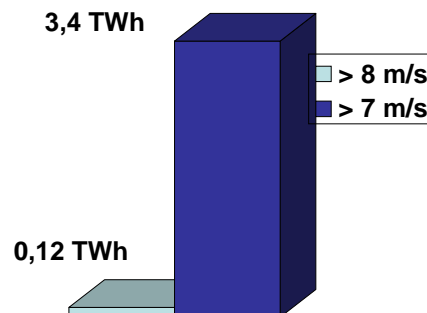
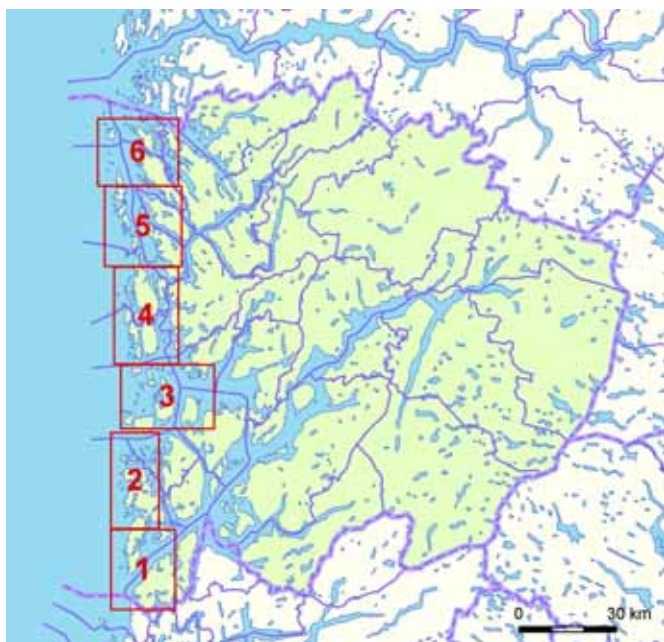


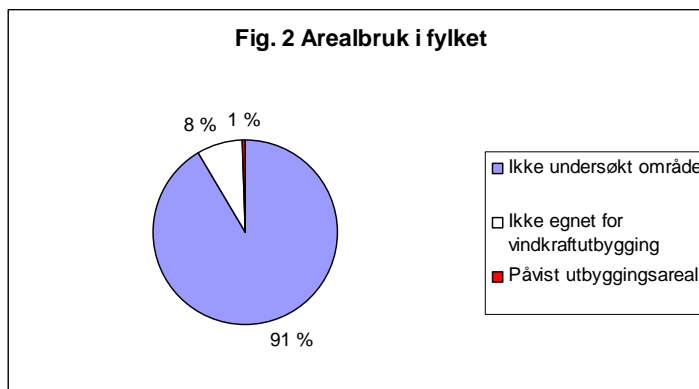
Fig. 1. Modellområder

Figur 1 viser modellområdene i Hordaland. Bare ytre deler av kysten er tatt med hvilket utgjør ca. 9 % av fylkets samlede areal. Oppsummert ble resultatet:

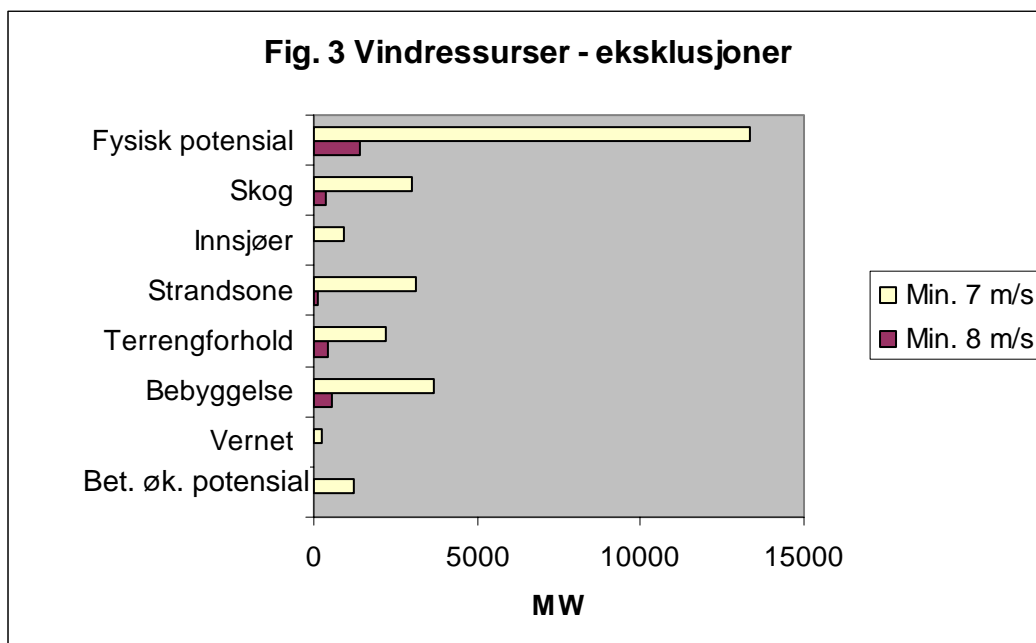
	MW	GWh
Middelvind > 7 m/s	1 235	3 441
Middelvind > 8 m/s	38	120

Tabell 1. Betinget økonomisk potensial

Figur 2 viser at kun ca. 1 % av fylkets areal er funnet egnet for vindkraftutbygging. Det fysiske potensialet er noe mindre enn i Rogaland (13 000/1 400 MW med min. vind henholdsvis 7 og 8 m/s). Den viktigste årsaken til det beskjedne påviste utbyggingspotensialet er å finne i figur 3. I tillegg til at



tilgjengelige utbyggingsarealer begrenses av terrengforhold og bebyggelse har Hordaland, med sine mange øyer, store strandsoner der det gjelder et generelt byggeforbud.

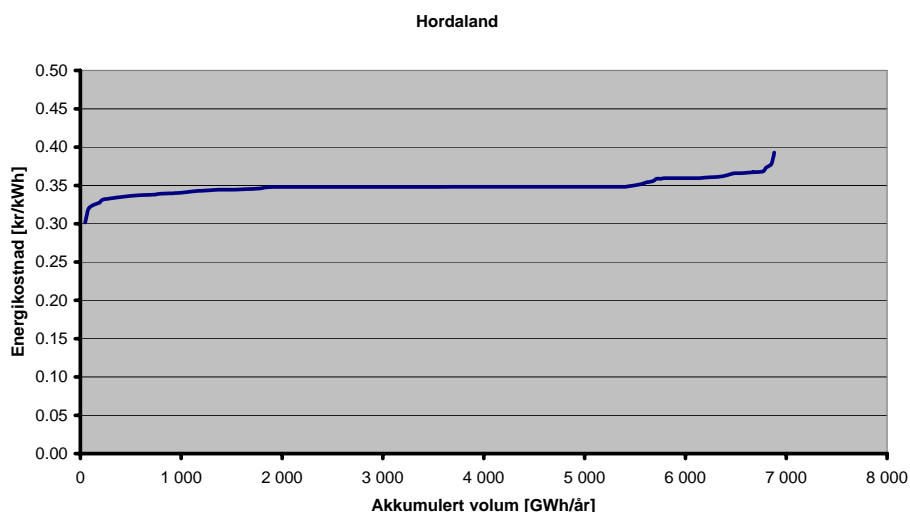


I Hordaland er hovedvindretningen parallell med kystlinjen. Hordaland har en langt mer oppstykket kyststrekning med øyer og fjordsystemer enn fylker lenger sør. Den høydevariasjonen som dette skaper gjør at en må forvente en relativt kraftig oppbremsing innover land.

Det er ingen tilgjengelige målinger som kan si noe om hvordan modellen har klart å beregne denne virkningen. På bakgrunn av erfaringer fra områder der vi har hatt mulighet til å kontrollere, er det grunn til å tro at vindforholdene på topper et stykke fra kysten er overestimert.

Potensialet vil kunne realiseres uten store investeringer i sentral- og regionalnettet. I vestre deler av fylket er det underbalanse og her vil en vindkraftutbygging ha en positiv betydning for nettapene.

Fig. 4 viser kostnadskurven for fylket. Kort vei til nett og veiforbindelse, jevn spredning av vind i området gjør at utbyggingskostnadene varierer lite.



Figur 4 Kostnadskurve

Sogn og Fjordane

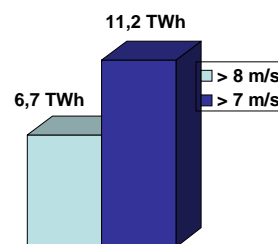


Fig. 1. Modellområder

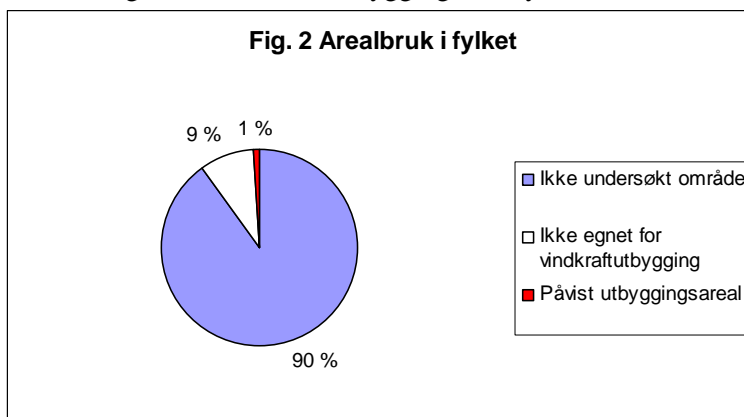
Figur 1 viser modellområdene i Sogn og Fjordane. Bare ytre deler av kysten er tatt med hvilket utgjør ca. 10 % fylkets samlede areal. Oppsummert ble resultatet:

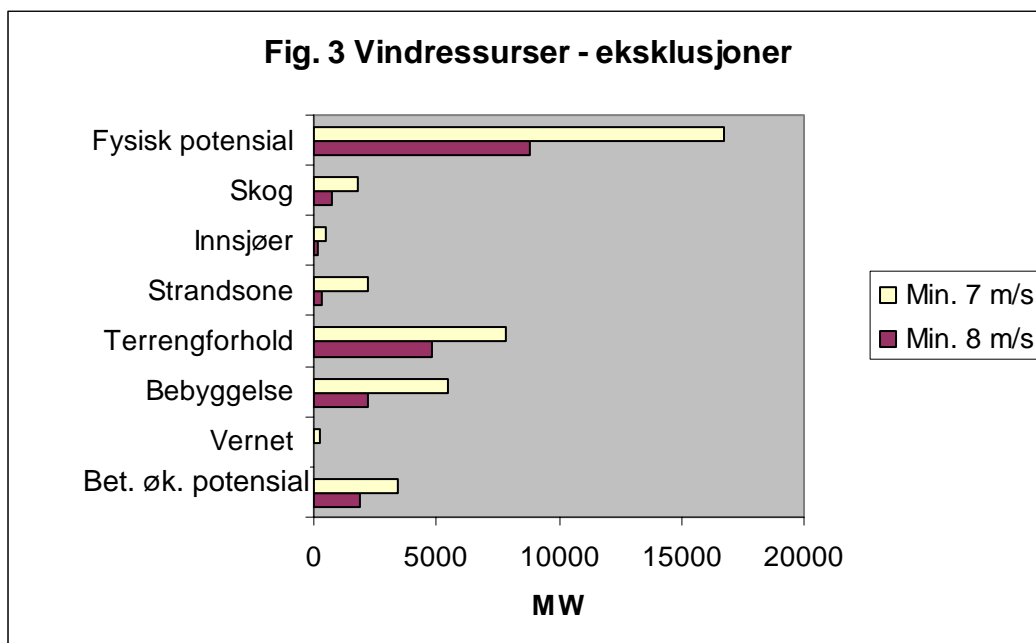
	MW	GWh
Middelvind > 7 m/s	3 460	11 204
Middelvind > 8 m/s	1 882	6 720

Tabell 1. Betinget økonomisk potensial

Figur 2 viser at ca. 1 % av fylkets areal er egnet for vindkraftutbygging. Det fysiske vindkraftpotensialet er omtrent som i Rogaland, ca. 16 500 MW for min.

middelvind 7 m/s. For min. middelvind 8 m/s er det fysiske potensialet vesentlig større enn i Rogaland, noe som antyder at vindforholdene generelt er bedre i dette fylket. Terrengforholdene i fylket er vanskelig og bidrar i vesentlig grad til å begrense egnede områder for vindkraftutbygging, slik det fremgår av fig. 3. Hensynet til bebyggelse har også stor betydning i dette fylket.

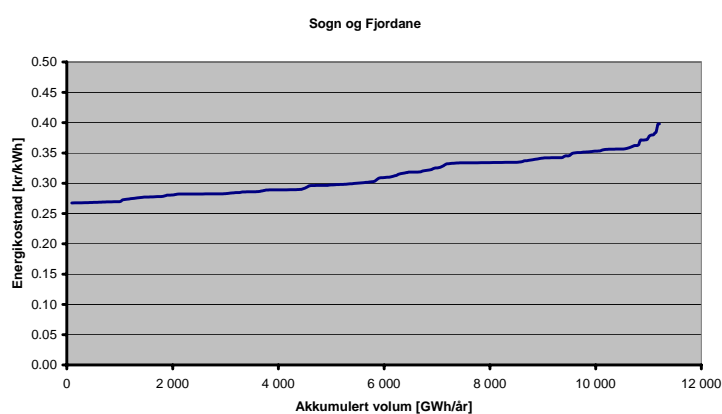




Spesielt de nordlige deler av fylket har meget kraftig topografi helt ut til kysten. Dette gjør at vinden vil bremses kraftig når en beveger seg bort fra kysten. Den kraftige kuperingen gjør også at en må forvente større usikkerhet i verdiene enn i områder med enklere terreng. Basert på observasjoner fra andre fylker er det grunn til å tro at vinden på ryggene er overestimert.

Det er ikke ventet at en vindkraftutbygging vil skape nettproblemer i Sogn og Fjordane så lenge aluminiumsproduksjonen opprettholdes. Hvis deler av den legges ned, vil fylket få et produksjonsoverskudd. Det foreligger imidlertid planer for forbindelse mellom Borgund og Indre Sogn som vil avhjelpe situasjonen.

Kostnadskurven (fig. 4) viser at utbyggingskostnadene varierer mer enn i Hordaland. I enkelte områder med gunstig vind kan enhetskostnadene komme under 30 øre/kWh.



Figur 4 Kostnadskurve

Møre og Romsdal

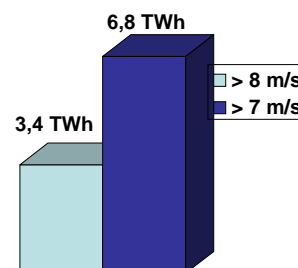


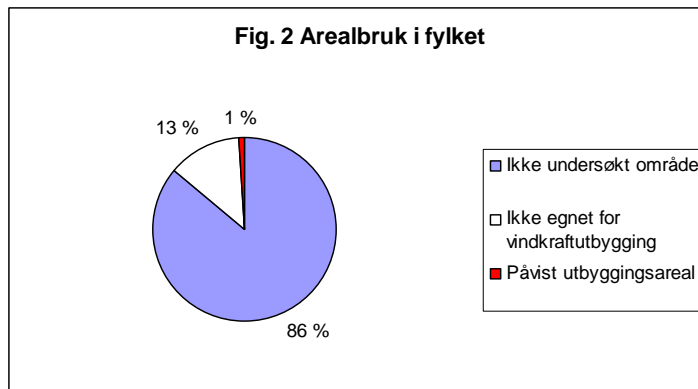
Fig. 1. Modellområder

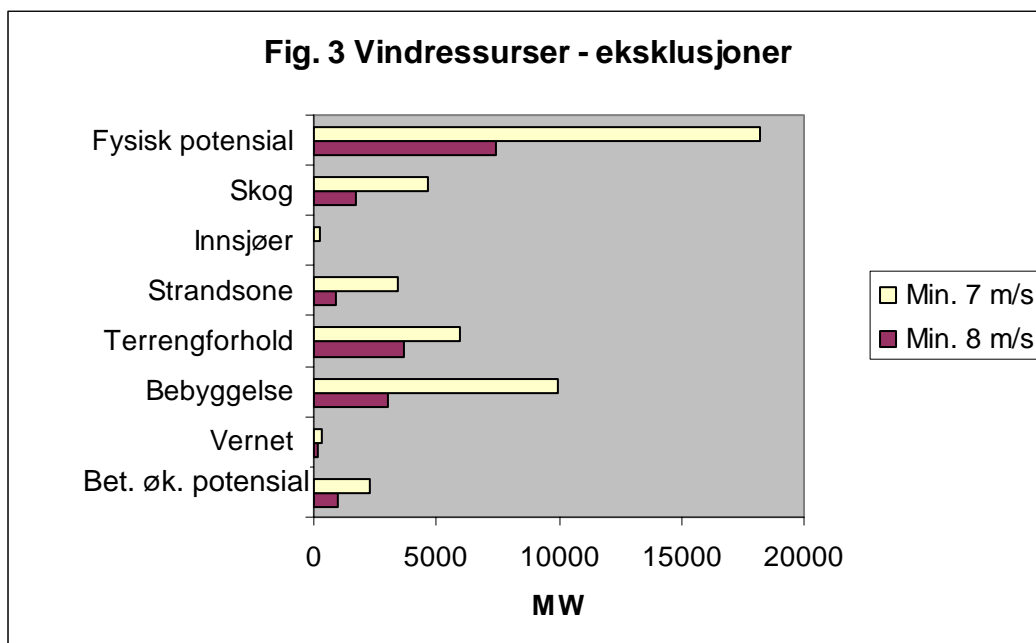
Figur 1 viser modellområdene i Møre og Romsdal. Bare ytre deler av kysten er tatt med hvilket utgjør ca. 14 % av fylkets samlede areal. Oppsummert ble resultatet:

	MW	GWh
Middelvind > 7 m/s	2 273	6 839
Middelvind > 8 m/s	993	3 426

Tabell 1. Betinget økonomisk potensial

Det fysiske vindkraftpotensialet i Møre og Romsdal er betydelig (18 000/7 400 MW med henholdsvis min. 7/8 m/s) dvs. omtrent som i Sogn og Fjordane, men mindre enn i Sør-Trøndelag. Bare ca. 1 % av landarealet er egnet for vindkraftutbygging og dette skyldes i stor grad hensynet til bebyggelse og terrengforhold. Spredt bebyggelse gjør at ca. halvparten av det fysiske potensialet må unntas fra utbygging.

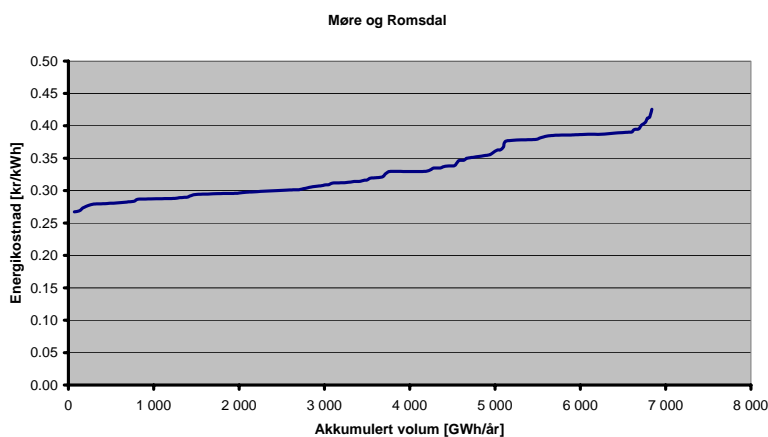




I dette fylket finner en de framtrepende vindretningene fra sør-vest og nord-øst. Bortsett fra Smøla er de kystnære områdene relativt bratte. I likhet med de aller fleste områder er det lite tilgjengelige data å sammenligne med.

Møre og Romsdal er i dag et underskuddsområde som vil dra nytte av ny produksjon. Om noen år vil økt last på Ormen Lange og Hustadmarmor alene kunne forbruke en vesentlig andel av ny produksjon i ytre deler av fylket. Oppdekkingen i fylket kan skje fra sør. Det er således ingen avgjørende nettbegrensninger i dette fylket.

Kostnadskurven (fig. 4) viser at utbyggingskostnadene varierer omtrent som i Sogn og Fjordane. I enkelte områder med gunstig vind kan enhetskostnadene komme under 30 øre/kWh. I noen avsidesliggende områder kan utbyggingskostnadene komme over 40 øre/kWh.



Figur 4 Kostnadskurve

Sør-Trøndelag

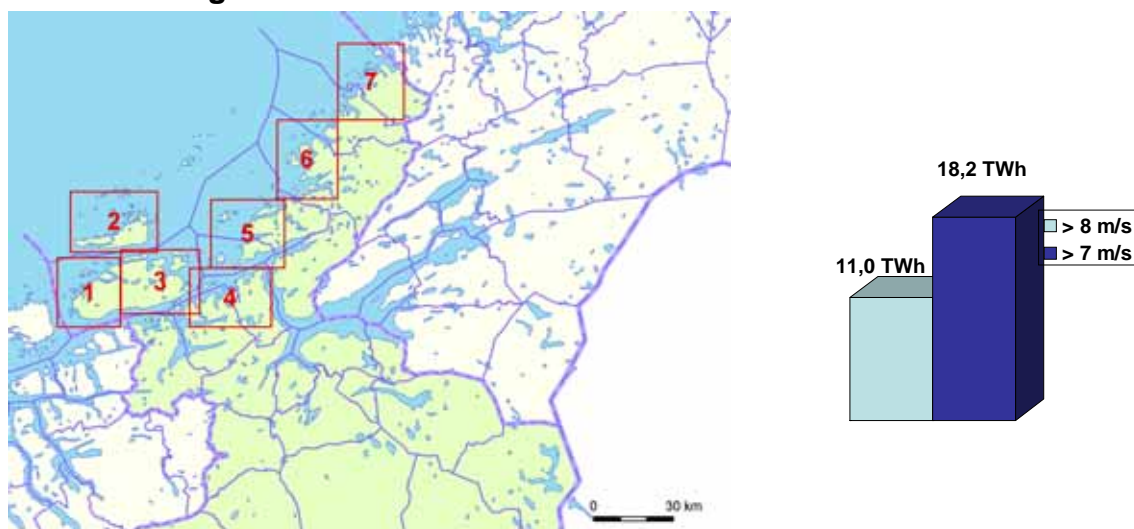


Fig. 1. Modellområder

Figur 1 viser modellområdene i Sør-Trøndelag. Alle kystområdene er tatt med, unntatt langs indre deler av Trondheimsfjorden. I nordre deler av fylket er det påvist gode utbyggingsområder i de østre deler av modellene. Det kan tyde på at aktuelle utbyggingsområder strekker seg utover de fastsatte modellområdene, noe som kan være en indikasjon på at potensialet er større enn det som er påvist. Oppsummert ble resultatet:

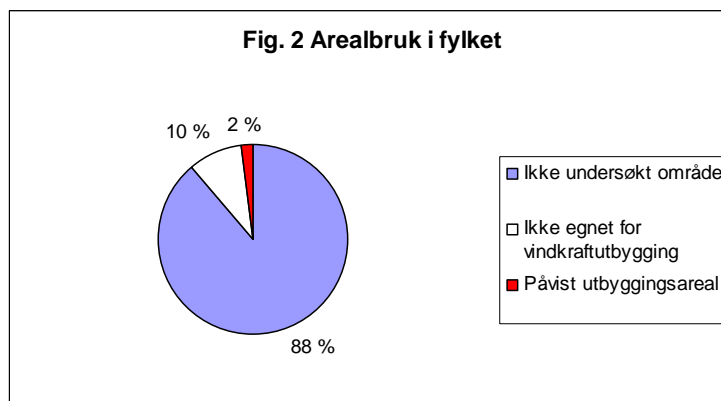
	MW	GWh
Middelvind > 7 m/s	5 849	18 246
Middelvind > 8 m/s	3 321	11 013

Tabell 1. Betinget økonomisk potensial

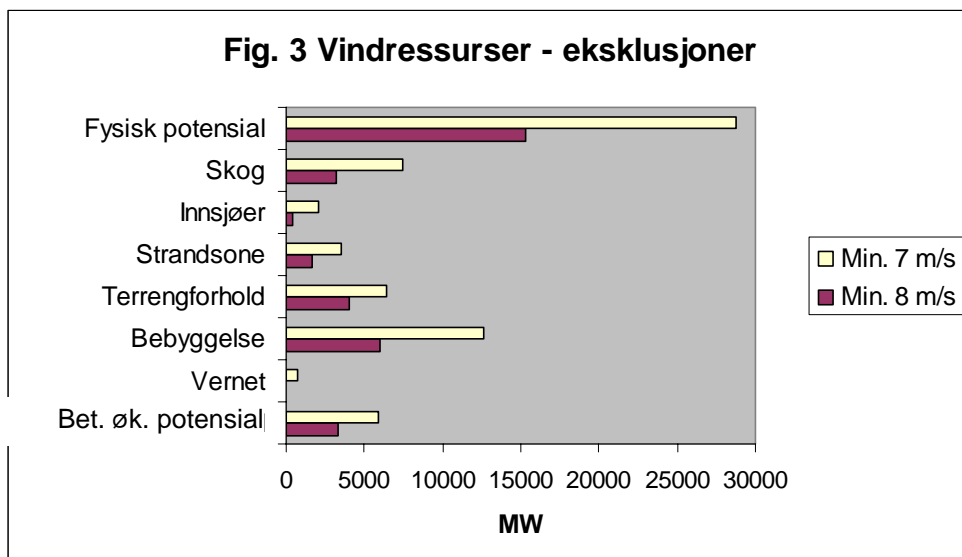
Sør-Trøndelag skiller seg ut som et meget godt vindkraftfylke. Det fysiske potensialet er beregnet til hele 27 000/15 000 MW for henholdsvis min. middelvind 7/8 m/s. Det viser seg også at restriksjonene er mindre enn i mange andre fylker. Ca. 2 % av fylkets areal er egnet for vindkraftutbygging i følge denne undersøkelsen (fig. 2). Hensynet til bebyggelse er den faktoren som begrenser potensialet mest (fig. 3), men terrengforhold og skog bidrar også til å begrense utbyggingsarealet.

Nord for Trondheimsfjorden er vindforholdene noe forskjellig fra det en finner sør for fjorden. I dette området gjør vind fra sør-øst seg mer gjeldende. Denne bidrar til at årsmiddelverdien av vindhastigheten blir høy i dette området.

I forstudien [2] ble det pekt på at estimerte årsmiddelverdier for Sør-Trøndelag generelt er

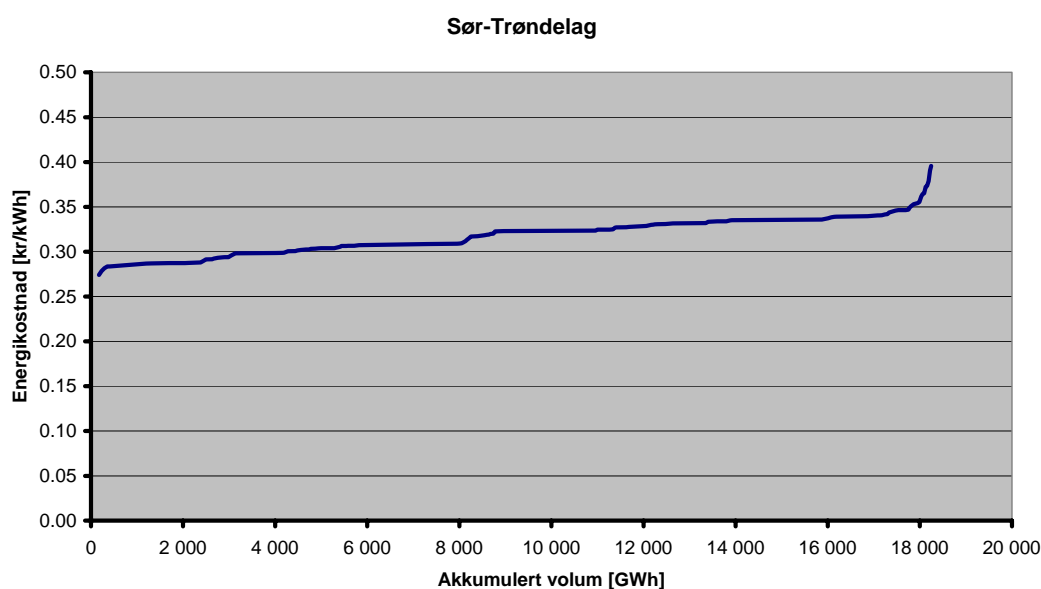


for høye. En av grunnene er at det var mangelfull informasjon om skog i beregningsmodellen. I tillegg viste sammenligninger med observasjoner at estimert vind var for sterk over en liten fjelltopp (Eldsfjellet, Hitra). Modellresultatene viser at årsmiddelverdiene for Sør-Trøndelag generelt ligger på et høyere nivå enn andre fylker. Dette er sannsynligvis ikke tilfelle.



Midt-Norge er totalt sett et underskuddsområde. En begrenset kraftutbygging vil derfor ikke skape nettproblemer av betydning. Fosenthalvøya har imidlertid en svak tilknytning til nettet i dag og en større utbygging her vil skape problemer.

Utbyggingskostnadene fremgår av fig. 4. Fylket har enkelte områder med gode vindforhold der enhetskostnadene kan bli under 30 øre/kWh, og enkelte mindre områder med lang avstand til nettet som gir enhetskostnader opp mot 40 øre/kWh.



Figur 4. Kostnadskurve

Nord-Trøndelag

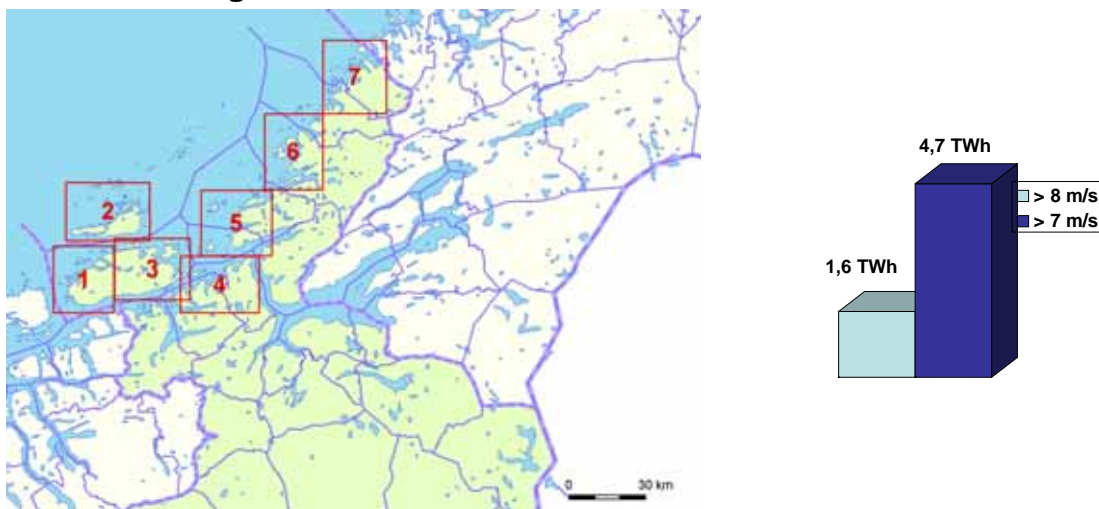


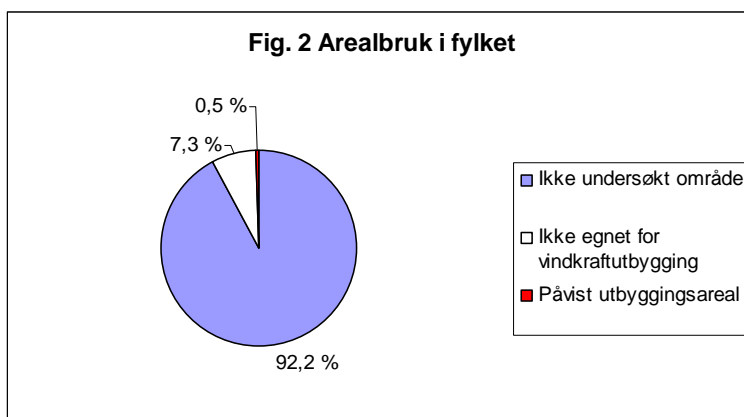
Fig. 1. Modellområder

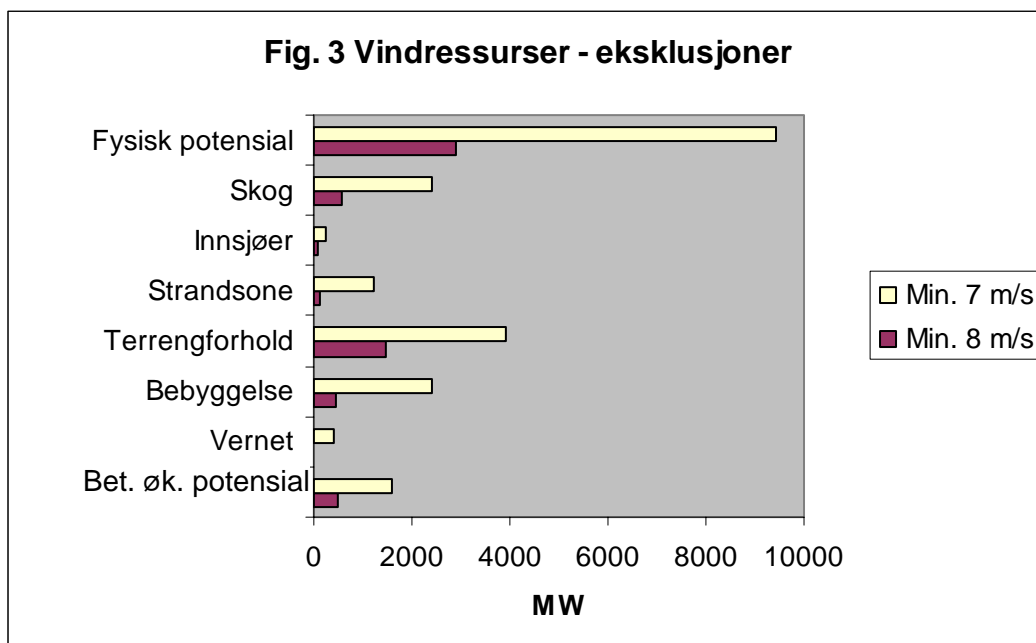
Figur 1 viser modellområdene i Nord-Trøndelag. Oppsummert ble resultatet:

	MW	GWh
Middelvind > 7 m/s	1 589	4 727
Middelvind > 8 m/s	481	1 618

Tabell 1. Betinget økonomisk potensial

Sammenliknet med Sør-Trøndelag er det fysiske vindkraftpotensialet i Nord-Trøndelag beskjedent (9 000/2 900 MW med h.h.v. min. middelvind 7/8 m/s). I tillegg er en mindre andel av fylkets areal egnet for vindkraftutbygging (0,5 % mot 2 % i S.Tr.lag), jf. fig. 2. I dette fylket er terrengforhold den viktigste begrensende faktor, men også bebyggelse og skog har betydning.

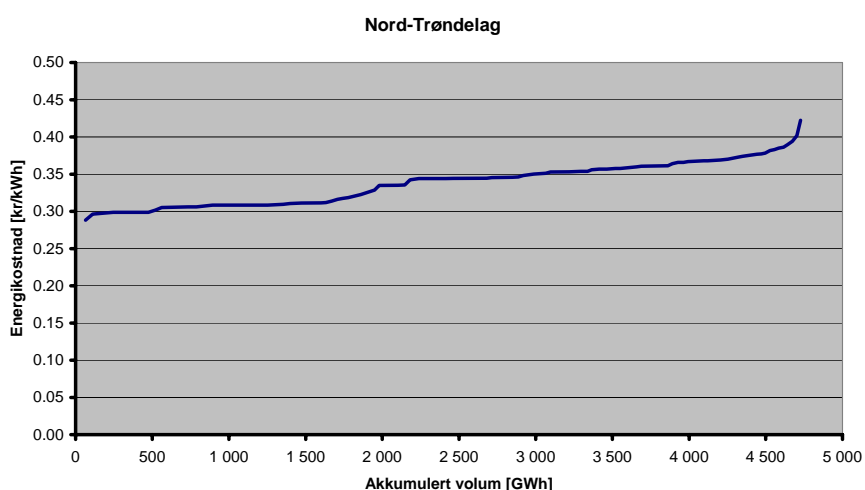




Vindforholdene i fylket fremgår av figur 4. Hovedvindretningen i Nord-Trøndelag er sør-vest og sør-øst. Middelvindene er generelt høye. Nordøyen Fyr er en av de stasjonene i landet med høyest observert vindhastighet i middel. Det virker ikke som om modellen har tatt tilstrekkelig hensyn til dette. I beregningene av vindforhold i Viknaregionen er data fra Rørvik Lufthavn benyttet. Dette kan sammen med modellens øvrige svakheter forklare hvorfor vinden i ytre deler av fylket sannsynligvis er underestimert.

Midt-Norge er totalt sett et underskuddsområde. En begrenset kraftutbygging vil derfor ikke skape nettproblemer av betydning. Namdalskysten har imidlertid en svak tilknytning til nettet i dag og en større utbygging her vil skape problemer.

Figur 4 viser kostnadskurven for fylket.



Figur 4 Kostnadskurve

Nordland

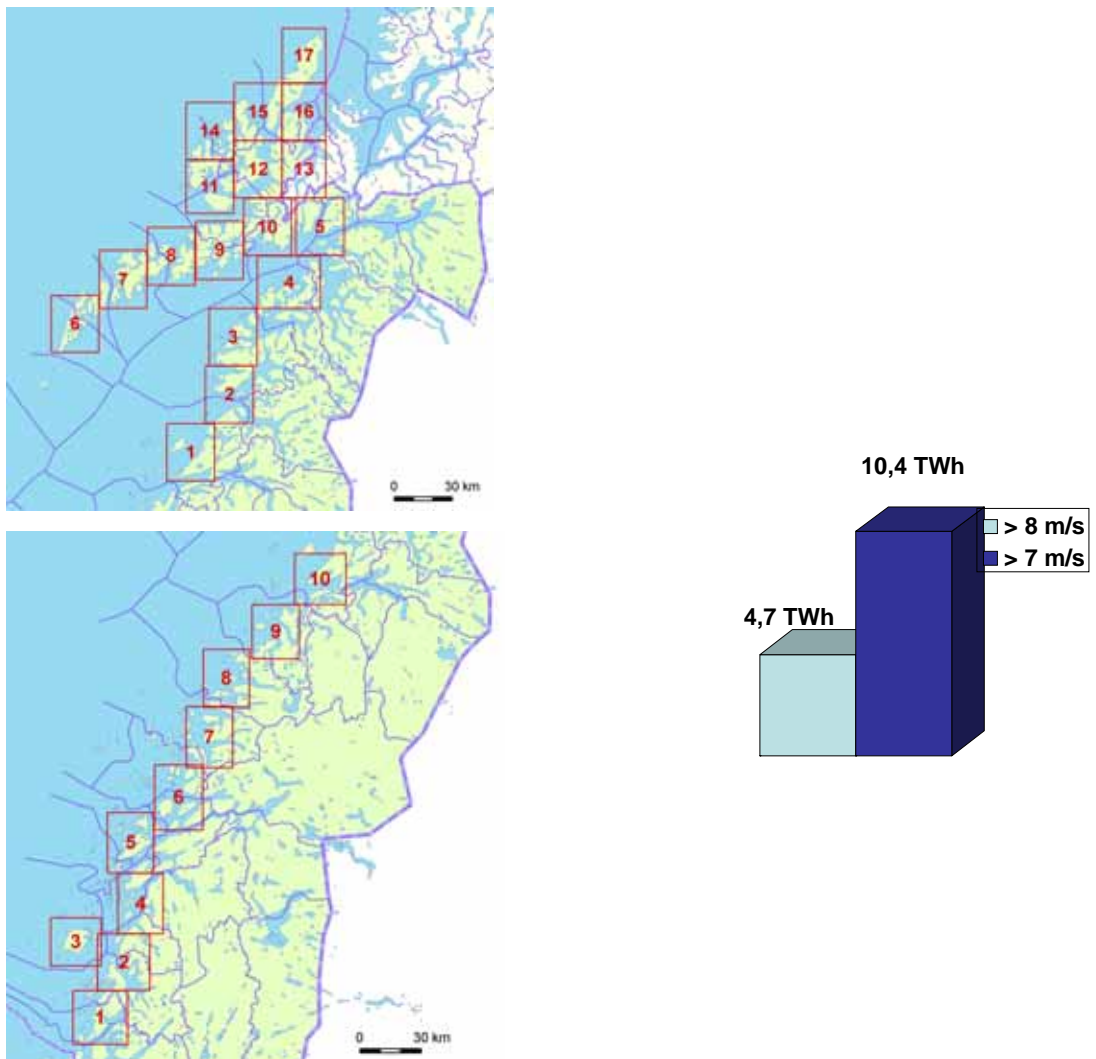


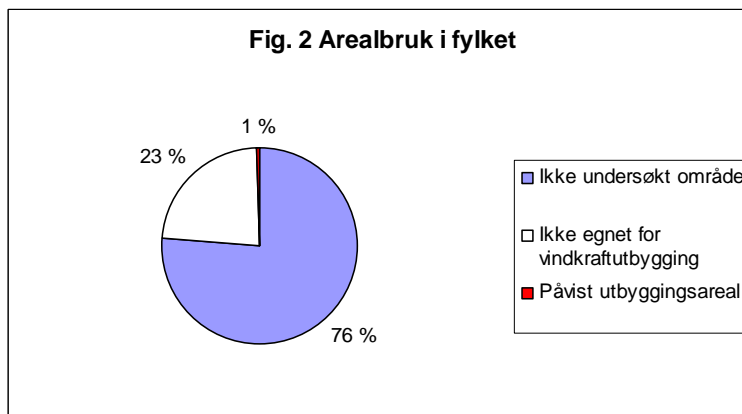
Fig. 1. Modellområder

Figur 1 viser modellområdene i Nordland. Oppsummert ble resultatet:

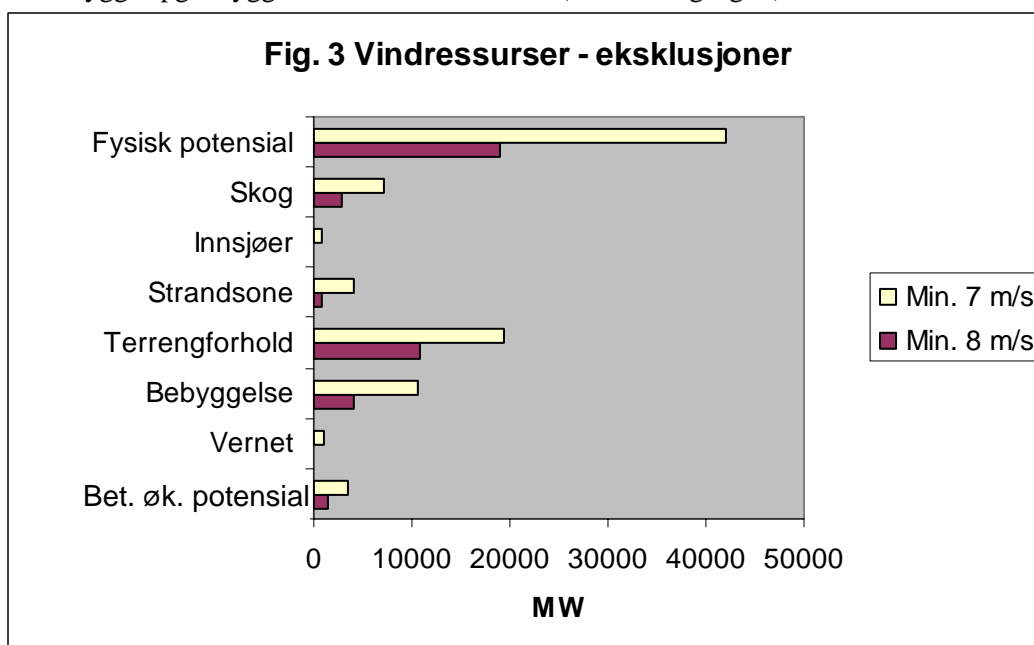
	MW	GWh
Middelvind > 7 m/s	3 418	10 352
Middelvind > 8 m/s	1 382	4 747

Tabell 1. Betinget økonomisk potensial

Nordland er det fylket som etter Finnmark som har det største fysiske vindkraftpotensialet. Dette har sin bakgrunn i fylkets lange kystlinje. Det er påvist hele 42 000 MW med min. middelvind 7 m/s og 18 900 med min. middelvind 8 m/s.



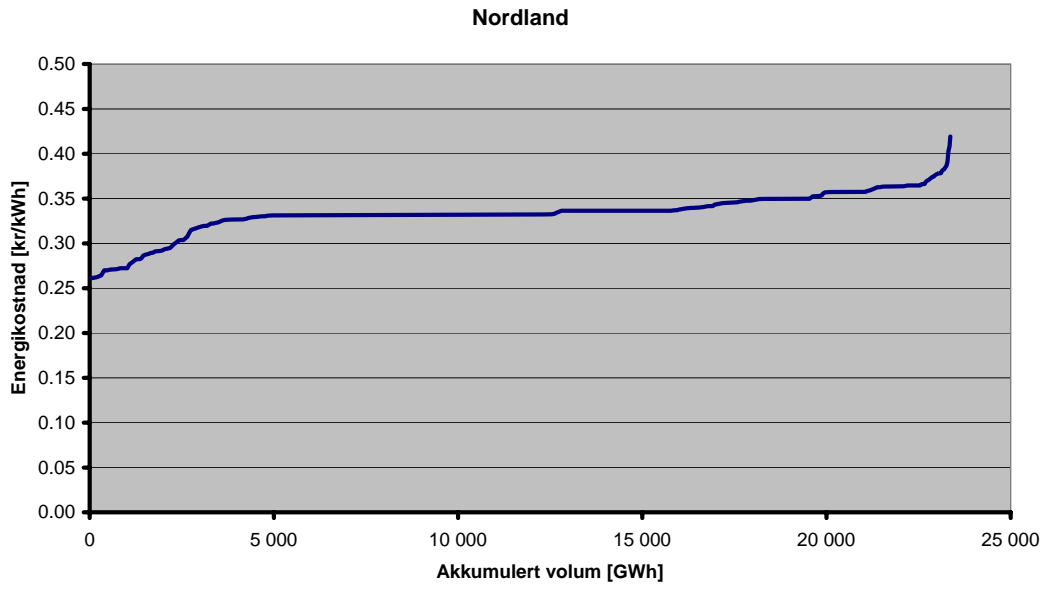
Imidlertid er det store begrensninger på hvilke områder som kan bygges ut. I store deler av fylket er det vanskelige terrengforhold. Mye spredt bebyggelse legger også restriksjoner på utbyggingen. Dessuten har fylket betydelige områder med mindre øyer som ligger godt eksponert for vind, men som ikke kan utbygges pga. byggeforbudet i strandsonen (se for øvrig fig. 3)



Nordlands lange utstrekning og sammensatte topografi gjør at vindforholdene vil variere sterkt i regionen. Generelt er det mye høye fjell nær kysten som vil bremse vinden når en beveger seg inn fra kysten. Samtidig er det slik at vinden i denne regionen ikke blåser parallelt med kystlinjen i like stor grad om lenger sør i landet. Dette gjør at en også kan finne god vind på ikke kystnære områder.

Nordland er allerede i dag et overskuddsområde. Flyten i sentralnettet er allerede i dag dominerende mot sør. I tillegg kommer at Nordland vil være et transittfylke for vindkraft fra Troms og Finnmark. Realisering av ny kraft vil derfor kreve store nettinvesteringer.

Kostnadskurven (figur 4) viser at mesteparten av vindkraften kan bygges ut til en kostnad rundt 33 øre/kWh.



Figur 4. Kostnadskurve

Troms

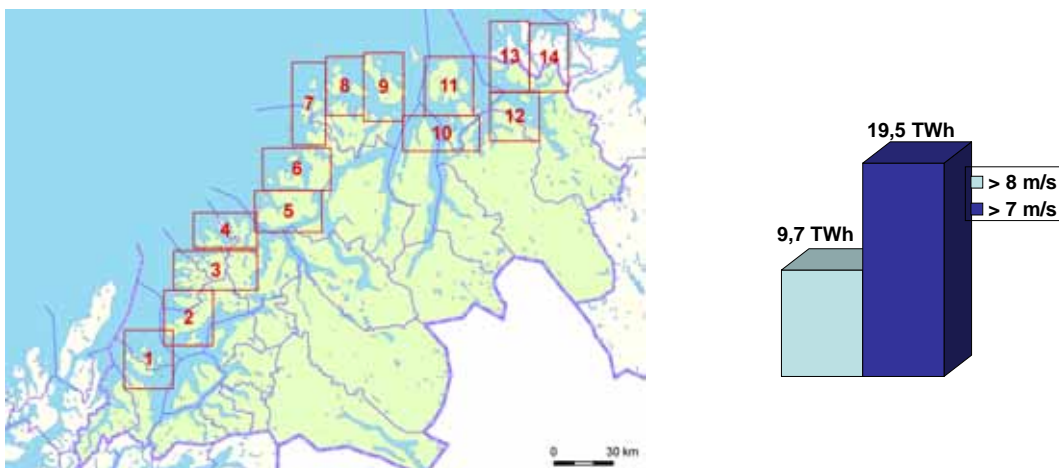


Fig. 1. Modellområder

Figur 1 viser modellområdene i Troms. Oppsummert ble resultatet:

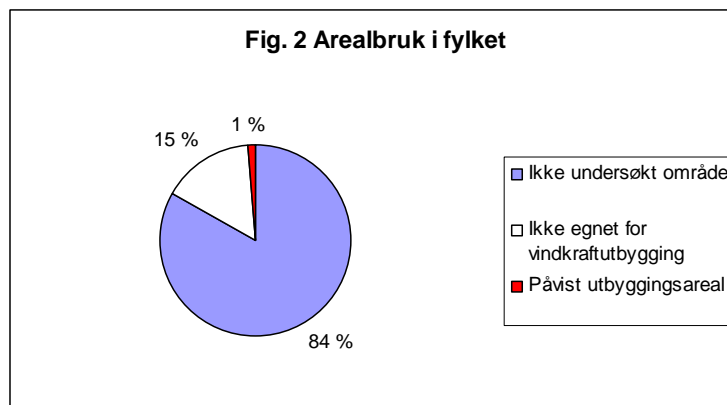
	MW	GWh
Middelvind > 7 m/s	6 412	19 497
Middelvind > 8 m/s	2 909	9 682

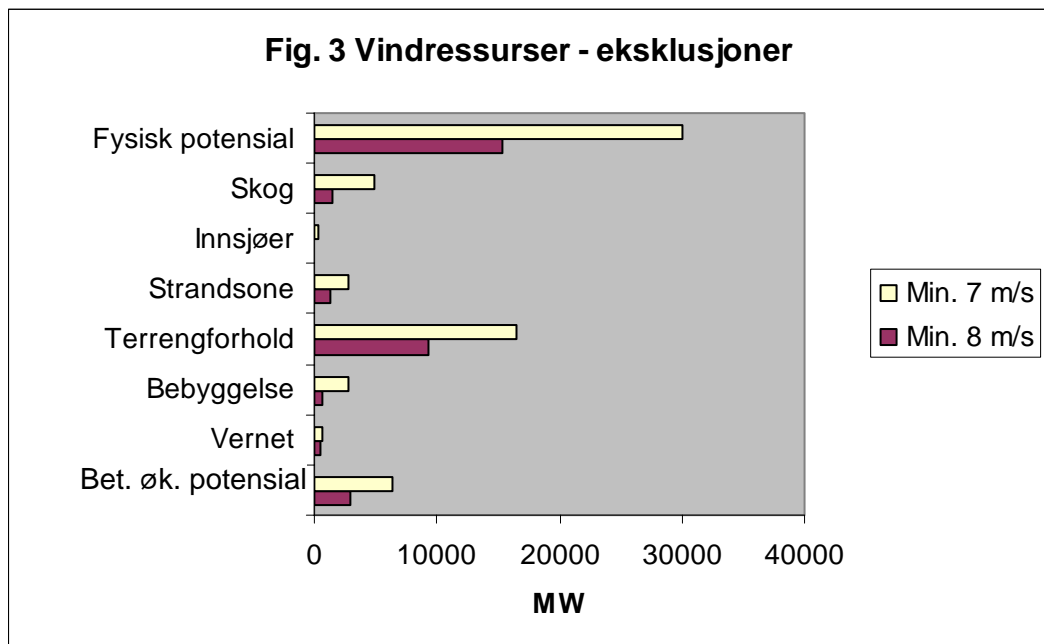
Tabell 1. Betinget økonomisk potensial

Troms har store områder med gode vindforhold. Det fysiske potensialet er anslått til 30 000/15 000 MW for områder med middelvind > 7/8 m/s.

Kun 1 % av fylkets areal er imidlertid egnet for vindkraftutbygging (fig. 2). Den viktigste begrensende faktoren er topografien. Over halvparten av arealer med gode vindforhold utelukkes pga av

vanskelige terrengforhold, jf fig. 3. Hensynet til bebyggelse betyr mindre i Troms enn lenger sør.



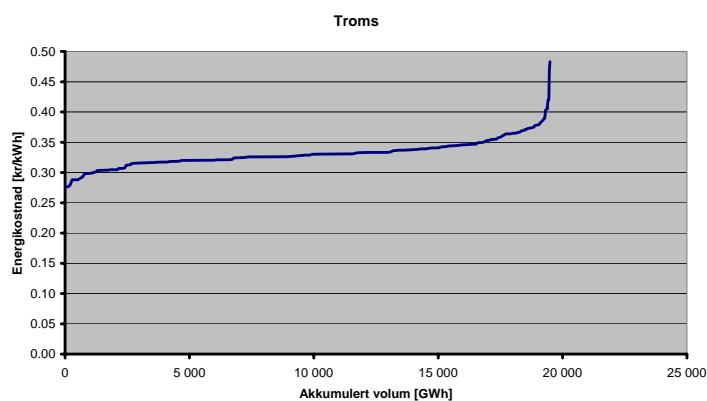


Hovedvindretningene i Troms er sørlig til sørvestlig. De kystnære strøk i Troms er sterkt kupert, noe som gjør at vindforholdene vil variere sterkt geografisk. Kupert terreng gjør dessuten at modellresultatene blir mer usikre.

En sammenligning av tallene fra konsesjonssøknaden for Kvittfjellutbyggingen og modellresultatene indikerer at modellresultatene kan være noe for lave. Datagrunnlaget er imidlertid alt for lite til at dette kan sies å gjelde generelt for hele fylket.

De påviste vindressurser kan ikke realiseres uten betydelige nettinvesteringer. I tillegg kommer at Troms kan bli et transittfylke for vindkraft fra Finnmark.

Kostnadskurven er vist i fig. 4. Troms har gjennomgående gode vindforhold, men som et gravgrendt fylke er avstandene lange. Dette bidrar til høye tilleggskostnader for bygging av veier og nettforbindelser. Enkelte steder er vei- og nettkostnadene over 40 % av vindparkkostnadene.



Figur 4. Kostnadskurve

Finnmark

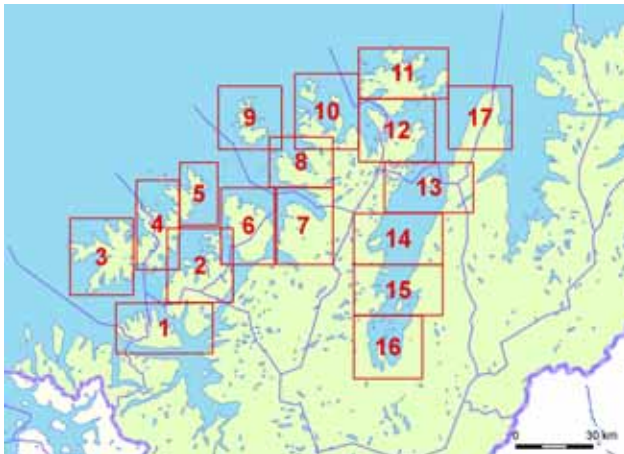
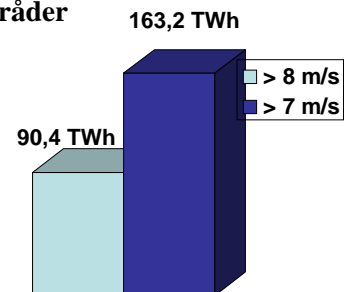


Fig. 1. Modellområder



Figur 1 viser modellområdene i Finnmark. Kun de ytre kystområdene er kartlagt, som utgjør ca. 20 % av fylkets totale areal. Oppsummert ble resultatet:

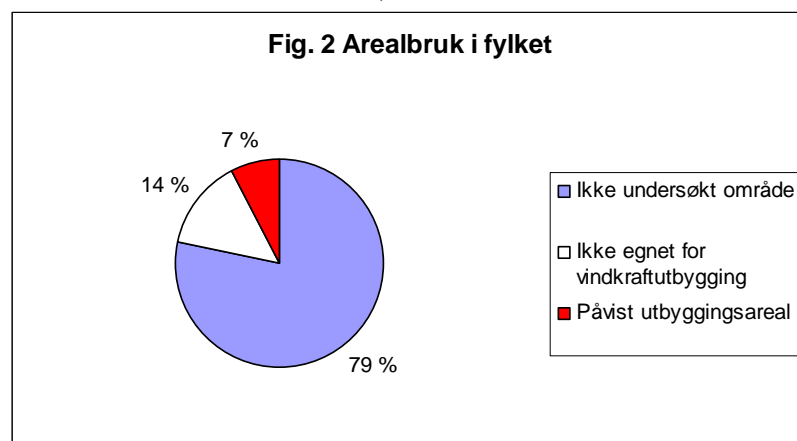
	MW	GWh
Middelvind > 7 m/s	54 539	163 178
Middelvind > 8 m/s	28 018	90 371

Tabell 1. Betinget økonomisk potensial

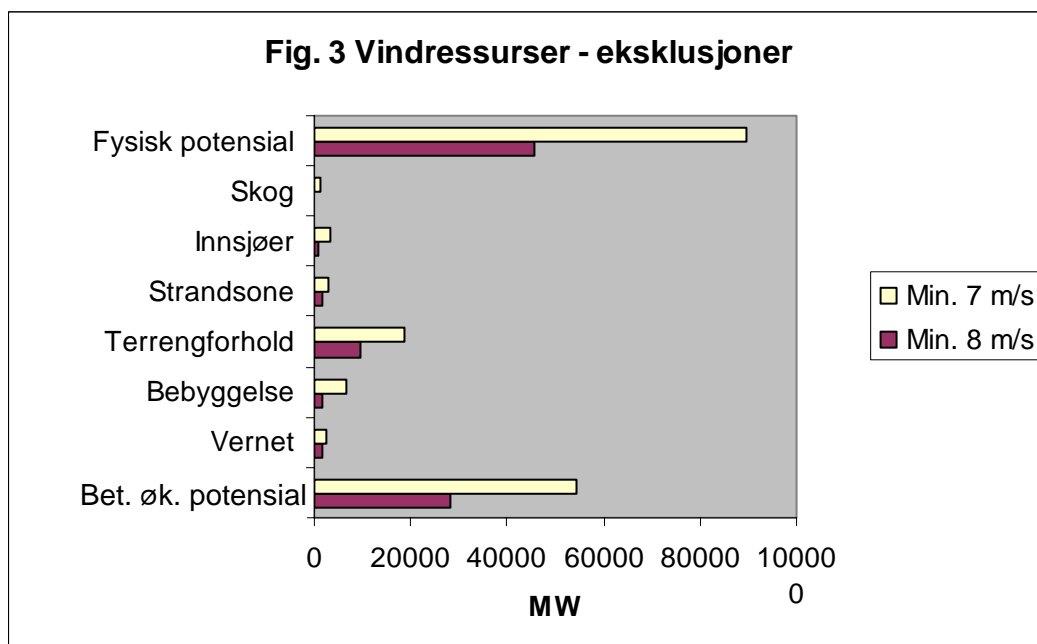
Finnmark skiller seg ut fra de andre fylkene på flere måter. Fylket er landets største og med en lang kyststripe med gjennomgående gode vindforhold blir det fysiske potensialet svært stort (89 000/45 000 MW med middelvind > 7/8 m/s). Dertil kommer at forholdsvis store områder er egnet

for kraftutbygging. Det påviste utbyggingsarealet utgjør 7 % av fylkets areal, dvs. 1/3 av det undersøkte området eller ca. 60 % av arealet med tilfredsstillende vind (> 7 m/s) (jf. fig. 3). Utbyggingsområdene begrenses først og fremst av terrengforhold og

bebyggelse. I tillegg kan hensynet til forsvarets radaranlegg bety mye for mulighetene til vindkraftutbygging i Finnmark. Hvor store arealbegrensninger som følger av dette er



foreløpig uavklart. Konflikter med reindriftsnæringen vil også kunne begrense utbyggingspotensialet ytterligere i forhold til det som her er beregnet.

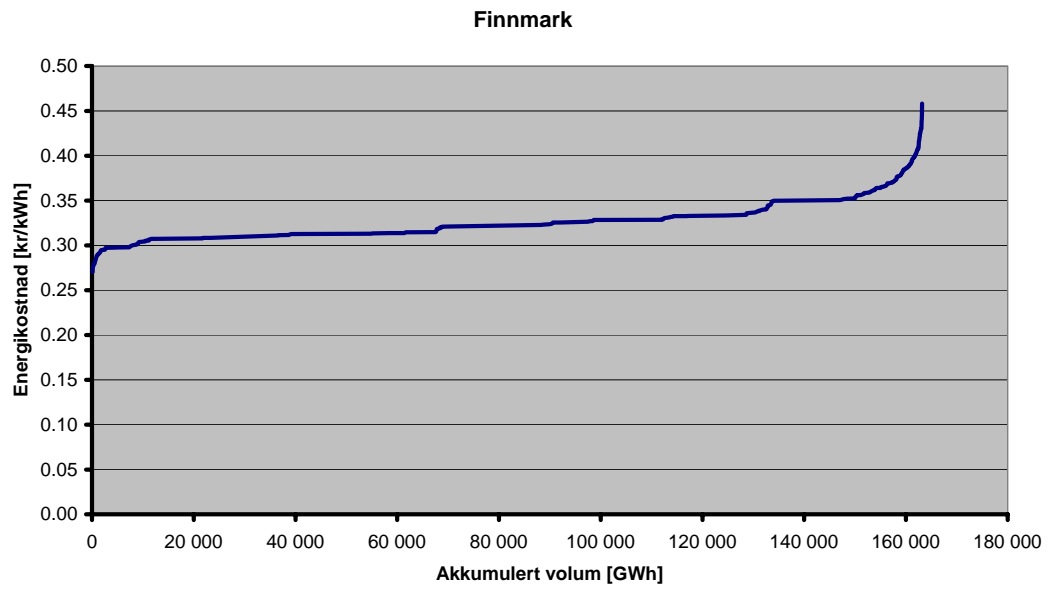


Når man beveger seg nordover til Finnmark, blir topografien mindre kompleks enn lenger sør. Her finner en relativt store kystnære områder uten høye fjell. Med slik topografi kan en sannsynligvis nyttiggjøre seg områder som ligger lenger fra kysten enn tilfelle er lenger sør. Det kan tyde på at de valgte modellområdene, som ligger stort sett langs kystlinjen, ikke dekker alle muligheter for vindkratutbygging. Dette forhold trekker i retning av at vindkraftpotensialet i Finnmark er større enn det denne studien viser.

En sammenligning av resultater fra modellen med tallene fra konsesjonssøknadene for Kjøllefjord og Skallhalsen viser forholdsvis god overensstemmelse. Med de fremtrede vindretninger og topografi en har i Finnmark er det grunn til å anta at modellens svake sider har mindre betydning enn i andre fylker. Datagrunnlaget er likevel for lite til å kunne konstatere at den gode overensstemmelsen mellom målte og estimerte verdier vil gjelde for hele fylket.

Finnmark har i særlig grad et svakt nett som på kort sikt vil begrense utbyggingen av ny kraft. Med dagens nett er det antatt at ca. 0,9 TWh kan bygges uten store nettinvesteringer under forutsetninger av at 350 GWh kan eksporteres til Finland. Hvis Statnetts planer for ny overføringsledning ut av fylket blir realisert, kan kapasiteten øke til ca. 3,5 TWh.

Kostnadskurven i fig. 4 viser forholdsvis store variasjoner i utbyggingskostnadene.



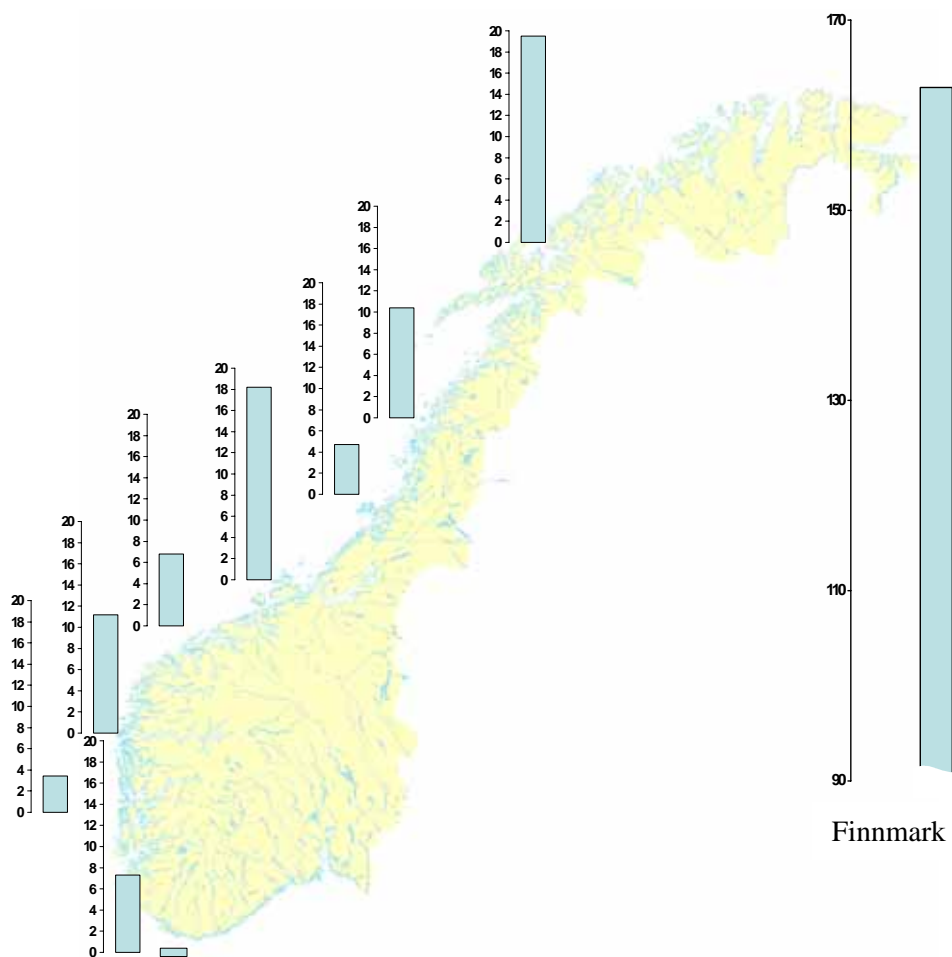
Figur 4 Kostnadskurve

Landsoversikt

For landet som helhet blir resultatet.

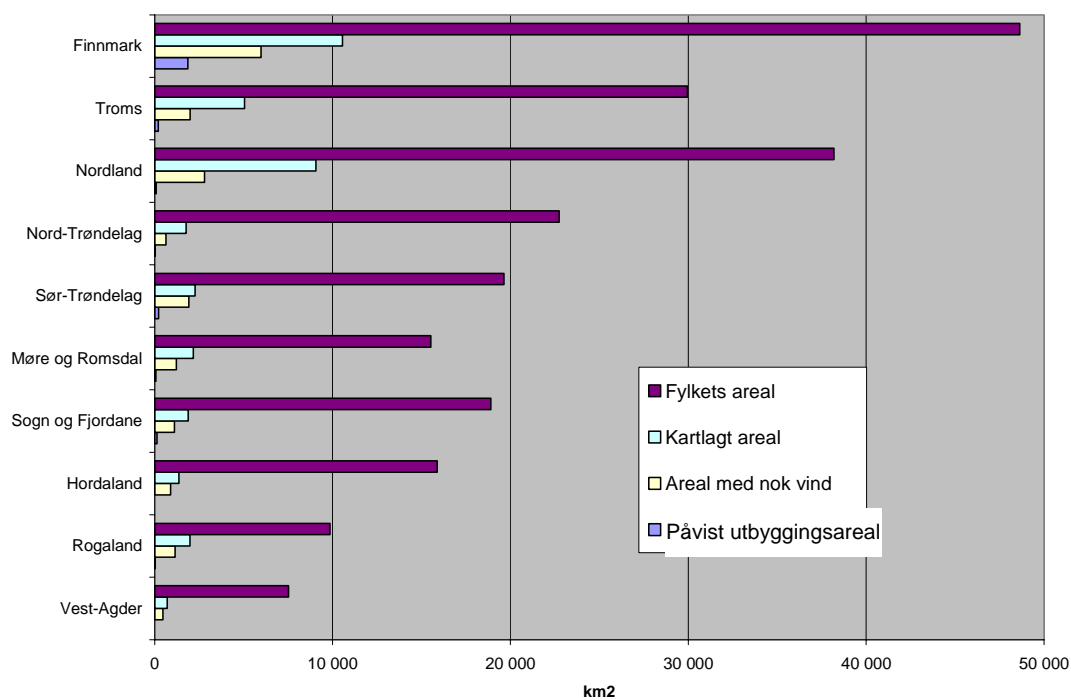
	MW	GWh
Middelvind > 7 m/s	81 600	245 500
Middelvind > 8 m/s	39 600	123 000

Figur 1 illustrerer hvordan vindkraftressursene fordeler seg på de enkelte fylker i landet. Finnmark skiller seg klart ut med svært store områder som, ut fra de kriteriene som ligger til grunn for denne undersøkelsen, kan bygges ut. Andre store vindressursfylker er Troms og Sør-Trøndelag.

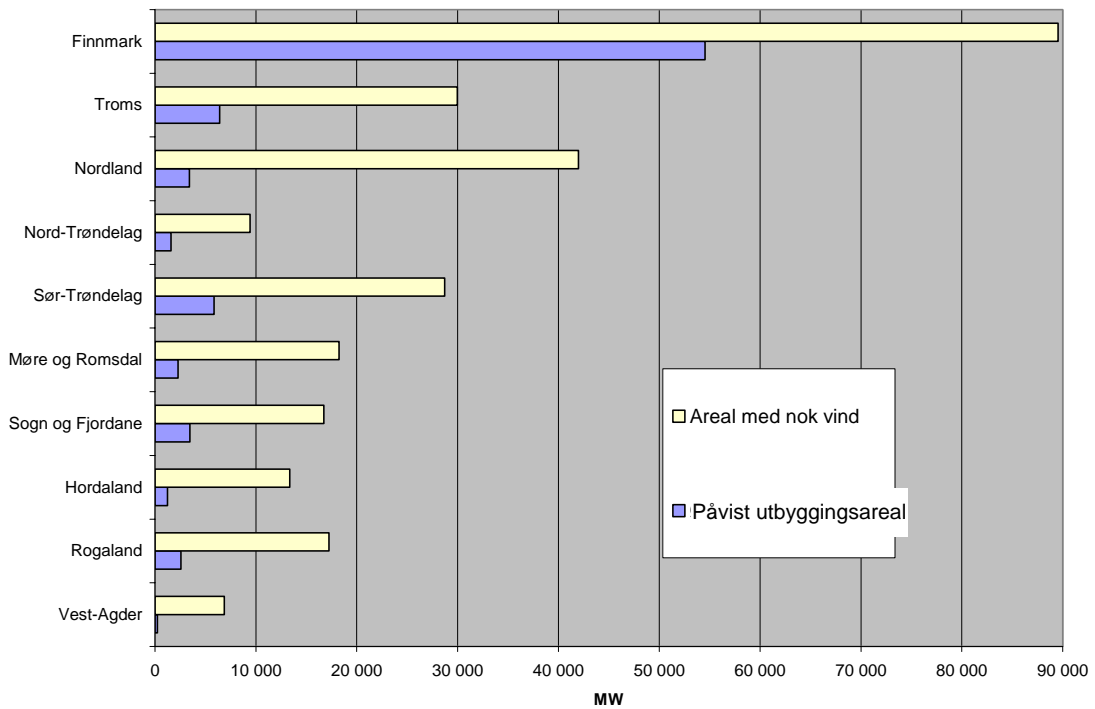


Figur 1 Betinget økonomisk potensial [TWh] - landsoversikt

Figur 2 og 3 gir en sammenlignende oversikt over arealbruken i de enkelte fylker. Finnmark har både de største arealene med nok vind og den største andelen av det kartlagte arealet som kan bygges ut. I motsatt ende finner en Vest-Agder som både har de minste arealene med nok vind og den minste utbyggbare andelen.

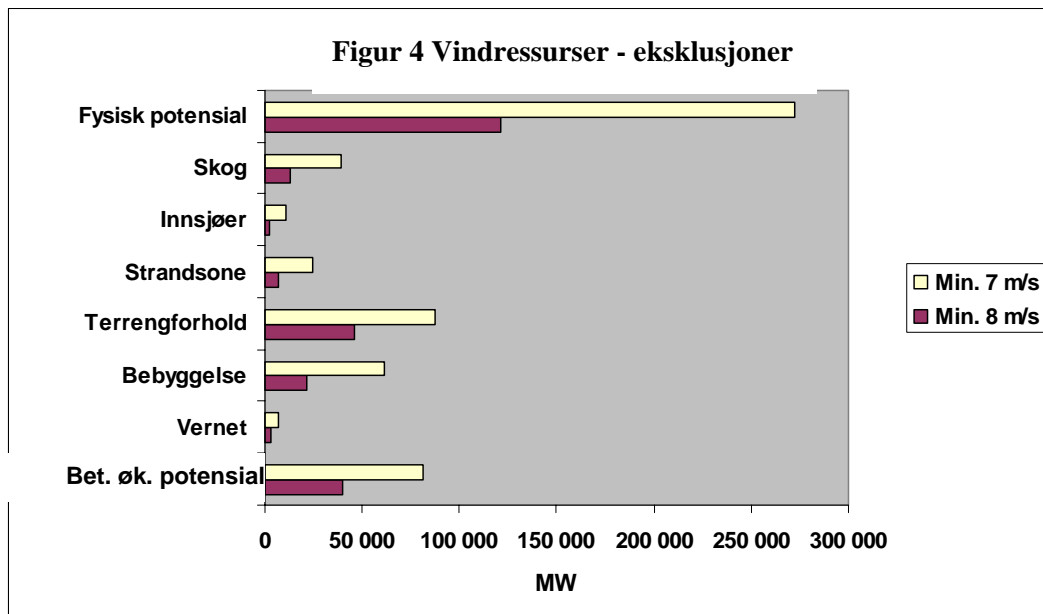


Figur 2. Arealbruk - landsoversikt



Figur 3 Utbyggingspotensial - landsoversikt

På landsbasis er det vanskelige terrengforhold (fig. 4) som setter de største begrensningene for vindkraftutbygging. Kravet om minsteavstand til bebyggelse har også stor betydning, men det viser seg at aktuelle utbyggingsområder sjelden kommer i

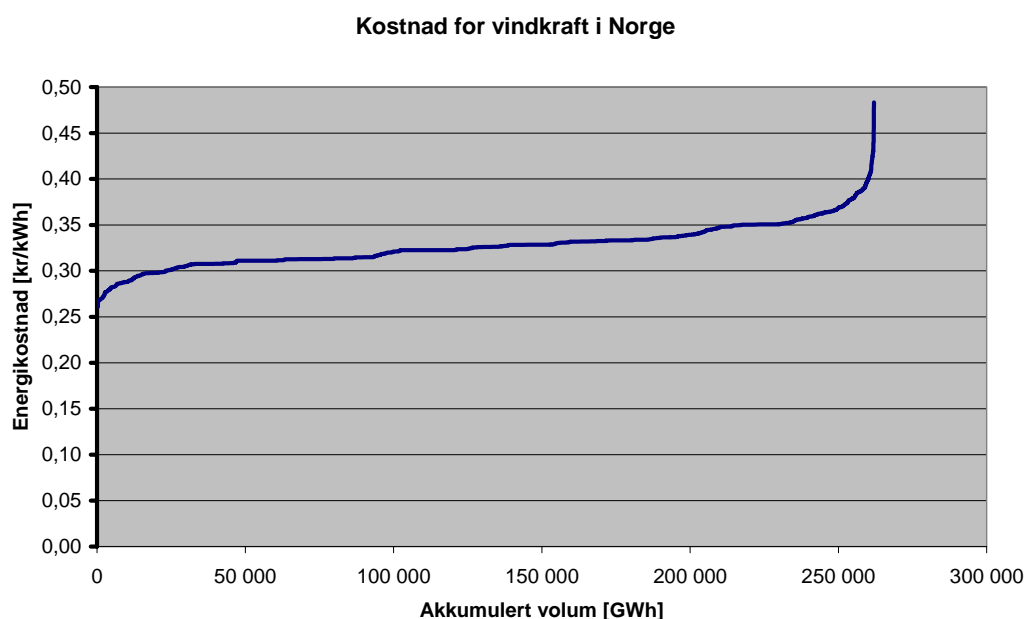


konflikt med vernede områder. Byggeforbudet i strandsonen betyr lite for utbyggingsområder med middelvind > 8 m/s (ca. 7 000 MW). I praksis vil det dessuten kunne gis unntak fra byggeforbudet i strandsonen da en vindpark ikke vil være til hinder for alminnelig ferdsel.

I figur 5 har en addert kostnadskurvene for hvert enkelt fylke sammen til en landsomfattende kostnadskurve (eksklusive kostnader ved eventuell nødvendig nettførsterkning på høyere nivå). Ved å sammenligne kostnadskurvene for hvert enkelt

fylke vil en kunne se at fylkene representerer ulike kostnadsnivåer, avhengig av investeringskostnader og årlig produksjon. Det viser seg at investeringskostnadene for vindparkene varierer lite fra fylke til fylke. For de fleste av fylkene kan en bygge ut om lag halvparten av det påviste ressurspotensialet før investeringskostnadene øker med mer enn 3 %. Det betyr at kostnaden for vindkraft i hovedsak bestemmes av årlig produksjon. Kostnadsnivået i et fylke bestemmes derved først og fremst av vindforholdene i fylket og i mindre grad av variasjoner i investeringskostnadene. Behovet for nettførsterkninger på høyereliggende nivå (fra 66 kV og oppover) er ikke vurdert. Flere steder vil begrensninger i nettet på høyere nivå være avgjørende for etablering av vindkraftverk. I slike tilfeller vil det være behov for en viss samordning mellom kraftutbygging og nettutbygging. Forsterkning av overføringskapasiteten vil normalt kun være økonomisk forsvarlig når store kraftvolumer skal overføres.

I denne studien varierer kostnadsnivået fra fylke til fylke med om lag +/- 10 %. Dersom vi sier at denne spredningen skyldes variasjon i årlig produksjon alene, tilsvarer det en variasjon i gjennomsnittlig vindhastighet på +/- 6 %. Denne variasjonen er mindre enn usikkerheten i den modellen som ligger til grunn for beregning av vindhastighetene. Det betyr at det må vises stor varsomhet med å vurdere kostnadsnivået i de ulike fylkene opp mot hverandre. Til det er usikkerheten for stor.



Figur 5

4. Konklusjon

Det er påvist store vindressurser i Norge som ut fra økonomiske kriterier og hensyn til formelle utbyggingsrestriksjoner, kan bygges ut. Ressurstilgangen er vesentlig større enn den som er mulig å realisere i den nære fremtid.

Nesten 70 % av de påviste ressursene ligger i Finnmark. Dette skyldes en kombinasjon av gode vindforhold og store ubebodde områder langs kysten. Lavt egetforbruk innenfor fylket kombinert med lange avstander til forbrukssentrene lenger sør gjør at det neppe noen gang vil bli aktuelt å utnytte mer enn bare en brøkdel av det potensialet som er påvist. Hensynet til forsvarrets radaranlegg og reindriftsnæringen bidrar også til usikkerhet om hvor mye kraft som kan bygges ut.

Tilgangen på utbyggbare vindressurser er gode også for flere av de andre fylkene. Her kan hensyn til miljø bidra til at noen av de mest konfliktfylte områdene unntas fra utbygging. Likevel er det ventet at en vil sitte igjen med betydelige vindressurser som kan utnyttes.

Det betinget økonomiske potensialet for vindkraft i Norge kan være større enn det som er påvist i denne undersøkelsen. Bare 12,5 % av det totale landområdet i Norge er kartlagt. Dette omfatter fortrinnsvis de deler av landet som har de gunstigste vindforholdene, men det er grunn til å tro at det også finnes noen områder med gunstige vindforhold utenfor de områder som er undersøkt. Den valgte metoden for kartlegging av det fysiske vindkraftpotensialet har klare begrensninger og er ikke egnet hvis en ønsker å gå lenger inn i landet (se ref. [1]). En eventuell ny og utvidet kartlegging vil ventelig avdekke flere områder som er egnet for vindkraftutbygging.

Referanser

- [1] Vindressurser i Norge, NVE-rapport 16/2001
- [2] Metode for beregning av økonomisk vindkraftpotensial i Norge, NVE-rapport 3/2003