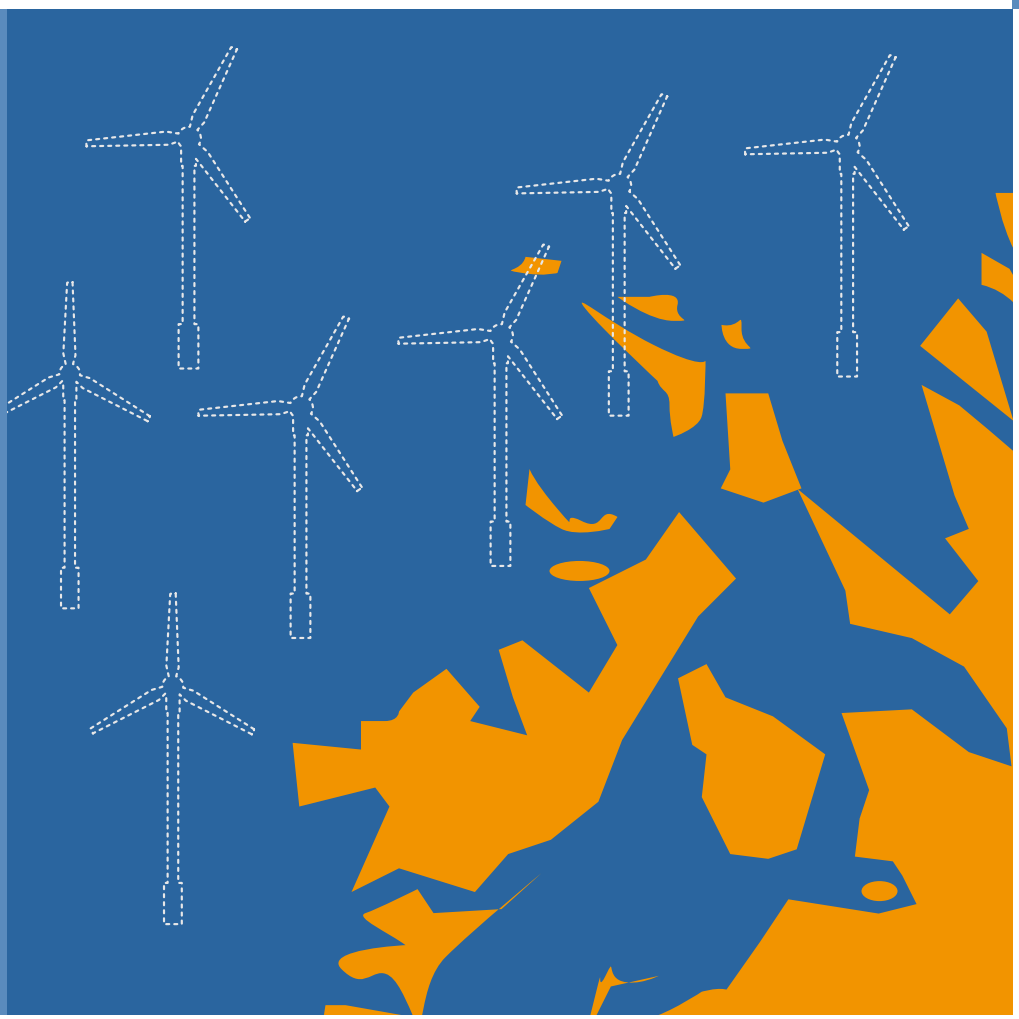
Vindkraftpotensialet utenfor norskekysten (off shore)

Knut Hofstad

1
2007

RAPPORT



Vindkraftpotensialet utenfor norskekysten (offshore)

Norges vassdrags- og energidirektorat
2007

Rapport nr 1/2007

Vindkraftpotensialet utenfor norskekysten (offshore)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfatter: Knut Hofstad, NVE; Lars Tallhaug, KVT

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 50
Forsidefoto:
ISSN: 1501-2832
ISBN: 078-82-410-0626-5

Sammendrag:

Emneord: Vindressurser, Offshore

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

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

Februar 2007

Innhold

Forord **4**

Sammendrag **5**

1 Innledning **6**

2 Utbygd vindkraft – offshore **7**

3 Teknologiske utfordringer **8**

3.1 Fundamentering 8
3.2 Installasjon 9
3.3 Elektrisk tilkopling 9

4 Økonomi **11**

4.1 Historiske investeringskostnader 11
4.2 Fremtidige investeringskostnader 12
4.3 Kostnadsfordeling 12
4.3.1 Fundament 13
4.3.2 Nettilknytning 13
4.3.3 Drift og vedlikehold 14
4.3.4 Eksempel på kostnader 14

5 Beregningsmetode – datagrunnlag **15**

5.1 Geografisk informasjon 16
5.2 Ekskludering av områder 17
5.3 Utbyggingstetthet 17

6 Resultater **21**

Appendiks A **24**

Appendiks B Kart over gruntområder **25**

Forord

Regjeringen har i sitt statsbudsjett for 2007 foreslått å innføre et energifond som skal bidra til å fremme ny fornybar energiproduksjon. Innen utgangen av år 2010 skal minimum 3 TWh/år økt vindkraftproduksjon være etablert. Målet for 2016 er 30 TWh i form av ny fornybar energiproduksjon eller energieffektivisering.

Av den nye fornybare energiproduksjonen vil vindkraft utgjøre en betydelig andel. NVE har derfor sett det som en viktig oppgave å kartlegge landets utbyggbare vindkraftressurser. Tidligere har NVE kartlagt vindressursene langs norskekysten fra Lindesnes til den russiske grensen, dvs. i de områdene av landet hvor de beste vindforholdene er antatt å være. Flere og flere land velger nå å flytte videre vindkraftutbygging til havs (offshore) der vindforholdene er svært gode og der miljøkonfliktene er gjennomgående mindre enn på land.

NVE har tidligere, som et første skritt, gjennomført en forenklet kartlegging av de fysiske vindkraftressursene utenfor norskekysten. I denne rapporten gjøres det anslag på hvor stor del av de påviste ressursene, som under nærmere angitte forutsetninger, kan bygges ut. Generelle miljøspørsmål som estetikk og tilgjengelighet i de nære havområdene er ikke tatt i betraktning. Hensikten med denne undersøkelsen har vært å belyse hvor stort det teknisk/økonomiske offshore vindkraftpotensialet er. Alle kraftutbygginger må imidlertid konsesjonsbehandles. Hvor mye vindkraft som etter en omfattende saksbehandling kan få konsesjon og som dermed i praksis kan bygges ut, er ikke vurdert.

Oslo, august 2006

Marit L. Fossdal
avdelingsdirektør

Torodd Jensen
seksjonssjef

Sammendrag

Det er påvist et betydelig vindkraftpotensial utenfor norskekysten. I gruntvannsområder med dybder mindre enn 20 m er potensialet anslått til ca. 30 000 MW eller ca. 80 TWh når minsteavstanden til land er 1 km. Økes maksimaldybden til 50 m blir potensialet hele 55 000 MW eller ca. 150 TWh.

Undersøkelsen tar hensyn til at utbygginger ikke skal finne sted i vernede områder eller for nærme land. Særskilte skadevirkninger av miljømessig og annen karakter er derimot ikke vurdert. For eksempel er det uklart hvilken betydning hensynet til visuelle virkninger og kystlandskap vil få for hvilke restriksjoner en må legge på vindkraftutbyggingen. Det forventes at områder som etter en konsesjonsbehandling kan klarlegges for utbygging blir vesentlig lavere enn det som er påvist som utbyggbart potensial.

Norge har en lang kystlinje med gode vindforhold, men skiller seg fra mange andre europeiske land ved at store deler av de nære havområdene er svært dype (norskerenna). Det er således bare en liten del av offshoreområdet som med dagens teknologi kan bygges ut. Vindkraftutbygging til havs (offshore) skjer i dag i gruntvannsområder med dybde på mellom 5 og 20 m. Da det eksisterer planer om å bygge ut i områder med dybde ned til 50 m, er også dette potensialet regnet med.

Offshore vindkraftpotensialet er ulikt fordelt langs kysten. Det største potensialet finnes fra Møre og Romsdal og nordover.

1 Innledning

Utbygging av vindkraft er svært arealkrevende og vil fort utløse arealkonflikter. I flere europeiske land nærmer en seg et metningspunkt der det blir stadig vanskeligere å finne egnede arealer. Dette gjelder i særlig grad land som Danmark, Nederland og Tyskland. Dette er bakgrunnen for at flere land nå ser på mulighetene av å la fortsatt ekspansjon av vindkraften skje i havområdene utenfor kysten.

Norge har fremdeles store områder på land som kan være egnet for vindkraftutbygging. Likevel stanser flere av prosjektene opp p.g.a. lokal motstand. Et alternativ kan være å lokalisere utbyggingen til områdene utenfor kysten. Dette er heller ikke konfliktfritt, særlig ikke hvis utbyggingen skjer nær land, men med økt tilgang på egnede områder som oppfyller de teknisk/økonomiske forutsetningene for utbygging, blir det totalt sett lettere å finne egnede arealer som også er mindre konfliktfylte.

På denne bakgrunn er det viktig å få avklart om det også finnes havområder utenfor norskekysten som er egnet for vindkraftutbygging. En viktig forutsetning er at det finnes områder som er tilstrekkelig grunne (i påvente av at teknologien for å utnytte vindenergien over store havdyp er utviklet) og at disse områdene ikke er beheftet med restriksjoner som gjør en utbygging uaktuell.

For å kartlegge av aktuelle utbyggingsområder har det vært nødvendig å benytte datamaskinelle hjelpemidler (GIS). Denne delen av arbeidet er utført av følgende medarbeidere fra NVEs GIS-seksjon:

- Tore Tonning
- Øivind Andersen
- Jostein Svegården

2 Utbygd vindkraft – offshore

Vindressursene over havområdene utenfor kysten er generelt svært store. Så langt er likevel bare en mindre del bygd ut.

Ved utgangen av 2005 var det bygd ut 780 MW offshore vindkraft, fordelt på 19 vindparker. Av listen nedenfor går det fram at det bare er i Europa at en utbygging har funnet sted. Flere land har planer for utbygging, bl.a. USA, utenfor Long Island ved New York City. Norge har så lang ikke bygd ut offshore vindkraft.

Navn	*Nasjonalitet*	*Byggeår*	*Installert effekt [MW]*	*Turbin størrelse [MW]*	*Vann-dybde [m]*	*Turbin produsent*
Nogersund[1]	Sverige	1991	0.2	0.2		WindWorld
Vindeby	Danmark	1991	5.0	0.45	4	Bonus
Medemblink	Nederland	1994	2.0	0.5		NedWind
Tunø Knob	Danmark	1995	5.0	0.5	4	Vestas
Drotnen	Nederland	1996	16.8	0.6		Nordtank
Bockstigen-Valor	Sverige	1998	2.5	0.5	6	WindWorld
Middelgrunden	Danmark	2000	40.0	2.0	4.5	Bonus
Utgrunden	Sverige	2000	10.0	1.4	8.5	Enron
Blyth	Storbritannia	2000	4.0	2.0	8.5	Vestas
Ytre Stengrund	Sverige	2001	10.0	2.0	8	NEG Micon
Horns Rev	Danmark	2002	160.0	2.0	10	Vestas
Samsø	Danmark	2002	25.0	2.5	20	Bonus
North Hoyle	Storbritannia	2003	60.0	2.0	15	Vestas
Scroby Sands	Storbritannia	2003	60.0	2.0	6	Vestas
Fredrikshavn	Danmark	2003	10.6	2.3 og 3.0		Vestas, Bonus og Nordex
Nysted	Danmark	2003	165.0	2.3	5.0-9.5	Bonus
Arklow Bank	Irland	2003	25.0	3.6		GE
Barrow-in-Furness	Storbritannia	2004	90	3.0	21	Vestas
Kentish Flats	Storbritannia	2005	90	3.0	5	Vestas
Beatrice	Storbritannia	2006	10	5.0	45	RePower

Tabell 2-1 Status for utbygd offshore vindkraft ved utgangen av 2005

[1] Demontert i 1998

3 Teknologiske utfordringer

De fleste store vindturbinprodusenter har egne turbiner til bruk offshore. Til nå er det imidlertid gjort relativt små endringer i forhold til de landbaserte. Dersom markedet blir større er det grunn til å lage egne turbiner for bruk offshore. Det er flere grunner til det:

- Det kreves bedre beskyttelse mot vannsprut og salt.
- Montering med lektere gir mulighet for større turbiner på sjøen enn på land.
- Høyere vindhastigheter gjør at det er økonomisk med større installert effekt per rotorareal.
- Lite problem med støy gjør at rotoren kan ha høyere turtall.
- Med høyere turtall kan slankere (mindre kordelengde) vinger benyttes. Slankere vinger kan gjøre karbonfiber og epoxy mer aktuelt i forhold til dagens polyester og glassfiber. Høyere turtall gjør også at en kan redusere dimensjoner på aksler, gir med mer.

På grunn av lite marked er ikke alle disse mulighetene enda fullt utnyttet. Det ligger derfor en mulighet til kostnadsbesparelser dersom markedet blir større.

3.1 Fundamentering

De aller første offshore vindkraftverk ble installert med gravitasjonsfundament. Dette er normalt en kasse av betong som fylles med sand. De kan også lages av stål, og fylles med betong eller sand etter at de er transportert ut (The Long Island Initiativ).

På havdyp fra 5-20 m benyttes nå gjerne den såkalte monopile. Dette er et rør med diameter i samme størrelsesorden som tårnet som bankes eller bores ned i bunnen. Hvor langt er avhengig av grunnforholdene. Dersom grunnforholdene er løsmasser er det vanlig å banke tårnet rett ned. Dersom det er fast fjell i havbunnen må en bore ned monopilen. Dette kan eventuelt kombineres med å støpe fast monopilen. Den siste metoden ble brukt første gang i det Svenske prosjektet Bockstigen. Turbinene på Horns Rev er fundamentert på denne måten (www.hornsrev.dk).

Til nå er det bare disse to metodene (gravitasjon og monopile) som er benyttet for fundamentering av vindkraftverk til havs.

Alt i alt er fundamenteringen noe av den viktigste forskjellen mellom onshore og offshore vindparker. Det syntes i antall patenter og ideer på området og kostnaden forbundet med fundamentering. Fundamenteringen i engelske offshoreprosjekter har vært omtrent 25% av totale prosjektkostnader (Morgan, 2005), mot 6-8% for landbaserte anlegg.

Dersom det er dypere enn 20 m er det foreløpig uklart hva som er den beste løsningen. Det kan være tripod, det vil si tre stålrør som står på skrå mot et hovedrør i midten. Det er også foreslått bardunerte master (J.M. Carey, 2001) for større dyp enn 50 m.

3.2 Installasjon

En av fordelene med offshore vindkraft er at det er mulig å installere større turbiner enn på land. Det er små begrensninger i hvor stor det er mulig å lage en lekter.

Fartøyer for installasjon av offshore vindparker kan deles i to kategorier: ombygde båter og spesialbygde fartøyer. Til både Horns Rev og Nysted ble ombygde båter benyttet til installasjonen. Se figur 3-1. Til bygging av fundament derimot ble det benyttet et spesialbygget fartøy til Horns Rev. 1. Dette ble kalt ”Jumping Jack”, se figur 3-2, og har fire store hydrauliske søyler, en i hvert hjørne. Fartøyet forflytter seg som en båt, og jekker seg opp som en plattform der byggingen skal foretas.

Figur 3-1 Ombygd båt for transport og installasjon av offshore vindkraft (Kilde: www.a2sea.com)

3.3 Elektrisk tilkopling

I tillegg til installasjon og fundamentering, kan den elektriske delen av en offshore vindpark skille seg fra en vindpark på land. Krevende omgivelser og høye kostnader forbundet med frittstående installasjoner gjør at en må gjøre endringer. Krevende omgivelser gjør også at feilretting er kostbart og kan være tidkrevende. En del arbeid er umulig å få til i vinterhalvåret. Det må derfor vurderes om det skal bygges inn mer sikkerhet enn i et anlegg på land. Med sikkerhet menes her doble systemer som gjør at vindparken kan drives videre selv om det oppstår feil på enkelte deler. Det er derfor viktig å vurdere om for eksempel kablingen mellom turbinene skal utføres som en ringforbindelse eller bare en radiell kobling av grupper av turbiner som en vindpark på land. I en ringforbindelse med muligheter for å dele opp nettet, kan en koble ut en del dersom det oppstår feil.

I de første vindparkene som ble bygget til havs, ble det elektriske anlegget utformet uten en felles transformering ute i parken. I hver enkelt turbin ble spenningen transformert opp til et medium spenningsnivå. Dette er på maks 33 kV. En gruppe av turbiner ble koblet sammen på dette nivået for deretter å bli koblet til land. De ulike gruppene ble der koblet sammen, og spenningen transformert opp til et felles nivå som ble tilpasset nettet i regionen.

I de siste store parkene, er det blitt bygd en transformatorstasjon ute i vindparken. Denne har transformert opp spenningen til nivået i nettet på land. På Horns Rev transformeres spenningen opp til 150 kV. Denne løsningen gir mulighet til å plassere anlegget lenger fra land.

Figur 3-2 Spesialbygd fartøy for bygging av fundamenter til offshore vindkraft. Kilde: www.mammoetvanoord.com

Det er også utført studier (Vulkan Engieering, 1995) av mulighetene for å plassere transformeringen på bunnen. Til nå er dette ikke benyttet. Petroleumsindustrien har erfaring med spenninger opp til 13.8 kV, noe som er for lite for en stor vindpark.

Likestrømskabel (HVDC) er også en mulighet. Med de størrelsene og avstandene som det har vært snakk om til nå er det ikke økonomisk forsvarlig (Gardener, se nettadresse i referanseliste). Det blir hevdet at skillet mellom 132 kV AC og DC er ca 60 km (Korpås 2006)

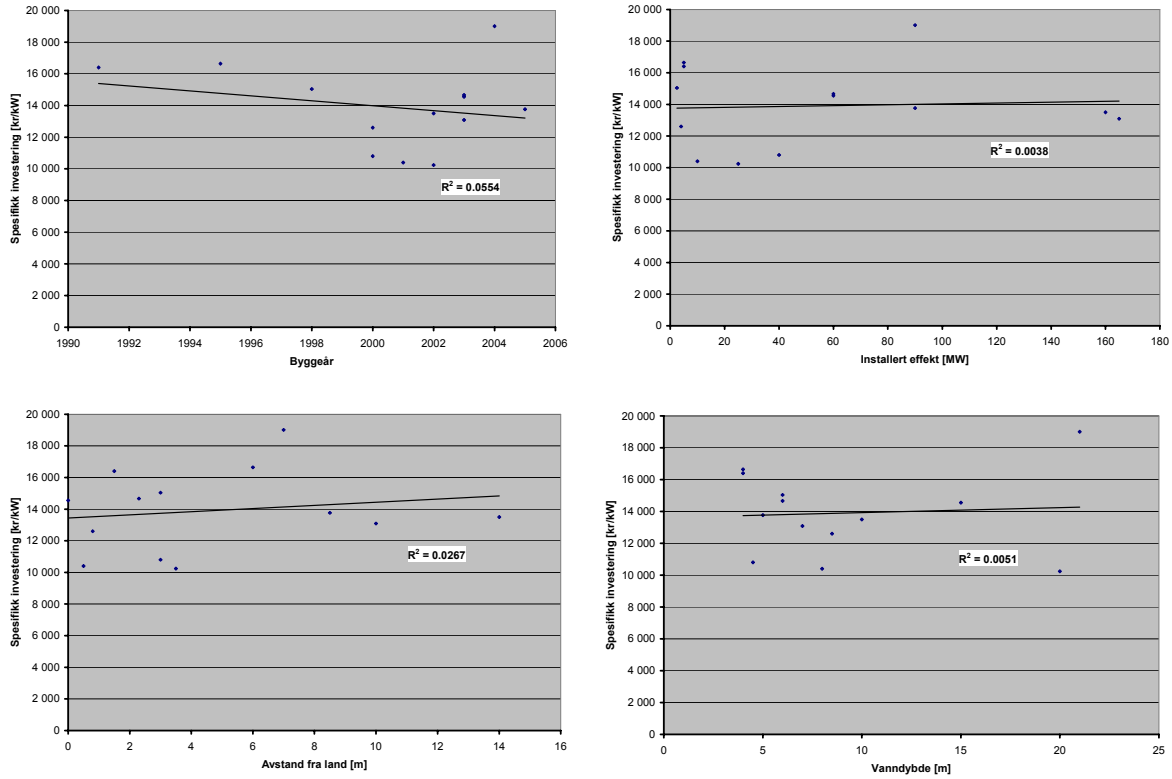
Hvor lang kabel det er mulig å legge er et spørsmål om kostnad. Lange sjøkabler er i bruk til kraftutveksling mellom nasjoner.

4 Økonomi

4.1 Historiske investeringskostnader

Det er samlet inn data om utbyggingskostnader for offshore vindkraft i Europa. Dataene er listet opp i vedlegg. Statistisk sett er dette en liten datamengde. Det er allikevel interessant å se om det er mulig å finne ut hvilke parametere som er bestemmende for kostnadene. Det er derfor utført noen enkle regresjonsanalyser.

Figur 4-1 viser først og fremst at det ikke er god korrelasjon mellom noen av parametrene. Det er noen av prosjektene som avviker mye fra det en skulle forvente. For eksempel at det er ett prosjekt med 20 m vanndybde som er spesielt billig. Dersom en fjerner dette blir det en god og forventet sammenheng mellom vanndybde og utbyggingskostnad. Alle plottene bortsett fra installert effekt, har den trenden som kan forventes.



Figur 4-1 Sammenheng mellom utbyggingskostnad og fire tilgjengelige parametere

Midlere utbyggingskostnad for prosjekter bygget etter 2002 (650 MW) er 14.000 kr/kW. Laveste kostnad er ca 10.000 og høyeste 19.000 kr/kW.

IEA (IEA 2003) har publisert tall for investeringer i ulike energiteknologier. Her rapporteres offshore vind til å koste 1.200-1.280 Euro/kW eller 9.600 – 10.240 kr/kW. Dette er med andre ord lavere enn de tallene som er samlet inn til denne rapporten. IEA rapporten ble gitt ut i 2003. Figur 4-1 viser at kostnaden for prosjekter bygget etter 2003

er høyere enn de som ble bygget før dette. Dette kan være en forklaring på avviket mellom tallene.

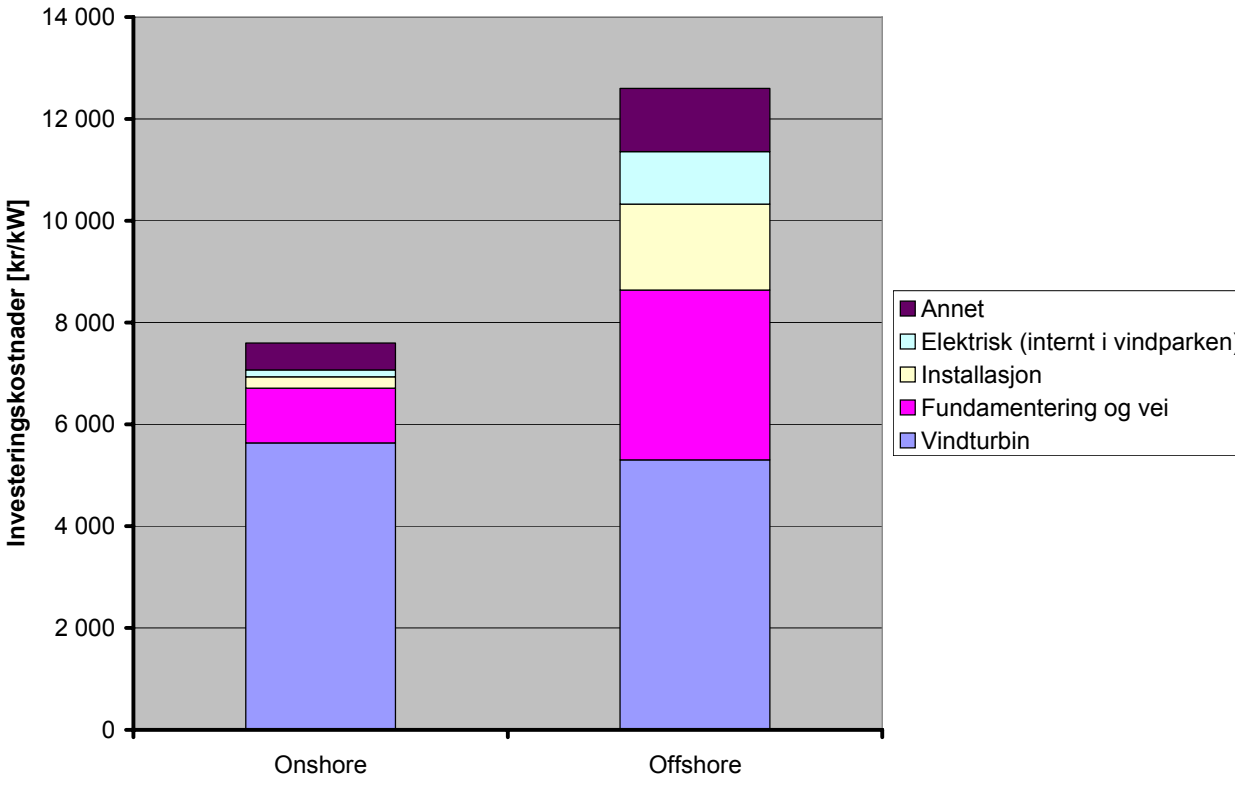
4.2 Fremtidige investeringskostnader

Det finnes flere kilder med anslag for fremtidig kostnad for offshore vindkraft. I "The Energy Review" er det gitt tall for forventet investeringskostnad for ulik energi-teknologier i år 2020. Denne gir en forventet energikostnad for offshore vindkraft på 3.0-4.5 EuroCent/kWh. Omregnet til norsk valuta gir det 24-36 øre/kWh med henholdsvis 5 og 15% rente. Det er litt vanskelig å gjøre det sammenlignbart med tallene i tabell 2-1 uten å kjenne detaljene. Dersom vi antar 20 års økonomisk levetid, 3500 brukstimer, 6 øre/kWh i driftskostnader, ender vi opp med en investeringskostnad på omtrent 8.000 kr/kW. Det vil med andre ord si at det forutsettes at investeringskostnader for offshore vind kommer ned til et nivå som er noe lavere enn dagens (2006) nivå for onshore vind.

4.3 Kostnadsfordeling

Det er store forskjeller i den prosentvise fordelingen av kostnadene i onshore og offshore vindparker. Håndregler for onshore vindparker som at 67% eller 75% av kostnadene er turbinene selv, passer ikke for offshore vindkraft. I IEA (2003) og Sea Wind Europe (2004) er det fremstilt fordeling av kostnader til ulike komponenter i en vindpark. I Henderson (2003) og i Concerned action Offshore Wind Energy in Europe (2001) er det også satt opp kostnadsfordelinger. Ingen er like med hensyn på kostnader til de ulike komponenter av vindparken. Årsaken kan både være at ingen vindparker er helt like, og at rapporteringen er forskjellig. Litt avhengig av type kontrakt kan det være vanskelig å dele opp kostnadene.

I denne rapporten har vi derfor midlet kostnadsfordelingen fra de ulike kildene. For å kunne gjøre dette må også kostnadskomponentene deles i de samme gruppene. Resultatet er vist i figur 4-2.



Figur 4-2 Fordeling av kostnader i en landbasert og en offshore vindpark. Tilknytning til eksisterende nett kommer i tillegg.

4.3.1 Fundament

I ALTENER prosjektet "Feasiblity Study Guidelines" (Nielsen 2003) har de kommet frem til at fundamenteringskostnadene utgjør 20-25% av totale prosjektkostnader. Det er i god overensstemmelse med data gjengitt i figur 4-2. I figur 4-2 består posten "Civil" av både installasjon og fundamentering. Fundamenteringen er oppgitt til 23 %. I (Nielsen 2003) er det også oppgitt at kostnaden for fundamentering ved 8 m vanndyp er om lag 2.000 – 2.400 kr/kW og øker med 2 % per meter økende havdyp.

4.3.2 Nettilknytning

I (Nielsen 2003) er det også gitt nøkkeltall for kabel til land. Disse tallene varier fra 1.200 kr/m for en 50 MW vindpark, stigende til 3.000 kr/m for en 200 MW park. I tillegg kommer legging og nedvasking eller forankring. Disse kostnadene er oppgitt til 120 – 500 kr/m. Disse kostnadene varierer mest med forholdene og mindre med størrelsen på utbyggingen. I tillegg til dette kan det komme kostnader til transformator offshore og koblingsstasjon i land. I (Nielsen 2003) er det laget et eksempel på en 240 MW vindpark 35 km fra land. Her er imidlertid kabel mellom turbinene også inkludert. Totale kostnader utgjør da 673 mill kr. Av dette utgjør offshore transformatorstasjon 128 mill kr og kabel mellom turbinene 30 mill kr. Dersom begge poster trekkes ut utgjør det resterende (515 mill) 77 % av investeringen. Det må vises forsiktighet med å lage en ren meterpris (avstand fra land) av disse kostnadene. For det aktuelle eksemplet er 23 % av kostnaden

for nettilknytning uavhengig av avstand. Det vil imidlertid være trinn i kostnad når en endrer systemløsning.

For de andre kildene er det til dels stort sprik i tallene. I prosent av total investering er det oppgitt 4 %, 8 % og 15 %.

Med så lave tall som 4 % er det grunn til å tro at det bare inneholder deler av de reelle kostnadene.

4.3.3 Drift og vedlikehold

I Concerned action Offshore Wind Energy in Europe (2001) er det oppgitt drifts- og vedlikeholdskostnader på 250 kr/kW + 0,04 kr/kWh. I Henderson (2003) er det slått fast at drift og vedlikeholdskostnadene vil bli høyere for offshore vindkraft enn for onshore. Vanskelig adkomst antas å være en viktig grunn. Henderson (2003) oppgir de samme verdiene som Concerned action Offshore Wind Energy in Europe (2001).

4.3.4 Eksempel på kostnader

Ved å kombinere de ulike verdiene over får vi følgende kostnader for en 200 MW offshore vindpark lokalisert 20 km fra land.

Tabell 4-1 Oppsummering av kostnader for offshore vindkraft (fundamentert på bunnen). Eksemplet gjelder en vindpark med 200 MW installert effekt. Det er antatt en økonomisk levetid på 20 år og 6 % kalkulasjonsrente

	mill. kr	mill. kr/MW
Vindpark	2520	12,6
Netttilknytning	515	2,6
Investeringskostnader	3035	15,2
Årlige kapitalkostnader	265	1,3
Drift og vedlikehold	74	0,4
Årlige kostnader	339	1,7
Enhetskostnader (brukstid= 3 000 timer)		57 øre/kWh

5 Beregningsmetode – datagrunnlag

En utbygging av vindressursene utenfor norskekysten begrenses først og fremst av vind- og dybdeforhold samt arealrestriksjoner.

A. Vindforhold
Det er i denne undersøkelsen ikke gjennomført noen detaljert kartlegging av vindforholdene utenfor norskekysten. NVEs vindatlas dekker først og fremst kystnære områder på land. Modellområdene strekker seg også utover sjøen, men slik at nøyaktigheten avtar med økende avstand fra land. På dette grunnlag har en konstatert at vindforholdene utenfor norskekysten er gjennomgående tilfredsstillende (middelvind (7-8 m/s), bortsett fra i fjordområdene. Lengre fra land antas vindforholdene å være enda bedre. Dette fremgår av vinddata fra Hindcastarkivet som viser at middelvinden øker med avstanden fra land. I stor avstand fra land (over 50 km) kan middelvinden komme opp i 11-12 m/s.

Generelt er middelvinden utenfor kysten noe lavere enn på de beste områdene over land der terrenget er slik at det oppstår akselerasjonsvirkninger. På den annen side er vinden over sjøen mindre turbulent og derfor lettere å utnytte. Det er derfor antatt at vindforholdene ikke er noen begrensende faktor for utbygging (bortsett fra i fjordområder).

Manglende tilgang på detaljerte vinddata har gjort at denne undersøkelsen kun omfatter hvor mye vindkraft som kan bygges ut (i antall MW). Basert på kunnskap om vindforhold over land og langt fra land (Hindcastarkivet) kan en anta at middelvinden over aktuelle utbyggingsområder ligger på mellom 7 og 8 m/s.

B. Dybdeforhold
Havområdene utenfor norskekysten er gjennomgående svært dype (norskerenna). Selv om Norge har en lang kyststripe begrenser dette mulighetene for offshore vindkraftutbygging. Norge skiller seg dermed fra en rekke mellomeuropeiske land der en finner store gruntområder utenfor kysten i Nordsjøen og til dels i Østersjøen. Mens Norge har de største vindkraftressursene over land, må disse landene ut i havområdene for å finne store utbyggingsområder.

Dybdedata er hentet inn fra Sjøkartverket.

C. Arealrestriksjoner.
Havområdene utenfor norskekysten er store, men i praksis vil hensynet til forsvaret og miljø begrense det utbyggbare potensialet.

Hensynet til kysttrafikken vil normalt kunne ivaretas under utformingen av vindparken. Avstanden til hver turbin vil være opptil 1 km, noe som gir rom for skipsleder tvers gjennom vindparken. Dessuten søker skipstrafikken dype områder, mens lokalisering av vindparker skjer fortrinnsvis i grunne områder.

Når det gjelder miljø, er det kun tatt hensyn til de miljøbegrensninger som følger av myndighetenes vernebestemmelser. (Disse data er hentet fra Statens kartverk.)

Verneområdene omfatter nasjonalparker, naturreservat, biotopvern etter viltloven, dyrelivsfredning, dyrefredningsområder, landskapsvernområder, landskapsvernområder med dyrelivsfredning og/eller plantelivsfredning, midlertidig vernede områder, plantelivsfredning, plante- og dyrelivsfredning, plante- og dyrefredningsområder og plantefredningsområder.

I tillegg er det tatt hensyn til Unescos liste over områder med status som verdensarv.

For tiden pågår det et arbeid med en marin verneplan. I påvente av et endelig vedtak er det ikke tatt hensyn til foreliggende forslag til verneplan.

Det er også innført en minsteavstand fra land, se kap. 6.

Arealbegrensninger som skyldes hensynet til forsvaret er ikke gjort.

I praksis vil en fremtidig konsesjonsbehandling begrense offshore vindkraftutbygging ytterligere, bl.a. av hensyn til miljø, for eksempel estetikk.

5.1 Geografisk informasjon

I arbeidet med å kartlegge vindressurspotensialet utenfor kysten har en valgt å bruke programmet ArcGIS ArcInfo, som er et geografisk informasjonssystem. Et slikt dataprogram gjør det mulig å bearbeide og analysere store mengder geografisk informasjon.

Kartgrunnlaget som ble brukt i analysen er:

- Statens kartverk N50 Kartdata (kystkontur og verneområder)
- Sjøkartverkets dybdekurver

Alle kartdata er vektordata, og de er levert som landsdekkende datasett. Kystkontur og verneområder er levert i UTM-sone 33. Dybdekurver er levert med geografiske koordinater (lengdegrader og breddegrader). Disse er projisert til UTM-sone 33 før analysen ble utført.

I datasettet fra Sjøkartverket er det dybdekurver på 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 og 100 meter, i tillegg til dybdekurver for enda større dyp. I denne analysen er det kurvene for 0, 20 og 50 meter som er benyttet. Det er imidlertid noen mindre områder av kysten som ikke er kartlagt. Disse områdene inngår derfor ikke i analysen. Sjøkartverkets informasjon om hvilke områder som er ikke er kartlagt, er bare til intern bruk hos Sjøkartverket. Vi vet derfor ikke nøyaktig hvilke områder som av denne grunn ikke blir med i analysen (bortsett fra noen store områder som åpenbart ikke er kartlagt). Det er antatt at dette forhold øker usikkerheten i resultatet med ca. 10 %.

En del områder mangler også noen av dybdekurvene nevnt ovenfor. Det ble blant annet oppdaget flere områder uten 50-meters dybdekurven. Disse områdene er dermed avgrenset av dybdekurvene for 20 og 100 meter. De utgjør tilsammen 1937 km^2, og finnes i hovedsak utenfor Sogn og Fjordane. I disse områdene er det derfor ikke registrert noe utbyggbart areal mellom 20 og 50 meters dybde.

5.2 Ekskludering av områder

For å finne de områdene der det kan bli aktuelt å bygge, er det tatt utgangspunkt i områdene utenfor kysten fra Lindesnes til den russiske grensen. Først har en funnet alle områder som er grunnere enn 50 meter, og deretter områder grunnere enn 20 meter. Disse områdene ble lagret i to datasett, som så dannet utgangspunkt for ekskludering av områder som ut fra ulike kriterier må unntas fra kraftutbygging. Følgende metode er fulgt:

1. Avstand fra land
Det eksisterer ingen bestemmelser om hvor langt fra land et vindkraftverk må ligge, men siden det er et generelt forbud mot å bygge i strandsonen er det nærliggende å forutsette en minsteavstand fra land. Det er heller ingen klare kriterier for hva som er å betrakte som et fast landområde. Reglene som gjelder for fastlandet gjelder også for øyer av en viss størrelse. Vi har forutsatt at kravet til minsteavstand fra land også skal gjelde for alle øyer større en 1 km^2.

Trinn 1 blir derfor å ekskludere alle områder som ligger innenfor en minsteavstand til land. Til dette har en brukt bufferanalyse med kystkonturen som utgangspunkt (kystkonturen for fastlandet og øyer større enn 1 km^2).

2. Vernestatus
Neste trinn blir å ekskludere alle verneområder (for eksempel landskapsvernområder). Det er ikke lagt inn noen ekstra randsone rundt vernede områder. Vi sitter da igjen med områder som ikke er vernet, er tilstrekelig langt fra land og hvor dybdeforholdene ligger til rette for utbygging.

5.3 Utbyggingstetthet

Hvor mye vindkraft som kan bygges ut i et område er avhengig av vindturbinenes størrelse og avstanden mellom dem.

I de siste 10- 20 år har det vært en utvikling mot å ta i bruk stadig større vindturbiner. Fordelen med større vindturbiner er flere, bl.a. at store rotorer sveiper over et større vertikalt areal og dermed kan fange inn mer av den vindenergien som passerer over et område. På den måten kan en med store vindturbiner produsere mer vindkraft per utbygd areal. Med store turbiner blir det færre turbiner og dette forholdet bidrar til å redusere forankringskostnadene som er viktig i havområdene der disse på forhånd er høye. På land begrenses størrelsen av vindturbinene av muligheten for å frakte vindturbinen fram til anleggsstedet. Frakt av store elementer er i dette henseende enklere på sjøen enn på land.

Vi har derfor forutsatt at offshore vindkraftverk bygges ut med 5 MW vindturbiner som er de største som tilbys i dag. Disse har en rotordiameter på ca. 120 m. En vanlig tommelfingerregel på land er å anta en midlere turbinavstand på 5 x rotordiameter som også antas å være en samfunnsøkonomisk riktig utbyggingstetthet [NVE-R ,2003].

For offshore vindparker er forholdene ulike de vi finner på land. For det første er det ikke behov for veier. Dette gjør kostnadene med å plassere turbinene lengre fra hverandre lavere. For det andre har vaketapene i en offshore park vist seg å være høyere enn først antatt og høyere enn på land.

Rødsand offshore park i Danmark (165 MW) har en midlere turbinavstand på 8.2 ganger rotordiameteren (Nilsen 2003). Det er mulig utbygger ville økt dette noe med den kunnskap som finnes i dag. Det er også viktig å huske på at det er en del spesifikke parametere som gjør at optimal turbinavstand vil variere fra sted til sted.

I dette prosjektet er det valgt å benytte en midlere turbinavstand på 7 ganger rotordiameteren. Dette er høyere enn på land, og muligens noe lite i forhold til det kommersielle aktører vil komme til å foreslå. Det foreslåtte prosjektet Havsul har en turbinavstand på ca 5 ganger rotordiameteren (www.havsul.no).

I utformingen av en vindpark må en ta hensyn til det aktuelle vindregimet som gjelder i området. Det er spesielt viktig at avstanden mellom vindturbiner som ligger bak hverandre i en retning der vinden er fremherskende, er stor for å redusere det samlede vaketapet. Her bør turbinavtanden gjøres større enn 7 x rotordiamer. Avstandene i andre retninger gjøres tilsvarende mindre.

Det er hentet inn data om vindens retningsfordeling for 22 ulike stasjoner langs kysten. Hyppigheten er delt inn i 12 ulike retningssektorer. Deretter er hyppigheten av 2 retningsklasser som er forskjøvet 180 grader i forhold til hverandre summert. På den måten er det mulig å finne ut hvor ofte to turbiner som står plassert parallelt med linjen gjennom de to sektorene skygger for hverandre.

Deretter er det laget et regelsett som sier noe om hvilken avstand det bør være mellom turbiner avhengig av hyppighet av vind i de ulike retningene.

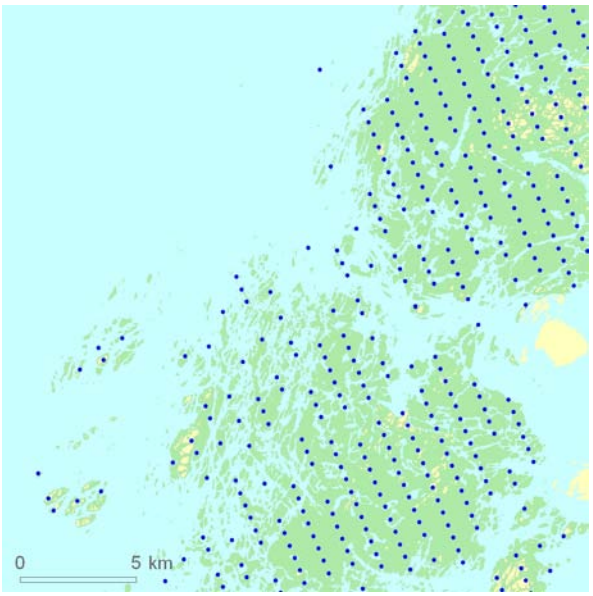
- Dersom to retninger som er orientert 180 grader på hverandre har en samlet hyppighet på 10 %, skal avstanden mellom turbinene være 5,5 ganger rotordiameteren.
- Dersom to retninger som er orientert 180 grader på hverandre har en samlet hyppighet på 40 %, skal avstanden mellom turbinene være 12 ganger rotordiameteren.
- Disse to punktene benyttes deretter til å lage en lineær sammenheng mellom hyppighet og turbinavstand.

  Turbinavstand = 21,7 x hyppighet [%] + 3,3

Vindens retningsfordeling varierer nedover kysten og dermed avstandene mellom turbinene. Beregnede turbinavstander fremgår av tabell 1 i appendiks A.

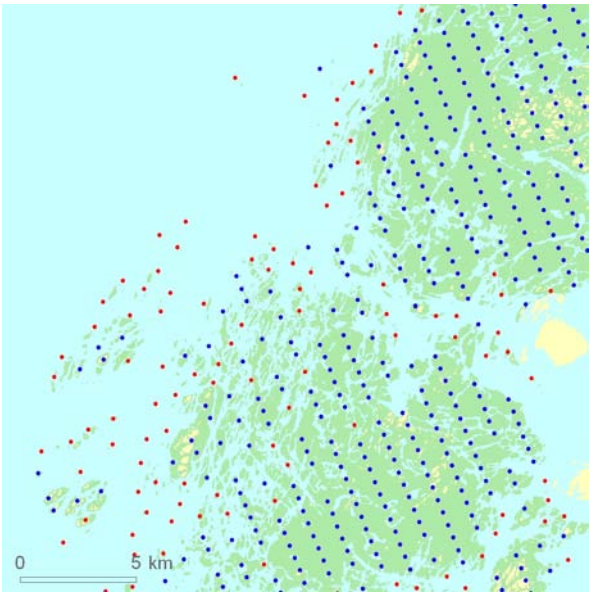
For å beregne hvor mye vindkraft som kan bygges ut er det forutsatt en utbygging med 5 MW vindturbiner som plasseres i de gjenværende (ikke ekskluderte) områdene, dog slik at minsteavstanden er bibeholdt. Dette er gjort på følgende måte:

1. Et mønster med vindturbiner med de beregnede avstandene er lagt over de utbyggingsaktuelle områdene, se fig. 5-1. Alle områder med en viss størrelse får da ”tildelt” vindmøller med riktig plassering i forhold til vindforholdene.



Figur 5-1 Eksempel på utplassering av vindturbiner, trinn 1

2. Vi sitter da igjen med mange små områder som ikke fikk ”treff” da mønsteret med vindturbiner ble lagt over de utbyggingsaktuelle områdene. Dette henger sammen med forekomsten av mange små tilfeldig plasserte gruntområder som ikke passer inn i det mønsteret som er etablert. Det antas at disse små gruntområdene også kan bygges ut. For også å utnytte disse områdene plasseres en vindturbin også på dem, vist som rød prikk i figur 5-2. De røde prikkene følger dermed ikke det faste mønsteret med en konstant avstand mellom radene og mellom turbinene (prikkene) i en rad.



Figur 5-2 Eksempel på utplassering av vindturbiner, trinn 2/3

3. Når det faste mønsteret brytes vil mange av vindturbinene som ble plassert i punkt 2 ovenfor, komme for nær hverandre, mens andre blir plassert lenger fra hverandre enn minsteavstanden. For å opprettholde kravet om minsteavstand, ble det derfor som et siste

trinn nødvendig å gå gjennom alle vindturbinene, en for en, og fjerne de vindturbinene som lå innenfor minsteavstanden.

Resultatet er eksempelvis vist i figur 5-2. Vi sitter nå igjen med et sett mulige utplasserte vindturbiner som danner grunnlaget for å beregne et utbyggingspotensial.

Utbyggingspotensialet blir nå:

Påvist utbyggingspotensial [MW] = Antall vindturbiner x 5 MW

6 Resultater

Resultatet av undersøkelsen er vist i etterfølgende tabeller og diagrammer. Det er påvist et utbyggingspotensial for henholdsvis maksimal dybde lik 20 og 50 m, og med krav om at minsteavstanden fra land skal være henholdsvis 1, 3, 5 og 10 km.

Fylke	Avstand fra land og øyer større enn 1 km2			
	1 km	3 km	5 km	10 km
Vest-Agder	370	75	20	0
Rogaland	620	185	115	0
Hordaland	1185	410	145	0
Sogn og Fjordane	2235	1340	835	190
Møre og Romsdal	3675	2240	1495	365
Sør-Trøndelag	4725	2410	1570	545
Nord-Trøndelag	3390	2885	2340	1415
Nordland	10860	7905	5980	3325
Troms	595	430	280	230
Finnmark	1875	955	635	335
SUM	**29530**	**18835**	**13415**	**6405**

Tabell 6-1 Påvist utbyggingspotensial i MW. Maks dybde 20 m

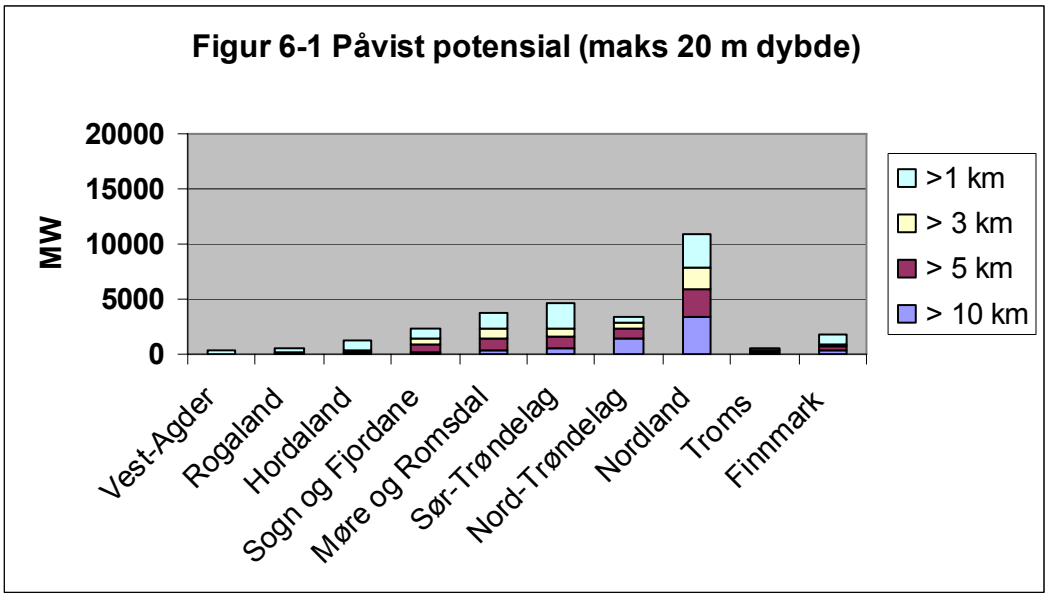
Fylke	Avstand fra land og øyer større enn 1 km2			
	1 km	3 km	5 km	10 km
Vest-Agder	1070	305	70	0
Rogaland	2560	1370	720	55
Hordaland	1715	705	230	0
Sogn og Fjordane	2315	1390	870	195
Møre og Romsdal	6775	4790	3530	1105
Sør-Trøndelag	6830	3815	2490	940
Nord-Trøndelag	5170	4620	3975	2535
Nordland	17245	13035	10145	5910
Troms	1330	1010	700	615
Finnmark	10305	6390	3825	1505
SUM	**55315**	**37430**	**26555**	**12860**

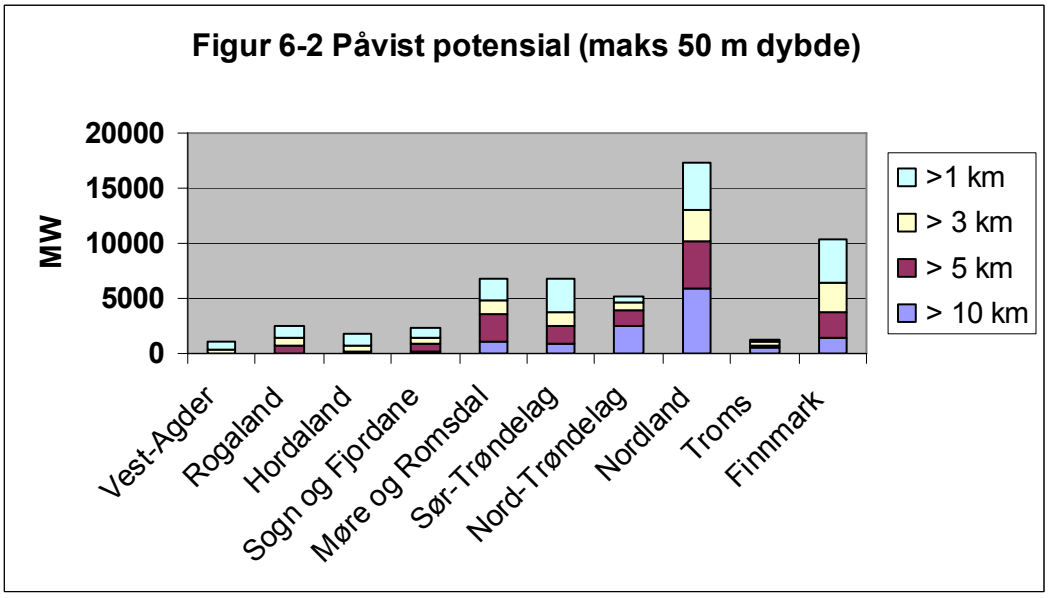
Tabell 6-2 Påvist utbyggingspotensial i MW. Maks dybde 50 m

Det største vindkraftpotensialet utenfor kysten finnes fra Møre og Romsdal og nordover. Resultatene er illustrert i figur 6-1 og 6-2.

Kart over områder som etter denne undersøkelsen kan bygges ut er vist i Appendiks B. Områder med restriksjoner (og dermed unntatt fra vinkraftutbygging) er markert med grønn skravering. Områder som ikke er formelt vernet, men som faller inn under Unescos liste over verdensarvområder, er markert med en lysere grønnfarve. Påviste

utbyggingsområder grunnere enn 20 m er vist i gult, mens områder fra 20-50 m dybde er vist som mørkt grått. Selv om det ikke er formelle byggerestriksjoner på de påviste utbyggingsområdene, kan en fremtidig konsesjonsbehandling likevel avdekke betydelige interessekonflikter. Aktuelle utbyggingsområder vil således bli mindre enn de som er påvist i denne undersøkelsen.


Figur 6-1 Påvist potensial (maks 20 m dybde)
MW
20000
15000
10000
5000
0
>1 km
> 3 km
> 5 km
> 10 km
Vest-Agder
Rogaland
Hordaland
Sogn og Fjordane
Møre og Romsdal
Sør-Trøndelag
Nord-Trøndelag
Nordland
Troms
Finnmark


Figur 6-2 Påvist potensial (maks 50 m dybde)
MW
20000
15000
10000
5000
0
>1 km
> 3 km
> 5 km
> 10 km
Vest-Agder
Rogaland
Hordaland
Sogn og Fjordane
Møre og Romsdal
Sør-Trøndelag
Nord-Trøndelag
Nordland
Troms
Finnmark

Appendiks A

Turbinavstand

Avstanden mellom turbinene for de ulike vindretningssektorer målt i antall ganger rotordiameteren. Det er 12 retningssektorer. Senter av retningssektor 1 er nord og senter av retningssektor 7 er mot syd. Tilsvarende for retningssektor 4 og 10 som tilsvarer øst og vest.

Vindretningssektorer			*1 og 7*	*2 og 8*	*3 og 9*	*4 og 10*	*5 og 11*	*6 og 12*
Finnmark	Syd-vest	Fruholmen	6.2	6.4	7.4	6.7	6.2	8.6
	Nord	Sletnes	6.0	5.6	8.4	7.0	5.8	8.4
	Nord-øst	Makkaur	7.0	6.6	7.4	7.0	4.8	8.4
Troms	Nord	Torsvåg	8.4	7.8	6.2	5.6	5.4	8.0
	Syd	Hekkingen	9.1	6.1	3.9	6.2	8.7	7.7
Nordland	Nord for Ofoten	Littløy	7.3	5.7	6.5	8.1	5.7	8.0
	Vest for Ofoten	Skomvær	6.4	6.4	9.6	6.6	4.9	7.4
	Syd for Ofoten	Skorva	6.0	5.7	10.5	9.1	4.2	5.6
	Resten av fylket	Tennholmen	5.2	7.0	8.6	6.8	6.5	6.9
Nord Trøndelag	Nord	Buholmråsa	6.7	7.2	5.7	6.2	8.1	7.8
	Syd	Nordøyan	5.5	5.2	8.0	7.1	6.7	9.0
Sør Trøndelag	Hele	Ørlandet	5.0	4.6	7.5	6.8	9.9	7.8
Møre og Romsdal	Hele	Ona	7.2	6.2	9.4	7.7	4.8	6.1
Sogn og Fjordane	Nord	Kråkenes	10.0	9.2	6.7	6.2	4.7	4.8
	Syd	Ytterøyan	9.9	5.1	6.2	5.7	5.0	9.3
Hordaland	Hele	Slåtterøy	9.2	5.8	5.3	5.7	5.0	9.7
Rogaland	Hele		4.8	5.5	6.0	5.1	12.6	7.1
Vest Agder	Syd	Lindesnes	5.3	5.0	5.9	7.9	11.5	6.0
	Øst	Lista	5.3	5.4	6.3	8.1	9.9	6.7
Aust Agder og Telemark	Vest	Torungen	6.5	8.8	9.4	6.0	4.5	6.3
	Øst	Jomfruland	6.5	10.6	6.0	6.3	4.6	6.5
Østfold	Hele	Færder	7.6	8.8	8.9	5.4	4.9	5.7

Appendiks B
Kart over gruntområder

Vedlagte kart viser gruntområder utenfor

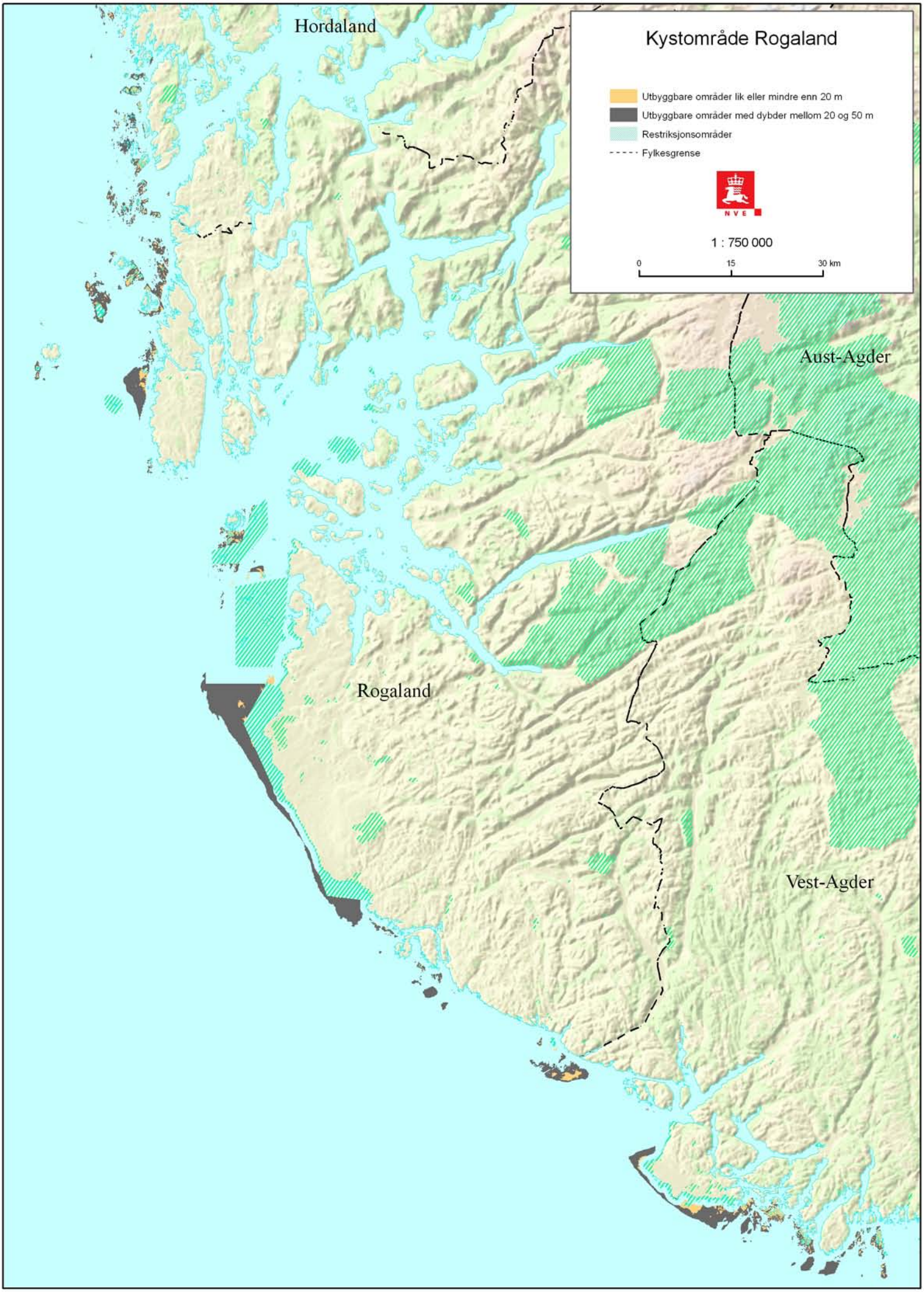
Rogaland
Hordaland
Sogn og Fjordane, Møre og Romsdal
Sør-Trøndelag
Nord-Trøndelag
Nordland sør
Nordland nord
Troms
Finnmark vest
Finnmark øst

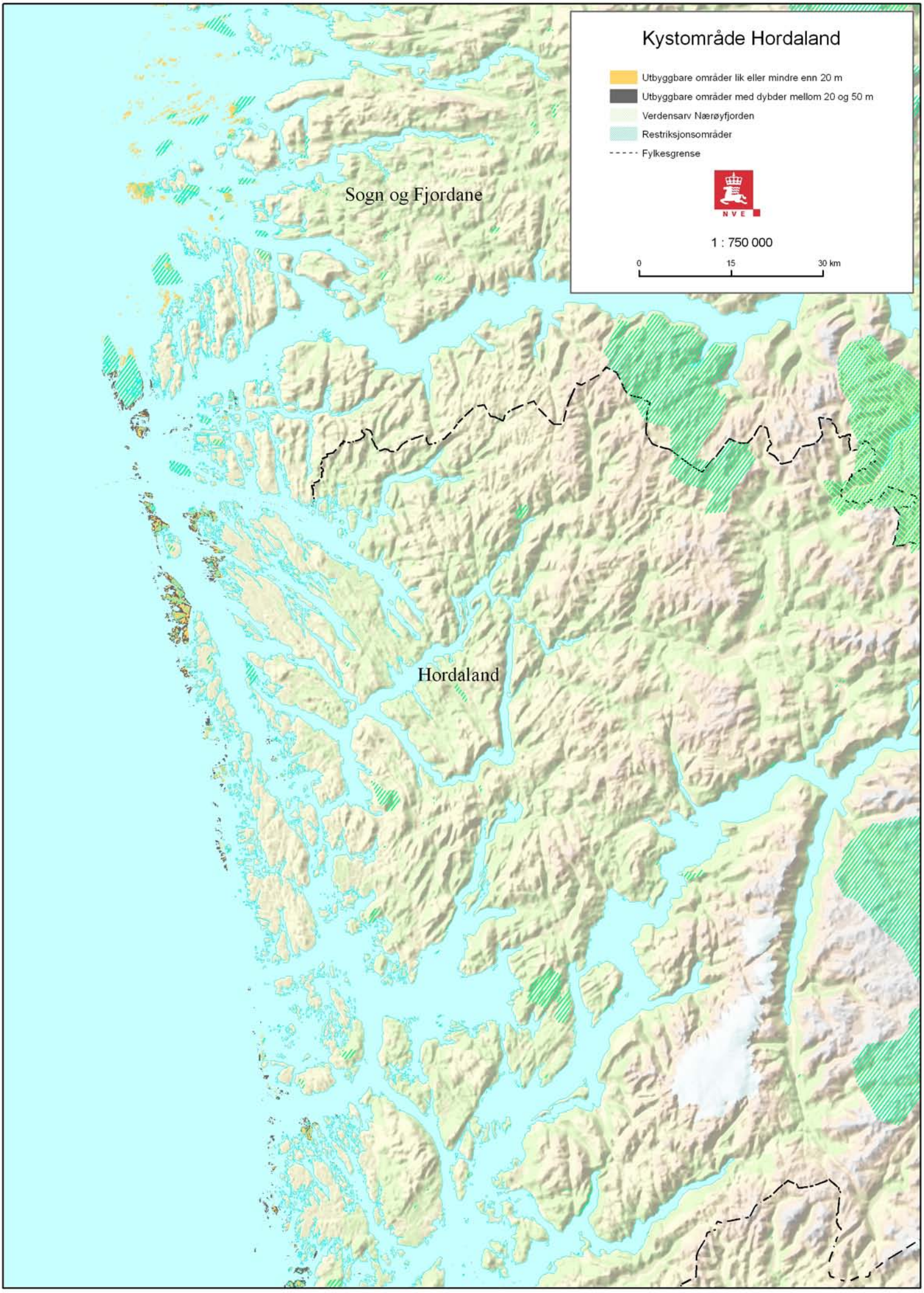
Alle gruntområder som

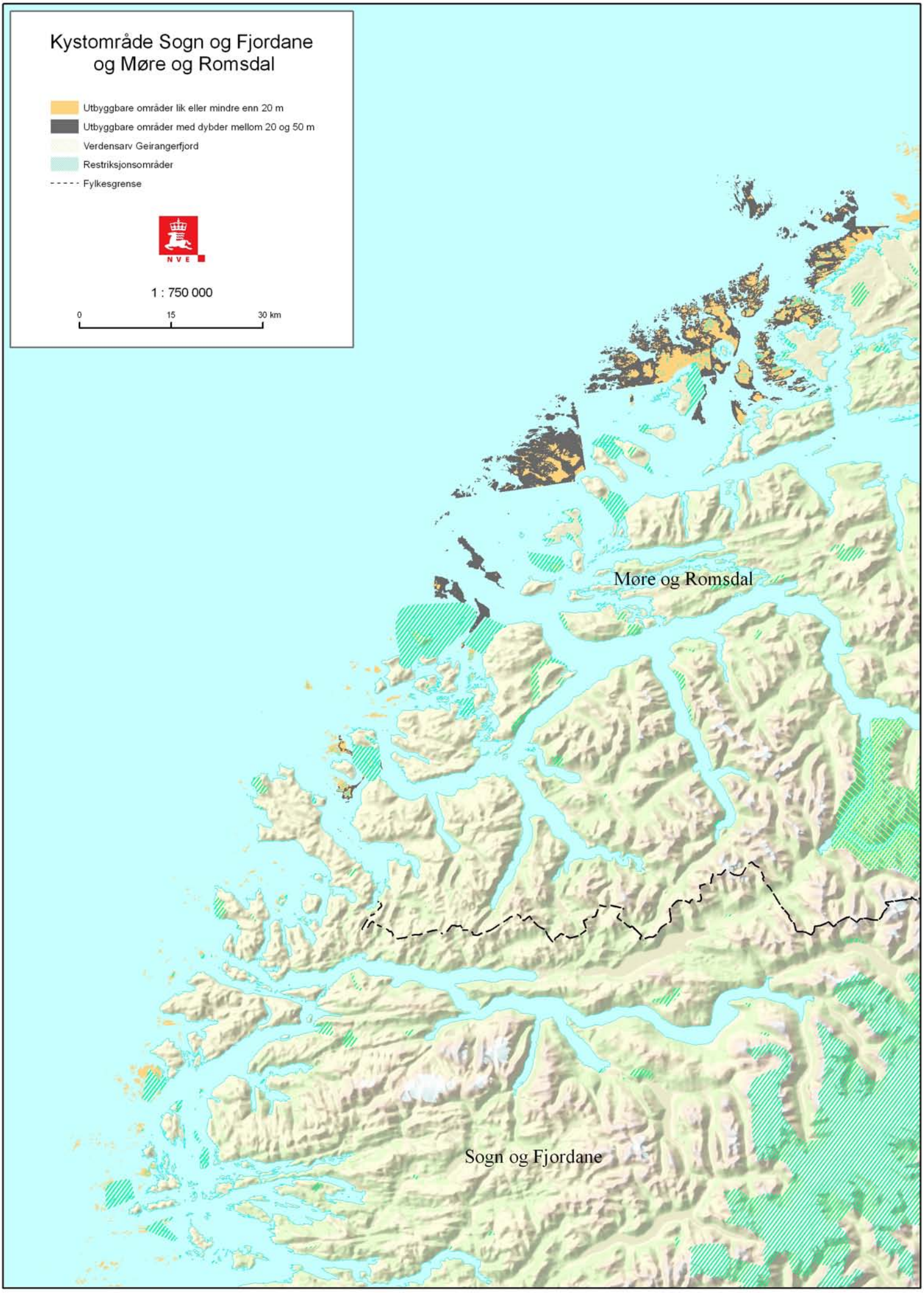
- ligger minimum 1 km fra kysten
- ikke har formelle restriksjoner eller er på Unescos verneliste
- har tilstrekkelig vind (middel vind > 7,5 m/s)

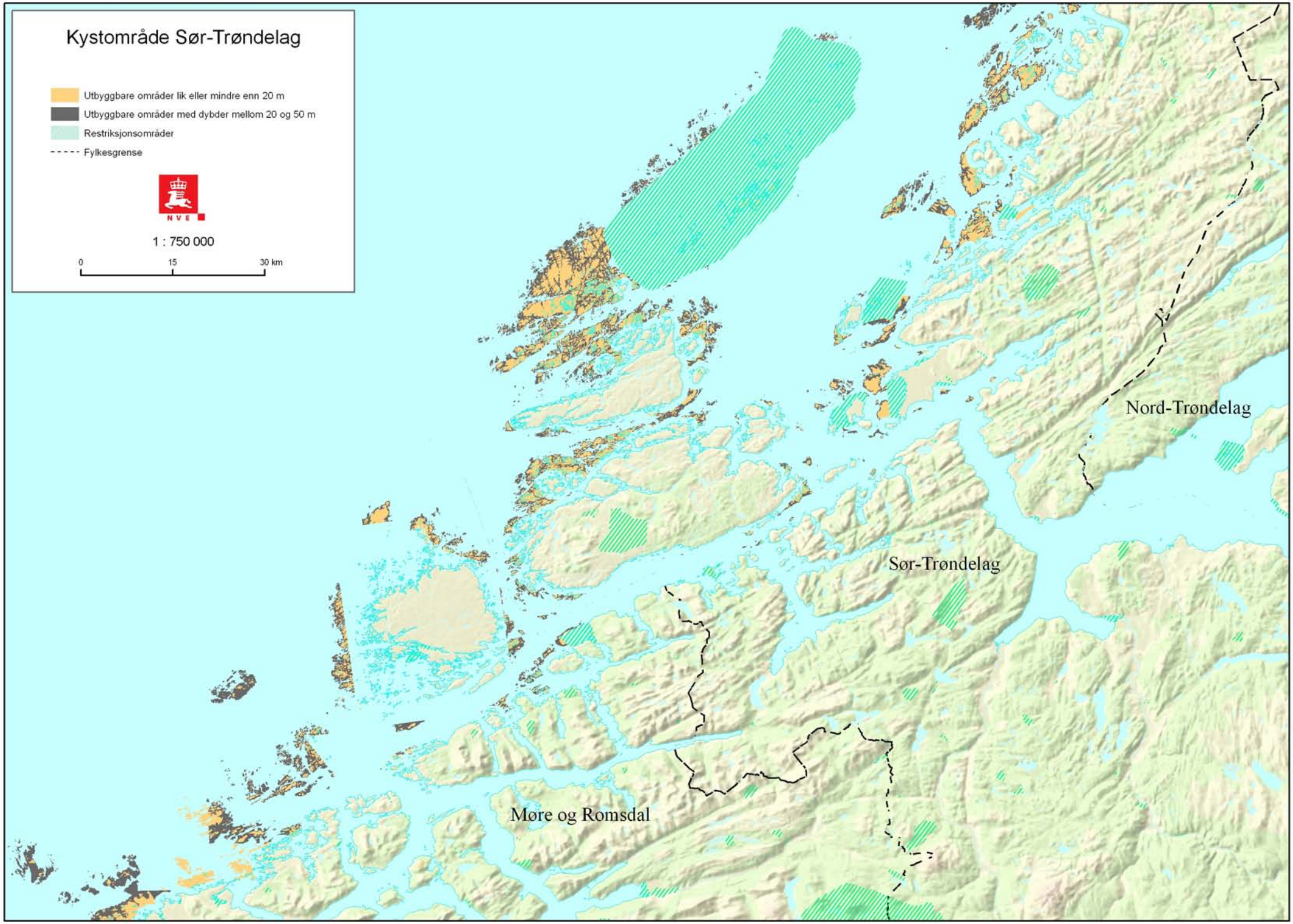
er markert (grått/gult). Det er skilt mellom minstedybde 20 m og 50 m.
Restriksjonsområder er skravert med grønt.

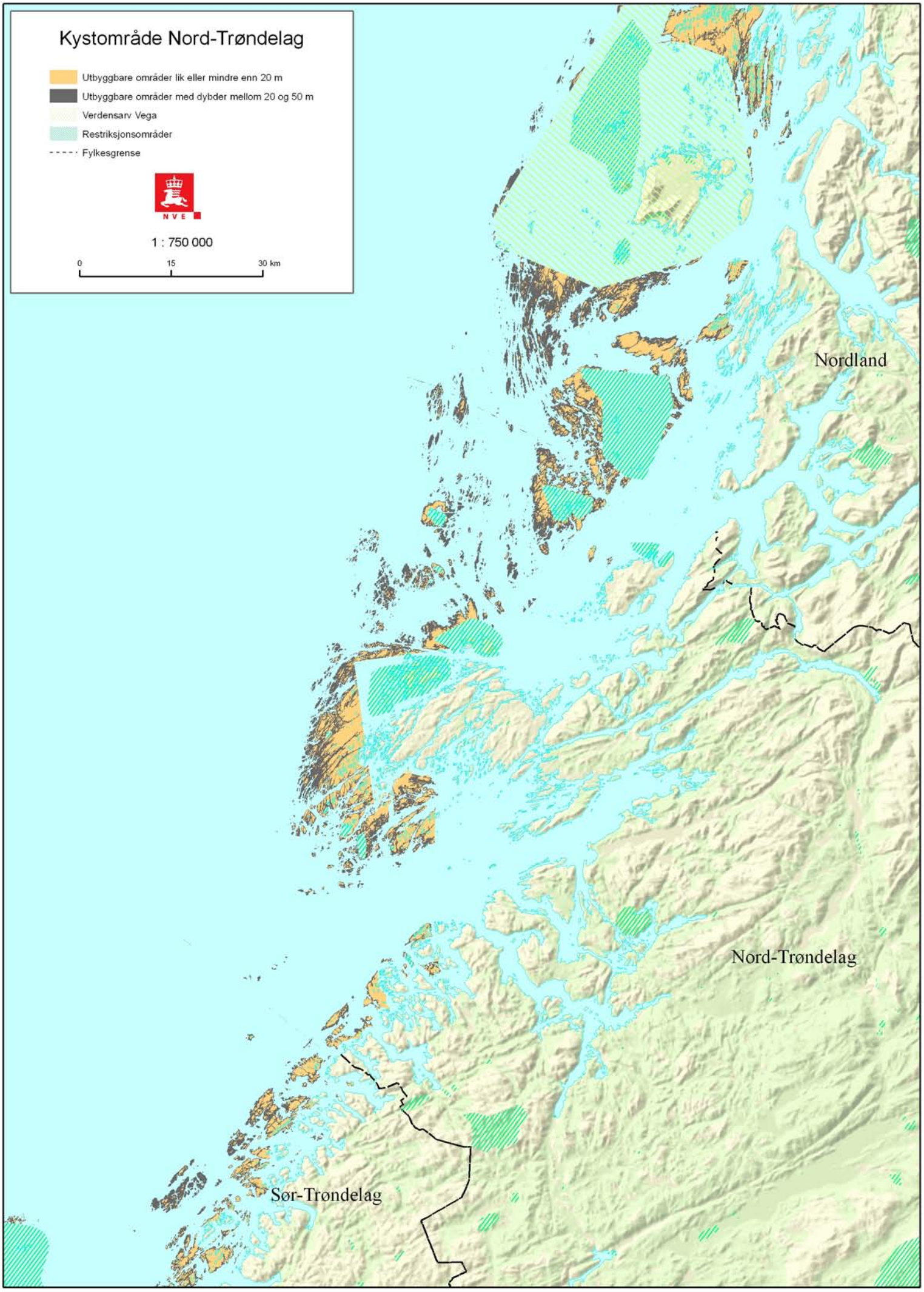
Det er ikke tatt stilling til hvilke gruntområder som ut fra en samlet miljømessig vurdering kan bygges ut. Dette vil bli avklart gjennom en eventuell søknad om konsesjon

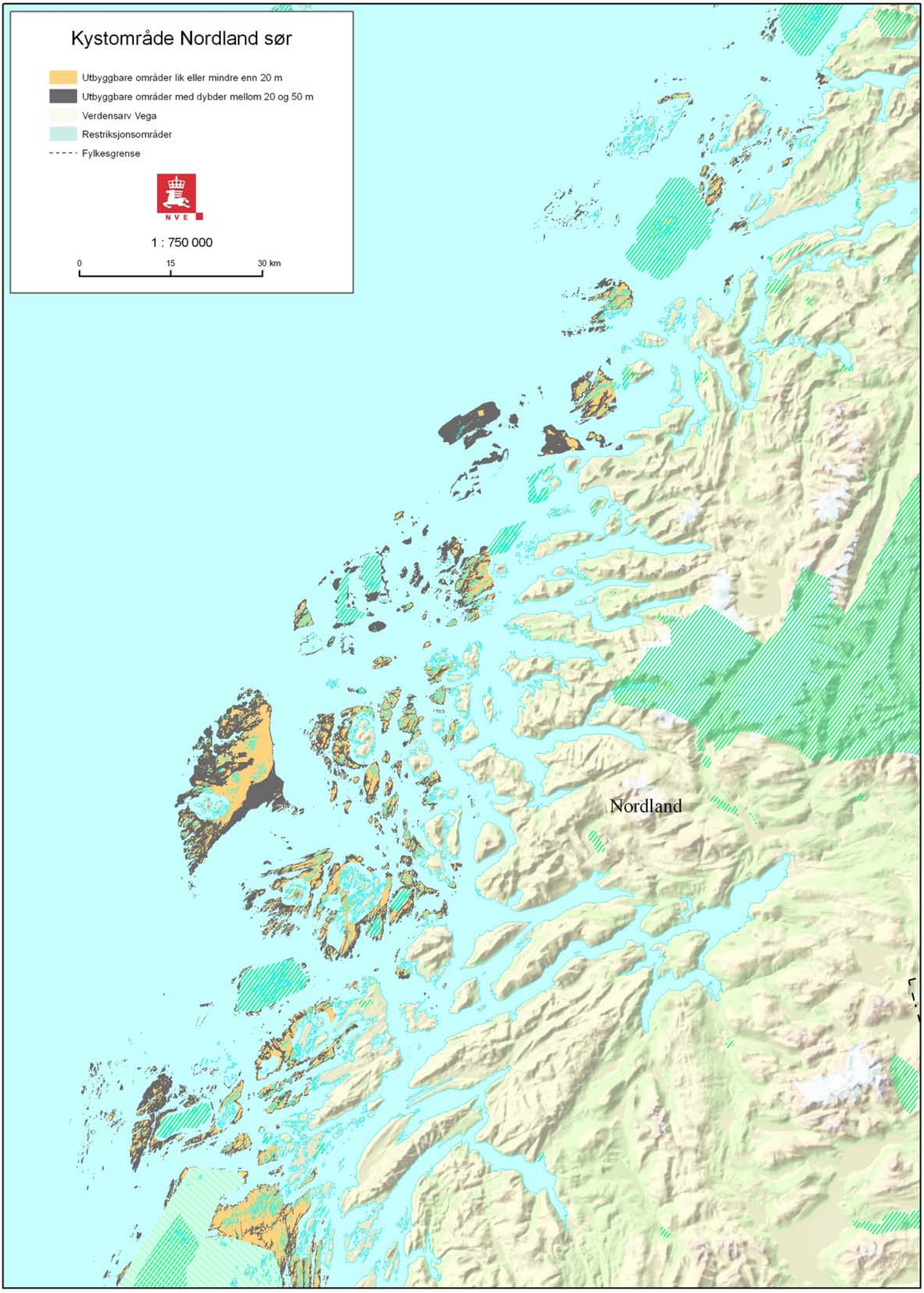

Kystområde Rogaland
Utbyggbare områder lik eller mindre enn 20 m
Utbyggbare områder med dybder mellom 20 og 50 m
Restriksjonsområder
Fylkesgrense
NVE
1 : 750 000
0
15
30 km
Hordaland
Aust-Agder
Rogaland
Vest-Agder

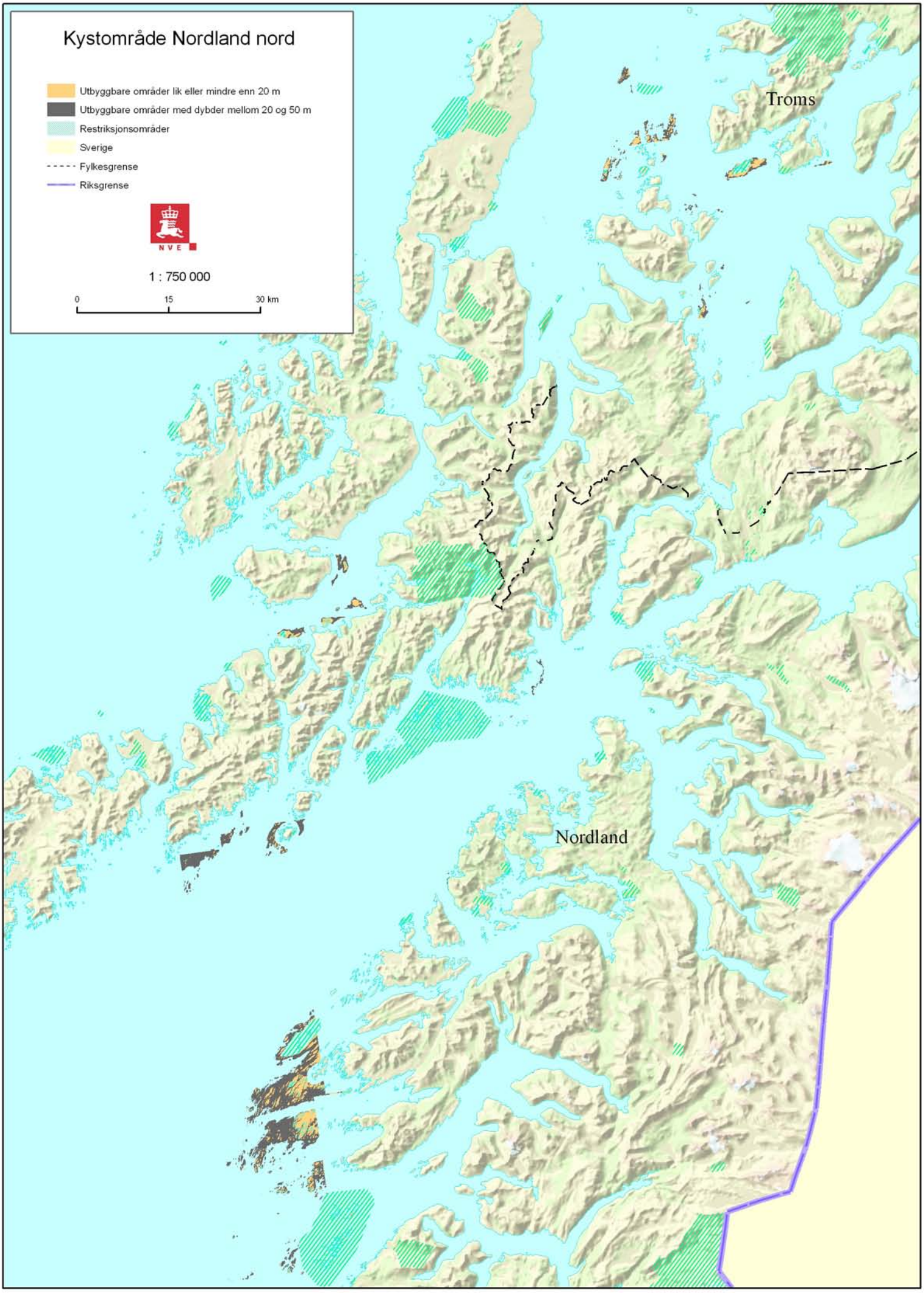

Kystområde Hordaland
Utbyggbare områder lik eller mindre enn 20 m
Utbyggbare områder med dybder mellom 20 og 50 m
Verdensarv Nærøyfjorden
Restriksjonsområder
Fylkesgrense
NVE
1 : 750 000
0
15
30 km
Sogn og Fjordane
Hordaland

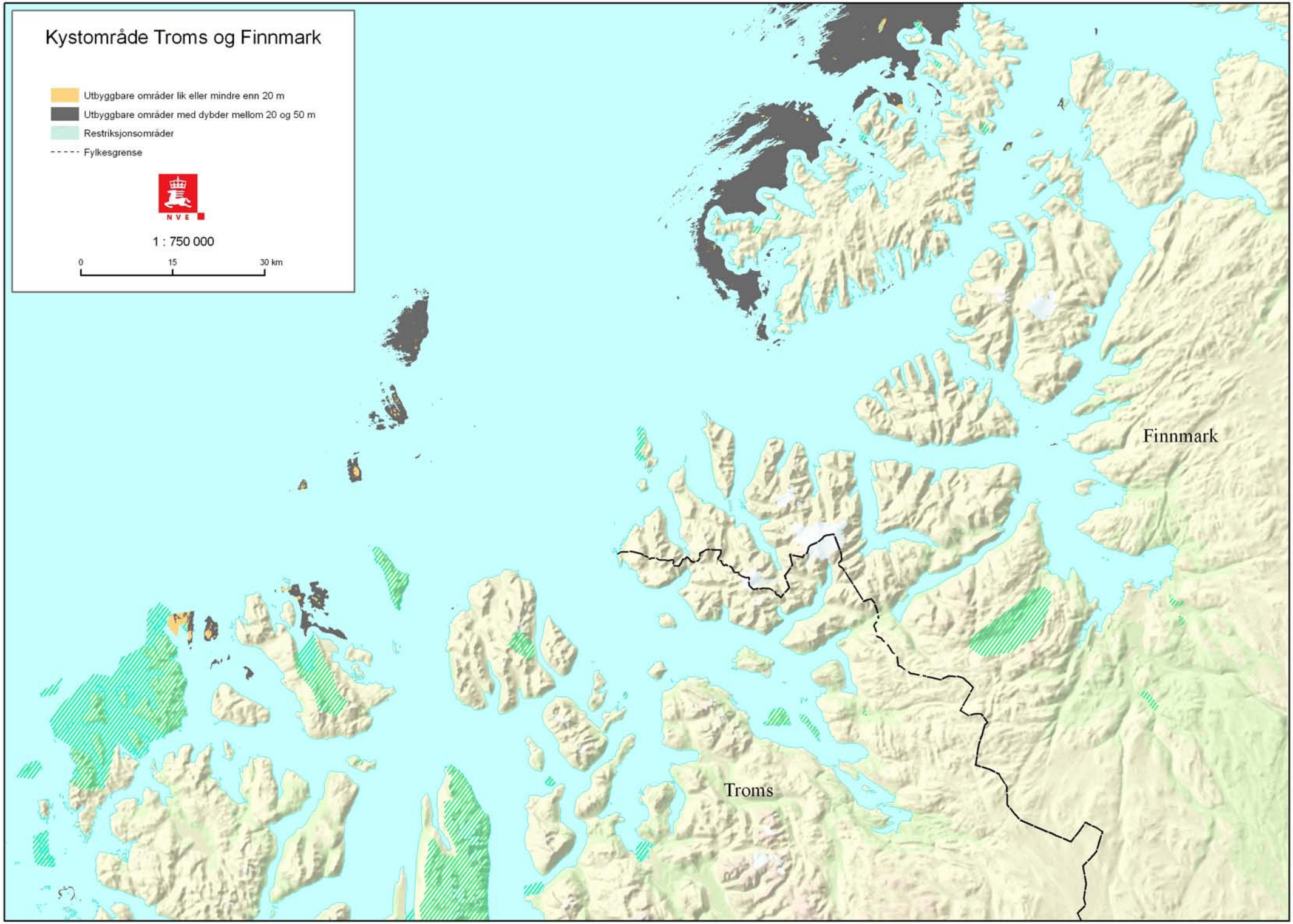

Kystområde Sogn og Fjordane
og Møre og Romsdal
Utbyggbare områder lik eller mindre enn 20 m
Utbyggbare områder med dybder mellom 20 og 50 m
Verdensarv Geirangerfjord
Restriksjonsområder
Fylkesgrense
NVE
1 : 750 000
0
15
30 km
Møre og Romsdal
Sogn og Fjordane

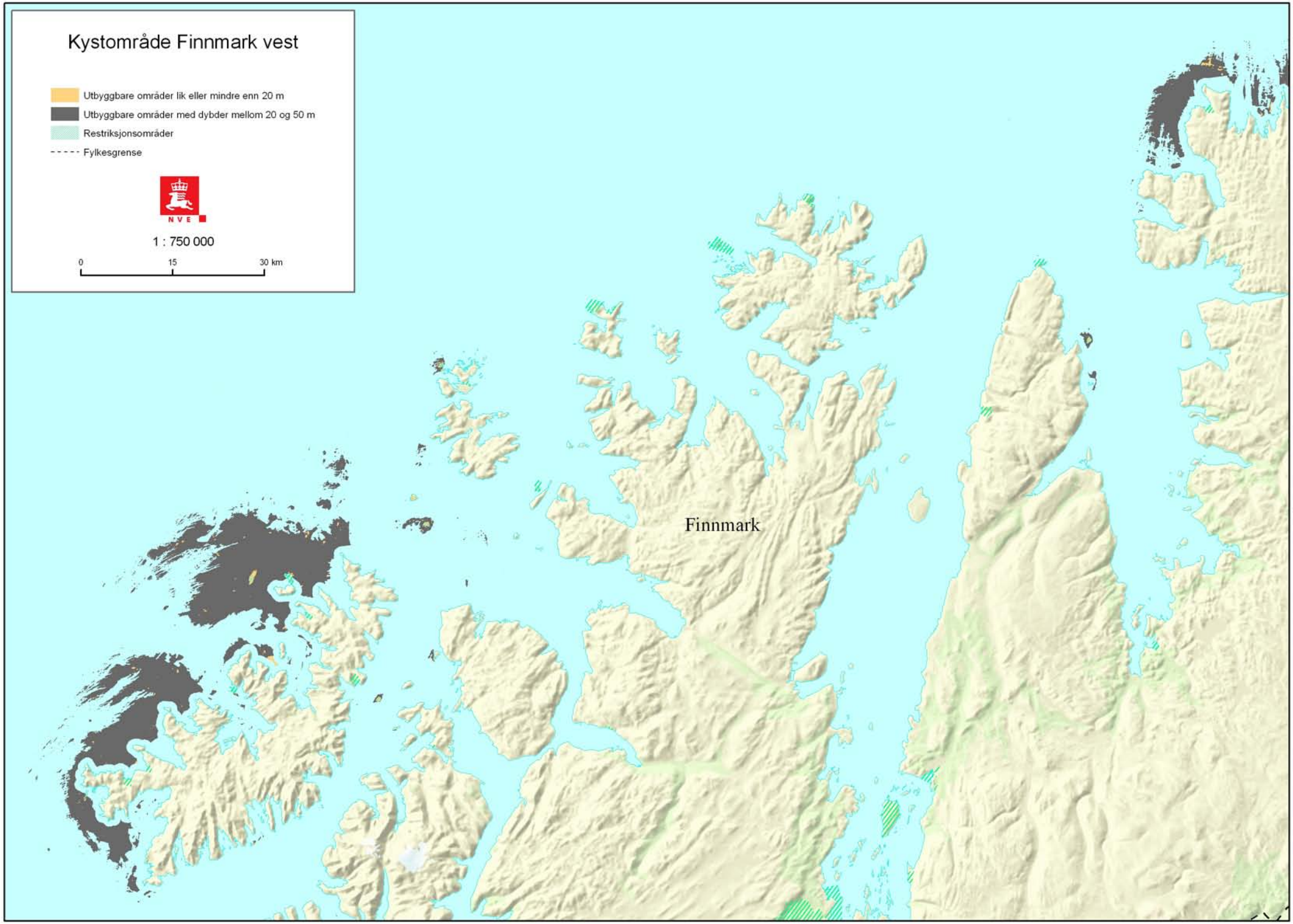

Kystområde Sør-Trøndelag
Utbyggbare områder lik eller mindre enn 20 m
Utbyggbare områder med dybder mellom 20 og 50 m
Restriksjonsområder
Fylkesgrense
NVE
1 : 750 000
0
15
30 km
Nord-Trøndelag
Sør-Trøndelag
Møre og Romsdal

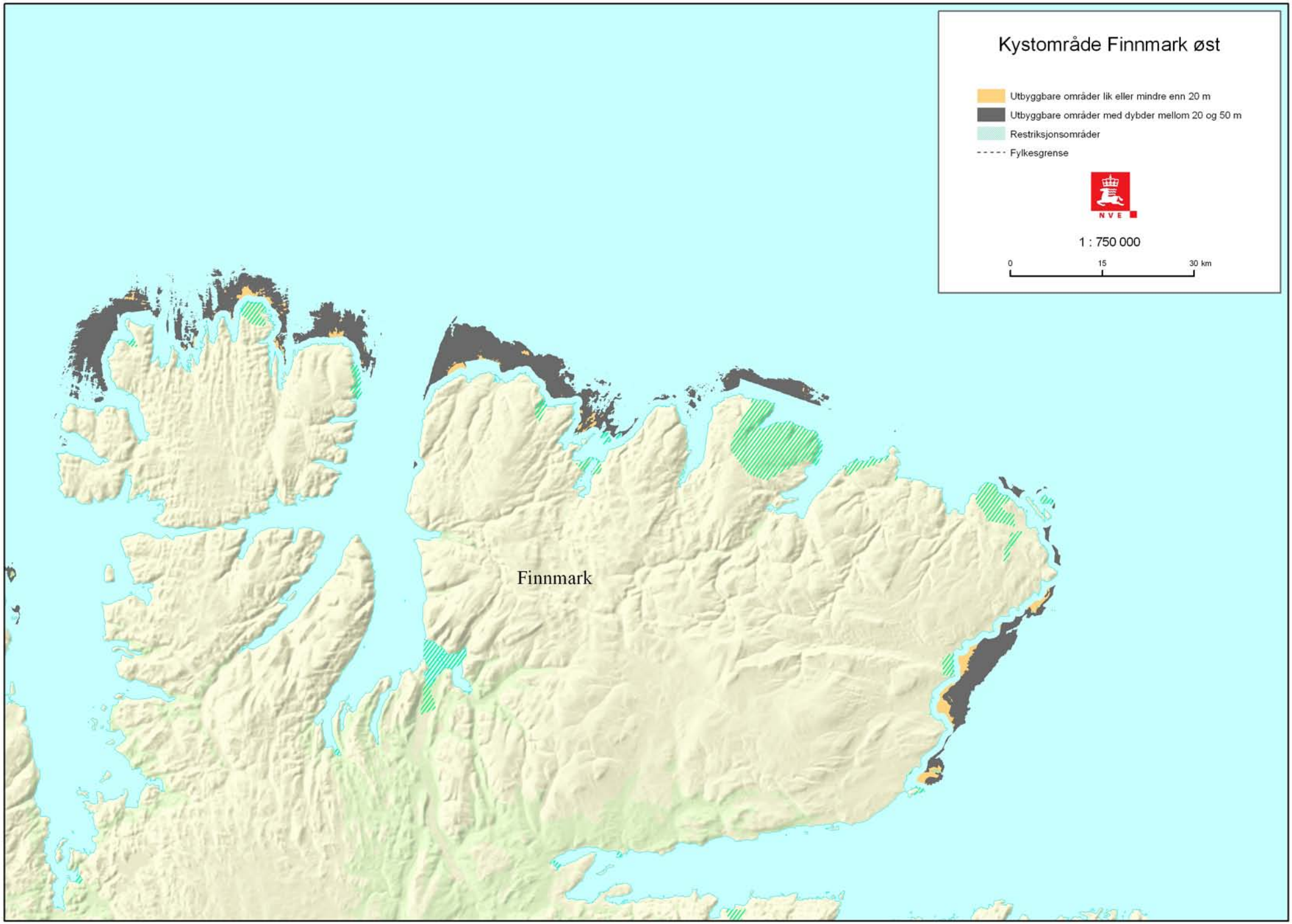

Kystområde Nord-Trøndelag
Utbyggbare områder lik eller mindre enn 20 m
Utbyggbare områder med dybder mellom 20 og 50 m
Verdensarv Vega
Restriksjonsområder
Fylkesgrense
NVE
1 : 750 000
0
15
30 km
Nordland
Nord-Trøndelag
Sør-Trøndelag


Kystområde Nordland sør
Utbyggbare områder lik eller mindre enn 20 m
Utbyggbare områder med dybder mellom 20 og 50 m
Verdensarv Vega
Restriksjonsområder
Fylkesgrense
NVE
1 : 750 000
0
15
30 km
Nordland


Kystområde Nordland nord
Utbyggbare områder lik eller mindre enn 20 m
Utbyggbare områder med dybder mellom 20 og 50 m
Restriksjonsområder
Sverige
Fylkesgrense
Riksgrense
NVE
1 : 750 000
0
15
30 km
Troms
Nordland


Kystområde Troms og Finnmark
Utbyggbare områder lik eller mindre enn 20 m
Utbyggbare områder med dybder mellom 20 og 50 m
Restriksjonsområder
Fylkesgrense
NVE
1 : 750 000
0
15
30 km
Finnmark
Troms


Kystområde Finnmark vest
Utbyggbare områder lik eller mindre enn 20 m
Utbyggbare områder med dybder mellom 20 og 50 m
Restriksjonsområder
Fylkesgrense
NVE
1 : 750 000
0
15
30 km
Finnmark


Kystområde Finnmark øst
Utbyggbare områder lik eller mindre enn 20 m
Utbyggbare områder med dybder mellom 20 og 50 m
Restriksjonsområder
Fylkesgrense
NVE
1 : 750 000
0
15
30 km
Finnmark

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Rapportserien i 2006

Nr. 1 Knut Hofstad: Vindkraftpotensialet utenfor norskekysten (offshore)