

# Nasjonal ramme for vindkraft – Kart over produksjonskostnad for vindkraftutbygging i Norge

Forfatter: David E. Weir, NVE

Dato: 31.5.2018

Som en del av forslaget til en nasjonal ramme for vindkraft skal NVE levere kart over områdene som vurderes som mest egnet for vindkraftutbygging. Identifiseringen av områder skal skje med utgangspunkt i produksjonspotensial, nettforhold og virkninger for miljø og samfunn.

Til bruk i dette arbeidet har NVE utarbeidet et kart som overordnet viser antatt produksjonskostnad for vindkraft på land i Norge. Kartet er basert på Vindkart for Norge<sup>1</sup> og ny tilgjengelig informasjon om produksjonsevnen til vindturbiner som vurderes som aktuelle i Norge rundt 2020. NVE har også brukt skjønsmessige vurderinger av vindturbinkostnader og andre kostnader som hører til vindkraftutbygging, slik som fundamentkostnader, kostnader for veier og overføringsnett internt i vindparken.

Kartet viser en overordnet geografisk fordeling av produksjonskostnaden (LCOE - Levelised Cost of Energy) for større vindkraftutbygginger. LCOE er oppgitt i øre/kWh, og representerer den langsiktige kraftprisen vindkraftverket må ha, for å være lønnsomt ved et gitt avkastningskrav og gitte drifts- og vedlikeholdskostnader.<sup>2</sup> Kostnader for nettilknytning er ikke inkludert. Kartet gir et overordnet bilde av hvilke større områder som er mest egnet for vindkraftutbygging ut fra vindforhold, skogsdekning og terrengkompleksitet. Det er ikke egnet for detaljert prosjektering.

I arbeidet med Nasjonal ramme for vindkraft vil NVE bruke dette LCOE-kartet i forbindelse med arealanalysene, for å finne de mest egnede områdene for vindkraftutbygging<sup>3</sup>. Da skal LCOE-kartet blant annet brukes sammen med en områdevis oversikt over nettkapasitet, for å peke ut de mest egnede områdene. NVE vil oppdatere LCOE-kartet hvert år på grunn av den raske kostnadsutviklingen i vindturbinteknologi.

---

<sup>1</sup> NVE 2009: Oppdragsrapport A: Vindkart for Norge

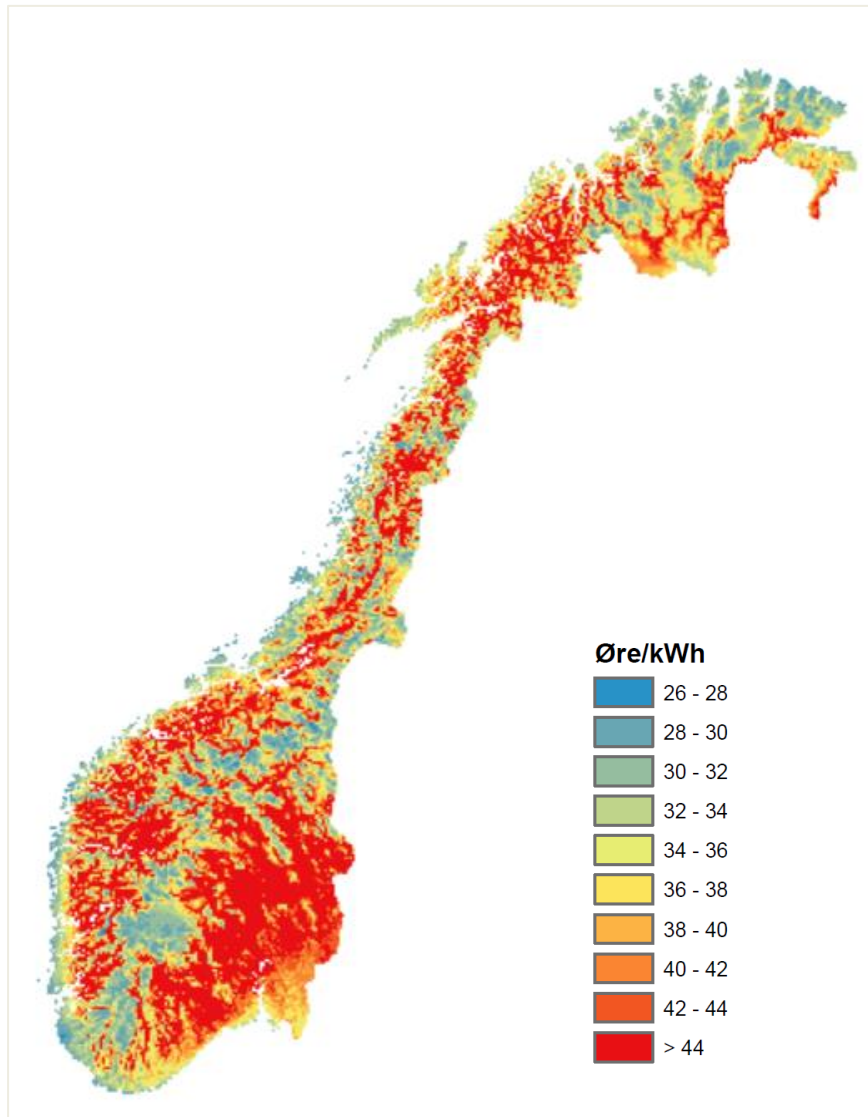
([https://www.nve.no/media/2470/vindkart\\_for\\_norge\\_oppdagsrapporta10-09.pdf](https://www.nve.no/media/2470/vindkart_for_norge_oppdagsrapporta10-09.pdf))

<sup>2</sup> Kostnader i energisektoren, NVE Rapport 2-2015 (Rapport og kostnadsdata kan lastes ned her:

<https://www.nve.no/energiforsyning-og-konsesjon/energiforsyningsdata/kostnadar-i-energiesektoren/>)

<sup>3</sup> Steg 4 i dokumentet «Nasjonal ramme for vindkraft – Revidert metode for utpeking av områder» (19.01.2018)

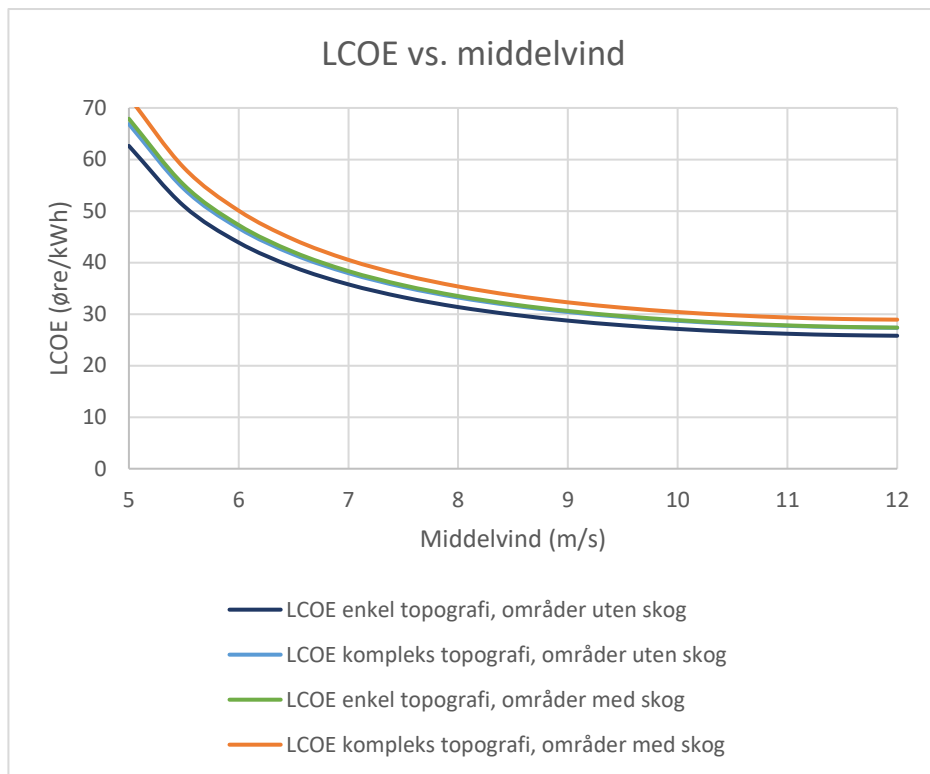
<https://www.nve.no/nasjonal-ramme-for-vindkraft-pa-land/nytt-om-nasjonal-ramme-for-vindkraft/nytt-om-nasjonal-ramme-for-vindkraft-pa-land/revidert-metodebeskrivelse-for-nasjonal-ramme-for-vindkraft/>



Figur 1: Estimert LCOE for vindkraft i Norge, med 6% avkastningskrav. Nettkostnader er ikke inkludert.

### Vindhastighet er den viktigste driveren for en lav produksjonskostnad

Vindhastigheten er den viktigste driveren for LCOE i kartet, mens terrengkompleksitet og skogdekning gir kun moderate utslag. Figuren nedenfor viser eksempler på hvordan LCOE varierer med middelvind for fire scenarier: enkel topografi uten skog, enkel topografi med skog, kompleks topografi uten skog og kompleks topografi med skog. Som det fremgår av figuren påvirker middelvind LCOE-nivået med flere titalls øre/kWh, mens kompleks topografi og skogsdekning maksimalt fører til påslag på noen få øre/kWh.



Figur 2: LCOE vs. middelvind for ulike scenarier med topografi og skogsdekning

### Vindturbiner produserer mest i områder med høyest middelvind

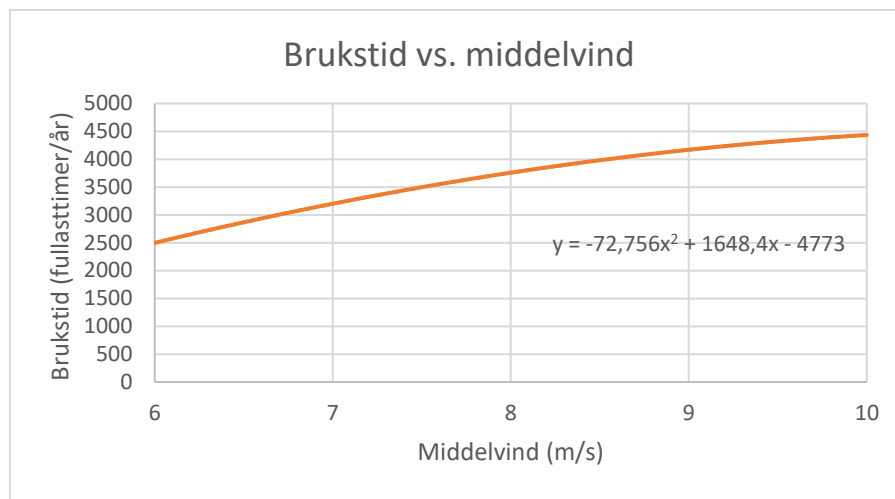
Produksjonspotensial for vindkraft er sterkt avhengig av middelvind. Vindturbineteknologi spiller en sentral rolle i beregning av produksjonspotensial. Dette er en utfordring, fordi vindturbineteknologi er under stadig utvikling. I Vindkart for Norge (2009) ble produksjonspotensialet kartlagt via et kart som viser estimert brukstid. Brukstid er et mål på produksjon per installerte MW. Brukstidskartet ble basert på vindforholdene, samt en vurdering av hvor mye de vindturbinene som var tilgjengelige i markedet på den tiden produserte ved ulike vindhastigheter. NVE har oppdatert brukstidskartet, basert på de vindturbinene leverandører forventer vil være tilgjengelige i Norge rundt 2020. Brukstidskartet inngår i beregning av LCOE-kartet.

I årene etter 2009 har vindturbiner blitt vesentlig større, og er i stand til å fange mer energi fra vinden på grunn av større rotor i forhold til generatorstørrelse. Vi sier da at den spesifikke effekten blir lavere, ettersom spesifikk effekt er definert som ytelse per sveipt areal. Utviklingen mot lavere spesifikk effekt kom først for såkalte lavvindsturbiner, som er dimensjonert for områder med lavere middelvind. I de senere årene har spesifikk effekt blitt kraftig redusert, også for vindturbiner som er dimensjonert for områder med høyere middelvind. Dette gjelder for eksempel Fosen-prosjektene og andre kystnære strøk med høyere middelvind. I de fleste tilfellene vil moderne vindturbiner med forholdsvis lav spesifikk effekt gi både mer produksjon og økt brukstid.

Selv med ytterligere teknologiutvikling vil det fortsatt være høyere middelvind og jevn fordeling av vind i ulike hastigheter som kjennetegner de områdene med best produksjonspotensial. Middelvind er kartlagt i

Vindkart for Norge (2009). Det finnes imidlertid ikke gode nok landsdekkende data for vindens hastighetsfordeling. Derfor har vi ikke kunnet legge det til grunn i LCOE-kartet.

Effektkurven viser hvor mye en vindturbin produserer ved ulike vindhastigheter, og dette påvirker brukstiden. For å estimere hvordan brukstiden varierer geografisk har NVE brukt effektkurver for turbiner som leverandører mener vil være tilgjengelige i 2020, til å estimere brukstiden ved ulike gjennomsnittlige vindhastigheter. Resultatet er en kurve som benyttes til å konvertere middelvind til estimert brukstid.



Figur 2: Brukstid vs. middelvind basert på vindturbiner som kan være aktuelle i Norge i 2020.

### Vindkraftkostnadene varierer geografisk

NVE mener det er hensiktsmessig å bruke vindforhold, skogdekning og terrengkompleksitet til å kartfeste hvordan kostnadene varierer geografisk.

NVE har i en årrekke samlet inn faktiske kostnader for vindkraftverk som er satt i drift. Kostnadene for vindkraftverk etablert i Norge i perioden 2007-2017 er vist i tabellen under. Som man ser av tabellen, utgjør kostnaden for vindturbiner den klart viktigste kostnadskomponenten, i gjennomsnitt rundt 60-70 prosent av investeringskostnaden for norske vindkraftverk. For å estimere vindkraftkostnader geografisk har NVE funnet det hensiktsmessig å dele investeringskostnader i to komponenter – vindturbinkostnader og «andre kostnader». «Andre kostnader» består i stor grad av kostnader for fundamenter, vei, bygg, nett grunnervervelse og prosjektledelse.

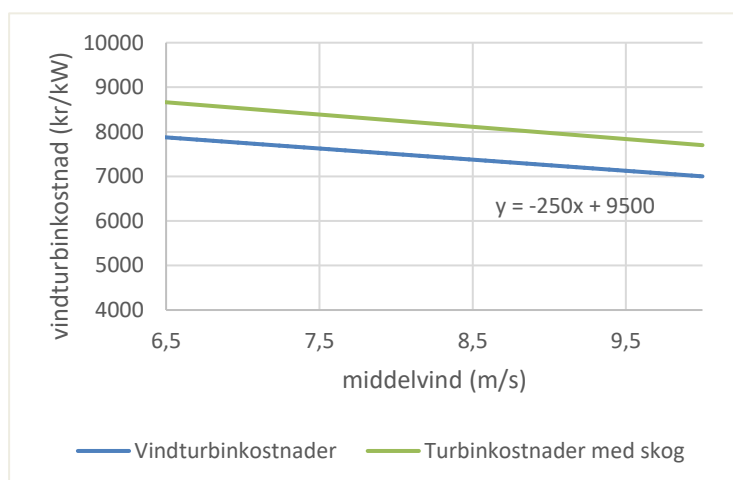
Tabell 1: Kostnader, brukstid og LCOE for norske vindkraftverk i perioden 2007-2017.

Landbasert vindkraft					
Ytelse representert	Enhet	2007-2008	2011-2013	2014-2015	2017
	MW	108	348	65	324
<b>Fullasttimer (gjennomsnitt)</b>	timer/år	2 841	2 872	3 813	3 556
<b>Turbiner</b>	kr/kW	8 088	7 807	8 731	7 552
<b>Sum andre kostnader</b>	kr/kW	2 679	4 025	4 249	3 156
Fundamenter	kr/kW	431	612	1 074	510
Bygg/vei/kai/anlegg	kr/kW	810	1 659	1 660	998
Internt nett	kr/kW	411	556	447	350
Eksternt nett	kr/kW	542	374	506	680
Grunnervervelse og engangskostnader	kr/kW	-	158	146	203
Prosjektledelse	kr/kW	485	666	416	415
<b>Sum investeringskostnader</b>	kr/kW	10 766	11 832	12 979	10 708
<b>Variable drifts- og vedlikeholdskostnader</b>	øre/kWh	15	15	10	10
<b>LCOE 2017 NOK (6 % kalkulasjonsrente)</b>	øre/kWh	48	51	40	36

### Vindturbiner med større rotor og større navhøyde koster mer per MW

NVE har tidligere analysert vindturbinprisindekser fra Bloomberg New Energy Finance, og funnet ut at vindturbiner med større rotorer er systematisk dyrere (per MW) enn vindturbiner med mindre rotorer. Det samme gjelder vindturbiner med større navhøyde.

I LCOE-kartet har NVE lagt til grunn en svak, lineær reduksjon i vindturbinpriser per kW med økende vindhastighet. Dette har vi gjort fordi vindturbinleverandører ofte leverer turbiner med samme generatorstørrelse, men med forskjellige rotorstørrelser for ulike vindhastigheter. I områder med lavest vind benyttes gjerne de største rotorene. Disse er dyrere per megawatt, fordi de består av mer materialer, og fordi de ofte er dyrere å transportere og montere. Kostnadsnivået er satt skjønsmessig, og er basert på norske og internasjonale vindturbinpriser.



Figur 3: Estimerte vindturbinenkostnader som funksjon av middelvind, for områder med og uten skog.

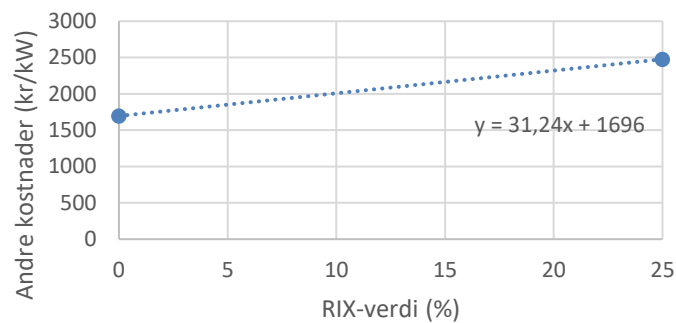
Det er laget to kurver for å beskrive sammenhengen mellom vindturbinkostnader og middelvind. I områder med tett barskog legger vi til grunn en 10 % økning i vindturbinkostnader. Denne økningen skyldes at det i disse områdene er sannsynlig at det vil være lønnsomt å bygge høyere tårn for vindturbinene, for å komme opp i bedre vindforhold.

#### *Det koster mer å bygge vindkraftverk i komplekst terreng*

Også «Andre kostnader» kan variere med de geografiske forholdene. Dette gjelder særlig veier. For å bygge et vindkraftverk må det bygges inntil 1 km vei per vindturbin, og veiene må være dimensjonert for å kunne transportere frem store vindturbinblader. Det må også bygges oppstillingsplasser for vindturbinene, og størrelsen på disse kan øke med størrelsen på vindturbinene. I områder med veldig kupert terreng kan det bli vesentlig dyrere å bygge veier og oppstillingsplasser.

I forbindelse med Vindkart for Norge ble terrengkompleksitet kartlagt via RIX (Ruggedness Index)-verdier. RIX-verdien beskriver hvor stor prosentandel av terrenget innenfor en gitt radius som har helning på mer enn 30 %. I vindressurskartlegging brukes dette til å identifisere områder der vindmodellene kan ha større usikkerhet på grunn av komplekst terreng.

Men RIX-indeksen også kan fungere som indikator for områder der investeringskostnadene kan bli høyere for eksempel fordi det blir dyrere å bygge veier og oppstillingsplasser. Vi har brukt dette i forbindelse med LCOE-kartet, og figur 4 viser hvilken sammenheng vi har lagt til grunn mellom RIX-verdien og andre kostnader.



*Figur 4: Andre kostnader vs. RIX-verdi for vindkraftverk*

Nivået på andre kostnader er satt basert på erfaringstall for vindkraftverk og hvor mye disse kan variere for norske vindkraftverk. I enkelte områder vil det ikke være sammenheng mellom andre kostnader og RIX-indeks, for eksempel der det finnes infrastruktur fra før, eller der det finnes traséer som unngår komplekst terreng. I en overordnet kartlegging som dette, mener vi likevel at terrengkompleksitet kan brukes som indikator for kostnaden ved å bygge vindkraftverk i ulike områder.