

RAPPORT
Skyggekast og refleksblink - Karmøy vindpark

Nr.:
Rev.:
Vår dato: 2006-08-07
Side 1 av 15

Utarbeidet av : Elly Karlsen

Sign. :

INNHold

1	Innledning.....	2
2	Kunnskapsgrunnlag	2
2.1	Skyggekast.....	2
2.1.1	Konsekvenser av stroboskopeffekten	2
2.1.2	Omfang av skyggekastning fra vindmøller	3
2.2	Refleksblink fra vindmøller	3
2.2.1	Konsekvenser av refleksblink fra vindmøller	3
3	Lovverk og retningslinjer	3
3.1	Skyggekast og refleksblink	3
4	Utredningskrav	4
4.1.1	Skyggekast og refleksblink.....	4
5	Metoder.....	4
5.1	Skyggekastberegning	4
5.1.1	Beregning av "worst case".....	5
5.1.2	Estimat av reell skyggekast.....	5
5.1.3	Feilkilder	6
5.1.4	Valg av skyggemottakere	6
5.2	Refleksblink	10
6	Resultater fra beregninger	10
6.1	Skyggekast.....	11
7	Avbøtende tiltak.....	15
7.1	Skyggekast.....	15

1 Innledning

Konsekvensutredningen skal dekke de krav som er satt i konsekvensutredningsprogrammet gitt av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Formålet med utredningen er å best mulig synliggjøre de konsekvenser en utbygging av Karmøy vindpark vil få, slik at de fysiske inngrepene vil få en best mulig lokalisering i terrenget.

Denne fagrapporten skal belyse virkningene av skyggekast og refleksblink ut i fra de gjeldende tekniske planene for Karmøy vindpark. Det er lagt vekt på å synliggjøre konsekvensene for representativ bebyggelse innenfor influensområdet.

2 Kunnskapsgrunnlag

2.1 Skyggekast

Skyggen av en stillestående vindmølle er i seg selv uproblematisk, men den roterende skyggen bak vingene som dannes når møllen er i drift, kan skape grunnlag for konflikter. Slike skygger kan spesielt være uønskede når de faller på lysåpninger som vinduer. Sett innenfra vil den roterende skyggen kutte sollyset og skape en blinkende effekt, gjerne kalt stroboskopeffekten, med en frekvens lik tre ganger vindmøllens rotasjonsfrekvens.

2.1.1 Konsekvenser av stroboskopeffekten

Kunnskapsgrunnlaget vedrørende effektene av skyggekast er fremdeles forholdsviss begrenset, men i Tyskland er det gjennomført pilotstudier i form av spørreundersøkelser, felt- og laboratoriestudier. Der relateres skyggekast som konfliktpotensial primært til stress som oppstår som følge av stroboskopeffekten.

Laboratorieforsøk med simulert skyggekast har påvist stresssymptomer hos flere forsøksgrupper. (J. Pohl, F. Faul og R. Mausfeld, 2000). Yngre personer ser ut til å venne seg til effekten, mens eldre i større grad forblir stressede. Graden av stress er moderat, men av hensyn til eventuelle langtidseffekter anbefales det at omfanget av skyggekast begrenses der den rammer vinduer i bygninger hvor folk oppholder seg.

Forskningsprosjektene det her refereres til er til dels initiert for å legitimere eksisterende retningslinjer i tyske delstater. Retningslinjene, som i stor grad bygger på en domsavsigelse fra 1998, setter grenseverdier på 8 timer reell - og 30 timer maks teoretisk-skyggebelastning per år, samtidig som sammenhengende skyggekast ikke skal overstige 30 minutter. Der disse grenseverdiene overskrides kreves avbøtende tiltak, normalt ved at turbinen stanses i det aktuelle tidsrommet.

En roterende skygge vil også være uheldig når den faller på områder som benyttes til stedbundne rekreasjonsformål, som for eksempel en terrasse, men konfliktnivået vil da normalt være vesentlig mer beskjedent.

2.1.2 Omfang av skyggekastning fra vindmøller

Hvor og når skyggekast kan oppstå avhenger blant annet av geografisk lokalisering og lokal topografi. Med lav sol kan skyggen kastes over store avstander. Effekten av skyggene avtar imidlertid med avstanden fra møllen. Dette skyldes blant annet at skyggen blir mer diffus ettersom vingebladene dekker en mindre del av solskiven og at skyggefeltet bak møllen passerer skyggemottakeren med en hastighet som vokser proporsjonalt med avstanden til møllen.

Med utgangspunkt i informasjon om vindmøllens utforming og plassering, geografisk og i forhold til et gitt område, kan tiden hvor skyggen teoretisk kan ramme området beregnes, (maksimal teoretisk skyggekast). Resultatet av slike beregninger kan presenteres på mange måter, men den vanligste er å vise antall mulige skyggetimer per år enten vist på kart eller oppgitt for en spesifikk skyggemottaker.

Reelt omfang av skyggekast vil imidlertid være vesentlig mindre enn denne maksimalverdien - primært som følge av vær og vindforhold. Dersom møllen står stille vil den blinkende effekten ikke forekomme, og hvis solen er dekket av skyer vil skyggen helt eller delvis elimineres. Videre er omfanget av den roterende skyggen avhengig av turbinens orientering i forhold til innfallende sol. Omfanget blir størst når vindretningen er parallell med solens innfallsvinkel.

2.2 Refleksblink fra vindmøller

Refleksblink forekommer når solen reflekteres i blanke flater på vingene. Rotorens bevegelse gjør at refleksjonen oppfattes som blink. Refleksblink påvirkes - i likhet med skyggekast - av solens innfallsvinkel, men hvor refleksblinkene rammer vil dessuten styres av vindmøllens orientering samt vingenes utforming og pitch (vridning). Refleksblink blir dermed vesentlig mer komplekst å beregne eller forutsi enn skyggekast. Det er gjort forsøk på å utvikle beregningsmodeller for når og hvor refleksblink oppstår, men det er da gjort grove tilnærmelser blant annet i forhold til vingegeometrien som forutsetter flate overflater. (W. Fronz, D. Piorr og R. Kindel, 2002).

2.2.1 Konsekvenser av refleksblink fra vindmøller

Det er kjent at refleksblink kan bidra til at vindmøller tiltrekker seg oppmerksomhet på større avstand enn det som ellers ville vært naturlig. Men for anlegg hvor det er tatt tilbørlig hensyn gjennom fargevalg og overflatebehandling er erfaringene fra Tyskland at refleksblink i svært liten grad har medført klager, (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen 2002 A), og effekten vurderes derfor som lite konfliktylt.

3 Lovverk og retningslinjer

3.1 Skyggekast og refleksblink

Det finnes i Norge ingen fastsatte grenser for hva som er akseptabelt omfang av skyggekast. Det er svært sparsomt med referanser internasjonalt også. Vindmølleindustrien (dansk bransjeforening) referer et eksempel fra Tyskland der det ble

avsagt en dom der retten tillot 30 timers skyggekast pr. år på en naboeiendom i den dagaktive tiden av døgnet.

Det mest håndfaste forslag til kriterium er angitt av Miljø- og Energiministeriet i Danmark (2001), som anbefaler at vindparker utformes slik at naboer ikke påføres samlet mer enn 10 timer skyggekast pr. år beregnet som reell skyggetid. Det er der ikke tatt stilling til når på dagen / hvilken årstid der skyggekast inntreffer.

4 Utredningskrav

4.1.1 Skyggekast og refleksblink

Det skal gjøres en vurdering av om eventuelle skyggekast og refleksblink kan påvirke bebyggelse og friluftsliv. Hvis nærliggende bebyggelse blir berørt, skal omfanget kort vurderes i forhold til variasjon gjennom året og døgnet.

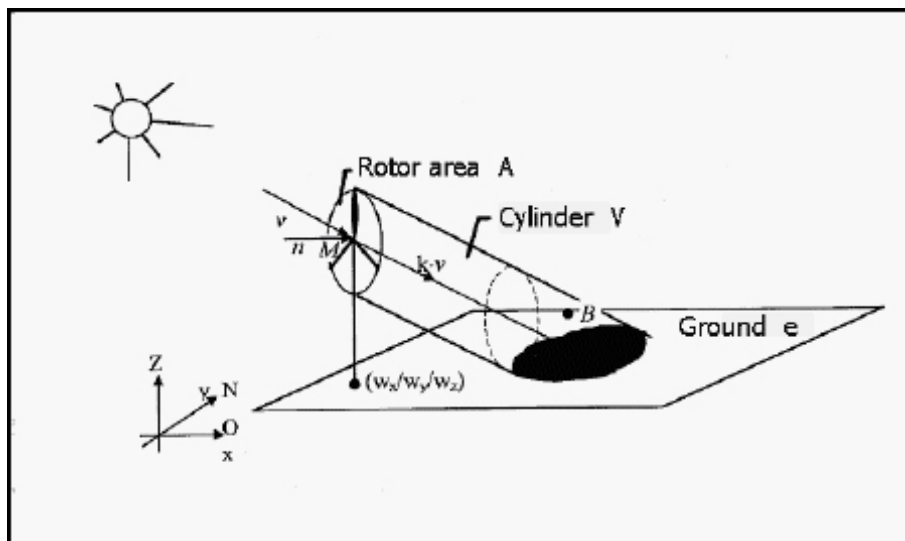
5 Metoder

Formålet med en konsekvensutredning er å synliggjøre de virkninger en utbygging kan få, slik at en utbygging best mulig kan tilpasses miljø, naturressurser og samfunnsinteresser i området. Konsekvensutredningen skal legges til grunn når det tas stilling til om og eventuelt på hvilke vilkår et tiltak kan gjennomføres. Kravene til slike utredninger spesifiseres i plan og bygningslovens forskrift "Forskrift om konsekvensutredninger (1. april 2005)".

5.1 Skyggekastberegning

I denne utredningen er skyggebelastningen fra vindmøllene beregnet ved hjelp av programvaren WindPro versjon 2.5. Programvaren er benyttet til å beregne omfanget av skyggekast i form av varighet med en "worst case" versjon og en versjon med forventet reelt omfang.

Datagrunnlaget for beregningene omfatter parametere som turbinhøyde, Rotordiameter og lokalisering. Høyde over havet er estimert ut fra en terrengmodell basert på digitale kart med ekvidistanse på 5 meter, mens omkringliggende terreng er bygget opp basert på 20 meters koter. Skyggekastingen er beregnet dag for dag over ett år i steg på 2 minutter. For skyggekartene beregnes skyggen i ruter på 10 ganger 10 meter. Solbanen gjennom året beregnes automatisk av programmet basert på vindparkens geografiske beliggenhet (Figur 1).



Figur 1: Beregningsmodell for skyggevirkning/skyggekast

Skyggen neglisjeres når solen står mindre enn 3° over horisonten eller når rotorbladene dekker mindre enn 20% av solaskiven. Dette fordi solen da står så lavt og avstanden er så stor at atmosfæriske så vel som geometriske forhold da tilsier at skyggeeffekten vil være meget svak og diffus, og dermed neglisjerbar.

5.1.1 Beregning av "worst case"

I "worst case" scenariet er turbinene alltid er i drift og orientert mot solen slik at skyggeprosjeksjonen blir størst mulig. Videre forutsettes det at himmelen alltid er klar.

Resultater fra beregningene er vist i form av et kart som viser hvordan maksimal mulig antall timer med skyggekast varierer området.

5.1.2 Estimat av reell skyggekast

I estimatet for reell skyggekast innføres modererende faktorer som andel faktiske soltimer og statistikk for vindhastighet og -retning.

Sannsynligheten av klarvær per måned er beregnet fra skydekkeobservasjoner fra Svinøy i perioden 1994-2004. Tidsserien som viser hvor stor andel av himmelen er dekket med skyer med en oppløsning på 6 timer er generert via tjenesten eKlima fra Meteorologisk Institutt. Tabell 1 viser sannsynligheten for at himmelen er dekket med mindre enn halvparten av himmelen er synlig.

Tabell 1: Sannsynlighet for klarvær i planområdet basert på observasjoner fra Sola flyplass i perioden 1958-1980

Måned	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Total
Sannsynlighet for klarvær	20%	29%	35%	40%	41%	38%	36%	37%	32%	25%	19%	16%	31%

Basert på vindstatistikken presentert er det estimert antall driftstimer som funksjon av vindretning ut ifra at vindturbinene vil kun være i drift ved vindhastigheter mellom 4 og 25 m/s.

Tabell 2: Estimert antall driftstimer for forskjellige vindretninger basert på vindmålinger på Karmøy i perioden 1997-2004

Vindretning	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Total
Antall driftstimer per år	950	360	247	562	1103	1145	845	639	498	434	560	745	8088

5.1.3 Feilkilder

WindPROs skyggekastberegninger tar ikke hensyn til barrierer som eventuelle høydedrag mellom vindmøllen og skyggemottaker. Dette innebærer at skygge kan være beregnet for områder hvor møllen faktisk ikke er synlig. Bebyggelse som ligger tett inntil høydedrag eller bak andre bygninger vil dermed bli mindre belastet enn beregningen her tilsier. Relativt flatt landskap og høye turbiner bidrar imidlertid til å begrense konsekvensene av denne feilkilden.

Tilnærmelsen gjort ved å avgrense skyggekast til tiden solen står mer enn 3° over horisonten bygger på erfaringer som ikke nødvendigvis er direkte overførbare til norske forhold. Ulik grad av partikler i atmosfæren kan for eksempel påvirke den reelle effekten av en lav sol. Det er her likevel valgt å benytte grenseverdien på 3° i mangel av alternative norske erfaringsdata.

Det er også usikkerhet knyttet til de meteorologiske dataene. For vinddataene skyldes dette blant annet at terrenget i planområdet er forholdsvis komplekst slik at vinddata basert på målestasjonen brukt i den utredningen ikke nødvendig gjelder i samme grad for alle mølleplasseringer. For soltimene er det primært usikkerhet knyttet til avstand mellom målestasjon og planområdet. Verdier fra skyggekartet gjelder skygge fra alle himmelretninger. Det er ikke gitt at en bygning i området har vinduer som gjør den eksponert for all skyggen

Som følge av disse feilkildene må det understrekes at beregningsresultatene har en betydelig feilmargen i forhold til enkeltbygninger. I hovedsak kan det forventes at verdiene for maksimal teoretisk skyggekast er overestimert. Det bør derfor gjennomføres grundigere bygningsspesifikke analyser før eksempelvis kostnader ved avbøtende tiltak vurderes. Slike analyser vurderes imidlertid ikke som hensiktsmessig før plasseringen av turbinene skal endelig fastlegges.

5.1.4 Valg av skyggemottakere

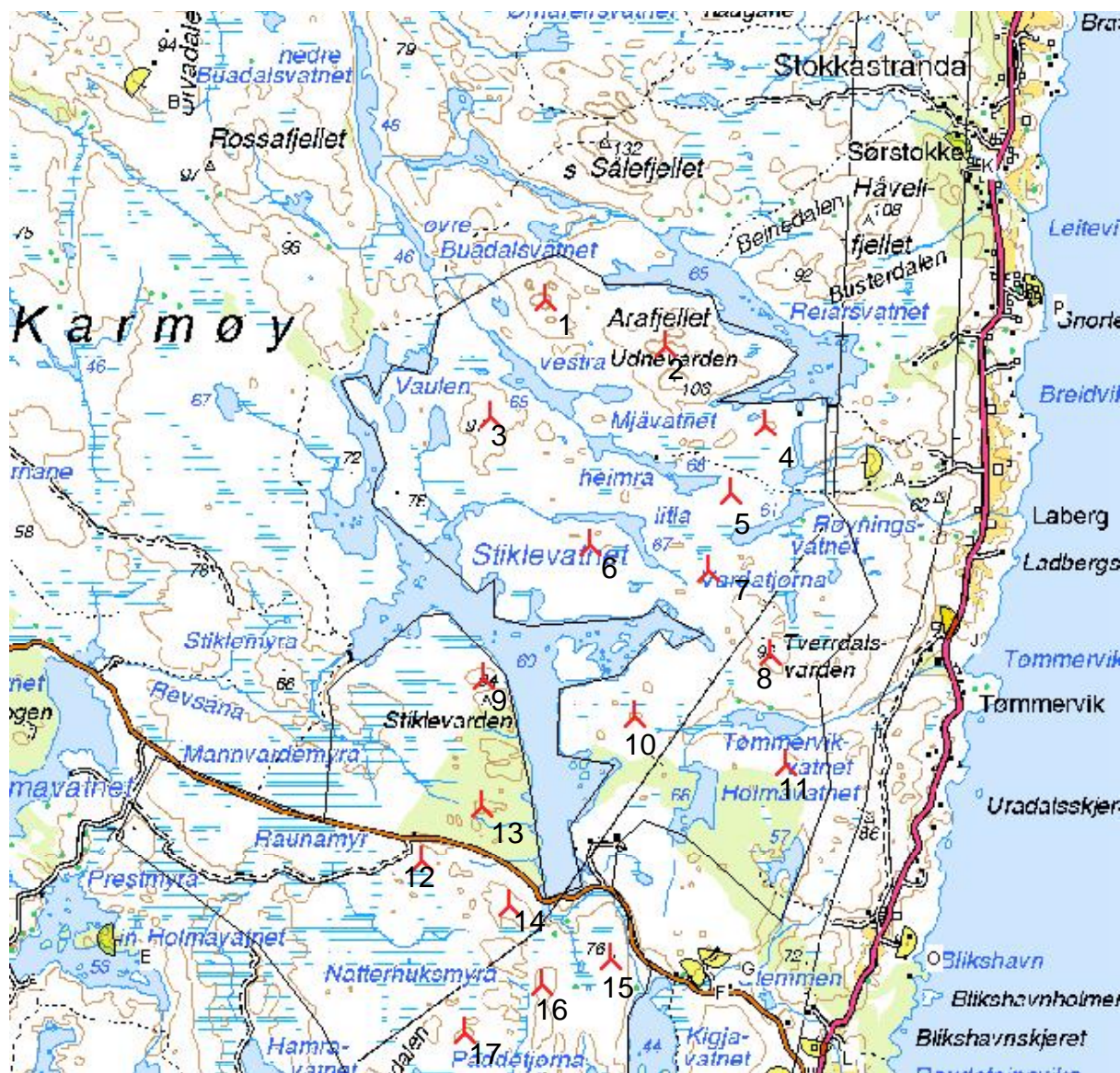
Skyggekastmottakere er blitt plassert i fasaden som vender mot nærmeste vindturbin. Det er ikke tatt hensyn til om denne fasaden inneholder de mest viktige vinduene (les stue,

kontor og andre) eller ikke. Dette vil føre til en systematisk overestimering av skyggevirkingen.

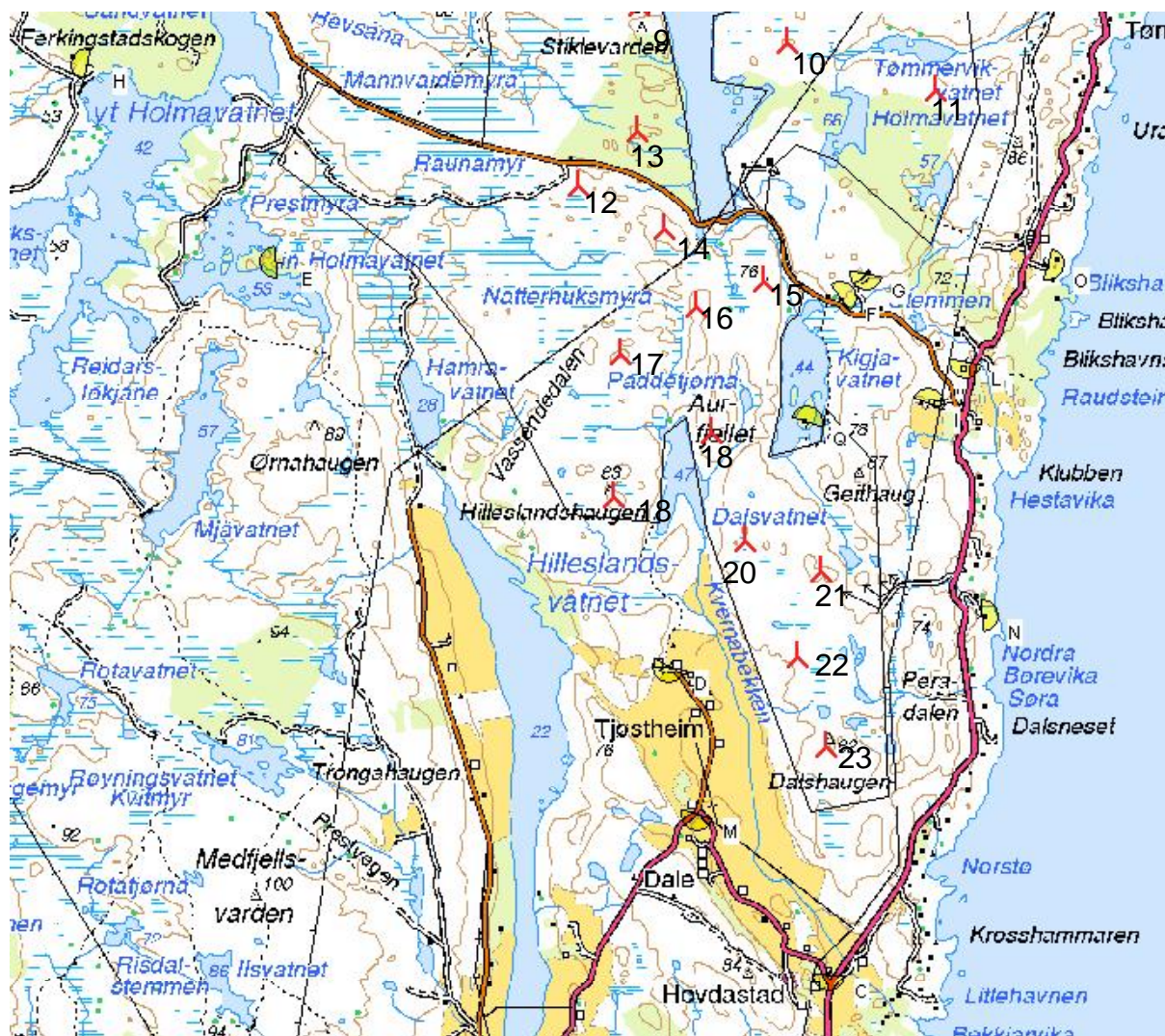
Skyggemottakerne har blitt definert som vinduer på 1.5 x 1.5 m (dvs 2.25 m²) lysareal og montert 1.5 meter opp på veggen. På kartet er hvert vindu og bolig representert som gule halvmåner (skyggekastmottakere, se Figur 2, Figur 3, Figur 4 og Figur 5).

Retningen/fasaden som vinduet er plassert i er vinkelen som halvmånen har.

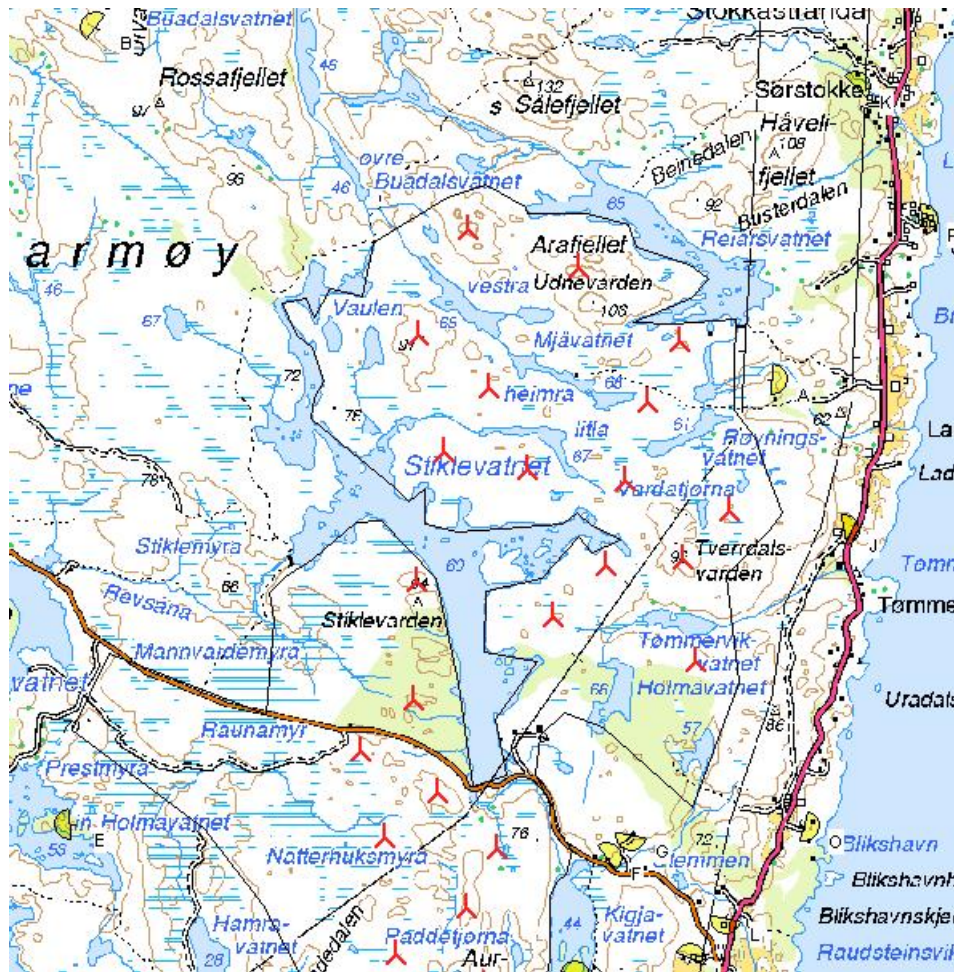
Skyggekastberegninger er utført for to alternativer: 2.3 MW og 3 MW. De to park alternativene har noe ulik plassering av vindturbinene (spesielt i den sørlige delen av parken) samt at de har ulik navhøyde og rotordiameter (se avsnitt 5.1)



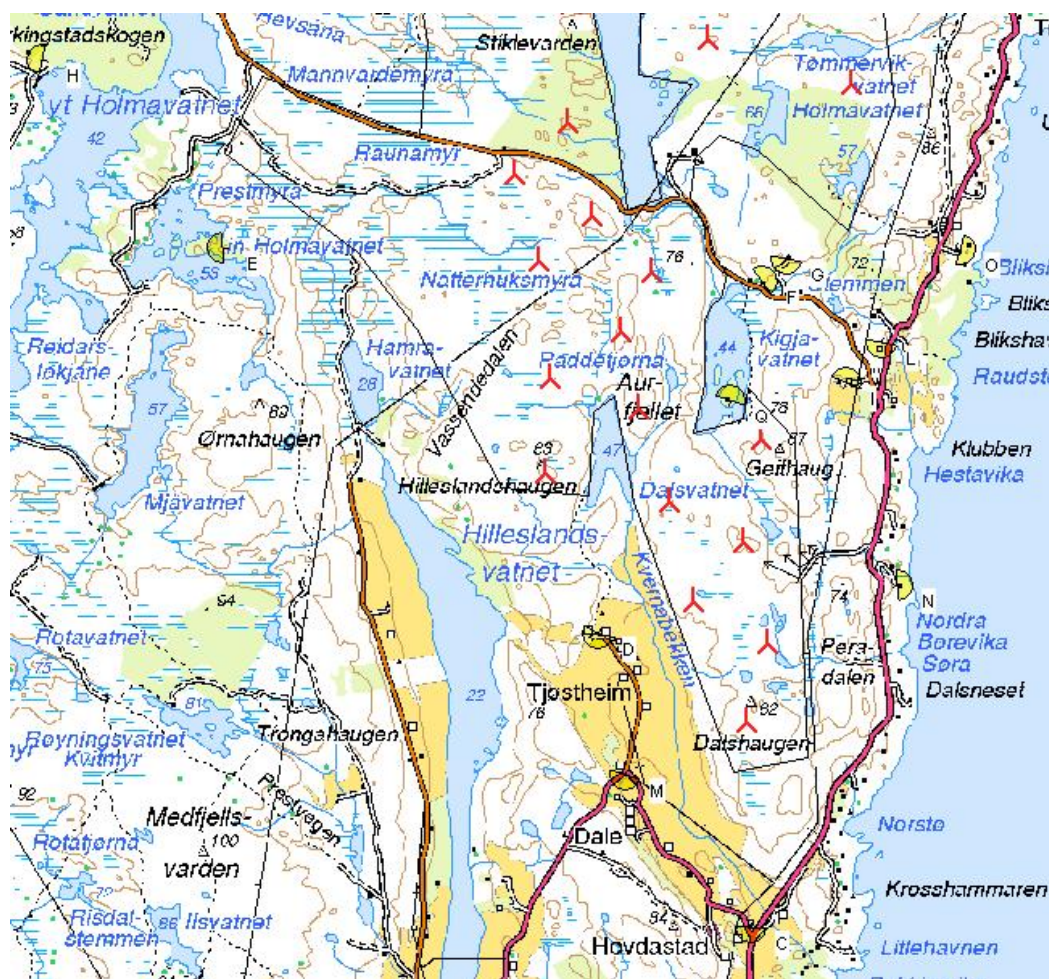
Figur 2: Utvalgte skyggekastmottakere nord i parken er vist som gule halvmåner på fasader som peker mot parken (3 MW vindturbiner med 80 m navhøyde og 90 m rotordiameter).



Figur 3: Utvalgte skyggekastmottakere sør i parken er vist som gule halvmåner på fasader som peker mot parken (3 MW vindturbiner med 80 m navhøyde og 90 m rotordiameter)



Figur 4: Utvalgte skyggekastmottakere nord i parken er vist som gule halvmåner på fasader som peker mot parken (2.3 MW vindturbiner med 64 m navhøyde og 71 m rotordiameter)



Figur 5: Utvalgte skyggekastmottakere sør i parken er vist som gule halvmåner på fasader som peker mot parken (2.3 MW vindturbiner med 64 m navhøyde og 71 m rotordiameter)

5.2 Refleksblink

Refleksblink oppstår når sollys blir reflektert av roterende vindturbinblader som kan føre til forstyrrende lyseffekter i influensområdet av en vindpark. Denne effekten har blitt veldig sjelden etter at overflaten av moderne vindturbiner blir anti-refleks behandlet med et materiallag med lav glanstall. Dette fører til at mesteparten av sollyset vil bli reflektert på en diffus måte dvs i mange forskjellige retninger samtidig istedenfor en hovedretninger. Som en konsekvens av dette er det ikke foretatt nærmere beregninger av refleksblink fra vindturbinene.

6 Resultater fra beregninger

6.1 Skyggekast

Resultater fra skyggekastberegninger viser området der vindturbinene vil kunne stå i linje med solen og skyggemottakeren. Figur 9 viser hvordan omfanget av skyggevirkning varierer over området.

viser estimert reell skyggekast som tar hensyn til antall soltimer og antall driftstimer per år. Som vist i avsnitt 2.1.2 vil ikke rotoren kunne kaste skygge på skyggemottakeren hvis avstanden er for stor til å blokkere store deler av solen. Tabell 3 viser det årlige omfanget av potensiell skyggeinnvirkning på de utvalgte skyggemottakere basert på både "worst case" antagelser og reelle betingelser.

Tabell 3: Skyggeinnvirkninger for utvalgte skyggemottakere for "worst case" og reell skyggekast. Reel skyggekast er estimert basert på 2 forskjellige antagelser. 1. Rotorbladene må dekke minst 20% av sola. 2. Avstand mellom vindturbin og mottaker inntill 3000 m. Vindturbinene har her en navøyde på 80 m og en rotordiameter på 90 m

Skygge- mottaker	Worst case skyggekast			Reell skyggekast
	Timer pr år	dager pr år	maks timer pr døgn	Timer pr år
A	95:34	223	0:59	17:47
B	00:00	0	0:00	0:00
C	00:00	0	0:00	0:00
D	52:20	139	0:33	10:22
E	00:00	0	0:00	0:00
F	114:52	260	1:16	23:49
G	00:00	0	0:00	0:00
H	00:00	0	0:00	0:00
I	27:09	103	0:23	3:22
J	8:47	32	0:21	1:02
K	0:00	0	0:00	0:00
L	11:21	52	0:20	2:43
M	28:46	65	0:31	5:32
N	25:51	75	0:34	5:06
O	0:00	0	0:00	0:00
P	0:00	0	0:00	0:00
Q	108:51	208	0:57	15:34

RAPPORT**Skyggekast og refleksblink - Karmøy vindpark**

Nr.:

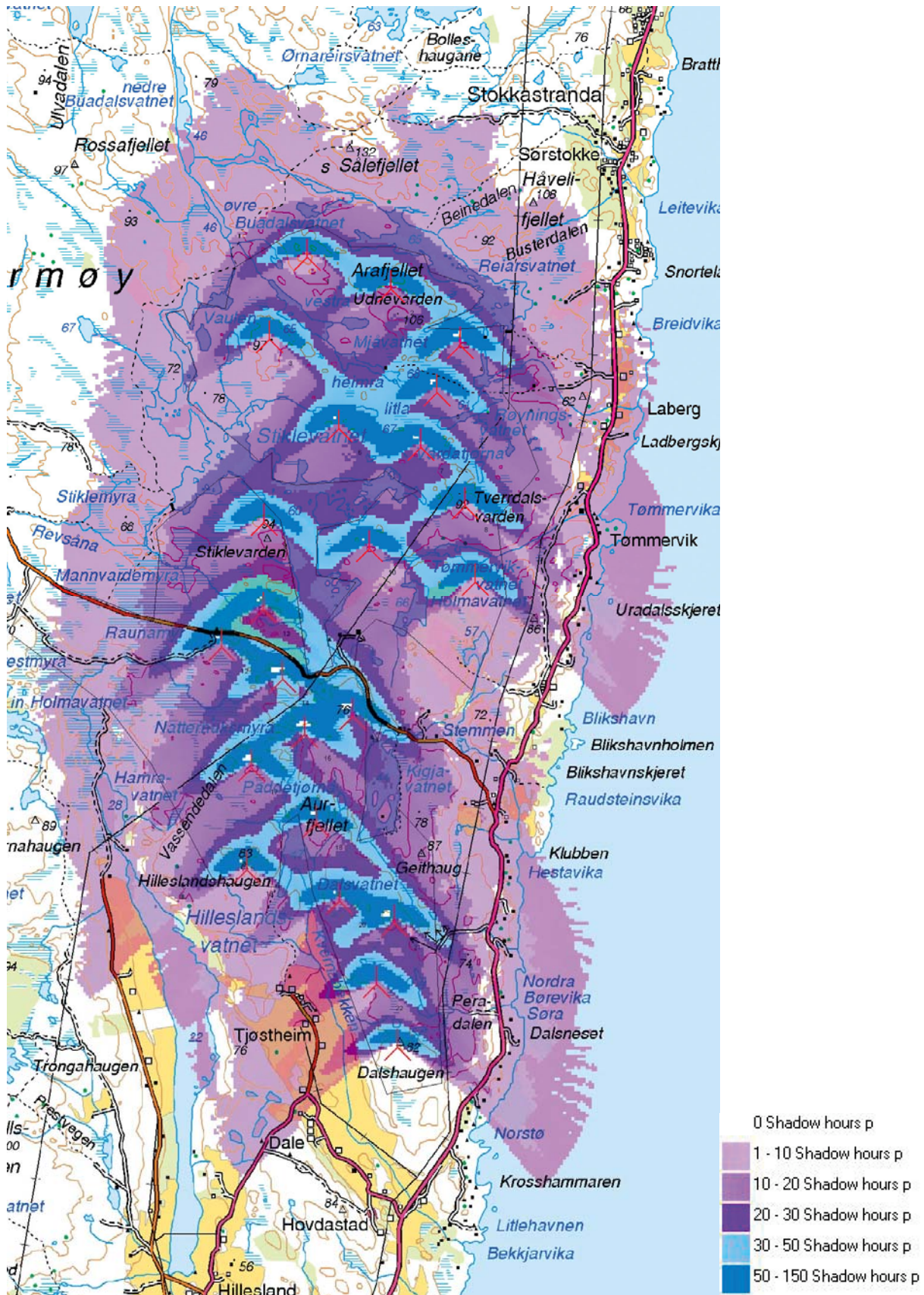
Rev.:

Vår dato: 2006-08-07

Side 12 av 15

Tabell 4: Skyggeinnvirkninger for utvalgte skyggemottakere for "worst case" og reell skyggekast. Reel skyggekast er estimert basert på 2 forskjellige antagelser. 1. Rotorbladene må dekke minst 20% av sola. 2. Avstand mellom vindturbin og mottaker inntill 3000 m. Vindturbinene har her en navøyde på 64 m og en rotordiameter på 71 m

Skygge- mottaker	Worst case skyggekast			Reell skyggekast
	Timer pr år	dager pr år	maks timer pr døgn	Timer pr år
A	81:32	203	0:47	13:08
B	00:00	0	0:00	0:00
C	00:00	0	0:00	0:00
D	50:49	153	0:33	10:01
E	1:00	10	0:09	0:12
F	41:37	146	0:28	7:15
G	00:00	0	0:00	0:00
H	00:00	0	0:00	0:00
I	34:54	114	0:32	4:10
J	5:39	26	0:17	0:38
K	0:00	0	0:00	0:00
L	0:00	0	0:00	0:00
M	21:15	67	0:26	4:12
N	25:04	85	0:33	4:30
O	3:03	20	0:13	0:18
P	2:30	16	0:12	0:20
Q	136:25	209	1:17	22:01

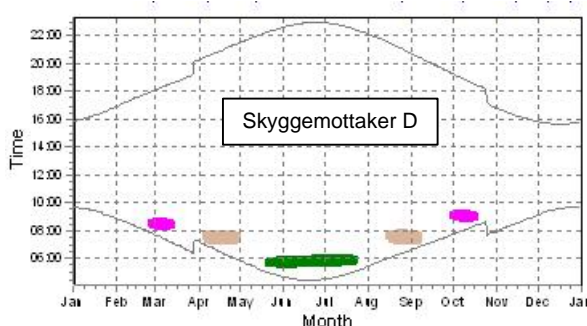
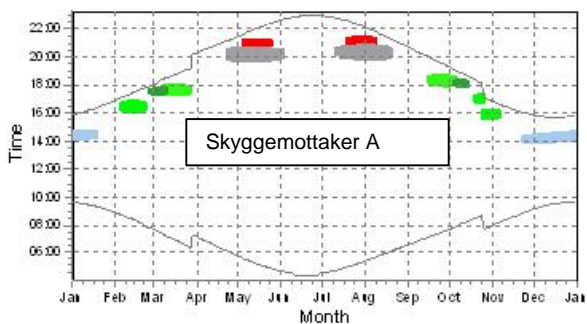


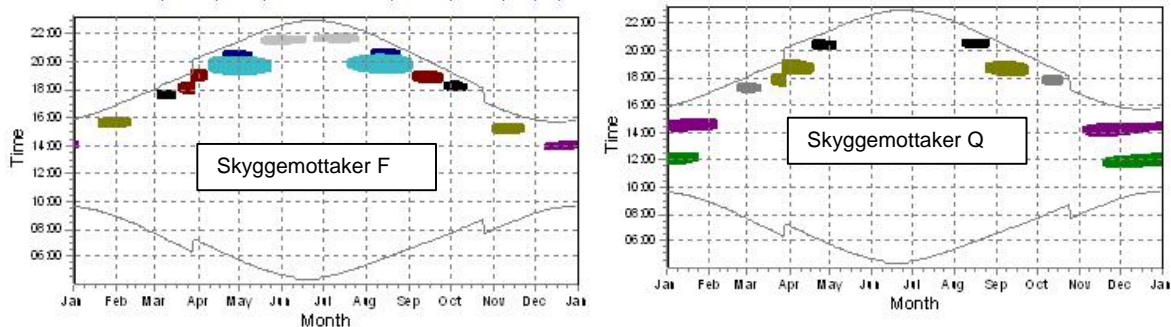
Figur 6: Kart som viser estimert reell skyggekast som tar hensyn til antall soltimer og driftstimer pr. år. Se Tabell 3 og Tabell 4 for mer detaljerte resultater.

Det viser seg at de fleste skyggekastmottakerne ikke vil oppleve lange perioder med skyggekast på grunn av den store avstanden til nærmeste vindturbin. For både 3 MW og 2.3 MW alternativet er det ved skyggemottaker A (fritidsbolig vest for Røyningvatnet), D (bolig ved Tjøsheim) og Q (fritidsbolig ved Kigjavatnet) der grenseverdien på 10 timer per år kan overstiges. I tillegg for 3 MW alternativet, vil skyggemottaker F (fritidsbolig nord for Kigjavatnet) oppleve skyggekast på mer en 10 timer. Disse vil kunne påvirkes i ulike perioder av året og tidspunkt på dagen som vist i Figur 7.

Tabell 5: Liste over boliger som kan være utsatt for skyggekast utover grenseverdiene (EU89 UTM sone 32)

Beskrivelse	Skygge-mott.	Bruksformål	Øst koord.	Nord koord.
Hytte - Røyningvatnet	A	Fritid	289580	6571140
Bolig - Tjøsheim	D	Bolig	287846	6566748
Hytte - Kigjavatnet	Q	Fritid	288540	6567977
Hytte/Skytterhus	F	Fritid	288709	6568604





Figur 7: Intervaller med potensiell skyggevirkning på utvalgte skyggemottakere. Se Figur 3 og Figur 4 for nummerering av turbiner.

7 Avbøtende tiltak

7.1 Skyggekast

Skyggeberegninger har vist at det er et fåtall fritidsboliger i Sædalen som vil kunne utsettes for skyggeinnvirkning over grenseverdiene. For å redusere skyggevirkinger kan følgende avbøtende tiltak iverksettes:

Kontrollmekanisme som stanser vindturbiner når en på forhånd definert periodelengde med skyggeforhold er i ferd med å overskrides. Dette kan oppnås ved å utruste skyggemottakerne med sensorer som sender måledata til kontrollstasjonen for vindparken.

Avstanden mellom skyggemottaker og vindturbiner økes ved å trekke vindturbinene lenger inn på planområdet.