
RAPPORT

Skyggekast fra Sula Gondol

OPPDRAAGSGIVER

Nordplan AS

EMNE

Vurdere skyggekast fra planlagt gondolbane

DATO / REVISJON: 16. juni 2023 / 01A

DOKUMENTKODE: 10251381-01-RIEN-RAPP-001



Multiconsult

Dette dokumentet har blitt utarbeidet av Multiconsult på vegne av Multiconsult Norge AS eller selskapets klient. Klientens rettigheter til dokumentet er gitt for den aktuelle oppdragsavtalen eller ved anmodning. Tredjeparter har ingen rettigheter til bruk av dokumentet (eller deler av det) uten skriftlig forhåndsgodkjenning fra Multiconsult. Enhver bruk av dokumentet (eller deler av det) til andre formål, på andre måter eller av andre personer eller enheter enn de som er godkjent skriftlig av Multiconsult, er forbudt, og Multiconsult påtar seg intet ansvar for slikt bruk. Deler av dokumentet kan være beskyttet av immaterielle rettigheter og/eller eiendomsrettigheter. Kopiering, distribusjon, endring, behandling eller annen bruk av dokumentet er ikke tillatt uten skriftlig forhåndssamtykke fra Multiconsult eller annen innehaver av slike rettigheter.

RAPPORT

OPPDRAG	Skyggekast fra Sula Gondol	DOKUMENTKODE	10251381-01-RIEN-RAPP-001
EMNE	Vurdere skyggekast fra gondolbane	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	Nordplan AS	OPPDRAGSLEDER	Jonas Blomberg Ghini
KONTAKTPERSON	Steinar Nesdal	UTARBEIDET AV	Jonas Blomberg Ghini
		ANSVARLIG ENHET	10234052 Vindkraft Midt

SAMMENDRAG

På oppfordring fra statsforvalteren i Møre og Romsdal er det utført en skyggekastanalyse fra den planlagte gondolbanen på Sula. Banen har basestasjon nær Devoldfabrikken i Langevåg sentrum, og går opp til Rundehornet via en mellomstasjon på 410 moh.

Det eksisterer ingen retningslinjer, hverken nasjonalt eller internasjonalt, for hvordan en slik analyse skal gjennomføres, så i denne rapporten følges beregningsmetodikken NVE legger til grunn for vurdering av skyggekast fra vindturbiner. NVE gir også forslag til akseptable grenseverdier for mottak av skyggekast fra vindturbiner, men analysen, som inkluderer en gjennomgang av en lignende problemstilling fra Bayern i Tyskland, finner at grenseverdiene som anvendes for vindturbiner ikke rimelig kan benyttes for gondolbaner da skyggekastets natur er vesentlig forskjellig mellom en vindturbin og en gondolkabin.

Våre beregninger viser at dersom man oppholder seg i søndre del av Langevåg, enten ved et vindu eksponert mot sørøst, sør eller sørvest, eller ute, kan man forvente å utsettes for mindre enn 50 timer skyggekast fra gondolbanen når man tar høyde for solskinnssannsynlighet og gondolbanens åpningstider. Dette utgjør mindre enn 1% av våkne timer per år (antar 8 timer søvn per døgn), eller 10 minutter per dag i gjennomsnitt.

Siden en gondol beveger seg veldig sakte, 6 m/s marsjhastighet, og passerer bare en gang hvert 15 sekund, og består i stor grad av gjennomsiktig glass, konkluderer vi med at den beskjedne skyggekastbelastningen beregningene avdekker ikke kan regnes som sjenerende for mottakere, og ikke kan regnes som tilstrekkelig stor til å stoppe utbyggingen.

01A	16.05.2023	Rapport levert til kunde	JBG	Jan Potac	JBG
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

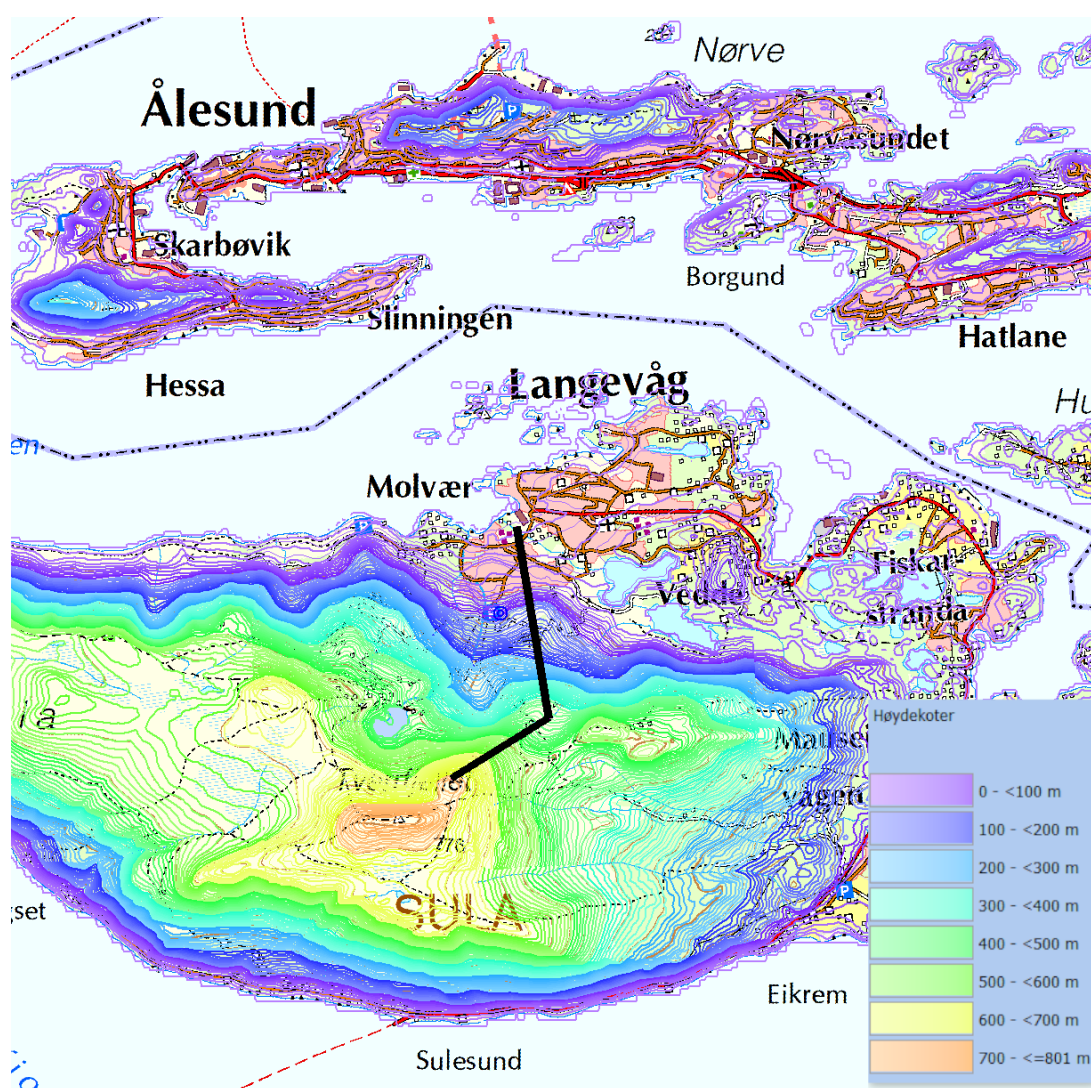
INNHALDSFORTEGNELSE

1	Bakgrunn	5
2	Skyggekast.....	6
	2.1 Skyggekastmottakere.....	6
	2.2 Anbefalte grenseverdier for vindturbiner	6
	2.3 NVEs krav til beregningsmetodikk	7
3	Skyggekastmottakere og analyseområde	7
	3.1 Definerde skyggekastmottakere.....	8
4	Gondolbanemodell	9
	4.1 Hele modellgeometrien	10
	4.2 Hvordan beregningene utføres.....	11
5	Resultater og diskusjon.....	11
	5.1 Kart – Verst tenkelig scenario	12
	5.2 Individuelle mottakere – Verst tenkelig scenario	13
	5.2.1 Skyggekastprofiler.....	14
	5.2.2 Grupper av mottakere	17
	5.3 Kart – Realistisk scenario	18
	5.4 Individuelle mottakere – Realistisk scenario.....	19
	5.5 Bruk av NVEs vindturbingrenser for gondoler	22
	5.5.1 Lignende problemstilling i Tyskland	22
	5.5.2 Forskjell mellom gondol og vindturbinblad	22
6	Konklusjoner.....	23
7	Referanser	23

1 Bakgrunn

Nordplan AS har utarbeidet forslag til reguleringsplan for en gondolbane i Sula kommune. Banen skal gå fra Devoldfabrikken i Langevåg sentrum til Rundehornet (på 727 moh.) via en mellomstasjon (på 410 moh.). Traseen mellom Devoldfabrikken og mellomstasjonen går over flere nabolag i søndre del av Langevåg. På bakgrunn av dette har statsforvalteren i Møre og Romsdal rådet Nordplan til å utarbeide en skyggekastvurdering av gondolbanen. Statsforvalteren foreslår videre at denne skal gjøres i henhold til NVE sin veileder nr. 2/2014 som ble utarbeidet for å vurdere skyggekast fra vindturbiner.

Figur 1 viser en oversikt over Sula, der gondolbanens trasé er tegnet inn. Nedre del regnes her som strekningen mellom basestasjonen ved Devoldfabrikken opp til mellomstasjonen som ligger på ca. 410 moh., mens øvre del går fra mellomstasjonen opp til toppstasjonen like under Rundehornet på 715 moh. Her er det også tegnet inn et grovt terrengdatasett for illustrasjonsformål. For de faktiske beregningene brukes et høyoppløst datasett med koteavstand 1 meter. Dette er nødvendig da gondolene som kaster skygge (omtalt i mer detalj i kapittel 4) bare er ca. 2.6 meter høye, og dermed krever nøyaktige terrengdata for å fange de delene av terrenget som skjærer en skyggekastmottaker fra gondolbanen.



Figur 1: Sula, med høydekoter og tegning av nedre og øvre del av gondolbanens trasé, fra basestasjon nær Devoldfabrikken til mellomstasjonen 410 moh., til toppstasjonen like under Rundehornet på 715 moh.

2 Skyggekast

Et punkt er skyggelagt dersom det står et legeme mellom punktet og solskiven langs strålen fra solskiven mot punktet. Dersom det skyggende legemet beveger seg vil også den resulterende skyggen bevege seg, og dette vil kunne oppleves som sjenerende.

Altså, dersom en person sitter ved kjøkkenbordet og spiser, og en gondol passerer solskiven utenfor vinduet vil det flakke en skygge over vinduet/kjøkkenbordet, som kan oppleves ubehagelig.

Ingen offentlig publiserte beregninger av skyggekast fra gondolbaner i Norge eksisterer, og heller ikke i utlandet er det etablert klar praksis for denne typen vurderinger^[1].

For skyggekast fra vindturbiner er det etablert solide metoder og grenseverdier [2], og NVE har publisert en veileder til gjennomføring av slike beregninger [3]. Norsk regelverk er i stor grad basert på tilsvarende tyske retningslinjer. I mangel på grenseverdier for skyggekast fra gondoler vil retningslinjene for vindturbiner informere diskusjonen rundt beregnet skyggekast i kapittel 5.

2.1 Skyggekastmottakere

Flere typer mottakere defineres som følsomme for skyggekastmottak. Det er i stor grad snakk om bygg der mennesker oppholder seg over tid, og i noen grad uteareal med spesielle bruksmønstre. NVE definerer følgende typer mottakere som sensitive for skyggekast fra vindturbiner:

- Helårsboliger, samt fritidsboliger i aktiv bruk
- Skoler og barnehager
- Sykehus, samt alders- og sykehjem
- Hoteller og andre overnattingsbygg, kafeer, restauranter og veikroer
- Kontor- og næringslokaler med regelmessige dagaktiviteter som samtidig har eksponerte vindusflater

I tillegg til dette kan NVE trekke inn følgende kategorier som sensitive, etter skjønn:

- Veldefinerte kulturminner/kulturmiljøer med stor opplevelsesverdi/pedagogisk verdi
- Kirker, kirkegårder, parker, idrettsanlegg og lekeplasser
- Definerte turmål, utsiktspunkter og lignende
- Havneanlegg, marinaer

2.2 Anbefalte grenseverdier for vindturbiner

Grenseverdiene NVE oppgir refererer til antallet timer i året en skyggekastsensitiv mottaker kan utsettes for skyggekast fra en vindturbin før omfanget av belastningen kan regnes som sjenerende. Verdiene gis for to forskjellige scenarioer; verst-tenkelig grad av skyggekast, og realistisk grad av skyggekast. Noter også at verdiene er anbefalinger, og at grenseverdiene kan fravikes i unntakstilfeller.

Verst-tenkelig scenario

En skyggekastmottaker, som f.eks. en helårsbolig, regnes som et slags drivhus, med vinduer i alle retninger, slik at all skygge som faller på boligen også regnes med i total belastningsgrad. I tillegg

^[1] Det er funnet én spesifikk referanse til vurdering av skyggekast fra en gondolbane i Tyskland fra 2019 [1]. Vi vil trekke inn denne referansen i diskusjonen lenger ned i rapporten.

regner man at solen alltid skinner i alle timer med dagslys, og man tar ikke høyde for driftsstans på anlegg (for vindturbiner er det snakk om vedlikehold og dårlige vindforhold, mens for en gondolbane er det hovedsakelig åpningstid som i stor grad påvirker total driftstid).

NVEs anbefaling er at skyggekastmottakere ikke utsettes for mer enn 30 timer verst-tenkelig skyggekast per år, eller mer enn 30 minutter per dag.

Realistisk scenario

En skyggekastmottaker, som f.eks. en helårsbolig, vurderes basert på hvilken retning vinduer peker; dersom solstillingen er slik at skyggekast fra gondolbanen kommer sørfra vil ikke nordvendte vinduer motta skyggekast. Videre utfører man beregninger med en viss sannsynlighet for solskinn i løpet av timene med dagslys, som altså reduserer total belastning siden under overskyet vær er lyset fra solskiven altfor diffust til at en skygge regnes som sjenerende. I tillegg trekker man inn realistisk driftstid på anlegg, som åpningstid for gondolbanen.

For realistisk skyggekastmottak anbefaler NVE at en mottaker ikke utsettes for mer enn 8 timer per år. NVE trekker også inn at i en situasjon der verst-tenkelig skyggekast overskrider grenseverdien kan man fravike denne dersom realistisk skyggekast kan reduseres til under 8 timer per år ved avbøtende tiltak.

2.3 NVEs krav til beregningsmetodikk

NVEs veileder beskriver noen detaljer rundt fremgangsmåten for skyggekastberegninger.

- Beregningene skal ta hensyn til terrengets høydeprofil i området som vurderes, og dette inkluderer skjermingseffekter av terreng som ligger mellom en mottaker og en kilde til skygge (les: en åskam som blokkerer synet av gondolbanen).
- I det realistiske scenarioet skal en solskinnssannsynlighet på 50% benyttes. Dette er stort sett en overvurdering for de fleste steder i Norge, som forsikrer at man holder seg til et konservativt estimat for skyggekastbelastning.
- For beregningene regnes skyggekast fra en kilde som er mer enn 1500 m fra en mottaker som så svakt at det ikke bidrar til total belastning.

3 Skyggekastmottakere og analyseområde

NVEs krav til beregningsmetodikk innebærer at ingen områder som er lenger enn 1500 m fra gondolbanen er relevante for skyggekastanalysen. Dette ekskluderer store deler av Langevåg fra å vurderingen. Den røde ruta i Figur 2 viser det som regnes som relevant influensområde. Dette dekker søndre del av Langevåg, med god margin nordover med tanke på hvor langt unna de høyeste delene av gondolbanen går.

Siden skyggekast forventes å være verst når sola står nær horisonten, og skyggene når langt, er forventningen at vi vil se to hovedkilder til skyggekast. For det første vil skyggekast komme på begge sider av nedre del av gondolbanen om morgen og kveld store deler av året. For det andre vil lange skygger kunne kastes ned i Langevåg fra de delene av gondolbanen som går over en åskam eller stup, da gondolene der kan stå veldig prominent ut fra terreng.

Gitt den klare nord-sør-orienteringen av gondolbanens nedre del er det forventet at man får et ganske klart skille blant skyggekastmottakere; bebyggelse i østre del av Langevåg vil stort sett motta skyggekast på kveldstid, særlig nær solnedgang, mens bebyggelse i vestre del vil motta skyggekast

om morgenen. I tillegg er det klart at siden terrenget sør for Langevåg ruver langt over bebyggelsen vil mottakere skjermes store deler av året, selv i vintermånedene når solen står lavt i sør.



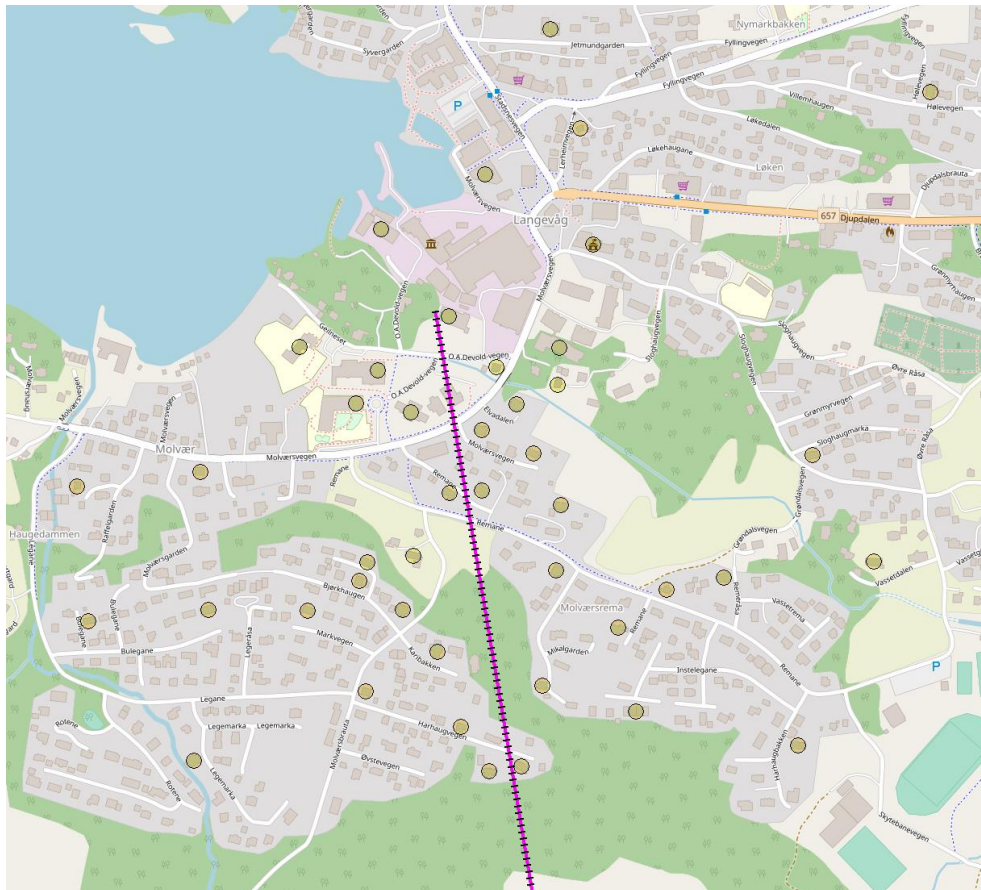
Figur 2: Oversiktskart som viser influensområdet som analyseres.

3.1 Definerte skyggekastmottakere

Figur 3 viser søndre del av Langevåg sammen med de definerte skyggekast-mottakerne som beige sirkler. Siden Langevåg er tettbygd er det ikke hensiktsmessig å beregne nøyaktig skyggekast for alle tenkelige mottakere siden det uansett er store likheter mellom grupper av mottakere. Mottakerne er plassert slik at de fanger detaljene i skyggekastbelastningen på en måte som er representativ for forskjellige områder. Det er definert totalt mottakere på totalt 45 adresser. De 44 vist i Figur 3, samt en mottaker for å kontrollere skyggekastbelastningen mot bebyggelsen oppe ved Molværsvatnet. Utvalget er i praksis gjort ved en iterativ prosess der flere simuleringer er kjørt etter hverandre for å bestemme hvilke mottakere som skal undersøkes i detalj, informert av skyggekastkartene som presenteres i avsnitt 5.1 og 5.3.

Noter i kartet at det er plassert en egen mottaker på næringsbygget som står i O.A. Devold-vegen 8. Dette arealet vil, etter planen, bli parkeringsplass, heller enn et skyggekastsensitivt bygg, men det ble inkludert i analysen for å undersøke detaljene rundt det tyngst belastede området vi finner i kartet avsnitt 5.1.

I tråd med NVE sine krav til beregningsmetodikk for «verst-tenkelig» scenario utføres beregningene presentert i avsnitt 5.2 med skyggekastmottakerne vist i Figur 3 definert som «drivhus», hvor hver mottaker er et vindu på 2 x 2 m, som alltid peker rett mot skyggekilten. For det realistiske scenarioet, med resultater presentert i avsnitt 5.4, brukes det i tillegg vinduer på 2 x 2 m som har bestemt retning. Disse retningsbestemte mottakerpunktene plasseres ca. midt på hver av veggene som i noen grad vender mot gondolbanen (dette betyr nord- og sørvendte vegger, samt øst- og vestvendte vegger avhengig av hvilken side av gondolbanen et bygg står på).



Figur 3: Individuelle skyggekastmottakere (beige sirkler), valgt som representative mottakere basert på skyggekastkartene som presenteres i avsnitt 5.1 og 5.3.

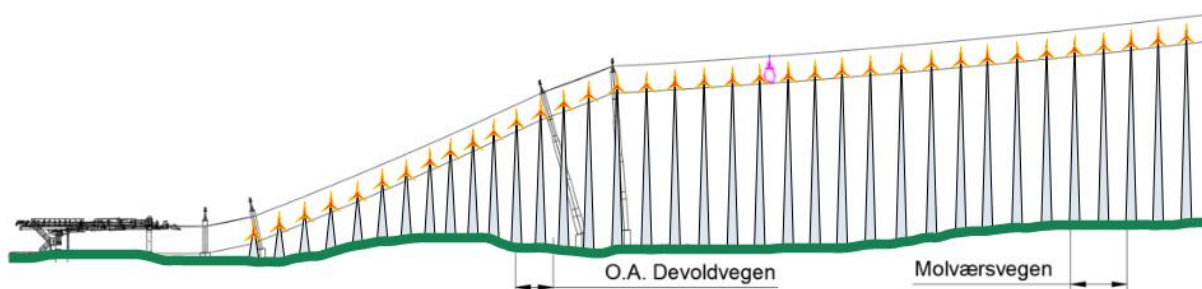
4 Gondolbanemodell

På samme måte som at det ikke eksisterer grenseverdier for skyggekast fra gondolbaner eksisterer det heller ikke bestemte metoder for å gjennomføre en skyggekastberegning fra en gondolbane. For å løse dette benyttes en programvare som opprinnelig er laget for beregning av skyggekast fra vindturbiner². For å gjøre dette må gondolbanen modelleres som om den var en serie med vindturbiner med en gitt rotordiameter og navhøyde over terreng. Figur 4 viser en illustrasjon av gondolbanemodellen de første 170 meterne av traseen. Den tykke grønne kurven representerer terrenget like under gondolbanen. Den rosa komponenten viser en gondolkabin med oppheng, i skala. Gondolkabinen er 2.6 m høy og langsiden er 2.7 m, mens bredden er 1.9 m. For å representere hvor stor skygge en slik kabin kaster brukes en rotordiameter på 2.6 m. Å bruke en sirkulær skyggekilde for å representere en form som i virkeligheten er mer rektangulær resulterer i noe avvik. Gondolkabinen er som en «boble» med vegger som i stor grad bøyer seg innover slik at hjørnene ligger lenger inn en bredde/lengde/høyde tilsier, så avviket er i praksis neglisjerbart. Noter også at staget som holder kabinen i hengekabelen ikke regnes med som kilde til skygge, da staget veldig smalt sammenlignet med kabinen.

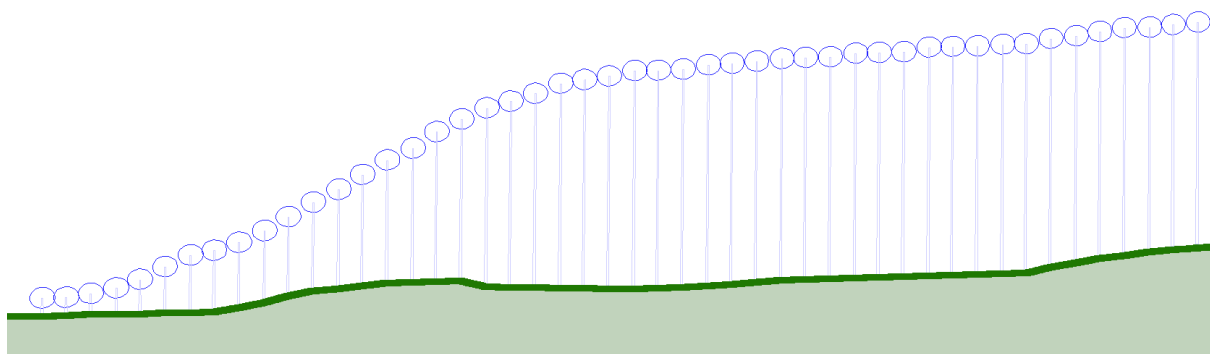
Figur 5 viser de første 140 meterne av gondolbanemodellen opp fra basestasjonen, sett fra vest, slik den er satt opp i analyseprogrammet. De blå sirlene viser det sveipte arealet til turbinene som representerer banen, med en diameter på 2.6 m. Turbinene er plassert slik at de representerer en

² Softwarepakka WindPRO er brukt for å bygge gondolbanemodellen, med modulen *Shadow* for å gjennomføre skyggekastberegningene.

nær sammenhengende enhet (uten overlapp mellom turbiner), slik at totalt beregnet skyggekast blir så rett som mulig.



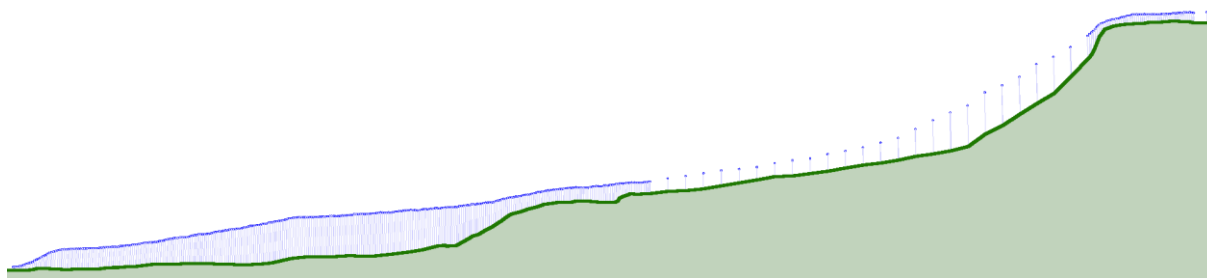
Figur 4: Illustrasjon av gondolbanemodellen. Den tykke grønne kurven representerer terrenget under gondolbanen, det rosa elementet representerer en gondol, de grå tårnene med røde propeller er vindturbiner som kaster like store skygger som en gondol.



Figur 5: De første 140 meterne av gondolbanemodellen opp fra basestasjonen. Sirklene indikerer arealet turbinbladene sveiper ut, som kaster en skygge av samme størrelse som en gondolkupé.

4.1 Hele modellgeometrien

Figur 6 viser hele gondolbanemodellen. Figuren ser mot traseen fra vest, og viser også her med blå symboler de individuelle turbinene som representerer gondolbanen. Her ser man også at det ikke er samme «opløsning» langs hele banen. For å fange riktig skyggekast hos mottakere må den delen av gondolbanen som går opp til like øst for toppen av Molværsbrauta tegnes inn med mange turbiner (slik som vist i Figur 5). Det samme gjelder den delen av traseen som går over kanten av stigningen mot mellomstasjonen (litt nordvest for Svanshornet). Mellom disse to områdene, derimot, kommer det, på grunn av en kombinasjon av omkringliggende terreng og avstand til skyggekastmottakere, ingen relevant skyggebelastning, så antallet turbiner i gondolbanemodellen kan reduseres betraktelig, uten tap av nøyaktighet i resultatene. I beregningene finner vi ingen skyggekast fra denne delen av banen i det hele tatt. Den delen av banen som går fra mellomstasjonen og opp til Rundehornet kaster heller ingen relevant skygge (inkludert ned mot bebyggelse rundt Molværsvatnet). Dette skyldes i stor grad at Rundehornet selv skygger for denne øvre delen av gondolbanen når solen ellers står i en stilling der skygge kunne vært kastet ned mot Langevåg, samt at avstanden til eventuelle mottakere overskrider NVEs retningslinjer.



Figur 6: Hele gondolbanemodellen, sett fra vest, med terreng i grønt. De blå symbolene representerer de individuelle turbinene (2.6 m diameter).

4.2 Hvordan beregningene utføres

Beregningen av skyggekast i programvaren skjer ved en kombinasjon av;

- Kjent geografisk posisjon, for å finne solbanen over året,
- Definert terreng, så man kan bestemme når solens bane er under horisonten sett fra ethvert relevant punkt i simuleringen,
- Definert trase for gondolbanen (Figur 6).

Med dette underlaget defineres området rundt søndre del av Langevåg, influensområdet i Figur 2. Det deles inn i et rutenett med 10 x 10 m oppløsning. Dette rutenettet utgjør en stor samling individuelle punkt (altså små «lapper» á 10 x 10 m), og modellen stiller seg i hvert slikt punkt, og ser mot solen. Dersom en av turbinene som brukes for å representere gondolbanen står mellom observasjonspunktet og solskiven uten at det er skyggende terreng i veien, tikkles det opp en teller som holder styr på hvor mange minutter skyggekast dette ene punktet mottar per år. Solbanen representeres ved at man hopper tre dager av gangen (dette håndterer årstider) og vurderer hvert døgn oppstykket i 2-minuttersbolker. Etter at alle punkt i rutenettet har gått gjennom en slik solbaneberegning blir det satt sammen kart som beskriver forskjellige karakteristikk ved skyggekastbelastningen.

I tillegg til kartene brukes de spesifikke skyggekastmottakerne, omtalt i avsnitt 3.1, for mer avanserte beregninger. Den viktigste utvidelsen av beregningsmetoden er at man nå kan ta høyde for gondolbanens åpningstid, representert ved at alle turbinene som utgjør gondolbanemodellen skrus av utenfor planlagt åpningstid for banen.

5 Resultater og diskusjon

Resultatene, og diskusjonen rundt disse, som presenteres i dette kapitlet starter med kart over maksimal teoretisk skyggekastbelastning på en flate 1.5 meter over bakkenivå. Dette vil representere den typen skyggekast en person ute på en plen vil kunne motta. Deretter vises skyggekastmottak for de definerte mottakerne omtalt i avsnitt 3.1.

Etter dette presenteres et kart der sannsynligheten for solskinn er satt til 50% i tråd med NVEs retningslinjer for beregninger av vindturbiner, etterfulgt av beregnet skyggekast for de definerte mottakerne.

Noter at sammenligningen av kartene med de individuelt definerte mottakerne er ikke rett frem; geometrien for modellen er annerledes. Kartene viser skyggekast ned på en tenkt horisontal flate, hvor oppgitt belastning er et gjennomsnitt for en rute på 10 x 10 m, mens de individuelle beregningene ser på et vertikalt vindu på 2 x 2 m med senter 2 m over bakken. Kartene vil gi en kvalitativ indikasjon på hvilke deler av et område som er tungt belastet, men ikke nødvendigvis et

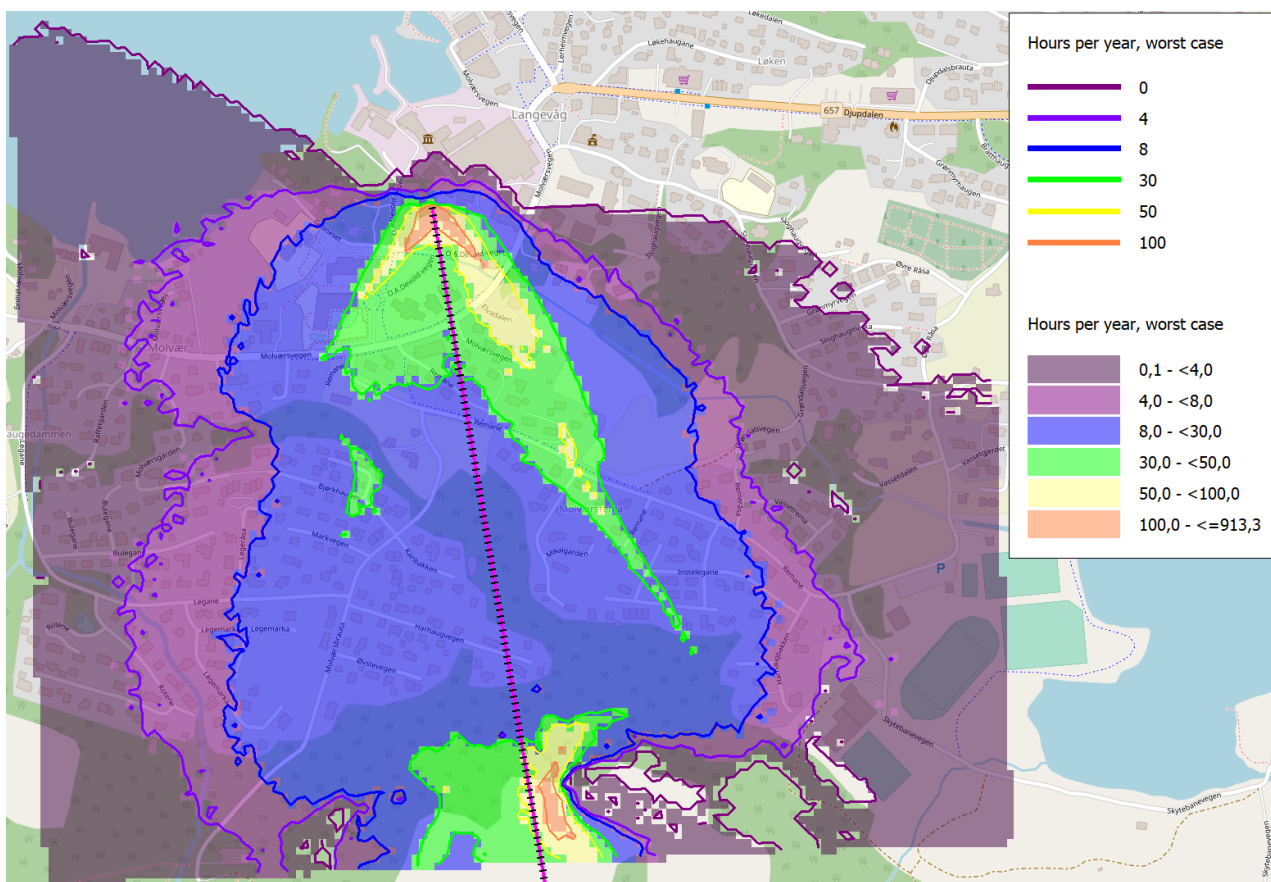
nøyaktig tall på hvor mange timer skyggekast et kjøkkenvindu utsettes for per år. Generelt viser kartene et lavere antall timer med skyggekastbelastning enn det man finner ved den detaljerte beregningen for mottakere representert med vinduer.

Etter at resultatene er presentert diskuteres hvor meningsfullt det faktisk er å bruke NVE sine retningslinjer for vindturbiner også for gondoler i avsnitt 5.5.

5.1 Kart – Verst tenkelig scenario

Figur 7 viser kartet over teoretisk verst tenkelig skyggekast, målt i antall timer per år. For denne beregningen antas at solen skinner alle timer i løpet av en dag, og man ender da opp med en beskrivelse av den maksimale skyggekastbelastningen man forventer fra gondolbanemodellen.

De tjukke kurvene i kartet viser koter/konturer (som på et terrengekart) der et område innenfor en kontur har årlig skyggekastvarighet høyere enn konturens verdi i tegnforklaringen i figuren. Den tydelige grensen som går skrått nedover fra øverst til venstre mot høyre i figuren skiller mellom området av Langevåg som ikke mottar noe skyggekast i det hele tatt (nord for grensen) og området som mottar i alle fall noe skyggekast (sør for grensen). Simuleringen som produserer kartet er gjort over område som går helt nord til Stadsneshaugane, men på grunn av at avstanden til nærmeste skyggegivende del av banen (som for dette området er det siste strekket opp mot mellomstasjonen) er godt over 1500 meter unna er skyggen så diffus innen den treffer bakken at belastningen er null.



Figur 7: Kart over teoretisk verst tenkelig skyggekast, beregnet for den bebyggelsen i Langevåg der skyggekast er forventet å være over null timer per år.

Kartet viser også at selv i området som utsettes for skyggekast er det snakk om lavere belastning enn NVEs 30-timers-grense for teoretisk skyggekast. Dette ser man av områdene med blå, lys lilla og mørk lilla farge. De grønne områdene mottar mellom 30 og 50 timer skyggekast i løpet av året under

verst-tenkelige antakelser. Det er en del mottakere i nordre del av Remane og Molværsvegen som faller inn i denne gruppen, samt noen av institusjonene rundt vestre ende av O.A. Devold-vegen. Det er også et lite grønt område rundt Bjørkhaugen 6 og 14 som på grunn av geografien så vidt bikker over 30 timer total årlig teoretisk maksimal belastning. De gule områdene utsettes for mellom 50 og 100 timer teoretisk skyggekast per år, men omfatter kun et relativt lite antall potensielle mottakere. Det er hovedsakelig snakk om Elvedalen 1 og 3, samt at Molværsvegen 37, Molværsvegen 39 og Mikalgarden 1 akkurat kommer over 50 timer teoretisk maksimum. Sør-østre del av Molvær skole/SFO kommer også med noen timers margin over 50 timer total.

Det oransje området rett ved gondolbanens basestasjon ved Devoldfabrikken, der teoretisk maksimalt skyggekast beregnes til å ligge over 100 timer per år, dekker det arealet som vil disponeres som parkeringsplass, som strengt talt ikke regnes som sensitivt for skyggekast.

Det er i tillegg et areal helt i sør av kartet med til dels intenst skyggekast. Dette er området rundt nuten som stikker ut like øst for toppen av Molværsbrauta, der gondolbanen klatrer bratt opp før den fortsetter inn i skyggen av fjellene like mot sør. Det over denne nuten overgangen mellom høy og lav modellopløsning finner sted (ref. Figur 6). I dette høyt belastede området er det ingen skyggekastssensitive mottakere.

5.2 Individuelle mottakere – Verst tenkelig scenario

Tabell 1 viser resultatet av beregningene av maksimalt teoretisk skyggekast for alle de definerte mottakerne i Figur 3. Det kommer tre delresultater fra beregningen. Det første er vist i kolonnene «Timer/år». Dette er antall timer med skyggekast på mottakeren (på format *timer:minutter*). Det andre delresultatet, vist i kolonnene «Dager/år», gir hvor mange dager i løpet av året det inntreffer skyggekast på mottakeren. Det sier ikke i seg selv noe om intensiteten per dag. Ta, for eksempel, Elvadalen 3, der det kommer nesten 140 timer skyggekast fordelt over 254 dager. Dette betyr i snitt, ca. 30 minutter skyggekast per dag med skyggekast. Men, som man ser i kolonnen «Timer/dag» (på format *timer:minutter*), som gir belastningen på den verste dagen, ser vi at maksimalt mottak på én dag er 1 time og 20 minutter. Altså er det en stor overvekt av dager med mye kortere skyggekastmottak enn 30 minutter av gangen.

Tabell 1: Maksimalt teoretisk skyggekast for alle definerte mottakere.

Kolonnen «Timer/år» gir totalt antall timer skyggekast på mottakeren per år.

Kolonnen «Dager/år» gir antallet dager per år det inntreffer skyggekast i det hele tatt.

Kolonnen «Timer/dag» gir antallet timer skyggekast på den dagen med aller størst belastning.

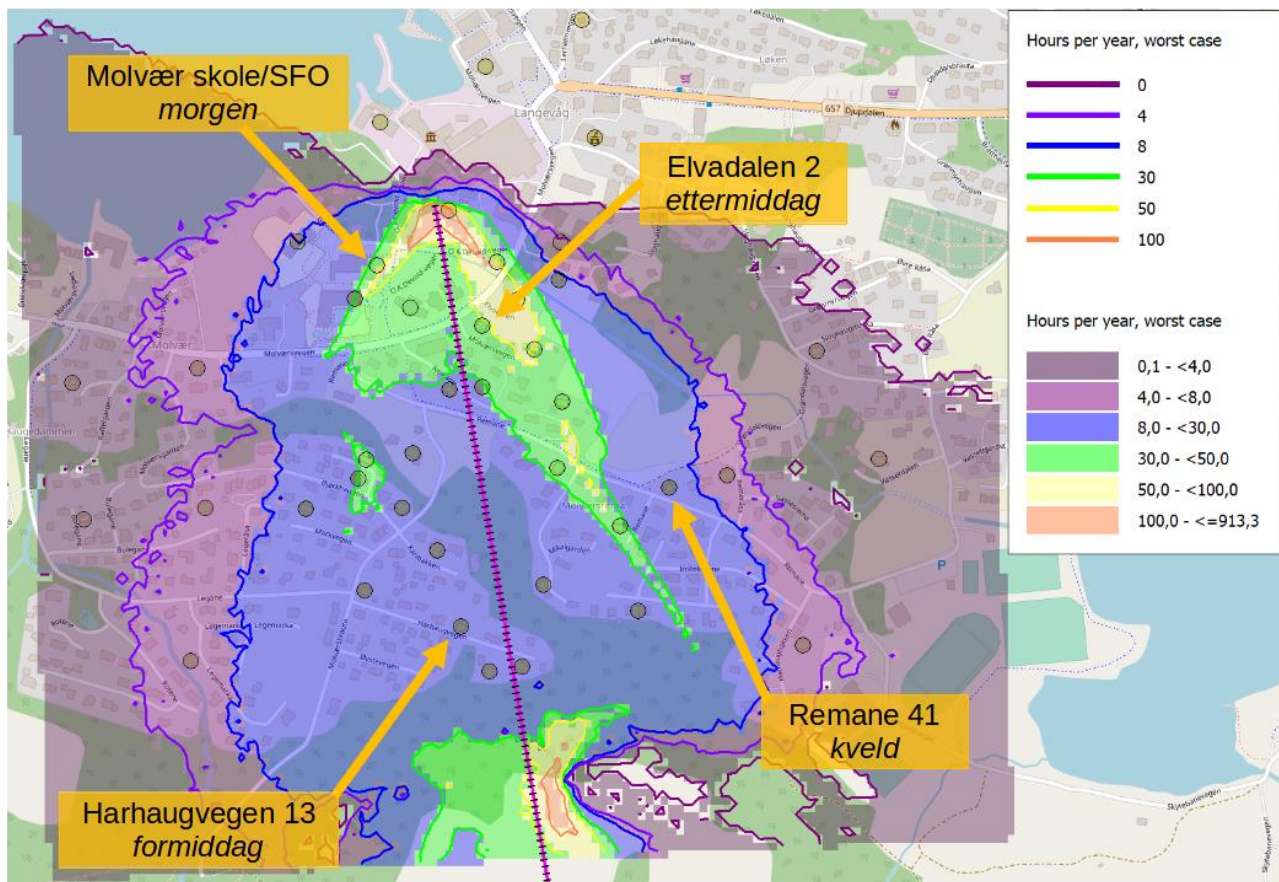
Mottaker	Timer/år	Dager/år	Timer/dag	Mottaker	Timer/år	Dager/år	Timer/dag
Bo- og behandlingssenter - Jetmundgarden 15	00:00	0	00:00	Bolig - Karibakken 5	52:22	230	00:19
Bo- og behandlingssenter - Molværsvegen 17	12:21	38	00:44	Bolig - Legemarka 49	13:21	129	00:15
Bo- og behandlingssenter - O.A. Devoldvegen 11	99:28	251	00:33	Bolig - Lerheimvegen 10	00:00	0	00:00
Langevåg barnehage	71:04	198	01:16	Bolig - Markvegen 8	28:06	158	00:20
Molvær barnehage	18:42	81	00:45	Bolig - Mikalgarden 2	91:56	248	00:48
Molvær skole/SFO	86:23	178	01:56	Bolig - Mikalgarden 28	47:27	240	00:18
Næring - O.A. Devold-vegen 8	164:51	148	03:17	Bolig - Molværsbrauta 16	53:15	234	00:25
Næring - O.A. Devold-vegen 18	00:00	0	00:00	Bolig - Molværsbrauta 39	46:57	230	00:18
Rådhus	00:00	0	00:00	Bolig - Molværsvegen 6A/B/C	00:00	0	00:00
Bolig - Bjørkhaugen 2	58:17	234	00:32	Bolig - Molværsvegen 39	116:33	254	00:48
Bolig - Bjørkhaugen 6	88:10	233	00:55	Bolig - Molværsvegen 91	13:44	119	00:12
Bolig - Bjørkhaugen 14	64:43	232	00:35	Bolig - O.A. Devold-vegen 1	125:07	193	02:09

Bolig - Bulegane 7	06:58	86	00:08	Bolig - Raffelgarden 5	05:18	68	00:08
Bolig - Bulegane 27	11:30	108	00:12	Bolig - Remane 3	62:06	252	00:22
Bolig - Elvadalen 2	113:25	260	00:39	Bolig - Remane 9	76:02	255	00:28
Bolig - Elvadalen 3	139:17	254	01:21	Bolig - Remane 23	105:07	242	00:54
Bolig - Harhaugbakken 7	14:31	109	00:18	Bolig - Remane 36	85:30	234	01:19
Bolig - Harhaugvegen 13	53:13	240	00:21	Bolig - Remane 41	30:02	159	00:23
Bolig - Harhaugvegen 18	38:51	206	00:17	Bolig - Remeråsa 4	12:25	91	00:14
Bolig - Harhaugvegen 20	39:26	200	00:16	Bolig - Slohaugmarka 2	01:35	20	00:09
Bolig - Hølevegen 45	00:00	0	00:00	Bolig - Slohaugvegen 32	27:18	118	00:48
Bolig - Instelegane 31B/33A	49:49	214	00:22	Bolig - Vassetdalen 10	02:39	29	00:09

5.2.1 Skyggekastprofiler

Fra Tabell 1 og kartet over definerte mottakere (se Figur 3) ser man at mottakere deler seg inn i fire grupper; 1) mottakere som hovedsakelig får skyggekast tidlig om morgenen, 2) mottakere som får skyggekast rundt midt på dagen, men før klokken 12, 3) mottakere som får skyggekast rundt midt på dagen, *etter* klokken 12, og 4) mottakere som får skyggekast fra ettermiddagen og utover kvelden. Figur 8 viser fire skyggekastmottakere valgt som representative for de fire gruppene.

På grunn av den komplekse geografien er det noe overlapp mellom gruppene. Men særlig mottakere som får skyggekast tidlig om morgenen har en profil som skiller seg klart fra de andre. Det er en noe mer glidende overgang mellom ettermiddags- og kveldsskygge.

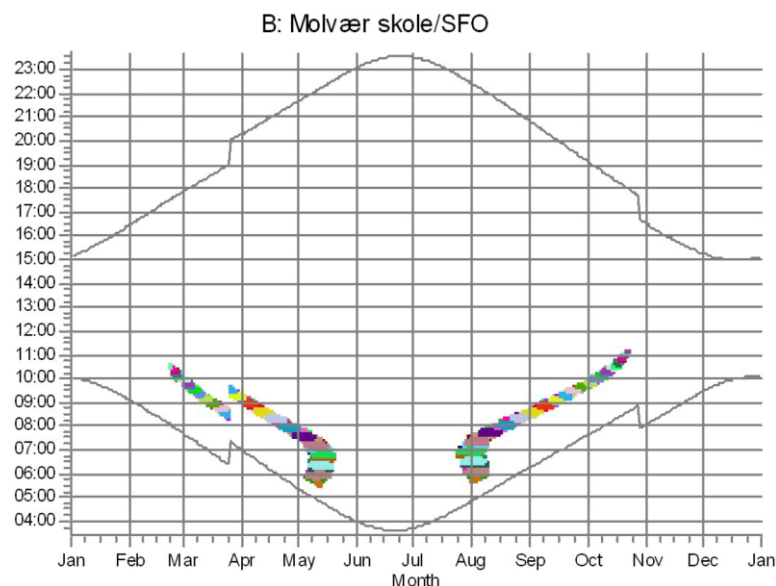


Figur 8: Utvalgte skyggekastmottakere brukt til å vise representative skyggekastprofiler for de fire gruppene av mottakere.

Morgenskygge

Figur 9 viser skyggekastprofilen for Molvær skole. Figuren viser med fargede flekker når på året og døgnet skyggekast inntreffer. Hver flekk er assosiert med en individuell vindturbin som inngår i den totale gondolbanemodellen fra Figur 4. En flekk som er lang langs månedsaksen indikerer at samme del av gondolbanen kaster skygge til samme tid på døgnet over flere dager. En flekk som strekker seg langt langs timesaksen indikerer at samme del av gondolbanen forårsaker vedvarende/sammenhengende skygge innenfor samme dag. Flere flekker som følger over hverandre oppover langs timesaksen indikerer at solbanen til en viss grad følger parallelt med gondolbanen og at det dermed kommer sammenhengende skygge mot mottakeren over flere timer.

Skyggekast inntreffer først rundt 10/10:30 mot slutten av februar, og ettersom ukene går blir skyggebelastningen mot tidligere og tidligere klokkeslett. Hoppet mot slutten av mars er skillete vinter-/sommertid. Ut mot midten av mai treffer skyggene skolen i flere sammenhengende timer allerede fra rundt klokken 5:30 til rundt 7:30. Dette er i tråd med Tabell 1 som viser at for Molvær skole er verste skyggedag ca. 2 sammenhengende timer. Fra midten av mai til slutten av juli er solbanen slik at ingen skygge treffer skolen i det hele tatt, før man deretter får det symmetriske motsatte tilfellet av våren der skyggebelastningen er stor i begynnelsen av august, og avtar gradvis utover høsten.

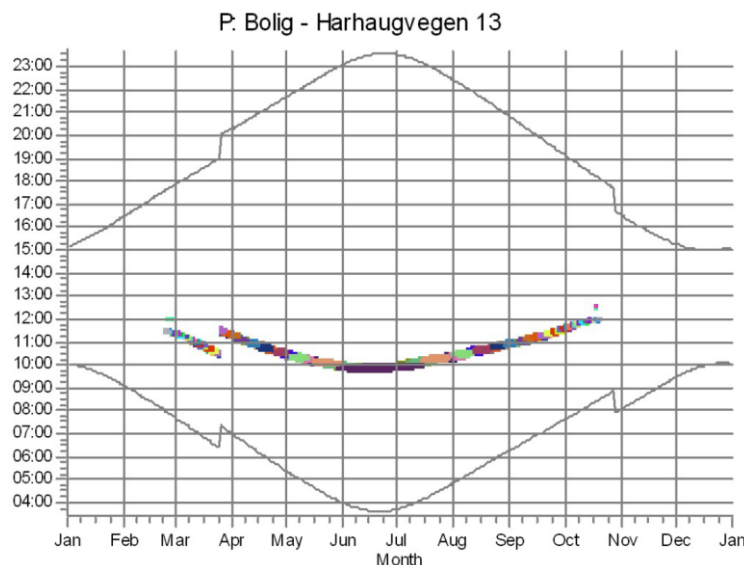


Figur 9: Representativt eksempel på skyggekastprofil over året for en mottaker som hovedsakelig blir utsatt for skyggekast om morgenen.

Skygge rundt midt på dagen, før kl. 12

Figur 10 viser et typisk eksempel på hvordan skyggekastprofilen over året arter seg for en mottaker som får skyggekast midt på dagen. Det viktigste kjennetegnet for profilen til en midt-på-dagen-mottaker er at den er sammenhengende over året. Altså, skyggeprofilen er en sammenhengende kurve hvor første skyggekast inntreffer rundt midt på dagen i løpet av februar, og deretter sammenhengende glir mot tidligere timer midtsommerstid, og så tilbake mot 12-tiden utpå senhøsten. Det er ingen sommeravbrudd i belastningen slik man ser i profilene som er karakteristiske for morgenskygge.

Harhaugvegen 13 ligger vest for gondolbanen, som medfører at ingen skygge fra gondolbanen faller mot mottakeren etter omtrent kl. 12. Dette er en konsekvens av at gondolbanen er orientert tilnærmet nøyaktig nord-sør.

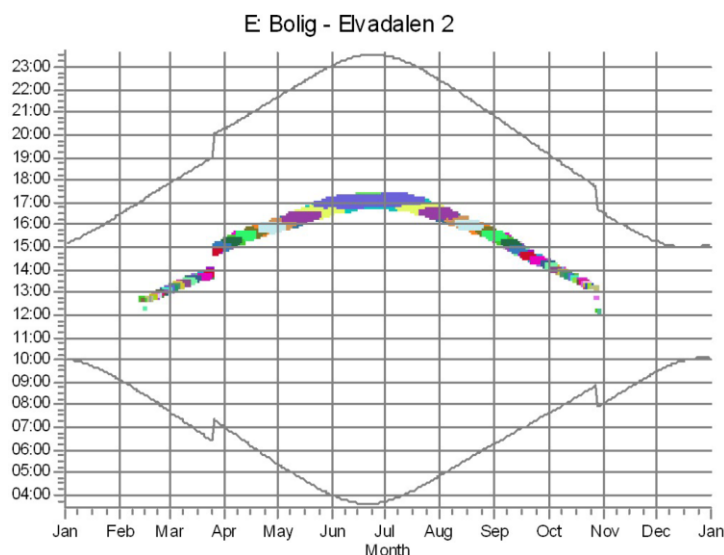


Figur 10: Representativt eksempel på skyggekastprofil over året for en mottaker som hovedsakelig blir utsatt for skyggekast midt på dagen, før klokken 12.

Skygge rundt midt på dagen, etter kl. 12

Figur 11 viser et typisk eksempel på en skyggekastprofil for en mottaker som utsettes rundt midt på dagen med oppstart etter klokken 12. Denne typen profil er en speiling av profilene fra før klokken 12 (se Figur 10), med skygger som drar seg mot senere timer ettersom sommeren nærmer seg.

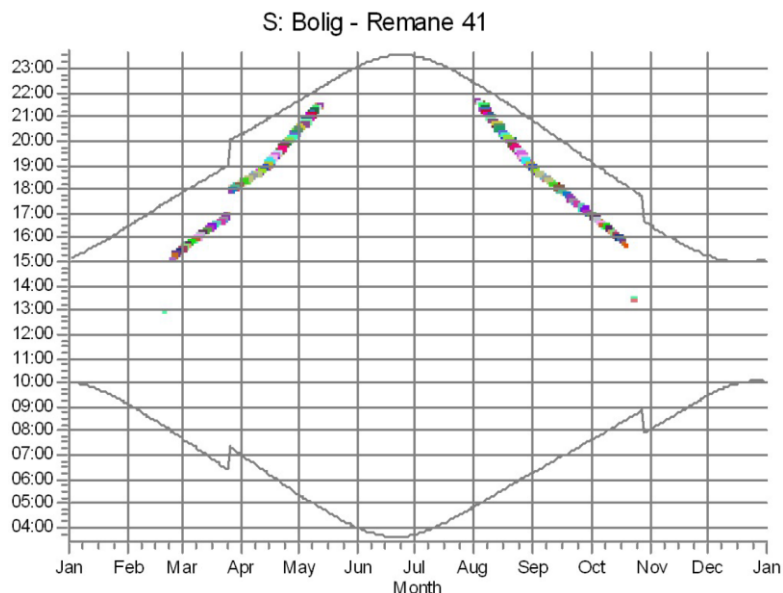
Elvadalen 2 ligger øst for gondolbanen, og dette medfører at skygge inntreffer først etter at solen har bikket vest for banen. Altså, skygge inntreffer på ettermiddagen. Det er dette som gjør at før/etter klokken 12-profilene er symmetriske om klokken-12-linja i plottene.



Figur 11: Representativt eksempel på skyggekastprofil over året for en mottaker som hovedsakelig blir utsatt for skyggekast midt på dagen, etter kl. 12.

Kveldsskygge

Figur 12 viser en typisk skyggekastprofil for en kveldsmottaker. Profilen har store likheter med morgenprofilen vist i Figur 9, men den er speilet «oppover», da skyggekast inntreffer for sene timer i døgnet. Noter at det er en noe mer diffus overgang mellom ettermiddags- og kveldsprofiler, og det er ikke kategorisk slik at kveldsprofilene alltid har et brudd i skyggemottak i sommermånedene. Noen mottakere som utsettes for mest skygge om kvelden kan ha profiler som ser litt ut som en ettermiddagsprofil som er strukket oppover mot kveldstimer, uten avbrudd om sommeren.



Figur 12: Representativt eksempel på skyggekastprofil over året for en mottaker som hovedsakelig blir utsatt for skygge om kvelden.

5.2.2 Grupper av mottakere

Tabell 2 viser hvordan skyggekastmottakerne som får mer enn null timer skyggekast fordeler seg mellom kategoriene fra forrige avsnitt. Fra dette kan man se en viktig konklusjon knyttet til geografisk distribusjon av mottakerkategorier.

Det er allerede etablert at mottakere på vestsiden av gondolbanen mottar skygge før klokken 12, fra morgen- og mormiddagssola, mens de på østsiden mottar skygge etter klokken 12, fra ettermiddags- og kveldssola. Det vi også ser er at det er et viktig skille mellom de to kategoriene på samme side av gondolbanen.

På vestsida av banen finner vi at alle mottakere som ligger nærmere banen enn 100 meter mottar skygge rundt klokken 12, mens de som er lenger unna enn dette faller i morgen-kategorien. På østsida av banen går skillet mellom de to kategoriene slik at alle mottakere som ligger innenfor den østre grensen av det grønne området i Figur 3 mottar skygge midt på dagen. Mottakere østenfor denne grensen faller i kveldskategorien.

Tabell 2: Skyggekastkategori for alle definerte mottakere som utsettes for mer enn null timer skyggekast i Tabell 1. Kategoriene svarer til skyggekastprofilene diskutert ovenfor, i avsnitt 5.2.1.

	Morgen	Midt på dagen, før 12	Midt på dagen, etter 12	Kveld
Institusjoner	Langevåg barnehage	Bo- og behandlingssenter O.A. Devoldvegen 11	Næring/parkeringsplass O.A. Devold-vegen 8	Bo- og behandlingssenter Molværsvegen 17
	Molvær barnehage			
	Molvær skole/SFO			

Boliger	Bolig - Bjørkhaugen 2	Bolig - Harhaugvegen 13	Bolig - Elvadalen 2	Bolig - Harhaugbakken 7
	Bolig - Bjørkhaugen 6	Bolig - Harhaugvegen 18	Bolig - Elvadalen 3	Bolig - Remane 41
	Bolig - Bjørkhaugen 14	Bolig - Karibakken 5	Bolig - Harhaugvegen 20	Bolig - Remeråsa 4
	Bolig - Bulegane 7	Bolig - Molværsbrauta 16	Bolig - Instelegane 31B/33A	Bolig - Sloghaugmarka 2
	Bolig - Bulegane 27	Bolig - Remane 3	Bolig - Mikalgarden 2	Bolig - Slohaugvegen 32
	Bolig - Legemarka 49		Bolig - Mikalgarden 28	Bolig - Vassetdalen 10
	Bolig - Markvegen 8		Bolig - Molværsvegen 39	
	Bolig - Molværsbrauta 39		Bolig - O.A. Devold-vegen 1	
	Bolig - Molværsvegen 91		Bolig - Remane 9	
	Bolig - Raffelgarden 5		Bolig - Remane 23	
			Bolig - Remane 36	

At det er et så definert avstandskriterie på vestsiden av banen er i stor grad knyttet til geografien. Gondolbanen går like øst for det bratte partiet Molværsbrauta klatrer opp som gjør at skyggene som faller når sola står noe høyere på himmelen ikke rekker så langt inn på det flattere området der Bjørkhaugen, Markvegen og Legane grener av fra Molværsbrauta. Skyggene faller heller rett på terrenget. Sola må altså stå veldig lavt (les, tidlig morgensol) for at skyggene fra gondolbanen skal nå inn på plataet.

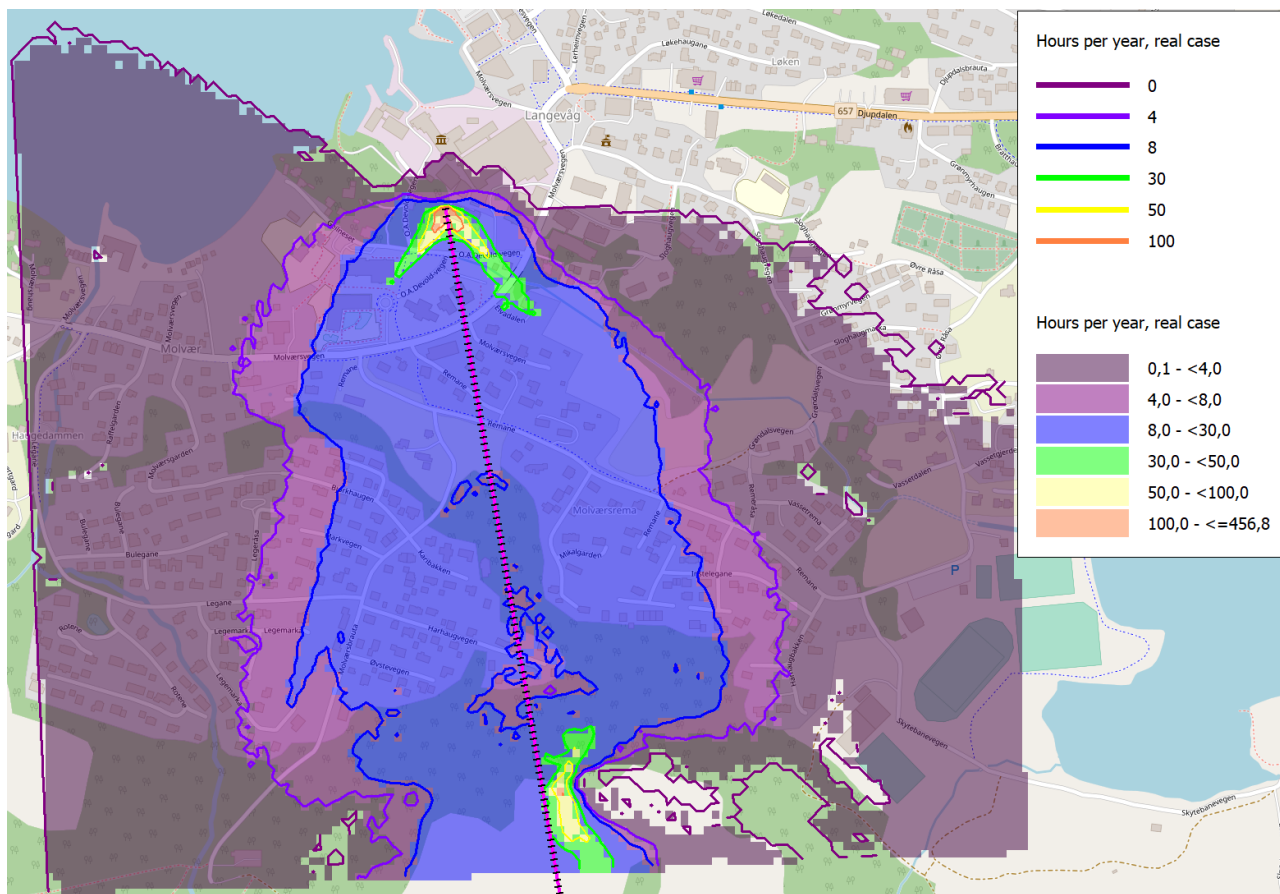
På østsiden av banen, derimot, er terrenget flattere, så det er et større vindu for hvilke solposisjoner som gir rett vinkel for å nå ut til mottakere et stykke fra banen. Dette bidrar også til det mindre definerte skillet mellom midt-på-dagen og kveldskategorien øst for banen.

5.3 Kart – Realistisk scenario

Figur 13 viser et tilsvarende kart som Figur 7, men nå er en solskinnssannsynlighet på 50% tatt med. Forskjellen i resultatet er at simuleringen først beregner teoretisk maksimum som om sola skinner hele tiden (nøyaktig på samme vis som vist i Figur 7), og deretter reduserer denne teoretiske maksimumsbelastningen med 50%, da antakelsen er at faktisk solskinn bare inntreffer halvparten av tiden. Noter at dette resultatet enda ikke tar høyde for åpningstidene til gondolbanen.

Sammenlignet med maksimalt teoretisk skyggekast krymper arealene med mer enn 30 timer forventet belastning betraktelig. En direkte anvendelse av NVEs vindturbingrenser for dette realistiske scenarioet tilsier at arealet med belastning over 8 timer per år fortsatt er stort, men dette kommer vi tilbake til i avsnitt 5.5 der vi diskuterer hvor meningsfullt det faktisk er å benytte disse grenseverdiene for en gondolbane.

Et viktig poeng som også er synlig i kartet over teoretisk maksimum er at hovedvekten av skyggebelastningen er begrenset til et belte ca. 350 meter på hver side av gondolbanen, og at ingen belastning er å forvente nord for gondolbanens basestasjon.



Figur 13: Kart over realistisk skyggekast, der 50% sjans for sol er tatt høyde for, beregnet for den bebyggelsen i Langevåg der skyggekast er forventet å være over null timer per år. Noter at gondolbanens åpningstid ikke er tatt høyde for i beregningen bak dette kartet.

5.4 Individuelle mottakere – Realistisk scenario

Den realistiske skyggekastbelastningen skiller seg fra den verst tenkelige på to viktige områder. For det første anvendes en solskinnssannsynlighet på 50% for det realistiske scenarioet. For det andre tar man høyde for den planlagte åpningstiden av gondolbanen, fra 10:00 til 19:00.

Reduksjonen i solskinnssannsynlighet håndteres i praksis ved at tallene i tabellen for verst-tenkelig skyggekastbelastning (se Tabell 1) reduseres med solskinnssannsynligheten (i dette tilfellet ekvivalent med å dele på 2). Åpningstiden håndteres ved å gi analyseprogrammet en lang liste over tidspunkter der vindturbinene som utgjør gondolbanemodellen er ute av drift og står stille. For analyser av vindparker regner man at skyggen som skyldes en stasjonær vindturbin ikke bidrar til skyggekastbelastning da den ikke beveger seg i det hele tatt.

En annen viktig forskjell fra den teoretisk maksimale skyggekastberegningen er at nå benyttes det skyggekastmottakere med definert retning. For et vindu som vender utelukkende mot nord vil ikke skyggekast som kommer sørfra regnes som belastende.

Tabell 3 oppsummerer resultatet av denne beregningen. Sammenlignet med tallene for teoretisk maksimum (se Tabell 1) er disse tallene redusert både på grunn av 50% solskinnssannsynlighet og reduksjonen i åpningstid. Mottakere som normalt skulle utsettes for skyggekast om morgenen vil i stor grad få sin belastning redusert til veldig nær null. For eksempel går Molvær skole fra teoretisk maksimum på 86 timer til bare rundt 4 timer under realistiske forhold. Bjørkhaugen 2 går fra 58 til 5 timer.

For mottakere som utsettes for skyggekast rundt midt på dagen og mot tidlig kveld, når gondolbanen kjører, synker varigheten av skyggekast kun på grunn av redusert solskinnssannsynlighet. For eksempel går Molvørsbrauta 16 ned fra 53 timer til 12 timer belastning. Elvadalen 2 går fra 113 timer til under 60 timer.

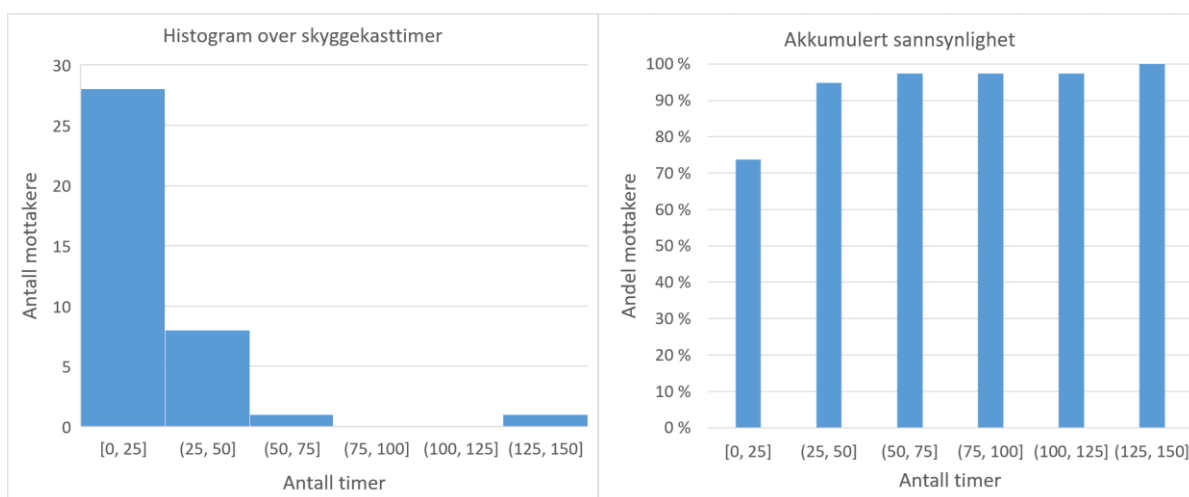
Mottakere med kveldsprofil på skyggekastet er, på samme måte som morgenmottakere, tjent med at gondolbanen stenger klokken 19, men reduksjonen om morgenen av å åpne klokken 10 er mer effektiv for skyggekastreduksjon enn å stenge klokken 19. Remane 41 går fra 30 timers maksimal teoretisk belastning til 8 timer. Slohaugvegen 32 går fra 27 til 8 timer.

Tabell 3: Skyggekasttimer for alle mottakere som hadde mer enn null belastning i Tabell 1. Resultatet viser også hvilken retning skyggekastene kommer fra.

Mottaker	Timer/år		Mottaker	Timer/år
Bo- og behandlingssenter - Molvørsvegen 17			Langevåg barnehage	
Sør (vestfløy)	04:35		Nord	00:00
Sør (østfløy)	03:03		Øst	02:32
Vest	05:15		Sør	02:23
Bo- og behandlingssenter - O.A. Devold-vegen 11			Molvær barnehage	
Nordøst	00:00		Øst	00:09
Sørøst	33:40		-	
Sørvest	12:25		-	
Næring/parkeringsplass - O.A. Devold-vegen 8			Molvær skole/SFO	
Sørøst	03:27		Nord	00:00
Sørvest	148:41		Øst	04:14
Nordvest	65:16		Sør	03:47
Bolig - Bjørkhaugen 2			Bolig - Mikalgarden 28	
Nord	00:00		Nord	00:00
Øst	05:24		Sør	25:01
Sør	04:07		Vest	17:33
Bolig - Bjørkhaugen 6			Bolig - Molvørsbrauta 16	
Nord	00:00		Nord	00:00
Øst	01:28		Øst	12:02
Sør	00:57		Sør	11:08
Bolig - Bjørkhaugen 14			Bolig - Molvørsbrauta 39	
Nord	00:00		Nord	00:00
Øst	00:34		Øst	01:21
Sør	00:30		Sør	01:11
Bolig - Bulegane 7			Bolig - Molvørsvegen 39	
Nord	00:00		Øst	02:06
Øst	00:04		Sør	25:59
Sør	00:02		Vest	24:52
Bolig - Bulegane 27			Bolig - Molvørsvegen 91	
Nord	00:00		Nord	00:00
Øst	00:02		Øst	00:00
Sør	00:03		Sør	00:00
Bolig - Elvadalen 2			Bolig - O.A. Devold-vegen 1	
Nord	00:00		Nord	00:00
Sør	58:14		Sør	36:52
Vest	43:38		Vest	38:34
Bolig - Elvadalen 3			Bolig - Raffelgarden 5	
Nordvest	28:05		Nord	00:00
Sørøst	02:24		Øst	00:00
Sørvest	29:40		Sør	00:00
Bolig - Harhaugbakken 7			Bolig - Remane 3	
Nord	00:00		Nord	00:00
Sør	02:10		Øst	24:06
Vest	02:32		Sør	29:47
Bolig - Harhaugvegen 13			Bolig - Remane 9	
Nord	00:00		Nordvest	00:00
Øst	23:21		Sørøst	20:11
Sør	21:45		Sørvest	34:14
Bolig - Harhaugvegen 18			Bolig - Remane 23	
Nord	00:00		Øst	00:02
Øst	13:12		Sør	19:10

	Sør	20:27		Vest	20:54
Bolig - Harhaugvegen 20				Bolig - Remane 36	
	Nord	00:00		Øst	00:03
	Sør	18:21		Sør	13:10
	Vest	00:00		Vest	13:29
Bolig - Instelegane 31B/33A				Bolig - Remane 41	
	Nord	00:40		Nord	00:00
	Sør	13:29		Sør	07:48
	Vest	14:49		Vest	07:44
Bolig - Legemarka 49				Bolig - Remeråsa 4	
	Nordvest	00:00		Nord	00:52
	Nordøst	00:00		Sør	00:49
	Sørøst	00:04		Vest	02:33
Bolig - Karibakken 5				Bolig - Sloghaugmarka 2	
	Nord	00:00		Nord	00:10
	Øst	13:23		Sør	00:01
	Sør	11:14		Vest	00:13
Bolig - Markvegen 8				Bolig - Slohaugvegen 32	
	Nord	00:00		Nord	00:00
	Øst	00:00		Sør	08:05
	Sør	00:02		Vest	06:27
Bolig - Mikalgarden 2				Bolig - Vassetdalen 10	
	Nordvest	26:16		Nord	00:00
	Sørøst	03:16		Sør	00:07
	Sørvest	32:58		Vest	00:12

Figur 14 viser et histogram over skyggekasttimene i Tabell 3 sammen med den akkumulerte prosentandelen av skyggekastmottakere innenfor timer-grupper på 0-25, 25-50, osv. Verdiene som benyttes i histogrammet er alltid maksimalverdien blant de tre retningsavhengige verdiene i tabellen. Det som kommer klart frem her er at blant alle definerte mottakere er 74% av dem utsatt for mindre enn 25 timer skyggekast når man tar høyde for solskinnssannsynlighet og gondolbanens åpningstid, og 95% utsettes for mindre enn 50 timer. Hvis man antar folk sover 8 timer per døgn, er det 5840 våkne timer i året. Altså utsettes man for skyggekast ca. 0.5% til 1.0% av våken tid når man bor og oppholder seg enten ute eller nær vinduer i søndre del av Langevåg.



Figur 14: Histogram over skyggekasttimer, og akkumulert prosentandel av mottakere innenfor histogram-gruppene. Figuren bruker den høyeste skyggekastverdien blant retningene for hver mottaker i Tabell 3.

Fra Tabell 3 ser man også at det er veldig lite skyggekast som kommer fra nordlig retning. Dette er å forvente, siden solen krysser himmelen mot sør, men det er med på å forklare hvorfor antallet skyggetimer er så lavt totalt sett; mesteparten av skyggebelastningen kommer fra den siden av Sula der det er høyt terreng som skjærer mye av bebyggelsen.

5.5 Bruk av NVEs vindturbingrenser for gondoler

Sammenlignet med NVE sine grenseverdier for skyggekast fra vindturbiner er det åpenbart at flere mottakere er utsatt for belastning utover dette. Men, vi mener det ikke er rimelig å anvende vindturbingrensene for gondolbaner. Det er for mange forskjeller mellom et turbinblad og en gondolkabin, og skyggene disse fører til, til at skyggekast fra en gondolbane i praksis kan forventes å være neglisjerbart med tanke på den formen for sjenerende blinking man forventer fra en vindturbin.

5.5.1 Lignende problemstilling i Tyskland

Som nevnt i kapittel 2 er det ikke etablert noen offisielle grenseverdier for skyggekast fra gondoler/gondolbaner. Det nærmeste en faktisk prøve av regelverk vi har kommet er et avvist søksmål mot en utbygger i Bayern, Tyskland, der en sak ble reist mot en planlagt gondolbane [1]. Norske regler for skyggekastgrenseverdier for vindturbiner bygger på Tysklands regelverk, så vi regner eksemplet fra Bayern som tilstrekkelig relevant for Sula Gondol til å omtale det i denne rapporten.

I saken fra Bayern er begrunnelsen for å avvise søksmålet delvis bygget på en analyse som i praksis er veldig lik den presentert i denne rapporten. Et program opprinnelig utviklet for vindturbiner ble brukt til å representere gondolbanen som en sammenhengende skyggegivende serie med vindturbiner med rotordiameter tilsvarende individuelle gondolers størrelse³. Basert på dette ble solbanen over døgnet for et år simulert, og skyggekastbelastningen for relevante mottakere beregnet. Analysen fant at for de to mottakerne som ble vurdert mottok den ene ca. 227 timer maksimalt teoretisk skyggekast per år, og den andre 294 timer per år [1, pkt. 7]. Disse verdiene ble deretter sammenlignet med grenseverdier tysk lov setter for skyggekast fra vindturbiner, som er identiske de NVE foreslår for Norge (maksimalt teoretisk skyggekast 30 timer per år, 30 minutter per dag, og realistisk skyggekast 8 timer per år). Til tross for disse verdiene som er av størrelsesorden 10 ganger over grenseverdier for skyggekast fra vindturbiner konkluderer saken i Bayern med at skyggekast fra en gondolbane ikke medfører den typen ubehag og stress forbundet med vindturbiner. Det viktigste momentet som underbygger denne konklusjonen er at en gondol som beveger seg langs banen er vesentlig tregere enn et vindturbinblad. Denne forskjellen endrer en fundamental karakter ved skyggekastet: fra et vindturbinblad kommer det en flakkende skygge som oppfattes nærmest som et «skyggeglimt», mens fra gondolen sies skyggen forbi på en måte som ikke regnes som inntrengende [1, pkt. 46 og 47].

Parallellen mot Sula Gondol er åpenbar, og selv om det ikke er gitt at lignende grenseverdier anvendes likt mellom Norge og Tyskland, peker analysen som ble gjort i Bayern på objektive momenter ved gondolbaneskyggekastets natur som er gjeldende også for norske forhold.

5.5.2 Forskjell mellom gondol og vindturbinblad

Grovt regnet roterer store vindturbiner med ca. 20 rotasjoner i minuttet. Standard er at en rotor har tre blader, og dermed flakker et blad over solskiven ca. en gang per sekund. Det er nettopp denne flakkingen som leder til ubehaget man føler når man utsettes for turbinskyggekast; det kommer veldig hyppig, og hvert individuelle kast arter seg som en form for blinking.

Gondolbanen, derimot, beveger seg med en marsjhastighet på 6 m/s, og under full drift passerer en gondol et gitt punkt hvert 15. sekund. Dette arter seg ikke som den typen strobe-effekt man får fra en vindturbin, siden gondolkabinen passerer foran solskiven såpass mye tregere.

³ Notatet henviser til referanse [1] gir ikke innsyn i selve rapporten, men programvaren som ble brukt i analysen utført i forbindelse med den saken er helt sikkert tilsvarende WindPRO som ble brukt til analysen utført i denne rapporten for Sula Gondol.

I tillegg til dette er store deler av gondolkabinens volum gjennomsiktig, da vegger og dører er av glass. Figur 15 viser en illustrasjon av gondolkabinene slik de er tenkt. Siden mesteparten av veggene er klart glass vil en skygge som kastes fra gondolen være noe mer diffus enn skyggen som kastes fra et turbinblad. Dette vil skyldes en kombinasjon av noe lysbrytning knyttet til gondolkabinens form, og noe knyttet til at glasset er gjennomsiktig. Noter at antallet passasjerer i en gitt kabin vil påvirke noe hvor gjennomsiktig kabinen fremstår.



Figur 15: Visualisering av en gondolkabin, med stor andel av flatene i klart glass.

Siden skyggekast gjerne kommer når solen står relativt lavt, og gondolene ikke henger veldig høyt over bakken, vil det i stor grad være glassveggene i gondolkabinen som «skygger» for solen, fremfor tak og gulv. Dette bidrar til å redusere tettheten til skyggen.

6 Konklusjoner

Våre beregninger viser at dersom man oppholder seg enten ved et vindu eksponert mot sørøst, sør eller sørvest, eller oppholder seg ute i søndre del av Langevåg kan man forvente å utsettes for mindre enn 54 timer skyggekast fra gondolbanen når man tar høyde for solskinnssannsynlighet og gondolbanens åpningstider. Dette utgjør mindre enn 1% av våkne timer (antar 8 timer søvn per døgn) over et helt år, eller ca. 10 minutter om dagen i gjennomsnitt. I lys av både den lignende problemstillingen i Bayern i Tyskland, samt at gondolene som skal installeres har stor andel gjennomsiktige glassflater, konkluderer vi med at den allerede beskjedne beregnede skyggekastbelastningen ikke utgjør noen kilde til ubehag for mottakere slik den ville gjort dersom kilden var en roterende vindturbin. I praksis forventer vi at skyggekast fra gondolbanen ikke vil utgjøre en tilstrekkelig stor konsekvens for lokalsamfunnet til at dette skulle sette en stopper for utbyggingen.

7 Referanser

- [1] Bayerische Staatskanzlei, *Unsuccessful neighbor lawsuit against a building and operating permit for a cable car extension*, <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/Y-300-Z-BECKRS-B-2019-N-34159?hl=true>, Oversettelse fra tysk: Google Translate, dato sist besøkt: 31.05.2023.
- [2] NVE, *Skyggekast fra vindturbiner*, <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/kunnskapsgrunnlag-om-virkninger-av-vindkraft-paa-land/skyggekast-fra-vindturbiner/>, dato sist besøkt: 31.05.2023.
- [3] NVE, *Skyggekast fra vindkraftverk, Veileder for beregning av skyggekast og presentasjon av NVEs forvaltningspraksis*, https://publikasjoner.nve.no/veileder/2014/veileder2014_02.pdf