



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Ivan Katic, Energi og Klima Divisionen

Notat vedrørende refleksion fra solcelleanlæg

November 2014

Notat vedrørende refleksion fra solcelleanlæg

Indhold:

| | |
|------------------------------------|---|
| Indhold:..... | 2 |
| Baggrund | 3 |
| Glansværdi..... | 3 |
| Standarder for bygningsglas..... | 4 |
| Målinger på solcellepaneler | 5 |
| Geometriske forhold | 6 |
| Beregning af blændingsrisiko | 7 |
| Anbefalinger | 8 |
| Eksempler | 9 |

Ivan Katic
Energi og klima
Teknologisk Institut
November 2014

Udarbejdet under Resultatkontrakt X5

Baggrund

Teknologisk Institut får løbende forespørgsler fra kommuner og andre bygherrer om, hvilke krav man bør stille til minimering af lysrefleksion fra solcelleanlæg, ud fra en bekymring om at genskin af sollys fra større solcelleanlæg vil kunne genere naboer og trafikanter, herunder flytrafikken. I visse tilfælde har kommuner stillet krav ud fra gældende retningslinjer for tagflader, hvor der mange steder er defineret en maksimal såkaldt glans værdi. Da der tilsyneladende ikke er nogen fælles praksis på området, samt en del forvirring om begreberne, vil dette notat søge at beskrive fysikken bag lysrefleksion lidt nærmere.



Fig.1 Eksempel på blænding fra et anlæg som vender mod vest sydvest. Taget 5. juni formiddag.[TI]

Glansværdi

I mange kommuner er det som nævnt praksis at vurdere genskinnet fra tagflader ud fra en såkaldt glansmåling, ofte i forbindelse med sager om glaserede tagsten. Glans skalaen stammer fra malerbranchen, hvor faktoren angiver om den hærdede overflade fremstår mat, halvmat, helblank o.s.v. Teknologisk Instituts materialedivision udfører akkrediterede overflademålinger af glans ud fra standarden **DS/EN ISO 2813 : Bestemmelse af spejlglass af film af ikke-metalliske malinger**.

Det engelske abstract for standarden lyder:

“This International Standard specifies a method for determining the gloss of coatings using the three geometries of 20°, 60°, or 85°. The method is suitable for the gloss measurement of non-textured coatings on plane, opaque substrates. NOTE On test specimens different from these mentioned above comparative gloss measurements are possible. However, it is not ensured that the obtained gloss values correspond to the visual gloss perception (see annex A).”

Det fremgår således tydeligt at måling efter denne standard IKKE giver et entydigt billede af den visuelle oplevelse af spejlvirkningen fra en given overflade og at metoden IKKE egner sig til transparente eller

teksturerede overflader (som benyttes meget til solcelleglas). Desuden måles der kun ved nogle bestemte ind- og udfaldsvinkler således at kun den direkte reflekterede lysintensitet måles.

Glansskalaen går fra 0 (helmat) til 100 (helblank). Det er en arbitrær skala for spejlblankhed og ikke en % værdi.

De måleopgaver der alligevel er gennemført af glans på solcellemoduler har i praksis udvist stærkt varierende glansværdier uden at der har været større visuel forskel på produkterne. Med de store forbehold som beskrevet ovenfor, må man også stille alvorligt spørgsmålstegn ved om metoden i det hele taget kan bruges til på en objektiv måde at definere de visuelle refleksionsgener fra en hvilken som helst overflade, idet standarden er lavet for at beskrive spejlblankhed af lak/maling og ikke andet. En blank sort og en blank hvid overflade kan således have samme glansværdi, men giver helt forskellige mængder tilbagekastet lys.

Standarder for bygningsglas

Hvilke alternative målemetoder findes så? Det mest nærliggende vil være at se på glasbranchen, hvor EN/DS 410 beskriver nogle vigtige egenskaber for bygningsglas:

EN/DS 410 Bygningsglas - Bestemmelse af lys- og solstrålingskarakteristika

"Denne europæiske standard specificerer metoder til bestemmelse af egenskaber for lys- og solstråling i bygningsglas. Disse egenskaber tjener som basis beregninger for belysning, opvarmning og køling af rum og tillader sammenligning mellem forskellige typer glas. Denne europæiske standard anvendes for både konventionelle glas og til absorberende eller reflekterende solkontrollerende glas anvendt i lodrette eller vandrette glaspartier."

Hvad angår refleksion af synligt lys er det begrebet lysreflektans som anvendes. Denne er i standarden defineret som den totale andel reflekteret lys som tilbagekastes fra en nær-vinkelret lysstråle som sendes ind på glasset. Refleksionen måles således som en sum af alle reflekterede retninger. Svagheden ved denne metode er at lyset i praksis vil ramme ved andre indfaldsvinkler, og det reflekterede andel vil typisk stige med faldende indfaldsvinkel. Desuden kan lysreflektansen være den samme for produkter med meget forskelligt refleksionsfordeling, idet metoden ikke skelner mellem direkte og diffus refleksion. (skarp refleks over en lille rumvinkel eller blød refleks over en større rumvinkel)

Skalaen går fra lysreflektans 0-1(0-100% tilbagekastning af lys med bølgelængde 380-780 nm)

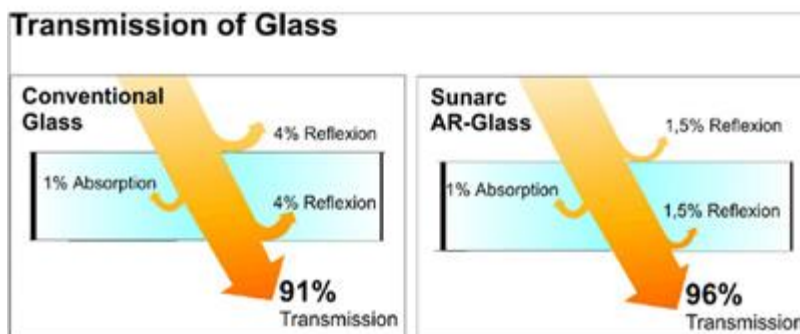


Fig.2 Lysets vej gennem glas. Solcelleglas er optimeret for maksimal transmittans af hensyn til virkningsgraden. (Kilde: Sunarc)

Målinger på solcellepaneler

Der er gennemført enkelte studier af den rumlige fordeling af reflekteret lys fra solcellemoduler. Disse målinger kan udføres med et såkaldt goniometer, som består af en lyskilde samt en lysfølsom detektor som begge kan bevæges hen over en halvkugle på den ene side af glasset. Målingen udføres i mørkekammer, og giver et billede af lysreflektansen som funktion af indfaldsvinkel. De fleste glasoverflader vil reflektere mere lys jo stejlere indfaldsvinklen bliver, hvilket man f.eks. kender fra spejling i en vandoverflade når solen er ved at stå op eller gå ned.

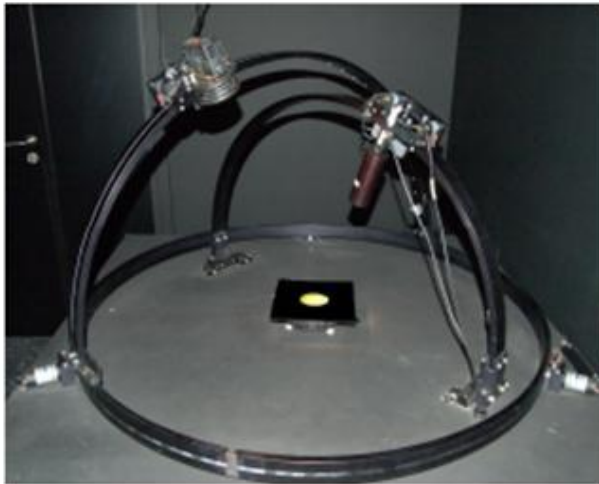


Fig.3 Eksempel på goniometer konstruktion, testemne i centrum
<http://www.biw.kuleuven.be/m3-biores/geomatics.htm>

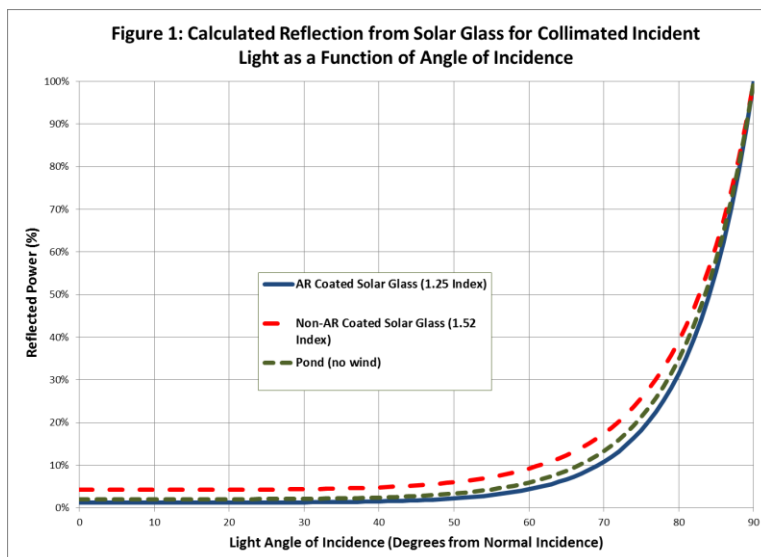


Fig.4 Typisk vinkelafhængighed for reflektans af glas. Det fremgår at reflektansen stiger kraftigt når lyset rammer næsten parallelt ned på overfladen. [Evaluation of Glare Potential for Photovoltaic Installations August, 2012. Stephen P. Shea, Ph.D., Chief Engineering Officer, Suniva, Inc., Norcross, GA]

En sammenligning mellem solcellemoduler og almindeligt vinduesglas viser at refleksionsegenskaberne som udgangspunkt er næsten ens for de to produkter. Refleksionen er udelukkende en funktion af glassets

brydningsindex, så vejen til lavere reflektansværdier går gennem valg af andre materialer end glas eller behandling af overfladen med forskellige antirefleks teknikker så som coating, ætsning eller teksturering. Som alternativ til glas, har enkelte producenter valgt at bruge teflon plast til det ydre dæklag, og disse har erfaringsmæssigt bedre egenskaber med hensyn til lysreflektans. Solafskærmende bygningsglas har stærkt forøget reflektans i forhold til solcellemoduler, fordi man jo netop søger at holde energien ude.

Man kan derfor konkludere at risikoen for blænding som udgangspunkt er lavere fra solcelleinstallationer end for andre overflader med glas, så som drivhuse eller glasfacader

Dansk Solenergi Int. har dokumenteret de store visuelle forskelle der kan optræde fra samme type solcellepanel, men med forskelligt glas:

"LIVE" udendørs billeder med direkte sollys.

DK Danish Solar Energy LTD - Dansk Solenergi ApS
 Flensborg 3 Fax: +45 3643 7788
 DK-8400 Sønderby, Lolland Phone: +45 3643 7787
 export@dansksolemergi.dk VAT id: DE238890323
 Homepage: www.dansksolemergi.dk

Måned: Marts, tid: kl. 12

RHEM 200

RHEM 400

RHEM 600

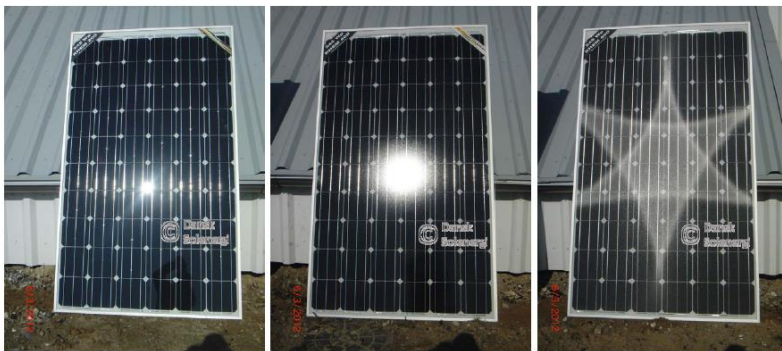


Fig.5 Glassets overfladeruhed er stigende fra venstre mod højre. Ulempen ved den høje ruhed er at snavs lettere sætter sig fast på glasset. [RHEM antireflektive solcellepaneler, Dansk Solenergi]

Samlet set må det konkluderes, at en fyldestgørende og objektiv beskrivelse af de optiske egenskaber for et givet produkt vil være vanskelig at opnå i praksis, da de færreste fabrikanter har undersøgt den rumlige fordeling af overfladens lysreflektans. Mange glasfabrikanter angiver dog reflektansen ved nær vinkelret indstråling, og så må man benytte en typisk korrektionskurve for vinkelafhængighed til at antage værdier ved andre indfaldsvinkler.

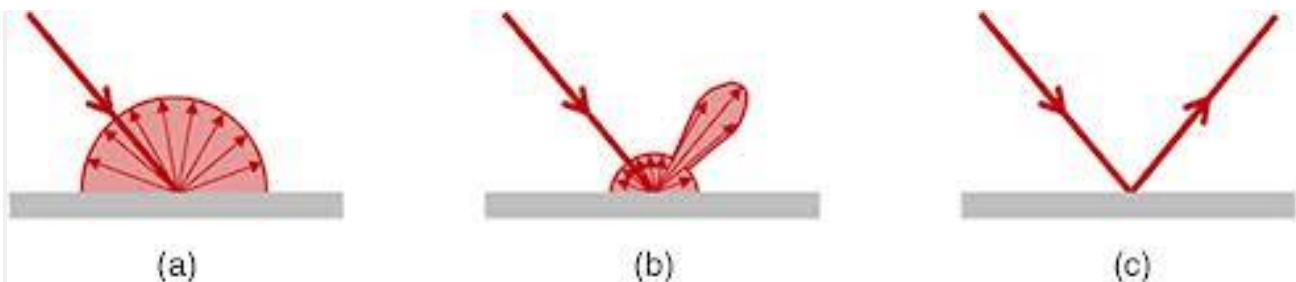


Fig.6 Illustration af diffus refleksion (a), delvist spejlende(b) og fuldt spejlende overflade(c)

Geometriske forhold

Ved siden af de materialemæssige egenskaber, er det vigtigt at fastslå at solens position på himlen i forhold til et solcelleanlæg og betragteren, er af helt afgørende betydning for om der er tale om genevirkning fra

blænding. I modsætning til andre tagbelægnings vender solcelletage som oftest mere eller mindre mod syd, og der skal derfor nogle særlige forhold til, for at en beskuer kan opleve blænding fra anlægget:

- 1) Solcelleanlægget skal have en tilpas stejl hældning, så solen kan blive reflekteret ned mod jordniveau
- 2) Solen skal stå så langt nede at reflekser bliver kastet nedad/til siden
- 3) Afstanden til betragteren må ikke være for stor (så spredes lyset tilpas meget til at det ikke generer væsentligt)

En stor tysk undersøgelse om lysforurening angiver følgende definition af blænding:

- Fysiologisk blænding som optræder ved en lystæthed $> 10^5$ Candela/m²: Det kaldes absolut-blænding hvor øjet bliver momentant blændet og ude af stand til at se i det samlede synsfelt. Måleenheden for lysstyrke Candela [Cd] er defineret ud fra menneskets synssans, som er mest følsomt for det grønne lys. Solens lystæthed er op til $1,5 \cdot 10^9$ Candela/m², så selv en meget beskeden andel som reflekteres fra en overflade kan overskride værdien for fysiologisk blænding. Derfor er spredningsvinkel/diffusion og afstand til den reflekterende flade af stor betydning.
- Psykologisk blænding: Optræder ved lavere lystætheder end ovenfor og er synsforstyrrelse på grund af store kontraster indenfor synsfeltet. Her er det bestemmende hvordan samspillet er mellem lystæthed af den betragtede lyskilde(refleks) og omgivelserne, samt lyskildens rumvinkel set fra øjet. Reflekser fra et solcelleanlæg på en snedækket mark vil derfor ikke være så generende som reflekser fra et anlæg på en pløjemark.

Et anlæg som ligger mere end 100 m væk fra betragteren giver ifølge undersøgelsen kun kortvarig blænding, for store solcelleparker kan afstandskravet dog være større.

Den mest kritiske position for blænding er hvis man befinder sig øst eller vest for anlægget og med en afstand under 100 m.

I anvisningen er det foreslået at man kan acceptere blænding i op til 30 minutter pr dag eller 30 timer pr år fra alle omgivende solcelleanlæg til en bestemt position, f.eks. en terrasse.

Som afværgeforanstaltninger mod blænding foreslås:

- Beplantning eller hegn rundt om jordplacerede anlæg
- Optimering af hældning og orientering
- Valg af moduler med lav/diffus refleksion

[Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) Beschluss der LAI vom 13.09.2012]

Beregning af blændingsrisiko

I USA har den statslige organisation Sandia udarbejdet et offentligt tilgængeligt beregningsprogram til evaluering af blændingsrisiko, først og fremmest med henblik på risikovurdering med hensyn til flytrafik nær store solcelleanlæg:

Programmet skal som inddata bruge panelernes spredningsvinkel og reflektansværdi foruden afstanden mellem flade og betragter. Som default værdier er foreslået reflektans 0,1 som gennemsnit for alle vinkler, samt en spredningsvinkel på 7 grader.

Reflectivity of PV module: Specify the solar reflectance of the PV module. Although near-normal specular reflectance of PV glass (e.g., with antireflective coating) can be as low as ~1-2%, the reflectance can increase as the incidence angle of the sunlight increases (glancing angles). Based on evaluation of several different PV modules, an average reflectance of 10% is entered as a default value.

Slope error: This parameter specifies the amount of scatter that occurs from the PV module. Mirror-like surfaces that produce specular reflections will have a slope error closer to zero, while rough surfaces that produce more scattered (diffuse) reflections have higher slope errors. Based on observed glare from different PV modules, an RMS slope error of ~10 mrad (which produces a total reflected beam spread of 0.13 rad or 7°) appears to be a reasonable value.

Anbefalinger

På baggrund af litteraturstudier samt egne oplevelser med reflekser fra forskellige solcelleanlæg, er det Teknologisk Instituts opfattelse at det vil kræve avancerede målinger og beregninger at fastlægge de visuelle gener fra et givet solcelleanlæg på en entydig og objektiv måde. Den afgørende faktor for om der vil opstå blændingsrisiko på en given position er af geometrisk natur, mens blændingens intensitet både er bestemt af lysreflektansen (som angiver procenten af reflekteret lys) samt den rumlige fordeling (som angiver hvor spredt det reflekterede lys sendes tilbage)

Teknologisk instituts vurdering af blændingsrisiko fra solcelleanlæg på tage og facader ved forskellige montagesituationer er angivet i følgende tabel:

| Risikovurdering for reflekteret sollys i jordniveau | Anlæggets hældning | | | |
|---|--------------------|--|---|---|
| | Vandret | Lav hældning | Stejl hældning | Lodret (facade) |
| Sydvendt anlæg | Ingen | morgen/aften omkring jævndøgn | Ved høj sommersonne hvis anlægget er stejlere end 58 grader | Mest ved lav sol, bortset fra umiddelbart syd for anlægget hvor høj sol også kan genere |
| Øst/vest anlæg | Ingen | Ved lav sol midt på dagen (vinter) samt sommer morgen/aften hvor solen går om mod nord | Midt på dagen når solen står omtrent i syd | Vintersol midt på dagen samt solopgang/nedgang |
| | | | | |

Kombinationen af øst- eller vestvendt anlæg og en relativ stejl montagevinkel giver risiko for at reflektere solen når den er kraftigst (midt på dagen) og er derfor vurderet til at være den værst tænkelige situation. I dette tilfælde bør det eftervises at der ikke er følsomme områder som er berørt af det reflekterede lys inden for en afstand af for eksempel 100 m.

Tabellen er kun vejledende, og gælder ikke for stærkt kuperet terræn, hvor anlægget kan ligge lavere end det sted man vil undersøge for refleksionsgener.

Ved høj risiko for refleksion bør man vælge et solcelleprodukt med ikke spejlende overflade. Ved store solcelleprojekter i potentielt lysfølsomme områder, herunder lufthavne, bør det foretages en detaljeret analyse af den konkrete udformning.

Eksempler

For at illustrere beregningsmetoden er der gennemført en række standardberegninger med ovennævnte simuleringsprogram, som vist nedenfor.

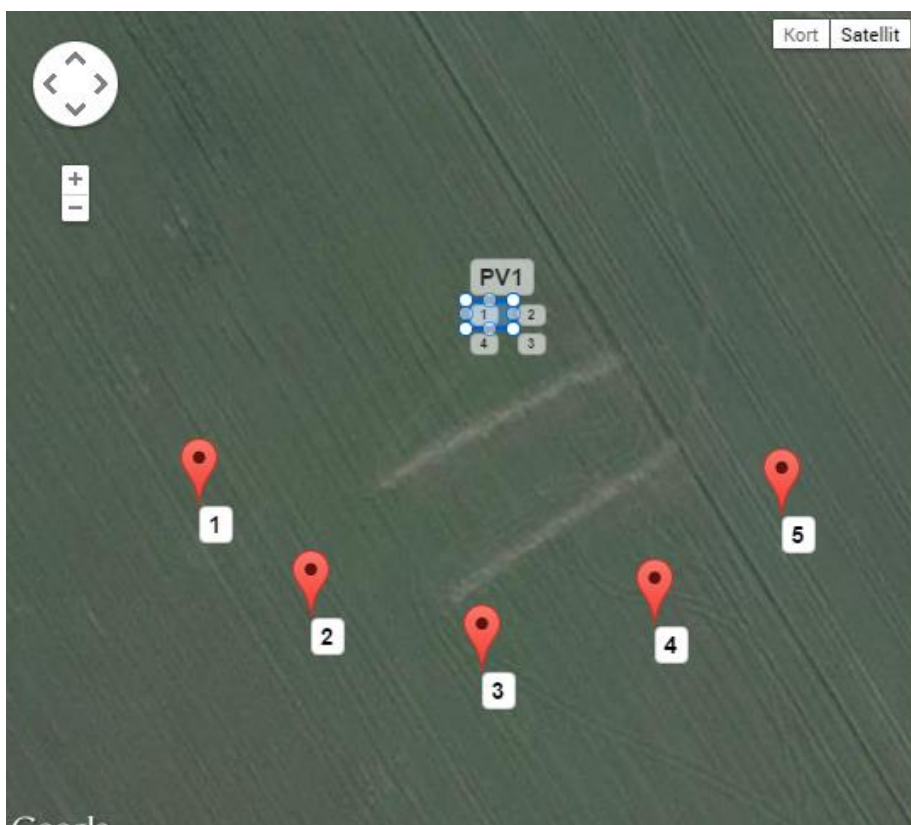


Fig.7 Sydvendt anlæg med en række observationspunkter placeret ca 100 m væk

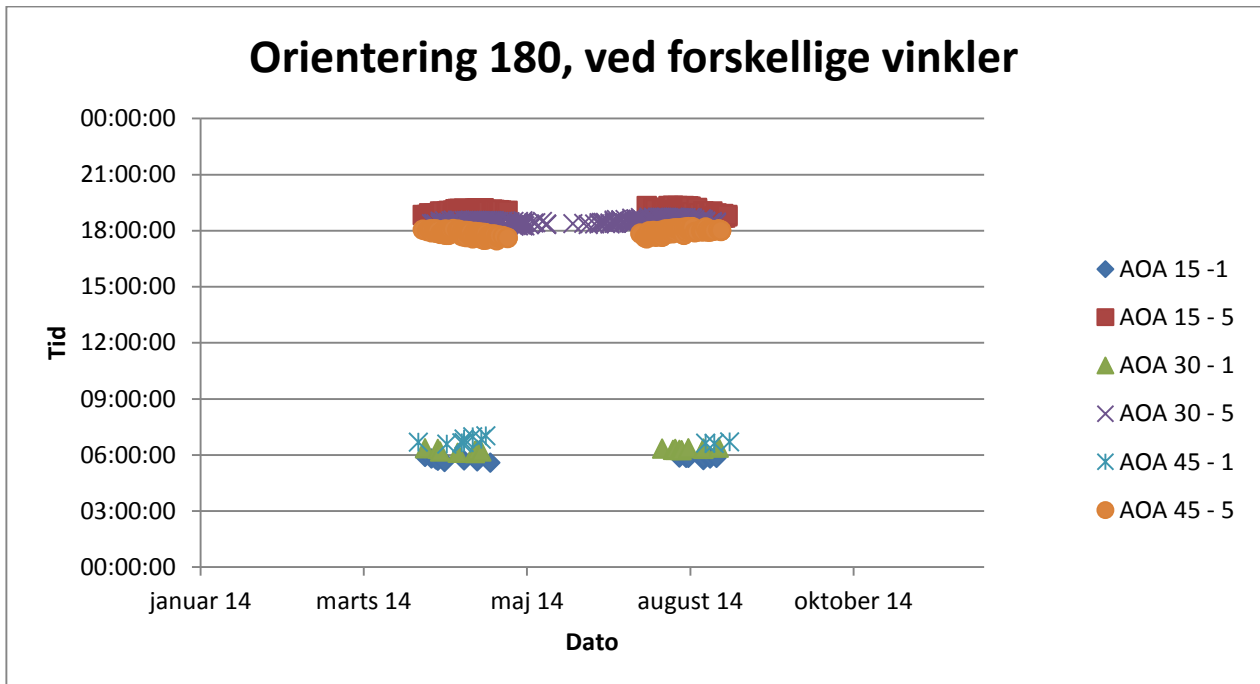


Fig.8 Årstider og tidspunkter for beregnet blænding ved taghældninger på henholdsvis 15, 30 og 45 grader. Det er kun for punkt 1 og punkt 5 at der optræder blænding. Hvert punkt repræsenterer en time.

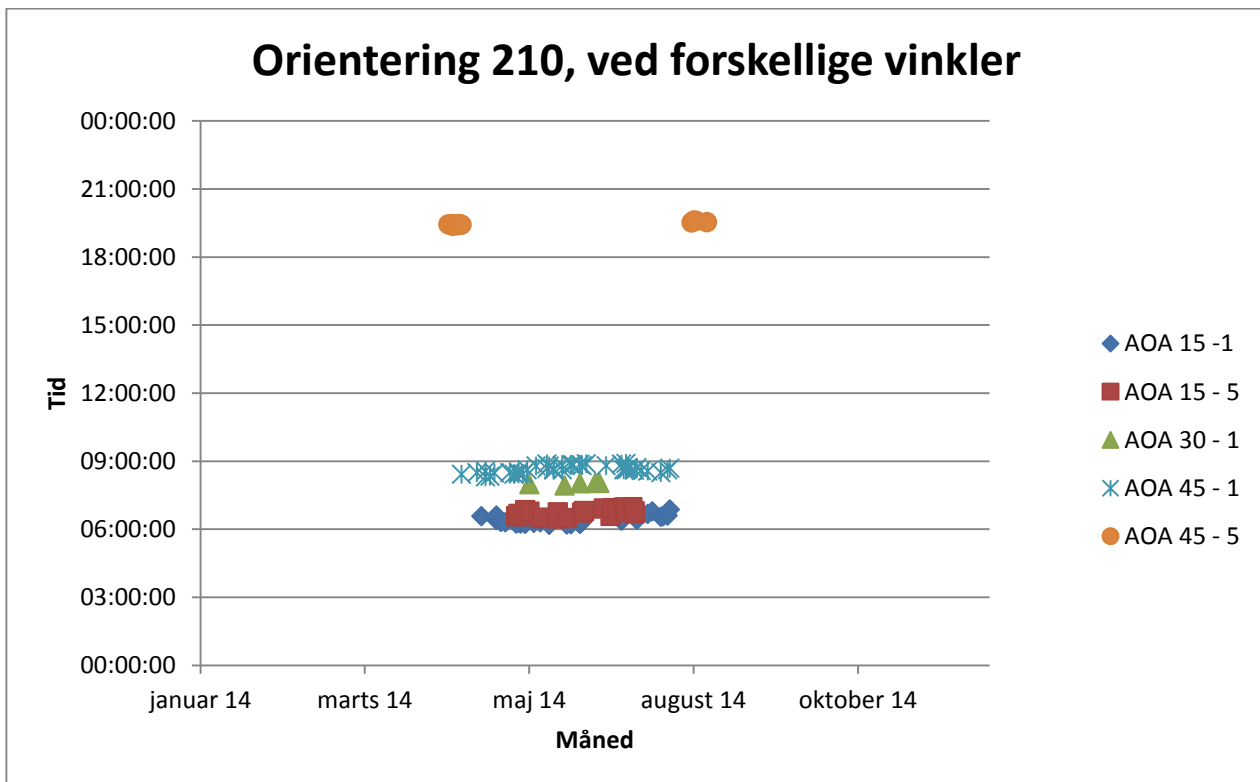


Fig.9 Samme eksempel, men nu er anlægget drejet 30 grader mod vest i forhold til før.