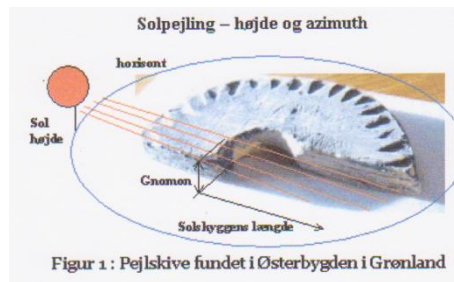
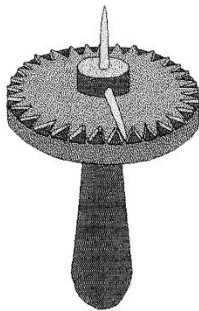


Solenergi – utfordringer og utnyttelse -fotolektrisitet, -fotosyntesen, -helseaspekter

Jan Aske Børresen jab@tidevakt.no www.soldata.no

Før vi går løs på solenergi og utnyttelsen av den vil jeg fremheve solen som navigasjonshjelpemiddel. Det er jo utnyttelse av solen det er. Du har glemt det, men når du løper orientering, ja så løper du rundt for å finne øst – orienten. Å finne øst var den sikreste himmelretning man kunne forholde seg til før kompasset ble oppfunnet. Øst var retning til soloppgangen på vårjevndøgn. Alle våre kirker er, skal være, rettet mot øst. Syd var det når solen sto høyest på himmelen. Ottar fra Hålogaland forteller fra sin ferd til Hvitehavet omkring år 880 at når han skulle foreta kursendring skjedde dette fra land og ikke ute på åpne havet. Å navigere på åpent hav var forbundet med stor risiko. Vikingene gjorde mange sol observasjoner og kjente solens bane over himmelen i de ulike årstider.¹ De gamle brukte breddegradsnavigasjon, en enkel skive med en pinne. Hvis sol vinkelen var blitt større, dvs kortere skygge så var man for langt mot sør, var sol vinkelen mindre var man for langt mot nord. Figuren til høyre viser en peilekive som ble funnet på Grønland i 1948. Det er mulig at den så ut som illustrasjonen til venstre.



Ø Erik Torpegård, Vikingernes peilekive kortlagde Vinland

Figur 1 : Peilekive funnet i Østerbygden i Grønland

Ifjor presenterte jeg her på NGF seminaret en nøyaktig algoritme for å beregne solhøyden og azimuth, hvor som helst på jorden, hvilken som helst dag, fra år -2000 til år 4000². Som et lite intermesso skal vi se på en anvendelse av SOLBANE programmet. Vi spør, var det Vinland som Helge Ingstad fant på L'Anse aux Meadows i 1960(ref³)?

Eigils Raudes saga (ref⁴) omtaler både oppdagelsen av Grønland og Leiv Eiriksons sjøferder til Vinland. De som var med på ferden bemerket at –det var mer jamndøgr der enn på Grønland eller Island (dag og natt var omtrent like lange). **Solen hadde eyktarstad og dagmålartad på skamdagen**(ref⁵). Definisjonen av eyktarstad er ikke helt avklart. Denne diskusjon må andre ta. I dette foredraget vil vi

¹ <http://arild-haige.com/navigasjon.htm>

² Jan Børresen, Lys og mørke i nord. Beregning av solens bane på mobiltelefon med en nøyaktighet på 0.0003° NGFs Geilo-symposium 2009.

³ Anne Stine Ingstad, Det nye land med de grønne enger, Gyldendal,Oslo 1975.

⁴ http://www.sagadb.org/eiriks_saga_rauda.no

⁵ Grønlandssagaen, Flatøyboken.

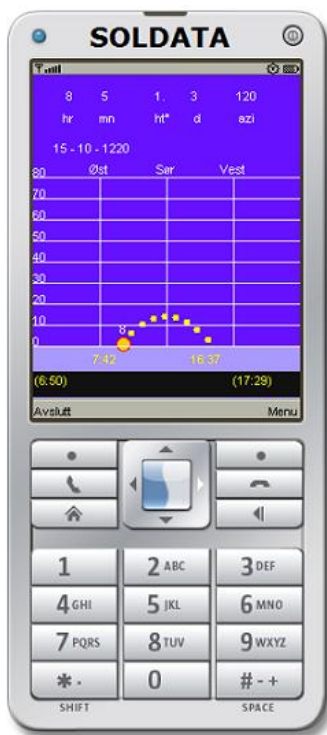
forholde oss til Snorre (1179 – 1241) som i Edda⁶ skriver at på hans gård på Island begynner vinterhalvåret når solen går ned i eyktarstad. Gården ligger på $64^{\circ} 50' 00''$ N og $21^{\circ} 18' 00''$ W, Figur 1.



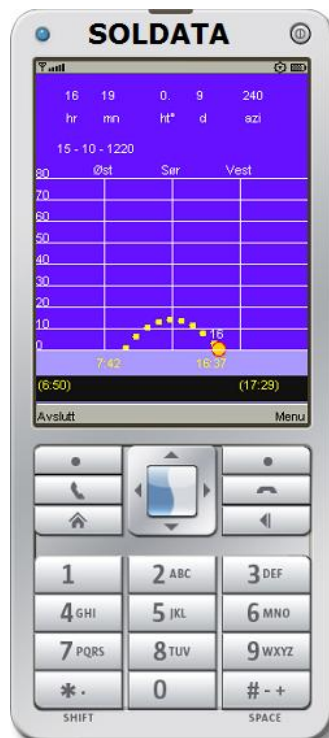
Dagmálarstad, mest sannsynlig det sted på himmelen der sola sto når man skulle begynne å arbeide.
Eyktaarstad, det sted på himmelen der sola sto når økta var ferdig.

Figur 1 Snorres gård Røkholt på Island

Vi legger posisjonene $64^{\circ} 50' 00''$ N og $21^{\circ} 18' 00''$ W inn i SOLDATA, og benytter datoen 15. oktober 1220, Snorre var da 41 år. Vi ser at solen står opp i azimuth lik 120° (Figur 2) og går ned i azimuth 240° regnet fra nord (Figur 3). *Eyktaarstad* er meridianen som går 60° vest for sør.⁷ *Dagmálarstad* retningen på himmelen til 60° øst for sør.



Figur 2 Solbanen på Snorres gård 15. oktober år 1220. Sol opp i dagmálarstad azimuth= 120°

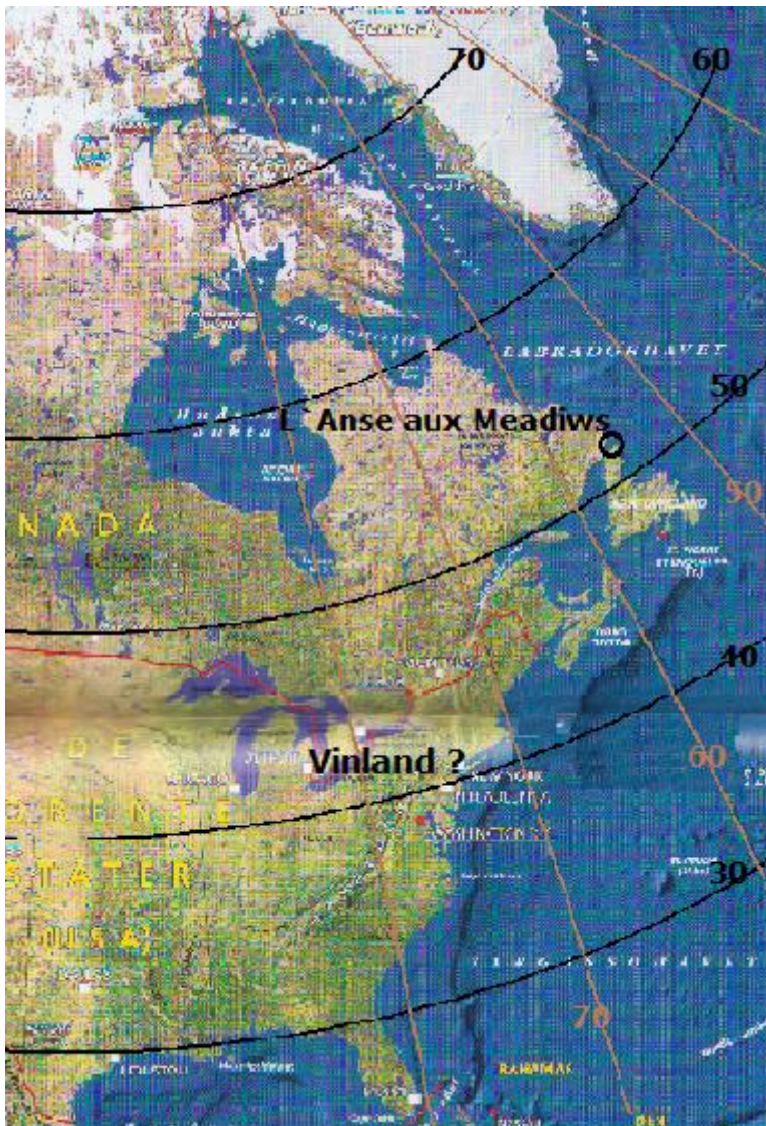


Figur 3 Solbanen på Snorres gård 15. oktober 1220. Sol ned i øktaarstad azimuth = 240°

⁶ "Høsten varer fra høstjevndøgn til solen går ned i eyktarstad"

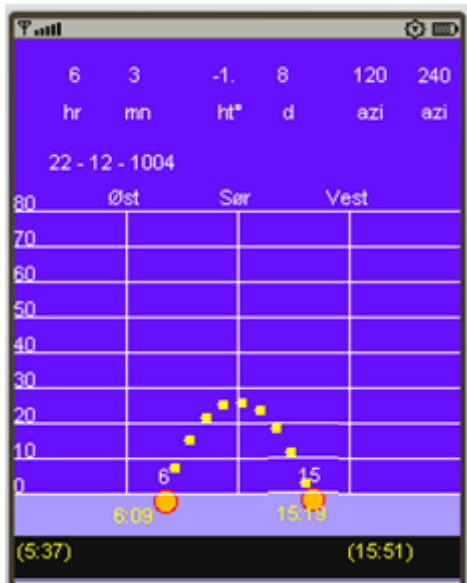
⁷ I den islandske lovboten Grágás står det –Det er eykt når utsuderætt er delt i tre deler og solen har gått to luter og det er èn igjen.

Med denne informasjonen forflytter vi oss raskt tilbake til årene 1001-1004 der sagaen som forteller at der i Vinland hadde "Solen eyktarstad og dagmålarstad på skamdagen". Skamdagen er årets korteste dag 22. desember.

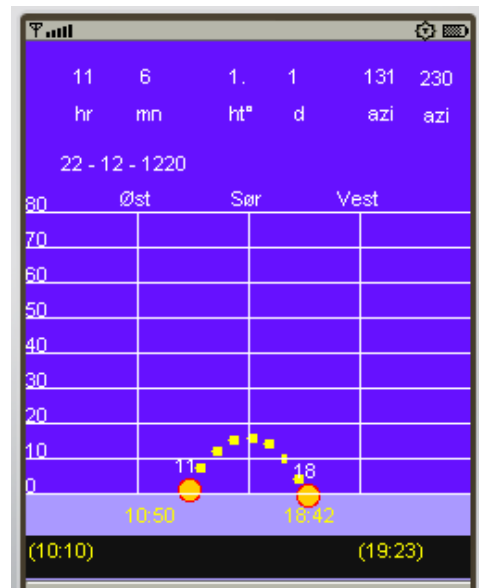


Figur 4 Kart som viser beliggenheten til L'Anse aux Meadows med en norrøn boplass og mulig beliggenhet av Vinland.

Ved hjelp av SOLDATA BANE programmet kan vi beregne soloppgang på dagmålarstad og solnedgang på eyktarstad. Figur 6 viser at solen står opp i asimut lik 120° og går ned i asimut lik 240° . Posisjon er da valgt til $41^\circ 30' N$ $70^\circ 00' W$ den 22. desember år 1004. Til sammenligning kan vi beregne solens bane på samme dag for posisjon til L'Anse aux Meadows på $51^\circ 30' N$ $55^\circ 00' W$. Solen ville ikke bli sett på posisjonene dagmålarstad og eyktarstad denne dagen der. Dette er ikke for å si at Ingstad tok feil, kun en antagelse om at vikingene har reist lengre sør enn Ingstad hevder.



Figur 6 Viser solens bane over himmelen på korteste dag $41^{\circ} 30'N$ $70^{\circ} 00'W$ med soloppgang og solnedgang på dagmålarstad og øktarstad.



Figur7 Viser solens bane over himmelen samme dag og posisjon $51^{\circ} 30'N$ $55^{\circ} 30'W$ I posisjon L'Anse aux Meadows er solen Under horisonten med azimuth = 120°

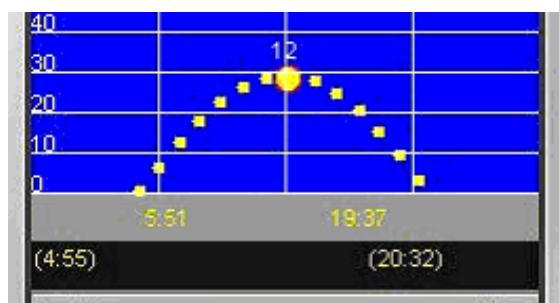
SOLBANE programmet.

SOLBANE programmet er tilgjengelig for alle gratis, mot betaling av distribusjonskostnadene kr 60.- i engangssum.

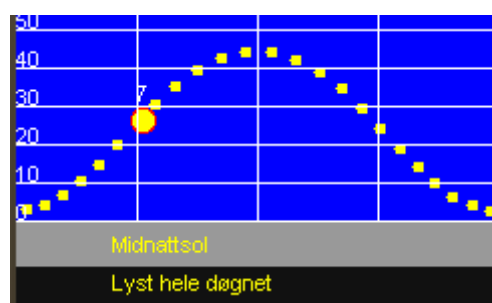
Send en SMS med ordene: **SOLDATA BANE**
til **2105**

Svar Ja til alt. Din mobil må være satt opp for å kunne kjøre WAP wireless application programs. Dette gjøres over Internett og er gratis hos din teleleverandør

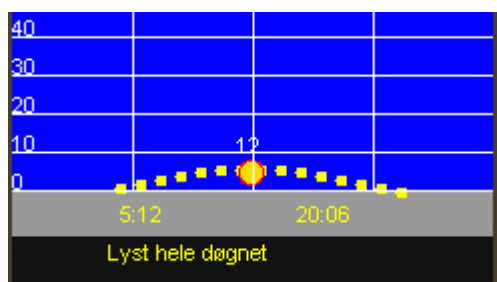
Solen vandrer over himmelen i sin virkelige bane. På den nordlige halvkule går solen fra øst til vest over sørhimmelen. På den sørlige halvkule går solen fra øst til vest over nordhimmelen



Figur 8 viser solbanen. På det sorte felt vises overgangen fra mørke til grålysning og fra tussmørke til natt, klokkeslett i timer og minutter står i parantes. Tidspunkt for soloppgang og solnedgang står på overgangen fra grått felt til blått.



Figur 9 viser når solbanen er over horisonten hele dagen. vises dette som Midnattsol og Lyst hele døgnet.

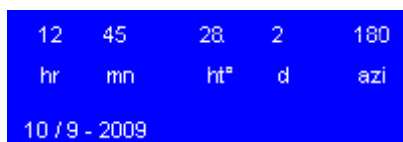


Figur10 viser hvis solen er høyere enn -6° da kommer meldingen "Lyst hele døgnet" og tidspunktene for soloppgang og solnedgang.



Figur 11 viser hvis solen er under horisonten men over -6° deler av dagen vises meldingen "Skumring hele dagen" og tidspunkt når grålysning starter og mørket kommer.

På displayet vises øverst solhøyden i grader og desimaler. Deretter vises azimutvinkel i timer og minutter og tilslutt dato. Sol beregningene kan stoppes når som helst med Stop knappen. Deretter kan man gå 1 og 1 grad fremover eller bakover i tid.



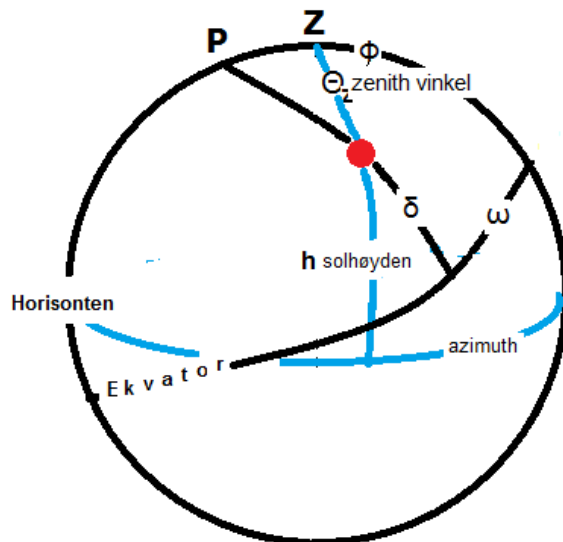
Figur 12 viser displayet med timer og minutter solhøyde i grader og desimal samt azimut.



Figur 13 viser Stopp knappen. Solbanen kan stoppes når som helst og beregningene kan utføres i steg på +/- 1 grad.

Utgangspunktet for energiberegningene

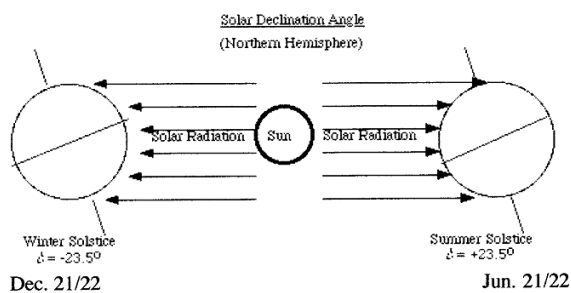
SOLDATA BANE programmet beregner alle de vinkler som er nødvendig for å bestemme solens posisjon på et gitt sted og tidspunkt. Solen posisjon er bestemt av deklinasjon δ og timevinkelen ω .



Figur 14 viser aktuelle koordinater med jorden som senter

P = polpunktet, Z = zenit, ϕ = geografisk lengde, δ = solens deklinasjon, ω = solens timevinkel
 θ_z zenit vinkel = $90 - \text{solhøyden}$, S = retningen til solen. Storsirkelen gjennom P og Z er medianen til observatøren.

Solens deklinasjon δ er vinkelen mellom et plan vinkelrett på den innkommende solstråling og jordens rotasjonsakse. Jordaksen heller ca 23.5° . Deklinasjonen vil derfor variere fra $+23.5^\circ$ den 21/22. juni når aksen vender mot solen, til -23.5° når aksen vender fra solen den 21/22. desember. Ved vår- og høst-jevndøgn er deklinasjonen = 0° .



Solens deklinasjon

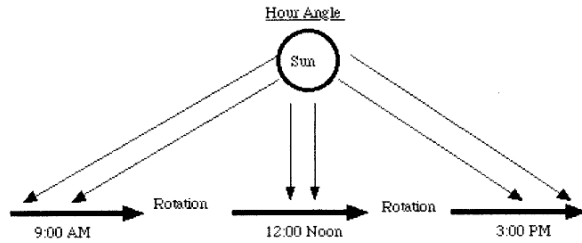
$$\delta = \frac{23,45 * 2\pi}{360} * \sin\left(360 \frac{284 + dag}{365}\right)$$

dag er dagens nummer i året

Figur 15 illustrerer årtidsvariasjonene i strålingsintensiteten

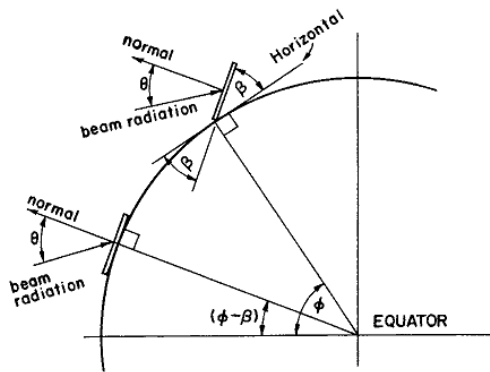
Siden jorden roterer 360° i løpet av ett døgn, 15° i løpet av en time, får vi døgnvariasjoner i strålingsintensiteten. På ett sted ser vi dette som at solen står opp, vandrer over himmelen og går ned.

Timevinkelen ω er den vinkel jorden har rotert siden solen sto i lokal sør. Når solen er i sør er $\omega = 0^\circ$. Lengdegrader her er positiv mot øst regnet fra sør. Breddegrader og deklinasjon er positiv nord. Alle vinkler i radianer.

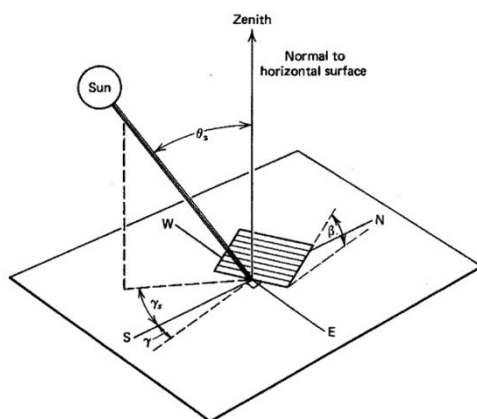


Figur 16 illustrerer variasjonen av innfallende strålingsvinkel gjennom dagen

Den innfallende strålingen fra solen på et gitt sted er gitt ved zenitvinkelen θ_z



Figur 17 illustrerer zenitvinkelen i forhold til en horisontal flate (nederst) og en skråflate (øverst)



Figur 18 illustrerer zenitvinkelen i forhold til en flate som er dreiet en vinkel γ i forhold til nord-sør retningen samtidig som flaten har en heldning β i forhold til horisontalen Etter J.A. Duffie

Stedets timevinkel

$$\omega = \frac{2\pi(12 - t_{zone})}{24} - (\lambda - \lambda_{zone}) - TEQ$$

t_{zone} = lokal tid i timer λ = stedets lengdegrad

λ_{zone} = lengdegraden til meridianen som definerer lokale tidssone

TEQ = "equation of time"

Zenitvinkel for en horisontal flate

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega$$

δ = solens deklinasjon

ω = timevinkelen

φ = stedets breddegrad

Zenitvinkel i forhold til en flate dreiet i rommet. Etter J.A. Duffie

$$\begin{aligned} \cos \theta_z &= \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma \\ &+ \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned}$$

γ = vinkel i forhold til nord-sør

β = vinkel i forhold til horisontalen de andre vinkler definert som for en horisontalplate.

I det etterfølgende vil Stråling S stå for mengden av energi pr tidsenhet pr areal-enhet. Vi bruker enheten W/m^2 .

Betegnelsen Insolation I er mengden av solstråling som treffer en konkret flate ved jordoverflaten. Vi bruker enheten MJ/m^2

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

Stråling eller rettere intensiteten I av strålingen (engelsk Irradiance), definerer vi som mengden av elektromagnetisk energi som faller på en flate per tidsenhet pr flateenhet. W/m^2 det er måleenheten for "kraft". Dette kan også kalles for strålingsflux.

$I \sim 1000 \text{ W/m}^2$ på en klar soldag vinkelrett på den innkomne stråling

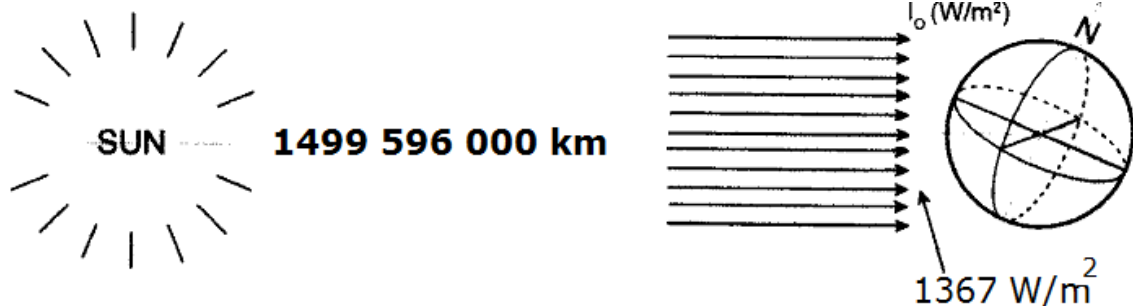
Insolation H brukes for å beskrive mengden av solenergi som når en flate på jordoverflaten. Måleenheten er J/m^2 eller helst MJ/m^2 energienheter per enhetsareal og er et mål for evne til å utføre "arbeid".

Mengden av energi som er tilgjengelig fra soloppgang til solnedgang $\sim 10 \text{ MJ/m}^2/\text{dag}$

Strålingsdata

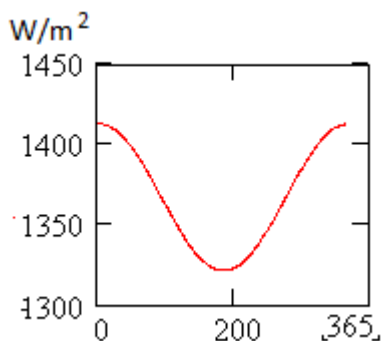
Det finnes gode data for hvor meget solenergi som treffer den ytterste atmosfære. Idet strålingen passerer gjennom atmosfæren kommer mange faktorer til: vanddamp, molekylær spredning (Rayleigh), aerosolspredning og absorpsjon i gasser i tillegg til de rent fysiske banebergninger. Jo lengre bane solstrålene må gå før de når bakken desto sterkere blir effektene for meteorene i den gamle definisjon av ordet.

Solen produserer en konstant mengde med energi. På sol overflaten estimeres dette til $6.33 \times 10^7 \text{ W/m}^2$. Ved ytterflaten av jordens atmosfære er solstrålings intensiteten målt på en flate normal på solstrålingen $S_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ i middel. Denne verdi blir kalt Solarkonstanten. På grunn av jordens elliptiske bane rundt solen varierer solarkonstanten med årstiden. Jorden er nærmest solen rundt 1. januar og lengst vekk fra solen 3. juli. Intensiteten faller ca 7% fra januar til juli. I tillegg kommer variasjoner i solflekk aktiviteten på +/- 0.25%.



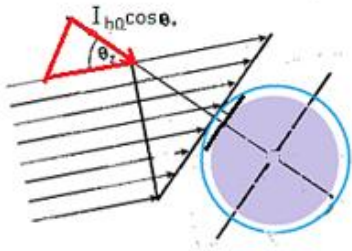
Figur 19 viser Sol – jordsystemet, solen dekker ca 0.5° sett fra jorden.

Figur 20 viser variasjonen av solarkonstanten gjennom året. Denne variasjon kan beskrives av en ligning som er godt kjent. Da forfatteren begynte å studere meteorologi i 60-årene var midlere solarkonstant 1367 W/m^2 . Johnsen (1954) publiserte verdien 1322 og justerte senere verdien opp til 1373 W/m^2 . I årene 1971 – 1977 kom en ny referanse (Frøhlich 1977) solarkonstanten ble da fastsatt til 1353 W/m^2 . Denne verdi var gjeldende i mange år inntil dagens verdi på 1367 W/m^2 (Page 1986).



Solarkonstanten
$S_d = S_0 \left(1 + 0.03344 \cos \left[\frac{360 * dag}{365} \right] \right)$
$S_0 = 1367 \text{ W/m}^2$
$dag = \text{dagnummer i året}$

Figur 20 viser variasjonen av Solarkonstanten gjennom året



Cosinus loven
$I_{hor} = S_d \cos \theta_z$ $\theta_z = \text{zenit vinkelen}$

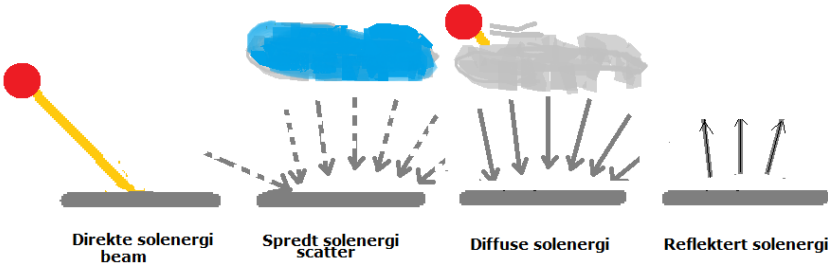
Figur 21 Cosinus loven

Den solstråling som faller på en horisontal flate i atmosfærens yttergrense parallell med et horisontalplanet på en bestemt breddegrad på jorden kan uttrykkes ved "cosinusloven". Dette er hovedsetningen for å beregne strålingen som faller på et gitt sted på kloden.

I det etterfølgende skal vi se på de prosesser som demper og sprer strålingen nedover i atmosfæren.

Det er vanlig å behandle strålingen som når jordoverflaten i tre deler:

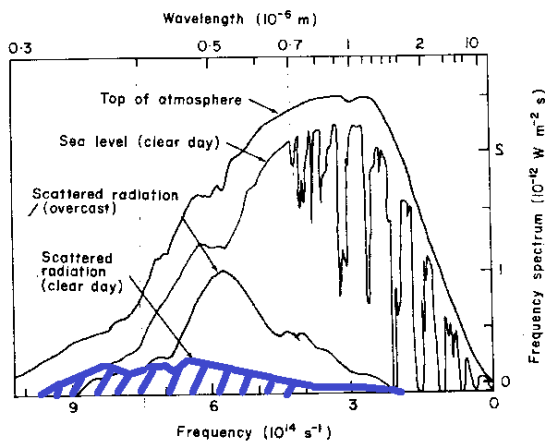
1. Direkte solstråling som kommer rett fra solen (på engelsk beam)
2. Spredt stråling fra solen - den del av stråling som gjør himmelen blå
3. Diffuse solstråling fra overskyet himmel - den stråling som gjør skyene hvite



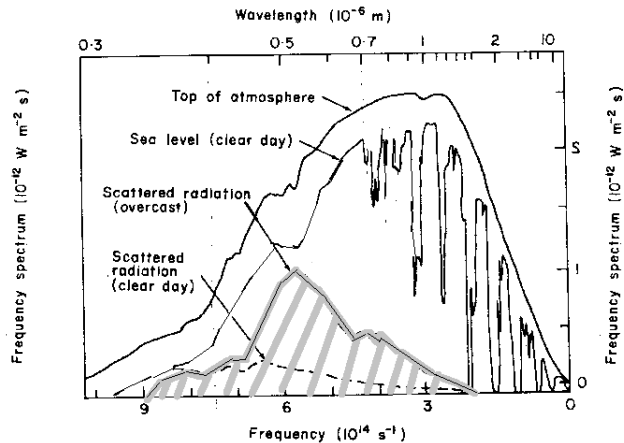
Figur 22 viser forskjellig måte solstråling vil kunne nå et mål på bakken. Vi deler strålingen i tre deler. 1. Den direkte stråling fra solen. 2. Spredt solenergi fra molekyler (den blå himmelen). 3. Den diffuse solenergi spredt fra eller i skyer ved overskyet vær. Reflekterte solenergi fra bakken eller strukturer.

Den reflekterte solenergi fra bakken eller fra strukturer blir ikke behandlet i dette arbeid. Egentlig vil denne reflekterte stråling være en del av den spredte diffuse stråling. Direkte speiling fra påmonterte speil eller tilfeldig speiling blir heller ikke omtalt.

La oss først se på energispekteret av den kortbølgede stråling. Her finnes nå mange gode måleresultater. Spekteret og alle absorpsjonsbåndene er kjent for de fleste. Det som er interessant i denne sammenheng er at i figurene 23 og 24 får vi en umiddelbar føling med hvor stor den spredte strålingsdel figur 23 nederst i forhold til stråling spredt og diffundert gjennom skydekket, figur 24.



Figur 23 Strålingspekter ved bakken fra blåfarget himmel (skravert blått)



Figur 24 Strålingsspekteret ved bakken ved helt overskyet vær (skravert grå) .Fritt etter B.Sørensen⁸

Figur 23 og 24 gir en umiddelbar forståelse av størrelsen på de tre type solstråling; direkte i klart vær, spredt stråling i klart vær samt diffuse stråling i helt overskyet vær.

Det er forsket meget på hvorledes solenergien oppfører seg fra ytterste atmosfære ned til bakkenivået hvor energien kan utnytted. Et referanseverk er Bent Sørensens bok "Renewable Energy" (ref 7). En noe eldre studie har gått gjennom 7 forskjellige til dels kompliserte modeller R.E.Bird and R. Hulstrøm⁹. Et solid arbeid er gjennomført av European Commission, Joint Research Center¹⁰ En som har gjort mest på dette området i Norge er Jan Asle Olseth ved Universitetet i Bergen.

Hvorledes en elektromagnetisk energi beveger seg (hvis man kan bruke det ordet på engelsk transmittance) forplanter og svekkes etter å ha blitt utsatt for Rayleigh spredning (det som gjør at himmelen ser blå ut), siden luftmolekylene er meget små sammenlignet med bølgelengdene i den mest energirike delen av solspekteret, gir Rayleigh spredningen omvendt proporsjonal med 4 potens av bølgelengden (λ^{-4}). Støv og forurensningspartikler er meget større enn bølgelengden og spredningen her er omvendt proporsjonal med bølgelengden (λ^{-1} til $\lambda^{-0.75}$), vanddampen (λ^{-2}). I tillegg har man absorpsjon i gasser. De viktigste absorpsjonsbånd av O_3 , H_2O og CO_2 ligger i den infrarøde del av spekteret utenfor den synlig del. I figur 25 er et resultat av samtlige 7 modeller tegnet opp. Forskjellene mellom dem synes ikke store nok til å gå inn på detaljene.

⁸ Bengt Sørensen, Renewable ENERGY, Elsevier, Third Edition, 2004 s44

⁹ R.Bird and R. Hulstrom, A simplified clear sky model for direct and diffuse insolation on horizontal surface, US Dep of Energy, 1981.

¹⁰ Commission Joint Research Center Computing clear-sky radiation (beam, diffuse and reflected) 2001-2008

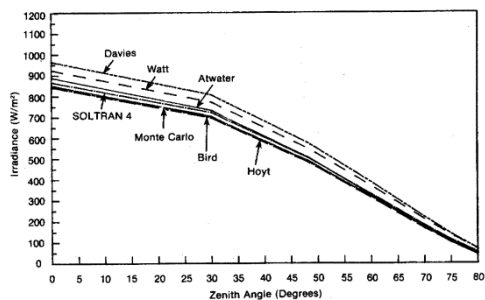


Figure 3-7. Direct Horizontal Insolation - USS Atmosphere (V = 23 km; U_w = 1.42 cm; U_o = 0.34 cm)

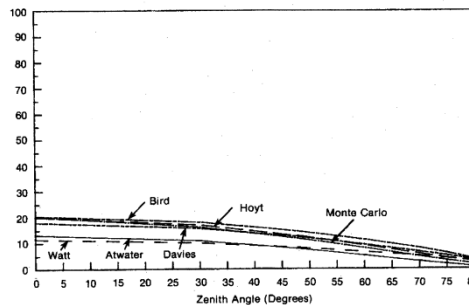


Figure 3-9. Diffuse Ground/Sky Insolation - USS Atmosphere (23-km-Visibility Rural Aerosol, Albedo = 0.2)

Figur 25 Sammenligning mellom 7 forskjellige modeller av strålingsintensitet som funksjon av zenitvinkelen. Direkte solstråle til venstre, spredt kortbølget stråling til høyre.

Som ett eksempel på parameterisering av den solenergien som mottas på bakken har jeg benyttet Bird modellen: I Appendix er lagt ved kopi av beregninger med Bird modellen. For de som er interessert i å vite mer om T- koeffisientene (på engelsk extinction coefficients) vises det til en publikasjon av G.Szeicz¹¹.

$$I_{direct} = S_d (\cos Z') 0.9622 T_{Rayleigh} T_{ozon} T_{gas} T_{water} T_{aerosol} \quad (1)$$

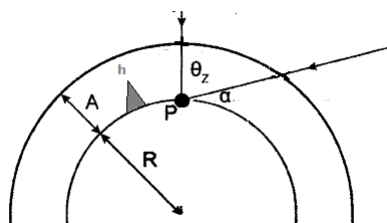
$$I_{scatter} = S_d (\cos Z') 0.79 T_{ozon} T_{gas} T_{water} T_{aeroabs} \frac{[0.5(1-T_{Rayleigh}) + B_{MIE}(1-T_{aerosca})]}{[1-Optical\ mass + Optical\ mass^{1.02}]} \quad (2)$$

$$I_{global} = \frac{(I_{direct} + I_{scatter})}{1 - (sky\ albedo)(bakke\ albedo)} \quad (3)$$

Z' her kan bety både θ_z for en horisontal plate eller θ_z for en flate dreiet i rommet

Optisk masse

Extinction koeffisientene T i (1) og (2) er sterkt avhengig av den optiske masse. Den optiske masse er = 1 ved zenitvinkel = 90°. Den optiske massen er definert ved zenitvinkelen. I store høyder vil man få en kompensasjon dels som en trykk kompensasjon $\frac{p}{\text{normalt bakketrykk}}$ og dels som vanlig siktkompensasjon, optisk masse kan da bli mindre enn 1.



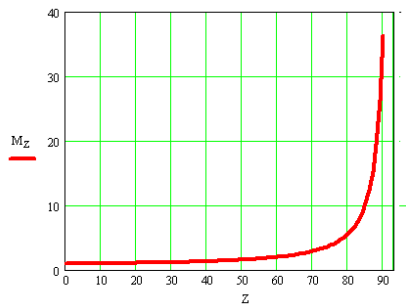
Figur 26 Den optiske luftmasse, $M = A = 1$ når zenitvinkelen er 0°.

Optisk masse

$$M = [\cos Z + 0.15(93.885 - Z)^{-1.25}]^{-1}$$

$$M' = \frac{M(\text{trykk } p)}{1013}$$

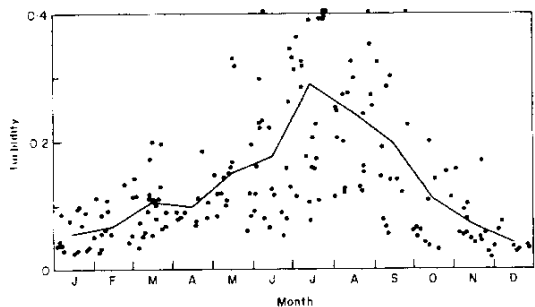
¹¹ G.Szeicz, Solar Radiation for Plant Growth, Rothamsted Experimental Station, Hertfordshire.



Figur 27 viser optisk masse som funksjon av zenitvinkel beregnet med formelen over. Luftmasse over 10 er sjeldent.

Grad av ugjennomsiktighet (Turbiditet)

Ved klar himmel uten skyer skulle man tro at ugjennomsiktigheten (turbiditeten) for solstrålene var avhengig av den optiske masse, Figur 28 tyder på noe annet. Når ugjennomsiktigheten øker så vil den direkte strålingsdel minske mens spredningsdelen (det blå) vil øke. For totalstråling vil disse to mekanismene kompensere for hverandre.

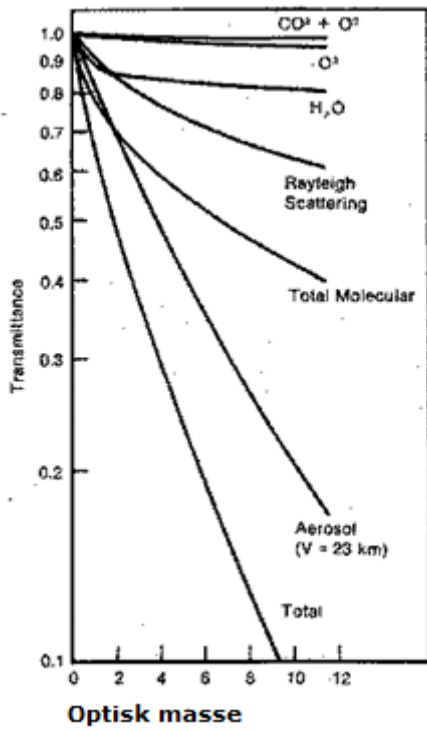


Figur 28 viser daglig turbiditets ugjennomsiktighets målinger gjennom dagen og månedsmiddel. Det synes vanskelig å lage en enkel analytisk fremstilling av variasjonene. Kilde

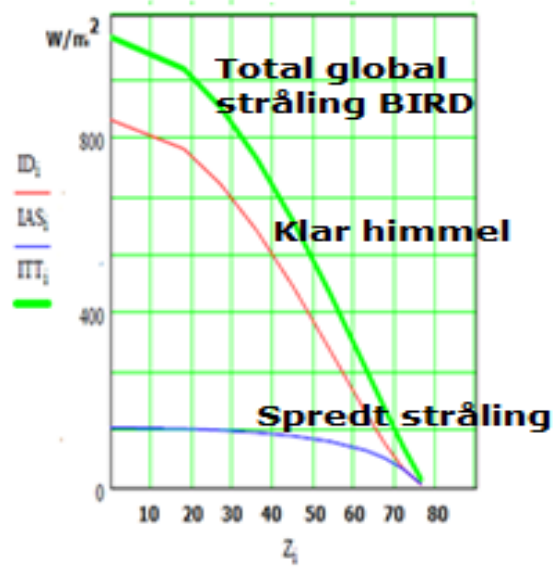
Oppsummering

I Figur 29 er det benyttet en standardatmosfære med vandampinnhold tilsvarende 2.93 cm vann og ozon tilsvarende 0.31 cm totalt fra bakken opp til toppen av atmosfæren. Langs y akse er avsatt transmittance i relative mål. Benevningen langs x akse er et mål for den optiske masse, men ikke beregnet etter formlene vist over. Selv om begge akser er relative er informasjonene likevel interessant. Vi ser at CO_2 og O_2 har liten betydning. Ozon O_3 og vandamp har økede betydning med økende optisk masse. Rayleigh spredning er viktig og utgjør halvparten av den molekylære spredning. Det største bidraget kommer fra aerosol. Det er ikke noe nytt her, alt er som man kan tenke seg til. Likevel er det interessant å se det relative bidrag av hver enkelt prosess eller komponent.

Figur 30 er resultatet ved å følge formelapparatet gitt av BIRD i Appendix A.

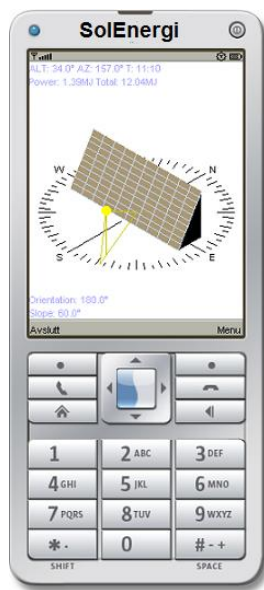


Figur 29 viser den relative betydning for hver av de prosesser som tilsammen påvirker solstrålenes gang gjennom atmosfæren Etter Bird (ref 8).

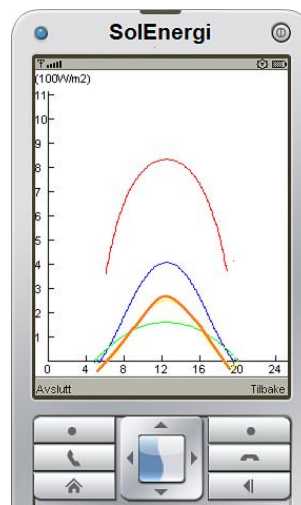


Figur 30 er viser resultat i strålingsintensitet i W/m^2 på bakkenivå på en horisontal flate.

Solenergiprogrammet.



Figur 31 viser SolEnergi programmet med et solpanel som kan dreies i kompassretning og med valgt helning i vertikalen.



Figur 32 viser hvorledes resultatene blir presentert i Watt pr m^2 for gitt lokal tid. Øverst (rødt) klar himmel. Blå kurve er globalstrålingen. Gul kurve er direkte solstråling. Grønn kurve diffuse stråling.

Forfatteren og Thomas Rowland har laget et dataprogrammet som beregner hvor meget solstråling som faller på en skrå flate ved jordoverflaten.. Det er mye forskning som ligger bak parametrene i ligningene (1), (2) og (3). Hensikten med dette foredraget er ikke å diskutere godheten av de enkelte spredningsmodeller, men vi har prøvet å lage et praktisk anvendbart program der man kan ta hensyn til den aktuelle situasjon man er oppe i. Vi ser på:

- Er det det klar himmel med skinnende sol og blå atmosfære Hvor blå er himmelen?
- Hvor stor del av himmelen er dekket av skyer? Hvor hvite er skyene?
- Er du i et forurenset område? Hvor gul er horisonten? Hvor god er sikten? Dårlig?
- Er det helt overskyet så er det greit, men hvor hvit er fargen opp i skyene?
- Hva er høyden over havet?

$$\text{For direkte sollys } I_{\text{direkte}} = \text{"Solarkonstanten"} \times \cos \theta_z \times \text{DirekteSol (optisk masse)} \quad (4)$$

$$\text{For spredte sollys } I_{\text{scatter}} = \text{"Solarkonstanten"} \times \cos \theta_z \times \text{DirekteSol}_s \times (\text{ optisk masse}) \quad (5)$$

$$\text{For overskyet lys } I_{\text{diffuse}} = \text{"Solarkonstanten"} \times \text{diffuseSky} \quad (6)$$

For den virkelige verden slår vi (4) og (5) sammen, og benytter vi 3 konstanter: DirekteSol diffuseSky og Albedo. Disse vil bestemme: klarvær - overskyet vær, hvor klart, hvor overskyet, hvor forurenset, og mengden av skyer.

$$\text{globalstråling } I_{\text{global}} = \text{"Solarkonstanten"} \times \cos \theta_z \times \text{DirekteSol (optisk masse) } \times \text{Albedo} \\ + \text{"Solarkonstanten"} \times \text{diffuseSky (avhengig av himmelens utseende)} \quad (7)$$

I tillegg til tre konstanter må man oppgi heldning β = heldnings vinkelen i forhold til horisontalen og γ = avviks vinkel i forhold til nord-sør aksen

De andre vinkler er de vi har utviklet fra SolBane programmet:

δ = solens deklinasjon
 ω = timevinkelen
 φ = stedets breddegrad

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma \\ + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega$$

Plotting av resultater

Ønsker man å bruke programmet til sammenlignende studier; geografisk, årstid, posisjonering kan man bruke faste konstanter. Resultatene kommer som timeplott av strålingsintensitet W/m^2 :

- | | | | |
|------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|
| a) "direkte klar luft" | - ren tørr luft uten skyer | ligning (4) | rød kurve |
| b) "reell himmel" | - solskinnsvær med godværskyer | ligning (5) | oker kurve |
| c) "skyet himmel" | - dager med helt overskyet vær | ligning (6) | grønn kurve |
| d) "global stråling" | Sum av (5) + (6) | | blå kurve |

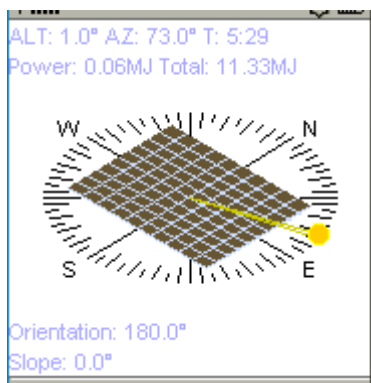
Under beregningen gir programmet timevise verdier av Insolation MJ/m^2 og total mengde insolation pr dag MJ/m^2 .

Praktisk anvendelse av solenergiprogrammet

Ønsker å vurdere effekten av solstråling på kompliserte bygninger eller strukturer så er de fleste strålingsmålinger tilgjengelig den solstråling som faller på en horisontalflate globalstråling og diffuse stråling. Med SolEnergi programmet kan man få et estimat av mengden av solstråling som faller på en vilkårlig fritt valgt skrå flate i vilkårlig retning i.

Når det gjelder solpanel enten det er lavenergi oppvarming av vann, eller solcellepanel for generering av strøm, er det enkelt å finne ut hvilken retning det vil lønne seg å rette panelet mot. I teorien vet man at det lønner seg å rette inn panelet mot sør og kanskje med en forholdsvis stor heldning. I praksis er man avhengig av tilgjengelige opphengningsmuligheter og formen på huset eller strukturene. Med SolEnergi programmet kan man enkelt prøve seg frem og finne frem til kompromisser.

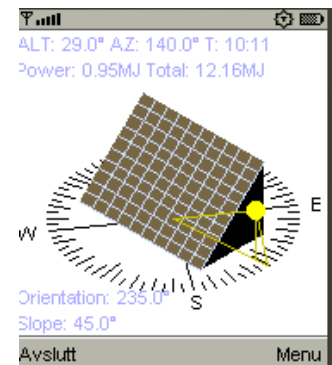
Programmet er dynamisk, strålingsverdiene presenteres kontinuerlig. Det vil si at man når som helst kan stoppe beregningene. Deretter kan man dreie panelet horisontalt eller vertikalt med opp/ned høyre/venstre knappene og fortsette.



Figur 33 Horisontal flate rettet mot sør 180°

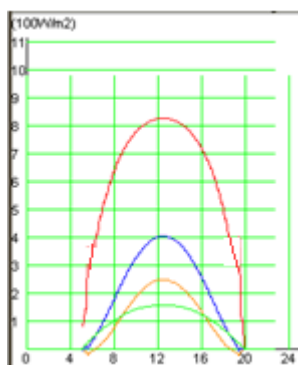


Flate med heldning 45° rettet mot sør 180°

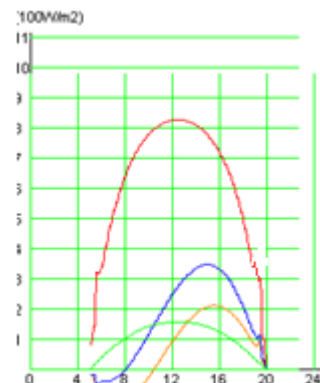


Flate med heldning 45° rettet mot sydvest 235°

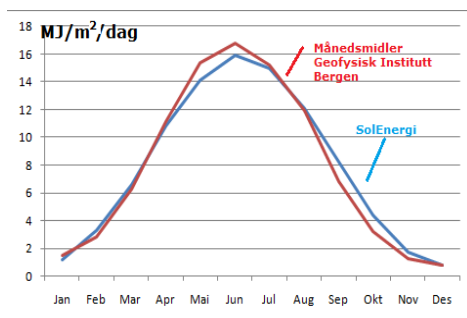
I stoppmodus kan man gå over til presentasjonsmodus og få plottet opp solenergien som vist på figurene under. Verdiene for en teoretisk klar, torr himmel (rød kurve), global stråling (blå kurve), en reell atmosfære med gitt skydekke (oker kurve) og diffus stråling (grønn kurve).



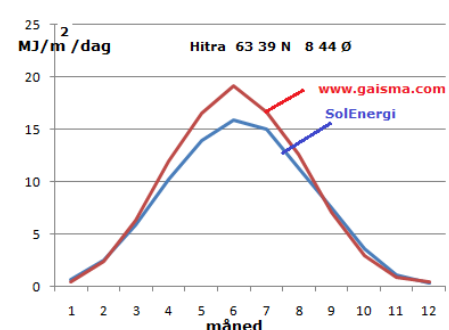
Figur 34 Global stråling for en horisontal flate.



Figur 35 Globalstråling For en flate dreiet 55° mot øst



Figur Sammenligning mellom månedsverdier Insolation målt i Bergen og SolEnergi dags verdier den 15. i hver måneden



Figur Sammenligning mellom Gaisma¹² modell månedsverdier og SolEnergi dags verdier den 15. i hver måneden

¹² <http://gaisma.com/en/location/trondheim.html>

Solpaneler

Med solpanel tenker man på et panel rettet mot solen med elementer som direkte overfører solenergi til elektrisitet. Solenergien, egentlig fotonene, kan eksitere elektroner i materialet slik at elektronene kan bevege seg fritt. For å få en elektrisk strøm er man avhengig av å ha et elektrisk potensiale slik at elektronene kan bevege seg i en bestemt retning. Halvleder materiale med p – n forbindelser har nettopp denne egenskap at elektronene beveger seg i en retning, fra p til n. De ”hull” som blir dannet ved at elektronene blir kastet ut fritt beveger seg den andre retning, fra n til p, dermed har man et kretsløp.



Solpanel kan leveres i alle mulige størrelser, fra cm store elementer i lommekalkulatorer, til panelene i alle satellittene, til 100m² panel på Stovner Sykehjem plassert i 30° heldning og dreiet 15° mot øst.

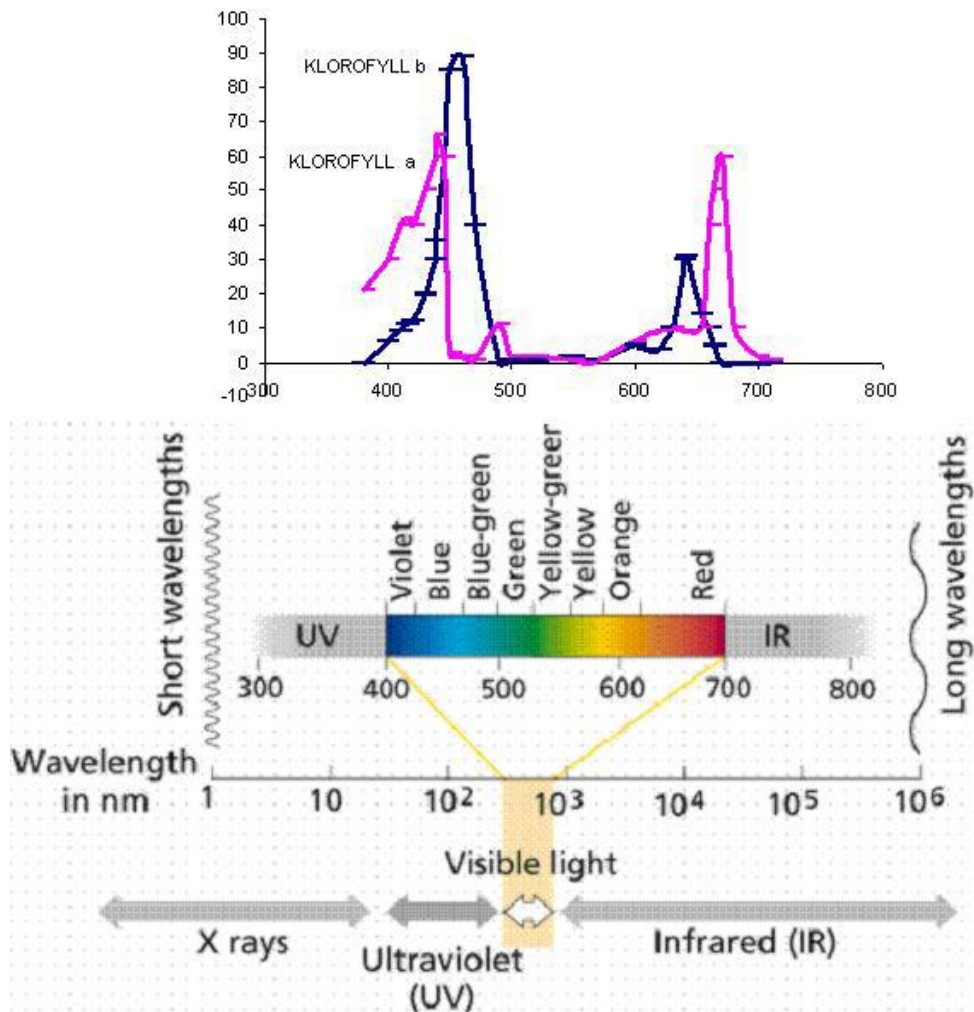
Vanlig solpaneler som er kommersielt tilgjengelig er kalibrert til en solenergi på 1000 W/m². Et enkelt panel kan f eks gi 600mA ved 1000W/m². For en vilkårlig dag regner vi ut på SolEnergi at produksjonen er 2970 Wh dvs 10,7 MJ. Solpanelet vil denne dagen gi $(2970/1000)600 = 1782$ mAh. Eller regnet i MJ, $(10,7/3.6)0.600 = 1.78$ Ah ampére timer.

Solstråling for plantevekst

Plantevekst ble omtalt i et NGF- foredrag her i 2007¹³. Da var noen av konklusjonene:

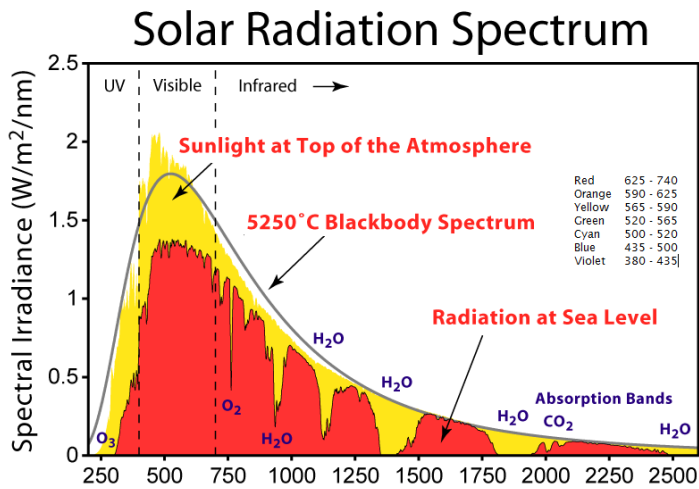
- enten lyset kommer fra den røde eller blå del av spekteret så bruker planten det samme antall fotoner for å produsere f eks 1 mol oksygen.
- forskjellig typer planter har forskjellig behov for stråling pr dag
- over et vist nivå så øker ikke planteveksten med økende stråling pr dag.
- fotosyntesen bestemmes av antall fotoner mellom 400 og 700 nm pr dag
- fotosyntesen er ikke umiddelbart avhengig av luftens temperatur, faktum er at høy temperatur er skadelig
- fotosyntesen blir mer effektiv med høyere nivå av CO₂
- fotosyntesen er helt av hengig av nok vann

¹³ Jan Børresen, Fra elektromagnetisk energi til organisk energi – CO₂ en fantastisk gass, NGF, Geilo 2007.



Figur 36 viser absorpsjonsspekteret for to typer plantepigmenter klorofyll med to tydelige maksima på hver sin side av det grønne området. Nederste er skissert utstrekningen av det elektromagnetiske spektrum hvor det synlige lys er fargelagt.

Utfordringen for anvendelse av SolEnergi programmet på plantevekst er at her beregnes total globalstråling for hele del av solspekteret.



Figur 37 viser solenergispekteret ved bakken (rød kurve). Den synlig del av spekteret 0.38 – 0.78 μm , er avmerket med de to røde streker.

Den blå linje i figur 37 viser et midlet solenergispekter. Den skraverte del av dette er den energi som er tilgjengelig for plantevekst ved klart vær. Arealet farget med grått er tilsvarende energi tilgjengelig ved helt skyet vær.

Et mål for kvaliteten av den fotosynteseaktive del av spekteret (som er ganske sammenfallende med den synlig del av spekteret) og de totale solspekteret kan uttrykkes ved (ref 11)

$$\eta = \frac{\int_{0.3}^{0.7} E_{\gamma} d\gamma}{\int_{0.3}^{\infty} E_{\gamma} d\gamma} = 0.5 \mp 0.03 \%$$

G.Szeicz (ref 11) finner meget interessant at den nyttbare del av solenergien for fotosyntesen er så å si konstant (uavhengig av vær -min kommentar) og lik $0.5 \pm 0.03\%$.

Han finner videre at moderat skydekke (altså en blanding av direkte stråling of diffuse stråling –min kommentar) ikke influerer den totale energi spektrale sammensetning og styrke. Han forklarer dette med at den direkte beam også kan bli blir reflektert ned fra skyene. (Jeg mener som nevnt tidligere at den del som blir spredt i skyene ikke forsvinner men når bakken som diffuse stråling.)

Til slutt, ved moderate solhøyder $\sim 30^{\circ}$ vil scatterdelen av strålingen kunne bli mer enn doblet når atmosfæren blir turbulent – dvs at også under skyfri himmel er mye av strålingen ”diffuse”.

Mest overraskende er at selv om støv og eller vandampinnholdet i luften forandres kraftig beholdes den fotosynteseaktive del av den totale stråling konstant = 50%.

Kort sagt, plantene har funnet ut av det. De har tilpasset seg værforholdene og vokser så å si uansett.

Den minste lys sum som kan opprettholde planter ca $2 \text{ mol} / \text{m}^2 / \text{dag}$. Et lys på $6 \text{ mol} / \text{m}^2 / \text{dag}$ kan gi en bra vekst for mange plantetyper.

Empirisk har man funnet en omregningsfaktor fra *Insolation* til antall fotoner uttrykt i mol i bølglengdeområdet mellom 400 og 700 nm er:

$$1 \text{ MJ m}^2 / \text{dag} = 2.15 \text{ mol m}^2 / \text{dag}$$

Vi må altså gange dette tallet med 2 når vi bruker SolEnegi programmet for å finne minste verdi for plantevekst . Gir SolEnegi en total insolation på 2. 3 MJ/ m²/dag eller mer så vil vekstsesongen kunne starte.

Helsemessige aspekter ved soling

Soling er bra, de positive effekter kommer gjennom dannelse av D-vitamin i huden. Soling kan også være skadelig ved at huden eldes unødvendig, i spesielle tilfeller kan det dannes flekker som kan utvikle seg til hudkreft. Skal vi sole oss eller la være? Vi bør sole oss med måte. Da er det bra med noe kunnskap.

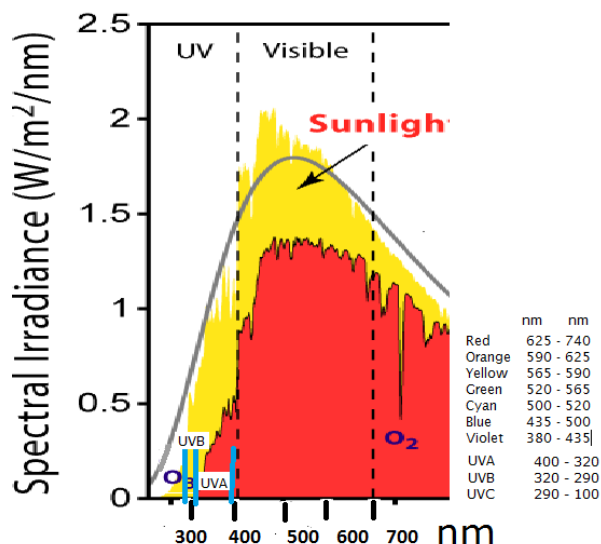
Ultrafiolett stråling deles i tre kategorier etter bølglengden:

UVC 100 til 290 nm energirik

UVB 290 til 320 nm kan gi brennskader

UVA 320 til 400 nm er de stråler som gir den vanlig brunfarge

Når vi soler oss blir vi for det meste utsatt for UVA. Det som skjer er at huden blir tykkere og med hardfør. Undersøkelser har vist at folk som har utarbeid som bønder og skogsarbeidere har mindre sjans for å få hudkreft enn byfolk som "soler" seg. UVB er de mest skadelige stråler. UVB er det som gir solforbrenning og som vi bør beskytte oss mot. UVB går for eksempel ikke gjennom glass



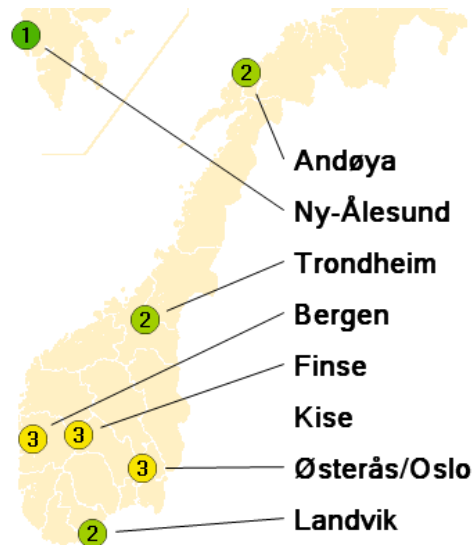
Figur viser hvor i solspekteret man finner UV strålingen.

Det hadde vært fint hvis vi kunne ha regne ut en solingsindeks med SolEnegi programmet, men det er ikke mulig. Graden av UV stråling, og særlig den skadelige delen av UV strålene, er bestemt av ozonkonsentrasjonen i stratosfæren, og deretter i en mindre grad av skydekket. Meteorologiske Institutter rundt om i verden har utarbeidet UV indekser til veiledning for strålingsfaren fra UV stråling. I Norge er det Statens stråleforvern som har ansvar for UV indeks beregningene.

Vi skal kort se på hvorledes disse indekser blir beregnet:

- fra måling av tykkelsen av ozonlaget i atmosfæren blir det utarbeidet varsler for ozonkonsentrasjon
- styrken på hver av de tre typer UVA UVB UVC bestemmes
- styrken veies med forhåndstall etter antatt skade f eks UVA = 3, UVB = 5, UVC = 15.
- produktet av styrke og forhåndstall veies etter høyden av skyene og skymengden.
- sluttresultatet deles med 25 og en indeks mellom 1 og 11 fremkommer. Ref Strålingsvernet¹⁴

UV-indeks	Styrke	Beskyttelse
11+	Ekstrem	Ekstra beskyttelse er absolutt nødvendig. Unngå solen og søk skygge.
10	Svært sterk	Ekstra beskyttelse er nødvendig. Unngå solen mellom kl 12-15 og søk skygge. Bruk klær, hodeplagg, solbriller og smør deg ofte med solkrem med høy faktor (15-30).
9		
8		
7	Sterk	Beskyttelse er nødvendig. Ta pauser fra solen mellom kl 12-15. Bruk klær, hodeplagg, solbriller og smør deg med solkrem med høy faktor (minst 15).
6		
5	Moderat	Beskyttelse kan være nødvendig. Klær, hodeplagg og solbriller gir god beskyttelse. Husk også solkrem.
4		
3		
2	Lav	Ingen beskyttelse er nødvendig.
1		



Det kunne være interessant å gjøre en sammenligning mellom solhøyden og UV –indeksen selv om vi erkjenner at tykkelsen på ozonlaget er det viktigste.

¹⁴ Statens strålevern <http://www.nrpa.no/uvnett/>