



Hur mörkt blir det?

Lena Nilsson

Handledare:
Tomas Mårtensson

Institutionen för geovetenskaper
Uppsala Universitet
Juni 2007

Sammanfattning

Inom Försvarsmaktens vädertjänst används ett PC-program för att beräkna illuminansen från måne och stjärnor under loppet av en vald natt. Korrektion för moln görs därefter genom ett schematiskt förfarande.

I detta arbete ges förslag till två förändringar av ljusprognosmodellen.

1. Parametern ”markytans tillstånd” införlivas i modellen, samtidigt som hänsyn tas till mängden (och typen av) moln.

Det sammanlagt tillgängliga ljuset under eventuella moln, S , kan beräknas genom sambandet

$$S = (1 + A_m) \frac{I_0(1 - NA_{so})}{1 - A_m A_{su} N}$$

där N är molnmängden, A_{so} molnöversidans albedo, A_{su} molnundersidans albedo, A_m markens albedo och I_0 den inkommande strålningen ovan eventuella moln.

2. Det artificiella ljuset och dess spridning under molnfria förhållanden införlivas i modellen.

Detta sker lämpligtvis genom användande av satellitbilder som visar det artificiella ljusets spridning under molnfria nätter, vid genomsnittliga absorptions- och spridningsförhållanden.

Ett ytterligare förslag är att illuminansen för artificiellt ljus vid icke molnfria förhållanden införlivas i modellen i ett senare skede. Detta görs förslagsvis genom att man utgår ifrån satellitbilder som visar artificiellt ljus, men som inte är justerade med avseende på ljusets spridning vid molnfria förhållanden. Denna information kombineras med en enklare modell som beskriver ett samband mellan molnbas, sikt, ljusspridning och avståndet till artificiella ljuskällor. Samtidigt sker förbättringar i den grafiska presentationen.

Summary

The Weather Service of the Swedish Armed Forces uses an uncomplicated PC program when calculating the illuminance of the moon and stars. Correction for the impact of clouds is done through a schematic procedure.

In this essay, I propose two changes to the model.

1. The state of the ground is incorporated in the model. At the same time, the amount (and type) of clouds is taken into account.

The total amount of available light under the clouds, if any, can be found through the equation

$$S = (1 + A_m) \frac{I_0 (1 - NA_{so})}{1 - A_m A_{su} N}$$

where N is the amount of clouds, A_{so} the cloud top albedo, A_{su} the albedo of the cloud base, A_m the ground albedo, and I_0 the incoming radiation above the clouds.

2. Under cloud-free conditions, artificial light and the scattering thereof is incorporated in the model.

I suggest that this is done by using satellite images that show the artificial light, including its scattering during cloud-free nights under average absorption and scattering conditions.

I also propose that at a later point, the illuminance of artificial light during cloudy nights will be incorporated in the model. This procedure should be based on satellite images that show artificial light without taking the scattering of light during cloud-free conditions into account. The information from these satellite images is then used in a model that describes the connection between cloud base, visibility, distance to artificial light sources, and the scattering of light. At the same time, improvements in the graphic presentation should be made.

Innehållsförteckning

| | |
|---|-----------|
| 1 INLEDNING OCH SYFTE | 5 |
| 1.1 INLEDNING..... | 5 |
| 1.2 SYFTE..... | 5 |
| 2 BAKGRUND | 6 |
| 2.1 NVD I FÖRSVARSMAKTEN..... | 6 |
| 2.2 NVD-UTRUSTNINGEN OCH DESS FUNKTION..... | 7 |
| 3 FAKTORER SOM PÅVERKAR LJUSFÖRHÅLLANDENA | 9 |
| 3.1 ALLMÄNT..... | 9 |
| 3.2 MÅN- OCH STJÄRN LJUS..... | 9 |
| 3.3 MOLN..... | 9 |
| 3.4 MARKYTANS TILLSTÅND..... | 9 |
| 3.5 SIKT OCH SIGNIFIKANT VÅDER..... | 9 |
| 3.6 ARTIFICIELLT LJUS..... | 9 |
| 3.7 ANDRA LJUSKÄLLOR..... | 10 |
| 3.8 DIREKT OCH DIFFUS BELYSNING..... | 10 |
| 4 PROGNOSE FÖR OCH PRESENTATION AV LJUSFÖRHÅLLANDEN | 11 |
| 4.1 ALLMÄNT..... | 11 |
| 4.2 LJUSPROGNOSE I FÖRSVARSMAKTEN..... | 11 |
| 4.3 NVD-LJUSNIVÅ VS NVD-SIKT..... | 13 |
| 5 STRÅLNING FRÅN NATURLIGA KÄLLOR | 15 |
| 5.1 SPRIDNING OCH ABSORPTION..... | 15 |
| 5.2 REFLEKTION..... | 16 |
| 5.3 KÄNSLIGHETSANALYS..... | 18 |
| 5.4 STANDARDAVVIKELSER..... | 20 |
| 5.5 RESULTAT..... | 23 |
| 5.6 DISKUSSION OCH KOMMENTARER..... | 23 |
| 5.7 SLUTSATSER..... | 24 |
| 6 STRÅLNING FRÅN ARTIFICIELLT LJUS | 25 |
| 6.1 GARSTANGS LJUSSPRIDNINGSMODELL..... | 25 |
| 6.2 SPRIDNING AV ARTIFICIELLT LJUS UNDER MOLNFRIA FÖRHÅLLANDEN..... | 25 |
| 6.3 SPRIDNING AV ARTIFICIELLT LJUS DÅ HIMLEN INTE ÄR MOLNFRI..... | 28 |
| 6.4 RESULTAT..... | 30 |
| 6.5 DISKUSSION OCH KOMMENTARER..... | 31 |
| 6.6 SLUTSATSER..... | 31 |
| 7 REKOMMENDATIONER | 33 |
| 7.1 FÖRÄNDRINGAR I NÄRTID..... | 33 |
| 7.2 ELLEN – FÖRSVARSMAKTENS NYA LJUSPROGNOSEMODELLEN..... | 33 |
| 7.3 FRAMTIDA FÖRBÄTTRINGAR..... | 34 |
| 8 STORHETER OCH ENHETER | 36 |
| 9 FÖRKORTNINGAR OCH FÖRKLARINGAR | 36 |
| 10 REFERENSER | 37 |
| 10.1 BÖCKER, KOMPENDIER OCH RAPPORTER..... | 37 |
| 10.2 INTERNET..... | 37 |
| 10.3 PERSONLIGA KONTAKTER..... | 38 |
| 11 APPENDIX A: BERÄKNING AV STANDARDAVVIKELSE | 39 |
| 12 APPENDIX B: LAMBERTS LAG | 40 |
| 13 APPENDIX C: AVSTÅNDET TILL HORIZONTEN | 42 |
| 14 APPENDIX D: BEERS LAG | 43 |

1 Inledning och syfte

1.1 Inledning

Inom Försvarsmakten har bildförstärkare eller NVD (Night Vision Devices) använts som hjälpmedel under många år. Inledningsvis var det markförband som nyttjade denna möjlighet att ”göra natten till dag”, men redan i slutet av 1980-talet började man använda NVD även vid helikopterflygning. För helikopterenheter möjliggör NVD-utrustningen visuell flygning på låg höjd i mörker, vilket ökar effektiviteten i olika insatser och operationer.

Inom Försvarsmaktens vädertjänst används ett PC-program benämnt ”Astro Calc” för att beräkna solens och månens upp- och nedgång. Programmet, som är utvecklat av Försvarsmakten, ger även information om månens elevation och fas samt om illuminansen från måne och stjärnor under loppet av en vald natt.

Med utgångspunkt från den framräknade illuminansen, som gäller för en molnfri himmel, används korrektionstal för att beskriva molnens inverkan på det infallande ljuset. Resultatet blir alltså en enkel prognos för de ljusförhållanden som väntas råda under den kommande natten, och i samband med vädergenomgång presenteras detta för besättningarna inför NVD-flygning.

1.2 Syfte

Det finns utrymme för förbättringar i den ljusberäkningsmetod som används inom Försvarsmaktens vädertjänst.

De korrektionstal för moln som används kan förmodligen förbättras något, men detta är sannolikt inte den parameter som vållar störst fel. Försvarsmaktens korrektionstal är av samma storleksordning som de som används i andra jämförbara modeller, och får anses vara tillräckligt bra. Att man i den nuvarande modellen inte tar hänsyn till mängden moln är dock en brist.

Något som spelar stor roll för hur ljus man upplever en natt är markytans tillstånd. Det är stor skillnad mellan hur ljust det är under en stjärnklar natt då det är nysnö på marken, jämfört med en stjärnklar natt efter ett kraftigt regn, då markytan är genomvåt.

En annan viktig parameter är det artificiella ljuset, t.ex. ljus från gatlampor, strålkastare och ljusskyltar. Detta är något som spelar en viktig roll för de nattliga ljusbetingelserna i stora delar av världen.

Ena syftet med detta arbete är att beskriva hur molnmängden och markytans tillstånd påverkar de nattliga ljusbetingelserna och att ge konkreta förslag till hur ljusprognosmodellen kan förbättras i detta avseende. Andra syftet är att genomföra en diskussion kring möjligheterna att parametrisera artificiellt ljus och att föreslå hur man kan gå vidare för att eventuellt införliva även detta i modellen.

Naturligtvis inverkar även flera andra parametrar, t.ex. nederbörd och sikt, på hur ljus eller mörk natten upplevs. Eftersom dessa påverkar flygning och andra aktiviteter även under dygnets ljusa del, kommer de bara att diskuteras övergripande här.

2 Bakgrund

2.1 NVD i Försvarsmakten

Försvarsmaktens vädertjänst ansvarar för väderinformation till hela Försvarsmakten, men främst är det de flygande förbanden som efterfrågar prognoser. Avseende NVD-verksamheten är det nästan uteslutande helikopterförbanden som tar emot prognoser för nattliga ljusförhållanden. Därför kommer diskussionen i detta arbete att vila mot bakgrund av det militära helikopterflygets behov av ljusprognoser.

Försvarsmaktens helikopterförband har använt NVD sedan 1989. Utan mörkerhjälpmedel är helikopterflygning i fredstid (i mörker) generellt inte tillåten under 150 meters höjd. Med hjälp av bildförstärkare ges däremot möjlighet att flyga på ett likartat sätt som i dagsljus; med NVD kan man således även på natten flyga under fem meters höjd, under och bredvid hinder, om behovet uppstår.

Eftersom NVD-utrustningen inte förmår urskilja alla kontraster, har den bild som piloten ser inte fullgod upplösning. Detta upplevs ungefär på samma sätt som när man hos optikern har problem att se bokstäverna på de understa raderna på tavlan. Därför krävs vid NVD-övningar i fredstid i vissa fall att den sträcka som ska flygas har rekognoserats i dagsljus.



Bild 2.1.1. Helikopterpilot iförd NVD-utrustning

NVD är inte bara ett hjälpmedel vid flygning och navigering, utan kan också användas för att upptäcka andra enheter, framför allt på marken. Med hjälp av NVD kan man t.ex. se strålning från heta avgassystem. Gnistor från en kamin i ett förläggningstält syns också mycket tydligt.

Att som markförband försöka gömma sig för en (fiendlig) enhet, som har tillgång till NVD, är således svårt. En möjlighet är att genomföra verksamhet i gryning och skymning, då det är för mörkt för upptäckt med blotta ögat, men för ljus för användande av NVD. En annan möjlighet är att man med hjälp av ett filter avskärmar all strålning med våglängder över ca 600 nm, eftersom NVD förstärker strålning med våglängder mellan 600 och 900 nm.

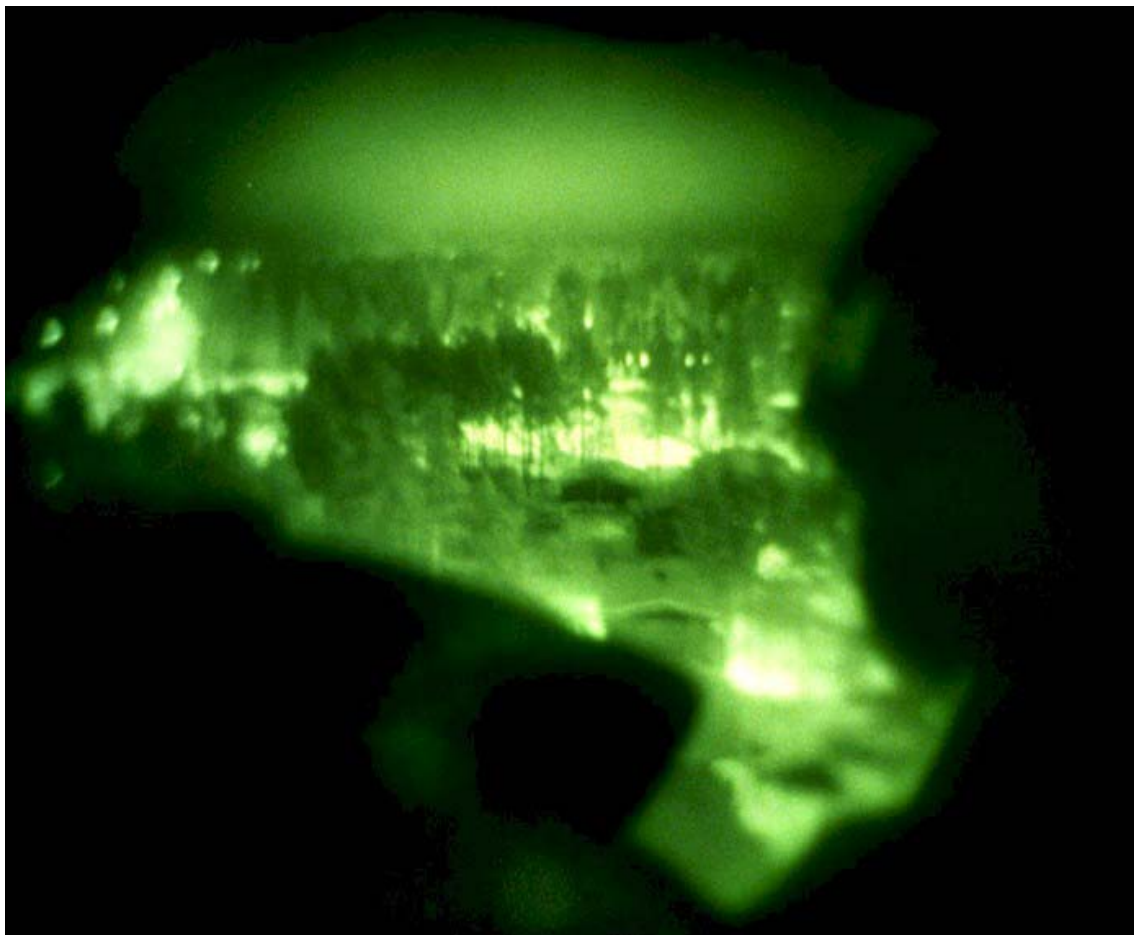


Bild 2.1.2. NVD-flygning med helikopter över trädbevuxen terräng.

2.2 NVD-utrustningen och dess funktion

NVD-utrustningen liknar till det yttre en vanlig kikare, som tillsammans med ett batteripaket spänns fast på besättningsmedlemmens hjälm. Utrustningen är relativt tung – ett drygt halvkilo utan batterier – så av ergonomiska skäl fästs oftast batteripaketet som motvikt på hjälmens baksida.

Även om bildförstärkaren utseendemässigt till viss del liknar en vanlig kikare, så finns det viktiga skillnader i konstruktionen. Till skillnad från i en kikare ser man inte rakt genom bildförstärkaren – bilden man ser är istället skapad på en fosforplatta; man ser alltså i princip en bild på en bildskärm.

Färger återges inte i NVD-utrustningen; istället är det energinivån på den infallande strålningen som avgör med vilken ljushetsgrad ett objekt avbildas. Bilden presenteras i gröna nyanser, eftersom det mänskliga ögat har sin största känslighet i det grön-gula våglängdsområdet.

Bildförstärkaren kräver ett visst mått av strålning för att fungera, och denna infallande strålning (med våglängder mellan 600 och 900 nm) förstärks i elektro-optiken. De infallande fotonerna leds in i utrustningens bildförstärkarrör (se bild 2.2.1), där de absorberas i en fotokatod, som omvandlar fotonerna till elektroner. Dessa elektroner tvingas passera genom en mikrokanalplatta, d.v.s. en tunn metallbelagd glasskiva med miljontals hål (ju fler hål, desto högre upplösning har bildförstärkaren), där de kolliderar med mikrokanalväggen. I och med kollisionerna frigörs nya elektroner, samtidigt som metalljoner bildas. Elektronerna fortsätter att kollidera med mikrokanalväggen och startar därvid en kedjereaktion, som leder till att de infallande elektronerna till slut har mångfaldigats tusentals gånger. Elektronerna dras mot en fosforplatta som finns vid den positiva sidan i bildförstärkarrörets elektriska fält. Där får energin från en infallande elektron en fosforatom att exciteras, och när atomen faller tillbaka till sitt grundenergitillstånd emitteras en foton och sänder ut ett grönt ljus.¹

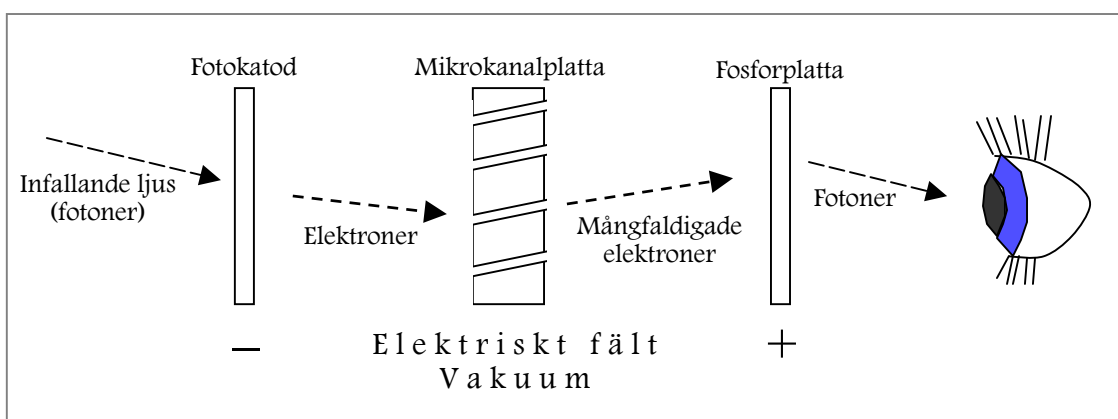


Bild 2.2.1. Kärnan i NVD-utrustningen – bildförstärkarröret.

Metalljonerna som är en ”biprodukt” av mångfaldigandet av elektroner i mikrokanalplattan dras mot det elektriska fältets negativa ända. Där förorenar de fotokatoden, vilket gör att denna åldras, innebärande en begränsad livslängd för bildförstärkarröret.

Vill man inte förlita sig på naturligt förekommande nattljus, såsom ljus från måne, stjärnor och eventuellt mer eller mindre avlägset belägna artificiella ljuskällor, finns även möjligheten att använda en strålkastare (”IR-strålkastare”) som sänder ut strålning med våglängd omkring 900 nm. Strålningen från denna strålkastare är naturligtvis osynlig för blotta ögat, men ger stor effekt i NVD-utrustningen.

Bildförstärkaren är ett passivt instrument; den sänder alltså inte ut någon form av egen strålning.

¹ Lorefält (personlig kontakt)

3 Faktorer som påverkar ljusförhållandena

3.1 Allmänt

Syftet med prognoser för nattliga ljusförhållanden är att försöka förutse den irradians som möter observatören (piloten). Om denna uppgift är känd kan verkligheten beskrivas bättre vad avser upptäckt av mål, navigeringsförhållanden och räckvidd.

Verkligheten är dock komplex. En fullständig beskrivning av de ljus- och mörkerförhållanden som möter NVD-piloten, t.ex. i en av månljus delvis belyst dalgång eller över ett hygge, är inte möjlig att göra. Med en ljusmodell som ger det astronomiskt tillgängliga ljuset kan man dock med mer eller mindre raffinerade metoder ta hänsyn till yttre faktorer, t.ex. markförhållanden och moln, för att beskriva förhållandena i en ostörd miljö (öppen terräng).

3.2 Mån- och stjärnljus

Den strålning som förekommer från måne och stjärnor ligger inom vad som kallas nära IR (NIR, 700-2500 nm). Ingen nämnvärd egenstrålning förekommer från atmosfären. Belysningskällan för NVD kan alltså anses bestå huvudsakligen av direkt eller reflekterat stjärn- och månljus, samt i varierande omfattning av artificiell belysning.

3.3 Moln

Närvaron av moln är en av de parametrar som påverkar ljusförhållandena mest – dels reflekterar de bort en del av ljuset från måne och stjärnor, och dels reflekterar de artificiellt ljus tillbaka till marken. Detta diskuteras närmare i avsnitt 5 och 6.

3.4 Markytans tillstånd

Markytans tillstånd är en viktig faktor för nattliga ljusförhållanden. En helt snötäckt yta skapar ett reflekterat ljus som framhäver terrängens utseende i NVD-utrustningen, medan en delvis snötäckt markyta kan skapa en mer svåranalyserad bild. Barmark ger generellt lägre ljusnivå.

Under vegetationsperioden bidrar klorofyllet i växtligheten till en NVD-bild med bättre kontraster, vilket dock är svårt att parametrisera.

3.5 Sikt och signifikant väder

Beträffande ”vanliga” väderfenomen såsom nederbörd, dis och dimma kan förutsättas att respektive partikeltyp genom sin storlek utgör ett hinder för NVD-strålningen i samma omfattning som för synligt ljus.

Vid användning av IR-strålkastaren (väglängd omkring 900 nm) bländas utrustningen ut vid dimma och snöfall, och även i någon mån vid tätt dis (t.ex. nära molnbasen), på samma vis som vid bilkörning.

3.6 Artificiellt ljus

Artificiell belysning från tätorter, vägar m.m. kan innebära risk för bländning om ljuskällan kommer in i bildfältet. För övrigt bidrar sådan belysning till att höja den

allmänna ljusnivån och därmed bildkvaliteten. Det artificiella ljuset och dess spridning diskuteras närmare i avsnitt 6.

3.7 Andra ljuskällor

Så kallad "night glow", exempelvis norrsken, uppstår i övre delen av atmosfären genom emission från atomer och molekyler. Även dessa fenomen höjer ljusnivån, om än relativt obetydligt.

3.8 Direkt och diffus belysning

Det direkta månljuset från en klar himmel skapar skuggor på marken som NVD inte förmår upplösa när bilden samtidigt innehåller väsentligt ljusare partier, som t.ex. vid motljus. Kraftledning och andra allvarliga hinder kan då bli "osynliga". Detta problem kan inte beräknas från meteorologisk synvinkel utan angrips snarare genom välplanerad navigering. En annorlunda ljusfördelning uppstår vid månbelyst dis eller tunna moln (t.ex. cirrostratusmoln). Diset eller molnen ser i sådana fall till att det blir en allmän belysning där inga djupa skuggor uppstår, och NVD-utrustningen ger då en mycket bra bild.

4 Prognoser för och presentation av ljusförhållanden

4.1 Allmänt

Solens och månens elevation och bäring måste vara kända för att en ljusnivåberäkning skall vara meningsfull. Tidpunkten för solens nautiska skymning och gryning är också av värde vid planering av NVD-flygning, eftersom solen kan ge motljuseffekter ända tills det den är tolv grader under horisonten.

Enheten mlux används oftast vid presentationen av tillgängligt ljus. Lux är den enhet som används för illuminansen i det synliga våglängdsspektrat. Helt korrekt vore att använda NVIS-irradiansen, som är den korrekta storheten för NVD:s våglängdsområde. Försök visar dock att skillnaden inte blir särskilt stor, särskilt inte under de nätter då det är mycket månljus. I vissa fall ger en mlux-presentation en något för mörk prognos, d.v.s. verkligheten upplevs som ljusare än prognosen visar.

4.2 Ljusprognoser i Försvarmakten

4.2.1 Modellen ”Astro Calc”

Den modell som inom Försvarmakten används för att prognosera tillgängligt ljus kallas ”Astro Calc”. Modellen hanterar bara ljus från måne och stjärnor utan hänsyn till moln eller andra försvårande faktorer, och är ursprungligen skapad av Åke Lysell, som skrev programmet i Basic. Den senaste omarbetningen har gjorts av Peter Sang; nu finns modellen i form av ett lätthanterligt PC-program.

4.2.2 Korrektion för moln

För att räkna fram tillgängligt ljus under ett molntäcke används ett enkelt och schematiskt tillvägagångssätt. Utgående från albedovärden har man för olika molnförhållanden fastställt standardiserade korrektionstal, med vilka värdet av det infallande ljuset multipliceras för att få fram ljusnivån under molnen (tabell 4.2.2.1)². I dessa korrektionstal har man även tagit hänsyn till att månens elevation i vissa fall påverkar hur mycket ljus molnen släpper igenom – främst cirrus- och cirrostratusmoln samt tunna altocumulus- och altostratusmoln får minskat albedo vid höga månelevationer.

| Molntyp | Korrektionstal | | |
|-------------------------|----------------|----------|------------|
| | Måne 45° | Måne 10° | Ingen måne |
| Ns, tjocka (ev. med St) | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| St eller Sc, tjocka | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| St + dis ovanför | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Ac eller As, tjocka | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| St eller Sc, tunna | 0,5 | 0,35 | 0,5 |
| Cs | 0,65 | 0,4 | 0,65 |
| Ac eller As, tunna | 0,75 | 0,5 | 0,75 |
| Ci eller dis | 0,85 | 0,6 | 0,85 |

Tabell 4.2.2.1. Korrektion av infallande strålning på grund av molnens inverkan. (I Sverige står månen aldrig högre än 45° över horisonten.)³

² Bergeås et al (1982)

³ Bergeås et al (1982)

Korrektionstalen har svagheten att de är framtagna för ett slutet molntäcke, då man alltså enbart har diffus belysning under molnen. I de fall molntäcket inte är slutet får man både direkt och diffus belysning, innebärande ljusförhållanden som skiljer sig avsevärt från de förhållanden som råder vid mulen himmel. Under vissa moln- och markförhållanden (t.ex. vid torr nysnö och ett brutet stratocumulustäcke) kan korrektionstalet med god marginal överstiga ett⁴.

Ljusförhållandena under molnen presenteras för NVD-besättningen i samband med vädergenomgång i form av en siffra mellan 1 och 5, där 1 är den lägsta nivån (under 1 mlux) och 5 den högsta (över 60 mlux); se bild 4.2.2.2.

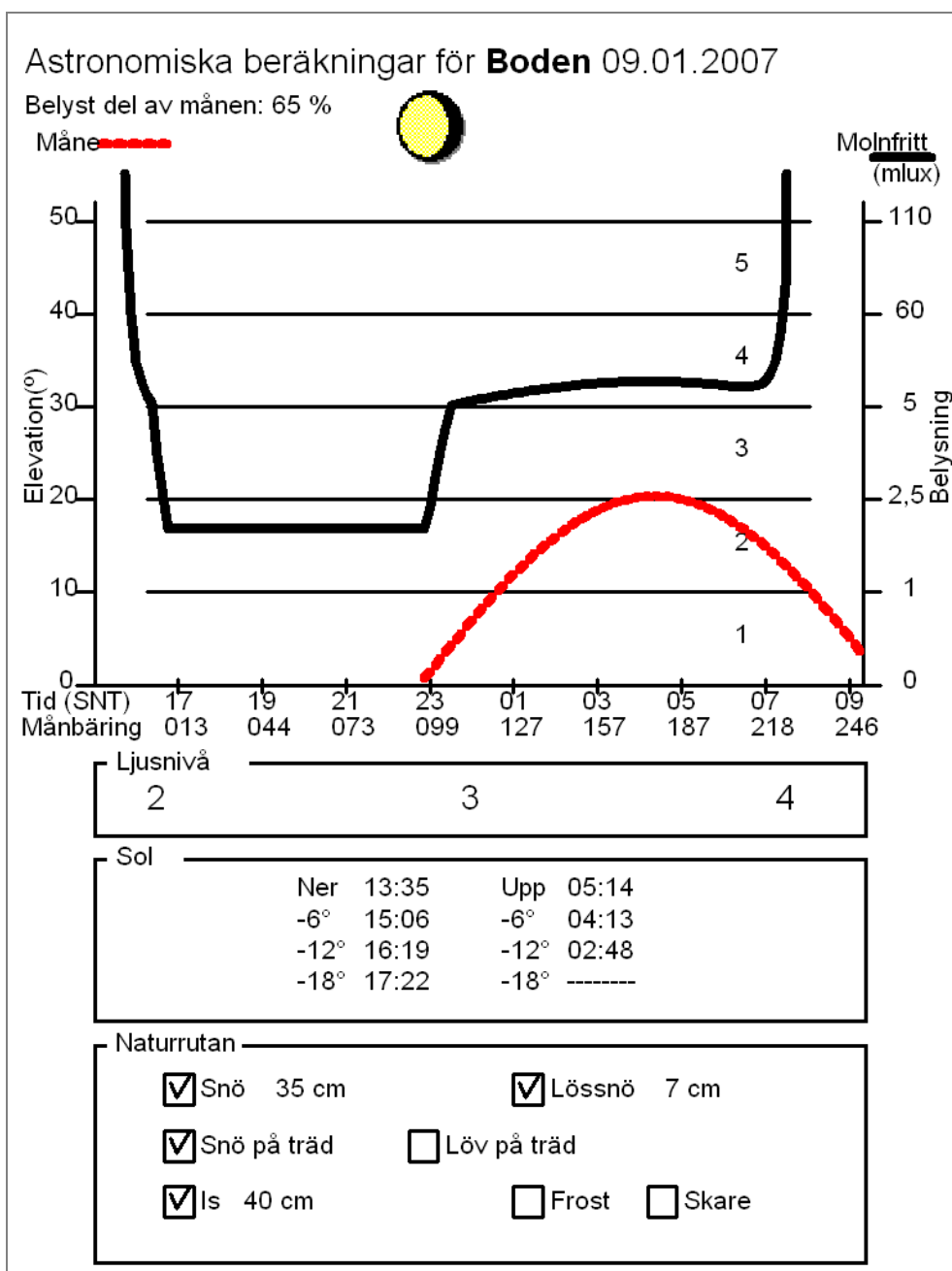


Bild 4.2.2.2. Grafisk information från "Astro Calc".

⁴ Liljequist (1979)

4.3 NVD-ljusnivå vs NVD-sikt

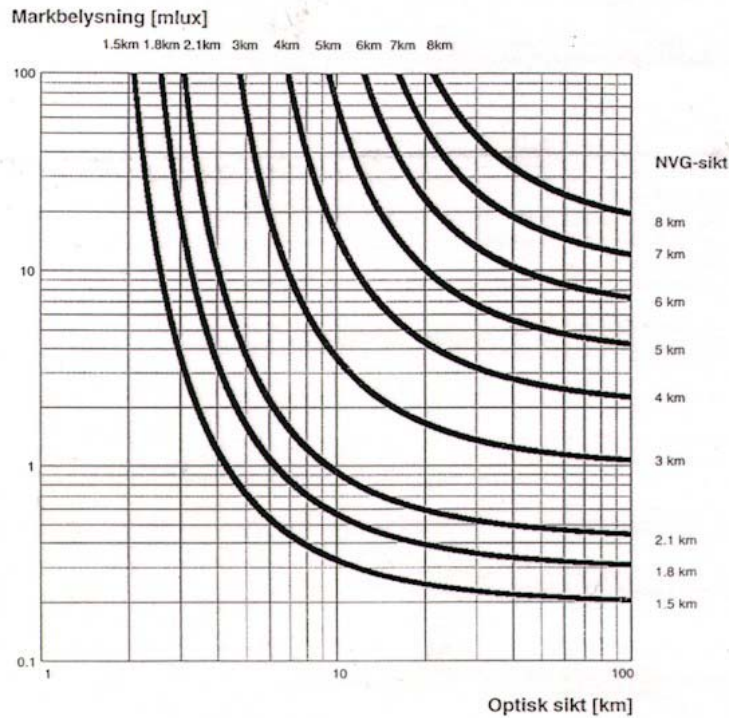
Det finns exempel på ljusprognosmodeller där man inte använder ljusnivån (i lux eller W/m^2) som utdata, utan istället något som kallas NVD-sikt. NVD-sikten är ett sätt att försöka förutsäga på vilket avstånd man kan upptäcka ett mål genom bildförstärkaren, och härigenom beror NVD-sikten av såväl optisk sikt och ljusnivå som kontraster mellan mål och bakgrund.

På uppdrag av Försvarets Materielverk (FMV) har FFV Aerotech undersökt ljusnivåns betydelse för NVD-sikten och för upptäckt av mål med olika kontrast. Ett viktigt första steg var att definiera begreppet NVD-sikt, och för att bildförstärkarens kontrastkänslighet skulle bli begränsande, inte dess upplösningsförmåga, bestämde man att NVD-sikt ska mätas mot stora föremål. Dessa föremål ska vara obelysta av artificiellt ljus och de ska krävas för navigering på låg höjd, t.ex. en skogsridå eller en höjd med himlen som bakgrund.⁵

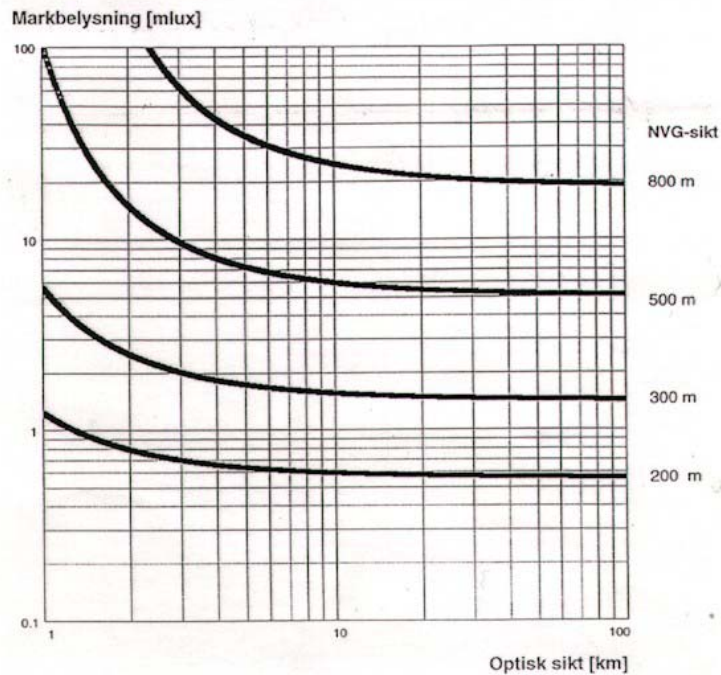
Begreppet NVD-sikt kan ytligt sett tyckas vara den optimala parametern att presentera för en besättning inför ett uppdrag med NVD. Trots det har man inom Försvarmaktens vädertjänst valt att använda ljusnivåbegreppet. Anledningen illustreras i bilderna 4.3.1 – NVD-sikten är i så hög grad beroende dels av bildförstärkarens upplösningsförmåga och dels av målets kontrast mot bakgrunden att det inte upplevs som meningsfullt att använda NVD-sikt som prognosparameter. Begreppet ljusnivå är mera objektivt, och fungerar relativt väl i kombination med en skicklig besättningsmedlems erfarenheter av NVD:s räckvidd i olika ljus- och vädersituationer.

⁵ Mårtensson et al (2000)

NVG-sikt mot skogsridå



NVG-sikt mot stuga Linneberg



Bilder 4.3.1. Diagrammen visar NVD-sikten (NVG är det tidigare namnet för NVD) som funktion av illuminans och optisk sikt. Det är tydligt att NVD-räckvidden reduceras med minskade ljusnivåer. (Man måste även hålla i minnet att NVD-sikten varierar kraftigt med olika kontrast mellan mål och bakgrund.) Det undre diagrammet visar att vid små mål blir bildförstärkarens upplösningsförmåga, snarare än dess kontrastkänslighet, begränsande för NVD-sikten; det avstånd på vilket ett mål kan upptäckas blir alltså mycket kortare än när det är fråga om ett större mål.

5 Strålning från naturliga källor

5.1 Spridning och absorption

Strålningen som passerar genom atmosfären påverkas genom både spridning och absorption. Spridningen orsakas dels av molekylerna i luften (Rayleigh-spridning), dels av stoft i atmosfären (Mie-spridning) och dels av molndroppar och iskristaller⁶. Atmosfärens absorption sker både i aerosoler – här avses både fuktiga partiklar, såsom molndroppar, och torra partiklar – och i gaser⁷.

Den strålning som kommer in i atmosfären påverkas som sagt genom spridning, men den spridda strålningen lämnar i princip inte systemet. Eftersom de beräkningar som följer i detta avsnitt får anses vara globala, kommer ingen hänsyn att tas till effekter från spridning.

Det finns ett par absorptionsband i våglängdsområdet 600-900 nm⁸. Dessa absorptionsband är inte bredbandiga, utan kommer att försummas i det här arbetet.

Att i detta sammanhang inkludera beräkningar för spridning och absorption skulle sannolikt leda till en endast marginell förbättring av den slutliga ljusprognosen, och det motiverar inte den ökade arbetsinsatsen. Det är alltså rimligt att bortse från både spridning och absorption vid ljusnivåberäkningar av aktuellt slag.

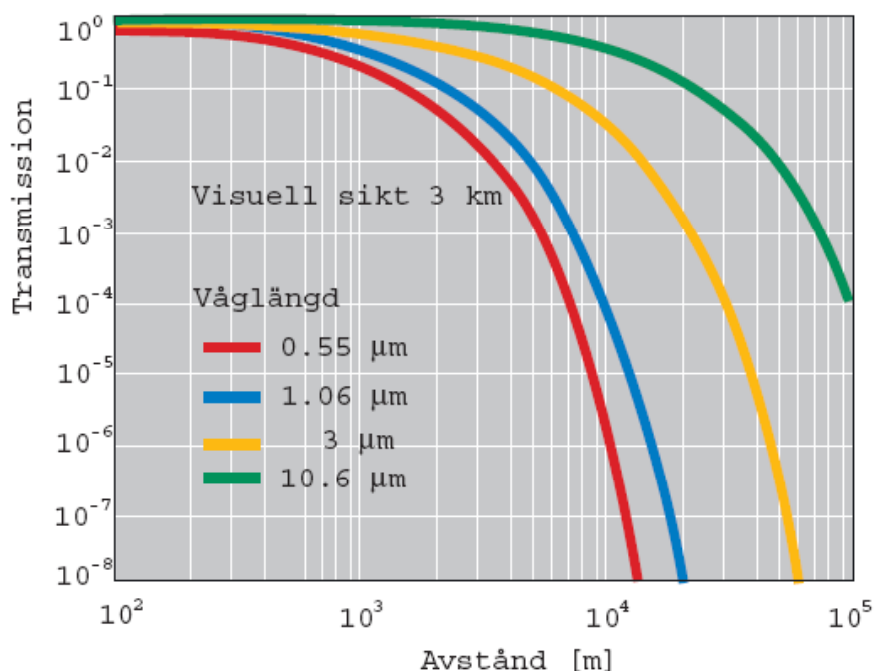


Bild 5.1.1. Ljusets transmission som funktion av avstånd och våglängd, utgående från Beers lag (se Appendix D). Utifrån diagrammet kan man dra slutsatsen att transmissionen för synligt ljus är av samma storleksordning som transmissionen för strålning av de våglängder som är intressanta för NVD (600-900 nm).⁹

⁶ Liljequist (1979)

⁷ Gustafsson (personlig kontakt)

⁸ <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/atmoseff.htm> samt

http://www.electro-optical.com/bb_rad/atmo_abs.htm

⁹ Gustafsson (2007)

5.2 Reflektion

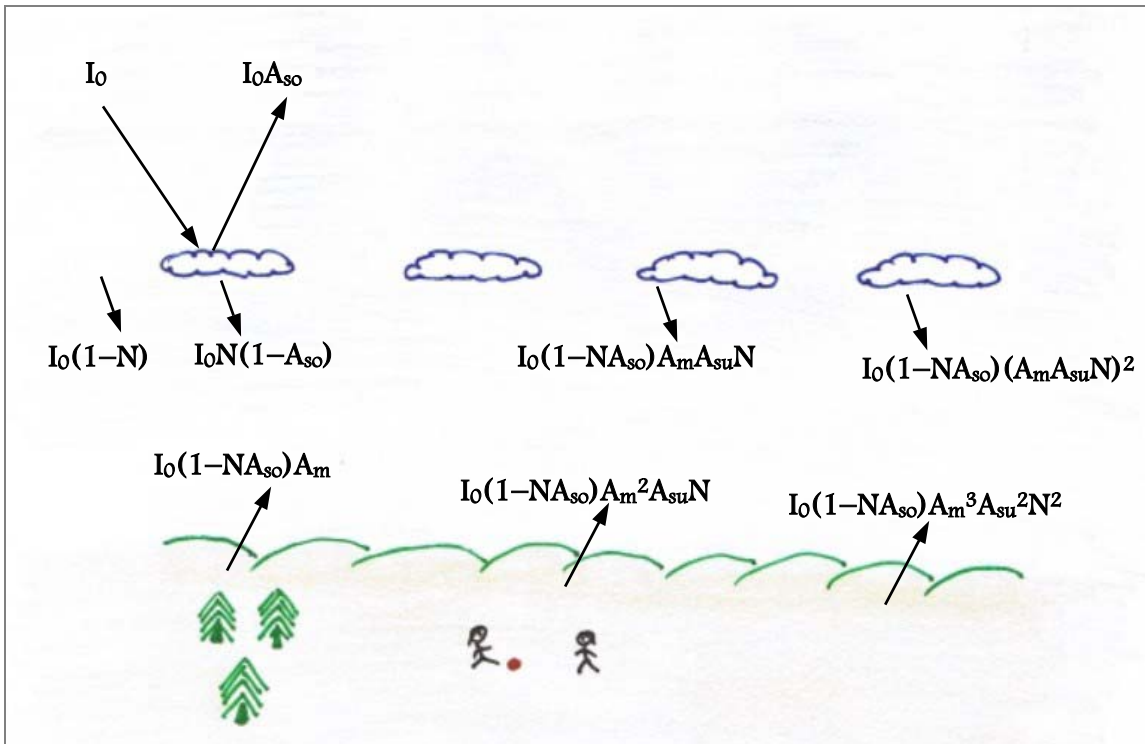


Bild 5.2.1. Inkommande strålningens reflektion i molnöversidor, molnundersidor och marken.

Vi inför följande beteckningar:

N = totala molnmängden

A_{so} = molnöversidans albedo

A_{su} = molnundersidans albedo

A_m = markens albedo

I_0 = inkommande strålning ovan molnen

Ovan molnen inkommer strålningens mängd I_0 , och efter passage genom eventuella moln finns strålningens mängd $I_0 N (1 - A_{so}) + I_0 (1 - N) = I_0 (1 - N A_{so})$ kvar, förutsatt att ingen absorption sker i molnen (se avsnitt 5.1).

Summan S av de nedåtriktade flödena blir då

$$S_{\text{ner}} = I_0 (1 - N A_{so}) + I_0 (1 - N A_{so}) A_m A_{su} N + I_0 (1 - N A_{so}) A_m^2 A_{su}^2 N^2 + \dots$$

Denna summa kan beräknas med hjälp av den oändliga geometriska serien

$$S_{\text{ner}} = I_0 (1 - N A_{so}) \sum_{k=0}^{\infty} (A_m A_{su} N)^k$$

$$S_{\text{ner}} \rightarrow \frac{I_0 (1 - N A_{so})}{1 - A_m A_{su} N} \quad \text{då } k \rightarrow \infty$$

Summan av de uppåtriktade flödena, som förstås också lysa upp terrängen, blir

$$S_{\text{upp}} = I_0 A_m (1 - NA_{\text{so}}) + I_0 A_m (1 - NA_{\text{so}}) A_m A_{\text{su}} N + I_0 A_m (1 - NA_{\text{so}}) (A_m A_{\text{su}} N)^2 + \dots$$

vilket ger den oändliga geometriska serien

$$S_{\text{upp}} = I_0 A_m (1 - NA_{\text{so}}) \sum_{k=0}^{\infty} (A_m A_{\text{su}} N)^k$$

$$S_{\text{upp}} \rightarrow \frac{I_0 A_m (1 - NA_{\text{so}})}{1 - A_m A_{\text{su}} N} \quad \text{då } k \rightarrow \infty$$

Sammanlagt tillgängligt ljus blir alltså

$$S = S_{\text{ner}} + S_{\text{upp}} = \frac{I_0 (1 - NA_{\text{so}})}{1 - A_m A_{\text{su}} N} + \frac{I_0 A_m (1 - NA_{\text{so}})}{1 - A_m A_{\text{su}} N} = (1 + A_m) \left(\frac{I_0 (1 - NA_{\text{so}})}{1 - A_m A_{\text{su}} N} \right)$$

Att ta fram albedovärden är inte enkelt, eftersom de till så stor del beror av molnens egenskaper respektive markens exakta utformning. En ansats är dock att använda de ungefärliga värden som presenteras i tabell 5.2.2, 5.2.3 respektive 5.2.4.

| Molntyp | Albedo (A_{so}) | | |
|---------------------|----------------------------|----------|------------|
| | Måne 45° | Måne 10° | Ingen måne |
| Ns | 0,90 | 0,90 | 0,90 |
| Sc | 0,70 | 0,70 | 0,70 |
| St | 0,65 | 0,65 | 0,65 |
| St eller Sc, tunna | 0,50 | 0,65 | 0,50 |
| Ac eller As, tjocka | 0,70 | 0,70 | 0,70 |
| Ac eller As, tunna | 0,30 | 0,50 | 0,30 |
| Cs | 0,35 | 0,55 | 0,35 |
| Ci eller dis | 0,20 | 0,35 | 0,20 |

Tabell 5.2.2. Ungefärligt albedo gällande översidan för olika molntyper.¹⁰

| Molntyp | Albedo (A_{su}) |
|---------------------|----------------------------|
| Ns | 0,90 |
| Sc | 0,70 |
| St | 0,65 |
| St eller Sc, tunna | 0,50 |
| Ac eller As, tjocka | 0,70 |
| Ac eller As, tunna | 0,30 |
| Cs | 0,35 |
| Ci eller dis | 0,20 |

Tabell 5.2.3. Ungefärligt albedo gällande undersidan för olika molntyper.

¹⁰ http://www.atmosphere.mpg.de/enid/3__Sonne_und_Wolken/-_Albedo_3ao.html samt Bergeås et al (1982)

| Markytans tillstånd | Albedo (A_m) |
|-----------------------------------|------------------|
| Hav utan vågor | 0,20 |
| Hav med måttliga eller höga vågor | 0,04 |
| Is utan nysnö | 0,55 |
| Is med nysnö | 0,80 |
| Tät skog vid barmark | 0,05 |
| Tät skog med torr snö | 0,50 |
| Våt mark | 0,05 |
| Fuktig mark | 0,10 |
| Torr mark | 0,20 |
| Blötsnö | 0,35 |
| Torr snö (nysnö) | 0,70 |
| Gammal snö, halvtäckande | 0,25 |
| Öken | 0,25 |

Tabell 5.2.4. Ungefärliga markalbedon.¹¹ Över en lugn havsyta varierar albedot med det inkommande ljusets vinkel, i praktiken alltså med månens elevation vid molnfri himmel (eftersom stjärnorna är relativt jämnt fördelade över himlavalvet); här presenteras endast ett uppskattat genomsnitt.

5.3 Känslighetsanalys

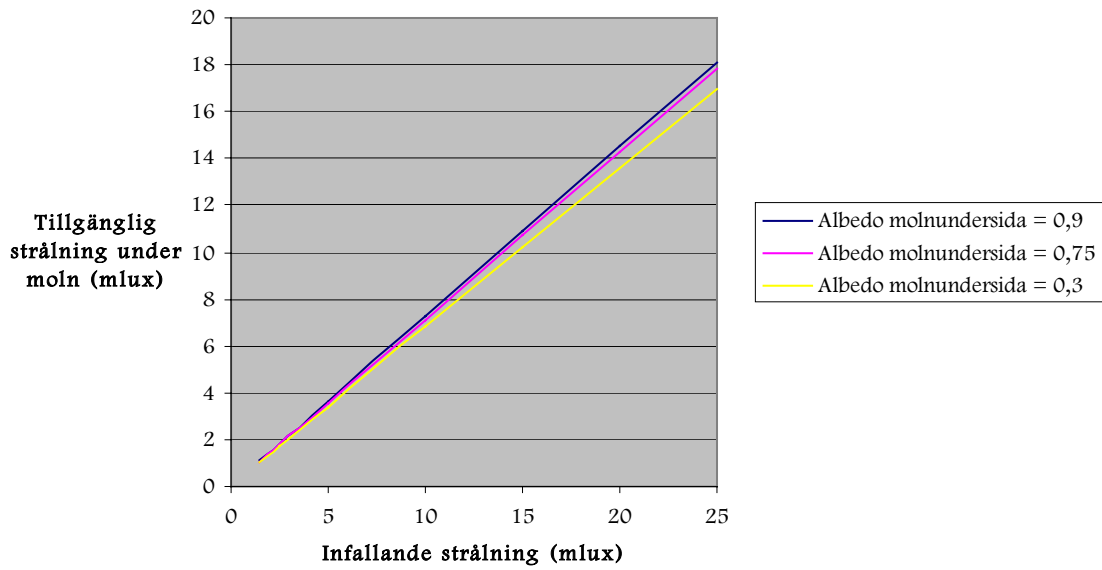
En analys av känsligheten för de olika parametrarna som ingår i sambandet S

$$S = (1 + A_m) \frac{I_0 (1 - NA_{so})}{1 - A_m A_{su} N}$$

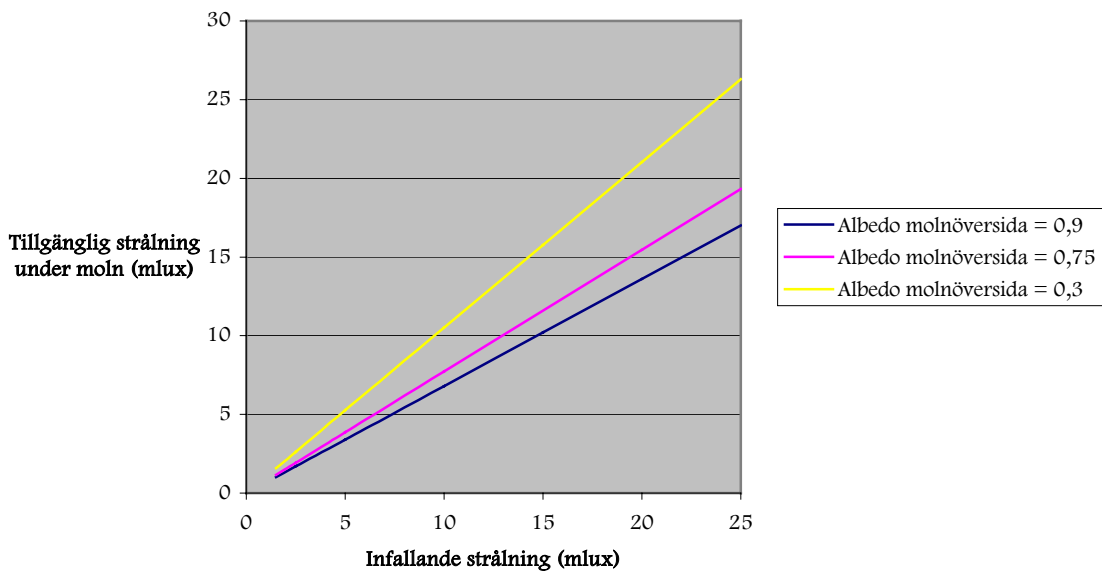
visar att den minst känsliga parametern är albedot för molnens undersida (se bildserie 5.3.1). Inte ens riktigt stora förändringar av detta albedovärde ger något stort utslag i resultatet S. Övriga parametrar visar större känslighet, men tål att det sker mindre missbedömningar utan att resultatet påverkas i alltför stor utsträckning.

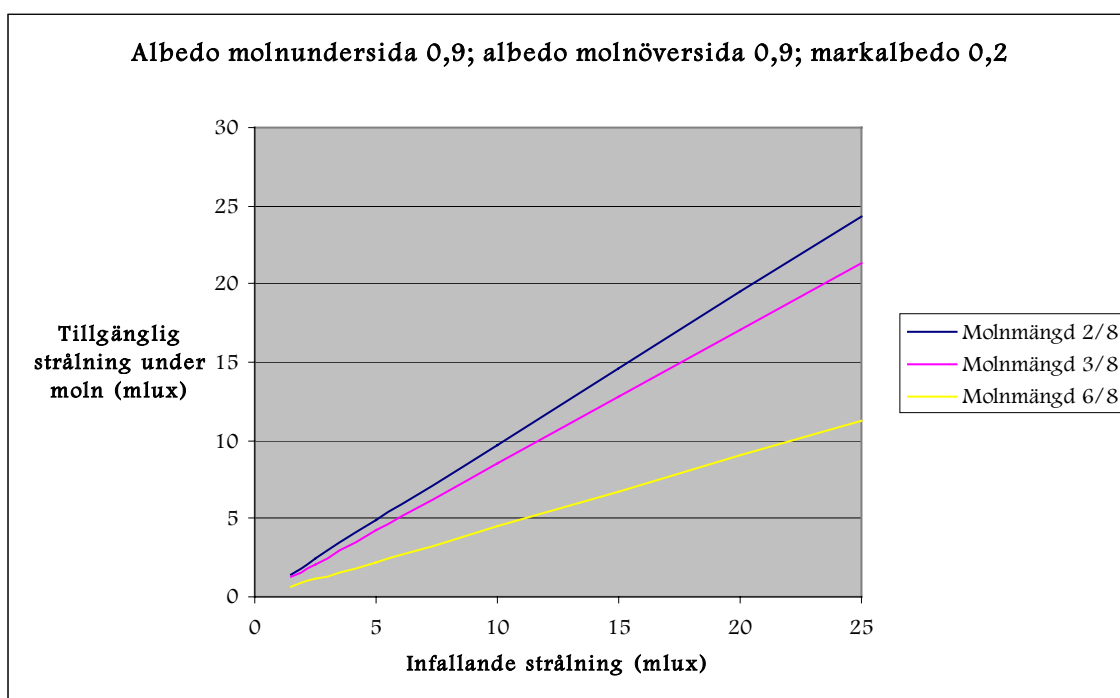
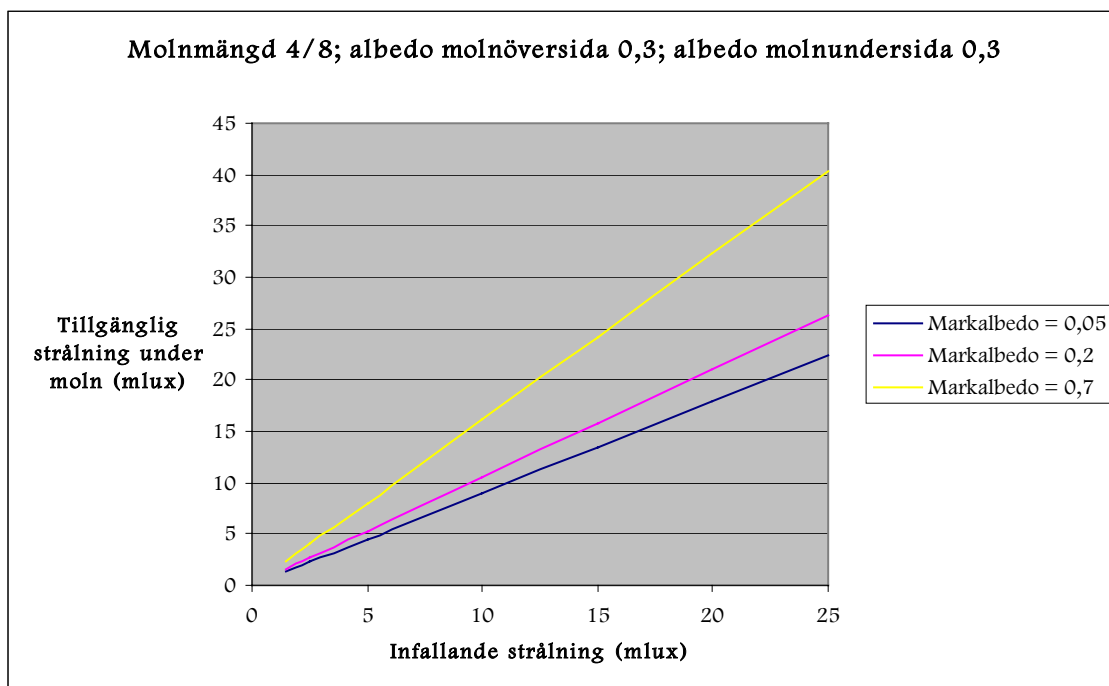
¹¹ Liljequist (1979), Olsson (1982) samt <http://www.eduspace.esa.int/subtopic/default.asp?document=298&language=de>

Molnmängd 4/8; albedo molnöversida 0,9; albedo mark 0,2



Molnmängd 4/8; albedo molnundersida 0,3; albedo mark 0,2





Bildserie 5.3.1. Samband mellan den infallande strålningen (I_0) och den tillgängliga strålningen under moln (S) för olika albedon och molnmängd. Den minst känsliga parametern som ingår i ekvationen S är albedot för molnens undersida.

5.4 Standardavvikelser

Standardavvikelsen för S (det sammanlagt tillgängliga ljuset) beräknas genom Gauss approximativa formel för variansen för en funktion, där kovarianstermerna försummas:

$$s_F^2 = \left(\frac{\partial F}{\partial m_1}\right)^2 \cdot s_1^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial m_2}\right)^2 \cdot s_2^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial m_3}\right)^2 \cdot s_3^2 + \dots$$

Funktionen F motsvaras av summan av det tillgängliga ljuset, m är de olika parametrarna som ingår i uttrycket och s är standardavvikelse, d.v.s.

$$s_s = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial I_0}\right)^2 \cdot s_{I_0}^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial N}\right)^2 \cdot s_N^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial A_{so}}\right)^2 \cdot s_{A_{so}}^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial A_m}\right)^2 \cdot s_{A_m}^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial A_{su}}\right)^2 \cdot s_{A_{su}}^2}$$

De ingående derivatorna redovisas i Appendix A.

Som väntat innebär höga albedon för molnundersida och mark större avvikelse än då dessa albedovärden är låga – vid höga albedon är det ju en större andel strålning som reflekteras mellan mark och molnundersida (se bild 5.4.1 resp. 5.4.2).

Bild 5.4.3 resp. 5.4.4 visar sambandet mellan infallande strålning (I_0) och standardavvikelsen då man håller albedona konstanta och låter molnmängden variera respektive då man låter molnöversidans albedo variera och håller övriga parametrar konstanta. Vid lägre nivåer på den infallande strålningen blir avvikelse mindre ju mindre mängd strålning som finns tillgänglig under molnen (på grund av stor molnmängd eller högt albedo för molnöversidan). Vid högre nivåer på den infallande strålningen blir standardavvikelse mindre ju mindre molnmängden är, d.v.s. då andelen strålning som reflekteras mellan mark och molnundersida är liten.

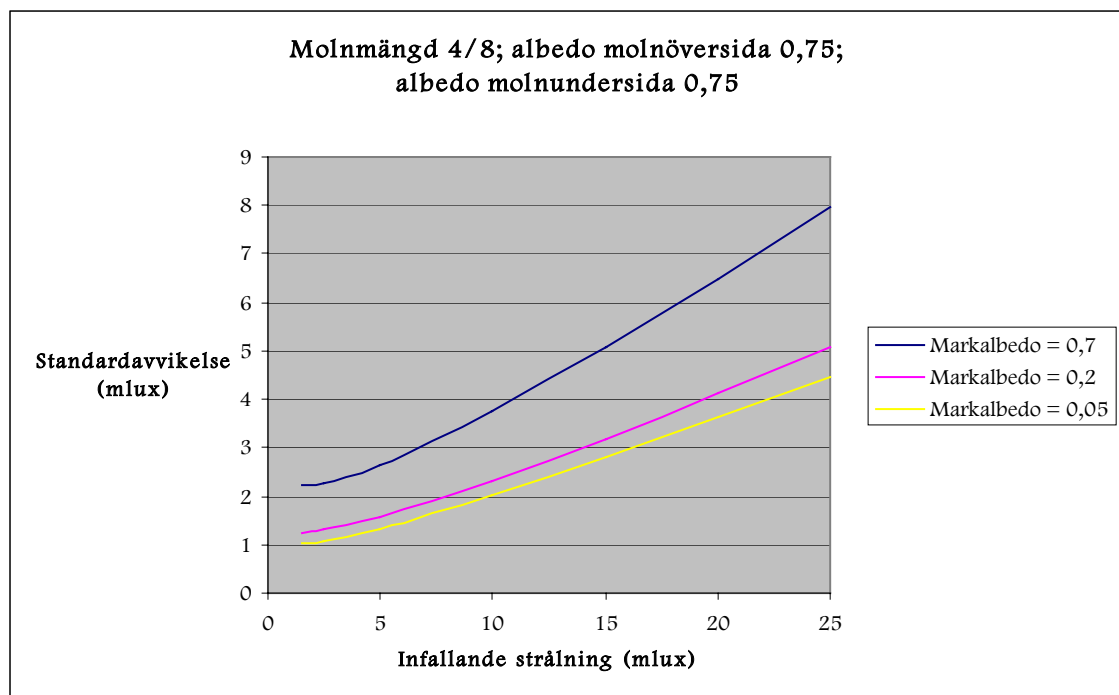


Bild 5.4.1. Samband mellan infallande strålning (I_0) och standardavvikelse vid olika markalbedon. Varianserna har satts till: I_0 : 1,5 mlux; N : 1/8; A_{so} : 0,1; A_{su} : 0,15; A_m : 0,1

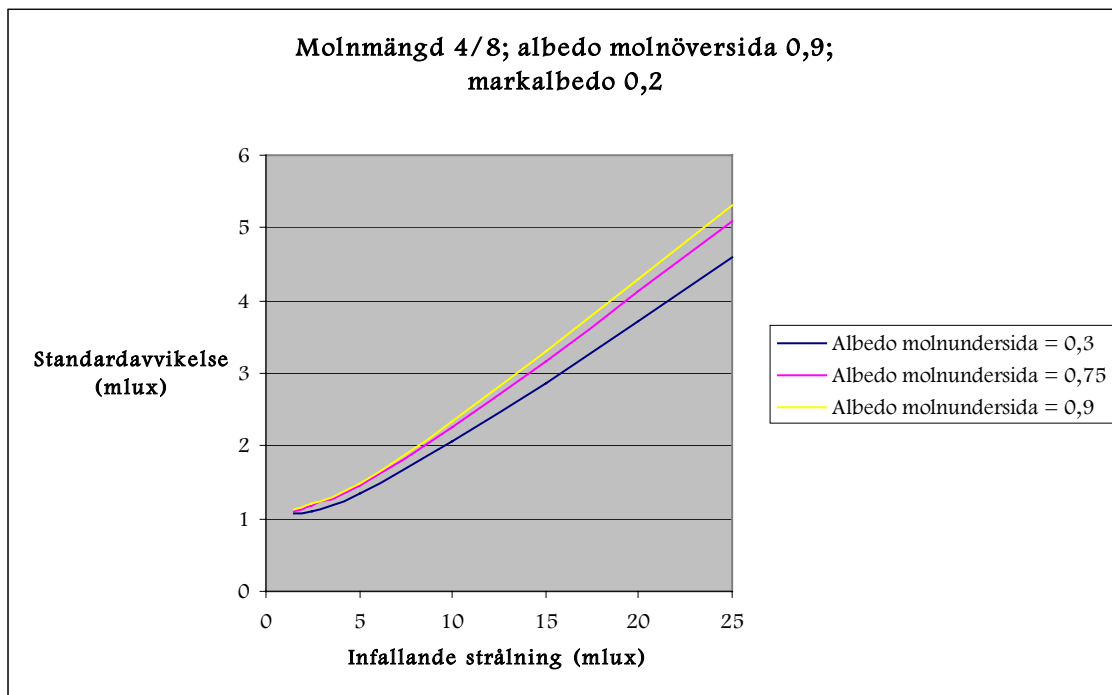


Bild 5.4.2. Samband mellan infallande strålning (I_0) och standardavvikelse vid olika albedon för molnens undersida. Varianserna har satts till: I_0 : 1,5 mlux; N : 1/8; A_{so} : 0,1; A_{su} : 0,15; A_m : 0,1

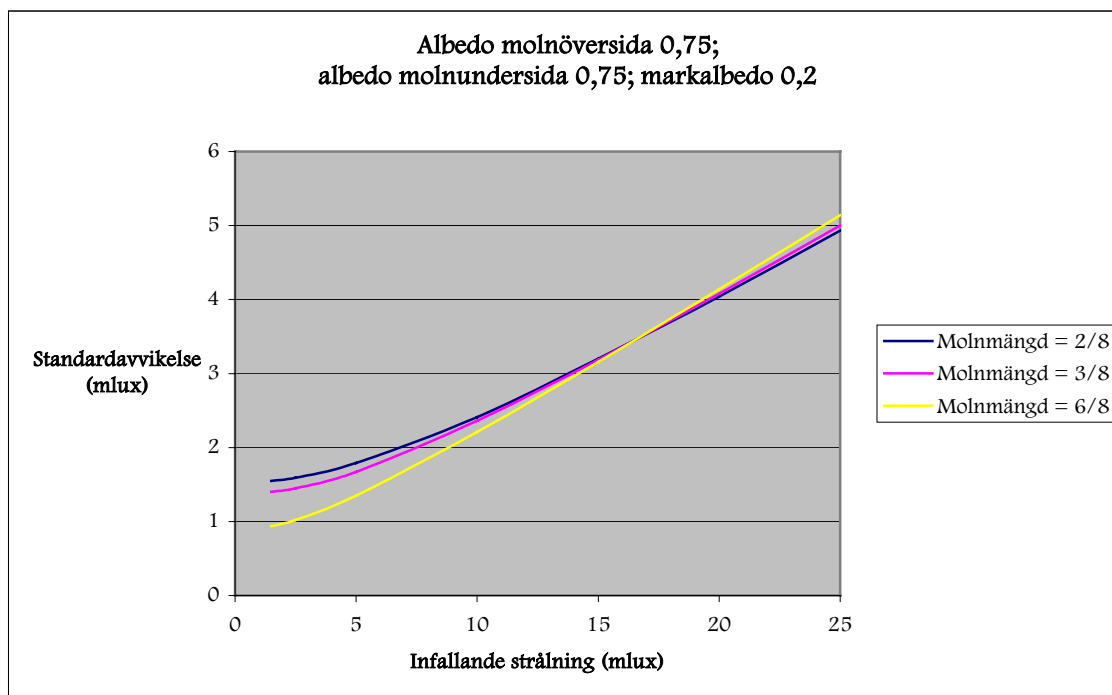


Bild 5.4.3. Samband mellan infallande strålning (I_0) och standardavvikelse vid olika molnmängd. Varianserna har satts till: I_0 : 1,5 mlux; N : 1/8; A_{so} : 0,1; A_{su} : 0,15; A_m : 0,1

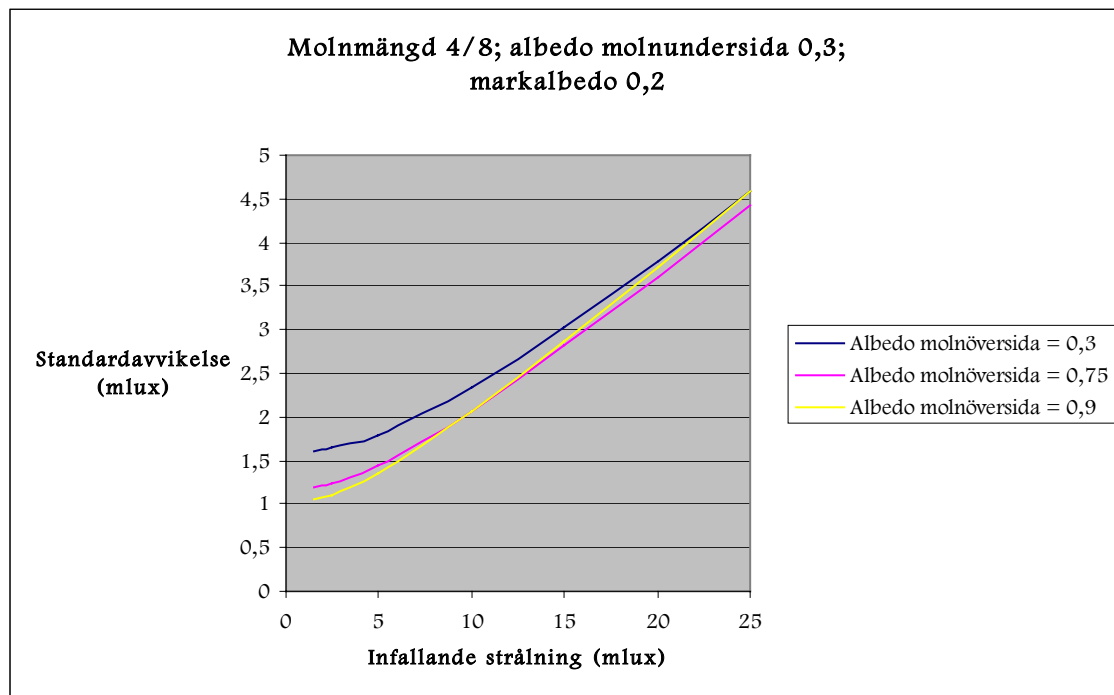


Bild 5.4.4. Samband mellan infallande strålning (I_0) och standardavvikelse vid olika albedon för molnens översida. Varianserna har satts till: I_0 : 1,5 mlux; N : 1/8; A_{so} : 0,1; A_{su} : 0,15; A_m : 0,1

5.5 Resultat

Det sammanlagt tillgängliga ljuset under molnen, S , kan beräknas genom sambandet

$$S = (1 + A_m) \frac{I_0(1 - NA_{so})}{1 - A_m A_{su} N}$$

där N är molnmängden, A_{so} molnöversidans albedo, A_{su} molnundersidans albedo, A_m markens albedo och I_0 den inkommande strålningen ovan molnen.

Förslag till albedovärden för olika moln- och marktyper finns i tabellerna 5.2.2, 5.2.3 respektive 5.2.4.

5.6 Diskussion och kommentarer

Sambandet som visar summan av det tillgängliga ljuset innehåller parametrar som är mycket svåra att i praktiken ge exakta värden för. En känslighetsanalys (se avsnitt 5.3) visar dock att även om det sker en missbedömning av ett albedo med 10-15 procentenheter, eller av molnmängden med 1/8, så blir resultatet av det tillgängliga ljuset under moln inte särskilt lidande.

Det finns en hel del litteratur som diskuterar albedon för molnöversidor och mark. De värden som presenteras skiljer sig i vissa detaljer, men i stort verkar forskarna vara överens; några stora kontroverser förekommer inte. Albedon för molnundersidor diskuteras däremot inte alls lika flitigt.

En molnöversida fungerar inte som en spegel, där den strålning som reflekteras kommer enbart från det allra ytligaste skiktet, utan infallande strålning reflekteras genom hela molnets volym. Därför är det rimligt att anta att även den strålning som

kommer underifrån reflekteras genom hela molnets volym, vilket gör att albedovärdet för molnets undersida ligger mycket nära albedovärdet för molnets översida. Att moln med stor vertikal utsträckning ofta har relativt stora vattendroppar i undersidan, medan översidan består av iskristaller, motsäger således inte antagandet att albedot för molnundersidan är ungefär lika med albedot för molnöversidan.

När det gäller resultatet S , sammanlagt tillgängligt ljus under moln, så visar känslighetsanalysen att albedot för molnens undersida är den minst känsliga parametern. Även riktigt stora förändringar i detta albedovärde ger relativt små utslag i S . Därför ser jag det som helt godtagbart att i det här sammanhanget använda samma albedon för molnöversidor och molnundersidor.

Standardavvikelseerna är relativt stora vid förhållanden med lite infallande ljus, men då det infallande ljuset överstiger ca 5 mlux blir avvikelseerna mera måttliga.

Även om det är rimligt att i det här sammanhanget bortse från ljusets spridning och absorption i atmosfären, så bidrar dessa parametrar naturligtvis till ett visst fel.

5.7 Slutsatser

Att implementera parametern ”markytans tillstånd” i Försvarsmaktens ljusprognosmodell skulle leda till förbättringar jämfört med nuvarande metodik. Förbättringarna skulle vara särskilt märkbara i de fall då himlen bara är delvis täckt av moln och/eller i de fall då marken är täckt av snö.

6 Strålning från artificiellt ljus

När det gäller spridning av artificiellt ljus finns ett antal rapporter och avhandlingar att hämta inspiration från. Dessa skrifter är dock till allra största delen författade av astronomer (som av förklarliga skäl ser det artificiella ljuset som en fiende; ordet "ljusförorening" förekommer ofta), och det ligger ju i sakens natur att astronomer inte har särskilt stort intresse att diskutera närvaron av moln och ljusspridning i samband med dessa. Att hitta texter som behandlar spridning av artificiellt ljus i molnens undersida har visat sig vara mycket svårt.

6.1 Garstangs ljusspridningsmodell

År 1986 publicerade astronomen Roy Garstang vid University of Colorado en rapport som är frekvent citerad i andra skrifter. I rapporten presenteras en modell som används för att beräkna luminansen av artificiellt ljus från en stad av en viss storlek, och hur illuminansen beror på avståndet från staden.

Garstang har inkluderat många olika parametrar i sin modell. Illuminansen från en stad beror i modellen av det avstånd och den vinkel (relativt staden) där observatören befinner sig, stadens storlek (både avseende yta och invånarantal), relativa mängden uppåtriktat ljus, markens reflektivitet och luftens genomskinlighet. Modellen tar även hänsyn till luftens densitet och effekter från Mie- och Rayleighspridning¹². Garstangs modell visar god – i vissa fall till och med utmärkt – överensstämmelse med både observationer och resultat från andra forskare.

Modellen kan t.ex. användas i planeringsstadiet vid uppförandet av nya astronomiska observationsplatser, som ett hjälpmedel för att kunna förlägga observatorier på platser som i så liten utsträckning som möjligt störs av artificiellt ljus från omkringliggande städer. I det avseendet tjänar den sitt syfte väl – i denna situation har man ju relativt gott om tid på sig att studera kartor och befolkningsstatistik för alla närliggande städer och ta fram all indata som behövs i modellen. I mera tillämpade sammanhang, t.ex. i en vardaglig prognossituation där det gäller att prognosera ljusnivåer på en godtycklig plats i Sverige (eller i världen), blir metoden däremot omständlig och utdragen.

6.2 Spridning av artificiellt ljus under molnfria förhållanden

Det finns i huvudsak tre olika metoder för att få fram information om det artificiella ljuset och dess spridning under molnfria förhållanden:

- Beräkningar
- Användande av satellitbilder i kombination med beräkningar
- Användande av satellitbilder, där spridningen vid molnfria förhållanden är beräknad

6.2.1 Beräkning av ljusspridning

För att med Garstangs modell kunna beräkna hur stor mängd artificiellt ljus som på en viss plats möter observatören måste man, som redovisats under avsnitt 6.1, inte bara känna till värdet för ett antal meteorologiska eller atmosfäriska parametrar. Man måste även veta hur många byar och städer som finns inom en viss radie, var de befinner sig i förhållande till observatören, hur stor yta varje ort täcker och deras

¹² Garstang (1986)

respektive invånarantal. Detta innebär mycket arbete och är knappast görligt i en daglig prognossituation. Man skulle kunna ta fram dessa uppgifter för enstaka förutbestämda platser, men att använda metoden systematiskt skulle inte fungera.

6.2.2 Satellitbilder i kombination med beräkningar

Amerikanska National Geophysical Data Center (NGDC), som är en del av NOAA, upprätthåller ett arkiv med satellitbilder av olika slag. I detta stora arkiv, där ny information ständigt tillkommer, finns bland annat satellitbilder som mäter mängden artificiellt ljus. Data från dessa satellitmätningar kan användas som utgångspunkt från vilken man – t.ex. med Garstangs modell – kan räkna fram hur det artificiella ljuset sprids.

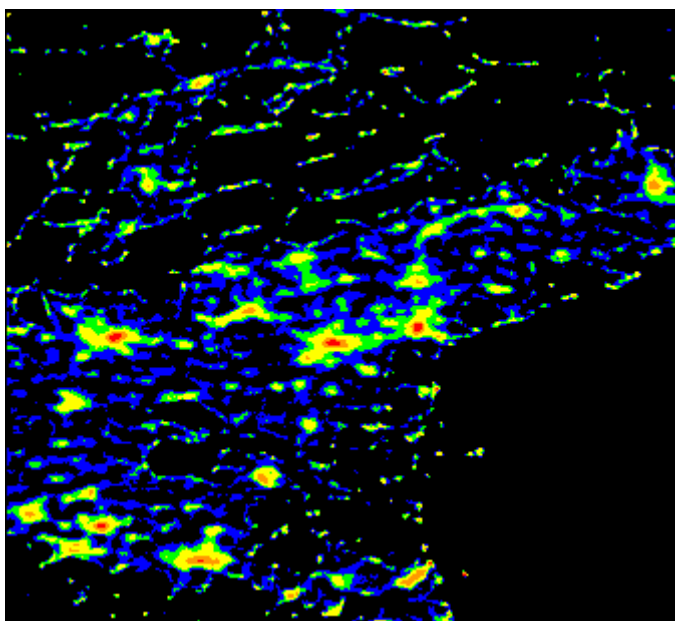


Bild 6.2.2.1. Satellitbild som visar artificiellt ljus.

Det finns dock ett antal problem med denna metod:

- Bilderna visar strålning av våglängder mellan 440 och 940 nm – möjligen bör man kalibrera om dem så att våglängder utanför NVD-området filtreras bort. För att göra det måste man känna till vilken sorts ljus/strålning som används i den typiska stadsbilden (d.v.s. vilka våglängder som förekommer) och hur stor andelen av varje sorts ljus är.
- Även om bilderna har hög upplösning (ca 1 km), så finns det sannolikt ljuskällor som inte löses upp på satellitbilderna, men som ändå spelar roll vid verklighetens NVD-flygning.
- NGDC uppdaterar sina mätningar regelbundet, men deras data kalibreras inte alltid; i själva verket finns det bara en uppsättning data som är kalibrerad. Dessa satellitmätningar är gjorda 1996-1997, så bilderna är alltså drygt tio år gamla. Använder man ett förfarande med satellitbilder bör man se till att använda relativt aktuella sådana, ty på vissa platser förändras den artificiella ljusbilden snabbt. Det finns inte någon form av överenskommelse om att NGDC ska uppdatera de kalibrerade bilderna med vissa intervall.
- Ur svensk militär synpunkt måste man förstås även ta hänsyn till risken att bli beroende av utländsk information. USA är emellertid en del av NATO/PfP-kretsen precis som Sverige, så i nuläget borde detta inte innebära något större problem.

För att få använda satellitbilder från NGDC måste källan anges.

6.2.3 Satellitbilder med beräknad ljusspridning för molnfria förhållanden

Även italienska Light Pollution Science and Technology Institute intresserar sig för artificiellt ljus och hur det sprids. Här använder man också satellitbilder, men man har förändrat de ”råa” bilderna genom att lägga till information om hur det artificiella ljuset sprids under molnfria förhållanden.

Man har använt NGDC:s kalibrerade satellitbilder från 1996-1997, men har förändrat dem genom att för varje pixel i satellitbilden undersöka hur mycket artificiellt ljus som finns inom en radie av 200-300 km. Därefter har Garstangs modell använts för att räkna fram det artificiella ljusets spridning, och resultatet presenteras i bilden med hjälp av olika färger.¹³

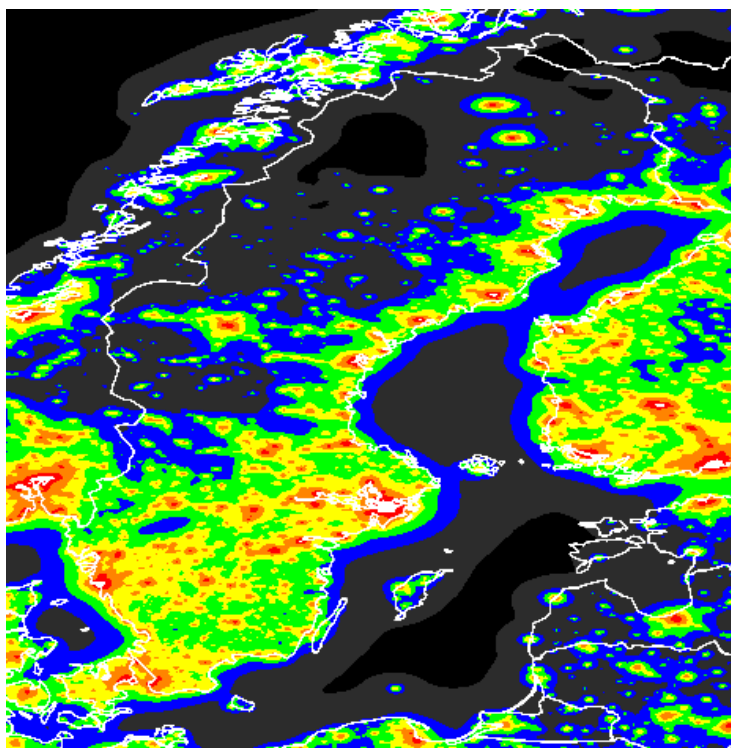


Bild 6.2.3.1. Bild från Light Pollution Science and Technology Institute, där man har tagit hänsyn till det artificiella ljusets spridning under molnfria förhållanden.

Färgerna i bilderna från Light Pollution Science and Technology Institute motsvaras av olika luminansnivåer. Eftersom vi i våra ljusprognoser använder illuminans måste man göra en omvandling för att kunna använda resultaten från bilderna.

Om man förutsätter att man har att göra med en ideal, diffust reflekterande yta kan Lamberts lag användas. Enligt Lamberts lag motsvaras den utgående strålningens intensitet i en viss riktning av det reflekterade flödet reducerat till areaenheten för den reflekterande ytan samt till rymdvinkelenheten¹⁴, vilket innebär att luminans kan omvandlas till illuminans genom division med π .¹⁵ Detta visas i Appendix B.

¹³ Cinzano et al (2001)

¹⁴ Liljequist (1979)

¹⁵ Millington (2006)

| Färg | Luminans ($\mu\text{cd}/\text{m}^2$) | Illuminans (millilux) |
|--------|--|-----------------------|
| Svart | <2,5 | <0,0080 |
| Grå | 2,5-27,7 | 0,0080-0,087 |
| Blå | 27,7-83,2 | 0,087-0,26 |
| Grön | 83,2-252 | 0,26-0,79 |
| Gul | 252-756 | 0,79-2,37 |
| Orange | 756-2268 | 2,37-7,12 |
| Röd | 2268-6804 | 7,12-21,4 |
| Vit | >6804 | >21,4 |

Tabell 6.2.3.2. Satellitbilderna från Light Pollution Science and Technology Institute visar luminansen genom olika färger. Tabellen visar även omvandlingen från luminans till illuminans för en ideal, diffust reflekterande yta.

De problem som föreligger för satellitbilderna enligt avsnitt 6.2.2 gäller förstås även för denna typ av bilder.

För att kunna använda bilder från Light Pollution Science and Technology Institute i ljusprognosmodellen måste tillstånd inhämtas.

6.3 Spridning av artificiellt ljus då himlen inte är molnfri

Att det artificiella ljuset sprids annorlunda då det är mulet, jämfört med då det är molnfritt, inser man intuitivt. En parametrering av ljusets spridning under icke molnfria förhållanden ter sig dock komplicerad.

Ljuset från en stad avspeglar sig i molnen ovanför staden. Dessa moln och detta ljus kan ses från platser som ligger längre bort, även då staden som sådan ligger bortom horisonten eller är dold av ett berg. Ljuset ”från molnen” lyser naturligtvis (genom spridning) även upp platser varifrån man inte ser själva molnen.

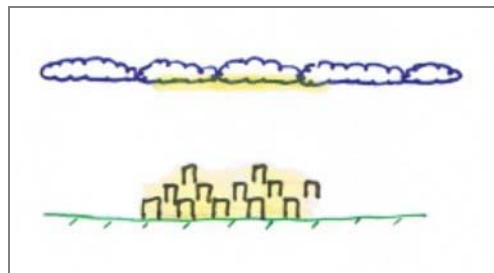


Bild 6.3.1. Ljuset från en stad avspeglas i molnen.

Att använda en matematisk spridningsmodell kräver kännedom om flera parametrar som inte är kända i det vardagliga prognosarbetet. Det rör sig inte bara om svåråtkomliga atmosfäriska parametrar; man behöver även information om storleken på städer och städernas placering i förhållande till observatören etc. Ett förfarande som detta kräver sannolikt en hel del bedömningar (eller, i värsta fall, rena gissningar), och leder till svar med ganska stort fel.

Ett alternativ är att man utgår ifrån de ”råa” satellitbilderna, d.v.s. satellitbilder utan beräknad ljusspridning för molnfria förhållanden. Med utgångspunkt från dessa applicerar man en ljusspridningsmodell som visar ett enklare samband mellan molnbas, sikt, ljusspridning och avståndet till artificiella ljuskällor, och på detta sätt får man fram hur det artificiella ljuset sprids. Bild 6.3.2 visar hur transmissionen beror av avstånd och sikt.

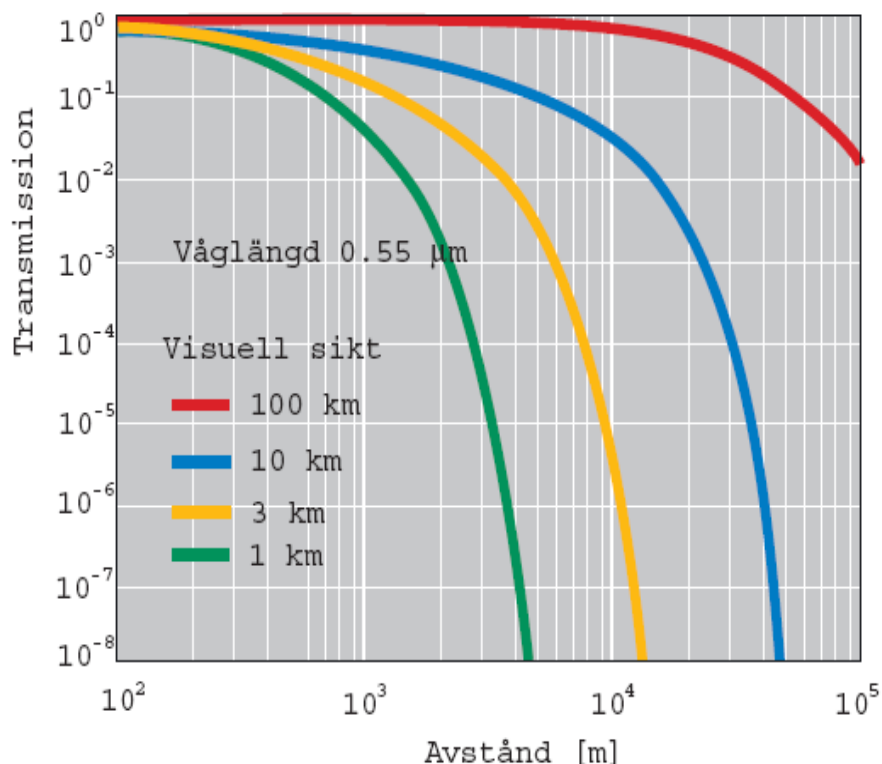


Bild 6.3.2. Ljusets transmission, för olika siktvärden, som funktion av avståndet.¹⁶ (Medelvärdet för transmissionen för våglängderna 600-900 nm är i samma storleksordning som transmissionen för synligt ljus.) Diagrammet baserar sig på Beers lag, se Appendix D.

Detta alternativ har emellertid svagheten att det inte tar hänsyn till observatörens (helikopterns) höjd; på högre höjd nås observatören rimligtvis – åtminstone i de flesta situationer – av en större mängd artificiellt ljus. Jag ser det dock inte som rimligt att göra prognoser för olika flyghöjder, särskilt som NVD kommer till sin viktigaste användning på relativt låg höjd.

Förfarandet är dock problematiskt. På landsbygden norr om Kiruna är det förmodligen rimligt att räkna Kiruna som den enda källan med artificiellt ljus, men i Småland är det inte lika självklart. Det är inte enkelt eller smidigt att räkna samman spridningen av ljus från ett mycket stort antal ljuskällor.

Naturligtvis bör man även ta hänsyn till jordens krökning och överväga om de upplysta molnen över huvud taget har någon möjlighet att sända ljus till en viss plats. Här är det nödvändigt att, förutom höjden till molnbasen, även ta hänsyn till observatörens höjd över marken.

Det längsta avstånd på vilket två föremål är synliga för varandra (med hänsyn till jordens krökning) kan räknas fram genom sambandet

$$a = \sqrt{h_m(2R + h_m)} + \sqrt{h_o(2R + h_o)}$$

¹⁶ Gustafsson (2007)

där a är avståndet mellan föremålen, h_m är höjden för det ena föremålet (molnbasen), h_o höjden för det andra föremålet (helikoptern) och R jordens radie (se bild 6.3.3). Sambandet härleds i appendix C.

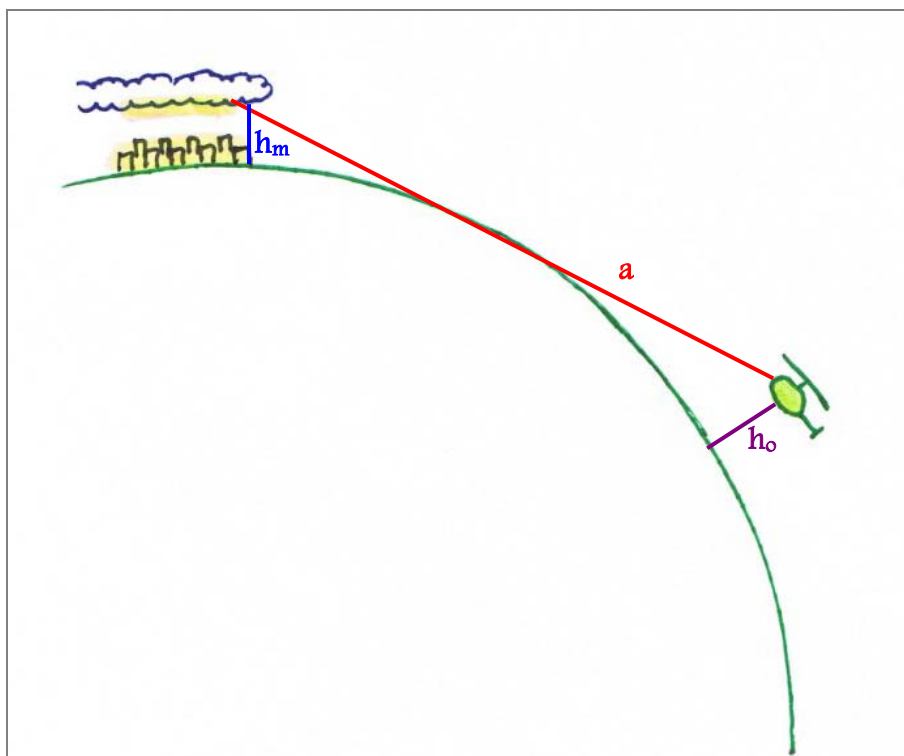


Bild 6.3.3. Avståndet a är det största avstånd på vilket två föremål är synliga för varandra, med hänsyn taget till jordens krökning. Molnbasen anges med h_m , och h_o är helikopterns höjd.

Att i det här sammanhanget bortse från jordens krökning leder dock inte till ett stort fel – diagrammet i bild 6.3.2 visar att även vid mycket god sikt är det bara en liten del av ljuset som sprids längre än 100 km.

6.4 Resultat

6.4.1 Molnfria förhållanden

Då himlen är molnfri finns det tre olika sätt att få fram information om det artificiella ljusets spridning: beräkningar, satellitbilder med beräknad ljusspridning och ”råa” satellitbilder (bilder som inte är justerade med avseende på ljusets spridning vid molnfria förhållanden) i kombination med beräkningar.

6.4.2 Icke molnfria förhållanden

Då himlen inte är molnfri bör man utgå från ”råa” satellitbilder, och på dessa applicerar man en modell som visar ett enklare samband mellan sikt, molnbas, ljusspridning och avståndet till artificiella ljuskällor. På detta sätt får man fram information om det artificiella ljusets spridning. Denna modell bör förstås anpassas så att den kan användas även för molnfria förhållanden; det ska alltså inte vara nödvändigt att ha skilda förfaranden för molnfria och icke molnfria förhållanden.

6.5 Diskussion och kommentarer

6.5.1 Molnfria förhållanden

Att använda en beräkningsmetod för att få fram det artificiella ljusets spridning under molnfria förhållanden är inte bara tidsödande; det är även svårt att – i en prognos-situation – få fram tillförlitlig och exakt information för alla de parametrar som ingår i beräkningarna. Risken med denna metod är att man får en falsk noggrannhet, eftersom man måste göra mer eller mindre lyckade antaganden eller uppskattningar av den felande informationen.

Nyttjande av ”råa” satellitbilder som visar artificiellt ljus i kombination med en ljusspridningsmodell skulle sannolikt innebära ett mindre fel i resultatet. Efter en inledande ansträngning för att få fram en acceptabel ljusspridningsmodell, så vore det möjligt att i ett andra steg förbättra ljusspridningsmodellen så att den även kan ta hänsyn till ljusets spridning vid icke molnfria förhållanden.

Satellitbilder med beräknad ljusspridning är det enklaste sättet att få fram information om det artificiella ljusets spridning vid molnfria förhållanden – här är ju svaret givet redan i utgångsläget. Att i ett senare skede bygga vidare på dessa bilder för att få fram information om ljusspridning vid icke molnfria förhållanden är dock förmodligen svårt.

6.5.2 Icke molnfria förhållanden

Att ta fram det artificiella ljusets spridning under icke molnfria förhållanden genom att göra teoretiska beräkningar är visserligen intressant och har ett värde i sig, men med tanke på att felet i beräkningarna blir relativt stora (eftersom det ingår så många parametrar som det är omöjligt att känna till ett exakt värde för) kan det i det här sammanhanget vara lika värdefullt med empiriskt framtagna värden som kan användas i en enkel modell för spridning av artificiellt ljus. Denna empiriska modell appliceras på information från ”råa” satellitbilder (d.v.s. bilder som inte är justerade med avseende på ljusets spridning vid molnfria förhållanden). Man måste dock – i många fall – räkna samman ljuset från ett stort antal ljuskällor, vilket kan vara tidsödande.

En för prognostikern smidig lösning vore att beräkningarna sker automatiskt efter det att prognostikern har angett värden för molnbas och sikt, och har klickat på en punkt (pixel) eller valt ett område i en karta. Programmet använder den empiriska modellen för att räkna fram hur mycket artificiellt ljus som sprids till denna punkt, alternativt redovisar det artificiella ljusets spridning i valt område genom färger på en kartbild, liknande det presentationssätt som Light Pollution Science and Technology Institute använder.

6.6 Slutsatser

6.6.1 Molnfria förhållanden

Vid molnfria förhållanden är det lämpligt att använda satellitbilder från Light Pollution Science and Technology Institute för att få fram information om mängden artificiellt ljus. Med hjälp av dessa behöver prognostikern bara ta en titt på satellit-bilden för att se hur stor illuminansen från artificiellt ljus är på prognosplatsen eller i prognosområdet. Det skulle vara relativt enkelt att implementera detta i ljusprognosmodellen.

I förlängningen, då man har tagit fram ett samband mellan ljusspridning och molnbas, sikt och avståndet till artificiella ljuskällor, och man använder detta samband i kombination med "råa" satellitbilder, bör även ljusspridning vid molnfria förhållanden kunna räknas fram på detta sätt. På det sättet slipper man använda två skilda förfaranden vid molnfria och icke molnfria förhållanden.

6.6.2 Icke molnfria förhållanden

För det artificiella ljusets spridning under icke molnfria förhållanden är det lämpligt att man finner ett enklare samband mellan molnbas, sikt, ljusspridning och avståndet till artificiella ljuskällor. Denna empiriskt framtagna modell appliceras på information från "råa" satellitbilder.

7 Rekommendationer

7.1 Förändringar i närtid

Programmet "Astro Calc" fungerar i sig tillfredsställande, men ger bara information om infallande naturligt ljus. Det vore värdefullt att ta fram en betaversion med modifieringar, varpå man verifierar resultaten genom en mätkampanj.

- Hänsyn tas till markytans tillstånd och till molnmängd genom förfarandet beskrivet under avsnitt 5.2.
- Vid molnfria förhållanden tas hänsyn till mängden artificiellt ljus genom nyttjande av satellitbilder med beräknad ljusspridning (se avsnitt 6.2.3).
- Alla korrekationer inarbetas i PC-programmet, så att prognostikern inte behöver slå i tabeller och göra egna beräkningar.

7.2 ELLEN – Försvarsmaktens nya ljusprognosmodell?

Den förbättrade ljusprognosmodellen ELLEN (En lättanvänd ljusprognosmodell/NVD-prognosmodell) tar alltså, till skillnad från dagens prognosmetod, hänsyn till molnmängden och till markytans tillstånd. Detta innebär att ELLEN ger bättre resultat än dagens prognosmetod inte minst vid förhållanden då himlen är delvis täckt av moln, då marken är täckt av snö och/eller då det ligger is på sjöar och hav (se bild 7.2.1). Denna första version av ELLEN har även den fördelen att den tar hänsyn till artificiellt ljus vid molnfria förhållanden.

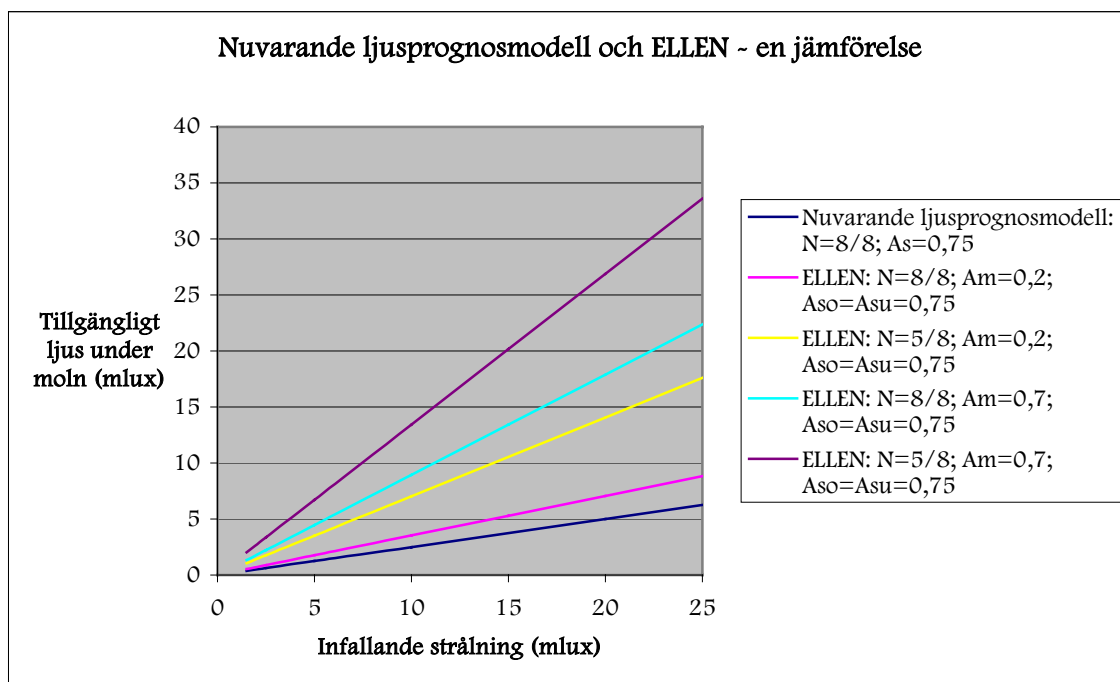


Bild 7.2.1. Jämförelse (avseende ljus från naturliga källor) mellan nuvarande ljusprognosmodell och nya prognosmodellen ELLEN. ELLEN ger fyra mycket olika resultat, beroende på markförhållanden och molnmängd, medan nuvarande prognosmodell inte kan differentiera mellan dessa fyra olika situationer.

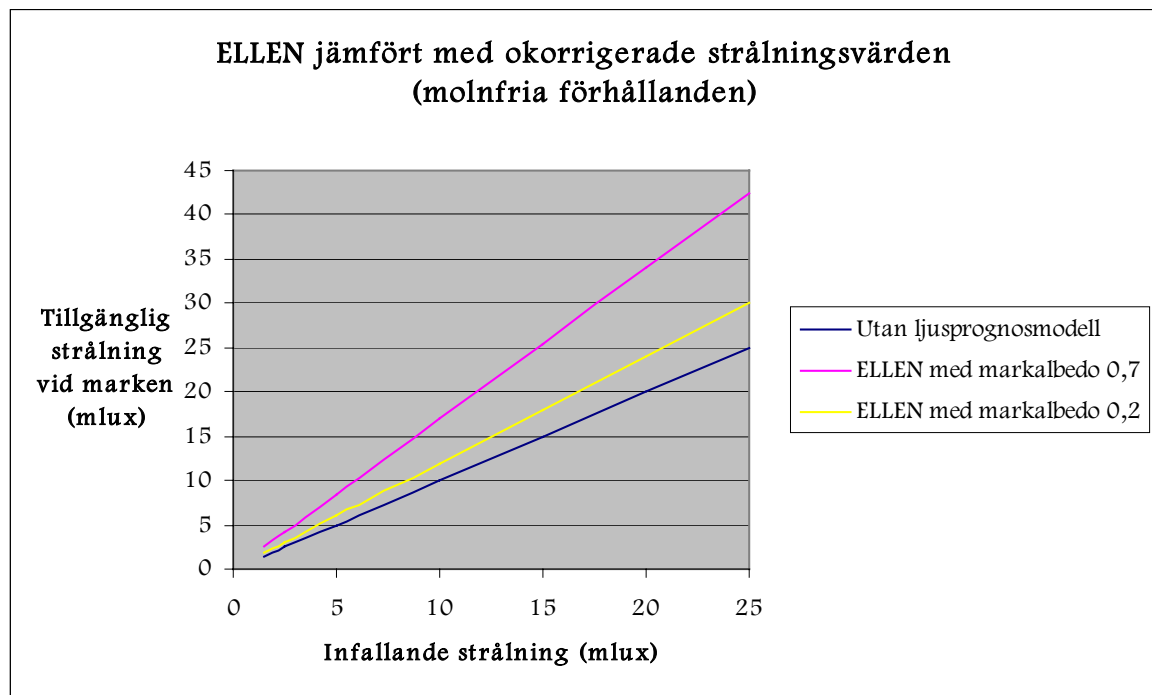


Bild 7.2.2. Vid ringa molnmängd görs i dagsläget ingen korrektion för moln eller markförhållanden, utan man använder bara värdet för den inkommande strålningen. Jämförelsen (avseende ljus från naturliga källor) visar på skillnader i resultat mellan uträkningar med ELLEN och okorrigerade strålningsvärden.

I ELLEN anges följande parametrar som indata:

- Plats (ortsnamn, latitud/longitud eller platsval från karta)
- Datum
- Prognostid
- Molnförhållanden vid olika tidpunkter (molntyp och molnmängd)
- Markytans tillstånd
- Vid molnfria förhållanden tas information från en satellitbild från Light Pollution Science and Technology Institute för att lägga till illuminans från artificiella källor

Utdata presenteras i form av ett diagram liknande det som används idag, där man kan välja att se informationen med eller utan korrektion för molnighet och markytans tillstånd, och med eller utan korrektion för artificiellt ljus.

I förlängningen utvecklas ELLEN med de förslag som anges i avsnitt 7.3.

7.3 Framtida förbättringar

I ett senare skede bör korrektion för artificiellt ljus vid en icke molnfri himmel införlivas i ljusprognosmodellen. Detta görs förslagsvis genom att man utgår ifrån "råa" satellitbilder (som inte är justerade med avseende på ljusets spridning vid molnfria förhållanden) i kombination med en enklare modell som beskriver ett samband mellan molnbas, sikt, ljusspridning och avståndet till artificiella ljuskällor. I samband med detta överges metoden att få fram det artificiella ljusets spridning vid molnfria förhållanden från satellitbilder med beräknad ljusspridning; även för molnfria nätter beräknas då ljusspridningen utgående från "råa" satellitbilder.

En ytterligare förbättring ligger i prognospresentationen. Istället för att enbart få utdata i form av kurvor i ett diagram gällande en viss plats, bör man också kunna välja att få ljusnivåer presenterade i olika färger på en karta, t.ex. genom att låta en mörkgrå nyans representera ljusnivåer under 1 mlux, blått 1-4 mlux, grönt 4-10 mlux, orange 10-25 mlux och gult >25 mlux. Härigenom får prognostikern och NVD-besättningen enkel överblick gällande ljusförhållandena i olika områden, och befälhavaren ges möjligheten att välja eller undvika vissa områden för övningar eller operationer. Möjligen kan man i förlängningen även tänka sig en Java-applikation (eller motsvarande), som visar ljusnivåer vid olika tider i en sekvens.

8 Storheter och enheter

| Storhet | Enhet | Förklaring |
|------------|---|--|
| Ljusstyrka | candela (cd) | anger hur starkt en ljuskälla lyser |
| Ljusflöde | W lumen (lm) (synligt ljus) | om en punktförmig ljuskälla med ljusstyrkan 1 cd omges av en sfär med radien 1 m, passerar ljusflödet 1 W eller 1 lm genom 1 m ² av sfärens yta |
| Radians | W/m ² ·sr | utstrålningsflöde (emitterat eller reflekterat ljus) per ytenhet och steradian |
| Luminans | lm/m ² ·sr eller cd/m ² | utstrålningsflöde (emitterat eller reflekterat ljus) per ytenhet och steradian (avser synligt ljus) |
| Luminans | lambert (L) (ej SI-enhet) | 1 L = 10 ⁴ /π cd/m ² = 10 ⁴ /π lm/m ² ·sr |
| Irradians | W/m ² | kvoten mellan det ljusflöde som träffar en yta och ytans area |
| Illuminans | lux (lx) = lm/m ² | kvoten mellan det ljusflöde som träffar en yta och ytans area (avser synligt ljus); storheten benämns ibland belysning |

9 Förkortningar och förklaringar

| | |
|------------------------------|--|
| Astro Calc | PC-program som används inom Försvarens vädertjänst; ger information om solens och månens upp- och nedgång samt om illuminans från måne och stjärnor |
| FFV Aerotech | Företag som ingår i Celsius AB; arbetar med underhåll, utveckling, modifiering och tekniska tjänster inom det försvarstekniska området |
| FMV, Försvarets Materielverk | Självständig myndighet under Förvarsdepartementet; säkerställer utvecklingen av teknik och materiel till svenska totalförsvaret |
| NGDC | National Geophysical Data Center; en del av NOAA som arkiverar satellitbilder och forskar på satellitdata |
| NVD | Night Vision Devices, hjälpmedel för bildförstärkning; används under dygnets mörka del |
| NVG | Äldre benämning på NVD |
| PfP | NATO-projekt syftande till att skapa förtroende mellan NATO och andra stater i Europa och f.d. Sovjetunionen, t.ex. genom gemensamma militära övningar |

10 Referenser

10.1 Böcker, kompendier och rapporter

Andreasson, T., Hedberg, M., Lundmark, M. och Mårtensson, T. (1997), *Slutrapport SIKTOP*, Försvarsmakten.

Bergeås, L., Dahlgvist, H., Karlsson, E. och Larsson, B. (1982), *Lokalprognosprojekt molnalbedo*, Försvarsmakten.

Cinzano, P., Falchi, F. och Elvidge, C.D. (2001), *The first World Atlas of the artificial night sky brightness*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 328, 689-707.

Garstang, R. H. (1986), *Model for Artificial Night-sky Illumination*, Astronomical Society of the Pacific, Volym 98, sid 364-375.

Groß, G. (1996), *BiVPROG – Prediction of NVG Range of Sight*, German Military Geophysical Office, Traben-Trarbach.

Gustafsson, Ove (2007), *IR-transmission*, föredrag vid MKU4-kursen år 2007, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), Linköping.

Liljequist, Gösta H. (1979), *Meteorologi: Strålning*, Meteorologiska institutionen, Uppsala universitet.

Lundmark, M., Mårtensson, T. och Nilsson, L. (2000), *Ljuslära*, Försvarsmakten.

Millington, Sarah (2006), *OERAC MONIM Development Project, Cultural Lighting Modelling in Clear Sky Conditions*, UK Met Office.

Mårtensson, T. och Nilsson, L. (2000), *Väderdata för NVG*, Försvarsmakten.

Olsson, Sandy (1982), *Lokalprognosprojekt markalbedo*, Försvarsmakten.

Posch, Thomas (2002), *Zur quantitativen Erfassung der künstlichen Himmelsaufhellung*, föredrag vid Berlins tekniska universitet 2002-09-24—28, Astronomiska institutionen, Wiens universitet.

Riddick, Tom (2005), *NEON, Report on the Way Forward for Incorporating Cultural Lighting into Neon*, UK Met Office.

10.2 Internet

Light Pollution Science and Technology Institute, Italien, <http://www.lightpollution.it>

National Geophysical Data Center, USA, <http://www.ngdc.noaa.gov>

Max Planck Institute for Chemistry, Tyskland, <http://www.atmosphere.mpg.de>

The European Earth Observation Web Site for Secondary Schools, <http://www.eduspace.esa.int>

Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing, National University of Singapore,
<http://www.crisp.nus.edu.sg>

Electro-Optical Industries Inc, USA, <http://www.electro-optical.com>

10.3 Personliga kontakter

Doktor Ove Gustafsson, Totalförsvarets Forskningsinstitut, Linköping
Major Ann-Sofi Lorefält, Helikopterflottiljen, Linköping

11 Appendix A: Beräkning av standardavvikelse

Standardavvikelsen för S (summan av tillgängligt ljus) beräknas genom Gauss approximativa formel för variansen för en funktion, där kovarianstermerna försummas.

$$S = (1 + A_m) \frac{I_0(1 - NA_{so})}{1 - A_m A_{su} N}$$

$$\frac{\partial S}{\partial I_0} = (1 + A_m) \frac{1 - NA_{so}}{1 - A_m A_{su} N}$$

$$\frac{\partial S}{\partial N} = -(1 + A_m) \frac{I_0 A_{so}}{1 - A_m A_{su} N} + A_m A_{su} (1 + A_m) \frac{I_0(1 - NA_{so})}{(1 - A_m A_{su} N)^2}$$

$$\frac{\partial S}{\partial A_{so}} = -\frac{I_0 N (1 + A_m)}{1 - A_m A_{su} N}$$

$$\frac{\partial S}{\partial A_m} = \frac{I_0(1 - NA_{so})}{1 - A_m A_{su} N} + A_{su} N (1 + A_m) \frac{I_0(1 - NA_{so})}{(1 - A_m A_{su} N)^2}$$

$$\frac{\partial S}{\partial A_{su}} = A_m N (1 + A_m) \frac{I_0(1 - NA_{so})}{(1 - A_m A_{su} N)^2}$$

$$s_S = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial I_0}\right)^2 \cdot s_{I_0}^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial N}\right)^2 \cdot s_N^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial A_{so}}\right)^2 \cdot s_{A_{so}}^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial A_m}\right)^2 \cdot s_{A_m}^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial A_{su}}\right)^2 \cdot s_{A_{su}}^2}$$

12 Appendix B: Lamberts lag

Strålning som infaller mot en diffust reflekterande yta reflekteras i alla riktningar inom halvsfären, dock inte med samma intensitet i alla riktningar. En ideal diffust reflekterande yta ger upphov till en karakteristisk intensitetsfördelning hos den reflekterade strålningen.

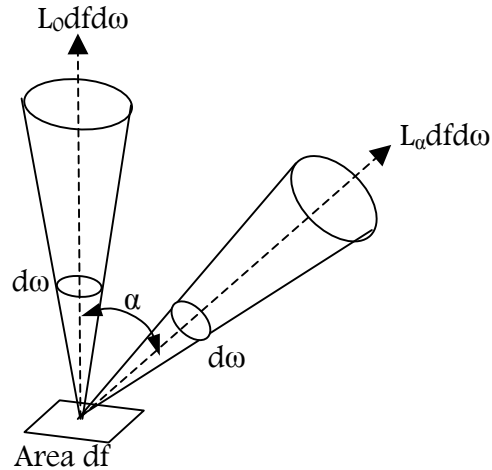


Bild 12.1. Definition av luminansen L_α för den strålning som reflekteras diffust från ett ytelement. L_α avser den strålning som bildar vinkeln α med normalen till ytelementet.

Från ytelementet df utgår inom en kon, omfattande rymdvinkeln $d\omega$, strålningsflödet $L_\alpha df d\omega$, där α är den vinkel strålnippet bildar med ytans normal. Vinkelrätt mot ytan, d.v.s. för $\alpha = 0$, utgår således $L_0 df d\omega$.

Den utgående strålningens luminans i α -riktningen, L_α , motsvarar det reflekterade flödet reducerat till areaenheten för den reflekterande ytan samt till rymdvinkel-enheten.

För en ideal, diffust reflekterande yta gäller $L_\alpha = L_0 \cos\alpha$. Denna lag kallas Lamberts lag.

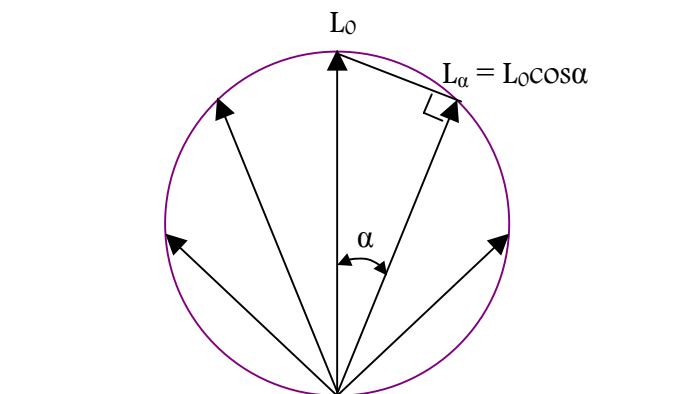


Bild 12.2. Lamberts lag: $L_\alpha = L_0 \cos\alpha$.

Strålningsflödet $d\Phi$ blir alltså

$$d\Phi = L_0 d\Omega \cos \alpha = L_0 \cos \alpha d\Omega$$

Illuminansen, E , är ljusflöde per yta, alltså

$$E = \frac{d\Phi}{df} = \int L_0 \cos \alpha d\Omega$$

För en ideal, diffust reflekterande yta kan rymdvinkeln $d\Omega$ skrivas om som

$$d\Omega = d\varphi \sin \alpha d\alpha = 2\pi \sin \alpha d\alpha$$

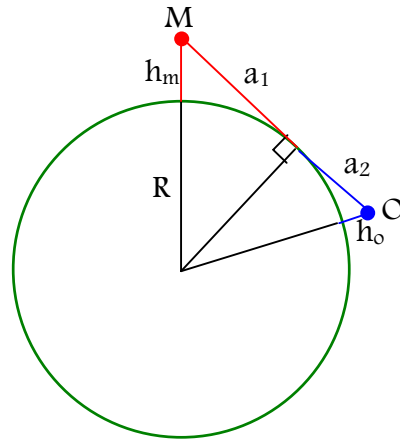
där φ är azimutvinkeln och α är zenitvinkeln.

Illuminationen blir således

$$E = 2\pi L_0 \int_0^{\pi/2} \cos \alpha \sin \alpha d\alpha = 2\pi L_0 \left[\frac{\sin^2 \alpha}{2} \right]_0^{\pi/2} = \pi L_0$$

13 Appendix C: Avståndet till horisonten

Jorden förutsätts vara en perfekt sfär med radien R . Molnbasen befinner sig vid punkten M på höjden h_m och observatören (helikoptern) vid punkten O på höjden h_o . Linjerna a_1 och a_2 tangerar cirkeln (jordytan) med en rät vinkel mot radien.



Pythagoras sats ger

$$(R + h_m)^2 = R^2 + a_1^2 \quad \text{respektive} \quad (R + h_o)^2 = R^2 + a_2^2$$

$$a_1 = \sqrt{(R + h_m)^2 - R^2}$$

$$a_2 = \sqrt{(R + h_o)^2 - R^2}$$

Totala avståndet a mellan M och O , det vill säga det maximala avstånd på vilket två föremål är synliga för varandra med hänsyn taget till jordens krökning, blir då

$$a = a_1 + a_2 = \sqrt{h_m(2R + h_m)} + \sqrt{h_o(2R + h_o)}$$

14 Appendix D: Beers lag

Beers lag (även kallad Beer-Lamberts lag eller Beer-Lambert-Bouguers lag) är ett empiriskt samband mellan strålningens absorption och egenskaperna hos mediet som strålningen färdas genom. Lagen gäller enbart för monokrom strålning, men är i det här sammanhanget en godtagbar approximation.

Lagen kan skrivas

$$A = \alpha lc$$

där A är absorptionskoefficienten, α mediets absorptionskoefficient, l avståndet som strålningen tillryggalägger och c är koncentrationen av absorbanter i mediet.

Beers lag skrivs ibland även

$$I = I_0 \exp(-m(\tau_a + \tau_g + \tau_{\text{NO}_2} + \tau_w + \tau_{\text{O}_3} + \tau_r))$$

där I_0 är intensiteten av infallande strålning, I intensiteten av strålningen efter passage genom mediet, m är optiska luftmassan, τ_x är optiska djupet; a hänförs till absorption och spridning i aerosoler, g till absorption i gaser (framför allt koldioxid och syre), NO_2 till absorption i kvävedioxid, w till absorption i vattenånga, O_3 till absorption i ozon och r till Rayleighspridning i syrgas och kvävgas.