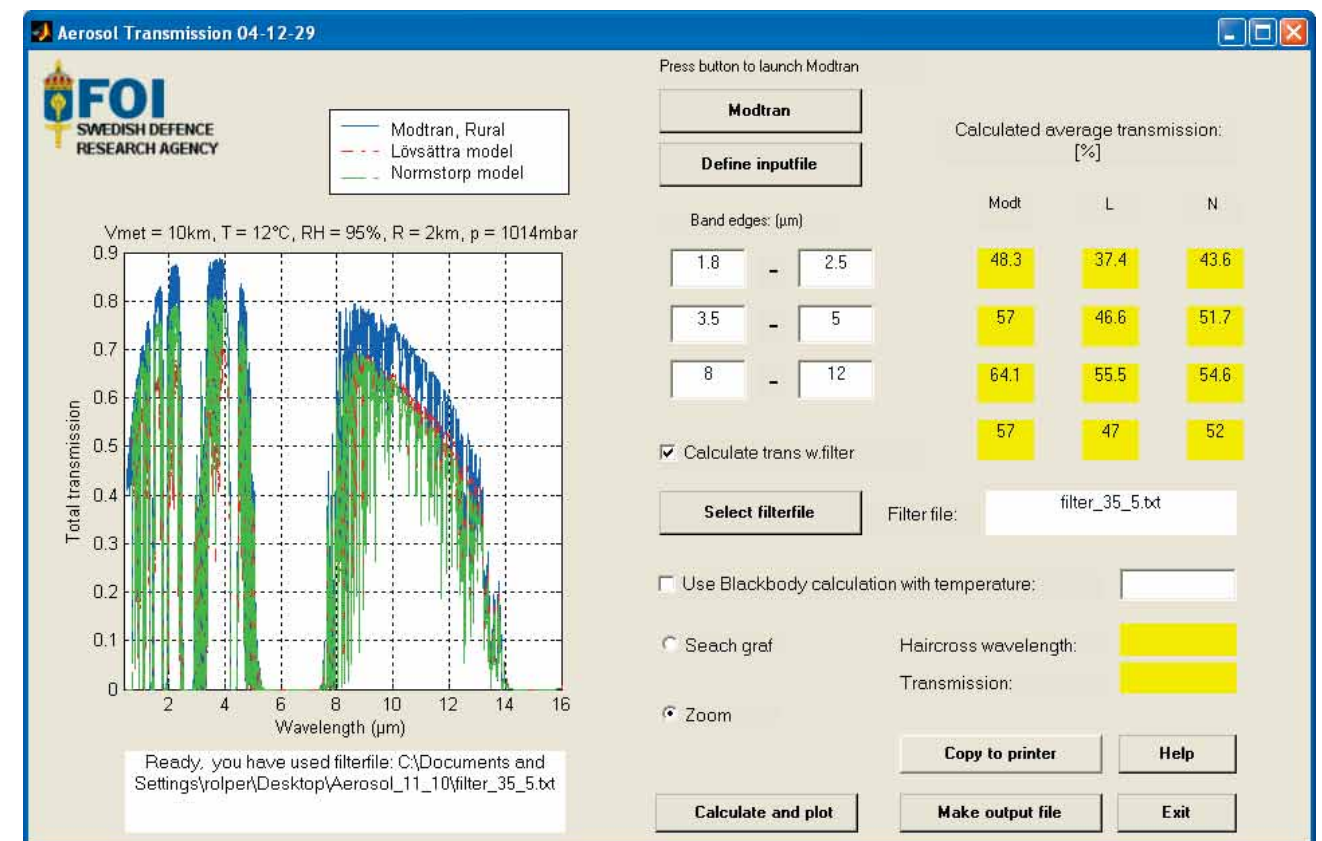


ROLF PERSSON, ANNICA HJELM



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1350 anställda varav ungefär 950 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömningen av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Rolf Persson, Annica Hjelm

# Aerosoldämpningsmodell för skandinavisk miljö (NORAM); Användarhandledning

<b>Utgivare</b> FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--1977--SE	<b>Klassificering</b> Teknisk rapport
	<b>Forskningsområde</b> 6. Telekrig och vilseledning	
	<b>Månad, år</b> Maj 2006	<b>Projektnummer</b> E3071
	<b>Delområde</b> 62 Signaturanpassning	
	<b>Delområde 2</b>	
<b>Författare/redaktör</b> Rolf Persson Annica Hjelm	<b>Projektledare</b> Claes Nelsson	
	<b>Godkänd av</b> Mattias Severin	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> Försvarsmakten	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b> Rolf Persson	
<b>Rapportens titel</b> Aerosoldämpningsmodell för skandinavisk miljö (NORAM); Användarhandledning		
<b>Sammanfattning</b> <p>Aerosoldämpningsmodellen NORAM för skandinavisk miljö, som tagits fram vid FOI, har implementerats i användarvänlig form. Denna handledning beskriver installation och användning av modellen och programmet NORAM (Nordisk aerosolmodell). FOI har tidigare genomfört transmissionsmätningar med hjälp av en mångkanalig transmissometer (OLA-systemet) för att karakterisera aerosoldämpningen inom IR-området vid svenska förhållanden. Skälet till mätningarna var att tillgängliga modeller för IR-transmission (amerikanska) underskattade dämpningen jämfört med svenska mätningar. Mätdata från OLA-systemet har analyserats och resulterat i ett antal modeller för aerosoldämpningens beroende av vädret. Modellerarna har av olika skäl tidigare inte varit lämpliga att distribuera till användare utanför FOI.</p> <p>I samverkan mellan FOI och PvTT i Finland (The Finnish Defence Forces Technical Research Centre) har arbetet återupptagits och resulterat i modeller för aerosoldämpningens beroende av de vanligaste meteorologiska parametrarna. Modellerarna har implementerats i ett program (NORAM) som låter användaren definiera indata till lämplig modell och beräknar aerosoldämpningen. Indata används även av MODTRAN för beräkning av gasdämpningen. Beräknat resultat kan studeras grafiskt och numeriskt.</p>		
<b>Nyckelord</b> Aerosol, extinction, transmission, IR		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 19 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor Technology P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--1977--SE	<b>Report type</b> Technical report
	<b>Programme Areas</b> 6. Electronic Warfare and deceptive measures	
	<b>Month year</b> May 2006	<b>Project no.</b> E3071
	<b>Subcategories</b> 62 Low Observables	
	<b>Subcategories 2</b>	
<b>Author/s (editor/s)</b> Rolf Persson Annica Hjelm	<b>Project manager</b> Claes Nelsson	
	<b>Approved by</b> Mattias Severin	
	<b>Sponsoring agency</b> Armed Forces	
	<b>Scientifically and technically responsible</b> Rolf Persson	
<b>Report title (In translation)</b> Aerosol attenuation model for Scandinavian environment; User manual		
<b>Abstract</b> <p>The aerosol extinction model NORAM for Scandinavian environment has been implemented in a user friendly form. This user manual describes installation and usage of the model and computer program NORAM (Nordic Aerosol Model). FOI has earlier carried out transmission measurements with a multi channel transmissometer (OLA) in order to characterize the aerosol attenuation in IR for Swedish conditions. The reason was that IR transmission models (mostly American) underestimated the IR attenuation compared to measurements. Data from the OLA measurements have been analyzed and have resulted in a number of models of how the aerosol attenuation depends on the weather. The models have earlier not been suited to distribute outside FOI.</p> <p>In cooperation between FOI and PvTT in Finland (The Finnish Defence Forces Technical Research Centre) the study has been resumed and has resulted in models for how the aerosol attenuation depends on the most common meteorological parameters. The models have been implemented in a computer program (NORAM) which lets the user define input data to a suitable model and calculates the aerosol attenuation. The input data are also used in MODTRAN for calculation of the gas attenuation. The user can study the calculated results in graphic and numeric form.</p>		
<b>Keywords</b> Aerosol, extinction, transmission, IR		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 19 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	

## Innehållsförteckning

<i>Inledning</i> .....	5
<i>Nya aerosoldämpningsmodeller</i> .....	5
Modellernas implementering .....	6
<i>Installation</i> .....	7
<i>Användning</i> .....	7
Filterfilen .....	8
Svartkroppberäkning .....	9
Parameterfilen .....	9
Hjälpfilen .....	10
Utdatafilen .....	10
Kortfattad förklaring till knappar och datafält .....	11
<i>Diskussion</i> .....	11
<i>Referenser</i> .....	12
<i>Bilaga 1. Menyer i PcModWin 4.0 vid definiering av beräkningsfall</i> .....	13
<i>Bilaga 3. Dämpning av optisk strålning i atmosfären</i> .....	17
<i>Bilaga 3. Dämpning av optisk strålning i atmosfären</i> .....	17
Atmosfärens gaser .....	18
MODTRAN .....	18

## Inledning

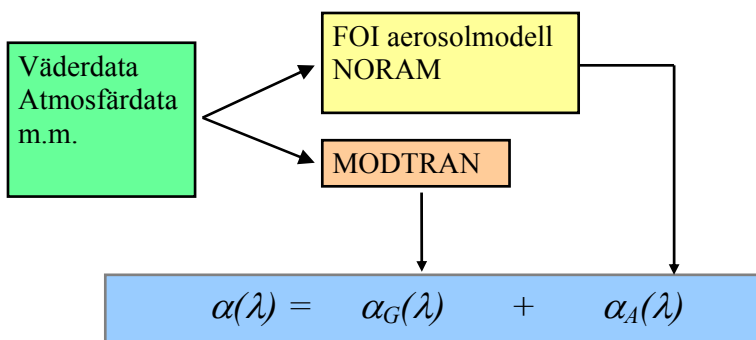
FOI har genomfört mätningar för att karakterisera atmosfärens dämpning inom det visuella och IR-området vid svenska förhållanden med hjälp av en mångkanalig transmissometer, OLA-systemet, se [1]. Atmosfärens dämpning vid en viss våglängd består av flera komponenter, huvudsakligen aerosol-, gas- och rayleighdämpning. Gas- och rayleighdämpningen går att beräkna med god noggrannhet med tillgängliga modeller och har inga större lokala variationer. De kan beräknas med vetskap om de vanligaste väderparametrarna, höjden och en grov geografisk indelning. Aerosoldämpningen däremot har stor geografisk spridning, beroende på de naturliga och konstgjorda aerosoler som förekommer i olika miljöer. Ett antal aerosoldämpningsmodeller (amerikanska) finns tillgängliga t.ex. i programmet MODTRAN [2], men det har vid mätningar visat sig att de modellerna underestimerar aerosoldämpningen inom IR-området vid svenska förhållanden. Det var därför befogat att ta fram en modell som bättre passar för svensk del.

Två mätkampanjer har genomförts, Lövsättra 1977 - 1978 och Normstorp 1979 - 1981. Resultat från mätningarna vid Lövsättra har tidigare legat till grund för arbete med aerosoldämpningsmodeller, se [3] och [4]. I samarbete med PvTT<sup>1</sup> i Finland (The Finnish Defence Forces Technical Research Centre) har arbetet med aerosolmodeller återupptagits under ett års tid juli 2002 – juli 2003 och resulterat i modellerna som beskrivs denna rapport. Arbetet vid framtagandet av dessa modeller redovisas i [5] och [6].

## Nya aerosoldämpningsmodeller

Arbetet har genomförts med målet att få fram en aerosoldämpningsmodell för nordiska förhållanden, NORAM (Nordic Aerosol Model), som bygger på såväl data från Lövsättra som Normstorp. Analysen resulterade i ett antal modeller där slutligen två modeller valdes ut som de bästa, L-modellen (data från Lövsättra) och N-modellen (data från Normstorp). Modellerna använder ingångsdata från temperatur och sikt, samt för N-modellen även lufttryck, och beräknar den dämpning som aerosolerna i aktuell sträcka förorsakar inom våglängdsområdet 0,7 – 15 µm.

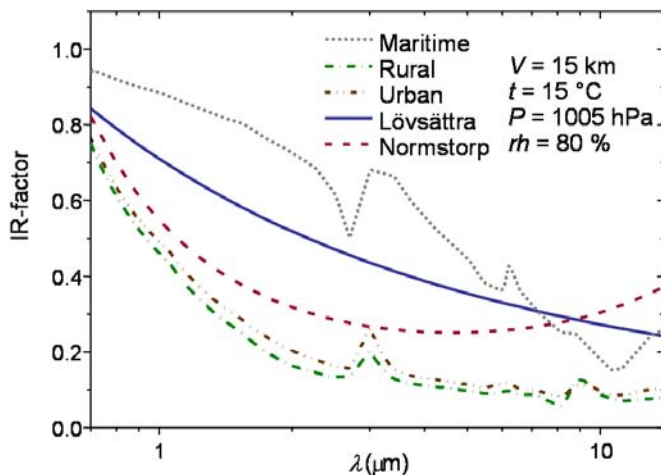
För att beräkna atmosfärens totala dämpning måste även gasdämpningen (linje- och kontinuumdämpningen) beräknas. Detta görs separat med hjälp av programmet MODTRAN [2] enligt Figur 1. Även rayleighdämpningen ingår i data från MODTRAN men denna är liten i förhållande till de övriga komponenterna utom i UV-området, inom vilket NORAM inte skall användas. NORAM ger användaren möjlighet att beräkna aerosoldämpningen i marknära banor med ett resultat som - enligt erfarenhet vid FOI - bättre stämmer med svenska förhållanden än de aerosoldämpningsmodeller som ingår i MODTRAN.



Figur 1. Beräkning med FOI aerosolmodell

<sup>1</sup> PvTT, P.O. Box 5, FIN-34111 Lakiala, Finland

L- och N-modellerna har stora likheter och ger ofta likartade resultat - men även skillnader. Vad dessa beror av går inte att definiera entydigt. Några orsaker kan dock urskiljas, nämligen Lövsättras närhet till Stockholm och Östersjön, till skillnad mot Normstorps omgivning av landsbyggd och större avstånd till havet. Dessutom var även vissa av mätsystemets våglängder olika. Figur 2 illustrerar skillnader mellan modellerna och gentemot MODTRANs aerosolmodeller Maritime, Rural och Urban. Meteorologiska data vid beräkningen framgår av texten i figuren.



Figur 2. Exempel på IR-faktor som funktion av våglängd för L- och N-modellerna samt tre modeller i MODTRAN.

En slutsats från analysarbetet var att inte slå samman data från de båda mätplatserna till en gemensam databas och ur denna försöka få fram en enda modell, eftersom skillnaderna mellan de båda separata modellerna var relativt stora. Om en generell modell skall användas, förordas N-modellen beroende på att denna är byggd på ett större antal mätserier och att dessa är mätta under mer omsorgsfullt valda förhållanden.

### Modellernas implementering

Arbetet med modellerna gjordes i Matlab och resulterade bl.a. i rutinerna AeroTransL och AeroTransN. Dessa beräknar aerosoldämpningen (enligt L- och N-modellerna) vid specificerat väder. Matlabrutinen CmpMod2 (se Bilaga 2) är avsedd att jämföra L- och N-modellerna med en vald aerosolmodell i MODTRAN och vid specificerat väder. Den anropar rutinerna AeroTransL och/eller AeroTransN som beräknar aerosoldämpningen för L- och N-modellerna och använder värden på gasdämpningen som beräknats i MODTRAN. CmpMod2 beräknar total transmission för respektive modell, plottar dessa som funktion av våglängden (0,7 – 20 μm) samt beräknar medeltransmission i ett, två eller tre våglängdsband.

För att göra det möjligt att köra rutinen som ett fristående program (utan tillgång till Matlab), har en version, *noram\_3.exe*, (i fortsättningen kallad NORAM) tagits fram. Denna består av kompillerad Matlab-kod och går att köra direkt under Windows 98, 2000, XP m.fl. utgåvor. Programmet har dessutom försetts med möjligheten att använda en filterfunktion för att vikta transmissionen inom ett valfritt område med t.ex. systemfunktionen för en viss utrustning, t.ex. ett IR-system. Programmet installeras enligt anvisning i en separat mapp på datorn och förutsätter att MODTRAN version 3.7 eller 4.0 i den utgåva med namn PcModWin som säljs av Ontar Corporation i USA finns installerat på samma dator. Senaste utgåvan av PcModWin 4.0 vid testningarna var Ver 1.01. NORAM bör kunna anpassas till att använda annan version av MODTRAN, men det har f.n. inte testats och diskuteras inte nedan.

## Installation

Programmet kan distribueras per e-post eller CD-Rom<sup>2</sup>. Detta dokument som beskriver aktuell version (ver 3.1, december 2005) finns med i distributionen och är åtkomlig dels som en Adobe Acrobat pdf-fil, dels som en HTML-fil åtkomlig genom datorns webläsare. Det är denna som kan öppnas från NORAM när knappen Hjälp (beskrivs senare) trycks.

Installationen görs enklast enligt:

- Kopiera hela katalogen *aero\_3* från CD:n till en underkatalog till *Program files*.
- Flytta genvägen *NORAM* från *Program files/aero\_3* till *Skrivbordet*
- Anpassa parameterfilen *aero\_paths.txt*. Om exempelvis MODTRAN finns på annan adress än den som anges i parameterfilen, måste denna anpassas (se avsnitt *parameterfilen*).

## Användning

Dubbelklicka på genvägen *NORAM* (eller på programfilen *noram\_3.exe*) och om allt fungerar startar programmet och bild enligt Figur 3 kommer upp på skärmen. Vid start är dock samtliga in- och utdatorutor är tomma.

Meteorologiska data använda vid Modtranberäkningen

Indatafält för 3 våglängdsband

Utdatafält

Filterfil

Svartkropps-funktion

Statusfält

Band edges (µm)	Mod	L	N
1.8 - 2.5	48.3	37.4	43.6
3.5 - 5	57	46.6	51.7
8 - 12	54.1	55.5	54.6
	57	47	52

Figur 3. Användargränssnittet i programmet NORAM

I de små vita fälten skriver användaren in data och i de gula fäsen resultat efter beräkningen samtidigt med plotten. Programmet kan även lagra beräknat resultat i en separat utdatafil.

Tryck knappen **Modtran**, varvid programmet PcModWin version 3.7 eller 4.0 startas. Om inte detta sker, läs kapitel ”installation”. Alternativt kan MODTRAN startas separat från Windows på vanligt sätt och köras parallellt med NORAM. Då behöver man inte avsluta MODTRAN för att se resultat i NORAM. I Bilaga 1 förklaras menyer och paramerar i MODTRAN vid specificering av beräkningsfall.

<sup>2</sup> Denna FOI Rapport distribueras utan CD-Rom som kan fås vid förfrågan. Kontakta Rolf Persson, E-post: rolf.persson@foi.se



Definiera ett beräkningsfall, se "MODTRAN indata" eller använd det fördefinierade exemplet *Noram\_example2.ltn*. Kör MODTRAN ("Run Model, Run MODTRAN") och kontrollera att inga felmeddelanden erhållits. Stäng PcModWin.

Bestäm vilka våglängdsgränser som skall användas (för minst ett intervall), och skriv in gränserna i rutorna "Bandedges". Använd punkt som decimaltecken. Våglängdsgränserna påverkar inte MODTRAN-körningen utan enbart beräkningen av medeltransmissionen.

När ovanstående inmatningar är klara, tryck **Calculate and plot** varvid beräkning sker och bild enligt figur 3 uppdateras med plottade kurvor och ifyllda resultatfält (utom de till höger om "Calculate trans. w. filter").

Om en filterfil finns definierad och skall användas, bocka för rutan "Calculate trans w. filter", tryck på knappen **Select filter file**, och välj önskad filterfil.

Om hänsyn skall tas till svartkroppsfunktionen (gäller speciellt bredbandiga system), bocka för rutan "Use blackbody" och ange temperatur i Kelvin för svartkroppen.

När ovanstående inmatningar är klara, tryck på nytt **Calculate and plot**.

Efter att beräkningen och plotten är klara, kan man trycka knappen **Make output file** för att lagra resultatet på önskad fil, se avsnitt "utdatafilen". I Figur 3 är en beräkning med N-modellen gjord för en 2 km sträcka med sikt 10 km; temperatur 12 °C och relativ fuktighet 95 %.

I stället för att göra en ny modtranberäkning går det att hämta in ett lagrat beräkningsfall genom att trycka **Define input file**. MODTRAN lagrar genomförda beräkningar med filnamn *namn.fl7* där *namn* är samma som det i parameterfilen *namn.ltn*

## Filterfilen

Filterfunktionen låter användaren beräkna den effektiva atmosfärstransmissionen som skulle ha mätts upp i en bredbandig transmissometer eller den effektiva radiansen sedd av en radiometer med ett bandpassfilter. Filterfunktionen låter användaren specificera ett instruments spektrala systemfunktion (detektor + bandpassfilter + optik).

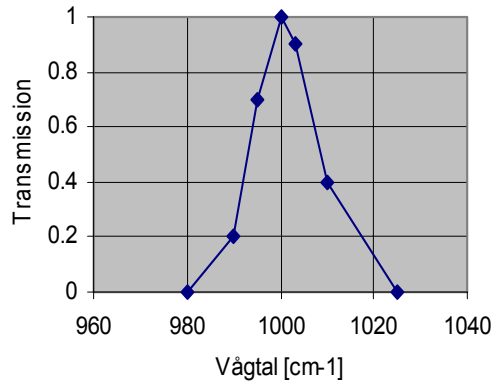
En filterfil består av två kolumner med godtyckligt antal rader. Första kolumnen innehåller frekvens i vågtal ( $\text{cm}^{-1}$ ) och andra kolumnen värden mellan 0 och 1 för filtrets (eller totala optiska systemets) transmission. Frekvensen i vågtal  $\nu$  fås enligt

$$\nu = \frac{10000}{\lambda} [\text{cm}^{-1}] \quad (1)$$

där  $\lambda$  är våglängden i  $\mu\text{m}$ . Frekvenskolumnen behöver inte ha någon speciell upplösning, värdeparen (vågtal och filtervärde) kan vara tätt definierade där så behövs och glest där det är tillräckligt. Filtervärdena skall vara noll för första och sista värdeparet. Filtrets transmission behöver inte vara normerad så att det maximala värdet är 1, det går bra med den verkliga transmissionen. Beräkningen görs enligt ekvation 2. Exempel på en enkel *filterfil* för ett smalt band kring 10  $\mu\text{m}$  visas i Tabell 1 och visas plottad i Figur 4.

Tabell 1. En enkel filterfil

Vågtalet [cm <sup>-1</sup> ]	Transmission
980	0.0
990	0.2
995	0.7
1000	1.0
1003	0.9
1010	0.4
1025	0.0



Figur 4. Filterfil med data från Tabell 1.

Filterfilen består av två kolumner med blanksteg mellan. (Raden ” Vågtalet [cm<sup>-1</sup>] Transmission” överst i skall inte finnas med). Punkt används som decimaltecken.

Beräkningen av viktad transmission mellan två frekvenser (vågtalet med enheter cm<sup>-1</sup>)  $\nu_1$  och  $\nu_2$  görs genom att bilda kvoten mellan två integraler, enligt

$$t_i = \frac{\int_{\nu_1}^{\nu_2} t(\nu) \cdot F(\nu) \cdot B(\nu) d\nu}{\int_{\nu_1}^{\nu_2} F(\nu) \cdot B(\nu) d\nu} \quad (1)$$

där  $t(\nu)$  är transmissionen för respektive vågtalet mellan  $\nu_1$  och  $\nu_2$  med den upplösning  $d\nu$  som utnyttjats i MODTRAN, i storleksordningen 1 cm<sup>-1</sup>,  $B(\nu)$  är svartkroppsradiansen vid en specificerad temperatur (se nedan) och  $F(\nu)$  är filterfunktionen. Om inte svartkroppsfunktionen skall användas i beräkningen, ersätts  $B(\nu)$  i formeln med värdet 1. (Rent matematiskt borde formeln skrivas som kvoten mellan två summor med upplösningen  $\delta\nu$  eftersom denna är ändlig).

## Svartkroppsberäkning

Kryssa i rutan ”Use black body calculation” och ange svartkroppstemperaturen i Kelvin i fältet ”Black body temperature [K]” om man vill ta hänsyn till objektets temperatur vid beräkningen av den viktade transmissionen över filtret.

## Parameterfilen

Parameterfilen *aero\_path.txt* kan editeras för att passa aktuell installation, bl.a. så att adressen till MODTRANs användargränssnitt passar olika MODTRAN-installationer. Den är normalt anpassad till PcModWin version 4.0 installerad i katalog *C:\PcModWin40* men kan lätt modifieras med hjälp av Windows texteditor *notepad*. Om exempelvis MODTRAN 3.7 körs, ändra siffrorna 40 till 37 på två ställen. I tabell 2 visar första kolumnen själva parameterfilen, medan andra kolumnen är förklaring.

Tabell 2. Parameterfil med förklaring

modtranpath: C:\PcModWin40\Bin\PcModwin.exe	Hela sökvägen till aktuell MODTRAN
modout2path: C:\PcModWin40\Usr\modout2	Sökvägen till MODTRANs utdatafil modout2
expertlevel=1	Styr vilken/vilka aerosoldämpningsmodeller som används
helpfile: C:/aerosol/Anvandarhandledning.htm	Hela sökvägen till aktuell handledningsfil

Parametern *expertlevel* styr vilka aerosoldämpningsmodeller som används. Normalt har *expertlevel* värdet 1, vilket anger att endast resultat från Normstorpsmodellen skall användas, eftersom denna generellt rekommenderas. Om *expertlevel* har värdet 2 fås resultat från båda modellerna, men då måste användaren själv ta ställning till vilket resultat som skall användas och varför. Värdet 3 styr programmet att använda Lövsättramodellen.

## Hjälpfilen

Hjälpfilen består av denna skrift i modifierat utförande för att kunna läsas av webbläsaren Internet Explorer eller motsvarande.

## Utdatafilen

Utdatafilen som skapas i NORAM består av en textfil liknande filen modout2, men med färre kolumner. Överst kopieras data för Modtrankörningen (från modout2) in för framtida referens. Därefter listas vågtal och beräknad total transmission enligt vald aerosolmodell i MODTRAN, följt av total transmission enligt L- och N-modellen. Därefter listas gas- och aerosoldämpningen enligt respektive modell. I Tabell 3 har endast ett avsnitt runt våglängden 1  $\mu\text{m}$  (10 000  $\text{cm}^{-1}$ ) från resultat av en beräkning enligt *noram\_exempell* tagits med.

Tabell 3. Exempel på utdatafil

T	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0.0000.00
	1	1	1	0	0	0	0	10.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	-99.0000	-99.0000	-99.0000	-99										
	-99.000000	-99.000000	-99.000000											
	1*													
	0.000001014.00000		12.00000	9.500E+01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.000E+00					
	-99	-99	-99	-99										
	-99.000000	-99.000000	-99.000000	-99.000000	-99.000000	-99.000000	-99.000000	-99.000000	-99.000000	-99.000000	-99.000000	-99.000000	-99.000000	-99.000000
	495	20005	1	1										
	0													
FREQ	Tot_M	Tot_L	Tot_N	Gas	Aerosol_M	Aerosol_L	Aerosol_N							
cm-1	trans	trans	trans	trans	trans	trans	trans							
9990	0.684	0.570	0.657	0.998	0.685	0.571	0.658							
9991	0.684	0.570	0.657	0.998	0.685	0.571	0.658							
9992	0.684	0.570	0.657	0.998	0.685	0.571	0.658							
9993	0.683	0.570	0.657	0.998	0.685	0.571	0.658							
9994	0.683	0.570	0.657	0.998	0.685	0.571	0.658							
9995	0.682	0.568	0.655	0.995	0.685	0.571	0.658							
9996	0.683	0.569	0.656	0.997	0.685	0.571	0.658							
9997	0.682	0.569	0.656	0.996	0.685	0.571	0.658							
9998	0.661	0.551	0.635	0.965	0.685	0.571	0.658							
9999	0.675	0.563	0.649	0.986	0.685	0.571	0.658							
10000	0.683	0.569	0.656	0.997	0.685	0.571	0.658							
10001	0.683	0.570	0.656	0.997	0.685	0.571	0.658							
10002	0.683	0.569	0.656	0.997	0.685	0.571	0.658							
10003	0.682	0.568	0.655	0.995	0.685	0.571	0.658							
10004	0.659	0.550	0.633	0.962	0.685	0.571	0.658							
10005	0.680	0.567	0.653	0.993	0.685	0.571	0.658							
10006	0.683	0.569	0.656	0.997	0.685	0.571	0.658							
10007	0.681	0.568	0.655	0.995	0.685	0.571	0.658							
10008	0.676	0.564	0.649	0.987	0.685	0.571	0.658							
10009	0.682	0.569	0.655	0.996	0.685	0.571	0.658							
10010	0.683	0.569	0.656	0.997	0.685	0.571	0.658							

## Kortfattad förklaring till knappar och datafält

Förklaringen refererar till Figur 1.

<u>Knappar och fält:</u>	<u>Åtgärd / anmärkning</u>
MODTRAN	Öppnar MODTRAN för definition av sträcka, meteorologiska parametrar, aerosolmodell m.m.
Define input file	Genomförda MODTRAN-beräkningar lagras med filnamn <i>namn.fl7</i> där <i>namn</i> är samma som i parameterfilen <i>namn.ltn</i>
Select filterfile	Öppnar ett fönster för definition av filterfil. Default ”no file”
Black body temperature [K]	Svartkroppstemperaturen i Kelvin.
Use black body calculation	Svartkroppsfunktionen tas med i beräkningen av den viktade transmissionen över filtret, om det kryssats för.
Calculate and plot	<p>Programmet utför följande:</p> <p><u>Läser</u> vald Input file (normalt Modout2),  <u>Beräknar</u> aerosoltransm. enligt L- och/eller N- modellerna och bildar totala transmissionsvärden enligt dessa samt vald aerosolmodell i MODTRAN,  <u>Plottar</u> två eller tre kurvor för total transmission enl. ovan  <u>Beräknar</u> ”average transmission” för de två/tre modellerna inom de band (1, 2 och 3) som definierats.</p> <p>Om en tillgänglig filterfil valts, beräknas dessutom ”average transmission” för de två/tre modellerna inom filtret, med hänsyn tagen till svartkroppsfunktionen, ifall rutan ”Use black body calculation” kryssats för.</p>
Make output file	Skriver resultaten av NORAM- och MODTRAN-beräkningen på utdatafil, se nedan.
Help	Öppnar en användarhandledning i datorns webbläsare
Copy to printer	Skriver ut hela fönstret på skrivare
Inputvärden	Vita rutor. Skriv in våglängdsgränser här.
Resultatvärden	Gula rutor. Två/tre kolumner visar resultat av beräknat total transmission för MODTRANs och vald L- och/eller N-modell
Statusruta (längst ner)	Felmeddelande m.m.
Titelraden ovanpå diagrammet	De meteorologiska värden som definierats som indata till MODTRAN visas här. De är sikt, temperatur, relativ fuktighet, sträckans längd och lufttryck.

## Diskussion

Denna rapport beskriver användningen av två enkla modeller för att uppskatta aerosoldämpningen i atmosfären, dvs. aerosol-extinktionskoefficienten ( $\alpha_a$ ). Metoden att utnyttja de framtagna modellerna tillsammans med MODTRAN är bara en av flera tänkbara. Fördelen är att det beskrivna programmet har ett användargränssnitt som ger möjlighet att jämföra resultat från transmissionsberäkningar mellan de nya modellerna och de traditionella i MODTRAN. Ibland kan dock exempelvis ett matlab-script likt det i bilaga 2 vara mer ändamålsenligt.

## Referenser

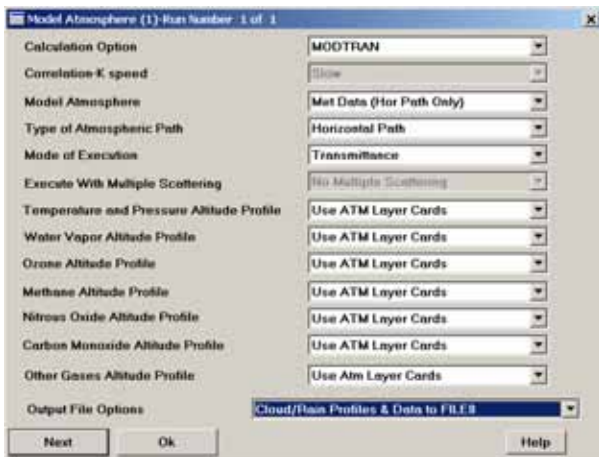
1. Hågård Arne och Persson Rolf, "Infrared transmission measurement in the atmosphere", SPIE Proceedings Vol. 1762, Infrared Technology XVIII, pp 267-275, 1992.
2. Kneizys F.X., Abreu L.W., Anderson G.P., Chetwynd J.H., Shettle E.P., Berk A., Bernstein L.S., Robertson D.C., Acharya P., Rothman L.S., Selby J.E.A., Gallery W.O., Clough S.A., "The MODTRAN2/3 Report and LOWTRAN 7 MODEL", från Ontar Corporation, 9 Village Way, North Andover, MA 01845, USA; 1996, [www.ontar.com](http://www.ontar.com).
3. Nilsson Bertil, "Analyses of the atmospheric aerosol extinction in the 0.5 – 14  $\mu\text{m}$  region", FOA Report C 30396-E1, E3, April 1986.
4. Jani Fredrik, "Statistiska analys av mätdata för optisk transmission i atmosfären", Examansarbete ISRN-LiU-MAT-D-95/01-SE, Linköpings Universitetet, 1995.
5. Kaurila Timo, Hågård Arne och Persson Rolf, "Aerosol extinction models based on measurements at two sites in Sweden". Godkänd (2006) för publicering i Applied Optics.
6. Persson Rolf och Kaurila Timo, "Aerosoldämpningsmodell för skandinavisk miljö - baserad på mätningar vid Lövsättra i Uppland", FOI-R--0689--SE, December 2002.
7. Hågård Arne, "Optisk transmission i atmosfären", Kurskompendium i kursen Robusta Optroniksystem vid FOI (preliminär utgåva 1998).
8. Gustafsson Ove, Hågård Arne, Karlsson Edvard och Persson Rolf, "Vågutbredningsanalys för elektrooptiska system – En förstudie", FOI-R--0513--SE, June 2002.

## Bilaga 1. Menyerna i PcModWin 4.0 vid definiering av beräkningsfall

Modellerna är framtagna för transmissionsberäkningar i marknära horisontella banor. Höjden anges inte i meter utan beräkningen görs vid angivet lufttryck. OBS - Aerosolmodellen är framtagen med hjälp av data mätta på ca 3 – 6 m höjd och giltigheten har inte verifierats för andra höjder.

Figureerna i detta stycke är kopierade från programmet PcModWin 4.0 från Ontar Corp.

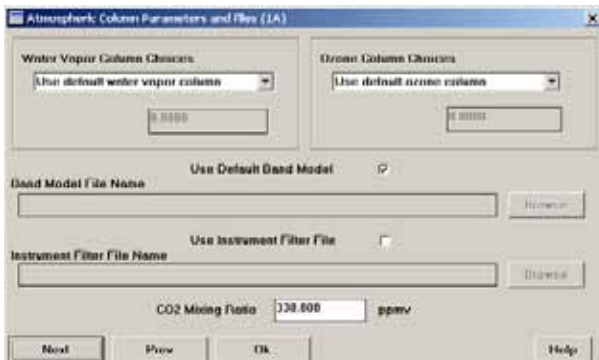
### Menyn *Model Atmosphere*.



Följande parametrar skall inte ändras:

*Calculation Option* = MODTRAN  
*Model Atmosphere* = Meteorologic Data Input  
*Type of Atmospheric Path* = Horizontal Path  
*Mode of Execution* = Transmittance

### Menyn *Atm Column Params and Files*.



Endast *CO<sub>2</sub> Mixing Ratio* kan ändras (här eller på menyn *User Supplied Profile*)

## Menyn Aerosols

Parametern *Aerosol Model Used*: För att kunna jämföra resultat från NORAM-modellen med beräknade värden från MODTRANs modeller, ange *rural*, *urban* eller *maritime*.

*Surface Meteorological Range*. Parametern är relaterad till sikten (km) och används i NORAM. Parametern måste anges även om exempelvis *Aerosol Model Used* valts till aerosolmodell med viss sträcka angiven t.ex. *rural 23 km*. I detta exempel har 1,5 km angetts.

Övriga parameterval är inte testade eller inte relevanta. Se MODTRANs hjälpfunktion

## Menyn New Model Atmosphere

Dessa parameterval är inte testade eller inte relevanta. Se MODTRANs hjälpfunktion.

## Menyn User Supplied Profile.

Ange atmosfärparametrar med lämplig enhet (*Unit*)

*Pressure*

*Temperature*

$H_2O$

ange halten vattenånga som t.ex. relativ fuktighet med enheten %.

$CO_2$  och  $O_3$

ange halten

## Menyn Geometry and Spectral Band.

*Path Length.*

Sträckans längd i km

*Initial Frequency*

Använd gärna  $667\text{ cm}^{-1}$  (för maximal våglängd  $15\ \mu\text{m}$ )

*Final Frequency*

Använd gärna  $20000\text{ cm}^{-1}$  (för minsta våglängden  $0,5\ \mu\text{m}$ )<sup>3)</sup>

*Frequency Increment*

Spektral upplösning i utdata, valfritt värde  $> 1\text{ cm}^{-1}$ .<sup>4)</sup>

*FWHM of Slit Function*

Utjämningsfunktionens bredd "Full Width Half Maximum" i  $\text{cm}^{-1}$

*Slit Function Type.*

Utjämningsfunktionens karaktäristik, t.ex. triangulär.

Övriga parameterintervall är inte testade eller inte relevanta. Se MODTRANs hjälpfunktion

<sup>3</sup> N- och L-modellerna skall användas för våglängder  $> 0,7\ \mu\text{m}$ , men MODTRANs beräknade värden visas i plotten och utdatafälten ned till  $0,5\ \mu\text{m}$

<sup>4</sup> Dock blir, oberoende av angivet värde, upplösningen  $1\text{ cm}^{-1}$  i utdatafilen Modout2 p.g.a. bug i PcModWin version 4.0 ver 1.01



## Bilaga 2. Rutin för tillämpning av modellerna i Matlab

Matlabrutinen CmpMod2 är avsedd att jämföra L- och N-modellerna med en vald aerosolmodell i MODTRAN. Den anropar rutinerna AeroTransL och/eller AeroTransN som beräknar aerosoldämpningen för L- och N-modellerna och använder värden på gasdämpningen som beräknats med hjälp av MODTRAN. CmpMod2 beräknar total transmission för respektive modell, plottar dessa som funktion av våglängden (0,7 – 20  $\mu\text{m}$ ) samt beräknar medeltransmission i ett, två eller tre våglängdsband.

Våglängdsgränserna skickas till programmet som inparametrar. I exemplet nedan är tre våglängdsintervall definierade. Innan rutinen anropas, måste MODTRAN köras med definierade indata för situationen (sträckans längd, meteorologiska parametrar och aerosolmodell m.m.). CmpMod2 plockar därefter sträckans längd, de meteorologiska parametrarna och gasdämpningen ur MODTRANs utdatafil. Endast transmission vid horisontella marknära banor kan beräknas. (Versionen CmpMod2e är anpassad att även kunna anropas från huvudprogrammet NORAM).

Ett anrop till rutinen i Matlab skrivs enligt:

```
[trans, meantrans] = cmpmod2e([1.8 2.8; 3.5 5; 8 12]);
```

*trans* är en matris innehållande beräknad transmission inom det våglängdsintervall och den upplösning som definierats inför MODTRAN-beräkningen. *meantrans* innehåller en matris med beräknad medeltransmission för upp till tre valda våglängdsintervall och upp till tre modeller, se hjälpinformationen nedan.

Följande hjälpinformation erhålls då `help CmdMod2e` skrivs:

```
>> help cmpmod2e
 [trans, meantrans]=CmpMod2e(winedges)
    by Timo Kaurila 2002, Rolf Persson and Annica Hjelm 2004

Reads a MODOUT2 file and plots the total transmissions generated by Modtran and new models,
and return transmissions in trans output consisting of columns of
1) wavenumber
2) wavelength
3) total transmission by Modtran aerosol transmission
4) Modtran aerosol transmission
5) aerosol transmission based on Lövsättra model (AeroTransL)
6) total transmission by Lövsättra aerosol model
7) aerosol transmission based on Normstorp model (AeroTransN)
8) total transmission by Normstorp aerosol model
9) gas transmission

meantrans ouput includes the average of total transmissions of Modtran,
Lövsättra L and Normstorp N model in operating windows defined by winedges-parameter.
1) mean of modtran total transmission
2) mean of total transmission with Lövsättra model
3) mean of total transmission with Normstorp model
4) mean of gas transmission
5) mean of aerosol transmission with Lövsättra model
6) mean of aerosol transmission with Normstorp model

Each row of the winedges contains cut-on and cut-off wavelength of the operating windows,
for example [3 5; 8 12]
```

## Bilaga 3. Dämpning av optisk strålning i atmosfären

Avsnitten i denna bilaga är hämtade ur referenserna nr 7 och 8.

Optisk strålning som passerar genom atmosfären, påverkas genom spridning, absorption och brytning (refraktion). Man kan ofta försumma brytning. Spridning mot molekyler och aerosolpartiklar (stoft) innebär att fotoner försvinner från strålbanan och fortsätter i ny riktning, medan absorption innebär att fotonen omvandlas till energi i en molekyl eller stoftpartikel.

Båda fenomenen orsakar dämpning av en optisk stråle. För en monokromatisk ("enfärgad") stråle med utgångseffekten  $P_0$  blir effekten efter avståndet  $r$  i atmosfären:

$$P = P_0 \cdot e^{-\alpha r} \quad (1)$$

där  $\alpha$  är dämpningskoefficienten (extinktionskoefficienten). Ekvationen brukar kallas Beer's lag. Den gäller även för radiansten från en strålningskälla t.ex. en IR-strålare. Multipelspridning, som i t.ex. moln och dimma, kan ge avvikelser från Beer's lag. I detta sammanhang kan effekter från multipelspridning försummas. I området 0,5 - 12  $\mu\text{m}$  kommer de viktiga bidragen till  $\alpha$  från aerosolspridning och gasabsorption. Man kan alltså skriva

$$\alpha = \alpha_a + \alpha_g \quad (2)$$

Koefficienterna  $\alpha_a$  och  $\alpha_g$  är våglängdsberoende, vilket innebär att Beers lag inte gäller för bredbandig strålning. Spridningskomponenten  $\alpha_a$  varierar svagt med våglängden och för denna kan man använda Beers lag även för bredbandig strålning utan stora fel. Absorptionsdelen  $\alpha_g$  däremot varierar ofta starkt med våglängden.

I våglängdsområdet 8 - 12  $\mu\text{m}$  orsakas absorptionen huvudsakligen av vattenånga. Den består dels av s.k. kontinuumabsorption och dels av linjeabsorption. Kontinuumdelen, som varierar svagt med våglängden, är normalt (beroende av bandbredd och temperatur) den starkaste.

Under förutsättning att  $\alpha$  är konstant genom en mätsträcka  $r$ , kan atmosfärens transmission  $t_A$  skrivas

$$t_A = \frac{P}{P_0} = e^{-\alpha r} \quad (3)$$

där  $\alpha = \alpha_a + \alpha_l + \alpha_c$  (4)

Här står  $a$  för aerosol-,  $l$  för linje- och  $c$  för kontinuumabsorption. Termen  $\alpha_a$  beror av sikten  $V$ . Dämpningskoefficienten  $\alpha_V$  för visuell strålning (ljus) är

$$\alpha_V = \frac{3,9}{V} \quad (5)$$

om sikten definieras som det avstånd som ger 2 % kontrast. Andra definitioner förekommer. (Begreppet "observerad sikt" använder 5 % kontrast i definitionen. Formel 5 kan användas om konstanten 3,0 används i stället för 3,9. I litteraturen inom ämnet hittar man även exempel på definitionen byggd på 2,5 % kontrast.) Dämpningskoefficienten  $\alpha_a$  för IR kan uppskattas ur

$$\alpha_a = k_\lambda \cdot \alpha_V \quad (6)$$

där  $k_\lambda$  är en s k IR-faktor som beror av våglängden, men också av aerosolpartiklarnas storleksfördelning, som i sin tur beror av vädret. För t.ex. 8 - 12  $\mu\text{m}$  området är av erfarenhet ett lämpligt värde:  $k = 0,4$ . För att beräkna dämpningskoefficienterna  $\alpha_l + \alpha_c$  för vattenånga, behöver man temperatur och relativ fuktighet som ingångsparametrar. Beräkning kan göras med MODTRAN.

## Aerosoler

Aerosoler, dvs stoftpartiklar och små droppar, som svävar i luften påverkar optisk strålning genom spridning och absorption. De har ofta stark inverkan på den optiska transmissionen och därmed räckvidden för optiska sensorer. Sikten, som beror av transmissionen i det visuella området, är den metrologiska parameter, som påverkas av koncentrationen hos aerosolpartiklar. Hög partikeltäthet ger nedsatt sikt. En stor del av partiklarna är hygroskopiska dvs. drar åt sig vatten från luftens vattenånga och bildar droppar.

Aerosolpartiklar bildas i ”naturliga” kemiska processer ur gasmolekyler i atmosfären, men också på andra sätt. Vulkanutsläpp är en viktig källa liksom olika förbränningsprocesser. Skogsbränder och utsläpp från industrier och trafik ger väsentliga bidrag. Vinden river upp damm och stoft från marken. Speciellt genereras stora mängder partiklar från ökenområden som Sahara. Marina aerosoler bildas vid vattenytan genom växelverkan mellan vind och vågor och består till stor del av saltpartiklar. Aerosolpartiklar kan för övrigt bestå av en mängd olika ämnen. Exempel på sådana är  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$  och  $\text{KCl}$ .

Aerosolhalten på en given plats beror av luftmassans ursprung och alltså av den trajektorien längs vilken luften transporterats under ett antal dagar. Vädret och övriga förhållanden som t.ex. trafik- och industriutsläpp längs sträckan påverkar aerosoler. Små partiklar, som har relativt låg fallhastighet, kan transporteras långa sträckor medan större partiklar faller snabbare mot jordytan och sedimenterar. Partiklar från skogsbränder i Nordamerika kan enligt uppgift hamna i Europa. Man kan alltså inte förvänta sig att finna ett entydigt samband mellan aerosolegenskaperna och de lokala väderparametrarna. Den vertikala fördelningen av partiklar beror av konvektion och turbulens. Blandningshöjden och gränsskiktshöjden indikerar tjockleken hos det skikt närmast jordytan, där normalt huvuddelen av aerosolpartiklarna finns. Gränsskiktshöjden för stabil och neutral skiktning ligger mellan ca 30 m och ca 500 m.

## Atmosfärens gaser

Ren torr luft nära markytan innehåller volymmässigt 78 % kväve, 21 % syre och 1 % argon samt flera andra gaser med totala andelen 0,1 %. Koldioxidhalten brukar anges till 0,036 %, men varierar lokalt och ökar för varje år. Andra gaser har ännu mindre andel av sammansättningen, men har trots detta i vissa fall stor påverkan. Exempelvis begränsar ozon ( $\text{O}_3$ ) starkt transmissionen i UV-området. På högre höjd i atmosfären är ozonhalten högre och av stor betydelse då gasen hindrar solens skadliga UV-strålar att nå marken. Vid korta våglängder dämpas strålningen även av syre ( $\text{O}_2$ ) som begränsar transmissionen längst ner i UV.

Vattenånga och koldioxid ( $\text{CO}_2$ ) har kraftiga absorptionsband inom IR. Ett särskilt kraftigt absorptionsband som härrör från koldioxid delar 3 – 5  $\mu\text{m}$  området i två delar. Bandet täcker 4,2 – 4,35  $\mu\text{m}$  och har absorptionskoefficienten ca 700, dvs har transmissionen 0,5 på sträckan 1 m.

Inom IR-området bidrar även den s.k. kontinuumabsorptionen för bl.a. vattenånga till stor transmissionsnedsättning. Aerosoler påverkar dämpningen inom hela spektret, men framför allt i UV-området och det visuella området. Vid korta våglängder, inom UV, är dock Rayleighspridning (molekylspridningen) normalt dominerande.

## MODTRAN

För beräkning av atmosfärstransmissionen finns en rad modeller och programvaror utvecklade. En sådan är MODTRAN. Modellen har upplösningen 2  $\text{cm}^{-1}$  och har utvecklats vid Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom Air Force Base i Massachusetts USA, (benämnt AFGL senare kallad Phillips Laboratory). Den bygger på en tidigare modell med lägre upplösning – LOWTRAN

– och beskriver effekten av atmosfärens påverkan på strålning med optiska våglängder. Den spektrala upplösningen i spektralområdet  $0 - 50\,000\text{ cm}^{-1}$ , dvs. från UV till långvågig IR, är  $2\text{ cm}^{-1}$ . Modellen beräknar atmosfärens transmission, atmosfärens bakgrundsradians, enkelspridd strålning från solen och månen, direkt irradians från solen och månen samt multipelspridd sol- och termisk IR-strålning från atmosfären själv. (Enkelspridd strålning är spridd endast en gång i partiklar (aerosoler) medan multipelspridd strålning är spridd flera gånger).

MODTRAN har förfinats i ett antal steg och den f.n. senaste versionen för PC är MODTRAN 4 (PcModWin 4.0), tillgänglig hos Ontar Corp. i USA. I PcModWin 4.0 finns förutom själva MODTRAN-modellen moduler för att t.ex. definiera indata, lagra dessa som filer, studera resultat i form av tabeller och grafer. För MODTRAN anges noggrannheten i transmittansvärden till "några" %. Det fortgår arbete på att förbättra modellen MODTRAN-modellen på Air Force Geophysics Lab och en ny version av program med bl.a. bättre upplösning är under utveckling.