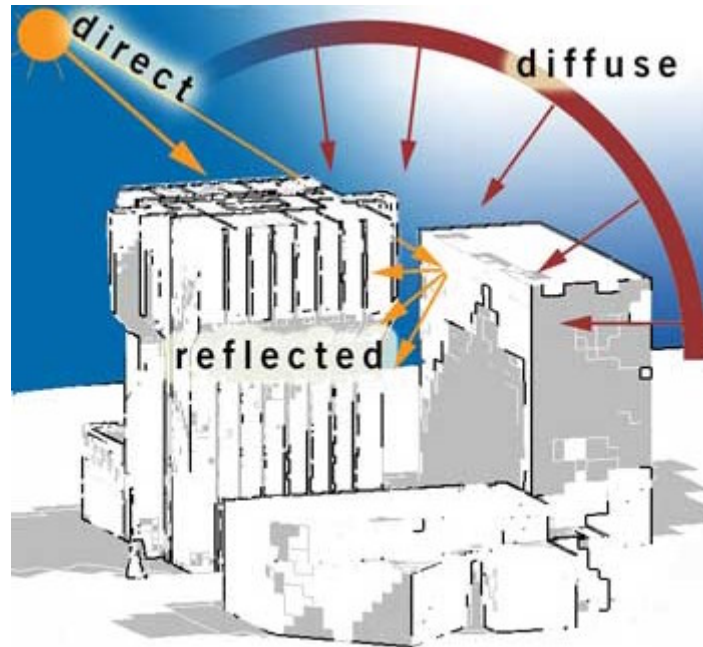




RadTherm som byggnadsenergisimuleringsprogram

PETER LAHTI
JAKOB LINDBERG

EXAMENSARBETE

Högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör
Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 20060610

Examensarbete 2006:57

RadTherm som byggnadsenergisimuleringsprogram

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

PETER LAHTI
JAKOB LINDBERG

Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2006

RadTherm as a energy simulation tool for buildings

PETER LAHTI, 1975

JAKOB LINDBERG, 1977

© PETER LAHTI, JAKOB LINDBERG

Diploma thesis 2006:57

Department of Civil and Environmental Engineering

Chalmers University of Technology

SE-412 96 Göteborg

Sweden

Telephone + 46 (0)31-772 1000

Omslag:

Solstrålningens direkta och diffusa inverkan

Tryckeriets namn: Chalmers

Göteborg, Sweden 2006

Sammandrag

Den växande trenden med komplexa geometrier och den stora mängden fönster som förekommer på moderna byggnader idag, medför att tidigare energisimuleringsprogram på marknaden inte längre räcker till. Syftet med arbetet har varit att titta på möjligheten att använda sig av ett generellt termiskt beräkningsprogram, RadTherm 8.0 för att lösa dessa problem. RadTherm använder sig av helt fysikaliska beräkningar till skillnad från äldre program som använt sig av bland annat data från uppmätta situationer. Vi har valt att jämföra RadTherms olika beräkningar med energisimuleringsprogrammet IDA klimat och energi 3.0, under förutsättningar som vi vet att IDA klarar.

Vi har valt att jämföra hur programmens olika solmodeller beter sig i förhållande till varandra, genom att logga värden i båda programmen för solhöjd och solposition. Vi har även undersökt hur inverkan av molnighet påverkar värdet på direkt och diffus soleffekt i programmen. IDA har färdiga modeller för fönsterglas som RadTherm saknar, därför har vi tittat på hur RadTherms fysikaliska beräkningar stämmer överens med IDA:s simuleringar. För att göra simuleringen så användbar som möjligt har vi använt oss av värden för verkligt glas från fönstertillverkaren Saint Gobain. Andra viktiga parametrar vid simulering av byggnader är styrning av till exempel luftflöden, inverkan av kyla, personlast, belysning och apparater där IDA även här har färdiga modeller som vi har försökt efterlikna i RadTherm.

Många resultat från de simuleringar vi valt att göra, har stämt väl överens med varandra i de två programmen och resultaten har stämt förvånansvärt bra. Detta visar på att RadTherm har stora möjligheter att i framtiden kunna bli ett användbart byggnadsenergisimuleringsprogram vid mer komplexa geometrier. Vad som kan ses negativt är att RadTherm idag saknar många av de färdiga modeller som behövs för att enkelt göra byggnadsklimatsimuleringar.

Abstract

The growing trend of using complex geometries and large windows in the building process today has created a problem for the energy simulating programs on the market. The problem is that the programs don't give enough reliable results. The main purpose of our work has been to look at the possibilities of using the general thermal calculating program, RadTherm 8.0 to solve this growing problem. What makes RadTherm different from other programs on the market is that RadTherm make the calculations based on physical parameters, compared to other programs that mainly use earlier measured results. We have chosen to compare the results from RadTherm with the widely accepted simulating program IDA climat & energy 3.0, only using assumptions that we know that IDA can handle.

We have chosen to compare the solar models of the two programs, comparing parameters as elevation and position. We also looked at the different influences of weather, like for example how diffuse and direct solar radiation is affected by clouds. IDA already have different window models that RadTherm are missing, that is why we compared how well the results from RadTherm's Physical calculations corresponded with similar simulations in IDA. We used glass data from the window manufacturer Saint Gobain, to determine the possibilities of using windows from different manufacturers and to get a real life connection. Another important part in building simulations is the possibility to control airflow, cooling equipment, people, lights and other equipment. We have been trying to imitate models for such things from IDA in RadTherm.

Many of the results from our different simulations, came out with very satisfying results. We found that RadTherm can be useful in the future when making calculations on more complex geometries. The problem is that RadTherm is still lacking many important models needed for making a complete energy simulation on a building.

Förord

Vi vill börja med att tacka Max Tillberg, civilingenjör på Bengt Dahlgren AB för ett stort tålamod och ett bra samarbete under examensarbetets gång. Vi vill även tacka företaget Bengt Dahlgren AB som låtit oss få möjligheten att göra vårt examensarbete hos er.

Att sätta sig in i hur ett energisimuleringsprogram fungerar kan från början verka ganska enkelt men ju djupare insikt i programmen man får desto mer förstår man hur komplexa och abstrakta dessa program är. Vi kan säga att vi inte är helt fullärda ännu inom detta område, men vi har i alla fall fått en väldigt djup insikt och förståelse för hur energisimuleringsprogram fungerar och hur de räknar.

Examensarbetets syfte har ju varit att se ifall RadTherm skulle kunna vara användbart och framförallt tillförlitligt för energisimuleringar i byggnader. Det som gjort examensarbetet roligt och framförallt spännande är att vi har fått möjligheten att få se och arbeta med RadTherm eftersom programmet skulle kunna vara ett bra och användbart program i framtiden. Ett tänkbart användningsområde för RadTherm i framtiden är just stora glasgårdar där solens inverkan är svår att beräkna.

Göteborg maj 2006

Peter Lahti & Jakob Lindberg

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANDRAG **I**

ABSTRACT **II**

1 INLEDNING **2**

1.1 SYFTE **2**

1.2 METOD **2**

1.3 AVGRÄNSNING **2**

2 DE TVÅ SIMULERINGSPROGRAMMEN **2**

2.1 IDA KLIMAT OCH ENERGI **2**

2.1.1 ANVÄNDARGRÄNSSNITT I TRE NIVÅER **2**

2.2 RADTHERM **4**

2.2.1 ANVÄNDARGRÄNSSNITTET **4**

2.2.2 GEOMETRI **5**

2.2.3 PLOTTNING AV RESULTAT **6**

3 BAKGRUND OM KLIMAT OCH SOLMODELLERNA **7**

3.1 VÄDERDATAFILER I IDA **7**

3.2 VÄDERDATAFILER I RADTHERM **7**

3.3 SOL OCH MOLN **8**

3.3.1 MOLNIGHET **8**

3.3.2 SOLLJUS **8**

3.4 SOLPOSITION **10**

4 SOLMODELLSSIMULERING **11**

4.1 FÖRBEREDELSE FÖR SOLMODELLSSIMULERING **11**

4.1.1 KUBUPPBYGGNAD **11**

4.1.2 UPPBYGGNAD AV VÄDERDATAFIL **12**

4.1.3 SIMULERINGSTID **13**

4.1.4 VAL AV SIMULERINGAR **13**

4.2 ANALYS AV SOLMODELLSSIMULERINGAR **14**

4.2.1 TIDSZON **14**

4.2.2 POSITIONSBESTÄMNING **14**

4.2.3 ANALYS AV SOLMODELLSSIMULERINGAR **15**

4.3 ANALYS AV SOLHÖJD **20**

4.4 ANALYS AV SOLLJUSET **21**

4.4.1 ANALYS AV DET DIREKTA SOLLJUSET **21**

4.4.2 ANALYS AV DET DIFFUSA SOLLJUSET **21**

4.4.3 TOTALT SOLLJUS **22**

5 FÖNSTERMODELLER **23**

5.0.1 FÖNSTERMODELL I IDA **23**

5.0.2 FÖNSTERMODELL I RADTHERM **23**

5.1 TILLVÄGAGÅNGSSÄTT	23
5.1.1 ALLMÄNT OM GLAS	24
5.2 SIMULERING MED KATALOGFÖNSTER	25
5.2.1 RESULTAT AV SIMULERING	25
 6 STYRNING OCH BESKRIVNING AV LUFTFLÖDEN	 27
 6.1 KYLBAFFLAR	 27
6.1.1 KYLBAFFEL I IDA	27
6.1.2. KYLBAFFEL I RADTHERM	27
 7 PASSIVA VÄRMELASTER	 28
 7.1 PERSONLASTER	 28
7.1.1 PERSONLAST I IDA	28
7.1.2 PERSONLAST I RADTHERM	30
7.2 BELYSNING OCH APPARATLASTER	31
7.2.1 BELYSNING OCH APPARATLASTER I IDA	31
7.2.2 BELYSNING OCH APPARATLASTER I RADTHERM	31
 8. AVSLUTNING	 33
 KÄLLFÖRTECKNING	 34
 WEBBSIDOR	 34
TIDSSKRIFTER	34
MUNTliga KÄLLOR	34
 BILAGOR	 35

FIGURFÖRTECKNING

FIGUR 1 EN FLIK I SNABBDIALOGEN IDA ROOM	2
FIGUR 2 HUVUDFLIKEN I STANDARDNIVÅN	3
FIGUR 3 HUVUDFLIKEN I DEN AVANCERADE NIVÅN	3
FIGUR 4 ANVÄNDARGRÄNSSNITTET I RADTHERM	4
FIGUR 5 ETT OBJEKT FÄRDIGMESHAD I MESHPROGRAMMET RHINOCEROS	5
FIGUR 6 FORMULÄR FÖR MATERIALVAL OCH VAL AV YTOR I RADTHERM	6
FIGUR 7 BILD AV ETT SPECIFIKT ELEMENT DÄR NODERNAS TEMPERATURER KAN AVLÄSAS	6
FIGUR 8 DIREKT SOLLJUS (WWW.THERMOANALYTICS.COM)	9
FIGUR 9 DIFFUS SOLLJUS (WWW.THERMOANALYTICS.COM)	9
FIGUR 10 REFLEKTERANDE SOLLJUS (WWW.THERMOANALYTICS.COM)	9
FIGUR 11 RADTHERMS SOLVINKLAR	10
FIGUR 12 KUB FÖR SOLMODELLSSIMULERING I IDA	12
FIGUR 13 KUB FÖR SOLMODELLSSIMULERING I RADTHERM	12
FIGUR 14 KUBMODELL I RADTHERM (EN YTA GÖMD)	24
FIGUR 15 MODELL AV MÄNNISKA I RADTHERM	31

TABELLFÖRTECKNING

TABELL 1 ENKEL VÄDERDATAFIL	13
TABELL 2 INJUSTERINGSKÖRNINGAR	14
TABELL 3 KONTROLLKÖRNINGAR	14
TABELL 4 INJUSTERINGSTABELL FÖR TIDSZONER	14
TABELL 5 MÄNGD VÄRME OCH KOLDIOXID EN MÄNNISKA AVGER ENLIGT FANGER	29
TABELL 6 VÄRMEMOTSTÅND I CLO-VÄRDEN ENLIGT FANGER	30
TABELL 7 FÖRDELAR OCH NACKDELAR	33

DIAGRAMFÖRTECKNING

DIAGRAM 1 SIMULERING 1.....	15
DIAGRAM 2 SIMULERING 2.....	16
DIAGRAM 3 SIMULERING 4.....	17
DIAGRAM 4 SIMULERING 5.....	18
DIAGRAM 5 SIMULERING 8.....	19
DIAGRAM 6 15 JULI, GÖTEBORG	20
DIAGRAM 7 DIREKTSOLLJUS	21
DIAGRAM 8 DIFFUST SOLLJUS	21
DIAGRAM 9 TOTALTSOLLJUS.....	22
DIAGRAM 10 FÖNSTERMODELL SAINT GOBAIN SKN 154 OCH SKN 172	26

1 Inledning

På grund av de komplexa geometrier och stora mängder fönster som förekommer i moderna byggnader, ger energisimuleringar med konventionella energisimuleringsprogram för byggnader som till exempel IDA ibland inte tillräckligt noggranna resultat. Ett alternativ till dessa program är att använda **generella** termiska beräkningsprogram som till exempel.

RadTherm. RadTherm är ett relativt nytt energisimuleringsprogram som funnits på marknaden i tio år. Programmet har från början tagits fram för militära ändamål men har utvecklats för att fungera för de flesta områden, framförallt bil- och flygindustrin. Fördelen med att använda RadTherm är att man slipper många av de begränsningar som normalt förekommer i andra byggnadsenergisimuleringsprogram. Svårigheten med att använda ett generellt program är att många av de fördefinierade objekt och modeller som normalt finns saknas.

1.1 Syfte

Syftet med arbetet är att ta fram och verifiera metoder och modeller för att i framtiden kunna använda RadTherm som ett generellt termiskt beräkningsprogram för byggnadsenergisimuleringar.

1.2 Metod

Den metod som använts är att modeller byggs upp i RadTherm och IDA, sedan körs simuleringarna parallellt i båda programmen och resultaten analyseras. Om resultaten som analyseras inte stämmer överens, antingen om det är effektmässigt eller tidsmässigt görs korrigeringar så att de hamnar inom ett förbestämt intervall. Dessa korrigeringar görs under tiden simuleringarna körs.

1.3 Avgränsning

En avgränsning har gjorts på examensarbetet att först och främst se om solmodellerna i RadTherm och IDA stämmer överens. Hur solmodellerna skiljer på det diffusa och direkta solljuset är en viktig del av solmodellsanalysen som kommer att studeras något djupare. Om solmodellerna räknar lika är nästa steg i examensarbetet att bygga en fönstermodell i båda programmen och analysera hur stor solens inverkan blir genom dessa transparenta skikt. Vidare kommer vi att beskriva hur modellerna för kylbafflar, människor, belysning och apparater är uppbyggda i IDA och hur dessa skulle kunna se ut i RadTherm i framtiden.

2 De två simuleringsprogrammen

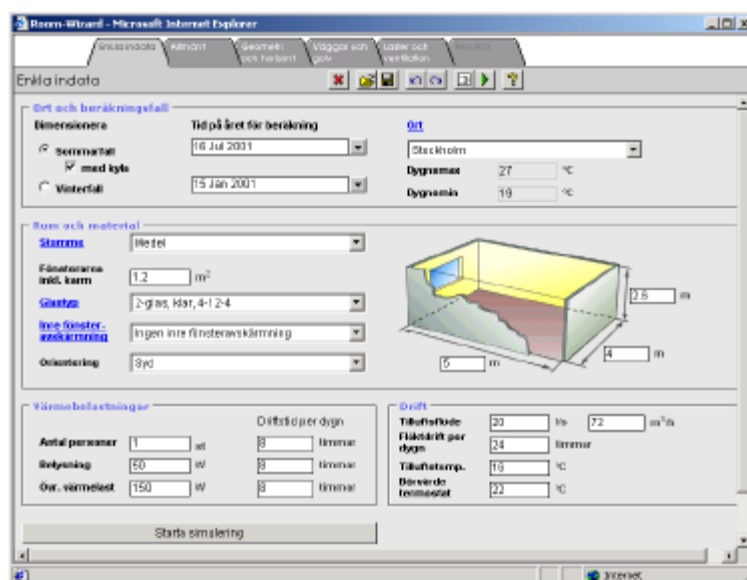
Idag finns det en mängd olika energisimuleringsprogram på marknaden. För att nämna några är IDA och BV² några vanligt förekommande. Många VVS företag idag använder sig av egna energisimuleringsprogram som är framtagna av företagen själva för deras specifika användningsområde. Om VVS företagen bestämt sig för att börja använda något nytt simuleringsprogram används IDA som kontroll för ett se att modellerna räknar på liknande sätt och resultaten är jämförbara. Varför just IDA används som kontrollverktyg är för att IDA har blivit accepterat av marknaden som ett väl fungerande simuleringsprogram för energiberäkningar. Nedan kommer de två simuleringsprogrammets uppbyggnad och funktion att beskrivas kortfattat. Illustrationsfigurer på hur gränssnittet i programmen visas också.

2.1 IDA Klimat och Energi

IDA Klimat och Energi är ett dataprogram som ger användaren möjlighet att simulera inomhusklimatet i enskilda rum i en byggnad och även studera energiförbrukningen för en hel byggnad. Normalt simuleras ett system som består av en byggnad med ett eller flera rum med ett tillhörande primärsystem och med ett eller flera luftbehandlinssystem. I IDA finns möjlighet att avskärma byggnader med omgivande byggnader eller terräng som ger en skuggande effekt. Den luft som finns i byggnaderna innehåller både fukt och CO₂. För att få reella simuleringar används väderdatafiler som baseras på dygnsdata. Programmet tar även hänsyn till vind- och temperaturdrivna luftflöden. I en databas kan fördefinierade objekt och byggnadsdelar hämtas för att underlätta körningarna. Databasen kan även användas för lagring av egna objekt såsom fönster, kylbafflar m.m.

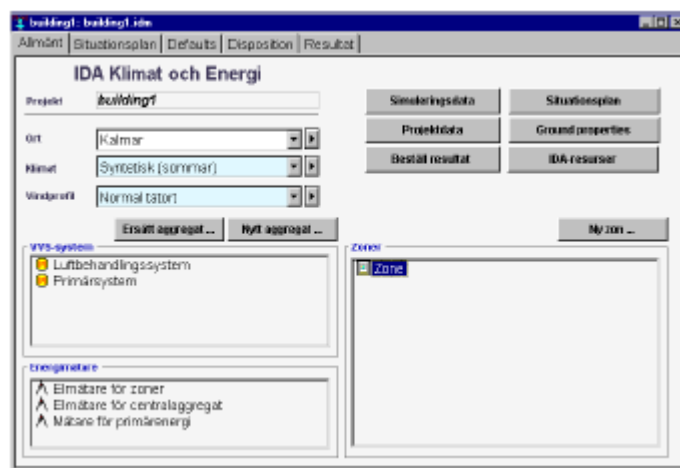
2.1.1 Användargränssnitt i tre nivåer

IDA: s användargränssnitt är uppdelat i tre olika nivåer, snabbdialoger, standard nivån och avancerade nivån. I den enklaste nivån, snabbdialoger (Se figur 1), fyller användaren i olika formulär. Här finns bara möjlighet att fylla i begränsade uppgifter som val av ort, årstid, storlek och orientering av rum, lite om stomme och typ av glas, värmelaster och knapp drift information. I denna nivå är också inställningarna för börvärde på termostater begränsade till att endast börvärdet på rumstermostaten och tilluftstemperaturerna är inställningsbara.



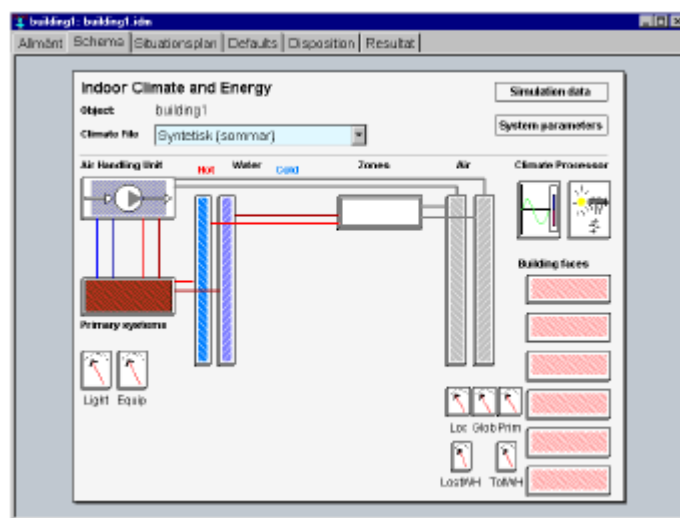
Figur 1 En flik i Snabbdialogen IDA Room

Förutom de valmöjligheter användaren har i snabbdialogen finns i standardnivån möjlighet att utforma sin egen byggnad (Se figur 2). I standardnivån beskrivs geometri, materialuppbyggnad för inne- och ytterväggar, regulatorinställningar, belastningar m.m. vilket kan användas av de flesta användare utan någon speciell bakgrundskunskap.



Figur 2 Huvudfliken i standardnivån

Väl inne i den avancerade nivån (Se figur 3) beskrivs simuleringsmodellen inte längre av fysikaliska termer, utan i form av sammankopplade komponentsmodeller vars beteende beskrivs av ekvationer. Här har man möjlighet att fritt ändra kopplingsstruktur, ekvationsparametrar och även möjlighet att studera variabelernas tidsförlopp. En del operationer är enkla att klara av som att byta en regulator mot en termostat men andra mer komplicerade operationer kräver en djupare kunskap i modellerna uppbyggnad. Möjligheten att studera ekvationer, parametrar och variabler finns i den avancerade nivån. Görs ändringar i den avancerade nivån återspeglas dessa inte i standard nivån, dvs. ändringar gjorda i den avancerade nivån går oftast förlorade om man genererar en ny modell i standard nivån.



Figur 3 Huvudfliken i den avancerade nivån

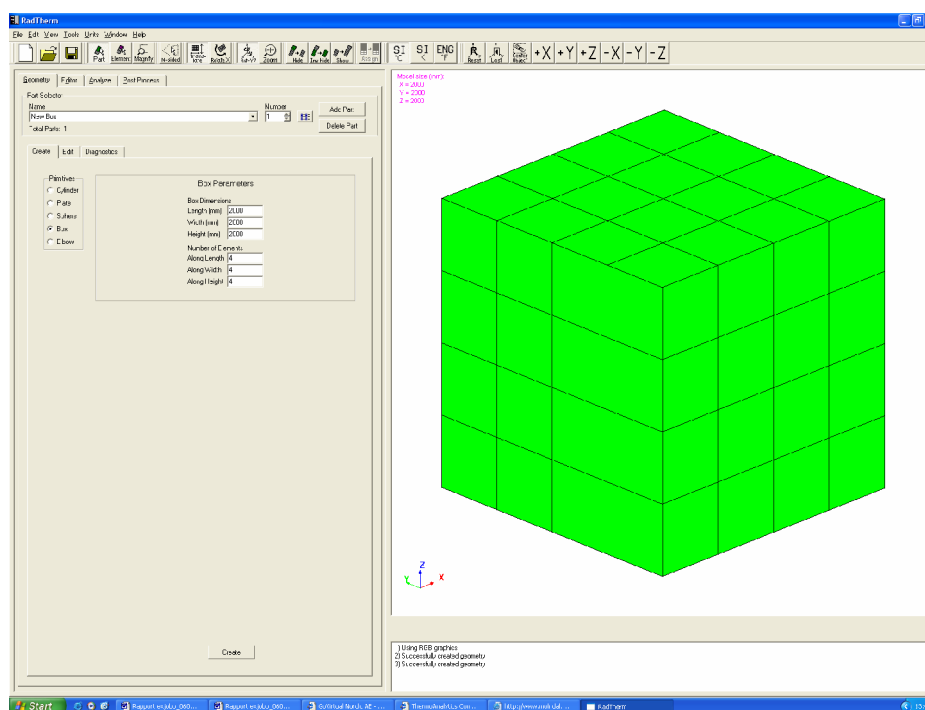
2.2 RadTherm

RadTherm är ett professionellt analysverktyg för termiska beräkningar. Programmet är Amerikanskt och är framtaget av ThermoAnalytics Inc. Programmet har funnits snart i 10 års tid och har från början tagits fram för militärt bruk men används idag mycket inom bilindustrin. RadTherm har ett enkelt och lätthanterligt användargränssnitt vilket hjälper användaren att snabbt och på ett enkelt sätt få igång en energisimulering. Som sagts tidigare är programmet inte framtaget för byggindustrin så det har ännu inte alla objekt såsom till exempel fönster, kylbafflar etcetera som behövs för att göra fullständig energisimulering av en byggnad. Tanken med vårt arbete är att vi ska bygga modeller för dessa saknade objekt och sedan se ifall vi kan få likvärdiga resultat som IDA ger vid sina simuleringar.

När en simulering görs i RadTherm är beräkningarna baserade på en energibalans mellan tre olika värmeöverföringar, strålning, ledning och konvektion. Den metod som programmet använder sig av är att element eller så kallade termiska noder är sammanlänkade av användaren själv. Programmet ger användaren möjlighet att skapa och verifiera termiska länkar mellan element precis som användaren vill. Natureffekter såsom sollaster, himmels- och mark emissioner etc. är indata som anges i en väderfil eller som kan beräknas av programmet internt. Externa konvektioner såsom vind, luftfuktighet och andra faktorer som påverkar klimatet finns med i väderfilen. Temperatur och värmelaster räknas som konstanter eller om användaren önskar som en funktion efter egna tidssteg. En fördel med RadTherm är att programmet kan ta hänsyn till multistudsreflektioner vilket inte går att göra i många andra program. Detta kan vara till stor hjälp vid simuleringar av glasgårdar och stora glasfasader

2.2.1 Användargränssnittet

Gränssnittet i RadTherm är mycket användarvänligt både visuellt och grafiskt. Användaren har möjlighet att vid simuleringen få en bild av var solen värmer ytor på golvet och omgivande ytor i rummet och hur solen rör sig på olika tider på dygnet. Detta kan göras både visuellt och i form av en effekt vid vald tidpunkt.

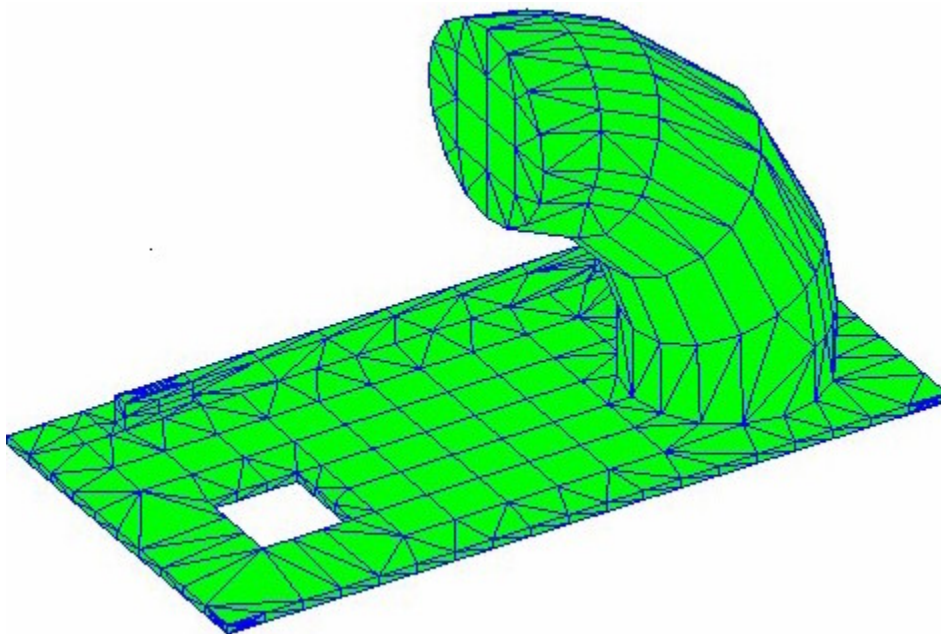


Figur 4 Användargränssnittet i RadTherm

2.2.2 Geometri

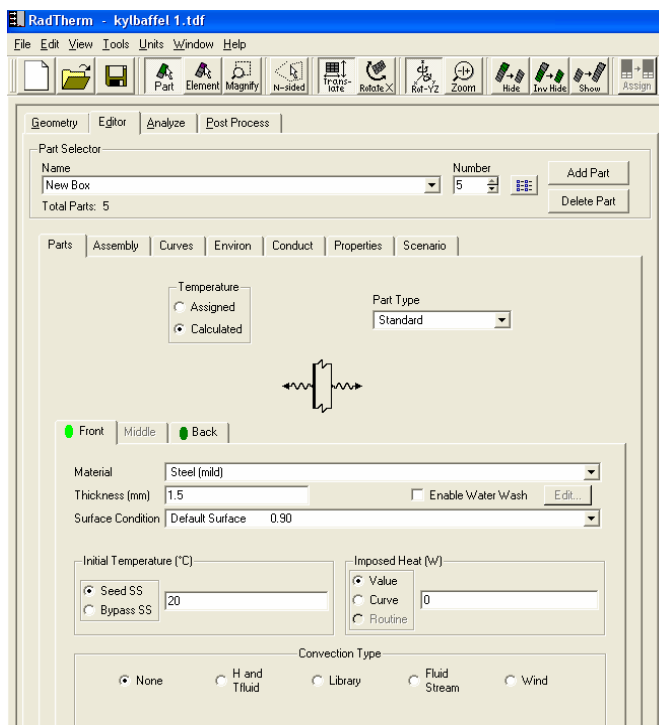
När ett objekt skall simuleras måste objektet först vara uppdelad till delar sedan måste delarna delas upp till mindre element, en så kallad mesh bestående av antingen trianglar och eller kvadratiske element (Se figur 5). Meshing handlar alltså om att dela upp en yta i mindre delar. Varför detta behöver göras är för att kunna bestämma hur mycket värme eller soleffekt till exempel som landar på en specifik yta vilket kan vara användbart för att se hur stor yta ett avgassystem värmer själva golvet i en bil. Så ju fler delar en yta delas in i desto större noggrannhet vid simuleringen. En nackdel är dock att ju fler meshar ett objekt har desto längre tid tar en simulering. Detsamma gäller vid val av tidssteg för beräkningarna.

Enklare kvadratiske och rektangulära meshar kan göras i RadTherm direkt. Om användaren behöver simulera mer komplexa objekt bör dessa meshar göras i program som Rhinoceros eller liknande meshprogram.

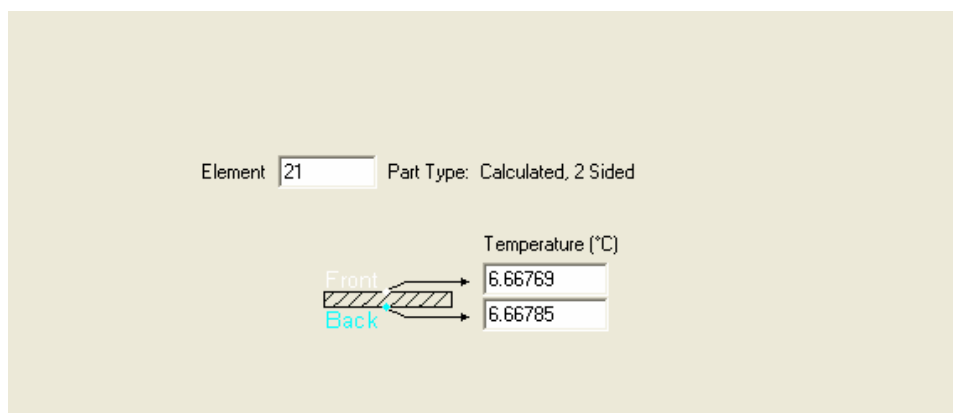


Figur 5 Ett objekt färdigmeshad i Meshprogrammet Rhinoceros

Varje element i en mesh är modellerade i RadTherm som två ytor (framsida och en baksida) med en av användaren bestämd tjocklek (Se figur 6). Varje yta har i sin tur en termisk nod kopplad till sig. Temperaturen för elementens fram och baksida kan också avläsas i programmet (Se figur 7).



Figur 6 Formulär för materialval och val av ytor i RadTherm



Figur 7 Bild av ett specifikt element där nodernas temperaturer kan avläsas

2.2.3 Plottning av resultat

Plottning av resultaten kan göras antingen direkt i programmet där effekten eller temperaturen för vald yta eller del kan göras. Resultatfilerna går även att sparas och öppnas i excel när dessa först har exporterats.

3 Bakgrund om klimat och solmodellerna

I båda programmen finns många faktorer som påverkar hur rättvisande resultat blir i slutändan. Det är ofta svårt att hålla reda på vilka faktorer som påverkar varandra, vi har därför valt att endast använda oss av så få faktorer som möjligt för att undvika onödiga fel.

3.1 Väderdatafiler i IDA

IDA använder sig antingen av en väderdatafil som skapats baserat på givna dygnsdata eller syntetiskt väder eller en form av klimatgenerator (SYNTCLIM). Med hjälp av dessa levereras data i form av ekvationer till många andra enheter i programmet, som till exempel fasader, fönster, läckor i fasader etc. Klimatmodellen i IDA tar hänsyn till följande data;

• Lufttemperatur	Tair, °C
• Himmelstemperatur	Tsky, °C
• Marktemperatur	Tground, °C
• Luftfuktighetsgrad	HumAir, kg H ₂ O/kg torr luft
• Lufttryck	Pair, Pa
• CO ₂ - grad	Xair, µg/kg torr luft
• Direkt solstrålning	IDirNorm, W/m ²
• Diffus solstrålning	IDiffHor, W/m ²
• Vindriktning	WindDir, °
• Vindhastighet	WindVel, m/s
• Solhöjd	ElevSun, °
• Azimutvinkel	AzimutSun, °

Källa: Models of Building Indoor Climate and Energy Simulation, Axel Bring, Per Sahlin, Mika Vuolle, KTH, 1991.

3.2 Väderdatafiler i RadTherm

I RadTherm är det också en väderdatafil som styr resultaten vid simuleringen. RadTherm använder sig av två olika väderdatafiler, en lite enklare (Prism Weather file) och en mer avancerad (Extended weather file, xwa). Den enklare filen finns egentligen i två olika format, en som är styrd av antal siffror per kolumn och en som inte har den begränsningen, de båda enkla filerna använder sig annars av samma data;

• Tid	TIME, timmar
• Lufttemperatur	AIR T, °C
• Total (horisontell) solstrålning	SOLAR, W/m ²
• Vindhastighet	WIND, m/s
• Luftfuktighet	HUMID, %
• Molnighet	CLOUD, 0-10
• Långvågig strålning	LWIR, W/m ²
• Vindriktning	WINDDIR, 0°-359° (från norr till öst)
• Regnmängd	RAINRATE, mm/tim

Den mer avancerade väderdatafilen tar hänsyn till många fler parametrar, där även latitud, longitud, standard longitud (tidszon) och målets höjd över havet måste vara känd, samt ett datum och år simuleringen äger rum.

• Datum	DDMMYY
• Tid	TIME, sekunder
• Vindhastighet	WINDSPD, knop
• Vindriktning	WINDDIR, 0°-359° (från norr till öst)
• Lufttemperatur	AIR T, °C
• Lufttryck	PIAR, Barometriskt tryck, millibar
• Direkt solstrålning	HELIOM, W/m ²
• Total (horisontell) solstrålning	PYRANOM, W/m ²
• Diffus solstrålning	DIFSOLAR, W/m ²
• Himmelstemperatur	SKYT, °C
• Himmelstemperatur	SKYT, °C
• Molnighet	CLOUD, 0-10
• Regnmängd	RAIN, mm/hr
• Regntemperatur	RAINT, °C
• Azimutvinkel	AZIMUTH, ° (från norr till öster)
• Solhöjd	ZENITH, ° (från vertikalt till horisontellt)

Källa: RadTherm manual, ThermoAnalytics, inc. 2003, s.15-24 - 15-27.

3.3 Sol och moln

De parametrar som är mest aktuella för solmodellsberäkningarna är solljus, molnighet och solposition. Nedan förklaras hur molnighet och solposition definieras i programmen samt definitionen av direkt och diffust solljus.

3.3.1 Molnighet

Värdet för soleffekten påverkas av molnigheten. IDA och RadTherm använder sig av olika skalor för molnighet. Skalan i IDA sträcker sig från 0-1,25*, där 0=Molnigt och 1=Klarhimmel, men en känslighet på 0,1. Skalan i RadTherm sträcker sig mellan 0-10, där 0=Klarhimmel och 10=Molnigt, men en känslighet på 0,5**. Vad som är viktigt att notera är att betydelsen av molnighet skiljer sig kraftigt i programmen. IDA använder sig av en multiplikations faktor på värdet för soleffekten, det vill säga 0,5 ger en soleffekt på 50 %.

* Värden på molnighet ändras i huvudformuläret under ort, mellan 0-1,0. Det går att ändra molnigheten till 1,25 under Schema/SyntClim/Parametrar/REDFAC.

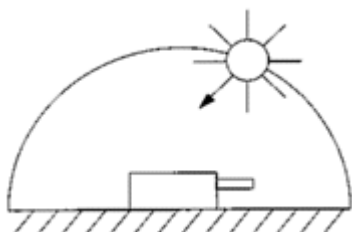
** Värden från 1,6-1,9 avrundas till 1,5, värden för molnighet justeras i väderdatafilen.

3.3.2 Solljus

Värdet för solljus definieras på olika sätt i programmen. Klar himmel definieras ganska lika, men de dagar de är molnigt på himlen går beräkningarna isär. Detta på grund av att det totala solljuset består av två olika faktorer, direkt- och diffust solljus.

Direkt solljus

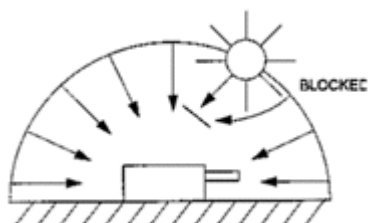
Det direkta solljuset kan definieras som solljus från en bestämd position, solens position, men skulle även kunna definieras som sol som kastar skuggor. Det direkta solljuset påverkas direkt av molnighet och minskar i stort sett i förhållande till molnens intensitet.



Figur 8 Direkt solljus (www.thermoanalytics.com)

Diffus solljus

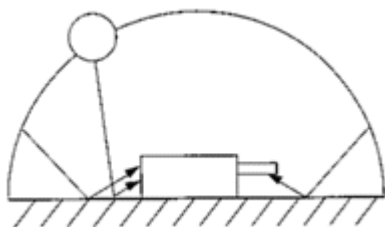
Diffus solljus är vad som gör en molnig dag ljus även då ingen sol syns till på himlen, då den direkta solstrålningen är helt blockerad av moln. Hur molnigheten påverkar det diffusa solljuset skiljer sig kraftigt i programmen. Vilket syns tydligt vid analysen av det diffusa solljuset under rubrik 4.3.2.



Figur 9 Diffus solljus (www.thermoanalytics.com)

Reflekterande solljus

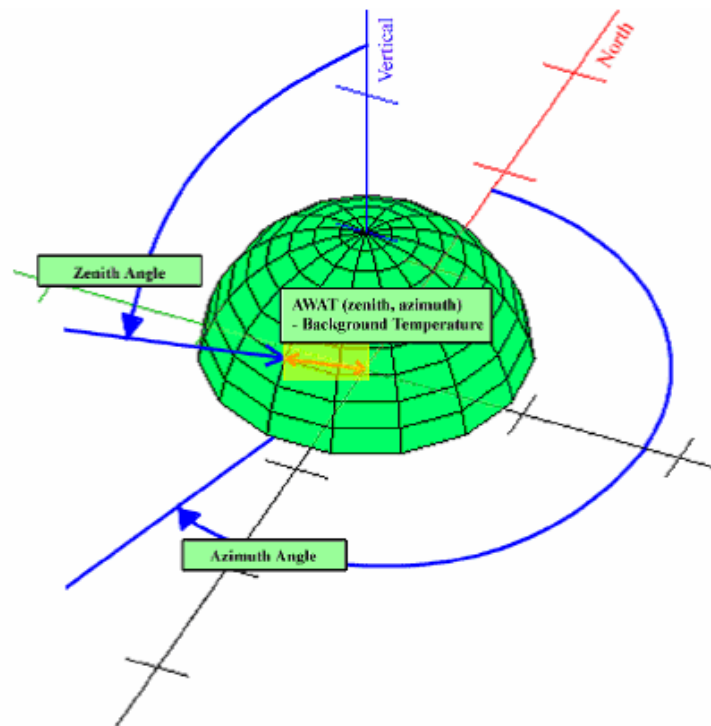
Det är svårt att bestämma hur stor andel av de solljus som träffar en fasadvägg som är reflekterande solljus från marken. Därför har vi i våra simuleringsmodeller valt att framför allt logga den effekt som träffar ovansidan av kuberna, för att hindra att det reflekterande solljuset påverkar våra resultat.



Figur 10 Reflekterande solljus (www.thermoanalytics.com)

3.4 Solposition

Solhöjden definieras som **Zenith** i RadTherm och som **Elevation sun** i IDA. Solvinkeln definieras som **Azimuth** i RadTherm och som **Azimutsun** i IDA. Simuleringsprogrammen räknar solvinkel och solhöjd på två skilda sätt. IDA räknar solhöjden från horisontell axel till vertikal medan RadTherms modell räknar solhöjden vertikalt till horisontellt. Solvinkeln räknas söder medsols mot väster medans RadTherm räknar solvinkeln norr medsols mot öster. RadTherms solvinklar kan även ses i figur 11.



Figur 11 RadTherms solvinklar

4 Solmodellssimulering

IDA har två solmodeller den kan arbeta efter. Ashrae och BRIS. Dessa solmodeller använder ekvationer enligt Therkeld och Ashrae fundamentals för att bestämma direkt och diffus soleffekt som träffar en viss yta.

Jämfört med IDA kommunicerar ytgeometrin i RadTherm med en fiktiv sol i modellen på så sätt kan RadTherm generera en effekt från solen. Vidare arbetar RadTherm's solmodell genom skikt för att skilja på diffus och direkt solstrålning.

4.1 Förberedelser för solmodellssimulering

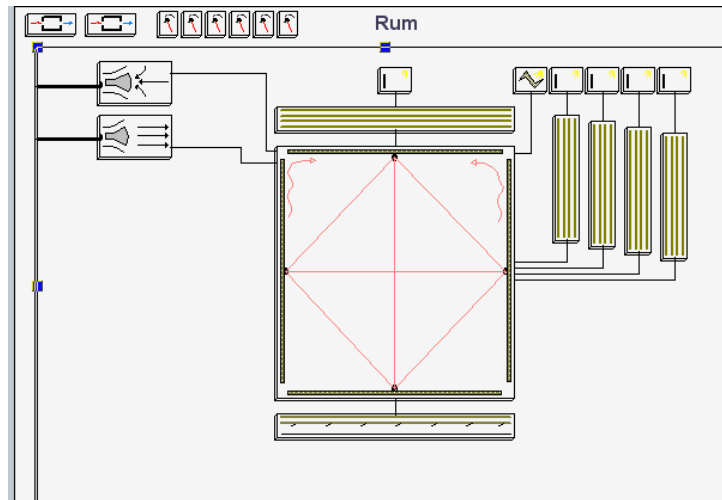
För att göra en simulering måste en del förberedelser göras. Geometrin måste bestämmas, en väderdatafil skall byggas som måste kontrolleras så att den fungerar på rätt sätt, vidare måste simuleringstid bestämmas. Nedan följer en redogörelse av alla förarbeten.

4.1.1 Kubuppgbyggnad

För att göra en simulering av solmodellerna har vi valt att bygga en modell i form av en kub med sidan 1 meter. Denna modell ges sedan ett fiktivt skal i form av tjocklek, material och mesh. Vidare har reflektioner från omgivande ytor isolerats och ytornas absorption satts till 1 för att få den maximala effekten (W/m^2) som solen ger mot horisontell yta, i detta fall taket på kuben. Framförallt för att undvika att reflekterande solljus träffar ytan och för att IDA:s värde för diffussolstrålning är mot horisontell yta. Alla ytor i både IDA:s och RadTherm's modellerna har en absorption på 1,0 för att undvika att viss del av del av solljuset reflekteras mot ytan. I RadTherm skapades en enkel kub enligt ovan, men för att nå liknade effekt i IDA:s fall så valdes golvhöjden över mark till 5 meter och rumshöjden till 1 meter i geometriuppgbyggnaden för att undvika att reflekterande solljus från mark skulle påverka körningarna. Problemet med reflekterande solljus från mark gäller givetvis inte för takets horisontella yta, utan bara för kontrollkörningarna mot kubens sidor.

Illustration av IDA:s kub modell

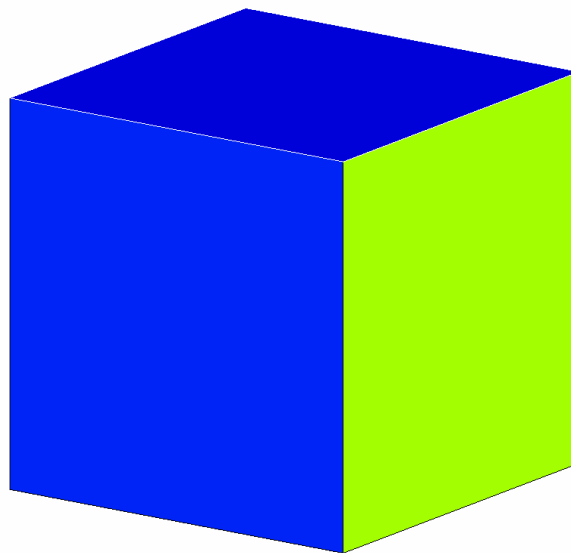
I IDA:s avancerade modell är rummet eller i vårt fall kuben uppgbygg enligt (figur 8). Att arbeta på detta sätt är svårt eftersom väggarna står parallellt vertikalt intill rummet som skapats detta oavsett hur många väggar som finns i rummet. Taket och golvet är placerat ovan respektive under rummet. Det svåra med detta är att veta vilken av väggarna man arbetar med och hålla ordning på rummet eller byggnaden när det blir fler än fyra väggar.



Figur 12 Kub för solmodellssimulering i IDA

Illustration av RadTherms kub modell

I RadTherms modell kan man klart och tydligt se att geometrin är en kub (se figur 13). RadTherms modell är i 3D vilket gör det enkelt att hålla reda på saker och ting. Vill man se hur kuben ser ut inuti är det bara släcka ner en sida av kuben.



Figur 13 Kub för solmodellssimulering i RadTherm

4.1.2 Uppbyggnad av väderdatafil

För enkelhetens skull har vi valt att använda den förenklade väderdatafilen. I våra simuleringar för solmodellen har vi endast tagit hänsyn till **molnighet** och **tidssteg**, resterande parametrar har ingen betydelse för kontroll av solmodellen.

Tabell 1 Enkel väderdatafil

04 TIME	AIRT	SOLAR	WIND	HUMID	CLOUD	LWIR	WINDIR	RAINRATE
0100	19.440		1.540	60.510	0.000	0.000	290.000	
0200	18.690		1.540	63.480	0.000	0.000	290.000	
0300	18.130		1.540	65.780	0.000	0.000	290.000	
0400	17.800		1.540	67.190	0.000	0.000	290.000	
0500	17.720		1.540	67.520	0.000	0.000	290.000	
0600	17.900		1.540	66.750	0.000	0.000	290.000	
0700	18.330		1.540	64.950	0.000	0.000	290.000	
0800	18.970		1.540	62.340	0.000	0.000	290.000	
0900	19.780		1.540	59.200	0.000	0.000	290.000	
1000	20.710		1.540	55.810	0.000	0.000	290.000	
1100	21.700		1.540	52.450	0.000	0.000	290.000	
1200	22.670		1.540	49.350	0.000	0.000	290.000	
1300	23.560		1.540	46.690	0.000	0.000	290.000	
1400	24.310		1.540	44.560	0.000	0.000	290.000	
1500	24.870		1.540	43.040	0.000	0.000	290.000	
1600	25.200		1.540	42.180	0.000	0.000	290.000	
1700	25.280		1.540	41.970	0.000	0.000	290.000	
1800	25.100		1.540	42.440	0.000	0.000	290.000	
1900	24.670		1.540	43.570	0.000	0.000	290.000	
2000	24.030		1.540	45.340	0.000	0.000	290.000	
2100	23.220		1.540	47.690	0.000	0.000	290.000	
2200	22.290		1.540	50.550	0.000	0.000	290.000	
2300	21.300		1.540	53.770	0.000	0.000	290.000	
2400	20.330		1.540	57.180	0.000	0.000	290.000	

4.1.3 Simuleringstid

Vi har valt att göra solmodellssimuleringarna över ett dygn med ett tidssteg på 15 minuter mellan varje beräkning. Dessa inställningar är gjorda både i RadTherm och IDA

4.1.4 Val av simuleringar

För att kontrollera solmodellerna stämmer, har vi valt att titta på två orter Göteborg och Stockholm. Simuleringar görs på de två orterna för ett sommarfall och ett vinterfall och då tittar vi på hur mycket effekt som landar på takytan på kuban. Varför vi väljer att logga takytan är att ingen reflektion sker från omgivande ytor till taket. Vidare kommer en simulering att göras på en västerfasad för att se om effekten blir den samma på denna och här tar man hänsyn till en del av markreflektion.

4.2 Analys av solmodellssimuleringar

Första delen av solmodellssimuleringarna handlar om att injustera modellerna så att de arbetar lika. Andra delen när injusteringarna är gjorda handlar om att kontrollera att solmodellen även stämmer för andra orter och årstid. Slutligen görs en koll på en av fasaderna för att se att denna också fungerar. Nedan följer redogörelse av solmodellssimuleringarna.

Del 1 Injusteringskörningar

Tabell 2 Injusteringskörningar

Simulering	Ort	Datum	Molnfaktor IDA	Molnfaktor RadTherm	Solighet	Del av kub
1 (bilaga1-2)	Gbg	15 Juli-06	1	0	Full Sol	Tak
2 (bilaga3-4)	Gbg	15 Juli-06	0,5	5	Halv Sol	Tak
3 (bilaga5-6)	Gbg	15 Juli-06	1	2	Injusterad	Tak

Del 2 Kontrollkörningar

Tabell 3 Kontrollkörningar

Simulering	Ort	Datum	Molnfaktor	Solighet	Del av kub
4 (bilaga7-8)	Gbg	15 Jan-06	Injusterad	Injusterad	Tak
5 (bilaga9-10)	Sthlm	15 Juni-06	Injusterad	Injusterad	Tak
6 (bilaga11-12)	Sthlm	15 Jan-06	Injusterad	Injusterad	Tak
7 (bilaga13-14)	Gbg	15 Juni-06	Injusterad	Injusterad	Väster fasad

4.2.1 Tidszon

I Göteborg som för hela Central-Europa måste en tidsmodifiering med 1 timme göras, alltså -1 enligt GMT. Det som skiljer sig i IDA och RadTherm är att IDA använder sig av sommartids modifiering med en timme, vilket betyder att under sommar halvåret så blir modifieringen -2 timmar även då bara inställningen för tidszon visar -1 timme. RadTherm tar inte hänsyn till sommartid så vid jämförelse av effekt kurvor i IDA och RadTherm medför en förskjutning med en timme för RadTherm, som måste justeras manuellt.

Den justeringen som behöver göras i programmen för de skall räkna ungefär lika beskrivs av tabellen nedan.

Tabell 4 Injusteringstabell för tidszoner

	Tidszon i RadTherm	Tidszon i IDA
Sommarfall	-2	-1
Vinterfall	-1	-1

4.2.2 Positionsbestämning

Positionsbestämningen sker enligt GMT (Greenwich Mean Time) i både RadTherm och IDA.

Position för Göteborg Lat57.78°, Long -11.88°, Höjd över havet 53m. Positionen för Stockholm är Lat 59,65, Long-17,95, Höjd över havet 61m.

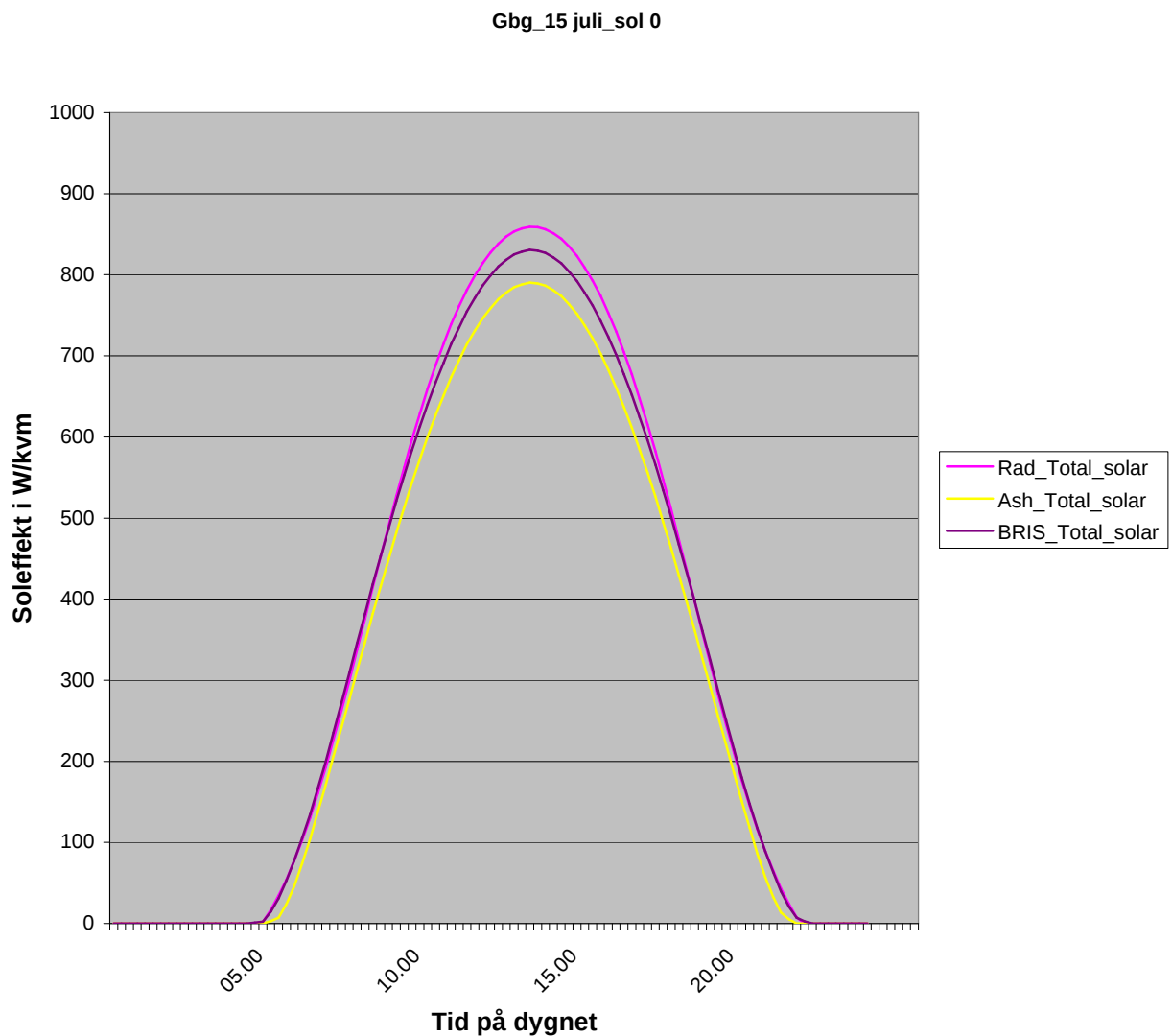
4.2.3 Analys av solmodellssimuleringar

Totalt har 7 simuleringar gjorts på solmodellen. Resultaten av 4 simuleringar visas nedan. De 3 andra resultaten är inte mindre intressanta men är mer som en kontroll. **Förutsättningar** för simuleringarna är enligt **tabell 4 och 6**. För mer utförligare beskrivning finns detaljerad data från alla körningar i bilagorna.

Simulering 1

Simulering nummer 1 (diagram 4) visar att maxeffekten i RadTherm ligger något högre än vad IDA:s två solmodeller BRIS och Ashrae gör. Resultatet visar även att i IDA:s modell är BRIS resultaten mest jämförbara med RadTherm eftersom denna ligger närmast. Tidsmässigt stämmer modellerna överens också.

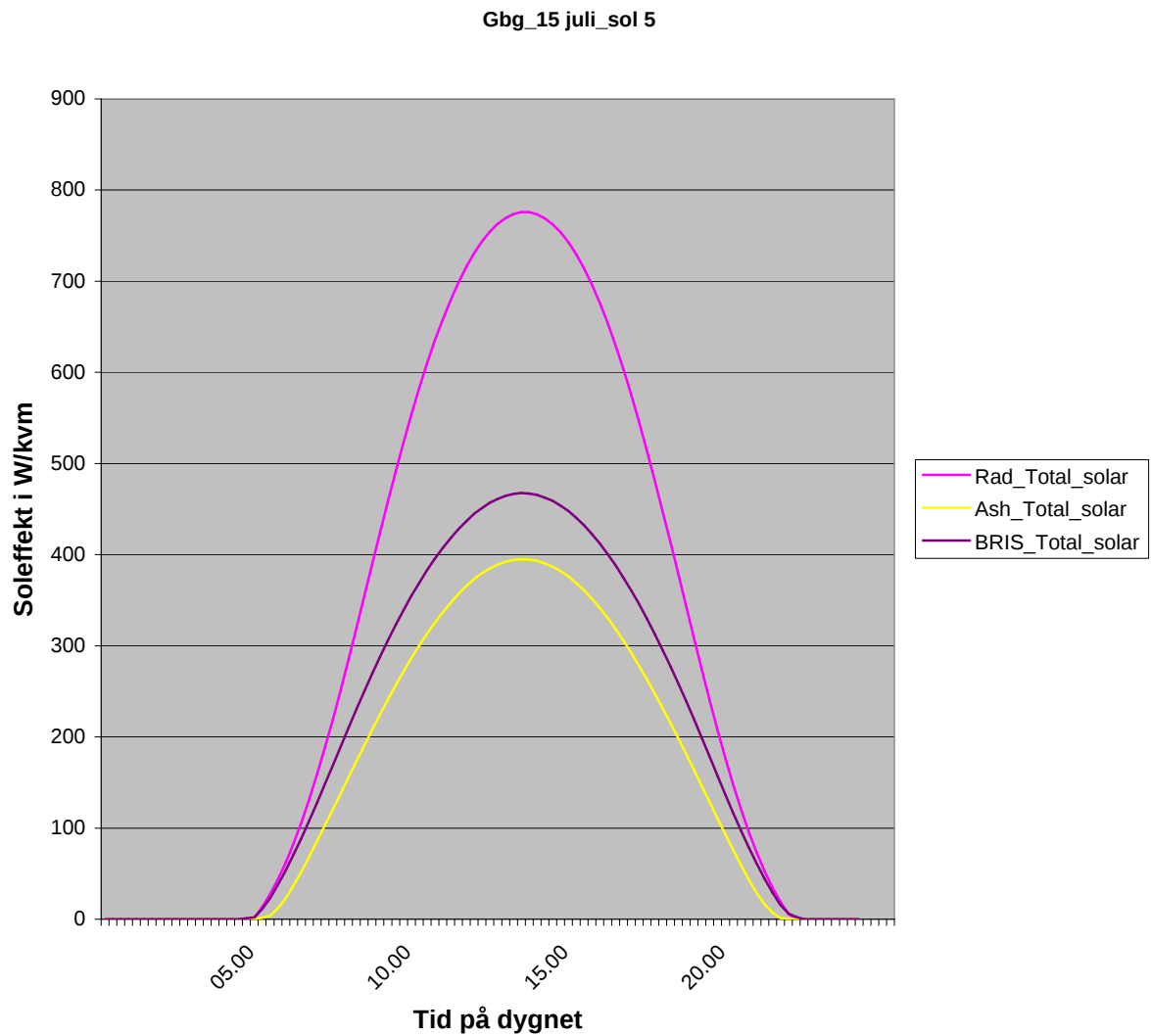
Diagram 1 Simulering 1



Simulering 2

I simulering 2 (diagram 5) när molnfaktorn sätts till hälften i IDA och RadTherm ser man att IDA halverar soleffekten och tar inte hänsyn till diffus och direkt solstrålning. Medans RadTherm skiljer på dessa två. Tidsmässigt stämmer modellerna överens också.

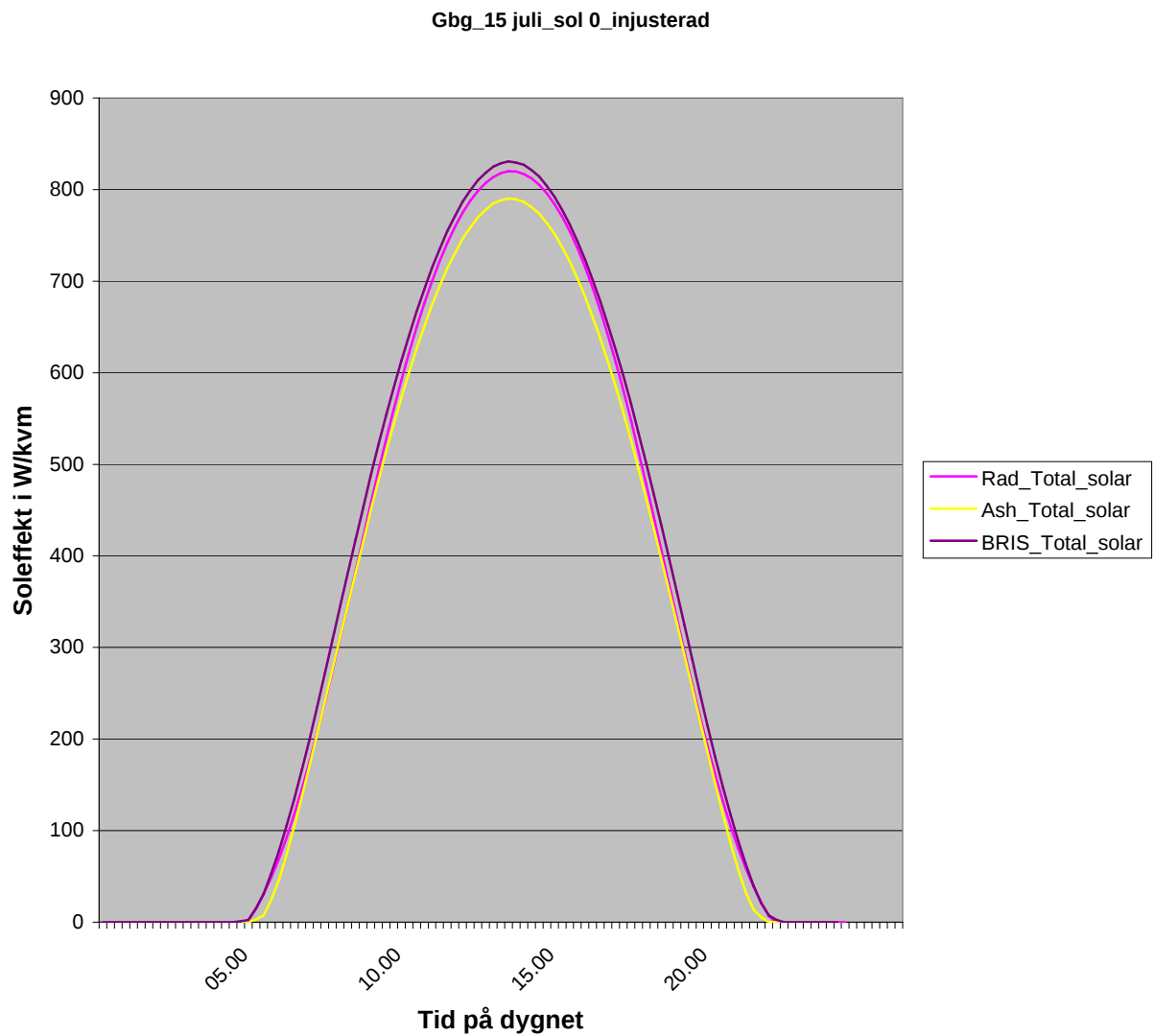
Diagram 2 Simulering 2



Simulering 4

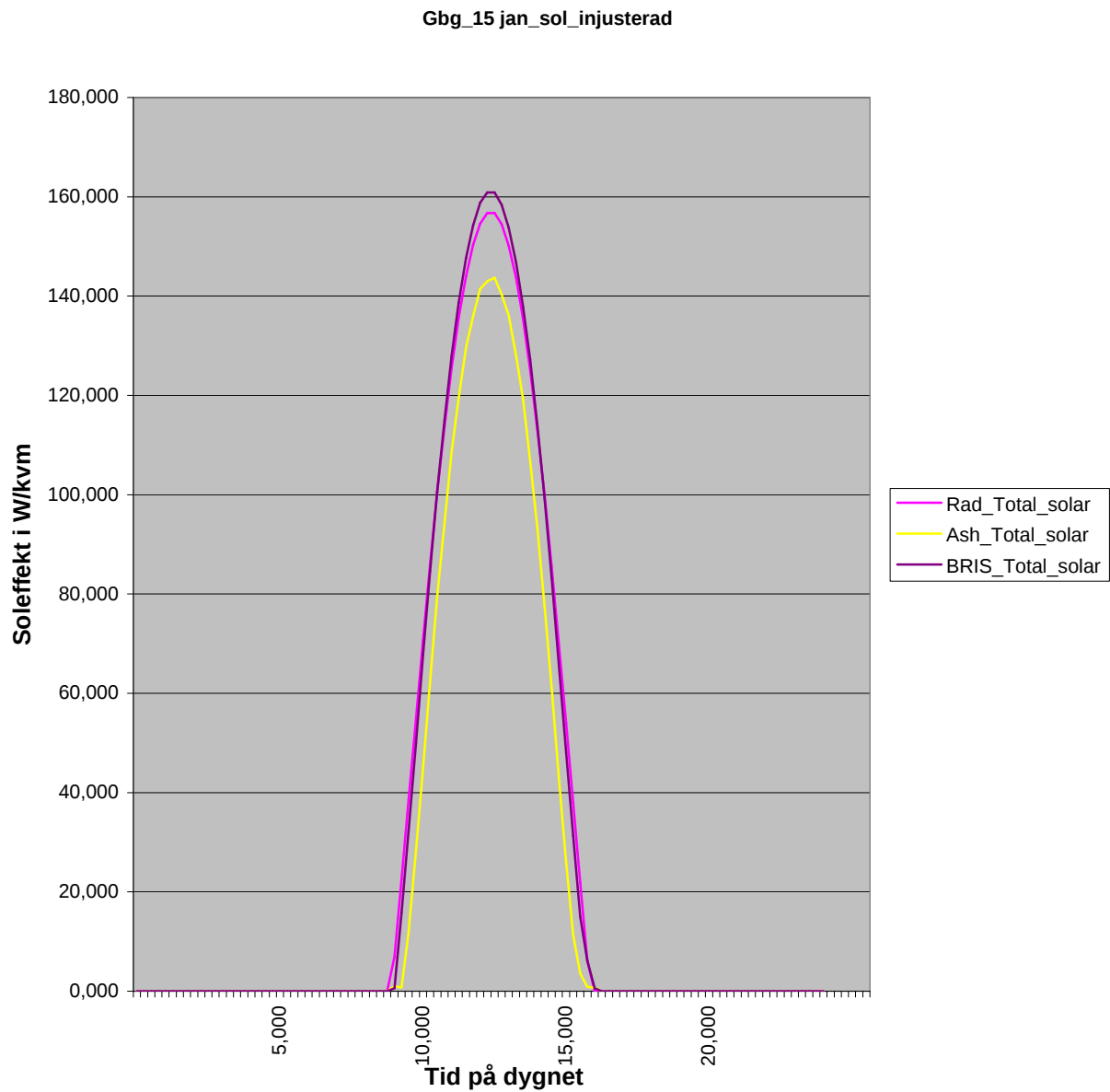
I simulering 4 (diagram 6) har en injustering gjorts så att RadTherms modell stämmer bättre med IDA:s BRIS modell. Injusteringen har varit att vid klarhimmel i IDA måste molnigheten i RadTherms modell sättas till 2.0. Nästkommande simuleringar är kontrollsimuleringar och då kommer den injusterade modellen användas.

Diagram 3 Simulering 4



Simulering 5

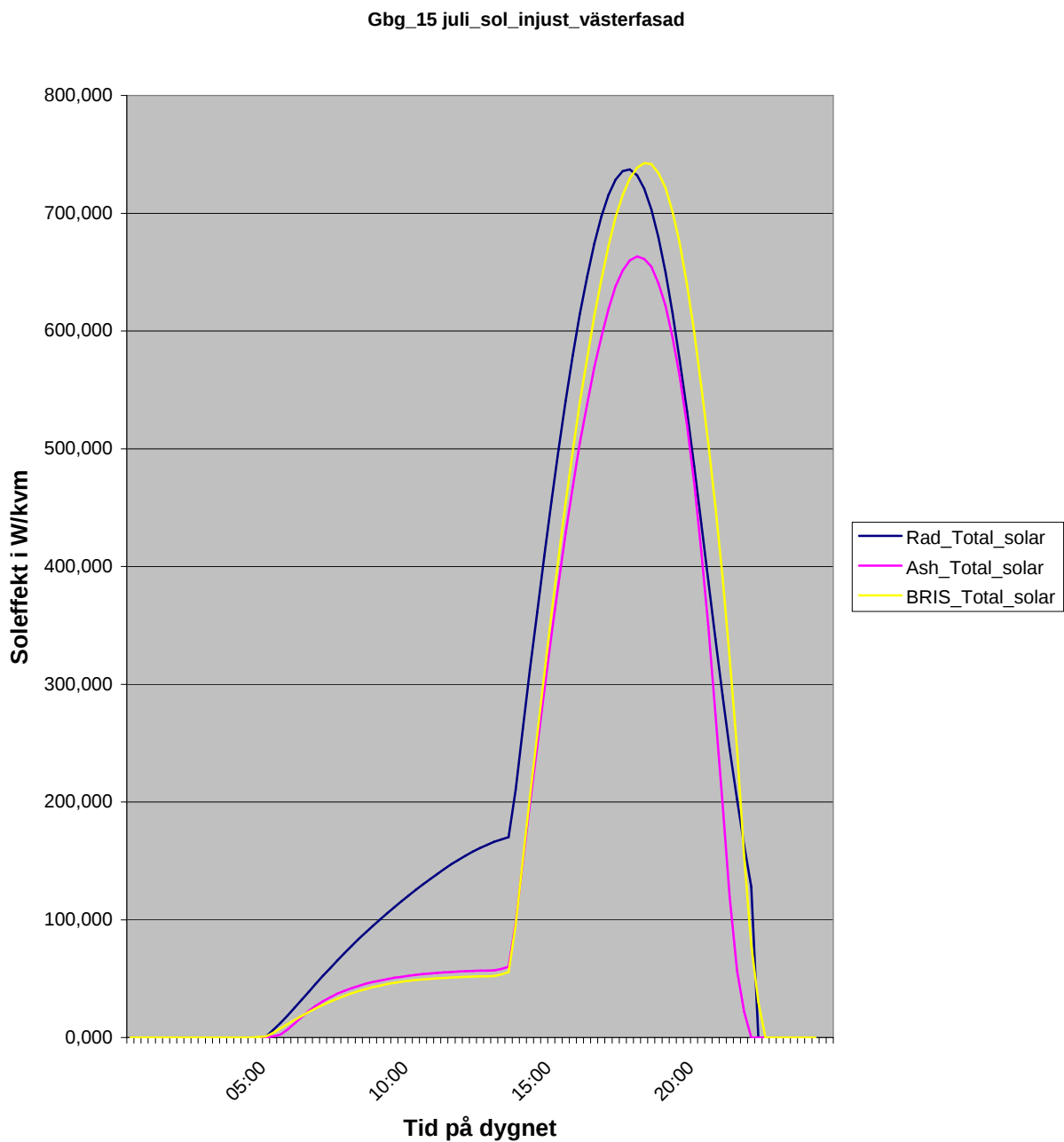
Resultatet från simulering 5 (diagram 7) visar en vinterkörning i januari med injusterade värden för solfaktor och molnighet. Soleffekterna blir väldigt lika i RadTherm och IDA:s BRIS modell. Tidsmässigt är maxvärdet i IDA simulering 15 minuter efter RadTherms. Kurvor för solvinklar och solhöjd är också lika.

Diagram 4 Simulering 5

Simulering 8

I denna simulering tittar vi på västerfasaden och hur mycket soleffekt som landar på denna yta i RadTherm och IDA. RadTherm och IDA har ungefär lika värden på maxeffekt men dessa skiljer lite i tid. Maxeffekten är kl 17:30 i RadTherm och i IDA:s Ashraemodell ligger maxvärdet kl 17:45, för IDA:s BRIS modell infaller maxeffekten kl 18:00. I

RadThermmodell kan man även se att soleffekten ökar snabbare i början av dagen i jämförelse med IDA:s modeller. Detta är för att RadTherm skiljer på Diffus och Direkt solstrålning. Detta fenomen illustreras även i kapitel 3.4 Analys av solljus.

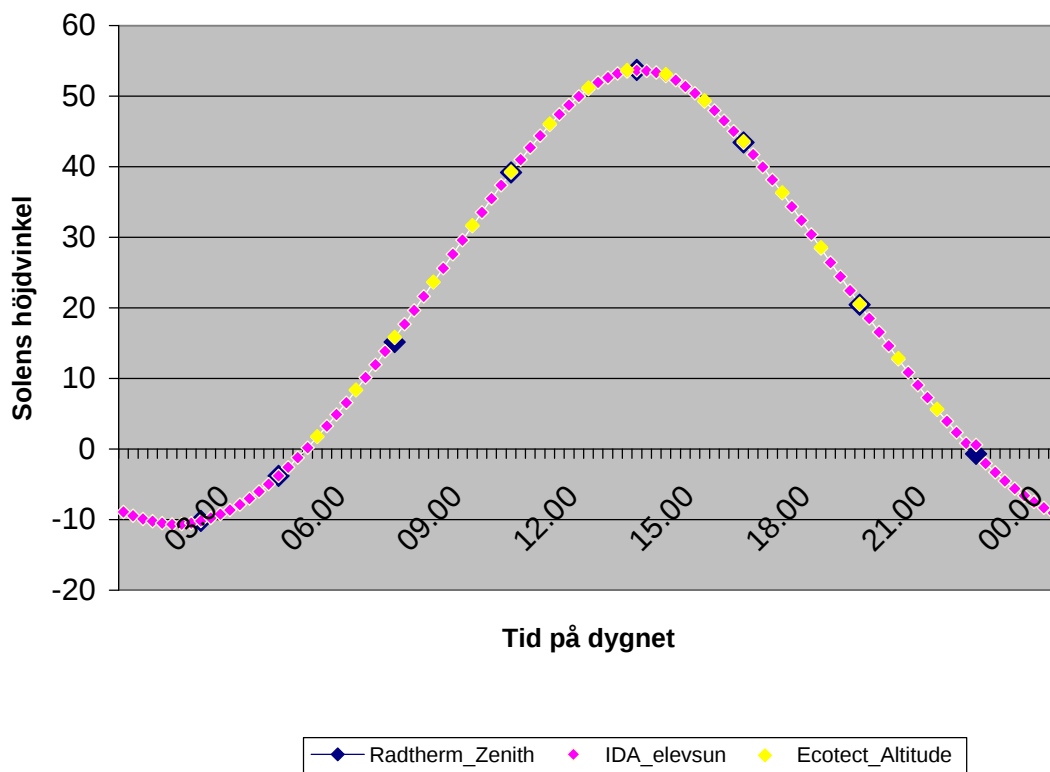
Diagram 5 Simulering 8

4.3 Analys av solhöjd

Vid jämförelse av de olika värdena på solhöjd för Zenith (RadTherm), Elevationsun (IDA) och även tredjepartsprogrammet Ecotectsolmodell där värdet för solhöjd betecknas som Altitude.

Genom att plotta kurvorna för solhöjden i ett Excel-diagram, noteras att kurvorna följer varandra väldigt bra för juli månad i Göteborg. Detta tyder på att solmodellerna räknar och beter sig på liknade sätt. Värdena på Elevationsun är identiska för IDA:s båda modeller. Även vid en kontroll av samma värden men istället under januari månad, ger också värden som stämmer bra för soleffekten för de olika modellerna.

Diagram 6 15 Juli, Göteborg



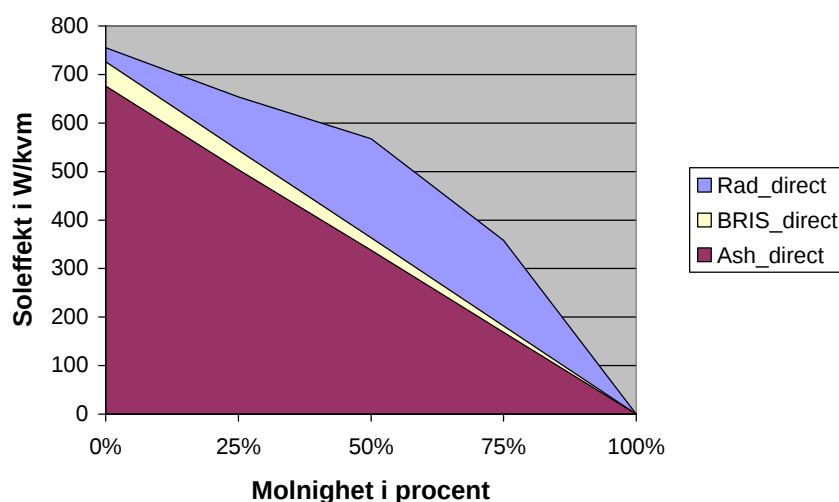
4.4 Analys av Solljuset

För analysera andelen direkt och diffust solljus som programmen tar hänsyn till har vi sammanställt värdena från respektive simulering i en och samma diagram.

4.4.1 Analys av det direkta solljuset

Diagram 6 visar hur andelen direkt solljuset ändras i de tre solmodellerna vid val av olika molnighetsgrad. Vid molnighet 0 och 100 % så ligger värdena ungefär lika i båda programmen men vid 50 % molnighet släpper RadTherm igenom lite mer direkt solljus.

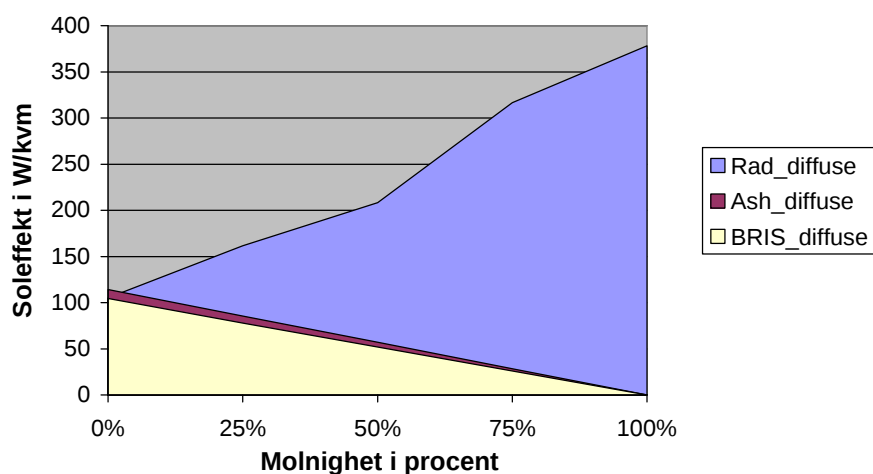
Diagram 7 Direktsolljus



4.4.2 Analys av det diffusa solljuset

Diagram 7 visar hur andelen diffust solljus ändras i de tre solmodellerna vid val av olika molnighetsgrad. Här ser man klart och tydligt att RadTherms modell tar hänsyn till det diffusa solljuset vid ökande molnighetsgrad men det gör inte IDA.

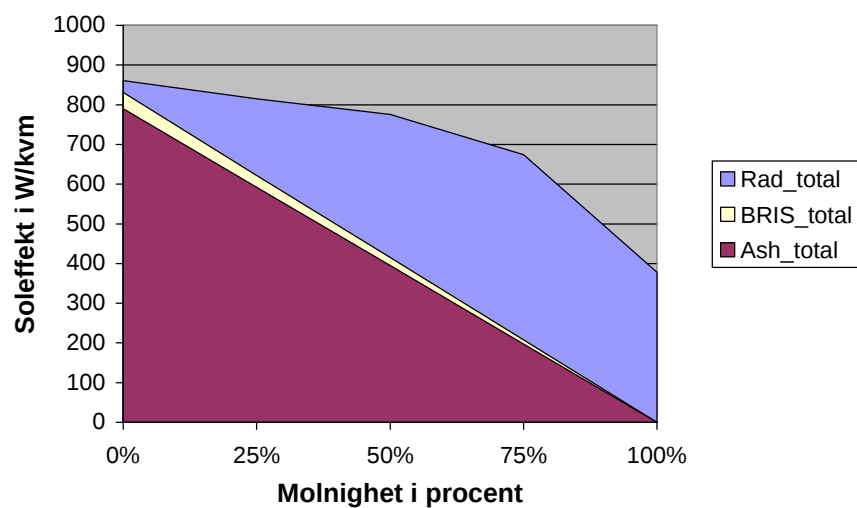
Diagram 8 Diffust solljus



4.4.3 Totalt solljus

Den totala soleffekten är en sammanslagning av direkt- och diffus soleffekt. Vid molnighet 5 så kommer den totala effekten endast ned till cirka 775 W/m^2 att jämföra med IDA:s modeller, detta på grund av att RadTherm skiljer på direkt- och diffus soleffekt. Det enda som blockeras av molnfaktorn är den direkta soleffekten som minskar med cirka 25 % vid en molnighet av 5 (se diagram 1). Det samma gäller inte för det diffusa solljuset som istället ökar linjärt, och vid en molnighet av 5 ökat med nästan 14 %. På grund av sammanslagning så får den totala soleffekten en minskning på cirka 10 %. Följden av sammanslagningen blir att RadTherm-modellen minskar linjärt för total soleffekt. Vid en molnfaktor på 10 i RadTherm är det direkta solljuset helt blockerat medan den diffusa soleffekten har nått sin högsta effekt till skillnad från IDA:s båda modeller som saknar effekt.

Diagram 9 Totaltsolljus



5 Fönstermodeller

Idag är det populärt att uppföra hela byggnader med glasfasader och att bygga ljusgårdar, vilket i sin tur skapar problem vid simuleringar av dessa byggnader. För att bestämma hur väl IDA och RadTherm stämmer överens, har vi valt förhållanden som vi vet att IDA klarar av och se hur väl resultaten stämmer i RadTherm. För att simuleringen ska bli så verklighetstrogen som möjligt har vi valt att använda oss av fönstervärden från bland annat fönstertillverkaren Saint Gobain.

5.0.1 Fönstermodell i IDA

IDA har redan flera olika modeller för standardfönster, men det kan vara problematiskt att simulera stora fönsterpartier.

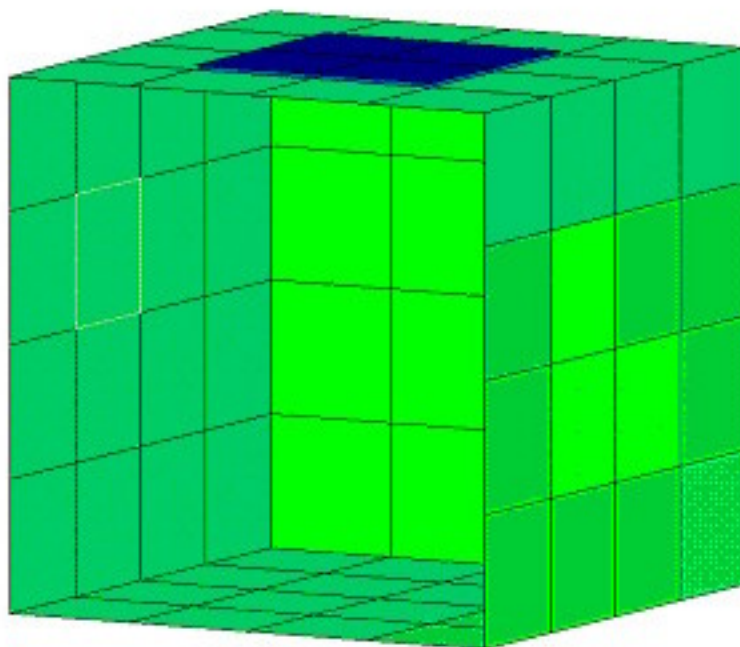
5.0.2 Fönstermodell i RadTherm

RadTherm har inga färdiga modeller för standardfönster, men däremot finns det ett flertal olika varianter av bilglas färdiga, eftersom programmet framför allt riktar sig mot bilindustrin. För att efterlikna IDA:s simulering så blev vi tvungna att skapa en egen enkel modell av glas, genom att använda oss av två transparenta ytor parallellt med varandra.

5.1 Tillvägagångssätt

För att simulera hur mycket solljus som passerar genom glasytorna i RadTherm har vi valt att konstruera en kub som tidigare, med måtten 2x2x2 meter och med en mesh på 4x4 rutor per sida. På kubens ovansida är två parallella transparenta ytor placerade med måtten 1x1m (se figur 14). Alla kubens sidor är uppbyggda av 200 millimeter tjock betong. Betongens utsida har en ytbeläggning med en emissivitet på 0,0 (egentligen 0,000001, eftersom RadTherm inte godtar värdet 0) och en absorption på 0,0 (0,000001). Betongens insida har en ytbeläggning kallad "blackbody" vilket innebär en emissivitet på 1,0 och en absorption på 1,0 för att en så liten del av solljuset som möjligt skall kunna reflekteras bort och ge ett missvisande resultat.

I IDA är det inte möjligt att logga vilken effekt som träffar varje vägg utan bara den mängd solljus som passerar genom fönstret. Den totala effekten för fönstret i IDA ser ut; $Q_{\text{Solar}} = R_{\text{Diffthru}} + R_{\text{Dirthru}} - R_{\text{back}}$. I RadTherm har vi valt att logga den effekt som passerar genom "fönstret" och träffar insidorna av kubens olika väggar.



Figur 14 Kubmodell i RadTherm (en yta gömd)

5.1.1 Allmänt om glas

Vad som är speciellt för glas är att det släpper igenom direkt- och diffus solstrålning i form av kortvågig strålning. Vad som händer när solen träffar en yta på andra sidan fönstret är att materialet utbyter strålning med närliggande material, i form av långvågig värmestrålning (värmeöverföring från en varm yta till en kallare yta). Fönster släpper alltså igenom kortvågig strålning som omvandlas till värmeenergi som sedan absorberas av ytor i rummet.

Återstrålningen blir i form av långvågig strålning som har problem att passera tillbaka ut genom fönsterglas, vilket i sin tur leder till att temperaturen i rummet ökar påtagligt.

När kortvågig strålning i form av solljus träffar fönstermaterialets yta, absorberas en del av strålningen i fönstermaterialet, en del av strålningen reflekteras på fönster ytan och en del av strålningen kommer att transmittas genom fönster ytan. För material som inte är transparenta är transmittansen nästan obefintlig, medan den för kortvågig strålning ligger nära 1,0 för glas. Den långvågiga strålningen är nästan noll både för glas och för övriga material

Summan av dessa effekter är den totala strålning som träffar ytan i form av kortvågig strålning.

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

α = absorptans

ρ = reflektans

τ = transmittans

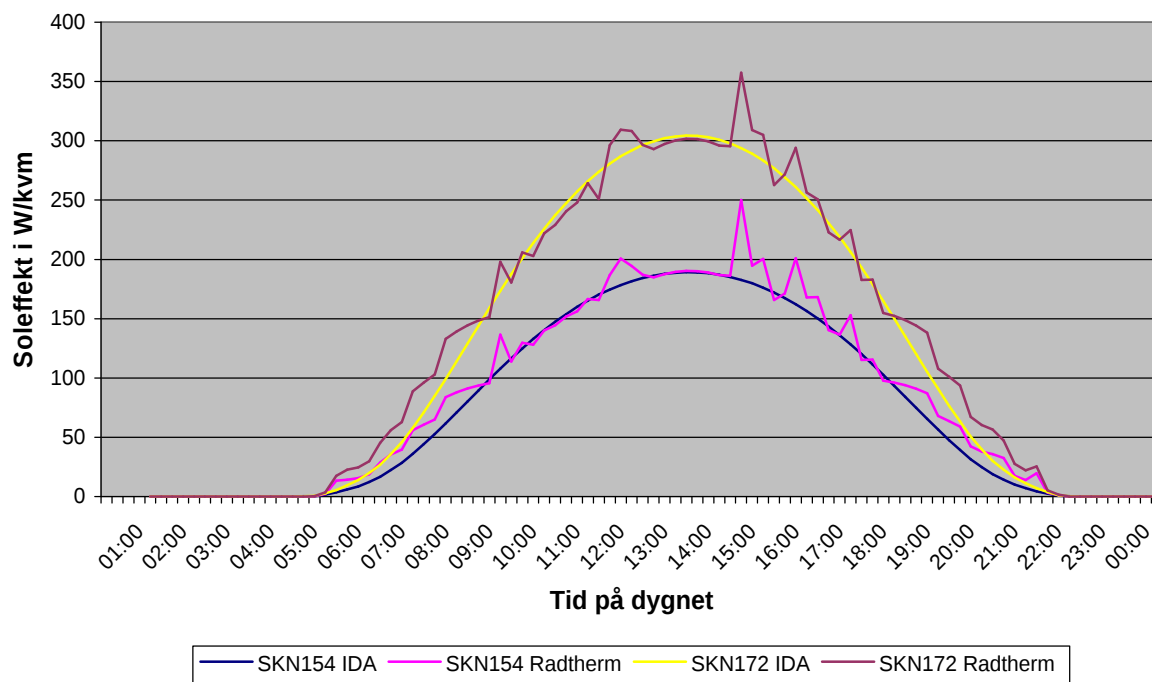
5.2 Simulering med katalogfönster

För att glasuppbyggnaden ska bli så verklighetstrogen som möjligt har vi hämtat glasvärden från bland annat fönstertillverkaren Saint Gobains produktkatalog och simuleringsprogrammet Parasol. Både Saint Gobain och Parasols beräkningar av glasvärden har beräknats med hjälp av den internationellastandarden (ISO/DIS 15099) som grund. Värden som solfaktor (g eller SF), andel solinstrålning som passerar genom glaset (DET eller τ) och U -Värdet för de olika glasen i beräkningarna är något lägre i både Saint Gobains och Parasols beräkningar än för samma värden enligt den internationellastandarden ISO/DIS 15099. Saint Gobain vill givetvis redovisa ett så bra värde på sina glas som möjligt, medan värdena i Parasol är hämtade ur en avancerad simuleringsmodell och från verkliga mätningar. Värden från Parasols simulering är till och med något lägre än vad samma värden från Saint Gobain produktkatalog redovisar vilket visar på att värdena i den internationellastandarden kanske är lite i högsta laget.

Vi har i våra simuleringar valt att tittat på två olika glas SKN 154 och SKN 172, värden på solfaktor, direkt transmittande andel T och U -värden har hämtats från både Saint Gobains produktkatalog och från simulering i Parasol. Värdena har matats in i IDA och medan de fysikaliska värdena för samma glas har matats in i RadTherm, eftersom inte RadTherm använder sig av t ex U -värden.

5.2.1 Resultat av simulering

Tanken var att se vilket av värdena IDA:s, Saint Gobains katalogvärden, Parasols simuleringsvärden eller värdena från ISO/DIS 15099, som kom närmast RadTherms fysikaliska beräkning. Resultatet visade att Saint Gobains katalogvärden kom närmast RadTherms värden, vilket är positivt ur den synpunkt att det inte är tvunget att göra en simulering i Parasol eller använda sig av ISO/DIS 15099s värden, utan direkt kunna vända sig till fönstertillverkaren i fråga. Nedan (se diagram 10) redovisas Saint Gobain simuleringen i IDA i jämförelse med RadTherms fysikaliska beräkning för fönster typerna SKN 154 och SKN 172.

Diagram 10 Fönstermodell Saint Gobain SKN 154 och SKN 172

6 Styrning och beskrivning av luftflöden

Behovet av kyla lokaler är idag ganska stort, större behov är det i lokaler med stor värmebelastning från till exempel människor, apparater och belysning så som i samlingslokaler och kontor. För att klara av att kyla dessa luftmängder måste ofta kylaggregat i någon form användas, ett sådant aggregat som vi tittat närmare på är kylbaffeln.

6.1 Kylbafflar

Ett sätt att kyla lokalerna är att blåsa in undertempererad tilluft genom ett vattenburet kylsystem (kylelement). Kylelementen är ofta placerade i taket och kan delas upp i två olika grupper, kyltak och kylbafflar, där kyltak i princip är större till ytan än en kylbaffel. Principuppbbyggnaden för kylelementen är att parallella lameller kyla genom att två kopparrör som passerar igenom lamellerna. Kylelement tar upp värme från rummet som sedan kyla när den passerar genom element.

6.1.1 Kylbaffel i IDA

I IDA finns det en färdig modell för en så kallad aktiv baffel, som både fungerar som tilluftsdon och som kylbaffel. Modellen fungerar som en konvektiv enhet (inget strålningsutbyte med rummet) och används framför allt till att kyla rummet, men kan även användas som värmare. Modellen har två olika varianter av indata, indata från tillverkare och så kallad förenklad indata. Förenklat flöde innebär att användaren är tvungen att ange två värden, värde för det dimensionerande luftflödet och vid nollflöde, varpå modellen räknar ut ett värde för uteffekt. Med den aktiva baffeln är det möjligt att simulera både ett konstant flödesfall (CAV-system) och ett variabelt flödesfall (VAV-system).

6.1.2. Kylbaffel i RadTherm

I RadTherm finns ännu ingen färdig modell för kylbafflar. Men det finns en möjlighet att koppla inkommande och utgående luftmängder till rummet. Tanken med en kylbaffel är att den ska kyla rummet mer, ju varmare luften blir i rummet. Ett sätt att styra temperaturen i rummet är att skapa ett objekt i rummet som får agera sensor. Sensorn tilldelas hög konvektion så att den snabbt får samma temperatur som rumsluften. Från temperaturen på rumsluften beräknas en direkteffekt "imposed heat", alltså den effekt som skulle gå åt för att nå önskad rumstemperatur vid tillfället. Den effekt som tilldelas rummet vid en viss temperatur styrs av ett linjärt förlopp, skapat i ett script i RadTherm. Sensorn i rummet upprepar detta förlopp tills önskad temperatur i rummet är uppnådd eller att temperaturen i rummet når utanför kurvan för det linjära förloppet. Scriptet bör vara programmerat att stoppa kylningen vid slutet av förloppet för att undvika att kylningen fortsätter för evigt, det bör även finnas en övre gräns för vad kylbaffeln klarar av. Ett problem som bör noteras är att rummet inte hinner svara på alltför korta tidssteg.

7 Passiva värmelaster

När man pratar om uppvärmning av byggnader menar man både passiv och aktiv uppvärmning. En stor del av uppvärmningen utgörs av passiv uppvärmning från bland annat solinstrålning och från aktiviteterna i byggnaden. Denna del av uppvärmningen kallas ibland för gratisvärme eftersom byggnader ofta under vinterhalvåret måste tillföras värme i form av aktiv uppvärmning från särskilda installationer. De passiva värmelaster vi valt att titta närmare på är personlast, belysning och apparatlast.

7.1 Personlast

Att simulera en människa är väldigt svårt eftersom vi inte bara avger värme utan också fukt. Människans reaktioner till det termiska klimatet (lufttemperatur, strålningstemperatur, luftens hastighet och luftens fuktighet) samt inverkan av aktivitet och klädsel påverkar hur människan upplever operativtemperaturen i rummet. En hel del forskning har gjorts i ämnet bland annat av en dansk klimatforskare, Ole Fanger. Fanger har utvecklat två skalor för mätning av hur människan upplever vissa miljöer, *met* och *clo*.

7.1.1 Personlast i IDA

I IDA finns det ett formulär för hantering av personlast, där bestäms hur många personer som vistas i zonen (rummet), tidsschema för gruppens närvaro, aktivitetsnivå samt beklädnad. Aktivitetsnivån på personerna i zonen bestäms enligt skalan *met*. Aktivitetsnivån bestäms genom att mäta hur mycket värme och koldioxid en människa avger under olika situationer så som sovande, stilla sittande eller vid lätt maskinarbete etc. Skalan mäts i *met* där 1 *met* motsvarar 58,2 W/m² kroppsytan. Kroppsytan i IDA har sats till 1,8 m², vilket motsvarar en normal stor vuxen. Tabell 5 illustrerar hur stor mängd värme och koldioxid en människa avger under olika aktiviteter.

Tabell 5 Mängd värme och koldioxid en människa avger enligt Fanger

<i>Aktivitet</i>	<i>met</i>	<i>Effekt [W]</i>
Sömn	0.7	72
Liggande vila	0.8	81
Sittande vila	1.0	108
Stående still	1.2	126
Promenad (3.2 km/h)	2.0	207
Promenad (4.3 km/h)	2.6	270
Promenad (6.4 km/h)	3.8	396
Stillasittande läsning/skrivning	1.0	108
Maskinskrivning	1.1	117
Kontorspromenad	1.7	180
Packning/Lyftning (kontor)	2.1	216
Matlagning	1.6-2.0	171-207
Städning	2.0-3.4	207-360
Lätt maskinarbete	1.8-2.4	189-252
Tungt maskinarbete	4.0	423
Manuell grävning	4.0-4.8	423-504
Social dans	2.4-4.4	252-504
Aerobics/work out	3.0-4.0	315-423
Tennis	3.6-4.0	378-486
Basket	5.0-7.6	522-792
Tävlingsbrottning	7.0-8.7	738-909

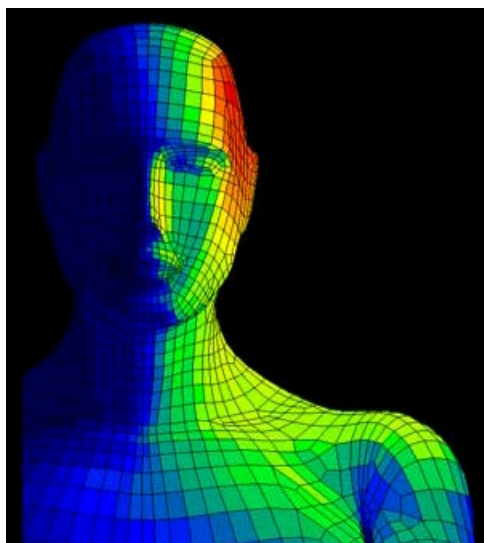
Även vilken klädsel personen har på sig har en viss inverkan på den effekt som personen avger. Framför allt har den stor inverkan på hur komforten upplevs, som ofta mäts med hjälp av PPD (Percentage of People Dissatisfied) eller PMV (Predicted Mean Vote). Värmemotståndet för beklädnad mäts i *clo*. 1 *clo* motsvarar 0,155 m²K/W. Tabell 6 ger exempel på *clo*-värdet av vissa kläder.

Tabell 6 Värmemotstånd i clo-värden enligt Fanger

<i>Klädsel</i>	<i>clo</i>
shorts, kortärmad skjorta	0.36
långbyxor, kortärmad skjorta	0.57
långbyxor, långärmad skjorta	0.61
dito m. kavaj	0.96
dito m. väst och T-tröja	1.14
långbyxor, skjorta, tröja, T-tröja	1.01
dito m. kavaj och långkalsonger	1.30
Träningsoverall i bomull	0.74
Kjol, kortärmad blus, tunna strumpbyxor, sandaler	0.54
Kjol, långärmad blus, underklänning, tunna strumpbyxor	0.67
Kjol, blus, underkjol, tunna strumpbyxor, tröja	1.10
dito m. kavaj istället för tröja	1.04
Halvlång kjol, långärmad blus, kavaj, strumbyxor	1.10
Overall, T-tröja	0.72
Overall, tröja, T-tröja	0.89
Isolerad overall, underställ	1.37

7.1.2 Personlast i RadTherm

I dagsläget finns det ingen modell för en människa i RadTherm. Tanken var att en del av detta arbete skulle gå ut på att simulera en enklare modell av en människa. Men eftersom det kommer att dyka upp en modell redan i nästa version, 9.0, så kommer vi att lämna denna del tillsvidare. Modellen som kommer är en mycket noggrann modell, modellen kommer att bestå av en termisk mesh på närmare 7000 olika element och vara uppdelad 15 olika kroppsdelar. Modellen kommer att kunna simulera bland annat ämnesomsättning, svettning och andning. Modellen kommer att vara uppbyggd i tre olika lager, en kärna med en konstant temperatur på 37°C på ena sidan av ett muskel-/fettlager som gränsar till ett skinnlager med simulerat blodflöde och sist med ett klädlager utanpå som kapslar in kroppen. Exakt hur modellen kommer att fungera återstår att se när den nya versionen finns tillhanda.



Figur 15 Modell av människa i RadTherm

7.2 Belysning och apparatlaster

Klimatet på kontor bör ha ökat de senaste årtiondena i och med att varje kontorsrum idag har minst en dator och kanske även annan tekniskutrustning som avger värme och på så sätt påverkar klimatet i rummet. Även belysning har inverkan på klimatet i rummen även då antalet belysningsarmaturer kanske inte har ökat till antalet sen tidigare, men inverkan av värmelaster som belysning och apparater är inte att försumma.

7.2.1 Belysning och apparatlaster i IDA

I IDA finns möjligheten att införa belysning i form av en rektangulär yta i taket. Med hjälp av ett formulär för belysning kan märkeffekt/belysningseffekt [W] bestämmas. I formuläret är det också möjligt att bestämma ljusutbytet från armaturen, i *lumen*, [lm/W]. Belysningen avger energi i form av konvektion mätt i procent (tex. 30%) och resten av energin i lång- och kortvågig värmestrålning, varav den långvågiga värmestrålningen svarar för cirka 90% och kortvågiga värmestrålningen för cirka 10% av den resterande andelen (70%). Värt att notera är att andelen konvektionen inte går att sätta högre än 89%, detta på grund av den kortvågiga värmestrålningen som inte går att försumma.

Apparatlaster i IDA fungerar på liknade sätt som belysningen, med skillnaden att apparaterna inte avger någon kortvågig värmestrålning. Det finns möjlighet att även bestämma andel koldioxid och vattenånga apparaten avger (detta endast aktuellt för apparater i form av brännare eller liknade). Det finns ingen möjlighet att bestämma apparaten placeringen i rummet, då detta anses sakna betydelse för resultatet.

7.2.2 Belysning och apparatlaster i RadTherm

RadTherm har precis som för människor inte någon färdig modell för belysning eller apparater (detta kanske också dyker upp i den nya versionen). Ett sätt att lösa detta skulle kunna vara att helt enkelt tilldela luften i rummet en effekt i form av Imposed heat, av samma mängd watt som den sammanlagda belysningen skulle utgöra. Detta skulle dock kunna ställa till besvär om rummet samtidigt använder sig av kylbafflar i den form som tas upp i punkt 6.1.2 *kylbafflar*, men detta problem skulle kunna lösas genom förändringar i de tidigare scriptet. Ett bättre alternativ skulle kunna vara att skapa ett fysiskt objekt som tilldelas en viss effekt. Vad som bör tänkas på är objektets fysiska utbredning i rummet, som eventuellt kan påverka kommunikation mellan andra ytor i rummet

RadTherm använder sig inte av kortvågigt strålningsutbyte mellan material (endast för solstrålning), endast utbyte i form av långvågig värmestrålning loggas, vilket är en begränsning. Ett sätt att påverka utbytet av strålning är att ändra värdet på konvektionen (H).

Även apparatlasten i RadTherm skulle kunna lösas på liknande sätt, genom att tilldela luften i rummet en effekt eller genom att plantera ett objekt i rummet i form av till exempel en box. Boxen skulle kunna tilldelas en temperatur inuti eller en effekt på dess ytor, som avges i form av långvågigt strålnings utbyte och konvektion.

8. Avslutning

Från början var detta examensarbete ämnat som ett 20 poängs arbete men har under arbetets gång bantats ned för att passa vårt 10 poängs arbete. Från början har mycket tid lagts åt att skaffa sig en förståelse för hur de två olika programmen arbetar. Något vi trodde skulle vara enklare än vad det har varit. Tittar vi tillbaka på vad vi lärt oss under tiden så har vi fått en djup förståelse hur modellerna i programmen fungerar och hur de speglar verkligheten. Vi har valt att endast titta på de viktigaste modellerna i programmen som kan vara användbara i framtiden för till exempel göra simuleringar av ljusgårdar och stora glasfasader.

För att knyta ihop det hela har vi kommit fram till att de modeller vi tittat på mest, solmodellerna och fönstermodellerna i både RadTherm och IDA stämmer väl överens med varandra och ger liknande resultat bara genom några enkla justeringar som beskrivs i rapporten. Att modellerna stämt så pass bra överens har varit positivt.

Programmen är väldigt olika uppbyggda och därför svåra att jämföra, men vi har i tabellen nedan (se tabell 7) försökt att presentera det som vi tycker har varit bra respektive mindre bra i de två programmen. Något som måste noteras är att båda programmen har sina fördelar eftersom de är ämnade för två olika huvud ändamål. RadTherm används idag mestadels inom bilindustrin vilket märks i programmets uppbyggnad och huruvida RadTherm kommer att anpassas till byggindustrin är ännu inte klart. IDA är direktanpassat för byggnadsenergisimuleringar och har många fördefinierade objekt och modeller som kan användas. Än så länge är inte RadTherm någon ersättare av IDA men skulle kunna vara ett bra komplement vid speciella beräkningar.

Tabell 7 Fördelar och nackdelar

	IDA	RadTherm
Gränssnitt	Rörigt	Enkelt
Uppdateringar	En på 3 år	Varje år
Möjlighet att göra fel	Stora	Små
Färdiga objekt/modeller	Många	Få
Loggning av resultat	Bra	Begränsat
Pris	Lagom	Högt

Källförteckning

Webbsidor

www.ebd.lth.se (Parasol)

www.equa.se (IDA klimat & Energi 3.0)

www.govirtual.se (Återförsäljare av RadTherm i bland annat Sverige)

www.thermoanalytics.com (Tillverkare av RadTherm)

Tidsskrifter

Bring Axel, Sahlin Per, Vuolle Mika (1991): Models of Building Indoor Climate and Energy Simulation, KTH.

Curran Allen R : Predicting passenger thermal comfort with RadTherm. ThermoAnalytics, inc

EQUA Simulations AB (2001): IDA Klimat och Energi 3.0, (manual för programmet IDA).

Petersson, Bengt-Åke, (2001): Tillämpad byggnadsfysik, Studentlitteratur.

Saint Gobain produktkatalog

Socialstyrelsen (2005): Temperatur inomhus. Artikelnr.2005-101-6

ThermoAnalytics, inc. (2003) RadTherm manual.

Warfvinge Catarina (2003): Installationsteknik AK för V, LTH

Muntliga källor

Sven Perzon, kurshållare samt kontaktperson på GoVirtual Nordic AB

Per Sahlin, Kontaktperson EQUA.

Max Tillberg, Civ. Ing. Bengt Dahlgren AB, Handledare.

Bilagor

VÄDERDATAFILER

FÖRENKLAD VÄDERDATAFIL MOLNIGHET 0	BW-01
FÖRENKLAD VÄDERDATAFIL MOLNIGHET 2	BW-02
FÖRENKLAD VÄDERDATAFIL MOLNIGHET 5	BW-03

DIAGRAMFÖRTECKNING

GBG_15JULI_SOL 0	B-01
GBG_15JULI_SOL 5	B-03
GBG_15JULI_SOL 0_INJUSTERAT	B-05
GBG_15JAN_SOL 0_INJUSTERAT	B-07
STHLM_15JULI_SOL 0_INJUSTERAT	B-09
STHLM_15JAN_SOL 0_INJUSTERAT	B-11
GBG_15JULI_SOL 0_INJUSTERAT_VÄSTERFASAD	B-13
SAINT_GOBAIN_SKN_154_GBG_15JULI_SOL 0_INJUSTERAD	B-15
SAINT_GOBAIN_SKN_172_GBG_15JULI_SOL 0_INJUSTERAD	B-17

TABELLFÖRTECKNING

GBG_15JULI_SOL 0	B-02
GBG_15JULI_SOL 5	B-04
GBG_15JULI_SOL 0_INJUSTERAT	B-06
GBG_15JAN_SOL 0_INJUSTERAT	B-08
STHLM_15JULI_SOL 0_INJUSTERAT	B-10
STHLM_15JAN_SOL 0_INJUSTERAT	B-12
GBG_15JULI_SOL 0_INJUSTERAT_VÄSTERFASAD	B-14
SAINT_GOBAIN_SKN_154_GBG_15JULI_SOL 0_INJUSTERAD	B-16
SAINT_GOBAIN_SKN_172_GBG_15JULI_SOL 0_INJUSTERAD	B-18

Förenklad väderdatafil molnighet 0

04

TIME	AIRT	SOLAR	WIND	HUMID	CLOUD	LWIR	WINDIR	RAINRATE
0100	19.440		1.540	60.510	0.000	0.000	290.000	
0200	18.690		1.540	63.480	0.000	0.000	290.000	
0300	18.130		1.540	65.780	0.000	0.000	290.000	
0400	17.800		1.540	67.190	0.000	0.000	290.000	
0500	17.720		1.540	67.520	0.000	0.000	290.000	
0600	17.900		1.540	66.750	0.000	0.000	290.000	
0700	18.330		1.540	64.950	0.000	0.000	290.000	
0800	18.970		1.540	62.340	0.000	0.000	290.000	
0900	19.780		1.540	59.200	0.000	0.000	290.000	
1000	20.710		1.540	55.810	0.000	0.000	290.000	
1100	21.700		1.540	52.450	0.000	0.000	290.000	
1200	22.670		1.540	49.350	0.000	0.000	290.000	
1300	23.560		1.540	46.690	0.000	0.000	290.000	
1400	24.310		1.540	44.560	0.000	0.000	290.000	
1500	24.870		1.540	43.040	0.000	0.000	290.000	
1600	25.200		1.540	42.180	0.000	0.000	290.000	
1700	25.280		1.540	41.970	0.000	0.000	290.000	
1800	25.100		1.540	42.440	0.000	0.000	290.000	
1900	24.670		1.540	43.570	0.000	0.000	290.000	
2000	24.030		1.540	45.340	0.000	0.000	290.000	
2100	23.220		1.540	47.690	0.000	0.000	290.000	
2200	22.290		1.540	50.550	0.000	0.000	290.000	
2300	21.300		1.540	53.770	0.000	0.000	290.000	
2400	20.330		1.540	57.180	0.000	0.000	290.000	

Förenklad väderdatafil molnighet 2

04

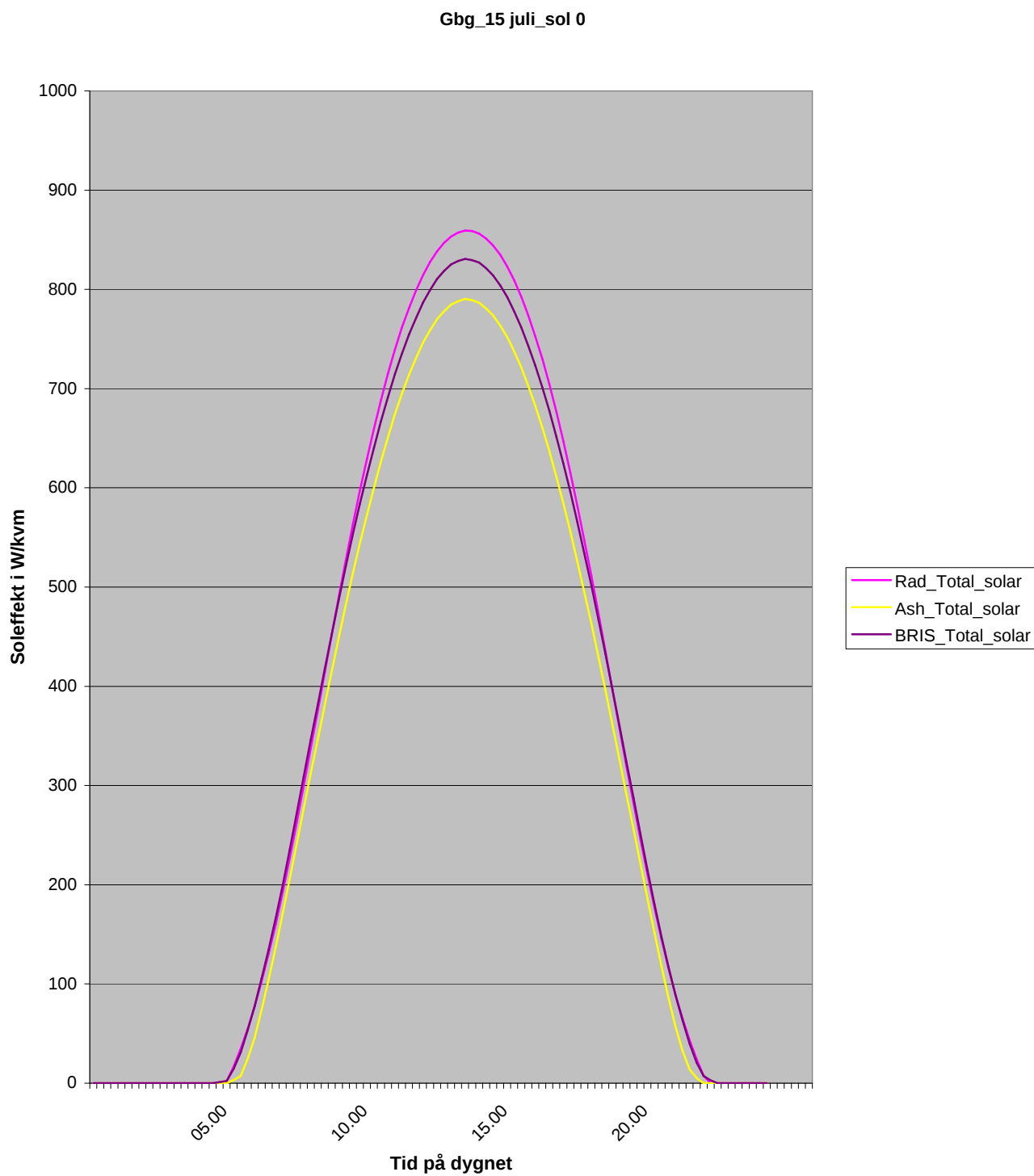
TIME	AIRT	SOLAR	WIND	HUMID	CLOUD	LWIR	WINDIR	RAINRATE
0100	19.440		1.540	60.510	2.000	0.000	290.000	
0200	18.690		1.540	63.480	2.000	0.000	290.000	
0300	18.130		1.540	65.780	2.000	0.000	290.000	
0400	17.800		1.540	67.190	2.000	0.000	290.000	
0500	17.720		1.540	67.520	2.000	0.000	290.000	
0600	17.900		1.540	66.750	2.000	0.000	290.000	
0700	18.330		1.540	64.950	2.000	0.000	290.000	
0800	18.970		1.540	62.340	2.000	0.000	290.000	
0900	19.780		1.540	59.200	2.000	0.000	290.000	
1000	20.710		1.540	55.810	2.000	0.000	290.000	
1100	21.700		1.540	52.450	2.000	0.000	290.000	
1200	22.670		1.540	49.350	2.000	0.000	290.000	
1300	23.560		1.540	46.690	2.000	0.000	290.000	
1400	24.310		1.540	44.560	2.000	0.000	290.000	
1500	24.870		1.540	43.040	2.000	0.000	290.000	
1600	25.200		1.540	42.180	2.000	0.000	290.000	
1700	25.280		1.540	41.970	2.000	0.000	290.000	
1800	25.100		1.540	42.440	2.000	0.000	290.000	
1900	24.670		1.540	43.570	2.000	0.000	290.000	
2000	24.030		1.540	45.340	2.000	0.000	290.000	
2100	23.220		1.540	47.690	2.000	0.000	290.000	
2200	22.290		1.540	50.550	2.000	0.000	290.000	
2300	21.300		1.540	53.770	2.000	0.000	290.000	
2400	20.330		1.540	57.180	2.000	0.000	290.000	

Förenklad väderdatafil molnighet 5

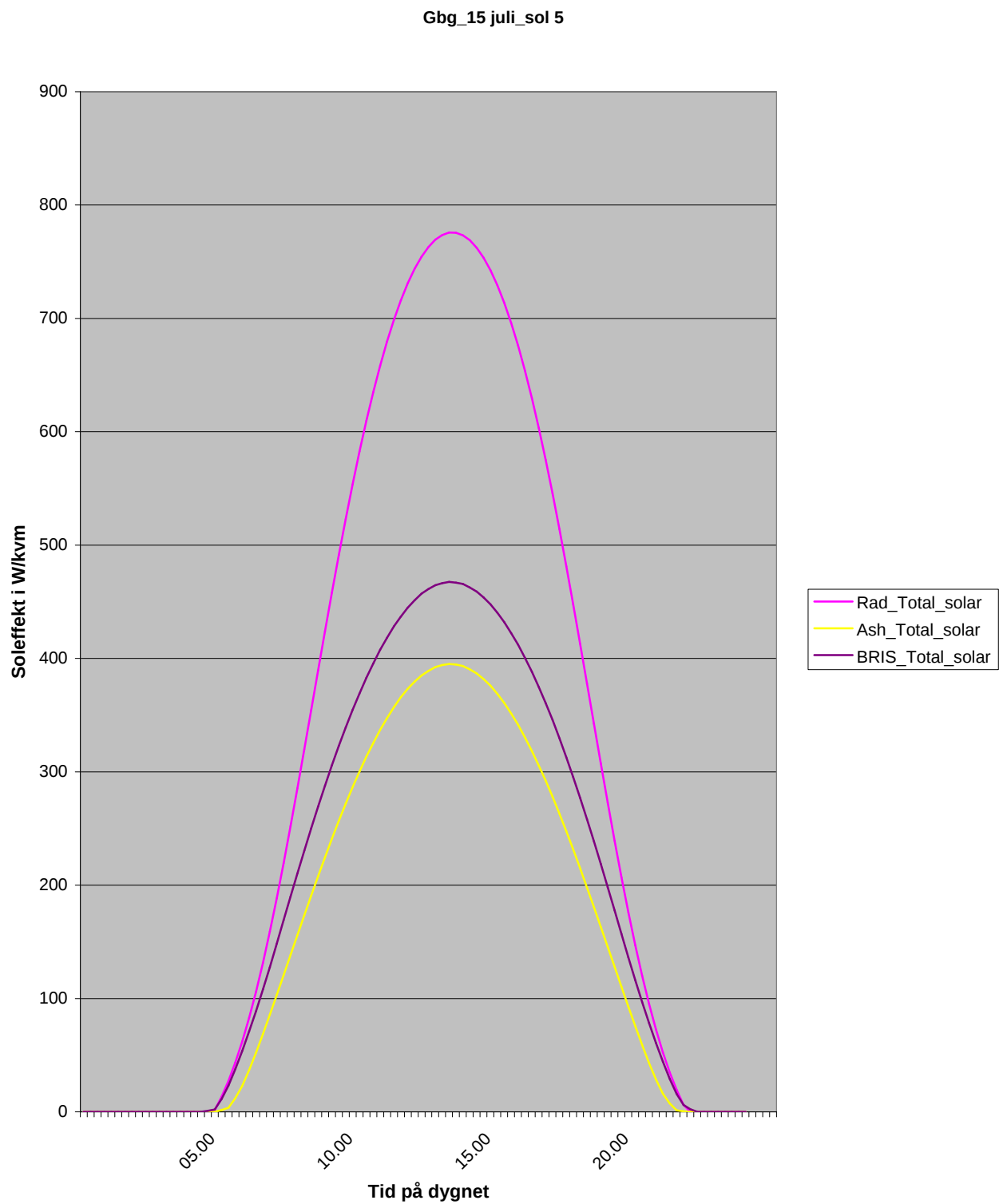
04

TIME	AIRT	SOLAR	WIND	HUMID	CLOUD	LWIR	WINDIR	RAINRATE
0100	19.440		1.540	60.510	5.000	0.000	290.000	
0200	18.690		1.540	63.480	5.000	0.000	290.000	
0300	18.130		1.540	65.780	5.000	0.000	290.000	
0400	17.800		1.540	67.190	5.000	0.000	290.000	
0500	17.720		1.540	67.520	5.000	0.000	290.000	
0600	17.900		1.540	66.750	5.000	0.000	290.000	
0700	18.330		1.540	64.950	5.000	0.000	290.000	
0800	18.970		1.540	62.340	5.000	0.000	290.000	
0900	19.780		1.540	59.200	5.000	0.000	290.000	
1000	20.710		1.540	55.810	5.000	0.000	290.000	
1100	21.700		1.540	52.450	5.000	0.000	290.000	
1200	22.670		1.540	49.350	5.000	0.000	290.000	
1300	23.560		1.540	46.690	5.000	0.000	290.000	
1400	24.310		1.540	44.560	5.000	0.000	290.000	
1500	24.870		1.540	43.040	5.000	0.000	290.000	
1600	25.200		1.540	42.180	5.000	0.000	290.000	
1700	25.280		1.540	41.970	5.000	0.000	290.000	
1800	25.100		1.540	42.440	5.000	0.000	290.000	
1900	24.670		1.540	43.570	5.000	0.000	290.000	
2000	24.030		1.540	45.340	5.000	0.000	290.000	
2100	23.220		1.540	47.690	5.000	0.000	290.000	
2200	22.290		1.540	50.550	5.000	0.000	290.000	
2300	21.300		1.540	53.770	5.000	0.000	290.000	
2400	20.330		1.540	57.180	5.000	0.000	290.000	

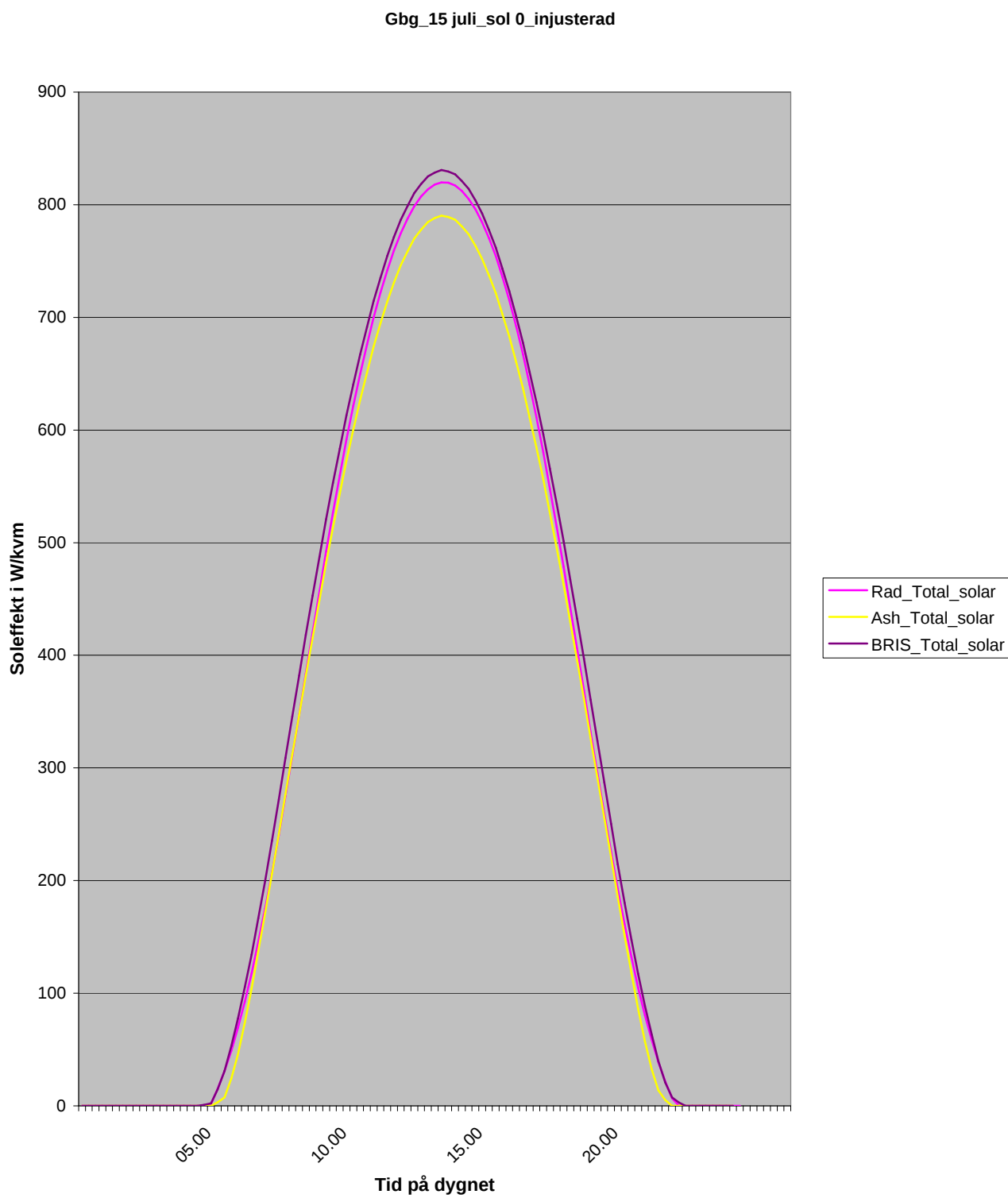
Simulering 1



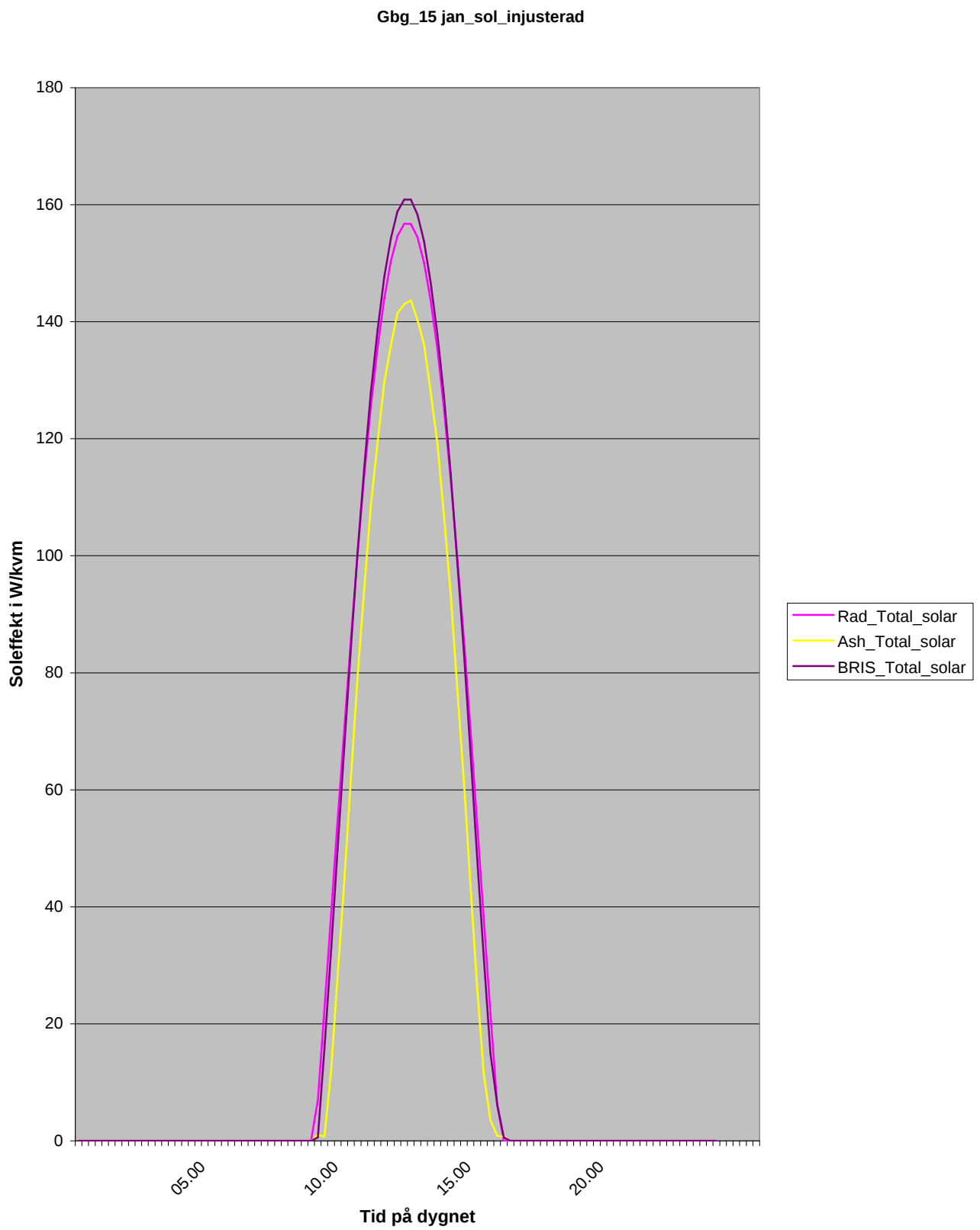
Simulering 2



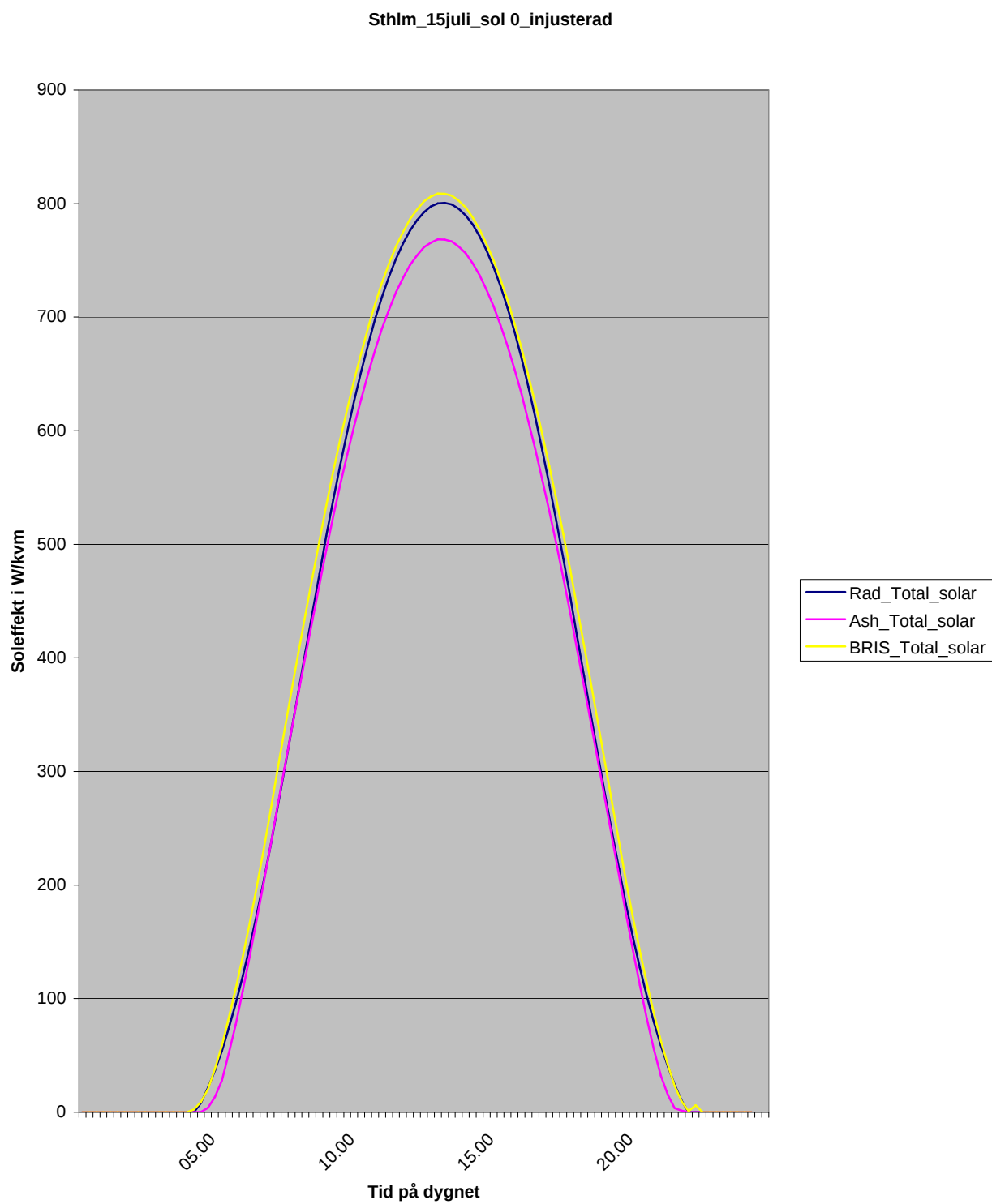
Simulering 3



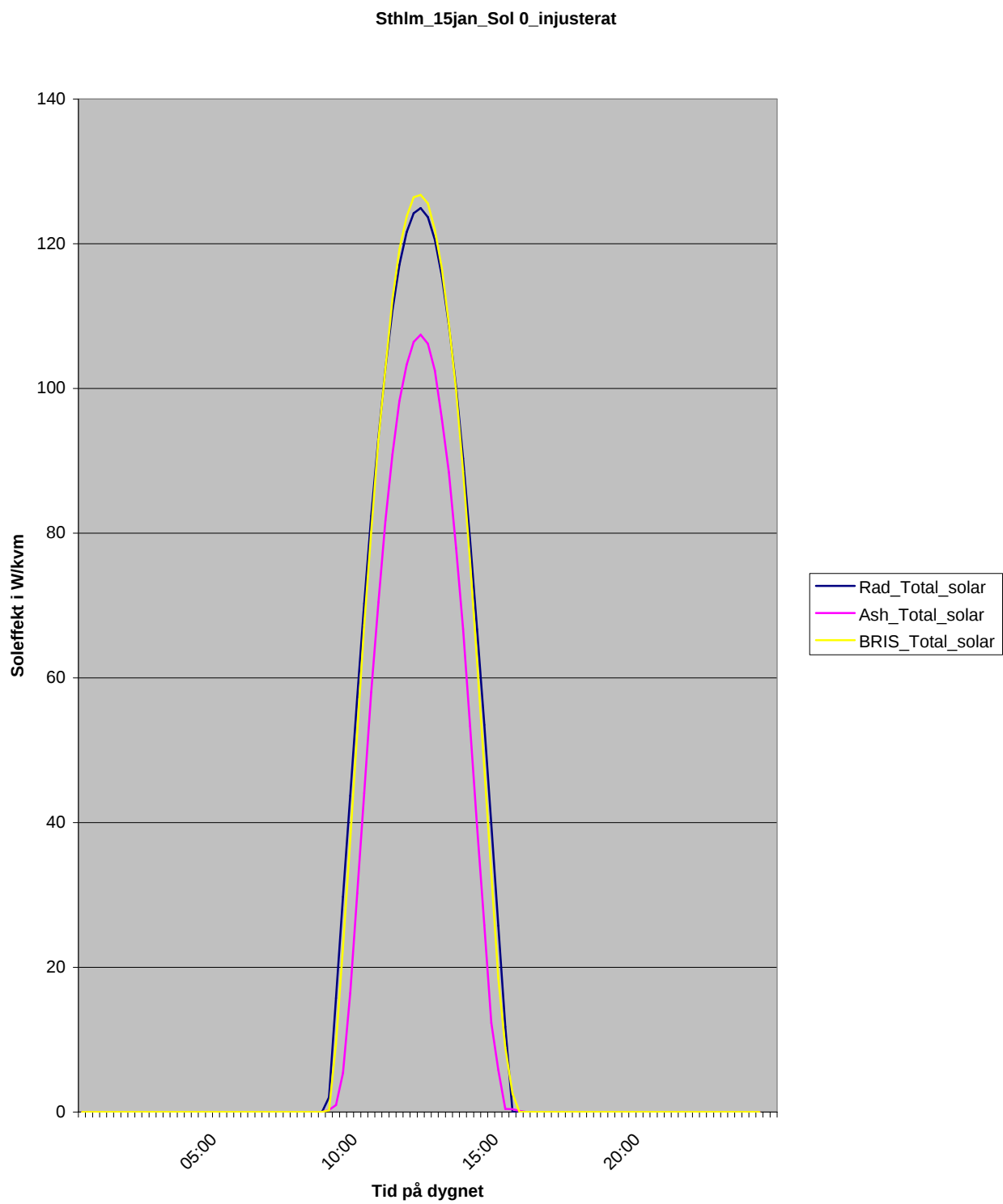
Simulering 4



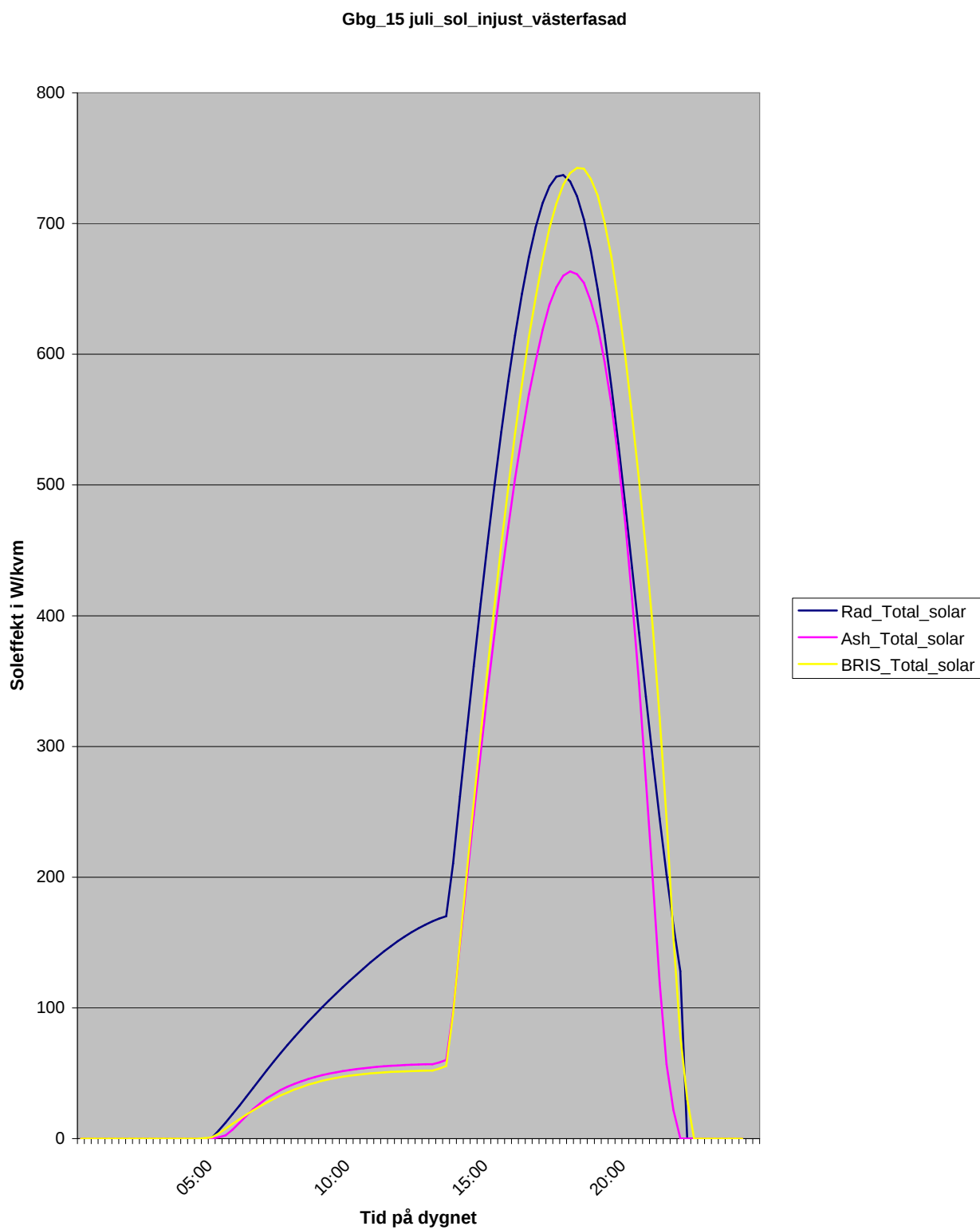
Simulering 5



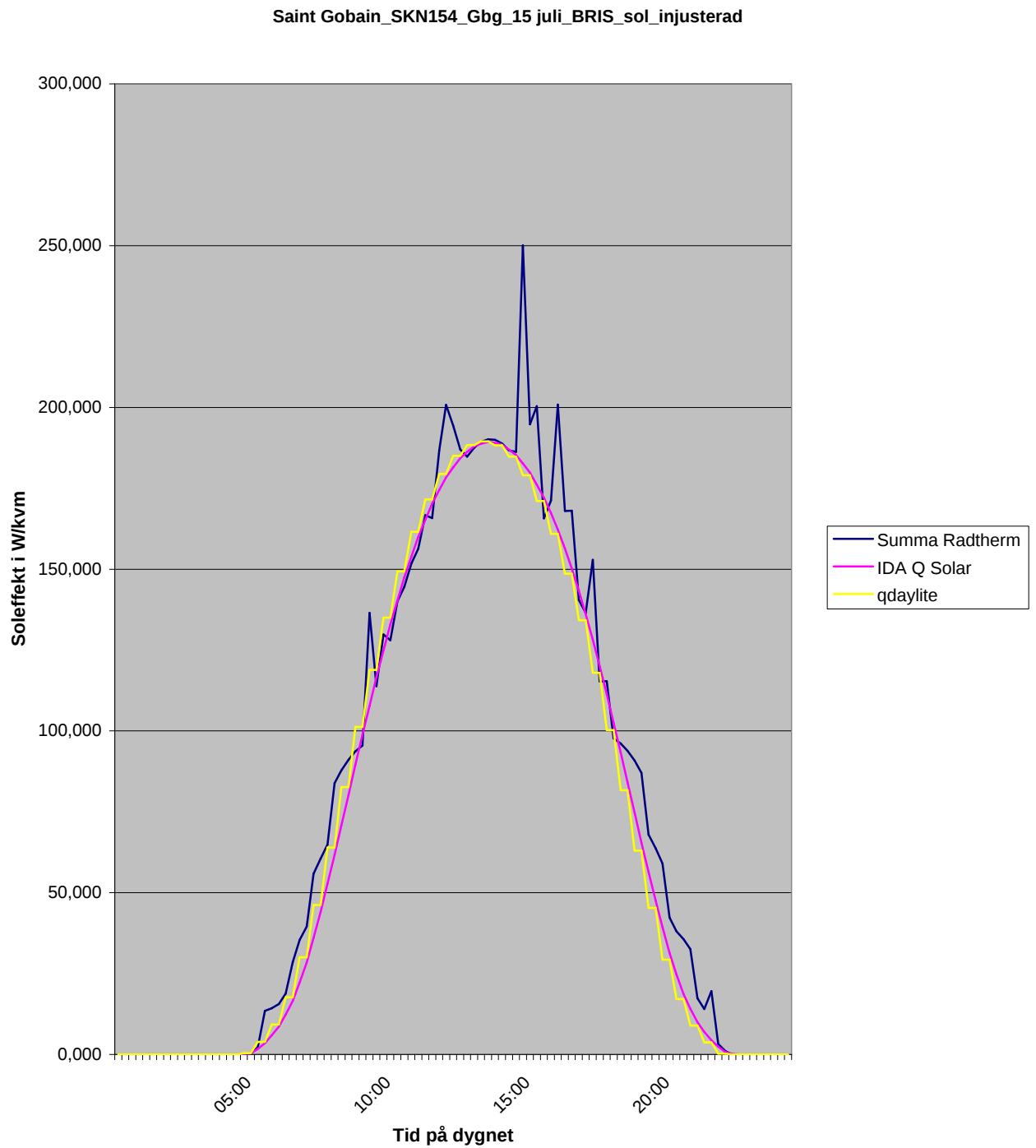
Simulering 6



Simulering 7



Simulering 8



Simulering 9

