EN KOMPARATIV ANALYS FÖR BERÄKNINGSPROGRAM AV U-VÄRDE

-BISCO OCH THERM

Högskoleingenjörsutbildning i Maskinteknik
Inriktning produktutveckling

Ermin Trncic

HÖGSKOLAN I BORÅS

Program: Maskiningenjör - Produktutveckling
Svensk titel: En komparativ analys för beräkningsprogram av U-värde
Engelsk titel: A comparative analysis of U-value calculation programs
Utgivningsår: 2023
Författare: Ermin Trncic
Handledare: Michael Tittus (HiB) Eva-Lotta Kurkinen (RISE)
Examinator: Ali Davoodi
Nyckelord: EN ISO 10077:2017, U-värde, Fönster, BISCO, THERM

Sammanfattning

Detta arbete har som intention att ge en bra grund för att kunna välja vilket av programmen BISCO eller THERM som är bättre för att beräkna värmegenomgångskoefficienten U, för fönster. Syftet är formulerat utifrån att standarden EN ISO 10077-2:2012 har ersatts med den uppdaterade versionen EN ISO 10077-2:2017 där en stor skillnad är introduktionen till en ny beräkningsmetod. Denna nya beräkningsmetod är baserad på en fysikalisk teoretisk modell vid namn strålningsmodellen. BISCO möjliggör beräkning enligt båda modellerna med hjälp av en tilläggsmodul och är därför en del av syftet att jämföra numeriska resultat från båda metoderna.

Syftet med denna rapport är att finna och jämföra för- och nackdelar med att beräkna U-värdet för fönster i respektive program. Samt undersöka hur beräkningsresultaten skiljer sig åt mellan programmen med och utan beräkning enligt strålninsgmodellen. Först görs en kvalitativ jämförelse om hur programmen används och sedan en kvantitativ jämförelse baserat på beräkningsresultat. I båda programmen räknades det på tre olika fönsterprofiler där karmarna var av trä, PVC och aluminium.

Resultatet visade på att fler fördelar finns hos användandet av BISCO däremot är tidsåtgången lite större vilket beror på att programmet inte är bra anpassat för att göra ändringar i efter att man påbörjat en beräkning. Om behovet inte finns att få mer korrekta beräkningar enligt strålningsmodellen rekommenderas THERM som verktyg eftersom tidsåtgången är relativt mindre och är mindre komplex att använda. Beräkning i THERM har gett något högre värden på U än för beräkningarna i BISCO. Skillnaden med och utan strålningsmodellen är inte stor när man jämför resultaten i BISCO, däremot är det en liten skillnad gentemot THERM.

Abstract

This bachelor thesis has the intention to give a good ground for selection of which calculation software, BISCO or THERM, is better for calculating the thermal transmittance U, for windows. The purpose is formulated based on the updated version of the standard EN ISO 10077-2:2012 named EN ISO 10077-2:2017. Were the big difference between these versions is the new method for calculating the heat transfer inside air cavities of the window which is based on the radiosity method. BISCO gives the user the possibility to calculate a U-values of windows with or without the new calculation method. This makes it a good program for comparing the calculation using the new and old model.

The purpose of this report is to find pros and cons with calculating the U-values for windows in the above mentioned software's. Also to investigate how the calculation results differ from one another with and without the radiosity method. First a qualitative comparison is made of how the software's are used and then a quantitative comparison based on the calculation results. In both BISCO and THERM, three different profiles are used where the frames are made of wood, PVC and aluminum.

The result showed that more pros are found using BISCO but more time is needed using it. Reason being that the software is not adapted for making changes after calculation already as been done. If there is not a need of more correct results according to the radiosity method, then it is recommended to use THERM because it requires relatively less time and is less complex. Calculations in THERM gave slightly higher values of the thermal transmittance then the ones calculated in BISCO. The difference with or without the radiosity method is not big at all when comparing in BISCO. However it is a little difference when comparing with results from THERM.

Innehållsförteckning

1. INTRODUKTION 1

1.1 Bakgrund 1

1.2 Syfte och frågeställning 3

1.3 Avgränsningar 3

2. TEORI 5

2.1 Fönsterprofiler 5

2.2 Värmetransportmekanismer 5

2.2.1 Värmeledning/konduktion 5

2.2.2 Konvektion 6

2.2.3 Strålning 6

2.3 Köldbryggor 7

2.4 U-värde 7

2.5 EN ISO 10077-1:2017 och EN ISO 10077-2:2017 7

2.6 Strålningsmodellen 8

2.7 Värmeledningsmodellen 8

2.8 Formler för U-värdeberäkning 8

3. METOD 12

4. ARBETSGÅNG I THERM 14

4.1 Import och förberedelse av ritning 14

4.2 Material tilldelning och randvillkor 15

4.3 Beräkning av U-värde 16

5. ARBETSGÅNG I BISCO 18

5.1 Förberedelse av ritning 18

5.2 Material tilldelning och gränsvillkor 19

5.3 Beräkning av U-värde 20

6. RESULTAT OCH ANALYS 23

7. DISKUSSION 27

7.1 Analys av produktjämförelse tabell 27

7.2 Analys av beräkningsresultat 27

7.3 Avgränsade faktorer 28

7.4 Förbättringsarbeten 28

8. SLUTSATS 30

9. LITTERATURFÖRTECKNING 31

10. BILAGOR 32

1. INTRODUKTION

1.1 Bakgrund

Sedan de första fönstren började tillverkas i Sverige på 1500-talets mitt, har applikationen och diversiteten av fönster utvecklats enormt. Idag finns en stor diversitet som möjliggör skräddarsydd anpassning till miljö och behov. Detta leder till att varje fönster har unika termiska egenskaper som är viktiga för värmen i byggnaden. Det finns många typer av fönster med varierande tjocklek och material samt flera antal skikt. Den största värmeförlusten i ett slutet rum sker via fönster vilket innebär att de är en viktig del för energibesparingen i hushåll.

När ett material är omgivet av luft sker värmetransporten genom luftskiktet närmast väggen genom konvektion. Värmeflödet är proportionellt mot temperaturskillnaden och tvärsnittsarean, $\dot{Q} = \alpha A \Delta T$, där α är värmeövergångskoefficienten [W/m^{2}K]. Kombineras flera skikt efter varandra får man istället en värmegenomgångskoefficient U [W/m^{2}K]. Med hjälp av U-värdet kan man säga hur bra en byggnadskomponent som fönster isolerar värme, ju lägre U-värde ju bättre isolering (Beckman, et al., 2017). Därför är det viktigt att man försöker ha så lågt U-värde som möjligt på sina fönster.

På enheten Klimatskal och Byggnadsfysik hos RISE pågår forskning och utbildning om värme- luft- och fuktrörelser i byggnader (RISE, u.d.). I deras arbete ingår även kunduppdrag där U-värde för fönster önskas erhållas. Idag används programmet THERM för sådana beräkningar men en nyare och mer komplex programvara som är anpassad till den uppdaterade standarden EN ISO 10077-2:2017 blir alltmer efterfrågad. Denna standard riktar in sig på beräkningen av värmegenomgång hos fönster och dörrar. EN ISO 10077-2:2017 har en alternativt metod att beräkna U-värden med hjälp av en teoretiskt modell vid namn strålningsmodellen medan den äldre ISO 10077:2012 endast räknar enligt en värmeledningsmodell.

BISCO som är den nyare och mer komplexa programvaran har inte använts mycket på enheten och behöver utvärderas. BISCO kan beräkna U-värde enligt strålningsmodellen och värmeledningsmodellen medan THERM endast ger möjlighet att räkna enligt

värmeledningsmodellen. För att möjliggöra beräkning i respektive beräkningsprogam används DraftSight för att ändra och ladda in fönsterritningar innan beräkningsprogrammen startas.

THERM är ett gratis tvådimensionellt beräkningsprogram som använder sig utav finita elementmetoden för att beräkna värmetransport i form av konduktion (värmeledning). Programmet används för byggnadsmaterial och konstruktioner med flera komponenter, varvid fönster är ett utav dem. Ritningarnas geometri i programmet kan skapas på två olika sätt. Genom importering av färdiga ritningar i form av DXF filer och bitmap filer eller programmets ritfunktion. THERM använder sig utav en värmeledningsmodell för att beräkna U-värden på fönster och byggnadsmaterial. Vid beräkning av fönsters U-värde krävs det att korrekta materialegenskaper och passande gränsvillkor sätts. Simulerad värmetransport redovisas i THERM i form av grafiska illustrationer och värden i tabellformat.

BISCO är som THERM ett beräkningsprogram inom termisk analys i tvådimensioner. Detta program är en del av *Physibel´s Thermal Software* och kräver en licens för användning. Programmet erbjuder importering av ritningar i form av DXF-filer samt ritfunktioner för att bygga upp konstruktioner redo för analys. BISCO beskriver geometrin genom konvertering av tvådimensionella ritningar till färgad bitmap där material och gränsvillkor identifieras som färger. Varje pixel innehåller åtta bitar vilket ger upphov till 256 olika färger. Innan beräkning, konverteras bitmap till en vektorbild för att möjliggöra triangulering och ett beräkningsnät så att finita element metoden kan appliceras. Beräkning av systemet presenteras i tabellformat och grafiska illustrationer även här. Programmet är uppdelat i tre delar, BiscoDxf där ritningen läses in och detaljen får sin geometri, BiscoBmp där justeringar kan göras hos geometrin och BISCO där beräkning och simulering sker. Radcon är en modul som är valbar vid köp av programvaran och möjliggör beräkning enligt strålningsmodellen. Skillnaden vid användning av Radcon modulen är främst att materialtypen hos kaviteterna är av typen TRANSMAT. TRANSMAT är för transparenta material med känd värme konduktivitet. Materialtypen gör att värme överförs genom strålning till närliggande ytor.

I detta arbete ställs ovannämnda mjukvarorna bredvid varandra och en kvalitativ jämförelse görs för tillvägagångsättet för att beräkna ett fönsters U-värde men även en kvantitativ jämförelse av de beräknade U-värden. RISE har tidigare varit delaktiga i en intern studie vars syfte var att jämföra U-värden beräknade i mjukvaror med värden tagna från verkliga mätningar. I första delen av studien gjordes beräkningar i mjukvara på en aluminiumprofil, träprofil och PVC-profil (IFT Rosenheim, 2015). Medan i den andra delen av studien gjordes verkliga mätningar på respektive aluminium- och PVC-profil (IFT Rosenheim, 2016).

1.2 Syfte och frågeställning

Syftet i denna analys är att ge enheten *Byggnadsfysik och Klimatskal* på RISE ett beslutsunderlag att välja vilken programvara som är bättre för beräkningar av U-värde. Det är den uppdaterade standarden EN ISO 10077-2:2017 som ligger till grund för syftet eftersom den har en ny teoretisk metod till att beräkna U-värdet. Denna nya metod är baserad på en ny modell, strålningsmodellen, och programvaran BISCO ger möjlighet till beräkning med denna modell.

Följande frågeställningar uppkommer med syftet:

Vilka för och nackdelar utefter hur programmen arbetar finns det med att beräkna U-värde för fönster med BISCO respektive THERM?

Hur skiljer sig beräkningsresultaten i THERM och BISCO samt hur skiljer sig resultatet när Radcon modulen i BISCO används för simulering enligt strålningsmodellen?

1.3 Avgränsningar

Följande punkter avgränsar den komparativa analysen i arbetet:

- Alla beräkningar är i enlighet med standarden EN ISO 10077-2:2017.
- Jämförelsen för det kvantitativa datat handlar inte om att studera beräkningsmodellerna på djupet som respektive programvara använder utan istället att översiktligt få en förståelse hur mycket resultaten skiljer sig åt
- Vilka för och nackdelar som analyseras är valda utifrån steg som programmet arbetar efter och berör endast de nödvändiga funktionerna i båda programmen.

- THERM v6 och BISCO 11.0w används och inga nyare versioner tas hänsyn till vid analysen.
- Syftet med analysen är inte en grund för att jämföra för- och nackdelar med värmeledningmodellen och strålningsmodellen utan fokuserar istället på BISCO och THERM som verktyg att beräkna U-värdet.
- DraftSight används för att ladda in och ändra ritningar.
- Fler beräkningar av flera användare jämförs inte utan beräkningsresultat är från en deltagare endast.

2. TEORI

I teoridelen förklaras och redovisas grundläggande fakta som ligger till grund i detta arbete. Eftersom det sker avancerade beräkningar i programvarorna är det viktigt att användaren har en viss förståelse för värmetransportmekanismer som programmen tar hänsyn till. Även de standarder som programmen arbetar efter beskrivs i detta avsnitt.

2.1 Fönsterprofiler

I detta arbete används tre fönsterprofiler (se bilagor) som det tidigare finns data på. RISE har själva varit delaktiga med U-värdeberäkningar (IFT Rosenheim, 2015). Karmen hos fönsterprofilerna skiljer sig åt där den ena är av trä, andra av PVC och tredje av aluminium. PVC- och träprofilen har tre-glas-fönster medan den med Aluminium har ett två-glas-fönster. I artikeln beräknas U-värdet för varje fönsterprofil och för två av dessa har det även gjorts verkliga mätningar på (IFT Rosenheim, 2016). Fönsterprofilerna skiljs åt i material och luftkaviteter främst, där träprofil har mindre kaviteter i antal och är av enkel geometri. Medan PVC och aluminium profilerna har en mer komplex geometri med fler kaviteter.

2.2 Värmetransportmekanismer

Det finns tre sorters värmetransportmekanismer och alla tre verkar simultant. Gällande fönster uppstår värmeförlust genom värmeledning, konvektion och strålning. Strålning genom glaset, värmeledning genom ram och konvektion i omgivande luft samt i luftspalt. Dessa tre mekanismer beskrivs grundläggande.

2.2.1 Värmeledning/konduktion

Transport av värme där ingen massförflyttning sker benämns värmeledning och drivs av temperaturskillnader. Ett materials förmåga att leda värme benämns värmeledningsförmåga eller värmekonduktivitet och benämns som λ (W/mK). I många fall kan värmeledning approximeras som en-dimensionell och då uttrycks värmeflödet q (W/m^2) i horisontell riktning som

$$q = q_x = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \tag{1}$$

Ekvationen visar på att värme flödar i riktning av minskad temperatur (Hagentoft, 2001).

2.2.2 Konvektion

Konvektion, också benämnt strömming, är den andra typen av värmetransport som finns. Denna typ av transport skiljer sig från värmeledning på så sätt att den endast berör vätskor, gaser och ytor. (Beckman, et al., 2017) Denna värmetransport är en stor faktor i värmeförluster genom fönster eftersom i luftspalten mellan dubbel- och trippelglas uppstår en självcirkulation av luft. Uppåtgående luftströmmar längs den interna varmare glasytan överföra värme via en nedåtgående luftström till den kallare interna glasytan (Beckman, et al., 2017). Det finns två typer av konvektion. Naturlig konvektion som drivs av skillnaden i densitet och en annan, påtvingad konvektion, som uppstår av till exempel vind eller fläkt (Hagentoft, 2001). Konvektiv värmetransport uttrycks enligt

$$q_c = \alpha_c(T_s - T_a) \tag{2}$$

Där q_c är konvektiv värmeflödeshastighet (W/m^2), α_c är den konvektiva värmetransportkoefficienten som mäts experimentellt (W/m^{2}K) och $T_s - T_a$ är skillnaden i temperatur mellan yta och omgivande luft (Hagentoft, 2001).

2.2.3 Strålning

Den tredje typen är strålning där värme transporteras via elektromagnetiska vågor, och behöver inget medium för att överföra värme (Beckman, et al., 2017). Den totala strålningen vid en punkt är oftast överlagrad av elektromagnetiska vågor med olika våglängder och med olika riktningar. När strålningsenergin träffar en yta så reflekteras en del av energin, en del överförs till ytan och en del absorberas. Detta beskrivs som

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \tag{3}$$

Där, den reflekterade delen ρ, absorberade α och överförda delen τ ger summan 1 (Sundén, 2006). Fasta material betraktas inte inom byggnadsfysik som material som överför strålningsenergin (Hagentoft, 2001). En fönsterkarm består till viss del av luftkaviteter. I dessa kaviteter sker den huvudsakliga värmetransporten via strålning.

2.3 Köldbryggor

Köldbryggor sker generellt vid knutpunkter mellan byggnadskomponenter och där byggnadstrukturen ändrar sammansättning, exempelvis mellan fönstret och karmen hos ett fönster. Två viktiga konsekvenser som uppkommer med köldbryggor är en ökad värmeflödeshastighet samt en nedgång i temperaturen innanför fönstret vilken kan leda till problem med fukt (Hagentoft, 2001).

2.4 U-värde

U-värdet beskriver ett eller flera materials förmåga att leda värme och mäts i W/(m^2/K). För att beräkna ett U-värde för ett helt fönster inklusive karmen behöver fönstrets area A_g och karmens area (A_f) vara känt. Bredden 1,23 m och längden 1,48 m är dimensionerna på fönstren som beräknas i denna rapport. Även glasets U-värde är känt och är satt till 0,7212 W/(m^2/K) för trippelglas och 1,122 W/(m^2/K) för dubbelt glas. Vid försäljning av fönster ska U-värden redovisas enligt produktstandarden EN 14351-1:2006 + A2:2016. U-värdet för fönstren och dimensionerna är framtagna enligt ovannämnd standard (SIS 179, 2016).

2.5 EN ISO 10077-1:2017 och EN ISO 10077-2:2017

EN ISO 10077:2017 finns i två delar. Den första delen ger allmänna riktlinjer kring beräkning av värmeövergångskoefficient och termiska egenskaper hos fönster, dörrar och jalusier (Provnings- och beräkningsmetoder, 2017).

Del 2, EN ISO 10077-2:2017 behandlar numeriska metoder för karm och båge. I standarden används två metoder vid beräkning av värmeövergång genom luftkaviteter (Provnings- och beräkningsmetoder, 2017). Metoderna är strålningsmodellen och värmeledningsmodellen. Luftkaviteter i karmen där öppningen mot ute- eller inneluft är ≤ 2 mm anses som oventilerad, annars är den lätt ventilerad eller väl ventilerad.

Luftkaviteter betraktas som lätt ventilerade då öppningen är större än 2 mm men mindre än 10 mm. Då öppningen än större än 10 mm anses luftkaviteten vara exponerad för luftmiljön. Värmekonduktiviteter för använda material är tagna från Annex D i standarden (Provnings- och beräkningsmetoder, 2017). För beräkning enligt denna standard krävs det att glaset byts ut mot en isoleringspanel som ska vara minst 190 mm lång och ha en bestämd värmeledningsförmåga på 0,035 W/mK. Ett reducerat värmeflöde ska användas vid hörn på den interna sidan av karmen enligt Annex E i standarden.

2.6 Strålningsmodellen

Denna modell är den stora skillnaden på EN ISO 10077-2:2017 och den äldre EN ISO 10077-2:2012. Strålningsmodellen i EN ISO 10077-2:2017 ger en ny metod för att beräkna värmetransporten i luftkaviteter. Den antar att värmetransporten genom luftakaviteter sker simultant genom konvektion och strålning men räknar på dessa separat. Varje luftkavitet har en separat värmeledningsförmåga λ [W/(mK)]. Strålningsmodellen tillåter beräkningar för värmetransporten inuti oventilerade luftkaviteter och ger dessa utrymmen specifika värmeledningsförmågor. Med hjälp av dessa koncept ger modellen mer exakta och realistiska U-värden (Flixo, u.d.).

2.7 Värmeledningsmodellen

Till skillnad från strålningsmodellen använder sig värmeledningmodellen av en ekvivalent värmeledningsförmåga λ_{eq} Där luftkaviteter ersätts till att vara ett material och värmeledningsförmågan beräknas genom sammanvägda ekvationer för strålning, konduktion och konvektion. Värmeflödesriktningen är här i stället alltid antigen horisontell eller vertikal, det vill säga samma som huvudriktningen för hela systemet
(Flixo, u.d.).

2.8 Formler för U-värdeberäkning

För att erhålla U-värdet med hjälp av THERM krävs det först att isoleringspanelens U-värde beräknas eftersom vid beräkning av karmens U-värde sitter isoleringspanelen fortfarande kvar i karmen. När karmens U-värde sedan beräknas tar man hänsyn till isoleringspanelen. Beräknar man U-värdet med hjälp av THERM erhålls inte karmens U-värde direkt från programmet utan istället beräknas en U-faktor som sedan används för att beräkna karmens U-värde. Samma sak görs sedan men med glaset installerat. Resultat med isoleringspanel och sedan med glas visar i Figur 1 och Figur 2. Sedan beräknas köldbryggan som används för att tillslut beräkna ett U-värde för ett helt fönster med karm och glas.

Värmegenomgångskoefficenten för isoleringspanelen, U_p, beräknas enligt

$$U_p = \left(0{,}17 + \frac{d_g}{\lambda_p}\right)^{-1} \tag{4}$$

U_p= U-värde för centrala arean av panel [W/m^{2}K] λ_p= Lambda för panel

0,17= Yttre och inre övergångsmotstånd [m^{2}K/W]

d_g= Panelens tjocklek [m]

och används i **Error! Reference source not found.** för att beräkna karmens värmeövergångskoefficient U_f. Ur

$$U_f = \frac{L_f^{2D} - U_p b_p}{b_f} \tag{5}$$

U_f= U-värde för karmen [W/m^{2}K] L_f^{2D} = 2D flödet för hela konstruktionen med karm och isoleringspanel [W/mK]

b_f= Karmens höjd [m] b_p= Synbara längden av panelen [m]

erhålls L_f^{2D} genom att multiplicera längden av hela konstruktionen i THERM med U-faktorn från THERM, enligt ekvation 6, med isoleringspanelen som visas i Figur 2.

$$L_f^{2D} = U_{f0} L_{ft} \tag{6}$$

U_{f0}= U-faktor för karm i THERM med isoleringspanel [W/m^{2}K]

L_{ft}= Totala höjden av karm och panel i THERM [m]

Liknande görs då köldbryggan (Ψ-värdet) mellan glas och karm ska beräknas

$$L_\Psi^{2D} = U_{f1} L_{ft} \tag{7}$$

U_{f1}= U-faktor i THERM med glas [W/m^{2}K]

L_{ft}= Totala höjden av karm och glas i THERM [m]

men istället multipliceras U-faktorn från THERM med glas installerat. Köldbryggan, Ψ

$$\Psi = L_{\Psi}^{2D} - U_f b_f - U_g b_g \qquad (8)$$

U_g= U-värde glas [W/m^{2}K] U_f= U-värde karm [W/m^{2}K]

L_{Ψ}^{2D}=2D värmeflödet för hela konstruktionen [W/mK]

b_f= bredd karm [m] b_g= bredd glas [m]

beskriver det återstående värmflödet som uppstår från interaktionen mellan karm, glaskant och inre spalt.

Dessa fem ekvationer möjliggör beräkning för ett helt fönster enligt EN ISO 10077-1:2017 och 14351-1:2006 + A2:2016 (SIS 179, 2016) och beräknas enligt

$$U_W = \frac{U_g A_g + U_f A_f + \Psi L}{A_{tot}} \qquad (9)$$

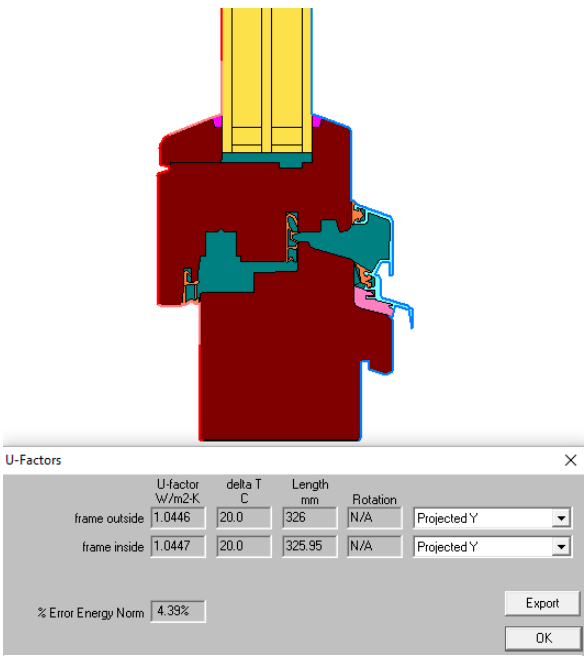
U_g= U-värde glas [W/m^{2}K] U_f= U-värde karm [W/m^{2}K]

Ψ=Linjärtvärmeflöde [W/mK] L = längden längs glaskanten där det linjära värmeflödet uppstår [m]

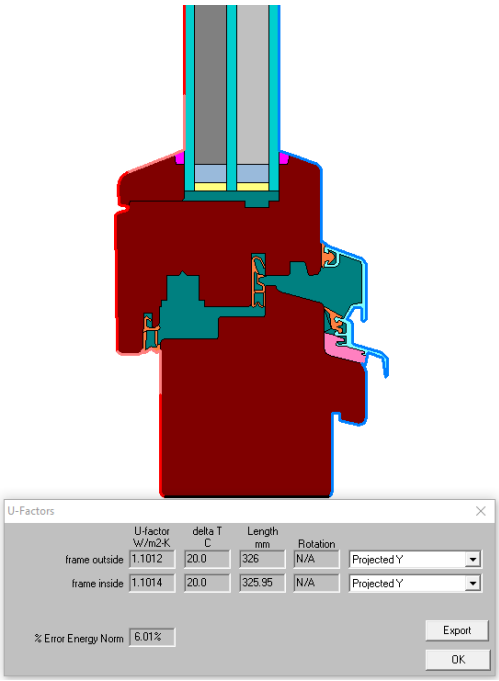
A_g =Area glas [m^2] A_f= Area karm [m^2] A_{tot}= Total area [m^2]

L= Total längd för glaskanten mot karmen [m]

Alla dessa fem ekvationer behöver användaren själv beräkna med hjälp av indata från THERM och tabeller.



Figur 1: Beräkningsresultat för trä-profil med glas i THERM



Figur 2:Beräkningsresultat för trä-profil med panel i THERM

För att beräkna ett helt fönsters U-värde med hjälp av BISCO används endast ekvation (9 då det linjära värmeflödet Ψ och karmens U-värde U_f erhålls automatiskt i programmet. Beräkning av Ψ -värde och karmens U-värde U_f, görs automatiskt i BISCO medan för THERM beräknar användaren det själv enligt ovan nämnde ekvationer (4)-(8). BISCO använder

$$\Psi = \frac{Q}{(t_i - t_e)} - U_1 l_1 - U_2 l_2 \qquad (10)$$

Q= Totala värmeflödet för hela konstruktionen med glas [W/m] U_1=U-värde för karm [W/m^{2}K]

l_1=Höjden på karmen [m] t_i= Innetemperatur [K]

U_2=U-värde för glaset [W/m^{2}K] l_2=Glasets höjd i programmet [m]

t_e=Temperatur ute [K]

för Ψ -värdet och

$$U_f = \frac{\frac{Q}{(t_i - t_e)} - U_{p1} w_{p1}}{wf} \qquad (11)$$

Q= Totala värmeflödet för hela konstruktionen med panel [W/m^2] U_{p1}=U-värde för panel [W/m^{2}K]

t_i= Innetemperatur [K]

w_f=höjden av karmen [m] w_{p1}=höjden av panelen [m] t_e=Temperatur ute [K]

för karmens U-värde.

3. METOD

Detta avsnitt avser att diskutera och förklara vilken typ av data som används för syftet och hur metodens upplägg ser ut. Metod avsnittet innehåller även en kort diskussion kring vilka andra metoder det finns samt varför den valda metoden används.

Arbetsgången i programvarorna är grundad i hur RISE idag arbetar med att beräkna U-värden för fönster samt utefter manualer som finns för de båda programmen (Physibel, 2016) (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2013). För att besvara frågeställningarna har det gjorts en kvalitativ jämförelse med hjälp av en produktjämförelsetabell och en kvantitativ jämförelse genom att jämföra numeriska beräknade värden. Fördelen med produktjämförelse tabellen är att ge läsaren en enkel överblick över produkterna eller tjänsterna i fråga. Genom att kortfattat beskriva varför den ena programvaran har en lösning på en funktion, behöver läsaren inte gå tillbaka till avsnitten där programmen beskrivs mer detaljerat. Tabellen har en simpel uppbyggnad med programmen i kolumner och egenskaper i rader följt av en kort beskrivning till varför den ena är bättre.

Inget av programmen ställs från början som bättre än den andra som man gör i andra komparativa metoder såsom *lins jämförelse* existerar där den ena saken man jämför väger tyngre än den andra. Den typen av jämförelse är mer användbart när det syftar till att utmana eller validera hur bra den ena produkten är (Walk, 1998). Eftersom analysen i detta arbete inte har som syfte att se varken BISCO eller THERM som bättre eller sämre från början av analysen, så passar inte denna typ av jämförelse. Varken BISCO eller THERM var tidigare kända program, heller inte standarden utifrån vilken fönsterberäkningar görs. På grund av detta utgjorde självinläsning och litteraturstudier kring ämnet en stor del av arbetet.

Först gjordes ett par beräkningsexempel i THERM för att lära sig programvaran och sedan ett par i BISCO. Läsning av manualer stod till stor del av inlärningen samt vägledning från ansvarig forskare på RISE. Därefter identifierades vilka profiler av de tillgängliga i studien från IFT Rosenheim som skulle beräknas för båda programvarorna samt vilka kriterier som skulle ge grund i jämförelsen. Vilka punkter som skulle jämföras valdes utifrån funktioner som båda mjukvarorna var beroende av för att få ett resultat. Valet för profilerna baserades på att det existerade verkliga värden att utgå ifrån som facit samt att de varierade i komplexitet

vilket gav mer utrymme för programmen att visa vad de var bra på eller inte. Sedan beräknades U-värdet enligt värmeledningsmodellen för alla tre profiler i THERM respektive BISCO och sedan enligt strålningsmodellen i BISCO med hjälp av Radcon modulen. Simultant antecknades det stegvis hur metodiken ser ut i både BISCO och THERM vid beräkningar samt vilka hinder som uppstod. Därefter ifylldes en produktjämförelse tabell utifrån information från anteckningar som gjorts för att kunna dra en slutsats vilken programvara som var bättre än den andra under specifika punkter. Det som avgjorde om den ena var bättre än den andra var tidsåtgången, komplexiteten samt hur enkelt det var att korrigera fel när felmeddelanden uppstod.

Slutligen jämfördes beräkningsresultaten med varandra och även med data från en studie gjord av IFT Rosenheim på samma profiler (IFT Rosenheim, 2015) (IFT Rosenheim, 2016). Syftet med att jämföra beräkningar och mätningar som gjordes av IFT Rosenheim var att se om resultaten som erhålls i denna rapport är rimliga värden. Anledning till detta är att värmeledningsförmågan för en del material inte var enligt EN ISO 10077-2:2017 i IFT Rosenheim studien vilket leder till att en fullständig jämförelse inte är möjlig.

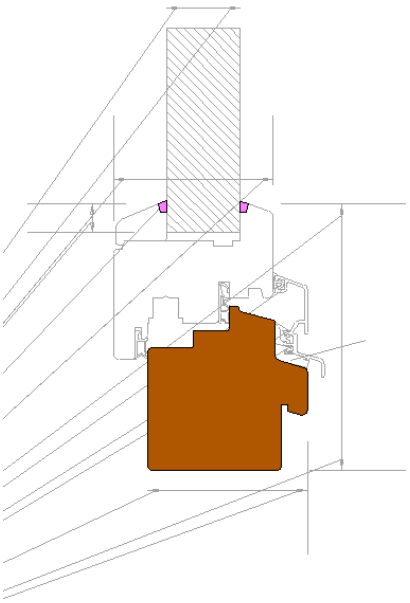
Datat i detta examensarbete är både kvalitativt och kvantitativt som består av anteckningar som gjorts under arbetsgången i respektive mjukvara samt beräkningsresultat. Underlaget till jämförelsen är anteckningarna om vilka steg programmen arbetar efter. För att minska komplexiteten i underlaget delas egenskaper upp efter programvarornas tillvägagångsätt och på så sätt ge en mer systematisk beskrivning.

4. ARBETSGÅNG I THERM

I detta avsnitt förklaras hur processen ser ut i THERM från en ritning till ett beräknat U-värde. Avsnittet är uppdelat utefter viktiga punkter i arbetsgången. Första steget är importering och förberedelse av ritning följt av material tilldelning och randvillkor. Sist förklaras vilket resultat som programmet ger användaren för att sedan beräkna U-värdet för ett helt fönster.

4.1 Import och förberedelse av ritning

Första steget är att öppna ritningen i DraftSight och måste sparas som typen ASCII 2009 DXF för att det ska funka i THERM senare. Programmet måste sedan stängas ner för att kunna fortsätta i THERM. Sedan öppnas THERM och önskad ritning (*File* > *Underlay* > *Browse* > *Ok*). Beroende hur filen skapades och ritades i Draftsight, kan resultatet av underlaget se olika ut. För bästa resultat bör dubbla linjer, linjer om inte är en del av själva detaljen och text undvikas från början i ritningen i DraftSight. Ritningen bör även vara centrerad i koordinatsystemet i DraftSight. I Figur 3 är exempel på den träprofil som användes och hur linjer som inte är en del av ritningen är placerade på grund av att ritningen inte var centrerad i koordinatsystemet. Även avståndspilar gav linjer som försvårade arbetet samt icke-nödvändiga linjer i isolerings panelen. Alla dessa bör tas bort vid förberedningen av filen i DraftSight.



Figur 3: Träprofil i THERM med oönskade linjer

När ritningen öppnats i THERM laddas den in som en bakgrund i programmet. Ritfunktionen måste därför användas för att fylla i linjerna och skapa karmen med isoleringspanelen. Programmet kan endast rita linjer och polygoner, inga elipser eller cirklar. Dessa får inte överlappa varandra eller inte vara slutna.

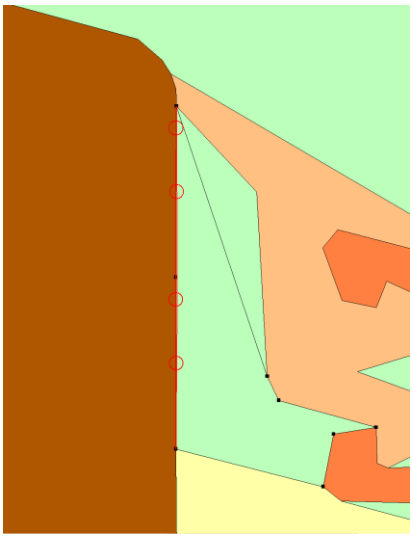
Fel som uppstår i detta steg är endast de oönskade linjerna som kan försvåra ifyllnaden av ritningen. Dessa kräver inga åtgärder för att kunna genomföra senare steg utan kan endast försvåra tilldelning av material. För att underlätta kräver det konstant in-zooming på detaljer för att skilja linjer åt. Att användaren själv måste rita detaljen samt att endast polygoner är tillgängliga begränsar geometrin. Detaljer i THERM blir inte exakt samma som på ritningen till följd av detta.

4.2 Material tilldelning och randvillkor

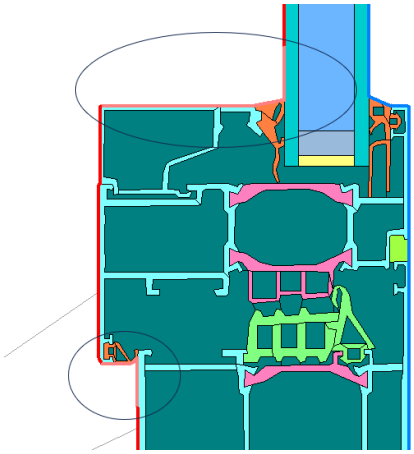
Efter att profilen är skapad i tidigare steg behöver material tilldelas för de olika komponenterna. Materialtilldelningen sker med hjälp av färdiga materialbibliotek. Då egenskaper hos materialen som används i svenska standarder med önskade värmekonduktiviteter inte finns i THERM behöver dessa läggas till manuellt. Material läggs till genom att skapa ett namn och sedan ange önskad värmekonduktivitet.

Material väljs från en lista och fylls sedan i med vänster musknapp. Samma termiska konduktiviteter för material som finns i manualen för BISCO (Physibel, 2016, p. 75) används och återfinns även i tabell under Annex I i EN ISO 1077-2:2017 (Provnings- och beräkningsmetoder, 2017).

För att applicera randvillkor (intern, extern och reducerat) enligt Annex E i EN ISO 10077-2:2017 (Provnings- och beräkningsmetoder, 2017), används funktionen *Boundary Conditions*. Programmet applicerar adiabatiskt gränsvillkor runt hela profilen. Där det önskas annat



Figur 4: Positioner vart fel uppstått mellan material i THERM



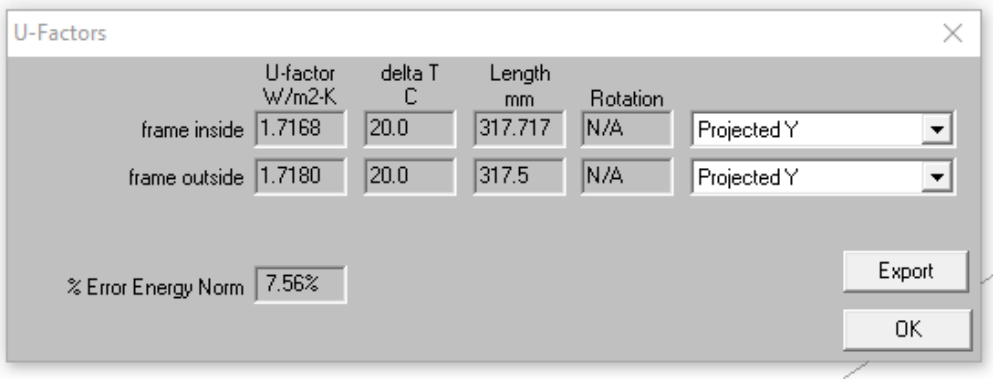
Figur 5:Reducerat värmeflöde vid hörn i THREM

gränsvillkor används funktionen *Set Point* för att dela upp gränserna och sedan dubbelklickas segmentet för att välja annat villkor. Insidan sätts till 20 Celsius och utsidan till 0 Celsius. Det reducerade ytmotståndet sätts längs med flödesriktningen och 30mm från hörn med minst 45 graders lutning, exempel på detta visas i Figur 5 där de ljusrosa linjerna runt hörnen representerar reducerat värmemotstånd (Provnings- och beräkningsmetoder, 2017).
Det uppkommer en del felmeddelanden när gränsvillkor ska sättas med anledning av att för många punkter används vid ritning av polygoner därför är det fördelaktigt att försöka göra så få punkter som möjligt. Dessa fel åtgärdas genom att radera eller flytta på punkter som programmet ger feedback på. Figur 4 visar en in-zoomad zon där programmet placerat små röda cirklar vid punkter som behöver åtgärdas. När programmet inte längre ger felmeddelanden och felen är fixade sätts riktningen på värmeflödet i kaviteterna genom att dubbelklicka med vänster musknapp på vald kavitet och välja horisontell riktning för värmeflödet.

4.3 Beräkning av U-värde

Funktionen *Calc* beräknar U-faktor och resultatet kontrolleras genom att se om omkretsen har samma värde för insidan och utsidan av karmen. Resultat visas i Figur 6 (U faktor för karm). Detta värde med isoleringspanel är U_{f0}-värdet i ekvation 6. Samma beräknings procedur används igen men denna gång byts isolerings panelen ut mot glas för att få värmeflödet för

köldbryggan mellan glas och karm. Värdet som programmet ger med glas installerat är U_{f1} i ekvation 7. Detta utbyte av glas och isoleringspanel sker med hjälp av ritfunktionen med polygoner.



Figur 6: Beräkningsresultat från THERM för aluminiumprofil med glaskasset.

U-värdet för hela fönstret med dimensionerna erhålls med hjälp av ekvation (4 till och ekvation (9. Exempel på beräkning av aluminiumprofil presenteras nedan. Dessa beräkningar utfördes i Excel för alla profiler. THERM ger alltså endast användaren värdena U_{f0} och U_{f1} för att kunna beräkna L_{f}^{2D} och L_{Ψ}^{2D} som sedan kan användas för att beräkna U för karmen och sedan ett helt fönster. Nedan visas beräkningen för aluminiumprofilen som exempel.

$$U_p = \left(0{,}17 + \frac{d_g}{\lambda_p}\right)^{-1} = \left(0{,}17 + \frac{0.024}{0.035}\right) \approx 1.169 \ \ \mathrm{W/m^2K}$$

$$L_{\mathrm{f}}^{2D} = U_{f0} L_{ft} = 1{,}6135 \times 0{,}3177 \approx 0{,}513 \ \mathrm{W/mK}$$

$$L_{\Psi}^{2D} = U_{f1} L_{ft} = 1{,}7168 \times 0{,}3177 \approx 0{,}545 \ \mathrm{W/mK}$$

$$U_f = \frac{L_f^{2D} - U_p b_p}{b_f} = \frac{0.513 - 1.169 \times 0.2027}{0.115} \approx 2.40 \ \mathrm{W/m^2K}$$

$$\Psi = L_{\Psi}^{2D} - U_f b_f - U_g b_g$$

$$= 0.545 - 2.40 \times 0.115 - 1.122 \times 0.2027 \approx 0.043 \ \ \mathrm{W/mK}$$

$$U_{tot} = \frac{U_g A_g + U_f A_f + \Psi L}{A_{tot}}$$

$$= \frac{1.122 \times 1.25 + 2.40 \times 0.57 + 0.043 \times 4.5}{1.23 \times 1.48} \approx 1.63 \ \mathrm{W/m^2K}$$

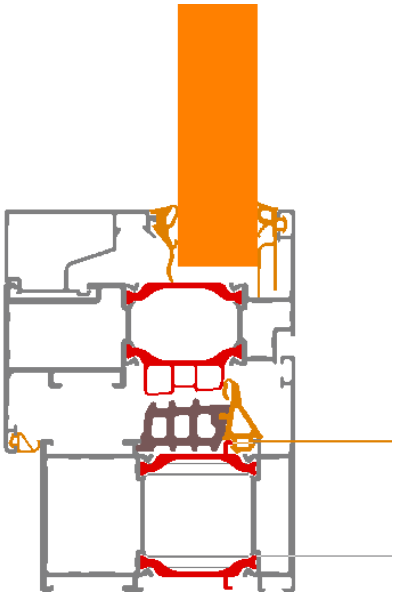
5. ARBETSGÅNG I BISCO

I detta avsnitt förklaras hur processen ser ut i BISCO från en ritning till ett beräknat U-värde. Avsnittet är uppdelat utefter viktiga punkter i arbetsgången. Första steget är importering och förberedelse av ritning följt av material tilldelning och gränsvillkor. Sist förklaras hur U-värdet erhålls för ett komplett fönster.

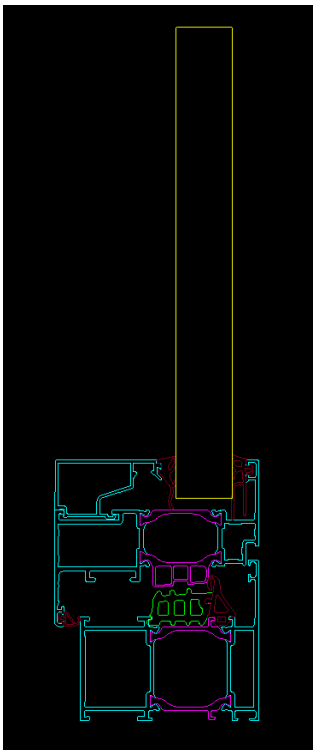
5.1 Förberedelse av ritning

Förberedning av ritningen behöver göras i DraftSight där komponenter tilldelas material (*Configure layers* > *Add layers*). Varje layer blir ett eget material utan mekaniska egenskaper, endast färg och namn tilldelas. Därefter väljs linjer som omfattar detaljer i profilen och sedan tilldelas de som material med hjälp av *layers*. Efter färdig förberedning av filen i DraftSight för aluminiumprofilen såg det ut som följande i Figur 8.

Ritningen behöver öppnas i BiscoDxf *(File > new bitmap > Chose file)* för att användas i BISCO. I Figur 7 kan det tydligt ses om förberedningen är gjord korrekt då vid fel sticker



Figur 7: Fel som uppstår i BiscoDxf där material går utanför dess gränser



Figur 8: Färdig förbered ritning för BiscoDxf i Draftsight

material ut utanför komponenters gränser precis som figuren visar. För enklare tilldelning av material används manual som medföljer vid köp av mjukvaran. I manualen används tabell i kapitel G som visar materialets konduktivitet och vilket färgnummer som ska användas (Physibel, 2016, p. 75). Efter material tilldelats används funktionen *Calculate new bitmap*.

När felen rättats till behöver storleken i horisontell riktning utökas för att ute och inneluft ska få plats i den färdiga ritningen så att bitmapen inte tar slut vid karmens kanter. Detta görs medhjälp av funktionen *Set bitmap & Pixel size* och det finns inget krav på storleken på bitmapen utan denna utökas med ungefär 30mm. Sist behöver ordningen på materialen ändras i listan i rutan *Layers* utefter hur flexibla de är och detta görs med hjälp av funktionerna *Higher priority* och *Lower priority.* Mest flexibla materialet ska vara först och styvaste sist. Filen sparas som bitmap (*File > Save as...*).

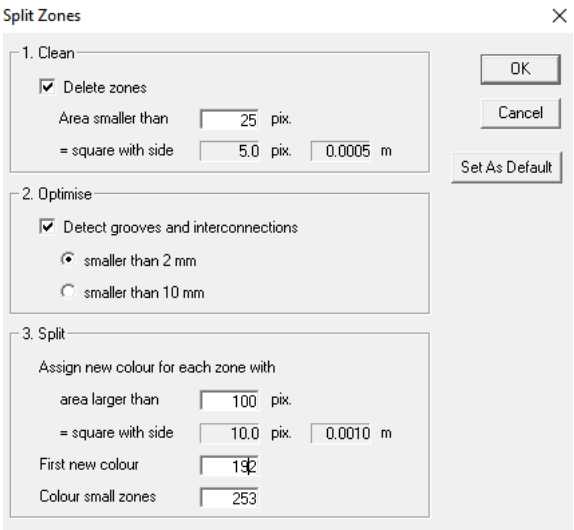
Fel som uppstår är att ritningen inte är korrekt utförd då layers inte är tilldelade korrekt. Detta kan bero på att dubbla linjer finns, fel layer är tilldelad, finns förinställda layers som är dolda bakom befintlig ritning. Mest effektiva lösningen till problemet är att göra ändringar i BiscoBmp med hjälp av dess ritfunktion för att fylla i konturer av detaljen som orsakar fel.

Alternativet är att simultant arbeta i DraftSight och BiscoDxf genom att identifiera vart färg/material sticker ut som i Figur 7 och sedan göra ändringar, detta tar däremot mer tid.

5.2 Material tilldelning och gränsvillkor

När bitmapen är färdig öppnas den i BISCO. Funktionen *Fill* används för att fylla i ute- och inneluft med färger. Dessa väljs från listan *All materials*. Det behöver kontrolleras om ute luften tränger in i små utrymmen inom karmen och i sådana fall måste det täppas igen med samma färg som resterande hål utrymmen har. I materiallistan sätts färg med nummer noll till *Equimat* så att alla luftkaviteter har ett eget ekvivalent lambda värde. Kolumnen *Type* i rutan *Colours* ändras beroende på riktningen av värmeflödet. I utförda beräkningar användes *CEN_Yx_I* som innebär oventilerade luftkaviteter med värmeflöde parallellt med x-axeln.

I nästa steg delas luftkaviteter i karmen in i mindre zoner med egna separata ekvivalenta värmekonduktiviteter (*Bitmap > Split Zones*). Inställningar som öppnas med funktionen *Split Zones* visas i Figur 9 och behöver vara konfigurerade som figuren visar enligt ISO 10077-2:2017 (Provnings- och beräkningsmetoder, 2017, p. 11).



Figur 9: Inställningar för Split Zones funktion i BISCO

Efter tidigare nämnda steg förbereds detaljen enligt EN ISO 10077-2:2017 (*Settings > EN 10077 Settings)*. Här behöver två inställningar ändras, riktningen på värmeflödet och vilken färg/material som karmen är av så att programmet läser av vilken del som är karm. Enligt EN ISO 1077-2:2017 ska inne luften ha reducerat ytmotstånd och detta görs genom att klicka på inne luften och välja riktning av värmeflöde för reducerat ytmotstånd (*Bitmap > Set Reduced Heat Transfer > Rightwards*). Sista förberedelsen innan beräkningen är att förlängna panelen till en höjd på minst 190 mm enligt ISO 10077 (*Bitmap > EN 10077 Preperation*) (Provnings- och beräkningsmetoder, 2017, p. 36).

5.3 Beräkning av U-värde

För att utföra beräkningar behöver inställningar öppnas för beräkningar (*Edit > Calc Parameters*). Rutan ”Recalculate before each iteration cycle” behöver vara kryssad för rätt beräkning. Filen behöver sparas (File > Save as) och sedan behöver karmens U-värde beräknas (*Calc > Calc System*). Resultat sparas som text- och grafiska filer (*Calc > Make Report*) och kan sedan öppnas (*Output > Text Output*). U-värdet för träprofilens karm visas i sparat textdokument, se Figur 10.

```
Thermal transmittance of frame (EN 10077-2)
Uf = (Q/(ti-te) - Up1*wp1 - Up2*wp2) / wf = 1.227 W/(m².K)
  Q = 6.212 W/m
  ti = 20.00°C
  te = 0.00°C
  Up1 = 0.834 W/(m².K)   (top edge of bitmap)
  wp1 = 0.1900 m         (distance no. 1)
  Up2 = 0.000 W/(m².K)
  wp2 = 0.0000 m
  wf = 0.1240 m          (distance no. 2)
```

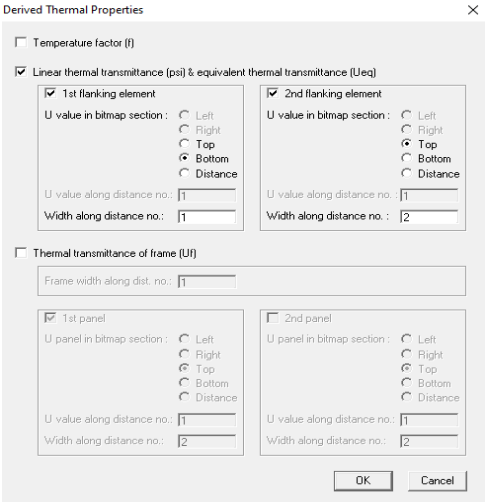
Figur 10: PVC karmens U-värde beräknat i BISCO

Nästa steg kräver att isolerings panelen byts ut mot önskat glas. Detta kräver att glaset ritas i DraftSight och stegen upprepas som tidigare för hela profilen så att glaset blir en egen sparad bitmap i BISCO. När filen är sparad används funktionen *Import Bitmap* för att byta ut isolerings panelen mot glaset. För korrekt placering behöver användaren klicka med vänster musknapp på panelens övre vänstra hörn och sedan välja filen för glaset. Efter glaset ersatt isolerings panelen behöver rutan ”Border U-values” ändras genom att fylla i *Enforced U [W/m²K]* för *Bottom* till karmens U-värde som beräknades i Figur 10. Sist behöver följande inställningar ändras som Figur 12 visar (derived thermal properties). Dessa inställningar säger åt programmet att karmens U-värde är känt och att Ψ -värdet ska beräknas. Beräkningarna utförs återigen (*Calc > Calc System*) och sparas som textdokument. Efter erhållen resultat utan Radcon modul, beräknas resultat med modulen. Detta görs genom att byta ut materialtypen hos kaviteterna till TRANSMAT (*Colours > Convert To TRANSMAT)*. Därefter beräknas resultatet på nytt (*Calc > Calc System*).

Markeringen med röd färg i Figur 11 visar Ψ-värdet som erhålls.

```
Linear thermal transmittance (EN ISO 10211)
psi = Q/(ti-te) - U1*l1 - U2*l2 = 0.037 W/(m.K)
Equivalent thermal transmittance
Ueq = Q/((ti-te)*(l1+l2)) = 1.041 W/(m².K)
  Q = 6.538 W/m
  ti = 20.00°C
  te = 0.00°C
  U1 = 1.227 W/(m².K)   (bottom edge of bitmap)
  l1 = 0.1240 m         (distance no. 1)
  U2 = 0.724 W/(m².K)   (top edge of bitmap)
  l2 = 0.1900 m         (distance no. 2)
```

Figur 11: Psi-värde och ekivavlent U-värde för PVC-profil efter beräkning i BISCO



Figur 12: Inställningar för Derived Thermal Properties som ger önskad beräkning

BISCO kan ge ett felmeddelande vid beräkningen för att samma färg existerar på samma platser inom kaviteter. Detta behöver åtgärdas genom att välja färgen i fråga och dela på dem (Colours > *Split Zones)*. Detta upprepas tills beräkningen inte ger felmeddelande längre och resultatet är erhållet. Det går inte att undvika felmeddelanden i detta fallet då programmet automatiskt anpassar kaviteterna till beräkning utan Radcon modulen.

Det erhållna Ψ och U_f från BISCO används sedan i ekvation 9 för att beräkna U-värdet för hela fönstret manuellt.

6. RESULTAT OCH ANALYS

I resultatet nedan finns kvalitativ samt kvantitativ data från arbetet. I produktjämförelse tabellen redovisas om THERM eller BISCO var mer fördelaktig att använda beroende på dess funktioner. Detta presenteras med positiva och negativa tecken där de antigen har olika tecken eller samma tecken för samma funktion. Det kvantitativa datat består av beräkningsresultat för båda mjukvarorna. I BISCO finns det två resultat, med och utan Radcon modulen. Resultatet från denna del jämförs först som THERM mot resultaten BISCO och sedan en jämförelse mellan resultaten i BISCO med och utan Radcon modul.

Tabell 1: Produktjämförelse tabell för BISCO och THERM

Programmets funktioner	BISCO	THERM	Motivering
Förberedning av fil innan importering	–	+	BISCO kräver väldigt mycket förarbetning i CAD för att geometrin för material ska bli korrekt. THERM laddar in filen som bakgrund som används som ritunderlag.
Inläsning av ritning	+	+	Båda har ett förenklat system att hitta och välja filer.
Ritfunktion	–	+	THERM är beroende av sim ritfunktion och är enkelt att använda, trots att endast polygoner kan ritas. BISCO har en enda ritfunktion där man kan dra linjer av pixlar med färg. Detta kräver dock att ritningen öppnas i BiscoBmp.
Befintligt materialbibliotek	+	–	Material finns i färdiga bibliotek med rätt materialegenskaper i BISCO medan THERM inte har detta.
Tillägg och ändring material	+	+	I båda programmen räcker det att klicka på materialet och välja nytt ur en lista.
Tillägg och ändring av gränsvillkor	+	–	Gränsvillkoren sätts automatiskt i BISCO efter att ute- och inneluft har definierats. THERM ger många felmeddelanden när gränsvillkoren ska definieras eftersom ritfunktionen endast tillåter polygoner och gör man många punkter kan programmet ej tilldela gränsvillkoren.
Tillägg och ändring av luftkaviteter	+	+	Luftkaviteter tilldelas på samma sätt som material i både BISCO och THERM
Byte av panel mot glas	–	+	Panelen byts i THERM enkelt genom att använda ritfunktionen. Då glaset endast består av polygoner är detta inte komplicerat. BISCO kräver att glaset är en separat fil och omvandlas till en bitmap på liknande sätt som hela detaljen

ISO 10077-2:2017	+	–	THERM har inget system för att förenkla förberedelser efter standard. BISCO däremot har flera funktioner för anpassning. Bland annat förlängning av panel till 190mm och reducerat värmemotstånd
Beräkning av U-värde	+	–	THERM kräver att beräkningar utförs av användaren själv. U-värden som programmet ger är inte tillräckligt av resultat utan används som härledning till andra formler. BISCO ger karmens U-värde och ψ-värde automatiskt.
Visualisering av resultat	+	+	Båda mjukvarorna ger visualisering av geometrin och hur värmen fördelas i profilen.

Tabell 1 visar att THERM har ett område mer än BISCO som den är sämre på. Båda programmen tilldelar material och luftkaviteter väldigt simpelt med hjälp av ett par musklick. Däremot är BISCO bättre på tilldelning av gränsvillkor då detta görs automatiskt. BISCO har även funktioner för att underlätta beräkning enligt standard EN ISO 10077-2:2017 vilket ger mer korrekta resultat enligt standarden. Den stora skillnaden ligger i hur ändringar görs i programmen. Alla områden som BISCO var sämre än THERM, rörde det sig om någon typ av ändring. Den största tidsåtgången i BISCO var att öppna de tre olika verktygen BiscoDxf, BiscoBmp och BISCO men även DraftSight för att försöka göra förändringar. I THERM ligger mest tidsåtgång när ritfunktionen används för att rita utefter bakgrunden och sedan korrektera fel som uppstår vid tilldelning av gränsvillkor.

I Tabell 2 framgår det att U-värdet för träkarmen i THERM är 1,00.7% högre jämfört med BISCO och 1,8% högre jämfört med Radcon modulen. ψ-värdet för träprofilen i THERM är 2,5 % högre jämfört med både BISCO och Radcon modulen i BISCO. Det totala U-värdet för fönstret är 0,7 % högre i THERM än i BISCO och 1,1 % högre jämfört med Radcon modulen.

Tabell 2:Beräkningsresultat för träprofil i THERM och BISCO

Trä			
	U_f (W/m²K)	ψ (W/mK)	U_{tot} (W/m²K)
THERM	1,362	0,041	1,043
BISCO	1,348	0,040	1,036
BISCO (radcon)	1,338	0,040	1,032

I Tabell 3 framgår det att U-värdet för PVC-karmen i THERM är 6,8 % högre jämfört med BISCO och 10,7 % högre jämfört med Radcon modulen. ψ-värdet för träprofilen i THERM är 5,4% lägre jämfört med BISCO och 7,9 % lägre jämfört med Radcon modulen i BISCO. Det totala U-värdet för fönstret är 2,1 % högre i THERM än i BISCO och 3,6 % högre för THERM jämfört med Radcon modulen.

Tabell 3:Beräkningsresultat för PVC-profil i THERM och BISCO

PVC			
	U_f (W/m^{2}K)	ψ (W/mK)	U_{tot} (W/m^{2}K)
THERM	1,31	0,035	1,002
BISCO	1,227	0,037	0,981
BISCO (radcon)	1,183	0,038	0,967

I Tabell 4 framgår det att U-värdet för aluminiumkarmen i THERM är 2,0 % högre jämfört med BISCO och 0,6% högre jämfört med Radcon modulen. ψ-värdet för aluminiumprofilen i THERM är 2,3 % lägre än i BISCO och samma jämfört med Radcon modulen i BISCO. Det totala U-värdet för fönstret är 0,6 % högre i THERM än i BISCO och 0,2 % högre än med Radcon modulen. Det här är enda karmen som värdena är något högre med Radcon jämfört utan i BISCO, 0,4% högre för U_f, 2,3% högre för ψ-värdet, och 0,4% för det totala U-värdet.

Tabell 4:Beräkningsresultat för Aluminiumprofil i THERM och BISCO

Aluminium			
	U_f (W/m^{2}K)	ψ (W/mK)	U_{tot} (W/m^{2}K)
THERM	2,398	0,043	1,627
BISCO	2,352	0,044	1,618
BISCO (radcon)	2,383	0,043	1,624

Jämfört med verkliga mätningar från IFT Rosenheim för aluminium- och PVC-karmen ligger resultatet inom intervallet som mätningarna gett förutom för aluminium i THERM. För aluminium låg U-värdet för karmen mellan 1,88 W/m^{2}K och 2,39 W/m^{2}K medan för PVC låg U-värdet mellan 0,99 W/m^{2}K och 1,4 W/m^{2}K (IFT Rosenheim, 2016).

Tabell 5: U-värdet Uf, för aluminiumkarm och PVC-karm med osäkerheten u(Uf) enligt verkliga mätningar.

	U_f	u (U_f)	U_f	u (U_f)
Participant	in W/(m²·K)			
	PVC		Alu	
B	0,988	0,11	1,88	0,14
C	1,20	0,04	2,17	0,06
D	1,09	0,05	2,39	0,12
E	1,29	0,04	2,26	0,04
F	1,29	0,039	2,31	0,069
G	1,21	0,08	2,23	0,14
H	1,30	0,06	2,09	0,10
I	1,40	0,07	2,23	0,11
J	1,14	0,06	2,04	0,06
L	1,06	0,06	2,06	0,12
Median	1,21		2,20	
MAD	0,090		0,110	
Robust std dev s*	0,133		0,163	
u (Med.)	0,042		0,052	
Arith. mean	1,20		2,17	
Std dev (convent.)	0,128		0,150	
Min	0,99	0,04	1,88	0,04
Max	1,40	0,11	2,39	0,14
Max - Min	0,41		0,51	

För beräkningarna som genomförts låg resultaten för PVC-profilen U_f mellan 1,18 och 1,31W/m^{2}K medan för aluminiumprofilen var intervallet 2,35 till 2,40 W/m^{2}K för U_f. För aluminiumkarmens U-värde låg endast THERM utanför intervallet.

7. DISKUSSION

I detta avsnitt diskuteras och analyseras resultaten från föregående avsnitt. Avsnittet är uppdelat i fyra delar där analys av resultat, diskussion kring vad som avgränsat resultatet och arbetet, samt vilka förbättringar som kan appliceras.

7.1 Analys av produktjämförelse tabell

Resultatet från denna jämförelse hade förmodligen sett annorlunda ut om annan programvara än DraftSight hade använts för att göra ändringar i ritning. Detta var däremot den enda CAD programvaran som fanns tillgängligt på RISE vid arbetets gång och det är den som arbetet är beroende av. Hade CAD programvaran varit smidigare och ändringar mer lättillgängliga hade BISCO med sannolikhet varit bättre på förberedelse av ritningen, vilket även är det område där mest tidsåtgång låg när BISCO användes. Radcon modulen var enkel att använda och komplicerade inte beräkningarna något ytterligare. En nackdel hos THERM är att den är beroende av att man gör egna beräkningar utanför programvaran, i detta fallet i Excel. Detta ökar risken för att man gör fel beräkningar och tidsåtgången är också lite fördröjd på grund av detta. THERM har även nackdelen att ritfunktionen är väldigt simpel vilken är snabb att använda men konsekvensen blir att detaljer med mer komplicerad geometri måste förenklas och karmen blir inte exakt som hos ritningen.

7.2 Analys av beräkningsresultat

Beräkningsresultatet hos de olika programvarorna visar på att THERM ger ett något högre värde för majoriteten av beräkningarna. Detta betyder inte att THERM alltid ger ett högre värde. Mycket beror på vilka karmar som används. Kaviteterna till storlek och antal samt vilket material som används och hur geometrin är uppbyggd är vad som avgör U-värdet. Ju mer rektangulära kaviteter ju mer bidrar det till att resultat med eller utan Radcon ska vara närmare varandra, enligt standarden.

λ-värdet för alla kaviteter i aluminiumkarmen jämfördes med varandra med och utan Radcon för att se varför det blev ett högre U-värde med Radcon för karmen just för aluminium. I genomsnitt har kaviteterna utan Radcon modulen lägre λ-värde än med och det är dom stora kaviteterna som skiljer sig åt mest. Ingen tydlig slutsats kunde dras om varför just U_f för aluminium var högre med Radcon i BISCO. Även i studien av Flixo hade en aluminiumkarm högre U_f med Radcon jämört med utan (Flixo, u.d.).

7.3 Avgränsade faktorer

Programvarorna som använts i detta arbete är helt baserat på vad RISE använder idag och vilka verktyg de hade tillgång till. Försök gjordes att leta efter andra mjukvaror som kunde förbereda filen för THERM respektive BISCO. DraftSight var dock det enda som var tillgängligt. Jämförelsen är gjord på två bestämda versioner av respektive program och det finns nyare och förmodligen bättre versioner som möjligtvis löst problem som stöttes på under arbetet. Resultatet hade kunnat se annorlunda ut om andra fönsterprofiler användes men då hade inte verkliga mätningar på fönster varit lika lättillgängliga där det finns resultat från beräkningsprogram samt från mätningar. Nackdelen var att de mätningar som användes gjordes endast på aluminium och PVC-karmen.

Beräkningarna som gjordes var endast räknade av en person och försöket gjordes en gång. När fel uppstod och resultaten var orimliga gjordes försöket om men inte från början av hela processen från ritning till U-värde. Detta avgränsar resultat till att det finns rum för förbättringar.

7.4 Förbättringsarbeten

Förbättringar för jämförelsen mellan BISCO och THERM ligger till stor del hos tidsaspekten och att jämförelsen gjordes på ingen tidigare erfarenhet av användning av liknande programvaror. Detta gav däremot en syn på programmen som hjälper nya användare få en bra översikt huruvida enkelt det är att lära sig programmet. Men definitivt att det hade förbättrat tidsåtgången i arbetet. Ett annan CAD program som är bättre på att förbereda filer för dessa typer av program hade varit fördelaktigt då mycket felmeddelanden upprepades tillföljd av dess svaga funktioner för materialtilldelning.

För beräkningsdelen hade det gynnat att ha många fler mätvärden för att kunna dra en slutsats med större säkerhet. De resultatet som erhölls hade förmodligen sätt annorlunda ut för någon annan vid beräkning i THERM. Detta då geometrin är beroende av hur användaren ritar då exakta detaljer inte kan få meds på grund av ritfunktionen med endast polygoner.

Metoden som använde för jämförelse var bra och effektivt då styrkor och svagheter hos programmet lyftes fram enkelt samt att beräkningsresultaten enkelt kunde jämföras. Det som hade kunnat förbättrats är att hitta andra studier på andra profiler då IFT Rosenheim inte

använda vissa värden från EN ISO 10077-2:2017. Samt att det inte fanns mätningar för träprofilen utan endast PVC och aluminium. Användningen av tre olika profiler med olika komplexiteter på kaviteter var bra då strålningsmodellen och värmeledningsmodellen beräknar kaviteterna olika.

8. SLUTSATS

Den bättre mjukvaran från denna analys utses vara BISCO. Det må ta längre tid att utföra en simulering och ändringar är inte lätta att göra. Men resultatet blir mer konsistent och det finns mindre risk för att göra beräkningsfel efter som man får ut U_f och ψ-värdet direkt efter simulering till skillnad från THERM där man får göra det manuellt. Dessutom finns det anpassningar till EN ISO 10077-2:2017 i programmet.

Beräkningsresultaten är väldigt lika i BISCO med och utan Radcon modulen, det vill säga beräkningar enligt strålningsmodellen och enligt värmeledningsmodellen är lika varandra i BISCO. Eftersom beräkning med värmeledningsmodellen gav högre värde i BISCO för ett av tre karmar kan inte slutsatsen dras att den alltid ger lägre värde.

Optimalt hade varit att utföra beräkningar enligt strålninsgmodellen i BISCO då simuleringen är mer exakt jämfört med verkligheten på grund av att den tar hänsyn till värmetransporten av strålningen mer korrekt och förenklar inte geometrin av kaviteter vid beräkning (Flixo, u.d.) (Provnings- och beräkningsmetoder, 2017). Om man nöjer sig med det resultat som värmeledningmodellen ger är det bättre att använda THERM då den är enklare att använda och tar mindre tid. Om mer exakt värde enligt strålningsmodellen är att föredra så är BISCO bättre, speciellt om man kan använda ett annat ritningsprogram än DraftSight för att förbereda filen innan den läses in.

9. LITTERATURFÖRTECKNING

Anon., u.d. [Online]
Available at: https://windows.lbl.gov/software/therm

Beckman, O., Grimvall, G., Kjöllerström, B. & Sundström, T., 2017. *Energilära Grundläggande Termodynamik.* u.o.:Liber AB.

Denk, T., 2002. *Komparativ metod : Förståelse genom jämförelse.* u.o.:Lund : Studentlitteratur.

Flixo, u.d. [Online]
Available at: https://www.flixo.com/thermal-bridge/en-iso-10077-2/

Hagentoft, C.-E., 2001. *Introduction to Building Physics.* u.o.:Studentlitteratur.

IFT Rosenheim, 2015. *Interlaboratory comparison, Determination of the thermal transmittance of frames by calculation according to ISO 10077-2:2012,* u.o.: u.n.

IFT Rosenheim, 2016. *Interlaboratory comparison, Determination of the thermal transmittance of frames by measurment according to EN 12412-2:2003,* u.o.: IFT Rosenheim.

Lawrence Berkeley National Laboratory, 2013. *THERM 6.3 / WINDOW 6.3 NFRC Simulation Manual.* [Online]
Available at: https://windows.lbl.gov/therm-documentation

Physibel, 2016. *Manual BISCO v11.0w.* u.o.:u.n.

Provnings- och beräkningsmetoder, 2017. *Termiska egenskaper hos fönster, dörrar och jalusier - Beräkning av värmegenomgångskoefficient - Del 1: Allmänna riktlinjer (EN ISO 10077-1:2017).* u.o.:Swedish Standards Insitute.

Provnings- och beräkningsmetoder, 2017. *Termiska egenskaper hos fönster, dörrar och jalusier - Beräkning av värmegenomgångskoefficient - Del 2: Numerisk metod för karm och båge (EN ISO 10077-2:2017).* u.o.:Swedish Standards Insitute.

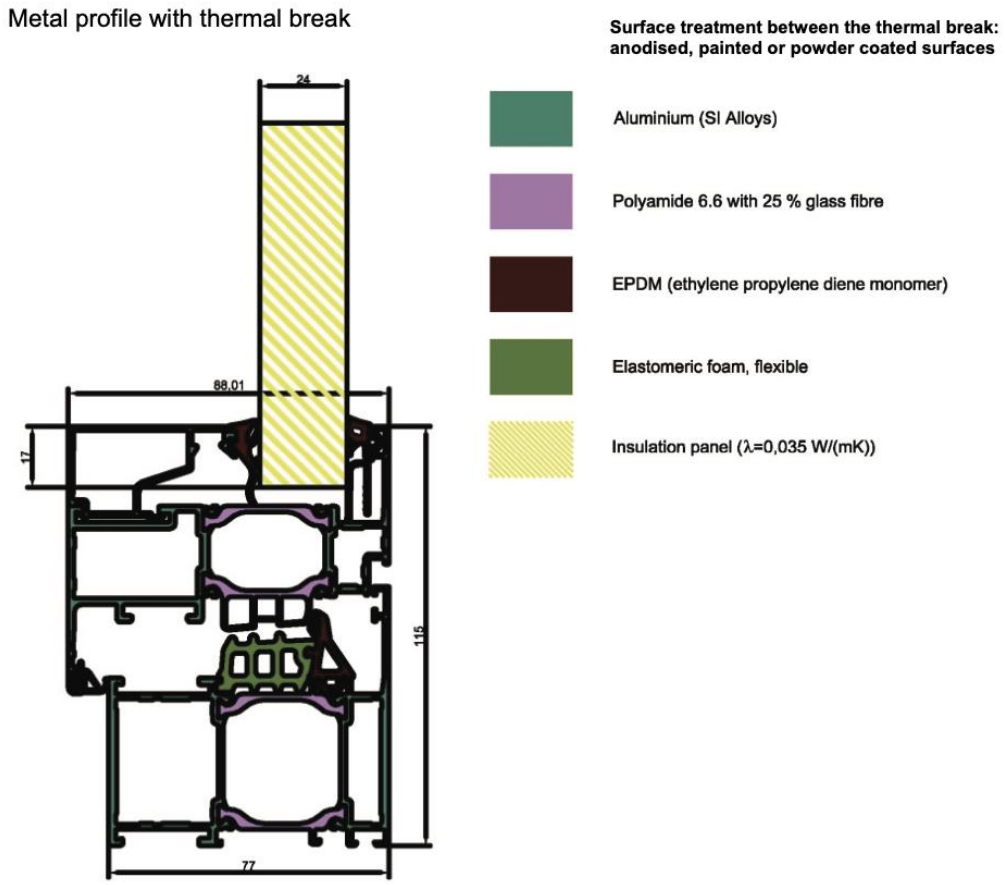
RISE, u.d. *Ri.se.* [Online]
Available at: https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/expertiser/byggnadsfysik

SIS 179, 2016. *Fönster och dörrar - Produktstandard, funktionsegenskaper - Del 1: Fönster och ytterdörrar (EN 14351-1:2006 + A2:2016).* u.o.:u.n.

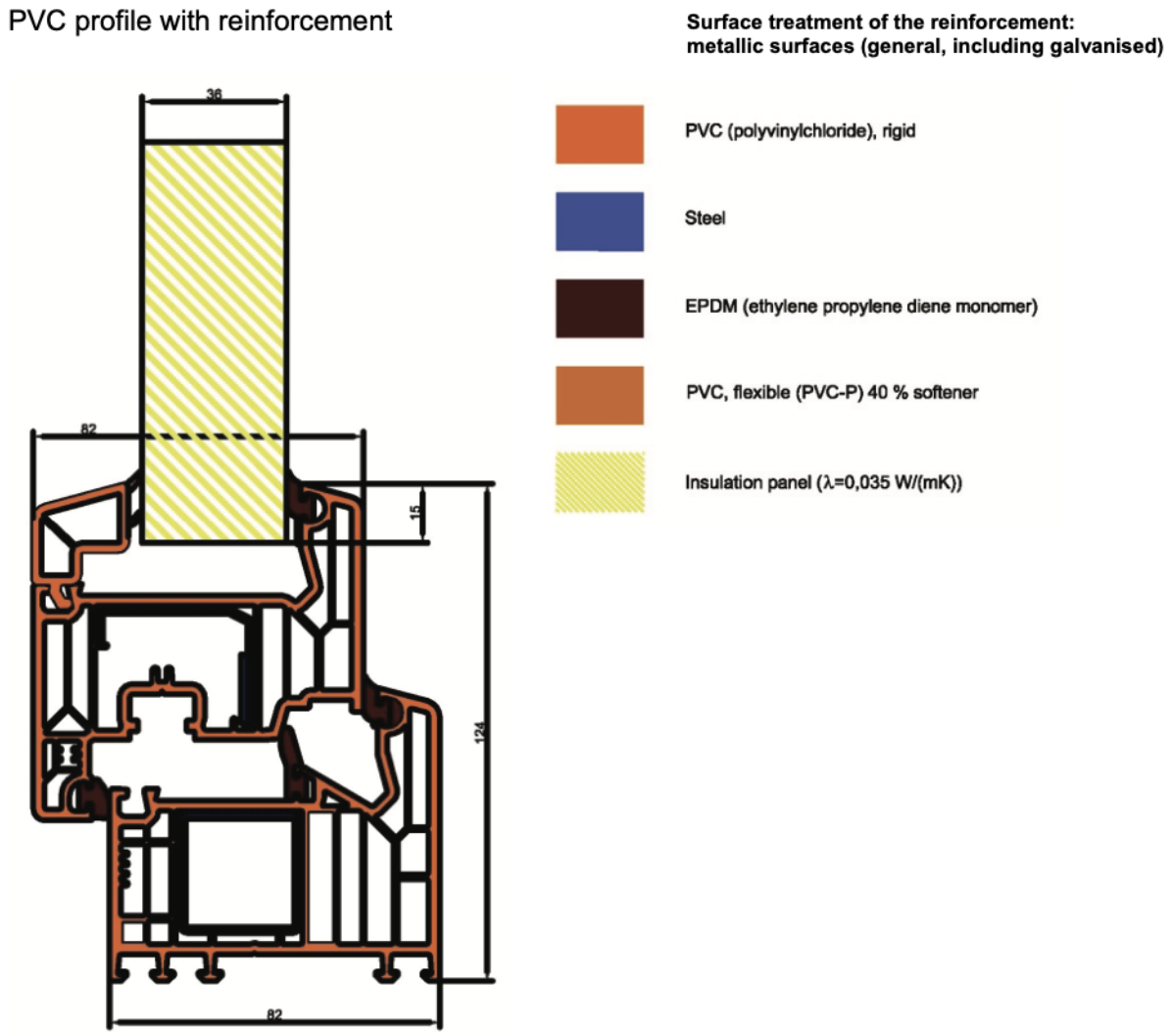
Sundén, B., 2006. *Värmeöverföring.* u.o.:Studentlitteratur.
Walk, K., 1998. *How to Write a Comparative Analysis.* u.o.:Writing Center at Harvard University.

Windows and Daylighting, u.d. *Windows and Daylighting.* [Online]
Available at: https://windows.lbl.gov/software/therm

10. BILAGOR

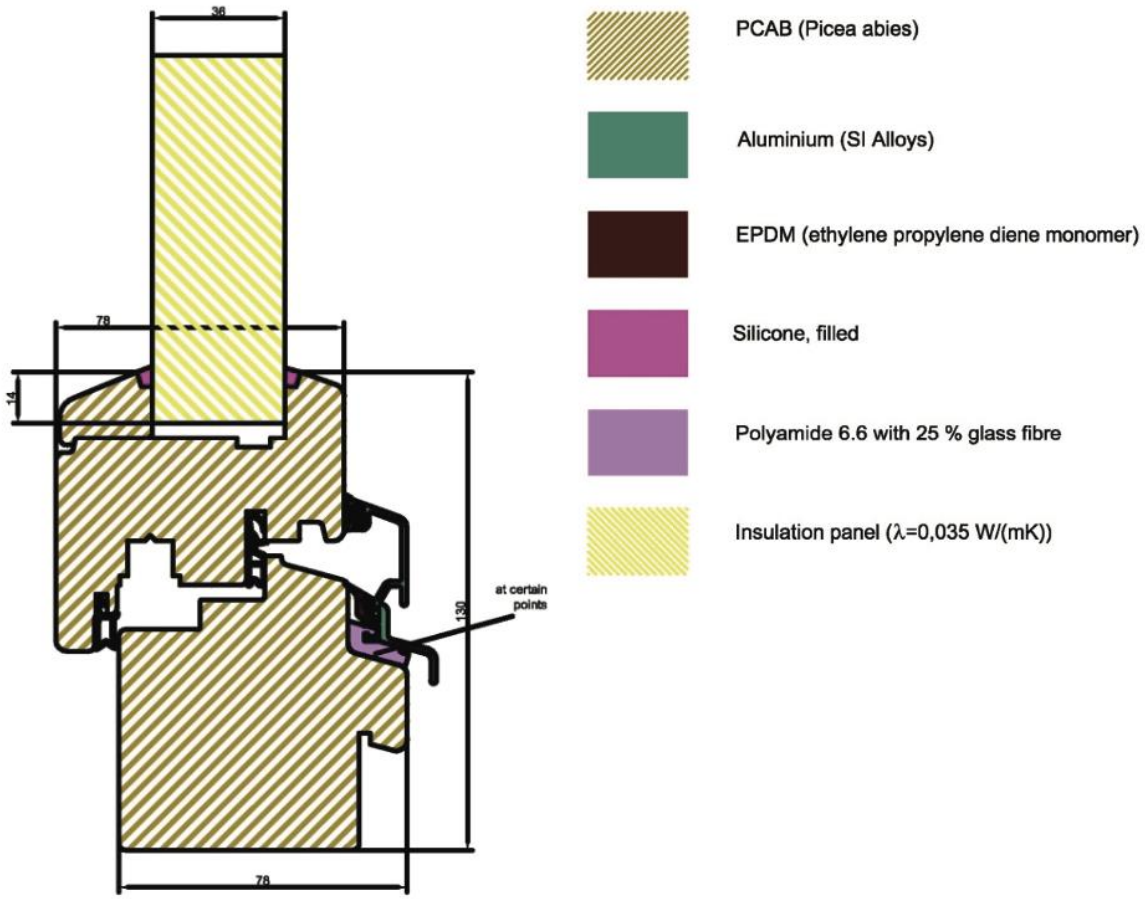


Bilaga 1: Aluminiumkarm som använts i arbetet



Bilaga 2: PVC-karm som använts i arbetet

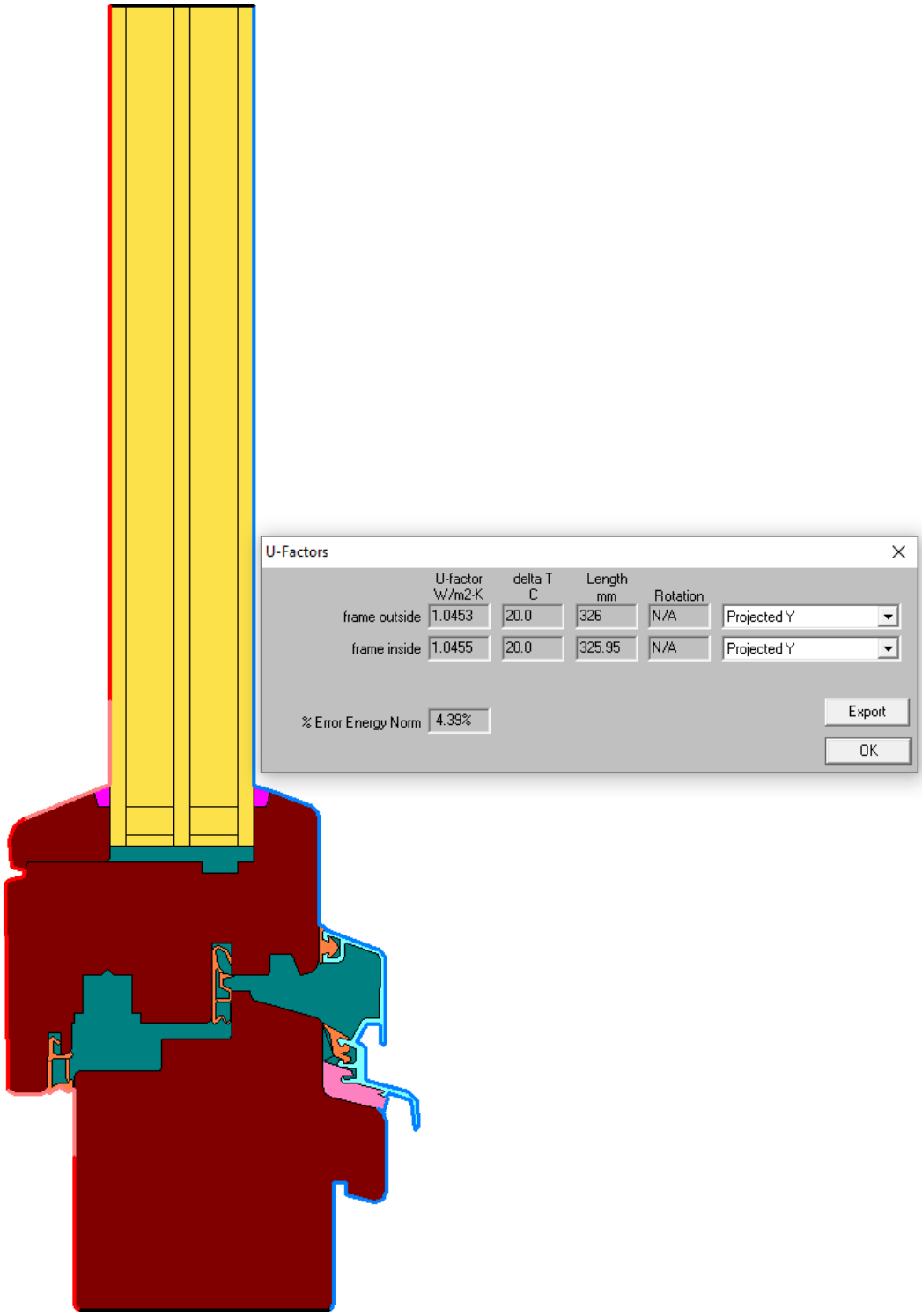
Timber profile



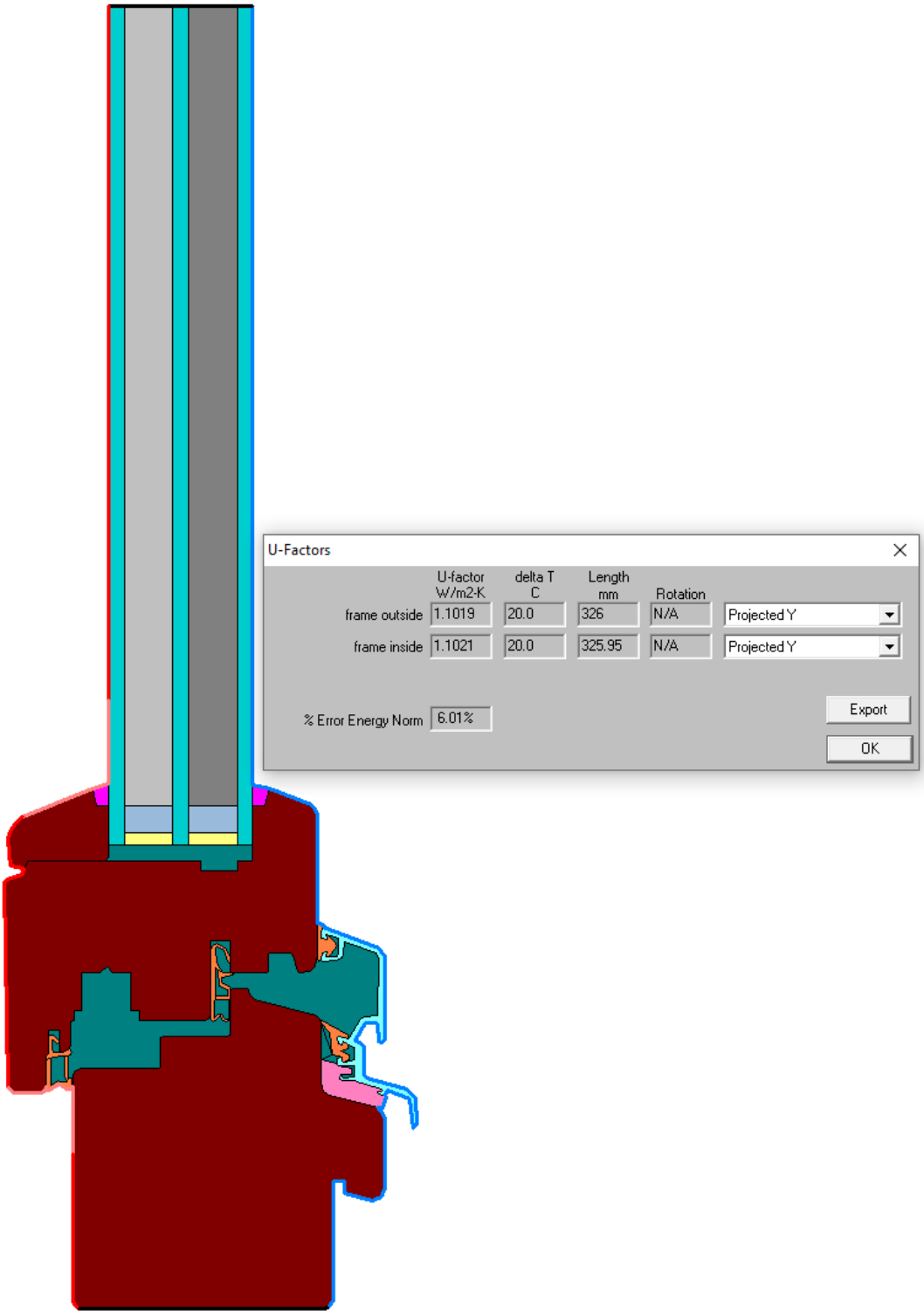
Bilaga 3: Träkarm som använts i arbetet

Trä (W/(mK))	PVC (W/(mK))	Aluminium(W/(mK))
PCAB 0.13	PVC Rigid	Aluminium 160
Aluminium 160	Steel 50	Polyamide 6.6 med 25 % glass fibre 0.3
EPDM 0.25	EPDM 0.25	EPDM 0.025
Silicone 0.5	PVC flexible 0.17	Elastomeric foam, flexible 0.05
Polyamide 6.6 med 25 % glass fibre 0.3	Insulation panel 0.035	Insulation panel 0.035
Insulation panel 0.035	Left cavity in glass 0.0198	cavity 0.0224
Left cavity in glass 0.0198	Right cavity in glass 0.0200	Glas 1
Right cavity in glass 0.0200	Glas 1	Övre distansregel 0.3
Glas 1	Övre distansregel 0.3	Undre distansregel 0.4
Övre distansregel 0.3	Undre distansregel 0.4	
Undre distansregel 0.4		

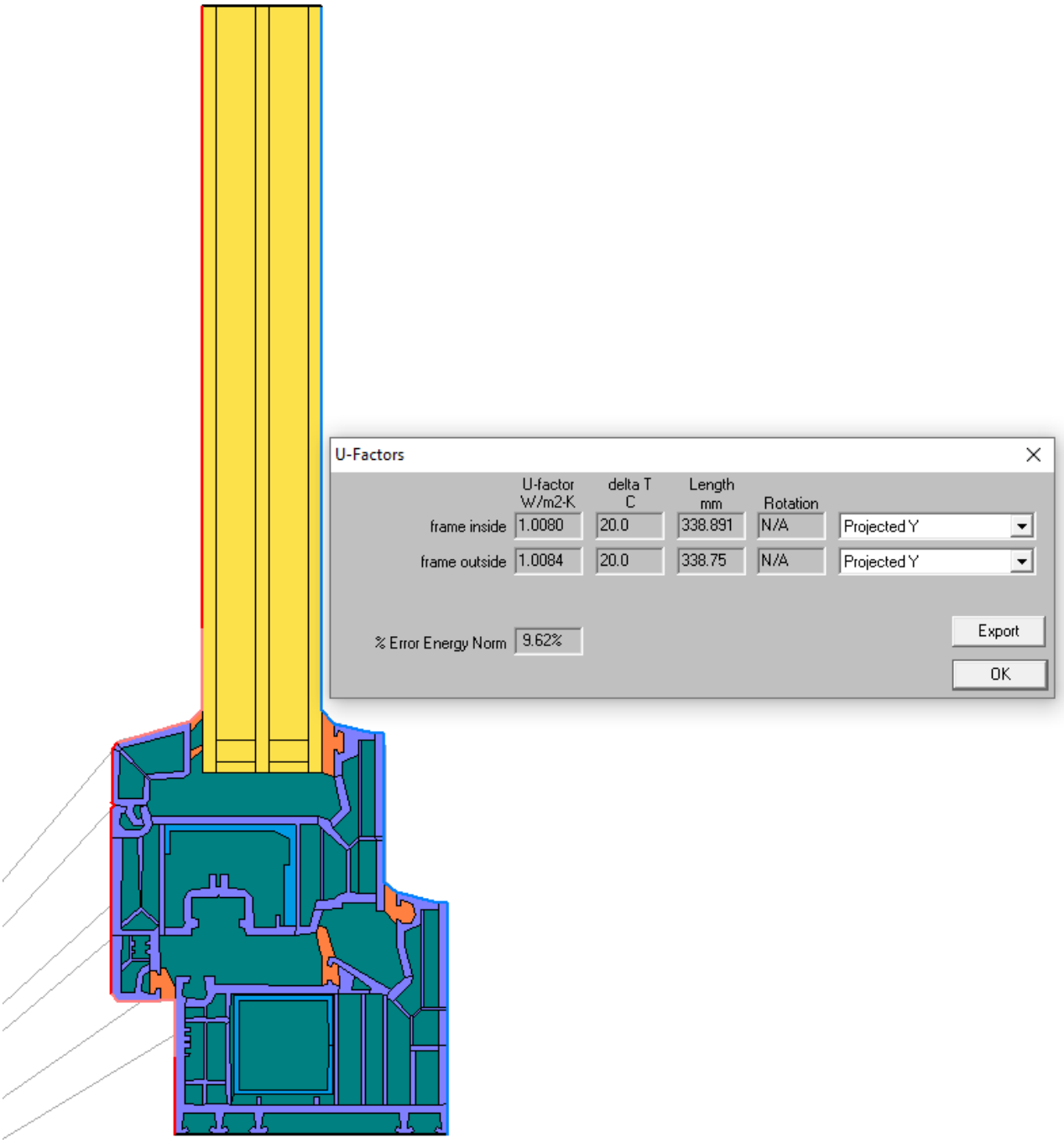
Bilaga 4: Värmekonduktiviteter för material i de olika fönsterkarmarna



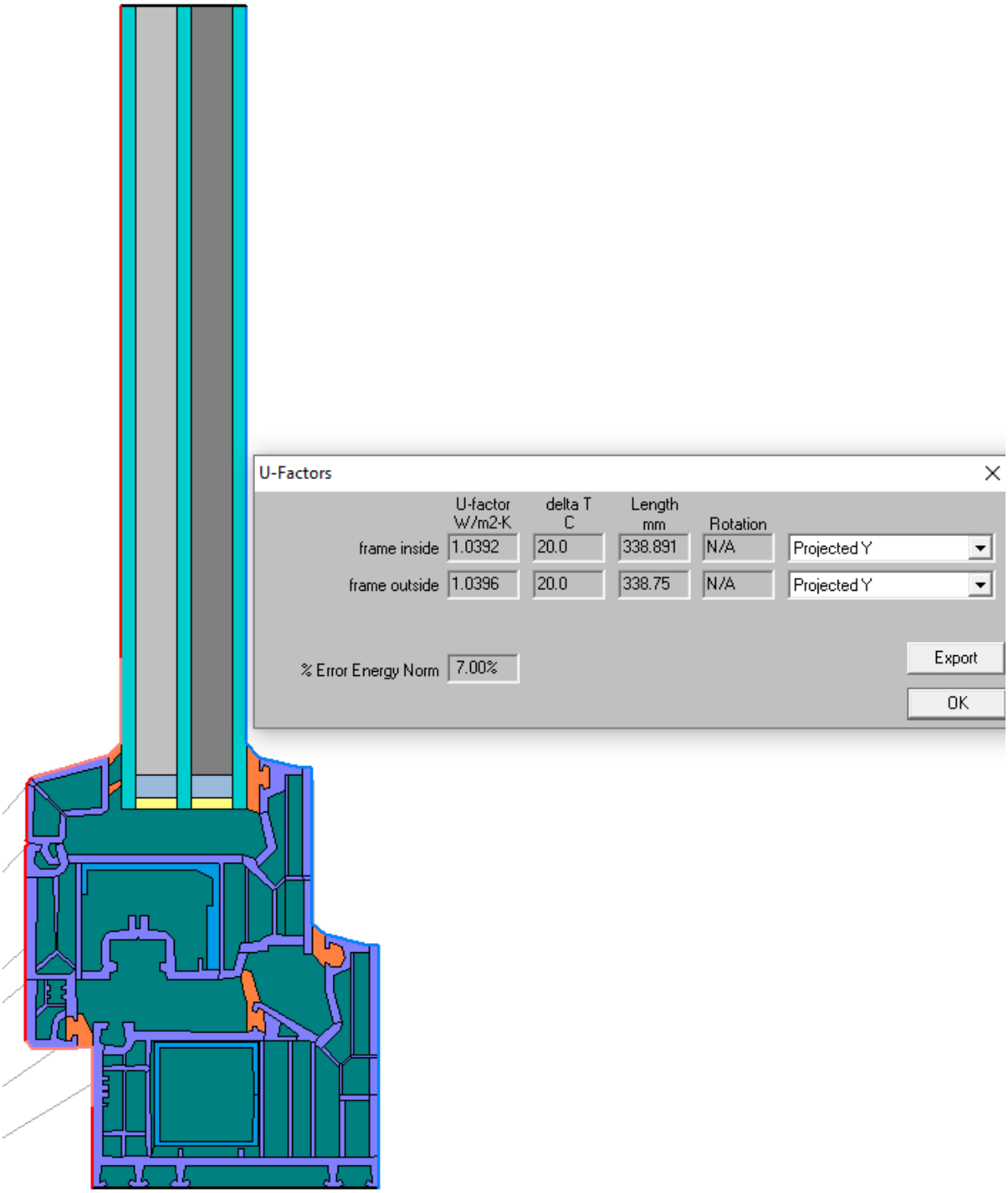
Bilaga 5: U-faktor resultat i THERM för träkarm med isoleringspanel



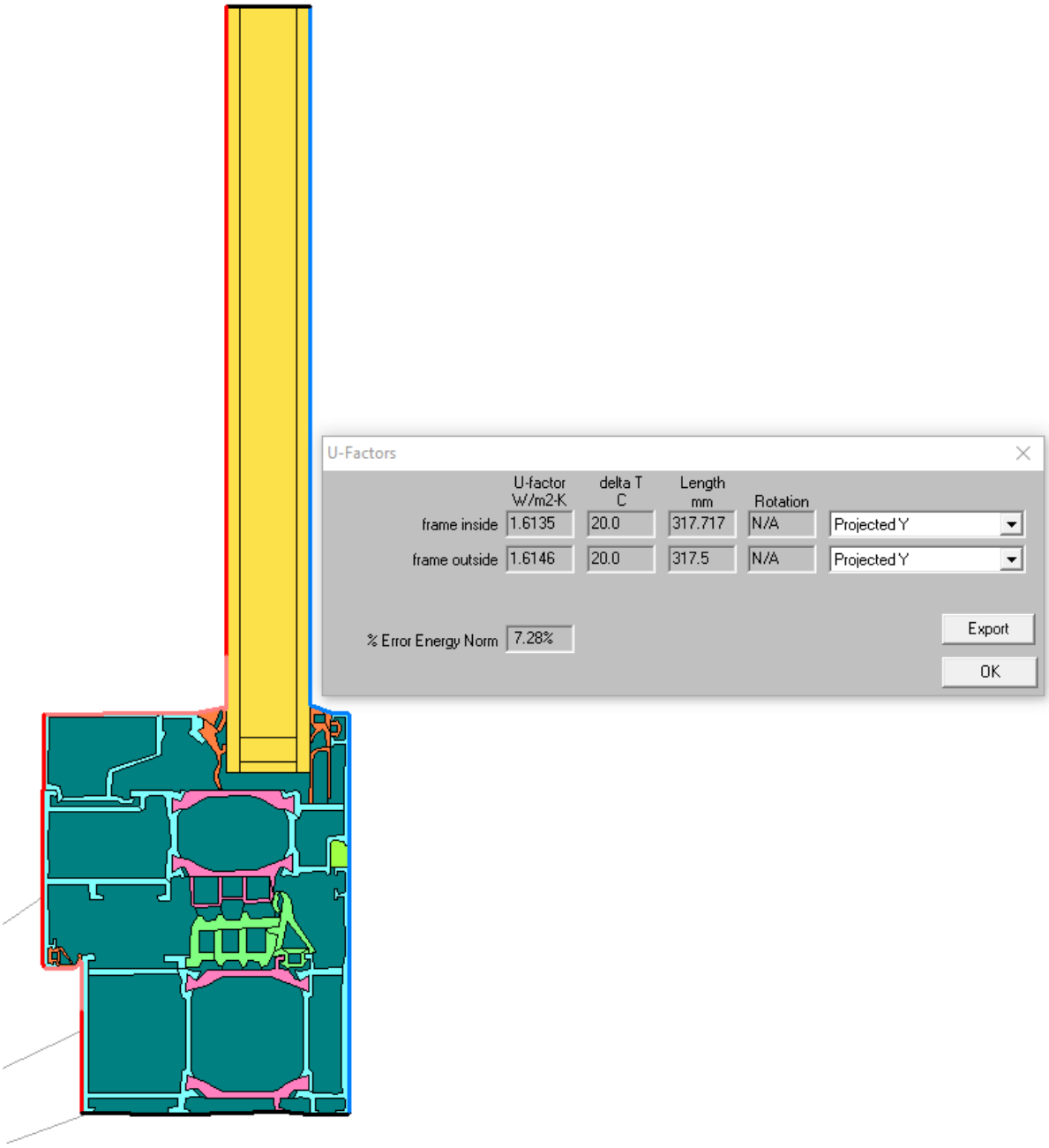
Bilaga 6: U-faktor resultat i THERM för träkarm med glas



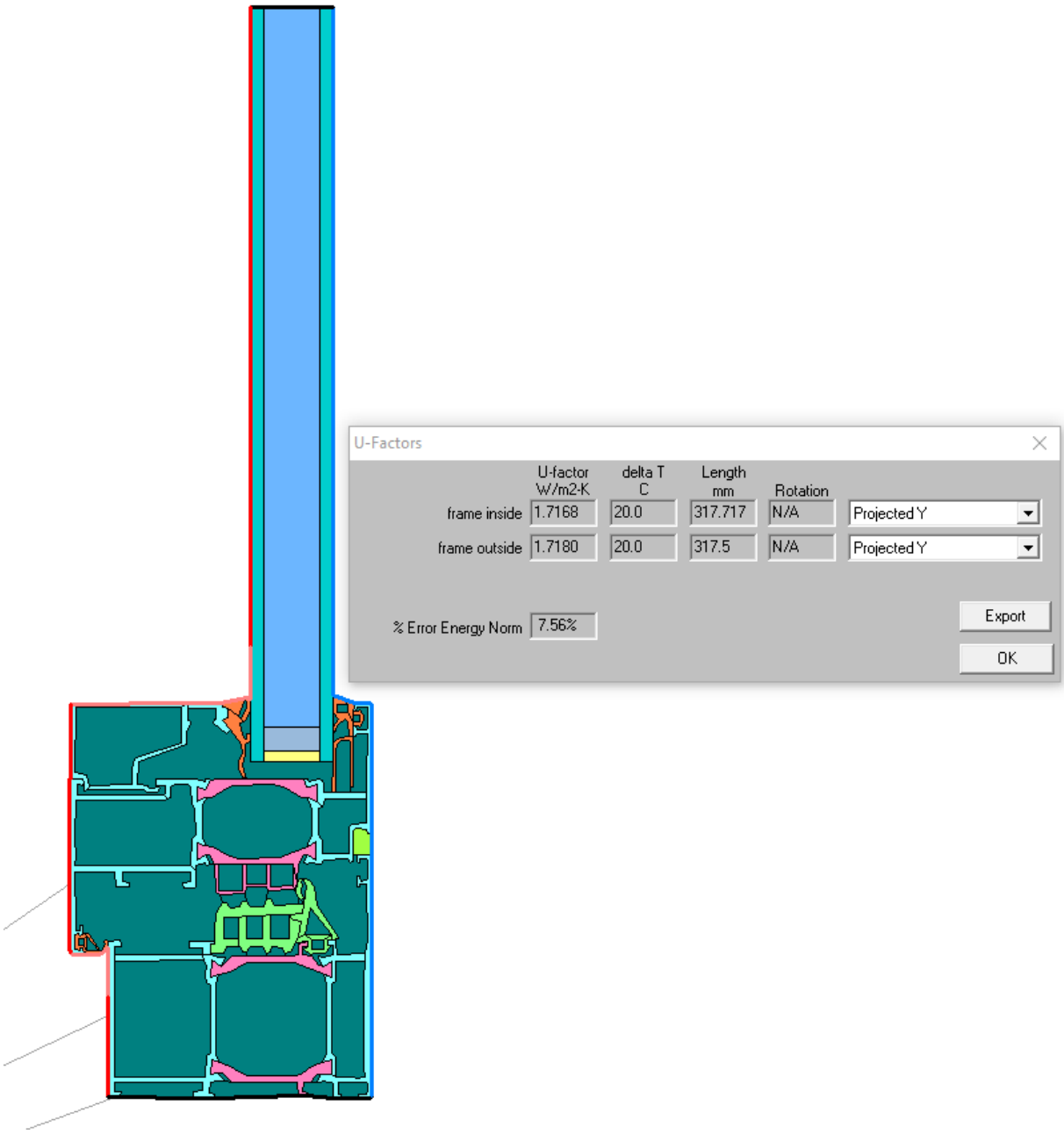
Bilaga 7: U-faktor resultat i THERM för PVC-karm med isoleringspanel



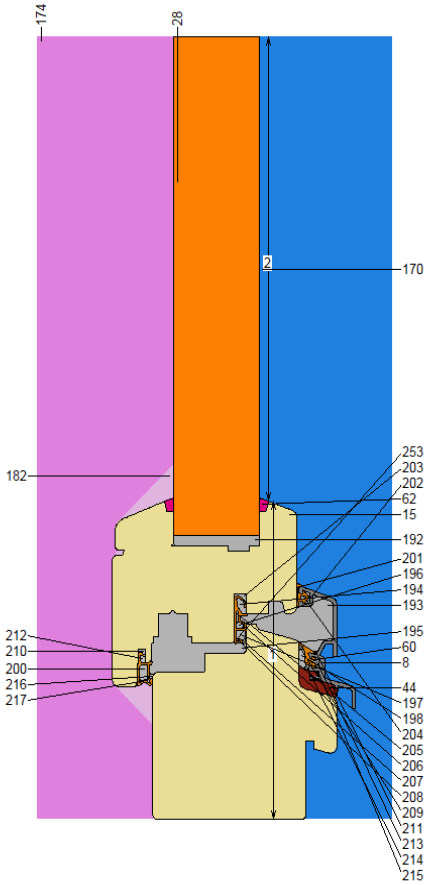
Bilaga 8: U-faktor resultat i THERM för PVC-karm med glas



Bilaga 9: U-faktor resultat i THERM för aluminiumkarm med isoleringspanel



Bilaga 10: U-faktor resultat i THERM för aluminiumkarm med glas



Bilaga 11: Träkarm med isoleringspanel i Bisco med färgnummer

BISCO DATA SUMMARY

BISCO data file name	**trä transmat.bsc**
Bitmap file name	**trä transmat.bmp**
Pixel width	**0.0001 m**
Triangulation size	**5 pixels**
Number of nodes	**81211**

Material thermal conductivity table

Col.	Name	lambda [W/mK]	eps [-]
8	aluminium	160.000	0.90
15	softwood_500_kg/m3	0.130	0.90
28	insulation_panel	0.035	0.90
44	polyamide_6,6_with_25_	0.300	0.90
60	EPDM	0.250	0.90
62	silicone_filled	0.500	0.90
253	cavity_<1x1_mm2	0.028	0.90

Boundary condition table

Col.	Name	t [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]
170	exterior	0.0	25.00	0
174	interior_(normal),_hor	20.0	7.70	0
182	indoors_(reduced)	20.0	5.00	0

Cavity equivalent thermal conductivity table

Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]
192	0.047	193	0.037	194	0.025	195	0.043
196	0.025	197	0.025	198	0.025	200	0.025
201	0.025	202	0.025	203	0.025	204	0.025
205	0.025	206	0.025	207	0.025	208	0.025
209	0.025	210	0.025	211	0.025	212	0.025
213	0.025	214	0.025	215	0.025	216	0.025
217	0.025						

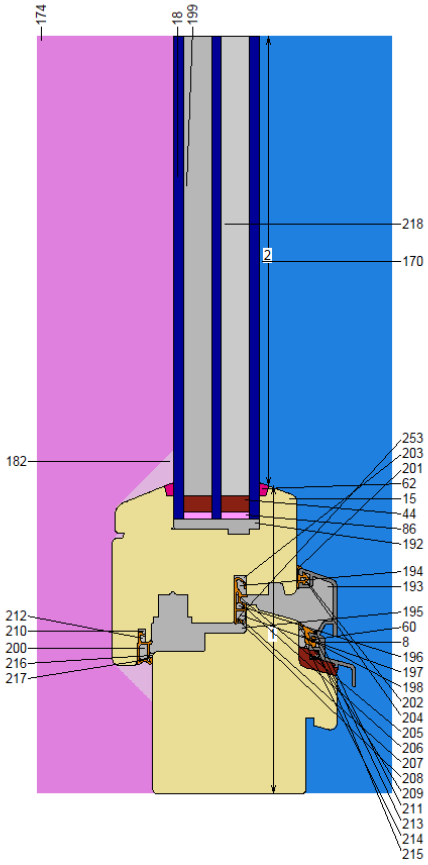
BISCO MAIN RESULTS

U-value of frame	**1.338 W/(m².K)**
Width of frame	**0.1300 m**
U-value of panel 1	**0.834 W/(m².K)**
Width of panel 1	**0.1900 m**

Frame thermal transmittance calculation table

```
Thermal transmittance of frame (EN 10077-2)
Uf = (Q/(ti-te) - Up1*wp1 - Up2*wp2) / wf = 1.338 W/(m².K)
  Q = 6.650 W/m
  ti = 20.00°C
  te = 0.00°C
  Up1 = 0.834 W/(m².K)   (top edge of bitmap)
  wp1 = 0.1900 m         (distance no. 2)
  Up2 = 0.000 W/(m².K)
  wp2 = 0.0000 m
  wf = 0.1300 m          (distance no. 1)
```

Bilaga 12: : Beräkningsresultat med träprofil för karmens U-värde i Bisco (Transmat)



Bilaga 13: Träkarm med glas i Bisco med färgnummer

BISCO DATA SUMMARY

BISCO data file name	**trä transmat glas.bsc**
Bitmap file name	**trä transmat glas.bmp**
Pixel width	**0.0001 m**
Triangulation size	**5 pixels**
Number of nodes	**80963**

Material thermal conductivity table

Col.	Name	lambda [W/mK]	eps [-]
8	aluminium	160.000	0.90
15	softwood_500_kg/m3	0.130	0.90
18	soda_lime	1.000	0.90
44	polyamide_6,6_with_25_	0.300	0.90
60	EPDM	0.250	0.90
62	silicone_filled	0.500	0.90
86	polysulfide	0.400	0.90
199		0.020	0.90
218		0.020	0.90
253	cavity_<1x1_mm2	0.028	0.90

Boundary condition table

Col.	Name	t [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]
170	exterior	0.0	25.00	0
174	interior_(normal),_hor	20.0	7.70	0
182	indoors_(reduced)	20.0	5.00	0

Cavity equivalent thermal conductivity table

Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]
192	0.039	193	0.037	194	0.025	195	0.043
196	0.025	197	0.025	198	0.025	200	0.025
201	0.025	202	0.025	203	0.025	204	0.025
205	0.025	206	0.025	207	0.025	208	0.025
209	0.025	210	0.025	211	0.025	212	0.025
213	0.025	214	0.025	215	0.025	216	0.025
217	0.025						

BISCO MAIN RESULTS

Ψ-value	**0.040 W/(m.K)**
U-value of panel 1	**0.724 W/(m².K)**
Width of panel 1	**0.1900 m**
U-value of panel 2	**1.338 W/(m².K)**
Width of panel 2	**1.1300 m**

Frame thermal transmittance calculation table

```
Linear thermal transmittance (EN ISO 10211)
psi = Q/(ti-te) - U1*l1 - U2*l2 = 0.040 W/(m.K)
Equivalent thermal transmittance
Ueq = Q/((ti-te)*(l1+l2)) = 1.097 W/(m².K)
  Q = 7.021 W/m
  ti = 20.00°C
  te = 0.00°C
  U1 = 0.724 W/(m².K)   (top edge of bitmap)
  l1 = 0.1900 m         (distance no. 2)
  U2 = 1.338 W/(m².K)   (bottom edge of bitmap)
  l2 = 0.1300 m         (distance no. 1)
```

Bilaga 14: Beräkningsresultat med träprofil för Psi-värdet i Bisco (Transmat)

BISCO DATA SUMMARY

BISCO data file name	**trä equimat.bsc**
Bitmap file name	**trä equimat.bmp**
Pixel width	**0.0001 m**
Triangulation size	**5 pixels**
Number of nodes	**79722**

Material thermal conductivity table

Col.	Name	lambda [W/mK]	eps [-]
8	aluminium	160.000	
15	softwood_500_kg/m3	0.130	
28	insulation_panel	0.035	
44	polyamide_6,6_with_25_	0.300	
60	EPDM	0.250	
62	silicone_filled	0.500	
253	cavity_<1x1_mm2	0.028	

Boundary condition table

Col.	Name	t [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]
170	exterior	0.0	25.00	0
174	interior_(normal),_hor	20.0	7.70	0
182	indoors_(reduced)	20.0	5.00	0

Cavity equivalent thermal conductivity table

Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]
192	0.113	193	0.108	194	0.034	195	0.120
196	0.033	197	0.035	198	0.033	200	0.039
201	0.026	202	0.031	203	0.033	204	0.030
205	0.029	206	0.028	207	0.029	208	0.028
209	0.029	210	0.032	211	0.027	212	0.031
213	0.032	214	0.030	215	0.032	216	0.029
217	0.029						

BISCO MAIN RESULTS

U-value of frame	**1.348 W/(m².K)**
Width of frame	**0.1300 m**
U-value of panel 1	**0.834 W/(m².K)**
Width of panel 1	**0.1900 m**

Frame thermal transmittance calculation table

```
Thermal transmittance of frame (EN 10077-2)
Uf = (Q/(ti-te) - Up1*wp1 - Up2*wp2) / wf = 1.348 W/(m².K)
  Q = 6.677 W/m
  ti = 20.00°C
  te = 0.00°C
  Up1 = 0.834 W/(m².K)   (top edge of bitmap)
  wp1 = 0.1900 m         (distance no. 2)
  Up2 = 0.000 W/(m².K)
  wp2 = 0.0000 m
  wf = 0.1300 m          (distance no. 1)
```

Bilaga 15: Beräkningsresultat för träkarmens U-värde i Bisco (Equimat)

BISCO DATA SUMMARY

BISCO data file name	**trä equimat glas.bsc**
Bitmap file name	**trä equimat glas.bmp**
Pixel width	**0.0001 m**
Triangulation size	**5 pixels**
Number of nodes	**79472**

Material thermal conductivity table

Col.	Name	lambda [W/mK]	eps [-]
8	aluminium	160.000	
15	softwood_500_kg/m3	0.130	
18	soda_lime	1.000	
44	polyamide_6,6_with_25_	0.300	
60	EPDM	0.250	
62	silicone_filled	0.500	
86	polysulfide	0.400	
199		0.020	
218		0.020	
253	cavity_<1x1_mm2	0.028	

Boundary condition table

Col.	Name	t [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]
170	exterior	0.0	25.00	0
174	interior_(normal),_hor	20.0	7.70	0
182	indoors_(reduced)	20.0	5.00	0

Cavity equivalent thermal conductivity table

Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]
192	0.102	193	0.108	194	0.034	195	0.120
196	0.033	197	0.035	198	0.033	200	0.039
201	0.026	202	0.031	203	0.033	204	0.030
205	0.029	206	0.028	207	0.029	208	0.028
209	0.029	210	0.032	211	0.027	212	0.031
213	0.032	214	0.030	215	0.032	216	0.030
217	0.029						

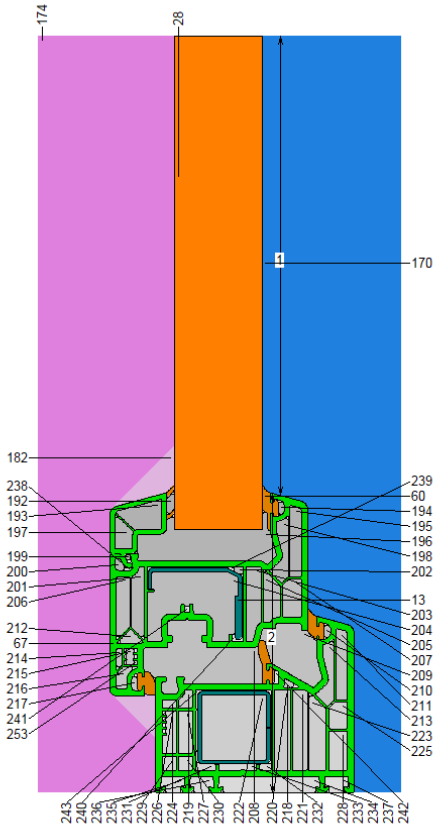
BISCO MAIN RESULTS

Ψ-value	**0.040 W/(m.K)**
U-value of panel 1	**0.724 W/(m².K)**
Width of panel 1	**0.1900 m**
U-value of panel 2	**1.348 W/(m².K)**
Width of panel 2	**0.1300 m**

Frame thermal transmittance calculation table

```
Linear thermal transmittance (EN ISO 10211)
psi = Q/(ti-te) - U1*l1 - U2*l2 = 0.040 W/(m.K)
Equivalent thermal transmittance
Ueq = Q/((ti-te)*(l1+l2)) = 1.101 W/(m².K)
  Q = 7.045 W/m
  ti = 20.00°C
  te = 0.00°C
  U1 = 0.724 W/(m².K)   (top edge of bitmap)
  l1 = 0.1900 m         (distance no. 2)
  U2 = 1.348 W/(m².K)   (bottom edge of bitmap)
  l2 = 0.1300 m         (distance no. 1)
```

Bilaga 16: Beräkningsresultat med träprofil för Psi-värdet i Bisco (Equimat)



Bilaga 17: PVC-karm med isoleringspanel i Bisco med färgnummer

BISCO DATA SUMMARY

BISCO data file name	**PVC bisco ELK.bsc**
Bitmap file name	**PVC bisco ELK.bmp**
Pixel width	**0.0001 m**
Triangulation size	**5 pixels**
Number of nodes	**87512**

Material thermal conductivity table

Col.	Name	lambda [W/mK]	eps [-]
13	steel	50.000	0.90
28	insulation_panel	0.035	0.90
60	EPDM	0.250	0.90
67	PVC_flexible	0.170	0.90
253	cavity_<1x1_mm2	0.028	0.90

Boundary condition table

Col.	Name	t [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]
170	exterior	0.0	25.00	0
174	interior_(normal),_hor	20.0	7.70	0
182	indoors_(reduced)	20.0	5.00	0

Cavity equivalent thermal conductivity table

Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]
192	0.025	193	0.025	194	0.025	195	0.025
196	0.075	197	0.025	198	0.025	199	0.025
200	0.025	201	0.025	202	0.025	203	0.025
204	0.033	205	0.025	206	0.025	207	0.025
208	0.051	209	0.025	210	0.025	211	0.025
212	0.025	213	0.025	214	0.025	215	0.025
216	0.025	217	0.025	218	0.025	219	0.025
220	0.025	221	0.025	222	0.025	223	0.025
224	0.025	225	0.025	226	0.025	227	0.025
228	0.025	229	0.025	230	0.025	231	0.025
232	0.025	233	0.025	234	0.047	235	0.025
236	0.025	237	0.025	238	0.025	239	0.025
240	0.025	241	0.025	242	0.025	243	0.025

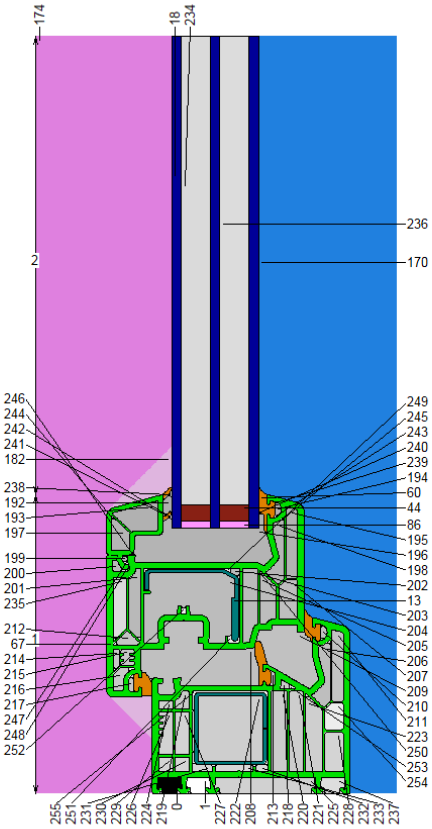
BISCO MAIN RESULTS

U-value of frame	**1.183 W/(m².K)**
Width of frame	**0.1240 m**
U-value of panel 1	**0.834 W/(m².K)**
Width of panel 1	**0.1900 m**

Frame thermal transmittance calculation table

```
Thermal transmittance of frame (EN 10077-2)
Uf = (Q/(ti-te) - Up1*wp1 - Up2*wp2) / wf = 1.183 W/(m².K)
  Q = 6.104 W/m
  ti = 20.00°C
  te = 0.00°C
  Up1 = 0.834 W/(m².K)   (top edge of bitmap)
  wp1 = 0.1900 m         (distance no. 1)
  Up2 = 0.000 W/(m².K)
  wp2 = 0.0000 m
  wf = 0.1240 m          (distance no. 2)
```

Bilaga 18: Beräkningsresultat med PVC-profil för karmens U-värde i Bisco (Transmat)



Bilaga 19: PVC-karm med glas i Bisco med färgnummer

BISCO DATA SUMMARY

BISCO data file name	**PVC bisco_2 ELK.bsc**
Bitmap file name	**PVC bisco_2 ELK.bmp**
Pixel width	**0.0001 m**
Triangulation size	**5 pixels**
Number of nodes	**87490**

Material thermal conductivity table

Col.	Name	lambda [W/mK]	eps [-]
13	steel	50.000	0.90
18		1.000	0.90
44	polyamide_6,6_with_25_	0.300	0.90
60	EPDM	0.250	0.90
67	PVC_flexible	0.170	0.90
86	polysulfide	0.400	0.90
234		0.020	0.90
236		0.020	0.90
253	cavity_<1x1_mm2	0.028	0.90

Boundary condition table

Col.	Name	t [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]
170	exterior	0.0	25.00	0
174	interior_(normal),_hor	20.0	7.70	0
182	indoors_(reduced)	20.0	5.00	0

Cavity equivalent thermal conductivity table

Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]
0	0.025	1	0.025	192	0.025	193	0.025
194	0.025	195	0.025	196	0.066	197	0.025
198	0.025	199	0.025	200	0.025	201	0.025
202	0.025	203	0.025	204	0.033	205	0.025
206	0.025	207	0.025	208	0.050	209	0.025
210	0.025	211	0.025	212	0.025	213	0.025
214	0.025	215	0.025	216	0.025	217	0.025
218	0.025	219	0.025	220	0.025	221	0.025
222	0.025	223	0.025	224	0.025	225	0.047
226	0.025	227	0.025	228	0.025	229	0.025
230	0.025	231	0.025	232	0.025	233	0.025
235	0.025	237	0.025	238	0.025	239	0.025
240	0.025	241	0.025	242	0.025	243	0.025
244	0.025	245	0.025	246	0.025	247	0.025
248	0.025	249	0.025	250	0.025	251	0.025
252	0.025	254	0.025	255	0.025		

BISCO MAIN RESULTS

Ψ-value	**0.038 W/(m.K)**
U-value of panel 1	**1.183 W/(m².K)**
Width of panel 1	**0.1240 m**
U-value of panel 2	**0.724 W/(m².K)**
Width of panel 2	**0.1900 m**

Frame thermal transmittance calculation table

```
Linear thermal transmittance (EN ISO 10211)
psi = Q/(ti-te) - U1*l1 - U2*l2 = 0.038 W/(m.K)
Equivalent thermal transmittance
Ueq = Q/((ti-te)*(l1+l2)) = 1.025 W/(m².K)
  Q = 6.435 W/m
  ti = 20.00°C
  te = 0.00°C
  U1 = 1.183 W/(m².K)   (bottom edge of bitmap)
  l1 = 0.1240 m         (distance no. 1)
  U2 = 0.724 W/(m².K)   (top edge of bitmap)
  l2 = 0.1900 m         (distance no. 2)
```

Bilaga 20: Beräkningsresultat med PVC-profil för Psi-värde i Bisco (Transmat)

BISCO DATA SUMMARY

BISCO data file name	**PVC bisco ELK equimat.bsc**
Bitmap file name	**PVC bisco ELK equimat.bmp**
Pixel width	**0.0001 m**
Triangulation size	**5 pixels**
Number of nodes	**81277**

Material thermal conductivity table

Col.	Name	lambda [W/mK]	eps [-]
13	steel	50.000	
28	insulation_panel	0.035	
60	EPDM	0.250	
67	PVC_flexible	0.170	
253	cavity_<1x1_mm2	0.028	

Boundary condition table

Col.	Name	t [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]
170	exterior	0.0	25.00	0
174	interior_(normal),_hor	20.0	7.70	0
182	indoors_(reduced)	20.0	5.00	0

Cavity equivalent thermal conductivity table

Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]
192	0.039	193	0.065	194	0.034	195	0.046
196	0.181	197	0.052	198	0.047	199	0.031
200	0.036	201	0.049	202	0.034	203	0.052
204	0.120	205	0.050	206	0.050	207	0.051
208	0.154	209	0.078	210	0.034	211	0.046
212	0.046	213	0.047	214	0.035	215	0.037
216	0.045	217	0.034	218	0.034	219	0.042
220	0.052	221	0.049	222	0.106	223	0.051
224	0.041	225	0.047	226	0.048	227	0.047
228	0.050	229	0.044	230	0.043	231	0.039
232	0.035	233	0.044	234	0.128	235	0.052
236	0.050	237	0.048	238	0.032	239	0.049
240	0.033	241	0.032	242	0.033	243	0.049

BISCO MAIN RESULTS

U-value of frame	**1.227 W/(m².K)**
Width of frame	**0.1240 m**
U-value of panel 1	**0.834 W/(m².K)**
Width of panel 1	**0.1900 m**

Frame thermal transmittance calculation table

```
Thermal transmittance of frame (EN 10077-2)
Uf = (Q/(ti-te) - Up1*wp1 - Up2*wp2) / wf = 1.227 W/(m².K)
  Q = 6.212 W/m
  ti = 20.00°C
  te = 0.00°C
  Up1 = 0.834 W/(m².K)   (top edge of bitmap)
  wp1 = 0.1900 m         (distance no. 1)
  Up2 = 0.000 W/(m².K)
  wp2 = 0.0000 m
  wf = 0.1240 m          (distance no. 2)
```

Bilaga 21: Beräkningsresultat med PVC-profil för karmens U-värde i Bisco (Equimat)

BISCO DATA SUMMARY

BISCO data file name	**PVC bisco_2 ELK equimat.bsc**
Bitmap file name	**PVC bisco_2 ELK equimat.bmp**
Pixel width	**0.0001 m**
Triangulation size	**5 pixels**
Number of nodes	**81136**

Material thermal conductivity table

Col.	Name	lambda [W/mK]	eps [-]
13	steel	50.000	
18		1.000	
44	polyamide_6,6_with_25_	0.300	
60	EPDM	0.250	
67	PVC_flexible	0.170	
86	polysulfide	0.400	
234		0.020	
236		0.020	
253	cavity_<1x1_mm2	0.028	

Boundary condition table

Col.	Name	t [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]
170	exterior	0.0	25.00	0
174	interior_(normal),_hor	20.0	7.70	0
182	indoors_(reduced)	20.0	5.00	0

Cavity equivalent thermal conductivity table

Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]
0	0.052	1	0.050	192	0.038	193	0.066
194	0.034	195	0.045	196	0.171	197	0.052
198	0.047	199	0.031	200	0.036	201	0.049
202	0.034	203	0.053	204	0.120	205	0.050
206	0.047	207	0.051	208	0.152	209	0.078
210	0.034	211	0.046	212	0.046	213	0.033
214	0.035	215	0.042	216	0.045	217	0.034
218	0.034	219	0.042	220	0.052	221	0.049
222	0.106	223	0.051	224	0.041	225	0.128
226	0.049	227	0.048	228	0.050	229	0.044
230	0.043	231	0.039	232	0.035	233	0.044
235	0.050	237	0.048	238	0.029	239	0.028
240	0.028	241	0.028	242	0.028	243	0.028
244	0.029	245	0.028	246	0.030	247	0.030
248	0.032	249	0.049	250	0.028	251	0.033
252	0.032	254	0.047	255	0.049		

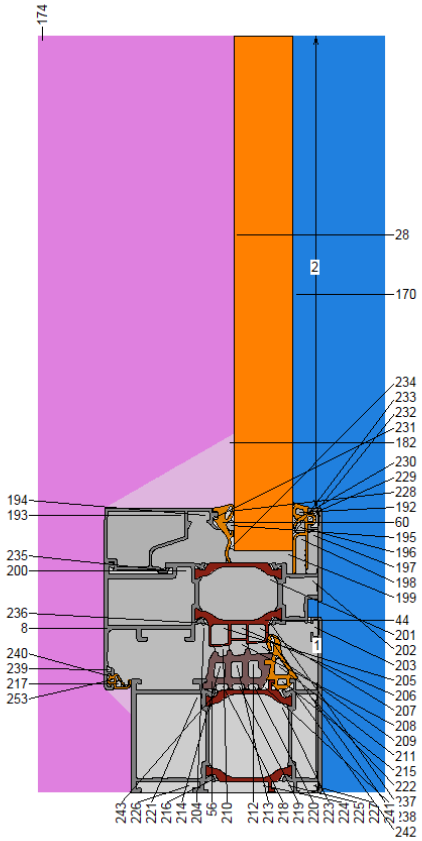
BISCO MAIN RESULTS

Ψ-value	**0.037 W/(m.K)**
U-value of panel 1	**1.227 W/(m².K)**
Width of panel 1	**0.1240 m**
U-value of panel 2	**0.724 W/(m².K)**
Width of panel 2	**0.1900 m**

Frame thermal transmittance calculation table

```
Linear thermal transmittance (EN ISO 10211)
psi = Q/(ti-te) - U1*l1 - U2*l2 = 0.037 W/(m.K)
Equivalent thermal transmittance
Ueq = Q/((ti-te)*(l1+l2)) = 1.041 W/(m².K)
  Q = 6.538 W/m
  ti = 20.00°C
  te = 0.00°C
  U1 = 1.227 W/(m².K)   (bottom edge of bitmap)
  l1 = 0.1240 m         (distance no. 1)
  U2 = 0.724 W/(m².K)   (top edge of bitmap)
  l2 = 0.1900 m         (distance no. 2)
```

Bilaga 22: Beräkningsresultat med PVC-profil för Psi-värde i Bisco (Equimat)



Bilaga 23: Aluminiumkarm med isoleringspanel i Bisco med färgnummer

BISCO DATA SUMMARY

BISCO data file name	**Aluminium bisco Transmat ELK.bsc**
Bitmap file name	**Aluminium bisco Transmat ELK.bmp**
Pixel width	**0.0001 m**
Triangulation size	**5 pixels**
Number of nodes	**72197**

Material thermal conductivity table

Col.	Name	lambda [W/mK]	eps [-]
8	aluminium	160.000	0.90
28	insulation_panel	0.035	0.90
44	polyamide_6,6_with_25_	0.300	0.90
56	elastomeric_foam,_flex	0.050	0.90
60	EPDM	0.250	0.90
253	cavity_<1x1_mm2	0.028	0.90

Boundary condition table

Col.	Name	t [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]
170	exterior	0.0	25.00	0
174	interior_(normal),_hor	20.0	7.70	0
182	indoors_(reduced)	20.0	5.00	0

Cavity equivalent thermal conductivity table

Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]
192	0.025	193	0.025	194	0.025	195	0.025
196	0.025	197	0.025	198	0.025	199	0.025
200	0.025	201	0.052	202	0.025	203	0.025
204	0.033	205	0.025	206	0.025	207	0.025
208	0.025	209	0.025	210	0.025	211	0.025
212	0.025	213	0.025	214	0.025	215	0.025
216	0.025	217	0.025	218	0.025	219	0.025
220	0.025	221	0.025	222	0.025	223	0.051
224	0.025	225	0.025	226	0.025	227	0.025
228	0.025	229	0.025	230	0.025	231	0.025
232	0.025	233	0.025	234	0.025	235	0.025
236	0.025	237	0.025	238	0.025	239	0.025
240	0.025	241	0.025	242	0.025	243	0.025

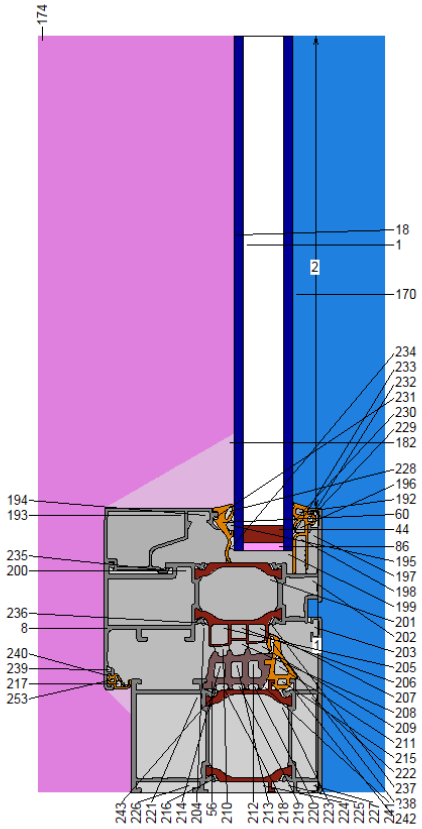
BISCO MAIN RESULTS

U-value of frame	**2.383 W/(m².K)**
Width of frame	**0.1150 m**
U-value of panel 1	**1.169 W/(m².K)**
Width of panel 1	**0.1910 m**

Frame thermal transmittance calculation table

```
Thermal transmittance of frame (EN 10077-2)
Uf = (Q/(ti-te) - Up1*wp1 - Up2*wp2) / wf = 2.383 W/(m².K)
  Q = 9.945 W/m
  ti = 20.00°C
  te = 0.00°C
  Up1 = 1.169 W/(m².K)   (top edge of bitmap)
  wp1 = 0.1910 m         (distance no. 2)
  Up2 = 0.000 W/(m².K)
  wp2 = 0.0000 m
  wf = 0.1150 m          (distance no. 1)
```

Bilaga 24: Beräkningsresultat med aluminiumprofil för karmens U-värde i Bisco (Transmat)



Bilaga 25: Aluminiumkarm med glas i Bisco med färgnummer

BISCO DATA SUMMARY

BISCO data file name	**Aluminium bisco Transmat ELK glas.bsc**
Bitmap file name	**Aluminium bisco Transmat ELK glas.bmp**
Pixel width	**0.0001 m**
Triangulation size	**5 pixels**
Number of nodes	**72038**

Material thermal conductivity table

Col.	Name	lambda [W/mK]	eps [-]
1		0.022	0.90
8	aluminium	160.000	0.90
18	soda_lime	1.000	0.90
44	polyamide_6,6_with_25_	0.300	0.90
56	elastomeric_foam,_flex	0.050	0.90
60	EPDM	0.250	0.90
86	polysulfide	0.400	0.90
253	cavity_<1x1_mm2	0.028	0.90

Boundary condition table

Col.	Name	t [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]
170	exterior	0.0	25.00	0
174	interior_(normal),_hor	20.0	7.70	0
182	indoors_(reduced)	20.0	5.00	0

Cavity equivalent thermal conductivity table

Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]
192	0.025	193	0.025	194	0.025	195	0.025
196	0.025	197	0.025	198	0.025	199	0.025
200	0.025	201	0.051	202	0.025	203	0.025
204	0.033	205	0.025	206	0.025	207	0.025
208	0.025	209	0.025	210	0.025	211	0.025
212	0.025	213	0.025	214	0.025	215	0.025
216	0.025	217	0.025	218	0.025	219	0.025
220	0.025	221	0.025	222	0.025	223	0.051
224	0.025	225	0.025	226	0.025	227	0.025
228	0.025	229	0.025	230	0.025	231	0.025
232	0.025	233	0.025	234	0.025	235	0.025
236	0.025	237	0.025	238	0.025	239	0.025
240	0.025	241	0.025	242	0.025	243	0.025

BISCO MAIN RESULTS

Ψ-value	**0.043 W/(m.K)**
U-value of panel 1	**1.105 W/(m².K)**
Width of panel 1	**0.1910 m**
U-value of panel 2	**2.383 W/(m².K)**
Width of panel 2	**0.1150 m**

Frame thermal transmittance calculation table

```
Linear thermal transmittance (EN ISO 10211)
psi = Q/(ti-te) - U1*l1 - U2*l2 = 0.043 W/(m.K)
Equivalent thermal transmittance
Ueq = Q/((ti-te)*(l1+l2)) = 1.727 W/(m².K)
  Q = 10.571 W/m
  ti = 20.00°C
  te = 0.00°C
  U1 = 1.105 W/(m².K)   (top edge of bitmap)
  l1 = 0.1910 m         (distance no. 2)
  U2 = 2.383 W/(m².K)   (bottom edge of bitmap)
  l2 = 0.1150 m         (distance no. 1)
```

Bilaga 26: Beräkningsresultat med aluminiumprofil för Psi-värde i Bisco (Transmat)

BISCO DATA SUMMARY

BISCO data file name	**Aluminium bisco Equimat ELK.bsc**
Bitmap file name	**Aluminium bisco Equimat ELK.bmp**
Pixel width	**0.0001 m**
Triangulation size	**5 pixels**
Number of nodes	**66950**

Material thermal conductivity table

Col.	Name	lambda [W/mK]	eps [-]
8	aluminium	160.000	
28	insulation_panel	0.035	
44	polyamide_6,6_with_25_	0.300	
56	elastomeric_foam,_flex	0.050	
60	EPDM	0.250	
253	cavity_<1x1_mm2	0.028	

Boundary condition table

Col.	Name	t [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]
170	exterior	0.0	25.00	0
174	interior_(normal),_hor	20.0	7.70	0
182	indoors_(reduced)	20.0	5.00	0

Cavity equivalent thermal conductivity table

Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]
192	0.032	193	0.093	194	0.085	195	0.035
196	0.036	197	0.042	198	0.043	199	0.068
200	0.109	201	0.133	202	0.060	203	0.072
204	0.122	205	0.047	206	0.043	207	0.045
208	0.044	209	0.045	210	0.040	211	0.039
212	0.040	213	0.039	214	0.039	215	0.033
216	0.031	217	0.032	218	0.038	219	0.037
220	0.035	221	0.114	222	0.059	223	0.141
224	0.080	225	0.044	226	0.079	227	0.044
228	0.031	229	0.036	230	0.029	231	0.031
232	0.031	233	0.029	234	0.032	235	0.041
236	0.031	237	0.029	238	0.031	239	0.030
240	0.030	241	0.034	242	0.037	243	0.034

BISCO MAIN RESULTS

U-value of frame	**2.352 W/(m².K)**
Width of frame	**0.1150 m**
U-value of panel 1	**1.169 W/(m².K)**
Width of panel 1	**0.1910 m**

Frame thermal transmittance calculation table

```
Thermal transmittance of frame (EN 10077-2)
Uf = (Q/(ti-te) - Up1*wp1 - Up2*wp2) / wf = 2.352 W/(m².K)
  Q = 9.875 W/m
  ti = 20.00°C
  te = 0.00°C
  Up1 = 1.169 W/(m².K)   (top edge of bitmap)
  wp1 = 0.1910 m         (distance no. 2)
  Up2 = 0.000 W/(m².K)
  wp2 = 0.0000 m
  wf = 0.1150 m          (distance no. 1)
```

Bilaga 27: Beräkningsresultat med aluminiumprofil för karmens U-värde i Bisco (Equimat)

BISCO DATA SUMMARY

BISCO data file name	**Aluminium bisco Equimat ELK glas.bsc**
Bitmap file name	**Aluminium bisco Equimat ELK glas.bmp**
Pixel width	**0.0001 m**
Triangulation size	**5 pixels**
Number of nodes	**66791**

Material thermal conductivity table

Col.	Name	lambda [W/mK]	eps [-]
1	air_cavity	0.022	
8	aluminium	160.000	
18		1.000	
44	polyamide_6,6_with_25_	0.300	
56	elastomeric_foam,_flex	0.050	
60	EPDM	0.250	
86	polysulfide	0.400	
253	cavity_<1x1_mm2	0.028	

Boundary condition table

Col.	Name	t [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]
170	exterior	0.0	25.00	0
174	interior_(normal),_hor	20.0	7.70	0
182	indoors_(reduced)	20.0	5.00	0

Cavity equivalent thermal conductivity table

Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]
192	0.032	193	0.093	194	0.087	195	0.034
196	0.036	197	0.040	198	0.043	199	0.061
200	0.110	201	0.132	202	0.059	203	0.073
204	0.122	205	0.047	206	0.043	207	0.045
208	0.044	209	0.045	210	0.040	211	0.039
212	0.040	213	0.039	214	0.039	215	0.033
216	0.031	217	0.032	218	0.038	219	0.037
220	0.035	221	0.114	222	0.059	223	0.141
224	0.080	225	0.044	226	0.079	227	0.044
228	0.031	229	0.034	230	0.029	231	0.031
232	0.031	233	0.029	234	0.031	235	0.044
236	0.031	237	0.029	238	0.031	239	0.030
240	0.030	241	0.034	242	0.037	243	0.034

BISCO MAIN RESULTS

Ψ-value	**0.044 W/(m.K)**
U-value of panel 1	**2.352 W/(m².K)**
Width of panel 1	**0.1150 m**
U-value of panel 2	**1.105 W/(m².K)**
Width of panel 2	**0.1910 m**

Frame thermal transmittance calculation table

```
Linear thermal transmittance (EN ISO 10211)
psi = Q/(ti-te) - U1*l1 - U2*l2 = 0.044 W/(m.K)
Equivalent thermal transmittance
Ueq = Q/((ti-te)*(l1+l2)) = 1.719 W/(m².K)
  Q = 10.519 W/m
  ti = 20.00°C
  te = 0.00°C
  U1 = 2.352 W/(m².K)   (bottom edge of bitmap)
  l1 = 0.1150 m         (distance no. 1)
  U2 = 1.105 W/(m².K)   (top edge of bitmap)
  l2 = 0.1910 m         (distance no. 2)
```

Bilaga 28: Beräkningsresultat med aluminiumprofil för Psi-värdet i Bisco (Equimat)

HÖGSKOLAN
I BORÅS

Besöksadress: Allégatan 1 · Postadress: 501 90 Borås · Tfn: 033-435 40 00 · E-post: registrator@hb.se · Webb: www.hb.se