CHALMERS

VETENSKAPLIG RAPPORT

Glasade utrymmen för ett resurseffektivt, socialt och hälsofrämjande boende

Del 2. Designstöd för arkitektonisk utformning och teknisk design med avseende på användning och komfort

PAULA WAHLGREN
RUXANDRA BARDAS-DUNARE
KAJSA CRONA
FREDRIK DOMHAGEN
CARL-ERIC HAGENTOFT
TOIVO SÄWÉN
ALESIA WESSFELDT

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
Avdelningen för byggnadsteknologi och avdelningen för byggnadsdesign

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se

RAPPORT ACE 2021:6

Glasade utrymmen för ett resurseffektivt, socialt och hälsofrämjande boende

Del 2. Designstöd för arkitektonisk utformning och teknisk design med avseende på användning och komfort

Rapport

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

PAULA WAHLGREN

RUXANDRA BARDAS-DUNARE

KAJSA CRONA

FREDRIK DOMHAGEN

CARL-ERIC HAGENTOFT

TOIVO SÄWÉN

ALESIA WESSFELDT

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi, Avdelningen för byggnadsdesign
Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Sverige, 2021

Glasade utrymmen för ett resurseffektivt, socialt och hälsofrämjande boende

Del 2. Designstöd för arkitektonisk utformning och teknisk design med avseende på användning och komfort

Rapport

PAULA WAHLGREN

RUXANDRA BARDAS-DUNARE

KAJSA CRONA

FREDRIK DOMHAGEN

CARL-ERIC HAGENTOFT

TOIVO SÄWÉN

ALESIA WESSFELDT

© PAULA WAHLGREN, RUXANDRA BARDAS-DUNARE, KAJSA CRONA, FREDRIK DOMHAGEN, CARL-ERIC HAGENTOFT, TOIVO SÄWÉN, ALESIA WESSFELDT, 2021

Rapport ACE 2021:6

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola, 2021

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi, Avdelningen för byggnadsdesign
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: 031-772 1000

Omslag:
Höstvetet, Stockholm.

Glazed spaces for a resource efficient, social and healthy living
Part 2. Design support for architectural and technical design with respect to usage and comfort

Report
Civil and Environmental Engineering

PAULA WAHLGREN, RUXANDRA BARDAS-DUNARE, KAJSA CRONA, FREDRIK DOMHAGEN, CARL-ERIC HAGENTOFT, TOIVO SÄWÉN, ALESIA WESSFELDT, 2021

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Building Technology and Division of Building Design
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The purpose of the Spaces Project is to investigate glazed spaces in residential buildings from both a building physical and architectural point of view and to provide descriptions of how they work, with regard to thermal comfort and to social aspects. This has resulted in tools for the design of glazed spaces that take into account the social aspects and the thermal comfort. A challenge for the architect is to determine and describe the geometry of the glazed space, which materials make up the connecting surfaces and what properties the surrounding glass surfaces should have. With very little time, it is desirable in the design phase to get clear indications of temperature conditions in the glazed space, in particular how high the temperatures will become in summertime.

The Spaces project began with a literature study on glazed spaces, dealing with geometry of the spaces, glazing, usage, thermal comfort, ventilation, energy, social aspects and cultivation. Subsequently, eight relevant buildings were identified, called case studies, which were examined in detail during study visits and with the help of drawings and measurements of temperature and daylight. The buildings are located in Malmö, Eslöv, Gothenburg, Stockholm, Umeå and on Hönö.

For all case studies, interviews have been conducted with residents and with professionals such as consultants, managers, architects, project managers, about the glazed space and how it works, mainly with regard to social sustainability but also technical functions. The residents have also responded to a survey and rated qualities in the areas of thermal comfort for different seasons, air quality, daylight, social activities and relaxation. With the help of the material from this part of the project, a checklist for the design of atriums has been produced which, for example, includes social activities, visibility, furnishability.

In order to assess thermal comfort, an excel-based calculation tool, Spaces Calculator, for calculating temperatures in glazed spaces was created. The calculation model was designed so that architects, during the design stage, have access to a tool that is easy to start using, and where parameters can be varied quickly (e.g. geometries, glazing and materials), since in the design stage is desirable to be able to investigate many alternatives.

The results from Spaces Calculator have been compared with results from the building simulation program IDA ICE, and user-friendliness has been tested by architects. Manual for Spaces Calculator and a number of examples of thermal variations when you change parameters for a building are produced. These examples show, for example, that a taller building reduces problems with overtemperatures in the summer, that heavier surface materials (with higher heat storage capacity) facing the glazed space dampen temperature fluctuations and how much a reduced g-value on skylights can reduce overtemperatures.

To sum up, there are four main outcomes of the Spaces project; the literature survey, the case studies with interviews, the calculation tool Spaces Calculator with parameter studies, and the design checklist.

Key words: Atrium, glazed spaces, architectural design

Innehåll

1 INTRODUKTION 11

1.1 Målsättning 12

1.2 Omfattning 13

1.3 Metod 13

2 THE SPACES CALCULATOR 14

2.1 Beskrivning av Spaces Calculator och indata 14

2.2 Jämförelse Spaces Calculator och IDA ICE 19

3 SIMULERINGAR MED SPACES CALCULATOR 24

3.1 Indata för simulerade fall 24

3.2 Resultat för simulerade fall 26

3.3 Att använda Spaces Calculator 32

4 ATRIERS FUNKTION 33

4.1 Atrium med glasat tak och två glasade sidor –brf Sjöjungfrun 35

4.2 Stort atrium med glasat tak och en glasad sida- Bovieran Hönö 37

4.3 Atrium med enbart glasat tak –brf Musteriet 39

5 VIKTIGA PARAMETRAR FÖR DESIGN AV GLASAT UTRYMME 41

5.1 Aspekter som inverkar på användbarhet av atrium 41

5.2 Checklista för atrium 44

6 HINDER FÖR GLASADE UTRYMMEN I FLERBOSTADSHUS 45

6.1 Praxis gällande betalningsmodell för kommunal mark 45

6.2 Detaljplan 45

6.3 Rum mot det fria 45

6.4 Investeringskalkyl 46

7 SAMMANFATTNING AV SPACES-PROJEKTET 47

8 REFERENSER 49

9 BILAGOR 51

Förord

Detta projekt har utförts som ett samarbete mellan Chalmers tekniska högskola, institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, och Sweco Architects AB.

Projektledare har varit Paula Wahlgren, Chalmers och Kajsa Crona, Chalmers/Sweco. Carl-Eric Hagentoft, Chalmers har utvecklat beräkningsmodellen, och övriga medverkande är Ruxandra Bardas-Dunare, Alesia Wessfeldt, Fredrik Domhagen, Toivo Säwén, Johanna Hansson och Lucrecia Parma.

Tack till alla medverkande boende och representanter i de olika fallstudierna, till referensgruppen och till Boverket som har finansierat studien.

Göteborg, September 2021
Paula Wahlgren

1 Introduktion

Glasade geometrier i bostäder och deras närhet kan användas på flera sätt för att få en hälsofrämjande och resurseffektiv byggnad. I traditionell bostadsbebyggelse fanns ofta en farstu eller förstuga. Den fungerade som ett vindfång. Vintertid steg man in i den ouppvärmda farstun, hängde av sig den tjocka yllerocken och när man väl steg in i den uppvärmda stugan släppte man ut minimalt med värme. Farstun fungerade som buffertzon. En liknande funktion hade glasverandan. Även den var ouppvärmd och avskild från huset i övrigt. Sommartid var det ett extra rum medan den under vintertid avskilde insidan genom att vara en ouppvärmd buffertzon. Tunna ytterväggar och fönster gjorde glasverandan till ett välkommet extra skal och den flyttade även vindens påverkan på innetemperaturen ut från ytterväggen.

Funktionen kan liknas vid atriets funktion. Ett atrium mellan två hus kan skapa ett klimatskyddat utrymme, som kan fungera som buffertzon och även som vistelsezon. Rätt utformat kan atriet utgöra en mötesplats, en plats för avkoppling eller för odling. I viss mån kan atriet användas för att spara energi (genom att det minskar värmeförluster från bostadshusen) men man kan också riskera övertemperaturer. Gemensamma (kommunikations-) utrymmen såsom trapphus, entréer, korridorer etc utgör ca 10-40 % av tillgänglig yta i byggnader. Med en smart placering av transportutrymmen kan 13% energibesparing åstadkommas (Pitts & Saleh, 2007). För detta fall är transportutrymmet simulerat runt om byggnaden.

På 1980-talet startade ett antal mycket ambitiösa projekt med glasade gårdar, till exempel Höstvetet i Stockholm och Gårdsåkra i Eslöv. Ambitionen var att skapa hållbara och energieffektiva stadsdelar. Stockholmsprojekten följdes noggrant (Norrby-Herdenfeldt, 1989; Engvall, 1989; Norrby, 1992) och svårigheterna med att uppnå mål lyftes fram. Gårdsåkra-projektet bestod av två rader flerbostadshus (3 våningar högt) med en lång (375 m) överglasad gata mellan, samt med skola och förskola (Wall, 1996). Energianvändningen för den överglasade gatan blev mycket högre än väntat och ännu högre än motsvarande gata utan överglasning (Lange, 1986). Den sociala målsättningen nåddes inte riktigt. Det visade sig att de boende i och för sig var nöjda med gårdarna men även att de inte användes i någon större utsträckning.

Detta resultat skiljer sig från ett betydligt modernare bostadshus, Brf. Sjöjungfrun, byggt 2005 i Umeå, som varit ett av studieobjekten i detta projekt. Där var den gemensamma gården en mycket uppskattad del av bostadshuset. Den har en vinterträdgård mellan två 5-vånings bostadshus och varje lägenhet har en privat del bestående av en balkong i atriet. Detta projekt har boende som uttrycker stor tillfredsställelse med den sociala miljön och 96% av boende säger att de skulle rekommendera att köpa en atriumlägenhet (Danielski, 2016). Vissa boende på de övre våningarna upplever dock obehag på grund av övertemperaturer på sommaren (Crona m.fl., 2021). Med andra ord, Sjöjungfrun-projektet har en bra social miljö men fortfarande tekniska problem.

Vad som gör glasade gårdar till ett användbart utrymme med plats för både privata och gemensamma ytor samt en termisk komfort som upplevs tillfredsställande av de boende har varit fokus i detta projekt. I projektet har glasade utrymmen undersökts

både ur ett ingenjörsperspektiv (exempelvis dagsljus, termisk komfort) och ett arkitektperspektiv (exempelvis byggnadsdesign, sociala aktiviteter) och hjälpmedel och beskrivningar har tagits fram. Dessa finns i skriftlig form (rapporter, artiklar, presentationer) och i form av ett beräkningsverktyg i Excel. Målsättningen med excelverktyget är att arkitekter i skisskedet skall kunna undersöka den termiska komforten i ett glasat utrymme.

Ytterligare en viktig aspekt som är inkluderat i projektet är hur man beräknar bruttoarean (BTA) för inglasningar och vilka konsekvenser detta får. I flerbostadshus planerar man idag för att minimera glasade utrymmen (såsom inglasade balkonger, entrér och trapphus) eftersom de påverkar nyckeltalen i budgeteringen av byggnaderna. Bruttoarean (BTA) beräknas genom att räkna samman alla ytor som omges av vägg, dvs även inglasade balkonger och entréer ingår i den ytan. Bygglovet begränsar ofta bruttoarean och betalningsmodellen från många kommuner är att byggherre betalar för byggd yta. Detta betyder att inglasningar och trapphus ska vara så små som möjligt för att maximera boytan.

Arbetet i projektet Spaces gjordes i två delar. Första delen hade fokus på att ta fram de viktigaste parametrarna och att förstå vad som fungerar och inte fungerar i ett glasat utrymme. Initialt utfördes en litteraturstudie om glasade utrymmen med avseende på sociala aspekter, energi/termisk komfort, hälsa, dagsljus, odling och ventilation. Därefter identifierades ett antal fallstudiebyggnader med glasade utrymmen, främst atrier, som sedan besöktes och dokumenterades. Boende, projektledare, konsulter, arkitekter och andra med anknytning till byggnaderna intervjuades, och ett antal boende svarade också på enkäter om sina boendeupplevelser, huvudsakligen inom ovanstående ämnen. Därefter analyserades materialet och viktiga parametrar urskildes.

Del 1 av projektet finns beskrivet i rapporten ”Glazed spaces for a resource efficient, social and healthy living, Part 1. Inventory of geometries and functions by study visits and interviews” (Crona m.fl., 2021). Vissa tekniska delar har också analyserats inom ramen för examensarbetet ” Numerical simulations of thermal comfort in an atrium - The impact of thermal mass and atrium dimensions” (Hansson, 2020) och i examensarbetet ”Glazed connections - A design strategy to promote wellbeing and social interaction within glazed spaces in residential buildings” (Parma, 2020) har även sociala delar analyserats. De första fallstudierna finns även kort presenterade i material från konferensen Beyond 2020, World sustainable built environment (Wahlgren m.fl., 2020).

I del 2 (beskrivet i denna rapport) är fokus att ta fram hjälpmedel till arkitekten att användas under skisskedet för att skapa väl fungerande glasade utrymmen.

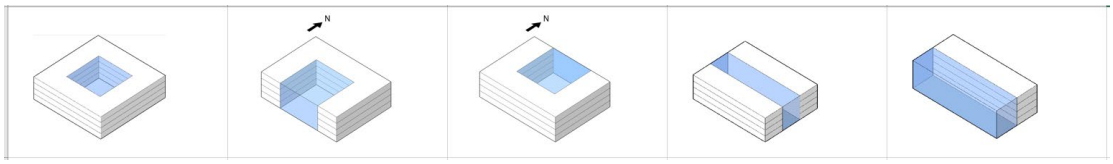
1.1 Målsättning

Målsättningen med projektet är att ge exempel på glasade utrymmen, främst atrier, i bostadshus i Sverige, och ge beskrivningar av hur de fungerar, både ur användningssynpunkt och med avseende på termisk komfort. Detta resulterar sedan i stödmaterial för utformning av glasade utrymmen med avseende på social samvaro och trygghet. Ytterligare en målsättning är att ge ett beräkningsverktyg till att utvärdera glasade geometrier med avseende på termisk komfort, där möjligheten att

snabbt kunna ändra geometrin på det glasade utrymmet är en viktig aspekt. Tanken är att detta skall vara ett verktyg för arkitekten i skisskedet. De glasade utrymmena är ouppvärmda, vilket är en förutsättning för att de skall vara energieffektiva. En utvärdering av hur de nuvarande beräkningarna av areor för bygglov påverkar de glasade utrymmena är också inkluderat.

1.2 Omfattning

I projektet inkluderas glasade utrymmen i Sverige, med fokus på atrier. Utrymmena är i de flesta fall utan mekanisk ventilation, kyla och med ingen eller litet värmetillskott i utrymmet. Odling behandlas enbart i fallstudier. I utvärderingsverktyget för termisk komfort i glasade utrymmen inkluderas transmissionsförluster, värmelagring i byggmaterial och mark, solstrålning och uteklimat. De glasade utrymmena i utvärderingsverktyget omslutna av bostadshuset på ett till fyra sidor, se figur 1.1.



Figur 1.1. Spaces beräkningsverktyg kan användas för flera typer av geometrier.

1.3 Metod

I projektet används intervjuer, enkäter och studiebesök för att få fram de parametrar som påverkar hur väl det glasade utrymmet fungerar. Under studiebesöken gjordes även vissa mätningar. Resultaten från ovanstående delar har ytterligare analyserats och ett beräkningsverktyg, *Spaces Calculator*, för beräkning av lufttemperaturer i glasade utrymmen har skapats. Litteraturstudier kompletterar information om parametrarna, och ger även indata till beräkningsmodellen. Simuleringsverktyget IDA ICE (EQUA Simulation AB, 2016) har använts för jämförande beräkningar.

I den första projektrapporten (Crona m.fl., 2021) beskrivs intervjuer, enkäter och studiebesök, samt en övergripande litteraturstudie. I denna rapport beskrivs parametrar, analys, beräkningsverktyg och stödmaterial för utformning av glasade utrymmen, samt hinder för att bygga glasade utrymmen i anslutning till flerbostadshus.

2 The Spaces Calculator

Det finns många olika numeriska modeller för att beräkna temperaturer och termisk komfort i byggnader, inklusive glasade utrymmen. Dock har verktygen en avsevärd startsträcka och att ändra på parametrar kräver flera steg, framför allt när man ändrar i geometrier. För att arkitekter i skisskedet skall kunna undersöka den termiska komforten i ett glasat utrymme har beräkningsverktyget *Spaces Calculator* skapats i Excel. Ifall olika geometrier, material, glasningar enkelt kan undersökas tidigt i ett projekt, ökar förutsättningarna för att skapa ett glasat utrymme som fungerar både tekniskt och ur brukarsynpunkt.

De första uppskattningarna av termisk komfort i glasade utrymmen görs i vanliga fall av energiexperter med hjälp av numeriska simuleringsverktyg, t.ex. IDA ICE (EQUA Simulation AB, 2016) och COMSOL Multiphysics® (COMSOL AB, 2021). Då har arkitektens arbete i stort sett redan satt geometrin för det glasade utrymmet och det finns ofta inte möjlighet att optimera eller justera beroende på resultaten från de termiska undersökningarna. Liknande förhållanden råder för materialval, glasval, fönsterstorlekar och den naturliga ventilationen i det glasade utrymmet, om än inte i lika hög grad. Ibland diskuterar energiexpert och arkitekt fönsterareor och placering, g-värden, U-värden, storlek på öppningsbara luckor mm, men resultatet är ofta en kompromiss och resultatet hade kunnat bli bättre om vissa hänsyn och val kunnat göras under skisstadiet, av arkitekten själv. De simuleringar av glasade utrymmen som utförs av energiexperter tar i storleksordningen dagar eller veckor att sätta upp, beroende på komplexiteten och verktyget (exempelvis CFD, Computational Fluid Dynamics), och ändringar i geometrin kan kräva allt från timmar till dagar. Verktyget som är anpassat till arkitekten och skissarbetet får inte ta mer än en ett par timmar att lära sig att behärska och att sätta upp en modell, samt enbart sekunder eller minuter för att ändra en geometri, såsom bredden på ett atrium.

I den första delen av Spaces-projektet som inkluderade intervjuer och studiebesök (se Crona m.fl., 2021) identifierades ett antal faktorer som var viktiga för det termiska klimatet i ett glasat utrymme (utan kylning) och som därmed var viktiga att inkludera i verktyget. Dessa relaterade till byggnadens geometri och orientering, termiska egenskaper hos mark, väggar, tak och fönster, solinstrålning genom fönster mm. Även avdunstning från marken inom det glasade utrymmet kan varieras i verktyget.

2.1 Beskrivning av Spaces Calculator och indata

Space Calculator är en beräkningsmodell i Excel som kan användas för att uppskatta temperaturerna i ett glasat utrymme, ett verktyg som är till hjälp för att bedöma effekten av olika materialval, orienteringar och geometrier.

Beräkningsmodellen antar att byggnadskroppen är orienterad i väderstreckens riktningar och att det glasade utrymmet har formen av ett rätblock (skolåda). Höjd, bredd och längd för utrymmet anges. De vertikala väggarna kan antingen angränsa till en inomhus- eller utomhusmiljö. Taket antages alltid gränsa till det yttre. Modellen använder uppmätt klimatdata från olika klimatzoner i Sverige, se figur 2.1. En klar dag med solsken under vinter, vår och sommar används för varje klimatzon. Modellen antar att vädret för den valda dagen upprepas timme för timme under ett antal dagar. Det termiska klimatet ställer in sig efter dessa förhållande efter en tid och kan

används för att bedöma inneklimatet i utrymmet. Temperaturen för dygnets alla timmar beräknas och speciellt minimum och maximum redovisas.

Figur 2.1 *Spaces Calculator* kan beräkningar göras för fyra klimatzoner.

Modellen tar hänsyn till omgivande byggnaders innetemperatur samt det genomsnittliga U-värdet för väggar som angränsar mot det glasade utrymmet. Modellen förslår några alternativa material för dessa väggar. Materialen bidrar med termiska massan som hjälper till att minska maxtemperaturer och höja minitemperaturer i det glasade utrymmet. Fönster i väggarna mot det glasade utrymmet bidrar inte med någon termisk massa.

För ytor som gränsar till det yttre och medger insläpp av solstrålning anges det s.k. g-värdet. Detta tal anger den andel av solstrålningen som passerar in i det glasade utrymmet och värmer utrymmet. Ett lägre g-värde medför en lägre ljustransmission genom glaset och oftast ett mindre dagsljusinsläpp. Detta betyder att ju mer man skyddar det glasade utrymmet mot höga innetemperaturer genom ett lågt g-värde, desto mindre dagsljus släpps in på glasgården. För glasdelar kan g-värdet gå ner mot 20% (3-glas) och upp till nästan 90% (1-glas).

Även U-värdet för glasade och icke glasade ytor anges i modellen. Ett lägre U-värde ger oftast lägre g-värde för fönster men det finns också speciella ytskikt som minskar

g-värdet. På vintern är det generellt sett önskvärt med ett högt g-värde och lågt U-värde för att glasgården skall bli så varm som möjligt, och på sommaren önskas ett högt U-värde med lågt g-värde. Detta för att inte släppa in värme från solen som orsakar höga temperaturer och för att släppa ut värme när det är varmt.

U-värde för glasade delar kan väljas från Carlsson (2005), tillgänglig online, eller från glastillverkare. För englasfönster är storleksordningen för U-värdet 5 W/m²K och för tvåglas och 2-3 W/m²K, vilket sänks till 1-2 W/m²K när man använder lågemissionsskikt i fönstret (som minskar värmestrålningsutbytet). Ännu lägre U-värde har treglasfönster som ligger på 0,5-1 W/m²K. För att få riktigt välisolerade glasade delar krävs flera glas med lågemissionsskikt, en isolerande gas, såsom argon, mellan glasen, och dessutom väldesignade förseglingar och anslutningar till takkonstruktionen. Ju fler glas, desto högre vikt och kostnad.

Vid val av glasning krävs att man väger samman de olika faktorerna; energihushållning, termisk komfort, fukt, ljus, ljud, beständighet, underhåll, säkerhet och bärande konstruktion. Energi och fukt hänger ihop eftersom höga U-värden (dålig isolering) kan ge kalla fönsterytor på insidan och medföljande kondens, vilket påverkar möjligheten att se ut, och kan även göra så att det droppar från taket. På liknande sätt kan låga U-värden (välisolerade) på glasningar göra så att man får kondens på utsidan av glaset, men detta sker oftast bara under en kort stund på morgonen.

För de väggar i glasgården som vetter mot de omgivande byggnaderna (s.k. inre väggar) beräknas ett medel U-värde för alla delar eftersom de inre väggarna vanligtvis består av dels väggar, dels fönster och dörrar. Vid beräkning av medel U-värde viktas de olika U-värdena i förhållande till hur stora areorna, A (m²), är för respektive del enligt ekvation 1.

$$U_{medel} = \frac{U_{vägg} \cdot A_{vägg} + U_{fönster} \cdot A_{fönster} + U_{dörr} \cdot A_{dörr}}{A_{vägg} + A_{fönster} + A_{dörr}} \text{ (W/m}^2\text{K)} \quad (1)$$

Luftväxlingen i utrymmet anges i form av luftomsättning, vilket ungefär motsvarar hur många gånger luften i utrymmet byts ut mot uteluft per timme. Luftomsättningen i det glasade utrymmet påverkar i hög grad temperaturerna i utrymmet. I *Spaces Calculator* ansätts en konstant luftomsättning hela året. Notera att det betyder att luftflödet (m^3/h) in till det glasade utrymmet ökar ifall volymen på utrymmet ökas, vilket också är i överensstämmelse med dimensionering, då man har fler ventilationsluckor för ett större glasat utrymme. Om man vill undersöka när samma luftflöde transporteras in i olika stora atrier kan man beräkna vad luftflödet motsvarar i omsättningar och använda detta i *Spaces Calculator*. Med ett luftflöde, R_a, angivet i enheten m^3/h (kubikmeter per timme) och med volymen, V, i m^3 erhålls omsättningen, n (oms/h, luftomsättningar per timme) enligt ekvation 2.

$$n = \frac{R_a}{V} \text{ (oms/h)} \quad (2)$$

Ju större ventilationsöppningar, ju mer vindutsatt läge och ju större temperaturskillnad mot utemiljö, desto högre luftomsättning kommer det bli i ett atrium. Det finns numeriska modeller för att beräkna vilken luftomsättning man får vid en viss temperaturskillnad mellan inne i atriet och utomhus eller vid en viss vindriktning och

vindhastighet, och ett visst antal luckor. Dessa program är dock betydligt mer tidskrävande och avancerade än *Spaces Calculator* och därför ansätts istället en viss luftomsättning i *Spaces Calculator.*

I storleksordning är allt från nästan 0 till över 10 luftomsättningar i timmen är möjligt i ett glasat utrymme, där 0 motsvarar helt vindstilla dag och med samma temperatur i det glasade utrymmet och utomhus (dvs utan termiska drivkrafter) och där över 10 motsvarar starka drivkrafter (från vind eller skorstenseffekt) och öppna ventilationsluckor. I IEA Task 12 (1996) uppskattas för ett atrium att omsättningarna är från 2- 10 1/h för sommarfallet. och för ett annat atrium anges omsättningen 0,6 1/h för ett helt slutet.

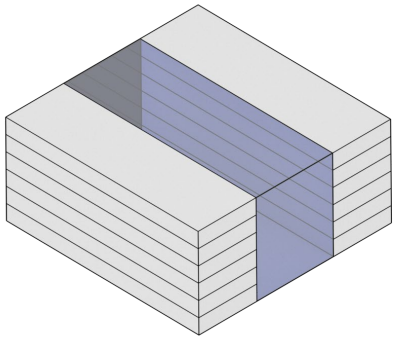
I IEA Task 12 (1996) erhålls 0,6 1/h då luckorna är stängda i atriet i maj (temperaturskillnad ute/atrium 5°C, vind 2 m/s), så 0,1 1/h kan vara ett lämpligt värde för att undersöka problem med övertemperaturer under vår och höst. Dock är det sällan tillräckligt en solig sommardag. Det kommer att bli varmt och luckor är vanligtvis öppna då.

Det uppstår ofta en skillnad i temperatur i höjdled i ett stort glasat utrymme. Det blir varmare överst i utrymmet eftersom varm luft är lättare än kall. Vanligtvis skiljer det bara några grader men, mycket beroende på solinstrålning, varierar det från ingen temperaturskillnad till stora temperaturskillnader. I IEA Task 12 (1996) visas uppmätta temperaturskillnader från 0°C till 18°C (utetemperatur 25°C, mycket sol) och i Zhu (2007) är maximal beräknad temperaturskillnad mindre än 1°C i januari och 10°C i augusti. I *Spaces Calculator* antas samma temperatur i hela utrymmet.

Olika marktyper kan anges i *Spaces Calculator* varvid modellen beräknar värmeförlusten ut till det yttre samt tar hänsyn till toppskiktets termiska massa.

För att uppskatta effekten av våta ytor/vegetation kan dess totala våta yta anges i modellen varvid den förväntade genomsnittliga temperaturändringen beräknas. Resultat ges både med och utan påverkan av avdunstning.

Figur 2.2 visar på ett fall där det glasade utrymmet har ett glasat tak, två sidor som vetter mot intilliggande byggnader och två sidor som vetter mot utsidan och tabell 3.1 beskriver de parametrar som läggs in i *Spaces Calculator*. I manualen till *Spaces Calculator* i bilaga 9.2 finns förslag på indata ifall man inte har någon teknisk information, förutom geometrier, om atriet man vill undersöka.



Figur 2.2. Exempel på byggnad med glasad gård som på två sidor ansluter till byggnader och på två sidor ansluter till utomhus.

Tabell 2.1. Parametrar som användare lägger in i Spaces Calculator.

Geometri	Dimensioner för att beräkna volymen på det glasade utrymmet och dess väggar, golv och tak.
Längd på glasgård, Söder till Norr	
Bredd på glasgård, Väster till Öster	
Höjd på glasgård	Medelhöjd på glasgården.
Klimatzon	Klimatzon i Sverige enligt figur 2.1. Klimatzonerna representeras av städerna Luleå, Borlänge, Stockholm och Lund.
Allmänt	
Ventilation luftomsättning (1/h)	Luftomsättningen i glasade utrymmet, dvs hur många gånger i timmen luften byts ut mot uteluft. Eftersom värdet på luftomsättningen sätts till ett fixt värde innebär det att det glasade utrymmet får ett större luftflöde om volymen på utrymmet ökar. (Luftflöde= Luftomsättning· Volym)
Inomhustemperatur (grader C)	Inomhustemperatur som omgivande byggnader håller
Marktyp	Typ av markbeläggning i dominerande del av glasade utrymmets mark. Sand, berg, betong/silt, trä/silt finns som alternativ.
Våtyta (m^2)	Summerad yta för öppet vatten, bevattnad mark samt växters bladyta. Innetemperaturen i det glasade utrymmet beräknas utan den temperatursänkning som avdunstning ger. Denna temperatursänkning redovisas separat ifall man lagt in våt yta.
Material i väggytor mot glasat utrymme	
Material	Fasadmaterial på intilliggande byggnaders väggar mot det glasade utrymmet. Trä, tegel, betong, cementskiva finns som alternativ.
Tjocklek (m)	Tjocklek på ovanstående fasadmaterial.
Tak	
Andel glas	Andel glasad yta av total takyta i det glasade utrymmet.
U-värde glasdel (W/m^2K)	U-värde för glasade takytor. Bestämmer värmeflödet genom glaset (exkl. solstrålning). Lämpliga värden kan väljas från Bygga med glas (Carlsson, 2005) eller glastillverkare.
g-värde glasdel (%)	g-värde för glasade ytor. Beskriver hur stor andel av solstrålningen som träffar glaset som bidrar till uppvärmning av det glasade utrymmet. Lämpliga värden kan väljas från Bygga med glas (Carlsson, 2005) eller glastillverkare.
U-värde, icke glasdel (W/m^2K)	U-värdet för de delar av taket som inte är av glas, dvs. vanligt tak.
Vägg Norr	Denna beskrivning görs för det glasade utrymmets alla fyra väggar (alla väderstreck).
Ansluter till	Här väljs om väggen vetter mot utomhus (yttre) eller mot en byggnad (inre).

<u>Om till Inre</u>	
Medel U-värde	Medel U-värde för väggen, dvs areaviktat medel för väggar, fönster, dörrar enligt ekvation 1.
<u>Om till yttre</u>	Lämpliga värden för U-värde och g-värde för glasade ytor kan väljas från Bygga med glas (Carlsson, 2005) eller glastillverkare.
Andel glas	Andel glasad yta av total väggyta.
U-värde glas del (W/m^{2}K)	U-värde för glasade ytor.
g-värde glasdel (%)	g-värde för glasade ytor.
U-värde, icke glasdel	U-värdet för de delar av väggen som inte är av glas, dvs. vanlig vägg.

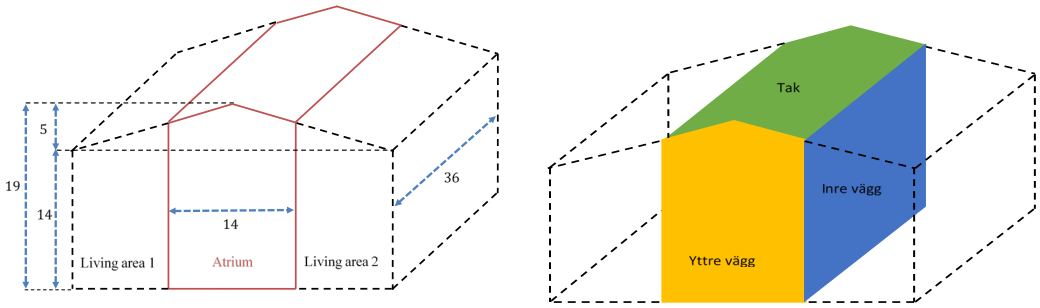
Sammanfattningsvis kan *SpacesCalculator* undersöka temperaturändringar som orsakas av luftväxlingen i utrymmet, ändrade geometrier, variation i andel glas i väggar och tak, typ av glas (U-värde, g-värde), ändring av isoleringsförmågan hos icketransparanta konstruktionsdelar (inklusive väggarna mot bostäderna), av värmelagring i materialen i mark och väggar, av avdunstning från fuktig mark, samt av omgivande klimat (dvs klimatzon).

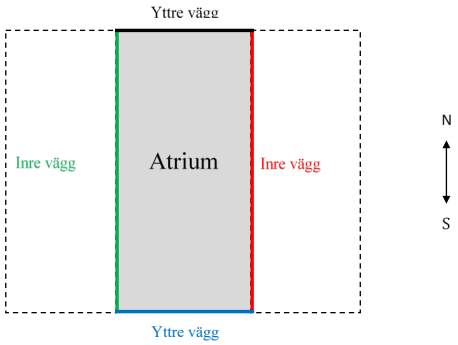
Ekvationer och detaljer om beräkningar i *Spaces Calculator* finns i bilaga 1.

2.2 Jämförelse Spaces Calculator och IDA ICE

Beräkningar av innetemperatur i ett glasat atrium har gjorts dels med ekvationerna som används i *Spaces Calculator* och dels med det numeriska beräkningsprogrammet IDA ICE (EQUA Simulation AB, 2016). Beräkningarna i *Spaces Calculator* är betydligt mer förenklade än beräkningarna i IDA ICE. För exempelvis grunden inkluderas flera material i U-värdesberäkningen i IDA ICE, medan *Spaces Calculatorn* enbart inkluderar ett material.

Jämförelser av innetemperatur i en glasad gård har gjorts i för en referensbyggnad liknande atriet i Sjöjungfrun i Umeå med geometri och orientering enligt figur 2.3. Några olika perioder under året har undersökts. För ytterligare beskrivning av byggnaden, se kapitel 4.1.1 och för ytterligare beskrivningar av IDA ICE-simuleringarna se Hansson (2020). I tabell 3.2 summeras de viktigaste indata som använts till jämförelsen.



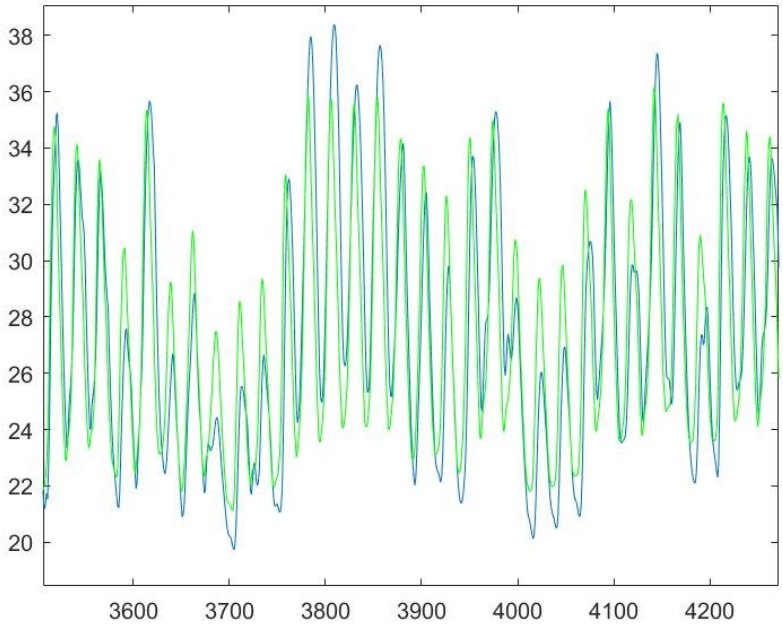


Figur 2.3. Dimensioner och orientering hos byggnad för jämförande simuleringar.

Det glasade utrymmets temperaturer, beräknade med IDA ICE och *Spaces Calculator,* har jämförts under några olika varma perioder under vinter, vår och sommar. Temperaturerna visas i figur 2.4 till 2.6.

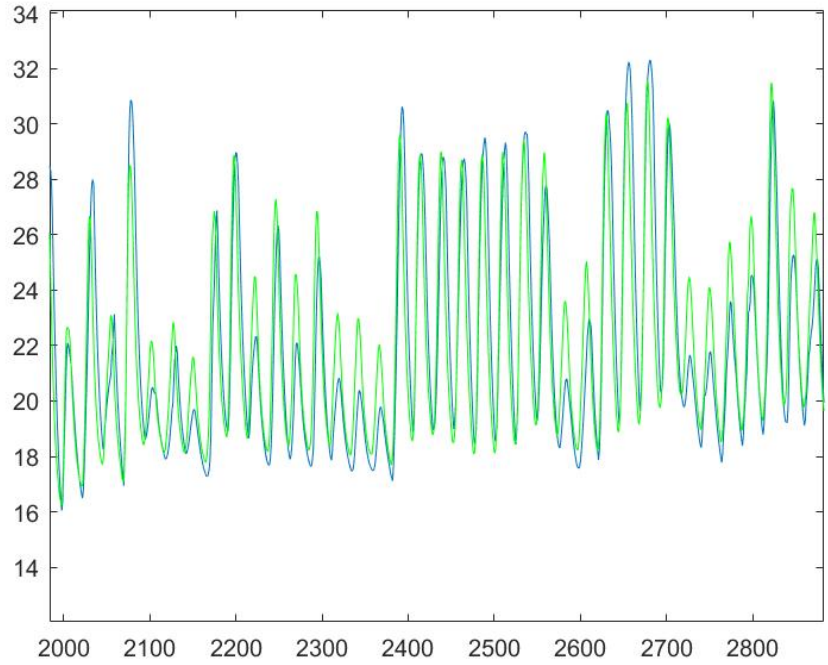
Tabell 2.2. Indata till Spaces Calculator och delvis till IDA ICE beräkningar.

Geometri	Dimensioner för att beräkna volymen på det glasade utrymmet och dess väggar, golv och tak.
Längd på glasgård, Söder till Norr	36 m
Bredd på glasgård, Väster till Öster	14 m
Höjd på glasgård	Medelhöjd 16,5 m
Klimatzon	Zon I
Allmänt	
Ventilation luftomsättning (oms/h)	0 oms/h
Inomhustemperatur (°C)	21°C
Marktyp	Trä (IDA ICE inkluderar fler material i golv/mark.)
Våtyta (m^2)	0 m²
Material i väggytor mot glasat utrymme	
Material	Trä
Tjocklek (m)	95 mm
Tak	
Andel glas	25%
U-värde glasdel (W/m^2K)	2,9 W/m²K (tvåglasfönster)
g-värde glasdel (%)	0,71
U-värde, icke glasdel (W/m^2K)	0,28 W/m²K
Väggar	
Inre väggar	
Medel U-värde	0,20 W/m²K
Yttre väggar	
Andel glas	35%
U-värde glasdel (W/m^2K)	2,9 W/m²K
g-värde glasdel (%)	71
U-värde, icke glasdel	0.19 W/m²K vägg, 1,2 W/m²K dörr (3,2 m²) Viktat medel 0,20 W/m²K



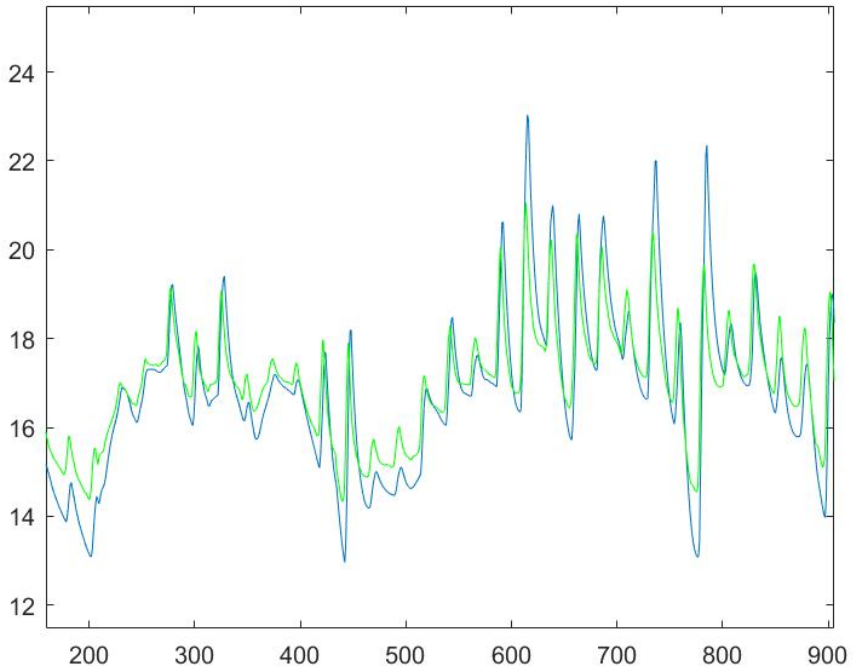
Figur 2.4. Beräknad medeltemperatur i atriet med Spaces Calculator (ljusgrön) och IDA ICE (svart), från slutet maj till slutet juni (första januari är t=0 h och sista december är t=8760 h).

Överlag stämmer temperaturerna väl överens under försommaren. Dock kan man notera, om man jämför med klimatdata, att *Spaces Calculator* blir något varmare under dagar när det inte är någon solstrålning (kring timme 3700). Detta kan också observeras för vårberäkningarna, se figur 2.5.



Figur 2.5. Beräknad medeltemperatur i atriet med Spaces Calcuator (ljusgrön) och IDA ICE (svart), från slutet mars till slutet april.

Under vintern i Umeå är det endast lite sol i januari. För de två perioder i figur 2.6 då solstrålningen är lägre än 100 W/m² är *Spaces Calculator* något varmare än IDA ICE.



Figur 2.6. Beräknad medeltemperatur i atriet med Spaces Calculator (ljusgrön) och IDA ICE (svart), från början januari till början februari.

Sammanfattningsvis kan sägas att jämförelsen mellan temperaturerna i *Spaces Calculator* och IDA ICE är tillfredsställande. Syftet med *Spaces Calculator* är att arkitekten under skisskedet snabbt skall kunna göra en beräkning av det glasade utrymmets temperatur och att enkelt kunna ändra ingående parametrar, exempelvis byggnadens höjd. När byggnadens och det glasade utrymmets volym och grundläggande design är fastställda bör man använda mera avancerade beräkningsprogram, t.ex. IDA ICE, för att få noggrannare och utförligare resultat, exempelvis information om temperaturgradienten i det glasade utrymmet.

3 Simuleringar med Spaces Calculator

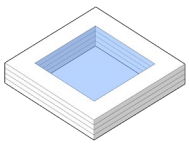
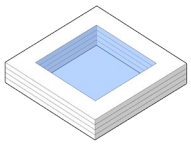
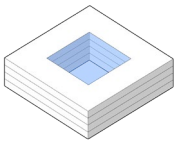
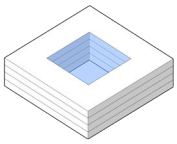
Spaces Calculator är gjort för att arkitekten snabbt och enkelt skall kunna variera olika parametrar som påverkar ett glasat utrymmes temperatur. Nedan finns exempel på hur parameterstudier kan utföras och resultaten av dessa, främst i form av högsta temperatur under en sommardag och lägsta temperatur under en vinterdag.

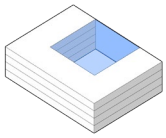
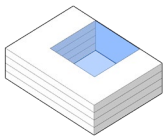
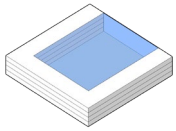
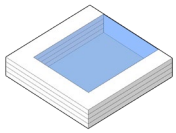
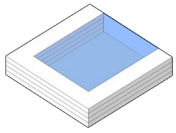
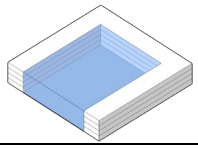
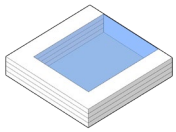
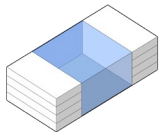
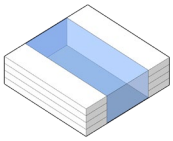
3.1 Indata för simulerade fall

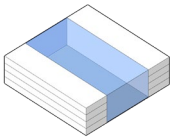
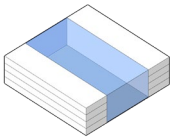
Byggnaderna består av olika typbyggnader, med en, två eller inga glasväggar. Dessa typbyggnader återfinns i kapitel 5, där de beskrivs utifrån befintliga byggnader . Typbyggnaderna som simuleras har olika orientering och geometri, olika material i ytor som vetter mot det glasade utrymmet och olika egenskaper hos taket (olika andel glasyta och olika g-värden). Om inget annat anges har byggnader med en glasvägg denna riktad mot norr och byggnader med två glasväggar dessa riktade mot väst och öst. Byggnaderna är simulerade i klimatzon I (Luleå) och klimatzon IV (Lund) och med luftomsättning på 3 oms/h och 15 oms/h.

Indata för simuleringarna finns beskrivna i tabell 5.1. För grundfallet gäller, förutom informationen i tabell 5.1, U-värde glastak 0,8 Wm²K, U-värde för tak som inte är glas 1,5 W/m² , U-värde för väggar mellan bostäder och glasat utrymme 0,18 W/m²K, väggar av glas har U-värde 1,4 W/m²K, g-värde glasvägg 50%, U-värde för yttervägg som inte är av glas 1,5 W/m²K, på marken finns trätrall och på väggarna träfasad. Rödmarkering visar vad som ändrats jämfört med grundfall, vilket har egenskaper enligt första geometrin (rad 1).

Tabell 3.1. Indata för simuleringar i Spaces Calculator.

Geometri	Storlek (m) fotavtryck atrium	Höjd våningar	Glas-andel	g-värde	Ytmatre-rial mark	Väder streck
Stor Sluten	40x40 	12 m 4 vån	90 %	50 %	Trä	
Stor Sluten Hög	40x40 	**18 m 6 vån**	90 %	50 %	Trä	
Liten Sluten	**20x20** 	12 m 4 vån	90 %	50 %	Trä	
Liten Sluten Låg	**20x20** 	**6 m 2 vån**	90 %	50 %	Trä	

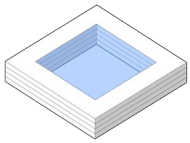
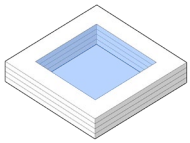
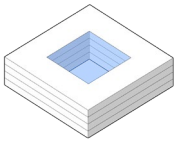
Liten Ensidig	**20x20** 	12 m 4 vån	90 %	50 %	Trä	
Liten Ensidig	**20x20** 	12 m 4 vån	90 %	50 %	**Be-tong**	
Stor **Ensidig**	40x40 	12 m 4 vån	90 %	50 %	Trä	
Stor **Ensidig**	40x40 	12 m 4 vån	**20 %**	50 %	Trä	
Stor **Ensidig**	40x40 	12 m 4 vån	90 %	**25 %**	Trä	
Stor **Ensidig**	40x40 	12 m 4 vån	90 %	50 %	Trä	**Söder**
Stor **Ensidig**	40x40 	12 m 4 vån	90 %	50 %	Trä	
Liten Tvåsidig	20x20 	12 m 4 vån	90 %	50 %	Trä	
Tvåsidig	20x40 	12 m 4 vån	90 %	50 %	Trä	

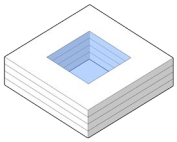
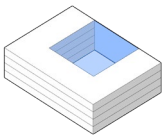
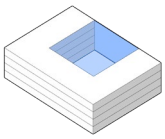
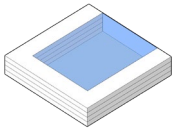
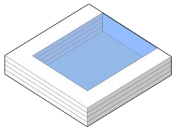
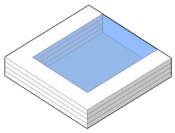
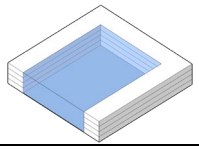
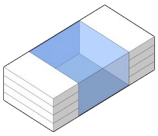
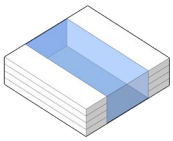
Tvåsidig	20x40 	12 m 4 vån	**20 %**	50 %	Trä	
Tvåsidig	20x40 	12 m 4 vån	90 %	**25 %**	Trä	

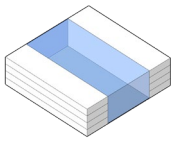
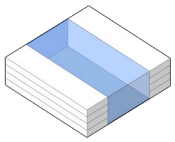
3.2 Resultat för simulerade fall

Högsta och lägsta temperatur under dygnet i det glasade utrymmet för de olika simuleringarna i tabell 4.1 finns angivna i tabell 4.2 för Lundabyggnaden med en luftomsättning på 3 omsättningar per timme. Övriga fall, dvs Lund 15 oms/h, Luleå 3 oms/h och Luleå 15 oms/h finns att återfinna i bilaga 9.3. Nedanstående beskrivningar gäller för grundfallet, som är en byggnad i klimatzon IV, Lund, med 4 våningar och luftomsättning på 3 omsättningar per timme.

Tabell 3.2. Resultat av simuleringar i Spaces Calculator för byggnad i Lund med 3 oms/h. Högsta temperaturen under en sommardag och under en vår/höstdag, samt lägsta temperaturen under ett vinterdygn redovisas.

Geometri	**Storlek (m) fotavtryck atrium**	**Variationer**	**Max temp sommar °C**	**Max temp vår/höst °C**	**Min temp vinter °C**
Stor Sluten	40x40 	Grundfall: 4 våningar (12m) i Lund, 3 oms/h, g-värde: 50%, Glasandel: 90%, Ytskikt: trä	46,4	37,4	-2,0
Stor Sluten Hög	40x40 	Två extra våningar	38,7	31,2	-2,1
Liten Sluten	20x20 	Halverad bredd och längd	45,3	36,3	-1,6

Liten Sluten Låg	20x20 	Halverad bredd, längd och höjd	63,4	50,8	-1,3
Liten Ensidig	20x20 	Halverad bredd och längd, och öppen sida mot norr	45,6	37,6	-1,8
Liten Ensidig	20x20 	Halverad bredd och öppen sida mot norr Betonggolv	41,8	33,7	-1,2
Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot norr	46,5	38,0	-2,1
Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot norr och 1/5 glas i tak	29,1	23,7	-2,4
Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot norr och g-värde 25%	34,1	27,8	-2,1
Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot söder	50,3	41,7	-2,1
Liten Tvåsidig		Öppen sida mot norr och söder	49,7	41,8	-2,0
Tvåsidig	20x40 	Öppen sida mot norr och söder	47,8	39,6	-2,0
Tvåsidig	20x40	Öppen sida mot norr och	31,5	26,3	-2,2

		söder och 1/5 glas i tak			
Tvåsidig	20x40 	Öppen sida mot norr och söder och g-värde 25 %	36,2	30,1	-2,0

I korthet kan följande noteras när byggnadens design och egenskaper varieras (Lund, 3 oms/h):

- En **högre byggnad** ger lägre högsta sommartemperatur. Fördelaktigt ur termisk synvinkel på sommaren.
- En **mindre byggnad** (samma höjd) ger något lägre högsta sommartemperatur och högre lägsta vintertemperatur. Fördelaktigt ur termisk synvinkel alla årstider.
- Ett atrium med **hög värmekapacitet** är fördelaktigt ur termisk synvinkel alla årstider.
- En minskning av glastakets **g-värde** ger ett svalare atrium på sommaren och lägre dagstemperaturer på vintern. Detta är fördelaktigt på sommaren.
- En minskning av **andelen glas** i taket ger ett svalare atrium på sommaren vilket är fördelaktigt på sommaren.
- Att ändra byggnadens **väderstreck** så att en glasad vägg flyttas från norr till söder ger en temperaturökning på några grader för de högsta dygnstemperaturerna vilket är ofördelaktigt ur termisk synvinkel på sommaren.
- Att **förlänga** byggnaden ger enbart liten ändring av temperaturen.

I alla undersökta fall når vår- och sommartemperaturerna för 90 % glasning i tak över 25°C någon gång under dygnet för 3 oms/h, och en majoritet av fallen når över 35°C. Detta betyder att atriet antingen behöver mer ventilation eller mindre solinstrålning (mindre glasyta i tak, lägre g-värde för glasning i tak, alternativt solskydd) för att få ett acceptabelt inneklimat.

Ifall ventilationen ökas från 3 oms/h till 15 oms/h (se tabell 9.2) håller sig alla glasade utrymmen under 28°C sommartid, förutom för den slutna, lilla, låga byggnaden då temperaturen blir högre (33°C). Endast sex stycken fall ligger på 25°C eller lägre, vilket betyder att många fall även här behöver minskad solinstrålning.

En ökad ventilation gör att det glasade utrymmet får en temperatur som är närmare utetemperaturen. Detta är alltid gynnsamt på sommaren, men inte under vinter och vår (i Lund).

En luftomsättning på 15 oms/h på vintern innebär att man får utomhustemperatur i det glasade utrymmet under natten medan en luftomsättning på 3 oms/h innebär att lägsta temperaturen kan ligga någon grad högre än utomhustemperaturen. Det kan vara önskvärt att stänga till det glasade utrymmet under natten för att få en högre temperatur under natten. Med en luftomsättning på 0,1 oms/h ökar den lägsta

temperaturen under natten från -2°C till 12°C för grundfallet (3 oms/h, sluten byggnad, 4 våningar i Lund).

Välisolerade väggar mot det glasade utrymmet gör att värmetillskottet från bostaden till glasade utrymmet minskar (motsatt värmeflöde under sommaren). Skillnaden i atriets temperatur vid välisolerade väggar och vid väggar med lite isolering har stor påverkan på det glasade utrymmets temperatur när det är kallt ute.

I nedanstående beskrivning av parameterstudien är grundfallet, som tidigare, en byggnad på fyra våningar (höjd 12 m) och med en markyta i det glasade utrymmet på 40 x 40 m om (inget annat anges). Andelen glas i taket är 90% av takytan, g-värdet för takfönsterna är 50%, det finns trätrall på marken och fasaderna som vetter mot det glasade utrymmet är av trä. Byggnaden finns i klimatzon 4 (Lund) och luftomsättningen i det glasade utrymmet är 3 oms/h.

Vanligtvis förbättras situationen om den högsta sommartemperaturen går ner ↘ och om den lägsta vintertemperaturen går upp ↗.

SLUTEN BYGGNAD

Variation i höjd

Högre, höjd 4 till 6 våningar: En högre byggnad, samma golvyta, ger lägre högsta dygnstemperaturer under alla årstiden. Detta sker främst för att det finns mer väggar och golv som kan dämpa svängningar jämför med takytan där solstrålning kommer in, men något även för att luftflödet ökar något vid en högre byggnad.

Högsta sommartemperatur ↘

Det blir i stort sett samma lägstatemperaturer under dygnet för den högre byggnaden.

Lägsta vintertemperatur →

Lägre, höjd 4 till 2 våningar (för mindre byggnad): En lägre byggnad, samma golvyta ger varmare under alla årstider och mycket högre maximal temperatur under vår och sommar. Orsaken är främst mer takyta och solinstrålning i förhållande till värmekapaciteten i atriet.

Högsta sommartemperatur ↗

De lägsta temperaturerna under vintern är någon grad högre för den låga byggnaden, vilket antagligen beror på att den blivit varmare under dagen.

Lägsta vintertemperatur ↗

Variation i golvyta

Mindre, area 40 x 40 meter till 20 x 20 meter:
En mindre byggnad, med samma höjd, ger någon grad lägre högsta dygnstemperaturer under alla årstider. Det är mindre yta som släpper in solstrålning (bara 25% av ursprunglig yta) men ytan som lagrar värme har inte minskat lika mycket (39% av ursprunglig yta). Det är i stort sett ingen skillnad på temperaturer för stor och liten byggnad vid en luftomsättning på 15 oms/h.

Högsta sommartemperatur ↘

Den mindre byggnaden blir någon grad varmare på nätterna. Det finns förhållandevis mindre takyta (som varken isolerar bra eller har nämnvärd värmekapacitet) än vägg

och golvyta. Man får ett litet värmetillskott från väggarna på natten och väggar och tak lagrar också lite värme från dagen.

Lägsta vintertemperatur ↗

BYGGNAD MED GLAS MOT NORR I ATRIET

Att ersätta en av byggnaderna kring det glasade utrymmet med en glasvägg mot norr ger mycket liten inverkan på temperaturen vid en luftomsättning på 3 oms/h. Effekten blir betydligt större om luftväxlingen minskar (till 0,1 oms/h). Detta resulterar lägre atriumtemperaturer för atriet med glasvägg (eftersom glasväggen isolerar sämre). Lägsta temperaturen under vintern är 12°C utan glasvägg och 7°C med glasvägg vid en omsättning på 0,1 oms/h.

Variation i golvmaterial

Trätrall till betonggolv (för mindre byggnad): Byte av mark från trä till betongplattor ger effekt (sänkning) på maximal temperatur under alla årstider (maximal temperatur på sommaren sjunker med 4°C).

Högsta sommartemperatur ↘

Lägsta temperaturen ökar under alla årstider när man byter från trä till betong. Lägsta temperaturen på vintern ökar från -1,5 °C till 1,8 °C. Med betong ökar värmekapaciteten så atriets temperatursvängningar minskar.

Lägsta vintertemperatur ↗

Variation i andel glas i tak

90% glas till 20% glas: En minskning av glasytan i taket ger mycket stor påverkan på temperaturerna i atriet. Det blir inte lika varmt i atriet med mindre glas i taket (gäller alla årstider) eftersom mindre sol kommer in. (En minskad glasyta ger naturligtvis även minskat dagsljusinsläpp.) För sommarfallet minskar högsta temperaturen med 15°C från orimliga 46°C.

Vilket U-värde (isoleringsgrad) det oglasade taket har påverkar naturligtvis också. Med ett bättre U-värde på taket (mer isolering) sjunker de högsta temperaturerna i atriet. Solen kan ge höga yttemperaturer på yttertaket när det är som varmast, så en bra isolering är önskvärt för dessa fall.

Högsta sommartemperaturerna temperaturerna och minskningen i högsta temperatur är mindre då luftväxlingen är större, ca 4°C skillnad på sommaren mellan mycket och lite glas.

Högsta sommartemperatur ↘

De lägsta temperaturerna påverkas inte så mycket av andelen glas i taket. I detta fall är temperaturen lite lägre när det är mindre glas. Detta beror på att det höga U-värdet för ramarna runt glaspartierna (1.5 W/m²K) nu gäller för hela taket. Vid en ny simulering ersattes den icke glasade delen av taket med ett bättre tak (U-värde 0,2 W/m²K). Detta gjorde att de kallaste temperaturerna inte påverkades alls.

Lägsta vintertemperatur ↘

Variation i g-värde i tak

g-värde 90% till 25%: En minskning av g-värdet ger en betydande minskning av de högsta temperaturerna. Det hade alltså varit önskvärt med ett högt g-värde på vintern och ett lågt på sommaren. Detta kan åstadkommas med solskydd.

Högsta sommartemperatur ↘

En minskning av g-värdet ger mycket lite påverkan på de kallaste temperaturerna.

Lägsta vintertemperatur →

Rotation av byggnad

Glasvägg mot norr vrids till söderriktning: En glasvägg mot söder ger 3-4 graders ökning av de högsta dygnstemperaturerna under alla årstider (enbart någon grad för hög luftväxling).

Högsta sommartemperatur ↗

De lägsta temperaturerna under dygnet påverkas inte, gäller alla årstider.

Lägsta vintertemperatur →

BYGGNAD MED GLAS MOT VÄSTER OCH ÖSTER

Ändring av geometri

Kvadratisk 20 x 20 m till avlång 40 x 20 m: Att öka längden på atriet minskar den högsta dygnstemperaturen i atriet med en till två grader, antagligen en effekt av mer värmekapacitet i förhållande till glasade ytor.

Högsta sommartemperatur ↘

De lägsta temperaturerna under vintern är i stort sett oförändrade.

Lägsta vintertemperatur →

Variation i andel glas i tak och variation i g-värde i tak

Ändring av dessa parametrar i atrier med glas åt väster och öster ger samma effekt som när de ändrades i konfigurationen med glas enbart åt norr.

Ändring av klimatzon

Klimatzon 4 (söder) till klimatzon 1 (norr): När man flyttar byggnaderna norrut, från Lund till Luleå, är de varmaste dygnstemperaturerna för sommaren lägre men trenderna när man ändrar på parametrar är liknande. Alla fall utom ett är nu över 25°C i maxtemperatur under sommaren och flertalet ligger fortfarande över 35°C. Under våren är den maximala dygnstemperaturen som högst 25°C för alla fall utom fyra och 30°C överskrids bara i ett fall. Detta kan jämföras med Lund då vårens dygnstemperatur överskrider 25°C i alla fall utom de fall där takets glasade area har minskats till 20%.

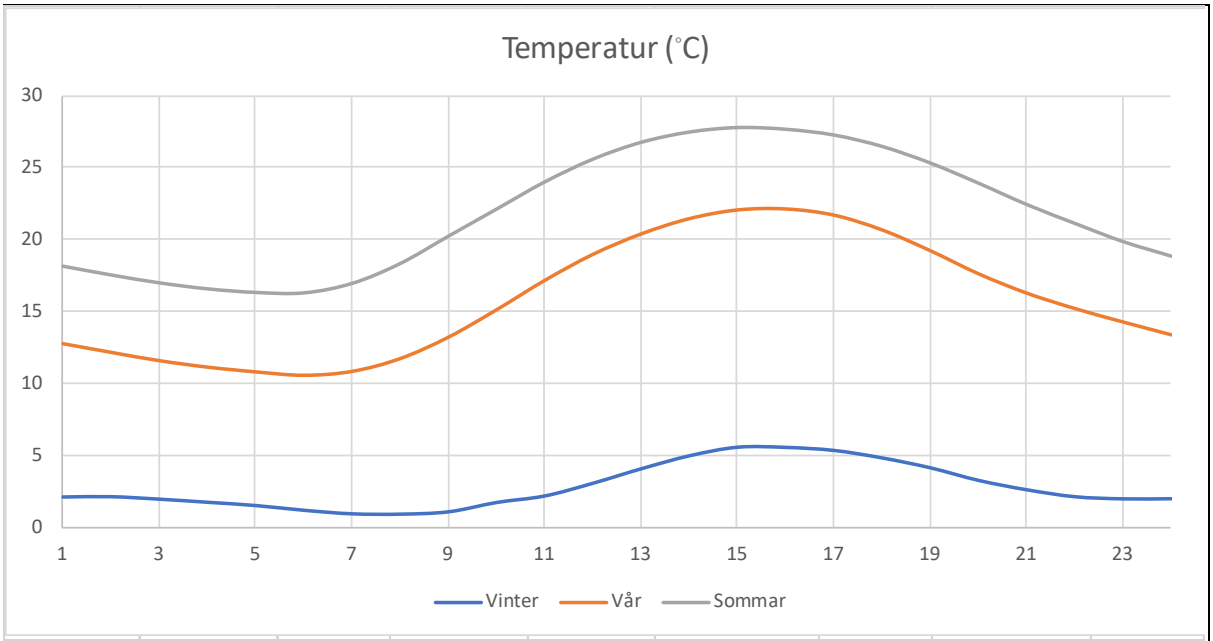
Under vintern är de högsta temperaturerna i atriet oftast 2-3°C lägre i Luleå än i Lund. Detta trots att maximala utetemperaturen i Luleå är nästan 4,5°C lägre. Detta beror på att solen bidrar mer till uppvärmningen i Luleå, vilket också ses i de fall där man minskar på solinstrålningen. När man minskar på solinstrålning blir temperatursänkningen 4°C mer i Luleå än i Lund (solinstrålning minskas genom minskning i takyta från 90 till 20%).

De lägsta temperaturerna under vintern ligger 2-6°C över lägsta temperaturen utomhus i Luleå, medan de i Lund ligger 0,5-1,5°C högre än lägsta utetemperatur. Man får mera värmetillskott från omgivande byggnader i Luleå än i Lund (eftersom atriet är kallare).

3.3 Att använda Spaces Calculator

Beräkningsverktyget *Spaces Calculator* är ett excelverktyg som ger lufttemperaturen i ett glasad utrymme. Vad verktyget gör och vilka begränsningar det har finns beskrivet i kapitel 3. I bilaga 9.1 finns de viktigaste ekvationerna som *Spaces Calculator* använder beskrivna, och i bilaga 9.2 finns Manualen till *Spaces Calculator*. *Spaces Calculator* har ett interface (Input_Results) där indata läggs in, exempelvis byggnadens geometrier och material samt klimatzon. Information om utomhusklimatet finns tillgängligt i *Spaces Calculator* i form av utelufttemperatur samt solstrålning mot tak och mot fasader i alla väderstreck.

Resultaten för det glasade utrymmet ges i ett diagram med lufttemperaturens variation över ett dygn för en vinterdag, en vårdag och en sommardag, samt högsta och lägsta temperatur under ett dygn för vinter, vår och sommar. Information om när dessa högsta och lägsta temperaturer inträffar anges också, se figur 3.1. Effekten som avdunstningens från marken har på temperaturer anges separat.



Vinter	Maximum	5,5	Minimum	0,9	Klock. för max	15	Klock. för min	8
Vår		22,2		10,6		16		6
Sommar		27,7		16,2		15		6

Figur 3.1. Exempel på hur resultat i Spaces Calculator presenteras. Temperaturen i det glasade utrymmet visas i diagram över ett dygn samt i extremvärden på dygnen och när de inträffar.

Spaces Calculator är designat för att man snabbt skall kunna variera olika parametrar, framför allt geometrin på det glasade utrymmet. Det är dock viktigt att komma ihåg att det inte finns en optimal form på ett atrium. Ifall exempelvis markmaterial eller väggarnas U-värde ändras, blir det nya förutsättningar vilket ger en ny optimal geometri.

4 Atriers funktion

Ett flertal studier visar hur den fysiska miljön påverkar människors hälsa och välmående, se Crona m.fl. (2021). De faktorer som man kan fastställa påverkar positivt på vårt välmående är natur och dagsljus. Även utsikt mot natur inverkar positivt på människors hälsa. Atrium används på en del sjukhus för att ge patienter tillgång till växtlighet och dagsljus eftersom det inverkar positivt på tiden för tillfrisknandet. Atrium blir då en naturlig målpunkt.

I en svensk studie av Danielski (2016) har man jämfört två bostadskvarter där det ena har inglasad gård och den andra är utan inglasning med syfte att se om det glasade atriet bidrar till energibesparing och fler sociala aktiviteter. Man menar att atriet har potential att reducera energianvändning men att man då bör uppfylla tre förutsättningar. 1. Minimera fasad och takyta för hela byggnaden (optimal formfaktor). 2. Minimera glasad area utifrån dagsljusbehov och utsiktsbehov. 3. Ha solskydd för att undvika övertemperaturer.

Man konstaterar dock att den inglasade gården har stor potential att främja tillhörighet vilket brukar vara en viktig parameter för social hållbarhet.

Om mängden dagsljus minskar i atrium kan man öka kvaliteten genom att reflektera ljuset. Det är viktigt att arbeta aktivt med att få ner dagsljus till de nedersta våningarna. Som i alla kvartersbyggnader är det i innerhörn det är svårast att uppnå god dagsljusbelysning.

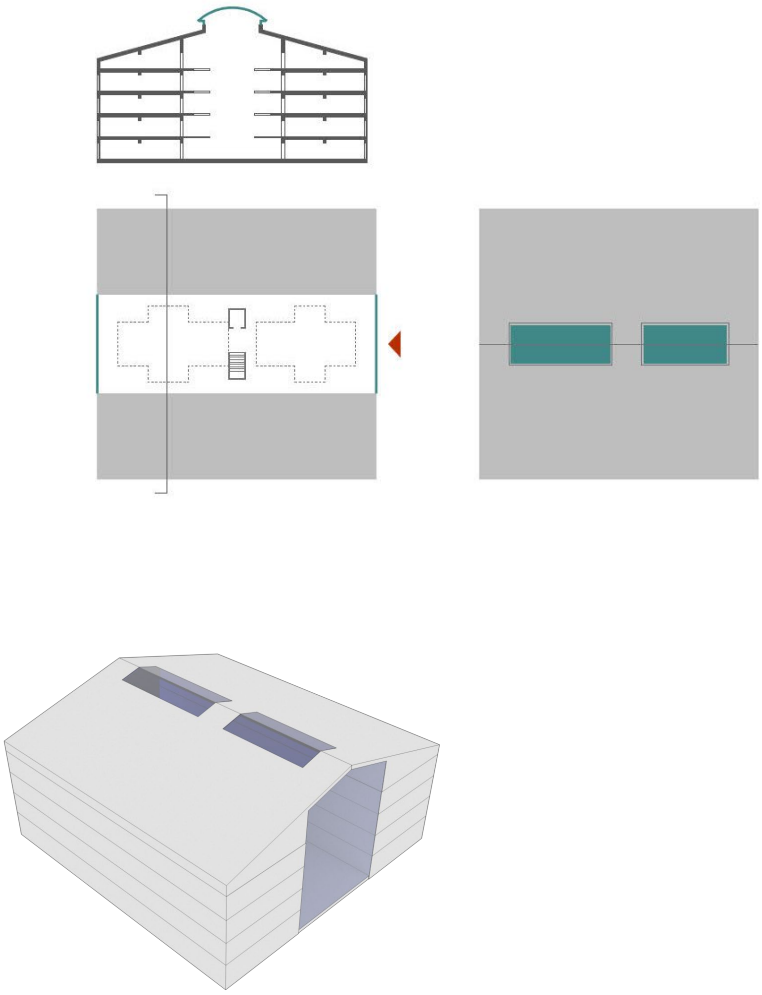
En av de stora utmaningarna i glasade atrium är den värmelast som medför höga temperaturer under sommartid. I intervjuer är det tydligt att de boendes förväntningar på det glasade atriet påverkar huruvida man är nöjd eller missnöjd med utrymmet. Det är därför till stor hjälp att i tidigt skede på ett enkelt sätt kunna få indikationer på hur de olika geometriska valen slår gällande övertemperaturer. Exempel på hur atriets geometri påverkar temperaturen i atriet finns i kapitel 5 samt i Hansson (2020).

I kommande kapitel finns tre fallstudier för att illustrera hur geometrin och utförande påverkar temperaturförhållanden och sociala funktioner. Dessa är utvalda från de projektfallstudier som finns beskrivna i Crona m.fl. (2021) och byggnadernas atrier har väsentligt olika utförande. Information om fallstudierna har erhållits från studiebesök och intervjuer med boende och andra personer, exempelvis konsulter, kopplade till byggnaderna. De tre byggnadernas placering är beskrivna i figur 4.1.

Figur 4.1. Klimatzoner och placering av studerade byggnader

4.1 Atrium med glasat tak och två glasade sidor –brf Sjöjungfrun

Adress: Sjöfruvägen 165, 907 51 Umeå
Typ av bostad: Bostadsrätt
Arkitekt: Anders Nyqvist
Byggår: 2005
Antal lägenheter: 32
Antal våningar: 5
Andel glasat tak: 21%
Storlek atrium BxLxH: 14x36x17,6 m



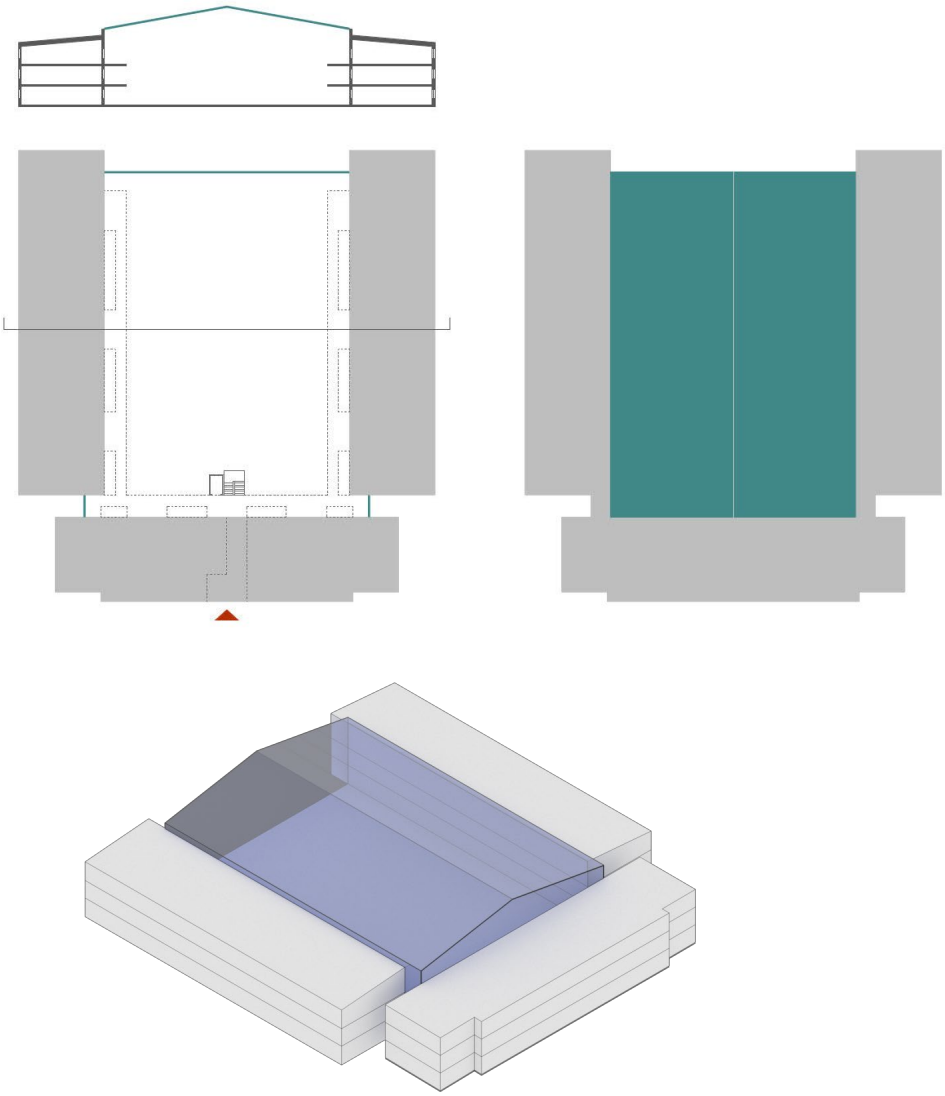
Figur 4.2. Sektion, entréplan, takplan och volym Sjöjungfrun, Umeå

Teknik, termisk komfort och dagsljus
Taket är delvis glasat, och båda gavlarna är till större delen glasade. På taket finns inga vädringsluckor, och naturlig ventilation fungerar inte optimalt. Plasten i taket släpper in ljus men är inte helt transparent. Det mesta av ljuset kommer från fönster på atriumgavlarna. De djupa loftgångarna skapar också skugga. Endel boende säger att det är för mörkt i vinterträdgården på bottenplan och att rum mot atrium som inte är på översta våningen är mörka. På gavlarna finns öppningsbara fönster och det finns inget solskydd till de glasade ytorna. De boende tycker att det är för varmt i atriet på sommaren på de övre våningarna och lite för kallt på vintern, och upplever stor temperaturskillnad mellan våningarna. Överlag är alla nöjda med akustiken, man kan höra folk prata men inte vad andra sällskap säger. Detta uppfattas som en fin kvalitet.

Sociala strukturer
De boende upplever att de har ett socialt nätverk i huset, och att deras gemensamma aktiveter fungerar. Det finns till exempel mycket växter i atriet, både på mark och på balkonger. Dessa växter sköts av trädgårdsgruppen. Atriet används minst på sommaren, då många också är bortresta. När lägenhetsdörren till atriet står öppen signalerar de bonde till grannar att man är välkommen att komma förbi. Loftgångarna används mycket mer än vinterträdgården på bottenvåningen. Här äter de boende både frukost och middag, bjuder in gäster, och sitter och läser. Här är möblerat med både möbler och växter. De boende upplever även större trygghet i brf Sjöjungfrun än de gjort i tidigare boenden. Man uppskattar att man har kontakt med motstående byggnad över atriet. Den sociala samhörigheten är stor och grannar observerar och märker snabbt om något är fel eller verkar underligt.

4.2 Stort atrium med glasat tak och en glasad sida- Bovieran Hönö

Adress: Heinövallen 11, 47540 Hönö
Typ av bostad: Senior +45, bostadsrätt
Arkitekt: Per-Henrik Johansson, Kristen Broberg Liljewalls
Projektutvecklare: Bovieran
Konceptutvecklare: Göran Mellberg
Byggår: 2014
Antal lägenheter: 48
Antal våningar: 3
Andel glasat tak: 100%
Storlek atrium BxLxH: 33,4x47x13,3 m



Figur 4.3. Sektion entréplan, takplan och volym Bovieran, Hönö

Teknik, termisk komfort och dagsljus
Atriet består av glasat tvåglastak, samt treglaskonstruktion i glasad fasad mot norr. Växtligheten i atriet är anpassad efter medelhavsklimat och atriet värms till 10 grader vintertid. Växterna sköts dels genom ett företag som tar hand om växterna, och dels i egen regi med en uppdelning på ungefär 50/50. Entréer till lägenheterna nås genom loftgång mot gemensamt atrium. Dagsljus upplevs som mestadels god med liten negativ påverkan på dagsljus i lägenhet. Dock uppmäts en tydlig minskning av dagsljus i rum mot atrium. Det är tidvis höga fuktnivåer i atrium. Ventilation är mestadels naturlig med automatisk öppning av fönster i tak under sommartid. Tropiska fläktar används för omblandning av luft och mekanisk ventilation vid taket tillser att kondens inte bildas på insidan glastak, se figur 4.4. Genom växter och den fuktiga jorden får man en svalkande effekt under sommartid.

Figur 4.4. Mekanisk ventilation motverkar kondens på insida glastak.

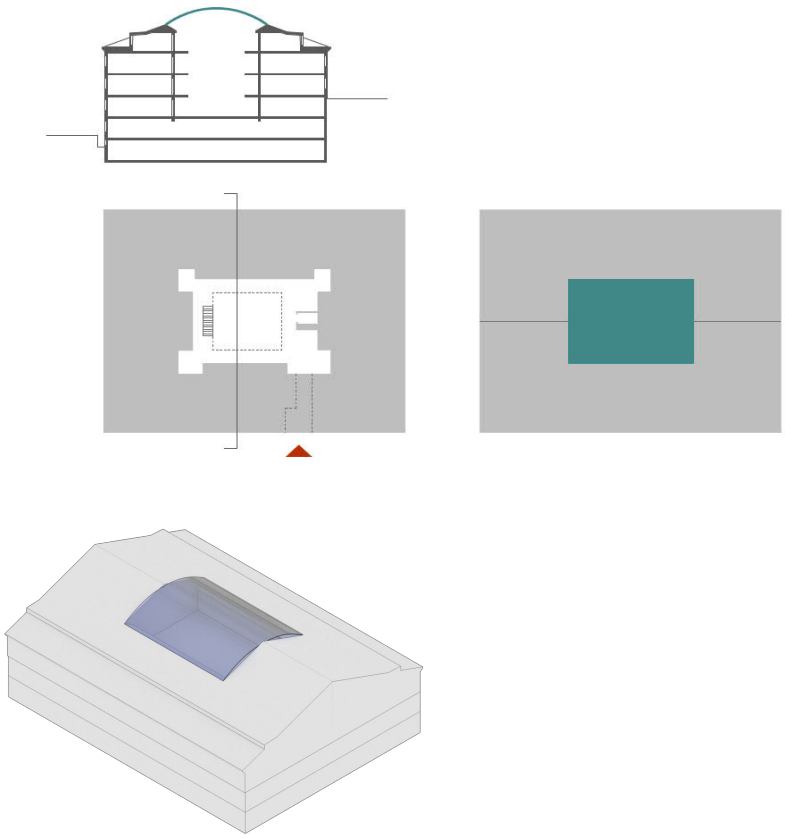
De boende upplever att temperaturen i atriet är god. Några i föreningen önskar varmare vintertid, men då det blir en stor kostnad för föreningen att värma atriet är det inte aktuellt. Det har även negativ effekt för växterna som behöver vila vintertid.

Sociala strukturer
Alla de boende måste gå genom atriet för att komma till sin lägenhet. Genom att samla entrépunkten ökar antalet möjliga spontana möten. Bredden på atriet är så pass stor att man inte nödvändigtvis hälsar på den som är på andra sidan av atriet. Det finns ett antal platser av varierande storlek för social samvaro med sittmöbler i atriet. Föreningen har ett flertal grupper med olika inriktning som är ansvariga för att driva aktiviteter. Dessa grupper etableras av Bovieran och presenteras för de boende i samband med försäljning och bildande av styrelse. Det finns en förväntan från de boende att det ska vara aktiva föreningar i boendet. De upplever stor samhörighet i föreningen.

Entrébalkongen/ loftgången ses inte som ett integritetsproblem idag eftersom det är få grannar som passerar framför lägenheterna och alla känner till varandra. Boende använder även utrymmet framför sina lägenheter på kvällarna med mindre sittmöbler.

4.3 Atrium med enbart glasat tak –brf Musteriet

Adress: Reimersholmsgatan 13, 117 40 Stockholm
Arkitekt: Gerhard J Herkommer
Projektutvecklare: HSB
Byggår: 1983
Antal lägenheter: 42
Antal våningar: 4-6
Typ av bostad: bostadsrätt
Andel glasat tak: 66%
Storlek atrium B x L x H: 10,5x15,6x13,4 m



Figur 4.5. Sektion, entréplan, takplan och volym Musteriet, Stockholm

Teknik, termisk komfort och dagsljus
Brf Musteriet har ett inre ouppvärmt atrium med 2/3 plasttak utan solskydd. Vädringsluckor öppnas automatiskt vid 22 grader. Atriet är kallt vintertid och ventileras utöver vädringsluckorna manuellt när det blir väldigt varmt genom att man ställer upp dörrarna till takterrassen som finns två trappor upp. Det finns inget solskydd. Akustiken är god i atriet, delvis tack vare akustikplattor under loftgångar. Det finns ett fåtal stora växter i atriet som sköts av ett företag. Ingen odling sker i atriet, däremot är det odling på takterrassen där alla i föreningen har rätt till en odlingslåda. De som inte är intresserade av odling lånar ut sina odlingslådor till mer intresserade grannar.

De boende är nöjda med sitt atrium och upplever att det har lagom temperatur, förutsatt att man kan ställa upp dörrarna till takterassen. Det är relativt mörkt i atriet men inga boenderum har dagsljus via atrium.

Sociala strukturer

Atriet är entrérum för alla lägenheter. Avstånden mellan väggarna är så pass kort att man kan se sina grannar som är på andra sidan atriet, och det känns naturligt att hälsa. Föreningen har en gemensam städdag med obligatorisk närvaro en gång per år som avslutas med gemensam middag. Detta stärker sammanhållningen i föreningen och gör att alla känner alla. Det finns även ett gemensamt rum i anslutning till atriet som kan bokas och som används till fester. Det är aldrig klagomål när det är fest.

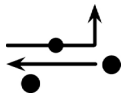
5 Viktiga parametrar för design av glasat utrymme

För att det glasade utrymmet ska bidra till ett ökat välmående och öka de boendes möjlighet att lära känna varandra finns det ett antal parametrar som är viktiga att värdera i designarbetet. Låg-intensiv kontakt eller passiv kontakt är relevant både som självständig form och som förstadie till andra former av mer komplex natur. Som Gehl (1971) konstaterar, är lågintensiv kontakt ett medium från vilka andra former av kontakt kan växa. Man kan påstå att det är det första steget för att sociala samspel ska ske. Utöver de aspekter som är viktiga i designfasen finns det ytterligare parametrar som är viktiga i förvaltningsskedet.
För att ett glasat atrium ska fungera som mötesplats för boende måste geometrin på utrymmet och de sociala strukturerna samspela. De viktiga aspekter som bör beaktas och som behandlas nedan är valda efter analys av litteratur, studiebesök och intervjuer som finns beskrivna i Crona m.fl. (2021). De flesta punkterna gäller även för andra större glasade utrymmen såsom glasade takutrymmen.

5.1 Aspekter som inverkar på användbarhet av atrium

Följande aspekter bör beaktas i designfasen för att ett glasat atrium i anslutning till flerbostadshus ska bli en aktiv mötesplats för de boende:

Stråk och målpunkter



Utgångspunkten för möten i atriet är att fler ska mötas vid fler tillfällen. Då blir målpunkter viktiga. Dessa kan programmeras i det gemensamma glasade atriet genom ett antal principer:

1. en gemensam entré genom det glasade atriet där alla måste passera,
2. gemensamma samlingsplatser i atrium som exempelvis möblerad sittgrupp, liten scen, bouleplan, odlingslådor etc.,
3. stråk till gemensamma utrymmen som samlingslokal och tvättutrymme,
4. privata platser i det glasade utrymmet.

Gemensamma utrymmen med ett vagt syfte fungerar sällan. Ett atrium som ger möjlighet för flera aktiviteter samtidigt är positivt för det sociala livet. För ett mer levande atrium bör det utformas för att rymma olika typer av aktiviteter, på olika tider på dagen / veckan / året och för olika antal personer.

Möblerbarhet

Möblerbarhet är ett stöd för olika aktiviteter, allt från individuella till kollektiva och från passiva till mer energiska. Ju fler aktiviteter som kan ske i det gemensamma utrymmet, desto fler boende inkluderas i byggnadens sociala liv. Att ge de boende möjlighet att möblera utrymmet till exempel i anslutning till respektive lägenhetsentré

ökar chansen att aktivera atriet. Att få plats för personliga möbler som bord och stolar verkar öka upplevelsen av välmående. Gemensamma möbler bör inte vara för tunga eller instabila om de ska kunna flyttas runt och möjliggöra olika aktiviteter.

Överblickbarhet

I begreppet överblickbarhet ingår trygghet, gemenskap, privathet, integritet och kontroll. Överblickbarhet påverkas av storlek på utrymmet och öppenhet/slutenhet i utrymmet. Att synas och att själv se är viktiga funktioner för att öppna upp för möten och kan bidra till att ge mer mångfald i byggnadens sociala liv. Den ger också trygghet genom att fler ser om något oväntat sker och kan ingripa. Det finns risk för konflikt mellan överblickbarhet och integritet, varför det är viktigt att alltid säkerställa avstånd vid fönster där insynsrisk finns.

Akustik

Bra akustik måste säkerställas för att garantera en trevlig upplevelse av det glasade atriet. Det kan vara en fördel att visst ljud accepteras då låga ljudnivåer kan stärka den sociala bindningen. Att kunna höra andra ger en ökad känsla av att tillhöra en gemenskap. Material på väggar och golv i atriet bör dock väljas ur ett akustiskt perspektiv. Hårda ytor ska undvikas. Uppmärksamhet bör ägnas åt ljud som genereras av olika aktiviteter såsom fester och gruppsamlingar.

Termisk komfort

Många är nöjda med den termiska komforten i glasade utrymmen under vår och höst. Det glasade utrymmets utmaningar är på sommaren och delvis också på vintern. Upplevd termisk komfort påverkas starkt av förväntningarna, särskilt för vinterfallet. Om man förväntar sig att använda utrymmet som ett normalt rum så förväntar man sig en normal rumstemperatur, men om man till exempel ser utrymmet som en vinterträdgård finns det en större acceptans för variationer i rumstemperatur och termisk komfort. Det glasade utrymmet bör vara kallt på vintern och utan extra värme för att inte öka energianvändningen och för att ge eventuella växter möjlighet till vintervila. För att minimera höga temperaturer under sommartid ska atriets geometri, materialval på ytor, glasningsandel, glasets egenskaper och ventilation beaktas. Uppskattning av temperatur kan göras med hjälp av *Spaces Calculator*. Även solskydd kan behövas.

Dagsljus

Att säkerställa optimala nivåer av dagsljus är viktigt för de boendes välbefinnande men också för de växter som odlas här. Solens placering, atriets geometriska form, väderstreck och taklutning är faktorer att arbeta med för att utforma bra dagsbelysta utrymmen. Att tänka på är att lågt g-värde på fönstren inverkar negativt på dagsljusfaktorn. Att använda materialets reflektionsförhållanden på atriumgolv och

väggar kan hjälpa till att öka dagsljusnivåer i områden som är svåra att nå såsom innerhörn och entréplan. Djup på balkonger i atriet bör utformas så att dagsljus når bottenvåningarna. De rum som vetter mot atriet blir mörkare än andra rum.

Växtlighet

Växter i atriet kan förbättra människors välbefinnande. Växterna, tillsammans med den fuktiga jorden, har en viss kylande effekt och kan användas som ett verktyg för att sänka övertemperaturen sommartid i utrymmet. För att få ett väl fungerande utrymme med odlingsmöjligheter är det viktigt att integrera bra infrastruktur (t.ex. bevattning) för dessa aktiviteter redan i designfasen. Ett stort antal växter kan odlas i ett atrium (från mer regionala till växter med speciella klimatbehov, till växter som behöver lite eller mycket skötsel). Frågor som vem som ska ta hand om växterna, vilken typ av klimat som behövs, hur mycket ventilation som behövs för att undvika takkondens, hur mycket utrymme för odling som ska användas och hur ytan ska fördelas är viktigt att svara på i designfasen. Boende som deltar i växtskötsel har uppgivit ökat välbefinnandet såväl som ökad känsla av gemenskap. Det är viktigt att vara medveten om att skadedjur lätt sprids mellan växter. Att ha en plan för vad man ska göra om och när detta inträffar minskar risken för att konflikter.

Följande aspekter bör beaktas i förvaltningsfasen för att ett glasat atrium i anslutning till flerbostadshus ska fungera som förväntat:

Struktur för sociala aktiviteter

När någon eller några personer tar ansvar för att driva de önskade aktiviteterna blir den sociala samhörigheten och de sociala strukturerna större och tydligare. Ibland räcker det med ett inofficiellt ledarskap men många gånger är ett tydligt mandat att planera och initiera aktiviteter bra för att få det glasade utrymmet att nyttjas som det var tänkt. Om det finns en tydlig förväntan på att sociala aktiviteter ska ske, antingen genom information när man överväger att flytta till bostaden eller genom diskussioner med grannar, underlättar det för att önskvärda aktiviteter sker över tid. Tydliga förhållningsregler om vad som förväntas av alla som använder sig av det gemensamma atriet minimerar risk för konflikter.

Ägarskap

Att känna ägarskap för det gemensamma glasade utrymmet inverkar positivt på i vilken grad man känner sig trygg med att uppehålla sig där. Upplevt ägarskap ökar användningsgrad. Ett sätt att öka ägarskapet är att privatisera delar av det gemensamma utrymmet med exempelvis en uteplats i anslutning till lägenhetsentrén. Att känna ägarskap sker med större automatik i en bostadsrättsförening och en ägarlägenhet. I ett hyreshus krävs ofta mer styrande strukturer och delegation till de boende för att utrymmet ska bidra till den sociala hållbarheten, se även Struktur för sociala aktiviteter.

5.2 Checklista för atrium

Målet med ett atrium bör vara att det tillför kvalitet till de boende. I våra studier har vi sett att de atrium som fungerar bäst har lyckats med de parametrar som vi listat i nedanstående checklista. Checklistan kan fungera som ett stöd i tidigt skede för att på ett enkelt sätt bli observant på de faktorer som inverkar på upplevelsen av ett atrium i anslutning till sin bostad. Genom att klicka i ja har man tillgodosett en aspekt som kan inverka positivt på komfort och de sociala funktionerna i atrium.

Tabell 5.1. Checklista för utformning av atrier

Stråk och målpunkter		
Målpunkter i atrium	ja ☐	nej ☐
Stråk genom atrium	ja ☐	nej ☐
Möblerbarhet		
Flera möjliga möbleringsalternativ	ja ☐	nej ☐
Plats för privat möblering	ja ☐	nej ☐
Möblering för sociala aktiviteter	ja ☐	nej ☐
Överblickbarhet		
Ögonkontakt mellan huskroppar	ja ☐	nej ☐
Lätt att se entré	ja ☐	nej ☐
Naturliga siktlinjer mellan stråk och platser	ja ☐	nej ☐
Akustik		
Ljuddämpande material på väggar	ja ☐	nej ☐
Ljuddämpande material på golv	ja ☐	nej ☐
Ljuddämpande material under loftgångar	ja ☐	nej ☐
Termisk komfort		
Rimlig temperatur sommartid	ja ☐	nej ☐
Dagsljus		
Ljusa ytor på väggar mot atrium	ja ☐	nej ☐
Fönster till rum fria från skuggande loftgång	ja ☐	nej ☐
Växtlighet		
Plats för egen odling	Ja ☐	nej ☐
Stora växter-/ träd	Ja ☐	nej ☐
Bevattningssystem	Ja ☐	nej ☐
Struktur för sociala aktiviteter		
Föreningar för aktiviteter och skötsel	Ja ☐	nej ☐
Ägarskap		
Egen privat plats i atrium	Ja ☐	nej ☐

6 Hinder för glasade utrymmen i flerbostadshus

Med avseende på möjligheten att bygga större inglasade volymer i anslutning till nyproducerade flerbostadshus är det viktigt att lyfta de hinder som finns i dagens praxis och lagstiftning.

6.1 Praxis gällande betalningsmodell för kommunal mark

Betalningsmodellen för kommunen vid markförsäljningen kan se lite olika ut. Många gånger är det dock den bruttoarean ovan mark som projektutvecklaren betalar för. Ibland betalar projektutvecklaren för den utnyttjade bruttoarean och ibland tar kommunen betalt för den bruttoarea som står angiven i detaljplan, och projektutvecklaren betalar då för byggrätten vare sig den utnyttjas eller ej. En konsekvens av den senare modellen blir att projektutvecklaren strävar efter att komma så nära byggrätten som möjligt för att få en bra avkastning på projektet. I praktiken innebär det att en exploatör som glasar in gård, utvidgar glasade trapphus eller glasar in tak har större markkostnad per bostad än en exploatör som inte gör detta.

I samband med konceptet inglasad gård uppstår frågan hur utrymmet ska tolkas i våra mätregler (Svensk Standard, 2009). Projektutvecklare och boende ser gården som en inglasad utemiljö. För exploatören Bovieran, vars koncept innefattar en inglasad gård, har det varit många olika diskussioner i de kommuner där de velat köpa mark för att uppföra ett Bovieran-koncept. Bovieran kallar den glasade gården för vinterträdgård och menar att den då inte ska värderas till samma pris som bostadshuset. Bovieran ser tendensen att ju högre marknadstryck (inkl. krav på hög exploateringsgrad), desto mer benägen är kommunen att även ta betalt för vinterträdgård/ gemensamma ytor. Betalningsmodellen hindrar inglasade ytor. Möjligheten att ge mer utrymme för de boende att mötas på, i till exempel större trapphus, orangerier, växthus, glasade tak eller gårdar, blir en kostnad vid markköp. Den kostnaden bärs av säljbar eller uthyrningsbar bostadsyta, i standard benämnd boarea (BOA).

Betalningsmodellen är negativ ur ett socialt hållbarhetsperspektiv då den drabbar alla gemensamma ytor i bostadsprojekt. En kommun som vill främja social hållbarhet och levande bottenplan skulle kunna sälja mark där pris sätts per färdig BOA. Det skapar större utrymme för fler gemensamma ytor, rymligare trapphus och inglasningar. Genom gemensamma utrymmen i entréplan kan ytorna på sikt bli lokaler om underlaget för verksamhet blir bättre över tid.

6.2 Detaljplan

På samma sätt som praxis gällande betalningsmodell för kommunal mark utgår från bruttoarea (BTA) har många detaljplaner begränsad byggrätt med utgångspunkt från BTA alternativt byggnadsarea (BYA). Både bruttoarea och byggnadsarea beskrivs i Svensk Standard (SiS) som anser att inglasning ska räknas. Det kan därför vara svårt att få bygglov för inglasade utrymmen om detta inte varit med som en möjlighet i detaljplanearbetet eftersom man snabbt överskrider detaljplanens begränsning.

6.3 Rum mot det fria

I Boverkets byggregler (BBR) i kapitel 3:22 Allmänt om utformning av bostäder där man kan läsa ”…*Avskiljbar del av rum ska ha fönster mot det fria.”* (Boverket, 2020). Den skrivelsen skulle kunna tolkas som att man inte kan räkna rum eller avskiljbar del

av rum mot inglasad gård och fortfarande räkna det som ett rum då inglasning inte är att betrakta som ”det fria”. I nuläget har man dock valt att se inglasad gård som en inglasad balkong. Mot balkong är det idag praxis att tillåta rum innanför inglasning.

6.4 Investeringskalkyl

I exploatörens investeringskalkyl är nyckeltalet boarea (BOA) dividerat med bruttoarea (BTA) ett av de viktigaste nyckeltalen. Återigen blir det glasade utrymmet en svårighet att hantera, både som gård, inglasad balkong och större inglasade trapphus.

När en bostadsutvecklare köper mark för att bygga på är det kvadratmeter bostadsarea (BOA) som är nyckeln till god ekonomi i projektet. Antingen säljbara kvadratmeter (bostadsrätt) eller uthyrningsbara kvadratmeter (hyresrätt). Med höga markpriser kan man säga att man ligger i skuld med varje bostadskvadratmeter man inte får ut i förhållande till bruttoarean. Konsekvensen blir att man strävar efter så små trapphus som möjligt, undviker inglasade balkonger och minskar lokaler och biytor i ljusa delar av byggnaden. Med ett mer instabilt klimat finns det större behov av gemensamma ytor där man kan vistas tillsammans. Trapphus och atrium är den typ av ytor som skulle kunna stå till förfogande och på så sätt öka den sociala hållbarheten i ett kvarter eller område.

7 Sammanfattning av Spaces-projektet

Syftet med Spacesprojektet var att undersöka glasade utrymmen i bostadshus ur både byggnadsfysikalisk och arkitektonisk synvinkel och att ge beskrivningar av hur de fungerar, både ur användningssynpunkt och med avseende på termisk komfort. Detta har resulterat i material att använda för att underlätta designen av glasade utrymmen med avseende på social samvaro, trygghet och termisk komfort. En utmaning för arkitekten i tidigt skede är att bestämma och beskriva geometrin hos det glasade utrymmet, vilka material som utgör anslutande ytor och vilka egenskaper glasytor ska ha. Med väldigt liten tidsinsats är det önskvärt att i designfasen få tydliga indikationer på, framför allt, hur höga temperaturerna blir under sommaren i det glasade utrymmet.

Spaces-projektet inleddes med en litteraturstudie om glasade utrymmen, omfattande ca. 160 publikationer, som behandlade utrymmenas geometri, glasningar, användningsområde, termisk komfort, ventilation, energi, sociala aspekter och odling.

Därefter identifierades åtta stycken relevanta byggnader, s.k. fallstudier, som har undersökts i detalj vid studiebesök och med hjälp av ritningar och mätningar av temperatur och dagsljus. Byggnaderna finns i Malmö, Eslöv, Göteborg, Stockholm, Umeå och på Hönö.

För alla fallstudier har intervjuer gjorts med boende och med yrkesfolk såsom konsulter, förvaltare, arkitekt, projektledare om det glasade utrymmet och hur det fungerar, främst med avseende på social hållbarhet men även tekniska funktioner. De boende har även svarat på en enkät och graderat kvaliteter inom områdena termisk komfort för olika årstider, luftkvalitet, dagsljus, sociala aktiviteter och avkoppling. Med hjälp av materialet av denna del har en checklista för utformning av atrier tagits fram där kriterier inom områdena Stråk och målpunkter, Möblerbarhet, Överblickbarhet, Akustik, Termisk komfort, Dagsljus, Växtlighet, Struktur för sociala aktiviteter och Ägarskap bedöms.

Under det inledande arbetet observerades att den termiska komforten är A och O för användbarheten av det glasade utrymmet, och att det fanns ett antal parametrar som går att titta på för att tidigt i processen kunna styra geometrin mot så bra termisk komfort som möjligt. Detta resulterade i det excelbaserade beräkningsverktyget *Spaces Calculator*, för beräkning av temperaturer i glasade utrymmen. Syftet med beräkningsmodellen är att arkitekter under skisskedet skall få tillgång till ett verktyg som är enkelt att börja använda och där det går snabbt variera parametrar (exempelvis geometrier, glasningar och material), eftersom det i skisskedet är önskvärt att kunna undersöka många alternativ.

Resultaten från *Spaces Calculator* har jämförts med byggnadssimuleringsprogrammet IDA ICE och användarvänlighet har testats av arkitekter. Manual för *Spaces Calculator* och ett antal exempel på vad som händer när man ändrar parametrar för en byggnad finns framtaget. Dessa exempel visar till exempel att en högre byggnad ger minskade problem med övertemperaturer på sommaren, att tyngre material (med högre värmelagringsförmåga) på mark och fasader mot det glasade utrymmet dämpar temperatursvängningar, hur mycket ett minskat g-värde på takfönster kan minska övertemperaturer och hur mycket kallare det blir under natten

vintern om man har en glasvägg i ett atrium med glastak, jämfört med en vanlig yttervägg.

I projektet ingår även en undersökning av gällande lagars och praxis påverkan på möjligheter att bygga glasade utrymmen. Här beskrivs hur kommunernas betalningsmodell för kommunal mark, investeringskalkyler och detaljplan påverkar möjligheter till glasade utrymmen, såsom överglasade gårdar, och beskrivning av rådande tolkning av BBR för rum i anslutning till inglasningar.

Den övergripande målsättningen med projektet har varit att ge arkitekten de bästa förutsättningarna för att skapa väl fungerande glasade utrymmen i anslutning till bostadshus. Målet att bidra till större social tillhörighet, genom att underlätta för möten och umgänge i det glasade utrymmet, resulterade i ett redskap, en checklista, för projekteringsfasen, och målet att ge arkitekten möjlighet att tidigt få en uppfattning om atriets temperatur resulterade i beräkningsverktyget *Spaces Calculator*. De olika fallstudierna som finns beskrivna (främst i Crona m.fl. 2021) ger också värdefull information om både sociala och tekniska aspekter.

8 Referenser

Boverket (2020): *Boverkets byggregler – föreskrifter och allmänna råd*. Boverket, BFS 2011:6 t.o.m. 2020:4.

Carlsson, P-O. (2005): *Bygga med glas*. Mandarin samt Glasbranschföreningen, Stockholm.

COMSOL AB (2021): *COMSOL Multiphysics® v. 5.6*. www.comsol.com. COMSOL AB, Stockholm, Sweden.

Crona, K., Bardas-Dunare, R., Domhagen, F., Säwén, T., Wessfeldt, A., Wahlgren, P. (2021): *Glazed spaces for a resource efficient, social and healthy living, Part 1: Inventory of geometries and functions by study visits and interviews*. Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Chalmers tekniska högskola, Report ACE 2021:5.

Danielski, I., Nair, G., Joelsson, A., & Fröling, M. (2016): Heated atrium in multi-storey apartment buildings, a design with potential to enhance energy efficiency and to facilitate social interactions. Building and Environment, vol. 106, sid. 352–364. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.038.

Engvall, K. (1989): *Probleminventering i hus med inglasad gård*. Utrednings- och statistikkontoret, Rapport 1989:6.

EQUA Simulation AB (2016): IDA Indoor Climate and Energy 4.7. Manual version: 4.7.

Geh, J. (1971): *Livet mellem husene: udeaktiviteter og udemiljöer*, Arkitektens förlag, ISBN 8774072803

Hansson, J, (2020): *Numerical simulations of thermal comfort in an atrium- The impact of thermal mass and atrium dimensions*. Masteruppsats, Avdelningen för byggnadsteknologi, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Chalmers tekniska högskol, https://hdl.handle.net/20.500.12380/301660.

Hayati, A. (2017): *Natural Ventilation and Air Infiltration in Large Single-Zone Buildings: Measurements and Modelling with Reference to Historical Churches*. Doktorsavhandling, Energisystem, avdelningen för byggnadsteknik, energisystem och miljövetenskap, Högskolan i Gävle. ORCID-id: 0000-0002-4007-3074.

Hilliaho, K., Lahdensivu, J., Vinha, J. (2015). Glazed space thermal simulation with IDA-ICE 4.61 software—Suitability analysis with case study. Energy and Buildings, vol. 89, sid. 132-141.

IEA Task12 A3 (1996): *Atrium Models for the Analysis of Thermal Comfort and Energy Use*. Eds: I. Bryn and P.A. Schiefloe, SINTEF, Trondheim, Norway. International Energy Agency, Task 12; Building Energy Analysis and Design Tools for Solar Applications, Project A.3; Atrium Model Development.

Lange, E. (1986). *Inglasningar - Klimat och energi. Erfarenheter från några mätprojekt*. Institutet för byggnadsdokumentation, Rapport 35:1986.

Norrby, C. (1992): *Bostadshus med inglasade gårdar*. Utrednings- och statistikkontoret, Rapport 1992:3.

Norrby-Herdenfeldt, C. (1989): *Att bo med inglasad gård*. Utrednings- och statistikkontoret, Rapport 1989:7.

Parma, L. (2020): Glazed connections - A design strategy to promote wellbeing & social interaction within glazed spaces in residential buildings. Masteruppsats, Insitutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Chalmers tekniska högskola. https://hdl.handle.net/20.500.12380/301417.

Pitts, A., Saleh, J. B. (2007): Potential for energy saving in building transition spaces. Energy and Buildings, vol. 39, nr. 7, sid. 815-822.

Svensk Standard (2009): *Area och volym för husbyggnader – Terminologi och mätregler*. Svenska Institutet för Standarder, SS21054:2009.

Wahlgren, P., Crona, K., Bardas-Dunare, R., Domhagen, F., Säwén, T., Wessfeldt, A. (2020): Spaces: a project on glazed geometries for improved indoor climate and social interaction- initial interviews and data gathering. Poster, Beyond 2020 conference, 2-4 november, Göteborg, Poster ID: 4727998.

Wall, M. (1996): *Climate and Energy Use in Glazed Spaces*. Doktorsavhandling, Byggnadsvetenskap, Lunds tekniska högskola.

Zhu, Q., Yan, D. (2007): Dynamic simulation of atrium thermal environment aiding building design. *I handlingarna: Building Simulation 2007*. Department of Building Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, Kina

9 Bilagor

9.1 Ekvationer Spaces Calculator

These are basic equations for the calculation of temperatures in the glazed space. The effect of evaporation is not included in the first edition of the *Spaces Calculator*.

The following parameters are of importance:

A_j	Area (m^2) facing the exterior (ground not included), j=1…J
A_g	Area (m^2) of ground slab
A_w	Total area (m^2) facing adjacent building surfaces
A_{wet}	Evaporating surface area (m^2)
V	Total volume of space between the two buildings (m^3)
H, L, B	Dimensions of glazed space, Height, Length and Width (m)
U_j	U-value of surfaces facing the exterior (W/m^2K) , j=1…J
U_g	U-value for thermal coupling space floor to external air through ground (W/m^2K)
R_a	Ventilation air flow rate (external air flowing to the space) (m^3/s)
$T_{eq,j}$	Equivalent temperature for different surfaces facing the exterior (K), j=1…J
T	Average temperature (height=H/2) of the space air temperature (K)
T_{in}	Indoor temperature of the adjacent buildings (K)
T_e	Outdoor temperature (K)
$\overline{T}_e$	Annual average outdoor temperature (K)
$\tilde{T}_{eq}$	Overall driving equivalent temperature influencing the space (K)
$\Delta\tilde{T}_{in}$	Increase in overall driving equivalent temperature due to solar gains (K)
M	Total mass active in diurnal temperature variation (kg)
c	Specific heat capacity of mass active in diurnal temperature variation (J/kg,K)
$\rho_a c_{pa}$	Volumetric heat capacity of air (J/m^3,K)
g	Solar heat gain coefficient (-)
Q_{sol}	Total solar heat gain (W)
Q_{ev}	Total cooling effect (negative effect) due to evaporation of water (W)
K	Thermal conductance (W/K)
$\tilde{K}$	Overall thermal conductance for the space (W/K)
v	Humidity by volume of air in space (kg/m^3)
v_{sat}	Humidity by volume at saturation (kg/m^3)
l_{lv}	Water evaporation energy (J/kg)

Figure 9.1 shows the type of building and glazed space the is considered.

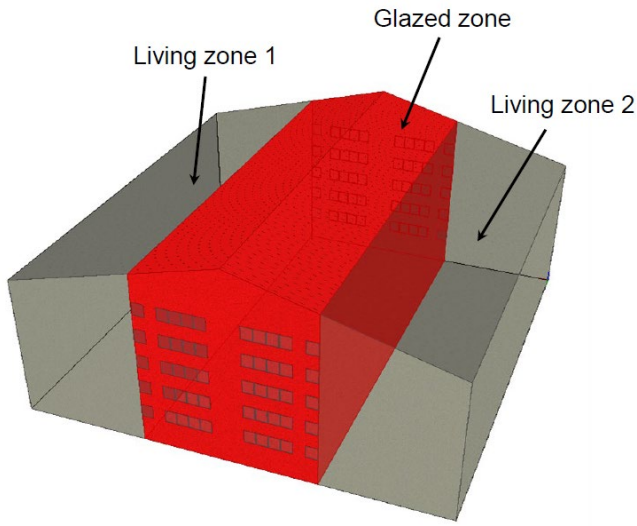


Figure 9.1. Type of considered glazed space.

Network analysis

The hygrothermal problem can be visualized as in Figure 9.2.

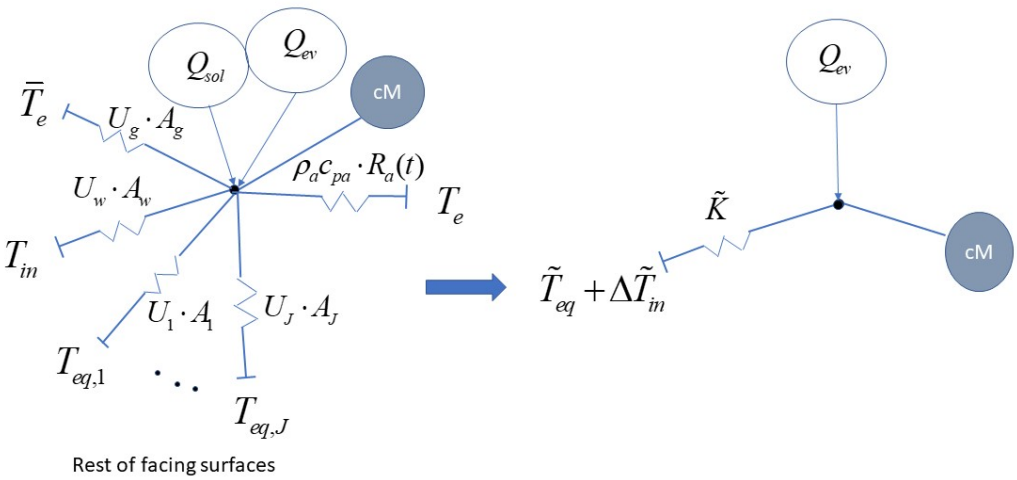


Figure 9.2. Thermal network for the glazed space.

The corresponding network for water vapor is shown in Figure 9.3.

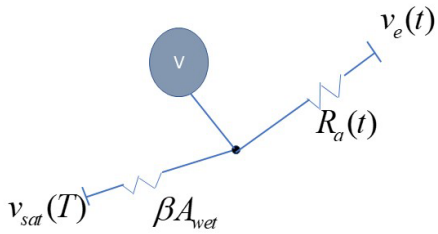


Figure 9.3. Network for moisture balance.

The solar gain can be written as:

$$Q_{sol} = \sum_{glazed\ areas,i} I_{global} \cdot g_i \cdot A_i$$

The coupling between the hygric and thermal part is the evaporation cooling:

$$Q_{ev} = -l_{lv} \cdot \beta A_{wet} \cdot \left(v_{sat}(T) - v\right)$$

The overall conductance for the thermal network is:

$$\tilde{K} = U_g A_g + U_w A_w + \sum_{j=1}^{J} U_j A_j + R_a \rho_a c_{pa}$$

The effective external temperature, including solar heat gains, are:

$$\tilde{T}_{eq} = \frac{U_g A_g \cdot \bar{T}_e + U_w A_w \cdot T_{in} + \sum_{j=1}^{J} U_j A_j \cdot T_{eq,j} + R_a \rho_a c_{pa} \cdot T_e}{\tilde{K}}, \Delta\tilde{T}_{in} = \frac{Q_{gain}}{\tilde{K}}$$

Corresponding temperature drop due to the cooling is:

$$\Delta\tilde{T}_{ev} = -\frac{Q_{ev}}{\tilde{K}}$$

The water vapour mass balance reads:

$$V\frac{dv}{dt} = \beta A_{wet}\left(v_{sat}(T) - v\right) - R_a(t) \cdot (v - v_e(t))$$

The heat balance reads:

$$cM\frac{dT}{dt} = \tilde{K} \cdot \left(\tilde{T}_{eq} + \Delta\tilde{T}_{in} - T\right) + Q_{ev}$$

These two conservation equations constitute a dynamic system. It can be rewritten as:

$$\begin{pmatrix} \frac{dT}{dt} \\ \frac{dv}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_1(t,T,v) \\ f_2(t,T,v) \end{pmatrix}$$

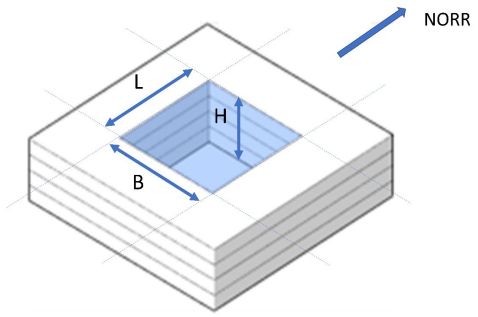
Where

$$\begin{cases} f_1 = \frac{1}{cM}\left[K \cdot \left(\tilde{T}_{eq} + \Delta\tilde{T}_{in} - T\right) - \ell_{lv} \cdot \beta A_{wet} \cdot (v_{sat}(T) - v)\right] \\ f_2 = \frac{1}{V}\left[\beta A_{wet}(v_{sat}(T) - v) - R_a(t) \cdot (v - v_e(t))\right] \end{cases}$$

9.2 Manual Spaces Calculator

Spaces Calculator är ett beräkningsprogram i Excel som används för att undersöka temperaturer i glasade utrymmen bestående av en glasad volym med omringande byggnader, eller ytterväggar. Med hjälp av *Spaces Calculator* kan man snabbt, och tidigt i skisskedet, bedöma effekten av olika geometrier, orienteringar, materialval och klimat. Det krävs i stort sett inga förkunskaper om beräkningar för att använda *Spaces Calculator*, förutom att kunna lägga in, och läsa av, värden i Excel. Resultaten ges i form av maximum- och minimumtemperatur under en vinterdag, en vårdag och en sommardag, samt tidpunkterna då dessa inträffar. För varje årstid visas också temperaturvariationen över en dag i ett diagram.

Beräkningsmodellen antar att byggnadskroppen är orienterad i väderstreckens riktningar och att det glasade utrymmet har formen av ett rätblock (skolåda), se figur 9.4. Modellen använder uppmätt klimatdata från olika klimatzoner i Sverige, se figur 9.5.



Figur 9.5. Geometrisk beskrivning av det glasade utrymmet i Spaces Calculator.

Figur 9.5. De fyra klimatzoner som används i Spaces Calculator

De vertikala väggarna i det glasade utrymmet kan antingen angränsa till en inomhusmiljö (omgivande lägenheter) eller en utomhusmiljö. Taket antas alltid gränsa till utomhus. För de olika byggnadsdelarna beskrivs material- och komponentdata såsom U-värde och g-värde. Luftomsättningen (luftväxlingen) i det glasade utrymmet påverkar i hög grad temperaturerna där. Därför ansätts en konstant luftomsättning så att detta inte skall störa övriga parameterstudier. Notera att det betyder att luftflödet in till det glasade utrymmet ökar ifall volymen ökas, vilket också är i överensstämmelse med dimensionering av utrymmet eftersom man har fler ventilationsluckor för ett större glasat utrymme. Luftomsättningen är enbart angivet med en siffra och kan orsakas av skorstenseffekt, vind, mekanisk ventilation, eller kombinationer av dessa.

I tabell 9.1 förtydligas de olika parametrarna och förslag ges på indata (baserade på intervjuer och litteratur) som kan användas som utgångspunkt ifall inga tekniska data finns tillgängligt. För varje parameter finns ett acceptabelt intervall angivet i *Spaces Calculator*.

Tabell 9.1. Parametrar som användare lägger in i Spaces Calculator samt förslag på storlekar för de fall där inga tekniska data är tillgängliga för byggnaden som skall undersökas.

Parameter	**Förtydligande parameter**	**Förslag på indata**
Geometri	Dimensioner för det glasade utrymmet och dess väggar, golv och tak.	
Längd på glasgård, Söder till Norr		
Bredd på glasgård, Väster till Öster		
Höjd på glasgård	Medelhöjd på glasgården.	
Klimatzon	Klimatzon i Sverige enligt figur 9.5. Klimatzonerna representeras av städerna Luleå, Borlänge, Stockholm och Lund.	
Allmänt		
Ventilation luftomsättning (1/h)	Luftomsättningen i glasade utrymmet, dvs hur många gånger i timmen luften byts ut mot uteluft. Eftersom värdet på luftomsättningen sätts till ett fixt värde innebär det att det glasade utrymmet får ett större luftflöde om volymen på utrymmet ökar. (Luftflöde= Luftomsättning· Volym)	För att undersöka övertemperaturer vår/höst välj ett lågt värde på luftomsättning, 0,1 1/h), för övertemperaturer sommar välj 1 oms/h och för ett mer ventilerat fall välj 10 oms/h. För vinterfall kan atriet stängas till dvs 0.1 oms/h.

		För generellt fall välj 3 1/h.
Inomhustemperatur (grader C)	Inomhustemperatur som omgivande byggnader håller	22°C
Marktyp	Typ av markbeläggning i dominerande del av glasade utrymmets mark. Sand, berg, betong på silt (liknar sand) och trä på silt finns som alternativ.	
Våtyta (m^2)	Summerad yta för öppet vatten, bevattnad mark samt växters bladyta. Innetemperaturen i det glasade utrymmet beräknas utan den temperatursänkning som avdunstning ger och temperatursänkning på grund av avdunstning redovisas separat (ifall man lagt in våt yta).	0 m^2
Material i väggytor mot glasat utrymme		
Material	Fasadmaterial på intilliggande byggnaders väggar mot det glasade utrymmet. Trä, tegel, betong, cementskiva finns som alternativ.	
Tjocklek (m)	Tjocklek på ovanstående fasadmaterial.	
Tak		
Andel glas	Andel glasad yta av total takyta i det glasade utrymmet.	
U-värde glasdel (W/m^2K)	U-värde för glasade takytor. Bestämmer värmeledning (värmeförluster) genom glaset (exkl. solstrålning) vid ett visst klimat. Lämpliga värden kan väljas från Bygga med glas (Carlsson, 2005) eller glastillverkare.	0,8 W/m^2K
g-värde glasdel (%)	g-värde för glasade ytor. Beskriver hur stor andel av solstrålningen som träffar glaset som bidrar till uppvärmning av det glasade utrymmet. Lämpliga värden kan väljas från Bygga med glas (Carlsson, 2005) eller glastillverkare.	35%
U-värde, icke glasdel (W/m^2K)	U-värdet för de delar av taket som inte är av glas, dvs. vanligt tak. Bestämmer värmeledning (värmeförluster) genom en konstruktionsdel vid ett visst klimat.	Ifall det är mycket glas kan ett relativt högt värde antas, 1,5 W/m^2K. Annars kan man anta att de icke glasade delarna är mer välisolerade, 0,2 W/m^2K.

<u>Vägg Norr</u>	Denna beskrivning görs för det glasade utrymmets alla fyra väggar (alla väderstreck).	
Ansluter till	Här väljs om väggen vetter mot utomhus (yttre) eller mot en byggnad (inre).	
<u>Om till Inre</u>		
Medel U-värde	Medel U-värde för väggen, dvs areaviktat medel för väggar, fönster, dörrar enligt ekvation 1 nedan. Enskilda U-värden kan erhållas från produkttillverkare eller materialtillverkare (främst isoleringstillverkare för väggkomponenter).	0,18 W/m²K
<u>Om till yttre</u>	Lämpliga värden för U-värde och g-värde för glasade ytor kan väljas från Bygga med glas (Carlsson, 2005) eller glastillverkare.	
Andel glas	Andel glasad yta av total väggyta.	
U-värde glas del (W/m²K)	U-värde för glasade ytor.	1,4 W/m²K
g-värde glasdel (%)	g-värde för glasade ytor.	35%
U-värde, icke glasdel	U-värdet för de delar av väggen som inte är av glas, dvs. vanlig vägg.	Ifall det är mycket glas kan ett relativt högt värde antas, 1,5 W/m²K. Annars kan man anta att de icke glasade delarna är mer välisolerade, 0,2 W/m²K.

$$U_{medel} = \frac{U_{vägg} \cdot A_{vägg} + U_{fönster} \cdot A_{fönster} + U_{dörr} \cdot A_{dörr}}{A_{vägg} + A_{fönster} + A_{dörr}} \text{ (W/m}^2\text{K)} \quad (1)$$

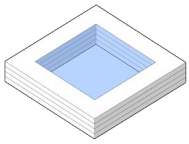
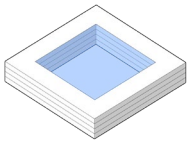
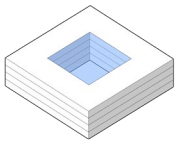
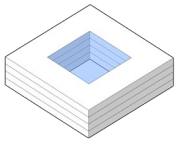
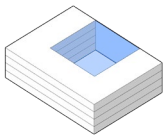
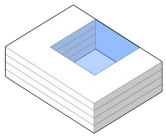
Utförligare beskrivning av indata finns i kapitel 3. Ekvationer och detaljer om beräkningar i *Spaces Calculator* finns i bilaga 1.

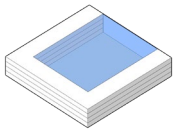
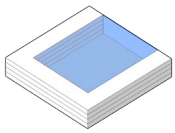
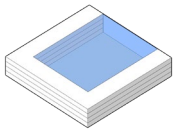
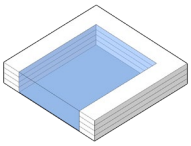
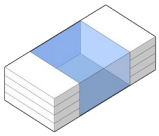
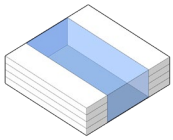
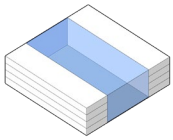
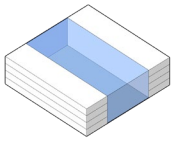
För design av atrier med hänsyn till sociala aspekter hänvisas Tabell 5.1. ”Checklista för utformning av atrier”.

9.3 Exempelresultat Spaces Calculator

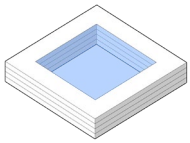
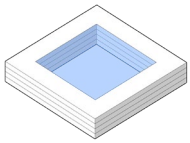
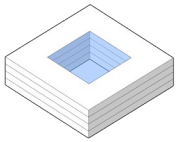
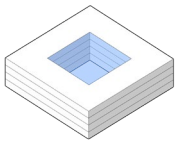
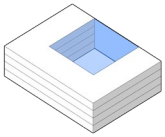
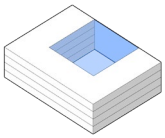
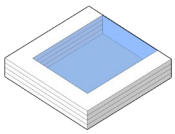
För grundfallet gäller, förutom information i tabell, U-värde glastak 0,8 Wm²K, U-värde för tak som inte är glas 1,5 W/m² , U-värde för väggar mellan bostäder och glasat utrymme 0,18 W/m²K, väggar av glas har U-värde 1,4 W/m²K, g-värde glasvägg 50%, U-värde för glasvägg som inte är av glas 1,5 W/m²K, på marken finns trätrall och på väggarna träfasad.

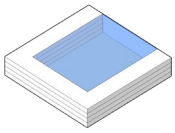
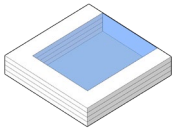
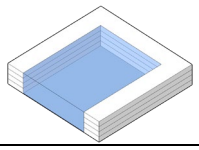
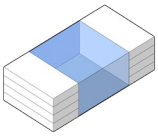
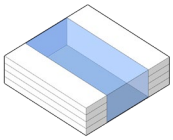
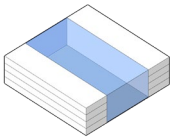
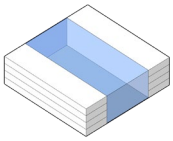
Tabell 9.2. Resultat för byggnad i Lund med luftomsättning 15 oms/h.

Geometri	Storlek (m) fotavtryck atrium	Variationer	Max temp sommar °C	Max temp vår/höst °C	Min temp vinter °C
Stor Sluten	40x40 	Grundfall: 4 våningar (12m) i Lund, 15 oms/h, g-värde: 50%, Glasandel: 90%, Ytskikt: trä	26,8	21,5	-2,6
Stor Sluten Hög	40x40 	Två extra våningar	25,0	20,0	-2,6
Liten Sluten	20x20 	Halverad bredd och längd	26,8	21,5	-2,5
Liten Sluten Låg	20x20 	Halverad bredd, längd och höjd	32,3	25,9	-2,5
Liten Ensidig	20x20 	Halverad bredd och längd, och öppen sida mot norr	27,0	21,8	-2,6
Liten Ensidig	20x20 	Halverad bredd och öppen sida mot norr Betonggolv	26,9	21,7	-2,5

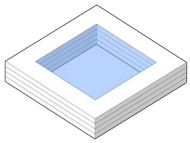
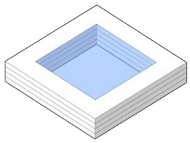
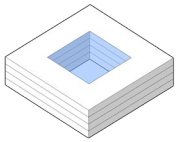
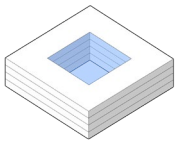
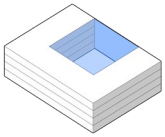
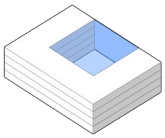
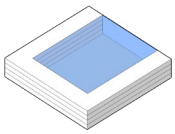
Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot norr	27,0	21,7	-2,6
Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot norr och 1/5 glas i tak	23,1	18,5	-2,7
Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot norr och g-värde 25%	24,2	19,4	-2,6
Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot söder	27,9	22,4	-2,6
Liten Tvåsidig	20x20 	Öppen sida mot norr och söder	27,9	23,0	-2,6
Tvåsidig	20x40 	Öppen sida mot norr och söder	27,3	22,3	-2,6
Tvåsidig	20x40 	Öppen sida mot norr och söder och 1/5 glas i tak	23,5	19,3	-2,6
Tvåsidig	20x40 	Öppen sida mot norr och söder och g-värde 25 %	24,6	20,0	-2,6

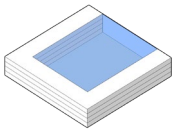
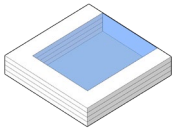
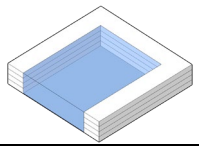
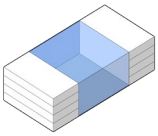
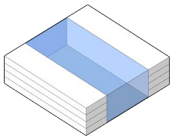
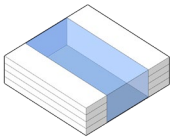
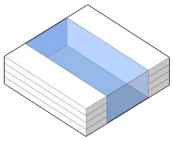
Tabell 9.3. Resultat för byggnad i Luleå med luftomsättning 3 oms/h.

Geometri	**Storlek (m) fotavtryck atrium**	**Variationer**	**Max temp sommar °C**	**Max temp vår/höst °C**	**Min temp vinter °C**
Stor Sluten	40x40 	Grundfall: 4 våningar (12m) i Luleå, 3 oms/h, g-värde: 50%, Glasandel: 90%, Ytskikt: trä	41,3	24,3	-13,9
Stor Sluten Hög	40x40 	Två extra våningar	34,2	19,5	-14,5
Liten Sluten	20x20 	Halverad bredd och längd	40,5	23,3	-12,6
Liten Sluten Låg	20x20 	Halverad bredd, längd och höjd	57,6	33,8	-11,1
Liten Ensidig	20x20 	Halverad bredd och längd, och öppen sida mot norr	40,9	23,9	-13,3
Liten Ensidig	20x20 	Halverad bredd och öppen sida mot norr Betonggolv	38,3	20,3	-11,0
Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot norr	41,3	24,5	-14,2

Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot norr och 1/5 glas i tak	26,1	13,2	-14,6
Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot norr och g-värde 25%	30,5	16,5	-14,2
Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot söder	45,6	28,2	-14,2
Liten Tvåsidig	20x20 	Öppen sida mot norr och söder	44,9	27,5	-14,0
Tvåsidig	20x40 	Öppen sida mot norr och söder	43,1	25,9	-13,9
Tvåsidig	20x40 	Öppen sida mot norr och söder och 1/5 glas i tak	29,2	15,3	-14,3
Tvåsidig	20x40 	Öppen sida mot norr och söder och g-värde 25 %	32,8	18,4	-13,9

Tabell 9.4. Resultat för byggnad i Luleå med luftomsättning 15 oms/h.

Geometri	**Storlek (m) fotavtryck atrium**	**Variationer**	**Max temp sommar °C**	**Max temp vår/höst °C**	**Min temp vinter °C**
Stor Sluten	40x40 	Grundfall: 4 våningar (12m) i Luleå, 15 oms/h, g-värde: 50%, Glasandel: 90%, Ytskikt: trä	23,9	12,1	-16,5
Stor Sluten Hög	40x40 	Två extra våningar	22,6	11,5	-16,1
Liten Sluten	20x20 	Halverad bredd och längd	23,9	12,1	-16,3
Liten Sluten Låg	20x20 	Halverad bredd, längd och höjd	28,3	15,7	-15,9
Liten Ensidig	20x20 	Halverad bredd och längd, och öppen sida mot norr	24,2	12,3	-16,3
Liten Ensidig	20x20 	Halverad bredd och öppen sida mot norr Betonggolv	24,0	12,0	-15,6
Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot norr	24,1	12,2	-16,5

Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot norr och 1/5 glas i tak	21,5	10,8	-16,6
Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot norr och g-värde 25%	22,1	11,2	-16,5
Stor Ensidig	40x40 	Öppen sida mot söder	24,8	13,2	-16,5
Liten Tvåsidig	20x20 	Öppen sida mot norr och söder	25,8	13,1	-16,4
Tvåsidig	20x40 	Öppen sida mot norr och söder	24,8	12,6	-16,5
Tvåsidig	20x40 	Öppen sida mot norr och söder och 1/5 glas i tak	22,3	11,4	-16,5
Tvåsidig	20x40 	Öppen sida mot norr och söder och g-värde 25 %	23,0	11,7	-16,5