

Gröna taks inverkan på termisk komfort

The Impact of Green Roofs on Thermal Comfort



Illustration: Protan BlueProof Green 2024

Examensarbete, 15 hp, Byggingenjörprogrammet

VT 2024

Sandra Erlandsson Aguilera

Bohdan Zabara

Detta examensarbete är utfört vid Malmö universitet inom Byggt teknik. Författarna svarar själva för framförda åsikter, slutsatser och resultat.

Examinator: Katja Frid

Handledare: Yujing Li

Omfattning: 15 hp

Datum: 2024-07-02

Förord

Detta examensarbete genomfördes under våren 2024 och innefattar 15 högskolepoäng. Arbetet har utförts av Sandra Erlandsson Aguilera och Bohdan Zabara. Vår inspiration till att skriva denna studie kom från den innovativa utvecklingen av gröna tak i Sverige, som syftar till att bidra till en hållbar stadsmiljö. Detta väckte vårt intresse för att undersöka dess potential att även kunna förbättra inomhusklimatet.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Yujing Li för den ovärderliga feedback och vägledning vi fått under arbetets gång. Ett arbete som bestått av diverse motgångar i form av fördröjningar och hinder. Ditt stöd har varit en nyckelkomponent i att kunna slutföra detta arbete.

Förhoppningsvis kommer denna studie att vara till nytta för alla intresserade av att skapa mer hållbara inomhusklimat. Genom att lyfta fram de många fördelarna med gröna tak hoppas vi kunna inspirera till fortsatt forskning och praktisk tillämpning inom området runt om i landet.

Sammanfattning

Syftet med studien är att undersöka gröna taks inverkan på termisk komfort i byggnader i Sverige. Målet är att bedöma gröna taks relevans som en hållbar lösning för att sänka inomhustemperaturen och samtidigt förbättra energieffektiviteten genom att minska kylbehovet under sommartid. I studien modelleras en egendesignad 1-plans kontorsbyggnad i tre svenska orter: Malmö, Stockholm och Umeå. Modellering och simulering utfördes med DesignBuilder som är ett digitalt verktyg för att bedöma byggnadens miljöprestanda. Byggnaden simulerades med tegeltak och med grönt tak av varierande växtlighet. Varierande växtlighet på gröna taket skulle enligt teorin orsaka olika effekt på byggnadens energiprestanda. Denna teori kunde inte verifieras. Simuleringarna att gröna tak sänker inomhustemperaturen med i genomsnitt 4°C för en byggnad utan ventilation- och kylningssystem under årets varmaste dagar. Vidare visar resultaten att energiförbrukningen för kylning ökar under sommarmånaderna men att byggnader med grönt tak har ett lägre kylbehov jämfört med tegeltak. Simuleringarna visar en minskning på energiförbrukningen mellan ungefär 6-11% för de olika städerna under samma dagar. Studien visar hur implementering av gröna tak i stadsplanering och byggprojekt kan öka byggnadens energieffektivitet och därmed minska klimatpåverkan. Sammanfattningsvis indikerar studien på att gröna tak kan vara en strategi för att effektivt åstadkomma termisk komfort inomhus genom att minska inomhustemperaturen. Även kylbehovet kan minska under sommarperioder. Dessa faktorer kan användas som rekommendationer för fastighetsägare och stadsplanerare att överväga konstruktioner med grönt tak som ett val för en hållbar utveckling.

Nyckelord: Passiv kyla, termisk komfort, gröna tak, inomhusklimat, energi

Abstract

The purpose of the study is to investigate the impact of green roofs on thermal comfort in buildings in Sweden. The goal is to assess the relevance of green roofs as a sustainable solution to lower the indoor temperature and at the same time improve energy efficiency by reducing the need for cooling during summer. In the study, a self-designed 1-story office building is modeled in three Swedish locations: Malmö, Stockholm and Umeå. Modeling and simulation were performed with DesignBuilder, which is a digital tool for assessing the building's environmental performance.

The building was simulated with a tile roof and with a green roof of varying vegetation. According to the theory, varying vegetation on the green roof would cause different effects on the building's energy performance. This theory could not be verified. The simulations show that green roofs lower the indoor temperature by an average of 4°C for a building without a ventilation and cooling system during the hottest days of the year. Furthermore, the results show that energy consumption for cooling increases during the summer months, but that buildings with green roofs have a lower cooling demand compared to tile roofs. The simulations show a reduction in energy consumption between approximately 6-11% for the various cities during the same days. The study shows how the implementation of green roofs in urban planning and construction projects can increase the building's energy efficiency and thereby reduce climate impact. In summary, the study indicates that green roofs can be a strategy to effectively achieve thermal comfort indoors by reducing the indoor temperature. The cooling demand can also decrease during summer periods. These factors can be used as recommendations for property owners and urban planners to consider green roof constructions as a choice for sustainable development.

Keywords: Passive cooling, thermal comfort, green roof, indoor climate, energy

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund och problembeskrivning	1
1.2 Syfte och frågeställningar	3
1.3 Avgränsningar	3
2 Metod	4
2.1 Litteraturstudie	4
2.2 Valda metoder för datainsamling	5
2.2.1 Fallstudie	5
2.2.2 Modellerings- och simuleringsmetod	5
3 Teori	6
3.1 Värmebelastning på byggnader	6
3.1.1 Geografisk placering	7
3.2.2 Energi för nedkylning	10
3.3 Gröna tak	11
3.3.1 Egenskap och funktion	11
3.3.2 Inverkan på inomhusklimatet	12
3.3.3 Utveckling och användning	13
3.3.4 Gröna taks uppbyggnad	14
4 Simulering	15
4.1 Input i DesignBuilder	15
4.1.1 Grundmodell	15
4.1.2 Takskikt	17
4.1.3 Ort	18
4.2 Valda outputs i DesignBuilder	19
5 Resultat	20
5.1 Scenario 1 - Malmö	21
5.1.1 Inomhustemperatur	21
5.1.2 Kylbehov	22
5.2 Scenario 2 - Stockholm	23
5.2.1 Inomhustemperatur	23
5.2.2 Kylbehov	24
5.3 Scenario 3 - Umeå	25
5.3.1 Inomhustemperatur	25
5.3.2 Kylbehov	26
5.4 Sammanfattning	27
6 Diskussion och slutsatser	28
6.1 Inomhustemperatur	28
6.2 Kylbehov	29
6.3 Resultatdiskussion	30
6.4 Metoddiskussion	31
6.5 Begränsningar	32
6.6 Slutsatser och rekommendationer	33
6.6.1 Kan gröna tak minska kylbehovet i en byggnad?	33
6.6.2 Har val av växtlighet någon inverkan på byggnadens termiska komfort enligt simuleringar i DesignBuilder?	33
6.6.3 Hur påverkas termisk komfort under sommartid i byggnader med grönt tak i olika delar av Sverige?	33
6.7 Förslag till vidare forskning	34
Referenser	35

1 Inledning

1.1 Bakgrund och problembeskrivning

I strävan efter hållbara och effektiva byggnadslösningar har gröna tak trätt fram som en innovation inom byggtekniken. Motivet är bland annat att underlätta för dagvattenhantering, stadsklimatet genom reglering av utomhustemperaturen samt öka trivsel och den biologiska mångfalden. (Sikander & Capener 2014).

I Rebecca Okutanis studie "Takmaterial för en ekologiskt hållbar framtid" från 2023 anses biologisk mångfald minska på klimatavtrycket med ökad växtlighet som även stabiliserar pågående klimatförändringar. Dessa klimatförändringar kan visa sig i ökad nederbörd som påverkar dagvattenhanteringen samt ofta och längre förekommande värmeböljor. Man ser även en ökning av urbana värmeöar i stadsmiljöer som uppstår i tätbebyggda områden med hårdgjorda ytor som drar till sig värme och därmed ökar temperaturen istället för att reflektera ut den i atmosfären. Som en del av stadens ytor har tak därmed en avgörande inverkan på vårt klimat. Enligt Okutani anses det lämpligaste takmaterialet beror på i vilket ändamål taket konstrueras. I studien beskrivs gröna tak och tegeltak som de mest fördelaktiga alternativen. Tegeltak med högst tåligheten mot nordiskt klimat och lägre klimatpåverkan vid produktion medan gröna tak indikerar att tåligheten mot det nordiska klimatet till största del beror på val av växtlighet.

Gröna tak är täckta av växtlighet som bidrar till estetiska fördelar men som även anses påverka byggnaders termiska komfort under både vinter och sommar perioder (Bevilacqua, m.fl. 2020). I Bevilacquas studie om förnybar energi från 2020, presenteras gröna taks inverkan på termisk komfort för en byggnad tillhörande universitet i Calabria, Italien. I deras rapport undersöks bland annat operativ temperatur genom luft- och strålningstemperatur. Den operativa temperaturen sjunker vilket i sin tur resulterar i minskad energiförbrukning i byggnaden men även ett förbättrat inomhusklimat. Resultatet visar en betydande förmåga att förbättra termisk komfort för ytor inomhus som ligger i direkt anslutning till klimatskalet. Byggnaden som undersöktes var konstruerad med extensivt grönt tak, ett alternativ av grönt tak med låg växtlighet.

Xiaoli Hao et al (2022) använder specifikt utformade rum för att genomföra sin studie om gröna systemets inverkan på inomhusmiljön. De använder två rum, där ett rum kompletterat med gröna installationer, i form av gröna tak och gröna fasader. Båda rummen innehöll sensorer för att mäta bland annat temperaturen inomhus. Denna studien visar att gröna system har störst påverkan på inomhusklimatet under övergången mellan årstiderna. Detta på grund av stora variationer i utomhusklimatet. Forskningen visar att under dessa perioder kan termisk komfort inomhus förbättras, varav man kan minska termisk missnöje med omkring 7,9% under övergångssäsongen.

Frågan om gröna taks inverkan på termisk komfort inomhus ställs till projektledare Rickard Berlin på Wihlborgs Fastigheter¹ i en intervju. Enligt Berlin är gröna taks exakta inverkan på termisk komfort inomhus är inte helt förstådd och inte heller något man tar hänsyn till när man väljer att bygga gröna tak i Sverige. Även Eva Sikander & Carl-Magnus Capener (2014) nämner att det behövs ytterligare simuleringar för att dra generella slutsatser om värmeflödet genom det gröna klimatskalet.

Det finns flera anledningar till varför forskning inom detta område är viktig. Tidigare forskning ger stöd för koppling mellan gröna tak och lägre kylbehov, men är specifik för förhållanden i andra delar av världen. Dessa kopplingar blir därför mindre tydliga i ett nordiskt sammanhang och blir därför inte direkt överförbara i svenska förhållanden. Denna studie fokuserar på att undersöka och förstå gröna taks inverkan på termisk komfort inomhus i Sverige med fokus på kylning och därmed bidra till kunskapen inom området byggt teknik och hållbart byggande. Gröna tak kan spela en viktig roll för att reglera inomhusklimatet och då speciellt på termisk komfort.

¹Rickard Berlin Projektledare Wihlborgs Fastigheter, intervju den 26 februari 2024.

1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med studien är att utforska och tolka gröna taks inverkan på termisk komfort inomhus för byggnader i Sverige. Genom att analysera resultat från simuleringar ska studien ge insikt i gröna taks förmåga att påverka byggnaders temperatur inomhus samt energieffektivitet vid kylning.

- Kan gröna tak minska kylbehovet i en byggnad ?
- Har val av växtlighet någon inverkan på byggnadens termiska komfort enligt simuleringar i DesignBuilder?
- Hur påverkas termisk komfort under sommartid i byggnader med grönt tak i olika delar av Sverige?

1.3 Avgränsningar

Studien fokuserar på flera simuleringar av en byggnad med olika yttertak för en generell jämförelse av grönt taks påverkan på byggnadens termiska komfort, med fokus på inomhustemperatur och energiförbrukning för kylning av byggnaden. Vi avgränsar oss till att studera variationer under hela året med fokus på sommarmånaderna för tre orter; Malmö (Köpenhamn), Stockholm och Umeå. Vi avgränsar oss till att endast ta hänsyn till värden som ges i simuleringsprogrammet.

I studien kommer vi inte att ta hänsyn till uppbyggnaden av klimatskalet utan hänvisar istället till standardiserade U-värden från Boverkets föreskrifter och allmänna råd samt standardvärden för olika byggnadssystem samt de färdigprogrammerade mallar som finns i simuleringsprogrammet. De olika taken kommer därmed utgå från samma U-värde och 8 grader taklutning för att spegla en modern samtida arkitektur. Toppskikt av tegel eller olika typer av vegetation. Det gröna taket som simuleras ska framföras i form av extensivt tak.

Studien tar inte hänsyn till förbrukning av varmvatten, behov av uppvärmning eller byggnadens värmesystem eftersom vi fokuserar på kylbehovet under sommarperioden. För övrigt inkluderas inte heller några ekonomiska aspekter såsom kostnad och investeringsavkastning. Inte heller bärande konstruktion eller påverkan av regn och fuktbelastningar. Varav rekommendation om minst 14 grader taklutning som anges för fukttåliga tegeltak inte beaktas.

2 Metod

2.1 Litteraturstudie

Vi har med hjälp av resurser på Malmö Universitet specificerat oss med nedanstående sökord i olika databaser som förklarar gröna taks inverkan på omkringliggande miljöer. Vi fokuserar på vetenskapliga publikationer de senaste tio åren men framförallt de som ligger närmst i tiden och sorterar bort irrelevanta källor vid genomläsning av respektive sammanfattning.

Tabell 1. Sökord via databasen MDPI.

	“effect of green roofs”
AND	“thermal comfort”

Tabell 2. Sökord via databasen LibSearch.

	"thermal comfort" OR "termisk komfort"
AND	construction* OR konstruktion*
AND	"green roof" OR "gröna tak"
NOT	"urban heat island"
AND	indoor* OR inomhus* OR "indoor climate" OR "inomhusklimat"

Tabell 3. Sökord via databasen Google Scholar.

	“passive cooling” OR “passiv kyla”
AND	"thermal comfort" OR "termisk komfort"
AND	"green roof" OR "gröna tak"
AND	indoor* OR inomhus* AND "indoor climate" OR "inomhusklimat"

Tabell 4. Sökord via databasen Swepub.

	“gröna tak”
OCH	temperatur*

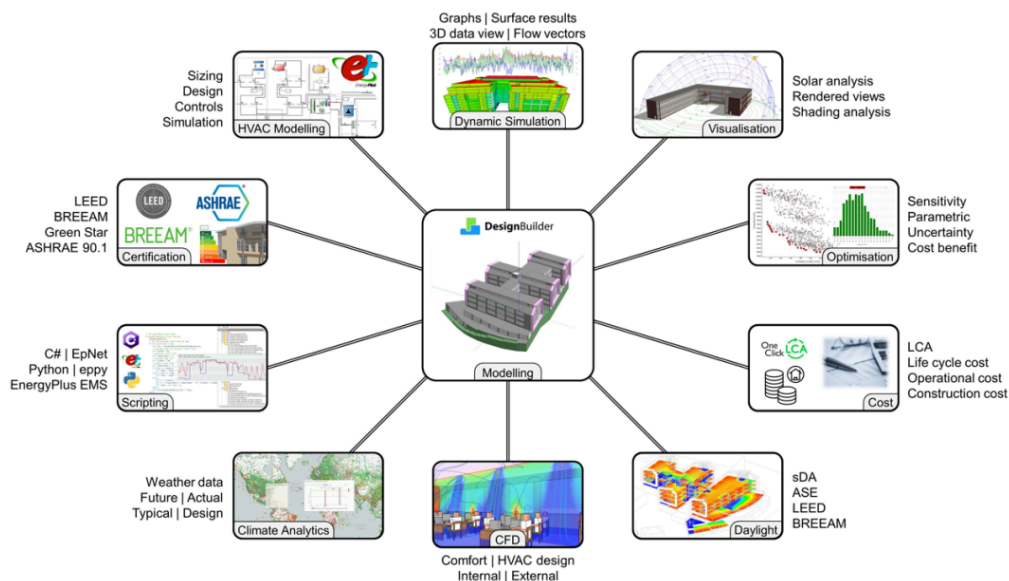
2.2 Valda metoder för datainsamling

2.2.1 Fallstudie

Byggnaden ska utformas som en egendesignad 1-plans kontorsbyggnad med 17 rum och entré i söderläge för att spegla ett rimligt fall av kontor på mark. Total byggnadsarea är 324 m², varav 27 m i bredd, 12 m djup och 6 m i takhöjd för att ge plats till ventilation och installationer varav taket ges en lutning i 8°. Klimatskalets U-värden väljs enligt Boverkets standard som nämns i avsnitt 5.

2.2.2 Modellerings- och simuleringsmetod

Modellering och simulering utfördes med DesignBuilder Software Ltd, version 7.3.0.027. DesignBuilder är ett brittiskt företag som specialiserar sig på att utveckla ett enkelt simuleringsprogram för bedömning av byggnaders miljöprestanda.



Figur 1. Några typiska användningsområden för DesignBuilder.

Programmet erbjuder även verktyg för simulering som möjliggör en integrerad analys av energi, komfort, HVAC (värme, ventilation och luftkvalitet), dagsljus och kostnadsoptimering (DesignBuilder 2024).

3 Teori

Vi väljer att undersöka en byggnads olika värmebelastningar och hur dessa påverkas av dess geografiska placering. Vidare analyserar vi byggnadens kylbehov samt de olika principer som används för kylning. I slutet av detta avsnitt beskriver vi gröna tak, deras olika egenskaper och funktioner, samt deras inverkan på inomhusklimatet. Slutligen diskuterar vi hur konstruktionslösningen för gröna tak har utvecklats, dess användning, och uppbyggnad.

3.1 Värmebelastning på byggnader

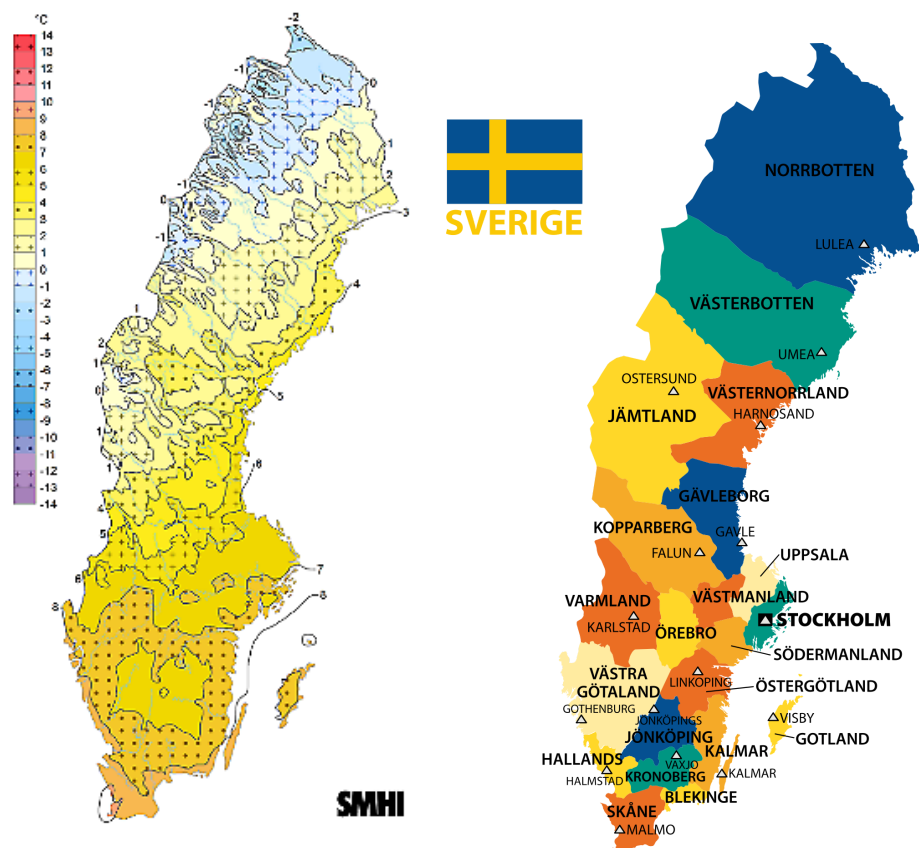
Ett tätt och välisolerat klimatskal kan generera övertemperatur inomhus, och lokaler har ett högre internt värmetillskott än vanliga bostäder. Av de olika faktorerna som tillför värme i en byggnad har solstrålning högst inverkan (Warfvinge & Dahlblom 2021).

Andra faktorer som påverkar inomhusmiljön är ökad utomhustemperatur till följd av klimatförändringar och urbana värmeö-effekten (Folkhälsomyndigheten 2018). Vid jämförelse av normalperioderna 1961-1990 och 1991-2020 som SMHI visar det sig att utomhustemperaturen har stigit med 1-1,5 °C i större delen av landet, men i norra Sverige syns både högre och lägre temperaturförändringar (SMHI 2023). Enligt Folkhälsomyndighetens rapport från 2018 har inomhustemperaturen ökat upp till 50% i jämförelse med utomhustemperaturen. Vilket visar hur klimatförändringar och urbanisering ligger i grund för ökad temperatur inomhus.

Huvudorsaken till att jordens klimat värms upp beror på förändringar i luftens kemiska sammansättning. Människans upphov till olika utsläpp av växthusgaser, framförallt koldioxid, skapar denna så kallade växthuseffekt som förstärker atmosfärens förmåga att värma upp jordytan (Naturvårdsverket 2024).

3.1.1 Geografisk placering

Förhållandet mellan inomhus- och utomhustemperatur är komplex. Inte bara byggnadstyp och klimatförändringar avgör sambandet mellan temperaturerna, men även geografisk placering. Olika platser innebär olika klimat, till följd därav olika temperatur utomhus och mängd solstrålning. Varav behovet av kylning och uppvärmning i byggnader varierar på olika platser för ett optimalt inomhusklimat (Folkhälsomyndigheten 2018).



Figur 2. Till vänster: Årsmedeltemperatur för Sverige, illustration: SMHI (2024). Till höger: Sverigekarta, illustration: Tenstickers (2024).

Vi väljer att simulera tre större orter i Sverige, med tillräckligt stort geografiskt avstånd med lägst 130 000 i befolkning. Utifrån dessa faktorer väljer vi Malmö, Stockholm och Umeå. Detta eftersom de är tre av Sveriges 50 största städer utifrån befolkning (SCB 2023), placerade i olika klimatzoner i landet enligt Figur 2.

3.2 Byggnadens kylbehov

Byggnader behöver kylas för att upprätthålla en behaglig inomhustemperatur och säkerställa komfort för de som vistas i byggnaden (Byggkoll 2021). Detta är särskilt viktigt under varma sommarmånader då solinstrålning är som mest intensiv. Överskottsvärme behöver då avlägsnas från byggnaden så att temperaturen inomhus inte stiger över en acceptabel nivå.

Folkhälsomyndigheten (2024) anger riktvärden för inomhustemperaturen. Ifall dessa riktvärden överskrids skulle människors hälsa och välbefinnande påverkas. Dessa negativa hälsoeffekter som orsakas av termiskt klimat inomhus står fastighetsägaren ansvarig för. Utan tillräckliga åtgärder skulle man i vissa fall behöva kontakta kommunens miljö- och hälsoskyddskontor (Folkhälsomyndigheten 2024).

I svenskt klimat är höga inomhustemperaturer i bostäder vanligtvis inget större problem, även om det är obehagligt varmt under kortare perioder på sommaren. Därför är det inte alltid nödvändigt att installera speciell teknik eller system för att hantera överskottsvärme i byggnaderna. Istället kan den höga temperaturen till viss del lindras med solavskärmning eller genom vädring. (Energirenovera 2024).

För lokaler som bland annat kontor, ser situationen dock annorlunda ut. Det genereras ett överskott av värme under större delen av året. Detta beror på utrustning, processer och antal personer som vistas i lokalen. Ibland kan överskottsvärmen bli så stor att byggnaden måste kylas ner även under kalla dagar (Energirenovera 2024).

3.2.1 Kylningsprinciper

Eftersom passiv kylning i form av vädring och solavskärmning endast ger en lindring av den förhöjda temperaturen inomhus så kan den ibland behöva hanteras genom någon form av kylsystem (Byggkoll 2021). Det finns flera olika metoder för att sänka inomhustemperaturen. Nedan beskrivs några olika alternativ.

Till exempel kan fjärrkyla från energibolagen vändas för att kyla en byggnad.

Man kan även kyla tilluften som cirkulerar i byggnaden genom att installera kylbatteri i ventilationsaggregatet eller ventilationskanaler. Det finns olika kylbatterier, som till exempel fläktkonvektorer eller kylbafflar. Nedkylningens effektivitet i ett rum beror på storleken av ventilationsflödet samt hur kall luft som kan tillföras utan att skapa en obehagligt kall och dragig miljö (Byggkoll 2021).

Man kan även använda luftkonditionering eller luftvärmepump för att kyla ner luften. Skillnaden mellan dessa är att luftvärmepumpen är byggda för att klara av lägre drifttemperatur men annars grundar de sig på samma princip (Daikin 2024). Kylsystemet använder en kompressor för att cirkulera ett kylmedel genom ett slutet system. Kylmedlet absorberar värme från inomhusluften i förångaren och avger värmen i kondensorn (Polarpumpen 2023).

En annan metod är evaporativ kylning som använder vatten för att kyla luft genom avdunstning. Vatten avdunstar från ytan på ett vått filter eller kudde och tar med sig värme från luften, vilket sänker temperaturen. Luften som tillförs i byggnaden är fuktnivå-reglerad som är bra för att bibehålla en god inomhusmiljö för byggnaden samt människans hälsa till skillnad från luften som tillförs i byggnaden via luftkonditionering, som är torr och därför kan leda till obehag och hälsoproblem (Danthermgroup 2023).

3.2.2 Energi för nedkylning

I tidigare avsnitt diskuterades alternativa kylningssystem som på olika sätt påverkar miljön på grund av energiförbrukning och olika typer av utsläpp. För varje system krävs olika mängd energi för drift av bland annat fläktar. I vissa används köldmedel som ger upphov till klimatpåverkan genom utsläpp av emissioner (Makhnatch 2013).

Energiförbrukningen för en luftkonditionering ligger runt 0,780 kW i timmen, men kan variera beroende på vilken storlek som används. De senaste åren har luftkonditioneringen blivit mer energieffektiv, men de är ofta bättre anpassade för ett varmare klimat vilket gör luftkonditioneringen relativt ovanlig i Sverige. Här använder man istället sig mest av luftvärmepumpar i byggnader för att reglera inomhustemperaturen (Otovo 2023). Till skillnad från luftkonditionering så förbrukar en luftvärmepump mellan 0,5 - 1,5 kW i timmen. (GreenMatch 2024) Båda metoder medför en risker för miljön på grund av skadliga emissioner från köldmedium samt hur de bidrar till ökat energibehov och därmed utsläpp av växthusgaser (Folkhälsomyndigheten 2018).

Vid evaporativ kylning krävs energi för att förångas vatten. För att förångas en liter vatten behövs ca 0,68 kWh (Condair 2024). Fläkten använder relativt små mängder elektricitet för att driva systemet och anses mer effektiv i torra klimat som i Sverige samt ökenklimat. Systemet innehåller inte heller några miljöskadliga köldmedel. Detta är flera anledningar som gör systemet lämpligt för bland annat kontorslokaler (Folkhälsomyndigheten 2018).

De olika kylsystem som skulle kunna nyttjas för att sänka inomhustemperaturen under de mest intensiva sommardagarna skulle innebära negativ påverkan på vårt klimat. Köldmedium som används vid kylning har olika klimatpåverkan, men även energibehovet för att driva de olika systemen. (Makhnatch 2013) Det ger därför mening att hitta alternativa lösningar som sänker kylbehovet på ett klimatneutralt eller klimatpositivt sätt.

3.3 Gröna tak

3.3.1 Egenskaper och funktion

Denna studie utforskar hur växtbaserade system kan reglera temperaturen och därmed inomhusklimatet. Teorin ger en grund för att förstå de potentiella termiska fördelarna med gröna tak. Växterna har en förmåga att absorbera solljus och lagra värme (Okutani, 2023), vilket reglerar omkringgivande temperaturer och ökar värmeisoleringen (Abbaspor, m.fl 2022). Detta är faktorer som potentiellt förbättrar termisk komfort inomhus.

Gröna tak kan byggas med olika typer av växter. Förutom bidraget till den biologiska mångfalden kan olika växter bidra med olika egenskaper. Växter har en förmåga att lagra energi i sina blad under fotosyntes, samt lagring av vatten i blad och stamdelar (Okutani 2023). Efterhand som avdunstning av vatten från växterna sker, kyls taket ner (Bengtsson & Lind 2017). Detta fenomen kallas även för evapotranspiration. Enligt denna teori berörs bladindex, som förklarar hur stor yta bladen utgör per areaenhet mark för olika växter.



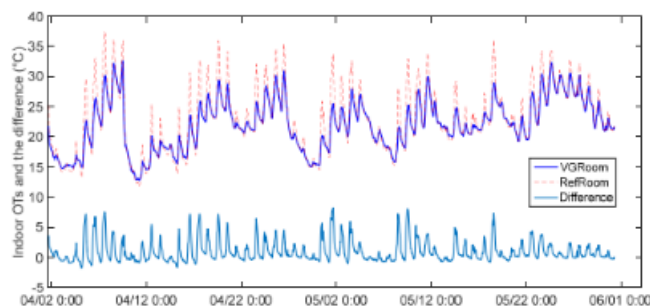
Figur 3. Olika taklösningar på Augustenborgs Botaniska Takträdgård (RISE 2021).

Eftersom det bland annat är bladen som bidrar till kylning av taken så förklarar det hur fysisk miljö påverkas av olika typer av växtlighet. Dessutom skulle ett svalare tak ge upphov till lägre transmissioner genom klimatskalet vilket innebär att växter med tätare spridning av sina blad bör bidra till ett lägre kylbehov i byggnaden. Denna teoretiska ansats tas upp i vår frågeställning om växternas egenskaper med avseende på kylningseffekten.

3.3.2 Inverkan på inomhusklimatet

Xuaoli Hao et al (2022) använder sig av fysiska mätning för att studera gröna taks inverkan på termisk komfort. I studien presenteras en graf för den operativa temperaturens variation för två testrum under april och maj månad. Rummen var placerade på taket av Hunan University of Science and Technology i Kina.

För att bestämma hur gröna systems inverkan på termisk komfort inomhus mättes lufttemperatur, luftfuktighet, globtemperatur, yttemperatur och solinstrålning. Enligt Xiaoli Hao et al (2022) var den operativa temperaturen inomhus lägre i rummet som bestod av grönt system under soliga dagar, dagtid. Under natten samt regniga och molniga dagar var värdena relativt lika för rummen. Sammanfattningsvis visade studien att gröna tak kan bidra till minskade variationer av den operativa temperaturen inomhus under övergångar mellan olika årstider. Grafen nedan visar den operativa temperaturen i för rum med (mörkblå) och utan grönt system (rosa) samt temperaturskillnaden (ljusblå) under experimentets tidsförlopp.



Figur 4. Variation av operativ temperatur inomhus för två testrum med och utan grön tak (Hao et la. 2022).

I (Krebs & Johansson, 2021) studie visas att effekten av gröna system är direkt påverkat av klimatet utomhus samt ventilationssystemet. Denna studie förklarar hur högre omgivningstemperatur i stadskärnorna påverkar byggnaders kyl- och värmebehov. I studien anges att kylbehovet nästan dubblerats i städerna än i omkringliggande områden på grund av högre temperaturer. Det ger därför mening att undersöka gröna taks inverkan på termisk komfort i olika klimatzoner, även hur påverkan varierar över året.

3.3.3 Utveckling och användning

Gröna tak har en lång historia som sträcker sig tillbaka till tidiga civilisationer. Ett av de mest välkända exemplen är "Hängande trädgårdarna i Babylon", som betraktas som ett av antikens sju underverk. I de nordiska länderna har torvtak länge varit en vanlig syn på traditionella hus, men under 1800-talet började de successivt försvinna från städerna. Inte förrän i slutet av 1900-talet blev gröna tak återigen populära. Denna gång med ett starkt fokus på att främja hållbarhet (SMHI 2019).



Figur 5. Greenhouse i Ekostaden Augustenborg, Illustration : MKB Fastighets AB

Gröna tak är idag en etablerad del av stadsmiljön, från tunna sedumtak till parkliknande områden på tak. Denna trend är särskilt vanlig på fastigheter i tätbebyggda områden där det finns behov av att optimera ytan för olika ändamål. Att inkludera grönska på tak eller takterrasser är en smart och ibland nödvändig åtgärd för att maximera grönytor i städerna (Boverket 2021).

3.3.4 Gröna taks uppbyggnad

Gröna tak kan variera i design och komplexitet, men de delar alla förmågan att stödja växtliv på taket. Gröna tak kan vara antingen extensiva, semi-intensiva eller intensiva. Extensiva tak har ett tunt substrat och kräver minimalt underhåll. Semi-intensiva, som ligger någonstans mellan extensiva och intensiva tak erbjuder en balans mellan minimalt underhåll och möjligheten att odla en större variation av växter. Gröna tak av intensiv typ har djupare jordlager och kan stödja en mångfald av växter och till och med användas som grönområden eller trädgårdar (SMHI 2019).

Tabell 5. Olika typer av gröna tak.

Typ →	Extensiv	Semi-intensiv	Intensiv
Typ av vegetation	Mossa-örter-gräs	Gräs-örter-buskar	Gräsmatta/perenner, buskar, träd
Substratets tjocklek	60-200 mm	120-250 mm	150-400 mm
Vikt	60-150 kg/m^2	120-200 kg/m^2	180-500 kg/m^2

Gröna tak består vanligtvis av flera skikt som arbetar tillsammans. Som toppskikt läggs ett substratlager. Detta lager kan vara en blandning av olika material som sand, jord och organiskt material för att stödja växtligheten. Ovanpå substratlagret placeras växtmaterialet, vars rötter hjälper till att hålla substratlagret på plats och absorbera vatten från regn eller bevattning. Under substratlagret läggs ett dräneringsskikt, ett viktigt element som är utformat för att leda bort överskottsvatten och förhindra att substratet vattenmättas. Detta skikt är avgörande för att undvika vattenskador på taket och samtidigt hålla växterna friska. Till sist finns det ett skyddslager, vanligtvis en membran eller tätskikt, som ligger under dräneringsskiktet för att skydda taket mot läckage och rotskador från växterna. Detta lager är nödvändigt för att säkerställa att taket förblir intakt och fungerar under lång tid (Grönatakhandboken 2021).

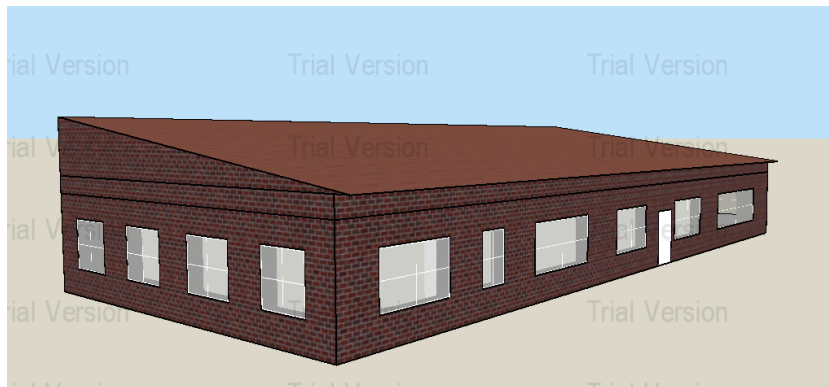
Genom att kombinera dessa olika skikt skapas ett grönt tak som inte bara är estetiskt tilltalande utan även bidrar till att minska växthusgasutsläpp, förbättra luftkvaliteten, minska översvämningar samt ge livsmiljöer för insekter och fåglar i stadsmiljöer (Grönatakhandboken 2021).

4 Simulering

4.1 Input i DesignBuilder

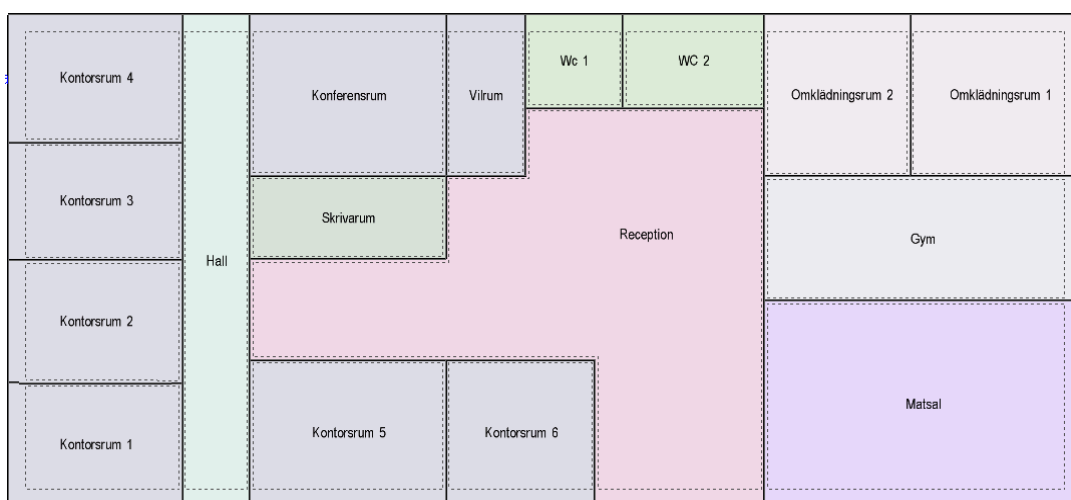
4.1.1 Grundmodell

Byggnadens design skapades med hjälp av inbyggda verktyg i DesignBuilder. Kontoret består av 17 rum och är konstruerat med entré i söderläge. Se Figur 6. U-värden för fönster och dörrar väljs till $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, vars areor motsvarar 36% av väggarean.



Figur 6. Grundmodell i DesignBuilder med entré i söderläge.

Olika rum skapades för att konfigurera en realistisk kontorsmiljö. I kategorin "Aktiviteter" valdes anpassade mallar för varje rum via "Office" mappen i DesignBuilder, se Tabell 6.



Figur 7. Planlösning med zonindelning i Designbuilder.

Tabell 6. Byggnadens rumstyper och respektive vald template i DesignBuilder .

Rumsbeteckning	Template
Gym	Fitness suit/gym
Hall	Circulation area (corridors and stairways)
Konferensrum	Generic Office Area
Kontorsrum	Generic Office Area
Matsal	Eating/drinking area
Omklädningsrum	Changing facilities with showers
Reception	Reception
Skrivarrum	Workshop
Vilrum	Generic Office Area
WC	Toilet

De olika mallarna är specificerade för olika rum i kontorsmiljö och är färdigprogrammerade i DesignBuilder. De används för att tilldela typisk aktivitetsdata till byggnadsmodellen. Programmeringen genererar lämplig data för inomhustemperatur, ventilationshastighet per person och användning av utrymmet. Datan som tillhandahålls följer huvudsakligen brittisk standard enligt UK National Calculation Methodology och ASHRAE 90.1 samt 62.1. (DesignBuilder 2024)

Värden för byggnadens klimatskal väljs specifikt enligt Boverkets standard, se nedan.

Tabell 7. U-värde som ska eftersträvas för enskilda byggnadsdelar (Boverket, 2020).

Byggnadsdel	U-värde [W/m²K]
Tak	0,13
Vägg	0,18
Golv	0,15
Fönster	1,2
Ytterdörr	1,2

4.1.2 Takskikt




Byggnaden kommer att simuleras i olika modeller. Dessa modeller presenteras som fyra olika typer av tak med skillnad i yttersta skiktet på taket, ett med tegeltak och tre med gröna tak av varierande växtlighet, se Tabell 8. De gröna taken väljs till ett substratdjup på 150 mm och av extensivt grönt tak.

Tabell 8. De olika takmodellerna i DesignBuilder.

Modell	Tak	Typ
1	Tegeltak	Tegelpannor
2	Grönt tak	Dark green long blades of leaves/grass
3	Grönt tak	White flowers with yellow center
4	Grönt tak	Small yellow green leaves

Till de tre gröna taken valdes olika växtlighet i DesignBuilder. Dessa har olika LAI som står för bladarea index. Indexet beskriver växtens täckförmåga per area markyta, varav högre LAI-tal innebär en bättre täckning av taket. Högsta värdet för LAI-input i DesignBuilder är 5,0, varav "Dark green long blades of leaves/grass" väljs till 5,0 vid simulering. Växter och värden väljs enligt DesignBuilders index för gröna tak (DesignBuilder u.å.).

Tabell 9. LAI (mean leaf area index) värden för de valda växterna i DesignBuilder.

Växtbeskrivning	LAI	Input	Bild
Dark green long blades of leaves/grass	5,82	5,0	
White flowers with yellow center	3,21	3,21	
Small yellow green leaves	4,08	4,08	

4.1.3 Ort

I DesignBuilder har man tillgång till att välja val av ort vid simulering. Orterna laddas in i modellen från programmets databas. Valbara orter ger väderdata för den specifika platsen. Simuleringarna för respektive takskikt utförs i tre olika orter som vi presenterar som olika scenarion. Scenario 1 utspelar sig i Malmö. Dock finns det ingen färdigprogrammerad data för Malmö i DesignBuilder varav vi väljer input för Köpenhamn för en likvärdig statistik. Scenario 2 utspelar sig i Stockholm och scenario 3 i Umeå. (DesignBuilder u.å.).

4.1.4 HVAC-system

I programmet väljs mall för HVAC-systemet (ventilation, värme och kylning). Systemen är en del av ASHRAE 90.1 (DesignBuilder u.å.), som används som riktmärke för energikoder för kommersiella byggnader i USA men även runt om i världen (ASHRAE 2024). Detta system valdes till "VAV, Air-cooled Chiller, HR, Outdoor air reset" som motsvarar en behovsstyrd ventilation upprättad med luftkylning och värmeåtervinning samt temperatursensorer utomhus. För att hålla god standard väljer vi 24°C som ett bestämt riktvärde för inomhustemperaturen i programmet. I "Mechanical Ventilation" finns förprogrammerade alternativ, i listan väljer vi lufttillförsel per person och area till "Min fresh air (Sum per person + per area) samt stänger av funktionerna "Heating" samt "DHW" (Domestic Hot Water) för att specifikt studera energiförbrukning för kylning av byggnaden.

Byggnaden simuleras även i respektive ort utan något HVAC-system för att tydligt visa hur inomhustemperaturen påverkas enbart av gröna tak, varav värden för inomhustemperatur jämförs mellan de olika takmodellerna enligt Tabell 8.

4.2 Valda outputs i DesignBuilder

Simuleringen sträcker sig över hela året för att möjliggöra en detaljerad analys av temperaturvariationer och kylbehovet. Vi har tidigare valt att fokusera på sommarperioden, varav en simulering över hela året kan visa när intervallet för kylbehovet börjar och slutar.

Vi väljer att rapportera månadsvis med driftperiod under vardagar. Den operativa temperaturen väljs för att bestämma inomhustemperaturen varav outputs vid simulering väljs enligt nedan för att begränsa innehållet i graferna till det väsentliga.

Tabell 10. Vald grafisk redovisning vid simulering i DesignBuilder.

Outputs	Förklaring
Building and block output of zone data	Indelad energiförbrukning för hela byggnaden samt varje enskilt rum
Energy, HVAC etc.	Energiförbrukning och HVAC
Temperature distribution	Temperaturfördelning

5 Resultat

I detta avsnitt visar vi resultaten från våra olika simuleringar. Varje figur och tabell har en kort beskrivning. De röda markeringarna i figurerna visar i vilket skede övergången sker mellan sommar och vintertid för att tydliggöra kylnings-intervallet.

Resultaten presenteras i tre olika scenarion (orter). Alla fyra takmodeller simuleras för varje scenario med och utan HVAC-system. När modell 2, 3 och 4 simuleras visar sig resultaten vara identiska i DesignBuilder. Av den anledningen presenteras endast en figur som representerar samtliga tre modeller med grönt tak.

I kommande delar av rapporten beskriver vi därför simuleringarna som byggnad med tegeltak (modell 1) respektive byggnad med grönt tak (modell 2, 3 och 4).

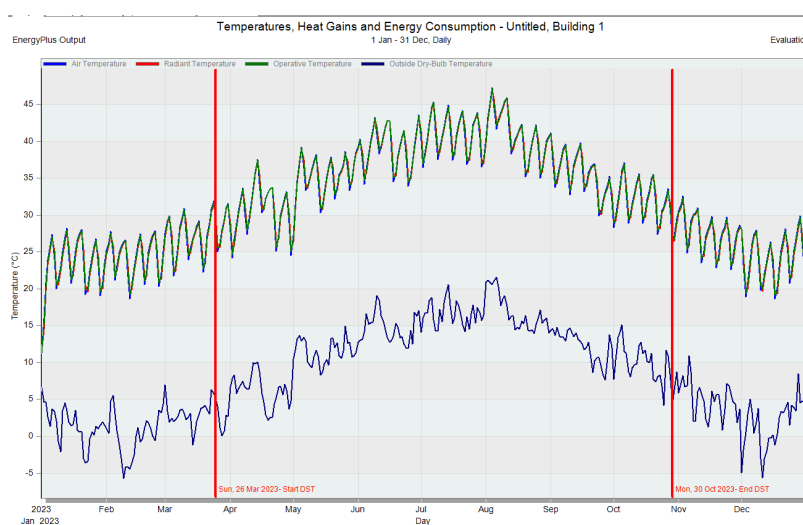
5.1 Scenario 1 - Malmö

5.1.1 Inomhustemperatur

Nedan visas figurer med resultat för inomhustemperaturens variation under året från simuleringar i Malmö. Först presenteras resultaten för byggnad med tegeltak i Figur 8 och grönt tak i Figur 9.

5.1.1.1 Tegeltak

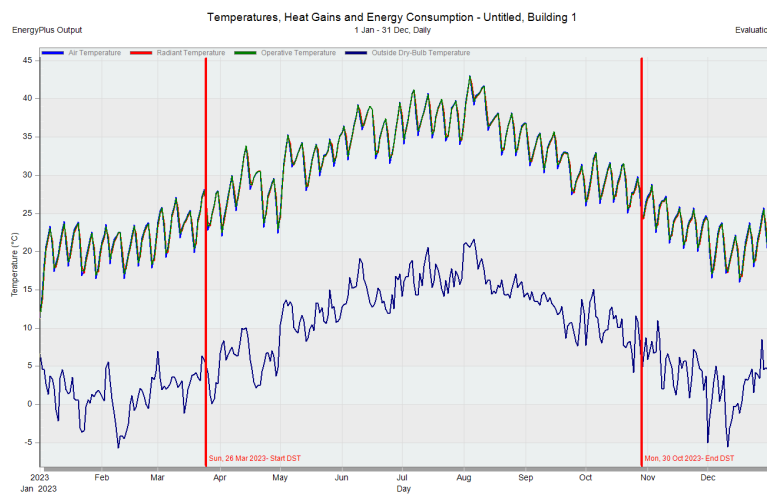
Figur 8 visar inomhustemperaturen utan inverkan av HVAC-system för tegeltak.



Figur 8. Utomhustemperaturen (nedan) och operativ temperatur inomhus (ovan) variation under året i °C för tegeltak i Malmö.

5.1.1.2 Grönt tak

Figur 9 visar inomhustemperaturen utan inverkan av HVAC-system för grönt tak.



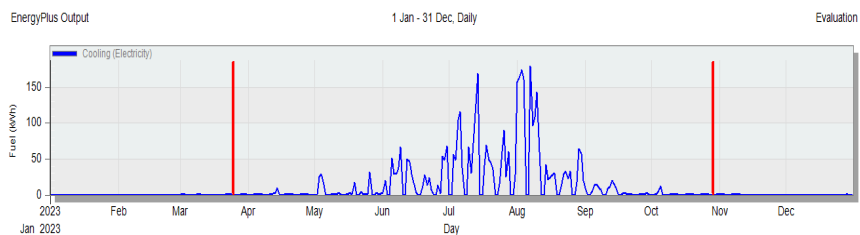
Figur 9. Utomhustemperaturen (nedan) och operativ temperatur inomhus (ovan) variation under året i °C för grönt tak i Malmö.

5.1.2 Kylbehov

Nedan visas figurer med resultat för kylbehovets variation under året från simuleringar i Malmö. Först presenteras resultaten för byggnad med tegeltak i Figur 10 och grönt tak i Figur 11.

5.1.2.1 Tegeltak

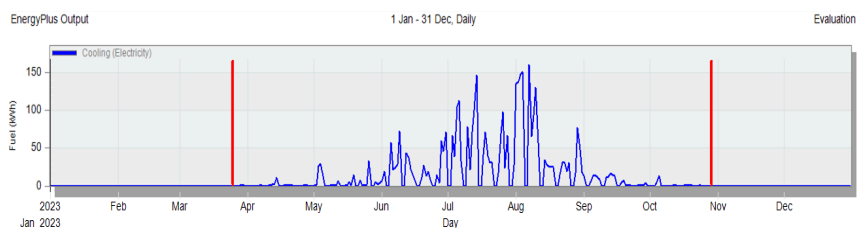
Figur 10 visar energibehovet för kylning med hjälp av HVAC-system för tegeltak.



Figur 10. Kylbehovets variation under året i kWh för tegeltak i Malmö.

5.1.2.2 Grönt tak

Figur 11 visar energibehovet för kylning med hjälp av HVAC-system för grönt tak.



Figur 11. Kylbehovets variation under året i kWh för grönt tak i Malmö.

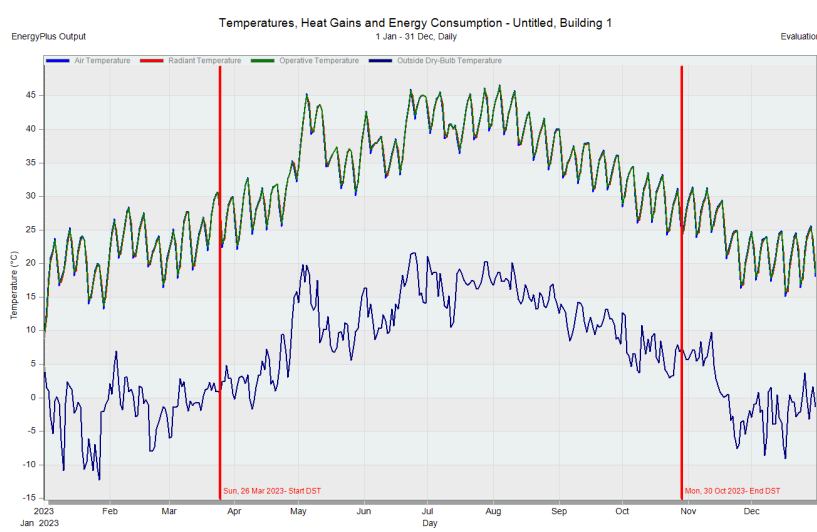
5.2 Scenario 2 - Stockholm

5.2.1 Inomhustemperatur

Nedan visas figurer med resultat för inomhustemperaturens variation under året från simuleringar i Stockholm. Först presenteras resultaten för byggnad med tegeltak i Figur 12 och grönt tak i Figur 13.

5.2.1.1 Tegeltak

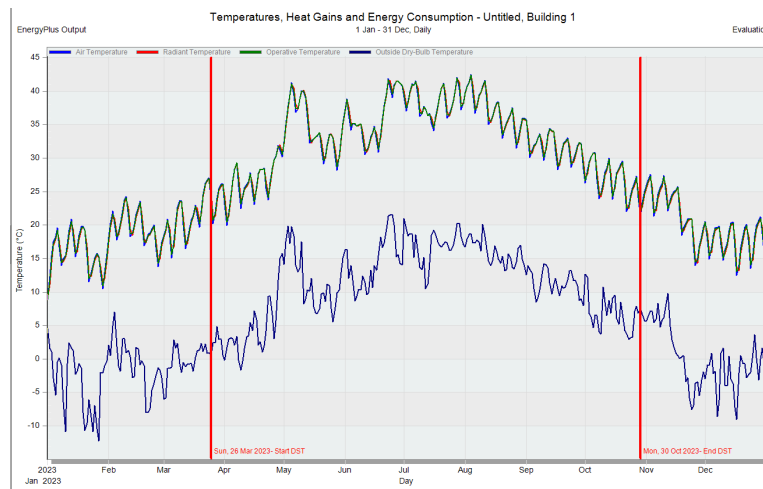
Figur 12 visar inomhustemperaturen utan inverkan av HVAC-system för tegeltak.



Figur 12. Utomhustemperaturen (nedan) och operativ temperatur inomhus (ovan) variation under året i °C för tegeltak i Stockholm.

5.2.1.2 Grönt tak

Figur 13 visar inomhustemperaturen utan inverkan av HVAC-system för grönt tak.



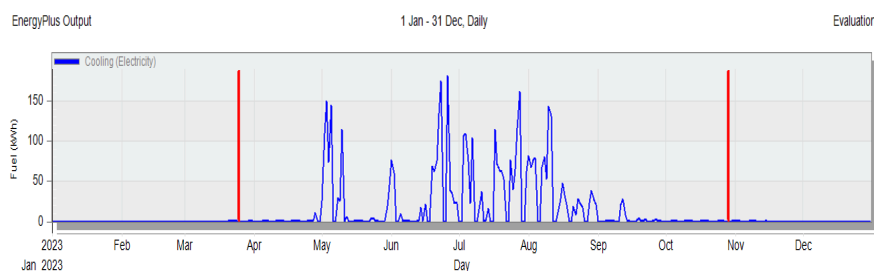
Figur 13. Utomhustemperaturen (nedan) och operativ temperatur inomhus (ovan) variation under året i °C för grönt tak i Stockholm.

5.2.2 Kylbehov

Nedan visas figurer med resultat för kylbehovets variation under året från simuleringar i Stockholm. Först presenteras resultaten för byggnad med tegeltak i Figur 14 och grönt tak i Figur 15.

5.2.2.1 Tegeltak

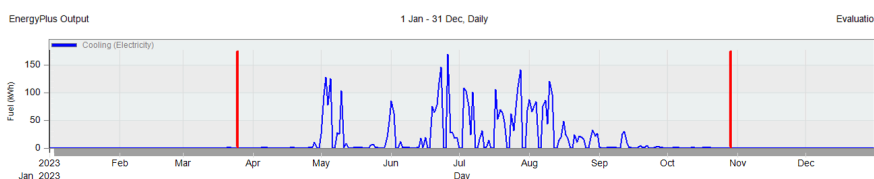
Figur 14 visar energibehovet för kylning med hjälp av HVAC-system för tegeltak.



Figur 14. Kylbehovets variation under året i kWh för tegeltak i Stockholm.

5.2.2.2 Grönt tak

Figur 15 visar energibehovet för kylning med hjälp av HVAC-system för grönt tak.



Figur 15. Kylbehovets variation under året i kWh för grönt tak i Stockholm.

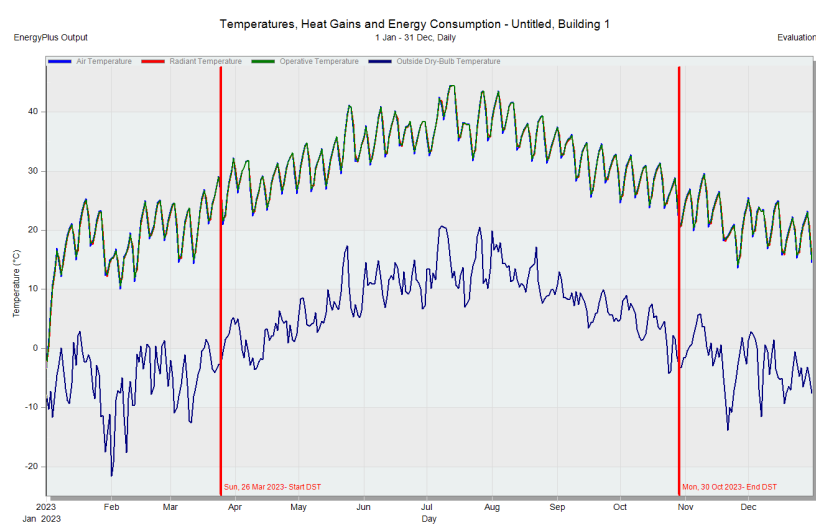
5.3 Scenario 3 - Umeå

5.3.1 Inomhustemperatur

Nedan visas figurer med resultat för inomhustemperaturens variation under året från simuleringar i Umeå. Först presenteras resultaten för byggnad med tegeltak i Figur 16 och grönt tak i Figur 17.

5.3.1.1 Tegeltak

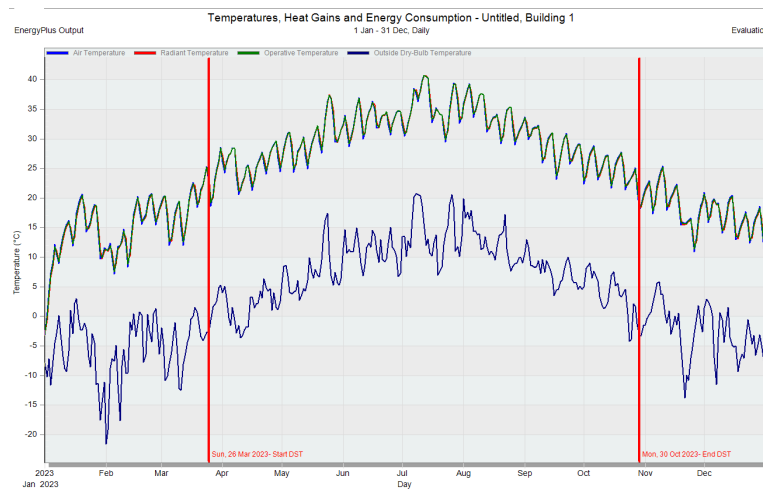
Figur 16 visar inomhustemperaturen utan inverkan av HVAC-system för tegeltak.



Figur 16. Utomhustemperaturen (nedan) och operativ temperatur inomhus (ovan) variation under året i °C för tegeltak i Umeå.

5.3.1.2 Grönt tak

Figur 17 visar inomhustemperaturen utan inverkan av HVAC-system för grönt tak.



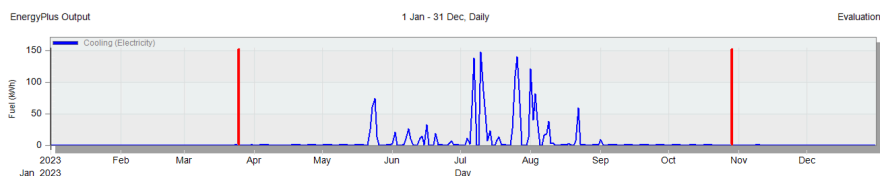
Figur 17. Utomhustemperaturen (nedan) och operativ temperatur inomhus (ovan) variation under året i °C för grönt tak i Umeå.

5.3.2 Kylbehov

Nedan visas figurer med resultat för kylbehovets variation under året från simuleringar i Umeå. Först presenteras resultaten för byggnad med tegeltak i Figur 18 och grönt tak i Figur 19.

5.3.2.1 Tegeltak

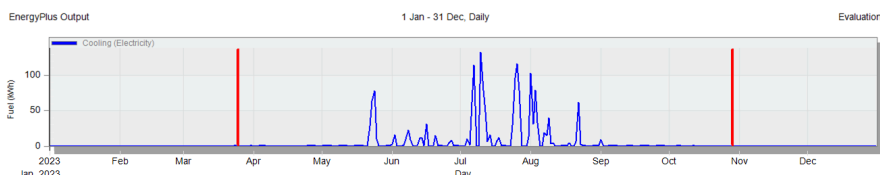
Figur 18 visar energibehovet för kylning med hjälp av HVAC-system för tegeltak.



Figur 18. Kylbehovets variation under året i kWh för tegeltak i Umeå.

5.3.2.2 Grönt tak

Figur 19 visar energibehovet för kylning med hjälp av HVAC-system för grönt tak.



Figur 19. Kylbehovets variation under året i kWh för grönt tak i Umeå.

5.4 Sammanfattning

Tabell 11. Inomhustemperaturen under årets varmaste dag för respektive ort.

Taktyp	Malmö [°C]	Stockholm [°C]	Umeå [°C]
Tegeltak	47,1	46,5	44,3
Grönt tak	42,9	42,4	40,7
Skillnad	4,2	4,1	3,6
Procentuellt	8,9%	8,8%	8,1%

Tabell 12 visar hur mycket energi som krävs för att kyla inomhustemperaturen till 24°C under årets varmaste dag. Simulering nyttjar färdigprogrammerat HVAC-system.

Tabell 12. Energiförbrukning för kylning under årets varmaste dagar för respektive ort.

Taktyp	Malmö [kWh]	Stockholm [kWh]	Umeå [kWh]
Tegeltak	179,1	180,7	147,7
Grönt tak	159,8	168,9	132
Skillnad	19,3	11,8	15,7
Procentuellt	10,8%	6,5%	10,6%

För att bestämma de olika takens effekt på inomhustemperaturen så simulerar vi modellerna utan HVAC-system med resultat i Tabell 13, varav skillnaden i inomhustemperatur är av intresse.

Tabell 13. Dagligt genomsnitt för kylning under sommarperioden för respektive ort.

Taktyp	Malmö [kWh]	Stockholm [kWh]	Umeå [kWh]
Tegeltak	59,8	55,7	55,8
Grönt tak	47,5	44,6	44,6
Skillnad i procent	20,6%	19,9%	20,1%

Tabell 13 visar den dagliga genomsnittsförbrukningen för kylning under sommarperioden. Då med hjälp av det förvalda HVAC-systemet som har för avsikt att kyla inomhustemperaturen ner till 24°C.

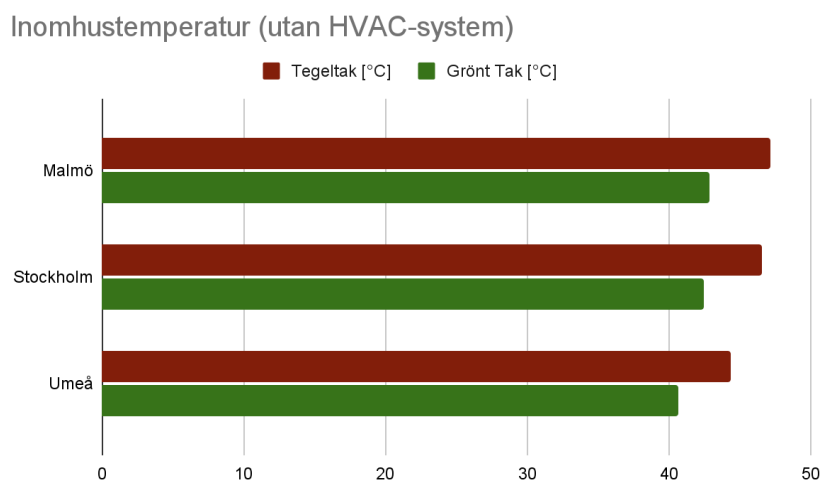
6 Diskussion och slutsatser

I detta avsnitt analyserar vi resultaten från simuleringarna i förhållande till våra frågeställningar. Stapeldiagram har skapats för att jämföra de olika värdena.

6.1 Inomhustemperatur

Simuleringen utan något kylningssystem genomförs för att tydligt visa hur inomhustemperaturen påverkas enbart av gröna tak. Först simuleras byggnaden med tegeltak för de tre olika städerna. Den varmaste dagen för Malmö inträffade den 7 augusti och resulterade i att inomhusluften i byggnaden nådde 47,1 °C, se Tabell 11. Vidare simuleringar visade att inomhustemperaturen i Stockholm låg på 46,5 °C den 4 augusti, medan den i Umeå låg på 44,3 °C den 12 juli.

Efter detta genomfördes simuleringen med gröna tak. Resultaten visade att inomhustemperaturen under samma dagar i Malmö sjönk med 8,9%, 8,8% i Stockholm och 8,1% i Umeå. I genomsnitt sjönk inomhustemperaturen med cirka 4°C, varav temperaturen sjönk mest i Malmö, med 4,2°C.



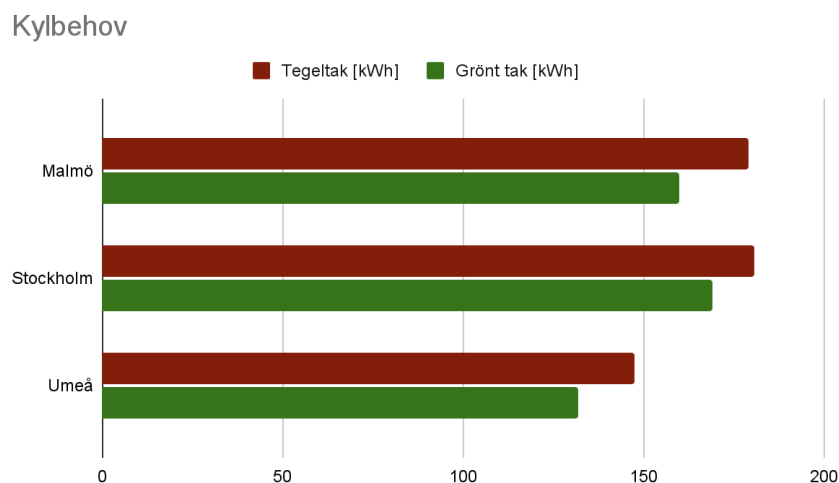
Figur 20. Skillnad i inomhustemperatur under årets varmaste dag för de olika städerna.

6.2 Kylbehov

Figur 10 presenterar resultatet vid simulering för byggnad med tegeltak i Malmö. Vid närmare granskning av grafen framgår det tydligt att energiförbrukningen för kylning av byggnaden börjar förändras den 3 maj, där kylbehovets intensitet ökar gradvis och når sin topp den 7 augusti. Då är energiförbrukningen högst, totalt 179,1 kWh. Efter det granskas resultaten för byggnaden med grönt tak i Malmö i Figur 11. Figuren visar att energiförbrukningen för kylning under den varmaste dagen minskade med 10,8%, från 179,1 kWh till 159,8 kWh, jämfört med Figur 10.

Figur 14 presenterar resultatet för tegeltak i Stockholm. Det framgår tydligt från grafen att energiförbrukningen för kylning ökar kraftigt redan i början av maj. Dock hade maj månad endast ett fåtal varma dagar till skillnad från Malmö, vilket resulterade i att energiförbrukningen var nära noll mellan 13 och 29 maj, för att sedan börja öka från juni månad. Den varmaste dagen inträffade den 26 juni och krävde 180,7 kWh för att kyla ner byggnaden. För byggnaden med grönt tak syns en minskning av kylbehovet med 6,5% till 168,9 kWh, se Figur 15.

Jämfört med de andra två städerna har Umeå det kallaste klimatet. Därför är energiförbrukningen för kylning som lägst här under den varmaste dagen med ett värde på 147,7 kWh, se Figur 18. Figur 19, som visar resultaten för byggnad med gröna tak, följer samma mönster som Figur 11 och 15: energiförbrukningen för kylning minskar. Denna gång minskade energiförbrukningen för kylning med 10,6% under den varmaste dagen, från 147,7 kWh till 132 kWh.



Figur 21. Skillnad i kylbehovet under årets varmaste dagar för de olika städerna

6.3 Resultatdiskussion

Simulering utan något kylningssystem indikerar på en positiv effekt av gröna tak när det gäller att reducera värmen inomhus. Inomhustemperaturen sjönk med 4,2°C, från 47,1 °C till 42,9 °C under den varmaste dagen i Malmö. För de andra orterna sjönk temperaturen med 4,1 °C i Stockholm och 3,6 °C i Umeå.

Enligt resultaten från simuleringen är det uppenbart att energiförbrukningen för kylning började öka redan i maj månad. Detta indikerar att behovet av kylning ökar i takt med stigande utomhustemperaturer under den tidiga sommarperioden. Genom att jämföra kylbehovet under sommarperioden blir det tydligt hur stora skillnader det är i energiförbrukningen för byggnaden med tegeltak respektive grönt tak, se Tabell 14. Störst inverkan på kylbehovet gjorde grönt tak i Malmö, med en reducering på 10,8% den varmaste dagen och i genomsnitt 20,6% för hela sommarperioden.

Genom att analysera de simulerade resultaten för olika städer blir det tydligt att gröna tak spelar en betydande roll för termisk komfort. Sänkning av inomhustemperatur och kylbehovet i en byggnad är särskilt värdefullt för städer med varmare klimat, där ökad urbanisering och klimatförändringar ställer högre krav på energieffektivitet och hållbarhet. Genom att minska belastningen på kylsystem kan gröna tak bidra till att minska stadens energikonsumtion och därmed dess klimatavtryck. Sammanfattningsvis visar resultaten att gröna tak kan bidra till termisk komfort, med sänkt inomhustemperatur och minimering av kylbehovet under sommarmånaderna.

6.4 Metoddiskussion

Studien är baserat på endast ett simuleringsprogram för att undersöka gröna taks effekt på energiförbrukning för termisk komfort under olika klimatförhållanden. Simuleringsprogrammet DesignBuilder valdes främst på grund av nyttjandet i tidigare forskning samt dess förmåga att modellera byggnaders termiska prestanda genom olika aspekter. Trots simuleringsverktygets fördelar är det viktigt att erkänna dess osäkerhet och begränsningar. Att endast använda sig av ett simuleringsprogram ger en brist på validering av resultatet mot verklig data. Dock kan programmet ge värdefull insikt med bidrag för framtida studier för att exakt återspegla det verkliga händelseförloppet. Man behöver därmed vara medveten om detta och tolka resultaten med försiktighet.

En ytterligare aspekt att diskutera är bristen mellan resultat från simulering och förväntat resultat enligt den teoretiska ramen för val av växtlighet. Baserat på teorin om växtlighetens inverkan på kylbehovet förväntades ett annat resultat än vad simuleringen konstaterade. I simuleringen visas inte någon betydande skillnad i energiförbrukning för kylning för olika typer av växtlighet på taket. Detta kan bero på att simuleringen inte tar hänsyn till vissa faktorer eller variabler som kan påverka resultatet. Det är därför nödvändigt med ytterligare undersökning för att bättre återspegla denna teori i praktiken.

Simuleringsverktyget ger oss en förståelse i gröna taks effekt på termisk komfort i form av energiförbrukning för kylning, men det är trots allt viktigt att komma ihåg att dessa simuleringar endast representerar en förenklad bild av verkligheten. Vid framtida studier bör man istället sträva efter verklig data för att validera resultaten eller använda sig av andra simuleringsmetoder för att ge en utökad förståelse av förloppet. Genom ytterligare simuleringar i nordiskt klimat kan vi bättre förstå och tolka resultaten för vidare information om hållbart byggande. Vi kan dock jämföra våra resultat, som visar en förbättring av inomhustemperaturen med 8,1-8,9%, med studien av Xiaoli Hao et al. (2022), vilken rapporterar en skillnad på 7,9% för rum med grönt system. Denna jämförelse tyder på att våra simuleringsresultat i DesignBuilder är rimliga och tillförlitliga.

6.5 Begränsningar

Studien begränsas i relation till de avgränsningar som formulerades i rapportens inledning. Dessa avgränsningar har varit avgörande för att förstå relevansen av våra resultat. Vi har fokuserat på en specifik byggnad, modellerad med olika takskikt, utspelat i tre olika orter för att bedöma gröna taks inverkan på termisk komfort inomhus med geografisk variation. Genom detta är vi tydliga med att våra resultat inte kan generaliseras till andra byggnader eller andra klimatförhållanden utan vidare forskning. Denna avvägning var viktig för att balansera noggrannhet och relevans av resultaten utan risk för övergeneralisering.

I studien beaktade vi inte klimatskalets uppbyggnad utan använde oss istället av standardiserade U-värden och antaganden av byggnadens ventilation- och kylsystem. Varav noggrannheten i vår studie kan ha påverkats i våra simuleringar och deras förhållande till verkliga händelseförlopp. Denna avgränsning krävs för att förstå resultat och dess lämplighet i praktiken.

Vidare fokuserar vi på kylbehovet under sommarperioden, då det är som störst. För övrigt tog vi inte hänsyn till uppvärmning eller andra faktorer som varmvattenförbrukning eller generellt val av värmesystem. Genom denna avgränsning begränsade vi oss till ett visst användningsscenario och årstid.

6.6 Slutsatser och rekommendationer

I studien ser vi även över regionala skillnader vid nyttjande av gröna tak. Resultaten tyder på mindre regional skillnad för kylbehovet för byggnader i olika delar av Sverige. Dock ser man en direkt skillnad på inomhustemperaturen för de olika orterna. Till exempel kan gröna tak ha en större potential att minska inomhustemperaturen i varmare städer som Malmö jämfört med kallare orter.

6.6.1 Kan gröna tak minska kylbehovet i en byggnad?

Gröna tak är även en strategi för att minska kylbehovet. Våra resultat visar att gröna tak kan vara ett effektivt val för att minska på byggnadens kylbehov under sommarperioden. Simuleringarna presenterade en markant minskning av energiförbrukningen för kylning i byggnader med grönt tak jämfört med traditionellt tegeltak.

6.6.2 Har val av växtlighet någon inverkan på byggnadens termiska komfort enligt simuleringar i DesignBuilder?

Inverkan av växtval var även ett område som undersökts i studien. Studien indikerar, genom teori, att val av växtlighet vid byggnation av grönt tak kan ha en inverkan på termisk komfort. Detta eftersom vissa växter kan ha bättre egenskaper för att kyla taket genom skuggning och evapotranspiration, som i sin tur kan leda till olika nivåer av energibesparingar. Simuleringarna kunde dock inte styrka detta argument.

6.6.3 Hur påverkas termisk komfort under sommartid i byggnader med grönt tak i olika delar av Sverige?

Baserat på slutsatser och resultat från våra studier ovan kan vi rekommendera fastighetsägare och stadsplanerare att överväga implementering av gröna tak som en hållbar strategi för att bidra till termisk komfort i byggnaden. Framförallt i städer med varma somrar. Vid val av gröna tak bör man dock överväga typ av växtlighet för att bäst lämpligt maximera kylningseffekten och därmed energibesparingarna. Det är dessutom viktigt att genomföra regionspecifika utvärderingar för att förstå de potentiella kylningseffekterna av gröna tak i olika delar av landet och anpassa dessa efter lokala klimatförhållanden och behov.

6.7 Förslag till vidare forskning

För att få bättre verklig uppfattning av gröna taks effekt på termisk komfort och energiförbrukning så rekommenderar vi fältstudier med mätningar för verkliga objekt. Genom insamling av data från faktiska system och installationer kan forskare få en bättre förståelse av fenomenet i praktiken och vilka faktorer som påverkar byggnadens prestanda i förhållande till gröna tak.

Ett annat förslag är att ägna sig åt långsiktiga studier för att förstå de långsiktiga effekterna av gröna tak. För ett verkligt objekt skulle man kunna forska på långsiktiga trender och eventuella avvikelser över tid.

Man skulle även kunna jämföra studier eller utföra fältmätningar mellan olika typer av gröna tak som extensiva, semi-intensiva och intensiva gröna tak, men även mellan olika växtlighet. Genom jämförelse av respektive prestanda och inverkan kan man få ytterligare insikt i vilken design som är bäst lämpad för olika klimatförhållande och byggnadsobjekt.

Vidare kan man fokusera på de socioekonomiska aspekterna vid implementering av gröna tak. Det skulle kunna inkludera kostnader, ekonomisk vinning samt samhällspåverkan. Denna forskning skulle beröra intressenter men även rekommendationer för beslutsfattare.

Genom vidare forskning skulle man kunna bidra till en mer omfattande förståelse av gröna taks egenskaper och dess inverkan på termisk komfort runt om i världen.

Referenser

Abbaspor, S. m.fl. (2022). *Gröna tak. En studie av dagvattenhantering och fuktpåverkan för Sergelhusen i Stockholm.*

[FULLTEXT01.pdf \(diva-portal.org\)](#) [04-03-2024]

ASGRAE 2024. *Standard 90.1.*

<https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1> [05-18-2024]

Bengtsson, A & Lind, M (2017). *Solceller på svarta, vita och gröna tak.*

[solceller-pa-svarta-vita-och-grona-tak-energiforskrappport-2017-383.pdf \(energiforskmedia.blob.core.windows.net\)](#) [05-12-2024]

Bevilacqua, P., Bruno, R. and Arcuri, N. (2020) 'Green roofs in a Mediterranean climate: energy performances based on in-situ experimental data', *Renewable Energy: An International Journal*, 152, pp. 1414–1430. doi:10.1016/j.renene.2020.01.085.

Boverket (2020). BFS 2020:4 - BBR 29.

[Boverkets föreskrifter om ändring i Boverkets byggregler \(2011:6\) - föreskrifter och allmänna råd, BFS 2020:4](#)

Boverket (2021). Gröna tak.

<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/praktiken/grona/grona-tak/> [05-12-2024]

Condair (2024). Evaporativ kylning som nytt kylkoncept.

<https://www.condair.se/evaporativ-kylning/> [05-19-2024]

Daikin (2024). Vad är skillnaden mellan en luft/luftvärmepump och en luftkonditionering?

https://www.daikin.se/sv_se/privatkund/inspiration/articles/air-to-air-heat-pumps-vs-air-conditioning.html [05-19-2024]

Danthermgroup (2023). Vad är evaporativ kylning?

<https://www.danthermgroup.com/sv-se/dantherm-group/vad-%C3%A4r-evaporativ-kylning> [05-19-2024]

DesignBuilder (2024). *About DesignBuilder.*

<https://designbuilder.co.uk/about-us> [05-07-2024]

DesignBuidler (u å). *Activity Templates.*

https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/Activity_Templates.htm [05-18-2024]

DesignBuilder (2024). *DesignBuilder HVAC.*

<https://designbuilder.co.uk/hvac> [05-18-2024]

DesignBuilder (u.å.). *Green Roof*.

[Green Roof \(designbuilder.co.uk\)](https://designbuilder.co.uk) [05-07-2024]

DesignBuilder (u.å.). *Location*.

[https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/ Location.htm](https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/Location.htm) [05-18-2024]

Energirenovera (2024). Byggnadens värmebalans.

<https://www.energirenovera.se/byggnadens-varmebalans/> [05-18-2024]

Fachinello Krebs, L. and Johansson, E. (2021) 'Influence of microclimate on the effect of green roofs in Southern Brazil – A study coupling outdoor and indoor thermal simulations', *Energy and Buildings*, 241. doi:10.1016/j.enbuild.2021.110963.

Folkhälsomyndigheten (2018). Värmestress i urbana inomhusmiljöer.

<https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/00c0393a36f745638a58f657be7a9133/varmestress-urbana-inomhusmiljoer-18060-webb.pdf> [05-19-2024]

Gahnertz, D (2024). Vad drar en luftvärmepump i timmen, per dygn och i månaden? GreenMatch.

<https://www.greenmatch.se/blogg/hur-mycket-el-drar-en-varmepump> [05-19-2024]

Hao, X. m.fl. (2022). 'The Impact of Greenery Systems on Indoor Thermal Environments in Transition Seasons: An Experimental Investigation', *Buildings*. doi: 10.3390/buildings12050506

Lane, A-L (2021). Guide: Energieffektiv kontorskyla. *Energieffektivisering*.

<https://byggkoll.byggstjanst.se/artiklar/2021/februari/guide-energieffektiv-kontorskyla/> [05-19-2024]

Li, Y. m.fl. (2023). 'The role of radiative cooling and leaf wetting in air-leaf water exchange during dew and radiation fog events in a temperate grassland', *Agricultural and Forest Meteorology*. doi:10.1016/j.agrformet.2022.109256

Lotfi, Y. and Hassan, M. (2024) 'Optimizing energy efficiency and thermal comfort of green envelope applications in hot arid climate', *SN Applied Sciences*, 6(2), pp. 1–13. doi:10.1007/s42452-024-05698-4.

Makhnatch, P (2013). Miljö mätmetoder för utvärdering av kylsystem drift.

Uppvärmning, kylning och kylsystem. KTH

<https://www.energy.kth.se/sv/applied-thermodynamics/key-research-areas/heating-systems/low-gwp-news/miljo-matmetoder-for-utvardering-av-kylsystem-drift-1.426287>

[05-19-2024]

Naturvårdsverket (2024). Därför blir det varmare.

<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatforandringar/darfor-blir-det-varmare/> [05-19-2024]

Okutani, R. (2023). *Takmaterial för en ekologiskt hållbar framtid. Jämförande studie av plåttak, tegeltak & gröna tak.*

[Examensarbete | Rebecca Okutani \(diva-portal.org\)](#) [03-04-2024]

Polarpumpen (2024). Hur fungerar luftkonditionering och AC.

<https://www.energirenovera.se/byggnadens-varmebalans/> [05-18-2024]

Rautio, J (2023). Vad drar mest el i hemmet? (Typiska strömtjuvar). *El. Otovo*

<https://www.condair.se/evaporativ-kylning/> [05-19-2024]

RISE AB (2021). *Grönatakhandboken*. 2 uppl., Svensk Byggtjänst.

SCB (2023). Folkmängd, topp 50, 31 december 2023.

<https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/befolkning/befolkningens-sammansattning/befolkningsstatistik/pong/tabell-och-diagram/folkmangd-och-befolkningsforandringar---helarsstatistik/folkmangd-topp-50/> [05-22-2024]

Sikander, E., & Capener, C.-M. (2014). Gröna klimatskal - fuktförhållanden, energianvändning och erfarenheter.

<https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-5208> [02-05-2024]

SMHI (2019). Gröna tak, fördjupning.

<https://www.smhi.se/klimat/klimatanpassa-samhället/exempel-pa-klimatanpassning/grona-tak-fordjupning-1.116956> [05-12-2024]

SMHI (2023). Sveriges klimat har blivit varmare och blötare.

<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/sveriges-klimat-har-blivit-varmare-och-blotare-1.21614> [05-19-2024]

Vijayaraghavan, K (2015). 'Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
doi:10.1016/j.rser-2015.12.119