



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur,  
trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

# *Energiförbrukning hos byggnader med gröna tak - ur ett globalt perspektiv*

*Josefine Askfelt & Sara Pettersson*



Självständigt arbete • 15 hp  
Landskapsarkitektprogrammet  
Alnarp 2016

**Energiförbrukning hos byggnader med gröna tak – ur ett globalt perspektiv**

**Energy consumption of buildings with green roofs – from a global perspective**

*Josefine Askfelt & Sara Pettersson*

**Handledare:** Anna Levinsson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Examinator:** Eivor Bucht, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** G2E

**Kurstitel:** Kandidatexamensarbete i landskapsarkitektur

**Kurskod:** EX0649

**Ämne:** Landskapsarkitektur

**Program:** Landskapsarkitektprogrammet

**Utgivningsort:** Alnarp

**Utgivningsår:** 2016

**Omslagsbild:** Anton Malishev, 2011

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** Gröna tak, energiförbrukning, globalt perspektiv

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårdsh och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

## Sammanfattning

Gröna tak upplevs ofta som något nytt och modernt, men faktum är att gröna tak funnits med oss genom historien. Historiskt sett användes de av praktiska skäl, för att under 1800-talet utnyttjas för sina estetiska värden. Idag pågår forskning för fullt runt om i världen för att återigen använda och undersöka dem på grund av deras positiva egenskaper på omgivande miljö. Ett aktuellt ämne är hur gröna tak kan påverka energiförbrukningen hos byggnader, genom reducerat behov av uppvärmning och nedkylning. Genom att undersöka dessa effekter, vilka kan minska energikostnaderna hos byggnader, skulle detta kunna utgöra ett starkt argument för ökat användande. Målet med detta arbete grundas därför i att jämföra studier, gällande energibesparing hos byggnader med gröna tak, från olika delar av världen med olika klimat. Detta för att undersöka eventuella samband och övergripande mönster mellan studierna för att på så sätt skapa argument för ökat användande.

Arbetet utgörs av en litteraturstudie där vetenskapliga artiklar, som behandlar energiförbrukningen hos byggnader med gröna tak runt om i världen, jämförs.

Resultat visar på ett övergripande mönster där de största positiva effekterna på energiförbrukning hos byggnader med gröna tak visas i varma och fuktiga klimat. Viss energibesparing görs även i kalla klimat, dock är dessa resultat inte lika framträdande som i varma klimat. Vidare framträder även tydliga samband där oisolerade byggnader gynnas mer än isolerade.

## Abstract

Today, the concept of green roofs is perceived as modern and new, albeit it actually has a rich history. From the beginning, the concept of green roofs was utilized for its practical reasons that, in the 90<sup>th</sup> century, shifted to focus more on its aesthetic value. Today, researchers around the world have, once again, shifted focus to its more practical reasons, such as their positive impact on the surrounding environment. Another widely researched topic related to its practical reasons is: How green roofs, through reduced need of heating and cooling, can affect the energy consumption of buildings.

By investigating this particular impact (which could reduce the energy costs for buildings), it seems to be a strong argument for increased use. Today, a majority of the studies in this field are made in different geographical areas and hence in different climates. This research project aims to compare studies, regarding the energy consumption of buildings with green roofs, which comes from different countries and climates. The reason for comparing different studies is to find overall patterns between the studies to establish arguments for increased use of green roofs.

This research project is based on a literary study where scientific studies, that investigate the energy consumption of buildings with green roofs, will be compared.

The result shows an overall pattern, which indicate that the energy consumption of green roofs have the biggest positive effect in climates that are hot and humid. There seem to be positive effect in colder climates as well, albeit these results are not as clear as in warm climates. Further, the results indicate a clear connection where buildings without isolation benefitted more than isolated buildings.

## Förord

*Den här uppsatsen är skriven inom landskapsarkitekturprogrammet vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Alnarp, fakulteten för Landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap. Uppsatsen är skriven på kandidatnivå och omfattar 15 högskolepoäng.*

# Innehållsförteckning

<b>Förord .....</b>	<b>2</b>
<b>Innehållsförteckning.....</b>	<b>3</b>
<b>Bakgrund.....</b>	<b>8</b>
<b>Mål &amp; syfte .....</b>	<b>9</b>
<b>Frågeställningar.....</b>	<b>9</b>
<b>Material &amp; metod.....</b>	<b>9</b>
<b>Avgränsningar .....</b>	<b>10</b>
<b>Begreppsdefinition .....</b>	<b>11</b>
<b>Absorption .....</b>	<b>11</b>
<b>Energiprestanda .....</b>	<b>11</b>
<b>Evaporation .....</b>	<b>11</b>
<b>Isolering.....</b>	<b>11</b>
<b>Termisk.....</b>	<b>11</b>
<b>U-värde.....</b>	<b>11</b>
<b>Gröna tak.....</b>	<b>12</b>
Extensiva gröna tak .....	13
Intensiva & semi-intensiva gröna tak .....	14
<b>Historia kring gröna tak &amp; dess utbredning i världen.....</b>	<b>15</b>
<b>Användning av gröna tak idag.....</b>	<b>17</b>
Användandet i Sverige.....	17
Internationellt användande .....	18
<b>Takkonstruktionens betydelse .....</b>	<b>19</b>
<b>Växternas påverkan på byggnaders energiprestanda.....</b>	<b>20</b>
<b>Energiförbrukning hos byggnader med gröna tak ... Fel! Bokmärket är inte definierat.</b>	
<b>Undersökningar ur ett internationellt perspektiv.....</b>	<b>23</b>
Isoleringens påverkan på takets termiska prestanda.....	23
Klimatets inverkan: reducerat kylbehov .....	25
Ostasien .....	26
Sydöstra Asien.....	27
Nordamerika .....	28
Klimatets inverkan: reducerad värmeförlust.....	29
Nordamerika .....	29
Vita tak respektive gröna tak.....	31
Bristande jämförbarhet.....	32
Takkonstruktionens betydelse.....	32
Yttre faktorerers påverkan .....	33
<b>Analys &amp; Diskussion .....</b>	<b>35</b>
<b>Klimat .....</b>	<b>35</b>
Varmt & fuktigt .....	35
Varmt & torrt.....	36
Kallt & fuktigt .....	36
<b>Isolering.....</b>	<b>36</b>
<b>Extensiva-, semi-intensiva &amp; intensiva gröna tak .....</b>	<b>37</b>
<b>Arbetets begränsningar.....</b>	<b>37</b>

<b>Metodkritik och vidare studier .....</b>	<b>38</b>
<b>Slutsats.....</b>	<b>39</b>
<b>Avslutning.....</b>	<b>39</b>
<b>Källförteckning .....</b>	<b>40</b>
Elektroniska källor .....	40
Tryckta källor .....	41

## Inledning

Genom landskapsarkitekturutbildningens gång har vårt intresse för gröna lösningar i staden vuxit fram allt mer. Hållbarhet, miljö och framtidstänkande har diskuterats genom de olika kurserna vi läst. När då kandidatexamensarbetet närmade sig stod valet klart att fördjupa sig inom en av dagens gröna lösningar, vilken visade sig vara mer historisk än ny. Gröna tak har funnits med oss genom historien som en hållbar lösning för att stänga ute väta och vind från de historiska byggnaderna, för att sedan användas i estetiskt syfte. Idag har ämnet återigen blivit uppmärksammat för dess miljöfrämjande fördelar där forskning runt om i världen undersöker dessa. Därför vill vi i detta arbete undersöka en aspekt som diskuteras idag: de gröna takens fördelar ur energibesparingssyfte. Målet med arbetet är att hitta ett övergripande mönster genom jämförande av studier runt om i världen. Anledningen till att inriktningen inbegriper energibesparingar hos byggnader med gröna tak grundas i att en stor motivation i dagens samhälle är ekonomi. Genom att kunna visa på eventuella mönster och fördelar med gröna tak på energiförbrukningen skulle detta kunna skapa argument för grönare lösningar i våra städer.



## Bakgrund

Idag finns gröna tak runt om i världen, framförallt i de större städerna. De anses vara nya och innovativa, men har en lång bakgrund som sträcker sig ända bak till Mesopotanien och Babylons hängande trädgårdar (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 9). Här i Norden används gröna tak flitigt på grund av deras positiva effekter på miljön (VegTech, 2011, sid. 6). Forskning pekar på flertalet fördelar med gröna tak, däribland ett förbättrat stadsklimat där växter används för att rena luften från skadliga partiklar (Yang et al., 2008). En annan positiv effekt är att de absorberar ljud i staden, vilket kan leda till minskad bullernivå (Porsche & Köhler, 2003). Vidare minskar gröna tak effektivt avrinningen av dagvatten (Bengtsson et al., 2005). Förutom på stadsmiljön ger gröna tak även positiva effekter för den enskilda byggnaden, vilken får en jämnare inomhustemperatur (Niachou et al., 2001; Onmura et al., 2001; Castleton et al., 2010).

På det globala planet utvecklas och används gröna tak allt mer. Konferenser hålls årligen runt om i världen där företag, forskare och intressenter för gröna tak möts. Under de senaste 10 åren har flertalet studier gjorts gällande energibesparing hos byggnader med gröna tak. Besparingar görs på det minskade behovet av uppvärmning vintertid samt nedkylning sommartid (Castleton et al., 2010). Ett annat aktuellt ämne idag är anpassning av vegetationen på gröna tak för olika klimat då klimatet är en avgörande parameter för växters överlevnad. Därför krävs lokal forskning, utifrån klimat och byggnaders konstruktion, för att ta reda på hur det gröna taket ska byggas för bästa resultat (Wong et al., 2003b). För hållbara gröna tak på olika geografiska platser krävs alltså klimat- och platsanpassade studier. Hållbara gröna tak leder i sin tur till ökad energibesparing hos byggnader. Dunnett & Kingsbury (2004, sid. 33) poängterar att de gröna takens positiva effekter angående energibesparingar, vilket reducerar kostnaderna, hos byggnader kan bli starka argument för ett ökat användande. Vidare har Europeiska unionen (EU) satt upp ett mål om att minska den totala energiförbrukningen, där byggnader står för 40% av denna. Energiförbrukningen ska reduceras med 20% innan 2020. Därmed syftar direktivet till att förbättra byggnaders energiprestanda i EU, med hänsyn till olika klimatförhållanden samt lokala förhållanden. Byggnadernas energiprestanda omfattar den energi som används för uppvärmning, varmvatten, nedkylning, ventilation och belysning (Eur-lex, 2015, [online]). Därmed blir gröna tak av större intresse för ett ökat användande inom framförallt EU, men även i övriga världen. Gröna tak kan reducera byggnadernas energiförbrukning, gällande nedkylning och uppvärmning, vilket gör dem både ekonomiskt fördelaktiga och mer miljömässigt hållbara. Därför är det av intresse att sammanställa dagens utförda undersökningar kring energibesparingar hos byggnader med gröna tak från olika delar av världen.

## Mål & syfte

Målet är att jämföra studier, gällande energibesparing hos byggnader med gröna tak, från olika delar av världen med olika klimat. Utifrån dessa diskuteras sedan likheter och olikheter. Syftet med arbetet är att undersöka sambanden mellan dessa studier och titta på eventuella övergripande mönster. Detta för att skapa argument för ökat användande av gröna tak.

## Frågeställningar

Vid jämförelse av studier på energibesparing (minskad uppvärmning och nedkylning) hos byggnader med gröna tak runt om i världen:

- Vilka likheter och skillnader finns utifrån klimat, typ av grönt tak och plats?
- På vilken plats/var i världen utgörs de största/minsta energibesparingarna och varför?

## Material & metod

Arbetet består av en litteraturstudie som utgått ifrån akademiskt material som behandlar gröna tak och/eller undersöker potentiella energibesparingar hos byggnader i det globala perspektivet. Inga egna undersökningar har gjorts (literature review). Sökandet av vetenskapligt material har främst skett via Science Direct, men även via andra databaser så som Web of Science, Scopus, Google Scholar och SLU:s biblioteksdatabas Primo. Urvalet av litteratur har gjorts via ämnets relevans utifrån både svenska och engelska sökorden: "gröna tak", "energiförbrukning", "green roof", "energy consumption", "insulation", "thermal performance", "thermal benefits" och "fields measurement". Förutom sökning via databaser har litteratur hämtats via annan litteraturs referenslistor.

Som en introduktion till arbetet finns en beskrivning kring begreppet "gröna tak", utifrån vad det innebär samt vilka typer som finns idag. För att bygga en bredare grund till hur de gröna taken utvecklats fram till idag följer ett historiskt perspektiv med beskrivning av de gröna takens utbredning i världen och hur dessa används idag. För att få ytterligare förståelse kring arbetets jämförande del beskrivs även takkonstruktionens betydelse samt växternas påverkan på byggnaders energiprestanda. Material till detta har hämtats via böcker och avhandlingar från SLU:s bibliotek samt från databaser, vilka är nämnda ovan.

Arbetet behandlar totalt 19 studier från länderna: Brasilien, England, Grekland, Italien, Japan, Kanada, Kina, Nederländerna, Norge, Singapore, Spanien och USA. Resultat från studierna sammanställdes, jämfördes och diskuterades sedan utifrån de rådande klimatet.

Arbetsmässigt har vi arbetat gemensamt genom hela arbetets gång. Detta har medfört en pågående diskussion där arbetet inte varit uppdelat. Det positiva med detta arbetssätt har varit att vi kunnat hjälpa, stötta och motivera varandra. Vi har kunnat diskutera och kritisera varandras förslag. Däremot har arbetssättet inneburit att vi varit ivriga och haft svårt för att inse våra begränsningar.

## **Avgränsningar**

I denna uppsats jämfördes studier från olika länder med avseende på byggnaders energibesparing genom anläggning av gröna tak. Detta utifrån kylning och uppvärmning av byggnader. Arbetet går inte in på andra fördelar med gröna tak. Byggnadstekniska avgränsningar gjordes på så sätt att studierna jämfördes i syfte för att hitta ett övergripande mönster. Detta innebär att arbetet främst behandlar de jämförda studiernas resultat och diskussion och inte går in djupare på deras tekniska delar med uträkningar och formler.

# Begreppsdefinition

## Absorption

Med absorbering av solljuset menas dels den mängd av solljus som växterna kräver för att kunna utföra fotosyntesen men även den solstrålning som växtsubstratet absorberar genom att agera som ett isolerande lager (Eumorfopoulou et al., 1998).

## Energiprestanda

Byggnaders energiprestanda inbegriper energi som används för uppvärmning, kylning, ventilation, varmvatten och belysning. Det är den beräknade eller uppmätta energimängd som behövs för att uppfylla det energibehov som är knutet till normalt bruk av byggnaden (Eur-lex, 2010, [online]).

## Evaporation

Då vatten går från en form till en annan, till exempel från flytande form till gasform, krävs det att energi tillförs på ett eller annat sätt. Denna process kallas för evaporation (Nationalencyklopedin, 2016a, [online]).

## Isolering

Isoleringens roll hos en byggnad är att skydda människor, egendom och konstruktion mot skadliga eller störande faktorer, så som kyla, drag, fukt, oljud, brand etcetera (Nationalencyklopedin, 2016b, [online]).

## Termisk

”Termisk sägs en substans eller företeelse vara som avser eller beror på temperaturen”, (Nationalencyklopedin, 2016c, [online]).

## U-värde

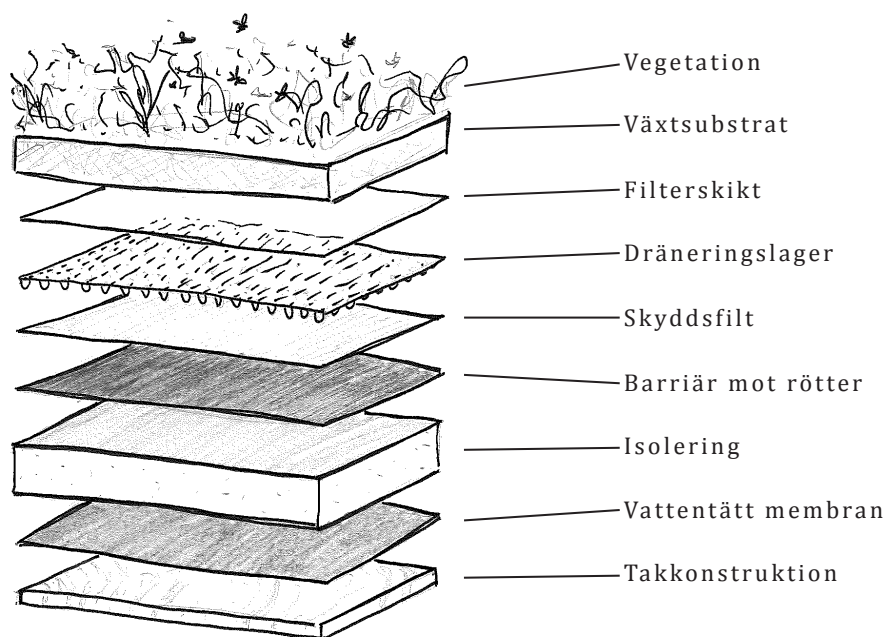
U-värde står för värmegenomgångskoefficienten, vilken sammanfattar värmeövergången vid sidorna av den värmeväxlande ytan samt värmeledningen genom själva ytan. Det är den egenskap som anger hur bra en hel byggnadsdel (exempelvis en vägg, ett golv eller tak) isolerar. Exempelvis ska en husvägg, eller ett tak hindra värmeströmmen vilket innebär att ett lågt U-värde eftersträvas. Ju lägre U-värde desto bättre isolerad är byggnadsdelen (Nationalencyklopedin, 2016d, [online]).

## Gröna tak

Begreppet "gröna tak" skapar vanligtvis en bild av någon form av vegetation som växer ovanpå ett tak. Dunnett & Kingsbury (2004, sid. 57) definierar gröna tak som, "a green roof is a green space created by adding layers of growing medium and plants on top of traditional roofing system". Definitionen indikerar på vegetationstak som är gröna.

Viktigt att nämna är den diskussion som finns idag huruvida de bör kallas för gröna tak eller ej. Detta då vegetationen på gröna tak många gånger inte är grön. Taket har ofta färger som skiftar i rött snarare än grönt på grund av den tuffa växtmiljö och det hårda klimat som råder på tak (Emilsson 2005, sid. 7-8).

Vidare behöver inte vegetationen växa ovanpå ett tak, utan så länge den finns ovanpå en byggd konstruktion definieras det som ett grönt tak. Detta innebär att vegetationen både kan finnas under, över och på marknivå (Peck et. al, 1999, sid. 13). Alla gröna tak är uppbyggda av minst två lager, vegetationen utgör ett lager medan det andra lagret består av någon form utav växtsubstrat. Vidare tillkommer vanligen ett dräneringslager samt en barriär, vilken skyddar underliggande konstruktion från vatten och rötter (Dunnett & Kingsbury, sid. 2).



**Figur 2.** Exempel på lageruppbyggnad av ett grönt tak.  
(Figur: Josefine Askfelt, 2016-05-18)

Till skillnad från äldre traditionella takträdgårdar, där vegetationen brukade planteras i fristående behållare eller krukor oberoende av byggnadens konstruktion, består dagens gröna tak av grönytor med vegetation som är integrerad med byggnadskonstruktionen (Dunnett & Kingsbury, sid. 2). Därför kan man beskriva gröna tak som en levande och dynamisk miljö av vegetation som är integrerad med taket på ny eller äldre byggnadsstruktur.

Beroende på jordens/odlingssubstratets djup delas gröna tak in i tre kategorier; intensiva, semi-intensiva respektive extensiva. Vidare är det substratdjupet (djupet på växtbädden) som avgör vilka växter som kan odlas på det gröna taket (Waldbaum, 2008). Indelningen mellan extensiva och intensiva gröna tak härstammar från den Tyska publikationen FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsent-wicklung Landschaftsbau e.v, och innehåller riktlinjer för planering, anläggning samt skötsel av gröna tak (Cantor, 2008, sid. 14). Dunnett & Kingsbury (2004, sid. 4) nämner också att det finns en tredje typ av grönt tak som kallas för semi-intensivt och hamnar någonstans mellan de extensiva och intensiva gröna taken.

### **Extensiva gröna tak**

Extensiva gröna tak innebär vanligtvis obeträdbara tak med låga skötselkrav (Waldbaum, 2008). Vad som är karaktäristiskt för extensiva gröna tak är det tunna substratdjupet, vilket både skapar restriktioner men som även öppnar upp möjligheter i konstruktionens design. Restriktioner så som att ett begränsat urval av växter klarar av att överleva där, då det extensiva taket endast kan hålla en viss mängd vatten som snabbt kan torka ut under varmare perioder. Möjligheter på så sätt att konstruktionen är förhållandevis lätt och kan appliceras på fler typer av tak, nybyggda såväl som äldre och tunnare tak (Emilsson, 2005).

Extensiva tak har tunna växtsubstrat, torktålig vegetation, låg kapitalkostnad samt en låg skötselnivå. Utav gröna tak är denna form både den lättaste och tunnaste. Substrat är en lättviktig typ av växtmedia och används, istället för jord, för att minska den tyngd som ett extensivt tak har på byggnaden. Detta består vanligen av oorganiska material och kommer därför inte att brytas ner med tiden och behöver inte heller bytas ut. Ett substratdjup på 20-150mm används för extensiva tak (Dunnett & Kingsbury, 2004, 2-4). I och med ovanstående fakta är de flesta extensiva tak inte tillgängliga för vistelse på, så som intensiva gröna tak är.

På grund av de tunna växtsubstraten skapas extrema mikroklimat på många tak. Detta ställer hårda krav på vegetationen, vilken måste vara mycket hårdig för att kunna nå målsättningen att bilda stabila och skötselfria biotoper (Piga, 1995, sid. 9). Cantor (2008, sid. 74) påpekar att växtmaterialet, för extensiva gröna tak, är mer begränsat än den stora diversitet av växter som är möjliga för intensiva tak. Detta beror dels på det tunna växtsubstratet men också på grund av att det vanligtvis inte sker någon bevattning av ytan, vilket ställer högre krav på växterna som behöver tåla vind, torka, utsatthet och extremer av väder. Vidare bör växterna ha små krav på näring då gödsling av taket

skapar risk för att överflödigt näring följer med regnvatten. För att inte skada underliggande konstruktion bör växterna även ha ytliga rötter. För övrigt efterfrågas ett mer horisontellt än vertikalt växtsätt för att täcka taken helt av vegetation samt att denna ska väga så lite som möjligt (Cantor, 2008, sid 74-75). På grund av de hårda kraven lämpar sig inte alla växter på gröna tak. Däremot finns det delade uppfattningar kring hur begränsat utbudet av växter faktiskt är. Exempelvis nämner Piga (1995, sid. 33) att utöver ovanstående krav måste konkurrensen mellan växterna beaktas då vissa arter kan komma att dominera och konkurrera ut andra. Å andra sidan påstår Dunnett & Kingsbury (2004, sid. 79-80) att utbudet av växter beror på klimatet och miljön på taket, vilket kan ge ett betydligt bredare utbud av växter ifall förståelse för detta finns.

### **Intensiva & semi-intensiva gröna tak**

Intensiva tak karaktäriseras ofta av tillgängliga takträdgårdar, med en variation av olika gräs, blommor, grönsaker, buskar och träd. För att denna variation av växtlighet ska kunna överleva på ett intensivt tak har det, till skillnad från extensiva tak, ett tjockare lager substrat. Liksom trädgårdar på marknivå kräver dessa också en mer intensiv skötsel (Waldbaum, 2008). Som nämnt ovan har de intensiva gröna taken tjockare substratjord än extensiva tak och kan därför endast anläggas på tak som är konstruerade för att klara av en tyngre vikt. För övrigt har intensiva tak ofta syftet att kunna besökas och de förknippas gärna med takträdgårdar. I och med den tjockare substratjorden kan vegetation som gräs, buskar och träd planteras, vilket också innebär en skötselintensitet likt den som krävs för en motsvarande grönyta i vanlig jord på markplan (Dunnett & Kingsbury, sid. 2). Nyström och Söderblom (1993, sid. 3) menar på att denna typ av vegetation även är beroende av en fungerande bevattningsanläggning vid torka.

Semi-intensiva tak hamnar någonstans mitt emellan extensiva- och intensiva gröna tak (Greenroofstoday, 2010, [online]). Andra vanliga benämningar är semi-extensiva tak (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 2) eller halvintensiva gröna tak (Nyström & Söderblom, 1993, sid. 3). Dessa medeltunga tak har samma lättviktiga substrat som de extensiva taken men däremot ligger substratdjupet mellan 100-200mm, vilket ger bredare möjligheter i val av växter (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 2). Alltså erbjuder semi-intensiva tak bredare möjligheter i val av växter än vad de extensiva taken gör, men inte ett lika brett urval som de intensiva taken erbjuder (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 2).



## Historia kring gröna tak & dess utbredning i världen

Vid första anblick kan gröna tak upplevas som något nytt men faktum är att gröna tak historiskt sett funnits med oss i flera århundranden. De första dokumenterade gröna taken leder oss tillbaka till den gamla befolkningen av Mesopotamien och Babylons hängande trädgårdar runt 600- 700-talet f.Kr. (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 9). På denna tid användes de gröna taken för att öka grönskan i städerna men även för att svalka husen i det mycket varma klimatet (Snodgrass & Snodgrass, 2006, sid. 15). I andra områden, exempelvis runt området Kurdistan, har också tidiga exempel av gröna tak hittats i form av olika typer av gräs på platta lertak (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 10-11). Möjligen fyllde även dessa ett funktionellt syfte under de heta sommarperioderna. I Skandinavien användes däremot sädestak för att isolera husen och hålla väta och kyla borta i det kalla klimatet (Snodgrass & Snodgrass, 2006, sid. 15). Historiskt sett användes gröna tak förmodligen på grund av praktiska skäl för att kyla eller isolera byggnader, då byggkonsten av tak med mer hållbara konstruktioner och material inte uppfunnits än. Dunnett & Kingsbury (2004, sid. 10-11) menar på att de gamla Skandinaviska husen med sina sädestak på näverlön, kvistar och torv påminner om och har gett upphov till dagens extensiva tak. Alltså kan teknologin och grunden till extensiva tak ha funnits med oss århundranden innan forskning och utveckling kring detta tog vid.

Under 1800-talets mitt var takutvecklingen i full gång och nya hållbara takkonstruktioner gjorde att platta tak blev allt vanligare. Dessa började anläggas i större städer i Europa och Amerika vilket uppmuntrade till en rad olika projekt med takträdgårdar. Exempelvis var ett av de första projekten i Västeuropa ett planterat grönt tak som var med under världsutställningen i Paris år 1868 (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 9). I och med industrialiseringen behövde alltså gröna tak inte längre anläggas av praktiska skäl, nu tog det estetiska värdet över.

Takkonstruktionen utvecklades vidare och klarade tyngre vikter under 1900-talet, vilket gjorde det möjligt för fler att lättare anlägga takträdgårdar (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 10). Från 1920-talet och framåt var arkitekten Le Corbusier den första som började designa takträdgårdar mer frekvent. Dock var dessa endast inom kontexten av "lyxbyggnader" för rika klienter (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 9). Le Corbusier uttryckte takträdgårdar som "ny arkitektur" (Ascione et al., 2013). Till skillnad från hur gröna tak först användes var det estetiken som lockade och uppmuntrade användandet samt gjorde detta modernt. Forskningen och utvecklingen kring gröna tak påbörjades senare. Den mest kända takträdgården, vilken fortfarande existerar, byggdes till Londons varuhus Derry and Toms under 1930-talet. Denna består av en rad olika tematrädgårdar spridda över en yta större än 6000 kvadratmeter (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 9-10). Takträdgården är idag ett gott exempel på att fenomenet gröna tak är hållbart över tid. Med dagens utvecklade tekniker visar forskning på att en hållbar installation kan generera en livslängd på mer än 50 år, innan den behöver bytas ut (Svenskanaturtak, 2016, [online]).



De första beräkningarna på energifördelarna med gröna tak gjordes i Tyskland under 1960-talet (Ascione et al., 2013). Tidigt 70-tal skrevs flertalet tyska böcker och artiklar om takträdgårdar. Dessa framhävde fördelarna med gröna tak och uppmanade arkitekter och designers att tänka utanför "lyxbyggnader med gröna tak". Landskapsarkitekten Professor Hans Luz skrev artikeln "Roofgreening - luxury or necessity?", vilken kom att influera. I artikeln poängterades gröna tak som en del av strategin för ett förbättrat stadsklimat. Det var dock inte förrän sent 1970-tal som de gröna takens fördelar rörande energibesparingar och minskad vattenavrinning framhövdes, främst av Professor Hans-Joachim Liesecke och Dr. Walter Kob (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 13, 15). Detta innebär att forskandet kring gröna tak och byggnaders energiförbrukning pågått i mer än 30 år.

Företag började samtidigt intressera och åta sig utvecklandet av gröna tak, vilket tillgängliggjorde dessa för fler och bidrog till ökad spridning. Det var även under 1970-talet som extensiva och intensiva gröna tak skiljdes åt. Därefter har den fortsatta forskningen främst skett på extensivt skötta tak (Dunnett and Kingsbury, 2004, sid. 14-15). En trolig anledning till detta grundar sig på det Ascione et al. (2013) skriver om i sin studie där skillnaderna mellan extensivt- och intensivt skötta tak diskuteras. De extensiva taken är både billigare att anlägga och sköta. Dessutom anläggs i princip uteslutande extensiva gröna tak på befintliga byggnader, då dessa klarar mindre vikt och extensiva tak väger mindre än intensiva tak. Tyskland och Schweiz var de första länderna att börja experimentera med nya, hållbara sätt att integrera växter på taken. Dock stöttes tekniska svårigheter på i konstruktionen med vattenläckage och penetration av rötter ända till 1980-talet (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 13-14).

Gröna tak byggs idag runt om i världen med stor spridning (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 16). Teknologin har kommit att bli en viktig komponent inom hållbar stadsutveckling under de senaste 30 åren (Igra-world, 2016, [online]). En ökad miljömedvetenhet och de gröna takens ekonomiska och ekologiska fördelar är de bakomliggande faktorerna till det breddade användandet. Numera finns gröna tak, takträdgårdar och tak-växthus i nästan alla världens storstäder, vilket gynnar den urbana miljön och dess invånare (Igra-world, 2016, [online]). Beroende på landets klimat och politiska ledning, miljömål, ekonomi etcetera ser utvecklingen av gröna tak olika ut runt om i världen. På geografiska platser med tempererade klimat är dagvattenhanteringen en primär fråga medan tropiska platser behöver kunna hantera det urbana stadsklimatet (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 16).

Detta innebär att gröna tak först användes för sina praktiska fördelar. Med tiden hamnade dessa i glömska då de estetiska värdena tog över. Intressant är att historien upprepar sig, där vi idag står i en verklighet där de praktiska värdena återigen fått stort inflytande.

## Användning av gröna tak idag

Gröna tak sägs ha många fördelar för både stad och människa. Dessa har tagits fram via studier kring funktion, miljövärden och anläggning av gröna tak och rör flertalet delområden så som ekonomiska, ekologiska, estetiska, tekniska och sociala (Dunnett & Kingsbury, 2004; Peck, 2008). Takens förmåga att effektivt minska avrinningen och därigenom bidra till en naturlig dagvattenhantering påstås vara en av de viktigaste effekterna av gröna tak (Emilsson, 2008). Dunnett & Kingsbury (2004, sid. 29-55) nämner andra positiva effekter så som att gröna tak minskar problemet med höga temperaturer i städer då yttemperaturen sänks genom ökad avdunstning och reflekterat solljus. Gröna tak bidrar även till energibesparing genom sin isolerande effekt på hus. Vidare ger de nya livsrum för växter och djur, skapar renare luft samt skyddar takets tätskikt mot mekaniska och termiska påfrestningar. För övrigt anses växter vara ett vackert inslag i stadsmiljön samt ha en positiv inverkan på människans hälsa. Gröna tak kan användas för urban odling och kan även fungera som vistelseytor med rekreativa värden (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 24-28). Porsche & Köhler (2003) beskriver och visar på i sin studie att ett extensivt grönt tak till och med kan vara billigare i längden jämfört med ett vanligt traditionellt tak på grund av dess långa livslängd.

Grundaren och ordförande för organisationen Green Roofs for Healthy Cities, Peck (2008, sid. 16), menar på att byggnadstekniken för gröna tak är mer omfattande än någon annan, grundat på de gröna takens fördelar samt hur de kan uppfylla människans ständiga längtan efter det "naturliga". De gröna taken bidrar med både privata och offentliga fördelar. De går att anlägga i olika former och storlekar. Tillförandet av mer vegetation i städerna minskar dessutom de negativa effekterna av dagens ökande urbanisering. Problemet i dagens urbana städer är konkurrensen och bristen på mark där flera intressenter vill åt samma mark, samtidigt som städernas gröna ytor bortprioriteras. Utan att behöva ta ny mark i anspråk kan överblivna och outnyttjade ytor användas för att öka de gröna ytorna i stadens befintliga struktur (Emilsson, 2008). Vidare består en stor del av stadens "bortglömda" ytor utav tak och fasader, vilka då har en stor potential att bli grund till grön och levande arkitektur. Gröna tak kan då öka ytornas värden, skapa nya platser och bidra till en hälsosammare stad (Peck, 2008, sid. 16). Viktigt är dock, som Emilsson (2008) poängterar, att gröna tak inte bör ses som en ersättning för parker eller andra grönområden i stadens markplan. Däremot är gröna tak ett bra komplement och kan göra mycket för de gröna miljöerna i staden.

## Användandet i Sverige

Andelen gröna tak utgör en liten del av takytorna i Sverige idag. Däremot ökar intresset och takvegetation ses allt oftare på skolor, kontorsbyggnader, bibliotek och privata hus (Klimatanpassning, 2016, [online]). De cirka 50mm tjocka, prefabricerade sedumtaken är dominerande på dagens svenska marknad. Med en vikt på cirka 50 kilo per kvadratmeter, vilket inte är mer än vad betongpannor väger, behöver oftast inte byggnadernas tak förstärkas vid anläggning av extensiva gröna tak. Efterfrågan på dessa prefabricerade takmattor har ökat under de senaste 10 åren vilket, enligt en artikel i

tidningen Sveriges Natur (Wrede, 2011, [online]), kan ligga till grund för varför marknadens kommersiella aktörer inte känt behov att utveckla produkten vidare. Däremot finns det forskning som hela tiden utforskar nya material och växter. Ett exempel är Augustenborgs botaniska takträdgård, vilken drivs av den ideella föreningen Scandinavian Green Roof Association, där gröna tak utvecklas från en mängd infallsvinklar (Wrede, 2011, [online]). Enligt Sikander & Capener (2014) är de främsta motiven för gröna tak att de är en ny bransch, ger bidrag till biologisk mångfald, ger sociala ytor för exempelvis informella möten och rekreation, bidrar till att uppfylla krav på grönytefaktor samt utjämning av belastningen på dagvattennätet i samband med kraftiga regn. Detta är sammanställt via intervjuer med olika byggherrar, entreprenörer, projektörer och förvaltare som har erfarenheter inom ämnet gröna tak.

### Internationellt användande

Motivet för anläggandet av gröna tak skiljer sig mycket åt mellan olika länder och speglar landets eller regionens politiska, kulturella och ekonomiska strukturer i hög grad. Exempelvis har den främsta drivande faktorn varit miljömässigt relaterad i Tyskland, där gröna tak är ett sätt att ersätta grönytor som tagits i anspråk av bebyggelse (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid 16). Vidare menar Dunnett & Kingsbury (2004, sid. 16) på att de ekonomiska motiven varit främst drivande gällande byggandet av gröna tak i Nordamerika. Detta då denna lösning varit ett kostnadseffektivt alternativ för att ta hand om miljörelaterade problem i städerna. I Storbritannien har däremot gröna tak har upplevts som en främmande och importerad teknik medan Norge ser gröna tak som en del av kulturhistorien, med romantiserade "nära-till-naturen"-känslor. Som nämnt tidigare beror de gröna takens olika värden på det geografiska läget, då gröna tak effektivare kan ta hand om regnvattnet i mer regnrika områden medan de kan minska höga temperaturer i varmare klimat (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 16).

Dunnett & Kingsbury (2004, sid. 1) poängterar att vegetation på både tak och fasader är ett av världens mest innovativa och expanderande områden inom den byggda miljön. Enligt VegTech (2016, sid. 4) beror de gröna takens uppgång på den utvecklade vegetationstekniken, där växternas naturliga egenskaper kan angripa olika miljörelaterade problem i tätbebyggda städer. Johan Thiberg, från VegTech, berättar i en intervju för Byggnyheter.se, att:

“Den senaste tiden har begreppet koldioxidneutrala byggnader använts flitigt i marknadsföringen av nya hus. I det sammanhanget gör gröna tak dubbel nytta, dels gör deras isoleringsförmåga att energiförbrukningen sänks, dels bidrar växternas fotosyntes till att minska mängden koldioxid i luften.” (Bennewitz, 2009, [online]).

År 2003 låg världens största gröna tak på Ford Motor Company i Michigan, USA, vilket ansågs vara ett tecken på att teknologin för gröna tak blivit kommersiellt vedertagen (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 19). Vidare har intresset för gröna tak även utvecklats snabbt i Tokyo. Detta via "green Tokyo plan" där beslut tagits om att alla nybyggda

anläggningar, med tak större än 1000 m<sup>2</sup>, i Tokyo ska ha vegetation på minst 20% av takytan (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 20). Målet med "green Tokyo plan" är att motverka Urban Heat Island-effekter, vilket innebär att vegetationen kan sänka de naturligt höga temperaturerna i tätbebyggda städer (Oke, 1982; Akbari, 2005). Vidare är målet även att sänka stadstemperaturen, minska dagvattenhanteringen, minska luftföroreningar, motverka global uppvärmning, tillföra grönska i stadslandskapet och förbättra den biologiska mångfalden (VegTech, 2011, sid. 9).

Tyskland har varit och är än idag den ledande nationen inom anläggandet av gröna tak. Grunden till detta anses vara på grund av nationens lagar, vilka föreskriver gröna tak, samt landets statliga stöd för anläggandet (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 17). Däremot har de senaste årens absolut snabbaste utveckling skett i USA och Kanada där gröna tak kommit att bli en betydande del i stadsplaneringen. Stort fokus läggs i att minska fenomenet Urban Heat Island samt komplettera dagvattenhanteringen. Angående energiförbrukning visade en framtidsinriktad studie från Chicago, USA, att takvegetation på alla stadens tak skulle spara cirka en miljard kronor i energikostnad varje år. Detta då de gröna taken skyddar byggnaden mot uppvärmning från solinstrålning sommartid och isolerar byggnaden under kyligare perioder. De gröna takens isolerande effekt medför att lokalerna får jämnare temperatur dygnet runt samt att behovet av luftkonditionering minskar. Självklart beror takvegetationens effektivitet gällande isolering på byggnadens konstruktion med tjocklek samt vilken typ av vegetation som används. Tunna och lätta gröna tak med en tjocklek på cirka fem centimeter har även de en god förmåga att isolera byggnaden (Miljönytta, 2009, [online]).

## Takkonstruktionens betydelse

Enligt studien "Measures used to lower building energy consumption and their cost effectiveness", utförd av Florides et al. (2002), är taket den viktigaste konstruktionen på en byggnad, främst i varma klimat. Studien nämner att effekten beror på byggnadskonstruktionen där en mer isolerad byggnad sparar mer energi. Förutom taket spelar fler faktorer in, så som väggarna, fönstren, byggnadens form, byggnadens orientering i förhållande till väderstrecken etcetera (Florides et al., 2002).

I Sverige används främst lätta konstruktioner med träpanel, skivor eller tegel som fasadklädnad respektive tegelpannor, papp eller plåt som takbeklädnad. Men de erfarenheter och den kunskap som finns kring gröna tak idag är främst studerad utifrån tunga konstruktioner, exempelvis med bjälklag i betong eller murade ytterväggar (Sikander & Capener, 2014).

Vidare nämner Castleton et al. (2010) att flertalet studier som undersöker den potentiella energibesparing gröna tak gör inte nämner takstrukturens värmeledningsförmåga eller vilka material och tjocklekar konstruktionen består utav.

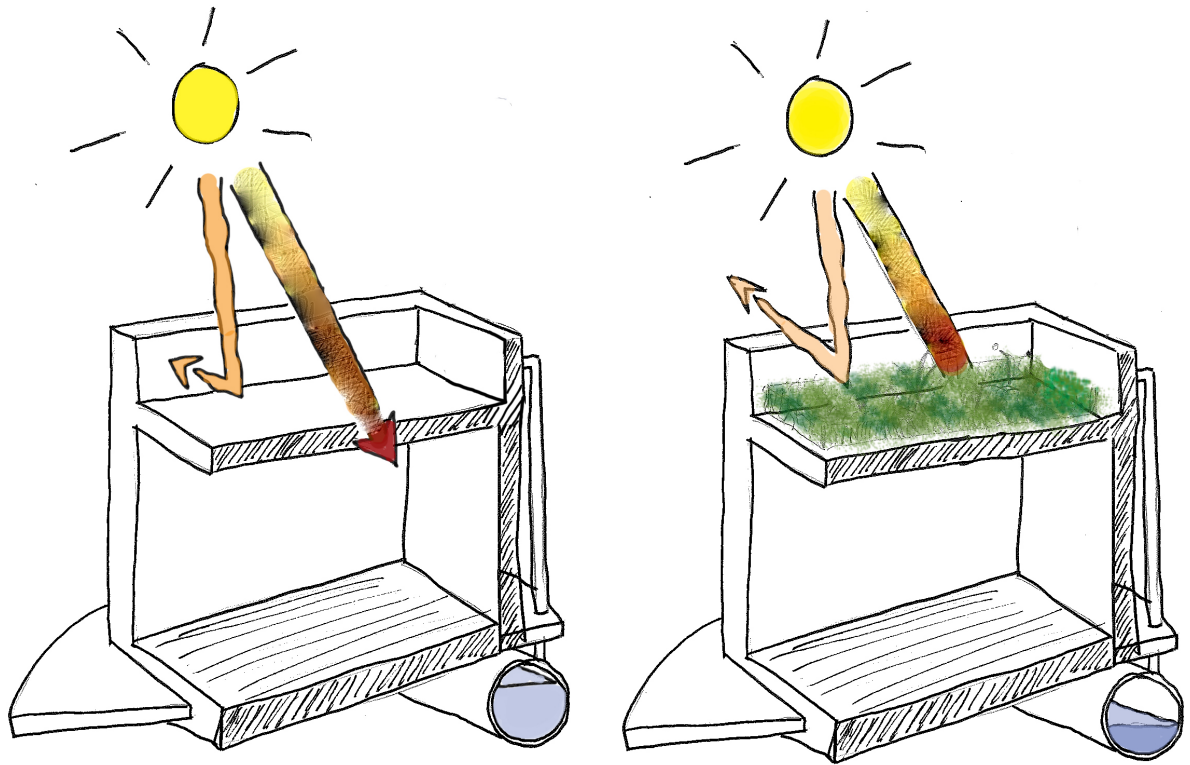
De betonar att de framtagna energibesparingarna ofta är specifika för just den undersökningen och kan därmed inte översättas till andra byggnader. Även Sikander & Capener (2014) påpekar att variation i konstruktionsuppbyggnad kan ge olika förutsättningar gällande energibesparingen. Simuleringar fungerar bra för att efterlikna en verklighet med god överrensstämmelse, däremot bör hänsyn tas till att de absoluta värdena inte kan användas rätt på grund av eventuella osäkerheter i indata (Sikander & Capener, 2014). Däremot föreslår Castleton et al. (2010) att en jämförelse av termiska fördelar i relation till takstrukturens U-värden ger fler bevis som är lämpliga för ett bredare spektrum av byggnader.

Runt om i världen har dagens miljörelaterade problem, såsom förhöjda stadstemperaturer, dagvattenhantering och koldioxidutsläpp, uppmärksammats. Forskning runt om i världen undersöker hur byggnaders totala energiförbrukning kan påverkas och minskas (Onmura, 2001; Liu 2004; Saiz et al, 2006; Getter et al. 2011 etcetera). Alltså innebär detta att en jämförelse av studier på energibesparingar hos byggnader med gröna tak från olika delar av världen inte kan utföras på exakta siffror. Detta eftersom byggnadskonstruktioner världen över ser olika ut, både storleksmässigt och konstruktionsmässigt.

## Växternas påverkan på byggnaders energiprestanda

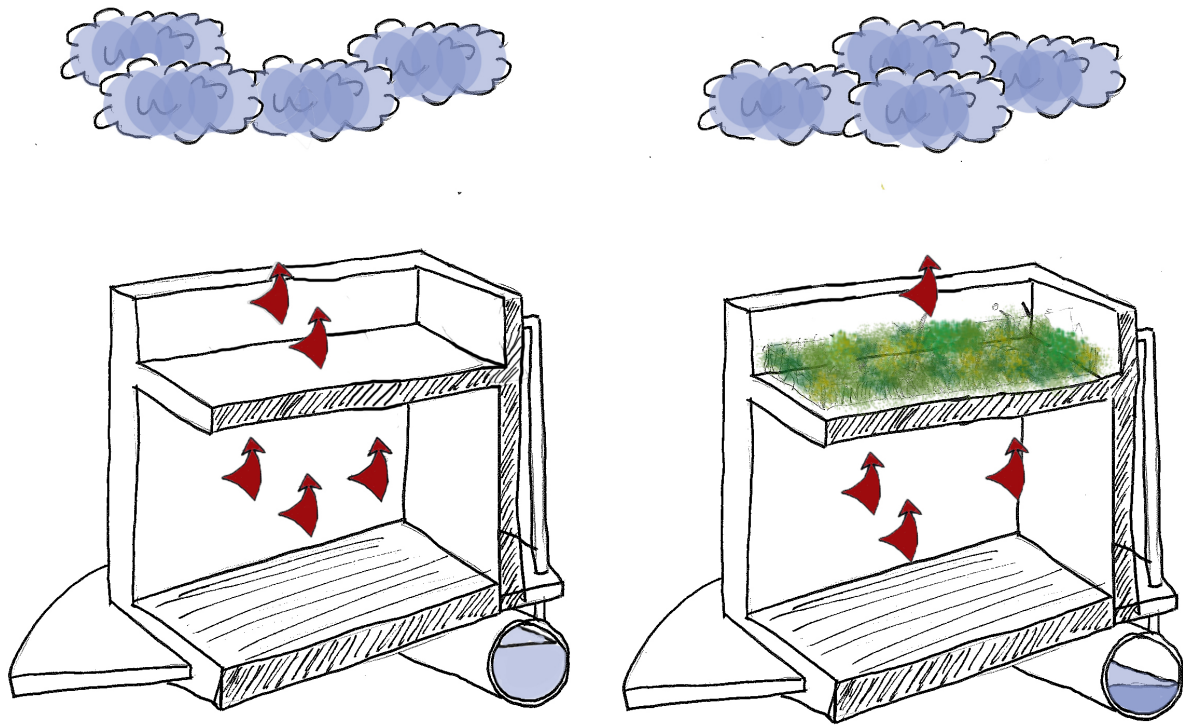
Klimatet är avgörande för växters överlevnad och fortplantning på en plats. För att öka sannolikheten till en stabil och långlivad plantering måste rätt växt planteras på rätt plats. Växtens krav på miljörelaterade parametrar, så som markfukt, näringsämnen, jordmån, ljus och konkurrens måste därför tas i hänsyn (Folkesson, 2016, [online]). En av styrkorna med extensiva gröna tak är deras låga skötselnivå (Dunnett & Kingsbury, 2004, sid. 2-4). För att minimera skötsel samt maximera livslängden och nyttan av gröna tak behöver därför växtvalet till gröna tak anpassas till det rådande klimatet på växtplatsen.

De främsta orsakerna till sänkt kylbehov hos byggnader med gröna tak är evaporation, reflektion, skuggning och absorption av solstrålning (Ascione et al., 2013). Genom att vatten i växtsubstratet samt i växten omvandlas från flytande- till gasform då solstrålning träffar taket reduceras värmeflödet in i byggnaden. Gröna tak reducerar även värmeflödet genom reflektion. Reflektionen sker då via vegetationens klorofyll som ger växternas gröna färg samt växternas skyddande vaxlager (Atwell et al., 1999). Jämfört med ett mörkt exponerat tak som i stället absorberar större delarna av all solstrålning som träffar taket fungerar då ett grönt tak mer kylande. Vegetationen agerar även som ett skuggande lager för det underliggande substratet vilket hindrar solstrålning från att nå byggnadens tak (Theodosiou, 2003). Det tredje fenomenet som verkar kylande för en byggnad är de gröna takens förmåga att absorbera solljuset.



**Figur 3.** Illustration över hur ett exponerat tak och ett grönt tak reflekterar och absorberar solljuset. Detta påverkar i sin tur byggnadens kylbehov. (Figur: Sara Pettersson, 2016-05-18)

Gröna tak kan inte enbart minska kylbehovet hos en byggnad utan även minska värmeförlusten hos byggnader. Eumorfopoulou & Aravantinos (1998) beskriver i sin artikel hur gröna tak bildar ett vindstilla luftlager mellan substratytan och växtens övre topp. Detta vindstilla luftlager agerar som ett isolerande lager vilket gör att under kalla perioder och under frysprocessen sker ingen värmeförlust från substratet utan i stället från luften. Vidare agerar även substratet som en extra isolering som både skyddar från



**Figur 4.** Illustration över hur ett exponerat tak och ett grönt tak reducerar värmeförlusten hos en byggnad. (Figur: Sara Pettersson, 2016-05-19)

solstrålning så väl som värmeförlust (Eumorfopoulou & Aravantinos, 1998, Saiz et al., 2006). Porsch och Köhler (2003) beskriver att substratets isolerande effekt beror på hålrummen och lufthålen i substraten men även luften inuti själva plantorna. Nämnvärt är också att takvegetationen skyddar det underliggande tätskiktet mot solens UV-ljus och snabba temperaturväxlingar. Detta är positivt då det ger ökad livslängd åt taket (Miljönytta, 2009, [online]).



## Resultat från litteraturstudien

Under denna del följer vår litteraturstudie vilken är grundad på 19 studier. Vad som skall tydliggöras här är att det inte rör sig om en jämförelse av 19 studier på en jämförbar grund. Litteraturstudien är bred och de undersökta studierna är alla skrivna utifrån olika kontexter med olika kategoriseringar där vi som författare gjort ett försök att tolka och jämföra dessa, samt finna samband utifrån större, övergripande mönster. Med dessa grunder har därför de 19 studierna inte kunnat jämföras utifrån samma faktorer så som typ av byggnad, konstruktion av tak, substrat i de gröna taken samt vilken mätfaktor som studerats. Varje studie beskrivs i stället utifrån dess enskilda kontext, diskussion och resultat.

Då studierna som behandlas i litteraturstudien är utförda i olika delar av världen, alltså i olika klimat, och under olika årstider har vi valt att kategorisera studierna utifrån vad de främst undersöker. Detta gör att vi har valt att kategorisera studierna om de studerar gröna taks påverkan på byggnaders energiprestanda genom reducerat kylbehov eller reducerad värmeförlust. Reducerat kylbehov är främst efterfrågat i varma klimat, där luftkonditionering krävs året runt, samt under sommarhalvåret i länder med skiftande årstider, som till exempel många europeiska länder. Reducerad värmeförlust är i sin tur främst efterfrågat i kalla klimat, där uppvärmning av byggnader krävs året runt, samt under vinterhalvåret i länder med skiftande årstider.

## Energiförbrukning hos byggnader med gröna tak ur ett internationellt perspektiv

Gröna tak kan ses som en passiv kylningsteknik som hindrar solstrålning från att nå den underliggande byggnadsstrukturen. Många studier har under de senaste tio åren genomförts för att undersöka den potential gröna tak har gällande energibesparingar via minskade behov av uppvärmning vintertid samt nedkylning sommartid (Castleton et al., 2010). Äldre byggnader med sämre, befintlig eller obefintlig isolering anses gynnas mest av ett grönt tak (Eumorfopoulou & Aravantinos, 1998; Niachou et al., 2001). Vidare bedöms nyetablerade byggnader, med dagens byggregler kring bland annat isolering, inte gynnas i samma mån av gröna tak (Sikander & Capener, 2014).

## Isoleringens påverkan på takets termiska prestanda

En studie som visar på att gröna tak tenderar att ge bättre termiska resultat på oisolerade tak jämfört med isolerade tak är *The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece* (Eumorfopoulou & Aravantinos, 1998). Studien utfördes i Grekland där totalt sex stycken gröna tak jämfördes. Extensiva, semi-intensiva och intensiva gröna tak på både isolerade- och oisolerade tak jämfördes med exponerade tak. I undersökningen mättes ytttemperaturen hos de gröna taken samt under växtbäddarna på själva takkonstruktionen. U-värdet hos de gröna taken studerades, mättes och jämfördes sedan med exponerade tak. Jämförelserna visade att



den största förbättringen hos takens U-värde gjordes när ett intensivt grönt tak anlades på ett oisolerat tak. Då förbättrades takets U-värde med hela 58%. Den minsta påverkan på takets U-värde hade ett extensivt grönt tak då det anlades på ett redan isolerat tak. U-värdet förbättrades då endast med 9%. Enligt mätningarna förbättrar gröna tak den termiska kapaciteten hos en byggnad och reducerar flödet av solstrålning in i byggnaden. Detta leder till minskade temperaturskillnader mellan årstiderna (Eumorfopoulou & Aravantinos, 1998).

Även Niachou et al. (2001) visar i sin studie, *Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance*, att gröna tak ger störst energibesparingar hos oisolerade byggnader. Termiska egenskaper, liksom dess resultat i energiprestanda, undersöktes hos gröna tak i Loutraki regionen, Grekland. Analysen genomfördes i två faser; experimentella mätningar från sommaren 2000 på ett hotell med grönt tak i Loutraki samt simuleringar kring det gröna takets termiska egenskaper och prestanda. Under simuleringarna användes väderdata från Aten, för att kunna beräkna den årliga energiförbrukningen. Resultaten från simuleringen validerades mot de insamlade fältmätningarna. Detta visade på att de gröna takens inverkan på välisolerade byggnaders energiförbrukning inte var mer än 2%. Däremot uppmättes den största årliga energibesparingen hos oisolerade byggnader med gröna tak. Dessa energibesparingar gjordes främst via minskat behov av uppvärmning vintertid och inte via nedkylning sommertid. Besparingarna beräknades till 37%, eller 48% då nattventilation på 10 ACH (luftomsättningar per timma) användes. Vidare beräknades den årliga energibesparingen hos gröna tak till måttligt isolerade byggnader vara från 4% (då nattventilation inte användes) till 7% (då nattventilation användes). Andra intressanta resultat studien kom fram till var att lägre yttemperaturer uppmättes hos mörk och täckande vegetation, medan röd och gles vegetation samt bar jord gav utslag på högre temperaturer.

Vidare utredde Santamouris et al. (2007) den eventuella energibesparing som gröna tak gjorde på en skola i Grekland. I studien använde de sig utav ett termiskt simuleringsprogram, TRNSYS. Via undersökningen fann de att en oisolerad byggnads kylbehov reducerades mellan 6-49% för hela byggnaden och mellan 12-87% på den översta våningen. För en isolerad byggnad uppmättes en energibesparing för hela byggnaden mellan 6-33 % och på översta våningen mellan 12-76%. Vintertid visade sig energibesparingar via det gröna takets isolerande förmåga vara obetydlig. Information kring termiska egenskaper hos materialtyperna nämndes dock inte i studien. Alltså visar även denna studie att oisolerade tak gynnas bäst utav gröna tak.

Liksom Eumorfopoulou & Aravantinos (1998) kom Sikander & Capener (2014) fram till i sin studie att välisolerade byggnader inte påverkas märkbart av gröna tak. Studien utforskar användandet av gröna tak och väggar i nordiska klimat, med inhämtad klimatdata från Oslo, och i mer tempererade klimat, med klimatdata från Miami. Extensiva gröna tak undersöktes på lätta- respektive tunga konstruktioner samt på ett

ventilerat tak. Resultatet visade att välisolerade byggnader som inte är försedda med kylsystem, exempelvis lågenergibygnader, påverkas negativt av gröna tak. Dock nämner studien att ytterligare undersökningar krävs för att bekräfta detta, exempelvis för byggnader med kylsystem samt för byggnader med andra typer av växtsubstrat, substratuppbyggnad etcetera. Vidare tyder resultat på att gröna tak inte heller visas ha någon positiv effekt på värmeflödet hos välisolerade byggnader i nordiska klimat. Tvärtom ses istället ett högre värmeflöde genom taken jämfört med referenstaken. Däremot visade resultat på att gröna tak kan minska energianvändningen för en byggnad i varmare klimat än Sverige, exempelvis Miami som var beräkningsexemplet. Positiva effekter på energiförbrukningen visades hos byggnader med kylsystem och mindre isolering. Dock förutsätter detta en viss mängd nederbörd, alternativt bevattning (Sikander & Capener, 2014). Alltså ses en större fördel, ur energisynpunkt, i länder med ett varmt, fuktigt och regnrikt klimat och där byggnaderna är mindre isolerade, alternativt oisolerade, och använder luftkonditionering.

Ytterligare en studie som behandlar byggnaders energiprestanda utifrån isolering och kylning är *Analysis of the green roofs cooling potential in buildings* av Del Barrio (1998). Studien presenterar en matematisk modell som beräknade den termiska prestandan hos extensiva gröna tak och som analyserade deras potential som kylsystem under sommartid, för byggnader i södra Europa. Klimatdata var inhämtad från Aten mellan 1 augusti 1982 och 10 augusti 1982. Resultat visar att väl designade gröna tak kan fungera som kvalitativa isoleringslager under sommartid, genom att reducera värmeväxlingen genom taket. Designmässigt poängterar Del Barrio (1998) att vegetationen bör ha stora bladverk som är horisontellt riktade, i syfte att minska solstrålningen. Detta eftersom en av växternas viktigaste roll är att ge skugga åt taket. Vidare bör lätt jord, substratjord, användas på grund av minskad värmeledningsförmåga och vikt på taket. Dock nämner Del Barrio (1998) att studien endast undersöker de gröna takens prestation sommartid och inte vintertid. Att anlägga gröna tak i medelhavsområdet för deras positiva effekt sommartid bör därför övervägas. Detta på grund av att vintrarna i dessa områden kan vara kalla.

### Reducerat kylbehov

I denna del följer en rad studier som har tittat på gröna tak utifrån reducerat kylbehov. Senare i uppsatsen, när vi skriver om "varmt klimat", är det dessa studier vi hänvisar till. Då reducerat kylbehov leder till minskad luftkonditioneringsanvändande eftersträvas detta främst under årets varma perioder.

Ett grönt tak anses kunna förbättra isoleringsegenskaperna av en byggnad och därmed reducera den årliga energiförbrukningen. Det gröna taket reducerar inte bara värmeförlusten vintertid eller värmeökningen sommartid utan hjälper även till att stabilisera inomhustemperaturen året om genom dess termiska massa (Castleton et al., 2010). Flertalet studier visar den potential gröna tak har för energibesparingar hos byggnader (Eumorfopoulou & Aravantinos, 1998; Onmura et al., 2001; Wong et al.,

2003a; Wong et al., 2003b; Hien et al., 2007; Santamouris et al., 2007; Tsang & Jim, 2011; Chen, 2013; Yang et al., 2015).

### Ostasien

År 1991 utfördes fältstudier på en trevåningsbyggnad i Osaka, Japan (Onmura et al., 2001). Det gröna taket, med 80mm substratjord och vegetation av gräskaraktär, påverkades inte av skuggor eller reflektioner från omkringliggande byggnader under mätningarna. Själva takuppyggnaden under det gröna taket bestod av 150mm betong, 80mm murbruk och ett tätskikt. Mätningar togs varje halvtimme mellan den 8-31 augusti, 1991. Resultat visade på att det gröna taket hade en yttemperatur på 30°C medan referenstaket hade en yttemperatur på 60°C. Detta gav en minskad yttemperatur på 50%. Vidare nämner Onmura et al. (2001) att resultatet påverkas av hur fuktig jorden/substratet är och av temperaturväxlingarna. Viktigt att observera är att dessa resultat är framtagna från ett varmt klimat.

I Hong Kong, Kina, gjorde Tsang & Jim (2011) en energiförbruknings-simulering över ett kvarter med 1400 höghus med intensiva gröna tak. Resultaten, som framställdes genom matematiska beräkningar med hjälp av simuleringen, visar att under en sommar förhindrades en stor mängd solstrålning från att tränga in i byggnaderna vilket ledde till stora energibesparingar. Simuleringen visade även att gröna tak är dubbelt så effektiva i tropiska, fuktiga klimat jämfört med tempererade klimat då gröna tak presterar bättre termiskt när substratet är fuktigt. Detta visar att både simuleringen från Hong Kong, Kina och fältstudien av Onmura et al. (2001) i Osaka, Japan kommer fram till hur viktigt ett fuktigt klimat är för de gröna takens effekt. De gröna taken har 75% bättre värmeabsorberingsförmåga jämfört med exponerade tak (Tsang & Jim, 2011).

Studien *Comparative study of the thermal performance of the novel green (planting) roofs against other existing roofs* (Yang et al., 2015) utreder den termiska prestandan hos fem olika tak i Guangzhou, Kina. Klimatet är av subtropiskt karaktär där medeltemperaturen sommartid ligger på 28,4°C. Luftkonditionering behövs, under 6 månader per år, i de flesta byggnader i Gouangzhou. Därför skulle applicering av gröna tak på dessa byggnader kunna reducera energianvändningen och höja komforten i inomhusklimatet. I studien jämfördes 5 olika tak, vilka var belägna på samma byggnad. Under de olika taken låg 5 likadana rum som också ingick i studien, för att mäta skillnad i inomhusklimat. Taken bestod av två gröna tak; ett med 100mm substrat och ett med 200mm substrat, samt tre referenstak; ett keramiktak, ett lertak och ett exponerat tak. Resultat tyder på att de gröna taken presterade bäst. Jämfört med referenstaken hade de gröna taken mellan 0,5-0,95°C lägre inomhustemperatur och 2,8-3,8°C lägre temperatur vid innertaket. Störst skillnad i temperatur visades mellan de gröna taken och det vanliga taket. Luftkonditioneringsanvändandet var också lägre, mellan 7,3-15,2% lägre i rummen under de gröna taken jämfört med övriga rum. Alltså visade studien att de gröna taken hade bättre termisk prestanda än övriga takslag, de skapade ett behagligare inomhusklimat i rummen under med bättre termisk komfort och de reducerade luftkonditioneringsbehovet. Intressant i denna studie är att de olika substratdjupen inte

gör någon nämnbar påverkan. Förutom olika substratdjup mellan de gröna taken (100 mm och 200mm) hade de exakt samma struktur, material och vegetation. Detta gav utslag på en skillnad mellan 0-0,2°C i lufttemperatur inomhus. Trots att tunnare substratdjup har en sämre värmelagrings kapacitet gav detta inga direkta utslag på inomhustemperaturen. Yang et al. (2015) menar då på att så länge substratdjupet ligger mellan 100-200mm påvisas inga märkbara skillnader.

### *Sydöstra Asien*

En simuleringsstudie som Wong et al. (2003b) genomförde i Singapore studerade potentiell energibesparing hos en kommersiell femvåningsbyggnad med en takträdgård. I simuleringen testades två olika substrat med olika substratdjup och tre olika vegetationstyper, vilka var grästorv, buskar och träd. Av undersökningarna gjordes den största årliga energibesparingen på en takträdgård med substratdjup, 300mm, och med vegetation av busktyp. Energibesparing beräknades till 15% (Wong et al., 2003b). I en annan studie som Wong et al. (2003a) genomförde undersöktes de termiska effekterna av en takträdgård på en lägre byggnad i Singapore. Takträdgården var av intensiv karaktär och bestod av olika sorters gräs, buskar och träd. På taket fanns även en hårdgjord gång som var tillgänglig för besökare. Mätningarna gjordes under en period på 17 dagar där temperaturen mättes under olika vegetationstyper så väl som på den exponerade gången. Precis som Wong et al. (2003b) undersökning visar resultaten att det gröna taket både reducerar värmeflödet genom taket men även den omgivande temperaturen jämfört med den exponerade takytan. Yttertemperaturen som uppmättes under vegetationen var betydligt lägre än den som uppmättes på den exponerade takytan. Den största temperaturskillnaden som uppmättes var 30°C mellan de båda ytorna. Den lägsta temperaturen uppmättes under den tätaste vegetationen medan något högre temperaturer uppmättes under glesare vegetation. Den omgivande temperaturen uppmättes även vara 4,2°C lägre över de planterade ytorna.

Ytterligare en studie som är utförd i Singapore är av Hien et al. (2007). Studien utreder, likt föregående undersökningar, den potential gröna tak har i att minska luftkonditioneringsbehovet och på så sätt reducera byggnaders energiförbrukning. Som första steg togs mätningar mellan 19 maj till 9 juni (22 dagar), 2003, på ett exponerat tak. Därefter anlades, till skillnad från Wong et al. (2003b) och Wong et al. (2003a) studier på intensiva gröna tak, ett extensivt grönt tak. Detta inledde nästa steg i studien där mätningar togs mellan den 14 februari och 3 mars (18 dagar), 2004. Resultaten visade på att yttertemperaturskillnaden mellan det extensivt gröna taket och det exponerade taket var 18°C. Dock blev effekten av vegetationen inte lika hög som väntat, vilket enligt Hien et al. (2007) kan bero på några faktorer. Exempelvis ger tunna substratlager lägre termisk kapacitet, vilket i sin tur leder till högre yttertemperaturer orsakat av återutsänd värme. Å andra sidan kyls det tunna substratet snabbt ner under natten vilket innebär att mindre värme lagras och återsänds till omgivningen. Vidare var substratjorden av en mörk färg, vilket absorberar mer värme under dagen. Andra noteringar som gjordes var att ett torrt substrat genererar högre temperaturer än vad

ett fuktigt substrat gör. För att uppnå ett bra termiskt resultat poängterar därför Hien et al. (2007) vikten av att rikligt täcka gröna tak med vegetation. Slutligen visade studien att gröna tak reducerar solstrålningen upp emot 60% gentemot ett exponerat tak. Då klimatet i Singapore är varmt och fuktigt utreddes energibesparingarna utifrån de gröna takens reducerade yttemperaturer. Studierna behandlar inte takets värmeisoleringsförmåga, vilket inte var aktuellt på grund av platsens rådande klimat.

### *Nordamerika*

En annan studie som också tyder på att gröna tak presterar termiskt bra under sommaren men som även undersöker det gröna takets termiska prestanda vintertid är *Engineering performance on rooftop gardens through field evaluation* (Liu, 2004). Undersökningen gjordes på ett 72m<sup>2</sup> extensivt grönt tak som anlades på ett campus i Ottawa, Kanada. En del av taket var anlagt med ett 150mm extensivt grönt tak medan den andra delen av taket lämnades exponerat. Genom mätningarna gjordes observationer att gröna tak reducerar takets yttemperatur och temperaturväxlingar på det underliggande takmembranet. De största temperaturskillnaderna uppmättes sommartid då exponerade taket nådde en yttemperatur på 70°C jämfört med det gröna taket som endast hade en motsvarande yttemperatur på cirka 30°C. Under våren och sommaren låg medeltemperaturväxlingen mellan 42-47°C hos det exponerade taket och 5-7°C hos det gröna taket. Under sommaren reducerades 75% av värmeöverföringen till byggnaden genom det gröna taket vilket i sin tur ledde till minskat luftkonditioneringsanvändande. Vidare menar Liu (2004) att det gröna taket effektivare reducerade kylbehovet sommartid än vad det reducerade värmeförlusten vintertid. Detta antas bero på att gröna tak minskar värmeökningen på yttertaket genom skuggning, isolering, evaporation och termisk massa. Däremot kan gröna tak endast förhindra värmeförlust genom isolering och minskad strålningsförlust från byggnaden. Under de 22 månader som undersökningen pågick visade mätningar att det gröna taket reducerar värmeökningen med 95% under våren och sommaren, 26% av värmeförlusten vintertid och visar en total reduktion av värmeväxlingen genom taket på 47%. Då studien visar att gröna tak effektivare reducerar värmeökningen än värmeförlusten tyder detta på att gröna tak är mer energieffektiva i varmare klimat.

Liu & Minor (2005) gjorde en studie på gröna tak i Toronto, Kanada, för att framhäva fördelarna hos dessa. Undersökningen gjordes på två extensiva tak, ett med substratdjup på 75mm och ett på 100mm, som installerades på ett center i Toronto. Vidare jämfördes dessa tak med ett referenstak utan vegetation. Intressant är att trots det faktum att vegetationen inte hunnit etablera sig ordentligt under det första året sänktes värmeväxlingen genom taket, främst under sommaren. Innan de gröna taken installerats mättes dygnens maxtemperaturer vid yttertaken. Taket med ljusgrått membran nådde yttemperaturer på över 70°C och taket med mörkt membran nådde yttemperaturer upp emot 80°C. Efter installationen sjönk dessa yttemperaturer till 30-40°C. Utöver temperatursänkningen reducerades skillnaderna mellan dagens lägsta- och högsta temperatur, alltså värmeväxlingen, från 50°C till endast 10°C. Dessa

observationer gjordes sent i juli, sommaren 2002. Höga värmeväxlingar ökar takets åldringseffekt och skapar en termisk stress i takmembranet. Då de gröna taken reducerar temperaturen och värmeväxlingen på takmembranet leder detta till en förlängning av takmembranets livslängd (Liu & Minor, 2005).

Sammanfattningsvis kom studien fram till att gröna tak effektivt kan reducera värmeflödet genom taksystemet och således sänka energibehovet för luftkonditionering i byggnaden. Trots att vegetationen var minimal under det första året visade de båda gröna taken (75-100mm) på en reduktion av värmeflödet med 70-90% under sommaren och 10-30% under vintern. Taket med 100mm substratjord var mer termiskt effektivt (ca 3%) under sommaren på grund av dess djupare och ljusare växtsubstrat. Däremot visade sig taket med 75mm substratjord vara termiskt effektivare (ca 10%) under vintern på grund av dess extra isoleringskomponent (Liu & Minor, 2005).

Hänsyn bör tas till att dessa undersökningar är utförda i varma klimat. Många av studierna förespråkar att gröna tak kan ses mer som en passiv kylningsmetod än som en värmeisolerator under vintern. Dock kom studien, av Niachou et al. (2001) från Grekland, fram till att en stor energibesparing gjordes genom minskat behov av uppvärmning vintertid också. Vidare tyder Sikander & Capeners (2014) studie på att byggnader i norden inte får någon nämnvärd energibesparing av gröna tak. De kopplar främst detta till de välisolerade byggnaderna. Niachou et al. (2001) uppmätte energibesparingar vintertid hos byggnader som var oisolerade. Viktigt att observera är att klimaten i norden och i Grekland skiljer sig åt, där vintermånaderna har olika medeltemperaturer.

### **Reducerad värmeförlust**

I denna del behandlas studier som undersöker den reducerade värmeförlusten hos byggnader med hjälp av gröna tak. När vi senare i uppsatsen pratar om "kallt klimat" är det dessa studier vi hänvisar till. Anledningen till att vi benämner dessa som kallt klimat beror på att studierna är utförda under vintermånaderna på platser med skiftande årstider.

Gröna tak kyler genom latent värmeförluster och reflektion av solstrålning. Ovan visar studier på dess stora inverkan i varma klimat (Onmura et al., 2001; Tsang & Jim, 2011; Yang et al., 2015; Wong et al., 2003b; Wong et al., 2003a; Hien et al., 2007). Det intressanta är skillnaderna i de gröna takens reduktion av värmeökning sommartid och reduktion av värmeförlust vintertid. Men endast ett fåtal studier, i tidigare litteratur, undersöker de gröna takens energipåverkan i kalla klimat (Tang & Qu, 2016).

### **Nordamerika**

Getter et al. (2011) utredde de termiska effekterna på ett extensivt grönt tak jämfört med ett referenstak av grus i mellanvästra USA där klimatet karaktäriseras av varma, fuktiga somrar och kalla, snörika vintrar. Ett 325m<sup>2</sup> extensivt grönt tak installerades 21 maj, 2004, på taket till Michigan State University campus. I och med det lättviktiga substratet behövdes ingen strukturell restaurering av det befintliga taket. Mätdata

insamlades och analyserades under 1 år, mellan 1 september 2005 och 31 augusti 2006. Under denna period uppmättes områdets lägsta temperatur till  $-8^{\circ}\text{C}$  i februari och högsta temperatur till  $+28^{\circ}\text{C}$  i juli. Vidare var det gröna taket täckt av snö under 78 dygn, vilket är 21% av året. Under hösten (1 september 2005-30 november 2005), uppmättes temperaturerna 1 m ovanför grustaket och det gröna taket likvärdigt, dock var temperaturen ovanför det gröna taket något lägre. Däremot visades maxyttemperaturerna under denna period alltid vara  $5^{\circ}\text{C}$  lägre hos det gröna taket än hos referenstaket. Under vintern (1 december 2005-28 februari 2006) visade sig yttemperaturerna vara i princip identiska, då både det gröna taket och referenstaket var täckta av snö. Överlag visades en lägre andel värme lämna byggnaden genom det gröna taket, jämfört med referenstaket. Våren (1 mars 2006-31 maj 2006) visade likvärdiga mätningar som hösten. Vidare visar studien att den högsta yttemperaturskillnaden mellan taken uppmättes under sommaren (1 juni 2006-31 augusti 2006) till en skillnad på  $20^{\circ}\text{C}$ . Sammanfattningsvis visades ett mönster på att årets temperaturväxlingar var mer extrema för det exponerade taket än för det gröna taket. I genomsnitt minskade det gröna takets värmewäxlingar genom taket med 13% vintertid och 167% sommartid. Resultatet från studien tyder på den potential gröna tak har för byggnaders energibesparing, vilket även leder till miljövinster i reducerade utsläpp av koldioxid. Däremot poängterar Getter et al. (2011) hur stora energibesparingarna är beror på flertalet faktorer, bland annat klimat, takkonstruktion, isolering, växtval samt växtsubstrat med djup, sammansättning och fuktighetsgrad.

Studien *Phase change and thermal performance analysis for green roofs in cold climates* (Tang & Qu, 2016) undersöker också energiprestandan hos extensiva gröna tak i kallt klimat. Det gröna taket som undersöktes installerades i maj 2009 på taket till Schleman Hall på Purdue University campus i West Lafayette, Indiana. Det var av extensiv karaktär med växtsubstrat på 108mm, med en vikt på  $800\text{ kg/m}^3$  vid maximal absorption och en area på  $165\text{m}^2$ . Förutom det gröna taket fanns även vistelseytor på taket. Mätdata insamlades mellan 1 december 2012-28 februari 2013. Jämfört med referenstaket reducerades värmeförlusten genom det gröna taket med 17,3%. Yttemperaturen varierade mellan  $+0^{\circ}\text{C}$  och  $+19^{\circ}\text{C}$  hos det gröna taket och mellan  $-12^{\circ}\text{C}$  och  $+20^{\circ}\text{C}$  hos referenstaket. Vidare visar studien tre situationer av värmewäxling genom taken. Då väderlek och temperatur ändrades mycket reducerades värmeförlusten med 19% hos det gröna taket jämfört med referenstaket. Vid varmt klimat reducerades värmeförlusten med 17% genom det gröna taket och vid kall väderlek, då vattnet i jorden var fruset, reducerade det gröna taket värmeförlusten med 15%. Detta i jämförelse med referenstaket. Under vintertid ändrar vattnet form. Under denna process kan jorden lagra energi, vilket ökar det gröna takets effektivitet gällande värmeförlust. Studiens resultat tyder på att gröna tak märkbart kan reducera temperaturväxlingen i taket. Vidare kan det gröna taket reducera värmeförlusten med 18% under en hel vintersäsong, jämfört med ett traditionellt tak.



## Vita tak respektive gröna tak

Vita tak definieras av att de har en ljusare färg jämfört med de mörka traditionella taktyperna. Den ljusa färgen gör att stora delar av den solstrålning som träffar taket reflekteras bort (Ascione et al., 2013). Gaffin et al. (2006) antyder i sin studie att extensiva gröna tak fungerar lika kylande som det vitaste taket. Fältstudien, som genomfördes i Pennsylvania, USA, visar på att gröna tak reducerar takets yttemperatur lika effektivt som det vitaste taket. Men till skillnad från det vita taket reducerar även det gröna taket värmeöverföringen till byggnaden. Detta tillsammans med övriga positiva egenskaper som gröna tak besitter gör dem önskvärda att anlägga, trots extra anläggningskostnader och eventuell underhållning. Däremot menar Gaffin et al. (2006) på att inget tak är underhållningsfritt. Vita tak är billigare att anlägga men behöver liksom gröna tak en regelbunden underhållning. Detta i form av tvättning för att behålla dess reflekterande förmåga (Gaffin et al., 2006).

Ascione et al. (2013) jämförde energibesparingen mellan extensiva gröna tak och vita tak genom datorsimuleringar med data hämtad ifrån Teneriffa, Sevilla, Rom, Amsterdam, London och Oslo. Utifrån hämtad temperaturdata gjordes simuleringar i datorprogram för hur gröna tak skulle prestera energimässigt i olika klimat. I Teneriffa visades en årlig energibesparing med gröna tak på mellan 1,1-10,8%, på grund av minskat kylbehov. Med ett vitt tak beräknades en årlig energibesparing på 12% att göras. Med tanke på det rådande klimatet i Teneriffa krävs inte någon direkt uppvärmning av byggnaderna vintertid. Detta gör det vita taket till det mest effektiva alternativet. I Sevilla beräknades en årlig energibesparing på mellan 0,9-10,7% att göras med gröna tak och 11,0% med vita tak. Även i Sevilla är uppvärmningsbehovet vintertid lågt vilket gör att det vita taket tenderar att vara det mest effektiva alternativet. Vidare visar även studien att energibesparingen är större med vita tak (8,4%) i Rom, jämfört med gröna tak (7,8%). I Amsterdam tycks däremot gröna tak, med en energibesparing på 6,8%, vara det mest energieffektiva alternativet. Detta menar Ascione et al. (2013) bero på att uppvärmningsbehoven i Amsterdam, jämfört med Teneriffa och Sevilla, är större under vintern. De vita taken reflekterar bort det lilla solljus som når byggnaden och dessutom saknar de den värmeisolerande förmåga som gröna tak besitter. Alltså kan de gröna taken, till skillnad från de vita, agera isolerande vintertid. Detta kopplas samman med studiens resultat i kallare klimat, London och Oslo, där de gröna taken visas vara ett effektivare energibesparingsalternativ. En genomsnittlig årsenergibesparing uppmättes till 5,9% i Oslo och 7,2% i London (Ascione et al., 2013).

Studien visar alltså att vita tak är positiva i varmare klimat där den främsta energiåtgången för byggnader beror på kylbehovet. Däremot rekommenderas gröna tak av sedum- och gräskaraktär i kallare klimat (Amsterdam, London och Oslo i detta fall) där det finns ett uppvärmningsbehov av byggnaderna vintertid. Här visar de vita taken i stället på en ökad energiåtgång, på grund av ökat behov av uppvärmning. Ascione et al., (2013) påpekar att till skillnad från vita tak tillkommer vissa underhållningskostnader samt bevattningskostnader för gröna tak i torrare klimat. Som nämnts tidigare menar då



Gaffin et al. (2006) på att även de vita taken har underhållningskostnader, ifall de ska behålla sin reflekterande förmåga.

I Madrid, Spanien, jämförde Saiz et al. (2006) ett extensivt grönt tak med ett grått exponerat tak samt ett vitt tak. Det extensiva taket på 90 mm hade vegetation som bland annat bestod av sedum, kaktus och ökenbuskar, vilka är vanligt förekommande arter i Madrid. Totalt täckte det gröna taket 16% av takytan på en åttavåningsbyggnad. Studien visar en årlig energibesparing på 1,2%, för hela byggnaden. Energibesparingarna var dock betydligt större sommartid då dessa uppmättes till 6%. Vidare uppmättes de till 25%, 9%, 2% och 1% på de fyra översta våningarna i byggnaden. Liksom Ascione et al. (2013) menar även Saiz et al. (2006) på att energibesparingarna inte endast beror på takets kylande effekt sommartid, utan även på dess isolerande effekt vintertid. Vidare beskrivs det att vita tak tenderar att göra liknande energibesparingar sommartid som ett grönt tak men orsakar däremot en högre energiåtgång vintertid jämfört med ett exponerat tak. Totalt sett beräknades det vita taket endast prestera 65% av vad det gröna taket presterade (Saiz et al., 2006). Dock bör hänsyn tas till att det gröna taket i studien enbart täckte 16% av hela byggnaden. Detta på grund av de åtta våningarna, där takytan endast utgjorde en liten del av byggnadens totala exponerade yta.

Alltså kommer både Gaffin et al. (2006), Ascione et al. (2013) och Saiz et al. (2006) fram till i sina studier att vita tak har en kylande förmåga, likt gröna tak. Däremot reducerar de inte värmeöverföringen genom taket och dessutom kräver de en regelbunden underhållning (Gaffin et al., 2006).

### **Reservation angående ovanstående resultat**

Flertalet studier som undersöker den potentiella energibesparing gröna tak nämner inte takstrukturens värmeledningsförmåga eller vilka material och tjocklekar konstruktionen består av (Liu & Minor 2005; Niachou et al., 2001; Santamouris et al., 2007). Castleton et al. (2010) betonar att de energibesparingar som är framtagna ofta är specifika för just den undersökningen och kan därmed inte översättas till andra byggnader. Detta gör det svårt att bedöma den termiska fördelen med att komplettera gröna tak till byggnader med varierande takisolering. Vidare påstår Castleton et al. (2010) att jämförelse av termiska fördelar i relation till U-värde hos takstrukturen ger fler bevis som är lämpliga för ett bredare spektrum av byggnader.

### **Takkonstruktionens betydelse**

Idag finns regler och lagar som nya byggnader ska uppfylla gällande energiförbrukning. Boverkets byggregler (Boverket, 2015, [online]) föreskriver att byggnader ska vara utformade på ett sådant sätt att energianvändningen begränsas genom lågt kylbehov, låga värmeförluster, effektiv värme- och kylanvändning samt effektiv elanvändning. Ett lågt U-värde på taken är därför önskvärt för att uppnå boverkets byggregler. Över hälften av dagens byggnader i Storbritannien byggdes innan kraven på takisolering kom (Castleton et al., 2010). Vidare anser Castleton et al. (2010) att eftermontering av gröna tak kan vara möjligt på äldre byggnader och kan därmed leda till ökat användande

världen över. I Storbritannien och i andra utvecklade länder står byggnader för ungefär hälften av primärenergi-förbrukningen, därmed CO<sub>2</sub>-utsläppen (Eur-lex, 2015, [online]). En stor del av denna energi används för reglering av inomhustemperaturer genom värme- och kylsystem. I Storbritannien fanns inga krav på isolering fram till år 1965, då de första kraven på U-värde sattes. Idag ligger deras krav på U-värde för taken på 0,25W/m<sup>2</sup>K, vilket är likt många andra EU länder. I USA finns det lokala variationer, men de flesta stater följer en viss standard där U-värdena för tak ligger runt 0,278-0,099W/m<sup>2</sup>K (Szokolay, 2004). Då Storbritannien inte fick krav på isolering förrän år 1965 innebär detta att många byggnader där har låga isoleringsnivåer, om några alls. Att eftermontera gröna tak på dessa äldre, oisolerade byggnader skulle därför kunna resultera i energibesparingar (Eumorfopolou & Aravantinos, 1998; Niachou et al., 2001; Santamouris et al., 2007; Sikander & Capener, 2014). För säkerhetsställande av dessa resultat krävs vetenskap kring byggnadernas takkonstruktioner, hur tjocka de är samt vad de består av (Castleton et al., 2010).

### *Yttre faktorerers påverkan*

Andra aspekter som kan försvåra jämförbarheten mellan olika studier är hur de är utförda rent tekniskt. Men även andra faktorer så som skuggning, taklutning, väderstreck, storlek på underliggande rum och liknande kan påverka resultaten. Ett exempel är en studie av Parizotto & Lamberts (2011). Studien är utförd i södra Brasilien på ett enfamiljshus där ett extensivt grönt tak, ett keramiskt tak samt ett exponerat metalltak jämfördes. I studien studerades yttemperaturen (invändigt och utvändigt), inomhustemperaturen och värmeflödet genom taken. Mätningarna gjordes både under en varm period och en kall period. Under den varma perioden, 1-7 mars 2008, låg medeltemperaturen på +25,7°C med måttliga vindar på 5,0 km/h och en luftfuktighet på 73,1%. Under den kalla perioden, 25-31 maj 2008, låg medeltemperaturen på 17,7°C med låg solstrålning på grund av hög molnighet, måttliga vindar på 6,7km/h och en luftfuktighet på 74,2%. Resultaten visar att under den varma perioden reducerades värmeflödet med 92% hos det gröna taket, jämfört med det keramiska taket, och med 97% jämfört med metalltaket. På samma vis reducerades värmeflödet under den kalla perioden med 70% hos det gröna taket, jämfört med det keramiska taket, och 84% jämfört med metalltaket. Det gröna taket visade på tydliga termiska fördelar både under den varma perioden, då inomhustemperaturen tenderade att vara lägre, men även under den kallare perioden, då inomhustemperaturen var högre jämfört med referenstaken. I studien kom därför Parizotto & Lamberts (2011) fram till att energibesparingar kan uppnås via gröna tak.

Nämnvärt för studien är dock att de tre olika taktyperna var monterade på samma bostadshus, där de hade olika lutning, var vända mot olika väderstreck samt hade olika underliggande rumsstorlekar. På grund av detta var metalltaket utsatt för solstrålning hela dagen medan det gröna- och det keramiska taket inte var utsatta för solljus under eftermiddagarna (Parizotto & Lamberts, 2011). Med tanke på rummens variation i storlek och takhöjd är det möjligt att detta påverkat resultaten för de uppmätta

inomhustemperaturerna. I och med detta bör studiens resultat, gällande möjliga mätfel, tas i beaktande vid jämförelse med andra studier.

## Slutsats

Detta är en inledande litteraturstudie inom ämnet som bygger på de befintliga och splittrade kunskaper som finns idag gällande energiförbrukning hos byggnader med gröna tak. Vi som författare är därför väl medvetna om att större och mer likvärdiga jämförelser av studier krävs för att säkerställa resultaten.

## Klimat

Utifrån litteraturstudien har vissa samband funnits. En stor del av de samband som funnits hänger samman med klimatet. Nedan har därför kategorierna varmt & fuktigt, varm & torrt och kallt & fuktigt gjorts. Som ovan nämnt syftar "varmt klimat" på de studier som undersöker reducerat kylbehov, vilka i sin tur står för platser där luftkonditionering årligen används samt sommarhalvåret på platser med skiftande årstider. "Kallt klimat" syftar på de studier som undersöker reducerad värmeförlust, vilka i sin tur kräver uppvärmning av byggnader året runt samt vinterhalvåret i länder med skiftande årstider. Definitionerna "fuktigt" och "torrt" hänger samman med mängden nederbörd. Detta betyder att resultaten inte hänger samman med geografiska platser utan i stället det rådande klimatet på platsen. Då årstiderna varierar under året förändras även den rådande väderleken. När studierna nedan diskuteras utifrån klimat kan alltså detta direkt avläsas som den väderlek som rådde under undersökningsperioden i studierna.

## Varmt & fuktigt

Resultat visar på ett övergripande mönster där de största positiva effekterna på energiförbrukning hos byggnader med gröna tak visade sig vara i varma och fuktiga klimat. Studierna behandlar dels värmeöverföringen procentuellt och/ eller yttemperaturskillnaden mellan det gröna taket och referenstaket. Av de jämförda studierna visade Liu & Minor (2005), Kanada, på högsta reducerade värmeflödet, 70-90%, sommartid och även på det största uppmätta värdet av reducerade värmeförluster vintertid, 10-30%. Detta innebär att effekten inte är lika stor vintertid som sommartid. En eventuell orsak till detta är det faktum att gröna tak har fler kylande effekter än isolerande (Liu, 2004). Flertalet studier poängterar vikten av ett fuktigt klimat, då det gröna takets förmåga att kyla byggnaden förstärks (Del Barrio, 1998; Onmura et al., 2001; Tsang & Jim, 2011 & Getter et al., 2011). Det är evaporationen i substratjorden som fungerar kylande då substratet är fuktigt (Atwell et al., 1999).

Yttemperaturskillnader uppmättes som mest i studien av Liu (2004), Kanada, mellan ett grönt tak och referenstaket. Studien av Onmura et al. (2001), Japan, visar på en reducerad yttemperatur på 50%. Båda studierna är utförda i varmt och fuktigt klimat. Vidare uppmättes de minsta yttemperaturskillnaderna i undersökningen av Yang et al. (2015), Kina. Denna undersökning är utförd i ett klimat med torra heta somrar. Klimatet verkar alltså även här vara den avgörande faktorn för hur stor energibesparing som görs. I det fuktiga klimatet, där evaporationen fungerar som bäst, visas därför de största energibesparingarna.

## Varmt & torrt

I varma och torra klimat görs fortfarande energibesparingar genom minskat kylbehov med gröna tak men de är dock inte lika effektiva som i varma och fuktiga klimat. Nämnvärt är dock att Eumorfopoulou & Aravantinos (1998), Grekland, och Tsang & Jim (2011), Kina, visar på en stor påverkan på energiförbrukningen hos byggnader med gröna tak trots att studierna är utförda i varma och torra klimat. Detta kan möjligtvis bero på att de, till skillnad från övriga studier, undersöker intensiva gröna tak. Intensiva gröna tak kan tänkas hålla fuktigheten bättre, på grund av djupare substratjord, än vad extensiva gröna tak har. Dessutom har intensiva gröna tak möjlighet till en större variation av flerskiktade växter, vilket ger en mer intensiv beskuggning på taket (Dunnett & Kingsbury, sid. 2).

## Kallt & fuktigt

Minsta uppmätta energibesparing gjordes i studien av Saiz et al. (2006), Spanien. En årlig energibesparing beräknades med gröna tak till 1,2% och sommartid till 6%. Dock utfördes undersökningen på en åttavåningsbyggnad där det gröna taket endast täckte 16% av hela byggnaden. Nämnvärt är att energibesparingen var betydligt större hos de fyra översta våningarna, vilket visar på att lägre byggnader möjligtvis gynnas mer av gröna tak. Förutom Saiz et al. (2006) visade undersökningen av Ascione et al. (2013) på låga uppmätta värden. Energibesparingar uppmättes till mellan 5,9-7,2% i Amsterdam, London och Oslo. Gemensamt för dessa länder att de är belägna i kalla klimat. Minskade värmeförluster kan alltså göras med gröna tak även i kalla klimat. Dock är dessa effekter betydligt mindre än i varma klimat, vilket som nämnt ovan förmodligen hänger ihop med skillnaden mellan de gröna takens prestation gällande kylning och isolering. Hänsyn bör tas till att detta arbete endast behandlar 6, av 19, studier som undersöker gröna tak i kalla klimat. På grund av fåtalet studier som behandlar gröna tak i kalla klimat krävs ytterligare studier för att undersöka dessa effekter närmre.

## Isolering

Förutom klimatets inverkan på energiförbrukningen hos byggnader med gröna tak finns också ett samband med byggnadens isoleringsgrad. Resultat visar att en isolerad byggnad gynnas mer av gröna tak än vad en isolerad byggnad gör (Del Barrio, 1998; Eumorfopoulou & Aravantinos, 1998; Niachou et al., 2001; Santamouris et al., 2007; Getter et al., 2011; Sikander & Capener, 2014). Florides et al. (2002) menar på att taket är den viktigaste konstruktionen på en byggnad, främst i varma klimat. Då isoleringens roll är att skydda mot kyla, drag, fukt etcetera och ett grönt tak kan fungera som ett isolerande lager gör de därför störst effekt på byggnader som saknar isolering. Växtsubstratet absorberar solstrålning och agerar därmed som ett isolerande lager (Eumorfopoulou et al., 1998).

Gällande en isolerad byggnad visas en mindre förbättring med gröna tak. Till exempel visade Eumorfopoulou & Aravantinos (1998), Niachou et al. (2001) och Santamouris et al. (2007) studier, som alla utfördes i Grekland, på energibesparingar mellan 2-33% hos

isolerade byggnader och 6-58% hos oisolerade byggnader med gröna tak. Det stora spannet inom de isolerade och oisolerade taken beror på att mätdata inkluderar byggnadernas alla våningsplan. Liksom Saiz et al. (2006) kom fram till i sin studie visas även här en större effekt på de översta våningarna. Energibesparingen hos isolerade byggnader i varma klimat kan därför tänkas vara så pass liten att den inte motsvarar anläggnings- och skötselkostnaderna av ett grönt tak. I kalla klimat menar Sikander & Capener (2014) till och med på att gröna tak kan öka värmeflödet hos välisolerade byggnader.

### **Extensiva-, semi-intensiva & intensiva gröna tak**

Endast Eumorfopoulou & Aravantinos (1998) studie, av 19 studier, behandlar en jämförelse mellan prestationen hos extensiva-, semi-intensiva- och intensiva gröna tak. I deras studie tyder resultat på att det intensiva gröna taket presterar bäst. Yang et al. (2015) jämför extensiva- och semi-intensiva gröna tak med substratdjup på 100mm och 200mm, där resultat tyder på att det inte är någon skillnad mellan dessa. På grund av att så få studier behandlar jämförelsen mellan de tre typerna av grönt tak är det svårt att utvärdera vilket av taken som presterar bäst. Dock undersöker 14 av 19 studier extensiva gröna tak, varav två av studierna (Niachou et al., 2001 & Santamouris et al., 2007) inte beskriver vilken typ av grönt tak som undersöks. Dessutom menar Dunnett & Kingsbury (2004, sid. 14-15) på att den främsta forskningen sedan 1970-talet skett på extensiva gröna tak. Vidare är konstruktionen för dessa tak förhållandevis lätt och kan därför appliceras på fler typer av tak (Emilsson, 2005). Detta faktum tillsammans med övriga positiva egenskaper som extensiva gröna tak har, gällande exempelvis skötsel och anläggningskostnader, gör att slutsatser kan dras kring att extensiva gröna tak är att rekommendera i flertalet situationer.

### **Diskussion och avslutning**

Det visade sig vara svårt att jämföra den termiska fördelen hos olika studier då de energibesparingar som är framtagna ofta är specifika för just den undersökningen. Därför kan resultaten inte direkt översättas till andra byggnader (Castleton et al., 2010; Sikander & Capener, 2014). Studierna är heller inte konsekventa ifall de jämförde alla olika typer av gröna tak, vilken typ av referenstak som användes, under hur lång tid mätningarna gjordes samt om det var yttemperaturen, värmeflödet eller inomhustemperaturen som studerades. Vissa studier tog endast fram de gröna takens påverkan sommartid, medan andra undersökte deras årliga påverkan.

Utifrån metod och avgränsningar kan detta arbete ses som en grund till övergripande mönster gällande energiförbrukning hos byggnader med gröna tak. Eftersom resultatet är sammanställt från flera olika studier som visar på samma sak ökar detta trovärdigheten och gör det applicerbart. Däremot krävs vidare studier för att fastställa och undersöka dessa mönster närmre.

Utifrån denna litteraturstudie kan slutsatser dras kring att det finns energibesparingar att göra med gröna tak. Störst effekt görs på oisolerade byggnader i varma och fuktiga klimat där kylbehovet hos byggnader är stort. Alltså har gröna tak en större inverkan på kylbehovet än på värmeförlusten hos en byggnad. I och med detta blir gröna tak ur energibesparings-synpunkt mer eller mindre effektivt beroende på platsens rådande klimat. Vidare görs fortfarande energibesparingar i kalla klimat. Dock är dessa så pass små att de förmodligen inte är ett tillräckligt starkt argument. Istället bör andra positiva egenskaper som gröna tak har framhåvas för vidare användning i kalla klimat. Slutligen bör årstidernas längd tas med i beräkningen för den totala årsenergibesparingen hos byggnader med gröna tak.

Gröna tak har historiskt sett funnits med oss under en lång tid. Det är dock inte förrän på senare tid som nyttan av gröna tak återigen blivit aktuell. Användarsyftet av gröna tak har alltså gjort en loop, där de från början användes på grund av dess praktiska värden för att sedan användas av estetiska syften. Idag värderas de återigen för sina positiva effekter på miljö, byggnadskonstruktion och för människan.

Utvecklingen och forskningen av gröna tak har accelererat under 2000-talet, med sin start i Tyskland under andra halvan av 1900-talet. Intressant är att många av tidigare studierna, som behandlats i detta arbete, efterfrågar vidare forskning inom vissa områden. Flera av dessa områden är idag mer undersökta. Viktigt att ta hänsyn till är att forskningen kring energibesparingen hos byggnader med gröna tak fortfarande är under utveckling och kräver därför fortsatta vidare studier.

Gällande arbetets syfte och frågeställning har övergripande mönster funnits. Däremot behöver orsakerna till sambanden studeras närmare för att kunna bekräftas. Dessutom krävs en större jämförelse av de studier som finns idag, då detta arbete endast behandlar ett axplock.

## Metodkritik och vidare studier

Detta arbete grundar sig på en litteraturstudie där inga egna undersökningar genomförts (literature review). Arbetet bygger alltså på befintlig forskning samt deras resultat och slutsatser, vilket både kan vara positivt och negativt. Positivt i den aspekt att flera olika vetenskapliga källor använts och jämförts, men negativt då teorin inte själv applicerats eller blivit beprövad. Då de studier som undersöktes var oberoende av varandra och är utförda på olika sätt samt undersökt olika parametrar var de svåra att jämföra. Detta gjorde att de mönster och samband som hittades var svåra att dra slutgiltiga slutsatser utifrån och endast är antaganden. För att bevisa sambanden krävs därför vidare studier inom ämnet.

Om arbetet gjorts om idag hade andra metoder kunnat användas. Till exempel hade intervjuer av experter inom ämnet kunnat komplettera litteraturundersökningarna.

Även fältstudier hade kunnat vara ett bra komplement till litteraturen där teorin fått appliceras och undersökas i verkligheten.

Under arbetets gång har nya frågor och tankar väckts men då detta är en kandidatuppsats har begräsningar behövt göras. Dessa frågor lämnar vi därför som vidare studier inom ämnet vilka skulle kunna stärka de funna samband och mönster.

Förslag på vidare studier:

- Hur gröna tak inverkar på byggnaders energiförbrukning i kalla klimat.
- Jämförelse mellan de extensiva-, semi-intensiva och intensiva gröna takens energibesparingar hos byggnader i olika klimat.
- Jämföra konsekventa studier som utförts liknande, exempelvis längd av mättid, typ av referenstak/ byggnadskonstruktion, vad som studeras (yttemperatur, värmeflöde eller inomhustemperatur) etcetera.
- En större jämförelse av de studier som finns med tanke på energibesparing hos byggnader med gröna tak.



# Källförteckning

## Elektroniska källor

Bennewitz, E. (2009). *Gröna tak vinner mer mark*.

<http://www.byggnyheter.se/2009/09/grona-tak-vinner-mark> [2016-04-15]

Boverkets byggregler (2015). *BBR- Boverkets byggregler*.

<http://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/>  
[2016-04-13]

Eur-lex (2010). *Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/31/EU*. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=celex:32010L0031> [2016-04-13]

Eur-lex (2015). *Byggnaders energiprestanda*. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=URISERV%3Aen0021> [2016-04-13]

Folkesson, A. (2016). *Att få växter att trivas och utvecklas i olika livsmiljöer och ståndorter*.

[http://www.movium.slu.se/system/files/course/11036/files/anders\\_folkesson-standorter.pdf](http://www.movium.slu.se/system/files/course/11036/files/anders_folkesson-standorter.pdf) [2016-04-13]

Greenroofstoday (2010). *What is green roof*. <http://www.greenroofstoday.co.uk/>  
[2016-04-08]

Igra-world (2016). *Global Networking for Green Roofs*. <http://www.igra-world.com/index.php>. [2016-04-05]

Klimatanpassning (2016). *Gröna tak, fördjupning*.

<http://www.klimatanpassning.se/atgarda/2.3113/grona-tak-fordjupning-1.87577>  
[2016-04-11]

Miljönytta (2009). *Gröna tak förbättrar stadsmiljön*.

<http://miljonytta.se/byggnader/grona-tak-forbattar-stadsmiljon/> [2016-04-11]

Nationalencyklopedin (2016a). *Evaporation*.

<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/evaporation> [2016-05-11]

Nationalencyklopedin (2016b). *Isolering*.

[http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/isolering-\(byggt-fukt-varme-ljudisolering\)](http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/isolering-(byggt-fukt-varme-ljudisolering)) [2016-05-09]

Nationalencyklopedin (2016c). *Termisk*.

<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/termisk> [2016-06-07]

Nationalencyklopedin (2016d). *Värmeöverföring*.  
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/värmeöverföring> [2016-04-26]

Svenskanaturtak (2016). *Startsida*. <http://www.svenskanaturtak.se/index.htm>  
[2016-04-06]

Wrede, E. (2011). *Låt taken leva*. <http://www.naturskyddsforeningen.se/sveriges-natur/2011-2/lat-taken-leva> [2016-04-11]

## Tryckta källor

Akbari, H. (2005). Energy saving potentials and air quality benefits of urban heat island mitigation. *Lawrence Berkeley National Laboratory*. LBNL-58285

Atwell, B., Kriedemann, P. & Turnbull, C. (1999). *Plants in action*. Melbourne: Macmillan Education Australia.

Ascione, F., Bianco, N., de' Rossi, F., Turni, G. & Vanoli, G. (2013). Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning? *Applied Energy*, 104, ss. 845-859. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.11.068

Bengtsson, L., Grahn, L., & Olsson, J. (2005). Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden. *Nordic Hydrology*, 36(3), ss. 259-268.

Cantor, S. J. (2008). *Green roofs in sustainable landscape design*. New York: W.W. Norton & Company, Inc.

Castleton, H., Stovin, V., Beck, S. & Davison, J. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*, 42(10), ss. 1582-1591. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.05.004

Chen, C. (2013). Performance evaluation and development strategies for green roofs in Taiwan: A review. *Ecological Engineering*, 52, ss. 51-58. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2012.12.083

Del Barrio, E. (1998). Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. *Energy and Buildings*, 27(2), ss. 179-193. DOI: 10.1016/S0378-7788(97)00029-7

Dunnett, N. & Kingsbury, N. (2004). *Planting green roofs and living walls*. Portland: Timber Press.

Emilsson, T. (2005). *Extensive Vegetated Roofs in Sweden Establishment, Development and Environmental Quality*. Diss. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. SLU Reproenheten: Alnarp. ISBN: 91-576-7086-2

- Emilsson, T. (2008). Gröna tak – klimatanpassning för täta städer. I Svedelius, G. & Hillbur, Y. (red.) *Klimatförändring*. Alnarp. URN: urn:nbn:se:slu:epsilon-4-17
- Eumorfopoulou, E. & Aravantinos, D. (1998). The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece. *Energy and Buildings*, 27(1), ss. 29-36. DOI: 10.1016/S0378-7788(97)00023-6
- Florides, G., Tassou, S., Kalogirou, S. & Wrobel, L. (2002). Measures used to lower building energy consumption and their cost effectiveness. *Applied Energy*, 73(3-4), ss. 299-328. DOI: 10.1016/S0306-2619(02)00119-8
- Gaffin, S., Parshall, L., O'Keeffe, G., Braman, D., Beattie, D. & Berghage, R. (2006). Energy balance modeling applied to a comparison of white and green roof cooling efficiency. Green roofs in the New York Metropolitan region research report. <http://www.buildinggreen.net/assets/cms/File/GaffinetalPaperDC-0009.pdf> [2016-05-02]
- Getter, K., Rowe, D., Andresen, J. & Wichman, I. (2011). Seasonal heat flux properties of an extensive green roof in a Midwestern U.S. climate. *Energy and Buildings*, 43(12), ss. 3548-3557. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.09.018
- Hien, W. N. Yok, T. P. & Yu, C. (2007). Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate. *Building and Environment*, 42(1), ss. 25-54. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.07.030
- Liu, K. (2004). Engineering performance on rooftop gardens through field evaluation. *Journal of Roof Consultants Institute*, 22(2), ss. 4-12. <http://www.rci-online.org/interface/2004-02-liu.pdf> [2016-04-07]
- Liu, K., & Minor, J. (2005). Performance evaluation of an extensive green roof. *Presentation at Green Rooftops for Sustainable Communities*. Washington DC, USA 5-6 maj, ss. 1-11. [http://www.sustainabletechnologies.ca/wp/wp-content/uploads/2013/03/NRC\\_EastviewGRrept.pdf](http://www.sustainabletechnologies.ca/wp/wp-content/uploads/2013/03/NRC_EastviewGRrept.pdf) [2016-05-11]
- Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A. & Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 33(7), ss. 719-729. DOI: 10.1016/S0378-7788(01)00062-7
- Nyström, P. & Söderblom, P. (1993). *Gröna lätta tak*. Gröna Fakta, D9. Movium, Alnarp. ISSN: 0284-9798
- Oke, T.R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, 108(455), ss. 1-24. DOI: 551.524:551.588.7



- Tang, X. & Qu, M. (2016). Phase change and thermal performance analysis for green roofs in cold climates. *Energy and Buildings*, 121, ss.165-175. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.03.069
- Theodosiou, T. (2003). Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. *Energy and Buildings*, 35(9), ss. 909-917. DOI: 10.1016/S0378-7788(03)00023-9
- Tsang, S. & Jim, C. (2011). Theoretical evaluation of thermal and energy performance of tropical green roofs. *Energy*, 36(5), ss. 3590-3598. DOI: 10.1016/j.energy.2011.03.072
- VegTech (2011). Vegetationsteknik. Grönare Byggande för framtidens städer [Katalog]. <http://np.netpublicator.com/netpublication/n47546884>
- VegTech (2016). Vegetationsteknik. Grönare Byggande för framtidens städer [Katalog]. <http://np.netpublicator.com/netpublication/n50161628>
- Waldbaum, H. (2008) Green Roofs for Urban Agriculture - what is required to support their implementation in the UK? Msc Architecture arbete. School of Computing and Technology, University of East London.
- Wong, N., Chen, Y., Ong, C. & Sia, A. (2003a). Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment*, 38(2), ss. 261-270. DOI: 10.1016/S0360-1323(02)00066-5
- Wong, N., Cheong, D., Yan, H., Soh, J., Ong, C. & Sia, A. (2003b). The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. *Energy and Buildings*. 35(4). ss. 353-364. DOI: 10.1016/S0378-7788(02)00108-1
- Yang, J., Yu, Q. & Gong, P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, 42(31), ss. 7266-7273. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.07.003
- Yang, W., Wang, Z., Cui, J., Zhu, Z. & Zhao, X. (2015). Comparative study of the thermal performance of the novel green (planting) roofs against other existing roofs. *Sustainable Cities and Society*, 16, ss. 1-12. DOI: 10.1016/j.scs.2015.01.002