



# Markanvändningens klimatpåverkan

Examensarbete vid institutionen för stad och land

Sveriges lantbruksuniversitet Uppsala 2011

**Isabelle Brandt**



Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap, institutionen för  
stad och land  
Examensarbete för yrkesexamen på landskapsarkitekturprogrammet 2011  
EX0533 Självständigt arbete i landskapsarkitektur, 30 hp  
Nivå: Avancerad E  
© Isabelle Brandt  
Titel på svenska: Markanvändningens klimatpåverkan  
Title in English: Land use impact on climate changes  
Handledare: Ulla Myhr, institutionen för stad och land  
Examinator: Ann Åkerskog  
Foto: Författare där inte annat anges  
Utgivningsort: Uppsala  
Nyckelord: markanvändningens klimatpåverkan, markanvändning,  
klimatpåverkan, klimat i urban miljö, stadsbyggnad, material i staden,  
vegetation, globala klimatförändringar, urbanisering, planering,  
gestaltning och verktyg.  
Online publication of this work: <http://epsilon.slu.se>



Ett forskningssamarbete om markanvändning.

## Förord

Detta examensarbete grundar sig i ett forskningssamarbete mellan Sveriges lantbruksuniversitet, SLU och White arkitekter i Stockholm. Samarbetet går under namnet Markanvändningens klimatpåverkan. Det första steget i detta samarbete är två examensarbeten, ett av en student inom Landskapsarkitektur (institutionen stad och land vid SLU) och ett av en student inom civilingenjörsprogrammet (Institutionerna för mark & miljö och Växtproduktionsekologi, SLU i samarbete med Uppsala universitet). Civilingenjörstudenten som är Carmen Sosa inriktar sitt examensarbete mot att ta fram de fysikaliska parametrarna för olika yttyper för att göra modeller/beräkningar för hur dessa kan integreras i större skala.

Som landskapsstudent har jag under fem års tid studerat hur jag ska kunna skapa attraktiva miljöer för stadens invånare. Jag har besökt nybyggda stadsområden i Malmö, innovativa utemiljöer i Berlin och upplevt ett exploaterat Peking. Utbildningen har fyllt mig med en kreativitet och vilja att utforma estetiskt tilltalande platser men en längtan har också väckts, att kunna påverka något större. Detta examensarbete är en möjlighet för mig att kombinera det estetiska tänkandet med studier av forskningens framsteg inom stadsplanering av klimatsmarta och hållbara städer. Examensarbetet har gett mig möjligheten att fördjupa mig i världsomfattande frågor och undersöka hur planering och gestaltning kan påverka globala klimatförändringar och hur framtidens stad ska kunna balansera människans urbanisering av den begränsade mark vi har att tillgå. Andra landskapsarkitekter kan ha nytta av detta arbete då jag under arbetets gång har förstått hur stor skillnad för klimatet landskapsarkitekter kan göra och med goda argument kan jag påvisa varför landskapsarkitekter är beslutsfattare inom klimatfrågan.

Tack till Albert Orrling, Ulla Myhr, Jan Wijkmark, Carmen Sosa, White arkitekter Stockholm, Jeroen Matthijssen samt mina nära och kära.

Detta examensarbete har tilldelats Swedbanks och ULS Miljö-/Energistipendium 2011 med motivering: *Isabelle Brandt Själständiga arbete behandlar ett synnerligen aktuellt ämne och är både välskrivet och informativt. Det belyser inte bara den klimatpåverkan som sker till följd av urbanisering utan även hur byggandet av ett nytt hållbart samhälle kan ske i framtiden. Arbetet tydliggör vilken betydande roll landskapsarkitekter har när det gäller att förbättra den urbana miljön och minimera en global klimatförändring. Arbetet sammankopplar aktuell forskning med praktik och utgör mycket intressant läsning.* Skrivet av Erling Strandberg, Inspektör Ultuna Studentkår och Julia Fransson, Ordförande Ultuna Studentkår.

## Sammanfattning

Idag bor mer än halva jordens befolkning i urbana miljöer och det beräknas att år 2050 kommer 70 % av världens befolkning att bo i tätorter (Seto and Shepherd, 2009). För varje dag som går exploateras jordens yta allt hårdare till följd en ökad urbanisering och expanderande städer (Santamouris, 2001, s 6). Den urbana markanvändningen och förändringar i marktäcket har stor inverkan på klimatet (Seto and Shepherd, 2009) och därför behövs ett klimatverktyg till planeringsprocessen anser Eliasson (1999).

Syftet med arbetet är att utreda kopplingar mellan markanvändning och klimat samt att med dagens kunskap som grund formulera grundläggande komponenter till ett verktyg för att vid utformningen av den urbana miljön motverka och bromsa globala klimatförändringar. Målgruppen för denna rapport är landskapsarkitekter, planerare och studenter inom landskapsarkitektur. Rapporten vänder sig även till forskare inom stadsbyggnad och klimat.

### Metod

För att utreda kopplingar mellan markanvändning och klimat samt att göra en sammanställning av det samtida forskningsläget inom markanvändningens klimatpåverkan för att kunna formulera komponenter till ett plan- och gestaltningsverktyg användes fyra olika metoder. Metoderna som användes var en litteraturundersökning med specifika sökord för att insamla vetenskapliga artiklar, en kategorisering av vetenskapliga artiklarna, en sammanställning av komponenter ur forskningen som kan användas till ett framtida plan- och gestaltningsverktyg och en studie där ett aktuellt projektexempel ur praktiken jämfördes med komponenterna som sammanställdes.

### Resultat

Resultatet av litteraturundersökningen är 36 vetenskapliga artiklar som kategoriserades. Med hjälp av kategoriseringen utarbetades 5 olika kategorier med artiklar. Kategorierna visade att forskningsområdena inom markanvändningens klimatpåverkan är *klimat i urban miljö*, *stadsbyggnad*, *markanvändning*, *material i staden* och *vegetation*. *Klimat i urban miljö* var den kategori som översiktligt beskrev effekterna av markanvändningens klimatpåverkan både globalt och i staden. De resterande kategorierna sammanställdes till komponenter som kan utgöra grunden för ett framtida plan- och gestaltningsverktyg samt för argumentation och till riktlinjer inom planering och gestaltning av staden. Komponenterna är avgörande för klimataspekten inom städernas utformning och bör användas för att skapa en markanvändning som inte har en negativ inverkan på det globala klimatet. Komponenterna är *stadsbyggnad*, *markanvändning*, *material i staden* och *vegetation*.

Kategorin *klimat i urban miljö* visade att forskningen är omfattande kring det urbana klimatet uppkomst, dess faktorer och effekter. Forskningen fokuserar främst på klimatfenomenet urban värmeö och energiförbrukning i staden till följd av temperaturskillnader. Kategorin *stadsbyggnad* understryker att stadens struktur är fundamental för uppkomsten och effekten av det urbana klimatet. Betydelsefulla aspekter inom stadsbyggnad är stadens fysiska utformning, gatans geometri, byggnaders arkitektur och tillgång på skugga. Kategorin *markanvändning* visade att forskningen inom området är inriktat på markförändring och hur denna påverkar energibudgeten och energibalansen hos olika ytor. Kategorin *material i staden* innehöll forskning kring markbeläggningar, takbeläggningar och vilka material som har inverkan på klimatet i staden.

*Vegetation* var den mest omfattande kategorin utifrån antalet artiklar. Forskningen inom området fokuserar på vegetationens inverkan på mikroklimatet i staden, grönstruktursmodeller, lufttemperatur samt stadsträds och gröna taks positiva klimategenskaper.

Forskningssammanställningen i denna rapport vidareutvecklar Eliassons (1999) teori kring att urbanisering medför negativa konsekvenser för det globala klimatet. Sammanställningen visar att urbanisering och en förändrad markanvändning påverkar det globala klimatet och att urbana värmeöar är en negativ klimateffekt till följd av urbanisering. Sammanställningen pekar på att stadens utformning bidrar till urbana klimateffekter och påverkar det globala klimatet. Material och hårdgjorda ytorna i urbana miljöer påverkar både stadens klimat och det globala klimatet negativt, vegetation däremot kan reducera urbana värmeöar och har en positiv inverkan på klimatet, detta påvisar litteratursammanställningen.

En bra klimatpåverkan innebär att komponenterna till framtidens plan- och gestaltningsverktyg används för att skapa rätt förutsättningar i staden. Om komponenterna planeras och gestaltas korrekt kan ett klimat i staden och utformning av den urbana miljön bidra till att minska energianvändningen, de kan minska utsläppen av koldioxid och växthusgaser samt kan de öka luftkvaliteten och medföra en oförändrad eller förbättrad hydrologi i området. En bra klimatpåverkan innebär en planering och gestaltning av staden som inte bidrar till globala klimatförändringar utan istället motverkar och förebygger en stad som skulle kunna påverka det globala klimatet negativt. Stadsbyggnaden med sin täthet och tredimensionella utformning kan bidra till att energianvändningen minskar, men då behöver stadens byggnader vara

varierade och gatorna tillräckligt breda. Markanvändningen ska medföra att exploatering för urbana miljöer sker på välplanerad mark för att bevara eller förbättra hydrologin i området med infiltrationskapacitet och minskad ytavrinning. Markanvändningen bör även ske på ett sådant sätt att vegetation inom exploateringsområdet bevaras eller ersätts. Material i staden ska användas som bidrar till en oförändrad eller förbättrad hydrologi och innefatta infiltrationsmöjligheter eller en planering som medför att infiltrationen kan ske i närområdet. Materialen bör även ha låg värmeledande och värmelagrande egenskap för att kunna minska värmelagringen och energianvändningen. Vegetationen i staden bör planeras och gestaltas strategiskt för att denna ska bevaras eller öka. Vegetationen bidrar nämligen med många positiva egenskaper som förbättrar hydrologin och ger en minskad ytavrinning samt en ökad infiltration. Vegetationen kan även bidra till en minskad värmelagring och energianvändning i staden samt bidra till bindning av luftföroreningar som förbättrar luftkvaliteten. Vegetation binder även koldioxid vilket motverkar växthusgaser, växthuseffekten och globala klimatförändringar.

Ett projektexempel från praktiken studerades för att analysera om komponenterna *stadsbyggnad*, *markanvändning*, *material i staden* och *vegetation* diskuteras och används i aktuella projekt. Som projektexempel valdes Årstafältet i Stockholm, då detta ska vara ett klimatanpassat stadsbyggnadsprojekt. Årstafältets planering behandlar stadsbyggnad, vegetation och till viss del överväganden kring markanvändningen. Det finns dock inga riktlinjer att utläsa i programmet för detaljplanen för vilka markmaterial som kommer att användas i den urbana miljön. Stadsbyggnaden i Årstafältet ska bestå av breda gatusektioner, ett varierat gatunät, korta kvarter och varierade hushöjder. Vegetationen

kommer att bestå av en ökad träd- och buskvegetation, gröna tak, gröna fasader, grönytor, alléträd. Riktlinjer omfattade även förvaltning av naturmark, lokalt omhändertagande av dagvatten och en öppen dagvattenhantering. Planeringen av Årstafältet utgör ett exempel på en delvis klimatgenomtänkt stadsplanering och visar att det idag är trendigt att vara klimatsmart, då klimatarbetet belystes.

### **Diskussion**

Komponenterna kan utgöra riktlinjer inom argumentation, planering och gestaltning av staden och understryker de aspekter som måste avvägas i klimatarbetet av den urbana miljön. En användning av komponenterna i sig minskar inte globala klimatförändringar. En planering och gestaltning med komponenterna kan antingen bidra till en bra eller dålig inverkan på klimatet. En välavvägd planering och gestaltning med komponenterna krävs för en positiv inverkan på den urbana miljön och det globala klimatet. Därför behövs en vidareutveckling av komponenterna till framtidens plan- och gestaltningsverktyg för att kunna specificera komponenternas utformning för att garantera att en positiv inverkan på klimatet sker.

Studien av Årstafältet visade att en medvetenhet kring klimatfrågor finns i dagens stadsplanering men att det är svårt att göra en bedömning hur stadsplaneringen påverkar klimatet då ett verktyg saknas. Ett verktyg behövs för mätbarhet och riktlinjer som kan appliceras inom praktiken och passas in i den normala planeringsprocessen. Mätbarhet behövs för att kunna utvärdera resultat och därigenom kunna bedöma hur pass bra en stadsplanering är för klimatet.

Årstafältet visade att det idag är trendigt att vara klimatsmart, då klimatarbete belystes i programmet för detaljplanen. Men det är inte bara trendigt att vara klimatsmart utan det kan även vara lönsamt i längden. Det är lönsamt ur energibesparingssynpunkt och genom miljösynpunkt, men också ur kommunikationssynpunkt. En av de stora fördelarna med att ha ett verktyg är att det blir lättare att förmedla mätbara resultat. Det skulle underlätta kommunikationen och förståelsen för alla inom planeringsprocessen, från byggherrar och beställare till landskapsarkitekter och byggarbetare. Om kommunikationen ökar och blir gränsöverskridande kan fler nås och hjälpas. Om fler berörs kan klimatfrågan få en större plats på dagordningen och klimatkomponenterna skulle få en större genomslagskraft inom stadsplaneringen.

Det ideala plan- och gestaltningsverktyget skulle vara ett kombinerat mätnings- och strategiverktyg. Verktyget ska kunna användas till alla typer av skalor och storlekar, från att beräkna och planera hela städers klimatpåverkan och utformning till att beräkna specifika platsers inverkan och dess behov av strategisk gestaltning. Det ideala verktyget ska kunna användas för mätningar och strategier både vid nyexploatering av urbana miljöer och för att förbättra befintliga platser.

Exempelvis skulle man med verktyget kunna mäta en urban miljöes storlek, densitet och hårdgjorda yta. Därefter skulle man kunna beräkna hur mycket grönska platsen behöver för att kunna kompensera dess värmelagring och infiltrationsbortfall. Platsens mätningsresultat skulle kunna visa om platsen behöver en vegetationsstrategi för ökad skugga eller ökade infiltrationsmöjligheter och hur denna i ett sådant fall bäst skulle kunna anpassas till platsens förutsättningar. I strategidelen av



verktyget skulle man kunna välja på olika typer av vegetationsstrategier som både skulle kunna förbättra platsens klimatpåverkan och dessutom estetiskt passa in. Om platsen behövde ökad skugga skulle man exempelvis kunna välja en strategi som fokuserar på olika typer av stadsträd som är skuggande och dessutom estetiskt karaktärsfulla. När platsen har en försämrade infiltrationskapacitet skulle olika strategier för utformningar av gröna tak och markvegetation kunna finnas i verktyget.

Inom planering och nyexploatering skulle det ideala verktyget kunna beräkna olika marktypers klimatpåverkan och därefter avgöra vilken typ av mark som ur klimatsynpunkt skulle vara bäst att exploatera. Exempelvis skulle man med mätningssdelen av verktyget kunna få ett resultat angående om marken har en så pass bra inverkan på klimatet att den helst inte skulle bebyggas. Om marken skulle vara bra, men trots detta behöva exploateras, skulle man med strategidelen av verktyget kunna utläsa den strategi och utformning inom stadsplanering som skulle vara bäst lämpas för markens förutsättningar. På så sätt skulle mätningss- och strategidelen av verktyget samverka och exploateringen av marken skulle hela tiden kunna avvägas för att skapa bästa möjliga klimatpåverkan.

Nyckelord: *markanvändningens klimatpåverkan, markanvändning, klimatpåverkan, klimat i urban miljö, stadsbyggnad, material i staden, vegetation, globala klimatförändringar, urbanisering, planering, gestaltning och verktyg.*

## Summary

Today, more than 50% of the people on earth live in an urban environment and it is estimated that in the year of 2050, 70% of the world's population will live in urban areas (Seto and Shepherd, 2009). Due to expanding cities and an increased urbanization the development of the surface on earth is increasing (Santamouris, 2001, p. 6). The urban land use and land cover changes have a major impact on the climate (Seto and Shepherd, 2009) and a climate tools for the planning process is needed (Elias, 1999).

The purpose of this work is to compile the contemporary research of climate change due to land use and apply the research in a planning and design tool of the urban environment to minimize global climate changes. The target audience for this report are landscape architects, planners and students of landscape architecture. The report is also intended for researchers in urban planning and climate.

The research questions that formed the basis for this report were questions about how urbanization and land use affects the global climate, how the design of the city contributes to an impact on the global climate, how vegetation and materials affect the climate and in which aspects future research were needed. A literature survey was compiled to answer the questions and develop the aspects and components that were necessary to create a design tool to reduce global climate changes due to land use.

The delimitation of this report was that the literature survey of the contemporary research would be intended to compile research that could be used by landscape architects and urban planners. Delimitations was also that the research needed to been published in the 2000s and that the

compilation of collected research was conducted to answer the research questions and compose aspects to create a planning and design tool. Although many of the aspects that contribute to reducing the negative impact on climate also has a positive effect on human health, comfort and welfare, this effects is not reported in the text, this report focused on the climate issue. The report is also focusing on aspects that mitigate a negative impact on the climate.

### Method

To provide a review of the contemporary state of research in climate change due to land use and to develop aspects of a plan and design tool, four different methods were carried out. The methods were a literature survey of scientific articles, a categorization, a compilation of a plan and design tool and a study of a current project to carry out examples from practice.

The literature study involved a detailed research in the subject of land use impact on climate and specific keywords were used. The keywords were: albedo, change, climate, cool materials, design, global, impact, land cover, land use, landscape, materials, microclimate, planning, urban, urban landform, urbanization and vegetation. The research of literature was done through reference lists of articles and databases over the Internet. The databases were ScienceDirect, Web of Knowledge and Scopus. Literature was collected mostly in the form of scientific papers and reports. The Keywords used in the literature survey in databases were English words and the words were used individual or combined with each other.

In the start, searches were done in the databases ScienceDirect and Web of Knowledge. Then both databases gave the same results and matches for each keyword the database search moved to only increase ScienceDirect. Searches in ScienceDirect gave such a wide variety of items to each keyword that the result gave hundreds of matches. In order to gather the most relevant articles for each keyword a serious reduction was more than necessary. The reduction of the articles was carried out by limitation of the literature and only the contemporary research, published in the 2000s were taken into consideration. If the headline of the articles related to the purpose of the report the articles summary and keywords were read. If the summary of the articles re-established to the purpose of the report the articles was saved. The reference list of each of the saved articles was examined to determine whether it could provide relevant research.

The inclusion criteria for the articles were that they dealt with land use, climate change and measurements to reduce climate impacts. Only articles including examples, methods and tools to curb the negative aspects of climate change were taken into consideration. Articles about climate adaptation and how to plan / build for a future climate change were excluded. Articles including research about climate change as a result of urban activity were also excluded. The categorization of scientific articles was performed to highlight the aspects of land use and climate components for a tool to reduce negative climate change. All articles were collected from the Internet-based database and the articles were at the beginning briefly read. Based on the articles purpose and contents each article received 2-4 different keywords to identify the topic of the article. Then categorization began with a categorization of the

review articles from the literary study to develop comprehensive topics of land use and climate impact. The keywords and abstract of the review articles were compared in order to link articles and topics related to each other. Articles dealing with similar topics were grouped and summarized in order to generalize the articles. The categorizations of the review articles were performed to create a framework of categories to use in the categorization of the remaining articles. The categorization progressed until all articles had a category and this was done to develop subject-specific categories. The names of the categories were based on the articles content and each category reflected the purpose and background of the report. Thereafter each category was constituted to a chapter to highlight the important issues and aspects of the category.

The categorization, the scientific articles and the literature prepared the foundation for the planning and design tool. The categorization compiled components to take into consideration about land use and the planning and design of the city in order to reduce global climate change. The components were presented as a checklist to highlight those components that were taken into consideration.

A project from practice was studied to examine the climate aspects that were taken into consideration of the planning and design of the project. The project that was chosen from practice was Årstafältet, and the climate information about Årstafältet was based on the program of the detailed plan. The climate aspects that were taken into consideration in the planning and design of Årstafältet was compiled to a list and compared with the climate components from the earlier categorization.

## Result

The categories within land use and climate change were: *climate in urban environment*, *urban planning*, *land use*, *materials in the city* and *vegetation*. The categories were compiled into components to form a basis for the planning and design tool.

The category *climate in urban environment* showed that research was extensive about the factors and effects of urban climate. The research mainly focused on the climatic phenomenon urban heat island and energy consumption in the city due to temperature differences. The category *urban planning* emphasized that the architecture of the city had fundamental impact of the urban environment and significant aspects of urban planning were the city's physical design, the geometry of the streets, buildings and the availability of shade. The category of *land use* showed that the research was focused on land change and its effect on the energy budget and energy balances of different surfaces. The category *materials in the city* included research on ground coverings, roof coverings and the materials that have an impact on the climate in the city. By the numbers of articles *vegetation* was the largest category and research focused on the vegetation and its effects on the microclimate of the city, green structure models, air temperature and urban trees and green roofs beneficial climate characteristics.

*Climate in urban environment* was the category that described the effects of land use on climate change, both in the city and globally. The categories *urban planning*, *land use*, *materials in the city* and *vegetation* were categories used as components for the tool of planning and designing the city to minimize effects of land use on global climate. The tool can be used in

climate arguments and as guidelines in the planning and design of the city.

The research compilation of this report developed Eliasson's (1999) argumentation about urbanization and its negative consequences for the global climate. This report established that urbanization and land use changes affect the global climate and the urban heat island is a negative impact on climate due to urbanization. This report also established that the design of the city contributed to impacts of the urban climate and affects the global climate. Materials and impervious surfaces in urban environments affected both urban climate and the global climate adversely. Vegetation however, could reduce the urban heat island and had a good impact on the climate.

Årstafältet considered urban planning, vegetation and land use. However, there were no guidelines to infer about materials in the program of the detailed plan about Årstafältet. A consideration without materials is not a good result, because the materials in the city have a huge impact of the planning's effects on the climate. The urban planning within Årstafältet will be planned with broad street sections, a varied network of streets, short blocks and with varied building heights. Vegetation will be planned to increase tree and shrub vegetation, green roofs, green facades, green areas, to increase the management of natural areas, local disposal of storm water and an open storm water management. The plan of Årstafältet shows that it is now trendy to be eco-friendly.

## Discussion

The components themselves will not reduce global climate change. A planning and design with the components can either contribute to a good or a bad effect on the climate. A properly balanced planning and design with the components are required for a positive impact on the urban environment and the global climate. The components can be guidelines in argumentation, planning and design of the city and highlights the aspects that must be reconciled. The planning and design tool requires a further development in order to specify the design of the components in the planning to ensure a positive impact on climate.


The study of Årstafältet showed bordered consciousness of climate issues in urban planning, but it is difficult to make an objective assessment of how urban planning affects the climate, because a tool is still missing. A tool is needed for measurability and guidelines that can be applied in practice and in the planning process. Measurability is needed to develop measurement results and thus provide an objective assessment of how well an urban planning is for the climate.

The study of Årstafältet showed that it is now trendy to be eco-friendly, as they shed light on its climate work in the program. But it is not just trendy to be eco-friendly, it is also profitable in the long run. It is profitable from the energy standpoint and because of the reduced impact on the environment, but also in terms of communications. One of the great advantages of having a tool is that it is easier to communicate performances in measurable results. A measurable result from a tool could facilitate communication and understanding between all collaborators involved in the planning process, from employers

and clients to landscape architects and construction workers. If the communication is increasing and becoming cross-borderer more people can be involved and helped. If more people get involved climate change could have a greater place on the agenda and the climate components would have a greater impact in urban planning.

In future research the components and a tool could develop further strategies for planning and design with measurable values to accurately measure a project or entire cities impact on climate, and how a project or a city should be designed. If the climate impact of planning and design could be calculated, the impact of the city on the global climate could be inferred and strategies for a sustainable future easier.


*Keywords: land use impact on climate, land use, climate, climate in the urban environment, urban planning, materials in the city, vegetation, global climate change, urbanization, planning, design and tool.*

A large, circular patch of green grass is the central focus of the image, situated on a light-colored paved surface. The grass is dense and vibrant green, with some scattered dry leaves. The paved area consists of large, rectangular tiles. In the background, a curved concrete path or wall is visible. A white rectangular text box is centered over the grass patch.

**Innehåll.**

## Innehållsförteckning

<b>INLEDNING - URBANISERING LEDER TILL FÖRÄNDRAD MARKANVÄNDNING</b>	<b>17</b>	<b>RESULTAT LITTERATURUNDERSÖKNING</b>	<b>39</b>
PROBLEMATISERING	18	<b>RESULTAT KATEGORISERING</b>	<b>43</b>
SYFTE	19	KLIMAT I URBAN MILJÖ	45
LÄSANVISNING	20	STADSBYGGNAD	49
FORSKNINGSFRÅGOR	20	MARKANVÄNDNING	51
AVGRÄNSNING	21	MATERIAL I STADEN	53
MÅLGRUPP	21	VEGETATION	55
<b>ORDFÖRKLARING</b>	<b>23</b>	<b>PLAN- OCH GESTALTNINGSVERKTYG</b>	<b>61</b>
<b>BAKGRUND - TILL OCH OMFATTNING AV MARKANVÄNDNING OCH KLIMATPÅVERKAN</b>	<b>25</b>	KOMponenter till framtidens plan- och gestaltningsverktyg	61
MARK OCH MARKANVÄNDNING	25	<b>PROJEKTEXEMPEL UR PRAKTIKEN</b>	<b>63</b>
KLIMATFÖRUTSÄTTNINGAR OCH GLOBALA KLIMATFÖRÄNDRINGAR	27	ÅRSTAFÄLTET	63
URBAN MARK – HÄRDGJORDA YTOR	28	ÅRSTAFÄLTETS KLIMATKOMponenter	68
REGLERING AV MARKANVÄNDNING OCH KLIMATFRÅGOR	30	<b>SLUTSATSER</b>	<b>70</b>
BEFINTLIGA VERKTYG OCH MODELLER	32	<b>DISKUSSION OCH DET IDEALA VERKTYGET</b>	<b>74</b>
LANDSKAPSARKITEKTENS ANALYS OCH KLIMATVERKTYG	33	<b>SLUTORD</b>	<b>78</b>
<b>METOD</b>	<b>35</b>	<b>REFERENSER</b>	<b>80</b>
LITTERATURUNDERSÖKNING AV VETENSKAPLIGA ARTIKLAR	35	<b>BILAGOR</b>	<b>86</b>
KATEGORISERING	36		
PLAN- OCH GESTALTNINGSVERKTYG	37		
PROJEKTEXEMPEL UR PRAKTIKEN	37		

An aerial night photograph of a city. In the foreground, a multi-lane highway interchange is illuminated by streetlights. To the left, a large body of water reflects the city lights. The background shows a dense urban landscape with various buildings and a church spire on the right. The sky is a mix of blue and orange, suggesting dusk or dawn.

Idag bor mer än halva jordens befolkning i urbana miljöer.



## Inledning - urbanisering leder till förändrad markanvändning

Idag bor mer än halva jordens befolkning i urbana miljöer och det beräknas att år 2050 kommer 70 % av världens befolkning att bo i tätorter (Seto & Shepherd, 2009). För varje dag som går exploateras jordens yta allt hårdare till följd en ökad urbanisering och expanderande städer (Santamouris, 2001, s 6), trots detta finns endast lite information kring hur befolkningstillväxten överrensstämmer med förändringar i stadsmiljöns utsträckning (Seto & Shepherd, 2009). Urbaniseringen leder till att urbana sammanhängande ytor ökar i staden och de vegetativa ytorna reduceras. Seto och Shepherd (2009) understryker att urban markanvändning och förändringar i marktäcket har stor inverkan på klimatet. Trots denna inverkan på klimatet är överväganden kring markanvändningens klimatpåverkan sällsynta i stadsplanering och ett verktyg för planeringsprocessen behövs (Eliasson, 1999).

Landskapsarkitekter har möjlighet att arbeta med klimatfrågan då både landskapsarkitekter ständigt arbetar i en global urbaniseringsprocess där åker, skog, äng och våtmark omvandlas till hårdgjorda ytor. Enligt ansökan: SLU-medel till projekt inom fortlöpande miljöanalys (2010) förändras ytegenskaperna för mark radikalt när markanvändningen förändras eller ytan hårdgörs. Markytornas egenskaper och dess fysikaliska processer spelar en väsentlig roll för energibalansen på jorden vilket påverkar det globala klimatet.

Idag är klimatfrågan aktuellare än någonsin och ordet ”klimatsmart” har blivit viktigt för både privata som offentliga beställare. Att i stadsplanering överväga markanvändningens påverkan på det lokala och globala klimatet skulle lyfta hållbarhetsarbetet. Ett plan- och gestaltningsverktyg för beaktning av markanvändningens klimatpåverkan för minimering av

klimatförändringar kan ligga till grund för en ökad kommunikation kring klimataspekten i städer och en förbättrad planering och gestaltning av den urbana miljön (Ansökan: SLU-medel till projekt inom fortlöpande miljöanalys, 2010).

Inom dagens stadsplanering arbetar man med klimatfrågan med hjälp av två metoder; anpassning och begränsning (Boverket, 2010). Anpassning (adaptation) innebär att anpassa staden till framtida möjliga klimatförändringar, exempelvis genom att planera hotade områden som riskeras att översvämmas på grund av stigande havsnivåer. Begränsning (mitigation) innebär att vidta åtgärder för att motverka och bromsa klimatförändringarna, exempelvis genom en stadsplanering som reducerar utsläppen av växthusgaser som koldioxid. Detta examensarbete fokuserar på metoder för att begränsa klimatförändringarna.

### **Problematisering – behovet av ett verktyg**

En studie av Ingegärd Eliasson (1999) påvisar att det är väl etablerat, att det urbana landskapet påverkar energikonsumtionen och luftkvaliteten i staden. Eliasson menar att det trots denna kunskap, saknas ett plan- och gestaltningsverktyg för att ge klimataspekten en mer betydande roll i stadsplaneringen. Enligt Eliasson efterfrågar stadsplanerare kunskap om klimat och att de är i behov av ett verktyg för att sammanlänka kunskapen till planeringsprocessen. Detta för att kunna argumentera för överväganden och göra lämpliga bedömningar inom klimatfrågan. Eliassons studie påvisar ett stort intresse hos stadsplanerarna att diskutera projektexempel från praktiken för att öka förståelsen mellan klimateffekter i städer och stadsplanering för att påvisa hur markförändringen påverkar det lokala klimatet. Eliasson (1999) menar att det är viktigt att klimatforskare möter efterfrågan hos stadsplanerare och förser dem med goda argument och användbara verktyg.

För att kunna öka inflytandet av klimatforskning i stadsplanering anser Eliasson (1999) att det behövs en ökad medvetenhet om det urbana klimatet i städer, en ökad kommunikation och argumentation kring planeringens inverkan på klimatet samt ett verktyg för en hållbar stadsplanering. Forskningens olika aspekter och områden måste sammanställas för en identifiering av användbar kunskap anser Eliasson (1999). Problematiken som Eliasson identifierade för 12 år sedan överrensstämmer med problematiken idag. Medvetenheten kring klimataspekten har dock ökat sedan år 1999 vilket är bakgrunden till detta projekt. Denna rapport vill bidra till utvecklingen av ett plan- och gestaltningsverktyg.

Syftet med arbetet är att utreda kopplingar mellan markanvändning och klimat samt att med dagens kunskap som grund formulera grundläggande komponenter till ett verktyg för att vid utformningen av den urbana miljön motverka och bromsa globala klimatförändringar.

## Läsanvisning

**Rapporten är indelad i fem delar:**

1. En bakgrund till markanvändning och dess betydelse för klimatet.
2. En sammanställning av det samtida forskningsläget som baseras på vetenskapliga artiklar.
3. En kategorisering av vetenskapliga artiklar för att ta fram aspekter som är betydande inom markanvändningens klimatpåverkan och beskriva dessa utifrån dagens forskning.
4. En sammanställning av dessa aspekter till komponenter, för ett framtida plan- och gestaltningsverktyg.
5. Ett projektexempel ur praktiken, för att jämföra ett plan- och gestaltningsprojekt med de sammanställda komponenterna för att undersöka hur aktuella projekt arbetar med klimatfrågan.

## Forskningsfrågor

För att undersöka det samtida forskningsläget inom markanvändningens klimatpåverkan ställdes frågor kring urbanisering, markanvändning, stadens utformning och klimatpåverkan.

**Frågorna var preciserade till:**

- Hur påverkar urbaniseringen markanvändningen och det globala klimatet?
- Bidrar stadens utformning till en negativ påverkan på det globala klimatet?
- Vilka aspekter och komponenter kan minska markanvändningens klimatpåverkan?
- Hur genomförs aktuella projekt för att minimera en negativ klimatpåverkan till följd av en förändrad markanvändning?

## Avgränsning

- De vetenskapliga artiklarna till sammanställningen av det samtida forskningsläget ska ha publicerats under 2000-talet.
- De vetenskapliga artiklarna ska vara avsedda för den klimatzon som berör Sverige.
- Många av de aspekter som bidrar till att minska en negativ klimatpåverkan har även en positiv inverkan på människans hälsa, komfort och välbefinnande. Dessa positiva aspekter för människan tas inte upp i rapporten.
- Mikroklimatet, klimatet på en specifik plats och hur människor uppfattar klimat är inget denna rapport tar upp, utan rapporten fokuserar på det urbana klimatet och dess inverkan på den globala skalan.
- Rapporten tar inte upp strategier för att anpassa staden inför ett förändrat klimat, utan fokuserar på hur negativ klimatpåverkan kan bromsas och förmildras.

## Målgrupp

Målgruppen för denna rapport är

landskapsarkitekter, planerare och studenter

inom landskapsarkitektur, samt till

forskare inom stadsbyggnad och klimat.

iciklung

**Markanvändningens klimatpåverkan** = Samlingsnamn för detta projekt och denna rapport.

Syftar på hur den urbana marken och användandet av den urbana marken

påverkar det globala klimatet.

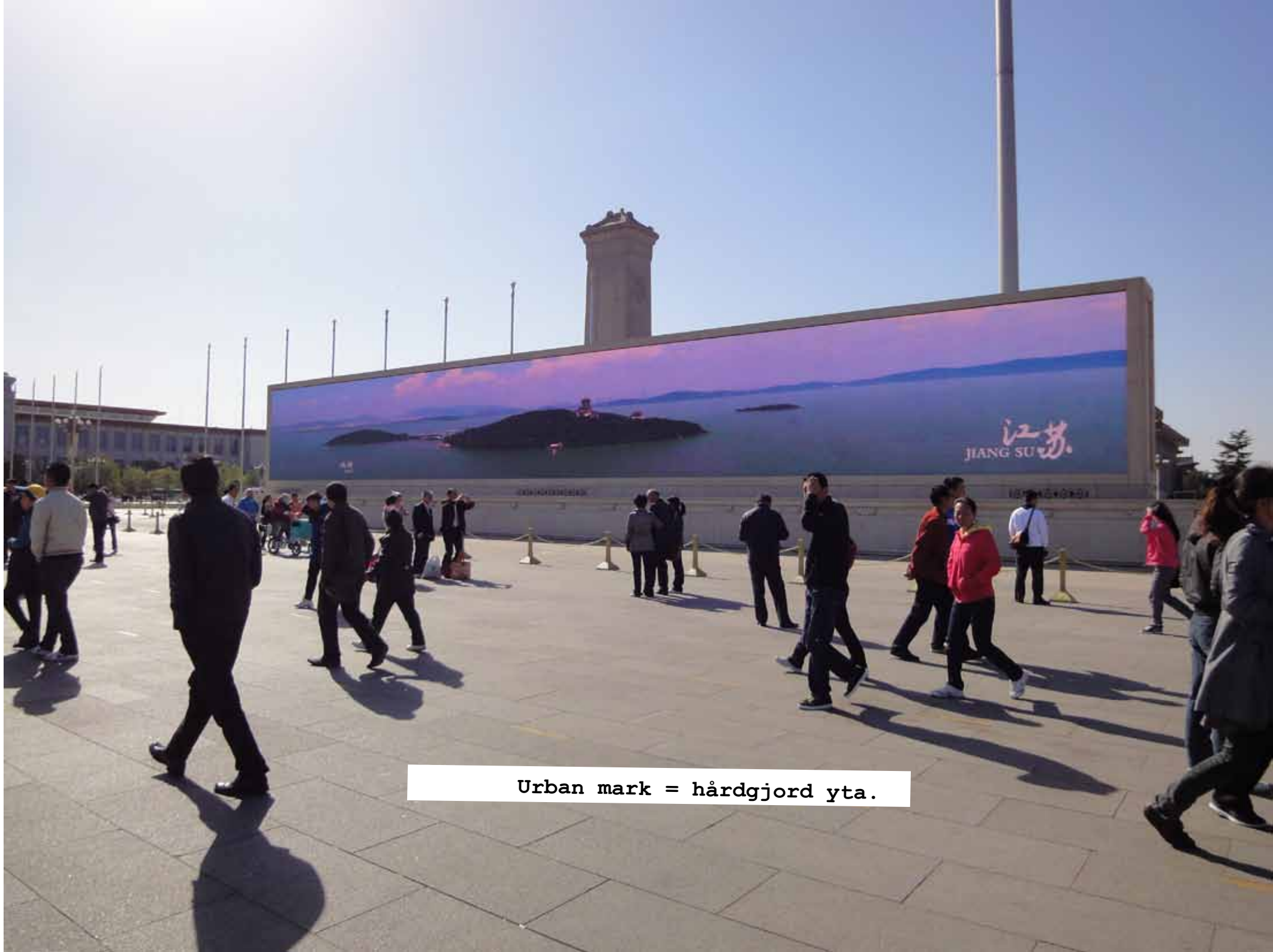
wwie den

## Ordförklaring

Nedanstående beskrivningar är baserade på Nationalencyklopedins (2011) definitioner av orden:

<b>Albedo:</b>	Reflektionsförmåga, den andel av vinkelrätt infallande ljus som reflekteras av en yta eller en kropp. En ytas albedo beror i första hand på ytans egenskaper.
<b>Absorbans:</b>	Dämpningen av elektromagnetisk strålning och egenskaperna hos det material vilket strålningen går igenom.
<b>Emissivitet:</b>	En kropp eller ytas förmåga att utsända elektromagnetisk strålning. Elektromagnetisk strålning kan vara värme eller ljus. Kirchoffs strålningslag menar att absorbansen är lika med emissiviteten hos en kropp. Absorberas hos en svart kropp är maximal och därmed är emissiviteten maximal.
<b>Evaporation:</b>	Avdunstning med vatten som komponent, exempelvis avdunstning från en vattenyta.
<b>Evapotranspiration:</b>	Avdunstning av vatten från en bevuxen markyta. Evapotranspiration består av evaporation och transpiration.

<b>Konduktivitet:</b>	Värmeledningsförmåga, ett materials förmåga att leda värme.
<b>Konvektion:</b>	En värmetransport av energi till ovan luft och vind. Konvektion uppstår ofta i luft nära en mark- eller vattenyta. Denna luft får högre temperatur än luften ovan och den uppvärmda luften stiger. Den uppvärmda luften avkyls sedan och kan bli tillräckligt kall för att kondensation ska ske och moln bildas.
<b>Latent värme:</b>	Den energi som frigörs vid en vätskas frysning eller den energi som åtgår när en vätska förångas.
<b>Sensibel värme:</b>	Värme hos en vätska eller gas, den värmeenergi som tar sig uttryck i temperatur.
<b>Transmittans:</b>	Mått på ett ämnes genomsläpplighet för ljus eller ljud.
<b>Transpiration:</b>	Avdunstning inom växtvärlden, avgivandet av vattenånga från en växt. Transpirationen sker till stor del genom klyvöppningarna och är positiv för växten då avdunstningen kylvärmer bladen.



Urban mark = hårdgjord yta.



## Bakgrund till markanvändning och dess betydelse för klimatet

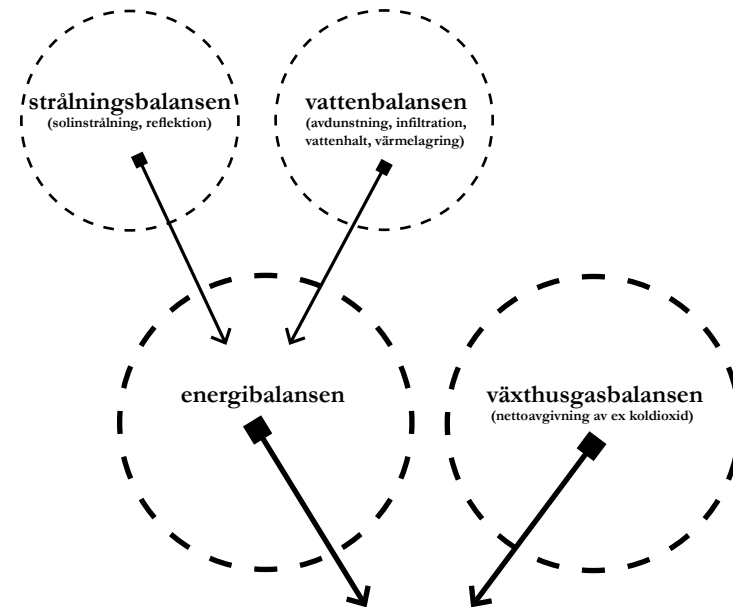
För att sammanfatta bakgrund till och omfattning av markanvändning och klimatpåverkan har sökningar i Nationalencyklopedin, Epsilon, Libris och Internetbaserade sökmotorn Google utförts. Då sökningen var övergripande användes generella sökord på svenska anknutna till ämnet, för att innefatta ett bredare informationsutbud. I texten nedan presenteras begreppet markanvändning och dess koppling till klimatet.

### Mark och markanvändning

Mark och vatten täcker hela jordens yta och markanvändning innebär människans användning av marken. Markanvändningen kan innebära modifiering eller förvaltning av befintlig mark och marktäcket. En betydande förändring i markanvändningen både historiskt och idag har varit skövlingen av skog, hårdgörandet av ytor och exploateringen av städer för att tillgodose resurser för stadens utveckling (Grimmond et al, 2010).

Santamouris (2001, s 12) påvisar att markens egenskaper avgör dess energiomsättning, vattenbalans, strålningsbalans och växthusgasbalans vilket har olika inverkan på klimatet. Vid en ändrad markanvändning förändras marken och dess ytegenskaper radikalt. Temperaturen på marken påverkas främst av den inkommande strålningen och atmosfärens växthusliknande egenskaper. Eftersom att ytors egenskaper skiljer sig från varandra, skiljer sig även deras förutsättningar att reflektera eller absorbera solinstrålningen och luftutbytet från atmosfären. Materials solreflekterande förmåga och förmåga att utsända värme som långvågig strålning har en stor inverkan på den urbana energibalansen visar Santamouris (2001, s 12). För att undersöka markanvändningens klimatpåverkan står energibalansen i fokus visar ansökan: SLU-medel

till projekt inom fortlöpande miljöanalys (2010). Energibalansen påverkas av strålnings-, vatten- och växthusgasbalansen. Energibalansen beskriver att energi endast kan omvandlas mellan olika energiformer och energibalansen anger hur energi kan tillföras eller bortföras i olika sammanhang, exempelvis inom en byggnad eller landyta.



### Markanvändningens klimatpåverkan

*Markanvändningens klimatpåverkan är ett resultat av energibalansen, växthusgasbalansen, strålningsbalansen och vattenbalansen.*

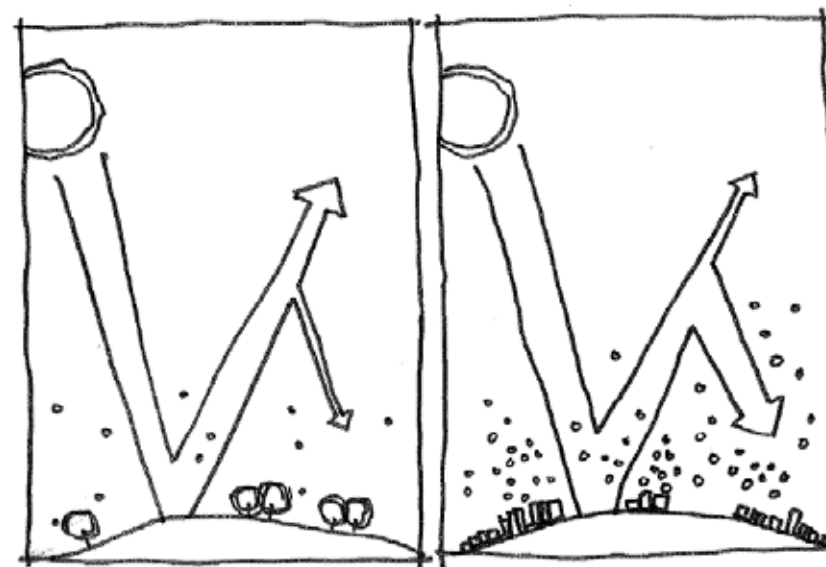
Strålningsbalansen är utbytet av energi mellan atmosfären och jordytan som innefattar exempelvis reflektion och emissivitet (ansökan: SLU-medel till projekt inom fortlöpande miljöanalys, 2010). Solinstrålningen är betydande för energibalansen och enligt Brown & Gillespie (1995, s. 46) beror det urbana mikroklimatet till största delen på hur solinstrålningen förbrukas på ytan, antingen genom konvektion, evaporation eller genom att solenergin upphetar en yta eller objekt. Människan har förmågan att justera solinstrålningen över marken och vi kan blockera, överföra eller justera fördelningen av solstrålning över mark och påverka energiflödet mellan olika brukare anser Brown & Gillespie (1995, s. 46).

Vattenbalansen är ett uttryck för vattenmängdens oföränderlighet och innebär transpiration, avdunstning, infiltration, vattenhalt, konduktivitet och värmelagring i marken (ansökan: SLU-medel till projekt inom fortlöpande miljöanalys, 2010). Green Infrastructure and Hydrology, 2009 visar att vattenbalansen förändras då markens egenskaper och infiltrationskapaciteten försämras. Markens infiltrationsegenskaper som har inverkan på vattenbalansen bestäms av jordarten och jordartens fysikaliska tillstånd. Sandjordar har bra infiltrationsegenskaper men infiltrationen genom lerjordar är sämre. En hårdgjord yta har en ytavrinning som är 10 gånger större än en grönyta (Green Infrastructure and Hydrology, 2009).

Växthusgasbalansen innebär flödet och nettot av växthusgaser till atmosfären, främst koldioxid (ansökan: SLU-medel till projekt inom fortlöpande miljöanalys, 2010). En ökad koldioxidkoncentration i atmosfären ger en effekt på energibalansen och därmed även klimatet. Växterna kan vara en källa till eller en sänka för koldioxid. Vegetationen

lagrar koldioxid när den växer i stam, grenar, blad och rötter och vegetationen fungerar då som kolsänka. När växter dör behålls kolet i det döda organiska materialet och frigörs först vid nedbrytning. Om lagret av kol i växterna minskar, till exempel genom att skog huggs ner, fungerar växterna istället som en källa för koldioxid.

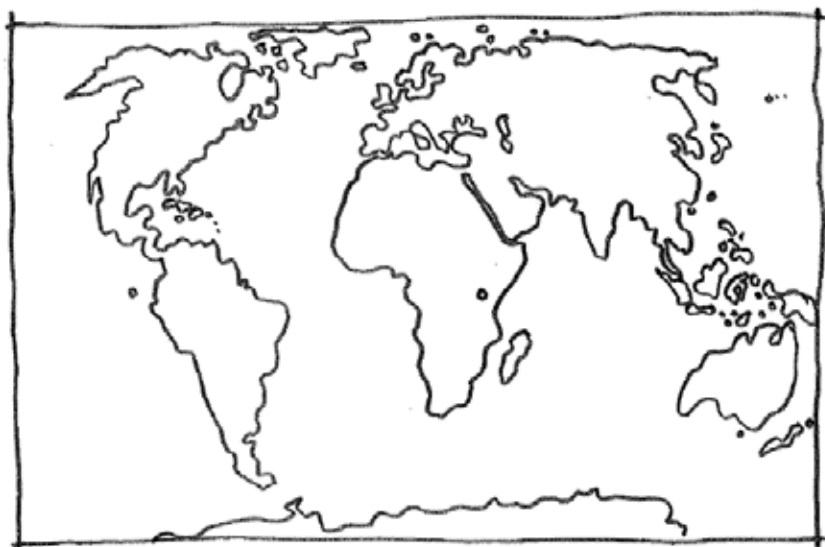
*Markförhållanden kan ändras med tiden, dels beroende på ändrade klimatförhållanden och dels för att det genom mänsklig påverkan kan ske förändringar i området (Boverket 2010 s. 49)*



*Energibalansen påverkas till stor del av solinstrålningen som reflekteras och absorberas i material, ytor och atmosfären. Växthusgaser förstärker återstrålningen från atmosfären.*

## Klimatförutsättningar och globala klimatförändringar

Texten nedan beskriver jorden och atmosfärens fysikaliska inverkan på klimatet och orsaker till globala klimatförändringar. Informationen är hämtad från Nationalencyklopedin (2011) och beskriver de olika klimatelementen som påverkar urbana ytor.



*Klimatet skiftar över jorden och skapar varierade klimatförutsättningar.*

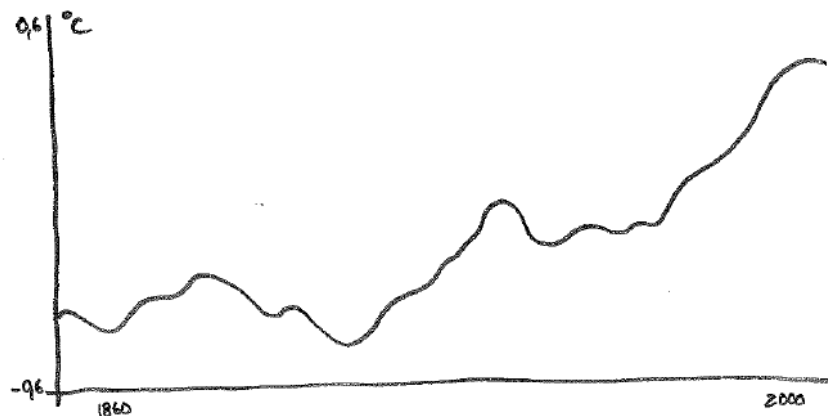
Klimatet skiftar över jorden och skapar varierade klimatförutsättningar för städer. De yttre orsakerna till klimatförhållandena och klimatförändringar är kontinenternas form, läge och kontinentalplattornas rörelser. Klimatet påverkas även av förändringar i jordens bana, jordens mottagande av strålningsenergi, förändringar i jordaxelns lutning, vulkanutbrott och av

jordens avstånd till solen. De viktigaste klimatfaktorerna vid jordens yta är lufttemperatur, lufttryck, luftfuktighet, nederbörd och vind.

Växthuseffekten är atmosfärens värmande inverkan på jordytan och sker på grund av att atmosfären är genomsläpplig för solinstrålning. Då atmosfären kan absorbera värmestrålning från jordytan stannar solens värme kvar på jorden och under ett år tar jordens yta totalt emot mer strålningsenergi än vad den sänder ut. Det är denna överskottsenergi som påverkar jordens klimat på grund av att överflödet av energi överförs till atmosfären. Överföring av energi från mark till atmosfär kan ske genom latent eller sensibelt värmeflöde. Den latent värmen är den energin som krävs för att vatten ska förångas och denna värme kommer sedan att avges i atmosfären vid kondensation, molnbildningen. Sensibel värme innebär att marknära luft värms av underlaget och blir lättare för att sedan stiga och ge plats för ny kallare luft som värms och på detta sett bildas vindar.

Den globala medeltemperaturen för land och hav har ökat från år 1856 fram till idag. Enligt IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) beror jordens uppvärmning efter år 1950 på en ökning av växthusgaser till atmosfären. Enligt IPCC förstärks växthuseffekten med hög sannolikhet av människans utsläpp av växthusgaser och den främsta växthusgasen är koldioxid på grund av att denna absorberar utstrålningen av värme från jorden. Enligt IPCC kommer jordens medeltemperatur att öka med 1,4–4,0 °C fram till år 2100. Uppvärmningen av jorden leder till, att nederbörden över norra halvklotets landområden ökar, snö- och istäcket minskar och glaciärer drar sig tillbaka samtidigt som havets yta stiger.

Utsläppen av koldioxid till atmosfären beror enligt IPCC till 25 % av förändringar i markanvändning och skogsröjning och till 75 % på förbränning av fossila bränslen. Koldioxid finns inte bara i atmosfären utan är en viktig komponent på jorden då den ingår i kolets kretslopp. Vid fotosyntes tar växter upp koldioxid från luften vilket medför en minskning av koldioxidhalten. Fotosyntes är den process då växter omvandlar ljus till bunden energi och koldioxid binds i växten som kol. När växter dör går kolet tillbaka till luften som koldioxid genom nedbrytningen. Minskande växtarealer och avverkning av skog leder därför till ökade koldioxidhalter.



*Jordens medeltemperatur ökar hela tiden.*

## Urban mark – hårdgjorda ytor

Alla ytor i staden är i princip hårdgjorda, förutom vatten- och grönytor visar Johansson (2007). De hårdgjorda ytorna i urbana miljöer utgörs till största del av hustak, parkeringsplatser, gator och vägar och mest förekommande hårda markmaterialen i dagens utemiljö är asfalt, betong, natursten och gummi/plast (Johansson, 2007).

Dagens vägar, gator och parkeringsplatser är till största del asfalterade visar Johansson (2007). Asfalt är den dominerande markbeläggningen och finns även på gångvägar, vistelseytor, lekplatser och skolgårdar. Asfalt är billigt och materialet besitter goda tekniska kvaliteter som slitstyrka. Dränerande asfalt finns och används för sin dränerande och bullerdämpande egenskap. Betong är efter asfalt det mest använda materialet i markbeläggningar och förekommer i en mängd olika färger, former och ytstrukturer. Betongsten och betongplattor läggs på allt från torg till privata trädgårdar. Natursten används ofta där det ställs stora krav på hållbarhet som hårt trafikerade ytor och kantstenar. På trafikerade ytor används vanligen gatsten av granit och på gångytor används stenplattor i olika storlekar och variationer. Kantstenar görs oftast av granit. Natursten är ett relativt dyrt material men väldigt beständigt och motståndskraftigt mot slitage. Sten har en hög värmeledande förmåga. Grus används vid vägbyggen för gångvägar, vistelseytor, lekytor och bollplaner. Grus kan ha fördelar ur dräneringssynpunkt då det släpper igenom vatten, men vid hård belastning kan grusytor kompakteras och den dränerande effekten avtar.

Brown & Gillespie (1995 ss. 50-58) påvisar att typ av material påverkar energibudgeten. Materialets fysikaliska egenskaper avgör nämligen om



Jordens medeltemperatur ökar...

material tillför eller konsumerar energi. Calkins (2007) visar att olika material har olika fysikaliska egenskaper som kan avvägas för att påverka och förändra klimatet i staden. Luftflödet i markmaterialets håligheter påverkar även temperaturen och lagring av värme och kyla under markbeläggningen. Tjockleken och konduktiviteten på markmaterialet kommer att påverka dess temperatureffekt. Ett tunnare lager kommer snabbare att värmas upp på dagen och effektivare svalna av på natten. Ett material som sprider värme snabbt från ytan ner till den svala basen av materialet kommer att behålla mindre värme (Calkins, 2007).

Utemiljöns material är i ständig utveckling och nya kompositioner, sammansättningar av material prövas i olika sammanhang. Plast har blivit vanligare i utemiljö och nya plastsorter tas ständigt fram där ytskiktet kan ha en tät målad yta eller vara öppet och dränerande. Konstgräs läggs inte endast på fotbollsplaner idag, utan återfinns på innergårdar och i parkmiljöer. Även materialet gummi används i större utsträckning och på flera lektytor återfinns gummimattor som bildar mjuka, vänliga vistelseytor (Johansson, D, 2007).

## **Reglering av markanvändning och klimatfrågor**

Markanvändningsplanering förespråkas av Nyström (2003 ss 11-13) då människan kräver stora arealer för exploatering av bostäder, infrastruktur och energiutvinning. Enligt Nyström (2003 ss 11-13) kan markanvändningsplanering innefatta en förändrad markanvändning av en naturlig mark eller förändring av en redan exploaterad mark. Avvägningar mellan att exploatera eller bevara mark blir central i markanvändningsplaneringen för att kunna garantera ett långsiktigt och balanserat samhälle (Nyström 2003 ss 11-13). Planering av markanvändning behövs enligt Nyström (2003 s 51) av två olika anledningar. Den första anledningen är att planeringen vid en förändrad markanvändning ska ske för att åstadkomma största möjliga positiva användning av marken. Den andra anledningen är att införandet av restriktioner på redan befintlig mark kan öka hänsynen till markens värde och dess påverkan (Nyström 2003 s 51). Främst handlar markanvändningsplanering om samhällets behov av att reglera och styra nyttjandet av mark för att garantera en hållbar framtid (Nyström 2003 ss 11-13).

I Sverige regleras markanvändningen och dess klimatpåverkan av lagar och förordningar. Den lag som har störst inverkan på markanvändningen är PBL (Plan och bygglagen). För att bedöma om en förändrad markanvändning medför negativa konsekvenser utförs MKB (miljökonsekvensbeskrivningar) i Sverige. Översiktsplan och detaljplan är de förordningar som reglerar markanvändningen i Sverige.

## **PBL**

Sveriges mark regleras av den fysiska planeringen och styrs av Plan och bygglagen, PBL, understryker Boverket (2010). Kommunerna i Sverige har planmonopol vilket innebär att de ansvarar för att planera och styra kommunens fysiska planläggning. För att främja en planläggning med god anpassning till klimatförändringarna och för att förebygga klimatförändringar har ett nytt lagförtydligande fastlagts. Den nya plan- och bygglagen (2010:900) som träder i kraft den 2 maj 2011 förtydligar att planläggningen ska ta hänsyn till klimataspekter (2 kap. 3§). PBL reglerar markanvändningen för att främja klimatet och mark- och ytförhållanden (Boverket, 2010):

**PBL 5 kap 7§ pkt 5:** Reglering av andel grönyta, andel genomsläpplig yta och andel hårdgjord yta. Andel av tomtytan som ska medge infiltration, exploateringsgrad och maximal andel hårdgjord yta i förhållande till den totala fastighetsarealen.

**PBL 5 kap. 7 § pkt 4:** Utformning av tomt kan regleras så att marken förses med en viss ytbeläggning som kan vara tät eller genomsläpplig, hård eller mjuk, exempelvis asfalt, marksten, grus eller gräs. Åtgärden kan vara lämplig om det finns behov att styra val av markbeläggning för att säkerställa genomsläpplighet och förhindra markavvattning.

## **MKB**

Miljöbalken fastställer att miljökonsekvensbeskrivningar ska utarbetas om det finns risk för skador på miljön i samband med en förändrad markanvändning visar Hedlund & Kjellander (2007 s. 12). MKB är en metod för att förutsäga framtida miljöpåverkan av ett planerat projekt

och resultatet av en MBK syftar till att utreda om exploatering kan ske eller inte ur miljösynpunkt. MKB processen integrerar miljöhänsyn när ett projekt planeras, utformas och beslutas vilket bidrar till projektets miljöanpassning. I Sverige genomförs mer än 2000 MKB:er per år (Hedlund & Kjellander, 2007 s. 12).

## **Översiktsplan, ÖP och detaljplan, DP**

Boverket (2010) understryker att kommunens viktigaste planinstrument för klimataspekter i planering och byggande är översiktsplanen. Med översiktsplanen kan man arbeta överskådligt med markanvändningen för en lämplig lokalisering av bebyggelse och anläggningar. Översiktsplanen är inte juridiskt bindande men vägledande för efterföljande beslut i detaljplaner och bygglov enligt PBL och miljöbalken. Kommunen kan med översiktsplanen framföra riktlinjer, ställningstaganden och rekommendationer angående markanvändning och infrastruktur. Ur klimatsynpunkt kan en ÖP innehålla geologisk och geoteknisk redovisning och hur dessa är strategiskt styrande för markanvändningen. Boverket (2010) poängterar att i översiktsplanen ska det finnas rekommendationer för hur markmiljö bör beaktas vid bygglov och detaljplanering för att sammanlänka klimataspekter i planering och byggande.

Detaljplaner är juridiskt bindande och upprättas av kommunen för detaljerad reglering av markanvändning. Utformningen av mark kan delvis regleras i detaljplanen och andel hårdgjord yta och markmaterial kan föreskrivas. Detaljplanen kan redovisa avvattningsvägar och begränsa den hårdgjorda ytan. För att säkerställa genomsläpplighet av dagvatten kan bestämmelser angående ytbeläggningen upprättas för att vara genomsläpplig, tät, mjuk eller hård (Boverket, 2010).

## Befintliga verktyg och modeller

Det är inte bara lagar och förordningar som styr klimataspekterna i stadsplaneringen. Även användandet av miljöklassificeringar främjar en klimatgenomtänkt planering och gestaltning. Boverkets rapport Mångfunktionella ytor främjar också en klimatgenomtänkt stadsplanering då den förespråkar strategier för klimatanpassning (Boverket, 2010).

### Miljöklassificering

Miljöklassificeringar arbetar med manualer för att främja ett framtida hållbart byggande. I arbetet ingår aspekter och avväganden för en god markanvändning och miljöklassificeringar kan bidra till att markanvändningen övervägs och regleras på ett genomtänkt och hållbart sätt. Miljöklassificeringarna kan omfatta stadsplanering, utformningen av staden och materialval som bidrar till att mildra klimatförändringar. En miljöklassificering möjliggör en bedömning av hur miljömässigt hållbar en byggnad är och kan även fungera som ett verktyg för att välja mer hållbara alternativ. BREEAM och LEED är miljöklassificeringar som inriktar sig mot stadsplanering, markanvändning och materialval visar Sweden Green Building Council (2011).

### BREEAM

Sweden Green Building Council (2011) beskriver BREEAM som det äldsta och mest använda miljöklassningssystemet, vilket legat till grund för mer än 115 000 certifieringar. Utifrån manualerna bedöms byggnaders miljöprestanda inom olika områden som exempelvis energianvändning, vattenhushållning, byggnadsmaterial och markanvändningens påverkan på närmiljön. I manualerna ingår olika betygskriterier och poängsättningar som varje bedömningsområde kan uppnå. Olika poängnivåerna resulterar

i olika betyg: Pass, Good, Very Good, Excellent och Outstanding. För byggnader i Sverige används manualerna inom BREEAM International Europe (Bespoke). BREEAM Communities (2011) är utvecklat för att klassificera projekt inom samhällsbyggande för att klargöra hållbara förslag redan under planskedet.

### LEED

LEED lanserades år 1999 och är utvecklat i USA. Enligt Sweden Green Building Council (2011) är LEED det bedömningsystem som har störst spridning i världen och har utvecklats i olika versioner för att kunna anpassas till alla typer av byggnader. Miljöklassificeringen utgår från områdena energianvändning, vattenanvändning, inomhusklimat och material. Sweden Green Building Council (2011) poängterar att innovation i gestaltningen enligt LEED ger även bonuspoäng och den totala poängen inom varje område återspeglar hur stor miljöpåverkan respektive område har.

### Mångfunktionella ytor

Boverket (2010) gav ut rapporten Mångfunktionella ytor – Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom grönstruktur, i mars 2010. Rapporten är ett miljömålsprojekt inom miljömålsuppföljningen och genomfördes i samarbete med Länsstyrelsen i Skåne län, Sveriges Kommuner och Landsting, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap samt MOVIMUM. Rapporten belyser att den fysiska planeringen är ett viktigt verktyg för att minska klimatförändringarna. Boverket vill med rapporten inspirera kommuner och ge stöd i deras arbete med att klimatanpassa befintlig bebyggd miljö. Boverkets rapport understryker värdet av att inte hårdgöra




mark och beskriver hur vegetation och vatten kan hantera effekter av klimatförändringarna (Boverket, 2010).

Den fysiska planeringen kan vara ett viktigt och effektivt verktyg i kampen om att mildra klimatförändringar understryker Boverket (2010). Mångfunktionella ytor, stadens mellanrum, är de gröna och blå strukturer som kan integreras i staden och utgörs av exempelvis träd, grönområden, dammar och vattendrag. En god planering av mark och vatten kan fungera som temperatursänkare, luftförbättrare och hantera vattenmängder då de avlastar vattenledningssystemet och lindrar effekterna av värmeböljor anser Boverket (2010). Boverket (2010) poängterar att vatten och vegetation måste planeras på strategisk nivå för att därefter i detalj utformas till användbara ytor. Ytorna kan exempelvis utgöras av gatuträd, torg, fickparker, gröna tak, vegetationsklädda väggar eller infiltrationsbäddar. För att kunna planera lösningar med öppen dagvattenhantering anser Boverket (2010) att man måste studera de lokala förhållandena som geologi, hydrologi, topografi, vegetation och klimat. För en öppen dagvattenhantering och infiltration krävs stora ytor i rätt lägen. Dagvatten kan infiltreras via lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD) som i sin tur kan underlätta för kommunens dagvattenledningar.

### **Landskapsarkitektens analys och klimatverktyg**

Idag används olika typer av verktyg och modeller för att minska en negativ klimatpåverkan och för att stödja en framtida hållbar utveckling. Förutom planbestämmelser som kan förespråka mångfunktionella ytor och ett miljöklassificeringssystem finns andra verktyg och modeller som stödjer klimatarbetet. *Grönytefaktorn* är ett verktyg för att beräkna compensationen av mark som hårdgjorts i samband med nyexploatering visar Boverket (2010). Ett exempel från praktiken som belyser klimatarbetet i städer är *Plantera ett träd*, där Malmö stad uppmanar invånarna att bidra till en bättre stadsmiljö och en minskning av koldioxidmängden i atmosfären genom att plantera ett träd i trädgården (Boverket, 2010).

Landskapsarkitekter och planerare har möjlighet att påverka både planeringen och gestaltningen av staden. Städer har olika förutsättningar och klimat och enligt Brown & Gillespie (1995, s. 46) kan man påverka solinstrålningen, vinden och energifördelningen över en plats. Data kan inhämtas för att precisera soltimmar, nederbörd och temperatur över en stad. Landskapsarkitekter har främst två verktyg för klimatanalys, ett skuggdiagram och en vindros. Ett skuggdiagram visar hur byggnader och träd skuggar omgivningen till följd av tid. Med hjälp av ett skuggdiagram kan man analysera städer och dess solförhållanden. Analysen kan ligga till grund för åtgärder kring att begränsa eller tillgodose solinstrålningen på platser i staden. Med hjälp av skuggning kan man justera solinstrålningens exponering på ytor. Med en vindros kan man analysera vanligt förekommande vindar över en plats.



Vetenskapliga artiklar kategoriserades

till olika forskningsinriktningar.

## Metod

För att utreda kopplingar mellan markanvändning och klimat samt att göra en sammanställning av det samtida forskningsläget inom markanvändningens klimatpåverkan för att kunna formulera komponenter till ett plan- och gestaltningsverktyg användes fyra olika metoder.

### 1. Litteraturundersökning av vetenskapliga artiklar

– Litteraturundersökning av vetenskapliga artiklar från databaser för att sammanställa det samtida forskningsläget inom markanvändningens klimatpåverkan och ställa samman artiklar inför en kategorisering.

### 2. Kategorisering

– De vetenskapliga artiklarna kategoriseras och struktureras efter kategori och ämne för att belysa aspekter och komponenter inom markanvändningens klimatpåverkan inför ett plan- och gestaltningsverktyg.

### 3. Plan- och gestaltningsverktyg

– En sammanställning av komponenter inom forskningen för ett framtida plan- och gestaltningsverktyg.

### 4. Projektexempel ur praktiken

– En studie av stadsbyggnadsprojektet, Årstafältet, för att jämföra komponenterna till plan- och gestaltningsverktyget med ett pågående plan- och gestaltningsarbete för att analysera vilka klimatfrågor som behandlas inom aktuell stadsplanering.

## Litteraturundersökning av vetenskapliga artiklar

För att sammanfatta den samtida forskningen kring markanvändningens klimatpåverkan och sammanställa aspekter och komponenter till ett plan- och gestaltningsverktyg genomfördes en litteraturundersökning av vetenskapliga artiklar.

Litteraturundersökningen innebar en fördjupad sökning inom ämnet och specifika sökord användes. Sökningen av vetenskaplig forskning gjordes via referenslistor, sökmotorer och databaser över Internet. De sökmotorer och databaser som användes var ScienceDirect och Web of Knowledge. Sökorden som användes vid litteraturundersökningen i databaser var engelska ord och dessa brukades som enskilda eller i sammansättning med varandra.

### Sökord:

*Albedo, Change, Climate, Cool materials, Design, Global, Impact, Land cover, Land use, Landscape, Materials, Microclimate, Planning, Urban, Urban landform, Urbanization och Vegetation.*

Databassökningen utgjordes från början med hjälp av ScienceDirect och Web of Knowledge. Då båda till största del gav samma träffar och matchningar för varje sökord förflyttades databassökningen till endast ScienceDirect. Databasen ScienceDirect valdes då denna gav en tydligare strukturering av träffar och relaterande artiklar. Sökningen via ScienceDirect gav ett så stort utbud av artiklar att varje sökord resulterade i flera hundra matchningar. För att samla de mest relevanta artiklarna till varje sökord var en reducering högst nödvändig. Urvalet av artiklarna utfördes enligt avgränsningarna för litteraturstudien vilket

innebar att endast samtida forskning, publicerat under 2000-talet togs i beaktning. Av återstående artiklar lästes rubrikerna till de hundra första igenom. Av de artiklar vars rubrik relaterade till rapportens syfte och frågeställning lästes dessa artiklars sammanfattning och sökord för ett sista avvägande och reducering. Om sammanfattningen återknöt till rapportens frågeställning eller markanvändningens klimatpåverkan inkluderades artikeln. Referenslistan till de artiklar som inkluderades granskades.

#### **Inkluderingskriterier:**

- Artiklarna behandlade markanvändningens klimatpåverkan och åtgärder för att minska denna.
- Artiklarna vara inriktade på aspekter och problematiken kring klimatförändringar till följd av markanvändning och åtgärder för att bromsa dessa.
- Artiklarna innefattade exempel, metoder och verktyg för att bromsa en negativ klimatförändring.

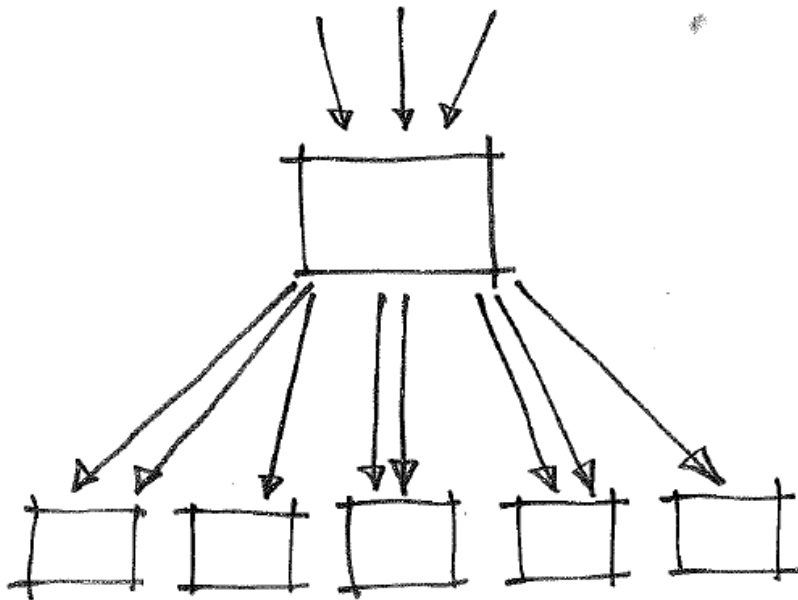
#### **Exkluderingskriterier**, artiklar uteslöts som behandlade:

- Klimatanpassning och hur man planerar/ bygger för ett framtida förändrat klimat.
- Klimatförändringar på grund av urban aktivitet till exempel transport.

#### **Kategorisering**

Kategoriseringen av vetenskapliga artiklar utfördes för att belysa aspekter kring markanvändningens klimatpåverkan och sammanställa komponenter till ett plan- och gestaltningsverktyg. Alla artiklar som insamlades från den internetbaserade databassökningen lästes översiktligt igenom och placerades i en alfabetisk lista efter namnet på författare och artikel. Var och en av artiklarna sammanfattades till en kortfattad text där artikelns innehåll redogjordes. Med utgångspunkt från artikelns innehåll fick varje artikel 2-4 olika nyckelord för att identifiera artikelns ämne.

Därefter jämfördes artiklarnas nyckelord och sammanfattningar för att sammanlänka de artiklar som relaterade till varandra. De artiklar som behandlade likartade ämnen grupperades och sammanställdes till kategorier. Kategorierna var ämnesspecifika och grupperade olika forskningsinriktningar. När alla artiklar kategoriserats, sorterats och återfanns under ämnesspecifika kategorier som inte överlappade varandra ansågs kategoriseringen som fullständig. Namnet på kategorierna baserades på artiklarnas forskningsinriktning. Kategorierna sammanställdes sedan till var sitt kapitel i denna rapport för att redovisa forskningsinriktningarna inom markanvändningens klimatpåverkan och belysa dess betydelsefulla komponenter.



*Artiklar insamlades och kategoriserades inom olika forskningsinriktningar.*

Kategoriseringen utfördes så att var och en av artiklarna endast återfinns under en kategori, den kategori som bäst återgav artikelns ämne. Flera av artiklarna kunna ha underordnats mer än en kategori då forskningen överlappar och refererar till varandra.

### **Plan- och gestaltningsverktyg**

Av litteraturundersökningen och kategoriseringen identifierades och sammanställdes komponenter att ta i beaktande inom markanvändningens klimatpåverkan för planeringen och gestaltningen av den urbana miljön i syfte att minska negativ klimatpåverkan. Komponenterna är formulerade för att skapa grunden och riktlinjer till ett framtida plan- och gestaltningsverktyg.

### **Projektexempel ur praktiken**

Ett projektexempel ur praktiken har studerats för att undersöka skrivningar om klimataspekter i ett aktuellt plan- och gestaltningsprojekt och jämföra dessa med komponenterna till plan- och gestaltningsverktyget. Ett aktuellt projekt valdes för att kunna studera de senaste klimataspekterna inom planering och gestaltning och för att projektet på ett så bra sätt som möjligt skulle kunna sammankopplas med den samtida forskningen och verktyget.

Efter diskussion med ämneskunniga landskapsarkitekter på White Stockholm valdes Årstafältet som aktuellt projektexempel. Informationen tillhandahölls av White arkitekter och baserades på programmet till detaljplanen av området. Informationen kring Årstafältet sammanställdes till en text som redovisade de klimatkomponenter som planeringen och gestaltningen av Årstafältet fokuserade på. Materialet sammanställdes till en punktlista för att kunna jämföras med komponenterna till plan- och gestaltningsverktyget. Därefter analyserades materialet med avseende utifrån komponenterna och planeringens klimatpåverkan.



Litteraturundersökningen visade att urbanisering

och förändrad markanvändning påverkar det globala klimatet.

## Resultat litteraturundersökning

Litteraturundersökningen resulterade i 36 vetenskapliga artiklar från internetbaserade databaser som kategoriserades och sammanställdes, artiklarna redovisas i Bilaga 1. Den samtida forskningen svarade på forskningsfrågorna som ställdes i rapportens inledning. Frågorna var preciserade till hur urbaniseringen påverkar markanvändningen och det globala klimatet, om stadens utformning bidrar till en negativ inverkan på det globala klimatet, om vegetation och material påverkar klimatet globalt och i staden samt vilka frågor som framtida forskning behöver besvara. Det samtida forskningsläget inom markanvändningens klimatpåverkan och redovisas nedan.

**Urbanisering och förändrad markanvändning påverkar det globala klimatet** - År 2050 beräknas att 70 % av världens befolkning kommer att bo i tätorter (Seto & Shepherd, 2009). Madlener & Sunak (2010) anser att urbaniseringen är en nyckelkomponent för ekonomisk utveckling och leder till en koncentration av resurser, resursförbrukning och ekonomisk verksamhet. Madlener & Sunak, (2010) påvisar att städer endast täcker 2 % av jordens yta men förbrukar 75 % av jordens resurser och att urbaniseringen leder till en betydande ökning i konsumtionen av energi och bränsle. Marland et al (2003) visar att markytans förändring är en viktig komponent till klimatförändringar. En förändring av ytors energibudget kan påverka både det lokala, regionala och globala klimatet. Markförändringens inverkan på klimatet är likställt med utsläppen av koldioxid från fossila bränslen konstaterar Marland et al (2003). Forskningen påvisade även att urban markanvändning och förändringar i marktäcket har en *stor* påverkan på klimatet och att urbaniseringen påverkar flödet av vatten, kol, aerosoler och kväve till klimatsystemet (Seto & Shepherd, 2009).

**Hårdgjorda ytor har en negativ inverkan på klimatet** - Täckande ytor ger distinkt miljöpåverkan, fastställer Pauleit & Duhme (2000) som klargör urbana marktäckande enheters klimatpåverkan och energiflöden. För att klargöra klimatpåverkan och energiflöden genomfördes fallstudier för bebyggda och öppna ytor då dess inverkan på hydrologi, urbant klimat, koldioxidutsläpp och energiförbrukning till följd av uppvärmning studerades (Pauleit & Duhme, 2000).

Montague & Kjelgren (2004) påvisar att hos icke vegetativa ytor är ytans temperatur högre och mer värmestrålning frigges, än hos vegetativa ytor. Täckande ytor har olika klimatpåverkan på grund av att de har olika energibalanser. Deras undersökning har fastställt sex olika urbana ytors energibalanser. Dessa ytor var asfalt, grus, lavastenar, betong, tallbarks-kompost och torv. Undersökningen påvisade att albedot var störst för betong och minst för lavastenar, men att den värmeledande förmågan var störst för asfalt och minst för lavastenar och tallbark. Största värmefflödet hade asfalt och betong vilket dessutom ledde till att temperaturen i marken under var högst. Lägst värmefflöde och temperatur hade tallbarken. Barken och lavastenarna hindrade en stor del av strålningen och energiflödet att komma ned till jorden under, visar Montague & Kjelgren (2004). Studiens resultat ger en tydlig bild av hur hårdgjorda ytor lagrar energi vilket påverkar klimatet negativt.

**Urban värmeö, en negativ klimateffekt till följd av urbanisering** - Enligt Wonga, Jusuf & Tan (2011) har det senaste årtiondets huvudsakliga forskningsområde inom urban klimatologi varit fenomenet urban värmeö. Forskningen har kretsat kring den urbana värmeöns negativa aspekter och metoder för att förmildra dessa (Wonga, Jusuf & Tan, 2011).

Energibalansen för urbana markbelägningars material är den största bidragande faktorn till urbana värmeöar (Rosheidat & Bryan, 2010). Urbana värmeöar ökar energiförbrukningen i stadens byggnader till följd av kylning och luftkonditionering men med reflekterande material minskar absorptionsen av solstrålning och mildrar värmeöar (Synnefa, Karlessi, Gaitani, Santamouris, Assimakopoulos, & Papakatsikas, 2010).

McCarthy, Best & Betts, 2010 konstaterar att regioner med hög befolkningsökning sammanfaller med regioner med hög potential för urbana värmeöar. Akbari, Pomerantz & Taha (2001) anser, att för att kompensera eller upphäva en värmeö behövs förutom en högt albedo på stadens material också en ökad användning av stadsträd. För att uppfylla detta behövs strategier och program för att utveckla en hållbar struktur av stadsträd. En minskning av värmeöar skulle kunna spara 20 % av energiförbrukningen som uppkommer på grund av luftkonditionering. Dessa strategier som motverkar värmeöar skulle även kunna förbättra luftkvaliteten i staden anser Akbari, Pomerantz & Taha (2001). Trots att viss forskning påvisar urbana värmeöar och åtgärder för att minska dessa finns forskning som dementerar klimateffekten värmeö. Peterson (2010) anser att det finns inhomogeniteter i alla analyser av den urbana värmeöns påverkan på temperaturen. Peterson anser även att det inte finns bevis för att urbaniseringen påverkar den årliga temperaturen, vilket McCarthy, Best & Betts (2010) hävdar.

**Stadens utformning bidrar till urbana klimateffekter och påverkar det globala klimatet** - Urbana klimateffekter beror på den fysiska utformningen av staden, dess tredimensionella geometri, material och funktioner (Mills et al, 2010). Förändringar av stadsmiljön

kommer att förstärka eller förminska klimatskillnaderna och påverka energiförbrukningen av byggnader (Davies, Steadman & Oreszczyn, 2008). Bourbia & Boucheriba (2010) anser att gatan är en viktig beståndsdel i den fysiska utformningen av staden och dess tredimensionella geometri. Då geometrin längs en gata kan förändras, förändras och varierar även mikroklimatet (Bourbia & Boucheriba, 2010). Yang, Lau & Qian (2011) visar att urbana värmeöar påverkas av byggnaders densitet, utformning och av grönskan i staden.

**Vegetation kan reducera värmeöar och har en positiv inverkan på det globala klimatet** - Bowler, Buyung, Knight & Pullin (2010) fastställer att platser med grönska är svalare än platser utan grönska. Dimoudi & Nikolopoulou (2003) anser att vegetation i urbana miljöer har påverkan på mikroklimatet och solljuset och att vegetationens effekter kan minska energiförbrukningen hos byggnader. Akbari (2002) påvisar att skuggande träd i staden har betydande fördelar för att minska byggnaders luftkonditionering och förbättra luftkvaliteten i staden och besparingar kan vara upp till 200 dollar per träd. Träd har även en stor inverkan på bindningen av koldioxid och bromsar därmed globala uppvärmningar (Akbari, 2002).

En studie som beaktat träd utifrån dess strålningsutbyte och värmeledande förmåga visar att ytemperaturen i en stad reduceras i närvaro av träd (Robitu, Musy, Inard & Groleau, 2006). För att behålla trädplanteringar i urbana miljöer och för att stärka en hållbar trädstruktur i en expanderande stadsmiljö måste avvägningar kring trädens placering, artval, ålder och mångfald göras (Kirnbauer, Kenney, Churchill & Baetz, 2009). Småbladiga träd förblir generellt svalare i en



stad än storbladiga träd (Leuzinger, Vogt & Körner, 2010). Rosheidat & Bryan (2010) anger att en stor del av forskningen rekommenderar trädplanteringar som huvudstrategi för att mildra urbana värmeöar. Träd har dock egenskaperna att de skuggar fotgängare på dagen och minskar Sky View faktorn och materials återstrålning till himlen under natten. Rosheidat & Bryan (2010) anser att det skulle kunna vara mer fördelaktigt att använda låg vegetation istället för stadsträd vilket Yang, Lau & Qian (2011) motsäger.

**Materialvalet påverkar både klimatet i staden och det globala klimatet** - Ett ökat albedo av en stenlagd yta håller ytan svalare i solen, minskar konvektionen av värme till luften och minskar därmed den omgivande luftens temperatur (Levinson & Akbari, 2002). Genom att använda ”kalla” material, material med högt albedo och hög emittans på byggnader och urbana strukturer kan man mildra värmeöar i staden (Santamouris, Synnefa & Karlessi, 2011). Enligt Doulos, Santamouris & Livada (2004) kan material även benämnas som kalla på grund av dess termiska och fysikaliska egenskaper. Materialens utformning till färg, ytjämnhet och dimensionering kan även påverka. Kalla material bidrar inte bara till att bekämpa värmeöar utan kan även minska byggnaders elförbrukning anser Doulos, Santamouris & Livada (2004). Synnefa et al (2010) anser att man kan modifiera material i staden för att de ska ha en bättre inverkan på temperaturen. En undersökning av egenskaper och termisk prestanda för fem olika färger på ett lager asfalt visade, att dessa hade en lägre yttemperatur än hos en traditionell asfalt enligt Synnefa et al (2010).

Yttemperaturen är lägre hos vattenhållande gatubeläggningar på grund

av avdunstningen från ytan, trottoarens vattenvolym och ytans ökade reflektans (Nakayamaa & Fujita, 2010). Genom att göra trottoarer ”kallare” i och med att öka dess reflektionsförmåga för solljus ökar även trottoarernas livslängd enligt Pomerantz, Akbari & Harvey (-). En ökad reflektionsförmåga medför även besparingar på gatubelysning anser Pomerantz, Akbari & Harvey (-). Smutsiga tak i staden har sämre reflektionsförmåga och medför en sämre inverkan på lufttemperaturen och byggnaders energiförbrukning (Akbari, Berhe, Levinson, Graveline, Foley, Delgado & Paroli, -). Nedsmutsning, vittring och slitage reducerar även den genomsnittliga reflektionsförmågan för betong (Levinson & Akbari, 2002).

**Identifierade luckor i kunskapen om markanvändningens klimatåverkan** - Då förändring av marken leder till klimatförändringar visar Marland et al (2003) att det behövs ett system för att beräkna inflöden och utflöden av kol till biosfären. Enligt Madlener & Sunak (2010) kommer nya expanderade storstäder i utvecklingsländer under de närmaste årtiondena spela en viktig roll när det gäller utvecklingen och distributionen av den globala efterfrågan på energi. Madlener & Sunak (2010) påvisar att energiplanering är ett viktig framtida forskningsområde och är avgörande för att klara en hållbar energiframtid. GIS är ett bra designverktyg men urbana planerare tenderar att inte anamma denna teknik och Wonga, Jusuf & Tan (2011) vill utveckla ett mer användarvänligt framtida system för stadsplanering som kan ta över efter GIS. Enligt Bowler, Buyung, Knight & Pullin (2010) stödjer många studier att platser med grönska är svalare än icke gröna områden. Ytterligare forskning är nödvändig för att effektivt styra utformningen och planeringen av grönområden i staden anser Bowler, Buyung, Knight & Pullin (2010).



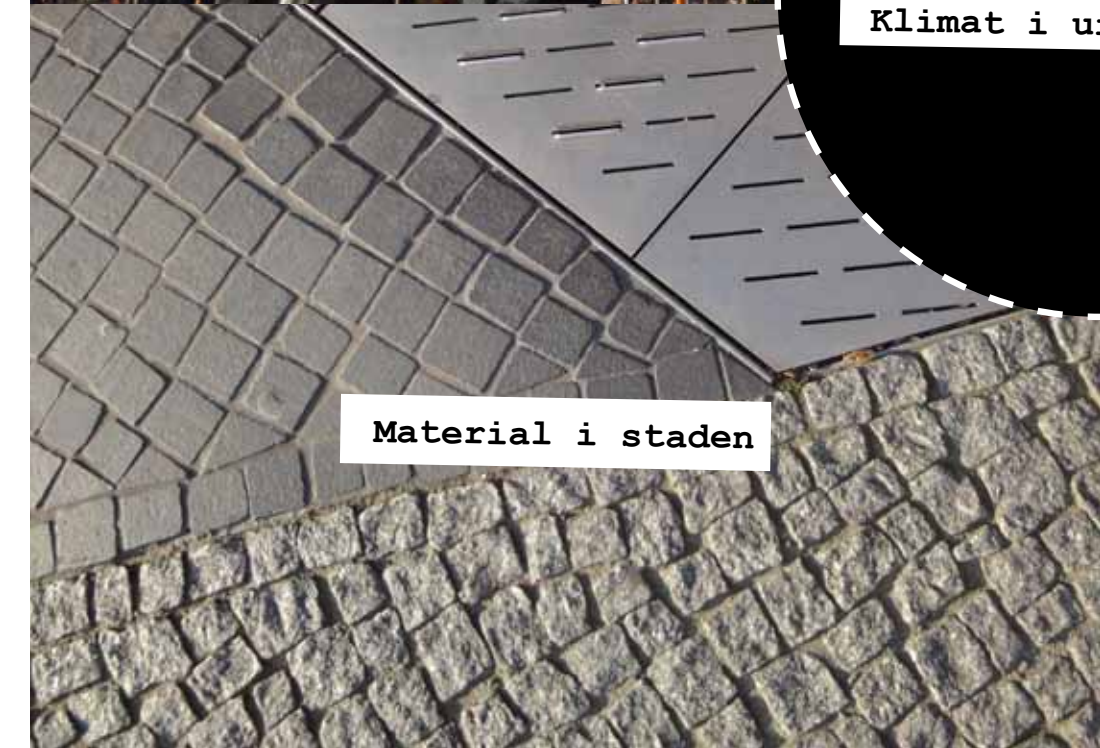
Stadsbyggnad



Markanvändning



Klimat i urban miljö



Material i staden



Vegetation

## Resultat kategorisering

De 36 vetenskapliga artiklarna från litteraturundersökningen kategoriserades till 5 ämnesområden, forskningsinriktningar. Dessa var klimat i urban miljö, stadsbyggnad, markanvändning, material i staden och vegetation. Forskningsinriktningarna svarade på forskningsfrågor som ställdes i rapportens inledning angående hur det samtida forskningsläget är och vilka aspekter forskningen behandlar som skulle kunna minska markanvändningens klimatpåverkan.

### Resultat:

Kategori	Antal artiklar
Klimat i urban miljö	4
Stadsbyggnad	7
Markanvändning	3
Material i staden	8
Vegetation	13

*Tabellen redovisar ämnesområdena från kategoriseringen och antalet vetenskapliga artiklar som behandlade varje ämnesområde.*

Kategoriseringen utvisar att den samtida forskningen behandlar områdena klimat i urban miljö, stadsbyggnad, markanvändning, material i staden och vegetation. Med hjälp av kategorierna kunde komponenter till framtidens plan- och gestaltningsverktyget senare sammanställas. Nedan redovisas varje kategori/ forskningsinriktning och dess innefattande aspekter. Kapitlen baseras på vetenskapliga artiklar och kompletteras med rapporter och litteratur.



Exempel på  
Klimat i urban miljö  
**Peking**

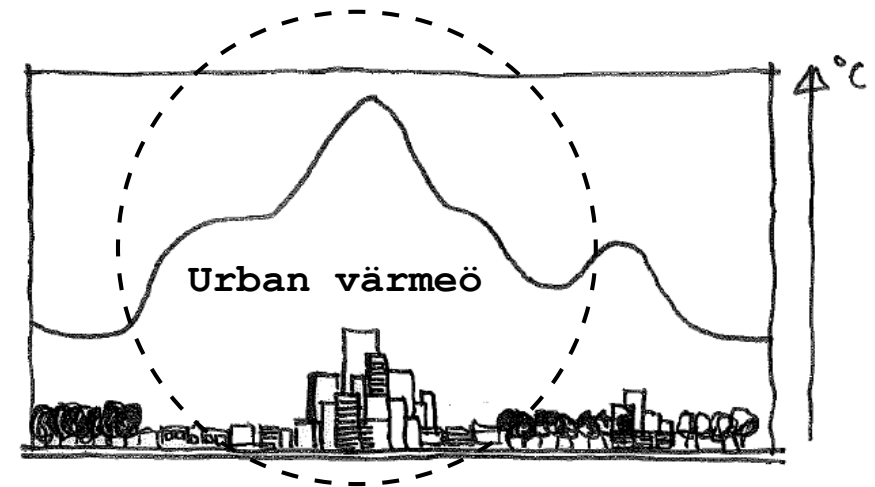
I varma städer ökar efterfrågan på luftkonditionering, detta har

betydande effekt för klimatet då elproduktionen ökar...

## Klimat i urban miljö

Globala klimatförändringarna drivs som tidigare nämnts på, till stor del av den snabba befolkningstillväxten på jorden och städernas oproportionerliga resursförbrukning konstaterar Grimmond (2007). Markanvändningen och stadsplaneringens förändring av ytor har effekter på både mikroklimatet och det lokala klimatet och climateffekterna till följd av urbaniseringen har länge dokumenterats. Med insatser på lokal och regional nivå finns potential att mildra globala klimatförändringar, både direkt och indirekt påvisar Grimmond (2007). Förändrade markförhållanden kombinerat med städernas utsläpp av värme, förorenade ämnen och koldioxid resulterar i ett distinkt urbant klimat (Grimmond, 2007). En urban värmeö är den climateffekt som innebär att temperaturen i en stad är högre än temperaturen i omkringliggande landskap och generellt sägs den urbana lufttemperaturen ligga på 1-3 grader Celsius högre än omlandet påvisar Oke (1978, s 291). Skillnader mellan den urbana temperaturen och omgivande landområden kan vara upp till 10 grader Celsius och kan förekomma under specifika väderförhållanden, som när himlen är klar och vindhastigheten låg (Oke, 1978). Under molniga och blåsiga förhållanden minskar solinstrålningen och vinden ökar blandningen av luft, vilket resulterar i att skillnader i lufttemperaturen minskar (Grimmond, 2007).

Urbana värmeöar är det mest dokumenterade exemplet av climateffekter till följd av urbana klimatförändringar och klimatmodifikation (Santamouris, 2001, s 48). En värmeös form och storlek varierar på grund av rumsliga och temporala variationer och är ett resultat av klimat, topografi, fysisk utformning och kortvariga väderförhållanden enligt Santamouris (2001, s 48).



*En urban värmeö. En övergripande bild av en stads densitet och dess effekt på lufttemperaturen. Ju högre densitet ju högre temperatur. Bilden är baserad på en bild från (<http://deadwildroses.wordpress.com/2010/07/01/hot-town-summer-in-the-city-go-go-urban-heating/>, 2011-03-15)*

En urban värmeö bestäms och formas efter varje stads unika karaktär (Santamouris, 2001, s 50) och enligt Grimmond (2007) har städernas centrala delar en högre densitet av byggnader, vilket leder till att varmare temperatur tenderar att finnas på dessa platser. Strukturen och utformningen av staden påverkar tillgången på sol under dagen och förlusten av långvägig strålning på natten. Stadens material har en hög kapacitet för värmelagring och lagrar därför solens strålning som värme och energi. Förlusten av strålning under natten blir låg därför att staden har lagrat mer värme än vad den hinner göra av med. Byggnadsmassan och de hårdgjorda ytorna i staden har en hög kapacitet för värmelagring. Den lagrade strålningen påverkar värmen, luftflödet och vindhastigheten

genom en stad och därför tenderar städer att ha en högre temperatur. Städer är dock dynamiska och den urbana temperaturen tenderar att förändras över längre tidsperioder visar Grimmond (2007).

I varma städer ökar efterfrågan på luftkonditionering, vilket har betydande effekter för både den lokala skalan och den globala då växthusgaserna ökar på grund av ökad elproduktion, poängterar Grimmond (2007). Den största efterfrågan på energi är idag under sommaren. Under några av de varmaste perioderna i London och Los Angeles år 2006 var energiefterfrågan så stor, att man inte kunde tillgodose efterfrågan på energi, vilket resulterade i elavbrott. Idag är det viktigt att arbeta med förmildrande åtgärder för den urbana temperaturen för att minska efterfrågan på energi. Förvaltning av energiresurser är ett viktigt arbete för framtiden anser Grimmond (2007).

Akbari, Pomerantz & Taha (2001) påvisar att efterfrågan på elektricitet i en stad ökar med 2-4% för varje 1 grads temperaturökning. Uppskattningsvis är 5-10% av den nuvarande efterfrågan på elektricitet i städer till för att kyla byggnader och kompensera de 0,5-3,08 grader Celsius temperaturökning som redan skett fram tills idag. En begränsning av värmeöar har uppskattas kunna minska luftkonditioneringen och USA:s energiförbrukning med 20 %, vilket skulle spara över 10 miljoner dollar per år enligt Akbari, Pomerantz & Taha (2001). Städer har redan förändrat sitt egna klimat då temperaturer är högre, ventilationen är svagare och luftkvaliteten är lägre, vilket betyder att städer är svaga inför framtida globala klimatförändringar påpekar Grimmond et al (2010). Då urbana värmeöar direkt är sammankopplade med behovet och användningen av energi i städer och energianvändningen genererar växthusgaser som

bidrar till globala klimatförändringar, är städer både bidragare till och påverkade av klimatförändringarna och dess uppvärmning av jorden (Grimmond et al, 2010).



Reflekerande material kan motverka urbana värmeöar.



Stadsmiljöer består till stor del av hårdgjorda ytor,  
vilka har låg infiltrationskapacitet och låg kylande effekt.



## Stadsbyggnad

Utformningen av det urbana landskapet kan ha stor inverkan på intensiteten och förmildrande omständigheter för urbana värmeöar (Calkins, 2007). Morfologin och utformningen av en stads klimatförutsättningar karaktäriseras av höjd, bredd och densiteten av byggnader (Grimmond, 2007).

### Stadens täthet

En tät och heterogen bebyggelse ger lä och skydd (Bokalders & Block, 1997) men städer har ofta en hög densitet av byggmassa, vilket leder till en hög kapacitet för värmelagring visar Grimmond (2007). Stadsmiljöer består till stor del av hårdgjorda ytor, vilka har låg infiltrationskapacitet och låg kylande effekt. Stadens bebyggelse och hårdgjorda ytor leder till att temperaturen ökar och luftfuktigheten blir lägre. Tät bebyggelse gör att städer blir sårbara vid extrema temperaturförändringar, vindförhållanden och nederbörd. Under natten fungerar de hårda materialen som element och utsöndrar värme, vilket leder till att städer inte kyls lika effektivt som omlandet. Stadens värmelagring beror till stor del på de urbana komponenternas albedo (Grimmond, 2007).


Förtätning av staden påverkar klimatarbetet stort. Förtätning effektiviserar resursanvändningen genom att den minskar avstånden i staden som i sin tur bidrar till en minskning av bilkörande och växthusgasutsläpp. Calkins (2007) påvisar att stadens geometri påverkar skuggningen av mark då byggnaders olika utformningar och storlekar skuggar närliggande ytor. Dock får inte byggnaderna stå för nära varandra, då det istället kan öka temperaturen och påverka temperaturförhållandena i staden negativt anser Calkins (2007).

### Byggnader

Med hjälp av en genomtänkt dimensionering av stadens densitet och byggnader kan man minska risken för urbana värmeöar. En god utformning ska garantera en stad med hög densitet av byggnader men som samtidigt har en struktur för att tillgodose stadens gator med dagsljus. Solens infallsvinklar kan man planera genom att justera solens instrålning i den riktning man önskar (Bokalders & Block, 1997). En tillräcklig genomsläpplighet av vind mellan byggnader är viktig för att utjämna temperaturskillnader. Dock kan höga byggnader dra ned vindar till gatunivå och göra gatorna blåsiga (Bokalders & Block, 1997).

### Gator

Gator utgör en genomgående struktur i staden och är viktig för det urbana klimatet påvisar Grimmond (2007). Gatans geometri varierar och definieras av förhållanden mellan höjd, bredd och längd. Sky View faktor är ett uttryck för gatans höjd och bredd och visar hur mycket av himlen som exponeras på gatan. En hög Sky View faktor betyder, att en stor del av himlen är exponerad på gatan och därför kommer en stor del av solstrålningen att infalla på gatan. En hög Sky View faktor betyder att gatan är utsatt för en hög solinstrålning som påverkar gatans värmelagring. En låg Sky View faktor påvisar att en stor del av gatan är skuggad eller skymd och därför kommer endast en liten del av solinstrålning att falla in på gatan. Gatans geometriska utformning påverkar upptag och utsläpp av solenergi och utgående långvågig strålning som påverkar lufttemperaturen. Mikroklimatet kan variera längst en gata och har effekter på omkringliggande byggnader visar Grimmond (2007).

A wide, green lawn in an urban setting. In the background, there are several modern buildings, including a prominent one with a yellow cylindrical section and a large glass facade. The sky is blue with scattered white clouds. A few people are walking on the lawn. The text is overlaid on the lawn in two white boxes.

Ett ökat koldioxidutsläpp i urbana miljöer  
beror främst på en förändrad markanvändning.

## Markanvändning

Enligt Seto and Shepherd (2009) har den urbana populationen årligen vuxit med 1.7% de senaste två årtiondena men den urbana markförändringen har vuxit snabbare och ökat med 3.3 % per år. Förändrad markanvändning till följd av urbanisering leder till sönderdelning av marken och förändrade markegenskaper, vilket är fundamentalt för globala klimatförändringarna.

Urbaniseringen påverkar klimatsystemet då det fungerar som en värmekälla, har låg kapacitet för vattenlagring, är ett hinder för atmosfäriska rörelser och är en källa för föroreningar påvisar Seto and Shepherd (2009). Dessa egenskaper påverkar ytornas energibudget, vattenbalansen och växthusgasbalansens kol och kväve. På grund av dessa förändringar lokalt utbredds påverkningarna till global nivå. Studier visar att urbana värmeöar är korrelerade med markförändringar. Enligt Seto and Shepherd (2009) sker urbaniseringen på jordens mest bördiga mark, vilket har en stor negativ effekt från regional och global skala. Olika marktyper har olika fysikaliska egenskaper, vilket betyder att exploatering på olika mark har olika effekter för klimatet. En sammanställning av olika jord-, mark- och yttypers fysikaliska egenskaper finns i Bilaga 2.

Röjning och exploatering av mark för byggandet av städer och infrastruktur är enligt Svirejeva-Hopkins, Schellhuber, & Pomaz (2004) en av de största orsakerna till en förändrad markanvändning. Grimmond et al (2010) poängterar att förändringar av markanvändningen regionalt, förutom skogsavverkningen till följd av expanderande städer, innebär att nya material tillkommit och nya dräneringssystem skapas. En markanvändning som förändrar vegetativa ytor och jordförhållanden påverkar flödet av kol från marken till atmosfären visar Svirejeva-Hopkins, Schellhuber, & Pomaz (2004). Ett exempel på detta är, att

en ökad skogsavverkning har minskat de globala kolsänkorna och ökat koldioxidhalten till atmosfären. Ett ökat koldioxidutsläpp leder till att växthusgaserna i atmosfären ökar och orsakar en förhöjd växthusgaseffekt. Ett ökat koldioxidutsläpp i urbana miljöer beror främst på en förändrad markanvändning och förbränningen av fossila bränslen visar Grimmond et al (2010). Ca 70 % av koldioxidutsläppen sker i städer enligt Grimmond et al (2010) och Svirejeva-Hopkins (2004) hävdar att det kan vara upp till 90 % av koldioxidutsläppen som är från städer. Utsläppen av koldioxid uppkommer till följd av minskade vegetativa ytor, uppvärmning, kylning, transporter och industrier i staden enligt Grimmond et al (2010).

### Tabell över olika material i staden

<u>Material</u>	<u>Albedo</u>	<u>Emittans</u>	<u>SRI</u>
Svart akrylfärg	0.05	0.9	0
Ny asfalt	0.05	0.9	0
Åldrad asfalt	0.1	0.9	6
“Vit” asfalt	0.21	0.91	21
Åldrad betong	0.2 till 0.3	0.9	19 till 32
Ny betong (vanlig)	0.35 till 0.45	0.9	38 till 52
Ny vit Portland- cement betong	0.7 till 0.8	0.9	86 till 100
Vit akrylfärg	0.8	0.9	100

*Olika material och dess olika egenskaper för att beräkna materialets klimatpåverkan i en stad.  
(Concretethinker, 2011)*

**Material i staden.**

## Material i staden

Den mest effektiva strategin för att inom stadsplanering minska värmeöar är att använda material med höga reflektiva egenskaper anser Calkins (2007). Enligt Calkins (2007) måste man börja fokusera mer på markmaterialet för att dämpa urbana värmeöar. Calkins (2007) anser att man självklart ska använda sig av de vedertagna metoderna mot urbana värmeöar som kalla tak, gröna tak och urban vegetation, men med hjälp av markmaterialet kan man skapa en ännu effektivare förmildrande åtgärd.

Olika material har olika fysikaliska egenskaper som påverkar materialens förmåga att hantera inkommande solstrålning. För att beräkna och undersöka materialens egenskaper används albedo och solar reflectance index (SRI). Albedo är ett mått på en ytas eller materials reflektionsförmåga. Med hjälp av albedot på olika komponenter och ytor i staden kan man reglera om solinstrålningen ska reflekteras av ytan eller om ytan ska absorbera solstrålningen och lagra den som värme. En reflekterande yta upplevs kallare än en absorberande yta. Albedot bedöms utifrån en skala från 0,0 till 1,0. Albedot 0,0 innebär att en yta absorberar all inkommande strålning och ett värde på 1,0 innebär att ytan reflekterar all inkommande strålning. Främst är albedot kopplat till färger och en ljusare färg innebär högre reflekterande förmåga och ett högre albedo poängterar Calkins (2007). Man kan även justera vinklarna på olika objekt för att få en önskad mängd infallande solenergi till ett område. Med albedot blir man även medveten om vad olika objekt och olika ytor kan bidra med till mikroklimatet på en plats (Brown & Gillespie s. 50 1995).

SRI är ett sammansatt index som kallas solreflektans index och används av US Green Building Council (USGBC, 2005). Indexet visar den uppskattade värmen en yta får när den utsätts för fullt solljus. En ytas temperatur beror på solinstrålningen och ytas reflektans och emittans. SRI används för att bestämma effekten av reflektansen och emittansen på en ytas temperatur och kan variera från 100 för en vit yta till noll för en svart yta. Material med högs SRI är de kallaste och mest lämpliga att använda för att lindra en värmeö. Emittansen, en ytas emissivitet, är en ytas egenskap att behålla eller släppa värme. Måttet på emittansen är ett värde mellan 0 och 1. Aluminium har en emittans mindre än 0,1 och en svart yta har mer än 0,9 i värde. Ett byggmaterial med hög solreflektans har oftast ett högt SRI (Concretethinker, 2011).

Vid en miljöcertifiering via LEED belönas man av att använda betongytor vid nybyggnation och vid större renovering. Detta beror på att betongytor anses som svala ytor. Svala ytor med ett index på minst 29 SRI, ska utgöra minst hälften av områdets hårdgjorda ytor (tak är inte inräknade) som exempelvis vägar, trottoarer, bakgårdar och parkeringsplatser. Ett högt index kommer att minska effekten av värmeöar och spara energi genom att minska efterfrågan på luftkonditionering och en förbättrad luftkvalitet. På tak ställs det högre krav vid LEED certifiering. 75 % av taken behöver ha ett SRI på 78 eller högre vid lågt sluttande tak eller 29 och bättre för brant sluttande tak. Andra alternativ för tak är att 50 % av taken skall vara gröna tak understryker Concretethinker (2011). En sammanställning av vanligt förekommande takmaterials solreflektans, emittans och SRI gjord av Santamouris, Synnefa och Karlessi (2011) återfinns i Bilaga 3.



## Vegetation.

Rapporten Mångfunktionella ytor av Boverket (2010) har sammanställt en lista med fördelar av att använda vegetation och vatten i urbana miljöer.

### Fördelar med vegetation och vatten:

- Rening av luft
- Klimatutjämning
- Temperatursänkande kvaliteter
- Utjämnar lokalklimatet
- Vattenrening
- Tar upp dagvatten
- Hindrar läckage av näringsämnen
- Energieffektivisering
- Minskar luftkonditionering

## Vegetation

Vegetation (Boverket, 2010) är troligtvis det mest mångsidiga strategin för att påverka klimatet i staden och har en betydande förmildrande effekt på urbana vämeöar. Vegetationen kan ge skugga, hantera luftföroreningar, binda koldioxid och ge evaporativ kylning av luften (Boverket, 2010).

Vid universitetet i Manchester har projektet ”Adaption Strategies in the Urban Environment” beräknat att om andelen gröna områden i staden ökade med 10 % skulle en temperaturminskning med fyra grader Celsius kunna ske (Auburn University study, 2008).

Evaporationen hos vegetation är en viktig process då energi konsumeras från solstrålning, vilket motverkar värmelagring samt kyler vegetationens blad och temperaturen runt dessa. I kontrast till detta absorberar hårdgjorda material den energi de utsätts för av solstrålarnas exponering istället för att avge den. I ett liknande fall kan då vegetation ha en ytterligare positiv inverkan då den skuggar urbana ytor och motverkar att ytorna absorberar inkommande solstrålar och uppvärmningen av marken och luften. Urban grönska, i form av parker och stadsträd sänker temperaturen påvisar Bowler et al (2010). Bowler et al (2010) påvisar även att skuggan från träd är viktig som ett temperatursänkande medel och att temperaturen över ickeskuggande grönytor och över kort vegetation också är lägre. Grönområden och vatten har stor betydelse för den hydrologiska balansen över ett större område visar Boverket (2010). Grönytor och vatten har många positiva hydrologiska funktioner som exempelvis vattenavledande förmåga, infiltration via naturlig dränering, reningsförmåga, reducerar ytavrinning och vattenmagasin (Boverket, 2010).



En sammanställning i Trädplan för Lund (2009) sammanställer fördelar med stadsträd:

**Fördelar med stadsträd:**

- Löv och grenar absorberar ljus och dämpar regn.
- Träd kan binda stora mängder vatten vid nederbörd.
- Träd kan rena luft genom att binda giftiga ämnen och partiklar.
- Luftfiltrerande.
- Temperaturreglerande, träd ger skugga och kan utjämna temperaturvariationer.
- Regnskyddande.
- Dagvattenfördröjande.
- Vindbromsande. Trädkronan bromsar upp och splittrar upp hårda vindar.
- Avdunsta vatten.
- Bindning av koldioxid.
- Produktion av syre.



## Stadsträd

Träd är effektiva klimatreglerare och ett stort träd transpirerar ca 400 liter vatten per dag (Pauleit, 2008). Stadsträd kan skugga både hårdgjorda ytor och byggnader och lövträd har fördel i att de reglerar ljusinsläpp genom året, under sommaren när skugga behövs skyddar trädens blad och under vinterhalvåret är ljusinsläppet maximalt (Energi och klimatrådgivarna Värmland, 2009). Trots att löv skuggar, transmitteras dock solinstrålning genom lövet och 25 % av solens totala strålningsenergi kommer genom (Brown & Gillespie 1995).


Skuggning av material med hjälp av träd kan minimera värmelagring och förmildra effekten av värmeöar enligt Calkins (2007). Om en markbeläggning skuggas kommer oxidationen av bindningsmedlet i materialet att fördröjas vilket förlänger materialets liv och effektiviserar kostnaderna på längre sikt anser Calkins (2007).

Barrträden fungerar som partikelrenare även under vinterhalvåret enligt Boverket (2010). Partiklarna sköljs av regn ned i marken. Utan gatuträden skulle fler partiklar finnas i gaturummet och dimbildningar öka. Partiklarna utgör även en hälsorisk för stadens invånare understryker Boverket (2010). Olika trädtyper varierar i förmåga att reducera lufttemperatur, vilket kan bero på en mängd olika faktorer exempelvis trädens storlek och trädkronans karaktär vilket påverkar genomsläppligheten av inkommande solstrålning. Nedan visas en sammanställning av olika stadsträds genomsläpplighet av sol (Brown & Gillespie, 1995).

## Olika stadsträds olika transmissionsegenskaper:

Namn	Genomsläpplighet sol (%) Sommar/ Vinter
Acer platanoides	5-14/ 60-75
Acer saccharinum	10-28/ 60-87
Aesculus hippocastanum	8-27/ 73
Betula pendula	14-24/ 48-88
Fagus sylvatica	7-15/ 83
Picea pungens	13-28/ 13-28
Quercus rubra	12-23/ 70-81
Tilia cordata	7-22/ 46-70

*Tabellen visar att olika stadsträd släpper igenom olika mycket solstrålning, vilket resulterar i att ytor och luft under olika stadsträd kan skilja sig åt. Stadsträd med ett högt tal tyder på att dessa träd släpper igenom mer solstrålning är stadsträd med ett lågt tal. Exempelvis är Acer platanoides ur klimatsynpunkt ett bra stadsträd på sommarhalvåret då det släpper igenom mindre solstrålning än de övriga träden. På vinterhalvåret däremot är Picea pungens ett bra stadsträd för att motverka solinstrålning.*



En sammanställning i Boverkets rapport Mångfunktionella ytor (2010) redovisar olika fördelar med gröna tak och gröna fasader


**Fördelar med gröna tak och gröna fasader:**

- Evaporativ kylning för bättre mikroklimat.
- Skuggning av byggnader och sänkt värmeabsorption som bidrar till passiv kylning och lägre behov av luftkonditionering.
- Isolerar och motverkar värmeförlust av byggnader.
- Reducerar dagvattenvolymer.

## Gröna tak och gröna fasader

Då urbaniseringen leder till en ökning av hårdgjorda ytor har detta konsekvenser för dagvattenhanteringen, infiltrationen och ytavrinningen visar Berndtsson (2010). Gröna tak och fasader har liknande positiva egenskaper för klimatet som grönområden och stadsträd men gröna tak har en viktig roll att fylla för urbana miljöers dräneringsaspekt. I varje stad finns ett överflöd av takytor och genom att täcka över dessa med jord och vegetation och skapa gröna tak skulle detta kunna medföra en mängd olika fördelar. De gröna taken kan medföra en reduktion och minskning av ytavrinningen vilket bidrar till en lägre risk för urbana översvämningar samt förbättrar den urbana vattenbalansen för ett försök att efterlikna den naturliga. Gröna tak kan medföra termiska fördelar då kostnader för uppvärmning och luftkonditionering kan reduceras. Gröna tak medför även en reduktion av luftföroreningar. I nordiska länder användes gröna tak för isolering redan för flera århundraden sedan understryker Berndtsson (2011).

Faktorer (Berndtsson, 2010) som påverkar det gröna takets kvarhållande av vatten och ytavrinning är takets karaktärer inom antalet lager, typ av material, jordtjocklek, jordtyp, vegetationstyp och takets geometriska utformning, skuggexponering samt takets ålder. Trots det gröna takets utformning bidrar även vädrets förutsättningar i form av säsong och torrperioder till takets egenskaper påvisar Berndtsson (2010). En studie av MacIvor & Lundholm (2010) utvärderar gröna taks överlevnad, yta, kylande inverkan och förmåga att behålla dagvatten. De högst presterande taken i studien visade att gröna tak kan sänka temperaturen på taket med 3,44 grader Celsius, öka den solreflekterande förmågan med 22,2% och dessutom behålla 75,3% av dagvattnet (MacIvor & Lundholm, 2010).



Med ett plan- och gestaltningsverktyg skulle vi kunna bygga

hållbara städer som inte påverkar det globala klimatet...

## Plan- och gestaltningsverktyg

Denna rapport lägger grunden för ett fortsatt arbete mot ett plan- och gestaltningsverktyg. Här följer en sammanställning av de grundläggande komponenter och dess aspekter som identifierades i litteraturundersökningen. Dessa komponenter kan vidareutvecklas till ett verktyg vid stadsplanering och gestaltning för att minimera markanvändningens klimatpåverkan.

### Komponenter till framtidens plan- och gestaltningsverktyg

Komponenterna i sig utgör en grund för resonemang kring planering och gestaltning då de innefattar de aspekter inom stadens utformning som har inflytande på den urbana miljöns klimatpåverkan. Komponenterna är *stadsbyggnad*, *markanvändning*, *material i staden* och *vegetation*. I tabellen nedan redovisas komponenterna och deras inneboende aspekter samt klimatförmildrande strategier. Aspekterna är förutsättningar och byggstenar varje komponent har att arbeta utifrån. Strategin sammanfattar övergripande riktlinjer för varje komponent.

*Tabellen redovisar plan- och gestaltningsverktygets komponenter, innefattande klimataspekter och övergripande strategier för dessa.*

Komponenter	Ingående aspekter	Strategi
<b>Stadsbyggnad</b>	Byggnader, stadens tredimensionella geometri (höjd, bredd och densitet), täthet samt gators utformning (längd, bredd och Sky View faktor).	<i>Minska värmelagringen, lägre densitet av byggnader, varierad geometri i stadsbyggnaden och en ökad tillgång på skugga.</i>
<b>Markanvändning</b>	Bevara eller förbättra befintlig mark med goda egenskaper inom hydrologi och markförutsättningar.	<i>Begränsa hårdgörandet av ytor, planera mångfunktionella ytor, var yteffektivt och förespråka genomsläpplighet.</i>
<b>Material i staden</b>	Albedo (hög reflektion på material och färg), emissivitet, termisk konduktivitet (värmelagrande egenskap), evaporation samt genomsläppliga markbeläggningar (porösa, vattenhållande, vegetativa)	<i>Minska värmelagring, en begränsning av hårdejorda ytor, material med; högt albedo, låg konduktivitet, ökad evaporation och ökad genomsläpplighet.</i>
<b>Vegetation</b>	Grönområden, vegetativa ytor, stadsträd, gröna tak, gröna fasader och dagvattenhantering. Evapotranspiration.	<i>Öka all typ av vegetation och vatten.</i>



"Den nya stadsdelen präglas av en framsynt planering med högt ställda mål på

miljöområdet. Här lever man miljövänligt av bara farten - det ska vara lätt att

göra rätt..." Stadsbyggnadskontoret Stockholm (2010)



Illustrationsbild Arkstajellet  
[http://urbanills.blogspot.com/2010\\_12\\_01\\_archive.html](http://urbanills.blogspot.com/2010_12_01_archive.html)  
2011-05-13

## Projektexempel ur praktiken

För att förstå hur man idag pratar om och kommunicerar kring klimatfrågor i skrivna dokument till pågående projekt har ett projektexempel ur praktiken studerats. Ett aktuellt projekt valdes för att studera de senaste klimatfrågorna inom planering och gestaltning. Projektet analyserades genom att jämföras med komponenterna för framtidens plan- och gestaltningsverktyg och sammanställdes för att återspegla dessa och för att undersöka om komponenterna var övervägda i projektets program för detaljplan.

### Årstafältet

Informationen om Årstafältets planering och gestaltning är hämtade från programmet för detaljplanen av området. Först presenteras en sammanfattning kring Årstafältets visioner. Därefter presenteras en sammanställning av informationen i form av avsnitt i samstämmighet med komponenterna. Avsnitten är stadsbyggnad, markanvändning, material i staden och vegetation. Informationen är sammanställd för att kunna jämföra hur pass väl planeringen och gestaltningen av Årstafältet svarade mot komponenterna för verktyget.

### Årstafältets visioner

I Stockholms översiktsplan och Vision för 2030 pekas Årstafältet ut som ett stadsutvecklingsområde enligt Stadsbyggnadskontoret, Stockholm (2010). Årstafältet ingår i Stockholms utbredning av den centrala staden och ligger mellan Liljeholmen och Årstadal, väster om Hammaby Sjöstad och öster om Gullmarsplan. Översiktsplanen beskriver Årstafältet som en nod i ett växande Stockholm med förutsättningar för att kunna vara en hållbar stadsdel och ha en park i världsklass. För att gestalta en ny stadsdel på Årstafältet genomfördes en internationell arkitekttävling

år 2008 där förslaget Arkipelag av Archi5, landskapsarkitektkontoret Michel Desvigne och miljökonsulterna Elioth/ Iosis Group, utsågs till vinnare. Under 2009 bearbetades tävlingsförslaget av Stockholms Stad och de vinnande arkitekterna. För att säkerställa höga miljö- och gestaltningsambitioner ska ett gestaltningsprogram och ett miljöprogram tas fram. En översiktlig miljöbedömning har redan utförts och det ansågs att exploateringen av Årstafältet inte kommer att medföra en väsentlig miljöpåverkan. Detta gör att en miljökonsekvensbeskrivning inte behöver tas fram. Byggandet påbörjas 2012-2013 och den nya stadsdelen på Årstafältet beräknas stå klar om ca 15-20 år enligt Stadsbyggnadskontoret, Stockholm (2010).

I planeringen av Årstafältet har höga krav satts på miljöaspekter och här vill man att de boende ska leva miljövänligt ”av bara farten” anser Stadsbyggnadskontoret, Stockholm (2010). Invånare och verksamma i den nya stadsdelen ska informeras om och uppmuntras till att medverka för en fortsatt hållbar livsstil och nya energisnåla och miljöanpassade lösningar ska bidra till att minska en negativ klimatpåverkan enligt Stadsbyggnadskontoret, Stockholm (2010). Enligt Vision 2030 ska Stockholm vara världsledande i att utveckla och använda ny energi- och miljöteknik. En betydelsefull utvecklingsfråga är hur man strategiskt förenar stadens expansion med en ansvarsfull energiförsörjning för att förbränningen av fossila bränslen för el och värme ska minska. Det är viktigt att minska den totala energianvändningen för bostäder och anläggningar. Målet är att Årstafältet ska bli klimatpositivt, vilket innebär att det producerar mer energi än vad det gör av med. Planeringen av Årstafältet ska uppnå en klimatpositiv utveckling med hjälp av olika strategier, mål och miljökrav som ska utformas för utemiljön och

bostäderna enligt Stadsbyggnadskontoret, Stockholm (2010).

### **Stadsbyggnad**

Enligt Stadsbyggnadskontoret, Stockholm (2010) ska den nya bebyggelsen på Årstafältet vara anpassad för framtida miljöförändringar, då förutsättningarna på längre sikt förändras för både Stockholms invånare och dess natur. Då en tät stadsbebyggelse kan höja temperaturen i staden och grönytor har en förmåga att klimatutjämna ska gröntal eller grönytefaktor användas för att uppnå en varierande stadsplanering. En variation av byggnader och stadsstruktur kan ge de bästa förutsättningarna för ett maximalt nyttjande av el och fjärrvärme.

Den framtida bebyggda delen av Årstafältet ska vara en tät stadsdel med vinklade gator för att kunna skapa utblickar och platser för torg och serveringar. Det vinklade och varierade gatunätet ska ha ett småskaligt system av lokalgator med en grön esplanad i mitten. Huvudgatorna ska markeras med ett bredare gatumått och förses med alléträd längst trottoarerna. Huvudgatorna ska även omgärdas av högre byggnader och rymma generösa cykelvägar. Lokalgatorna däremot ska vara av ett smalare gatumått med lägre byggnader och grupper av karaktärsfulla träd.

Bebyggelsen ska vara brokig med en stor variation av höjd, form och stil för att skapa en personlighet. Den nya bebyggelsen ska låna struktur och uttryck som luftighet och stram arkitektur av den äldre omgivande bebyggelsen. Byggnaderna ska berikas med gröna tak, fasader, integrerade energilösningar och naturmaterial. Taken ska bilda ett landskap för utevistelse, energiproduktion och lokalt omhändertagande av dagvatten.

Byggnaderna ska klara värmeböljor sommartid utan att behöva kylning/luftkonditionering.

Bebyggelsen kommer att omfattas av ca 30 hektar och 4000 lägenheter med en byggnadshöjd som varierar från 2-14 våningar. Högre byggnader ska främst placeras vid intensiva gator och parken. Tätheten i bebyggelsen är jämförbar med den i Hammarby Sjöstad. Högre byggnader ska även placeras för att förtydliga landskapets annars plana topografi. Högre byggnader ska placeras med tillräckligt avstånd från gårdar, torg och gator för att garantera god soltillgång. Lägre bebyggelse ska blandas med den högre för att skapa bra ljusförhållanden för kvarterens byggnader och innergårdar.

Byggnaderna ska bestå av fasader med en hög energiprestanda för ett lågt energibehov och uppfylla normen för ett Passivhus. I utvecklingens framkant finns Plushus, vilket innebär att husen producerar mer energi än vad de förbrukar. Årstafältet har idag ett kärvare klimat än dess omgivning då avsaknaden av träd och buskar leder till att fältet blir kallt och blåsigt. Med planförslaget av Årstafältet kommer lokalklimatet att förbättras med hjälp av den nya bebyggelsen och ett tätare trädbestånd. Den planerade variationen av byggnadshöjder, gaturiktningar och vegetation kommer göra att vindriktningen bryts konstaterar Stadsbyggnadskontoret, Stockholm (2010).

### **Markanvändning**

Stadsbyggnadskontoret, Stockholm (2010) visar att Årstafältet har en plan topografi och ligger i en lågpunkt med marknivåer mellan ca +16 m och +14 m. Fältet är ursprungligen en gammal sjöbotten



och dess grundförhållanden gör att förstärkningsarbeten behövs. Jorden i området består till stor del av lera med en mäktighet ned till 20 m. Leran gör att ingen infiltration och grundvattenbildning kan ske på dessa områden. En framtida bebyggelse kommer troligtvis att behöva grundförstärkningsåtgärder med stödpålar. Även gator och hårdgjorda ytor kommer att behöva förstärkas på grund av de rådande jordförhållandena. Höjdområden kring Årstafältet består av sand och moränjordar vilka har förutsättningar för infiltration och grundvattenbildning (Stadsbyggnadskontoret, Stockholm 2010).

### **Material i staden**

Valet av material för bebyggelsen ska ta hänsyn till miljö-, klimat- och energiaspekter. Miljöstörande material ska undvikas och de material som används i byggprocessen ska vara dokumenterat bra för miljön ur ett livscykelperspektiv. Byggmaterial som påverkar dagvattnet negativt ska uteslutas.

### **Vegetation**

Parken ska utgöra stadsdelens hjärta och identitet med ett centralt läge för att underlätta åtkomligheten enligt Stadsbyggnadskontoret, Stockholm (2010). Odling och betesdjur ska vara möjligt i parken för att boende ska komma i kontakt med de naturliga systemen. Parken kommer dock att minska till 30 hektar från dagens 50 hektar.

Gröna stråk ska sträcka sig från parken in i omgivande bebyggelse och bestå av stadsträd, grön förgårdsmark, dagvattenstråk och sammanhängande planteringar. Huvudgatorna ska kantas med alléträd och lokalgatorna ska förses med grupper av karaktärsfulla träd. Gaturummens grönska ska inte

bara bestå av trädgrupper utan även berikas av grön förgårdsmark, gröna fasader och gröna terrasser. På förgårdsmarken ska blomsterrabatter och dagvattenlösningar gestaltas. Kvarter med hög bebyggelse ska ha öppningar för att kunna solbelysta dess gröna innergårdar. Inskjutande byggnader kan ge plats för små gröna gemenskapsytor. Innegårdarnas bjälklag dimensioneras för att träd ska kunna planteras och växa sig stora (Stadsbyggnadskontoret, Stockholm, 2010).

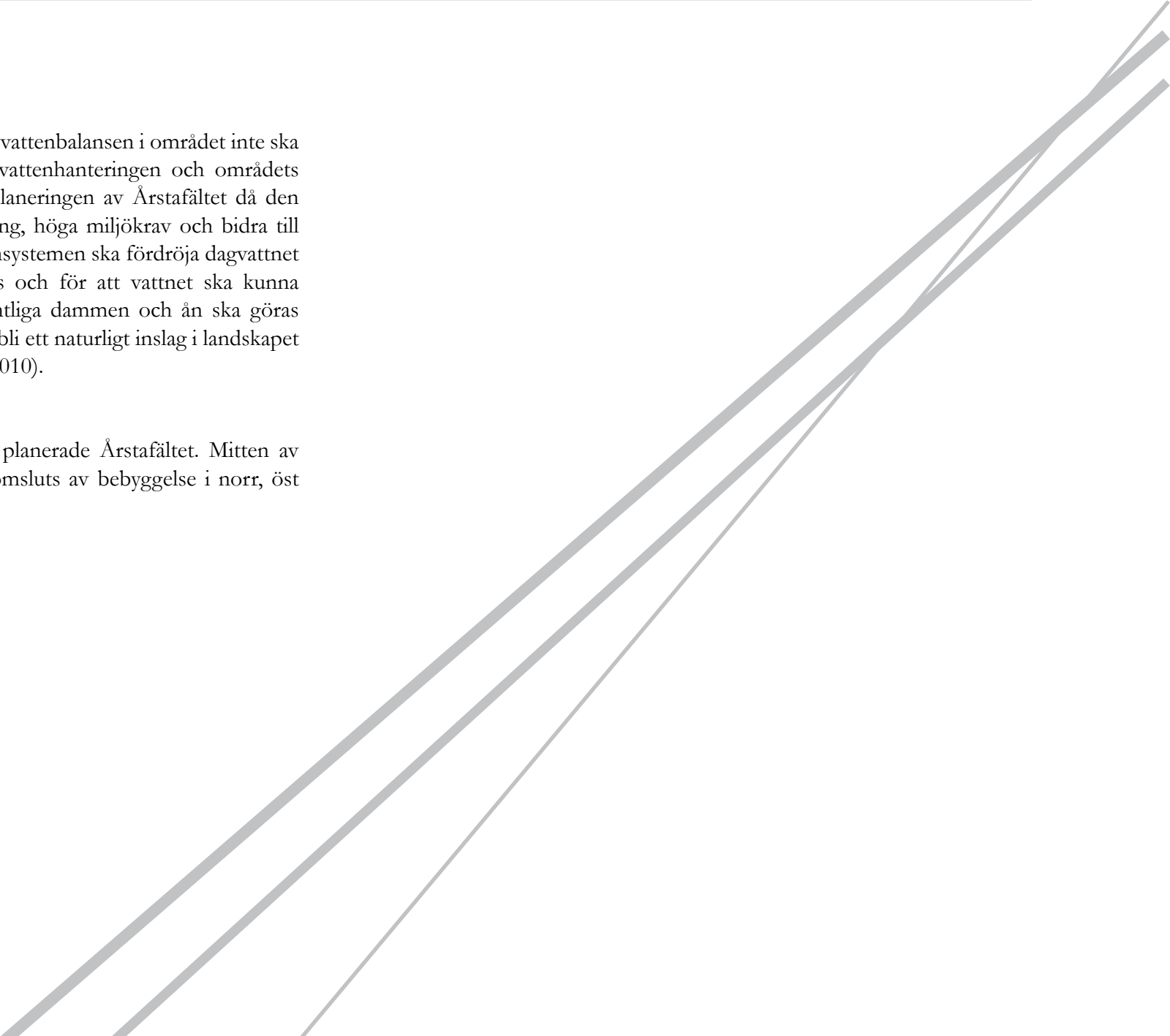
De centrala delarna av parken ska utgöras av ett halvöppet landskap med öar av träd och buskar från det svenska mälardalens landskapet. Parkens olika delar ska ha hög kvalitet på utformning, material och förvaltning. Vegetationen i parken ska väljas med utgångspunkt i platsens topografi och historia. Träd och buskar ska skyddas från kalla vindar och bygga upp ett varierat landskapsrum. På några platser i parken kommer exotiska träd placeras för att påminna om Årstafältets tradition i odling och hortikultur. Mot Huddingevägen ska ett omväxlande skogsområde skapas. Parken måste påbörjas i ett tidigt skede då det tar lång tid för vegetation att växa upp och etablera sig. Valla å, områdets lågpunkt kommer till viss del bestå av fuktiga stråk och fuktälskande vegetation. Vegetationen på fältet kommer som sagt att förstärkas med träd och buskar för att öka mängden bladmassa på platsen vilket kan bidra till att fånga in luftpartiklar och dämpa buller från trafiken. Vegetationen ska även bidra till dagvattenhanteringen, balansera stadens koldioxidutsläpp och fungera som avkylning under sommartid på fasader och gator (Stadsbyggnadskontoret, Stockholm, 2010).

Exploateringen av Årstafältet kommer att öka andelen hårdgjorda ytor vilket gör att dagvattenavledningen blir viktig. Stadsdelens dagvatten ska

tas omhand lokalt för att den naturliga vattenbalansen i området inte ska påverkas negativt av byggandet. Dagvattenhanteringen och områdets vattenbalans är en central fråga för planeringen av Årstafältet då den ska uppfylla en hållbar markanvändning, höga miljökrav och bidra till en hållbar samhällsbyggnad. Dagvattensystemen ska fördröja dagvattnet så att dess föroreningsgrad reduceras och för att vattnet ska kunna magasineras och användas. Den befintliga dammen och ån ska göras större och få en ny utformning för att bli ett naturligt inslag i landskapet (Stadsbyggnadskontoret, Stockholm, 2010).

#### **Plan Årstafältet**

På nästa sida visas en plan över det planerade Årstafältet. Mitten av planen utgörs av parken och denna omsluts av bebyggelse i norr, öst och väst.





Illustrationsplan, Årstafältet

Utan skala.

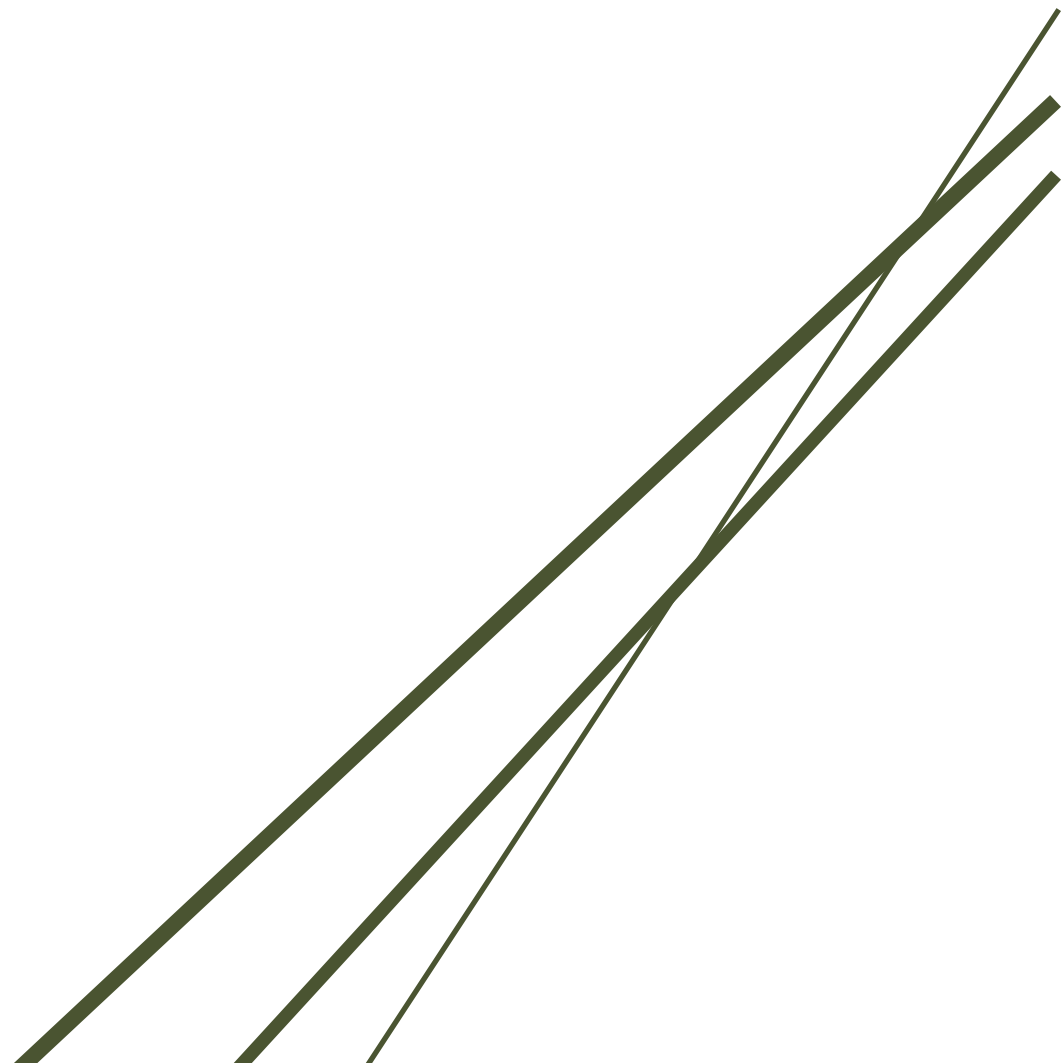
## Årstafältets klimatkomponenter

Det är lätt att kritiskt beakta dagens expanderande städer då hårdgjorda ytor breder ut sig och exploaterar vegetativ mark. Årstafältet är ett projekt som innefattar en expanderad stadsmiljö med ytterligare hårdgjorda ytor. Samtidigt som denna urbana exploatering sker satsar man i Årstafältet på att upprusta och bevara delar av befintlig naturmark. Rapportens klimatkomponenter jämfördes med Årstafältets program för detaljplan för att undersöka projektets klimatarbete. Klimatkomponenterna kring Årstafältet sammanställdes i en tabell, se nedan, invid komponenterna för plan- och gestaltningsverktyget för att redovisa de klimataspekterna som omfattades i projektet.

I jämförelse med komponenterna till plan- och gestaltningsverktyget behandlade Årstafältets planering klimataspekterna stadsbyggnad, vegetation och till viss del överväganden kring markanvändningen. Det fanns dock inga riktlinjer att utläsa i programmet för detaljplanen kring vilka markmaterial som skulle användas till den urbana miljön. Markmaterialvalen är en av de viktigaste klimataspekterna för markanvändningens klimatpåverkan och borde därför diskuteras tidigt i planprocessen.

Trots att markmaterialaspekten helt uteslutits i det tidiga planskedet har Årstafältet andra ur klimatsynpunkt goda förutsättningar då satsningar på stadsbyggnad och vegetation gjorts. Stadsbyggnaden skulle bestå av breda gatusektioner, ett varierat gatunät, korta kvarter och varierade hushöjder. Vegetationen skulle öka omfattningen av träd- och buskvegetation, gröna tak, gröna fasader, grönytor, alléträd, förvaltning av naturmark, lokalt omhändertagande av dagvatten och en öppen

dagvattenhantering. Planeringen av Årstafältet utgör en god grund för en klimatgenomtänkt stadsplanering och visade att kunskapen finns och praktiseras. Planeringen av Årstafältet visade även att man idag belyser klimatarbete i stadsplanering och att det är trendigt att vara klimatsmart.



Klimatkomponenter till framtidens plan- och gestaltungsverktyg	Årstafältets komponenter	Specificering av Årstafältets komponenter
Stadsbyggnad	x	Breda gatusektioner, varierat gatunät, korta kvarter och varierade hushöjder.
Markanvändning	x	Hydrologiska förhållanden och jordförhållanden
Material i staden	-	Helhet saknas, material i staden tar bara hänsyn till bebyggelsen och inte markbeläggningen.
Vegetation	x	Ökad träd- och buskvegetation, gröna tak, gröna fasader, grönytor, alléträd, förvaltd naturmark, LOD och öppen dagvattenhantering.

*Tabellen redovisar plan och gestaltungsverktygets komponenter samt Årstafältets komponenter och specificeringar till dessa. Överväganden kring markmaterial i staden saknas.*

**Årstafältets**

**komponenter**

## Slutsatser

På grund av urbaniseringen och expanderande städer förändras markanvändningen och markens naturliga egenskaper. Den förändrade markanvändningen kan ha en negativ inverkan på klimatet och öka globala klimatförändringar. För att säkerställa en gestaltning och planering av den urbana miljön som inte har en negativ inverkan på klimatet behövs ett plan- och gestaltningsverktyg.

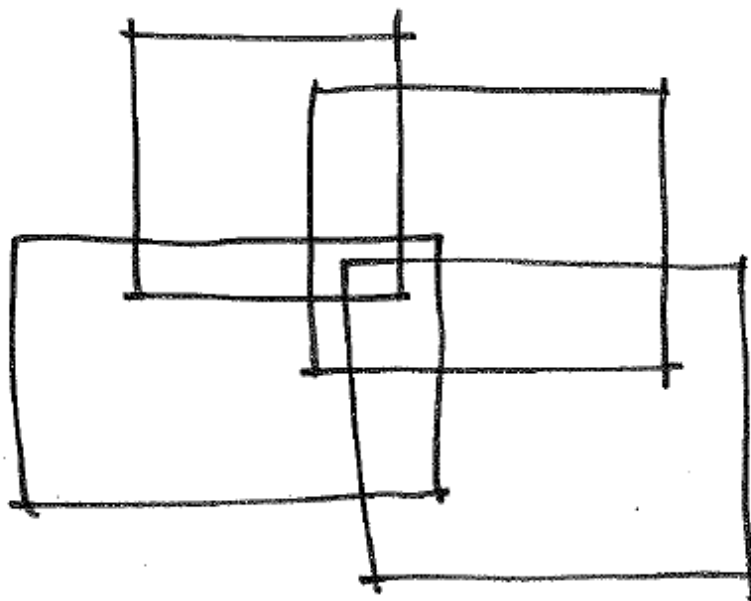
Studien av Ingegärd Eliasson (1999) påvisar att det urbana landskapet genererar ett klimat som påverkar energikonsumtionen och luftkvaliteten i städer. Forskningssammanställningen i denna rapport vidareutvecklade Eliassons riktlinjer kring att urbanisering medförde negativa konsekvenser för det globala klimatet och sammanställningen påvisade även att stadens utformning bidrog till urbana klimateffekter. Sammanställningen av den samtida forskningen underströk att urbanisering och en förändrad markanvändning påverkade det globala klimatet och att urbana värmeöar var en negativ klimateffekt till följd av urbanisering. Material och hårdgjorda ytor i urbana miljöer påverkade både stadens klimat och det globala klimatet negativt, vegetation däremot kunde reducera urbana värmeöar och hade en positiv inverkan på klimatet visade sammanställningen. Sammanställningen av det samtida forskningsläget kan ligga till grund för vidare och påbyggande forskning kring markanvändningens klimatpåverkan.

Forskningen inom markanvändningens klimatpåverkan behandlade kategorierna *klimat i urban miljö*, *stadsbyggnad*, *markanvändning*, *material i staden* och *vegetation*. *Klimatet i urban miljö* visade att forskningen är omfattande kring det urbana klimatets faktorer och effekter. Forskningen fokuserar främst på klimatfenomenet urban värmeö och energiförbrukning i

staden till följd av temperaturskillnader. *Stadsbyggnad* underströk att statsbyggnaden är fundamental för uppkomsten och effekten av det urbana klimatet och betydelsefulla aspekter inom stadsbyggnad är stadens fysiska utformning, gators geometri, byggnaders arkitektur och tillgången på skugga. *Markanvändning* visade att forskningsområdet är inriktad på markförändring och hur denna påverkar energibudgeten och energibalanser hos olika ytor. *Material i staden* påvisade forskning kring markbeläggningar, takbeläggningar och vilka material som har inverkan på klimatet i staden. *Vegetation* var den mest omfattande kategorin utifrån antalet artiklar och forskningen fokuserar på vegetationens positiva inverkan på mikroklimatet i staden, grönstruktursmodeller, lufttemperatur samt stadsträds och gröna taks positiva klimategenskaper.

De olika kategorierna kan inte endast ses som enskilda ämneskategorier i relationen till varandra, de är en helhet som överlappade varandra och som tillsammans utgör markanvändningens klimatpåverkan. Kategorierna *stadsbyggnad*, *markanvändning*, *material i staden* och *vegetation* utgör komponenterna till ett framtida verktyg. Komponenterna är uppbyggda av och sammanfattar konkretiserade forskningsresultat som kan vidareutvecklas till ett plan- och gestaltningsverktyg för att skapa direkta och mer specifika åtgärder inom plan och gestaltning.

En rättavvägd planering och gestaltning med komponenterna krävs för en positiv inverkan på den urbana miljön och det globala klimatet. Komponenterna kan utgöra riktlinjer inom argumentation, planering och gestaltning av staden och understryker de aspekter som måste avvägas i klimatarbete av den urbana miljön.



*Komponenterna är en helhet som överlappar varandra.*

En planering och gestaltning med komponenterna kan antingen bidra till en bra eller dålig inverkan på klimatet. En rättavvägd planering och gestaltning med komponenterna krävs för en positiv inverkan på den urbana miljön och det globala klimatet. Komponenterna kan utgöra riktlinjer inom argumentation, planering och gestaltning av staden och understryker de aspekter som måste avvägas i klimatarbete av den urbana miljön.

En bra klimatpåverkan innebär att komponenterna till framtidens plan- och gestaltningsverktyg används för att skapa rätt förutsättningar

i staden. Om komponenterna planeras och gestaltas korrekt kan ett klimat i staden och utformning av den urbana miljön bidra till att minska energianvändningen, de kan minska utsläppen av koldioxid och växthusgaser samt kan de öka luftkvaliteten och medföra en oförändrad eller förbättrad hydrologi i området. En bra klimatpåverkan innebär en planering och gestaltning av staden som inte bidrar till globala klimatförändringar utan istället motverkar och förebygger en stad som skulle kunna påverka det globala klimatet negativt. Stadsbyggnaden med sin täthet och tredimensionella utformning kan bidra till att energianvändningen minskar, men då behöver stadens byggnader vara varierade och gatorna tillräckligt breda. Markanvändningen ska medföra att exploatering för urbana miljöer sker på välplanerad mark för att bevara eller förbättra hydrologin i området med infiltrationskapacitet och minskad ytavrinning. Markanvändningen bör även ske på ett sådant sätt att vegetation inom exploateringsområdet bevaras eller ersätts. Material i staden ska användas som bidrar till en oförändrad eller förbättrad hydrologi och innefatta infiltrationsmöjligheter eller en planering som medför att infiltrationen kan ske i närområdet. Materialen bör även ha låg värmeledande och värmelagrande egenskap för att kunna minska värmelagringen och energianvändningen. Vegetationen i staden bör planeras och gestaltas strategiskt för att denna ska bevaras eller öka. Vegetationen bidrar nämligen med många positiva egenskaper som förbättrar hydrologin och ger en minskad ytavrinning samt en ökad infiltration. Vegetationen kan även bidra till en minskad värmelagring och energianvändning i staden samt bidra till bindning av luftföroreningar som förbättrar luftkvaliteten. Vegetation binder även koldioxid vilket motverkar växthusgaser, växthuseffekten och globala klimatförändringar.

I jämförelse med komponenterna till plan- och gestaltningsverktyget behandlade Årstafältets planering klimataspekterna stadsbyggnad, vegetation och till viss del överväganden kring markanvändningen och material i staden. Studien av Årstafältet visade inte bara att det är trendigt att vara klimatsmart, utan även att en medvetenhet kring klimatfrågor och klimatkomponenter finns inom dagens stadsplanering. Jämförelsen mellan komponenterna och Årstafältet påvisade att det är svårt att göra en korrekt bedömning om en stadsplanering är bra för klimatet eller inte. Med hjälp av komponenterna kan man avgöra om klimatfrågan finns inom planeringen och gestaltningen av urbana områden men man kan inte säga vad konkret stadsplaneringen bidrar med för klimatet och därför behövs ett plan- och gestaltningsverktyg.

Denna rapport kan väcka och inspirera till diskussion och vidare forskning kring komponenterna *stadsbyggnad*, *markanvändning*, *material i staden* och *vegetation* och dess klimataspekter. Komponenterna kan användas inom argumentation och diskussion av aktuella planerings- och gestaltningsprojekt inom städer och projektens klimataspekter. Komponenterna kan sammanställa och jämföra aktuella projekt för att diskutera dess omfattning inom klimatplanering samt visioner och användas från den lilla skalan till den stora. I framtida forskning kan komponenterna och verktyget utvecklas till strategier inom planering och gestaltning med mätbara värden för att exakt avmäta ett projekts eller hela städens klimatpåverkan samt hur ett projekt eller stad strategiskt ska utformas. Om klimatpåverkan till följd av planeringen och gestaltningen skulle kunna beräknas, skulle stadens inverkan på det globala klimatet kunna utläsas och strategier för en hållbar framtid underlättas.





Om klimatpåverkan till följd av planeringen och gestaltningen skulle kunna

beräknas, skulle stadens inverkan på det globala klimatet kunna utläsas

och strategier för en hållbar framtid underlättas.

## Diskussion och det ideala verktyget

Syftet med arbetet är att utreda kopplingar mellan markanvändning och klimat samt att med dagens kunskap som grund formulera grundläggande komponenter till ett verktyg för att vid utformningen av den urbana miljön motverka och bromsa globala klimatförändringar. Resultatet i denna rapport uppfyller arbetets syfte och visar att de fyra komponenterna *stadsbyggnad*, *markanvändning*, *material i staden* och *vegetation* kan vara de viktigaste grundläggande komponenterna för den urbana miljön för att minimera och bromsa globala klimatförändringar.

### Metod och resultat

En stor del av arbetet i och med uppstartandet av detta projekt var att förstå och undersöka vad markanvändningens klimatpåverkan betydde och vad detta kunde innebära. I kontakten med forskare och ämneskunniga var det till en början svårt att göra sig förstådd med vad markanvändningens klimatpåverkan innebar då begreppet var omfattande. En stor del av den litteratur som relaterade till markanvändning och klimatpåverkan behandlade endast mikroklimatet och hur landskapsarkitekter kan modifiera mikroklimatet i trädgårdar och mindre grönområden. Modifikation av mikroklimatet behandlar klimatelementet vind och hur man kan påverka vinden, detta behandlades inte i rapporten, då vindaspekten inte i någon större omfattning förekom i de vetenskapliga artiklarna. Trots detta är modifikation av mikroklimatet en viktig kunskap för en praktiserande landskapsarkitekt i gestaltningen av trädgårdar och utemiljöer, men det får behandlas på ett annat sätt än här.

För metoderna till litteraturundersökningen inkluderades sökord, val av databaser samt inkluderingskriterier och exkluderingskriterier. Sökorden var ämnesbaserade och vid fortsatt forskning i detta ämne kan sökord

mer specificerade till att finna verktyg, strategier och checklistor användas, för att undersöka befintliga modeller. Många artiklar exkluderades för att de var skrivna innan 2000-talet. En artikel inkluderades trots tidsgränsen, *Impact of planted areas on urban environment quality: A review* av Givoni skriven 1991 och togs med i litteratursammanställningen och kategoriseringen därför att den innehåller högrelevant forskning. För övrigt var det svårt att hitta artiklar som precis stämde med rapportens syfte och forskningsfrågor. Detta kan ha berott på att forskningsområde markanvändningens klimatpåverkan är ett otroligt brett ämne, att forskningsområdet låg i framkant eller att sökorden under litteraturundersökningen kunde utvecklas. Jag tror att alla tre nämnda faktorer stämde och hade inverkan, det är ett brett ämne och litteraturundersökningen gav ett brett forskningsutbud, men alla artiklar som föll inom kriterierna och sökorden gav relevant forskning inom ämnet. Då alla artiklar var skrivna på engelska har en översättning skett för att sammanfatta artiklarnas forskning till denna rapport. Det engelska språket kan ha medfört att någon av artiklarnas texter kan ha feltolkats i något avseende.

Kategoriseringen som genomfördes av artiklarna var förutom litteraturundersökningen den mest genomarbetade metoden för att uppfylla rapportens syfte. Med hjälp av kategoriseringen kunde ämneskategorier inom markanvändningens klimatpåverkan sammanställas och analyseras för att kunna strukturera strategier i samstämmighet med rapportens syfte och frågeställning. Styrkan i metoden var kategoriseringen där resultatet ledde till ett tydligt mål som täckte rapportens syfte. Svagheten med metoden var att de 36 artiklarna som insamlades var så omfattande i sitt informationsutbud att denna

rapport inte ytterligare kunde sammanställa alla artiklars resultat. Om inkluderings- och exkluderingskriterierna hade varit fler och tydligare hade färre artiklar fallit innanför sammanställningen samt kategoriseringen och kvarvarande artiklar hade kunnat sammanställas bättre. Dock hade färre artiklar lett till en negativ aspekt för kategoriseringens resultat då kategorierna inte hade haft samma understöd i antalet artiklar. Syftet inför denna rapport var att fokusera på att utarbeta komponenter för markanvändningen och städernas utformning snarare än att sammanställa all forskning från litteraturundersökningens artiklar. Mycket relevant information kring komponenterna klimat i urban miljö, markanvändning, stadsbyggnad, material i staden och vegetation återstår att finna i artiklarna och artiklarna kan användas för vidare forskning i ämnet.

Studien av Årstafältet visade att det idag är trendigt att vara klimatsmart, då de belyste sitt klimatarbete i programmet för detaljplanen. Dock måste klimatfrågan diskuteras tidigt i planprocessen då positiva åtgärder för klimatet främst kan implementeras i stadsplaneringens tidiga utformning. Studien av Årstafältet visade att en medvetet kring klimatfrågor finns i dagens stadsplanering men att det är svårt att göra en korrekt bedömning hur stadsplaneringen påverkar klimatet då ett verktyg saknas. I bakgrundsavsnittet visades att med hjälp av översiktsplanering och detaljplaner kan restriktioner inom mark och markanvändning göras och här skulle även de framtagna komponenterna till verktyget kunna understrykas och planeras för att utgöra riktlinjer i den framtida projekteringen. Avsnittet visade även att landskapsarkitekter idag inte hade några direkt klimatverktyg förutom skuggdiagram och vindros. Om plan- och gestaltningsverktyget vidareutvecklades skulle denna kunna bli ett klimatverktyg för landskapsarkitekter.

### **Behovet av ett verktyg**

Eliassons studie *The use of climate knowledge in urban planning* år 1999 konstaterar att ett planverktyg inte existerar, men att stadsplanerare är i stort behov av ett. Frågan kvarstår, finns ett verktyg idag och hur har forskningen gått framåt? Forskningen har absolut gått framåt. I samstämmighet med Eliassons riktlinjer (1999) utarbetade denna rapport komponenter till ett framtida plan- och gestaltningsverktyg och med hjälp av att den samtida forskningen sammanställdes identifierades användbar kunskap. Idag, 12 år efter Eliassons studie har forskningen närmast sig ett verktyg för en hållbar klimatplanering av staden.

Verktyget i form av komponenterna utgör en vetenskaplig grund för dess inverkan på klimatet men utesluter inte en estetisk grund. Komponenterna i sig är en stor del av de element som landskapsarkitekter har att tillgå i den dagliga gestaltning då landskapsarkitekter redan är utbildade i att anpassa eller förbättra stadens uterum med olika typer av material och vegetation. Jag tror att ett verktyg skulle kunna stärka självförtroendet hos landskapsarkitekter då detta understryker att den estetiska utformningen många gånger kan grunda sig i en vetenskaplig som underbygger positiva aspekter för klimatet.

Det är inte bara trendigt att vara klimatsmart utan även lönsamt i längden. Det är lönsamt ur energibesparingssynpunkt och minskad inverkan på klimatet men också ur kommunikationssynpunkt. En av de stora fördelarna med att ha ett verktyg är att det blir lättare att kommunicera mätbara värderingsresultat. Ett värderingsresultat från ett plan- och gestaltningsverktyg skulle kunna underlätta kommunikationen och förståelsen för alla inom planeringsprocessen, allt från arbetsgivare

och beställare till landskapsarkitekter och byggarbetare. Om kommunikationen ökar och blir gränsöverskridande kan fler beröras och hjälpas. Om fler berörs kan klimatfrågan få en större plats på dagordningen och klimatkomponenterna skulle få en större genomslagskraft inom stadsplaneringen.

Ett verktyg behövs för mätbarhet och riktlinjer som kan appliceras inom praktiken och passas in i den normala planeringsprocessen så att den inte blir ett externt steg som fördyrar arbetet. Mätbarhet behövs för att kunna utarbeta värderingsresultat och därigenom ge en objektiv bedömning av hur pass bra en stadsplanering är för klimatet. En vidareutveckling av ett plan- och gestaltningsverktyg skulle kunna leda till klimatkvalificeringar för att följa upp miljöklassificeringarna.

### **Framtidens forskning**

Samarbeten mellan forskning och näringsliv samt tvärdisciplinär forskning inom markanvändningens klimatpåverkan kan förbättra klimatarbetet och vidareutveckla forskningen inom ämnet. Att landskapsarkitekter och stadsplanerare delar kunskap och resultat med klimatforskare och civilingenjörer kan leda till nya framtida innovativa idéer och strategier. Framtida studier i markanvändningens klimatpåverkan bör fokusera på specifikationer inom komponenterna markanvändning, stadsbyggnad, material i staden och vegetation för att utarbeta konkreta strategier för var och en av dessa. Strategierna måste baseras på riktlinjer och mätbarhet från verktyget och praktiken för att resultatet ska kunna appliceras på ett så enkelt sätt som möjligt.

Fortsatta studier inom markanvändning skulle kunna undersöka hur exploateringen av olika marktyper bidrar till klimatpåverkan, vilka

marktyper det är bäst att bebygga på ur klimatsynpunkt och i vilken omfattning marken ur klimatsynpunkt kan exploateras. Studier kring exploateringen av marken kan vidareutveckla riktlinjer om byggnader ska vara kompakta och höga, många och utspridda, eller om de ska placeras i grupp eller vara jämnt fördelade över markytan. Fortsatta studier inom stadsbyggnad kan fokusera på exakta höjd-, bredd- och densitetsförhållanden i städer för att motverka värmelagring och klimatpåverkan. Inom materialaspekten kommer fortsatt forskning alltid behöva behandla produktutveckling och framtagandet av framtida klimatvänliga material. Vegetationsaspekten är omfattande och ett stort forskningsområde för framtiden. Det är vedertaget att vegetationen har positiv inverkan på klimatet och luftkvaliteten och vidare strategier behövs kring hur man effektiviserar vegetationsanvändningen i staden och hur vegetation bäst integreras i en förtätad stad. Det är bara kreativiteten som kan sätta stopp för forskningen inom markanvändningens klimatpåverkan, då det finns otaligt intressanta ämnen och strategier som behöver vidareutvecklas för att minimera markanvändningens klimatpåverkan och stödja stadsplaneringen för att skapa en hållbar utveckling och framtid.

### **Det ideala verktyget**

Komponenterna i rapporten utgör idag grunden till ett verktyg och dessa kan i dagsläget användas till riktlinjer inom planering samt gestaltning och för argumentation kring städernas utformning och klimatpåverkan. Som tidigare nämnts skulle fortsatt forskning kunna arbeta för att specificera komponenterna för att dessa lätt ska kunna användas av stadsplanerare och landskapsarkitekter i planeringsskeden och vid gestaltning.

Det ideala verktyget skulle vara ett kombinerat mätnings- och strategiverktyg. Verktyget ska kunna användas till alla typer av skalor och storlekar, från att beräkna och planera hela städens klimatpåverkan och utformning till att beräkna specifika platsers inverkan och dess behov av strategisk gestaltning. Det ideala verktyget ska kunna användas för mätningar och strategier både vid nyexploatering av urbana miljöer och för att förbättra befintliga platser.

Exempelvis skulle man med verktyget kunna mäta en urban miljöns storlek, densitet och hårdgjorda yta. Därefter skulle man kunna beräkna hur mycket grönska platsen behöver för att kunna kompensera dess värmelagring och infiltrationsbortfall. Platsens mätningsresultat skulle kunna visa om platsen behöver en vegetationsstrategi för ökad skugga eller ökade infiltrationsmöjligheter och hur denna i ett sådant fall bäst skulle kunna anpassas till platsens förutsättningar. I strategidelen av verktyget skulle man kunna välja på olika typer av vegetationsstrategier som både skulle kunna förbättra platsens klimatpåverkan och dessutom estetiskt passa in. Om platsen behövde ökad skugga skulle man exempelvis kunna välja en strategi som fokuserar på olika typer av stadsträd som är skuggande och dessutom estetiskt karaktärsfulla. När platsen har en försämrad infiltrationskapacitet skulle olika strategier för utformningar av gröna tak och markvegetation kunna finnas i verktyget.

Inom planering och nyexploatering skulle det ideala verktyget kunna beräkna olika marktypers klimatpåverkan och därefter avgöra vilken typ av mark som ur klimatsynpunkt skulle vara bäst att exploatera. Exempelvis skulle man med mätningdelen av verktyget kunna få ett resultat angående om marken har en så pass bra inverkan på klimatet att

den helst inte skulle bebyggas. Om marken skulle vara bra, men trots detta behöva exploateras, skulle man med strategidelen av verktyget kunna utläsa den strategi och utformning inom stadsplanering som skulle vara bäst lämpas för markens förutsättningar. På så sätt skulle mätnings- och strategidelen av verktyget samverka och exploateringen av marken skulle hela tiden kunna avvägas för att skapa bästa möjliga klimatpåverkan.

## Slutord

Arbetsprocessen under examensarbetets gång har kontinuerligt fortskridit utan större blockeringar eller låsningar. Dock har ett antal återvändsgränder påträffats i arbetets tidiga skede då processen behandlade vad markanvändningens klimatpåverkar var, innefattade och innebar. Initiativtagare till detta projekt var Albert Orrling, arkitekt på White Stockholm och jag har haft förmånen att påbörja och grunda detta arbete och förvalta uppgiften med hela mitt engagemang. Jag har få gånger under min utbildning lärt mig så mycket om något jag tidigare inte kände till, som jag gjort under detta arbete. Tidigare har jag ansett mig vara en person som är mer lagd åt det estetiska tänkandet än teoretiska världsomfattande frågor, likt klimatförändringar. Efter detta arbete har många nya tankar och funderingar väckts och jag har blivit totalt övertygad om att jag alltid kommer att ha klimatfrågan i bakhuvudet när jag går in i nya projekt som landskapsarkitekt. Jag har med detta arbete förstått hur stor skillnad för klimatet landskapsarkitekter kan göra och med goda argument kan jag påvisa varför landskapsarkitekter är beslutsfattare inom klimatfrågan.

Därför, ett hjärtligt tack till Albert Orrling och Ulla Myhr.

A nighttime photograph of a cityscape. In the foreground, a multi-lane highway is illuminated by yellow streetlights, with a few cars visible. The middle ground shows a residential area with lit-up apartment buildings. In the background, a large industrial complex with several tall chimneys and a central cooling tower is visible against the dark blue twilight sky. The overall scene is a mix of urban and industrial architecture.

Landskapsarkitekter är beslutsfattare

inom klimatfrågan.

## Referenser

Ansökan: SLU-medel till projekt inom fortlöpande miljöanalys (2010).

Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants. *Environmental Pollution* 116, ss.119-126.

Akbari, H., Berhe, A.A., Levinson, R., Graveline, S., Foley, K., Delgado, A.H. & Paroli, R.M. (-). Aging and weathering of cool roofing membranes. Cool Roofing Symposium, Atlanta, GA

Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas, *Solar Energy* Vol.70, No3, ss. 295-310/

Auburn University study: (2008) *Shade trees can reduce power bills by 11.4 percent.* (Elektronisk). Auburn University. Tillgänglig: <http://wirecagle.auburn.edu/news/581> (2011-02-15)

Berndtsson, J.C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering* 36, ss. 351-360.

Bokalders, V & Block, M. (1997). *Att anpassa till platsen. Bygg ekologi 4.* AB Svenskt Tryck, Stockholm.

Bourbia, F. & Boucheriba, F. (2010). Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). *Renewable Energy* 35, ss. 343-347.

Boverket, Myndighet för samhällsplanering, byggande och boende (2010). *Klimatanpassning i planering och byggande – analys, åtgärder och exempel*, Rapport, Karlskrona: Boverket internt

Boverket. Myndighet för samhällsplanering, byggande och boende (2010). *Mångfunktionella ytor – Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom grönstruktur*. Rapport. Karlskrona: Internt Boverket

Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M. & Pullin, A.S (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning* 97, ss 147-155.

BREEAM Communities. (2011) *BREEAM for Communities: Stage 2, SD5065 Technical Guidance Manual: Version 1. BREEAM for Communities Assessor Manual: Development Planning Application Stage.* (Elektronisk) Manual. BREEAM Communities. Tillgänglig: <http://www.breeam.org/page.jsp?id=117> (2011-04-04)

Brown, R.D. & Gillespie, T.J (1995). *Microclimatic Landscape Design Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency.* United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

Calkins, M. (2007). The magazine of the American society of landscape architects, *Cooling the Blacktop.* (Elektronisk). Tillgänglig: <http://www.asla.org/lamag/lam07/february/ecology.html> (2011-02-22)



Concretethinker. (2011). (Elektronisk) Tillgänglig: <http://www.concretethinker.com/solutions/Heat-Island-Reduction.aspx> (2011-03-21)

Davies, M., Steadman, P. & Oreszczyn, T. (2008). Strategies for the modification of the urban climate and the consequent impact on building energy use. *Energy Policy* 36, ss. 4548-4551.

Dimoudi, A. & Nikolopoulou, M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings* 35, ss. 69-76.

Doulos, L., Santamouris, M. & Livada, I. (2004). Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar Energy* 77, ss. 231-249.

Eliasson, I. (1999). The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and Urban Planning* 48, ss. 31-44.

Feng, C., Meng, Q. & Zhang, Y. (2010). Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. *Energy and Buildings* 42, ss. 959-965.

Georgi, N.J. & Zafiriadis, K. (2006). The impact of park trees on microclimate in urban areas. *Urban Ecosys* 9, ss. 195-209.

Givoni, B. (1991). Impact of planted areas on urban environmental quality: A review. *Atmospheric Environment* Vol. 25B, No. 3, ss. 289-299.

Green Infrastructure and Hydrology. (2009). (Elektronisk) Tillgänglig: [http://www.ukcip.org.uk/wordpress/wpcontent/PDFs/LA\\_pdfs/GI\\_Hydrology.pdf](http://www.ukcip.org.uk/wordpress/wpcontent/PDFs/LA_pdfs/GI_Hydrology.pdf) (2011-02-16)

Grimmond, S. (2007). Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. Environmental Monitoring and Modelling Group, Department of Geography, King's College London

Grimmond, C.S.B., Roth, M., Oke, T.R., Au, Y.C., Best, M., Betts, R., Carmichael, G., Cleugh, H., Dabberdt, W., Emmanuel, R., Freitas, E., Fortuniak, K., Hanna, S., Klein, P., Kalkstein, L.S., Liu, C.H., Nickson, A., Pearlmutter, D., Sailor, D., & Voogt, J. (2010). Climate and More Sustainable Cities: Climate Information for Improved Planning and Management of Cities (Producers/Capabilities Perspective). *Procedia Environmental Sciences* 1, ss. 247-274

Hedlund, A. & Kjellander, C. (2007). *MKB, introduktion till miljökonsekvensbeskrivning*. Polen: Studentlitteratur

Hwang, R.-L., Lin, T.-P. & Matzarakis, A. (2011). Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment* 46, ss. 863-870.

Johansson, D. (2007). *Materialet i landskapet: om att åldras med skönhet*. Sverige: Stiftelsen Arkus.

Kirnbauer, M.C., Kenney, W.A., Churchill, C.J. & Baetz B.W. (2009) A prototype decision support system for sustainable urban tree planting programs. *Urban Forestry & Urban Greening* 8.

Leuzinger, S., Vogt, R. & Körner, C. (2010). Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology* 150, ss. 56-62.

Levinson, R. & Akbari, H. (2002). Effects of composition and exposure on the solar reflectance of portland cement concrete. *Cement and Concrete Research* 32, ss. 1679-1698.

MacIvor J.S. & Lundholm, J. (2010). Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate. *Ecological Engineering*.

Madlener, R. & Sunak, Y. (2010). Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: What can we learn for urban energy planning and urbanization management? *Sustainable Cities and Society*.

Marland, G., Pielke, R.A., Sr., Apps, M., Avissar, R., Betts, R.A., Davis, K.J., Frumhoff, P.C., Jackson, S.T., Joyce, L.A., Kauppi, P., Katzenberger, J., MacDicken, K.G., Neilson, R.P., Niles, O.J., Niyogi, Dev dutta S., Norby, R.J., Pena, N., Sampson N. & Xue, Y. (2003). The climatic impacts of land surface change and carbon management, and the implications for climate-change mitigation policy. *Climate Policy* 3, ss. 149-157.

McCarthy, M.P., Best, M.J., & Betts, R.A. (2010). Climate change in cities due to global warming and urban effects. *Geophysical research letters*, vol. 37, L09705.

Mills, G., Cleugh, H., Emmanuel, R., Endlicher, W., Erell, E., McGranahan, G., Ng, E., Nickson, A., Rosenthal, J., & Steemer, K. (2010). Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective). *Procedia Environmental Sciences* 1, ss. 228-246.

Montague, T. & Kjelgren, R. (2004). Energy balance of six common landscape surfaces and the influence of surface properties on gas exchange of four containerized tree species. *Scientia Horticulturae* 100, ss. 229-249.

Nakayamaa, T. & Fujita, T. (2010). Cooling effect of water-holding pavements made of new materials on water and heat budgets in urban areas. *Landscape and Urban Planning* 96, ss. 57-67.

Nationalencyklopedin. (2011). (Elektronisk). Tillgänglig: <http://www.nationalencyklopedin.se> (2011-02-10)

Nyström, J. (2003). *Planeringens grunder, en översikt*. Sverige: Studentlitteratur, Lund

Oke, T.R. (1978). *Boundary Layers Climates*. Second edition. USA by Methuen & Co.

Pauleit, S. (2011). (Elektronisk). Tillgänglig: [http://www.2bg.dk/Internal\\_Workshop/Monsterregn/3\\_KlimaKomfort\\_StephanPauleit.pdf](http://www.2bg.dk/Internal_Workshop/Monsterregn/3_KlimaKomfort_StephanPauleit.pdf) (2011-02-15)

Pauleit, S. & Duhme, F. (2000). Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning. *Landscape and Urban Planning* 52, ss. 1-20.

Peterson, T.C. (2003). Assessment of Urban Versus Rural In Situ Surface Temperatures in the Contiguous United States: No Difference Found. *Journal of Climate* Vol. 16, No. 18.

Pomerantz, M., Akbari, H., & Harvey, T.J. (-). Cooler reflective pavements give benefits beyond energy savings: Durability and Illumination.

Robitu, M., Musy, M., Inard, C. & Groleau, D. (2006). Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate. *Solar Energy* 80, ss. 435-447.

Rosheidat, A. & Bryan, H. (2010). Optimizing the effect of vegetation for pedestrian thermal comfort and urban heat island mitigation in a hot arid urban environment. Fourth National Conference of IBPSA-USA.

Rowe, D.B. (2010). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution* 22, ss. 1-11.

Santamouris, M. (2001). *Energy and climate in the urban built environment*. UK by James & James (Science Publishers)

Santamouris, M., Synnefa, A. & Karlessi, T. (2011). Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy*.

Seto, K.C. & Shepherd, M.J. (2009). Global urban land-use trends and climate impacts. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 1, ss. 89-95.

Stadsbyggnadskontoret, Stockholm (2010). *Årstafältet, Program för detaljplan*. Rapport Dnr 2007-08046-53.

Starka Betongindustrier. (2011). (Elektronisk). Tillgänglig: <http://www.starka.se/focusmain.asp?focusid=2> (2011-02-16)

Stockholms Stad. (2011). (Elektronisk). Tillgänglig: [www.stockholm.se](http://www.stockholm.se) (2011-02-24)

Svirejeva-Hopkins, A., Schellnhuber, H.J & Pomaz, V.L. (2004). Urbanised territories as a specific component of the Global Carbon Cycle. *Ecological Modelling* Vol. 173, Issues 2-3, ss. 295-312.

Sweden Green Building Council. (2011). (Elektronisk). Tillgänglig: <http://www.sgbc.se/om-sweden-green-building-council/klassningssystem/> (2011-02-14)

Synnefa, A., Karlessi, T., Gaitani, N., Santamouris, M., Assimakopoulos, D.N. & Papakatsikas, C. (2010). Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate. *Building and Environment* 46, ss. 38-44.

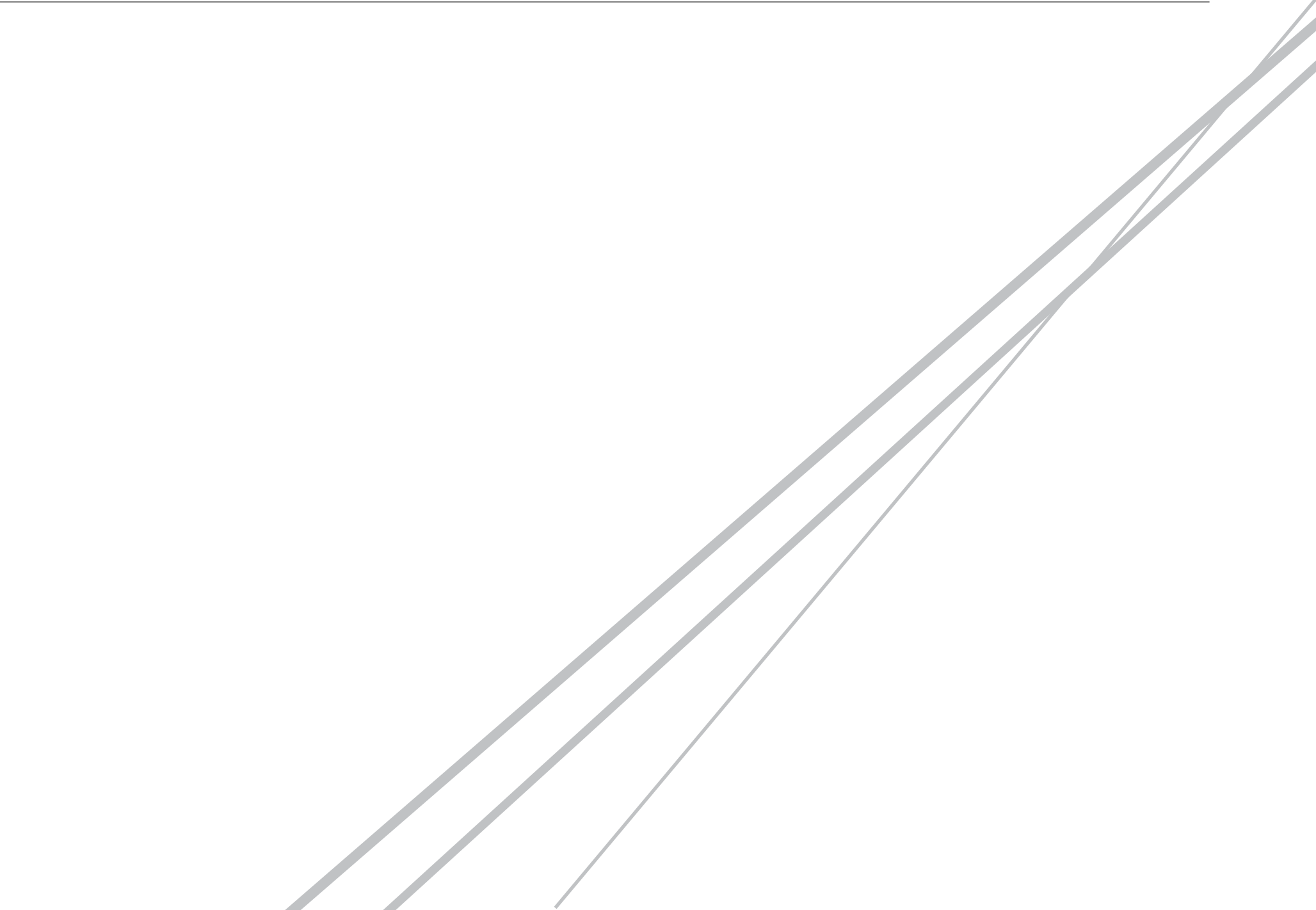
Trädplan för Lund. (2009). (Elektronisk). Tillgänglig:  
<http://www.movium.slu.se/kurser/dokument/Trädplan%20för%20Lunds%20kommun%20-%20huvudrapporten.pdf> (2011-02-14)

USGBC. (2005) *U.S. Green Building Council. LEED for New Construction & Major Renovations*. (Elektronisk). Tillgänglig: <https://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=1095> (2011-04-14)

Wonga, N.H, Jusuf, S.K. & Tan, C.L. (2011). Integrated urban microclimate assessment method as a sustainable urban development and urban design tool. *Landscape and Urban Planning*.

Yang, F., Lau, S.S.Y & Qian, F. (2011). Urban design to lower summertime outdoor temperatures: An empirical study on high-rise housing in Shanghai. *Building and Environment* 46, ss. 769-785.

Yilmaz, H., Toy, S., Irmak, M.A., Yilmaz, S. & Bulut, Y. (2008). Determination of temperature differences between asphalt concrete, soil and grass surfaces of the City of Erzurum, Turkey. *Atmósfera* 21, ss. 135-146.



## Bilagor

### Bilaga 1 - Lista över kategoriserade vetenskapliga artiklar

Listan sammanfattar alla insamlade artiklar och dess författare, tidskrift och år. Varje artikel har fått en beskrivning som sammanfattar artikelns resultat. Varje artikel återfinns endast under en kategori. Flera av artiklarna berör mer än en kategori men har kategoriserats till den kategori som stämmer bäst överens med artikels innehåll. Varje artikel har ett nyckelord som är anknuten till artikelns innehåll.

<b>Kategori/ Nyckelord</b>	<b>Författare</b>	<b>Titel/Tidskrift/ År</b>	<b>Beskrivning</b>
<b>Klimat i urban miljö</b>			
<i>Energiförbrukning</i>	Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H.	Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas  Solar Energy Vol. 70, No3, ss. 295-310/ 2001	Träd och ytor med högt albedo kan kompensera eller upphäva en värmeö. En minskning av värmeöar skulle spara 20 % av energiförbrukningen på grund av luftkonditionering och dessutom förbättra luftkvaliteten. Man bör öka material med högt albedo på tak och vägar och utveckla program för stadsträd.

<i>Klimataspekter och modeller</i>	Grimmond, C.S.B., Roth, M., Oke, T.R., Au, Y.C., Best, M., Betts, R., Carmichael, G., Cleugh, H., Dabberdt, W., Emmanuel, R., Freitas, E., Fortuniak, K., Hanna, S., Klein, P., Kalkstein, L.S., Liu, C.H., Nickson, A., Pearlmutter, D., Sailor, D., & Voogt, J.	Climate and More Sustainable Cities: Climate Information for Improved Planning and Management of Cities (Producers/Capabilities Perspective)  Procedia Environmental Sciences 1, ss. 247-274/ 2010	En recension av de senaste tjugo årens framsteg och vetenskapliga grunden för städernas klimat. Med hänsyn till hållbarhet i städer, applikationer för information om klimatet och vetenskaplig förståelse i förhållande till mätningar och modeller.
<i>Urban värmeö</i>	McCarthy, M.P., Best, M.J., & Betts, R.A.	Climate change in cities due to global warming and urban effects  Geophysical research letters, vol. 37, L09705/ 2010	En modell har använts och visar att regioner med hög befolkningsökning sammanfaller med regioner med hög potential för urbana värmeöar.
<i>Urban värmeö dementeras</i>	Peterson, T.C	Assessment of Urban Versus Rural In Situ Surface Temperatures in the Contiguous United States: No Difference Found  Journal of Climate Vol. 16, No. 18/ 2003	Effekten värmeö dementeras. Det finns inhomogeniteter i alla analyser av den urbana värmeöars påverkan på temperatur. Det finns inget statistisk signifikant bevis för att urbanisering påverkar den årliga temperaturen.
<b>Stadsbyggnad</b>			
<i>Gators geometri</i>	Bourbia, F. & Boucheriba, F.	Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine)  Renewable Energy 35, ss. 343-347/ 2010	Gators geometri varierar och definieras av: höjd förhållanden, bredd förhållanden, Sky View faktor och gatans längdaxel. Geometrin påverkar upptag och utsläpp av solenergi och utgående långvägig strålning som har inverkan på temperaturen. Studien jämför hur mikroklimatet varierar längst en gata, effekten av gatans geometri och dess påverkan på byggnader.

<i>Fysisk utformning</i>	Davies, M., Steadman, P. & Oreszczyn, T.	Strategies for the modification of the urban climate and the consequent impact on building energy use  Energy Policy 36 ss. 4548-4551/ 2008	Förändringar av stadsmiljön kommer att förstärka eller förminska klimat skillnaderna. Rapporten summerar möjliga påverkningar av sådana förändringar. Internationella studier indikerar på att förändringar i den urbana miljön kan påverka energiförbrukningen av byggnader.
<i>Skugga</i>	Hwang, R.-L., Lin, T.-P. & Matzarakis, A.	Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort  Building and Environment 46, ss. 863-870/ 2011	Studien visade att lite skuggade områden har varma förhållanden under sommaren men mycket skuggade platser har en låg temperatur under vintern. En plats får gärna vara skuggad under vår, sommar och höst och ha mindre skugga på vintern. Stadsgator bör ha en viss skuggning.
<i>Energiplanering</i>	Madlener, R. & Sunak, Y.	Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: What can we learn for urban energy planning and urbanization management?  Sustainable Cities and Society/ 2010	Under de närmaste årtiondena kommer nya expanderande storstäder i utvecklingsländer spela en viktig roll när det gäller utveckling och distribution av den globala efterfrågan på energi. För en hållbar energiframtid kommer energiplanering vara avgörande för att skapa förutsättningar och ramverk.
<i>Fysisk utformning</i>	Mills, G., Cleugh, H., Emmanuel, R., Endlicher, W., Erell, E., McGranahan, G., Ng, E., Nickson, A., Rosenthal, J., & Steemer, K.	Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective)  Procedia Environmental Sciences 1, ss. 228-246/ 2010	Urbana klimateffekter beror på den fysiska utformningen av staden, dess tredimensionella geometri, material och funktioner. Rekommendationer belyses för att stärka städerna och upprätthålla observationer för att öka förståelsen av lokala, regionala och globala klimatkopplingar, utveckla praktiska verktyg inom planering.
<i>Mikroklimat modell</i>	Wonga, N.H, Jusuf, S.K. & Tan, C.L.	Integrated urban microclimate assessment method as a sustainable urban development and urban design tool  Landscape and Urban Planning/ 2011	Idag är GIS (Geographical Information System) en plattform som används i olika geografiska undersökningar som rör städernas klimatforskning och användas för att analysera urbana klimatparametrar. Trots att GIS är ett bra designverktyg tenderar urbana planerare att inte anamma denna teknik. Artikeln presenterar en idé för att övervinna detta och utveckla en användarvänlig plattform för stadsplanering som tar över GIS. Diskussion kring framtidens verktyg.



<i>Byggnader och vegetation</i>	Yang, F., Lau, S.S.Y & Qian, F.	Urban design to lower summertime outdoor temperatures: An empirical study on high-rise housing in Shanghai  Building and Environment 46, ss. 769-785/ 2011	Undersökning av stadsplaneringens olika påverkande faktorer på urbana värmeöar som byggnadens densitet, utformning och grönska. Skugga på platsen har störst inverkan på värmeöar dagtid och på natten har grönskan störst påverkan. Strategier för att minska värmeöar är att ge byggnaden förbättrad skugga, underlätta vindcirkulation i staden och utökad växtlighet genom strategiska trädplanteringar.
<b>Markanvändning</b>			
<i>Markförändring</i>	Marland, G., Pielke, R.A., Sr., Apps, M., Avissar, R., Betts, R.A., Davis, K.J., Frumhoff, P.C., Jackson, S.T., Joyce, L.A., Kauppi, P., Katzenberger, J., MacDicken, K.G., Neilson, R.P., Niles, O.J., Niyogi, Dev dutta S., Norby, R.J., Pena, N., Sampson N. & Xue, Y.	The climatic impacts of land surface change and carbon management, and the implications for climate-change mitigation policy  Climate Policy 3 ss. 149-157/ 2003	Förändringar av ytors energibudget kan påverka det lokala, regionala och globala klimatet. Markytans förändring är en viktig komponent till klimatförändringarna och ett system behövs för inflöden och utflöden av kol till biosfären. Detta är likställt med utsläppen av koldioxid från fossila bränslen.
<i>Energibalans ytor</i>	Montague, T. & Kjelgren, R.	Energy balance of six common landscape surfaces and the influence of surface properties on gas exchange of four containerized tree species  Scientia Horticulturae 100, ss. 229-249/ 2004	Undersökning av sex urbana ytors energibalanser: asfalt, grus, lavastenar, betong, tallbarks kompost och torv. Albedot var störst för betong och minst för lava och den värmeledande förmågan var störst för asfalt och minst för lavastenar och tallbark. Jordens värmefflöde och temperatur var störst under asfalt och betong och minst under kompost. Energiflödet ned i marken var störst under asfalt och betong men under bark, lavastenar hindrades en stor del av strålning att komma ner i jorden under. Ytemperaturen var större och mer långvågig strålning släpptes ut från icke vegetativa ytor.

<i>Marktäcke modell</i>	Pauleit, S. & Duhme, F.	Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning  Landscape and Urban Planning 52, ss. 1-20/ 2000	Ett system, modell har utvecklats för att klargöra urbana marktäckande enheter, dess klimatpåverkan och urbana energi flöden. Enheterna utgjordes av ett gradientsystem kring bebyggda och öppna ytor. Fallstudier genomförs inom hydrologi, urbant klimat, koldioxidutsläpp och energi förbrukning för uppvärmning. Resultaten visade att de täckande ytorna gav distinkta miljöpåverkningar.
<i>Markförändring</i>	Seto, K.C. & Shepherd, M.J.	Global urban land-use trends and climate impacts  Current Opinion in Environmental Sustainability 1, ss. 89-95/ 2009	Urban markanvändning och förändringar i marktäcknet har en stor påverkan på klimatet. Forskning pekar på att urbaniseringen påverkar flödet av vatten, kol, aerosoler och kväve i klimatsystemet. Redovisning av vetenskapliga artiklar för ökad förståelse av urban markanvändning och dess climateffekter.
<b>Material i staden</b>			
<i>Takbeläggningar</i>	Akbari, H., Berhe, A.A., Levinson, R., Graveline, S., Foley, K., Delgado, A.H. & Paroli, R.M.	Aging and weathering of cool roofing membranes  Cool Roofing Symposium, Atlanta, GA	Summering av 15 takmembraners albedo, solreflekterande förmåga med efter aspekter som väderpåverkade, icke väderpåverkade och tvättade. Nedsmutsade tak har en sämre reflektionsförmåga och har en sämre påverkan på lufttemperaturen och byggnaders energiförbrukning.
<i>Markmaterial</i>	Doulos, L., Santamouris, M. & Livada, I.	Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials  Solar Energy 77, ss. 231-249/ 2004	93 vanliga markbeläggningsmaterial studerades och klassificerades som varma eller kalla material enligt dess termiska prestanda och fysikaliska egenskaper. Effekterna av färg, ytjämnhet och dimensionering analyserades också. Studien kan bidra till val av lämpligt material i staden för att bekämpa effekten av värmeöar och minska elförbrukningen hos byggnader.
<i>Markmaterial - betong</i>	Levinson, R. & Akbari, H.	Effects of composition and exposure on the solar reflectance of portland cement concrete  Cement and Concrete Research 32, ss. 1679-1698/ 2002	32 blandningar av betong undersöktes. Albedon för betongen är relaterat till albedot för cement och sand. Cement har ett stort inflytande på betongens albedo. Vittring, nedsmutsning och nötning reducerade det genomsnittliga albedot för betong.

<i>Markmaterial - trottoarer</i>	Nakayamaa, T. & Fujita, T.	Cooling effect of water-holding pavements made of new materials on water and heat budgets in urban areas  Landscape and Urban Planning 96, ss. 57-67/ 2010	Utvärdering av trottoarers material och dess vatten och värmehållande förmågor. Yttemperaturen är lägre hos vattenhållande gatubeläggningar i samband med avdunstning från ytan, trottoarens vattenvolym och ytans reflektans.
<i>Markmaterial - trottoarer</i>	Pomerantz, M., Akbari, H., & Harvey, T.J	Cooler reflective pavements give benefits beyond energy savings: Durability and Illumination  -	Att göra trottoarerna cooler (kallare) genom att öka dess reflektionsförmåga för solljus ökar även trottoarernas livslängd, ger lägre kostnader för bindningsmedel till asfalt och ger besparingar på gatubelysning och skyltar.
<i>Kalla material</i>	Santamouris, M., Synnefa, A. & Karlessi, T.	Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions  Solar Energy/ 2011	Presentation cool (kalla) material, material med hög solreflektans och emittans för byggnader och urbana strukturer. Materialens påverkan beskrivs i relation till dess fördelar i byggandet av städer. Användningen av sådana material bidrar till att lindra värmeö effekten och förbättra kvaliteten på stadsmiljön.
<i>Markmaterial - asfalt</i>	Synnefa, A., Karlessi, T., Gaitani, N., Santamouris, M., Assimakopoulos, D.N. & Papakatsikas, C.	Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate  Building and Environment 46, ss. 38-44/ 2010	Undersökningen mätte och analysera egenskaper och termisk prestanda för 5 olika färger av ett tungt lager asfalt med en traditionell asfalt. Färgproverna visade lägre ytemperatur jämfört med den traditionella.
<b>Vegetation</b>			
<i>Stadsträd</i>	Akbari, H.	Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants  Environmental Pollution 116, ss 119-126/ 2002	Skuggande träd i den urbana miljön har betydande fördelar för att minska byggnaders luftkonditionering och kan förbättra stadens luftkvalitet på grund av minskad dimma. Besparingar kan vara upp till 200 dollar per träd. Träd har en stor inverkan i bindningen av koldioxid och bromsar därmed den globala uppvärmningen.
<i>Gröna tak - dränering</i>	Berndtsson, J.C.	Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review  Ecological Engineering 36, ss. 351-360/ 2010	Översiktlig rapport som behandlar gröna tak i städer ur dräneringssynpunkt och hänsyn till vattnets kvantitet och kvalitet. Faktorer som påverkar avrinning från gröna tak: lutning, fuktegenskaper, årstid, väder, regn, ålder på gröna tak och typ av vegetation.

<i>Lufttemperatur</i>	Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M. & Pullin, A.S	Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence  Landscape and Urban Planning 97, ss. 147-155/ 2010	Många studier stödjer att gröna platser är svalare än icke gröna områden. Ytterligare forskning är nödvändig för att effektivt styra utformningen och planeringen av grönområden i staden och undersöka överflöd, spridning och olika typer av vegetation.
<i>Mikroklimat</i>	Dimoudi, A. & Nikolopoulou, M.	Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits  Energy and Buildings 35, ss. 69-76/ 2003	Studien syftar till att utveckla parametrar som beskriver mikroklimatet och miljön kring olika urbana texturer. En parameter innefattar användningen av vegetation i urbana sammanhang och dess effekt på mikroklimatet och solljus. Dessa effekter påverkar mikroklimatet och energiförbrukningen av byggnader.
<i>Gröna tak - energibalans</i>	Feng, C., Meng, Q. & Zhang, Y.	Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs  Energy and Buildings 42, ss. 959-965/ 2010	Studien analyserar energibalansen av extensiva gröna tak och presenterar en enkel energibalans modell.
<i>Stadsträd</i>	Georgi, N.J. & Zafiriadis, K.	The impact of park trees on microclimate in urban areas  Urban Ecosys 9, ss. 195-209/ 2006	Stadsträd har en viktig positiv effekt på människors liv. En sådan positiv effekt är en förbättring av mikroklimatet. Studien bedömer parametrar som påverkar parkers mikroklimat under sommaren.
<i>Utformning</i>	Givoni, B.	Impact of planted areas on urban environmental quality: A review  Atmospheric Environment Vol. 25B, No. 3, ss. 289-299/ 1991	Diskussion kring effekterna av planterade urbana områden som offentliga parker, privata trädgårdar och om dess olika kvaliteter på stadsmiljön. Sammanfattning kring riktlinjer inom klimat för utformning och design av parker.
<i>Struktur modell</i>	Kirnbauer, M.C., Kenney, W.A., Churchill, C.J. & Baetz B.W.	A prototype decision support system for sustainable urban tree planting programs  Urban Forestry & Urban Greening 8/ 2009	Datamodell för trädplanering i urbana miljöer för att behålla en hållbar trädstruktur i en expanderande stadsmiljö. Med avvägningar kring träds placering, artval, ålder och mångfald.

<i>Stadsträd</i>	Leuzinger, S., Vogt, R. & Körner, C.	Tree surface temperature in an urban environment Agricultural and Forest Meteorology 150, ss. 56-62/ 2010	Studien visar 10 träd som ofta planteras i centrala Europa och dess trädkronors temperaturer. Generellt förblev småbladiga lövträd svalare än storbladiga träd. För att uppskatta framtida temperatureffekter utvärderades bladets energibalans.
<i>Gröna tak - arter</i>	MacIvor J.S. & Lundholm, J.	Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate  Ecological Engineering/ 2010	Studien utvärderar gröna taks arters överlevnad, yta, inverkan på tak kyla och behållande förmåga av dagvatten. De högst pesterande arterna sänkte temperaturen på taket med 3,44 grader och ökade den solreflekterande förmågan med 22,2% och dessutom behöll de främsta arterna 75,3% av dagvattnet.
<i>Temperatur modell</i>	Robitu, M., Musy, M., Inard, C. & Groleau, D.	Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate  Solar Energy 80, ss. 435-447/ 2006	Träd beaktas utifrån strålningsutbyte och värmeledning. En modell har gjorts för att uppskatta träd och dammars påverkan på ett torg i staden. Resultaten visade att ytemperaturen reducerades i närvaro av träd och dessutom förbättrades komforten.
<i>Låg vegetation</i>	Rosheidat, A. & Bryan, H.	Optimizing the effect of vegetation for pedestrian thermal comfort and urban heat island mitigation in a hot arid urban environment  Fourth National Conference of IBPSA-USA/ 2010	Litteratur som behandlar mildrande effekter av Urban heat island rekommenderar trädplantering som huvudstrategi. Träd skuggar dock fotgängare på dagen, minskar trottoarens Sky view faktor under natten och minskar strålningen till himlen. Det kan vara mer fördelaktigt att använda låg vegetation.
<i>Gröna tak - mildra föroreningar</i>	Rowe, D.B.	Green roofs as a means of pollution abatement  Environmental Pollution, ss. 1-11/ 2010	Sammanfattning kring hur gröna tak kan mildra föroreningar, material kring gröna tak och framtida forskning i ämnet. Diskussion i gröna taks inflytande kring: luftföroreningar, koldioxidutsläpp, upptag av kol, dagvattenavrinning och buller och framtida inriktningar.
<i>Markmaterial - temperaturskillnader</i>	Yilmaz, H., Toy, S., Irmak, M.A., Yilmaz, S. & Bulut, Y.	Determination of temperature differences between asphalt concrete, soil and grass surfaces of the City of Erzurum, Turkey  Atmósfera 21, ss. 135-146/ 2008	Staden Erzurum har ett extremt kontinentalt klimat och få trädslag kan växa i staden. Dock kan gräs ha positiva effekter på träd. Studien genomfördes för att fastställa temperaturskillnader mellan asfalt, betong, jord och gräsytor.

## Bilaga 2 – tabell för jord, mark- och yttyper

	Albedo (%)	Emissivitet (%)	Thermal Admittance (J/m <sup>2</sup> s <sup>1/2</sup> K)
<b>SOILS</b>			
Moist dark cultivated	5-15	90-98	
Moist gray	10-20		
Dry sandy	25-35	84-91	
Wet sandy	20-30		
Dry sand dune	30-75		
Dry soil		600	
Wet soil		2500	
<b>VEGETATION</b>			
Grass	5-30	90-99	
Green fields	20-30	90-95	
Wheat	3-15		
	15-25		
Meadows	10-30		
Chaparral	15-20		
Brown grassland	25-30		
Woods	5-20		
Deciduous forest	10-20		
Coniferous forest	5-16	97-98	
Swamp forest	12	97-99	
<b>WATER</b>			
Water (high sun angle)	5-95	92-97	1500
Water (low sun angle)	5	92-97	
Snow (fresh)	70-95	99	130
Snow (old)	40-70	82	600
<b>URBAN SURFACES</b>			
Asphalt	5-15	95	
Concrete	10-50	71-90	
Brick	20-50	90-92	950
Stone	20-35	85-95	
Tar & gravel roof	8-18	92	
Tile roof	10-35	90	
Slate roof	10	90	
Thatch roof	15-20		
Corrugated iron	10-16	13-28	
White paint	50-90	85-95	
Red, brown, green paint	20-35	85-95	
Black paint	2-15	90-98	
<b>AIR</b>			
Still		5	
Turbulent		400	

(Brown & Gillespie s. 49 1995)

Bilaga 3 redovisas en tabell med albedot, emissiviteten och den termiska ledningsförmågan för vanligt förekommande jordar, mark- och yttyper. Albedot, emissiviteten och den termiska ledningsförmågan påverkar markens värmelagrande egenskaper.

### Bilaga 3 – tabell för vanligt förekommande takmaterial

En sammanställning av vanligt förekommande takmaterials solreflektans, infraröd emittans och SRI gjord av av Santamouris, Synnefa & Karlessi (2011).

Material	Solar reflectance	Infrared emittance	SRI
<b>Coatings</b>			
White	0.70–0.85	0.80–0.90	84–113
Aluminum	0.20–0.65	0.25–0.65	-25 to 72
Conventional black	0.04–0.05	0.80–0.90	-7 to 0
Cool black	0.20–0.29	0.80–0.90	14–31
Conventional dark colored coatings	0.04–0.20	0.80–0.90	-7 to 19
Cool dark colored coatings	0.25–0.4	0.80–0.90	21–45
<b>Asphalt shingles</b>			
White asphalt shingle	0.20–0.30	0.80–0.90	15–28
Black	0.04	0.80–0.90	-7 to _1
Dark colored conventional asphalt shingles	0.05–0.10	0.80–0.90	-6 to 6
Cool colored asphalt shingles	0.18–0.34	0.80–0.90	11–37
<b>Tiles</b>			
Terracotta ceramic	0.25–0.40	0.85–0.90	23–45
White clay	0.60–0.75	0.85–0.90	71–93
White concrete	0.60–0.75	0.85–0.90	71–93
Grey concrete	0.18–0.25	0.85–0.90	14–25
Dark colored concrete	0.04–0.40	0.85–0.90	-4 to 45
Cool dark colored concrete	0.40–0.60	0.85–0.90	43–72
<b>Membranes</b>			
White membrane	0.65–0.85	0.8–0.90	76–107
Black	0.04–0.05	0.8–0.90	-7 to 0
<b>Metal roof</b>			
Unpainted	0.20–0.60	0.05–0.35	-48 to 53
Painted white	0.60–0.75	0.8–0.90	69–93
Dark conventionally colored	0.05–0.10	0.8–0.90	-6 to 6
Dark cool colored	0.25–0.70	0.8–0.90	21–86
<b>Build up roof</b>			
With asphalt	0.04	0.85–0.90	-4 to -1
With dark gravel	0.08–0.20	0.8–0.90	-2 to 19
With white gravel	0.30–0.50	0.8–0.90	27–58
With white coating	0.75–0.85	0.8–0.90	93–113
<b>Modified bitumen</b>			
With mineral surface capsheet	0.10–0.20	0.85–0.95	4–21
White coating over mineral surface	0.60–0.75	0.85–0.95	71–94