



Sveriges
lantbruksuniversitet

Klimatpåverkan vid ändrad markanvändning på Årstafältet

- effekter på energibalansen i lokal skala

Carmen Sosa

REFERAT

Klimatpåverkan vid ändrad markanvändning på Årstafältet – effekter på energibalansen i lokal skala

Carmen Sosa

Markanvändningen påverkar förutsättningarna för en ytas energibalans och därmed lokalklimatet. Med kunskap om olika ytors klimatpåverkan kan åtgärder vidtas redan i stadsplaneringen, dock saknas tillgängliga verktyg anpassade till stadsplanerare. Den här studien syftar till: (1) att genom en lämplig fallstudie, skapa en grund för ett verktyg som uppskattar klimatpåverkan vid transformering av naturmark till urban mark, (2) att undersöka klimatpåverkan för den planerade markanvändningsförändringen i fallstudien och (3) att undersöka takvegetationens effekt på den planerade markanvändningsförändringen i fallstudien.

Första steget i metoden var att definiera systemgränserna och avgränsa omfattningen av rapporten. Årstafältet (Stockholm) valdes som fallstudieområde där det planeras en markanvändningsförändring från naturmark till urban mark. Rapportens innehåll avgränsas till: (1) den klimatpåverkan som har direkt koppling till ytans förändrade egenskaper p.g.a. den förändrade markanvändningen, (2) sommarmånaderna, (3) att använda ytemperaturen som klimatindikator och (4) att endast ta hänsyn till den horisontella projektionen av ytorna. Andra steget var att identifiera och bestämma arean på ytorna representerade på Årstafältet. Här gjordes skillnad på två scenarion för den planerade markanvändningen: ett scenario utan takvegetation och ett scenario med takvegetation. Parallellt med andra steget beräknades de olika ytornas klimatpåverkan, baserat på ekvationer för energibalansen. Slutligen uppskattades hela ytans klimatpåverkan baserat på de olika delytornas relativa täckning för ytorna identifierade på Årstafältet.

Studien visade att generellt har naturliga ytor en svalkande till neutral effekt på klimatet medan urbana ytor har en neutral till värmande effekt. Vegetation verkar dämpande på en ytas inverkan på klimatet. Årstafältets planerade markanvändningsförändring har en klimatpåverkan och takvegetationens roll är marginell jämfört med klimatpåverkan p.g.a. själva markanvändningsförändringen.

Nyckelord: markanvändning, markanvändningsförändring, klimatpåverkan, energibalansen, ytemperatur, urbanisering, urbant klimat, planeringsverktyg

ABSTRACT

Climate impact due to land use change in Årstafältet – effects on the energy budget in local scale

Carmen Sosa

Land use affects the conditions for a surface energy budget and thus the local climate. With knowledge of the climate impact from different surfaces the planners could take this knowledge into account while planning urban areas; however, the urban planners do not have available tools. This study aims to: (1) provide a basis for a tool to estimate the climate effects of the transformation of natural land to urban land, with the help of a case study, (2) to investigate the climate impact of the planned land use change in the case study and (3) to investigate the effect of green roofs on the planned land use change in the case study.

The first step in the method was to define the system boundaries and the limitations in this report. Årstafältet (Stockholm) was chosen as the case study area, where the plans are to change the land use from rural to urban land. The report's contents have been limited into: (1) climate impact related directly to the change of surface properties due to land use change (2) summer months, (3) use of surface temperature as a measure of the climate impact and (4) only take into account the horizontal projection of the surfaces. The second step was to identify and determine the area of the surfaces represented in Årstafältet. Two scenarios for the planned land use have been investigated separately: one scenario without green roofs and one scenario with green roofs. In parallel with the second step, calculations of the impacts of the different surfaces on the climate were made, based on equations of the energy budget. Finally, the sum of the climate impact, based on the area covered by the surface, was determined for the surfaces represented in Årstafältet.

This study showed that natural surfaces have in general a neutral to cooling effect on the climate, while urban surfaces have a neutral to warming effect. Vegetation reduces the effect of the surface's climate impact. The planned land use change in Årstafältet has an impact on the climate and the green roofs' role is marginal, compared to the climate impact due to the actual land use change.

Keywords: land use, land use change, climate change, energy budget, surface temperature, urbanization, urban climate, planning tool

FÖRORD

Den här rapporten är skriven som ett examensarbete inom utbildningen till civilingenjör i miljö- och vattenteknik. Examensarbetet är grundat på ett samarbete mellan White Arkitekter och Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) vid namn *Markanvändningens klimatpåverkan*. Huvudansvaret som handledare för examensarbetet hade Elisabet Lewan, Institutionen för Mark och Miljö vid SLU. Även Henrik Eckersten, Institutionen för växtproduktionsekologi vid SLU, och Cecilia Sundberg, Institutionen för Energi och Teknik vid SLU, bistod med handledning under arbetets gång. Huvudansvaret som ämnesgranskare hade Cecilia Sundberg, dock har både Elisabet Lewan och Henrik Eckersten hjälpt med granskningen inom deras ämnesområden. Albert Orrling, White Arkitekter, har haft rollen som mentor och kontaktperson på White Arkitekter.

ARQ White har bidragit med finansiellt stöd för utförande av examensarbetet. Tack till White Arkitekter för nyttjande av deras lokaler, den goda frukten och tillgång till kartmaterial för fallstudieområdet. Tack till Stockholms stadsbyggnadskontor för tillstånd till att använda deras kartor (Figur 4-7) och även till Isabelle Brandt för tillstånd till att använda hennes illustration (Figur 3).

Jag vill rikta min tacksamhet till initiativtagaren Albert Orrling, utan din ambition hade inte projektet blivit av, till min kollega Isabelle Brandt, för att du vidgade mina vyer efter givande diskussioner och synpunkter, till mina handledare, för att ni bombarderat min hjärna med synpunkter, till pluggänget på Geocentrum, för allt stöd med disciplinen, och slutligen till alla er som läst och granskat eller på annat sätt bidragit till arbetet.

Copyright © Carmen Sosa och Institutionen för Energi och Teknik, Sveriges lantbruksuniversitet

UPTEC-W11 027, ISSN 1401-5765

Tryckt hos Institutionen för geovetenskaper, Geotryckeriet, Uppsala universitet, Uppsala, 2011.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Klimatpåverkan vid ändrad markanvändning på Årstafältet – effekter på energibalansen i lokal skala

Carmen Sosa

Vi har bevittnat en ström av människor från landsbygden till städerna, s.k. urbanisering, under det senaste århundradet. FN:s prognoser visar att trenden med en ökad befolkningsmängd och en ökad urbaniseringsgrad inte bedöms vända. Urbanisering i kombination med folkmängdsökning leder till allt större städer. Expansion av städerna kräver nya områden att bygga på. Städer kan expandera utåt, genom att naturmarker i utkanten av staden ersätts med urban mark. Dock gör efterfrågan på bostadsområden nära stadskärnan att städer även växer inåt, genom tätare bebyggelse. Ett vanligt scenario är att grönytor nära stadskärnan ersätts av bostadsområden.

Forskning rörande urbaniseringens påverkan på lokalklimatet har bedrivits under lång tid. Inom området urbaniseringens klimatpåverkan är temperaturökningen som uppmärksammas i städer, värmeöeffekten, ett av de mest utforskade områdena. Anledningarna till värmeöeffektens uppkomst som brukar nämnas är markens ändrade egenskaper, föroreningar i luften och energiförbrukningen i städerna. Stadsbilden präglas till stor del av hårdgjorda material med andra strålningsegenskaper än de i naturmarken – vilket ändrar förutsättningarna för klimatet. Lokala klimatförändringarna har visat sig i form av ökad maxtemperatur, starkare vindar och ökade regnmängder.

Genom att motverka klimatförändringar till följd av markanvändningsförändringar kan såväl energiförbrukning som välbefinnande gynnas. Kostnader relaterade till bl.a. energiförbrukningen för luftkonditionering, materialskador (p.g.a. ökad temperatur, vindstyrkor och regnmängd) och hälsa kan hållas nere. Med forskarnas kunskap, och genom att planera utbyggnaden av städerna med hänsyn till klimatet, kan urbaniseringens förväntade påverkan på lokalklimatet minska redan i planeringsstadiet. Men studier visar att forskarnas kunskap inte kommer till användning i praktiken. En viktig orsak är att forskarnas kunskap inte når de planeringsansvariga, t.ex. stadsplanerare, arkitekter och politiker, varken fysiskt eller kunskapsmässigt. Med ett verktyg anpassat efter stadsplanerares behov ökar chanserna för att forskarnas kunskap börjar tillämpas i praktiken. Det övergripande målet med den här studien är att skapa en grund för ett sådant verktyg.

Den planerade markanvändningsförändringen på Årstafältet (Stockholm) är ett exempel på en aktuell byggplan som belyser fenomenet där naturmark ersätts av urban mark. Årstafältets planerade markanvändningsförändring innebär ändrade förutsättningar för energi-, strålnings- och vattenbalansen, med en ökad temperatur som följd och därmed en klimatpåverkan. Hur stor är denna påverkan? Om markanvändningsförändringen på Årstafältet planeras med takvegetationen kan en svalkande effekt förväntas, jämfört med att ingen takvegetation planeras. Har takvegetation någon påverkan av betydelse på klimatet? Frågorna berör påverkan på Årstafältets lokalklimat. Specifika mål med

studien är att med hjälp av undersökningsområdet, Årstafältet, och genom att besvara frågorna undersöka om den planerade markanvändningen har någon påverkan på lokalklimatet.

Eftersom området är komplext avgränsas studiens omfattning till: (1) den klimatpåverkan som har direkt koppling till ytans förändrade egenskaper p.g.a. den förändrade markanvändningen, (2) sommarmånaderna, (3) att tolka en förändrad ytemperatur som en indikation på en klimatpåverkan och (4) att med ytor syfta på ytorna sedda rakt uppifrån.

För att kunna besvara frågorna angående klimatpåverkan p.g.a. Årstafältets planerade markanvändning behövde ytorna för den nuvarande och den planerade markanvändningen identifieras. När ytorna var identifierade kvarstod två frågor att besvara: (1) Vad har varje separat yta för klimatpåverkan? För att bestämma varje separat ytas klimatpåverkan gjordes uträkningar baserade på ekvationer för en ytas energi-, strålnings- och vattenbalans. (2) Hur stor del av totala ytan är täckt med varje delyta? För att få delytornas areor gjordes kartor över den nuvarande och den planerade markanvändningen, varifrån arean av delytorna kunde bestämmas. För Årstafältets planerade markanvändning gjordes skillnad på två scenarion: utan takvegetation och med hälften av taken på byggnader täckta med takvegetation. När frågorna blivit besvarade kunde resultatet slås ihop till en klimatpåverkan för hela Årstafältet.

Utifrån studien kunde följande slutsatser dras:

- Generellt har naturliga ytor en svalkande till neutral effekt på klimatet medan urbana ytor har en neutral till värmande effekt. Vegetation verkar dämpande på en ytas effekt på klimatet.
- Viktigaste faktorerna för en ytas klimatpåverkan är ytans skrovlighet och vattentillgången för avdunstning från ytan. En skrovligare yta och tillgång till vatten för avdunstning har en svalkande effekt.
- Studien visar att Årstafältets planerade markanvändningsförändring har en klimatpåverkan. Denna påverkan innebär en ytemperaturökning på ungefär 3°C under sommarmånaderna och ungefär en fördubbling av antalet dygn som ingår i en värmebölja.
- Takvegetationen på Årstafältet har en svalkande effekt. Dock har takvegetationen en marginell effekt jämfört med klimatpåverkan p.g.a. själva markanvändningsförändringen.
- Modellen gav realistiska resultat och är lämplig som grund att bygga vidare på för utveckling av ett verktyg som stadsplanerare kan använda för att ta beslut med hänsyn till klimatet. Dock behövs vidare studier för att uppnå ett färdigt verktyg. Det viktigaste är att utveckla ett verktyg som inte är begränsat till ett specifikt område och som tar hänsyn till hur olika ytor påverkar varandra i ett landskap med många mindre ytor.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	1
1.1	MÅL OCH HYPOTESER	2
1.2	AVGRÄNSNINGAR	3
1.3	STRATEGI FÖR ATT UPPNÅ MÅLEN	4
2	TEORI	5
2.1	URBANISERINGENS KLIMATPÅVERKAN	5
2.1.1	Urbaniseringens klimatpåverkan i olika skalor	6
2.1.2	Variation på urbaniseringens klimatpåverkan	7
2.1.3	Vanliga urbana ytors effekt på energibalansen i lokal och regional skala .	7
2.1.4	Urbaniseringens effekt på strålningsbalansen	9
2.1.5	Urbaniseringens effekt på vattenbalansen	9
2.1.6	Sammanfattning av urbaniseringens effekt på energibalansen i lokal och regional skala.....	10
3	METODER	11
3.1	FALLSTUDIE – ÅRSTAFÄLTET	11
3.1.1	Årstafältets markanvändning ur ett geologiskt och hydrologiskt perspektiv.....	12
3.1.2	Årstafältets nuvarande markanvändning.....	12
3.1.3	Årstafältets planerade markanvändning.....	12
3.2	SYSTEMGRÄNSER.....	14
3.2.1	Rumsliga systemgränser	14
3.2.2	Tidsmässiga systemgränser	15
3.3	DEFINITION AV YTKLASSER BASERAT PÅ YTOR REPRESENTERADE PÅ ÅRSTAFÄLTET	15
3.4	FRAMSTÄLLNING AV KARTOR ÖVER ÅRSTAFÄLTET	17
3.4.1	Tillgängligt material till framtagning av kartor	17
3.4.2	Identifiering och klassindelning av ytorna på kartorna.....	17
3.4.3	Framställning av kartor utifrån identifierade ytklasser	18
3.4.4	Arealberäkningar av ytklasserna	19
3.5	MODELLBESKRIVNING	19

3.5.1	En ytas energibalans	19
3.5.2	En ytas strålningsbalans	21
3.5.3	Den integrerade klimatpåverkan.....	21
3.6	BERÄKNINGAR AV YTKLASSERNAS KLIMATPÅVERKAN.....	22
3.6.1	Drivvariabler	22
3.6.2	Parameterisering	23
3.6.3	Bowenförhållandet.....	29
3.7	FASTSTÄLLANDE AV ÅRSTAFÄLTETS INTEGRERADE KLIMATPÅVERKAN	29
3.7.1	Påverkan av gröna tak på den integrerade klimatpåverkan	29
3.7.2	Extremvärden av temperaturen på Årstafältet.....	29
4	RESULTAT	30
4.1	KARTOR ÖVER ÅRSTAFÄLTET	30
4.1.1	Kartor över nuvarande och planerade ytklasserna på Årstafältet.....	30
4.1.2	Fördelning av den nuvarande och planerade markanvändningen	31
4.2	YTKLASSERNAS KLIMATPÅVERKAN	33
4.3	INTEGRERAD KLIMATPÅVERKAN	34
5	DISKUSSION	36
5.1	KARTOR ÖVER ÅRSTAFÄLTET	36
5.2	YTKLASSERNAS KLIMATPÅVERKAN.....	36
5.2.1	Resultat i relation till andra studier.....	37
5.3	INTEGRERAD KLIMATPÅVERKAN	37
5.3.1	Har de gröna taken någon påverkan av betydelse på klimatet?.....	38
5.4	FORTSATT ARBETE FÖR UTVECKLING AV ETT VERKTYG	39
6	SLUTSATSER.....	41
7	REFERENSER	42
	BILAGA A. – SYMBOLLISTA.....	44
	BILAGA B. – ANTAGANDEN VID KARTFRAMSTÄLLNING.....	45

1 INLEDNING

Urbanisering är ingen ny företeelse. Vi har bevittnat en ström av människor från landsbygden till städerna, s.k. urbanisering, under det senaste århundradet. Mer än halva jordens befolkning bor i städer. Prognoser visar att trenden med en ökad befolkningsmängd och en ökad urbaniseringsgrad inte bedöms vända (FN, 2010). Urbanisering i kombination med folkmängdsökning leder till allt större städer med högre befolkningstäthet. Expansion av städerna kräver nya områden att bygga på. Städer kan expandera utåt, genom att naturmarker i utkanten av staden ersätts med urban mark. Dock gör efterfrågan på bostadsområden nära stadskärnan att städer även växer inåt, genom tätare bebyggelse. Ett vanligt scenario är att grönytor nära stadskärnan ersätts av bostadsområden. Den planerade markanvändningsförändringen på Årstafältet (Stockholm) är ett exempel på en aktuell byggplan som belyser detta fenomen.

Skapande av urban mark, på bekostnad av naturmark, leder till andra ytmaterial och ändrade markförhållanden (Oke, 2009). Stadsbilden präglas till stor del av impermeabla material med andra strålningsegenskaper än de i naturmarken (Johansson, 2010) – vilket ändrar förutsättningarna för klimatet (Grimmond m.fl., 2010; Oke, 2009). Lokala klimatförändringarna har visat sig i form av ökad maxtemperatur, högre vindhastigheter och ökad nederbörd (Grimmond m.fl., 2010). Genom att motverka klimatförändringar till följd av markanvändningsförändringar kan energiförbrukning minskas och välbefinnande gynnas (Akbari m.fl., 2001). Det finns även en ekonomisk aspekt på konsekvenserna. Kostnader relaterade till bl.a. energiförbrukningen för luftkonditionering (Santamouris, 2001; Grimmond m.fl., 2010), materialskador (p.g.a. ökad temperatur, vindstyrkor och regnmängd) och hälsa (Grimmond m.fl., 2010) kan hållas nere. Takvegetation kan nämnas som exempel på en åtgärd som det forskas kring och som återigen börjat tillämpas, trots att kunskapen om takvegetationens positiva effekter länge varit välkänt.

Forskning rörande urbaniseringens påverkan på lokalklimatet har bedrivits under lång tid (Eliasson, 1999). Betoningen har legat på de separata effekterna av urbanisering, t.ex. hur vindar och strålning påverkas av de förändringar bebyggelse medför. De resultat rörande klimatpåverkan av en förändrad markanvändning som finns att tillgå är grundade på fallstudier (Seto, 2009). Ett av de mest utforskade områdena är den temperaturökning som uppmärksammats i städer, värmeöeffekten (Santamouris, 2001; Oke, 2009). Anledningarna till värmeöeffektens uppkomst som brukar nämnas är: markens ändrade egenskaper, föroreningar i luften och energiförbrukningen i städerna (Oke, 2009). Resultat på värmeöeffekten brukar vara baserade på uppmätta temperaturer orsakade både av markanvändningsförändringen och aktiviteter i staden och tar därmed inte hänsyn till värmekällan. Forskningen inom området är fortfarande aktuell, men långt ifrån fullständig (Grimmond m.fl., 2010). Att förutsäga den totala klimatpåverkan av en ändrad markanvändning är komplext, eftersom det finns återkoppling mellan olika faktorer.

Den förväntade påverkan på lokalklimatet kan minskas redan i planeringsstadiet, genom att planera utbyggnaden av städerna med hänsyn till klimatet. (Länsstyrelsen i Stockholms Län, 2011) Det förutsätter att forskarnas kunskap når de planeringsansvariga, t.ex. stadsplanerare, arkitekter och politiker, både fysiskt och kunskapsmässigt. Redan på 80-talet beskrev Oke (1984) avsaknaden av klimatforskarnas kunskap i stadsplaneringen. Användningen av kunskapen om markanvändningens klimatpåverkan har fortsatt vara begränsad och osystematisk i praktiken (Eliasson, 1999). Eliasson (1999) identifierade barriärer som begränsat användningen av forskarnas kunskap i praktiken. Hon nämner bl.a. administrativa, ekonomiska och tidsmässiga barriärer, och betonar avsaknaden av ett verktyg tillgängligt för stadsplanerarna. Intervjuer utförda av Eliasson (1999) med stadsplanerare tydde på ett intresse att klimatanpassa stadsplaneringen, men avsaknad av argument för att övertyga politiker. Med ett verktyg anpassat efter stadsplanerares behov ökar chanserna för att forskarnas kunskap börjar tillämpas i praktiken. Eliasson (1999) framhäver fördelarna med ett verktyg:

- Kunskapen blir tillgänglig för stadsplanerare då verktyget är anpassat efter dem.
- Stadsplanerarna får bättre stöd i sina argument och kan därmed övertyga politikerna.
- Stadsplanerarna kan dra egna slutsatser utan konsult hjälp för varje enskilt fall.
- Användningen av kunskaperna i praktiken systematiseras och är tidsbesparande.

Eliasson (1999) menar att det har gjorts flera försök att skapa verktyg anpassade till stadsplanerarnas arbete, men att dessa inte kommit till praktisk användning, troligen p.g.a. kommunikationsproblem mellan forskarna och stadsplanerarna. Att det fortfarande saknas ett verktyg bekräftas i en sammanställning av de senaste årens forskning inom området. Där betonas behovet av data för att kunna gå vidare och överföra forskningsresultat till användbara verktyg för stadsplanering (Grimmond m.fl., 2010). Behovet av metoder för att finna klimatpåverkan av den fysiska planeringen betonas även i en rapport för Klimat och energistrategi av Länsstyrelsen i Stockholms Län (2011).

1.1 MÅL OCH HYPOTESER

Det övergripande målet är att skapa en grund för ett verktyg som uppskattar klimatpåverkan p.g.a. transformering av naturmark till urban mark. Verktyget ska vara riktat till stadsplanerare, arkitekter och myndigheter i deras dagliga arbete då beslut som berör stadsplaneringen ska tas med hänsyn till klimatet. Verktyget ska vara av allmän karaktär och ta upp transformeringen av de vanligaste marktyperna. För utveckling av det färdiga verktyget behövs vidare studier utanför rapportens ramar.

Genom att välja ett område som fallstudie avgränsas mängden marktyper. Samtidigt finns kravet på att fallstudieområdet ska vara representativt, genom att ha många vanliga marktyper representerade. Årstafältet bedöms vara representativt för den aktuella transformeringen av naturmark till urban mark. Specifika mål är att undersöka

följande hypoteser och besvara frågorna som berör påverkan på lokalklimatet p.g.a. Årstafältets planerade markanvändningsförändring:

- **Hypotes 1:** Årstafältets planerade markanvändningsförändring, från naturmark till urban mark, innebär ändrade förutsättningar för energibalansen, med en ökad temperatur som följd och därmed en klimatpåverkan.

Fråga att besvara: Hur stor är denna påverkan?

- **Hypotes 2:** Om markanvändningsförändringen på Årstafältet planeras med takvegetation kan en svalkande effekt förväntas, jämfört med scenariot där ingen takvegetation planeras.

Fråga att besvara: Har takvegetation någon påverkan av betydelse på klimatet?

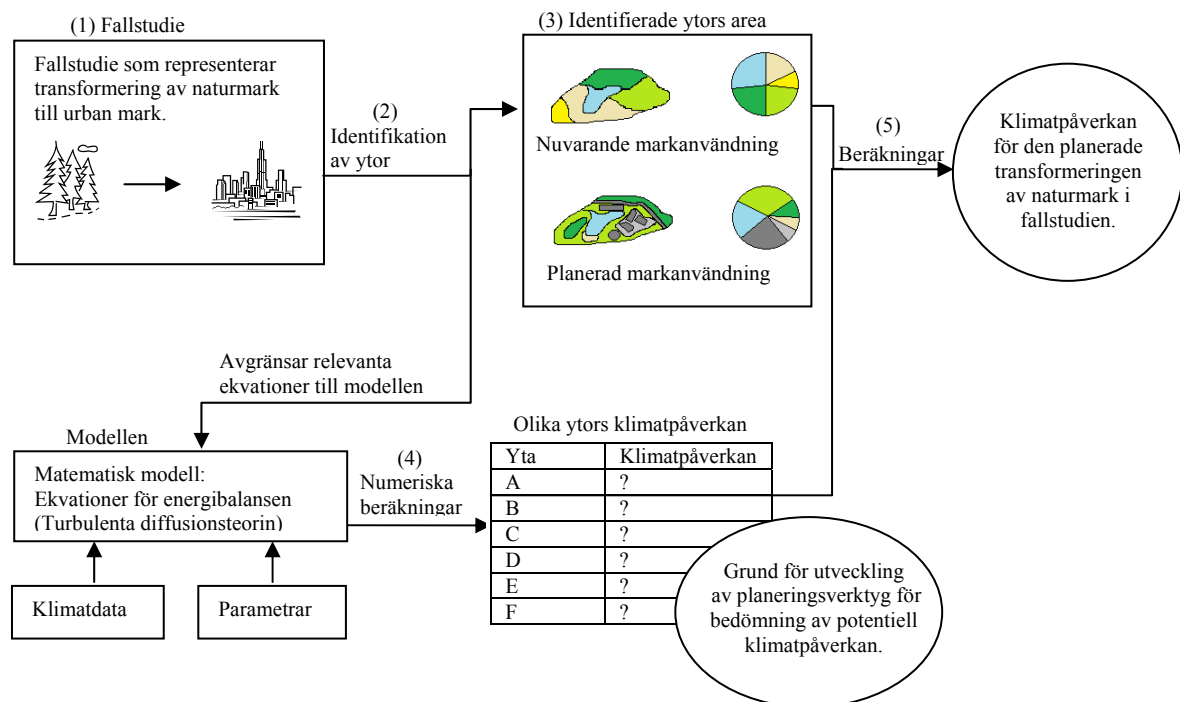
1.2 AVGRÄNSNINGAR

Rapportens innehåll avgränsas till den klimatpåverkan som har direkt koppling till ytans förändrade egenskaper p.g.a. den förändrade markanvändningen. Alltså till förändringarna på energibalansen vid transformering från naturmark till urban mark. Följande avgränsningar gäller för rapporten:

- *Aktivitetsrelaterade avgränsningar:* Urbaniseringens klimatpåverkan p.g.a. aktivitet i staden i form av t.ex. energiavgivning från bränslekällor faller utanför rapportens ramar.
- *Konsekvensrelaterade avgränsningar:* Klimatpåverkan som konsekvenser av stadens utformning utelämnas i studien. Exempel på sådana konsekvenser kan vara ökade transporter p.g.a. glesare bebyggelse i staden, folkökning, konsekvenser av byggnadsprocessen som produktion av asfalt, ökad regnmängd p.g.a. ökad kondensering av vatten på partiklar som avges av stadens aktiviteter och utsläpp av växthusgaser p.g.a. permanent avverkning av skog.
- *Skalrelaterade avgränsningar:* Hänsyn tas endast till urbaniseringens klimatpåverkan i lokal skala. Därför faller klimatpåverkan p.g.a. växthusgaserna utanför rapportens ramar (se avsnitt 2.1.1).
- *Definitionsrelaterade avgränsningar:* I rapporten har yttemperaturen i förhållande till lufttemperaturen ($\Delta T = T_s - T_a$) definierats som indikator på en ytas klimatpåverkan. Med ytor menas i rapporten den horisontella projektionen av ytorna. Alltså tas ingen hänsyn till vertikala ytor.
- *Klimatrelaterade avgränsningar:* Tolkningen av rapportens innehåll avgränsas till klimatförhållanden liknande de som råder där fallstudien genomförts.
- *Säsongrelaterade avgränsningar:* Rapporten har avgränsats till sommarperioden då olika ytors egenskaper förväntas skilja sig som mest (se avsnitt 2.1.2). Det är även sommartid som värmeböljor i städer förekommer. För att underlätta behandlingen av klimatdata för denna period begränsas sommarperioden till månaderna juni, juli och augusti.

1.3 STRATEGI FÖR ATT UPPNÅ MÅLEN

De olika stegen för strategin som används för att uppnå målen (Figur 1) är: (1) Att definiera systemgränserna genom valet av lämplig fallstudie. (2) Att identifiera ytorna representerade på Årstafältet utifrån kartmaterial och (3) bestämma varje ytas area. Här görs skillnad på två scenarion för den planerade markanvändningen: scenariot utan takvegetation och scenariot med takvegetation. (4) Att beräkna de olika ytornas klimatpåverkan för ytorna som finns representerade på Årstafältet. Beräkningarna baseras på ekvationer för energibalansen och görs numeriskt. (5) Att uppskatta hela ytans klimatpåverkan baserat på de olika delytornas relativa täckning, d. v. s. områdets integrerade klimatpåverkan, för ytorna identifierade på Årstafältet. Utifrån resultaten för Årstafältets integrerade klimatpåverkan kan delmålet som berör Årstafältet besvaras. Resultat för ytorna representerade på Årstafältet, med stöd från slutsatser om Årstafältets integrerade klimatpåverkan, kan i fortsatta studier användas som grund för ett mer allmänt verktyg, alltså det övergripande syftet.

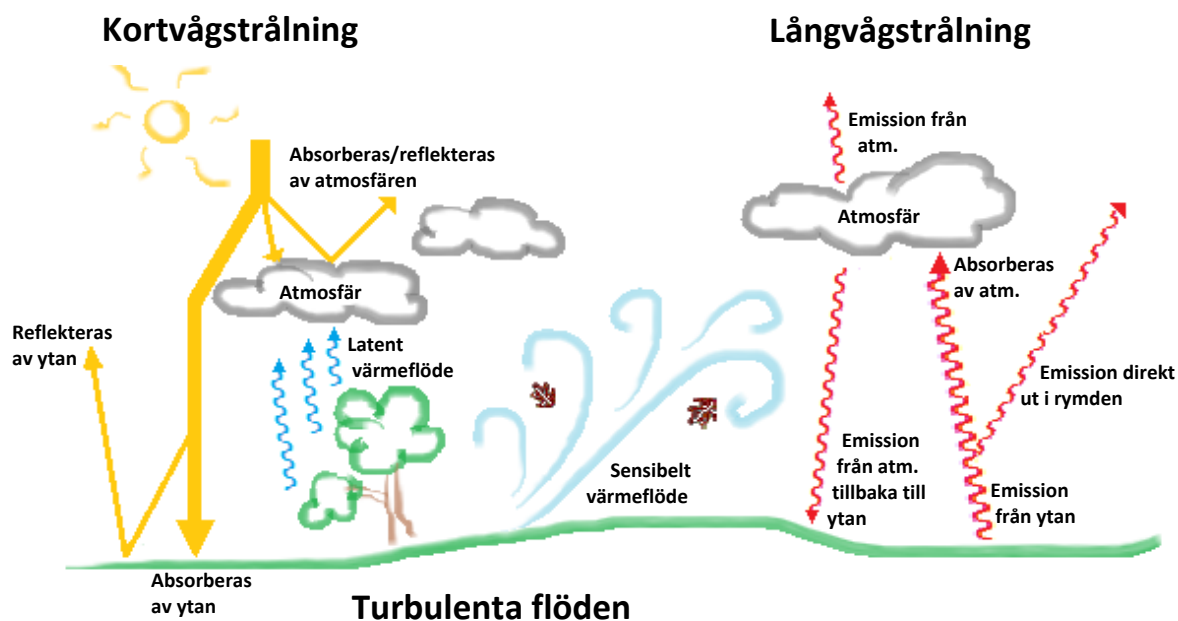


Figur 1 Överblick över strategin för att uppnå målet med arbetet.

2 TEORI

2.1 URBANISERINGENS KLIMATPÅVERKAN

Påverkan av strålnings-, vatten- och växthusgasbalansen på jordens energibalans är komplex och styrs av återkopplingsmekanismer (Figur 2). Den inkommande kortvågstrålningen kan ta olika vägar (Figur 2).



Figur 2 Schematisk representation av kopplingen mellan strålnings-, vatten- och växthusgasbalansen som tillsammans utgör en ytas energibalans. Energiflöde i form av kortvågstrålning (raka pilar), turbulenta flöden (sensibla och latent flöden) och långvågstrålning (övriga vågiga pilar). Molnen representerar atmosfären. Illustration baserad på Ågren (2008).

Antingen absorberas eller reflekteras kortvågstrålningen av atmosfär eller mark. Ytans albedo ger ett mått på reflektionsförmågan för kortvågstrålning. Förhållandet mellan absorberad och reflekterad kortvågstrålning från ytan bestäms därför av ytans albedo. Den absorberade energin kan sedan avges som långvågstrålning eller turbulenta flöden. På grund av den s.k. växthusgaseffekten emitteras en del av långvågstrålningen från atmosfären tillbaka till ytan (Figur 2). Den tillgängliga energin vid markytan bidrar med ett energiflöde p.g.a. temperaturskillnaden mellan ytan och omgivningen, sensibelt värmefflöde, eller avdunstning från mark och vegetation, latent värmefflöde (Ågren, 2008). Yttemperaturen påverkas av bl.a. förutsättningar för transport av vattenånga och avdunstning (Eckersten m.fl., 2004).

En förändrad markanvändning, vilket urbaniseringen innebär, kan påverka energiflödet i samband med att markens egenskaper ändras (Oke, 2009). Urbaniseringen innebär ofta att ytans skrovlighet förändras (Oke, 2009) vilket påverkar vindarna. Vindarna har i sin tur påverkan på det turbulenta energiflödet. Effekterna på energibalansen av en förändrad markanvändning är komplexa.

2.1.1 Urbaniseringens klimatpåverkan i olika skalor

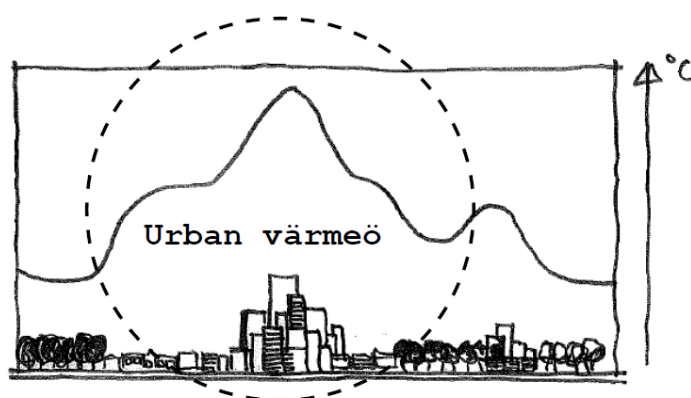
Strålnings-, vatten- och växthusgasbalansens koppling till energibalansen beror av skalan (Grimmond m.fl., 2010) (Tabell 1). Förändringar av strålnings-, vatten- och växthusgasbalansen ger förändrade förutsättningar för det *globala klimatet*.¹

Urbaniseringens påverkan på det *lokala och regionala* klimatet styrs främst av förändringarna på strålnings- och vattenbalansen (Tabell 1). En ändrad yta ger främst en lokal temperaturändring på den ytan – lokalklimatet (Grimmond m.fl., 2010). Eventuellt kan påverkan av temperaturändringen bli regional, men ur globalt perspektiv är även påverkan p.g.a. växthusgaserna viktiga. Ändrade förutsättningar för ytan kommer även att påverka hydrologin (Seto, 2009), i det lokala och regionala klimatet (Oke, 2009). Växthusgasbalansen påverkar klimatet i en större skala (Ellis, 2011). Växthusgaserna blir kvar i atmosfären under en längre tid och kan transporteras och påverkar därmed det globala klimatet.

Tabell 1 Energibalansens komponenter (strålnings-, vatten- och växthusgasbalansen) i olika areella skalor.

Skala	Strålningsbalansen	Vattenbalansen	Växthusgasbalansen
Lokal	✗	✗	
Regional	✗	✗	
Global	✗	✗	✗

Städer har inte en homogen markyta, utan det vanliga är att stadens markyta ser ut som en mosaik av hårdgjorda material, växtlighet och även vatten i dammar och fontäner. Dock brukar stadsbilden domineras av hårdgjorda material. Vegetationsklädda ytor i staden i form av t.ex. parker eller träd har en lokal avkylningseffekt (Figur 3).



Figur 3 Värmeöeffekten är starkt kopplad till markanvändningen. Den lägre temperaturen vid vegetationsklädda ytor tyder på att effekten är lokal. Illustration av Isabelle Brandt, ursprungskälla Santamouris (2001).

¹ Eckersten, H., Professor i växtodlingssystemets ekologi vid SLU, handledarmöte den 13 april 2011.

2.1.2 Variation på urbaniseringens klimatpåverkan

Ytans klimatpåverkan har en säsong- och dygnsvariation. Störst klimatpåverkan p.g.a. olika ytors egenskaper kan förväntas under sommarhalvåret. Under sommarhalvåret är den inkommande kortvågstrålningens maximala intensitet som störst (Ågren, 2008). Under vinterhalvåret är marken till viss del snötäckt, vilket ger olika ytors samma albedo, och därmed blir skillnaden mellan olika ytors effekt på strålningsbalansen mindre (Chapin m.fl., 2002). Även växtlighetens inverkan på klimatet genom transpirationen minskar under vinterhalvåret. Under dygnet varierar en ytans energibalans p.g.a. variation i instrålning (Ågren, 2008) och nederbörd. Regn påverkar ytans färg och därmed dess albedo. Som följd av dygnsvariationer tar marken vanligtvis upp energi dagtid medan energin avges nattetid. (Eckersten m.fl., 2004).

2.1.3 Vanliga urbana ytors effekt på energibalansen i lokal och regional skala

Olika urbana ytor har olika effekt på strålnings- och vattenbalansen (Grimmond m.fl., 2010) och därmed även temperaturen i staden (Figur 3). Städer domineras av hårdgjorda ytor (Grimmond m.fl., 2010) i form av byggnader, parkeringar, vägar och torg. Vegetationen utgör en viktig del av stadens yta och återfinns i stadens parker, på byggnader, koloniområden eller mindre planteringar. Andra vanligt förekommande ytor är vattenytor (naturliga och konstgjorda) och ytor av konstgjorda material i lekparken.

Hårdgjorda ytor

Hårdgjorda ytor påverkar både strålnings- och vattenbalansen, relativt naturmark, och kan därmed förväntas ha stor klimatpåverkan. Strålningsbalansen påverkas genom att ytans albedo ofta minskar, med följderna att mer värme kan lagras. De hårdgjorda ytorna är impermeabla vilket hindrar infiltration av regnvatten (Boverket, 2010; Oke, 2009). Istället ökar ytavrinningen och magasineringen i marken minskar, vilket innebär att mindre mängd vatten finns tillgängligt för evapotranspiration. Dock kan olika hårdgjorda ytor ha olika effekt på strålnings- och vattenbalansen. Asfalt är det mest använda materialet på hårdgjorda ytor (Johansson, 2007).

- *Byggnader:* Byggnadens yta utgörs av ytterväggarna och taket. Material och färg på taken kommer att påverka ytans albedo och därmed även värmelagringen. Delar av den utgående långvågsstrålningen fångas av byggnaderna och emitteras tillbaka till ytan (Grimmond m.fl., 2010; Oke, 2009).
- *Parkeringar:* Parkeringar ovanför markytan brukar vara asfalterade eller täckta med grus. Båda alternativen har liknande effekt på vattenbalansen eftersom gruset i en parkering blir tätpackat och nästintill impermeabelt för regnvattnet. Även parkeringar placerade under markytan påverkar infiltrationen av regnvatten. Även då markytan till det yttre kan vara vegetationsklädd kommer vattenhållande förmåga att minska eftersom markens mäktighet är begränsad.
- *Vägar:* Ytan för olika typer av vägar är vanligtvis asfalterad eller täckt med grus. Effekt på energibalansen är jämförbar med påverkan från parkeringar ovanför markytan.

- *Torg*: Torg är till största delen hårdgjorda med asfalt, betong eller natursten som dominerande ytmaterial. Eventuellt kan delar av ytan utgöras av planteringar och dammar.

Vegetationsklädda ytor

Främst på sommaren utgör de vegetationsklädda ytorna en viktig del i den urbana miljön. Vegetation återfinns vanligen som planteringar, med träd, buskar och gräsmattor i varierande höjder, samlade i parker eller mer utspridda enskilda träd. Andelen vegetationsklädd yta kan ökas genom att klä husväggar och tak med vegetation, s.k. fasadvegetation och *gröna tak*. Vanligt i städer är även kolonilottsområden med tidvis skördad gröda. De vegetationsklädda ytorna i urban miljö dämpar effekter orsakade av de hårdgjorda ytorna. Vegetationen ökar evapotranspirationen och har därmed en svalkande effekt i städer (Santamouris, 2001).

- *Skog*: Skogen fångar delar av den utgående långvågstrålningen, på samma sätt som byggnaderna, med en ökad temperatur i skogen som följd. Bladen och barren håller kvar regnvatten som sedan kan avdunsta och bidrar därmed med en svalkande effekt. Träd, med sin stora massa, kräver mycket vatten för sin temperaturreglering och fotosyntes, med stor transpiration som följd.
- *Parker och innergårdar*: Parker och innergårdar täcks till stor del av vegetation med olika höjd. Den relativt stora sammanhängande ytan täckt med vegetation ger bra förutsättningar för infiltration och evapotranspiration.
- *Träd och buskar*: Enskilda träd eller buskar kan planteras vid välgkanter eller på torg. Den här typen av vegetation hindrar, genom skuggning, den hårdgjorda ytan från att värmas upp av inkommande kortvågstrålning (Boverket, 2010).
- *Gräsmattor*: Gräs kan finnas som stora gräsplaner för sportutövande eller små ytor i bl.a. innergårdarna. Eftersom gräset är lågt hindras inte den utgående långvågstrålning som för högre vegetation.
- *Gröna tak och fasadvegetation*: Vanligaste växtligheten på gröna taken är tåliga sedum-, och ängsväxter samt örter men även större träd och odling kan förekomma (Feng m.fl., 2010; Veg Tech, 2011). Växtligheten etableras på ett lager med stor vattenhållande förmåga som lagrar vatten till växterna (Veg Tech, 2011). Gröna tak minskar ytavrinningen från taken (Grimmond m.fl., 2010). Fasadvegetationen täcker de hårdgjorda ytorna på liknande sätt som de gröna taken gör. Den vattenhållande förmågan är mindre för fasadvegetationen vilket bidrar till att ytavrinningen inte reduceras i samma grad som med gröna tak.
- *Koloniområden*: Koloniområden täcks med vegetation av varierande höjd och slag. Marken är täckt med vegetation under delar av året. Koloniområden brukar till viss del vara täckta med kolonistugor och stigar. Bevattning i stor omfattning kan ha lokal effekt på vattenbalansen (Oke, 2009).

Vattenytor

Vattenmassor har egenskaper som påverkar klimatet. Vattenytans albedo är generellt lågt, men är starkt beroende av infallsvinkeln som den inkommande kortvågstrålningen träffar ytan med (Oke, 2009). Vatten har en hög värmelagrande kapacitet, vilket ger en

svalkande effekt på sommaren och värmande vintertid (Oke, 2009; Chapin m.fl., 2002). Omrörning av vatten möjliggör fördelning av energi i en större vattenvolym (Oke, 2009; Chapin, m.fl., 2002). Vattensamlingens effekt på energibalansen kommer därför till stor del bero på vattnets volym och om det är i rörelse (Oke, 2009). Vattenytor ger även en ökad avdunstning (Grimmond m.fl., 2010). Vattenytor återfinns i städer i form av dammar, sjöar och vattendrag eller tillsammans med växtlighet i våtmarker.

- *Sjöar och vattendrag*: Omrörning i sjöar fördelar temperaturen mellan olika djup. Vattendragen har en liknande effekt som sjöarna med skillnaden att omrörningen är större jämfört med mer stillastående vatten.
- *Dammar*: Dammar har en liknande effekt som sjöar med skillnaden att volymen är mindre och därmed även effekten (Oke, 2009). Genom att ha en öppen dagvattenhantering, som dammar innebär, möjliggörs avdunstning från dammen.
- *Våtmarker*: Tillgång till vatten och vegetation i våtmarken ger möjlighet till hög evapotranspiration.

Övriga ytor

Övriga ytor i urbana miljöer kan vara lekplatser.

- *Bollplaner och lekplatser*: Mattor av konstgräs är vanliga i bollplaner. (Johansson, 2010). Nybyggda lekplatser täcks ofta av mattor av konstgjort gummiliknande material (Johansson, 2010). Mattorna kan vara dränerande (Johansson, 2010) dock saknar de den evaporativa egenskapen som naturliga vegetationsklädda ytor har.

2.1.4 Urbaniseringens effekt på strålningsbalansen

Hårdgjorda material, speciellt de med mörkare färg och lågt albedo, ger en varmare yta medan växtlighet och vatten ger en svalkande effekt. Höjden på byggnader och avståndet mellan dem påverkar den mängd kortvågstrålning som når markytan och den mängd långvågstrålning som emitteras tillbaka till marken (Oke, 2009). På liknande sätt finns skillnader mellan skog och enstaka träd vad gäller värmelagring. Höga objekt i en stad ger även skugga, vilket minskar den inkommande kortvågstrålningen dagtid. Därmed ger täta och höga husbyggen både minskad instrålning på dagen och minskad utstrålning på natten, dvs. jämnare temperatur i marknivå över dygnet.

2.1.5 Urbaniseringens effekt på vattenbalansen

Dagvattnets väg i en stad påverkas av stadens topografi, ytornas permeabilitet, vegetationen och eventuella dagvattendammar i staden. Stora topografiska skillnader och en stor andel hårdgjorda ytor minskar infiltrationen (Oke, 2009). Med minskad infiltration ökar ytavrinnigen. Hårdgöring av ytor leder till minskad permeabilitet, vilket kan påverka grundvattenbildningen (Grimmond m.fl., 2010). För mark med låg permeabilitet (lerig mark) är grundvattenbildningen naturligt liten och påverkas därmed lite av ett impermeabelt lock av hårdgjorda ytor. Dock påverkas magasineringen av vatten i lermarken av hårdgöring av ytor, eftersom lera kan lagra mycket vatten. I mer sandiga marker, som normalt bidrar till grundvattenbildningen, får ett impermeabelt

lock större effekt på grundvattenbildningen. Ett sätt att minska ytavrinningen och öka avdunstningen från ytan är att hårdgöra i mindre grad, öka mängden växtlighet i staden eller spara vatten i dagvattendammar. En ökad mängd växtlighet ökar transpirationen – vilket förbrukar energi och sänker temperaturen (Santamouris, 2001). Permeabla ytor insprängda i större hårdgjorda ytor möjliggör infiltration av dagvattnet. Dagvattendammar samlar regnvattnet och ger en vattenyta som ökar avdunstningen – en svalkande effekt (Grimmond m.fl., 2010).

2.1.6 Sammanfattning av urbaniseringens effekt på energibalansen i lokal och regional skala

I Tabell 2 sammanfattas effekterna på strålnings- och vattenbalansen vid transformering av naturmark till urban mark.

Tabell 2 Lokala och regionala effekter på strålnings- och vattenbalansen pga. en markanvändningsförändring från naturmark till urban mark. Tabellen baseras på antagandet om en dominerande andel hårdjord yta i urbana miljöer och dominerande andel vegetationsklädda ytor i naturmark.

Urbaniseringens klimatpåverkan

Strålningsbalansen

- Minskat albedo och därmed ökad absorbtion av inkommande kortvågstrålning.
- Minskad instrålning vid markytan på dagen och minskad netto utstrålning på natten. (Skogsmark har liknande påverkan som byggnaderna. Jämförelsen gäller med öppna naturmarker)

Vattenbalansen

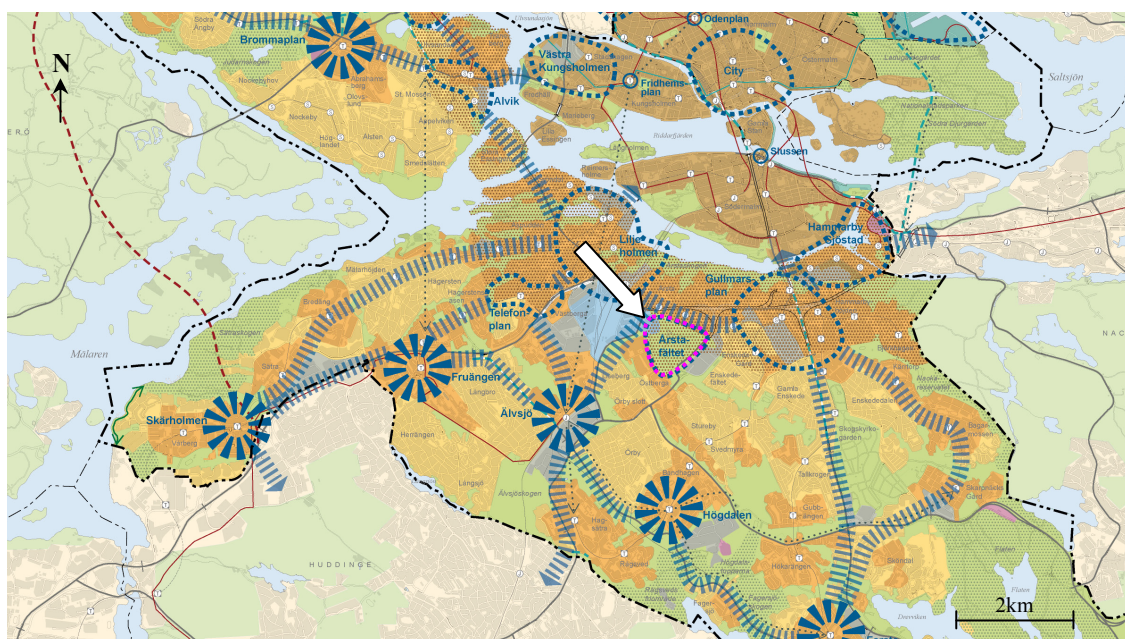
- Minskad evapotranspiration p.g.a. ökad ytavrinning och minskat vattenupptag av växtligheten.
 - Grundvattenbildningen kan påverkas, främst i permeabel mark (sand/morän). Inte lika mycket i lågpermeabel mark (lera).
 - Vattenmagasinet i marken minskar p.g.a. minskad infiltration.
-

3 METODER

Metoden delades upp i flera steg (Figur 1). I första steget avgränsades rapportens innehåll genom att definiera systemgränserna. Rapporten gavs en geografisk avgränsning genom att välja fallstudieområde. Efter valet av fallstudieområde identifieras ytorna i Årstafältets nuvarande och planerade markanvändning. Utifrån de identifierade ytklasserna gjordes beräkningar för klimatpåverkan hos varje enskild ytklass och de olika ytklasserna area bestämdes. Med klimatpåverkan och area för varje ytklass kunde klimatpåverkan p.g.a. Årstafältets planerade markanvändningsförändring bestämmas.

3.1 FALLSTUDIE - ÅRSTAFÄLTET

Årstafältet är beläget 1-2 km söder om Stockholms innerstad med förorterna Östberga och Årsta (Valla Gärd) kring sig. Ytan täcker ungefär 50 ha, vilket gör området till ett av de största sammanhängande naturområdena i Stockholms stad med närhet till stadskärnan (Figur 4). Området begränsas av väldefinierade vägar och två industriområden: Årsta partihallar och Årsta Park (Figur 7).



Figur 4 Karta över Stockholm där Årstafältets placering ges av det inringade området i cerise (Stockholm stad, 2010b).

3.1.1 Årstafältets markanvändning ur ett geologiskt och hydrologiskt perspektiv

Årstafältet ligger i en låg punkt i terrängen och har tidigare varit sjöbotten. Nu täcks marken mest av bottensediment i form av lera. Ett avrinningsområde, täckt med sand och morän, kring Årstafältet bidrar med grundvattenbildningen till akvifären under Årstafältet. Leran på Årstafältet begränsar grundvattenbildningen. Istället ansamlas dagvattnet i en damm och leds vidare genom Valla å till Årstaviken (Stockholms stad, 2010a).

3.1.2 Årstafältets nuvarande markanvändning

I nuläget anges området som en landskapspark i detaljplanen (Stockholms stad, 2010a). Fältet är öppet och i första hand används den grästäckta marken till sportutövande som rugby och golf. Markytan är även täckt med ett mindre koloniområde och en damm (Figur 5). Årstafältet används i viss mån till motion och rekreation. Ytterligare markanvändning beskrivs i Figur 5 och i avsnitt 3.3.

3.1.3 Årstafältets planerade markanvändning

Detaljplanen över Årstafältets nuvarande markanvändning ska ändras då en ny stadsdel planeras (Stockholm stad, 2010a). Markanvändningsförändringen p.g.a. de aktuella byggplanerna på Årstafältet representerar ett vanligt scenario – naturmark som finns kvar innanför städernas gränser ersätts med bebyggd mark. Enligt Stockholms stad (2010a) ska detaljplanen tas fram med hänsyn till miljö och klimat. Planen är att bygga ett bostadsområde över stora delar av Årstafältet. Den bebyggda markytan ska bestå av bostäder för 9 000–10 000 invånare och täcka 20 ha, resterande 30 ha ska bli en park (Stockholms stad, 2010a), (Figur 6).

Förutom ändringen av marken som planerade vägar och byggnader medför, på den i framtiden urbaniserade delen, planeras förändringar av grönområdet. Det nuvarande koloniområdet ska flyttas, dammen ska byggas ut, mer växtlighet ska planteras i parken, lekparker ska byggas och stigar i parken omorganiseras. Det finns även planer på att täcka delar av taken med växtlighet, s.k. gröna tak, och plantera alléer längs med huvudlederna. Den bebyggda delen ska bestå av hus i varierande höjder, 2-14 våningar höga. Parkeringar är planerade under husen och under innergårdarna (Stockholm stad, 2010a).



Figur 5 Årstafältets nuvarande markanvändning (Stockholms Stad, 2011).



Figur 6 Framtida markanvändning och byggplanen på Årstafältet (Stockholms Stad, 2010a).

3.2 SYSTEMGRÄNSER

Rapportens innehåll avgränsades ytterligare genom att införa rumsliga och tidsmässiga systemgränser.

3.2.1 Rumsliga systemgränser

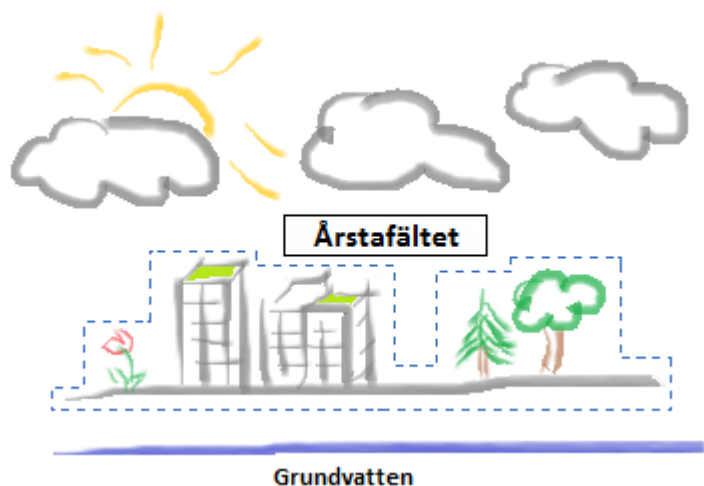
Fallstudiens vertikala gränser sattes till fältets/stadsdelens definierade gränser (Figur 7).



Figur 7 Definition av studieområdets vertikala systemgränser. (Stockholms Stad, 2010a)

De horisontella gränserna lades så att systemet endast består av den volym som har störst direkt påverkan av stadens klimat. Den undre gränsen sattes något under markytan och den övre strax över byggnadernas och vegetationens höjd² (Figur 8). Innanför systemets gränser finns mark, stad och vegetation men begränsat med atmosfär (Figur 8).

² *Urban Canopy layer* beskrivet av Oke (2009)



Figur 8 Definitioner av studieområdets systemgränser. Systemet avgränsas av fältets/stadsdelens vertikala gränser. De horisontella gränserna utgörs av en undre gräns något under markytan och en övre strax över byggnadernas och vegetationens höjd.

3.2.2 Tidsmässiga systemgränser

Klimatdata för somrarna 2000-2009 användes, vilket ger aktuella förutsättningar för klimatet under sommarperioden.

3.3 DEFINITION AV YTKLASSER BASERAT PÅ YTOR REPRESENTERADE PÅ ÅRSTAFÄLTET

Årstafältets planerade markanvändningsförändring innebär att befintliga ytor kommer att ersättas med andra ytor. Många av de vanligast förekommande ytorna, i naturmark och urban mark, finns representerade på Årstafältet. Första identifiering av Årstafältets ytor baserades på markanvändningen. De identifierade ytorna på Årstafältet sammanställs i Tabell 3. Identifieringen av ytorna baserades på programmet för detaljplanen utgiven av Stockholms stad (2010a).

Tabell 3 Identifierade ytor på Årstafältet före och efter den planerade markanvändningsförändringen. Identifieringen är baserad på markanvändningen.

Nuvarande markanvändning		Planerad markanvändning	
Damm	Små byggnader	Damm	
Fristående träd	Kolonilotter	Fristående träd	Kolonilotter
Golfbana/ rugbybana	Skogsdunge		Skogsdunge
Gräsmatta/äng	Stigar	Gräsmatta/äng	Stigar
		Gröna tak ³	Torg
Gångbana	Våtmark kring å	Gångbana	Våtmark kring å
	Vägar	Hus	Vägar
	Å	Innergårdar på garage	Å

För vidare arbete med de identifierade ytorna i Tabell 3 krävdes ytterligare klassindelning av ytorna baserad på ytans egenskaper. Ytor med liknande effekter på strålnings- och vattenbalansen samlades i samma ytklass (Tabell 4). Genom att indela ytorna i ytklasser minskade även antalet ytor att arbeta med.

³ Baserat på Stockholms stad (2010a). Exakt placering är okänd.

Tabell 4 Definition av ytklasserna baserade på ytorna identifierade på Årstafältet. Beskrivning av varje ytklass och definierande egenskaper, med avseende på vatten- och strålningsbalansen. Ytklasserna är uppdelade mellan *Naturliga ytor* och *Urbana ytor*. *Vegetationsklädda ytor* finns både bland *Naturliga ytor* och *Urbana ytor*.

		Definierande egenskaper med avseende på		
Ytklass	Beskrivning	vattenbalansen	strålningsbalansen	
Naturliga ytor	<i>Öppet vatten</i>	Bäckar, åar och dammar. Vattenyta utan vegetation eller med väldigt lite vegetation i.	Möjlighet till hög avdunstning. <i>Lågt albedo.</i>	<i>Lågt albedo. Hög värmekapacitet</i>
	<i>Våtmark</i>	Kantar bäckarna, åarna och dammarna. Grunt vatten med gles vegetation.	Möjlighet till hög evapotranspiration p.g.a. öppen dagvattenhantering. (Veg Tech, 2011).	<i>Lågt albedo. Hög värmekapacitet</i>
	<i>Hög vegetation</i>	Skog, skogsdunge, enstaka träd och buskar.	Goda infiltrations- och evapotranspirations-egenskaper.	Påverkar emission av den utgående långvågsstrålningen.
	<i>Låg vegetation</i>	Gräsplan, äng och planteringar.	Goda infiltrations- och evapotranspirations-egenskaper.	
	<i>Odlingsmark</i>	Kolonilottsområden med tidvis skördad gröda.	Goda infiltrations- och evapotranspirations-egenskaper.	
Urbana ytor	<i>Låga grönytor med litet vattenmagasin</i>	Innergårdar med garage under.	Tunna vattenlagrande lager och växtlager. Möjlighet till retention av dagvatten och evapotranspiration.	
	<i>Höga grönytor med litet vattenmagasin</i>	Gröna tak	Tunna vattenlagrande lager och växtlager. Möjlighet till retention av dagvatten och evapotranspiration.	Påverkar emission av den utgående långvågsstrålningen.
	<i>Konstgjorda ytor med låg permeabilitet</i>	Lekparker och andra aktivitetsytor.	Begränsad permeabilitet och vattenmagasin.	
	<i>Låg hårdgjord yta</i>	Torg, parkeringar, vägar och gator. Ytor av sten, betong, grus eller asfalt i markhöjd.	Icke impermeabla ytor. Liten vattenmagasinering ger liten avdunstning.	
	<i>Hög hårdgjord yta</i>	Hustak och andra byggnadstak med höjd över markplan.	Icke impermeabla ytor. Ingen eller liten vattenmagasinering ger liten avdunstning.	Påverkar emission av den utgående långvågsstrålningen.

Klassindelningen krävde antaganden. Det gjordes skillnad på höga och låga ytor, eftersom höjden har inverkan på emissionen av den utgående långvågstrålningen tillbaka till ytan och skrovligheten påverkar turbulensen i vindarna. Högre ytor bidrar med ett skrovligare landskap, vilket påverkar värmeflödet från markytan (Chapin m.fl., 2002). Därför gjordes skillnad på ytklasserna *Hög hårdgjord yta* och *Låg hårdgjord yta*; *Låga grönytor med litet vattenmagasin* och *Höga grönytor med litet vattenmagasin*; *Hög vegetation* och *Låg vegetation*.

Ytklassen *Öppet vatten* skapades utan hänsyn till vattnets djup, volym eller föroreningsgrad, eftersom dessa uppgifter inte var färdigställda och även kan tänkas variera med tiden. Användning av värden från naturliga vattenytor ger en fingervisning om vilken påverkan som dammen och ån har på klimatet. Området med vatten täcker en liten del av Årstafältets totala area, vilket sannolikt innebär att påverkan blir försumbar.

De hårdgjorda ytorna delades in i samma ytklass, främst p.g.a. deras impermeabilitet, trots medvetenhet om att material- och färgskillnader förekommer. Det var inte motiverat att skilja på olika hårdgjorda ytor, eftersom detaljplanen inte var färdigställd och osäkerheten om ytmaterial var stor.

För ytklasserna *Konstgjorda ytor med låg permeabilitet*, *Låga grönytor med litet vattenmagasin*, *Höga grönytor med litet vattenmagasin*, *Hög vegetation* och *Låg vegetation* var osäkerheten beträffande det planerade ytmaterialet eller typ av växtlighet de främsta orsakerna till de omfattande klasserna.

De antaganden som nämnts bör inte påverka resultatet nämnvärt eftersom de ytor som placerades i samma klass har liknande effekter på strålnings- och vattenbalansen. Samtidigt motiveras förenklingen, som klassindelningen medför, av att det inte lönar sig att fästa sig vid olikheterna eftersom en modifiering av detaljplanen kan förändra resultatet i större grad. Trots den förenklade uppdelningen av ytklasserna bör resultatet ge en tillräcklig bra fingervisning om den sammanlagda klimatpåverkan som markanvändningsförändringen kommer att medföra.

3.4 FRAMSTÄLLNING AV KARTOR ÖVER ÅRSTAFÄLTET

3.4.1 Tillgängligt material till framtagning av kartor

Det kartmaterial som fanns att tillgå var kartor över Årstafältets nuvarande och planerade markanvändning. Vid tidpunkten då tillgång till kartorna fordrades var dessa under bearbetning. Därför kan informationen på kartan ha ändrats i efterhand. När kartorna bearbetades användes information från den senaste kompletta uppdateringen. Kartan över den planerade markanvändningen var senast uppdaterad den 2 mars 2011.

3.4.2 Identifiering och klassindelning av ytorna på kartorna

Kartorna var skapta som en del av detaljplanen, med betoning på infrastruktur och markanvändning ur samhällsnyttoperspektiv, medan det som söktes i det här arbetet var markanvändningen ur ytbeläggningperspektiv. Därmed krävdes vidare bearbetning av kartorna. Filerna var skapta i AutoCAD i filformatet DWG. Innehållet i kartorna var

uppdelat i lager. DWG-filerna öppnades i ArcGIS. Dock öppnades inte de olika lagren i ArcGIS så som de är skapta i AutoCAD. De lager som bedömdes ha intressant information identifierades och sparades som nya lager i ArcGIS – **markanvändningslager**. Med intressant information menas information om olika ytor och deras gränser inom studieområdet.

Markanvändningslagren klassindelades, enligt ytklasserna definierade i avsnitt 3.3, och nya lager skapades – **ytklasslager**. Innehållet i varje markanvändningslager var oftast lätt att klassindela som t.ex. byggnader, vägar och damm. Klassindelning av en del markanvändningslager krävde antaganden (Tabell B.1). Tolkningen av kartan över Årstafältets nuvarande markanvändning underlättades genom användning av Google-maps satellitkarta och besök i studieområdet. Till kartan över Årtafältets planerade markanvändningen var programmet för detaljplanen utgivet av Stockholms stad (2010a) till hjälp för tolkningen. Trots olikheter mellan andra iakttagelser och kartorna gjordes inga förändringar eller tillägg.

Informationen i de olika markanvändningslagren fanns som linjer och polygoner. Ibland bildade linjerna slutna former som med verktyg i ArcGIS kunde göras om till polygoner. Dock behövde de flesta markanvändningslager redigeras för att få slutna linjer. Skapandet av ytklasslagren krävde bearbetning och fler antaganden (Tabell B.1). Lagren fick även beskäras så att områden utanför studieområdet togs bort. Gränser för studieområdet skapades utifrån tillgänglig information om den planerade markanvändningen och befintliga vägar för att motsvara områdesgränserna i Figur 7.

3.4.3 Framställning av kartor utifrån identifierade ytklasser

När de olika ytklasslagren skapades överlappade vissa ytklasslager varandra. En orsak till överlappning var olika höjd på de olika ytklasserna. Som exempel överlappade ytklasslagret *Hög vegetation* de andra ytklasserna. En annan orsak till överlappning var de buffertområden som skapades när linjer gjordes om till polygoner (Tabell B.1). Där ytklasslagren överlappade varandra gavs ytklasserna som antogs hamna överst (vara placerade på en högre höjd) högre prioritering.

När kartan över Årstafältets nuvarande markanvändning sammanställdes fick vissa ytklasslager högre prioritering än andra (Tabell 5 och B.2). Sammanställningen av kartan över Årstafältets planerade markanvändning krävde annan prioriteringsordning mellan ytklasslagren (Tabell 5 och B.2). För vidare detaljer kring antaganden vid fastställandet av prioriteringsordningen hänvisas till Tabell B.2. När prioriteringsordningen var bestämd togs de överlappande områdena bort på ytklasslagret med lägre prioriteringsordning.

Tabell 5 Prioriteringsordning för ytklasslagren representerade i Årstafältets nuvarande och planerade markanvändning. När prioriteringsordningen bestämdes för Årstafältets nuvarande markanvändning delades ytklassen *Låg vegetation* i två delar, planteringar och resterande odefinierade ytor.

Nuvarande markanvändning	Planerad markanvändning
1. <i>Hög vegetation</i>	1. <i>Hög vegetation</i>
2. <i>Hög hårdgjord yta</i>	2. <i>Hög hårdgjord yta/Höga grönytor med litet vattenmagasin</i>
3. <i>Låg vegetation - plantering</i>	3. <i>Låga grönytor med litet vattenmagasin</i>
4. <i>Låg hårdgjord yta</i>	4. <i>Konstgjorda ytor med låg permeabilitet</i>
5. <i>Våtmark</i>	5. <i>Låg hårdgjord yta</i>
6. <i>Öppet vatten</i>	6. <i>Våtmark</i>
7. <i>Odlingsmark</i>	7. <i>Öppet vatten</i>
8. <i>Låg vegetation – resterande odefinierade ytor</i>	8. <i>Låg vegetation – resterande odefinierade ytor</i>

3.4.4 Arealberäkningar av ytklasserna

Genom att sammanfoga polygonerna inom samma ytklasslager kontrollerades att polygoner inom samma ytklasslager inte överlappade varandra. Arean för ytklassen beräknades med verktyg i ArcGIS.

3.5 MODELLBESKRIVNING

För beräkning av olika ytors lokala effekter på energibalansen tas hänsyn till ytans strålnings- och vattenbalans (Tabell 1 i avsnitt 2.1.1). För beräkning av ytornas energibalans användes en matematisk modell baserad på den turbulenta diffusionsteorin. Ekvationerna för en ytas energibalans som presenteras i det här avsnittet är anpassade till de avgränsningar som angivits tidigare. Ekvationerna är, om inget annat anges, baserade på Rosenberg m.fl. (1983). För symbolista hänvisas till Bilaga A.

3.5.1 En ytas energibalans

Energibalans ekvationen för en yta beskriver hur nettostrålningen, R_n delas upp i sensibelt värme flöde, H , latent värme flöde, LE och markvärme flöde, G .

$$\text{Energibalans: } R_n = H + LE + G \quad (1)$$

Energitransporten från ytan sker huvudsakligen genom de konvektiva energiflödena, H och LE (Eckersten, 2004). Därför används noggrannare metoder för beräkning av H och LE (Ekvation 2 respektive 7) medan ett förenklat samband används för G (Ekvation 9).

Det sensibla värme flödet drivs av temperaturskillnaden mellan ytan och den omgivande atmosfären.

$$\text{Det sensibla värme flödet: } H = \rho_a c_p \frac{(T_s - T_a)}{r_a} \quad (2)$$

Det sensibla värmeflödet beskrivs av Ekvation 2 där ρ_a är luftens densitet, c_p är luftens värmekapacitet, T_s och T_a är ytans respektive luftens temperatur och r_a är den aerodynamiska resistansen.

Vindens horisontella hastighet, $u(z)$, ökar logaritmiskt med höjden över markytan, z , vilket beskrivs av logaritmiska vindlagen (Ekvation 3), där u^* är friktionshastigheten, z är höjden över markytan, z_d är nollplansförskjutningen, z_o är skrovlighetslängden och k är von Karmans konstant. Logaritmiska vindlagen gäller för homogena ytor med kvoten 100, mellan fetch⁴ och vegetationens höjd.

$$\text{Logaritmiska vindlagen: } u(z) = \frac{u^* \ln \left(\frac{z - z_d}{z_o} \right)}{k} \quad (3)$$

Den aerodynamiska resistansen beskriver motståndet att transportera molekyler i luften och påverkar både det sensibla och det latent värmeflödet. Ett uttryck för den aerodynamiska resistansen, baserat på logaritmiska vindlagen, kan bestämmas för neutral skiktning (Ekvation 4), där z_u är höjden över markytan där vindhastigheten blev uppmätt.

$$\text{Den aerodynamiska resistansen: } r_a = \frac{\left(\ln \left(\frac{z_u - z_d}{z_o} \right) \right)^2}{k^2 u(z)} \quad (4)$$

För beräkning av den aerodynamiska resistansen behövs värden på skrovlighetslängden och nollplansförskjutningen. Utifrån vegetationens (ytans) medelhöjd, z_h , kan skrovlighetslängden och nollplansförskjutningen bestämmas empiriskt (Ekvation 5 respektive 6). Följande tumregler gäller för vegetationsklädda ytor, men Ekvation 6 används även för urbana ytor (Oke, 2009):

$$\text{Skrovlighetslängden: } z_o \approx 0,1z_h \quad (5)$$

$$\text{Nollplansförskjutningen: } z_d \approx 0,67z_h \quad (6)$$

Det latent värmeflödet beräknas som den energi som åtgår för vattnets fasomvandling vid evapotranspiration, E . Energi tas från ytan vid avdunstning och frigörs i atmosfären vid kondensation. För vegetationsklädda ytor drivs det latent värmeflödet av skillnaden mellan mätnadsångtrycket i bladen, $e_s(T_s)$, och ångtrycket i den omgivande luften, e_a (Eckersten m.fl., 2004).

$$\text{Det latent värmeflödet: } LE = \frac{\rho_a c_p (e_s(T_s) - e_a)}{\gamma (r_s + r_a)} \quad (7)$$

där γ står för psykrometerkonstanten. Det latent värmeflödet minskar med ökad ytresistans, r_s (stomataresistans, r_c , för växter) och den aerodynamiska resistansen (Ekvation 7).

⁴ Längden på den homogena ytan som vinden har passerat (Ågren m.fl., 2008).

Ett samband mellan mätnadsångtryck och temperatur kan erhållas ur Tetens ekvation (Ekvation 8), där T är temperaturen i °C. Då kan mätnadsångtrycket i bladen beräknas:

$$\text{Mätnadsångtrycket: } e_s(T_s) = 0,61078e^{\left(\frac{17,267T}{T+237,3}\right)} \quad (8)$$

Markvärmeflödet beror av markens förmåga att lagra värme, markens värmekapacitet, och dess värmeledningsförmåga (markens termiska konduktivitet). För längre tidsintervall (dygn eller längre) kan marken antas ha samma temperatur som luften. Då får markens värmekapacitet större betydelse än dess termiska konduktivitet och följande förenklade samband för markvärmeflödet kan användas (Allen m.fl., 1998):

$$\text{Markvärmeflödet: } G \approx c_s \frac{T_i - T_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \Delta z \quad (9)$$

där c_s är markens volymetriska värmekapacitet, T_i och T_{i-1} är markens temperatur, här antagen vara samma som luftens temperatur, vid tiden i respektive tiden $i-1$, Δz är det effektiva djupet och $t_i - t_{i-1}$ är tidsintervallets längd från tiden $i-1$ till tiden i .

3.5.2 En ytas strålningsbalans

Strålningsflödet till ytan består av både kortvågs- och långvågsstrålning. Nettostrålningen, som även ingår i energibalansen, kan beskrivas som nettot av alla strålningsflöden till ytan (Eckersten m.fl., 2004) och beskrivs av strålningsbalans-ekvationen (Ekvation 10).

$$\text{Strålningsbalans: } R_n = S \downarrow (1 - \alpha) + \varepsilon L \downarrow - \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (10)$$

Där $S \downarrow$ är globalstrålningen, α är ytans albedo, ε är ytans emissionskoefficient, $L \downarrow$ är den inkommande långvågstrålningen, σ är Stefan Boltzmanns konstant och T_s är ytans temperatur i Kelvin.

3.5.3 Den integrerade klimatpåverkan

För att uppskatta den sammanlagda klimatpåverkan av en yta, som är sammansatt av flera delytor, kan delytornas påverkan viktas i förhållande till deras relativa andel av totalytan. Skillnader i summor mellan den nuvarande och den planerade markanvändningen ger ett mått på markanvändningens klimatpåverkan:

$$\text{Integrerad klimatpåverkan} = \sum \Delta T_i (A_{\text{planerad}} - A_{\text{nuvarande}})_i \quad (11)$$

Där $\Delta T_i = (T_s - T_a)_i$ är yttemperatur relativt lufttemperaturen för delytan i och $(A_{\text{planerad}} - A_{\text{nuvarande}})_i$ är förändringen av andelen area för delytan i . Denna metod för den integrerade klimatpåverkan har både för och nackdelar. Det som talar för är dess enkelhet medan det som talar emot är att metoden inte tar hänsyn till interaktionen mellan de olika delytorna.

Det bör understrykas att ekvationer för att ta fram klimatpåverkan för varje ytklass gäller för stora ytor. I urbana miljöer präglas stadsbilden av små ytor och då uppfylls sällan den storlek på areor som krävs för att ekvationerna ska gälla. Syftet med

beräkningarna är att jämföra klimatpåverkan för den planerade markanvändningen med den nuvarande klimatpåverkan. Trots att landskapet på Årstafältet består av en sammansättning av mindre ytor, både med den nuvarande och med den planerade markanvändningen, bör beräkningsmetoden uppfylla syftet. Ett annat argument för metodvalet är metodens enkelhet.

3.6 BERÄKNINGAR AV YTKLASSERNAS KLIMATPÅVERKAN

Ett mått på en ytas klimatpåverkan är skillnaden mellan luftens och ytans temperatur. Yttemperaturen, T_s , återfinns i ekvationen för det sensibla värmeflödet (Ekvation 2), det latent värme flödet (Ekvation 7) och strålningsbalansen (Ekvation 10). Både ekvationen för en ytas energibalans (Ekvation 1) och strålningsbalans (Ekvation 10) beskriver nettostrålningen. Ekvationssystemet implementerades i beräkningsverktyget Matlab och löstes numeriskt på följande sätt: Yttemperaturen antogs till ett högre värde än lufttemperaturen. Med den antagna yttemperaturen, klimatdata som drivvariabler, ytspecifika konstanter som parametrar och övriga konstanter beräknades nettostrålningen i Ekvation 1 och 10. Parametervärdena finns sammanställda i Tabell 6. Ny yttemperatur antogs tills nettostrålningen i båda ekvationerna överensstämde (skillnaden mellan $R_n \leq 1 \text{ W m}^{-2}$). På det här sättet itererades det fram ett värde på ytmedeltemperaturen för varje dygn under perioden och för varje ytklass. Slutligen beräknades medelvärdet för ytmedeltemperaturen per dygn för hela perioden och för varje ytklass. Skillnaden mellan lufttemperaturen och yttemperaturen, ΔT , beräknades för varje ytklass.

När ytans temperatur var bestämd kunde det latent och sensibla värme flödet bestämmas och därmed även Bowenförhållandet (avsnitt 3.6.3) för varje yta.

3.6.1 Drivvariabler

Klimatdata kan erhållas som observerade värden eller genereras med mer allmänna ekvationer. I denna studie användes observerade värden. Klimatdata för tio somrar (2000-2009) erhöles från SMHI:s väderstation på Bromma flygplats (Stockholm, Latitud $59,35^\circ$, longitud $17,35^\circ$). Nederbördsmätningarna i Bromma upphörde 1997, varför även mätvärdena för nederbörden från den närmaste mätstationen i Tullinge (Botkyrka) Stockholm, (Latitud $59,18^\circ$, longitud $17,91^\circ$) användes.

Klimatdata (från Bromma) utgjordes av lufttemperaturens min- och maxvärden, vindhastighet, aktuellt ångtryck (för beräkning av e_a), relativ luftfuktighet (för beräkning av e_s) och globalstrålning. Lufttemperaturens minimum och maximum var uppmätt två gånger per dygn. För globalstrålningen fanns mätdata för varje dygn. Mätningar för de andra klimatparametrarna fanns att tillgå för var tredje timme. I nederbördsdata (från Tullinge) angavs nederbörden per dygn. I den mån dygnsmedelvärdet saknades togs det fram för de olika klimatvariablerna och beräknades på följande sätt:

- För att få fram **luftens medeltemperatur** per dygn beräknades medelvärdet för dygnets högsta och lägsta uppmätta temperatur.

- **Medelångtrycket** beräknas lämpligen som medelvärdet för ångtrycket vid tidpunkterna för lufttemperaturens min- och maxvärden (Allen m.fl., 1998), men tidpunkt för dessa värden saknades. Istället beräknades medelvärdet av dygnets högsta respektive lägsta ångtryck. Då ångtrycket ökar med ökande temperatur bör dygnets maximala ångtryck sammanfalla med dygnets maximala temperatur och metoden ge ett tillräckligt noggrant medelvärde.
- För den **relativa fuktigheten** och **vindhastigheten** togs medelvärdet för de uppmätta värdena för varje dygn för respektive klimatvariabel.
- Den **inkommande långvågstrålningen** togs fram som en andel av globalstrålningen baserat på jordens årliga energibalans. Kvoten som användes mellan den utgående långvågstrålningen och den inkommande kortvågstrålningen var 390/198 (Kiehl m.fl., 1997).
- De dygn **nederbörden** understigit 0,1 mm/dygn ansågs nederbördsmängden vara försumbar (regnfria dygn).

Genom att använda sig av medelvärdet dygnsvis försummas variationer inom dygnet. Klimatdata som fanns att tillgå saknade värden vid vissa tillfällen. Då ett värde som behövdes i beräkningarna saknades togs värdet från föregående dygn, förutsatt att det värdet var korrekt.

3.6.2 Parameterisering

För beräkning av ytornas yttemperatur behövs konstanter i strålnings- och energibalans-ekvationen som varierar med ytklassen (parametervärden). Skrovlighetslängden för ytklassen *Öppet vatten* togs fram genom kalibrering mot uppmät data medan övriga parametervärden togs fram genom oberoende parameterisering. Anledningen är att värdet på skrovlighetslängden varierar för ytklassen *Öppet vatten* p.g.a. vågbildning (Oke, 2009; Wieringa, 1993). Skrovlighetslängd har i sin tur stor påverkan på energitransporten från ytan, och därmed även på yttemperaturen. Parametervärdena listas i Tabell 6, och beskrivningen av de antaganden som gjordes när värdena togs fram beskrivs nedan.

Albedo, α , och emissionskoefficienten, ϵ

De ytspecifika faktorer som påverkar strålningsbalansen (Ekvation 10) är ytans albedo och emissivitet. Värden på albedot och emissionskoefficienten baserades på tidigare forskning. Albedot för en yta beror inte bara på materialet och ytans utseende utan även på det tillstånd ytan befinner sig i. Blöta ytor, speciellt de hårdgjorda, blir ofta mörkare än torra med lägre albedo som följd. Värden på albedo för torra ytor användes, förutom för ytklassen *Våtmark* som kan antas vara våt största delen av tiden. Vid valet av albedo togs hänsyn till ytornas förändrade albedo för ytklasserna *Hög hårdgjord yta* och *Låg hårdgjord yta*.

Ytans albedo är även beroende av ljusets infallsvinkel (Eckersten m.fl., 2004). Speciellt är albedo för en vattenyta beroende av ljusets infallsvinkel och därmed årstid. I

rapporten användes albedot för vattenytor i 60° latitud under sommarhalvåret. För ytklassen *Öppet vatten* hämtades värdet på emissionskoefficienten från litteraturen.

För ytklassen *Våtmark* antogs ett värde på albedo och emissionskoefficienten baserat på värdet för fuktig bar mark och högt gräs. För ytklassen *Hög vegetation* användes ett värde på albedo representativt för lövskog. Barrskog har lägre medan buskskog har högre albedo än lövskog (Sellers, 1965). Avvikelse p.g.a. närvaro av barrträd och buskar bör ta ut varandra och antagandet om att ytklassen *Hög vegetation* har samma albedo som lövskog bör vara rimligt. För ytklassen *Hög vegetation* användes ett värde på emissionskoefficienten representativt för lövklädd lövskog.

Kortklippt gräs (0,02 m) och högre gräs (1 m) har olika albedo och emissivitet (Oke, 2009). Albedo och emissionskoefficient för ytklassen *Låg vegetation* antogs ligga mellan respektive värden för det kortklippta och det höga gräset. För ytklasserna *Låga grönytor med litet vattenmagasin* och *Höga grönytor med litet vattenmagasin* antogs samma värde för albedo och emissionskoefficient som för ytklassen *Låg vegetation*. Antagandet om albedot för ytklassen *Höga grönytor med litet vattenmagasin* stärks av ett albedo för gröna tak på 0,2 enligt Susca m.fl. (2011).

För ytklassen *Odlingsmark* hämtades värden för albedo och emissionskoefficient ur litteraturen.

För ytklassen *Konstgjorda ytor med låg permeabilitet* användes ett uppmätt albedo och antaget värde på emissionskoefficient för konstgräs. Albedot och emissiviteten för ytklassen *Hög hårdgjord yta* beror främst på materialet på hustaken. Asfalt valdes som representativt material för ytklassen *Hög hårdgjord yta*. Antagandet baserades på satellitbilder (Google-maps) över nya områden (Hammarby sjöstad) i Stockholm där observationer visade dominerande andel asfaltsliknande mörka tak. Albedo för ytklassen *Låg hårdgjord yta* baserades på värden för nylagd och gammal asfalt. Med hänsyn till att asfalt åldras snabbt (Johansson, 2010), antogs att värdet för den äldre asfalten gäller under större delen av tiden. Ytorna blir blöta efter regn och blir därmed mörkare och får lägre albedo. Ett medelvärde av albedot för den nylagda och den gamla asfalten bör därmed ge ett rimligt värde. Samma värde på emissionskoefficienten användes för ytklasserna *Hög hårdgjord yta* och *Låg hårdgjord yta*.

Höjden över markytan där vindhastigheten blev uppmätt, z_u

Höjden där vindhastigheten blev uppmätt behövdes för att bestämma den aerodynamiska resistansen (Ekvation 4). Vindhastigheten blev uppmätt på 10 meters höjd (SMHI, 2009). För de plana ytorna användes 10 m som höjden där vindhastigheten blev uppmätt. För ytor högre än 10 m (*Hög hårdgjord yta* och *Höga grönytor med litet vattenmagasin*) bestämdes vindhastigheten för en högre höjd med den logaritmiska vindlagen (Ekvation 3). Här antogs att marken kring SMHI:s vindhastighetsmätare är täckt med 0.1 m hög vegetation.

Vegetationens (ytans) medelhöjd, z_h

Vegetationen och ytornas medelhöjd antogs baserade på erfarenhet av vanliga förutsättningar i stadsmiljö och beskrivningarna från programmet för detaljplanen utgivet av Stockholms stad (2010a). Vegetationen i ytklassen *Höga grönytor med litet vattenmagasin* är placerade på byggnadernas tak. Vegetationens påverkan på ytans skrovlighet är försumbar jämfört med skrovligheten orsakad av byggnadernas höjd. Därför användes höjden på byggnaderna istället för vegetationens medelhöjd.

Nollplansförskjutningen, z_{ds} och skrovlighetslängden, z_o

För att bestämma den aerodynamiska resistansen (Ekvation 4), behövdes ytans nollplansförskjutning och skrovlighetslängd. Olika metoder användes för att bestämma nollplansförskjutningen och skrovlighetslängden för olika ytklasser.

För att bestämma nollplansförskjutningen användes tumregeln i Ekvation 6, som är framtagen för vegetationsklädda ytor, men även används för andra ytor (Oke, 2009). För plana ytor (ytklasserna *Öppet vatten*, *Konstgjorda ytor med låg permeabilitet*, *Låg hårdgjord yta*) försumrades nollplansförskjutningen då denna blir väldigt liten i förhållande till höjden över markytan där vindhastigheten blev uppmätt (Ekvation 4).

För ytklasserna *Våtmark*, *Låg vegetation*, *Hög vegetation*, *Odlingsmark* och *Låga grönytor med litet vattenmagasin* bestämdes skrovlighetslängden utifrån vegetationens medelhöjd med tumregeln i Ekvation 5. För övriga ytklasser (*Öppet vatten*, *Höga grönytor med litet vattenmagasin*, *Konstgjorda ytor med låg permeabilitet*, *Låg hårdgjord yta* och *Hög hårdgjord yta*) användes värden på skrovlighetslängden från litteraturen. För ytklassen *Hög vegetation* antogs ett värde på skrovlighetslängden med hänsyn till byggdensiteten och byggnadernas höjd för Årstafältets planerade markanvändning. Vegetationen på ytorna beskrivna av ytklassen *Höga grönytor med litet vattenmagasin* bidrar med en skrovlighet och därmed turbulens. Skrovligheten orsakad av vegetationen antogs vara försumbar i relation till skrovligheten orsakad av byggnaderna. Därför användes samma värde på skrovlighetslängden för ytklassen *Höga grönytor med litet vattenmagasin* som för *Hög hårdgjord yta*. För de plana urbana ytorna (ytklasserna *Låg hårdgjord yta* och *Konstgjorda ytor med låg permeabilitet*) har skrovlighetslängden baserats på värden för plana ytor som betong och öken.

För ytklassen *Öppet vatten* bestämdes skrovlighetslängden utifrån kalibrering mot uppmätta värden från sjön Stora Envättern i Stockholms län. Sjön har en yta på 0,38 km² och maximalt djup på 12 m. Data för vattnets temperatur fanns sammanställd av SLU (Institutionen för vatten och miljö) på djupen 0,5 m, 5 m och 8-12 m. För sommarmånaderna var temperaturmätningarna tagna en gång i månaden för respektive djup. För sjöar befinner sig språngskiktet på 5-20 meters djup sommartid (SMHI, 2008). För värden på vattnets temperatur över språngskiktet antogs omrörning och därmed homogen temperatur till 5 meters djup. Medelvärde mellan temperaturen för djupet 0,5 m och 5 m användes som vattnets medeltemperatur för det övre skiktet. Temperaturskillnaden mellan medeltemperaturen i det övre skiktet och luftens medeltemperatur togs fram månadsvis för de tio somrarna. Ett medelvärde för temperaturskillnaden mellan vattnets och luftens temperatur för somrarna under

tioårsperioden bestämdes till $-0,6^{\circ}\text{C}$.⁵ Genom kalibrering mot uppmätta värden i Stora Envättern bestämdes skrovlighetslängden till 0,012 m, vilket hamnar inom intervallet för vattenytors skrovlighetslängd sammanställda av Oke (2009).

Stomataresistansen, r_s , för *Naturliga ytor* och avdunstningen, E , för *Urbana ytor*

Evapotranspirationen för en vegetationsklädd yta beror på ytans (markens) och vegetationens motstånd att avge vatten till atmosfären. Är ytan inte vegetationsklädd tas endast hänsyn till motstånd för avdunstning p.g.a. ytans egenskaper som vattenhållande förmåga. Dock har tillgången på vatten en grundläggande roll för att avdunstning/evapotranspiration överhuvudtaget ska ske. Då ytan är permeabel, vilket gäller för *Vegetationsklädda ytor*, kan vatten som infiltrerat och lagrats i marken avdunsta senare. Evapotranspirationen från *Vegetationsklädda ytor* antogs ske med ett konstant flöde och vara oberoende av nederbörden eftersom kravet på vattentillgång uppfylls av vattenmagasinet i marken. Med det resonemanget antogs evapotranspirationen vara jämnt fördelad över alla dygn, även de dygn det inte regnar.

I öppna vattenytor finns alltid tillgång till vatten för avdunstning. Därför kunde ytresistansen för ytklassen *Öppet vatten* försummas (Oke, 2009). Med samma argument försumrades även ytresistansen för ytklassen *Våtmark*.

För vegetationsklädda *Naturliga ytor* användes representativa värden på stomataresistansen från tidigare studier. För ytklasserna *Låga grönytor med litet vattenmagasin* och *Höga grönytor med litet vattenmagasin* antogs värdet på stomataresistansen vara högre än för ytklassen *Låg vegetation*. Detta eftersom ytklasserna *Låga grönytor med litet vattenmagasin* och *Höga grönytor med litet vattenmagasin* har enligt definition ett begränsat vattenmagasin och därmed en begränsad avdunstning. Dock är det en osäker uppgift att använda framtagna värden på stomataresistansen från olika studier enligt Eckersten⁶ med hänsyn till att stomataresistansen är starkt kopplat till förutsättningarna som rådde när värdet togs fram. Istället uppskattades evapotranspirationen baserat på enkla antaganden. Evapotranspirationen för *Låga grönytor med litet vattenmagasin* och *Höga grönytor med litet vattenmagasin* baserades på antagandet att: evapotranspirationen från dessa ytklasser är hälften så stor som för ytklassen *Låg vegetation*.

För impermeabel mark lämnar huvuddelen av vattnet ytan som ytavrinning. En tunn hinna vatten blir kvar på ytan och det är denna som sedan kan avdunsta. Vid ojämnheter i terrängen bildas även vattenpölar. Utifrån resonemanget om impermeabla ytors vattenbalans gjordes antaganden om avdunstningen för icke vegetationsklädda *Urbana ytor* (ytklasserna *Hög hårdjord yta*, *Låg hårdjord yta* och *Konstgjorda ytor med litet vattenmagasin*). Antaganden som gjordes var: att nederbörden kommer som regnskurar, att avdunstningen från ytan huvudsakligen sker efter regnskuren och är därmed försumbar under själva regnskuren. Under ihållande regn kan antagandena ifrågasättas. Dock är fuktigheten i luften högre under tiden det regnar, med en lägre avdunstning som

⁵ Alltså $0,6^{\circ}\text{C}$ kallare i vattnet än i luften.

⁶ Eckersten, H., Professor i växtodlingssystemets ekologi vid SLU, handledarmöte den 21 juni 2011

följd, så huvuddelen av avdunstningen bör ske efter regnets slut när luften är torrare (Grimmond m.fl., 2010). Utifrån antagandena bör avdunstningen motsvara den vattenmängd som inte runnit från ytan och lagrats på ytan. Ytterligare antaganden som gjordes var: att det inte sker någon avdunstning från ytan under regnfria dygn och att all nederbörd avdunstar från ytan under dygn med lite regn. Gränsen för lite regn har baserats på den maximala vattenmängd som ytan kan hålla kvar och som sedan kan avdunsta. Denna gräns är beroende på skrovligheten och ojämnheter hos ytan och är väldigt platspecifik. Ytklasserna *Låg hårdgjord yta* och *Hög hårdgjord yta* antogs kunna lagra 2 mm vatten efter en regnskur. Den maximala lagringskapaciteten för ytklassen *Konstgjorda ytor med låg permeabilitet* antogs vara dubbelt så stor som för de helt impermeabla ytorna, alltså 4 mm, eftersom ytorna till viss del är permeabla. Under nederbördsrika dygn, då nederbördsmängden överstiger ytornas antagna maximala lagringskapacitet, antogs att överflödigt nederbörd lämnar ytan som ytavrinning och avdunstningen blir då lika stor som ytans maximala lagringskapacitet.

Markens volymetriska värmekapacitet, c_v , effektivt medeldjup, Δz , och tidsintervallens längd, Δt

Markvärmeflödet i energibalansekvationen (Ekvation 9) beror på den volymetriska värmekapaciteten som är ytspecifik. Den volymetriska värmekapaciteten för de olika ytklasserna baserades på tidigare uppmätta värden och antaganden baserade på dessa. Värde för den volymetriska värmekapaciteten för vatten antogs gälla för ytklasserna *Öppet vatten* och *Våtmark*, baserat på en hög vattenhalt i ytklassen *Våtmark*. Ytklasser med växtlighet ovanpå ett jordlager (*Hög vegetation*, *Låg vegetation*, *Odlingsmark*, *Låga grönytor med litet vattenmagasin*, *Höga grönytor med litet vattenmagasin*) fick ett värde på värmekapaciteten för jord. För ytklasserna *Konstgjorda ytor med låg permeabilitet*, *Hög hårdgjord yta* och *Låg hårdgjord yta* användes värdet för den volymetriska värmekapaciteten för asfalt. Ytorna i ytklassen *Konstgjorda ytor med låg permeabilitet* antogs vara av hårdgjort material täckta av ett tunnare lager av annat material (t.ex. konstgräs). Det översta lagret antogs vara så litet så det dominerande materialet på det effektiva medeldjupet antogs vara asfalt.

Hela sommaren användes som tidsintervallens längd för ytklassen *Öppet vatten*. För att bestämma värmelagringen i vattnet antogs ett konstant energiflöde till vattnet under hela sommaren. Energiflödet baserades på uppmätta temperaturer i sjön Stora Envättern. För övriga ytor användes tidsintervallet på ett dygn. Orsaken till att tidsintervallet för *Öppet vatten* är längre är att omrörning i vatten leder till större effektivt djup för vatten. Med ett större effektivt djup krävs längre tidsintervall för att dämpa och ge mer realistiska värden på energiflödet mellan vattnet och luften. Värdet på det effektiva medeldjupet antogs vara 0,1 m för alla ytklasser förutom *Öppet vatten*, eftersom tidsintervallens längd är ett dygn för dessa ytklasser. Total omrörning och därmed samma temperatur antogs över språngskiktet. Språngskiktet antogs ligga 5 m under vattenytan och därmed bestämdes det effektiva medeldjupet för *Öppet vatten* till 5 m.

Tabell 6 Parametervärden som påverkar energibalansen för olika ytklasser, där värden för: albedo, α , emissionskoefficienten, ε , höjden över markytan där vinden blev uppmätt, z_u , vegetationen (ytans) medelhöjd, z_h , skrovlighetslängden, z_o , nollplansförskjutningen, z_d , stomataresistansen, r_c , evapotranspirationen, E , effektiva djupet, Δz , tidsintervallens längd, Δt och markens volymetriska värmekapaciteten, c_s , har bestämts. För *Naturliga ytor* har r_c använts för beräkning av det latent värmeflödet medan E har antagits för *Urbana ytor*.

Ytklass	Strålning		Aerodynamiska resistansen				Evapotranspiration		Värmelagring		
	α [-]	ε [-]	z_u [m]	z_h [m]	z_o [m]	z_d [m]	r_c [s m ⁻¹]	E ⁿ	Δz [m] ⁿ	Δt ⁿ	C [J m ⁻³ K ⁻¹]
<i>Öppet vatten</i>	0,07 ^a	0,94 ^a	10	-	0,012 ^m	0 ^d	0 ^b	-	5	jun-aug	4,2*10 ⁶ ^e
<i>Våtmark</i>	0,10 ^b	0,94 ^b	10	1	0,1 ^j	0,67 ^j	0 ^k	-	0,1	1 dygn	4,2*10 ⁶ ^e
<i>Hög vegetation</i>	0,15 ^a	0,98 ^b	10	10	1 ^j	6,7 ^j	115 ^b	-	0,1	1 dygn	2,1*10 ⁶ ⁱ
<i>Låg vegetation</i>	0,20 ^b	0,93 ^b	10	0,5	0,05 ^j	0,335 ^j	70 ^b	-	0,1	1 dygn	2,1*10 ⁶ ⁱ
<i>Odlingsmark</i>	0,20 ^f	0,95 ^b	10	1	0,1 ^j	0,67 ^j	50 ^b	-	0,1	1 dygn	2,1*10 ⁶ ⁱ
<i>Låga grönytor med litet vattenmagasin</i>	0,20 ^g	0,93 ^b	10	0,5	0,05 ^j	0,335 ^j	-	$E=(E_{Låg\ vegetation})/2$	0,1	1 dygn	2,1*10 ⁶ ⁱ
<i>Höga grönytor med litet vattenmagasin</i>	0,20	0,93 ^b	20 ^l	20 ⁷	2,5 ^b	13,40 ^j	-	$E=(E_{Låg\ vegetation})/2$	0,1	1 dygn	2,1*10 ⁶ ⁱ
<i>Konstgjorda ytor med låg permeabilitet</i>	0,08 ^h	0,95 ^h	10	-	0,0003 ^c	0 ^d	-	$E=P, E\leq 4\text{mm/dygn}$	0,1	1 dygn	1,9*10 ⁶ ^b
<i>Låg hårdgjord yta</i>	0,13 ^f	0,95 ^b	10	-	0,0003 ^c	0 ^d	-	$E=P, E\leq 2\text{mm/dygn}$	0,1	1 dygn	1,9*10 ⁶ ^b
<i>Hög hårdgjord yta</i>	0,13 ^f	0,95 ^b	20 ^l	20	2,5 ^b	13,40 ^j	-	$E=P, E\leq 2\text{mm/dygn}$	0,1	1 dygn	1,9*10 ⁶ ^b

Referenser: antagande baserat på a) Sellers (1965), b) Oke (2009), c) Wieringa (1992), d) antagande om försumbar enligt Oke (2009), e) Eckersten m.fl. (2004), f) Santamouris (2001), g) Susca m.fl. (2011), h) Yaghoobian m.fl. (2009), i) Allen m.fl. (1998), j) tumregler, k) antagande om försumbar, l) beräkning med logaritmiska vindlagen, m) kalibrering mot uppmätt data och n) övriga utförda antaganden i rapporten.

⁷ Placerade på taken på byggnaderna.

3.6.3 Bowenförhållandet

Bowenförhållandet definieras som förhållandet mellan det sensibla och det latent värmeflödet (Rosenberg m.fl., 1983). För att kunna relatera till andra studier togs Bowenförhållandet fram för de olika ytklasserna. Bowenförhållandet togs fram för varje ytklass, som kvoten mellan periodens genomsnittliga sensibla värmeflöde och periodens genomsnittliga latent värmeflöde.

3.7 FASTSTÄLLANDE AV ÅRSTAFÄLTETS INTEGRERADE KLIMATPÅVERKAN

Den integrerade klimatpåverkan av Årstafältets planerade markanvändningsförändring togs fram genom att vikta delytornas påverkan, i förhållande till deras relativa andel av totalytan (Ekvation 11).

Den integrerade klimatpåverkan togs fram dels för varje dygn under perioden, men även som ett medelvärde för hela perioden. Genom att identifiera variationer i den integrerade klimatpåverkan mellan dygnen, kan förekomsten av extremvärden identifieras. Med medelvärdet kan slutsatser dras om bl.a. storleken på klimatpåverkan över hela perioden och effekterna av de gröna taken.

3.7.1 Påverkan av gröna tak på den integrerade klimatpåverkan

Den integrerade klimatpåverkan p.g.a. Årstafältets planerade markanvändningsförändring beräknades för två antagna scenarion: helt utan gröna tak och med hälften av taken täckta med vegetation. Första anledningen var osäkerhet om planerna för de gröna takens läge och utbredning. Andra anledningen var att kunna dra slutsatser om huruvida de gröna taken har någon påverkan av betydelse.

3.7.2 Extremvärden av temperaturen på Årstafältet

Under sommartiden kan problem uppstå under redan varma dygn (SMHI, 2011), i kombination med potential för en ökad yttemperatur kan problemet förvärras. Den integrerade klimatpåverkan ger en indikation på en ytas temperatur i förhållande till lufttemperaturen. En varm yta påverkar i sin tur lufttemperaturen. En ökad yttemperatur bidrar rimligtvis till en ökad lufttemperatur. För att kunna diskutera klimatpåverkan av den förändrade markanvändningen under kritiska dygn antogs att yttemperaturen och temperaturen på luften närmast ytan följs åt, och därmed påverkas luftens temperatur lika mycket som den integrerade klimatpåverkan indikerar.

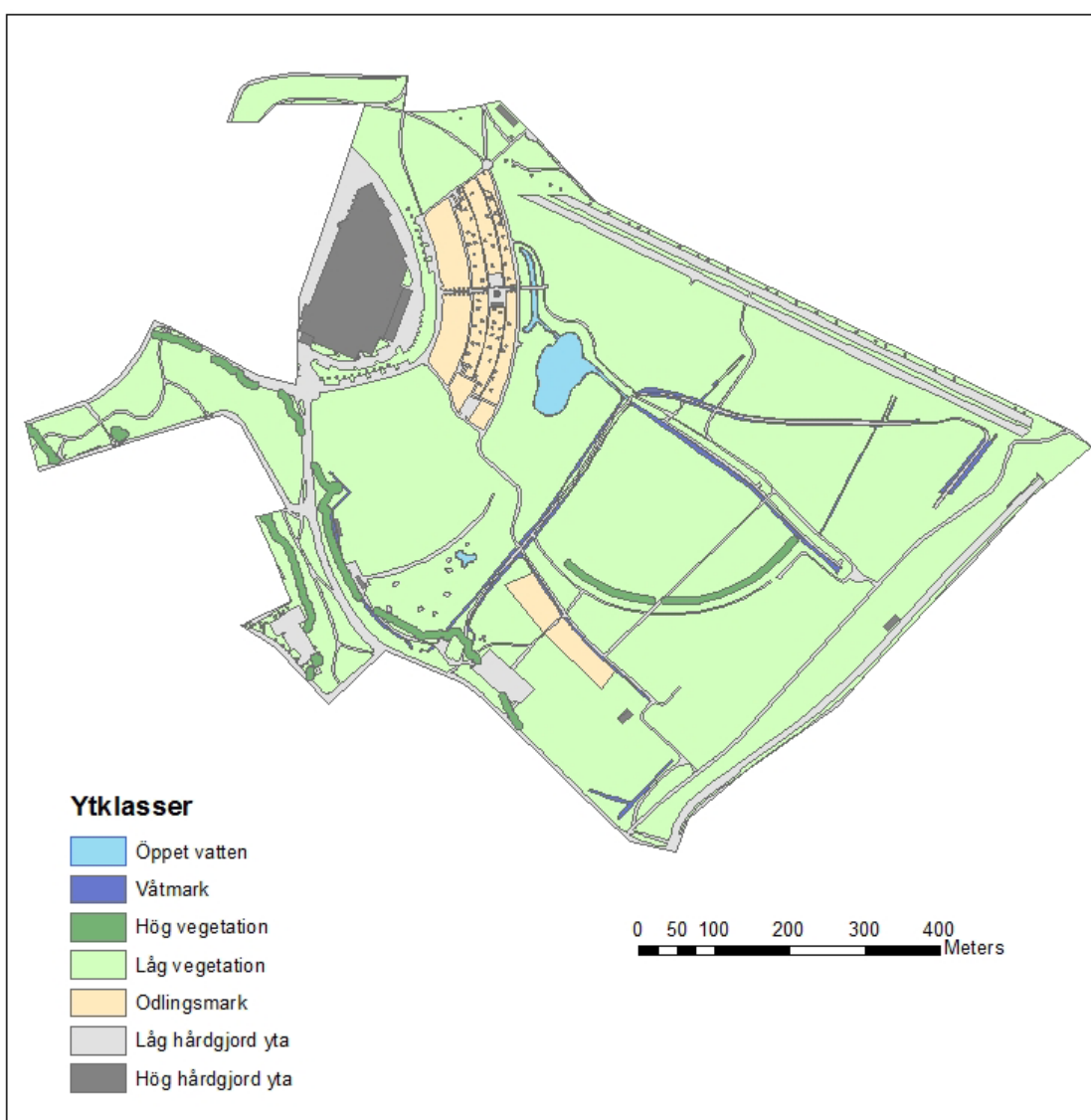
Ett sätt att definiera en värmebölja är en period på minst fem dygn då maximala temperaturen över dygnet överstiger 25 °C (SMHI, 2011). Definitionen på värmebölja ger en gräns för när kritiska temperaturer uppnås. Potentiella värmeböljor identifierades genom att addera den integrerade klimatpåverkan till uppmätt maxtemperatur. Dygnen vars summa översteg 25°C under en sammanhängande period på minst fem dygn räknades som dygn som ingår i en värmebölja. Antalet dygn som ingår i en värmebölja togs fram för de båda scenarierna (med gröna tak/ utan gröna tak) och baserat på uppmätt temperatur (utan påverkan av markanvändningsförändringen).

4 RESULTAT

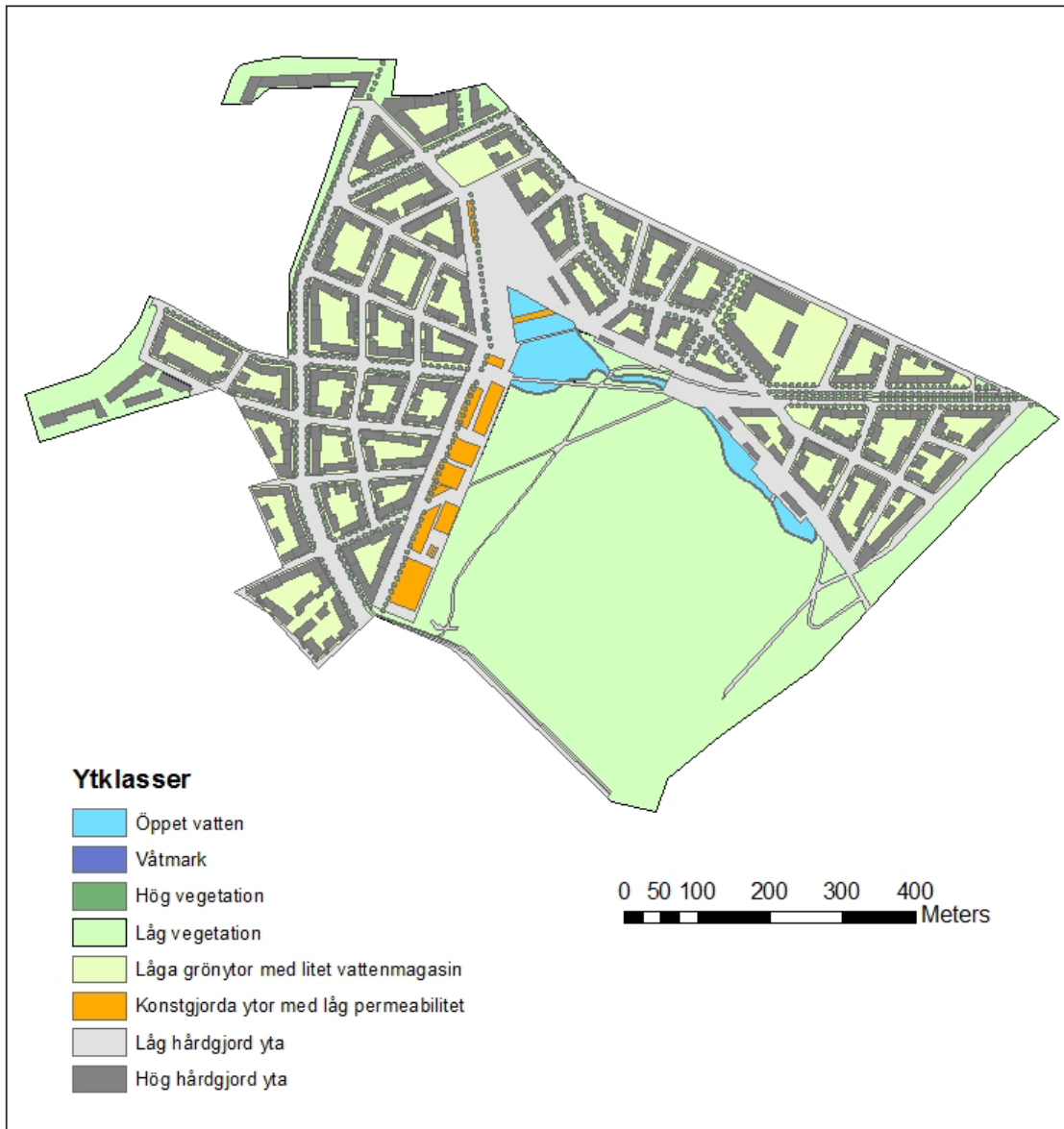
4.1 KARTOR ÖVER ÅRSTAFÄLTET

4.1.1 Kartor över nuvarande och planerade ytklasserna på Årstafältet

Figur 9 och 10 visar Årstafältets nuvarande och planerade markanvändning representerade i de olika ytklasserna. Från Figur 9 och 10 kan uppmärksammas att markanvändningsförändringen innebär en generell ökning av andelen urban mark på bekostnad av naturmark. Då exakt läge för de gröna taken är okänt, och inte är av betydelse för vidare resultat, visas ingen specifik karta med det scenariot. Kartorna, främst kartan över den planerade markanvändningen, visar heterogenitet i landskapet med många mindre delytor.



Figur 9 Årstafältets nuvarande markanvändning. Markanvändningen är fördelad på de ytklasser som finns representerade.

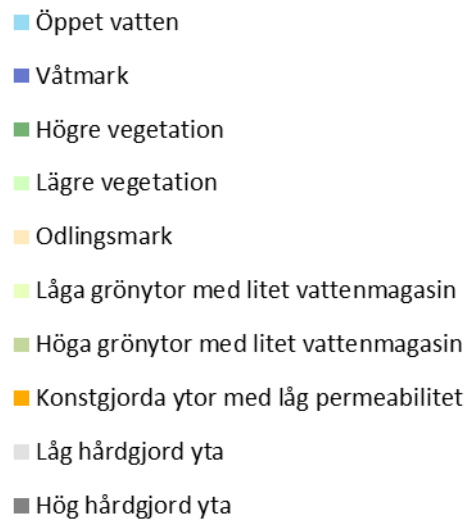
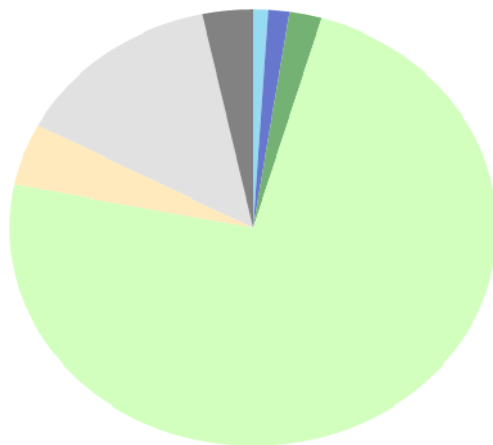


Figur 10 Årstafältets planerade markanvändning. Markanvändningen är fördelad på de ytklasser som finns representerade. Kartan visar scenariot utan gröna tak.

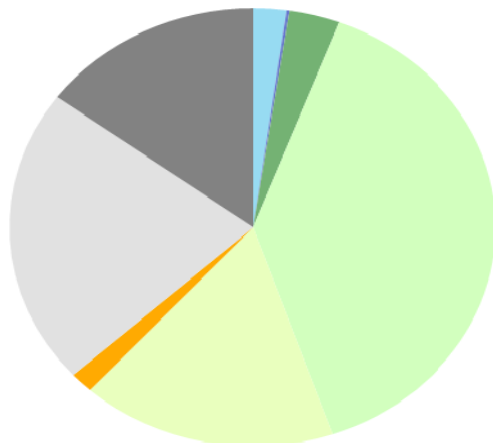
4.1.2 Fördelning av den nuvarande och planerade markanvändningen

Ytklasserna fördelning för Årstafältets nuvarande och planerade markanvändning, sammanställs i Figur 11 och Tabell 7. Ytor som klassindelats under ytklassen *Låg vegetation* är dominerande för Årstafältets nuvarande markanvändning. Det är även ytor från ytklassen *Låg vegetation* som kommer att minska mest (ungefär en halvering) genom den planerade markanvändningsförändringen. Däremot ökade ytklassen *Hög vegetation* – vilken utgör del av *Vegetationsklädda ytor*. Ytklassen *Öppet vatten* ökade medan *Våtmark* minskade. Ytklassen *Odlingsmark* försvann helt medan ytklasserna *Låga grönytor med litet vattenmagasin* och *Konstgjorda ytor med låg permeabilitet* tillkommer.

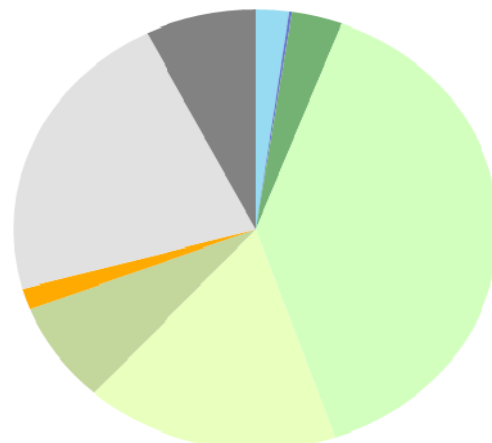
a) **Nuvarande markanvändning**



b) **Planerad markanvändning – utan gröna tak**



c) **Planerad markanvändning – med gröna tak**



Figur 11 Årstadafältets markfördelning efter klassindelning för: a) den nuvarande markanvändningen b) den planerade markanvändningen utan gröna tak och c) den planerade markanvändningen med gröna tak.

Andelen *Naturliga ytor*, *Urbana ytor* och *Vegetationsklädda ytor* i den nuvarande och den planerade markanvändningen ges i Tabell 8. Generellt ökade andelen *Urbana ytor* på bekostnad av *Naturliga ytor*. Andelen *Vegetationsklädda ytor* minskade med den planerade markanvändningsförändringen. För fördelningen mellan *Naturliga ytor* och *Urbana ytor* gjorde de gröna taken ingen skillnad. Däremot ökade andelen *Vegetationsklädda ytor* med de gröna taken. För definition av olika typer av ytor hänvisas till avsnitt 3.3.

Tabell 7 Ytklassernas fördelning för Årstafältets nuvarande och planerade markanvändning.

Ytklasser	Nuvarande markfördelning [%]	Planerad markfördelning [%] Utan gröna tak	Planerad markfördelning [%] Med gröna tak
Öppet vatten	1,0	2,2	2,2
Våtmark	1,4	0,2	0,2
Hög vegetation	2,1	3,4	3,4
Låg vegetation	73,6	39,0	39,0
Odlingsmark	4,6	0,0	0,0
Låga grönytor med litet vattenmagasin	0,0	17,0	17,0
Höga grönytor med litet vattenmagasin	0,0	0,0	7,4
Konstgjorda ytor med låg permeabilitet	0,0	1,6	1,6
Låg hårdgjord yta	13,9	21,9	21,9
Hög hårdgjord yta	3,4	14,9	7,4

Tabell 8 Andelen Naturliga ytor, Urbana ytor och Vegetationsklädda ytor för den nuvarande och den planerade markanvändningen. Naturliga ytor och Urbana ytor utgör tillsammans totala ytan. Vegetationsklädda ytor finns representerade både bland Naturliga ytor och Urbana ytor.

	Nuvarande markanvändning [%]	Planerad markanvändning [%] Utan gröna tak	Planerad markanvändning [%] Med gröna tak
Naturliga ytor	82.8	44.7	44.7
Urbana ytor	17.2	55.3	55.3
Vegetationsklädda ytor	80.4	59.3	66.7

4.2 YTKLASSERNAS KLIMATPÅVERKAN

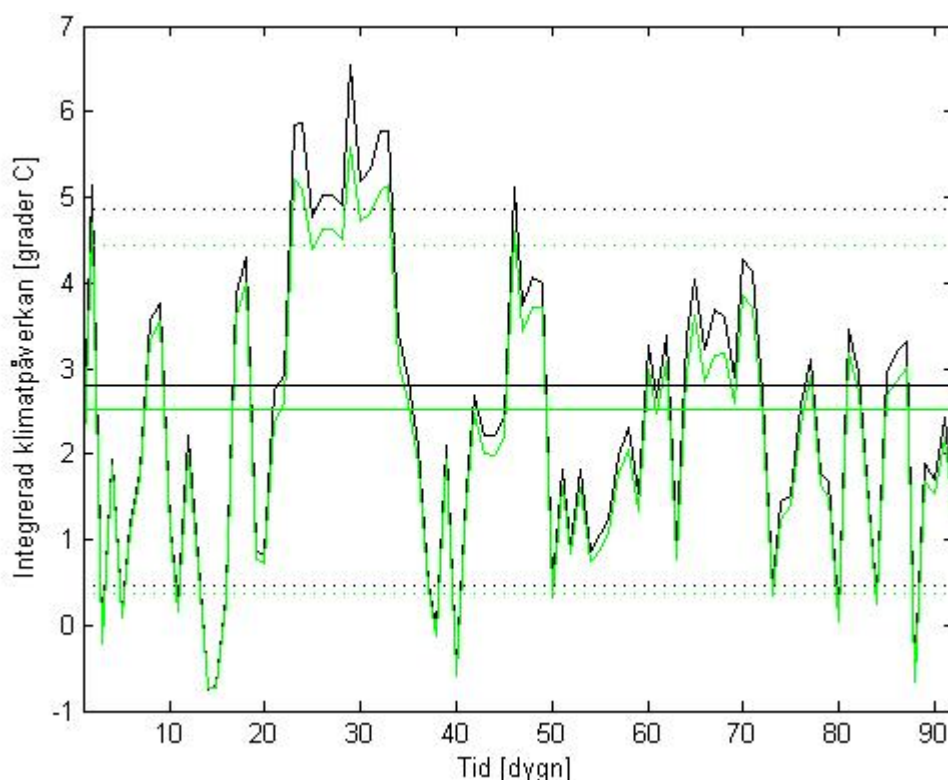
I Tabell 9 sammanställs resultaten över de olika ytklassernas ytemperatur relativt lufttemperaturen (ΔT) och Bowenförhållandet. Resultaten är baserade på ekvationerna i avsnitt 3.5, klimatdata och parametrar i Tabell 6. Positiva värden på ΔT innebär att ytan får en högre temperatur än lufttemperaturen medan negativa värden innebär en lägre ytemperatur än lufttemperaturen. Värden på Bowenförhållandet <1 tyder på dominans av latent värmefflöde medan Bowenförhållande >1 tyder på dominans av sensibelt värmefflöde. Negativa värden är ett tecken på att det sensibla och latent värmefflödet har olika riktningar, i det här fallet är det sensibla värmefflödet riktad mot ytan.

Tabell 9 Uträknade värden på ytklassernas yttemperatur relativt lufttemperaturen (ΔT) och Bowenförhållandet. Yttemperaturen och Bowenförhållandet är baserade på dygnsmedelvärden för sommarmånaderna (jun-aug) under en tioårsperiod (år 2000-2009). Uträkningarna är baserade på olika ytors fysikaliska egenskaper, klimatdata och matematiska samband för en ytas energibalans. Klimatdata är hämtad från SMHI:s väderstation i Stockholm, Bromma.

Ytklasser	$\Delta T = T_s - T_a$ [°C]	Bowenförhållandet [-]
Öppet vatten	-0,64	-0,10
Våtmark	-4,45	-0,36
Hög vegetation	-0,01	-0,03
Låg vegetation	0,63	0,01
Odlingsmark	-0,88	-0,15
Låga grönytor med litet vattenmagasin	3,72	0,50
Höga grönytor med litet vattenmagasin	2,19	0,42
Konstgjorda ytor med låg permeabilitet	16,79	2,51
Låg hårdgjord yta	17,00	4,17
Hög hårdgjord yta	5,84	8,63

4.3 INTEGRERAD KLIMATPÅVERKAN

Resultat över den integrerade klimatpåverkan p.g.a. Årstafältets planerade markanvändningsförändring visas i Tabell 10 och Figur 12. Den integrerade klimatpåverkan varierar mellan olika dygn, Figur 12 visar variationerna under en säsong.



Figur 12 Variation av den integrerade klimatpåverkan dygnsvis, på Årstafältet under sommaren 2009 (jun-aug). Dygnen är numrerade så att dygn 1 inträffar den 1 juni 2009. De övre och undre 10 percentilen för hela säsongen (somrarna 2000-2009) är markerade som streckade raka linjer. Medelvärdet för säsongen är markerat som en heldragen rak linje. De svarta linjerna anger scenariot utan gröna tak medan de gröna linjerna anger scenariot med gröna tak.

För de flesta dygn medför närvaro av gröna tak minskat värde på den integrerade klimatpåverkan (Figur 12). Klimatpåverkan för olika dygn varierade mellan -0,5 °C och 6,5 °C för scenariot utan gröna tak och mellan -1,8 °C och 5,6 °C för scenariot med gröna tak.

Resultaten visar att Årstafältets planerade markanvändningsförändring har en klimatpåverkan (Tabell 10). Ett positivt värde syftar på en genomsnittlig ökning av yttemperaturen. Om Årstafältets planerade markanvändningsförändring genomförs med gröna tak blir ökningen av yttemperaturen mindre än om inga gröna tak läggs.

Tabell 10 Den integrerade klimatpåverkan p.g.a. Årstafältets planerade markanvändningsförändring. Resultaten är baserade på scenariot utan gröna tak och scenariot där hälften av hustaken täcks med takvegetation, där de gröna taken utgör 0 % respektive 7,4 % av ytan i fallstudien.

	Medelvärdet för säsongen [°C]	Nedre 10 percentilen [°C]	Övre 10 percentilen [°C]
Scenario			
Utan gröna tak	2,80	0,47	4,85
Med gröna tak	2,53	0,37	4,43

Antalet dygn med en maximal temperatur som översteg 25 °C, som konsekvens av den integrerade klimatpåverkan, ökade med 113 % respektive 103 % i relation till uppmätta temperaturer, för scenariot utan gröna tak och med gröna tak (Tabell 11). Antalet dygn som ingår i en värmebölja ökade med 127 %, både för scenariot utan gröna tak och med gröna tak.

Tabell 11 Konsekvenser av den integrerade klimatpåverkan, i form av varmare temperatur under sommaren, för två olika scenarier. Genomsnittliga antalet dygn syftar på sommarperioderna (jun-aug) för åren 2000-2009. Som referens används uppmätt temperatur.

	Genomsnittligt antal dygn under en sommarperiod med $T_{\max, \text{luft}} \geq 25$ °C [dygn]	Genomsnittligt antal dygn under en sommarperiod som ingår i en värmebölja [dygn]
Scenario		
Utan gröna tak	43,1	29,7
Med gröna tak	41,0	29,7
Referens		
Uppmätt temperatur	20,2	13,1

5 DISKUSSION

5.1 KARTOR ÖVER ÅRSTAFÄLTET

Redan vid identifieringen och klassindelningen av ytorna på kartorna över Årstafältets nuvarande och planerade markanvändning uppmärksammades osäkerhet i momentet. Därför bör inte kartorna ses som en exakt placering av ytklasserna utan som en visualisering av markfördelningen. Framställningen av kartorna utgick från tillgängligt kartmaterial med stöd av skrifter och egna iakttagelser. Vid identifieringen av ytklasserna tillades inga objekt till kartorna utöver det som fanns med i kartmaterialet. Detta trots att avvikelser uppmärksammades i verkligheten (för den nuvarande markanvändningen) eller nämndes i planen för detaljplanen av Stockholm stad (2010a) (för den planerade markanvändningen). Det är en av anledningarna till att det förekommer avvikelser mellan kartorna i resultatavsnittet (Figur 9 och 10) och kartorna över Årstafältets nuvarande (Figur 5) och planerade markanvändning (Figur 6). Ytterligare en anledning till avvikelser är att markanvändningen i det tillgängliga kartmaterialet blev framtagen med ett annat syfte än det som användes i det här projektet – ytornas effekt på energibalansen.

Eftersom osäkerhet fanns vid identifieringen och klassindelningen av ytorna bör även arealerna av varje ytklass tolkas försiktigt. Däremot bör proportionerna mellan ytklasserna överensstämma bättre och tolkningen att andelen *Naturliga ytor* minskade på bekostnad av *Urbana ytor* stämma. Utifrån den tolkningen uppfyller Årstafältet syftet som representativ för transformering av naturmark till urban mark.

5.2 YTKLASSERNAS KLIMATPÅVERKAN

Resultatet för de olika ytklassernas klimatpåverkan anger den temperatur varje yta får i relation till lufttemperaturen. Först och främst bör det påpekas att resultaten är framtagna med klimatdata från sommarmånaderna i Stockholm, därmed bör tolkningen inte överföras direkt till andra klimatförutsättningar utan vidare forskning. Det viktiga är att tolka de olika ytklassernas klimatpåverkan i relation till varandra för att kunna gradera dem. Den tolkningen är däremot inte lika begränsad till just fallstudieområdet som tolkningen av ytklassernas klimatpåverkan.

Resultaten visar att generellt har *Urbana ytor* en värmande effekt på klimatet medan *Naturliga ytor* har en svalkande effekt – vilket var en av hypoteserna – och att vegetationen har en dämpande effekt på klimatpåverkan. Uppdelningen av ytklasserna baserat på höjd visade sig vara viktig, eftersom skillnaderna i klimatpåverkan visade sig vara till stor del beroende av skrovligheten p.g.a. höjden på ytan. Ytans förmåga att avdunsta vatten visade sig vara ytterligare en viktig faktor för dess klimatpåverkan, där större tillgång på vatten och/eller vegetation leder till större avdunstning. Att klimatpåverkan för ytklassen *Våtmark* är lägre än för ytklassen *Öppet vatten* överensstämmer inte med resonemanget om vattentillgången men däremot med

resonemanget om skrovlighetens påverkan. Det bekräftar att ytans skrovlighet är en viktig faktor för ytans klimatpåverkan.

Resultaten för klimatpåverkan för ytklasserna *Hög hårdgjord yta* och *Höga grönytor med låg permeabilitet* kan vara missvisande eftersom modelleringen av vinden är förenklad. Studier visar att vindarna rör sig i ett komplext mönster i bebyggelsen som resulterar i varierande vindhastigheter (Oke, 2009). Då vindarna är av stor betydelse för yttemperaturen uppstår variation av yttemperaturen eftersom det förekommer vindvariationer mellan olika delar av den bebyggda arean. Det innebär att det t.ex. kan förväntas högre temperatur där höjdskillnader ger lä.

5.2.1 Resultat i relation till andra studier

För att relatera till andra studier togs Bowenförhållandet fram (Tabell 9) och jämfördes med tidigare studier. Värdet på Bowenförhållandet är plats specifikt, vilket gör det olämpligt att tro att resultat från den här studien ska bli exakt lika stora som resultat från andra studier. Både ytorna som definierats som *Naturliga ytor* och *Vegetationsklädda ytor* resulterade i $|B| < 1$. Det tyder på att det latent värme flödet dominerar för dessa ytor, vilket överensstämmer med tidigare studier enligt sammanställningar utförda av Ågren (2008) och Oke (2009). Vanligast är att i litteraturen finna Bowenförhållandet för *Naturliga ytor*. För *Urbana ytor* utan vegetation är $B > 1$, alltså är det sensibla värme flödet dominerande. Det ter sig rimligt då tillgången på vatten är liten i impermeabla ytor. Samtidigt överstiger Bowen-förhållandet, för *Urbana ytor* utan vegetation, inte Bowenförhållandet för ökenklimat, $B > 10$ (Oke, 2009; Chapin m.fl., 2002).

5.3 INTEGRERAD KLIMATPÅVERKAN

Som redan nämnts (avsnitt 3.5.3) är många av ytorna på Årstafältet för små för att logaritmiska vindlagen ska gälla där. Med beräkningsmetoden erhålls resultat som är giltiga för större fält av varje ytklass. Kartorna, främst kartan med den planerade markanvändningen (Figur 10), visade att Årstafältet är heterogent och sammansatt av många mindre delytor. Den totala klimatpåverkan är komplex eftersom en yta kan påverka andra närliggande ytor (Grimmond m.fl., 2010), vilket kan få betydelse då landskapet är heterogent.

Den integrerade klimatpåverkan för Årstafältets planerade markanvändningsförändringen var ungefär 3°C. Eftersom osäkerhet finns kring Årstafältets planerade markanvändning bör resultatet inte avläsas med högre noggrannhet. Den integrerade klimatpåverkan talar om ytans temperatur i förhållande till lufttemperaturen. Men ytan värmer i sin tur luften, så en ökad yttemperatur bidrar till en ökad lufttemperatur. Om luftens och ytans temperatur antas följas åt för en längre period så motsvarar en genomsnittlig ökning av yttemperaturen på 3°C en motsvarande temperaturökning i luften närmast ytan. En ökad temperatur med 4°C har bedömts bidra med en ökad dödlighet med 5 % i Stockholmsområdet (Miljödepartementet, 2007).

Resultaten från den här studien går inte att jämföra rakt av med de vanligaste förekommande resultaten inom området, värmeöeffekten, eftersom resultat för värmeöeffekten inkluderar värme som utvecklats i staden. Dock ger resultat för värmeöeffekten en uppfattning om den storleksordning som kan förväntas av den här studien. Maximala värdet på värmeöeffekten i europeiska städer med en befolkningsmängd motsvarande den planerade befolkningsmängden på Årstafältet har uppmätts till värden $<4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Oke, 2009). Om Årstafältet nuvarande markanvändning ses som naturmark och den planerade som urban mark, och ytan antas värma luften lika mycket som den beräknade integrerade klimatpåverkan, kan den integrerade klimatpåverkan på 3°C jämföras med resultat för värmeöeffekten från litteraturen. Jämförelsen visar att den integrerade klimatpåverkan kan vara aningen överskattad, med hänsyn till att den integrerade klimatpåverkan baseras på ett medelvärde. Slutsatsen om att den integrerade klimatpåverkan är överskattad baseras på att ett värmepåslag även tillkommer från aktiviteterna i staden, vilket måste beaktas vid jämförelser. Dock kan den verkliga integrerade klimatpåverkan förväntas vara störst sommartid, vilket kan förklara det högre beräknade värdet på den integrerade klimatpåverkan.

Jämförelsen mellan antalet dygn som ingår i en värmebölja för Årstafältets planerade markanvändning och antalet uppmätta dygn som ingår i en värmebölja ger ett mått på konsekvenserna av den planerade markanvändningsförändringen. Den planerade markanvändningsförändringen visade sig mer än fördubbla antalet dygn som ingår i en värmebölja. Samhället i Sverige är inte anpassat till höga temperaturer och därför har värmeböljor negativ effekt på bl.a. människors hälsa, brandrisken, vattenkvalitén, energibehovet och materiella skador (SMHI, 2011). Här bör även uppmärksammas att eftersom effekterna kan vara väldigt lokala så kan ännu högre ytemperaturer förväntas på utsatta ställen.

Resultaten för klimatpåverkan p.g.a. markanvändningsförändringen ger en fingervisning om i vilken utsträckning klimataspekten beaktas i praktiken. Trots att planen är att bygga en ny stadsdel med hänsyn till klimatet, visar resultaten att Årstafältets planerade markanvändningsförändring har en klimatpåverkan. Jag skulle vilja dra samma slutsats som Eliasson (1999) gjorde – kunskap om klimatpåverkan används inte i praktiken, dock finns klimatfrågan inbakad i frågor som t.ex. berör hälsa och välbefinnande, i samband med att dessa frågor belyses, belyses även klimatfrågan.

5.3.1 Har de gröna taken någon påverkan av betydelse på klimatet?

Effekten av de gröna taken beror på hur de slutgiltiga planerna verkställs. Nu gjordes uppskattningen att hälften av taken blev klädda med vegetation, men den proportionen kan ändras. Medelvärdet av den integrerade klimatpåverkan p.g.a. Årstafältets planerade markanvändningsförändring visade att de gröna taken verkar dämpande på urbaniseringens inverkan på klimatet under sommarmånaderna. Dock är den effekten, några tiondelars grad, ganska liten i förhållande till den integrerade klimatpåverkan p.g.a. markanvändningsförändringen. Antalet dygn med maximal temperatur över $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ eller antalet dygn som ingår i en värmebölja, påverkades inte heller avsevärt med införsel av gröna tak. Ur den synvinkeln kan effekten av de gröna taken tyckas vara så

liten att en investering i gröna tak överhuvudtaget inte är motiverad. Ytterligare konsekvenser av gröna tak som bl.a. minskad dagvattenbildning, isolering av byggnader och rening av luftföroreningar, måste beaktas för att få en helhetsbild av nyttan med de gröna taken.

5.4 FORTSATT ARBETE FÖR UTVECKLING AV ETT VERKTYG

Detta arbete har lagt en grund för utveckling av ett verktyg ämnat som stöd för stadsplanerare i frågor kring klimatpåverkan vid förändrad markanvändning. Den här rapporten har inneburit många avgränsningar och antaganden. För att nå det mer allmänna verktyget krävs fortsatta studier på många delar som blev avgränsade i rapporten. Här följer några av de fördjupningsområden som kan vara av intresse för utvecklingen av ett mer allmänt verktyg:

- Studier om markanvändningens klimatpåverkan under andra årstider och för andra klimatzoner behövs.
- Ytklassindelningen i rapporten är förenklad. Studier av fler ytklasser, utöver de som var representerade på Årstafältet, och en mer specifik klassindelning som tar hänsyn till fler skillnader i parametrarna, kan behövas. För noggrannare beräkningar skulle bl.a. olika material, färger och typer av växtlighet behöva särskiljas.
- Kunskap om hur olika ytor samverkar behövs för att kunna dra noggrannare slutsatser om en heterogen ytas totala klimatpåverkan.
- Vidare arbete med dynamiska modeller som tar hänsyn till dygnsvariationen. Inomdygnsvariationer kan vara viktiga att beakta för att få en realistisk bild av förekomsten av extremvärden.
- Studier som även tar hänsyn till vinkeln på den inkommande solstrålningen och de vertikala ytorna behövs. Genom att ta hänsyn till de vertikala ytorna kan påverkan från gröna fasader analyseras. Vinkeln på den inkommande solstrålningen är viktig för att kunna analysera skuggning.
- Sådant som avgränsades (avsnitt 1.2) inom de aktivitetsrelaterade och konsekvensrelaterade avgränsningarna ingår i en livscykelanalys. För att få en helhetssyn behöver hänsyn till hela livscykeln tas. Här skulle faktorer som luftens föroreningsgrad, emissioner p.g.a. förbränning och transporter kunna ingå. Här kan det vara intressant att ta hänsyn till vilken ursprungsyta som transformeras till vilken planerad yta. T.ex. är det ett större ingrepp att göra om vattenyta till hårdgjord yta än gräsmatta till hårdgjord yta.
- Eventuellt studier kring markanvändningens klimatpåverkan ur ett globalt perspektiv. Då ingår studier om klimatpåverkan p.g.a. effekter på växthusgasbalansen. Särskilt viktigt är klimatpåverkan orsakad av atmosfärens förändrade koldioxidutbyte med vegetation och mark.

Ett användbart verktyg behöver inte nödvändigtvis beröra alla de delarna som nämnts ovan. Resultat från den här rapporten visar att trovärdiga resultat kan åstadkommas även med enkla samband. De viktigaste punkterna är att utveckla ett verktyg som inte är

begränsat till ett specifikt område och som tar hänsyn till konsekvenserna av heterogenitet i landskapet.

Utifrån min erfarenhet och andras forskning (Eliasson, 1999) har jag insett att ett lämpligt verktyg bör vara enkelt och tillgängligt för användaren för att det ska komma till användning i praktiken. Avancerade modeller kan mycket väl användas för att ta fram själva verktyget. Men verktyget bör inte grunda sig på att användaren ska vare sig behöva kunna programmet eller behöva införskaffa avancerad programvara. Ett enkelt verktyg skulle kunna vara i form av en lathund eller i form av tabeller där användaren lätt kan identifiera sitt scenario och kunna ta lämpliga beslut med hänsyn till klimatet. Ett annat tänkbart verktyg skulle kunna vara ett tillägg till något redan vanligt program som målgruppen använder. I båda fallen skulle enkla parametrar, som klimatzon förenklad klimatdata (nederbörd, temperatur etc.) och markanvändning, identifieras av användaren.

6 SLUTSATSER

- Generellt har *Naturliga ytor* en svalkande till neutral effekt på klimatet medan *Urbana ytor* har en neutral till värmande effekt på klimatet. Vegetation verkar dämpande på en ytas effekt på klimatet.
- Resultaten visade att följande ytklasser har en svalkande effekt på klimatet; *Våtmark, Öppet vatten, Odlingsmark* och *Hög vegetation*; medan följande ytklasser har en värmande effekt på klimatet; *Låg vegetation, Höga grönytor med litet vattenmagasin, Låga grönytor med litet vattenmagasin, Hög hårdgjord yta, Konstgjorda ytor med låg permeabilitet* och *Låg hårdgjord yta*.⁸ Ytklasserna är placerade i ordning så att ytklasserna med mest svalkade effekt nämns först och mest värmande effekt sist.
- Viktigaste faktorerna för en ytas klimatpåverkan är ytans skrovlighet och tillgången till vatten för avdunstning från ytan. En skrovligare yta och tillgång till vatten för avdunstning har en svalkande effekt.
- Studien bekräftar Hypotes 1 – att Årstafältets planerade markanvändningsförändring har en lokal klimatpåverkan – trots att tanken är att bygga en ny stadsdel med hänsyn till klimatet. Klimatpåverkan p.g.a. Årstafältets markanvändningsförändring innebär en yttemperaturökning på ungefär 3°C under sommarmånaderna och ungefär en fördubbling av antalet dygn som ingår i en värmebölja.
- Studien bekräftar även hypotes 2 – att takvegetationen på Årstafältet har en svalkande effekt. Skillnaden i klimatpåverkan mellan ett scenario utan takvegetation och scenariot där hälften av taken planeras vara täckta med takvegetation är dock marginell, jämfört med klimatpåverkan p.g.a. själva markanvändningsförändringen.
- Även en enkel modell kan ge realistiska resultat. Modellen är lämplig som en grund att bygga vidare på för utveckling av ett verktyg som stadsplanerare kan använda för att ta beslut med hänsyn till klimat. Dock behövs ytterligare studier för att uppnå ett färdigt verktyg. Det viktigaste är att utveckla ett verktyg som inte är begränsat till ett specifikt område och som tar hänsyn till konsekvenserna av heterogenitet i landskapet.

⁸ För definition av ytklasserna hänvisas till avsnitt 3.3.

7 REFERENSER

- Ågren, G. I. & Andersson, F. O., (2008). *Terrestrial Ecosystem Science: theoretical and empirical approaches and their applications*, kursmaterial/begränsad upplaga.
- Akbari, H., Pomerantz, M. & Taha, H., (2001). Cool surface and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, vol. 70, ss. 295-310.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith M., (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO.
- Boverket, (2010). *Mångfunktionella ytor: klimatanpassning av befintligt byggd miljö i städer och tätorter genom grönstruktur*, Rapport.
- Chapin, F. S., Matson, P. A., Mooney, H. A., (2002). *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*, New York: Springer-Verlag.
- Eckersten, H., Gärdenäs, A. & Lewan, E., (2004). *Biogeofysik: en introduktion*, Sveriges lantbruksuniversitet, SLU, Institution för Markvetenskap, Avd. för Biogeofysik.
- Eliasson, I., (1999). The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and Urban Planning*, vol. 48, ss. 31-44.
- Ellis, E., (2011). Land-use and land-cover change, [Elektronisk] I: *Encyclopedia of Earth*. Tillgänglig: [http://www.eoearth.org/article/Land-use and land-cover change](http://www.eoearth.org/article/Land-use_and_land-cover_change) [22-09-2011]
- Feng, C., Meng, "Ku." & Zhang, Y., (2010). Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. *Energy and Buildings*, vol. 42, ss. 959-965.
- Förenta Nationerna, FN, (2010). *World Urbanization Prospects: The 2009 Revision*, Rapport utgiven av Department of Economic and Social Affairs/Population Division.
- 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. *Procedia Environmental Sciences*, vol.1, ss. 247-274.
- Johansson, D., (2007). *Material i Landskapet: om att åldras med skönhet*, Klippan: Ljungbergs tryckeri.
- Kiehl, J. T. & Trenberth, K. E., (1997). Earth's Annual Global Mean Energy Budget. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 78, ss. 197-208.
- Länsstyrelsen i Stockholms Län, (2011). *Klimat och energistrategi för Stockholms län*, Rapport.
- Miljödepartementet, (2007). *Sverige inför klimatförändringar: hot och möjligheter*, Rapport.

- Oke, T. R., (1984). Towards a Prescription for the Greater Use of Climatic Principles in the Settlement Planning. *Energy and Buildings*, vol. 7, ss.1-10.
- Oke, T. R., (2009). *Boundary Layer Climates*, 2:a uppl., Storbritannien: Ashford Colour Press Ltd.
- Rosenberg, N. J., Blad, B. L. & Verma, S. B., (1983). *Microclimate: the biological environment*, 2:a uppl., New York: John Wiley & Sons Inc.
- Santamouris, M., (2001). *Energy and Climate in the Urban Built Environment*, Storbritannien: The Cromwell Press.
- Sellers, W., (1965). *Physical Climatology*, Chicago: University of Chicago Press
- Seto, K. C. & Shepherd, J. M., (2009). Global urban land-use trends and climate impacts. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 1, ss. 89-95.
- Stockholm stad, (2010a). *Årstafältet: Program för detaljplan*. Samrådsförslag utgiven av stadsbyggnadskontoret.
- Stockholm stad, (2010b). *Årstafältet: Program för detaljplan*. Informationsmöte 24 & 25 november av stadsbyggnadskontoret och exploateringskontoret.
- Stockholms Stad, (2011), *Fältets historia* [Elektroniskt], Tillgänglig: <http://www.stockholm.se/Fristaende-webbplatser/Fackforvaltningssajter/Exploateringskontoret/Ovriga-byggprojekt-i-Soderort/Nya-Arstafaltet/Faltets-historia/> [28-09-2011]
- Susca, T., Gaffin, S. R. & Dell'Osso, G. R., (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental pollution*, vol. 159, ss. 2119-2126.
- Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, SMHI, (2008). *Sveriges Sjöar*, Faktablad nr. 39.
- Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, SMHI, (2009). *Hur mäts vind?* [Elektronisk] Kunskapsbanken Tillgänglig: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/hur-mats-vind-1.5924> [28-09-2011]
- Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, SMHI, (2011). *Värmeböljor i Sverige*, Faktablad nr. 49.
- Veg Tech, (2011). *Vegetationsteknik: Grönare byggande för framtidens städer*, Produktkatalog.
- Wieringa, J., (1993). Representative roughness parameters for homogenous terrain. *Boundary Layer Meteorology*, vol. 63, ss. 323-363.
- Yaghoobian, N., Kleissl, J. & Scott Krayenhoff, E., (2009). Modeling the Thermal Effects of Artificial Turf on the Urban Environment. *Journal of Applied meteorology and climatology*, vol. 49, ss. 332-345.

BILAGA A. – SYMBOLLISTA

Tabell A.1 Symbollista.

Symbol	Beskrivning, numeriskt värde	Enhet
B	Bowenförhållandet	[-]
c_p	Luftens värmekapacitet, 1005 (Rosenberg m.fl., 1983)	[J kg ⁻¹ K ⁻¹]
c_s	Markens volymetriska värmekapacitet	[J m ⁻³ C ⁻¹]
E	Evapotranspiration/Transpirationshastigheten	[kg m ⁻² s ⁻¹]= [mm s ⁻¹]
e_a	Ångtrycket i den omgivande luften	[Pa]
$e_s(T_s)$	Mättnadsångtrycket i bladen	[Pa]
G	Markvärmeflödet	[W m ⁻²]
H	Sensibelt värmeflöde	[W m ⁻²]
k	von Karmans konstant, 0,4 (Oke, 2009)	[-]
L	Ångbildningsvärme/latent värme, 2,45 vid 20°C (Oke, 2004)	[MJ kg ⁻¹]
$L\downarrow$	Inkommande långvågstrålning	[W m ⁻²]
LE	Latent värmeflöde	[W m ⁻²]
r_a	Aerodynamiska resistansen	[s m ⁻¹]
r_c	Stomataresistansen	[s m ⁻¹]
R_n	Nettostrålning	[W m ⁻²]
r_s	Ytresistansen	[s m ⁻¹]
$S\downarrow$	Globalstrålning (Direkt och diffus kortvågstrålning)	[W m ⁻²]
T	Temperatur	[K]
T_a	Luftens temperatur	[K]
T_i	Markens medeltemperatur vid tiden i	[K]
T_{i-1}	Markens medeltemperatur vid tiden $i-1$	[K]
t_i-t_{i-1}	Tidsintervallens längd från tiden $i-1$ till tiden i	[s]
T_s	Ytans temperatur	[K]
$u(z)$	Vindens horisontella hastighet	[m s ⁻¹]
u^*	Friktionshastigheten	[m s ⁻¹]
z	Höjden över markytan	[m]
Δz	Effektivt djup	[m]
z_d	Nollplansförskjutningen	[m]
z_h	Vegetationens (ytans) medelhöjd	[m]
z_o	Skrovlighetslängden	[m]
z_u	Höjd över markytan där vindhastigheten blev uppmätt	[m]
α	Albedo	[-]
γ	Psykrometerkonstanten, 66,2 vid T=20°C , P _{atm} =1013 hPa (Oke, 2009)	[Pa K ⁻¹]
ε	Emissionskoefficienten	[-]
ρ_a	Luftens densitet, 1,18 vid T=20°C (Oke, 2009)	[kg m ⁻³]
σ	Stefan Boltzmanns konstant, 5,67·10 ⁻⁸ (Oke, 2009)	[J m ⁻² s ⁻¹ K ⁻⁴]

BILAGA B. – ANTAGANDEN VID KARTFRAMSTÄLLNING

Tabell B.1 Antaganden som gjordes då ytklasslagren skapades. Ytklasslagren visas i den ordningen de skapades.

Nuvarande markanvändning	
<i>Öppet vatten</i>	Linjer från markanvändningslagren <i>Bäck</i> och <i>Strand</i> fick utgöra gränserna för Öppet vatten.
<i>Våtmark</i>	Avgränsningarna från markanvändningslagret <i>diken</i> och ett (2m brett) buffertområde kring ytklasslagret <i>Öppet vatten</i> .
<i>Hög vegetation</i>	Markanvändningslagret <i>Odefinierade träd</i> fanns färdig som polygon. Dock underskattades mängden träd jämfört med satellitbilder från Google-maps. En del av linjerna i markanvändningslagret <i>Plantering</i> bedömdes, utifrån satellitbilderna, vara högre vegetation. Det fanns även ett till markanvändningslager (10 m) som enligt satellitbilderna från Google-maps överensstämde med placeringen för högre vegetation. De identifierade linjerna gavs tjocklek med buffertfunktionen (10 m tjock). Dock saknades fortfarande en del högre vegetation, bl.a. pilallén som syns på Figur 5.
<i>Låg hårdgjord yta</i>	Markanvändningslagren <i>Bro</i> , <i>Infart</i> , <i>Parkvägsutbredning</i> , <i>Trappa</i> , <i>Vägutbredning</i> , <i>Lekustrutning</i> och <i>Altan</i> antas vara låga hårdgjorda ytor. Linjerna från dessa lager reparerades så de bildade slutna linjer. I markanvändningslagren <i>Stenmur</i> och <i>Stödmur</i> angavs murarna som enkla linjer. Murarna gavs tjocklek med buffertfunktionen (0,5 m tjocka). En parkering saknades bland markanvändningslagren med de identifierade hårdgjorda ytorna. Linjer från markanvändningslagret <i>Plantering</i> överensstämde med parkeringsgränserna enligt satellitbilderna från Google-maps. Parkeringen skapades utifrån linjerna.
<i>Hög hårdgjord yta</i>	Markanvändningslagren <i>Flerbostadshus</i> , <i>Industribyggnad</i> , <i>Kolonistugor</i> , <i>Komplementbyggnad</i> , <i>Ospecificerad byggnad</i> , <i>Regnskydd</i> och <i>Skärmtak</i> fick utgöra ytklasslagret <i>Hög hårdgjord yta</i>
<i>Odlingsmark</i>	Här saknades det information på kartan. Två polygoner som täckte ytan gjordes baserat på iakttagelser från satellitbilder från Google-maps.
<i>Låg vegetation</i>	Markanvändningslagret <i>Planteringar</i> och resterande ytor som inte blivit identifierade än. Linjerna i markanvändningslagret <i>Planteringar</i> gavs tjocklek med buffertfunktionen (0,5 m tjock).
Planerad markanvändning	
<i>Låg hårdgjord yta</i>	Linjer från markanvändningslagren <i>Spårmitt</i> , <i>Damm</i> (vissa linjer utgjorde gränser till låga hårdgjorda ytor), <i>Gångvägar</i> , <i>Göta landsväg</i> , <i>Ramp</i> , <i>Vägar</i> , <i>Level11</i> , <i>Level12</i> , <i>Level3</i> utgjorde gränserna för ytklasslagret <i>Låg hårdgjord yta</i> . Linjerna modifierades så de bildade slutna linjer. Mesta informationen fanns i markanvändningslagret <i>Level3</i> . Det fick göras mycket antaganden för att skilja de låga hårdgjorda ytorna från annat eftersom mycket annan information fanns i det lagret.
<i>Öppet vatten</i>	I markanvändningslagren <i>Damm</i> och <i>Fontän</i> fanns nästan all information som behövdes. Dock saknades linjer som identifierade gränserna till hela dammen vilka togs från andra markanvändningslager. Markanvändningslagren som kom till användning var: <i>0</i> , <i>Damm</i> , <i>Fontän</i> , <i>Gångvägar</i> , <i>Göta landsväg</i> , <i>Ramp</i> , <i>Vägar</i> och <i>Level3</i> .

<i>Våtmark</i>	Våtmark fick även här vara buffertområde kring öppet vatten. (2 m). Dock inte för fontänen eftersom den här typen av vattenansamlingar inte brukar omslutas av växtlighet.
<i>Hög vegetation</i>	Markanvändningslager <i>MDP-09 Trame Arbres Feuillus</i> var färdig med högre vegetation utplacerade. Inga modifieringar behövde göras. Dock verkar mängden träd vara underskattade då inga träd är utplacerade i parken.
<i>Konstgjorda ytor med låg permeabilitet</i>	Linjerna i markanvändningslagren <i>Ramp</i> , <i>Aktiviteter</i> och <i>Aktivitetsbrygga</i> utgjorde gränserna för de identifierade ytorna.
<i>Hög hårdgjord yta</i>	Polygoner i markanvändningslagren <i>0</i> , <i>Byggbar mark</i> , och <i>Level3</i> gav gränserna för de högre hårdgjorda ytorna. Dock ingick en del innergårdar mellan byggnaderna i markanvändningslagren som togs bort.
<i>Odlingsmark</i>	Kunde inte identifieras från kartorna.
<i>Låga grönytor med litet vattenmagasin</i>	Kvartersytorna (innergårdar) som avgränsas av ytklasslagret <i>Låg hårdgjord yta</i> .
<i>Låg vegetation</i>	Resterande ytor som inte blivit definierade antogs vara låg vegetation.

Tabell B.2 Detaljer kring ytklassernas prioriteringsordning vid framställningen av kartorna över Årstafältet.

Nuvarande markanvändning

Ytklasslagret *Hög vegetation* antogs alltid hamna överst. Eftersom ytklasslagret *Hög hårdgjord yta* bestod främst av låga byggnader bör antagandet vara riktigt. Hela ytklasslagret *Låg vegetation* fick inte samma prioriteringsordning p.g.a. antagandet som gjordes när ytklassen skapades: att allt som var odefinierat var låg vegetation (tabellen ovanför). Planteringarna, som var en del av ytklasslagret *Låg vegetation*, täckte delar av ytklasslagret *Låg hårdgjord yta* och denna klass fick därmed högre prioritering. Det rinnande vattnet, i ytklasslagren *Våtmark* och *Öppet vatten*, leds under vägarna, i ytklasslagret *Låg hårdgjord yta*. Alltså fick *Låg hårdgjord yta* högre prioriteringsordning än *Våtmark* och *Öppet vatten*. Ytklasslagret *Odlingsmark* skapades utan att ta hänsyn till om det överlappade andra detaljer och fick därför näst lägst prioriteringsordning. Allra lägst prioriteringsordning fick den del av ytklasslagret *Låg vegetation* som utgörs av de resterade odefinierade ytorna.

Planerad markanvändning

Hög vegetation fick även här högst prioriteringsordning. En del byggnader i ytklasslagret *Hög hårdgjord yta* borde bli högre än *Hög vegetation*. Dock var det endast små ytor som överlappade varandra. Antagande bör vara rimligt eftersom överlappningar fanns där ytklasslagren *Hög hårdgjord yta* inte är som högst. För scenariot med takvegetation ersattes delar av ytklassen *Hög hårdgjord yta* av *Höga grönytor med litet vattenmagasin*. *Höga grönytor med litet vattenmagasin* gavs då samma prioritering som *Hög hårdgjord yta*. Ytklasslagret *Hög hårdgjord yta* gavs högre prioritering än *Låga grönytor med litet vattenmagasin*. Ytklasslagret *Konstgjorda ytor med låg permeabilitet* gavs högre prioritering än *Låg hårdgjord yta*. Ytklasslagret *Öppet vatten* och *Våtmark* överlappade *Låg hårdgjord yta* vid en brygga och en bro över vattnet. *Låg hårdgjord yta* gavs högre prioritet än *Öppet vatten* och *Våtmark*. *Låg vegetation* gavs lägst prioritering.
