Mikroklimat och värmeöar
- ur ett urbant landskapsperspektiv

En rapport inom det Vinnova-finansierade projektet
Multifunktionell klimatanpassning i samverkan

Akronym: MUKLIS

Diarienummer: 2021-02465

Datum: 2023-10-31

Rapportansvariga: Martin Brattström, Kent Fridell & Peter Wiborn

Projektsökande och koordinator: RISE

Innehållsförteckning

Inledning **3**

Bakgrund **4**

Ett klimat i förändring **5**

Termisk komfort **7**

Mikroklimat **9**

Värmeöar **11**
Den urbana energibalansen **11**
Värmeöeffekten **12**
Exploatering och förtätning **13**
Ytskiktets reflektionsförmåga **14**
Materials termiska egenskaper **16**
Klimatanpassad materialval **17**

Vegetationens funktioner **19**
Gröna tak **22**
Tredimensionella klätterväxter **23**

Staden som ståndort **25**
Trädens vattenbehov **28**

Trädens strategi **30**
Undvikande strategier **30**
Maximera vattentillgången 30
Reducera vattenförlusten 30
Tolererande strategier **31**

Verktygslådan **33**

Tillämpningsstudie **37**

Sofia skola **38**
Nulägesbeskrivning 38
Befintligt förslag 42
Utvärdering av befintligt förslag 44
Tillämpning av värmereducerande åtgärder i befintligt förslag 46
Sammanfattning och jämförelse 50

Bjurbäcken bostadsgård **51**
Nulägesbeskrivning 51
Befintligt förslag 56
Utvärdering av befintligt förslag 59
Tillämpning av värmereducerande åtgärder i befintligt förslag 61
Sammanfattning och jämförelse 63
Sammanfattande reflektion 64

Referenser **66**

Bilaga 1 **70**

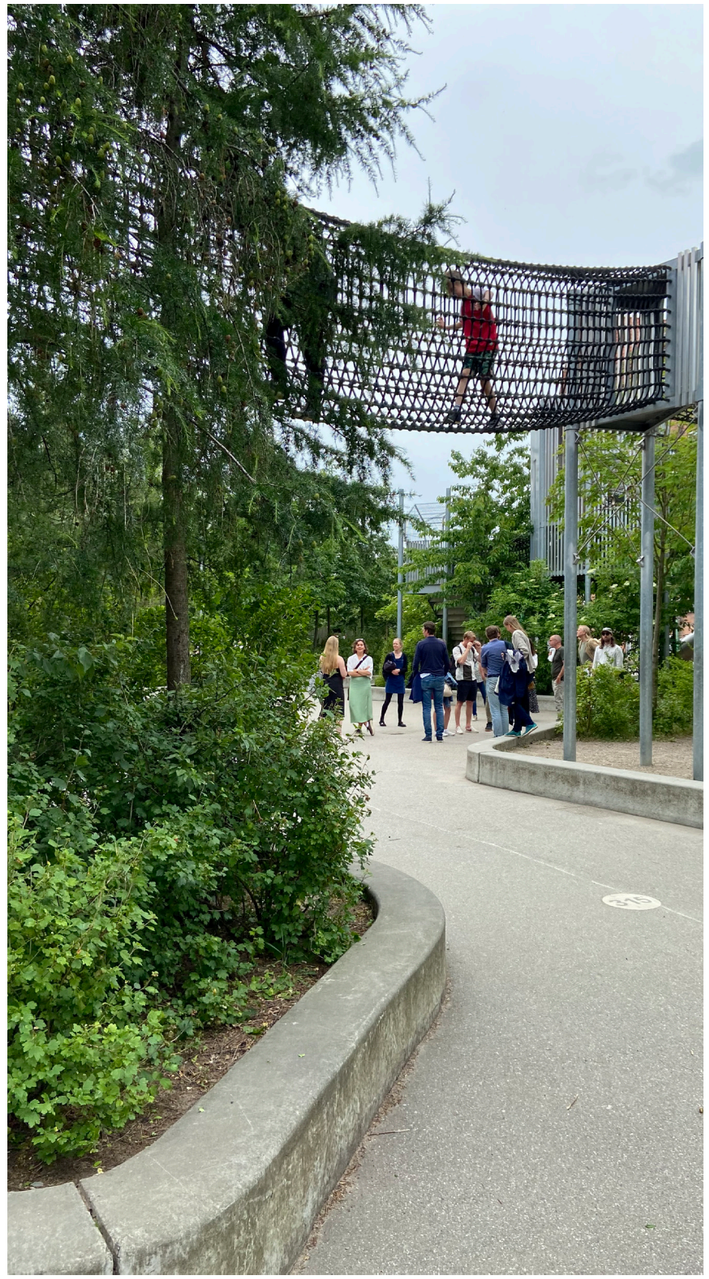
Bilaga 2 **71**

Bilaga 3 **72**

Bilaga 4 **73**

Bilaga 5 **74**

Bilaga 6 **75**



Amager Fælled Skole i Köpenhamn. Ett framgångsrikt exempel på hur funktionen av en skolgård kan kombineras med värmereducerande åtgärder i form av generös och flerskiktad grönska och öppna markytor.

Inledning

Med hänsyn till de pågående klimatförändringarna och de förödande konsekvenser som kan kopplas till ökade temperaturer behöver kunskapen kring värmereducerande åtgärder belysas, lyftas och tillämpas. Urbana miljöer bör i ett tidigt skede planeras och utformas utifrån förutsättningar som gynnar en komfortabel livsmiljö, med klimatanpassning i fokus. Följande rapport är framtagen inom Vinnova-projektet MUKLIS - Multifunktionell urban klimatanpassning i samverkan. Rapporten fokuserar på värmereducerande åtgärder och skapandet av hållbara urbana mikroklimat. Rapporten är ett försök att sammanfatta kunskapsläget kring utmaningen med värme i staden, de faktorer som driver på detta och vad det finnas att göra för att motverka ohälsosamma mikroklimat. Rapporten avser därefter att ta denna information och synlig- och tillgängliggöra den på ett överskådligt vis för yrkesverksammma som på ett eller annat sätt arbetar med att utforma våra stadsmiljöer. Avslutningsvis omsätts den i rapporten presenterade kunskapen i praktiken, genom att titta på två projekt utifrån dess förmåga till värmereducering, och därefter föreslå möjliga åtgärder för att öka den värmereducerande förmågan i projekten. Tillämpningsstudien är gjord är i samarbete med SISAB (Skolfastigheter i Stockholm) och Stockholmshem som varit behjälpliga med material och information.

Arbetet fokuserar på värmereducerande åtgärder. I den nordiska kontext som rapporten placerar sig i, med stora årstidsväxlingar med skiftande temparaturer, är det dock essentiellt att tillämpa ett helårsperspektiv på våra utemiljöer. Rapporten strävar därför efter att även inkludera ett aktivt förhållningssätt till att miljöerna som fungerar för årets varmaste dagar även bör vara behagliga och användarvänliga under vinterhalvåret. Detta ökar komplexiteten men säkerställer i förlängningen hållbara livsmiljöer i våra städer året om.

Rapporten är framtagen av Edge tillsammans med Landskapsarkitektstudenterna Alice Ljungdahl och Ida Grundh. Innehållet i rapporten bygger till stora delar på Alice och Idas examensarbete "Värmereducerande åtgärder för urbana mikroklimat" som skrevs under våren 2023 under handledning av Kent Fridell på Edge. Materialet har därefter omarbetats och kompletterats.

TILL VERKTYGSLÅDAN

I slutet på varje kapitel samlas och sammanfattas de viktigaste punkterna från föregående avsnittet under rubriken "Till verktygslådan". I den gröna lådan kokas kapitlet ner till handfasta tips - redo att omvandlas, omsättas och appliceras i praktiken. I slutet av rapporten sammanställs och sorteras lärdomarna upp pedagogiskt och översiktligt för att enkelt kunna plockas fram i framtida projekt, gestaltningar och urbana omformningar. En verktygslåda fylld med tips och tricks för att skapa gynnsamma urbana mikroklimat helt enkelt!

Utgivare: Edge
Utgivningsdatum: 2023-10-31
Text: Martin Brattström, Kent Fridell, Alice Ljungdahl och Ida Grundh
Illustrationer och layout: Martin Brattström, Alice Ljungdahl och Ida Grundh
Foto: Alice Ljungdahl, Ida Grundh och Martin Brattström, om inget annat anges

Bakgrund

Klimathotet vi står inför idag till följd av klimatförändringar innebär omfattande konsekvenser i form av förhöjda havsnivåer och en ökad mängd extremväder såsom torka, extremhetta, stormar och skyfall. Utöver dessa utmaningar finns det parallella och samspelande effekter av den långt gångna urbaniseringen. En av dessa är den urbana värmeöeffekten. Den urbana värmeöeffekten innebär att områden med tät bebyggelse uppnår en högre temperatur än det omgivande landskapet. I vissa fall kan det uppstå en temperaturskillnad på upp till 10°C mellan urban miljö och omgivande rural miljö. Temperaturen kan även variera inom städerna och påverkas i stor utsträckning av vad för typ av ytmaterial som används och hur tillgången till vegetation och närheten till vatten ser ut. En annan faktor som bidrar till att temperaturen är högre i städerna jämfört med omgivande landsbygd, är den spillvärme som uppstår vid kylning och uppvärmning av byggnader. Ytterligare en faktor är omfattningen av hårdgjorda material som utgör en stor del av våra urbana miljöer. Till skillnad från orörd natur och vegetation absorberar flera av dessa hårdgjorda material solljus och lagrar detta som värme. Under natten, när de hårdgjorda materialen avger den lagrade värmen, ökar i sin tur lufttemperaturen. På så vis fungerar de hårdgjorda materialen som värmeavgivande element nattetid, vilket innebär att det tar längre tid för en stad att kylas ner i jämförelse med omgivande landskap. En annan aspekt som driver på den urbana värmeön är att olika material reflekterar bort mer eller mindre solinstrålning beroende på dess färg. En mörkare färg reflekterar bort en mindre mängd solinstrålning jämfört med en ljusare kulör. Eftersom urbana miljöer till största del består av material med en mörkare färg, såsom asfalt, är det därför en stor del av den inströmmande solstrålningen som absorberas av materialen, istället för att reflekteras tillbaka ut i atmosfären. Detta gör städerna till en "strålningsfälla" där solinstrålningen fångas upp av mörka värmelagrande fasader och gatubeläggningar med följden att de termiska förloppen fördröjs.

Ett stort problem kopplat till att våra urbana miljöer blir allt varmare är de effekter värmen har på människors hälsa. Konsekvenserna är beroende av individens allmänna hälsotillstånd samt dennes förmåga och motståndskraft till att hantera extrem värme. Särskilt utsatta grupper i samhället är därför individer med kroniska sjukdomar, barn och äldre. Även gravida, individer med fysisk och/eller psykisk funktionsvariation samt individer som tar vissa mediciner är särskilt utsatta för riskerna med förhöjd värme. De negativa hälsoeffekterna sträcker sig från relativt milda symptom i form av utmattning till allvarliga följder i form av värmeslag eller dödsfall. Folkhälsomyndigheten beskriver värmeböljan i Sverige under 2018 som en allvarlig händelse med rekordhöga temperaturer i hela landet. Under denna period gick det att påvisa onormalt många dödsfall, där drygt 635 fler dödsfall beräknades under vecka 27-31 jämfört med samma period år 2017. De förhöjda urbana temperaturerna kan dock lindras och motverkas med hjälp av bland annat genomtänkt och omfattande grönblå inslag. Vegetation påverkar nämligen mikro- och mesoklimat genom både skugga och evapotranspiration. Det sistnämnda är en kombination mellan avdunstning av vatten från mark samt transpiration från växtens blad. Hur stor den klimatreglerande effekten är beror bland annat på växtens habitus, krondiameter, densitet av grenar och blad. Flerskiktade bestånd med mark-, busk- och trädskikt skapar därtill rika och täta grönvolymer som i förlängningen genererar mer avdunstning och större nedkylande effekt. Man bör dock vara medveten om att det inte alltid att vegetation fungerar som en värmereducerande åtgärd. Vegetation kan nämligen även agera vindskydd, vilket kan vara gynnsamt under kalla vintermånader, men ogynnsamt under sommaren då luftrörelser begränsas och därmed även vindens svalkande effekt.

FN:s medlemsstater antog Agenda 2030 för hållbar utveckling under hösten 2015. Detta innebär att medlemsstaterna tog sig an att fram till år 2030 främja en rättvis och hållbar framtid. Att jobba med värmereducerande åtgärder för att skapa gynnsama urbana mikroklimat berör i förlängningen 3 av de totalt 17 målen:

Mål 3: Hälsa och välbefinnande

Mål 11: Hållbara städer och samhällen

Mål 13: Bekämpa klimatförändringarna

Baserat på nämnda problem kopplat till värme samt för att uppnå de globala målen med Agenda 2030, är det av stor vikt att redogöra vilka värmereducerande åtgärder som kan lindra den urbana värmeöeffekten på en specifik plats. Följande rapport riktar sig till yrkesverksamma inom gestaltning- och projekteringsprocessen, med målet att erbjuda vägledning för att kunna skapa framtidens resilienta, hållbara och trivsamma urbana miljöer för alla individer, stora som små.

Ett klimat i förändring

EEA (European environment agency) skriver hur medeltemperaturen i ett globalt perspektiv ökat med mellan 1,11°C till 1,14°C för perioden 2012-2021, i jämförelse med förindustriella perioden 1850-1900, som är den tidigaste uppmätta perioden. Här pekas antropogena aktiviteter (mänskliga effekter) ut som en stor del av denna uppvärmning, särskilt utsläppen av växthusgaser. Vidare skriver EEA hur den globala medeltemperaturen ökat stadigt sedan slutet på 1800-talet och hur ökningen sedan 1970-talet har varit särskilt stor med 0,2°C per decennium. Samma mönster har även gått att säkerställa i Sverige.
Sommaren 2018 uppmättes en 29 dagar lång period av värmebölja i Stockholm, vilket är den längsta historiskt sett sedan år 1860. Med värmebölja menas en period på minst fem sammanhängande dagar med en högst uppmätt temperatur under ett dygn på minst 25°C eller högre. 2020 uppmättes den högsta årmedeltemperturen i Stockholm sedan mätningarna startade 1860, vilket var på 9,7°C. Lägst var medeltemperaturen 1867 då den var 3,2°C. Årsmedeltemperaturen för 2022 i Stockholm uppmättes till 8.8 °C, i Malmö 10,1°C och i Umeå 4,4°C. MSB (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap) beskriver hur framtidens klimatförändringar kommer att fortsätta utvecklas i linje med det vi observerar idag. Så länge mängden växthusgaser i atmosfären fortsätter att växa, kommer den globala uppvärmningen att fortlöpa. Den globala medeltemperaturen kommer att fortsätta öka med ytterligare ett par tiondels °C tills det uppstår en balans mellan atmosfär och hav, även om mängden växthusgas skulle stabilisera sig. Enligt MSB går det med säkerhet att konstatera att det i framtiden kommer att bli varmare, vilket kommer beröra hela jordklotet. Jämfört med förindustriell tid kommer det år 2040 uppstå en global temperaturökning med +1.5°C om den uppvärmningstakt som är aktuell fortgår. Runt år 2065 skulle det då innebära en global temperaturökning på +2°C. Ur ett globalt perspektiv skulle ett varmare klimat innebära ökad nederbörd, då större volymer vatten kan uppehålla sig i en varmare atmosfär. Detta skulle i sin tur innebära fler och mer intensiva skyfall, med tanke på att det hydrologiska kretsloppet förstärks.

Det går även att förutspå en förstärkt temperaturökning i framtiden i samband med att tundran som idag är täckt med ljus reflekterande snö ersätts med vegetation som med sin mörkare färg inte reflekterar bort lika mycket solinstrålning. En ytterligare aspekt som kommer att bidra till en ökad uppvärmning är att havets upptag och lagring av koldioxid inte bedöms kunna hantera den stora mängd utsläpp som existerar idag. Detta skulle innebära att större mängder koldioxid och metan frigörs och därav leda till en ännu mer omfattande uppvärmning. Andra framtida konsekvenser av klimatförändringarna kopplat till havet, är att stigningen av den genomsnittliga nivån för havsytan kommer att fortgå under 2000-talet och vidare under framtida sekel. Det är svårt att svara på exakt hur mycket, då detta beror på bland annat hur mängden utsläpp utvecklas. I ett scenario som visar på stora mängder framtida utsläpp beräknas en höjning av havsnivån bli 0,62-1,01 meter

	1961-1990	RCP 4,5 (2100)	RCP 8,5 (2100)
Årsmedeltemperatur		+3°C	+5°C
Vegetationsperiodens längd ca [dagar]	201	+ 60	+ < 100
Värmeböljors längd [dagar] dygnsmedeltemp. över 20 °C	3	10	25
Låg markfuktighet [dagar]	15	30-35	45-50
Årsmedelnederbörd [mm]	609	20%	30%
Höjning vintertid	-	-	+6°C
Antal dagar < 10 mm regn	13	+5	+8

Tabell 1. Sammanställning på förändring av meteologiska data för Region Stockholm. SMHI.

	1961-1990	RCP 4,5 (2100)	RCP 8,5 (2100)
Årsmedeltemperatur		+3°C	+5°C
Vegetationsperiodens längd ca [dagar]	210	+40	+90
Värmeböljors längd [dagar] dygnsmedeltemp. över 20 °C	2	-	18
Låg markfuktighet [dagar]	5-15	20	50
Årsmedelnederbörd [mm]	800	10%	25%
Höjning vintertid	-	-	+5°C
Antal dagar < 10 mm regn	-	-	-

Tabell 2. Sammanställning på förändring av meteologiska data för Region Västra Götaland. SMHI.

RCP4.5	RCP8.5
• Utsläppen av koldioxid ökar något och kulminerar omkring år 2040 • Befolkningsmängd något under 9 miljarder i slutet av seklet • Lågt arealbehov för jordbruksproduktion, bland annat till följd av större skördar och förändrade konsumtionsmönster • Omfattande skogsplanteringsprogram • Låg energiintensitet • Kraftfull klimatpolitik	• Koldioxidutsläppen är tre gånger dagens vid 2100 och metanutsläppen ökar kraftigt • Jordens befolkning ökar till 12 miljarder vilket leder till ökade anspråk på betes- och odlingsmark för jordbruksproduktion • Teknikutveckling mot ökad energieffektivitet fortsätter, men långsamt • Stort beroende av fossila bränslen • Hög energiintensitet • Ingen tillkommande klimatpolitik

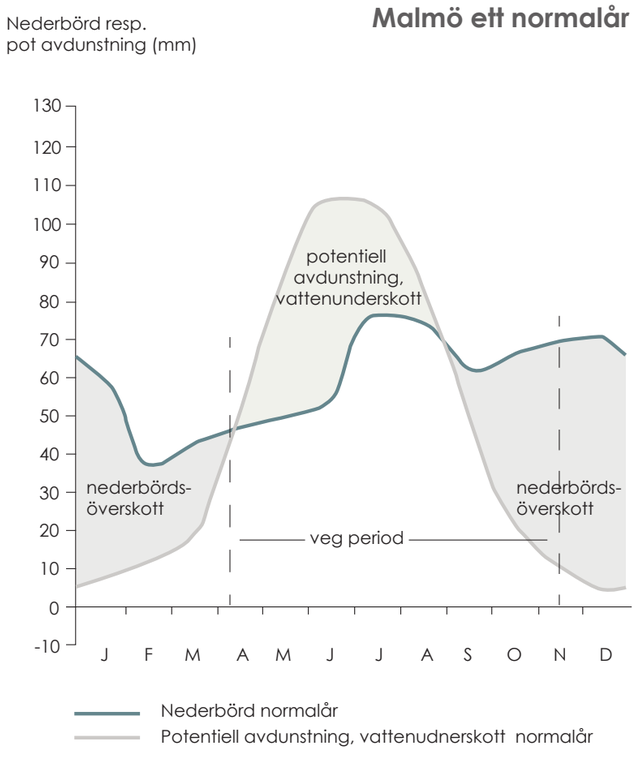
Tabell 3. Antaganden som ligger till grund för scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. SMHI.

högre år 2100 jämfört med år 1995-2014. I ett annat scenario som istället visar på låga framtida utsläpp beräknas en höjning på 0,28-0,55 m (Naturvårdsverket u.å).

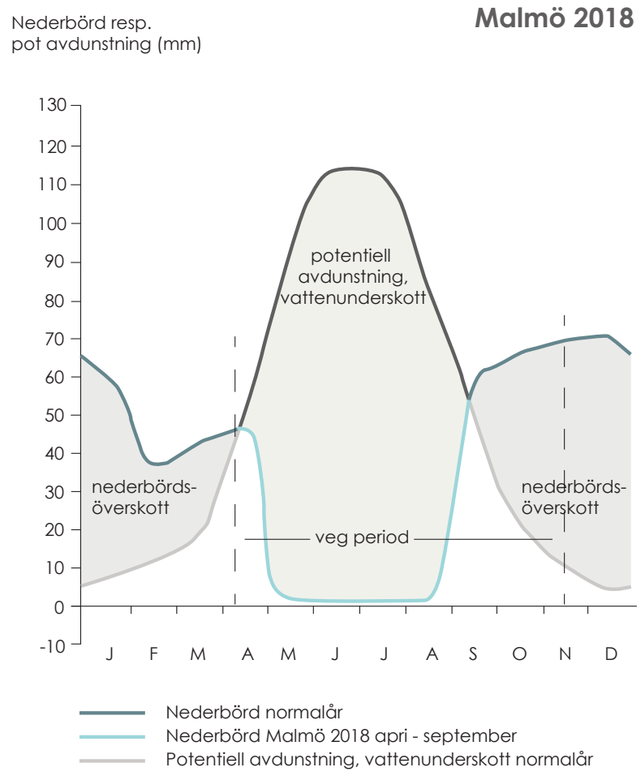
I tabell 1 och 2 skildras vilka klimatförändringar som kan komma att ske för två olika scenarier av RCP (scenarier av olika halter av växthusgaser i atmosfären) jämfört med den meterologiska referensperioden 1961–1990 enligt SMHI. I tabell 3 framgår att för RCP4.5 lyckas samhället att kraftigt reducera koldioxidutsläppen medans i RCP8,5 kommer utsläppen att öka jämfört med dagens situation. Av tabellerna 1 och 2 kan man utläsa att perioder med låg markfukt kommer att öka, för Stockholm från ca 15 dagar/år till mellan 30-50. Samtidigt som tillgången på vatten kommer att minska kommer den genomsnittliga temperaturen att öka och längden på perioder med dygnsmedeltemperaturer över 20 grader kommer för Stockholm att öka från 3 till 10-25 beroende på scenario.

I Malmö har de senaste somrarna varit nederbördsfattiga och torrare än normalt. Framför allt 2018 var extremt torr och varm men även 2020 och 2021 har varit torra. Detta medför stora påfrestningar på vegetationen. I figur 1 kan man utläsa hur avdunstningen, nederbörden och temperaturen förändras under ett normalt år och hur det såg ut under sommaren 2018, figur 2. Generellt har vi ett stort nederbördsöverskott under senhösten och vintern vilket ska täcka underskottet som uppstår under senvåren och sommaren pga. avdunstning. Normalt buffrar växtbäddens vattenhållande kapacitet ihop med grundvattnet mot den förändrade tillgången på vatten under året. Att skapa växtbäddar som klarar av att buffra så stora volymer som krävs för att klara det stora underskottet som genererades 2018 kommer att bli en utmaning. För att säkra upp vattentillgången gäller det att vegetationssystemen dimensioneras mot detta och att dagvattnet i staden tas tillvara på och utnyttjas som en resurs.

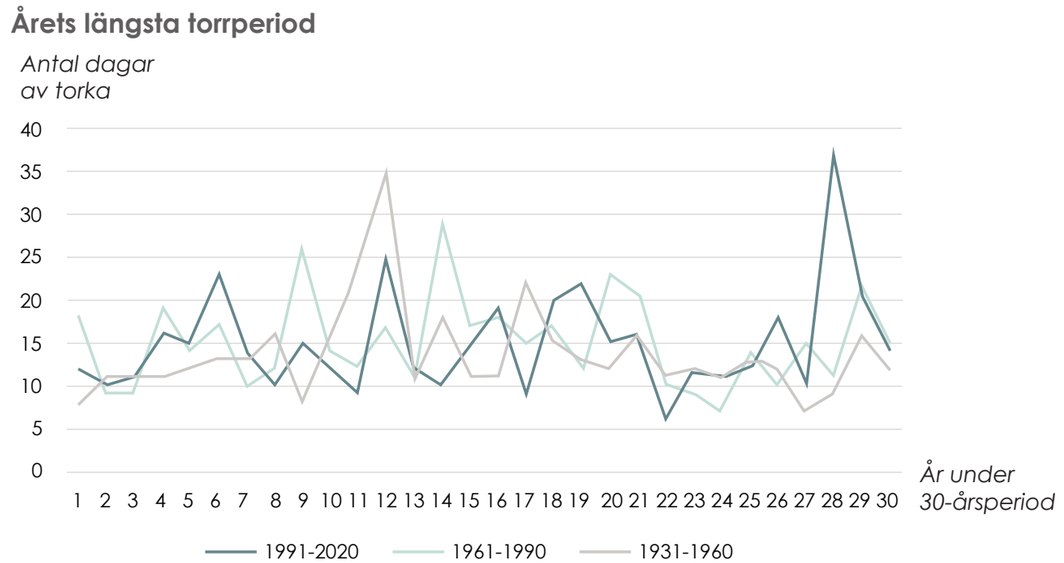
För Uppsala har den genomsnittliga torrperiod under



Figur 1. Visar på hur nederbörden och avdunstningen förändras under ett normalt år för Malmö.



Figur 2. Visar på hur nederbörd och avdunstning såg ut 2018 för Malmö.



Figur 3: Antal dagar för den längsta sammanhängande torrperiod för perioden april-september. Sammanställning av data hämtade för mätstation Uppsala Aut.

vegetationsperioden, för perioden, 1931-2020, varit i genomsnitt ca 15 dagar lång. Längden på torrperioderna varierar relativt kraftigt mellan åren, däremot har den längsta torrperioden varit nära eller över 30 dagar lång för var och en av de tre normalperioderna, se figur 3.

Dagvattensystem dimensioneras idag så att de ska klara av att omhänderta avrinningen som genereras från ett nederbördstillfälle med en viss given återkomstperiod, exempelvis ett 20-årsregn eller ett 30-årsregn. Det hade varit intressant att undersöka om det går att applicera samma förhållningssätt mot torka vid stadsplanering. Det vill säga att dimensionera vegetationssystemen efter samhällsekonomiskt försvarbara återkomsttider på torrperioder t.ex. 30 – 50 årstorka. Vid ett sådant resonemang behöver man även ta hänsyn till risken av skador på ekosystemtjänsterna som vegetationen generera och kan ta lång tid att få tillbaka.

Sammanfattningsvis är det med andra ord essentiellt att ha det föränderliga klimatet i åtanke vid fysisk planering och i planprocessen, och detta bör då också ske i en så tidig fas som möjligt i planprocessen. Att beakta klimatet vid fysisk planering kan innebära att risker kopplat till klimat kan identifieras och hanteras. Detta inkluderar ovanligt varma temperaturer som ovan redogjort men även kalla temperaturer, som även stundvis kan vara en utmnaing. Klimatanpassad fysisk plantering kan även bidra till ett minskat behov av nedkylning respektive uppvärmning av byggnader. Trots att det finns generella mönster och trender när det kommer till klimatet i stort så är det dock viktigt att i slutändan alltid utgå från den specifika platsens egenskaper i form av platsens tilltänkta funktion, dess geografiska läge, klimat och topografi. Därför är det rekommenderat att redan tidigt i planprocessen genomföra en klimatstudie där vindmönster, solinstrålning, nederbörd och temperatur kartläggs. För att säkerställa ett gott urbant klimat, kan därefter geometrin på gatustrukturen undersökas, liksom byggnadsvolymer, grönområden och vegetation.

Termisk komfort

Termisk komfort beskrivs som ett tillstånd då en människa upplever välbehag i relation till den termiska miljön. I detta tillstånd finns det enligt individen själv inget önskemål om att det ska bli kallare eller varmare. Detta brukar i sin tur beskrivas som att individen i sin helhet är i termisk jämvikt med dess omgivning. Termisk jämvikt innebär att det är en balans mellan en människas värmeproduktion och kroppens värmeavgivning, samtidigt som kroppens temperatur är oföränderlig. För att uppnå termisk komfort är det flera aspekter som är av betydelse. Delvis påverkar olika personliga faktorer såsom vikt, kön, längd samt personens aktivitetsnivå och klädsel. Andra faktorer som påverkar den termiska komforten är de klimatförutsättningar som råder på den plats där personen vistas. Dessa klimatförutsättningar är strålningstemperatur från ytor i omgivningen, lufttemperatur, luftfuktighet och vindförhållanden. Exempelvis kan en uppmätt lufttemperatur på 5°C upplevas som 1°C, om vinden har en hastighet på 5 m/s. Folkhälsomyndigheten (2009b) beskriver även hur en hög luftfuktighet leder till att höga temperaturer upplevs ännu högre, där 32°C upplevs som 43°C vid en relativ luftfuktighet på 75%. Vid temperaturer runt 28-30°C med en luftfuktighet på cirka 50% är en människa utan kläder generellt sett bekväm, om det finns tillgång till skugga.

Det är energiutbytet mellan en människas kropp och den omgivande miljön som avgör den termiska komforten. För att kunna beräkna energiutbytet och dess effekt på olika fysiologiska och sensoriska reaktioner i en människas kropp, används olika varianter av index. De faktorer som påverkar energiutbytet, det vill säga platsens klimatförutsättningar och personliga faktorer, beräknas ihop till ett värde. Detta värde indikerar den sammanslagna effekt energiutbytet har på människokroppens fysiologiska och sensoriska reaktioner. En aspekt som dock inget av nutida index beaktar är de kulturella och psykologiska processer som påverkar hur olika människor upplever olika väder. Exempel på kulturella processer är normer, värderingar och regler, medan psykologiska processer kan vara olika attityder, erfarenheter, förväntningar, upplevd kontroll och preferenser. Detta är något som det däremot har forskats mer kring de senaste åren, där det finns studier som visar att kulturella och psykologiska processer påverkar cirka 50% av hur människor upplever olika väder.

Termisk komfort varierar från person till person och är därför ett subjektivt ämne. Det finns således inte en gemensam klimatförutsättning som kan antas vara komfortabel för alla individer. En individs psykologiska aspekter, kön, hälsa och ålder spelar en stor roll när det gäller vilka klimatförutsättningar som anses komfortabla. Vid flertalet tester där grupper av människor har utsatts för en variation av olika klimat har det dock varit möjligt att konstatera att majoriteten av gruppen har en liknande uppfattning om vilket klimat som anses mest komfortabelt. Däremot har det, med tanke på att frågan kring termisk komfort är så subjektiv, i inga tester uppstått en klimatsituation där alla medverkande upplevde full tillfredsställelse och komfort. Med hänsyn till att det aldrig kommer att gå att tillfredställa alla har det arbetats fram ett så kallat PPD-index (predicted percentage dissatisfied), vilket fungerar som ett underlag för att klassificera termisk komfort. I ett PPD-index vägs människors fysiska aktivitet och beklädnad ihop med de rådande klimatförutsättningarna. Detta resulterar i en komfortekvation som anger hur en grupp människor anser att kombinationen av den fysiska aktiviteten, beklädnaden och klimatförutsättningarna ska vara för att gruppen ska trivas med temperaturen. Medan PPD är ett mått för att mäta den termiska komforten i utomhusmiljöer finns det andra måttenheter också. Ett sådant är PET (Physiologically Equivalent Temperature). PET konverterar den faktiska temperaturen, luftrörelse, strålning, luftfuktighet och klädsel till en motsvarande upplevelse av inomhustemperaturen (där inverkan av luftrörelse och

strålning är låg). Upplevd temperatur runt 20°C brukar anses vara acceptabelt.

Med kunskap om att olika människor föredrar olika typer av klimatförutsättningar är en lösning i våra utemiljöer att skapa varierade utemiljöer med olika nivåer av skugga och ventilation. Det innebär att individen själv kan välja att vistas på en plats vars temperatur möter personens begär och behov. Att skapa platser med varierande typer av mikroklimat är även viktigt i en nordisk kontext, med stora årstidsvariationer. Samma skugga som under den varma sommaren upplevs som svalkande kan under den kalla vintern upplevas som obekväm. Det är därför viktig att skapa utemiljöer med valmöjligheter, eftersom det då är det möjligt att efter personlig preferens, årstid eller funktion välja var man vill vistas.

Folkhälsomyndigheten (2009b) beskriver hur människor påverkas av värme på olika sätt beroende på vilka temperaturer de är vana vid och den optimala dygnsmedeltemperaturen varierar i olika delar av världen;

- Stockholm: 11–12°C
- Miami: 27°C
- London: Cirka 20°C

Om dygnsmedeltemperaturen på en plats blir högre eller lägre än den optimala, ökar andelen dödsfall enligt Folkhälsomyndigheten. Temperaturer som kan vara dödshotande för en viss befolkning kan med andra ord anses normala för en annan. Sveriges befolkning och svenska städer har historiskt inte anpassat sig efter höga temperaturer till skillnad från befolkningar som bor i länder med ett varmare klimat. I dessa länder har exempelvis anpassningar gjorts, som att stenhus är byggda av tjocka väggar, tillgången till svalkande dricksvatten i offentliga miljöer är god, hus förses med små fönster som har luckor, samt bebyggelse som förläggs under mark.

I en studie utförd i USA framgår det att de starkaste sambandet mellan värme och antal dödsfall, kunde identifieras i de delar av landet som generellt sett har ett svalare klimat (Kalkstein & Davis 1989). I de regioner som däremot har ett varmare klimat, var sambandet mellan värme och antal dödsfall inte lika starkt. Befolkningens sätt att acklimatisera sig efter värme på en regional nivå verkar ha en stor betydelse enligt författarna. En annan slutsats från studien är att människor under sommarsäsongen acklimatiserar sig efter värmen allteftersom, då höga temperaturer i början av sommaren ledde till fler dödsfall jämfört med när likartade väderförhållanden uppstod senare under sommaren.

Bild: Johan Östberg, Trädkontoret

TILL VERKTYGSLÅDAN

Insikter vi tar med oss är att människor påverkas på olika sätt av värme beroende på vilka temperaturer de är vana vid. Det finns flera aspekter som är av betydelse för att uppnå termisk komfort; vikt, kön, längd, personens aktivitetsnivå och klädsel. Även psykologiska (attityder, erfarenheter, förväntningar, upplevd kontroll och preferenser) och kulturella (normer, värderingar och regler) processer påverkar cirka 50% av hur människor upplever olika väder. Klimatet har också stor inverkan på den upplevda temperaturen, såsom strålningstemperatur från ytor i omgivningen, lufttemperatur, luftfuktighet och vindförhållanden. Termisk komfort är subjektivt, så för att behaga en bred grupp människor är en lösning att skapa varierade utemiljöer så människan själv kan välja var den vill vistas; i sol, skugga, vind eller lä. En människa utan kläder är generellt sett bekväm med en temperatur runt 28-30°C och en luftfuktighet på 50%, om det finns tillgång till skugga.

Mikroklimat

Klimatet i en urban miljö kan delas in i olika kategorier; makro-, meso-, lokal- och mikroklimat. Makroklimat sträcker sig över cirka 100 km eller större, medan ett mesoklimat generellt brukar omfatta ett område på cirka 10- 200 km, det vill säga hela den urbana miljön. Ett lokalklimat är i en något mindre skala och omfattar ett område från cirka 100 m - 50 km. Mikroklimat innefattar klimatet på den minsta skalan, från några millimeter upp till 1 km och kan exempelvis vara en trädgård, ett dike, ett kvarter eller bakom en stenmur som skapar ett avvikande klimat mot omgivningen genom att generera skugga och lä. Mikroklimatet kan skilja sig avsevärt på vissa platser i staden även om det bara är någon/några meter ifrån varandra. Exempelvis kan en parkeringsplats och en park skilja sig åt med 19°C. En undersökning i simuleringsprogrammet ENVI-met visar hur marktemperaturen mellan ett område av vegetation och träd uppvisar 17°C medan ytor med betong och asfalt visar en marktemperatur på upp till 42°C (Sjöman & Slagstedt 2015). Valet av byggmaterial i urban miljö är därför högst relevant för lokal- och mikroklimat. Betong, asfalt och tegel absorberar, lagrar och avger mer värme till skillnad från naturliga, vegetationsklädda ytor. Temperaturen nära markytan är till exempel lägre i parker jämfört med omgivande asfalt eller betongytor.

Den danska landskapsarkitekten Jan Gehl belyser essensen av att ha mikroklimatet i åtanke vid planering av våra urbana miljöer för att lindra negativa lokala klimatfaktorer. På samma vis som vi behöver ta hänsyn till obekvämt höga temperaturer i våra städer under sommartid behöver vi i Skandinavien även tänka på att addresera obekvämt kalla temperaturer vintertid. Mer specifikt gäller det då att ta hänsyn till vinden som vintertid kan vara ett problem på grund av dess nedkylande effekt. Sommartid är däremot vinden ett effektivt verktyg för att motverka farligt höga temperaturer, detta genom samma nedkylande effekt samt genom att transportera parkernas svalare luft korta sträckor och kyla ner omkringliggande varma ytor. Vindens rörelse kan påverka en plats avsevärt och vid låg tät bebyggelse tenderar vinden att färdas över området. Höga byggnader tenderar däremot att fånga vinden som är 20-40 m upp och rikta den ner mot exempelvis en innergård.

Andra faktorer som påverkar mikroklimatet i en stad är förutom bebyggelsens höjd även dess täthet samt gatornas utforming, placering och orientering eftersom detta bland annat påverkar vilka möjligheter vinden har att färdas i staden. Två olika gator i vinkel till varandra kan ha två helt olika mikroklimat beroende på dess orientering och förhållande till den rådande vindriktningen samt solen. Utöver detta påverkas även mikroklimatet av gaturummens geometri, byggnads- och markmaterial samt materialets karaktär i form av fukt-, värme- och strålningskapacitet. Vegetation, som häckar och träd, i gaturummet spelar även en viktig roll i skapandet av gynnsamma mikroklimat eftersom de med sin volym både kan reducera vind och skapa skugga, samtidigt som de med sitt bladverk kan reducera temperaturen genom evapotranspiration. Skugga och vindskydd kan även skapas med hjälp av staket, solskydd och vindskärmar. Staketet placerade vinkelrätt mot kalla vintervindar med en genomsläpplighet på 50% har visat sig bidra till störst vindreducering. I nordiska städer finns det dock en paradoxal syn på vind, där den sommartid är uppskattad för sin svalka, men där samma vind vintertid kan skapa okomfortabelt kalla miljöer. På samma vis kan skugga vintertid upplevas negativt. En möjlig lösning för att addresera denna dubbelhet är att

Yttemperaturer en sommardag i Örebro vid en lufttemperatur på 28°C.
Bild: Trädkontoret

använda sig av olika typer av flyttbara sol- och vindskydd som kan anpassas efter säsong.

Sammanfattningsvis sker uppvämningen i staden genom att solen värmer upp de ytor den träffar. Vinden å andra sidan är en källa för temperatursänkning genom att sänka temperaturen på objekt den blåser på. Generellt sker det störst påverkan på mikroklimatet vintertid om vinden som blåser på ett varmt objekt kan reduceras. Sommartid sker istället vanligtvis störst påverkan om solinstrålningen som absorberas av ett föremål kan reduceras genom skugga.

Att ha klimatet i åtanke vid fysisk planering och i planprocessen är viktigt, och detta bör då också ske i en så tidig fas som möjligt i planprocessen. Följderna av att beakta klimatet i ett tidigt skede inkluderar att användningen av offentliga miljöer såsom gator, torg och parker ökar, med en förbättrad hälsa och ett ökat välbefinnande bland människorna som följd. Att ha klimatet i åtanke vid fysisk planering kan även innebära att risker kopplat till klimat, exempelvis extremt kalla eller varma temperaturer, kan identifieras och hanteras. Det kan även bidra till ett minskat behov av nedkylning respektive uppvärmning av byggnader. Det är dock viktigt att alltid utgå från den specifika platsens egenskaper i form av platsens tilltänkta funktion, dess geografiska läge, klimat och topografi. Därför är det rekommenderat att redan tidigt i planprocessen genomföra en klimatstudie där vindmönster, solinstrålning, nederbörd och temperatur kartläggs. För att säkerställa ett gott urbant klimat, kan därefter geometrin på gatustrukturen undersökas, liksom byggnadsvolymer, grönområden och vegetation.

TILL VERKTYGSLÅDAN

Insikter vi tar med oss från detta kapitel är vikten av att ha mikroklimat i åtanke vid planering av våra urbana miljöer, för att lindra negativa lokala klimatfaktorer. Ett mikroklimat kan skilja sig avsevärt på vissa platser i staden även om de bara är någon/några meter ifrån varandra. Flera studier visar att ytor med vegetation visar betydligt lägre temperaturer än ytor med exempelvis betong, asfalt eller tegel. Dessa material absorberar, lagrar och avger nämligen mer värme till skillnad från naturliga, vegetationsklädda ytor. Vind kan transportera den svalare luften i exempelvis parker korta sträckor och kyla ner omkringliggande varma ytor. Vidare kan vind även kyla ner platser, objekt eller människor till samma temperatur som vinden själv. Temperaturen för objektet kan däremot bli lägre än luften om objektet är blött eller fuktigt, genom evaporativ kylning.
Tät bebyggelse, gatornas utformning, bebyggelsen och gatornas placering samt öppna platser påverkar hur vinden färdas, där dess rörelse kan påverka en plats avsevärt. Häckar, vindskydd och träd kan reducera vinden och därmed skapa goda mikroklimat anpassade för platsen. En åtgärd för att skapa skuggiga svala miljöer på varma platser är att använda olika varianter av antingen flyttbara eller fasta solskydd. Störst påverkan på mikroklimatet vintertid sker om vinden som blåser på ett varmt objekt kan reduceras. Sommartid sker vanligtvis störst påverkan på mikroklimatet om solinstrålningen som absorberas av ett föremål kan reduceras.

Värmeöar

Den urbana energibalansen

En utmaning våra hårdgjorda städer idag står inför är förhöjda temperaturer. Denna temperaturförändring går att härleda till såväl klimatförändringar som det urbana värmefenomenet *Värmeöeffekten/Urban heat island* (UHI). Innan denna effekt förklaras utförligare behövs dock en kort genomgång om den urbana energibalansen, eftersom det är i denna som allt har sitt ursprung. Termodynamikens första huvudsats slår fast att energi varken kan skapas eller förstöras, utan endast omvandlas från en form till en annan (energiprincipen). Detta innebär följande:

Energitillförsel = Energiuttag + förändring av lagrad energi

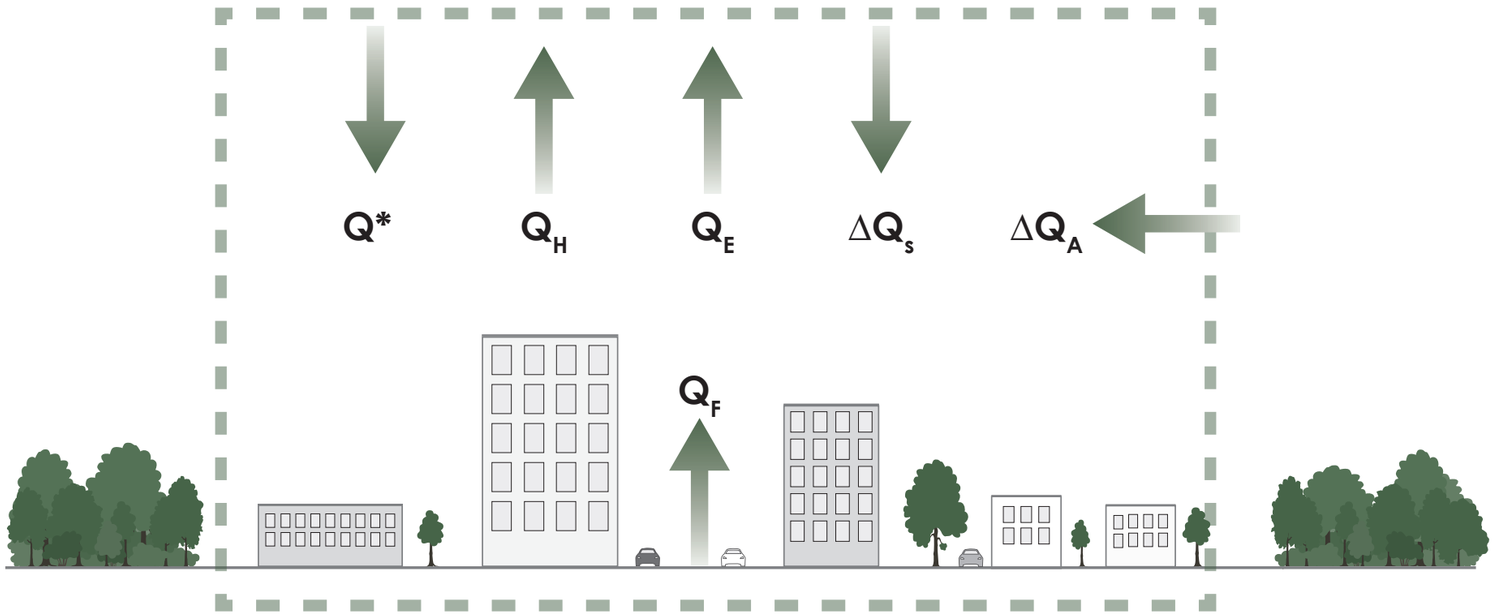
Viktigt att påpeka här är att tillförseln och uttaget av energi inte behöver vara i balans vid varje tidpunkt, även fast detta i regel är fallet om vi kollar över en lång tidsperiod. Istället är det normalt att det sker en skiftande balans mellan *input* (tillförsel) och *output* (uttag) av energi, vilket är det som vi upplever som att t.ex. något värms upp eller kyls ner.

Det är även värt att påminna om att eftersom energi inte kan skapas utan enbart byter form innebär detta att det inte nödvändigtvis att *outputen* har samma energiform som *inputen*. I en stad är denna energibalans ett komplex nätverk där flera typer av energiformer byter form samtidigt, och där vissa avges och andra lagras.

Staden är dessutom en del av större system som samverkar med sin omgivning. Om vi likväl definierar stadens energisystem som den volym som på någotvis påverkas av bebyggelse och den urbana aktiviteten går det att titta på samspelet mellan atmosfären och stadens ytor, om än något generaliserat. Följande ekvation beskriver den urbana energibalansen, en vidareutveckling av energiprincipen anpassad för den urbana kontexten:

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

I ekvationen ovan står Q^* för den totala nettosolinstrålningen (den solstrålning som inte reflekteras bort) och Q_F står för den mänskligt skapade värmetillförseln (fordon, kroppsvärme, luftkonditionering etc.). Q_H representerar det konvektiva sensibla värmeflödet (värmeförändring i lufttemperaturen till följd av temperaturskillnader mellan en yta och den omgivande luften). Q_E står för det latenta värmeflödet, dvs. värmenergi som avges som vattenånga eller kondens. ΔQ_S avser den värmeenergi som lagras i systemet, exempelvis den värmen som lagras i en asfaltsyta som värms upp av solen. Avslutnigsvis syftar ΔQ_A till den värmeförändring som sker horisontellt i systemet, exempelvis kyla som kommer in i staden till följd av en vind (se figur 4).



Figur 4. Schematisk redovisning visandes den urbana energibalansen

Medan denna ekvation förvisso övergripande beskriver energiflödena i en stad, och är viktig att känna till för att förstå värmöeffektens (som förklaras i sin helhet under nästkommande rubrik) bakomliggande orsak, så säger denna energiformel oss inte mycket om mikroklimatet i staden som i regel agerar på en mindre skala. Svaren kring hur mikroklimatet ter sig från plats till plats hittas istället om vi börjar disikera de olika faktorerna i energiekvationen ovan, och fråga oss varför de olika energiflödena ser ut som de gör. Detta visar att aspekter som gaturummets geometri och utformning samt materials reflektionsförmåga, värmekapacitivitet och konduktionsförmåga spelar en avgörande roll, vilket kommer att avhandlas mer i detalj under senare delar av rapporten.

Värmeöeffekten

Värmeöeffekten kan förklaras med att ytor som tidigare var obebyggda, permeabla och vattenhållande bebyggs och ersätts med hårdgjorda, mörka material med låg reflektionsförmåga men hög värmekapacitet. Detta gör att materialen värms upp under dagen, för att sedan släppa ifrån sig den lagrade värmen långsamt under natten, med ökade temperaturer som följd. Resultatet av effekten innebär att temperaturerna i urbana miljöer är högre jämfört med omkringliggande landskap. Beroende på stadens storlek kan temperaturen vara mellan 2-12 °C varmare i staden jämfört med det rurala landskapet (EPA 2008d).

Det finns olika typer av värmeöeffekter, som till exempel yt-värmeöar (*surface heat islands*) och atmosfäriska värmeöar (*atmospheric urban heat island*). Dessa två typer av värmeöeffekter besitter olika dynamiska kännetecken som dels varierar över dygnet, men även påverkas av typen av markanvändning, klimat, meteorologiskt tillstånd och geografiskt läge.

Yt-värmeöar (SUHI)

Denna typ av värmeö infinner sig över hela dygnet men varierar kraftigt mellan dag och natt samt beroende på position i staden. Mest intensiv är effekten av yt-värmeöarna på dagen samt på sommaren. Yt-värmeöar kartläggs och redovisas i termiska kartor där det med hjälp av fjärranalys från satelliter och flygplan går att urskilja vilka områden som har en högre yttemperatur än andra.

Atmosfäriska värmeöar

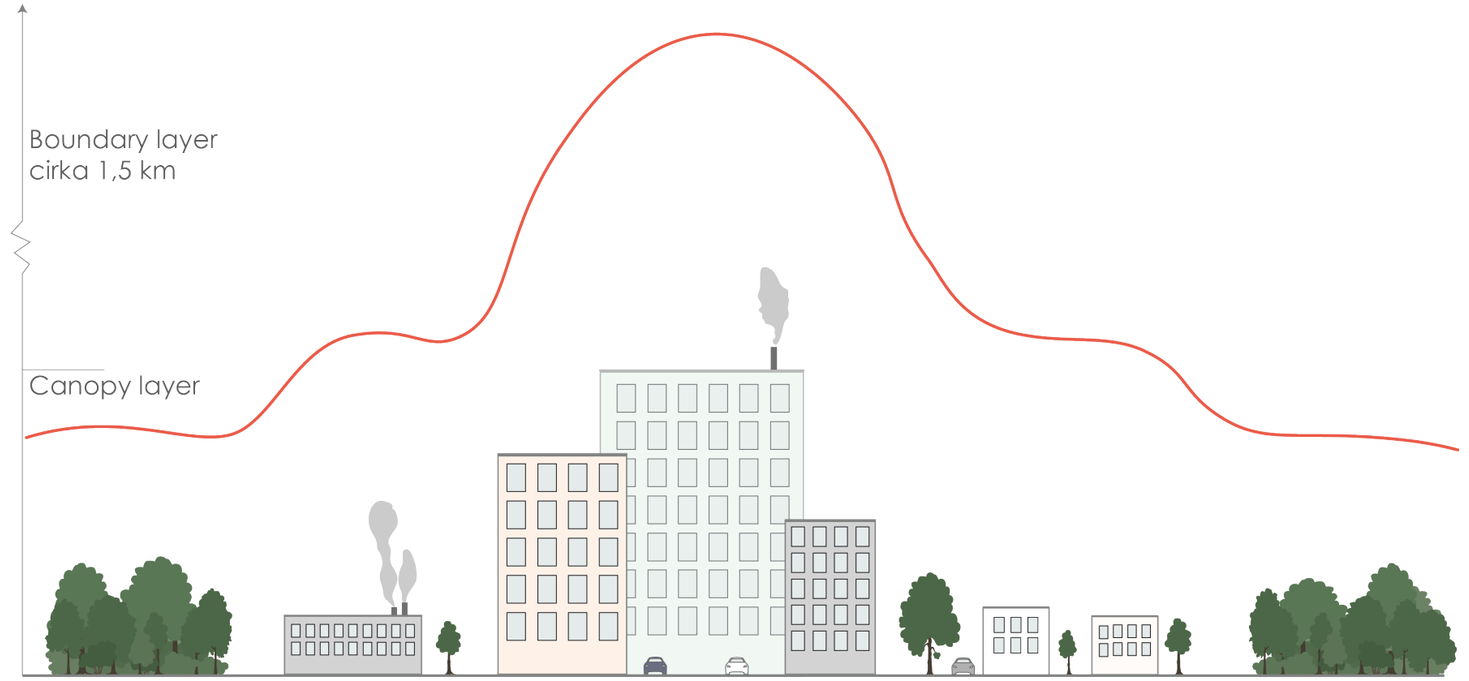
Atmosfäriska värmeöar definieras av varmare luft i urban miljö jämfört med närliggande rural miljö. Under dagen är effekten av denna värmeö liten eller till och med icke existerande, medan den är som mest intensiv under natten, innan gryningen samt under vintern. Atmosfäriska värmeöar redovisas i isotermiska kartor och i grafer över temperaturutvecklingen. Resultatet mäts med hjälp av väderstationer.

Atmosfäriska värmeöar kan därtill delas in i två olika typer baserat på vilken höjd samt i vilken skala effekten påvisas (se figur 5):

- Canopy layer urban heat islands: Brukar vara den som refereras till i diskussioner kring urbana värmeöar och innefattar atmosfären där människor rör sig (vistelsezonen), mellan marknivå och upp till toppen av byggnaderna.

- Boundary layer urban heat islands: Sträcker sig från taken på husen upp till den punkt där de urbana miljöerna inte längre influerar atmosfären, vilket vanligtvis sker upp till och med 1,5 km från markytan.

Vädret har stor inverkan på båda typerna av värmeöar, och effekten av värmeöarna är som mest intensiva när det är lite vind och klar himmel. Anledningen till detta är att tjocka molntäcken hindrar solinstrålningen från att värma upp städerna. Starka vindar minskar istället temperaturskillnaden mellan urbana och rurala områden genom att föra in kall luft i den annars uppvärmda urbana atmosfäriska luftblandningen. I en studie undersöktes klimatet i President Prudente (Brasilien) och Rennes (Frankrike) för att kunna studera intensiteten av värmeöeffekten, hur den kan skilja sig mellan dag och natt samt hur den ter sig i två städer med olika förutsättningar. För att genomföra studien har lufttemperaturer uppmätts och yt-temperaturkartor tagits fram av satellitbilder från Landsat 8. Undersökningen registrerade effekten av yt-värmeöar genom att jämföra temperaturen för impermeabla ytor och naturliga ytor.



Figur 5. Konceptuell bild på värmeöeffekter där den röda linjen representerar hur temperaturen ökar ju tätare bebyggelsen är.

Presidente Prudente, Brasilien			
	Lägst (°C)	Högst (°C)	Total differens
Dagtid	26 *vegetationsyta*	40,4 *kompakt låg bebyggelse*	14,4
Nattetid	13,2 *spridda träd*	23,9 *kompakt låg bebyggelse*	10,7

Rennes, Frankrike			
	Lägst (°C)	Högst (°C)	Total differens
Dagtid	0 *spridda träd*	9,8 *stor låg bebyggelse*	9,8
Nattetid	−4,3 *låg vegetation*	7,8 *vatten*	12,1

Ovan återfinns två tabeller visande de uppmätta temperaturerna i den brasilianska staden respektive den franska, baserat på de högsta respektive lägsta temperaturena samt var dessa temperaturer återfanns.

Även den atmosfäriska värmeön undersöktes i samma studie genom att jämföra temperaturdifferansen mellan urban miljö och en mätpunkt i omgivande rural miljö. Undersökningen gjordes under 30 (Frankrike, Rennes) respektive 31 (Brasilien, Presidente Prudente) dagar och resultatet av denna undersökning konstaterade att effekten av AHI var som starkast nattetid. I Rennes var den högsta temperaturdifferensen nattetid 5,4°C och i Presidente Prudente var den 9,1°C. Resultatet av studien visar även att det finns en distinkt skillnad där glesbebyggda och vegetationsklädda områden har lägre luft- och yttemperaturer i jämförelse med tättbebyggda områden som istället visar på högre temperaturer. Detta är särskilt tydligt när atmosfäriska värmeöar är som intensivast, det vill säga på natten

Avslutningsvis har även vattnets inverkan på värmeöeffekten studerats. Det krävs mycket energitillförsel för att både sänka och höja temperaturen på vatten. När väl vattnet blivit varmt sjunker dock temperaturen långsamt vilket därför kan värma lufttemperaturen och öka effekten av värmeön (Amorim et al. 2021).

TILL VERKTYGSLÅDAN

Från kapitlet tar vi med oss att glesbebyggda och naturliga vegetationsklädda områden har lägre luft- och yttemperaturer i jämförelse med tätt bebyggda områden, vilket är viktigt att ha i åtanke för att kunna skapa goda livsmiljöer.

Exploatering och förtätning

2020 beräknades 88% av Sveriges befolkning bo i tätorter, vilka i sin tur endast utgjorde 1,3% av landets totala yta. Denna fördelning beskrivs som en direkt följd av den globala trend av urbanisering som har präglat det senaste seklet, där människor sökt sig från landsbygden in till städerna (SCB 2022).

En publikation från Boverket (2016) beskriver hur den ökade mängden bosatta i Sveriges större orter och städer har lett till en stor brist på bostäder i flera kommuner. I samband med att efterfrågan av bostäder har ökat är det flera orter och städer som har expanderat utåt i storlek. När städer växer utåt innebär detta konsekvenser i form av att värdefull jordbruksmark eller naturmark går förlorade och att människor i större utsträckning blir beroende av bilen. En alternativ strategi är därför att bygga inåt i staden, nämligen genom förtätning. Vid förtätning kan bostäder byggas utan att värdefull mark, såsom naturmark, tas i anspråk. Förtätning innebär också att det befintliga infrastrukturnätet utnyttjas vilket gör att tillgången till kollektivtrafik ökar och att det generellt blir kortare resvägar. Trots att Boverket lyfter många fördelar med förtätning benämns även en del av utmaningarna med strategin. Det finns bland annat stora problem kring att grönytor inom städerna bebyggs och att ljud- och ljusförhållanden påverkas negativt av en tät och hög bebyggelse. För att uppnå en hållbar utveckling av våra städer behöver vi därför vara extra observanta kring de prioriteringar som görs i samband med förtätning.

En annan konsekvens av att bygga täta städer är en ökad värmeöeffekt. De urbana miljöernas struktur och karaktär påverkar i stor utsträckning temperaturen. Bland annat finns det ett samband mellan ökad värmeöeffekt och tät bebyggelse i urbana miljöer. Folkhälsomyndigheten (2019a) menar att ju tätare och större bebyggelsen är, desto starkare och intensivare blir den urbana värmeöeffekten. I en tätort med 1000 invånare kan det uppstå en värmeöeffekt där tätorten har 2°C högre temperatur än omgivande landskap. I en storstad med en miljon invånare, kan värmeöffekten bli så pass intensiv att temperaturskillnaden mellan stad och omgivande landsbygd uppnår 8°C.

Vid fysisk planering av förtätning- och exploateringsområden är det viktigt att tänka på hur bebyggelsens geometri influerar temperaturen och omfattningen av värmeöeffekten. Bebyggelsegeometri innefattar aspekter såsom bebyggelsens höjd, form och riktning samt avstånd mellan bebyggelsen. Hur bebyggelsegeometrin ser ut har en stor inverkan på det urbana klimatet, där avståndet mellan byggnaderna är en av de faktorer som påverkar mest. Tät bebyggelse kan ha både positiva och negativa effekter på de urbana miljöernas temperatur. De negativa aspekterna är att tät bebyggelse, jämfört med gles bebyggelse, lagrar en större mängd värme som dessutom avges under en längre tidsperiod. De positiva aspekterna är att tät bebyggelse bidrar till minskad solinstrålning, vilket i sin tur innebär en lägre yt- och lufttemperatur tack vare den skugga som byggnaderna avger under dagtid. De varmaste platserna under dagtid är i regel soliga och vindskyddade platser nära bebyggelse med lite eller ingen växtlighet. Under nattetid är istället de varmaste platserna centralt lokaliserade områden med tät bebyggelse där det endast finns lite eller ingen växtlighet alls.

Att undersöka bebyggelsetäthet, det vill säga hur tätt det är mellan byggnaderna, kan göras på olika sätt. Ett sätt är att undersöka förhållandet mellan byggnadernas höjd och bredden på markytan mellan byggnaderna (s.k *height-width (H/W) ratio*). Ett annat sätt är att undersöka himmelsfaktorn (eng. *sky view factor*). Himmelsfaktorn hänger i mångt och mycket ihop med H/W ration och är ett mått för hur stora delar av himlen som är synbar inom ett 180-graders perspektiv från en viss punkt. Smala gator med höga angränsande byggnader genererar således en låg himmelsfaktor i gaturummet. Skillnaden i himmelsfaktor mellan staden och landsbygden, är en av orsakerna till att det är varmare i städerna. Anledningen till detta är att marken på landsbygden kyls ner under natten, genom att långvågig strålning avges ut mot den kalla himlen. Denna avkylning leder därefter till en lägre lufttemperatur. I städerna däremot, där himmelsfaktorn är lägre, tar avkylningen betydligt längre tid eftersom att den långvågiga strålningen begränsas av kringliggande byggnader. Gaturummen blir med andra ord "strålningsfällor". I storstäder med en tät bebyggelsestruktur och därav en ytterst begränsad himmelsfaktor, kan lufttemperaturen under natten vara 10-12°C högre i staden jämfört med omgivande landsbygd (EPA 2008d).

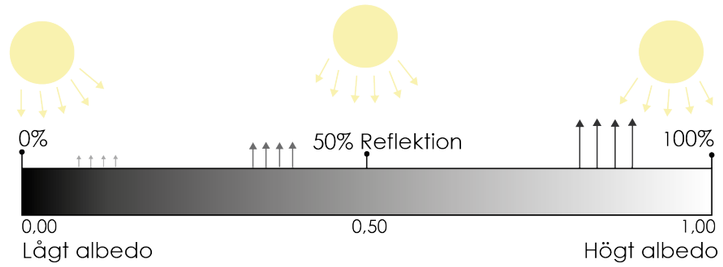
TILL VERKTYGSLÅDAN

Det finns flera fördelar med förtätning av städer men det är viktigt att tänka på vilka ytor som bebyggs för att undvika att värdefulla grönytor inom staden exploateras. Nackdelar med att exploatera städer utåt samt förtätning är att det ökar omfattningen av möjliga värmeöeffekter. Bebyggelsegeometrin i urbana miljöer har en stor inverkan på klimatet. Avståndet mellan byggnaderna är en av de faktorer som påverkar mest och det finns ett samband mellan ökad värmeöeffekt och tät bebyggelse i urbana miljöer.

Ytskiktets reflektionsförmåga

I energiekvationen i inledningen slås det fast att den största källan till energitillförsel är solstrålningen. Hur mycket strålningsenergi som absorberas i staden, och hur mycket av strålningen som reflekteras bort är därför en av de viktigaste faktorerna kopplade till värmeön. Hur effektiv en stad reflekterar bort eller absorberar den inkommande solstrålningen beror på två saker: dels materialegenskaperna hos markbeläggningar, husfasader och tak men även hur den övergripande bebyggelsegeometrin ser ut.

Olika ytor har olika förmågor att reflektera solstrålning och för att mäta reflektionsförmågan används måttet albedo (vithet). Mer specifikt mäter albedo materialet eller ytans förmåga att reflektera kortvågig strålning från solen. Hur mycket en yta kan reflektera solstrålar presenteras i en skala från 0,00 till 1,00 (0% till 100%), ju högre albedo desto mer solljus reflekteras. Exempelvis absorberar mörka material som svarta kläder mer av solens strålar en solig sommardag i jämförelse med ljusa material som vita kläder, vilket gör det svarta plagget avsevärt varmare. Till exempel mörkt grus med ett albedo på 0,09 resulterade i yttemperatur på 30°C mer än omgivande luft, medan en vit yta med 0,61 i albedo endast var 5°C varmare än omgivande luft. En förhöjning av albedovärdet på yt- och takbeläggningar tillsammans med en ökad mängd vegetation i den urbana miljön kan därför vända de negativa konsekvenser som uppstår till följd av värmeöeffekten. Meteorologiska simuleringar har visat att lufttemperaturen kan minska med 2°C vid en måttlig ökning av det urbana albedot. Om en mer extrem ökning av det urbana albedot skulle tillämpas, kan det leda till en lokal sänkning av lufttemperaturen med 4°C (Taha 1997). För en genomgång av olika material och ytors albedovärde, se tabell 4.



Figur 6. Principbild som förklarar albedo. Framtagen av Ida Grundh och Alice Ljungdahl baserad på information från Naturskyddsföreningen.

Den andel kortvågiga strålar som når jordens markyta och inte reflekteras tillbaka som kortvågig strålning absorberas av materialet som i sin tur ger ifrån sig värme som långvågig strålning. Om strålningsbalansen är jämn mellan inkommande kortvågig strålning och utgående långvågig strålning sker ingen inverkan på vårt klimat ur ett längre tidsperspektiv. Strålningsbalansen kan dock variera och skilja sig mellan enskilda platser och tidpunkter, vilket kan påverka det storskaliga meteorologiska läget eller i mindre skala det lokala mikroklimatet. Lokalt kan vegetation förhindra att solstrålningen når markytan genom att verka som ett filter. Vid en mätning och kartläggning av Los Angeles urbana delar registrerades ett högre albedo för område som hade mer omfattande och tät vegetation jämfört med omkringliggande delar, med en lägre temperatur som följd. Det exakta albedovärdet för vegetationen är dock på artnivå avhängande på dess struktur och färg.

På övergripande stadsskala har albedot för bebyggd miljö undersökts i länder som exempelvis Japan, Nigeria, Tyskland och England. Sammanställningen visar en variation mellan länderna på 0,09 till 0,23 med ett medelvärde på ungefär 0,15. Nordafrikanska länder har enligt samma studier ett högre albedo (0,30-0,45) i jämförelse med Europeiska länder (0,15-0,20). Jordklotet har ett genomsnitt på 0,30 (Oke 1988, Taha 1997, Naturskyddsföreningen 2021).

Vidare kan slitage och nedsmutsning av ytor påverkar reflektionsförmågan. Ljusa ytor får snabbt sämre reflektionsförmåga och kräver därmed mycket underhåll. Asfalt får istället ökad reflektionsförmåga alltefter att bindemedlet oxiderar och materialet ljusnar. Albedo är även relevant i samband med de smältande isarna då nysnö har ett albedo på 0,9, medan smältande snö har ett albedo på 0,5, vilket betyder att 50% av solstrålarna reflekteras i jämförelse med 90%. Havsytan har ett väldigt lågt albedo på 0,08 och med smältande glaciärer skapas mer öppna värmeabsorberande hav, som i sin tur smälter ännu mer is. Således kan ett sådant här skifte i albedo influera klimatförändringar och ett varmare klimat.

Reflektionsförmågan är dock inte bara beroende av ytskiktets kulör och egenskaper utan även den fysiska bebyggelsegeometrin spelar in i om solstrålningen reflekteras bort eller absorberas. Eftersom att solstrålningen i regel träffar jordens yta med en vinkel (undantag vid ekvatorn) spelar exempelvis tätheten på bebyggelsen roll. Står husen mycket tätt kommer mycket strålning att reflekteras bort på taken, och är den urbana geometrin mycket gles så reflekteras också mycket bort utan att absorberas i husfasader. Störst effekt av detta sker istället när gaturummet är ungefär dubbelt så brett som husen som angränsar. Även husens höjd spelar en roll i reflektionsförmågan. Höga hus skapar djupa "gatukanjoner" vilka fungerar som strålningsfällor där strålningen studsar mellan husen och absorberas av fasaderna. På liknande vis blir även absorptionen högre i en stad med varierande hushöjder, eftersom strålning som reflekteras bort från taket av ett hus kan studsa mot en fasad på en högre byggnad som absorberar samma strålning. Att tänka att det går att adressera problemet med den urbana värmeön enbart genom att säkerställa att markmaterialen har ett högt albedo är därför inte möjligt. Eftersom ett ljust material reflekterar bort strålning finns det i en tätbebyggd stad risk att de bortreflekterande strålarna istället träffar en mörk fasad som värms upp istället för marken.

Yta / Material	Albedovärde	Yta / Material	Albedovärde
Asfalt	0,05-0,20	Färg: Vit/vitlasyr	0,50-0,90
Betong	0,10-0,35	Färg: Röd/Grön/Brun	0,20-0,35
Sten	0,20-0,40	Färg: Svart	0,02-0,15
Vitmålad stenfasad	0,80	Torr sand	0,20-0,30
Tegel, ljus nyans	0,30-0,50	Lövfällande vegetation	0,20-0,30
Tegel, röd	0,20-0,30	Jord	0,30
Mörk tegel & skiffer	0,20	Gräs	0,30
Kalksten	0,30-0,45	Barrskog	0,10-0,15
Trä (ek)	0,10	Nysnö	0,80-0,90
Tjära & grus	0,08-0,18	Galvaniserat stål	0,35
Takpannor, tegel	0,10-0,35	Vitt gips	0,93
Skiffer	0,10	Vitt pigment	0,85
Halm	0,15-0,20	Grått pigment	0,30
Korrugerad plåt	0,10-0,16	Grus & singel	0,72
Sedum	~0,30		

Tabell 4. Tabell över olika material/ytors albedovärde. Baserat på information från Santamouris (2001).

Ett område där kunskapen om albedo kan om sättas till värmereducerande åtgärder för att lindra de negativa effekterna av värmeöar är att använda sig av kalla tak (eng. *cool roofs*) . En bidragande faktor till värmeöeffekten är nämligen den stora mängden mörka varma tak som finns i städerna. Kalla tak har använts i mer än 20 års tid och består av material som har en hög reflektionsförmåga (högt albedo). Under väldigt varma sommardagar kan dessa material uppnå en temperatur på cirka 28-33°C lägre än traditionella takmaterial som till exempel taktegelpannor. Vid en jämförelse mellan material som används för kalla tak och material som används för traditionella tak reflekterar de förstnämnda bort betydligt större mängder solstrålning. Traditionella takmaterial absorberar runt 85-95% av solenergin, så endast 5-15% av den inkomna solstrålningen reflekteras tillbaka ut i atmosfären (EPA 2008a). De kallaste materialen som används för kalla tak absorberar 35% av den inkommande strålningen och 65% reflekteras tillbaka ut i atmosfären. Kalla tak kan antingen skapas genom att en flytande beläggning (med hög reflektionsförmåga, inte nödvändigtvis på grund av dess kulör) adderas på det befintliga takunderlaget, vilket kan öka takets reflektans upp till 65%. Kalla tak kan även konstrueras av kallfärgad plåt eller kallfärgade taktegelpannor. Det man dock ska vara medveten om med kalla tak är att den uppvärmande effekten på huset vintertid minskar. Denna nackdel bedöms dock i förhållande inte stå i proportion till den fördel som ett kallt tak genererar sommartid. Detta pågrund av att värmeenergin från solen vintertid är lägre än vad den är på sommaren, när antalet soltimmar är fler.

Med inspiration från existerande och välbeprövade vägledande arbetssätt för att säkerställa en tillräckligt mängd grönyta inom ett projekt (grönytefaktor) samt motsvarande metoder för att beräkna mängden dagvatten som förväntas rinna vidare utan att infiltreras ner i marken inom ett projekt (avrinningskoeffiecient) är det möjligt att fundera om ett liknande tillvägagångsätt skulle vara möjligt att implementera för det totala albedovärdet inom ett projekt. Likt de två ovanstående metoderna skulle en sådan potentiell modell, som vi kan kalla för albedokoefficient, bygga på att materialen i ett projekt ges ett givet värde utifrån, i detta fallet, dess albedovärde. Genom att räkna ihop det totala albedovärdet av materialen och dela detta på den totala arean av materialen går det att få fram ett genomsnittligt värde för projektet som i sin tur går att bedöma utifrån en given bedömningsskala. Med det sagt är det viktigt att poängtera ett en potentiell modell för att jobba med albedokoefficient inte är heltäckande, utan istället bör användas i samspel med andra verktyg, Att bara använda albedot som verktyg för att bedömma om ett projekt är bra eller dåligt utifrån värmereducering kan till och med vara rent bedrägligt, eftersom då resultatet av exempelvis en öppen plan med grus skulle generera ett lägre albedo än en plats med blandad vegetation i flera skikt - vilket felaktigt skulle kunna tolkas som en mikroklimatmässigt bättre plats när vegetationen i verk-

ligheten motverkar värme på vis som inte kan räknas i albedovärde. Däremot möjligheten att kombinera albodokoefficient med grönytefaktor, alternativt justera ovanstående problematik med hjälp av en kompenserande faktor (ex. att albedovärden för grönska multiplicerars med x) skulle kunna resultera i ett verktyg som fungerar väl för vägledning.

I denna rapport kommer albedovärde uteslutande att användas som enhet för en beskriva en ytas reflektionsförmåga. Det kan dock vara värt att känna till andra enheter/benämningar som även är förekommande när man pratar om reflektionsförmåga. Total Solar Reflectance (TSR) är en enhet som används synonymt med albedo och som även den presenteras i skalan 0-1. Solar Reflectance Index (SRI) är en annan förekommande benämning, som förutom reflektionsförmåga även inkluderar termisk emission och bakar ihop detta till ett bärde mellan 0 och 100, där ett högt värde indikerar att materialet har hög reflektans, lägre värmeabsorption och en bättre förmåga att behålla en sval temperatur.

TILL VERKTYGSLÅDAN

En av de viktigaste faktorerna kopplade till värmeöeffekter är alla mörka material i urbana miljöer, såsom markbeläggningar, tak och husfasader. Material med ett högt albedo (ljus färg) reflekterar mer solljus och ett lågt albedo (mörk färg) som exempelvis nyanlagd asfalt, reflekterar bort mindre solljus. När ett material reflekterar bort stora delar solljus absorberas mindre värme, vilket leder till lägre temperaturer. Underhåll av ljusa ytor är viktigt då slitage och nedsmutsning försämrar reflektionsförmågan. Asfalt blir däremot ljusare med tiden alltefter bindemedlet oxiderar. Om albedovärdet på yt- och takbeläggningar höjs tillsammans med en ökad mängd vegetation kan negativa konsekvenser som uppstår till följd av värmeöeffekten lindras.

Materialets termiska egenskaper

Utöver att olika material absorberar olika stora mängder solinstrålning, varierar även värmekapaciteten. Det finns två olika aspekter som påverkar materialets termiska beteende. Den ena aspekten är materialets värmekapacitivitet, dvs. dess förmåga att lagra värmeenergi. Den andra aspekten är värmekonduktivitet, vilket mäter värmeenergins förmåga att förflytta sig igenom materialet. Ett materials värmekapacitivitet (även känt som materialets specifika värmekapacitet) formuleras genom hur mycket energi (joule/J) som krävs för att få till en temperaturförändring på en grad Kelvin (K) i ett kilo (kg) av materialet. Formeln för värmekapacitiviteten skrivs som (J/kg • K). För vatten resulterar detta i en värmekapacitivitet på 4180 J/kg • K och för aluminium är motsvarande siffra 897 J/kg • K. Det krävs med andra ord mer energi för att värma upp vatten än för att värma upp aluminium. I omvänt förhållande krävs det ett större energibortfall för att sänka temperaturen på vatten än aluminium. För att få en komplett förståelse av hur material bidrar till värmeön, måste vi dock som sagt även ta hänsyn till värmekonduktivitet. Värmekonduktivitet mäter hur effektivt ett material överför värme genom ledning. Material med hög värmekonduktivitet, såsom metalliska föreningar, kan snabbt överföra värme från en plats till en annan, medan material med låg värmekonduktivitet överför värmeenergi långsamt. När vi diskuterar materials värmekapacitet handlar det om värmekapacivitetens samspel med värmekonduktiviteten. Material med hög värmekapacivitet och hög värmekonduktivitet kan lagra mycket energi men också snabbt överföra den lagrade värmen till omgivningen. Material med låg värmekonduktivitet släpper istället ifrån sig värmen under en längre tid, detta oberoende av att värmekapacitivetet är hög eller låg.

Att olika material lagrar olika mycket värme kan i staden exemplifieras genom en jämföresle mellan en stenmur och

Natursten är ett material som lagrar mycket värme dagtid. Detta kan minskas genom att skugga materialet med exempelvis klätterväxter.

ett metallräcke. Under en varm dag under sommarmånaderna upplevs ett metallräcke extremt varmt vid beröring, till skillnad från en stenmur. Däremot lagrar stenmuren under dagen en stor mängd värme (solenergi). Denna värme i form av energistrålning avges vidare under nattens timmar. Metallräcket håller däremot inte värmen lika länge som stenmuren och avger inte någon värme nattetid. Sten är alltså ett exempel på ett material som snarare lagrar solenergin istället för att omedelbart omvandla den till höga temperaturer, vilket däremot metall gör. Därför går det att konstatera att trots att metallräcket under dagen upplevs varmare, bevarar stenmaterialet värmen under en längre period. Om lövfällande klätterväxter däremot täcker stenmuren kommer muren att förbli sval eftersom den då skyddas från solstålning och därmed avger mindre värme under heta sommarmånader. På samma vis går det att reglera mängden solstrålning som muren exponeras för genom att placera den medveten om solens rörelse över dygnet och året.

För att kunna lindra värmeöeffekter är det alltså viktigt att ha olika materials värmekapacitet i åtanke. Eftersom materialets värmelagring reduceras vid en låg värmekapacitet, innebär det även att yt- och lufttemperaturerna nattetid blir lägre. Viktigt att ta hänsyn till är dock att material

som har en låg värmekapacitet istället genererar ökade yt- och lufttemperaturer under dagtid. Flera material som används i städer, så som asfalt, tegel, betong och sten har en hög värmekapacitet och lagrar därför mycket värme som sedan avges nattetid. Ju tätare ett bebyggt område är, desto högre blir värmelagringen generellt.

TILL VERKTYGSLÅDAN

Förutom reflektionsförmågan påverkar även materialens värmelagrings- och värmeledningsförmåga dess termiska beteende. För att kunna lindra negativa konsekvenser av värmeöeffekter är det viktigt att ha materialens värmekapacitet (hur mycket värme de lagrar) i åtanke vid planering av urbana miljöer. Materialets värmelagring reduceras om det har en låg värmekapacitet, vilket även innebär att yt- och lufttemperaturerna nattetid blir lägre. Material med en låg värmekapacitet genererar dock högre yt- och lufttemperaturer under dagtid. Ju tätare ett bebyggt område är, desto högre blir värmelagringen generellt.

Klimatanpassade materialval

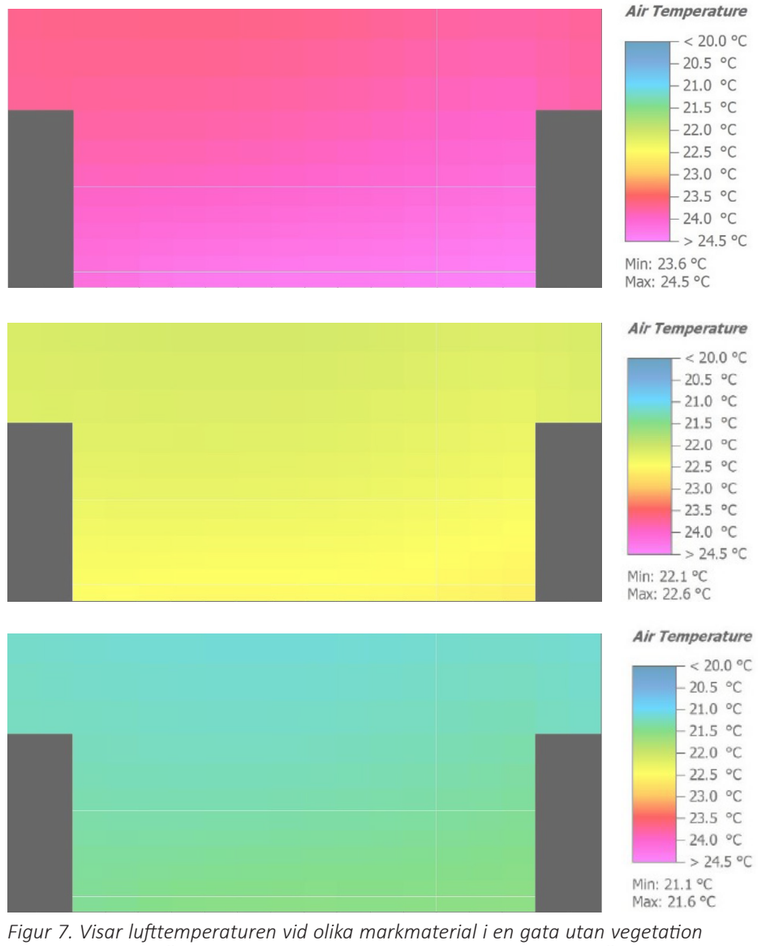
Med bakgrund i olika materials varierande reflektionsförmåga och värmekapacitet, samt hur detta påverkar värmeön, förstår vi att valet av ytmaterial spelar roll stor roll. Kalla markbeläggningar är en åtgärd som likt kalla tak som kan tillämpas för att reducera de negativa konsekvenser av värmeöeffekter. Denna typ av beläggningar genererar lägre yt-temperaturer och lagrar oftast en mindre mängd värme än vanliga traditionella markbeläggningar, som exempelvis impermeabel asfalt. Detta sker antingen genom att de kalla markbeläggningar har ett högt albedovärde, genom gynnsama termiska egenskaper eller genom att de är permeabla och således kan möjliggöra en evaportativ kylning från markfukten. Nedan följer några exempel på kalla markbeläggningar:

- Ljusa asfaltsbeläggningar: Dessa kan innan anläggning blandas ut med ett material som har ett högt albedovärde för att ljusa upp färgen på asfalten. En traditionell asfaltyta kan även efter att den har anlagts behandlas med ett uppljusande material, vilket ökar ytans reflektionsförmåga. Denna variant av kalla markbeläggningar har använts under flera årtionden på olika typer av platser, såsom motorvägar och parkeringsytor.

- Ljusa betongbeläggningar: Användbart på flera olika typer av platser, så som parkeringsytor och vägar. Värt att tänka på är att betong tenderar att mörkna något med tiden med ett sjunkande albedo som följd. Det finns även betongplattor som har ytbehandlats eller färgats för öka dess reflektionsförmåga. Jämförande studier från Japan på yttemperaturen mellan en betongmarkstensbeläggning och en asfalts yta visade att markstenen vid maximala temperaturer hade en 20°C lägre yttemperatur jämfört med asfaltytan. Denna skillnaden bedömdes främst bero på skillnaden i albedo mellan materialen.

- Dränerande markbeläggningar utan vegetation: I dessa typer av markbeläggningar finns det antingen infiltrationsöppningar i stenarna som gör dem genomsläppliga för vatten, alternativt att det är fogarna som är genomsläppliga. Vattnet kan sedan rinna vidare ner till överbyggnaden under markbeläggningen som även den görs genomsläpplig. Vattnet kan därefter antingen ledas iväg via dräneringsledningar eller utnyttjas av angränsande växtbäddar. Det är den ökade markfukten som genom evaporation kyler beläggningen och angränsande luft. Exempel på några dränerande markbeläggningar utan vegetation är; permeabel betong, dränerande asfalt, marktegel, betongplattor eller grusarmerad marksten.

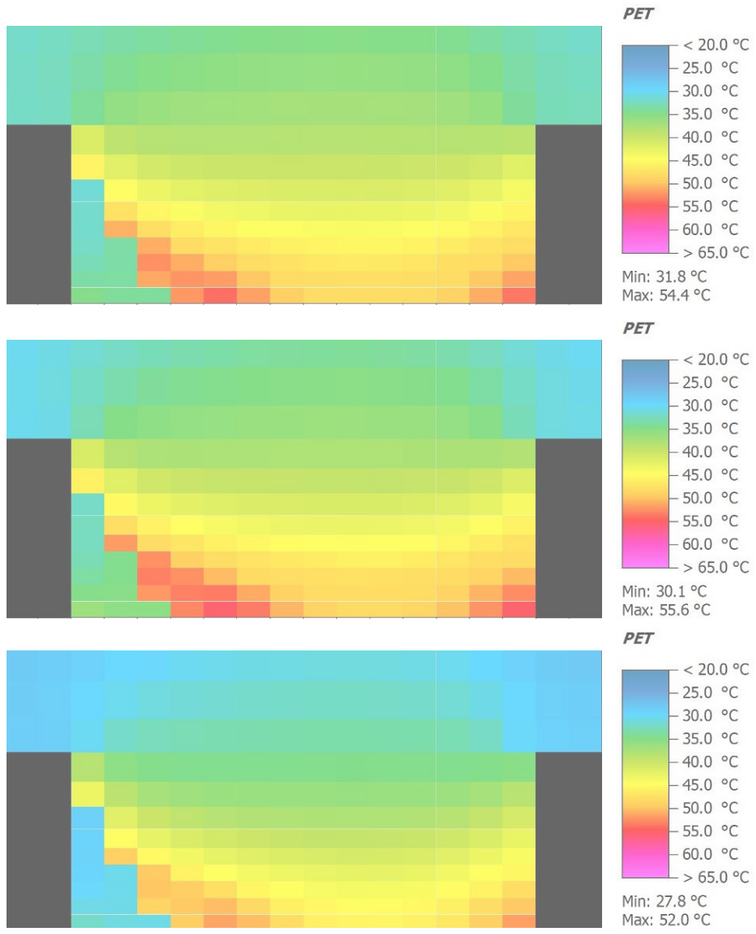
Dränerande betongmarksten med gräsfog.



Figur 7. Visar lufttemperaturen vid olika markmaterial i en gata utan vegetation en dag i juli kl 14. Överst: Asfalt. Mitten: Betongbeläggning, Nederst: Öppen jord. Publicerat med upphovspersonens tillstånd (Rosenlund 2017).

Användningsområdena för dessa permeabla markbeläggningar utan vegetation varierar beroende på vilken typ av material det är. För vissa permeabla markbeläggningar är de vanligaste användningsområdena mindre trafikerade platser som exempelvis småvägar eller parkeringsytor. Studier på skillnaden i yttemperatur mellan dränerande asfalt, permeabel marksten och traditionel tät asfalt sommartid visade att dränasfalten och markstenen var 3,9°C respektive 6,6°C svalare än den täta asfalten (Rosenlund 2017).

- Dränerande markbeläggningar med vegetation:



Figur 8. Visar den termiska komforten (PET) vid olika markmaterial i en gata utan vegetation en dag i juli kl 14. Överst: Asfalt. Mitten: Betongbeläggning, Nederst: Öppen jord. Publicerat med upphovspersonens tillstånd (Rosenlund 2017).

Metall, betong eller plast kan användas för att skapa en beläggningsstruktur med hålrum i, där det kan växa gräs (gräsarmering) eller annan grönska. Dessa typer av markbeläggningar används vanligen på platser där det är lite trafik för att undvika att vegetationen tar skada. Den kylande effekten kommer från evaporation från markfukten och transpiration från vegetationen. Genom att låta vattnet infiltrerar ner i marken uppstår det även andra positiva effekter som dagvattenhantering, bevattning av vegetation, vattenrening och grundvattenpåfyllnad.

För att förstå den kylande effekten av dränerande beläggningar är det viktigt att förstå att effekten, bortsett från materialets albedo, är direkt avhängande på hur mycket vatten som kan infiltreras ner i beläggningen. I en studie av Hans Rosenlund (2017) har datasimuleringar utförts med hjälp av simuleringsprogrammet ENVI-met, för att undersöka olika markbeläggningars (och träds) inverkan på mikroklimatet i relation till vindens påverkan, temperatur samt relativ fuktighet. Studien, som är gjord på en gata i Växjö, visade som tidigare fastslaget att de termiska egenskaperna för markbeläggningar i form av albedo, värmekapacitet och densitet hade en stor inverkan på mikroklimatet. Simuleringarna visade dock även med tydlighet att även markytans fukthalt visade sig ha stor betydelse för temperaturen. En hög fukthalt möjliggör en evaporativ kylning från markytan medan en yta med låg fukthalt har motsatt effekt. I figur 7 presenteras markbeläggningens inverkan på lufttemperaturen, vilket visar att gaturummet med den öppna jorden resulterar i ett gaturum som är 1 grad svalare än betongbeläggningen och 3 grader svalare än gatan med asfalt. Lufttemperaturen tar dock inte hänsyn till den termiska komforten eller hur gatan faktiskt upplevs. I figur 8 redovisas resultaten från motsvarande simulering men där istället markmaterialets inverkan på den termiska komforten (PET (Physiologically Equivalent Temperature)) undersöktes. PET konverterar som tidigare beskrivet den faktiska temperaturen, luftrörelse, strålning, luftfuktighet och klädsel till en motsvarande upplevelse av inomhustemperaturen. Upplevd temperatur runt 20°C anses vara acceptabelt. Vi ser i figuren nedan tydligt hur solstålningen i båda fallen har en direkt påverkan på marken i de delar som inte ligger i skugga. Det högsta PET-värdet för den dränerande beläggningen (öppen jord) är dock 3,6 °C lägre än för motsvarande siffra på betongbeläggningen. Resultatet kan förklaras genom skillnader i albedo, termiska egenskaper och evaporation. Angående evaporationen undersöktes detta ytterligare i simuleringar där skillnaden i PET mellan en uttorkad markyta och en markyta med hög fukthalt var så stor som 3,3 °C. Fukthalten är i mångt och mycket beroende av markens dränerande- och vattenhållande förmåga. Dränerande ytmaterial som släpper igenom och håller vatten bidrar till en ökad avdunstning, vilket i sin tur har en avkylande effekt. Exempel på permeabla ytmaterial är gräsarmering, kullersten och grus. På platser utan vegetation är materialvalets inverkan på mikroklimatet extra stor, vilket kan vara värt att ta i beaktning. Vidare resultat från Rosenlunds (2017) studie presenteras under kommande kapitel om vegetation.

TILL VERKTYGSLÅDAN

Insikter vi tar med oss från detta kapitel är att de termiska egenskaperna för markbeläggningar i form av albedo, värmekapacitet och densitet har en stor inverkan på mikroklimatet. Markfukten har stor betydelse för temperaturen och komforten då det påverkar den evaporativa kylningen. Vid hög fukthalt sker en evaporativ kylning medan en yta med låg fukthalt har motsatt effekt. Tillgången på dagvatten i staden behöver ses som en resurs för att säkerställa att markfukten är så god som möjligt. Hantering av dagvatten bör därför ske lokalt genom multifunktionella system och permeabla markmaterial. Genom att utnyttja simuleringsprogramvaror som ENVI-met är det möjligt att redan i gestaltningsskedet förutse hur utformningen kommer att påverka mikroklimatet.

Vegetationens funktioner

Möjligheterna att generera ekosystemtjänster genom gestaltning är stora. Om hårdgjorda ytor i staden ersätts med vegetation och träd kan det leda till en temperatursänkning, både under dagen och natten. Meteorologiska simuleringar på Los Angeles visar exempelvis att en lufttemperatursänkning på cirka 2-4°C kan uppstå ifall det skulle ske en ökning av grönska i staden. Detta styrks av Hans Rosenlund (2017) som adderar att ju högre temperatur, desto mer ökar den kylande effekten från träden, vilket beror på bladens ökade avdunstning i samband med den ökade värmen. Sett till städers utformning finns det idag potential att öka andelen grönska på många befintliga platser, till exempel på fasader och tak, vid statliga/kommunala ytor (skolgårdar, parker och torg), intill transportleder (bil-, cykel- och järnvägar) samt på privatägd mark. Områden eller ytor som har en utökad risk att bli uppvärmda är exempelvis torg, parkeringsytor, tak, fasader eller gator. Genom att anlägga växtlighet på fasader eller träd i närheten av byggnader sänks dessutom temperaturen inomhus. Detta då beskuggningen som bildas sänker byggnades yttemperatur. Vegetationen på fasaden bidrar även med evapotranspiration vilket kan reducera lufttemperaturen något. I en studie av Hans Rosenlund visade simuleringar på effekten av gröna fasader dock en temperaturökning i gaturummet, särskilt inuti grönskan och i nära anslutning. Detta kan förklaras med att grönskans ytstrukturer reducerade vindhastigheten och turbulenta luftrörelser i gaturummet, vilket i sin tur ledde till att avkylningen minskade.

Genom att kombinera vegetation i flera olika skikt, med mark-, busk- och trädskikt, stiger den kylande effekten eftersom den totala volymen vegetation blir större. I en studie undersöktes olika typer av vegetations kyleffekt i förhållande till dess vattenförbrukning (Shashua-Bar et al. 2009). De platser vars vegetation undersöktes var innergårdar och uteplatser lokaliserade i en torr och varm urban miljö. Nedan följer en sammanställning av studiens slutsatser:

- Resultatet visade att gräs kombinerat med träd som genererar skugga, var den kombinationen som gav högst avkylande effekt med upp till 2°C.

- Då avkylningseffekten från enbart ett tygnät undersöktes, vilket genererade lika mycket skugga som träden, var avkylningseffekten obefintlig. Tvärtom orsakade tygnätet en mindre lufttemperaturökning på upp till 0,9°C.

- Vid anläggning av enbart gräs visade detta på att gräsytan hade en stor förbrukning av vatten samtidigt som den avkylande effekten var relativt liten. När gräset däremot skuggades av träd eller tygnät blev vattenförbrukningen 50% lägre samtidigt som den avkylande effekten blev högre.

- En annan slutsats från studien är att både tygnät och träd, med skuggan de avger, minskar yttemperaturen markant, vilket förbättrar den termiska komforten. För att förbättra den termiska komforten ännu mer kan träden eller tygnätet placeras ovanpå en gräsyta, då detta bidrar till att markens yttemperatur minskar ytterligare.

- En sista slutsats från studien är att träd är den mest effektiva metoden för att uppnå en minskning av lufttemperaturen i förhållande till dess vattenförbrukning.

Även inomhusklimatet är möjlig att reglera med vegetation. Detta kan exempelvis uppnås genom att träd planteras som beskuggar taket och fasaden. För att den temperaturreglerande effekten av träd på inomhusklimatet ska bli så god som möjligt är stora trädkronor över takytan och fasaden att föredra. Träden bör då placeras öster, väster eller söder om byggnaden. Den exakta placeringen av träden behöver dock noga undersökas då ett felplacerat träd kan leda till att värdefull solenergi på vintern blockeras, då solen generellt står lågt på himlen, istället för att blockera solen under sommaren, då den står högt och skuggan är önskvärd. Här är det även möjligt att med kontinuerlig beskärning säkerställa en höjd på kronorna som släpper igenom den låga vintersolen med fångar upp den högt stående sommarsolen. Vidare kan buskar och klätterväxter planteras för att bidra med skugga vid solutsatta fönster, väggar och platser där träd inte får plats, eftersom de inte kräver lika mycket utrymme, varken under eller över jord. Klätterväxter kan generellt användas på platser med väldigt begränsade utrymmen och växa till sig snabbt på spaljéer eller en pergola. En pergola med lövfällande klätterväxter, som är vinklad mot söder, kan till exempel bidra med skugga under sommaren samtidigt som solljuset lyser igenom och värmer på vintern. En viktig parameter med skugga är därtill att den minskar UV-strålning som kan leda till hudcancer eller andra allvarliga hälsoeffekter.

Då lövfällande träd inte begränsar solljuset i samma utsträckning under höst, vinter och vår som de gör på sommaren, är dessa att föredra framför vintergröna träd. Det är även viktigt att tänka på hur tätt grenverk det lövfällande trädet har, då ett glesare grenverk med få grenar släpper igenom mer solljus. Exempelvis Manchurisk valnöt (Juglans mandschurica) har ett glest grenverk och släpper därför igenom mycket solljus vintertid, medan vårtbjörken (Betula pendula) har ett tätt grenverk, vilket begränsar stora mängder solljus vintertid. Det är även viktigt att ha olika trädarters bladutspring och bladfällning i åtanke. Ett sent bladutspring och en tidig bladfällning innebär att solens strålar kan lysa igenom träden och värma längre in på våren innan sommarvärmen kommer samt på sensommaren när höstkylan börjar infinna sig. Ett exempel på ett sådant här "uteserveringträd" är *Gleditsia triacanthos*.

Art	Genomsläpplighet av ljus sommar/vinter (%)	Bladutspring
Carya ovata (Skidhickory)	15-28 / 66	Sent
Catalpa speciosa (Praktkatalpa)	24-30 / 52-83	Sent
Gleditsia triacanthos (Tagglöst korstörne)	25-50 / 50-85	Sent
Liriodendron tulipifera (Tulpanträd)	10 / 69-78	Sent
Juglans nigra (Svart valnöt)	9 / 55-72	Sent
Aesculus hippocastanum (Hästkastanj)	8-27 / 73	Tidigt
Betula pendula (Vårtbjörk)	14-24 / 48-88	Tidigt
Acer platanoides (Skogslönn)	5-14 / 60-75	Medium
Acer saccharinum (Silverlönn)	10-28 / 60-87	Medium
Fagus sylvatica (Bok)	7-15 / 83	Medium
Quercus rubra (Rödek)	12-23 / 70-81	Medium
Tilia cordata (Skogslind)	7-22 / 46-70	Medium
Paulownia tomentosa (Kejsarträd)	-	Sent
Koelreuteria paniculata (Kineträd)	-	Sent
Gymnocladus dioicus (Kentuckykaffeträd)	-	Sent
Phellodendron amurense (Sibiriskt korkträd)	-	Sent
Robinia pseudoacacia (Robinia)	-	Sent
Picea pungens (Coloradogran)	13-28 / 13-28	-
Pinus strobus (Weymouthtall)	25 - 30 / 25-30	-
Bladutspring:		Lövfällande
Tidigt (mars-april), Medium (april-maj), Sent (maj-juni)		Vintergröna

Tabell 5. Exempel på olika trädarters genomsläpplighet på vinter/sommar mätt i procent, samt tid för bladutspring. För kompletterande lista om WAI/PAI se redogörelse i figur 11.

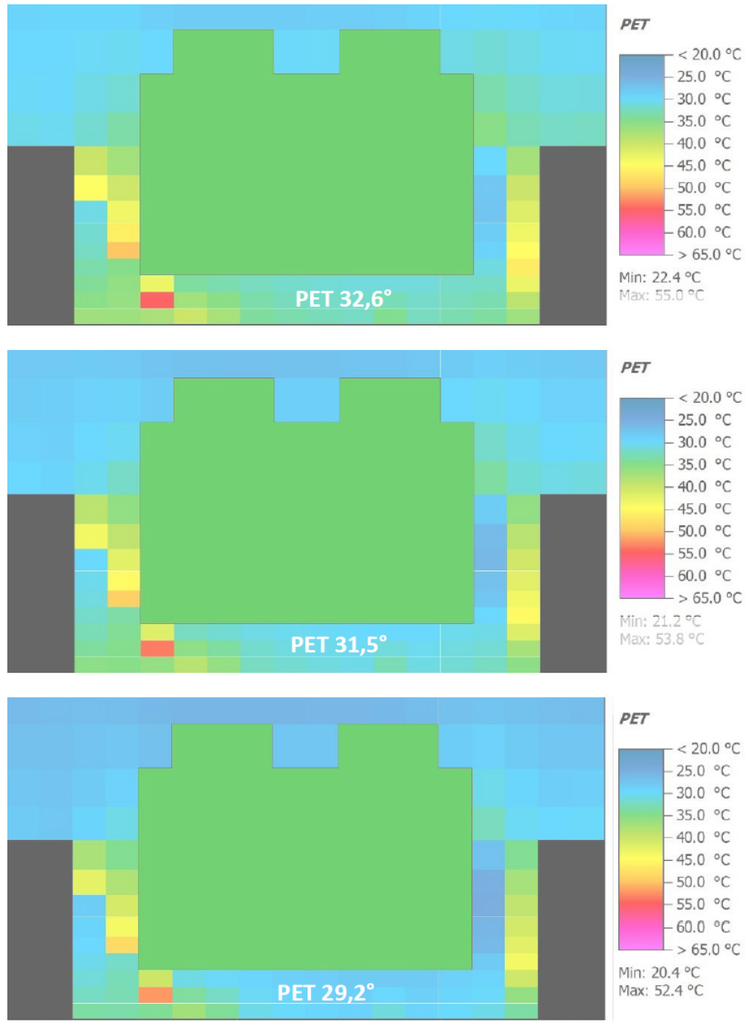
Gleditsia triacanthos, ett träd med sent bladutspring och skirt bladverk.

Gaturummet i Växjö som ligger till grund för Rosenlunds (2017) simuleringar.

Utifrån vindreducering fungerar vegetation med en genomsläpplighet på cirka 50% som ett lämpligt vindskydd. Om vegetationen skulle vara tätare än dessa 50% skapas istället turbulens i anslutning till vegetationen, vilket i sin tur innebär att vindens nedkylande effekt istället ökar. Lövfällande träd är inte lika effektiva på att reducera vind på vintern som vintergröna arter. Vintergröna arter kan planteras vinkelrätt mot vindriktningen, vilket vanligtvis är nord och nordväst om en byggnad, för att blockera kalla vintervindar. Detta kan reducera värmebehovet under kalla vintermånader.

I samma studie där Hans Rosenlund (2017) undersökte markmaterialets påverkan på mikroklimatet i ett gaturum (figur 7 & 8), studerades även trädens inverkan på mikroklimatet i samma gaturum. Studien är genomförd på ett gaturum i Växjö, med en mittenställd dubbel trädrad (se bild ovan). I två separata simulering i ENVI-met undersökte Rosenlund hur den termiska komforten (PET) i gaturummet påverkades av olika grader av markfukt (figur 9) och vid olika olika vitalitet på vegetationen (figur 10).

Tillgången på markfukt är avgörande för möjligheten till kvalitativ vegetation på en plats. Den sammanlagda avdunstningen av evaporation från marken tillsammans med transpirationen från bladen uttrycks som evapotranspiration och är tillsammans med beskuggning en viktig faktor i växtlighets möjlighet att påverka mikroklimatet. Vid en hög fukthalt sker en effektiv evapotranspirativ kylning från vegetationen och marken medan en yta med låg fukthalt har motsatt effekt. Figur 9 visar samma situation, med samma träd, men med tre olika tillgång på markfukt (låg, normal och hög). Resultatet visade att skillnaden i PET mellan extremvärdena var 3,4 °C, där den höga mark-

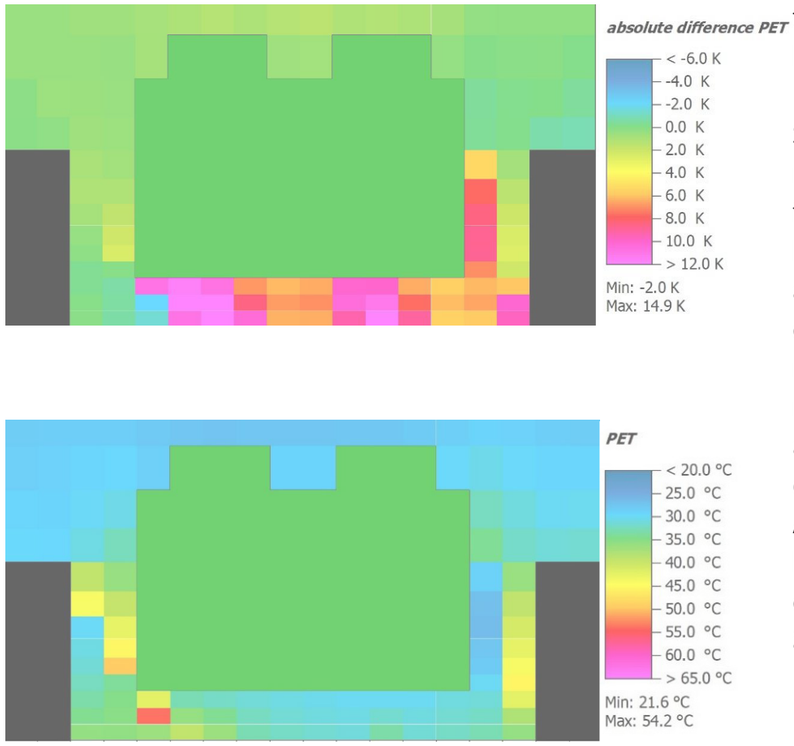


Figur 9. Visar den termiska komforten (PET) i relation till andelen markfukt i ett gaturum med öppen jord och normaltäta trädkronor en dag i juli kl 14. Överst: låg markfukt (10%) Mitten: normal markfukt (50%) Nederst: hög markfukt (90%). Publicerat med upphovspersonens tillstånd (Rosenlund 2017).

fukten genom evapotranspiration resulterade i ett svalare mikroklimat.

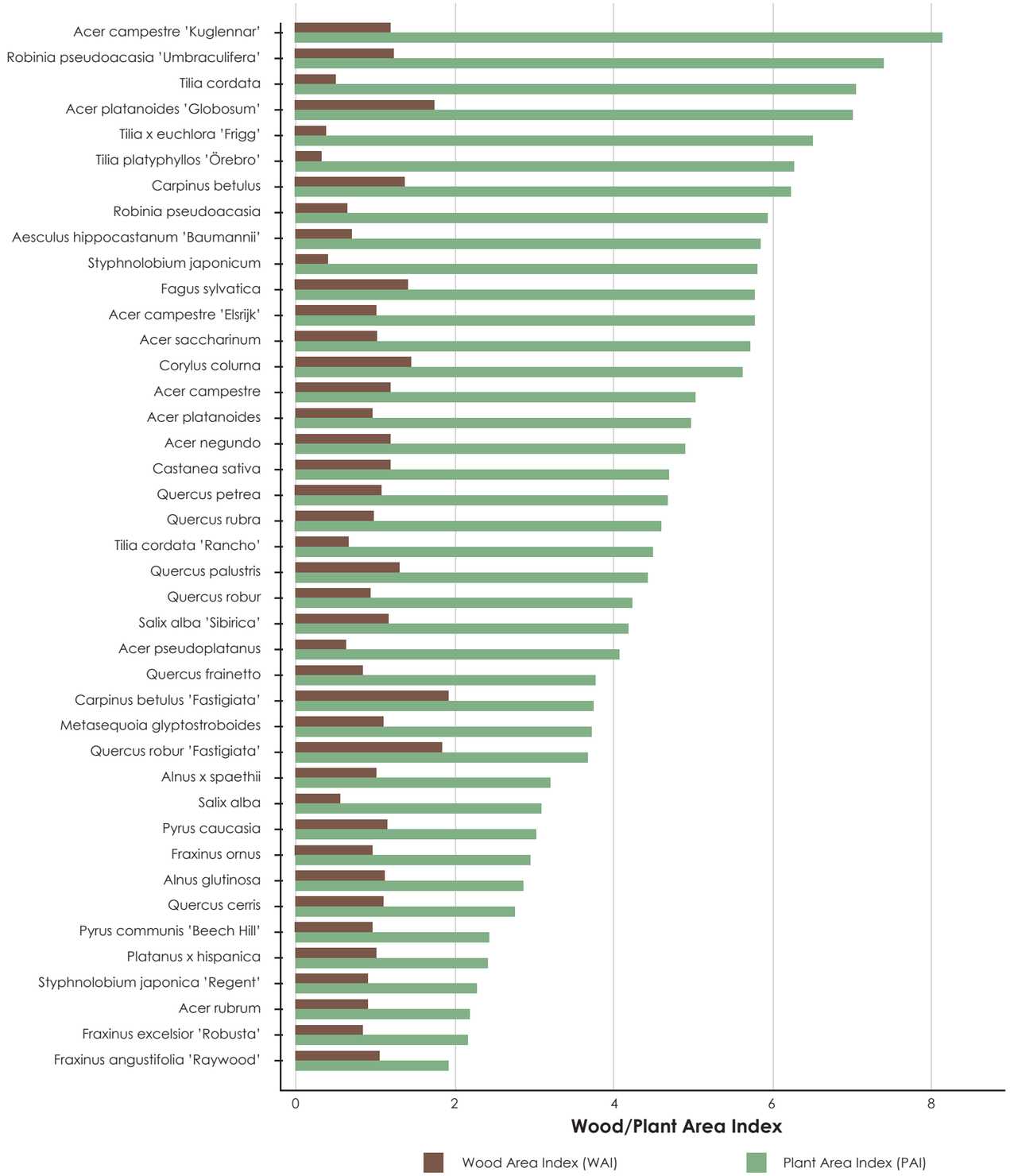
En god markfukt är även en förutsättning för träd med god vitalitet. Det finns därtill ett tydligt samband mellan ett träds vitalitet och dess förmåga att lokalt reglera temperaturen. Låg vitalitet leder till glesa träd vilket i direkt förlängning både påverkar ett träds möjlighet till evapotranspirationen och förmåga till beskuggning negativt. Genom att i samma gaturum i Växjö jämför den termiska komforten vid tre scenario med tre träd av olika vitalitet gick det att visa att den täthet i bladverk som ett träd med extra hög vitalitet har kan sänka PET-värdet med 2 °C i vistelsezonen medan samma situation med ett träd med låg vitalitet, med ett glest gren- och bladverk som släper igenom mycket solljus, hade ett PET-värde som var 15 °C högre i vistelsezonen jämfört med ett normalvitalt träd (se figur 10). Kunskapen om att skillnanden i blad- och grenverkets täthet påverkar mikroklimatet är även något vi med fördel tar med oss vid artval, eftersom olika arter har olika täta bladverk och grenuppbyggnader.

I Rosenlunds simuleringar beräknas krontäthet utifrån Leaf Area Density (LAD). Vilket beskriver hur stor den totala bladytan är per volymenhet (m^2/m^3). Ett alternativ till LAD för att ange en trädkronas täthet är att ange Plant Area Index (PAI), vilket då inkluderar både bladverket och grenverket. Motsvarande begrepp för att bara ange tätheten på grenverket i avlövat tillstånd är Wood Area Index (WAI). PAI och WAI anges som den totala ensidiga ytan av blad och/eller grenar per ytenhet mark (m^2/m^2). Eftersom både grenar och blad ligger omlott är det inte ovanligt att värdet är över 1. I figur 11 anges PAI och WAI för ett antal lövfällande arter. Datan är hämtad från en vetenskaplig artikel ämnad just för att synliggöra kunskapen om olika arters täthet för att på så vis kunna uppmuntra till ett funktionsorienterat användande av växter avseende bl.a. inverkan på mikroklimat. Studien och tillika tabellen visar bland annat att det dels finns stora variationer mellan sorter inom ett och samma släkte, vilket kan vara värt att ta i beaktning (Deak Sjöman, Sjöman & Bassuk 2021).



Figur 10. Termisk komfort (PET) i gaturummets mittsektion en dag i juli kl 14. Gaturum med träd av olika vitalitetsgrad. Mitten: Referens, normaltäta kronor, PET. Överst: Skillnad i PET för glesa kronor (låg vitalitet). Underst: Skillnad i PET för extra täta kronor (hög vitalitet). Publicerat med upphovspersonens tillstånd (Rosenlund 2017).

Simuleringar likt figur 9 och 10 bekräftar sammanfattningsvis gång på gång att markfukten är en förutsättning för såväl den evaporativa kylningen, som för trädens vitalitet och möjlighet till transpiration. Detta är en anledning att ta till vara på och utnyttja vattnet i urbana miljöer som en resurs. Genom att kombinera permeabla markbeläggningar tillsammans med växtbäddar som har kapacitet att magasinera och lokalt omhänderta dagvatten så går det att säkerställa en så hög markfukt som möjligt vilket bäddar för god evapotranspiration och välmående grönska. Även gräsbevuxna ytor samt buskar har visat sig påverka komforten direkt i anslutning till vistelsezonen genom evapotranspiration, till skillnad mot trädkronor som oftast är belägna högre upp.



Figur 11. Sammanställning av olika lövfällande trädarters krontäthet i både lövat och avlövat tillstånd. Sammanställt efter information från Plant and Wood Area Index of Solitary Trees för Urban Contexts in Nordic Cities (Sjöman Deak, Sjöman, Bassuk 2021).

Gröna tak

Gröna tak bidrar till att reducera värmeöeffekter genom evapotranspiration och skugga till underliggande ytor, vilket minskar yttemperaturen och den omgivande lufttemperaturen. En studie av Rosenlund visar dock att gröna tak (i simuleringen med 10 cm högt gräs) bidrar med en nedkylande effekt på taknivå och inte i vistelsezonen på gatunivå.

Genom att skugga taken reduceras solinstrålningen vilket kan minska värmeöverföringen genom taket med närmare 100%. Vintertid när växterna är vilande och det inte sker någon evapotranspiration kan gröna tak bidra med isolering och hindra att värdefull värme lämnar byggnaden. Fukthalten i jorden avgör isoleringsförmågan; ju högre fukthalt desto sämre isolering. Vidare kan värmeförluster förhindras tack vare växternas variation i höjd och ytstruktur vilket reducerar kalla vintervindar. Under sommaren har gröna tak en lägre yttemperatur än vanliga tak och kan installeras på nästan alla typer av byggnader, både befintliga och nybyggda.

Det finns två typer av gröna tak; extensiva och intensiva. Extensiva gröna tak består vanligtvis av lågväxande succulenter på ett substratdjup på ca 5 cm, exempel på ett sådant är sedumtak. Intensiva gröna tak är mer komplexa och kan ha parkkaraktär innehållande buskar, träd och perenner med större rotsystem då substratdjupet är mer omfattande, vanligtvis minst 30 cm. Huruvida det är ett intensivt eller extensivt tak har dock ingenting med substratdjupet att göra, utan beror på behovet av skötsel. Extensiva- och intensiva gröna tak definieras baserat på skötsel och utseende, inte av tjockleken på växtbädden. Exempelvis kan ett grönt tak med substratdjup på 20 cm definieras som intensivt om det anlagts som en designad perennplantering och extensivt om det anlagts som en lättskött ängsyta. Med ett stigande substratdjup ökar generellt valmöjligheterna av vegetation. Gröna tak

med trädgård- eller parkkaraktär med större träd behöver ett substratdjup på minst 1000 mm. Extensiva gröna tak kräver skötselinsatser en till ett par gånger per år medan intensiva gröna tak kan kräva omfattande skötselinsatser ett flertal gånger per år för att upprätthålla önskad gestaltning, funktion och artsammansättning.

Ur temperaturreducerande hänseende är vegetation med hög vattenanvändning önsvärd att använda då det bidrar med ökad evapotranspiration som kan sänka temperaturen i urban miljö. Problemet är att dessa växter ofta har svårt att tolerera de torra förhållanden som ofta råder på tak varpå torktoleranta suckulenter istället motiveras. För hög avdunstning är generellt blandade planteringar med en rik artvariation effektiva. Det finns olika typer av vegetationssystem på tak; sedum, sedum-ört, äng, biotop, odlingsbäddar, blågröna och tak med trädgårds- eller parkkaraktär.

Grönt tak med ängsvegetation på cykeltak.

I en studie från Chicago mättes och jämfördes yt- och lufttemperaturen mellan ett svart tjärtak och ett grönt tak (Scholz-Barth & Tanner 2004). Det gröna taket bestod av varierande substratdjup med extensiva lager på 7-10 cm och semi-intensiva lager med ett substratdjup på 20-25 cm. I de djupare delarna av taket stod totalt två träd. Den omgivande lufttemperaturen och yttemperaturen på taknivå mättes i augusti 2001 och nedan följer en tabell över de uppmätta temperaturerna:

	Grönt tak	**Svart tjärtak**	**Total differens**
Yttemperatur (°C)	32,7 - 48,3	76	27,7 - 43,3
Lufttemperatur (°C)	41,6	45,5	3,9

En ytterligare effekt var en minskning av värmeflödet från byggnaden, då snön var kvar under en längre period på det gröna taket jämfört med omgivande byggnader med vanliga tak.

I resultatet av en annan studie redogörs effekterna om 50% av byggnadstaken ersätts med gröna tak, i Toronto (Kanada) (Liu & Bass 2005). Studien, som genomfördes med hjälp av datorsimuleringar, visade att temperaturerna kunde reduceras mellan 0,1°C till 0,8°C över hela staden. Om dessa tak även bevattnas reducerades temperaturerna (5 m över markytan) med ytterligare 2°C och bidrog med en reducering på 1°C över ett ännu större geografiskt område. Således konstaterades det att fukt för evapotranspiration har en väsentlig betydelse för att reducera värmeöeffekter. Även en annan studie, även den genomförd med datorsimuleringar, visade att gröna tak kan lindra värmeöeffekter, dock inte lika effektivt som annan grön infrastruktur (träd och gröna korridorer). Simuleringarna visade att gröna tak kunde bidra med en temperatursänkning på 2°C (upp till 4,5 m från marken) för ett industriområde. För ett bostadsområde blev temperatursänkningen endast 0,5°C (upp till 4,5 m från marken) då området redan hade mycket träd och vegetation (Bass et al. 2003).

Tredimensionella klätterväxter

En återkommande utmaning för storskalig vegetation som träd i staden är det begränsade utrymmet både över och under mark, vilket beskrivs mer ingående under avsnitt Staden som ståndort. Ovan mark konkurrerar trädkronorna om utrymme med fasader, lyktstolpar och frihöjder och under mark trängs trädets rötter med ledningar och rör. Resultatet riskerar bli att de skuggivande träden får en hämmad tillväxt eller väljs bort. För att säkerställa skugga och andra ekosystemtjänster associerade med träd i staden på platser där inte träd bedöms få plats är det möjligt att utnyttja platseffektiva klätterväxter - ett vegetationskoncept kallat tredimensionella klätterväxter.

Exempel på hur klätterväxter kan utnyttjas för att kunna bidra med skugga och evaportranspiration på platser där utrymmet är begränsat.

Genom att ett fristående och för ändamålet gestaltat klätterstöd går det att med klätterväxter skapa volymbildande vegetation som kan skräddarsys efter gaturummets rumsliga förutsättningar.

Jämförande studier mellan fördelningen av biomassa hos klätterväxter och träd visar att vid en likvärdig bladmassa har klätterväxter endast ett hälften så stort rotsystem som trädet. Detta mindre rotsystem talar för användandet av klätterväxter på platser där utrymmet under mark är begränsat. Det förhållandevis mindre rotsystem möjliggörs bland annat av att rötterna hos klätterväxter inte behöver ha några förankrande egenskaper, vilket träd behöver, eftersom klätterväxter i stället förlitar sig på externt stöd för att kunna växa upprätt. Av samma anledning behöver inte klätterväxter investera energi i omfattande vedbildning, utan växtgruppen präglas i stället av de karaktäristiskt smala och rankande stammarna. Detta gör att klätterväxter i stället i regel kan investera mer energi i blad- och höjdtillväxt. Resultatet blir en snabbvuxen grönska, vilket kan vara relevant på platser där behovet av exempelvis omgående skugga är stor.

Värt att tänka på när det kommer till att använda klätterväxter i staden är att de i regel har sitt naturliga ursprung i skogssystem med en god tillgång på markfukt. Klätterväxter är därför i regel dåligt rustade för de torra förhållande som kan uppstå i en stad där det råder vattenobalans. Det är därför viktigt att klätterväxterna får goda förutsättningar genom en bra växtbädd. En sådan växtbädd kan exempelvis innefatta att dagvatten från anslutande ytor tas till vara på och leds ner i växtbädden eller att växtbäddens vattenhållande förmåga ökas med exempelvis organiskt material, pimpsten och/eller biokol.

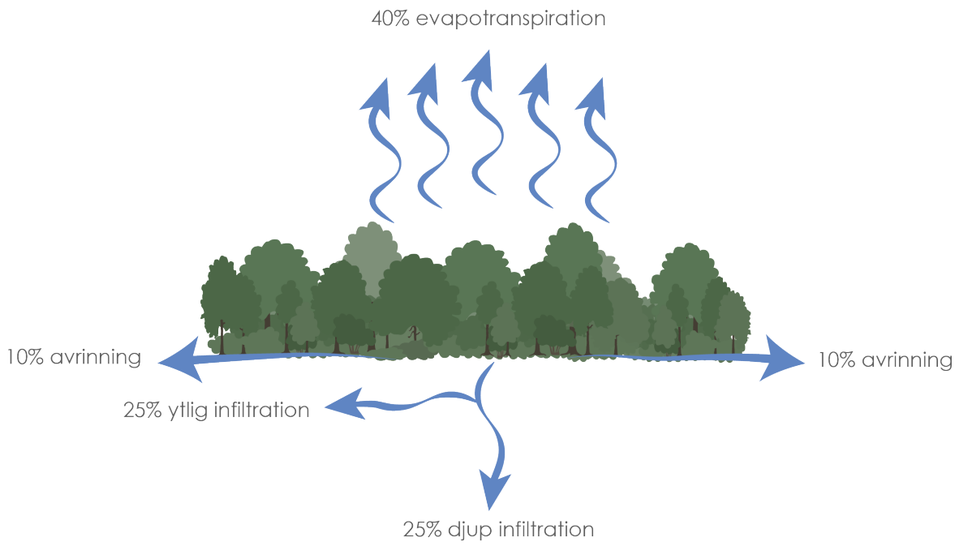
TILL VERKTYGSLÅDAN

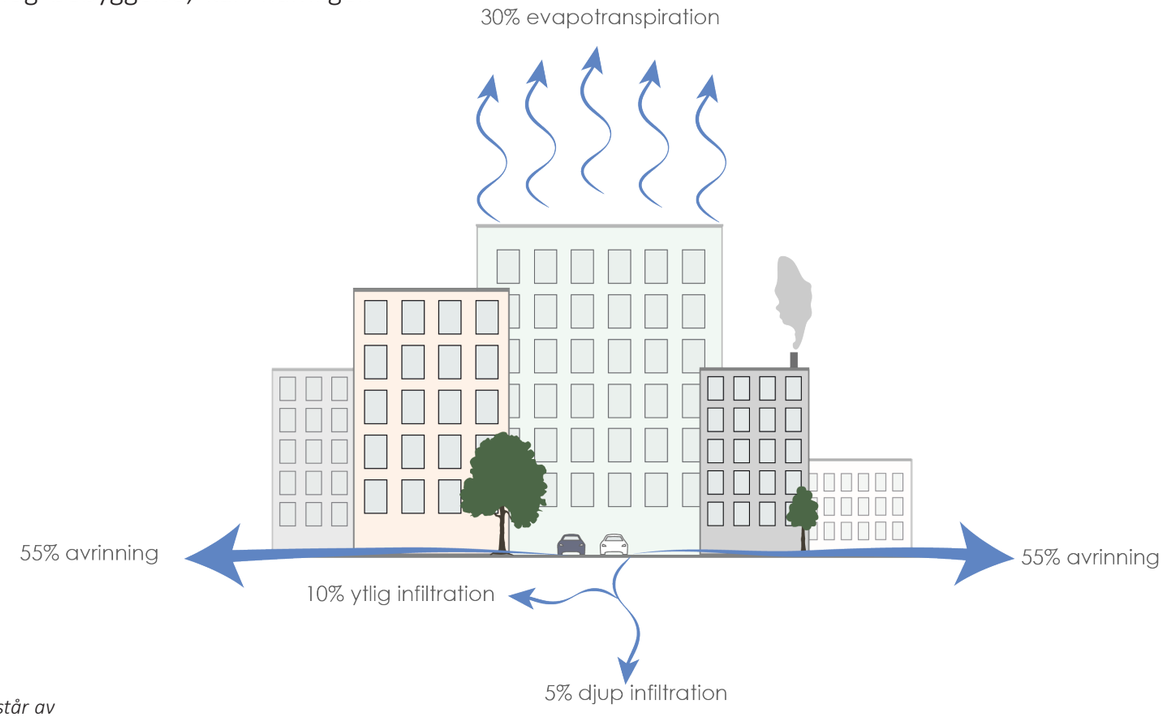
Insikter vi tar med oss från detta kapitel är att om hårdgjorda ytor ersätts med grönska kan det leda till en temperatursänkning, både under dagen och natten. Placeringen av träden behöver noga undersökas då det kan leda till att värdefull solenergi på vintern blockeras, istället för att blockera solljuset under sommaren. Vegetationens genomsläpplighet samt om den är vintergrön eller lövfällande är relevant för dess skuggverkan och vindreducerande förmåga. Gröna fasader kan reducera temperaturen inomhus genom beskuggning samt utomhus genom evapotranspiration, men kan även leda till en temperaturökning i gaturummet då grönskans ytstrukturer reducerar vindhastigheten, vilket leder till att avkylningen minskar.
Markfukt har stor betydelse för temperaturen och komforten då det påverkar den evaporativa kylningen från marken och den transpirativa kylningen från bladen. Tillgången på dagvatten i staden behöver ses som en resurs för att säkerställa att markfukten är så god som möjligt. Hantering av dagvatten bör därför ske lokalt genom multifunktionella system där permeabla markmaterial kombineras med magasinerande växtbäddar. Gröna tak reducerar värmeöeffekter med hjälp av evapotranspiration och skugga till underliggande ytor, vilket minskar yttemperaturen och den omgivande lufttemperaturen. Vidare absorberar gröna tak CO_2 och föroreningar, fördröjer och filtrerar dagvatten, reducerar buller, agerar habitat åt djur och insekter samt bidrar med estetiska värden och rekreation. Den nedkylande effekten sker dock främst på taknivå. Sommartid kan värmeöverföringen in genom taket minska och vintertid kan gröna tak bidra med isolering. Fukthalten i jorden avgör isoleringsförmågan, ju högre fukthalt desto sämre isolering. Växternas variation i höjd och ytstruktur reducerar kalla vintervindar. Under sommaren har gröna tak en lägre yttemperatur än vanliga tak.

Staden som ståndort

Volymbildande vegetation som träd är som tidigare nämnt en effektiv källa till exempelvis svalkande skugga. För att träden ska ha möjlighet att genererar skugga krävs det dock att de har förutsättningar att växa sig stora. Stadsträdens förutsättningar har i en omfattande utsträckning förändrats sedan 1900-talets mitt och framåt. Det finns flera faktorer som bidrog till bättre förutsättningar för träden i staden innan mitten av 1900-talet. Bland annat fanns det betydligt mer utrymme under mark, då den nuvarande underjordiska infrastrukturen i form av exempelvis ledningar inte existerade i samma stora utsträckning förr. Detta bidrog i sin tur till att det fanns mer utrymme för trädens rötter. Idag är det vanligt att vatten leds bort och ner i ledningar, då städerna till stor del består av hårdgjorda impermeabla material. Innan 1900-talets mitt leddes däremot inte vattnet bort i samma utsträckning som idag. Det fanns även en helt annan tillgång till näring, då djuren som drog vagnar gav ifrån sig gödsel som sedan spreds ut i staden och ner till rötterna.

Förutsättningarna för ett träd i staden idag ser med andra ord annorlunda ut jämfört med förutsättningarna för ett träd i naturen. I stadsmiljön är tillgången på näring och vatten oftast betydligt mer begränsad eller mer ojämn. Dessutom innebär alla hårdgjorda material i staden att högre temperaturer uppstår, jämfört med i naturen. Begränsat rotutrymme, hårt packad mark i trädets närhet och skadegörelse är ytterligare tre aspekter som beskriver staden som växtmiljö. Att tala om staden som en enda ståndort är dock inte helt korrekt då det finns stora svårigheter i att fastställa en enda ståndort som representerar staden, då förutsättningarna kan vara väldigt varierande på olika delar inom ett mindre område. Till exempel kan två helt olika ståndortsförhållanden uppstå på varsin sida om en och samma gata. Vid en gata placerad i ett visst väderstreck, omgiven av hög bebyggelse, kan nämligen två helt olika mikroklimat skapas på varsin sida om gatan. Mikroklimatet påverkar i sin tur växtmiljöns förutsättningar och även om alla träd längs med gatan skulle bestå av samma art, kan det uppstå en stor skillnad mellan trädens utveckling beroende på vilken sida av gatan träden står på. Det är även exempelvis en stor skillnad på trädens förutsättningar i en frisk och frodig parkmiljö jämfört med längs en blåsig och torr gata, en omgärdad varm innergård eller en torgyta. Skulle den omgärdade varma innergården eller torget dessutom vara placerade ovanpå betongbjälklag med en begränsad jordvolym, uppstår det ytterligare variationer av ståndortsförhållanden inom staden. Trots variationer i ståndortsförhållanden i staden så kan de utmaningar för vegetationen som ofta är en gemensam nämnare inom staden sammanfattas i en studie, där tillväxten på urbana trädbestånd undersöktes. Resultatet visade att stadsträd till följd av förhållandena i staden endast kan förväntas uppnå en storlek som uppgår till 75% av den maximala storleken.





Figur 12. En jämförelse av infiltration, avrinning och evapotranspiration mellan tätbebyggda urbana miljöer, som till stor del består av impermeabla material och ett permeabelt grönområde. Baserad på information från EPA (2008d).

Örjan Stål (2001) beskriver hur det finns vissa motstridigheter med att använda sig av begreppet stadsträd när det talas om träd i urban miljö. Oavsett om ett träd står i en gatumiljö eller i naturmark så är ett träd fortfarande ett träd. Alla träd kräver samma förutsättningar för att ha möjlighet att leva och utvecklas oavsett vilken miljö de växer. Vidare menar Stål att detta är något som ofta glöms bort när det planeras för träd i staden och att fokuset främst ligger på de estetiska kvaliteter som de utvalda träden utgör. Markens förutsättningar tas det däremot inte hänsyn till i lika stor utsträckning. Städer är inte en naturlig miljö för träd att växa i. Det är vanligt att träd placerade i urbana miljöer tar skada av de ofta ofördelaktiga växtförhållandena. En annan bidragande faktor till att träd i urbana miljöer idag ofta mår dåligt kan vara bristande underhåll- och/eller etableringsskötsel samt felaktigheter vid plantering. Följande problem kan drabba träd i stadsmiljö:

- Syrebrist: För att träden ska må bra är tillgången till marksyre en av de mest avgörande aspekterna, då det annars kan leda till koldioxidförgiftning. Impermeabla markbeläggningar kan leda till syrebrist och kompaktering, vilket kan resultera i att utrymmet för luft och vatten att transportera sig försvinner.

- Näringsbrist: Städer består till stor del av hårdgjorda impermeabla material snarare än öppna permeabla- eller vegetationsklädda ytor. De impermeabla ytorna förhindrar organiskt material från att ta sig ner i jorden, vilket leder till brist på näring för växterna.

- Utrymmesbrist: I urbana miljöer finns det ofta begränsat utrymme för träden under mark. För att trädens rötter ska kunna utvecklas behövs det ett väl tilltaget utrymme.

- Vattenbrist: Stadens hårdgjorda impermeabla ytor är ett problem även när det kommer till vattenbrist. Dagvattnet kan inte infiltreras ner i marken genom de täta materialen utan istället leds regnvatten ofta bort i dagvattensystem. Detta leder i sin tur till att träden i staden ofta inte får tillräckligt med vatten och att grundvattennivån sänks. Figur 8 visar en jämförelse mellan bebyggd- och obebyggd mark när det kommer till infiltration, evaporation och avrinning.

- Konflikt mellan ledningar och träd: Längs med gator där träd står uppstår ofta problem i form av att rötter tränger in i ledningar där det kan finnas syre och vatten. Vid schaktning och reparationer av ledningar kan detta orsaka både omedelbara fysiska skador på rötterna samt kompaktering av jorden.

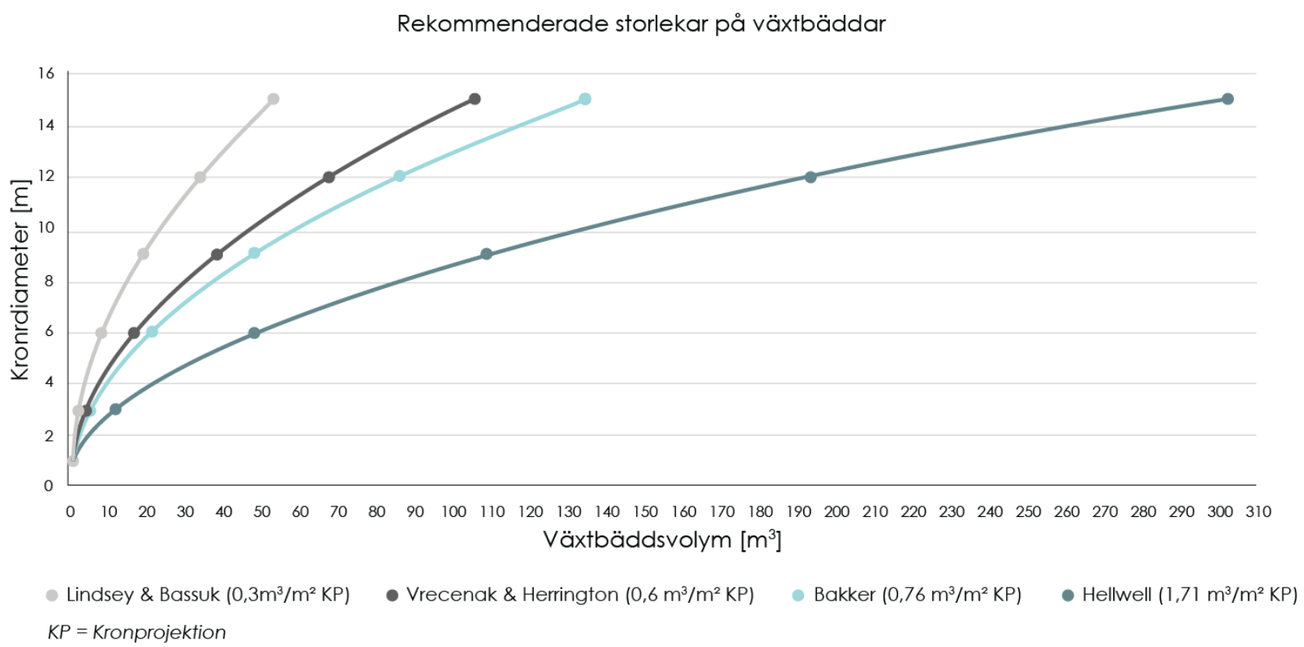
- Fysiska skador: Träd som står längs trafikerade gator kan utsättas för både fysiska skador och jordkompaktering, då ytan precis intill träden ofta används som antingen uppställningsplats eller köryta.

- Saltskador: På vintern när gatorna i staden halkbekämpas innebär detta att många träd utsätts för höga koncentrationer av salt. Det är relativt vanligt att saltet når trädens växtbäddar när snön och isen smälter. Salt har en indirekt effekt på vegetationen genom att aggregatstrukturen i jorden kan förstöras vilket begränsar syretillförseln i marken.

- Beskärningsskador: I stadsmiljön är det vanligt att felaktig beskärning av träd leder till beskärningsskador, då exempelvis stora beskärningssnitt på huvudstam kan leda till allvarliga skador.

Samtidigt som det finns många utmaningar för träd i staden finns det samtidigt vissa ovanjordiska förutsättningarna som faktiskt gör staden till en lämplig och gynnsam miljö för vegetation. Exempelvis kan det faktum att staden

Figur 13. En jämförelse av några författares rekommenderade växtbäddsvolym (m^3) i förhållande till förväntad krondiameter (m).



Figur 14. Möjligheten att med multifunktionella BGG-system förbättra rotutrymme och tillgången på växttillgängligt vatten. Illustrationen visar ett sammanhängnade stråk (blått) av öppet förstärkningslager där vatten kan magasinera och rötter växa ut i håligheterna bildade av att exkludera de minsta fraktionerna i förstärkningslagret. Illustrationen visar möjligheten att möblera överytan på stråket med parkeringar, vägar och vegetationsytor, och genom brunnar, dränerande beläggning och inlopp leds dagvatten ner i systemet. Det är samspelet mellan vattnet (det blå), vegetationen (det gröna) och de hårdgjorda ytorna (det grå) som har givit systemet dess namn.

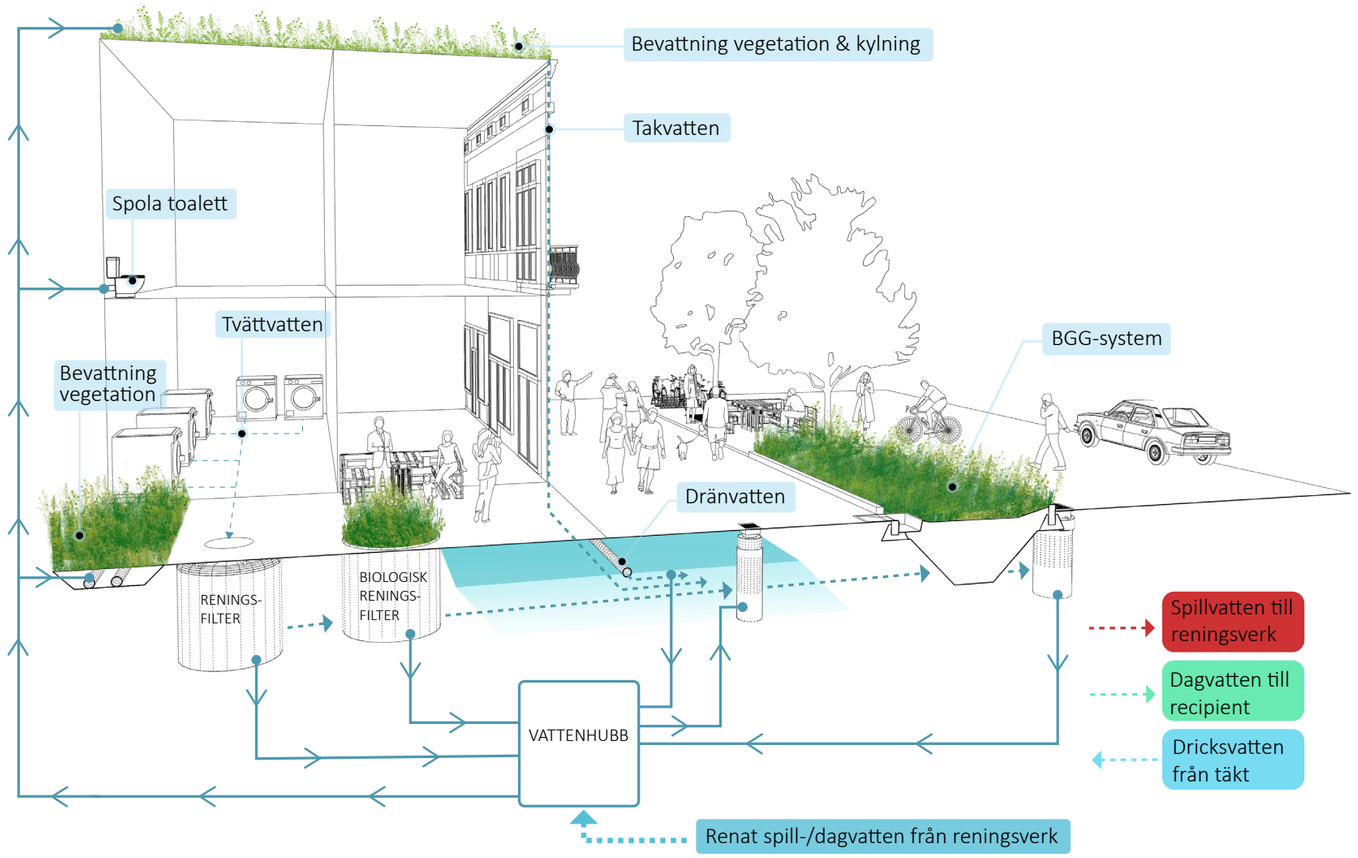
är varmare än omgivande landsbygd bidra till att staden blir 1-2 växtzoner varmare och därmed uppstår en mer gynnsam miljö för vegetation och en bredare palett av växter som blir tillgänlig för användning. Varmare temperaturer ökar även växtrötternas tillväxt.

Under värmeböljan sommaren 2018 var det dock många stadsträd som påverkades negativt av värmen. Torkan som uppstod till följd av värmen ledde till att bladen på exempelvis björkar (Betula ssp.) och lindar (Tilia ssp.) började bli gula redan i juni. De träd som drabbades hårdast av vattenbristen, till följd av de höga temperaturerna, var träden i de urbana miljöerna. Björkar är exempelvis inte toleranta mot torka och visar snabbt tydliga tecken på vattenbrist. Som en strategi för att kunna överleva till nästa växtsäsong minimerar björken vattenförbrukningen genom att fälla sina blad. När trädet släpper sina blad uppstår det däremot negativa konsekvenser i form av att fotosyntesen uteblir under flera månader, vilket innebär att trädet försvagas inför nästa växtsäsong. Viktiga träd i staden kan då gå förlorade vid extrema perioder av torka som den vi upplevde 2018. Om dessa stadsträd går förlorade uppstår dessutom en ond spiral där städerna blir ännu varmare till följd av att träden, med dess avkylande effekt, dör. Det är därför viktigt att vi använder torktoleranta trädarter i våra urbana miljöer. Genom att göra detta säkerställer vi att det finns arter som förblir gröna och välmående i våra städer, trots värme likt sommaren 2018. Att välja torktåliga arter är därtill extra viktigt på platser där tillgången på vatten kan vara ytterligare begränsad, som vid hårdgjorda ytor, gator och torg. Arter som trivs i stadens varierande ståndorter bidrar i större utsträckning med skugga och kylande effekter. För exempel på torktoleranta arter, se tabell 7. Utöver att välja lämpliga arter för stadens torra klimat är även diversiteten av arter viktigt för att undvika skadedjursangrepp och sjukdomar.

Förutom vikten av att välja arter som kan tolerera stadens utmanande ståndortsegenskaper, är det samtidigt lika viktigt att göra möjliga anpassningar för att säkerställa att träden får så goda förutsättningar som möjligt. Detta innefattar att ta vara på dagvattnet i staden och göra det växttillgängligt, i stället för att ytledes leda bort det till slutna dagvattenledningar. Genom implementeringen av multifunktionella BGG-system är det möjligt att förbättra

växtbäddsegenskaperna avsevärt. Grundprincipen för BGG-system är att det konventionella förstärkningslagret byts ut mot en variant med mycket högre hålrumsvolym som gör att luft, vatten och växtrötter kan få plats, men utan att markens bärighet försämras. Genom att dagvatten leds till det öppna förstärkningslagret via brunnar, dränerande beläggningar eller ytledes genom planteringsytor ökar vi det växttillgängliga vattnet avsevärt samtidigt som vi får ett system som har möjlighet att magasinera dagvatten (se figur 14).

Synsättet att det går att se vattnet i staden som en resurs går även att ta vidare och utveckla ytterligare. Vi behöver nämligen inte begränsa oss till att enbart utnyttja regnvattnet som faller på marken för att bevattna vegetationen utan det finns även andra vattenkällor som vi med fördel kan använda för att på så vis säkra upp vattentillgången för vegetationen under långa torkperiodersamtidigt som vi får ett mer cirkulärt och tillvaratagande synsätt på vatten. Ett relativt okomplicerat sätt att börja nyttja Stadsvatten är att leda dag-, tak- och dränvatten till ett närbeläget BGG-system. Ett annat exempel på detta är att ta vara på det vatten som genereras från hushåll i form av gråvatten (bad-och tvättvatten) och efter adekvata lokala reningsprocesser göra detta vatten växttillgängligt (se figur 15). För att läsa mer om möjligheten att optimera växternas förutsättningar och att ta vara på stadsvattnet som en resurs hänvisar vi till *"Levande stadsrum - en handbok i Blågröngrå system".*



Figur 15. Användning av tak-, dag- och dränvatten för bevattning av BGG-system och kylning av stadsmiljön.

Trädens vattenbehov

Lindsey & Bassuk (1992) har tagit fram en formel som ofta används för att beräkna ett träds vattenförbrukning. Genom att beräkna relationen mellan trädets kronprojektion (KP) och bladareaindex (LAI (leaf area index)) samt med information om den potentiella avdunstningen kan trädets dagliga vattenförbrukning (DVF) uppskattas. Kronprojektionen avser area under trädets dropplinje och beräknas oftast som arean för en cirkel. LAI är en beskrivning av hur stor den samlade bladarean för ett specifikt träd är i relation till arean av trädkronan.

Exempelvis säger ett LAI på 3 att det för varje kvadratmeter kronarea finns 3 kvadratmeter bladarea. Indexet varierar mellan 1 och 12 men ett värde på 4 kan ses som ett relevant maximum då värden över detta höjer trädkronans interna luftfuktighet som i sin tur motverkar ytterligare avdunstningshöjning. För pelarformiga träd är dock en höjning till 5–6 relevant på grund av trädkronans utformning. Anläggs vegetationsytan med undervegetation i form av marktäckare och lägre buskar bör LAI kompenseras för detta och justeras upp till 5.

Avdunstningsfaktorn, k, tar i beaktning den verkliga avdunstningen i relation till den potentiella avdunstningen (PE) från en vattenyta. De fastställde under optimala transpirationsförutsättningar denna faktor till 0,3.
De påpekar samtidigt att den verkliga avdunstningen minskar med ökad storlek på trädkronan och redan för trädkronor > 1,2 m2 så är avdunstningsfaktorn nere på 20% av den verkliga avdunstningen. Den beräknas kunna minska ytterligare för ännu större träd då den interna lövskuggningen ökar.

Ekvation för ett träds dagliga vattenförbrukning

$$DVF = KP \cdot LAI \cdot PE \cdot k$$

Lindsey & Bassuk har även tagit fram ett sätt att beräkna en adekvat växtbäddsvolym genom att fokusera på trädens vattenbehov. Trädens dagliga vattenförbrukning beräknas enligt föregående ekvation.

Det krävs minst ca 2,5 mm nederbörd innan interceptionslagret är fullt och att växtbädden ska kunna börja tillgodogöra sig nederbörden och återfylla jordens porer med vatten. Beräkningsmetoden kräver kunskap om den mängd växttillgängligt vatten (VTV) som substratet kan hålla, nederbördsfrekvensen (NF), dvs. det intervallet mellan en given nederbördsmängd, samt den dagliga vattenförbrukningen (DVF).

Metoden är välbeprövad och går att anpassa till det klimat som råder där växtbädden planeras. Några svagheter i beräkningen är antagandet om att växtbädden kommer återfyllas helt av enbart nederbörd vid ett givet intervall, vilket inte alltid är fallet, samt användandet av medelvärde på evapotranspiration.

Ekvation för ett träds växtbäddsvolym utifrån vattenbehov

Växtbäddsvolym = DVF ·NF / VTV

DeGaetano (2000) har utvecklat en metod för att beräkna hur stor växtbäddsvolym ett träd behöver för att inte utsättas för vattenbrist under en given återkomstperiod. Han utvecklade Lindsey & Bassuks beräkning och genomförde i sin studie, simuleringar med klimatdata för att se hur ofta träd utsätts för vattenbrist under en viss tidsperiod. I den nya modellen har de tagits hänsyn till att trädens dagliga vattenförbrukning avtar med minskad markfuktighet och därför lagt till en justeringsfaktor till ekvationen för ett träds växtbäddsvolym utifrån vattenbehov

Justeringsfaktor beror av det växttillgängliga vattnet som återfinns i jorden, varje enskild dag. I metoden ansätts 10% av det växttillgängliga vattnet som gräns för då marken anses så uttorkad att det skadar trädet, men träden kan ta skada innan denna gräns.

En växtbädd som klarar 12 dagar utan vattentillskott, torkar ut fem gånger under en 10-årsperiod, vilket då motsvarar en återkomstperiod på 2 år. I studien undersöktes även vilken volym växtbädden behöver ha för att den endast ska torka ut en gång under en given tidsperiod, resultatet kan ses i tabell 6. Resultaten visar att en kvot mellan volymen växtbädd och trädets kronprojektion på ungefär 0,2 m3/m2, resulterar i att växtbädden kommer torka ut i genomsnitt vartannat år. Men bara genom att öka denna kvot till ungefär 0,33m3/m2 så ökas återkomstperioden till 50 år.

Krondiameter [m]	Volym för given återkomstperiod [m³]				
	2 år	5 år	10 år	25 år	50 år
2	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8
4	2,5	3,1	3,6	3,9	4,2
6	5,4	7,1	8,1	8,8	9,3
8	9,6	12,5	14,1	15,6	16,5

Tabell 6. Växtbäddsvolymer i m3 förolika stora träd för given återkomstperiod då växtbädden torkar ut utan bevattning. De redovisade värdena i tabellen är resultat hämtade ifrån DeGaetano (2000)

TILL VERKTYGSLÅDAN

Insikter vi tar med oss från detta kapitel är att det är viktigt att tänka på att den urbana miljön inte är en enda homogen växtplats ur ett ståndortsperspektiv. Det är exempelvis en stor skillnad på trädens förutsättningar i en frisk och frodig parkmiljö jämfört med längs en blåsig och torr gata, en omgärdad varm innergård eller en torgyta. Vid val av träd i urbana miljöer är det viktigt att tänka på de problem som stadsmiljön kan innebära (t.ex vattenbrist & näringsbrist). Dock kan det faktum att staden är varmare än omgivande landsbygd bidra till att staden blir 1-2 växtzoner varmare och att det därmed kan uppstå en mer gynnsam miljö för viss vegetation. Under värmeböljan sommaren 2018 var det däremot många inhemska stadsträd som påverkades negativt av värmen. En insikt är därför att det behövs mer torktoleranta trädarter i våra urbana miljöer. Det är viktigt att det finns träd som förblir välmående i våra städer, trots värmeböljor, då arter som trivs i stadens varierande ståndorter (bland annat väldigt torra) i större utsträckning bidrar med skugga och kylande effekt.

Trädens strategier

Växter har utvecklat olika strategier för att hantera stress och extremväder som exempelvis skyfall, starka vindar, värmeböljor eller långa perioder av torka. Stressfaktorerna brukar delas in i biotisk och abiotisk stress.

De biotiska stressfaktorerna inkluderar konkurrens från andra växter, slitage från djur och människor, sjukdomar och skadedjur, där de två senare är de vanligaste stressfaktorerna. En lösning för gardera sig mot sjukdomar och skadedjur är att använda kultivarer då de kan vara mer motståndskraftiga samt vara mer anpassade för klimatet i städerna. Vidare är en lösning att använda sig av många *olika* arter för att begränsa en eventuell spridning av sjukdomar och skadedjur samt säkra upp att inte alla stadsträd försvinner om en art skulle bli drabbad. Ett exempel är den holländska almsjukan (Dutch elm disease (DED, Ophiostoma ulmi)) vilket dödade många almar som hade en viktig roll i den gröna infrastrukturen i urban miljö.

De abiotiska stressfaktorerna kan delas in i fysiska och kemiska faktorer. De fysiska är klimatförhållanden som extremtemperaturer (höga eller låga), översvämningar (syrebrist), torka, näringsbrist, vind (kontinuerlig eller varierad), ljustillgång (soligt eller skuggigt) och ogynnsamma markegenskaper. De kemiska stressfaktorerna innefattar föroreningar i mark och luft, höga halter av salt samt ofördelaktiga pH-värden. Att placera rätt växt på rätt plats kräver en förståelse för alla de stressfaktorer som kan infinna sig, då det ofta är en kombination av flera olika stressförhållanden på en plats. Vid stress kan fotosynteskapaciteten hämmas eller avta helt, vilket leder till reducering av växtens utveckling.

Med klimatförändringar som leder till ett varmare klimat behöver den urbana miljön rustas med torktoleranta växter för en hållbar framtida stadsutveckling. Detta blir särskilt angeläget med de rådande värmeöeffekterna. Gemensamt för torktåliga arter är att de utvecklat olika strategier för att hantera torkan. Dessa strategier kategoriseras antingen som undvikande eller som tolererande.

Undvikande strategier

De undvikande strategierna kan delas in i två kategorier varav en är att maximera vattentillgången. Den andra kategorin är att reducera vattenförlusten genom att minska blad/barrmassan eller storleken på bladen/barren, stänga klyvöppningarna, ha ett grovt vaxlager eller behåring på bladen.

Maximera vattentillgången

För att undvika att hamna i torkstress ser vissa torktåliga arter till att maximerar vattentillgången. Detta görs genom att investera i ett omfattande rotsystem för att utöka tillgången till områden i marken där vatten förekommer. I urbana miljöer kan detta bli ett stort problem på grund av begränsade utrymmen för trädet att växa, speciellt under mark där utrymmet begränsas av underjordisk infrastruktur och jordkompaktering.

Reducera vattenförlusten

Under väldigt varma förhållanden eller när rotsystemet inte räcker till för att tillgodose trädets vattenbehov, behöver trädet istället hushålla med vattenresurser i rötter och vedartade delar. För att reducera vattenförlusten hanteras torkstressen främst med ovanjordiska egenskaper. Den största förlusten av vatten sker genom klyvöppningar på trädets blad, det kallas transpiration och är ytterst viktigt för fotosynteskapaciteten. Vid tillfällig torka behöver därmed växten förbereda sig genom att minska klyvöppningarna för att inte bli av med för mycket vatten. Under allvarliga torrperioder kan trädet hamna i torkstress och behöva stänga klyvöppningarna helt, vilket medför att även fotosyntesen avstannar. Detta är en tillfällig lösning och är inte hållbar vid långvarig torka.

Vid en värre period av torka kan trädet fälla blad tidigt på sommaren för att akut minska vattenförlusten, detta är särskilt vanligt för *Betula pendula* (björk), *Populus tremula* (asp) och *Sorbus aucuparia* (rönn). Större blad brukar generellt samla mer solenergi än små, vilket leder till mer transpiration och därmed större risk för uttorkning. Exempelvis så får *Carpinus cordata* (hjärtavenboken) och *Carpinus orientalis* (orientaliska avenboken) mindre blad än *Carpinus betulus* (avenbok) då de härstammar från varmare klimat.

Bladen på silverlinden (Tilia tomentosa) är behårade och ljusa. Behåringen göra att bladet isoleras och att transpirationen därför minskar, och den ljusa färgen reflekterar bort den uttorkande solstrålningen.

För att skydda bladen från värme och därmed ett ökat skydd mot avdunstning kan de förses med ett vaxlager (kutikula) som varierar i tjocklek beroende på art. *Quercus frainetto* (ungersk ek) och *Quercus cerris* (turkisk ek) är exempel på två ekar med tjocka vaxlager på bladen då de härstammar från klimat med mycket varma somrar. Även många två- och trebarriga tallar har utvecklat ett tjockt

vaxlager på de små barren och hanterar torka väldigt väl, då vaxet bidrar till att de framgångsrikt kan hushålla med vattenresurserna. Ett silverfärgat vaxlager som vissa tallar har utvecklat, har i sin tur ett högre albedo och kan reflektera mer av solstrålarna än ett grönt vaxlager. Städsegröna (vintergröna) växter är flexibla och har en förmåga att samla på sig solenergi även på vinterhalvåret, vilket inte lövfällande växter har. Flexibiliteten är tydlig för många tallarter som under torra och varma perioder kan hushålla med resurserna, exempel är *Pinus nigra* (svarttall), *Pinus sylvestris* (tall) och *Pinus heldreichii* (ormskinnstall).

I varma klimat har många träd en strategi att utveckla behåring på bladen då det svalkar och skyddar mot uttorkning, detta brukar vara särskilt utvecklat på bladets undersida. Exempel på en art med tydligt behårade blad är *Tilia tomentosa* (silverlind).

Tolererande strategier

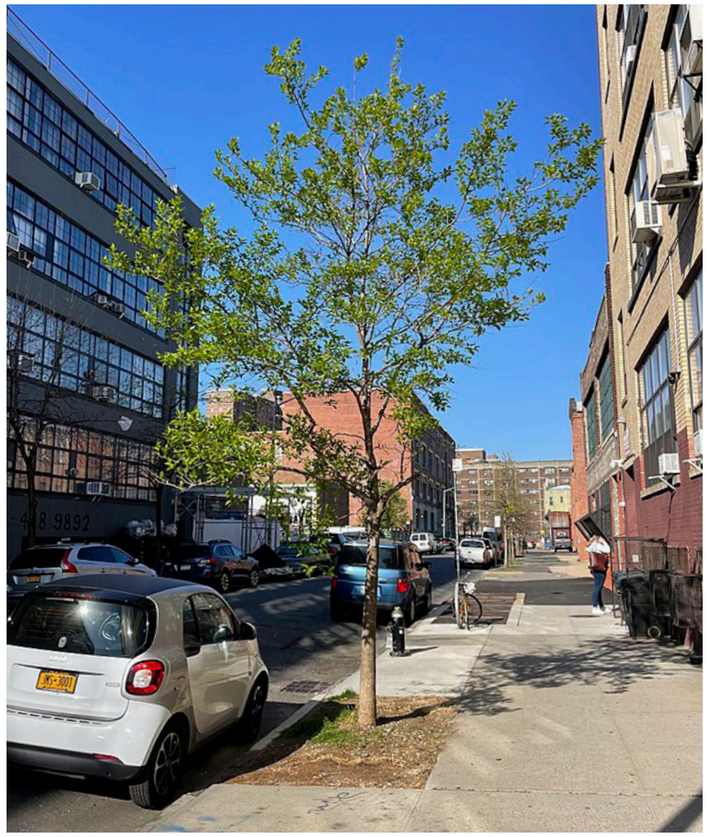
När de undvikande strategierna inte längre räcker till för att förse trädet med vatten går trädet in i en så kallad akut torkstress. Detta innebär att det lagrade vattnet i växtens delar är förbrukat och att rötterna inte har möjlighet att leverera vatten till trädet. När trädet går in i akut torkstress är det de tolererande strategierna för att hantera torka som tar över. Här spelar trädets cellstruktur i blad- och vedartade delar en stor roll för hur skickligt trädet är på att hantera den akuta torkstressen. Hur länge ett träd kan tolerera torkstress, innan bestående skador i form av intorkade grenar eller att trädet i sin helhet dör, beror på trädets tolererande egenskaper.

Numera finns det ett sätt att mäta ett flertal av dessa tolererande egenskaper och i sin tur ta reda på hur tolerant respektive hur känslig en specifik trädart är för torkstress. Genom att analysera olika trädarters cellstruktur i bladen, går det att få en uppfattning om i vilken utsträckning olika arter och genotyper av träd tolererar torka. När trädets vattenbehov är tillgodosett är cellerna i bladen saftspända. Om vattenbrist däremot uppstår minskar saftspändheten i cellerna, vilket även benämns som att turgortrycket i cellerna minskar. När turgortrycket minskar innebär detta ett negativt tryck i cellerna. Om torkstressen blir allt mer omfattande ökar det negativa trycket i cellerna, vilket innebär att bladen blir hängiga och att de så småningom vissnar. När bladens celler inte längre kan hantera det negativa trycket och bladen vissnar, innebär det att cellerna har kollapsat. När cellerna och dess struktur kollapsar upphör trädets förmåga att fotosyntetisera och lagra energi.

Trädens förmåga att hantera akut torkstress med en fortsatt bevarad struktur i cellerna varierar från art till art. En investering som vissa trädarter gör för att vid torkstress kunna bevara bladens cellstruktur, är att förse sig med mer resistenta, extra tjocka cellväggar. Torktoleranta trädar-

Tabell 7. Tabell som visar på olika vedartade växters kapacitet att hantera torka, baserat på hur lågt turgortryck bladcellerna kan hantera (turgor loss point).

Känsliga mot torka (arter med en turgor loss point runt -2 MPa)	**Någorlunda känsliga mot torka** (arter med en turgor loss point mellan ca -2,5 MPa & -3 MPa)	**Någorlunda toleranta mot torka** (arter med en turgor loss point mellan ca -3 MPa & -3,5 MPa)	**Toleranta mot torka** (arter med en turgor loss point mellan ca -3,6 MPa & -4,25 MPa)
Stewartia pseudocamelia	Magnolia acuminata	Liquidambar styraciflua	Quercus muhlenbergii
Aesculus flava	Magnolia tripetala	Tilia americana	Pyrus calleryana "Chanticlear"
Halesia monticola	Betula nigra	Cercis canadensis	Cornus mas
Magnolia salicifolia	Platanus occidentalis	Corylus colurna	Eucommia ulmoides
Cladastris kentukea	Cornus kousa	Gymnocladus dioicus	Quercus frainetto
Aronia melanocarpa	Cercidiphyllum japonicum	Celtis occidentalis	Quercus cerris
Hydrangea macrophylla	Liriodendron tulipifera	Parottia persica	Acer grandidentatum
Sambucus nigra	Laburnum	Ulmus parvifolia	Quercus acutissima
Forsythia intermedia	Juglans nigra	Tilia tomentosa	Ginkgo biloba
Salix viminalis	Catalpa speciosa	Phellodendron amurense	Syringa reticulata
Syringa meyeri 'Palibin'	Nyssa sylvatica	Carya ovata	Koelreuteria paniculata
Cornus kousa	Acer miyabei	Zelkova serrata	Acer monspessulanum
Buddleja davidii	Rhus typhina	Acer x zoeschense	Rhus aromatica 'Grow low'
Acer davidii	Potentilla fruticosa	Acer tataricum	Cotinus coggygria
Deutzia gracilis 'Nikko'	Corylus avellana	Prunus sargentii	Sorbaria sorbifolia
Weigela florida	Hamamelis intermedia	Ostrya carpinifolia	Spirea betulifolia 'Tor'
	Ligustrum vulgare	Salix caprea	Spirea japonica
	Stephanandra incisa	Amelanchier lamarckii	Symphoricarpos x chenaultii 'Hancock'
	Berberis thunbergii	Prunus cerasifera	
	Cotoneaster lucidus	Diervilla lonicera	
	Kolkwitzia amabilis	Crateagus monogyna	
	Cornus sanguinea	Amelanchier spicata	
	Cornus sericea 'Kelseyi'	Syringa vulgaris	



Eucomia ulmoides, Guttaperkaträd - en art som i studier har visat sig vara mycket tolerant mot torka.

ter som härstammar från torra växtmiljöer, har utvecklat tjocka och därav mer elastiska cellväggar, vilket gör dem mer motståndskraftiga mot negativt turgortryck i cellerna. Även cellens storlek har betydelse; en mindre storlek på en cell, utöver att den har tjocka väggar, gör den nämligen mer resistent mot ett negativt turgortryck och gör därmed arten mer torktolerant. Trädarter som naturligt växer på platser där det finns en riklig tillgång till vatten, har inte haft ett behov av att utveckla en elastisk cellstruktur för att kunna hantera torka. Vid plantering av dessa arter uppstår det därför ofta svårigheter för dem att hantera torra växtförhållanden.

Genom att undersöka hur lågt turgortryck ett träd kan hantera utan att cellstrukturen i bladen kollapsar, går det att kvantifiera dess kapacitet att tolerera torka, snarare än dess kapacitet att undvika torka. Arter med en elastisk cellstruktur i bladen har en bättre förmåga att upprätthålla fotosyntes och därmed lagra energi trots torra växtförhållanden. Arter som däremot inte har denna typen av cellstruktur tar till undvikande strategier istället för att tolerera torkan, genom att bland annat stänga sina klyvöppningar eller vid fortsatt torka släppa sina blad. Detta leder i sin till tur att fotosyntesaktiviteten och därmed insamlingen av energi minskar.

Arter som kan hantera ett negativt turgortryck lägre än -3 MPa (Megapascal) räknas som torktoleranta. Arter som inte kan hantera ett negativt turgortryck längre än-2,5 MPa bedöms däremot vara känsliga för torra växtförhållanden. Dessa arter litar i stort sett på att rotsystemet konstant ska kunna tillhandahålla vatten och när akut torkstress uppstår har de en reducerad förmåga att hantera situationen. Se tabell 7 för redogörelse om olika arters torktolerans genom studier på dess *turgor loss point.*

TILL VERKTYGSLÅDAN

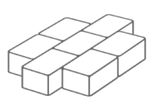
Insikter vi tar med oss från detta kapitel är att växter har utvecklat olika strategier för att hantera stress och extremväder som exempelvis värmeböljor eller långa perioder av torka. Vid placering av rätt växt på rätt plats krävs en förståelse för alla stressfaktorer som kan infinna sig, då det ofta är en kombination av flera olika stressförhållanden på en och samma plats. Träd har utvecklat olika strategier för att kunna hantera konstant eller tillfällig torka, nämligen undvikande och tolererande strategier. De undvikande strategierna delas in i två kategorier; maximera vattentillgången och reducera vattenförlusten. Den tolererande strategin är att kunna hantera ett lågt turgortryck i bladens celler. När en trädart undviker torka istället för att tolerera den kan detta leda till att fotosyntesaktiviteten och därmed insamlingen av energi minskar.

Verktygslådan

- En sammanfattning av åtgärder för att kunna skapa ett gott urbant mikroklimat

Under kommande sidor följer en kategoriserad sammanfattning av informationen från rapporten i allmänhet och kunskapen från de gröna "till verktygslådan"-rutorna i synnerhet. Syftet med verktygslådan är att åskådliggöra de åtgärder som finns och konkretisera dessa till handfasta tips. På så vis skapas en verktygslåda, fylld med verktyg som på olika sätt kan användas för att framförallt kunna generera värmereducerande åtgärder i ett projekt, men lika mycket också bara för att kunna säkerställa behagliga och hållbara platser över hela året - ett helårspespektiv som är viktigt att ha. Verktygslådan plockas med fördel fram som en vägledning och hjälp för yrkesverksamma under gestaltnings- eller projekteringsprocessen.

Ikoner som symboliserar sex olika områden av värmereducerande åtgärder



Material

Vatten

Vegetation

Bebyggelse-geometri

Skugga

Vind

GRUNDLÄGGANDE PRINCIPER

- Solen är den huvudsakliga källan för uppvärmning i staden. Solen rör sig förutsägbart över himlen och genom att förstå solinstrålningen och dess beteende går det också att arbeta både med och mot den, för att på så vis kunna skapa både sommarsvala och vårvintervarma platser. Skugga är ett exempel på hur förståelsen för solen och dess strålning kan översättas till.

- Vinden är en effektiv källa för nedkylning. Även vinden rör sig mer eller mindre förutsägbart och det går således även här att skapa platser som svalkar på sommaren och där det går att hitta lä under vintern.

- Under sommaren är en av de effektivaste åtgärderna för att skapa ett termiskt komfortabelt mikroklimat att minska mängden solinstrålning som absorberas i staden. Detta kan göras såväl genom beskuggning som genom materialens beskaffenheter.

- Dagvatten i staden är en resurs som både är en förutsättning för att vegetation ska överleva samt att den värmereducerande effekt som samma vegetation skänker fungerar. Se till att ta vara på det tillgängliga vattnet i staden genom infiltration och BGG-system och att inte leda bort det. Evaporationen och transpiration är precis som beskuggning ett effektivt sätt att motverka höga temperaturer.

- Hårdgör mindre och plantera mer. Hårdgjorda material är på flera plan bidragande till den urbana värmeön. Hårdgör bara där det behövs, och om det är möjligt använd då permeabla ljusa beläggningar. Att öka andelen växter är på motsatt vis på flera plan motverkande till den urbana värmeön.

- I en skandinavisk kontext är det viktigt att ha ett helårsperspektiv där en plats gestaltas för att fungerar vid värmeböljor och vid kalla årstider. Detta görs enklast genom att säkerställa varierade miljöer (sol/skugga/vind/lä) där människan själv kan välja vart den vill vistas beroende på begär och behov.

- Det handlar inte om att ta bort värmen i staden utan istället att kunna reducera den så att den hamnar under högrisknivåer, samt att säkerställa att det under hälsovådlig värme åtminstone finns platser med en lägre temperatur och skugga.

- Säkerställ att vegetationen blir långlivad och med hög vitalitet genom tillräckligt stora växtbäddar.

VEGETATION

- Att alltid se till att använda välanpassade och generöst dimensionerade växtbäddar för att säkerställa livskraftiga träd som i sin tur kan bidra till evaporativ kylning och skugga (Se Figur 9 för rekommenderad storlek på växtbädd).

- Att använda lövfällande träd som kan ge skugga under sommaren men släppa igenom solen på vintern, samt att vid artval ta hänsyn till tätheten (LAI och BAI) på artens blad- och grenverk för att bedömma kvaliteten på skuggan/solgenomsläppet.

- Att av samma skäl som ovan använda arter med sent bladutspring och en tidig bladfällning för att tillåta solinstrålning under vår och höst.

- Uppstamning av träd samt högstamsträd för att tillåta solinstrålning på vintern (då solen står lågt) och blockering på sommaren (då solen står högt).

- Använda träd med stora trädkronor som skuggar hela, eller åtminstone en stor del av takytan. Träd som önskas användas för att säkerställa ett gott inomhusklimat bör placeras 9-15 m från byggnaden för att bidra med optimal skugga.

- Vegetation, som exempelvis buskar, i vistelsezonen då effekten av evaporationen ofta är lokal.

- Vegetation i flera skikt (mark-, busk- och trädskikt) för att öka den kylande effekten.

- Möjligheten att anlägga lövfällande klätterväxter på material som lagrar mycket värme, exempelvis en stenmur, för att reducera dess värmeavgivning under sommaren.

- Vintergröna växter kan samla solenergi även under vinterhalvåret. Exempel på arter är *Pinus nigra, Pinus sylvestris* och *Pinus heldreichii*, som under torra perioder kan hushålla med resurserna.

- Se till att använda torktoleranta arter i torra urbana miljöer. Arter som kan hantera ett negativt turgortryck lägre än -3 MPa räknas som torktoleranta. (Se Figur 13 för olika arters kapacitet att hantera torka).

- Utnyttja arter med vaxlager på bladen vid varma och torra platser. Vaxlagret skyddar bladen från värme och begränsar avdunstning, och är ofta en bra indikation på att arten är hemmahörande i naturligt varma miljöer. Exempel på arter är *Quercus cerris, Quercus frainetto* samt många två- och trebarriga tallar.

- Arter med behåring på bladen vid varma och torra platser vilket svalkar och skyddar mot uttorkning. Exempel på art är *Tilia tomentosa*.

- Större blad vilket leder till större transpiration och därmed större risk för uttorkning.

- Gröna tak reducerar temperaturen på sommaren och isolerar taken på vintern. För hög avdunstning på taken är generellt blandade planteringar med en rik artvariation effektiva.

- Gröna fasader kan reducera temperaturen inom- och utomhus. Ytstrukturen på vegetationen kan dock reducera vindhastigheten, vilket leder till att avkylningen av gaturummet kan minska.

Övrigt

- Vid val av arter i urban miljö är det viktigt att tänka på rotsystemets storlek, slutgiltig höjd och kronarea, krav på sol, jord, vatten, temperatur, typ av blad, bär, frukt, blomning och eventuella allergener. Felaktigt placerade träd riskerar att inte bli långlivade vilket i förlängningen innebär ett träd mindre som kan agera värmereducerande.

- Välj arter och kultivarer som trivs i stadens varierande utbud av ståndorter, rätt växt på rätt plats.

- Säkerställa en diversitet av arter för att begränsa en eventuell spridning av sjukdomar och skadedjur som negativt kan påverka den urbana trädfloran.

- Klätterväxter kan användas som ett platseffektivt alternativ på de platser där det är begränsat med utrymme ovan och/eller under mark.

- Vintergröna växter reducerar vind bättre på vintern än lövfällande. Dessa bör placeras i en rad vinkelrätt mot vindriktningen, vanligen nord/nordväst.

BEBYGGELSEGEOMETRI

- Ha bebyggelsegeometrins inverkan på temperaturen i åtanke tidigt i planprocessen då det finns ett samband mellan ökad värmeöeffekt och tät bebyggelse.
- Låg och tät bebyggelse: Vinden färdas över området.
  Hög bebyggelse: Vinden 20-40 m upp fångas och riktas ner och skapar turbulens.
- Djupa gatukanjoner (smala gator omgivna av höga hus) fungerar som strålningsfällor där solinstrålningen studsar mellan de hårdgjorda materialen där de absorberas. Samma effekt gör också att avkylningen sker långsammare.
- Breda gaturum med en jämn låg bebyggelse reflekterar bort solstrålning bäst.

VATTEN

- Lokal hantering av dagvatten och dränerande markbeläggningar då hög markfukt bidrar till evaporativ kylning.
- Göra vattnet växttillgänligt genom dränerande beläggningar eller genom att leda ner det till växtbäddar. Detta bidrar till den tranpirativa kylningen från vegetationen.
- Öppna vattenytor leder ofta till en sänkt temperatur dagtid till följd av evaporation men en höjd temeperatur nattetid då vattnet lagrar värme.

VIND

- Häckar, vindskydd och träd kan reducera vind.
- Ett staket placerat vinkelrätt mot kalla vintervindar, med en genomsläpplighet på 50%, bidrar till optimal vindreducering.
- Helst 50% genomsläpplighet på vegetationen för optimal vindreducering.

SKUGGA

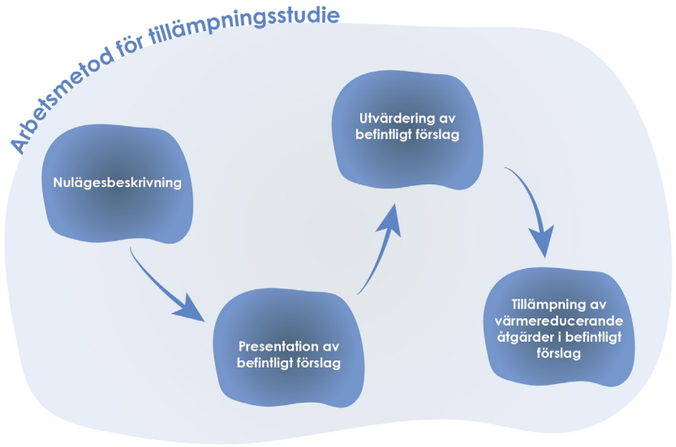
- Topografin påverkar mängden solinstrålning; kullar eller backar som vetter mot söder får den högsta intensiteten till skillnad mot om de har en nordlig riktning.
- För att skapa skuggiga svala miljöer går det att förutom träd att använda olika varianter av antingen flyttbara eller fasta solskydd.
- Ett staket kan, om riktat mot väst eller öst, bidra med skugga året runt. Skuggbilden blir som störst på vintern och minst på sommaren.
- En pergola eller spaljé med lövfällande klätterväxter, vinklad mot söder kan bidra med skugga under sommaren samtidigt som solljuset lyser igenom och värmer på vintern.

MATERIAL

- Sträva efter att använda markbeläggningar, tak och husfasader med ett högt albedo (ljusa material) (se tabell 4 för olika albedovärden).
- Använda material som har en låg värmekapacitet. Exempelvis bör traditionell asfalt, tegel, betong och sten användas sparsamt då de lagrar mycket värme.
- Permeabla ytmaterial med eller utan vegetation bör användas. Exempelvis gräsarmering, kullersten, grus, jord- eller gräsytor, dränasfalt, permeabel betong, samt tegel- eller betongsten.
- Vegetationsbeklädda ytor genererar lägre temperaturer än exempelvis traditionell betong, asfalt och tegel.
- Naturliga material som trä har i regel en lägre värmeledningsförmåga jämfört med exempelvis artificiella material som betong.
- Anlägg kalla tak. Dessa kan utgöras av högreflekterande eller kallfärgade ytskikt som reflekterar bort strålning, alternativt gröna tak (se vegetation).

Konceptuella illustrationer, före och efter tillämpning
av värmereducerande åtgärder på en innergård

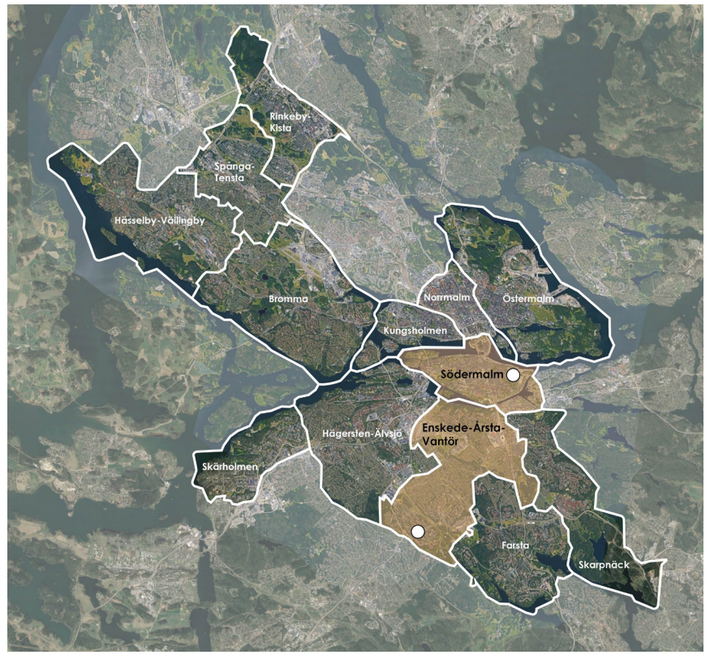
Tillämpningsstudie



I följande kapitel redovisas en tillämpningsstudie gjord på två projekt i Stockholm, där respektive gestaltingen har studerats och modifierats utifrån kunskapen om värmereducerande åtgärder presenterade i den inledande halvan av rapporten, och som finns sammanfattade i avsnittet *verktygslådan*. Tillämpningen är gjord för att konkretisera och exemplifiera hur yrkesverksamma under gestaltningsprocessen skulle kunna tillämpa åtgärder för ett gynnsamt mikroklimat. Genom att välja två exempelplatser med olika förutsättningar är målet att visa på hur värmereducerande åtgärder kan tillämpas både vid omprojektering av en befintlig plats och vid nyprojektering.

Platserna som berörs i tillämpningsstudien är en befintlig skolgård (Sofia skola, SISAB) som har omprojekterats av arkitektföretaget Cedervall samt en bostadsgård (Bjurbäcken bostadsgård, Stockholms hem) som nyprojekterats av Edge. Sofia skola är placerad i stadsdelen Södermalm (se figur 16 & 17) och bostadsgården i Bjurbäcken ligger i stadsdelen Ensked-Årsta-Vantör (se figur 16 & 18). Tillämpningen är upplagd med en presentation av det befintliga förslaget, följt av en utvärdering av detta utifrån rapportens fokusområde. Utifrån identifierade förbättringsmöjligheter i utvärderingen har därefter värmereducerande åtgärder tillämpats i de befintliga förslagen.

Viktigt att poängtera är att inget av de inkluderade projekten har haft värmereducering som huvudfokus vid den ursprungliga utformningen. Inte heller ska förslagen med tillämpningar ses som ett komplett projekterat förslag, utan är istället mer av ett gestaltningsförslag gjort i linje med rapportens fokusområde. Detta har också varit en förutsättning då all bakgrundsinformation inte har varit tillgänlig. Således har förslagen tillåtits att bortse från exempelvis befintliga ledningar, ekonomiska riktlinjer eller specifika funktionskrav. De tillämpningar som är gjorda är med det sagt likväl bedömda relevanta för rapporten då de kan agera underlag för såväl inspiration som exempel på ett förfarande möjligt att använda även i en fullskalig projektering.



Figur 16. Stadsdelsområdena i Stockholms stad. Cirklarna visar på områden för tillämpningsstudien.

Figur 17. Stadsutvecklingsområden i Södermalm.

Figur 18. Stadsutvecklingsområden i Enskede-Årsta-Vantör.

Sofia skola

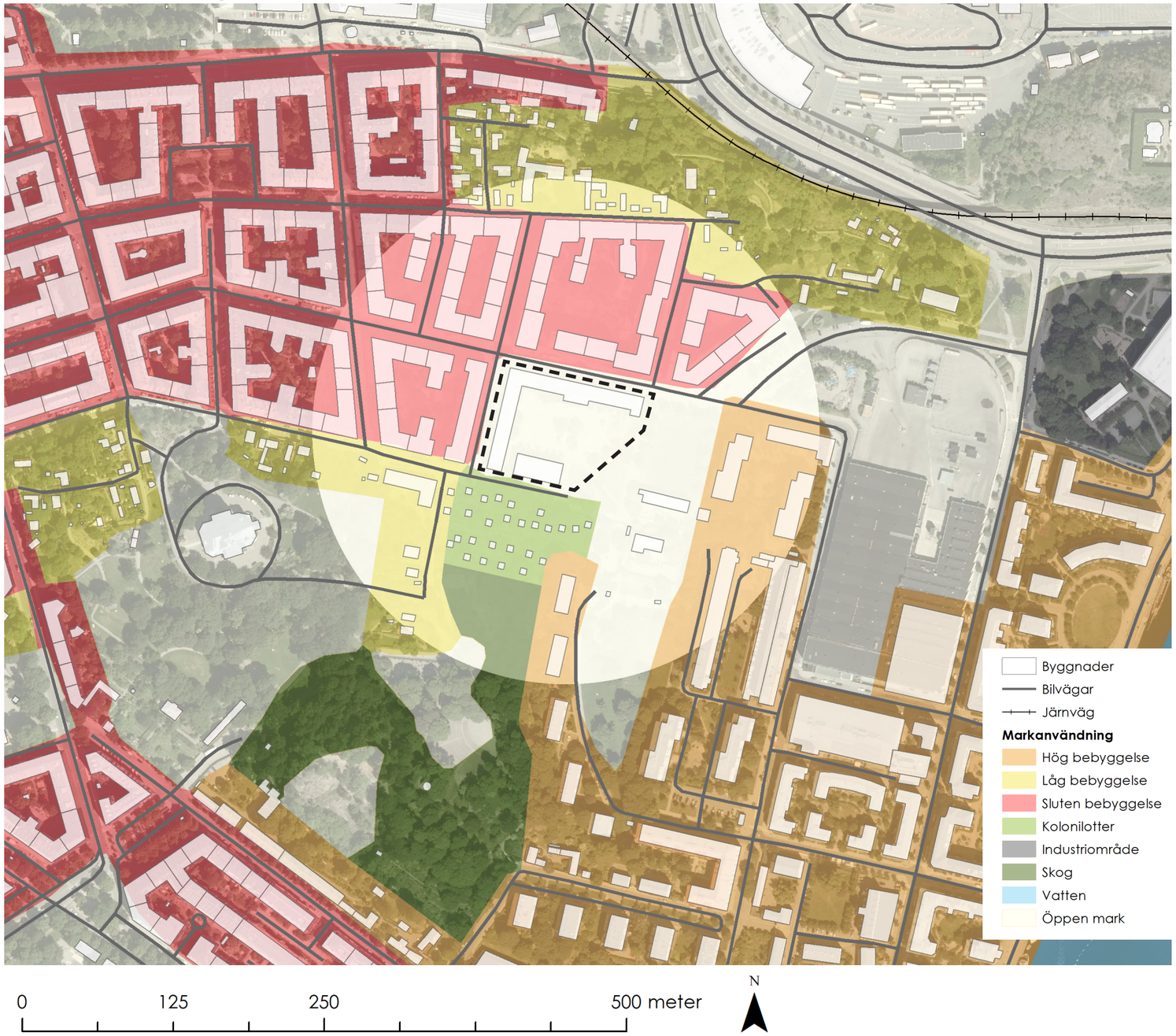
Nulägesbeskrivning

Figur 19. Sofia skola (se streckad svart linje) i sitt sammanhang, på östra delen av Södermalm.

Sofia skola på Södermalm är en kommunal grundskola som byggdes år 1910, med 890 elever i klasserna F-9. Skolan ligger mellan Bondegatan och Skånegatan i direkt anslutning till Vitabergsparken, Tengdalsparken, ett koloniområde och en fotbollsplan (se figur 19).

Markanvändningen i Sofia skolas omgivning består till stor del av olika typer av bebyggelse, där majoriteten utgörs av sluten och hög bebyggelse. Söder och sydväst om skolan finns en skog samt en park (Vitabergsparken) klassificerad som “Öppen mark” i figur 20.

Markanvändning



Figur 20. Markanvändning i Sofia skolas omgivning. Den ljusa cirkeln indikerar ett avstånd på 200 meter från skolgårdens mitt.

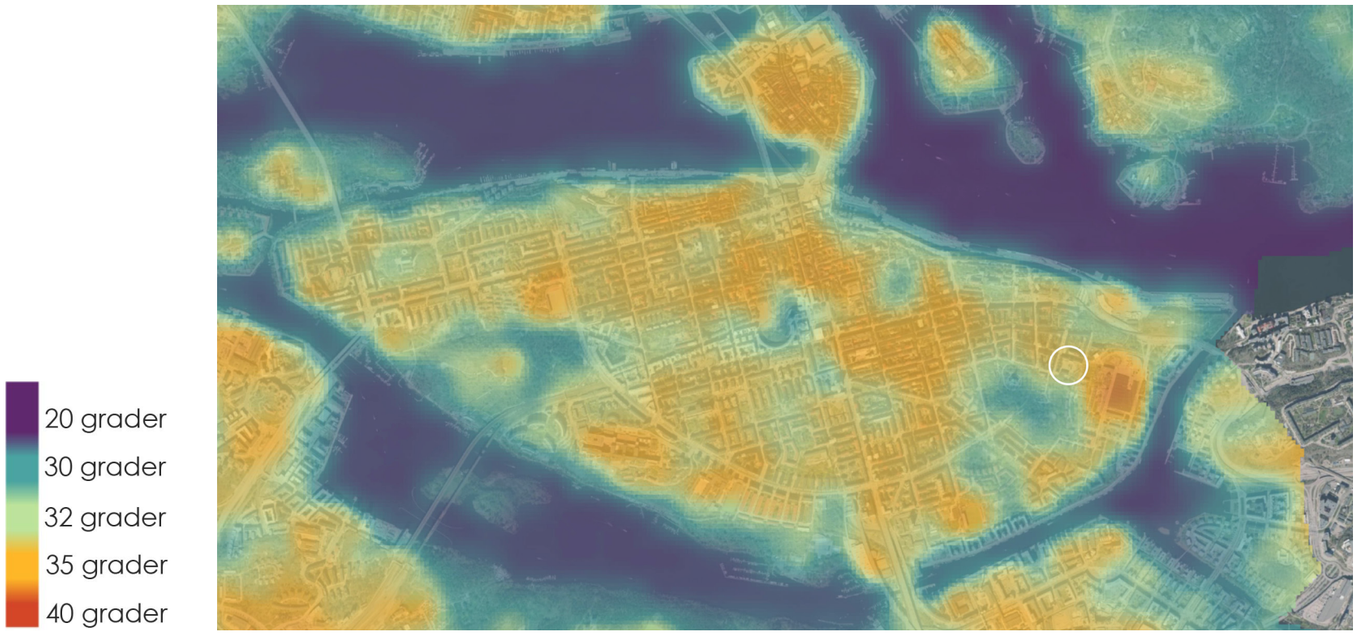
Flygfoto över Sofia skola.

Befintlig vegetation

Enligt fastighetsägaren och tillika beställaren SISAB (Skolfastigheter i Stockholm AB) framgick det att de befintliga träden inom fastighetsgränsen för Sofia skola utgörs av 28 stycken träd. De 28 träden utgörs i sin tur av 5 stycken olika arter. 8 stycken fågelbär (*Prunus avium*), 1 hästkastanj (*Aesculus hippocastanum*), 6 naverlönnar (*Acer campestre*), 8 avenbokar (*Carpinus betulus*) och 5 vitpilar (*Salix alba*). Alla träd kommer i samband med omprojekteringen av Sofia skola att bevaras. Krontäckningen har beräknats till cirka 19% för arbetsområdet.

Maximal strålningstemperatur

Den maximala strålningstemperaturen på Södermalm mellan åren 2013-2021 visar på att den plats med högst uppmätt strålningstemperatur ligger precis i anslutning till Sofia skola (se figur 21). Det går även att se hur strålningstemperaturen är betydligt lägre i Vitabergsparken som är lokaliserad sydväst om Sofia skola (se figur 22). Ortofotot i figur 21 och 22 är från 2018 och den varmaste platsen som ligger direkt öster om Sofia skola utgörs av ett industrikvarter med en bussdepå. Nu har bussdepån rivits och nybyggnation av ett bostadsområde med cirka 1240 lägenheter pågår. Det är därför oklart hur hög den maximala strålningstemperaturen kommer att bli på denna plats i framtiden.



Figur 21 Maximal strålningstemperatur uppmätt mellan åren 2013-2021 för hela Södermalm. Den vita cirkeln indikerar Sofia skolas placering.

Figur 22. Förstorat utsnitt av maximal strålningstemperatur uppmätt mellan åren 2013-2021 för Sofia skola och dess omgivning. Den vita cirkeln indikerar Sofia skolas placering.

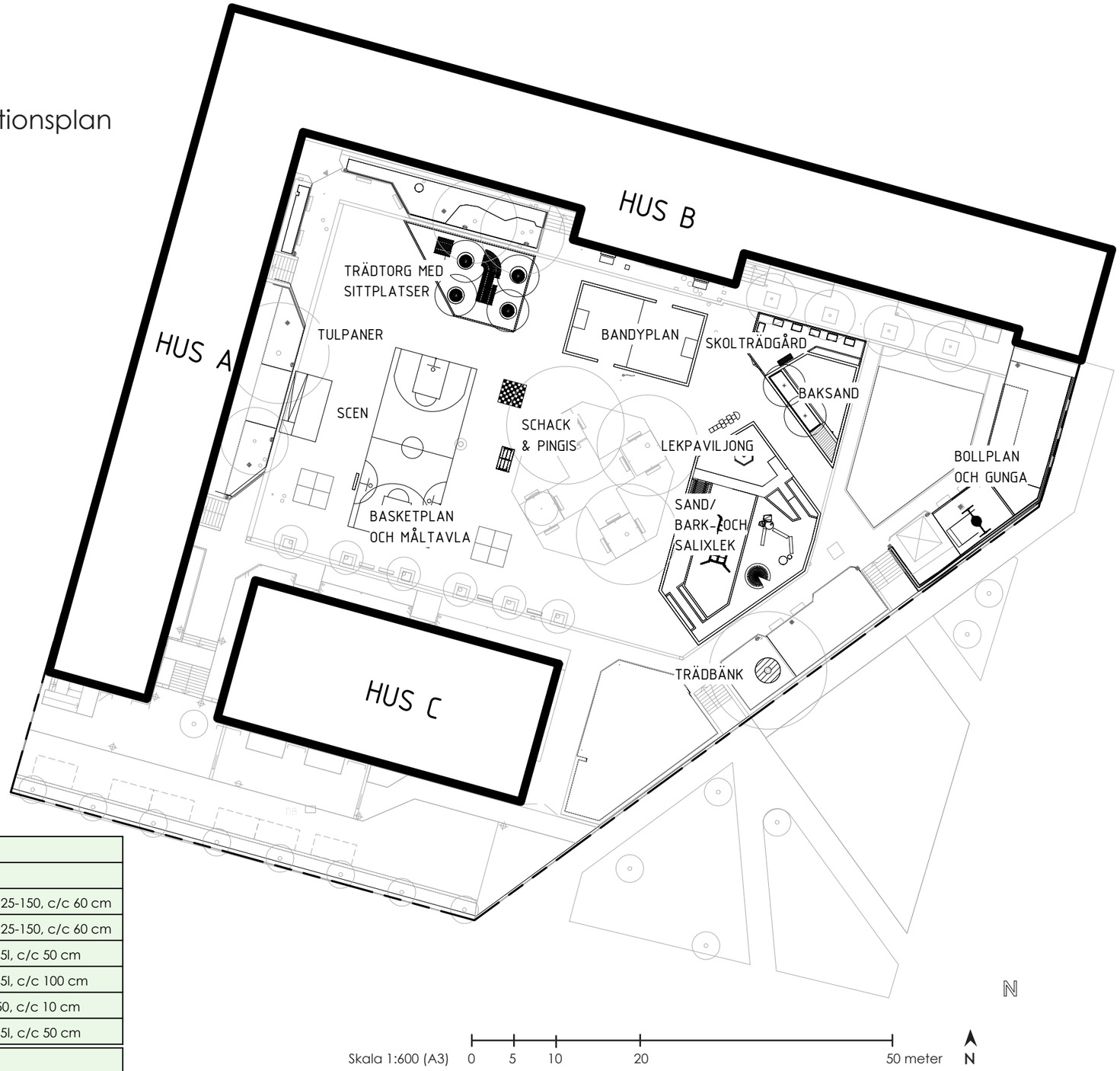
Bilder över Sofia skola 2023-03-23.

Befintligt förslag

Enligt internt material från beställaren SISAB har syftet med ombyggnationen varit att göra skolgården mer användarvänlig och förbättra elevernas möjlighet till fysisk aktivitet och lek. Befintliga träd och större buskage har bevarats. Skolgården har en totalyta på cirka 6200 m² och det befintliga förslaget omfattar upprustning av cirka 2000 m².

Det har projekterats en omgestaltning av skolgården och här följer situationsplan (figur 23), markplaneringsplan (figur 24) och växtlistor (tabell 8).

Situationsplan



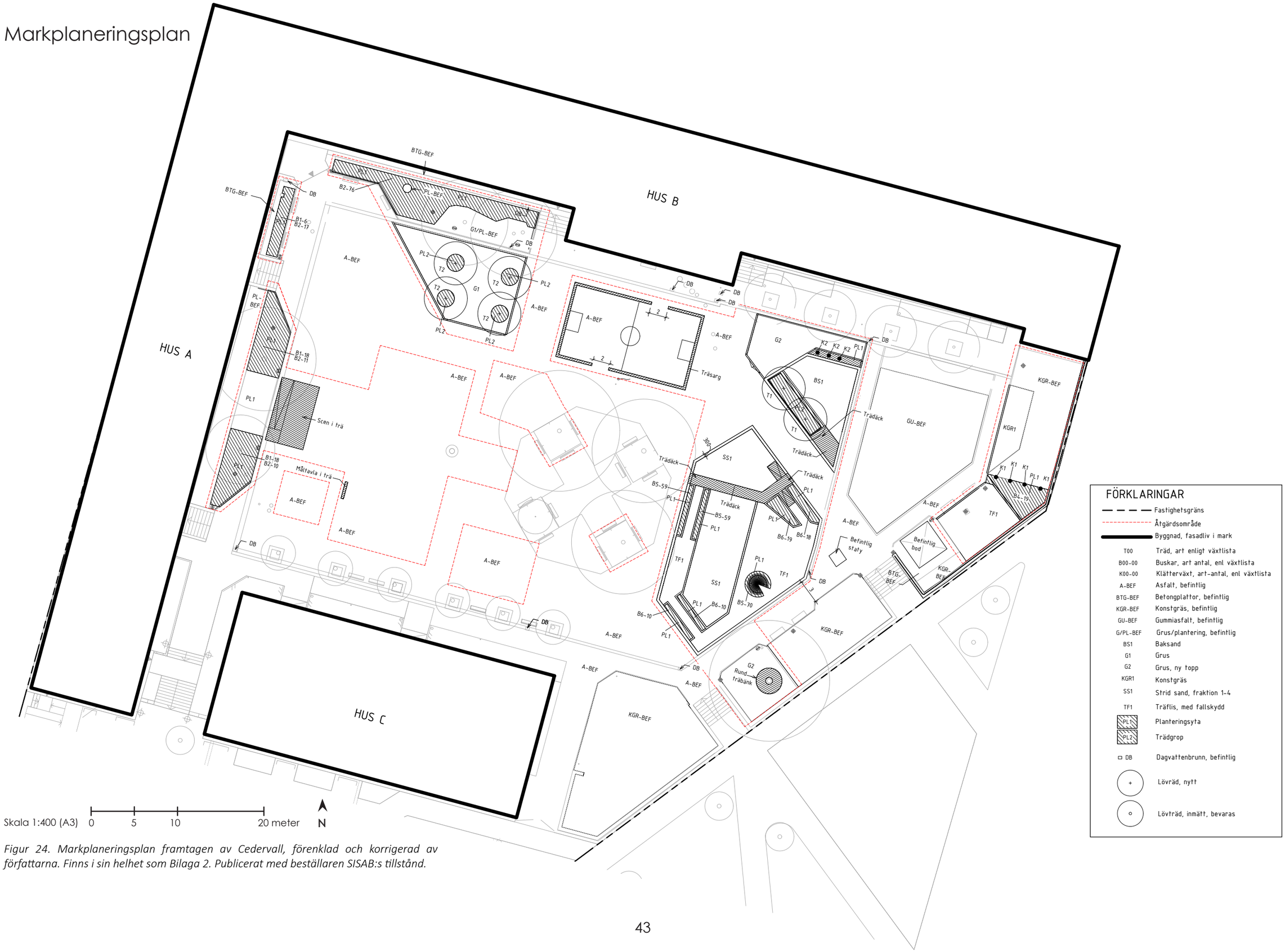
Figur 23. Situationsplan framtagen av Cedervall, förenklad av författarna. Finns i sin helhet som Bilaga 1. Publicerat med beställaren SISAB:s tillstånd.

Växtlistor

Buskar				
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Kvalitet**
B1	42	Buddleja davidii Nanho Blue ('Nanho Petite Indigo')	Fjärilsbuske	Sol C/K 125-150, c/c 60 cm
B2	114	Buddleja davidii 'Pink Delight'	Fjärilsbuske	Sol C/K 125-150, c/c 60 cm
B3	8	Rubus Hösthallon-Gruppen 'Autumn Bliss'	Hösthallon	Busk C 3,5l, c/c 50 cm
B4	19	Salix purpurea	Rödvide	Busk C 3,5l, c/c 100 cm
B5	188	Salix vimialis	Korgvide	Th 200-250, c/c 10 cm
B6	57	Salix purpurea 'Nana'	Litet rödvide	Busk C 3,5l, c/c 50 cm
Klätterväxter				
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Kvalitet**
K1	4	Fallopia baldschuanica	Bokharabinda	A-kv Co
K2	3	Humulus lupulus	Humle	A-kv Co
Träd				
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Kvalitet**
T1	2	Elaeagnus angustifolia	Smalbladig silverbuske	Hst 3x 12-14 K
T2	4	Robinia pseudoacacia ‘Semperflorens’	Robinia	Hst 4x 20-25 K

Tabell 8. Växtlistor med information från Cedervalls förslag.

Markplaneringsplan



Figur 24. Markplaneringsplan framtagen av Cedervall, förenklad och korrigerad av författarna. Finns i sin helhet som Bilaga 2. Publicerat med beställaren SISAB:s tillstånd.

Utvärdering av befintligt förslag

- baserat på innehållet i avsnitt *Verktygslådan*

Material

Vid en beräkning av de olika markmaterialen (se tabell 9) på skolgården framgick det att de största delarna av gårdens totala yta består av asfalt och betong som lagrar mycket värme samt har ett lågt albedovärde. I förslaget är arean för vegetationsytor, vilka genererar lägre temperaturer än traditionell betong och asfalt, mindre än arean som utgörs av hårdgjorda ytor. Andelen konstgräs är nästan lika stor som andelen vegetationsytor. I förslaget finns vissa träelement såsom exempelvis två trädäck, vilka har en låg värmeledningsförmåga. Taken på skolbyggnaderna har en svart färg och fasaderna är gula och orangea.

Markmaterial	**Yta (m²)**	**Yta (%)**
Asfalt	2175	44
Betong	1125	23
Vegetationsytor	522	10
Konstgräs	416	8
Grus	193	4
Gummiasfalt	189	4
Träflis	172	3
Strid sand	124	2
Baksand	49	1
Trä (trädäck)	29	0,6
Totalt	**4994**	**100**

Tabell 9. Markmaterial för det valda arbetsområdet på Sofia skola. Befintlig utformning tillsammans med Cedervalls omprojektering.

Den södra delen av skolans fastighetsområde har inte inkluderats i beräkningen ovan, då vi ansåg att den inte är en del av skolgården och bland annat innehåller en bilväg. Denna avgränsning förklarar varför arbetsområdet omfattar 4994 m² och inte hela skolgårdens yta.

Vegetation

I förslaget föreslås 6st nya lövfällande träd vilka har placerats söder om den norra huskroppen. Våningsantalet (6 våningar) för en av byggnaderna inom arbetsområdet medför att taken inte kan bli beskuggade. De nya träden har placerats inom 9-15 m från huskroppen, vilket genererar skugga på husfasaden. Det förekommer två områden med flerskiktad vegetation där träd, buskar och perenner kombineras. Ett fåtal buskar föreslås i vistelsezonen vilket kan bidra till en viss sänkning av temperaturen. Ett 2,5 m högt staket (se Bilaga 3) i öst-västlig riktning med klätterväxter av lövfällande arten *Fallopia baldschuanica* (Bokharabinda) bidrar med skugga på sommaren och tillåter solinstrålning på vintern.

I Cedervalls förslag har det föreslagits två nya trädarter på skolgården; *Elaeagnus angustifolia* (Smalbladig silverbuske) (T1) vilken kan få en höjd på 4–6 m och en bredd på 4–6 m och *Robinia pseudoacacia* ‘Semperflorens’ (Robinia) (T2) som kan få en höjd på 18-20 m och en bredd på 8-10 m. De två föreslagna trädarterna beskrivs som tork- och värmetåliga och *Robinia pseudoacacia* ‘Semperflorens’ har enligt tabell 5 ett sent bladutspring. Krontäckningen har beräknats till cirka 20% för arbetsområdet.

För att undersöka den förväntade slutstorleken och därmed skuggtäckningen för de nyplanterade träden så beräknades kubikmetern för planteringsytorna (PL2) där träden skall anläggas. Utifrån underlagen från beställaren SISAB framgår inte någon detaljerad ritning över dimensionerna av planteringsytorna utöver växtbäddarnas area vid markytan. Efter en mejlväxling med biträdande projektansvarig på SISAB framgick att det i dagsläget inte har tagits fram någon information och dimensionering av trädens växtbäddar. Utifrån dessa förutsättningar har djupen bestämts till 1 m samt med en schaktslänt på 2:1. Planteringsytorna för T2 har beräknats till 0,78 m³ per träd och T1 till 11,2 m³ totalt vilket ger 5,6 m³ per träd. Baserat på figur 13 och de två värdena i mitten i grafen kan en växtbäddsvolym på 0,78 m³ för T2 inte utläsas på grund av dess låga värde, vilket troligtvis kommer leda till en hämmad utveckling och därmed inte bidra till någon betydande skugga på skolgården. Planteringsytan för T1 med en växtbäddsvolym på 5,6 m³ per träd kan, enligt figur 13 och de två värdena i mitten i grafen, leda till en krondiameter på ungefär 3 m. Även här innebär det förmodligen en hämmad utveckling för träden, vilka maximalt kan få hälften så bred krona som den smalbladiga silverbusken kan få vid en optimal växtplats.

Bebyggelsegeometri

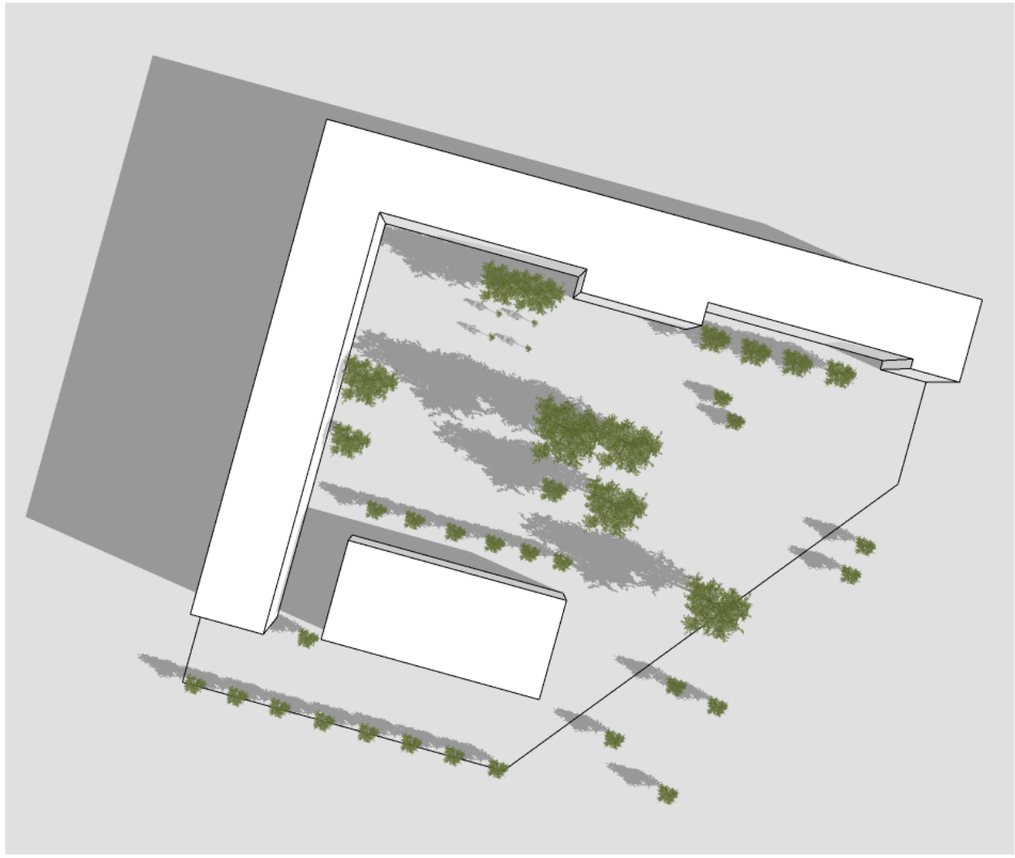
Byggnaderna som utgör Sofia skola är 6 våningar höga och det finns en stor öppen yta lokaliserad i söderläge mellan dem. Den mindre byggnaden i söder är cirka 3 våningar hög och genererar en del skugga på skolgården. Byggnaderna har sadeltak med varierande lutning. Majoriteten av den omkringliggande bebyggelsen utgörs av sluten och hög bebyggelse (figur 20).

Vatten

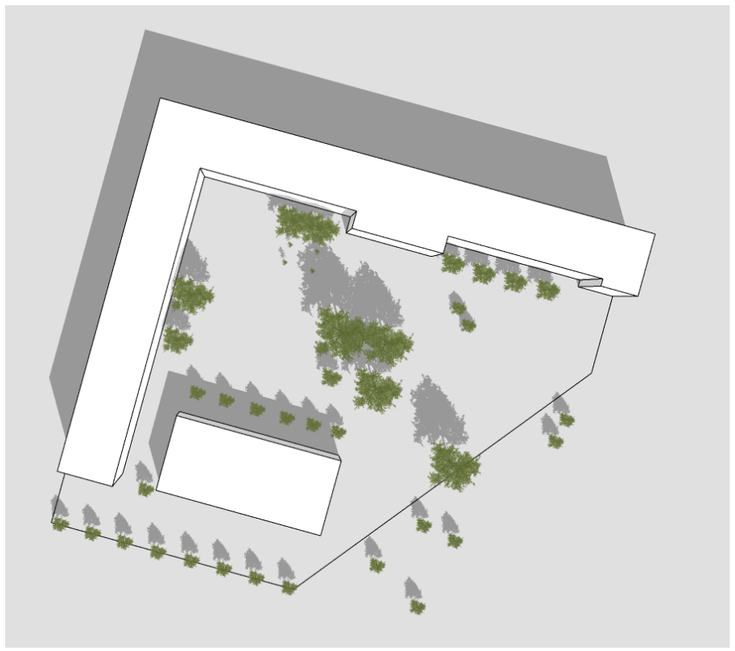
Utifrån de dokument vi har fått tilldelade om Sofia skola framgår det inget om att det skulle finnas någon lokal hantering av dagvatten. Däremot framgår det i markplaneringsplanen (se Bilaga 2) att det finns 11 stycken dagvattenbrunnar på skolgården.

Skugga

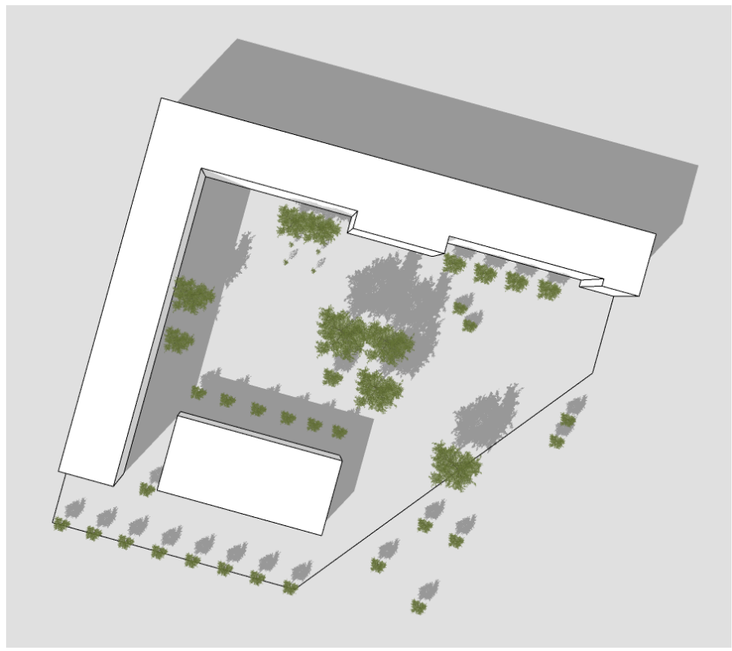
På skolgården finns det inga variationer i topografin som kan generera skugga då den högsta punkten är 49 cm högre än den lägsta (se Bilaga 2) med ett avstånd på cirka 60 meter mellan varandra. Utrustning som bidrar med skugga på skolgården utgörs av ett solsegel (se Bilaga 3) som beskuggar ytan med baksand. För att kunna analysera trädens och byggnadernas skuggbild har en skugganalys utförts. I skugganalysen har byggnadernas höjd uppskattats med hjälp av bildmaterial. De befintliga trädens storlek har i skugganalysen baserats på inmätt krondiameter av befintliga träd vilka framgår i figur 24. För storlek på de 6 träd som tillkommer i förslaget se föregående sida. Skugganalysen visar att under morgon, middag och eftermiddag är stora delar av skolgården belägen i sol men där finns även en del skugga. Aktivitetsytor (se figur 23 & 24 för placering av aktivitetsytor) som basketplanen och lekytan med gummiasfalt är belägna i sol både klockan 12 och 15 (se figur 26 och 27).



Figur 25. Skugga på skolgården den 17 augusti klockan 09. Framtagen av författarna.



Figur 26 t.v. Skugga på skolgården den 17 augusti klockan 12. Framtagen av författarna.



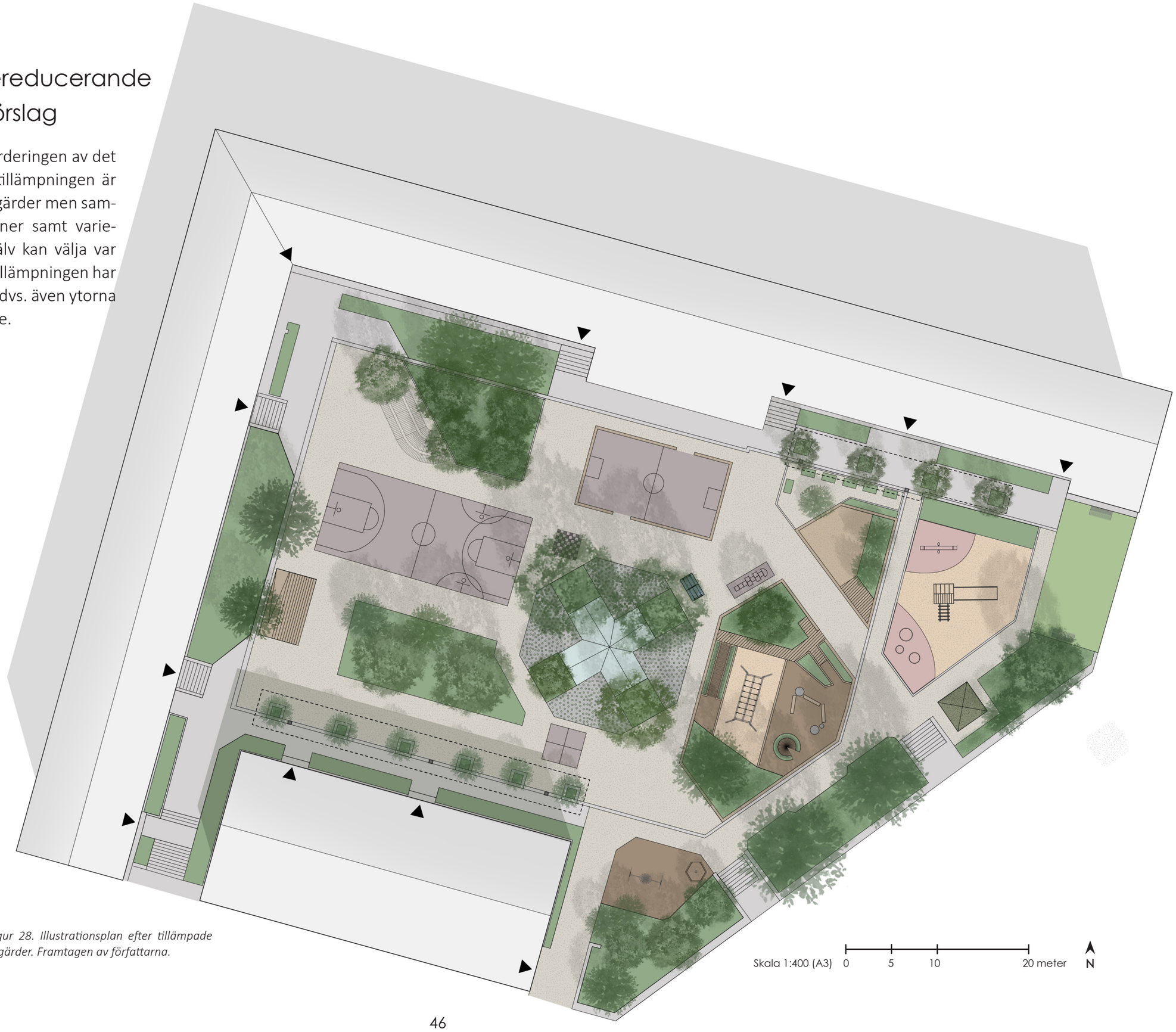
Figur 27 t.h. Skugga på skolgården den 17 augusti klockan 15. Framtagen av författarna.

Tillämpning av värmereducerande åtgärder i befintligt förslag

Detta kapitel grundar sig på utvärderingen av det befintliga förslaget. Syftet med tillämpningen är att addera värmereducerande åtgärder men samtidigt bevara essentiella funktioner samt varierande miljöer där människan själv kan välja var den vill vistas; i sol eller skugga. Tillämpningen har tillåtits göras på hela skolgården, dvs. även ytorna utanför Cedervalls åtgärdsområde.

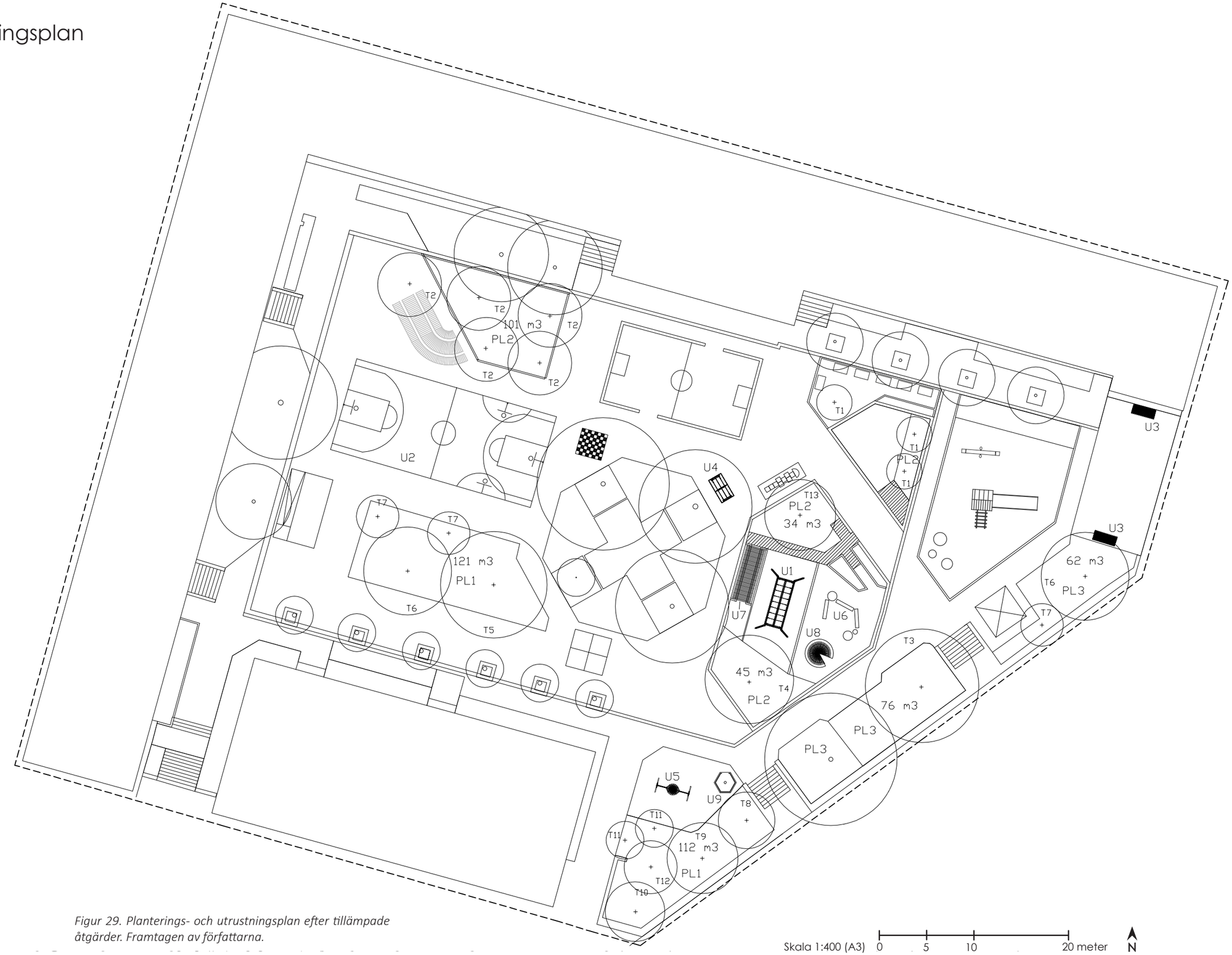
Illustrationsplan

- Vegetationsytor
- Grus
- Gräsarmering
- Betong
- Ljus dränasfalt
- Baksand
- Stridsand
- Gummiasfalt
- Gröna tak
- Träflis
- Trä (trädäck)
- BGG-system



Figur 28. Illustrationsplan efter tillämpade åtgärder. Framtagen av författarna.

Planterings- och utrustningsplan



Figur 29. Planterings- och utrustningsplan efter tillämpade åtgärder. Framtagen av författarna.

Vegetationsytor	
Bet	**Utrustning**
PL1	Trädskikt
PL2	Träd- och buskskikt
PL3	Träd-, busk- och markskikt

Utrustningslista		
Bet	**Antal**	**Utrustning**
U1	1	Repgunga
U2	1	Basketplan
U3	2	Bollmål
U4	1	Bordtennisbord
U5	1	Kompisgunga
U6	1	Liggande stockar och stenar
U7	1	Salixgång
U8	1	Salixkoja
U9	1	Lekpaviljong

De tillkomna trädarterna (11st (totalt 16st nya träd), se tabell 10) i tillämpningen har valts ut utifrån tabell 7 med torktoleranta arter, då skolgården enligt figur 22 är en varm plats. Trädarterna valdes även ut utifrån att de är härdiga i zon 3. Några av trädarterna (*Carya ovata, Gymnocladus dioicus* & *Phellodendron amurense*) har enligt tabell 5 ett sent bladutspring. Ett sent bladutspring innebär att solens strålar kan lysa igenom träden och värma längre in på våren innan sommarvärmen kommer. I tabell 5 framgår det även information kring *Carya ovata*s genomsläpplighet av ljus; 15-28% på sommaren och 66% på vintern.

De nya vegetationsytorna har delats in i PL1, PL2 och PL3 för att definiera i vilka skikt (träd-, busk- och markskikt) ytorna ska delas in i. Flerskiktade bestånd bidrar till mer avdunstning och därmed större nedkylande effekt. Utrustningen som har föreslagits i det befintliga förslaget har i största möjliga mån behållits alternativt bytt plats på skolgården. Exempelvis har basketplanen roterats för att få plats med en större växtbädd i nära anslutning som kan bidra med skugga på planen.

Tillämpning av värmereducerande åtgärder i det befintliga förslaget berör inte bebyggelsegeometri då det snarare är aktuellt i tidigare skeden i planeringsprocessen.

Material

De hårdgjorda ytorna av asfalt, en del av betongytorna samt konstgräset ersätts till mer permeabla ytmaterial eller material med ett högre albedo. Ytorna föreslås ersättas med vegetationsytor, gräsarmering (av antingen metall, betong eller plast), ljust grus och ljus dränasfalt. Betongplattorna närmast huskropparna och entréerna behålls då de har en viss permeabilitet samt är slitstarka, vilket är fördelaktigt där många människor rör sig. Det svarta taket på förrådet föreslås ersättas med ett extensivt grönt tak och de svarta taken på skolbyggnaden föreslås bytas ut mot ett kallfärgat plåttak, vilket reflekterar bort infraröd strålning. Andelen gummiasfalt har minskats något och ersatts med stridd sand. Medan gummisasfalten är ett tillgängligt markmaterial är den stridda sanden däremot det inte. Därför har vissat ytor med gummisasfalt behållts för att bibehålla funktionen av en tillgänlig skolgård.

Vegetation

Det föreslås omfattande åtgärder för att få en större variation av arter i mark-, busk- och trädskikt. Växtbäddarna för de nya träden (T1 & T2) i det befintliga förslaget ersätts med större, väl tilltagna växtbäddar, för att säkerställa en god utveckling och därmed öka andelen skugga och evaporativ kylning. De nya träden från det befintliga förslaget och de nytillkomna träden i tillämpningen (T3 tillochmed T13) har fått växtbäddar anpassade utifrån 75% av trädens förväntade slutstorlek (se slutstorlek i tabell 10) detta då träd i stadens olika ståndorter i regel oftast endast uppgår till 75% av artens maximala storleken. Därefter definieras storleken av växtbädden enligt figur 13 (de två värdena i mitten i grafen). Träd som står i hårdgjord yta ges en sammanhängande växtbädd med öppet förstärkningslager (BGG-system). Till dessa växtbäddar leds dagvatten ner genom brunnar placerade i ränndalar. Vid fasader utan fönster planteras klätterväxter växande på vajer. Detta gäller främst det fristående husets östra fasad. Krontäckningen har beräknats till cirka 34% för arbetsområdet.

Vatten

En ökning av vegetationsytor med 17 procentenheter föreslås, vilket bidrar till en ökad fördröjning och rening av dagvatten samt markfukt. Den förmodligen låga markfukten i anslutning till den impermeabla asfaltsytan ersätts med permeabla ytmaterial som bidrar till en högre markfukt. Se valda ytmaterial under Material. Den upphöjda kantstenen runt vissa av planteringsytorna tas bort för att på så vis kunna leda ner dagvatten till planteringsytorna. Där det är möjligt leds vattnet från ränndalarna ner i brunnar kopplade till växtbäddar med öppet förstärkningslager för träd i hårdgjorda ytor.

Träd				
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Sluthöjd/bredd**
T1	4	Elaeagnus angustifolia	Smalbladig silverbuske	5/5
T2	4	Robinia pseudoacacia ‘Semperflorens’	Robinia	19/9
T3	1	Carya ovata	Skidhickory	14,5/12,5
T4	1	Ostrya carpinifolia	Humlebok	22,5/16
T5	1	Quercus cerris	Turkisk ek	20/15
T6	2	Quercus frainetto	Ungersk ek	16/12,5
T7	2	Cornus mas	Körsbärskornell	10/6
T8	1	Prunus sargentii	Bergkörsbär	10/8
T9	1	Phellodendron amurense	Sibirisk korkek	9/10
T10	1	Gymnocladus dioicus	Kentuckykaffe	17,5/8,5
T11	2	Acer tataricum	Rysk lönn	7,5/5,5
T12	1	Acer x zoeschense	Dansk lönn	9/7,5
T13	1	Corylus colurna	Turkisk hassel	17,5/10

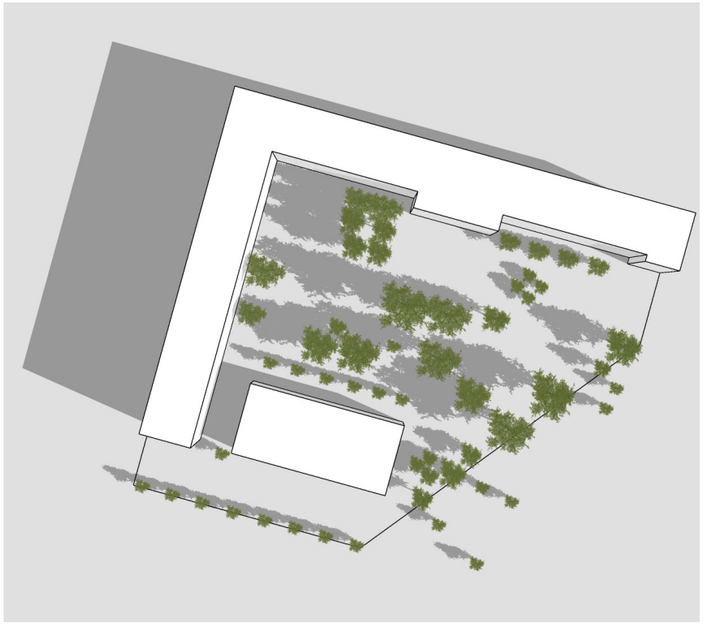
Tabell 10 t.v. Växtlista med växtförslag av träd, tillsammans med förväntad sluthöjd och bredd för respektive art.

Markmaterial	**Yta (m²)**	**Yta (%)**
Grus	1683	34
Vegetationsytor	1326	27
Betong	883	17
Ljus dränasfalt	390	8
Gräsarmering	205	4
Gummiasfalt	189	4
Träflis	171	3
Strid sand	65	1
Baksand	53	1
Trä (trädäck)	29	0,6
Totalt	**4994**	**100**

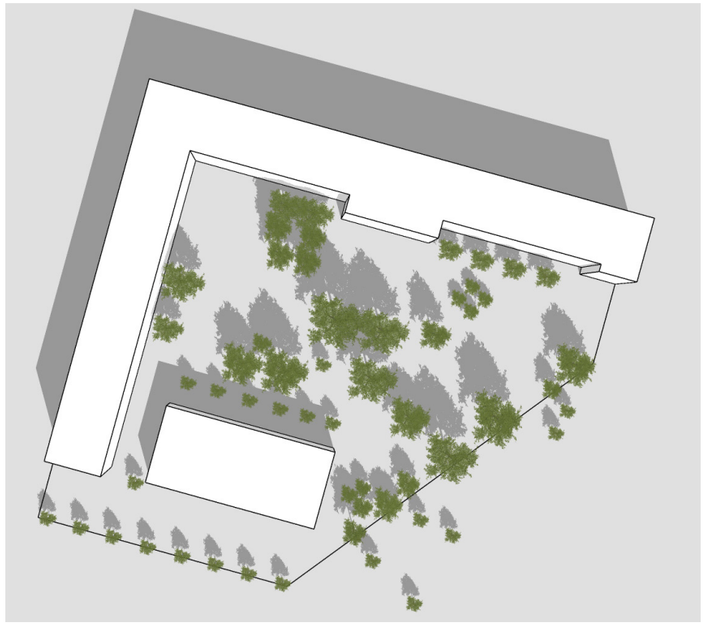
Tabell 11 t.h. Markmaterial för arbetsområdet på Sofia skola efter tillämpade åtgärder.

Skugga

Under dagtid på skolgården i det befintliga förslaget finns det många solutsatta platser, som exempelvis basketplanen och ytan med gummiasfalt, vilka föreslås beskuggas med hjälp av vegetation. Då skapas en relativt jämn fördelning mellan skuggiga och soliga platser, där människan själv kan välja var den vill vistas. I figur 31 nedan framgår det att det vid klockan 12 på dagen finns delvis skugga vid alla aktivitetsytor inom skolgården (se aktivitetsytorna i figur 28).



Figur 30. Skugga på skolgården den 17 augusti klockan 09 efter tillämpade åtgärder.



Figur 31. Skugga på skolgården den 17 augusti klockan 12 efter tillämpade åtgärder.

Figur 32. Skugga på skolgården den 17 augusti klockan 15 efter tillämpade åtgärder.

Sammanfattning och jämförelse - Sofia skola

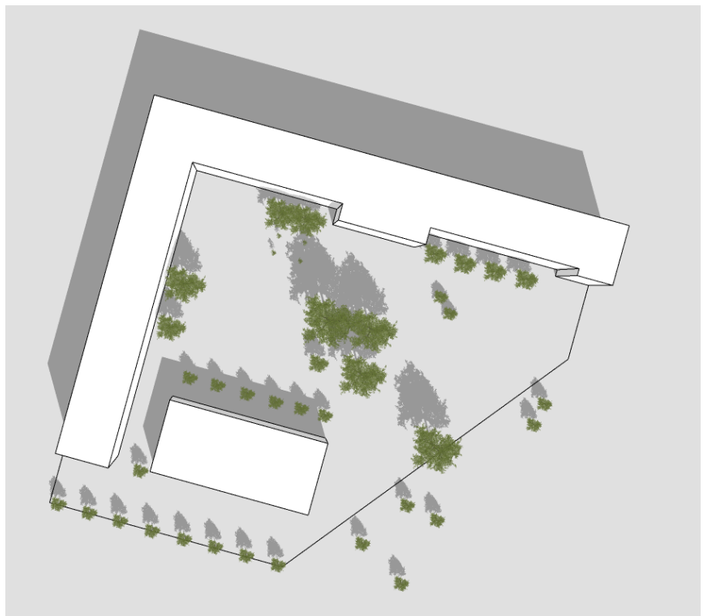
- Markmaterial, krontäckning & skugga

	Bef. förslag	**Tillämpning**
Markmaterial	**Yta (%)**	**Yta (%)**
Asfalt	44	-
Betong	23	17
Vegetationsytor	10	27
Konstgräs	8	-
Grus	4	34
Gummiasfalt	4	4
Träflis	3	3
Strid sand	2	1
Baksand	1	1
Trä (trädäck)	0,6	0,6
Ljus dränasfalt	-	8
Gräsarmering	-	4
Totalt	**100**	**100**

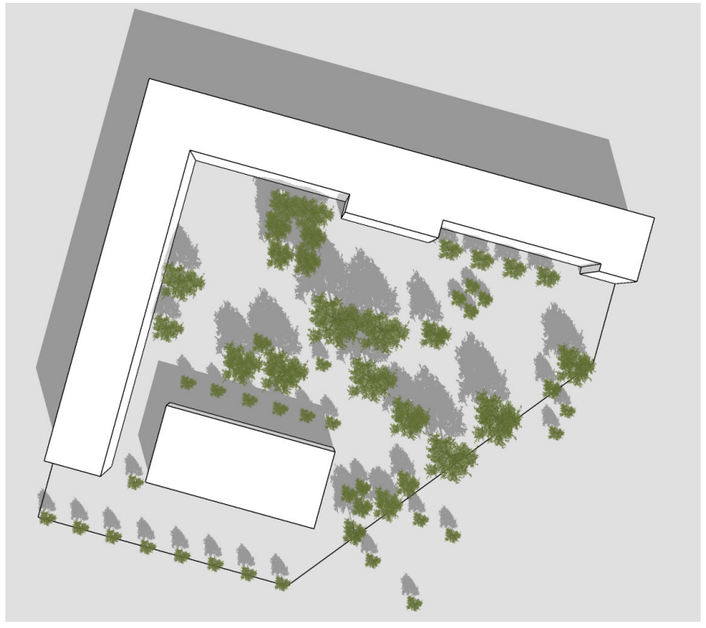
Tabell 12. Markmaterial för arbetsområdet på Sofia skola för befintligt förslag och efter tillämpade åtgärder.

Krontäckning Sofia skola	
Stadie	**(%)**
Nuläge	19
Bef. förslag	20
Tillämpning	34

Tabell 13. Krontäckning för arbetsområdet på Sofia skola. Nuläge, befintligt förslag och efter tillämpade åtgärder.



Befintligt förslag kl 12



Tillämpning av värmereducerande åtgärder kl 12

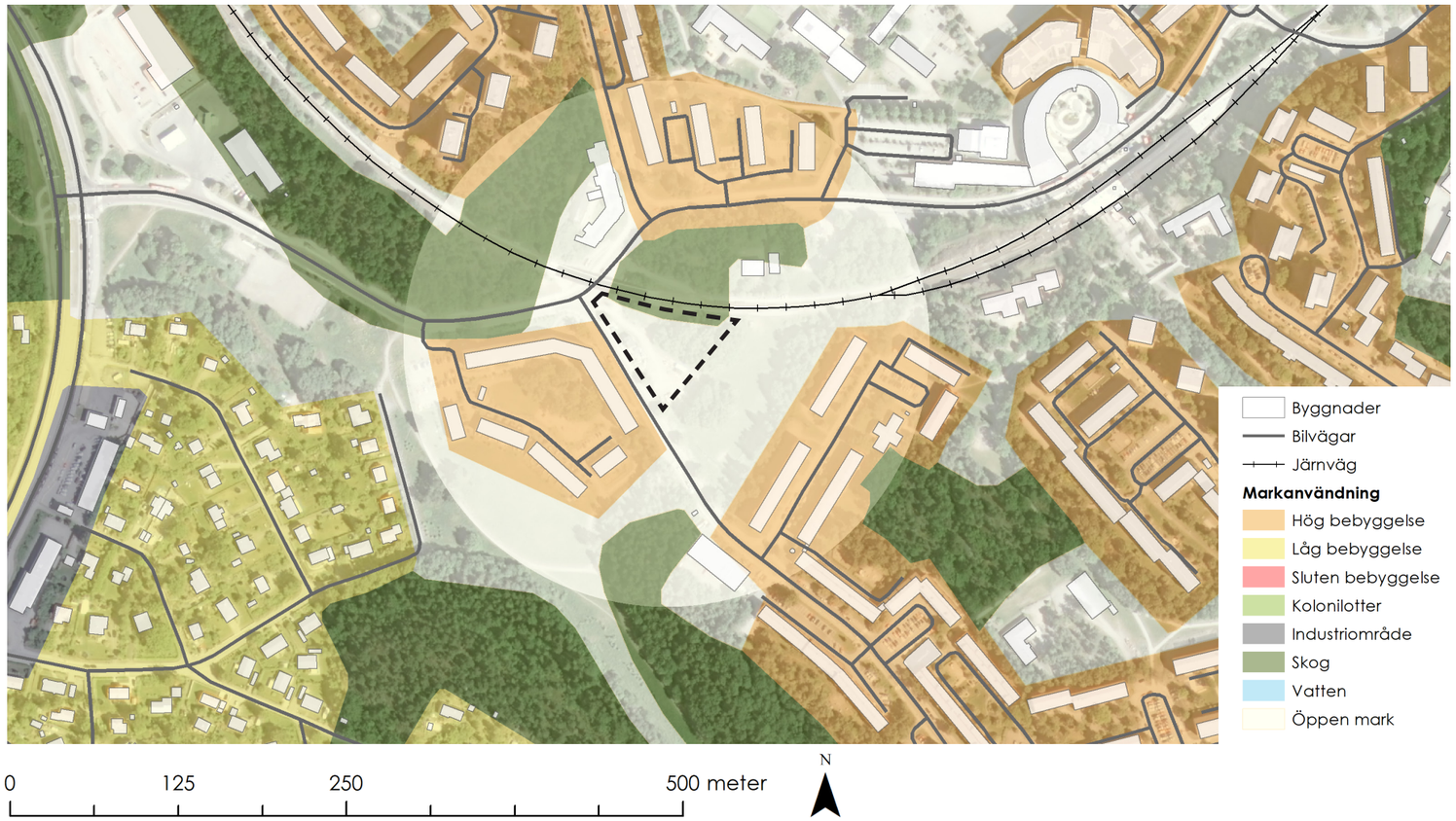
Bjurbäcken bostadsgård

Nulägesbeskrivning

Figur 33. Området där Bjurbäcken ska byggas (streckad svart linje) i sitt sammanhang, södra delen av Enskede-Årsta-Vantör (Rågsved). Gatan lokaliserad i sydväst direkt i anslutning till Bjurbäcken, heter Bjursätragatan.

Enligt beställaren Stockholmshem finns det planer på att till våren år 2023 bygga 125 stycken lägenheter fördelat på två flerfamiljshus bestående av sex våningar vardera, i anslutning till Bjursätragatan i centrala Rågsved (se figur 33). Vid Bjursätragatan planeras det för ett nytt stadskvarter där de två flerfamiljshusen med totalt 125 lägenheter och tillhörande bostadsgård utgör halva kvarteret. Stockholms stad beskriver hur den andra halvan av kvarteret kommer att utgöras av drygt 200 bostadsrätter som ska byggas av Titania. De 125 lägenheter som byggs av Stockholmshem kommer att bli hyresrätter och är del av projektet Stockholmshusen, vilket är en satsning där målet är att med lägre kostnader och på ett snabbare sätt bygga nya bostäder. Taken på lägenhetshusen planeras att bli sadeltak med en svart färg och fasaderna planeras att utgöras av ljusa färger, såsom ljusgrön, ljusgul och ljusorange.
Ett syfte med byggandet av de nya bostadshusen är att

Markanvändning



Figur 34. Markanvändning i Bjurbäckens omgivning. Den ljusa cirkel indikerar ett avstånd på 200 meter från bostadsgårdens mitt.

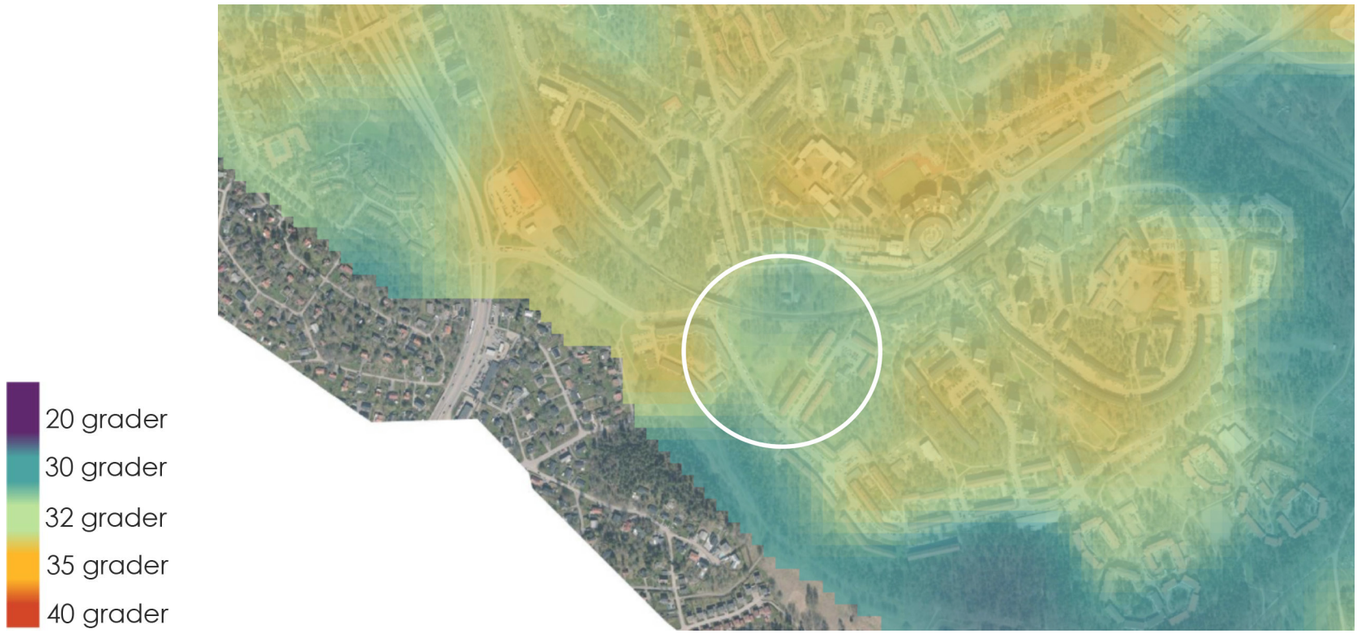
göra området tryggare och mer levande. För att uppnå en stadskaraktär i det nya kvarteret har entréerna på några av lägenhetshusen placerats ut mot Bjursätragatan. I nära anslutning finns Rågsveds naturreservat som utgörs av barr- och ädellövskog samt ängsmark.

Markanvändningen i Bjurbäckens omgivning består till stor del av öppen mark och hög bebyggelse. Här finns också en del skog samt låg bebyggelse sydväst om området. Området där Bjurbäcken ska byggas klassificeras enligt figur 34 som “Öppen mark”.

Maximal strålningstemperatur

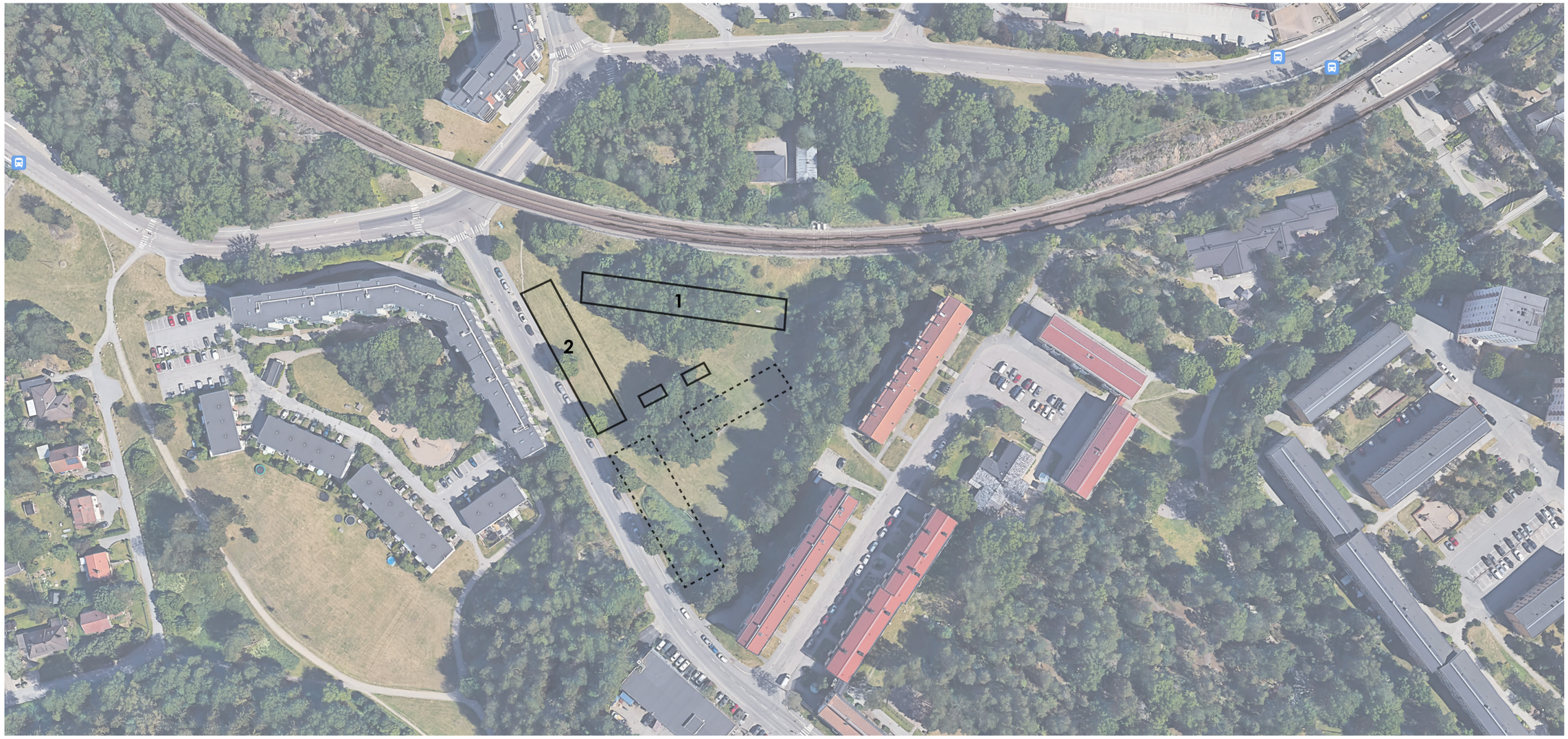
Den maximala strålningstemperaturen mellan åren 2013-2021 i den södra delen av Enskede-Årsta-Vantör visar på att det finns ett tydligt samband mellan bebyggelse och högre strålningstemperatur (se figur 35). I figur 36 går det exempelvis att urskilja hur de lägsta strålningstemperaturerna är lokaliserade där det finns vegetation samt gles eller ingen bebyggelse alls.

Figur 35. Maximal strålningstemperatur uppmätt mellan åren 2013-2021 för den södra delen av Enskede-Årsta-Vantör. Den vita cirkeln indikerar området där bostadsgården Bjurbäcken ska byggas.



Figur 36. Förstorat utsnitt av maximal strålningstemperatur uppmätt mellan åren 2013-2021. Den vita cirkeln indikerar området där bostadsgården Bjurbäcken ska byggas.

Figur 37. Flygfoto över området där bostadsgården Bjurbäcken ska byggas.



Figur 38. Den nya bebyggelsestrukturen vid Bjursätragatan i relation till befintlig vegetation. Byggnader med heldragen linje tillhör bostadsgården som berörs vidare i tillämpningsstudien. Byggnader med streckad linje kommer att bli en del av samma nya stadskvarter, men berörs inte vidare i tillämpningsstudien.

Befintlig vegetation

Enligt en naturvärdesanalys publicerad av Stockholms stad framgår det att den nya bebyggelsen vid Bjursätragatan kommer att påverka befintlig vegetation på platsen. I en klimatberäkning gjord av Edge för projekteringen av bostadsgårdarna vid Bjursätragatan framgår det att totalt 120 träd kommer att tas ned i samband med nybyggnationen. Stockholms stad skriver att träddungen som är placerad där lägenhetshus 1 kommer att byggas har ett tydligt naturvärde. Idag finns det 30 träd i träddungen; 26 stycken ekar, 3 stycken tallar, 1 rönn och 1 sälg. Huskropp 1 kommer att ha en stor påverkan på den befintliga träddungen då 27 träd eller mer kommer att tas ned.

Krontäckningen har beräknats till cirka 66% för arbetsområdet.

Bilder över området där bostadsgården Bjurbäcken ska byggas. Tagna av Lindbäcks, godkända för publicering.

Befintligt förslag

Illustrationsplan

Förslaget har stort fokus på dagvattenhantering och biologisk mångfald. Vilket avspeglas i variationen av arter (se växtlistor i Bilaga 6), bihotell, lokal fördröjning av dagvatten i form av regnbäddar, möjlighet till fördröjning av regnvatten i den nedsänkta grönytan i mitten av bostadsgården samt stråk med öppna förstärkningslager. Ett annat fokus har varit att göra klimatsmarta val vad gäller material. Totalt är det tre ekar som bevaras. Dimensionerna på gårdsgatans asfaltsyta är anpassade för utryckningsfordons framkomlighet.

Figur 39. Gestaltning, förenklad för rapporten. Edge.

Planterings- och utrustningsplan

Figur 40. Planterings- och utrustningsplan, förenklad för rapporten. För att framhäva litteran i planen har taken en ljusare färg än den svarta det planeras för. Finns i sin helhet som Bilaga 5. Edge.

Växtlistor

Träd					
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Kvalitet**	**Sluthöjd/bredd**
T1	2	Alnus incana 'Laciniata'	Flikbladig gråal	högstam 4x kl 18-20	10,5/5,5
T2	3	Betula pendula fk Julita E	Vårtbjörk	högstam 4x kl 18-20	19/10
T3	1	Celtis occidentalis	Bäralm	högstam 4x kl 18-20	10/7
T4	6	Malus floribunda	Rosenapel	högstam 4x kl 18-20	4,5/4,5
T5	1	Prunus avium 'Heidi'	Sötkörsbär	stamhöjd 120-140, RCB/3xkl 16-18	5/3,5
T6	1	Prunus avium 'Lapins' E	Sötkörsbär	stamhöjd 120-140, RCB/3xkl 16-18	5/3,5
T7	1	Prunus avium 'Merton Glory' E	Sötkörsbär	stamhöjd 120-140, RCB/3xkl 16-18	9/6
T8	1	Prunus avium 'Stella'	Sötkörsbär	stamhöjd 120-140, RCB/3xkl 16-18	11,5/6,5
T9	4	Prunus cerasus 'Skuggmorell'	Surkörsbär	co 30 liter, omplanterad 3-4 års	5/3,5
T10	1	Prunus domestica 'Victoria'	Plommon	stamhöjd 120-140, RCB/3xkl 16-18	4/4
T11	1	Prunus domestica 'Reine Claude d´Oullins' E	Plommon	stamhöjd 120-140, RCB/3xkl 16-18	6/5
T12	1	Prunus ´Opal´ E	Plommon	stamhöjd 120-140, RCB/3xkl 16-18	5/4
T13	3	Prunus padus FK Ultuna E	Hägg	högstam 3x kl 18-20	10/6
T14	1	Pyrus communis 'Jut'	Gråpäron	högstam, RCB/3xkl 16-18	5/3,5
T15	2	Quercus palustris	Kärrek	högstam 4x kl 20-25	17,5/11,5
T16	1	Quercus rubra E	Rödek	högstam 4x kl 20-25	22,5/15
T17	4	Quercus robur fk ULTUNA E	Skogsek	högstam 4x kl 18-20	22,5/17,5
T18	4	Salix caprea	Sälg	stambusk co 20-25 Air-Pot	10,5/6,5
T19	5	Sorbus aucuparia 'Fastigiata'	Pelarrön	ungträd co/kl 150-175	7/2

Bärbuskar				
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Kvalitet**
F1	2	Ribes (Krusvinbär-gruppen) 'Josta'	Krusvinbär	busk co 3,5 l
F2	1	Ribes rubrum (Röda Vinbär-gruppen) 'Jonkheer van Tets'	Röda vinbär	busk co 3,5 l
F3	2	Ribes rubrum (Svarta Vinbär-gruppen) 'Narve Viking'	Svarta vinbär	busk co 3,5 l
F4	1	Ribes rubrum (Rosa Vinbär) 'Pink champagne'	Rosa vinbär	busk co 3,5 l
F5	2	Ribes rubrum (Vita Vinbär-gruppen) 'Vit Jätte'	Vita vinbär	busk co 3,5 l
F6	1	Rubus (björnbär-gruppen) 'Chester'	Björnbär	busk co 3,5 l
F7	2	Rubus (björnbär-gruppen) 'Loch Tay'	Björnbär	busk co 3,5 l
F8	1	Ribes uva-crispa 'Black Velvet'	Krusbär	busk co 3,5 l
F9	1	Ribes uva-crispa 'Spine-free'	Krusbär	busk co 3,5 l
F10	1	Vaccinium angustifolium 'Emil'	Lågväxande hybridblåbär	busk co 2 l
F11	1	Vaccinium corymbosum 'Bluecrop'	Amerikanska blåbär	busk co 3,5 l
F12	1	Vaccinium corymbosum 'Patriot'	Amerikanska blåbär	busk co 3,5 l
F13	1	Ficus carica ´King´	Fikon	co 3,5 l 40-50

Buskar				
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Kvalitet**
B1	3	Amelanchier alnifolia FK Alvdal E 'Martin'	Bärhäggmispel	solitär 3x kl 150-175
B2	1	Amelanchier laevis fk BÄCKLÖSA E	Kopparhäggmispel	solitär 3x kl 150-175
B3	10	Amelanchier laevis fk BÄCKLÖSA E	Kopparhäggmispel	solitär 3x kl 150-175
B4	15	Aronia melanocarpa 'Glorie' E	Svartaronia	busk co 3,5 l, c/c 60 cm
B5	1	Aronia x prunifolia 'Viking'	Slånaronia	busk co 3,5 l
B6	9	Buddleja davidii NANHO BLUE	Syrenbuddleja	solitär co/kl 125-150
B7	4	Buddleja davidii NANHO WHITE	Syrenbuddleja	solitär co/kl 125-150
B8	108	Chamaecytises purpurea	Rosenginst	co 3,5 l, c/c 60 cm
B9	1	Cornus kousa var. Chinensis ´China Girl´	Kinesisk blomsterkornell	Solitär 3x kl, 125-150
B10	2	Corylus (Hasselnöt-gruppen) 'Jättenöt från Halle'	Hasselnöt	busk co 10 l
B11	3	Cotinus coggygria ´Young Lady´	Perukbuske	solitär co/kl 100-125
B12	3	Hamamelis x intermedia 'Arnold Promise'	Hybridtrollhassel	solitär 3x kl 100-125
B13	1	Hamamelis x intermedia 'Diane'	Hybridtrollhassel	solitär 3x kl 100-125
B14	467	Lonicera caerulea var. kamtschatica ANJA® E	Blåbärstry	busk co 3,5 l, c/c 60 cm
B15	54	Lonicera caerulea var. kamtschatica ANJA® E	Blåbärstry	busk co 3,5 l, c/c 60 cm
B16	72	Lonicera nitida 'Maigrun'	Myrtentry	busk co 3,5 l, c/c 60 cm
B17	251	Ribes alpinum ´Pumilium´	Dvärgmåbär	busk co 3,5 l, c/c 80
B18	1	Sambucus nigra Black lace	Blodfläder	solitär co/kl 125-150
B19	3	Sorbus frutescens fk Ås E	Pärlrönn	solitär 3x kl, 125-150
B20	2	Viburnum furcatum	Japanskt gaffelolvon	solitär co/kl 50-60

Klätterväxter				
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Kvalitet**
K1	30	Hydrangea anomala ssp. Petiolaris	Klätterhortensia	co/kl 25-30
K2	30	Lonicera henryi	Vintertry	A-kval cc
K3	2	Clematis vitalba	Skogsklematis	A-kval cc
K4	10	Clematis montana var. grandiflora	Klematis	A-kval cc
K5	8	Clematis montana var. rubens 'Mayleen'	Klematis	A-kval cc
K6	8	Clematis 'Hagley Hybrid'	Klematis	A-kval cc
K7	58	Hydrangea anomala ssp. Petiolaris	Klätterhortensia	co/kl 25-30
K8	1	Vitis 'Reliance'	Vin	A-kval co 1,5 l, c/c 60 cm
K9	1	Vitis 'Somerset Seedless'	Vin	A-kval co 1,5 l

Häck- och landskapsväxter				
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Kvalitet**
H1	12	Aronia x prunifolia	Slånaronia	häck 50-80, c/c 100
H2	20	Cornus sericea ´Flaviramea´	Gullkornell	häck 50-80, c/c 100
H3	78	Lonicera caerulea fk FALUN E	Blåtry	häck 50-80, c/c 100
H4	95	Rosa glauca ´Nova´ E	Daggros	häck 50-80, c/c 100
H5	12	Salix rosmarinifolia	Rosmarinvide	häck 50-80, c/c 100

Tabell 14. Växtlistor. Sluthöjd och bredd på träd är baserade på information från plantskolor. Edge.

Utvärdering av befintligt förslag

- baserat på innehållet i avsnitt *Verktygslådan*

Material

Vid en beräkning av de olika markmaterialen (se tabell 15) på bostadsgården framgick det att vegetationsytorna utgör ungefär lika stor del som de hårdgjorda ytorna (asfalt och betong). Asfalt och betong har ett lågt albedovärde och hög värmekapacitet medan vegetationsbeklädda ytor genererar lägre temperaturer. Taken på lägenhetshusen som omgärdar bostadsgården kommer att ha en svart färg och fasaderna planeras att utgöras av ljusa färger, såsom ljusgrön, ljusgul och ljusorange. *Övrigt* i tabellen nedan består av bland annat av kantstöd, friser och avfallsbehållare.

Markmaterial	**Yta (m²)**	**Yta (%)**
Vegetationsytor	1513	45
Asfalt	1165	34
Betong	470	14
Övrigt	217	6,5
Baksand	12	0,4
Totalt	**3377**	**100**

Tabell 15. Markmaterial för arbetsområdet på Bjurbäcken bostadsgård. Projekterat förslag.

Vegetation

I förslaget föreslås enbart lövfällande träd vilka har placerats i de rekommenderade väderstrecken (öster/sydöst/söder/sydväst/väster) om byggnaderna i den mån det går inom arbetsområdet. Våningsantalet (6 våningar) för de två byggnaderna inom arbetsområdet medför att taken inte kan bli beskuggade, detta är endast aktuellt för miljöhusen (1 våning). Vissa av träden har placerats inom 9-15 m från huskropparna vilket genererar skugga på husfasaden. Gröna fasader i form av klätterväxter av arterna *Hydrangea anomala* ssp. *petiolaris* (Klätterhortensia) (lövfällande) och *Lonicera henryi* (Vintertry) (vintergrön) har i förslaget placerats längs hela norra sidan av huskroppen placerad i norr. En spaljé är placerad i sydöstra delen av bostadsgården (vid sandlådan) klädd i tre olika arter av Klematis (Se figur 39 & 40). I förslaget föreslås en variation av arter och det förekommer områden med flerskiktad vegetation där träd, buskar och perenner kombineras. Ett flertal buskar (se tabell 14) föreslås i vistelsezonen vilket kan bidra till en sänkning av temperaturen. Krontäckningen har beräknats till cirka 36,1% för fastigheten.

För att undersöka den förväntade slutstorleken och därmed skuggtäckningen för de nyplanterade träden/buskträden så beräknades volymen för växtbäddarna. Då vissa växtbäddar utgörs av trädgropar belägna i större planterings/gräsytor kommer trädens rötter dock inte vara begränsade till enbart trädgropen utan kommer även kunna sprida sig och utnyttja angränsande planteringsytor. Dimensioneringen för växtbäddarna anses därför inte relevant för att beräkna förväntad sluthöjd för detta förslag. Växtbädden i sydväst vid kortsidan av den västra byggnaden är däremot belägen i nära anslutning till hårdgjorda ytor vilket medför att dimensioneringen för denna växtbädd är väsentlig. Den har beräknats till 10 m³ baserat på djupet 1 m för växtbädd TG1 (se Bilaga 4), arean 16 m² samt en schaktslänt på 2:1. Det är fem träd placerade i växtbädden på 10 m³ vilket ger dem 2 m³ vardera. Växtförslaget för denna växtbädd (T19) är *Sorbus aucuparia* ‘Fastigiata’ (Pelarrönn) vilket har en sluthöjd på ungefär 7 m och en bredd på 2 m. Baserat på Figur 13 och de två värdena i mitten i grafen kan en växtbäddsvolym på 2 m³ leda till en krondiameter på ungefär 1-2 m vilket innebär en begränsad möjlighet för tillväxt.

Tack vare stora sammanhängande grönytor som möjliggör för trädens rötter att sprida sig för att tillgå sitt vattenbehov ses inget direkt behov för torktoleranta arter i dagsläget.

Bebyggelsegeometri

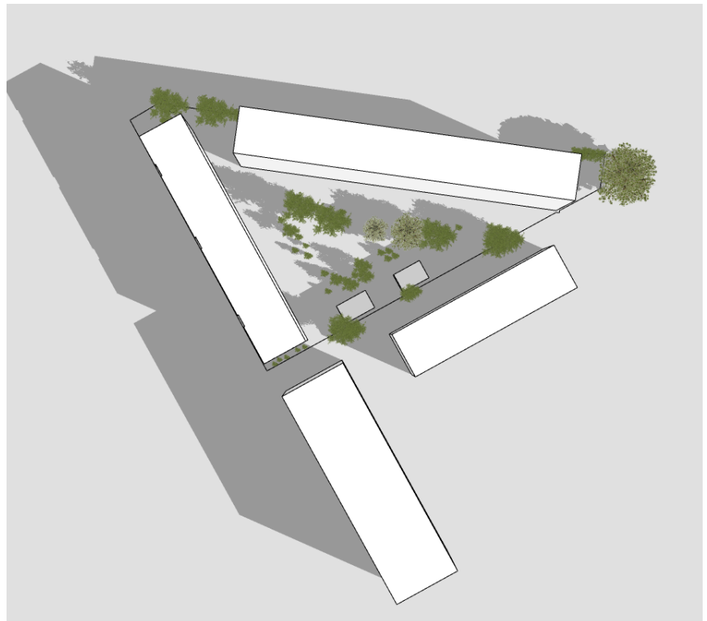
Byggnaderna som omger bostadsgården är 6 våningar höga med en öppen grönyta i mitten lokaliserad i söderläge. Bostadsgården beskuggas delvis av flerfamiljshuset som ska byggas söder om gården (se nästkommande sida). Den omkringliggande bebyggelsen består av gles hög bebyggelse (figur 34).

Vatten

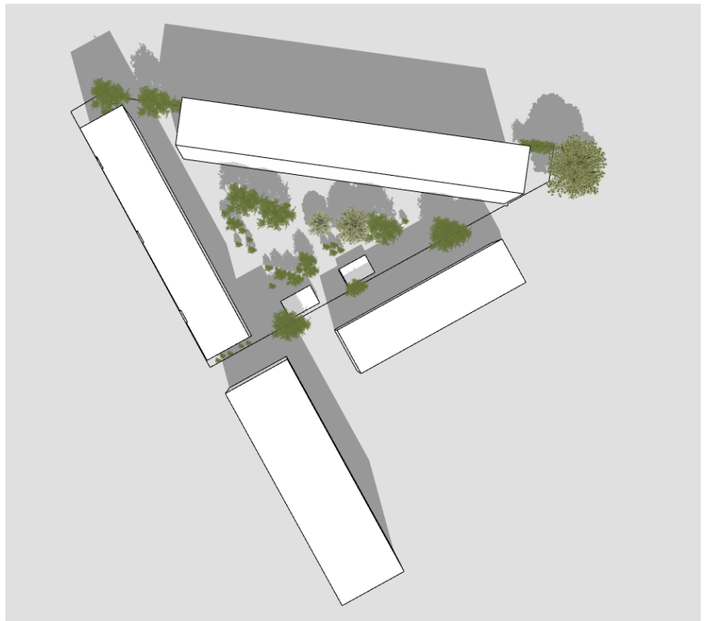
Lokal fördröjning av dagvatten finns på platsen i form av regnbäddar, öppna förstärkningslager samt möjlighet för infiltrering av dagvatten i den nedsänkta grönytan i mitten av bostadsgården.

Skugga

På bostadsgården finns det inga betydande variationer i topografin som kan generera skugga. För att kunna analysera trädens och byggnadernas skuggbild har en skugganalys utförts. I skugganalysen har byggnadernas höjd bestämts utifrån en detaljritning över bostadsgården. Enligt tidigare redogörelse i rapporten kan trädens förväntade storlek i stadens olika ståndorter i regel endast uppgå till 75% av den maximala slutstorleken (se tabell 14 för slutstorlek). Trädens storlek i skugganalysen är baserade på denna siffra eftersom att växtbäddarna i förslaget är belägna i större plantering/gräsytor. Skugganalysen visar att under morgonen och mitt på dagen är fördelningen mellan skugga och sol på bostadsgården relativt jämn. På eftermiddagen är det mer skugga på bostadsgården men här finns även en del sol, bland annat vid sandlådan i den sydöstra delen av gården. Vid sandlådan finns det dock en spaljé med klätterväxter som genererar skugga (se placering av sandlåda i figur 40).



Figur 41. Skugga på bostadsgården den 17 augusti klockan 09.



Figur 42. Skugga på bostadsgården den 17 augusti klockan 12.

Figur 43. Skugga på bostadsgården den 17 augusti klockan 15.

Tillämpning av värmereducerande åtgärder i befintligt förslag

Detta kapitel grundar sig på utvärderingen av det befintliga förslaget. Syftet med tillämpningen är att addera värmereducerande åtgärder men samtidigt bevara essentiella funktioner samt varierande miljöer där människan själv kan välja var den vill vistas; i sol eller skugga.

Illustrationsplan

- Gräsmatta
- Vegetationsytor
- Grus
- Gräsarmering
- Betong
- Asfalt
- Baksand
- Gröna tak

Figur 44. Illustrationsplan efter tillämpade åtgärder.

Skala 1:400 (A3) 0 5 10 20 meter N

Tillämpning av värmereducerande åtgärder i det befintliga förslaget berör inte bebyggelsegeometri då det snarare är aktuellt i tidigare skeden i planeringsprocessen.

Material

De hårdgjorda ytorna av asfalt och betongplattor ersätts i största möjliga mån av mer permeabla ytmaterial eller material med ett högre albedo. Ytorna föreslås ersättas med gräsarmering (av antingen metall, betong eller plast) och grus med ljus färg. De svarta taken på lägenhetshusen föreslås ersättas med extensiva gröna tak.

Markmaterial	**Yta (m²)**	**Yta (%)**
Vegetationsytor	1513	45
Grus	841	25
Gräsarmering	367	10
Betong	233	7
Övrigt	217	6,5
Asfalt	194	6
Baksand	12	0,4
Totalt	**3377**	**100**

Tabell 16. Markmaterial för arbetsområdet på Bjurbäcken bostadsgård efter tillämpade åtgärder.

Vegetation

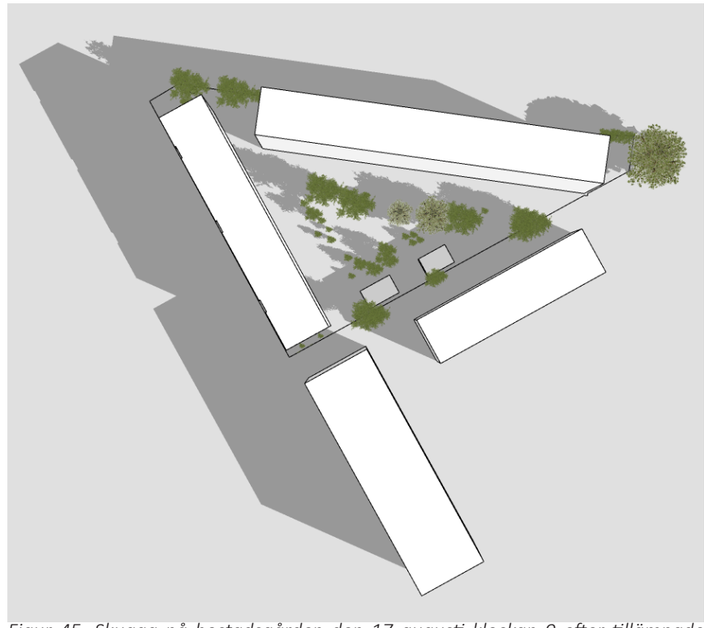
Då det föreslås en stor variation av arter i mark-, busk- och trädskikt i väl tilltagna växtbäddar krävs inga omfattande åtgärder. Åtgärder föreslås för växtbädden i sydväst vid kortsidan av den västra byggnaden där (T19) *Sorbus aucuparia* 'Fastigiata' (Pelarrönn) har föreslagits, då de enbart får 2 m³ vardera. Här kan tre träd tas bort och ersättas med tre buskar, för att ge en större växtbäddsvolym (5 m³ vardera). Mängden träd i förslaget bidrar till en god balans mellan soliga och skuggiga miljöer. Krontäckningen har beräknats till cirka 36% för fastigheten.

Vatten

Då stort fokus i det befintliga förslaget av bostadsgården har varit hantering och fördröjning av dagvatten behöver inte detta åtgärdas. Den förmodligen låga markfukten i anslutning till den impermeabla asfaltsytan och de till viss del permeabla betongplattorna ersätts med permeabla ytmaterial som bidrar till en högre markfukt. Se valda ytmaterial under Material.

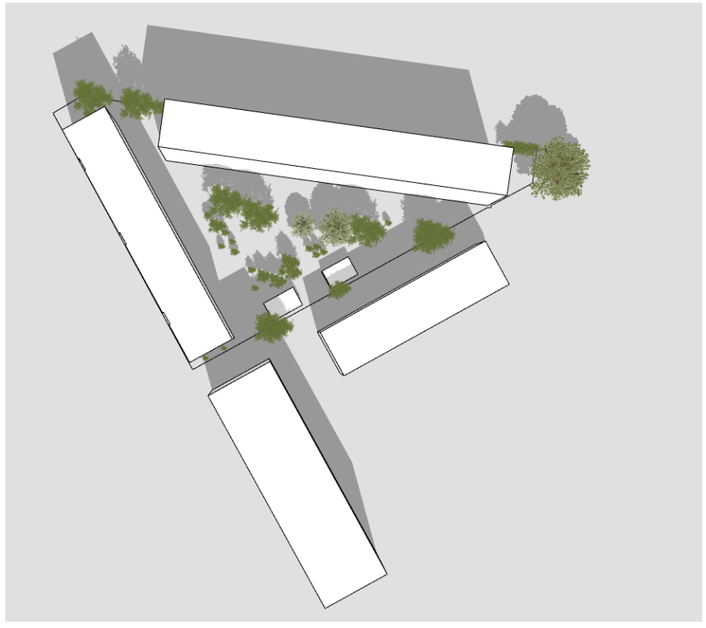
Skugga

Då det under dagtid på bostadsgården finns en relativt jämn fördelning mellan skuggiga och soliga platser, där människan själv kan välja var den vill vistas, behöver inte detta åtgärdas. Varav skugganalysen är nästintill identisk som i det befintliga förslaget. På eftermiddagen (kl 15) är andelen beskuggade platser högre medan sandlådan är solutsatt (för placering av sandlåda se figur 44). Söder om sandlådan finns det dock en spaljé med lövfällande klätterväxter som genererar skugga.



Figur 45. Skugga på bostadsgården den 17 augusti klockan 9 efter tillämpade åtgärder. Framtagen av författarna.

Figur 46. Skugga på bostadsgården den 17 augusti klockan 12 efter tillämpade åtgärder. Framtagen av författarna.



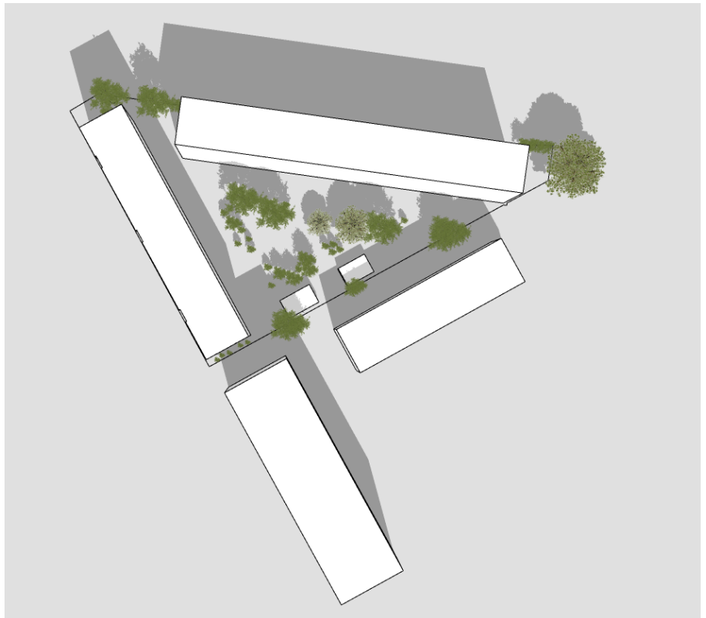
Figur 47. Skugga på bostadsgården den 17 augusti klockan 15 efter tillämpade åtgärder. Framtagen av författarna.

Sammanfattning och jämförelse - Bjurbäckens bostadsgård

-Markmaterial, krontäckning & skugga

	Bef. förslag	Tillämpning
Markmaterial	**Yta (%)**	**Yta (%)**
Vegetationsytor	45	45
Asfalt	34	6
Betong	14	7
Baksand	0,4	0,4
Övrigt	6,5	6,5
Grus	-	25
Gräsarmering	-	10
Totalt	**100**	**100**

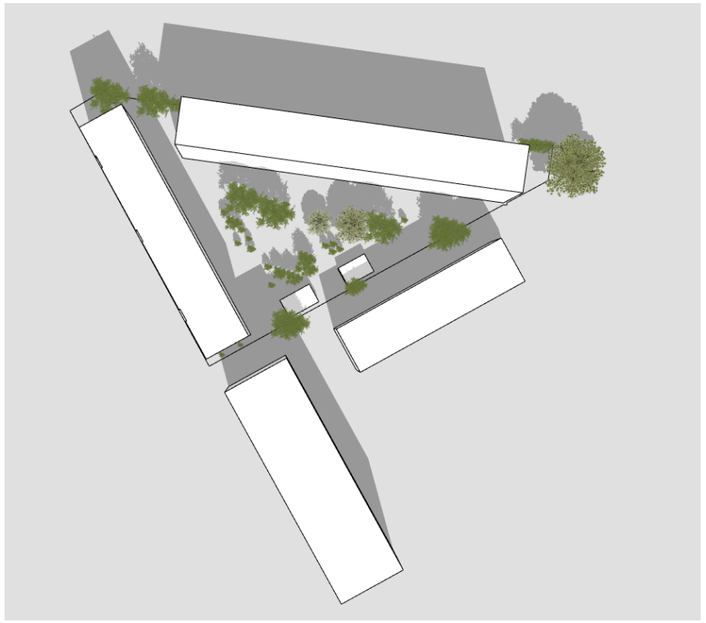
Tabell 17. Markmaterial för arbetsområdet på Bjurbäcken för befintligt förslag och efter tillämpade åtgärder.



Befintligt förslag kl 12

Krontäckning Bjurbäcken	
Stadie	**(%)**
Nuläge	66
Bef. förslag	36,1
Tillämpning	36

Tabell 18. Krontäckning för arbetsområdet på Bjurbäcken. Nuläge, befintligt förslag och efter tillämpade åtgärder.



Tillämpning av värmereducerande åtgärder kl 12

SAMMANFATTANDE REFLEKTION

En reflektion efter tillämpningsstudien är att olika kategorier av värmereducerande åtgärder är aktuella under olika faser av planeringsstadiet samt i olika skalor. Återigen kan det vara relevant att påminna om de förenklade föursättningarna för tillämpningsstudien, vilket gör att det kan upplevas som enkelt att byta ut markmaterial och placera ut träd. I praktiken skulle detta kanske stöta på motstånd på grund av platsens förutsättningar ovan och under mark eller ekonomiska begränsningar. I ett verkligt projekteringsskeende hade frågan om att skapa värmereducerande miljöer troligen behövts vägas mot, och samspela med, andra krav och önskemål som i vissa fall kan väga tyngre. Men samtidigt som tillämpningsstudien i denna rapport förvisso görs utan att adressera varenda potentiell intressekonflikt är det dock även relevant att vi vågar ifrågasätta vilka intressen som egentligen bör vara prioriterade. Kanske hamnar de värmereducerande åtgärderna i vissa fall i konflikt med den konventionella synen på vad ett projekt tilltåts kosta, hur en plats förväntas se ut eller hur den ska kunna användas. Att våga satsa på värmereducerande åtgärderna är också att att våga utmana det konventionella systemtänket. Vi rustar oss inför en föränderlig framtid där tillgången på svala platser i staden är direkt hälsoavgörande. Det är därför relevant att påminna om att ökade kostnader idag, är en investering för morgondagen. Det går att räkna hem såväl i livskvalitet som i minskade kostnader för sjukvården med mera.

En annan reflektion är att potentialen för intressekonflikter blir större ju mindre en plats är, medan en generösare plats också leder till att parallella funktioner och krav kan samexistera. Flera av de värmereducerande åtgärderna kräver också yta för att kunna leverera effektivt. För exempelvis en skolgård innebär detta ännu ett argument för att tillräcklig friyta ska tillämpas. När tillräcklig disponerbar yta finns är det samtidigt även möjligt att tillgodose behovet av platser både för sol/värme och skugga/svalka.

En konflikt som uppdagades var vid valet av att ersätta mer slittåliga material med värmereducerande markmaterial, som exempelvis vegetationsytor och gräsarmering, vilka är känsliga för högt slitage. Här gjordes avväganden genom att bevara mer slittåliga material där många människor rör sig men i övrigt fokuserade vi på att prioritera värmereducerande markmaterial. Likväl är ett val som detta en avvägning mellan att reducera värmen och eventuellt ökade kostnader för drift- och underhåll, vilket återigen sätter fingret på frågan om att våga utmana konventionerna och prioritera mikroklimatet.

Vad gäller växtval är en insikt att det behövs en god kännedom om platsens ovan- och underjordiska förutsättningar för att kunna projektera växtbäddar anpassade efter växtens förväntade slutstorlek och därmed säkerställa maximal evaporativ kylning och skuggivande förmåga från vegetationen.

Fem sammanfattande och avslutande punkter att ta med sig från rapporten och in i framtida projekt:

• Vikten av bra växtbäddar!
För att säkerställa livskraftiga och långlivade träd, med alla de ekosystemtjänster som dessa har potential att genererar under sin livstid, är det viktigt att alltid ge träden generöst dimensionerande växtbäddar. Förutom att rotutrymmet då inte blir en begränsande faktor så förbättras även tillgången på växttillgängligt vatten i en stor växtbädd - vilket är en förutsättning för kylande evapotranspiration och för friska träd som kan kasta en kvalitativ skugga. Eftersom vattnet är en grundläggande faktor för att skapa hållbara mikroklimat behöver vi använda vattnet i staden som resurs, och göra detta tillgängligt för växterna genom exempelvis dränerande beläggningar och avvattning mot planteringar.

• Att kunna sitt växtmaterial!
Eftersom vegetation i allmänhet, och kvaliteten på vegetationen i synnerhet, spelar en stor roll för möjligheten att skapa gynnsamma mikroklimat är det viktigt att tänka på att placera rätt träd på rätt plats. I den varma och hårdgjorda staden innebär detta ofta att använda torktåliga arter, som kan hantera tuffa förhållanden. Ett träd dåligt rustat för en torr växtplats kommer leda till att samma träd får en dålig utveckling vilket har en direkt negativ effekt på ekosystemtjänsterna och mikroklimatet. Det är även relevant att ta hänsyn till olika arters fysiologi i form av exempelvis krontäthet, eftersom detta påverkar kvaliteten på skuggan.

• Hårdgör mindre, plantera mer!
Generellt sett har hårdgjorda ytor en negativ inverkan på mikroklimatet genom att lagra värme och försämra markens genomsläpplighet, medan vegetationsytor istället har en omvänd effekt. Det finns dock såklart platser där vi behöver hårdgöra. Ur ett strikt väremrecuderande prepektiv är det då önskvärt med ljusa genomsläppliga material, ex en grusyta eller en dränerande betongsten med vegetation.

• Platser för sol, platser för skugga!
I ett nordiskt klimat är det viktigt att anamma ett helårsperspektiv, när vi tittar på utformningen av våra utemiljöer. Samma sol som på sommaren kan vara plågsamt varm kan på sommaren vara en förutsättning för att vi ska vilja vistas utomhus. På samma vis kan vinden som på vintern är obehaglig på sommaren vara nödvändig. Det handlar därför mycket om att skapa varierande platser med både sol och skugga, så att det själv går att välja var man vill vistas. På samma tema är inte heller målet att göra våra städer jämnsvala, utan

istället bör vi rikta våra värmereducernade åtgärder till att motarbete de farligt varma topparna som kan uppstå sommartid, samt att säkerställa att det finns tillgång på öar av svalt mikroklimat i den stundvis hårda varma staden.

• Sol är den primära källan till värme, vind är den största källan för nedkylning. Genom att förstå hur man kan jobba med och mot detta så har man också stora möjligheter att reglera lokalklimatet.

Referenser

Amorim, M.C. de C.T., Dubreuil, V. & Amorim, A.T. (2021). Day and night surface and atmospheric heat islands in a continental and temperate tropical environment. Urban Climate, 38, 100918. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100918

Bartlett, M.K., Scoffoni, C. & Sack, L. (2012). The determinants of leaf turgor loss point and prediction of drought tolerance of species and biomes: a global meta-analysis. Ecology Letters, 15 (5), 393–405. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01751.x

Bass, B., Krayenhoff, E., Martilli, A., Stull, R.B. & Auld, H. (2003). The impact of green roofs on Toronto's urban heat island. Proceedings of the First North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities, 292–304

Boverket (2015). Gör plats för barn och unga!- En vägledning för planering, utformning och förvaltning av skolans och förskolans utemiljö. Boverket. https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2015/gor-plats-for-barn-och-unga-bokversion.pdf [2023-03-14]

Boverket (2016). Rätt tätt. Boverket. https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2016/ratt-tatt/ [2023-01-30]

Boverket (2019a). Grönska och vatten reglerar temperaturen vid värmeböljor. Boverket. https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/naturen/betydelse/reglerar-temp/ [2023-01-23]

Boverket (2019b). Urbanisering. Boverket. https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/bostadsmarknad/bostadsforsorjning/flyttningar/urbanisering/ [2023-01-30]

Brown, R.D. (2010). Design with Microclimate: The Secret to Comfortable Outdoor Space. Washington, D. C., UNITED STATES: Island Press. http://ebookcentral.proquest.com/lib/slub-ebooks/detail.action?docID=3317501 [2023-03-07]

Brown, R.D. & Gillespie, T.J. (1995). Microclimatic landscape design: creating thermal comfort and energy efficiency. New York, N.Y: John Wiley.

Burkart, K., Meier, F., Schneider, A., Breitner, S., Canário, P., Alcoforado, M.J., Scherer, D. & Endlicher, W. (2016). Modification of Heat-Related Mortality in an Elderly Urban Population by Vegetation (Urban Green) and Proximity to Water (Urban Blue): Evidence from Lisbon, Portugal. Environmental Health Perspectives, 124 (7), 927–934. https://doi.org/10.1289/ehp.1409529

Coutts, A.M., Beringer, J. & Tapper, N.J. (2007). Impact of Increasing Urban Density on Local Climate: Spatial and Temporal Variations in the Surface Energy Balance in Melbourne, Australia. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 46 (4), 477–493. https://doi.org/10.1175/JAM2462.1

Deak Sjöman, J., Hirons, A., Bassuk, N. & Sjöman, H. (2021). Plant and Wood Area Index of Solitary Trees for Urban Contexts in Nordic Cities. Arboriculture & Urban Forestry, 47, 252–266. https://doi.org/10.48044/jauf.2021.022

Delshammar, T. & Fors, H. (2010). Gröna och blå strukturer för en hållbar stadsutveckling. Alnarp: Område landskapsutveckling, Sveriges lantbruksuniversitet. (Landskap trädgård jordbruk : rapportserie, 2010:16)

Eckersten, H., Gärdenäs, A. & Lewan, E. (2004). Biogeofysik- en introduktion. 6. uppl. Uppsala: SLU. https://www.researchgate.net/publication/351461435_Biogeofysik_en_introduktion

EPA (2008a). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Cool Roofs. https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_4.pdf [2023-03-06]

EPA (2008b). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Green Roofs. https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_3.pdf [2023-03-06]

EPA (2008c). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Trees and Vegetation. https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_2.pdf [2023-03-03]

EPA (2008d). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Urban Heat Island Basics. https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_1.pdf [2023-01-27]

EPA (2012). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Cool Pavements. https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_5.pdf [2023-03-06]

Ferranti, E.J.S., MacKenzie, A.R., Levine, J.G., Ashworth, K. & Hewitt, C.N. (2019). First Steps in Air Quality for Built Environment Practitioners. (A Trees and Design Action Group (TDAG) Guidance Document., Second edition). UK: London: University of Birmingham & TDAG. http://epapers.bham.ac.uk/3069/ [2023-02-09]

Folkhälsomyndigheten (2018). Värmestress i urbana utomhusmiljöer- förekomst och åtgärder i befintlig bebyggelse. https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/e5286456e91c442a923c6884d84f79be/varmestress-urbana-utomhusmiljoer-18061-webb-181112.pdf [2023-01-30]

Folkhälsomyndigheten (2019a). Kartläggning av bebyggelse med risk för höga temperaturer Metodbeskrivning av GIS-verktyg utifrån marktäckning. https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/ab816ad103404967a558acf879c4d50c/kartlaggning-bebyggelse-risk-hoga-temperaturer.pdf [2023-01-30]

Folkhälsomyndigheten (2019b). Värme och människa i bebyggd miljö- Kunskapsstöd för åtgärder som minskar hälsoskadlig värme. https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/da3f008f2fbc4d9f8424a3eb73f0d1a5/varme-manniska-bebyggd-miljo.pdf [2023-03-22]

Folkhälsomyndigheten (2022). Hälsoeffekter av värmeböljor – En kunskapssammanställning — Folkhälsomyndigheten. (22084). https://www.folkhalsomyndigheten.se/publikationer-och-material/publikationsarkiv/h/halsoeffekter-av-varmeboljor/ [2023-01-20]

Gehl, J. (2011). Life Between Buildings: Using Public Space. Washington, D. C., UNITED STATES: Island Press. http://ebookcentral.proquest.com/lib/slub-ebooks/detail.action?docID=3317590 [2023-02-02]

IPCC (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf [2023-01-24]

Kalkstein, L. & Davis, R. (1989). Weather and Human Mortality: An Evaluation of Demographic and Interregional Responses in the United States. Annals of The Association of American Geographers- ANN ASSN AMER GEOGR, 79, 44–64. https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1989.tb00249.x

Karlsson, H. & Ståhl, F. (2012). Termisk komfort i lågenergihus och passivhus. (SP Rapport 2012:13). Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962677/FULLTEXT01.pdf [2023-02-02]

Kozlowski, T.T., Kramer, P.J. & Pallardy, S.G. (1991). Chapter 7- Water Stress. I: Kozlowski, T.T., Kramer, P.J., & Pallardy, S.G. (red.) The Physiological Ecology of Woody Plants. San Diego: Academic Press. 247–302. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-424160-2.50011-2

Kozlowski, T.T. & Pallardy, S.G. (1997). CHAPTER 2- The Woody Plant Body. I: Kozlowski, T.T. & Pallardy, S.G. (red.) Physiology of Woody Plants (Second Edition). San Diego: Academic Press. 7–33. https://doi.org/10.1016/B978-012424162-6/50019-3

Levinsson, A. (2007). Trädens liv i staden: från etablering till vitalisering. Alnarp: Movium, SLU. (Gröna fakta, 2007:7)

Lindberg, F., Holmer, B., Thorsson, S. & Rayner, D. (2013). Characteristics of the mean radiant temperature in high latitude cities—implications for sensitive climate planning applications. International Journal of Biometeorology, 58 (5), 613–627. https://doi.org/10.1007/s00484-013-0638-y

Lindsey, P. & Bassuk, N. (1992). Redesigning the urban forest from the ground below: A new approach to specifying adequate soil volumes for street trees. Arboricultural Journal, 16. https://doi.org/10.1080/03071375.1992.9746896

Liu, K. & Bass, B. (2005). Performance of green roof systems. https://www.researchgate.net/profile/Brad-Bass/publication/44077726_Performance_of_green_roof_systems/links/0c96052b4deed36266000000/Performance-of-green-roof-systems.pdf

Läkartidningen (2019). Ovanligt många dödsfall i Sverige sommaren 2018. Läkartidningen. https://lakartidningen.se/klinik-och-vetenskap-1/artiklar-1/originalstudie/2019/05/ovanligt-manga-dodsfall-i-sverige-sommaren-2018/ [2023-01-20]

MSB (2020a). Fysisk planering i ett varmare klimat : En fallstudie för Stockholm. (MSB1679). https://www.msb.se/sv/publikationer/fysisk-planering-i-ett-varmare-klimat--en-fallstudie-for-stockholm/ [2023-01-23]

MSB (2020b). Säkert och osäkert i klimatscenarierna. (MSB1677). https://rib.msb.se/filer/pdf/29466.pdf [2023-01-26]

Naturskyddsföreningen (2021). Vad är albedo? Naturskyddsföreningen. https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/vad-ar-albedo/ [2023-01-31]

Naturskyddsföreningen (2023). Vad är ekosystemtjänster? Naturskyddsföreningen. https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/vad-ar-ekosystemtjanster/ [2023-02-07]

Naturvårdsverket (2017). Argument för mer ekosystemtjänster. (6736). Bromma.

Naturvårdsverket (u.å.). Klimatet i framtiden. https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatforandringar/klimatet-i-framtiden/ [2023-01-26]

Nevander, L.E. & Elmarsson, B. (1994). Fukthandbok: praktik och teori. 2., rev. [och utök.] utg. Solna: Svensk byggtjänst.

Nilsson, L.-O. (2004). Fuktpåverkan på material : kritiska fuktnivåer (en informationsskrift). (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7178). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Oke, T.R. (1987). Boundary layer climates. Second edition. Methuen & Co. Ltd.

Oke, T.R. (1988). The urban energy balance. Prog Phys Geogr. Progress in Physical Geography, 12, 471–508. https://doi.org/10.1177/030913338801200401

Pomerantz, M., Pon, B., Akbari, H. & Chang, S.-C. (2000). The Effect of Pavements' Temperatures on Air Temperatures in Large Cities. (LBNL-43442). Berkeley, CA. https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/2000_pomerantz_et_al_effect_of_pavement_temp_on_air_temp_in_large_cities.pdf [2023-03-06]

Rosenlund, H. (2014). Grågröna systemlösningar för hållbara städer. (Vinnova – Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer, Diarienummer: 2012–01271). Delområde: Klimatpåverkan (WP5).

Rosenlund, H. (2017). Mikroklimatet i stadsplaneringen. (Vinnova – Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer, Diarienummer: 2012-01271)

Sandin, K. (2010). Praktisk byggnadsfysik. 1. uppl. Lund: Studentlitteratur.

SCB (2022). Tätorter i Sverige. Statistiska Centralbyrån. https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/tatorter-i-sverige/ [2023-01-30]

Scholz-Barth, K. & Tanner, S. (2004). Green Roofs: Federal Energy Management Program (FEMP) Federal Technology Alert. (DOE/EE-0298). National Renewable Energy Lab., Golden, CO (US). https://www.osti.gov/biblio/15009602 [2023-03-06]

Sera, F., Armstrong, B., Tobias, A., Vicedo-Cabrera, A., Åström, C., Bell, M., Chen, B.-Y., De, M., Zanotti, S., Coelho, M., Correa, P., De la Cruz, J.C., Tran, N.D., Magali, H.-D., Van, D., Forsberg, B., Guo, Y., Guo, Y., Hashizume, M. & Gasparrini, A. (2019). How urban characteristics affect vulnerability to heat and cold: a multi-country analysis. International Journal of Epidemiology, 1–12

Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D. & Erell, E. (2009). The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. Landscape and Urban Planning, 92 (3), 179–186. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.04.005

Sjöman, H., Hirons, A., Bassuk, N. & Levinsson, Anna (2020). Utvärdering av torktoleranta träd. Movium, SLU.

Sjöman, H., Hirons, A.D. & Bassuk, N.L. (2018). Improving confidence in tree species selection for challenging urban sites: a role for leaf turgor loss. Urban ecosystems, 21 (6), 1171–1188. https://doi.org/10.1007/s11252-018-0791-5

Sjöman, H. & Lagerström, T. (2007). Stadens hårdgjorda miljöer som växtplats. Alnarp: Movium, SLU. (Gröna fakta, 2007:5)

Sjöman, H. & Slagstedt, J. (red.) (2015a). Stadsträdslexikon. 1. uppl.

Sjöman, H. & Slagstedt, J. (red.) (2015b). Träd i urbana landskap. 1:4. Lund: Studentlitteratur AB.

SMHI (2021a). Klimatförändringar orsakade av människan | SMHI. https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatpaverkan/klimatforandringar-orsakade-av-manniskan-1.3833 [2023-01-23]

SMHI (2021b). Temperaturens ökning i Sverige sedan 1800-talet | SMHI. https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/temperaturens-okning-i-sverige-sedan-1800-talet-1.158913?fbclid=IwAR2BEj1xM8jR3kMp5cczLeIC64ZyRTuHtxKtj9XMJxigbQ0n8Rbi00XNuXs [2023-01-25]

SMHI (2021c). Träd i stadsmiljö, fördjupning. https://www.smhi.se/klimat/klimatanpassa-samhallet/exempel-pa-klimatanpassning/trad-i-stadsmiljo-fordjupning-1.117286 [2023-02-08]

SMHI (2021d). Vad betyder +2 C global temperaturökning för Sveriges klimat? | SMHI. https://www.

smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatet-forandras/vad-betyder-2-c-global-temperaturokning-for-sveriges-klimat-1.92072 [2023-01-26]

SMHI (2023b). Års- och månadsstatistik | SMHI. https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/manadens-vader-och-vatten-sverige/manadens-vader-i-sverige/ars-och-manadsstatistik [2023-03-16]

Stockholms stad (2017). Hagsätra och Rågsved- Förslag på kompensationsåtgäder kvarteret Bjurbäcken. https://etjanst.stockholm.se/Byggochplantjansten/pagaende-planarbete/planarende/2017-04553/process [2023-03-30]

Stockholms stad (2018). Lokala utvecklingsmöjligheter- Stockholm växer. https://vaxer.stockholm/tema/oversiktsplan-for-stockholm/lokala-utvecklingsmojligheter/ [2023-03-24]

Stockholms stad (2022a). Enskede-Årsta-Vantör- Stockholm växer. https://vaxer.stockholm/tema/oversiktsplan-for-stockholm/lokala-utvecklingsmojligheter/enskede-arsta-vantor/ [2023-03-24]

Stockholms stad (2022c). Statistik om Stockholm- Befolkningsprognos 2022. https://start.stockholm/globalassets/start/om-stockholms-stad/utredningar-statistik-och-fakta/statistik/befolkning/befolkning-sprognos-2022-tillganglighetsanpassad.pdf [2023-03-16]

Stockholms stad (2022d). Södermalm- Stockholm växer. https://vaxer.stockholm/tema/oversiktsplan-for-stockholm/lokala-utvecklingsmojligheter/sodermalm/ [2023-03-24]

Stockholms stad (2023a). 1 240 nya bostäder på östra Södermalm- Stockholm växer. https://vaxer.stockholm/projekt/nya-bostader-pa-ostra-sodermalm/ [2023-03-30]

Stockholms stad (2023b). 335 nya bostäder vid Bjursätragatan- Stockholm växer. https://vaxer.stockholm/projekt/nya-bostader-vid-bjursatragatan [2023-03-27]

Stockholms stad (2023c). Enskede-Årsta-Vantörs stadsdelsområde- Stockholm växer. https://vaxer.stockholm/omraden/enskede-arsta-vantors-stadsdelsomrade/ [2023-03-24]

Stockholms stad (2023d). Miljödataportalen- Stockholms stad. [Interaktiv karta]. https://miljodataportalen.stockholm.se/ [2023-03-30]

Stockholms stad (2023e). Sofia skola, F–9- Stockholms stad. https://grundskola.stockholm/hitta-grundskola/grundskola/sofia-skola-f-9/ [2023-03-20]

Stockholmshem (u.å.). Bjursätragatan, Rågsved. Stockholmshem. https://www.stockholmshem.se/vi-bygger/vi-bygger-nytt/bjursatragatan/ [2023-03-27]

Stål, Ö. (2001). Träd i urban miljö. Trädbladet, (8:1), s.17-20

SVD (2018). Städernas träd klarar inte värmen. Svenska Dagbladet. https://www.svd.se/a/l158Qy/stadernas-trad-klarar-inte-varmen [2023-02-09]

Svensk byggtjänst (2021). Grönatakhandboken. 2. uppl. [2023-03-22]

Sæbø, A., Benedikz, T. & Randrup, T.B. (2003). Selection of trees for urban forestry in the Nordic countries. Urban Forestry & Urban Greening, 2 (2), 101–114. https://doi.org/10.1078/1618-8667-00027

Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. Energy and Buildings, 25 (2), 99–103. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00999-1

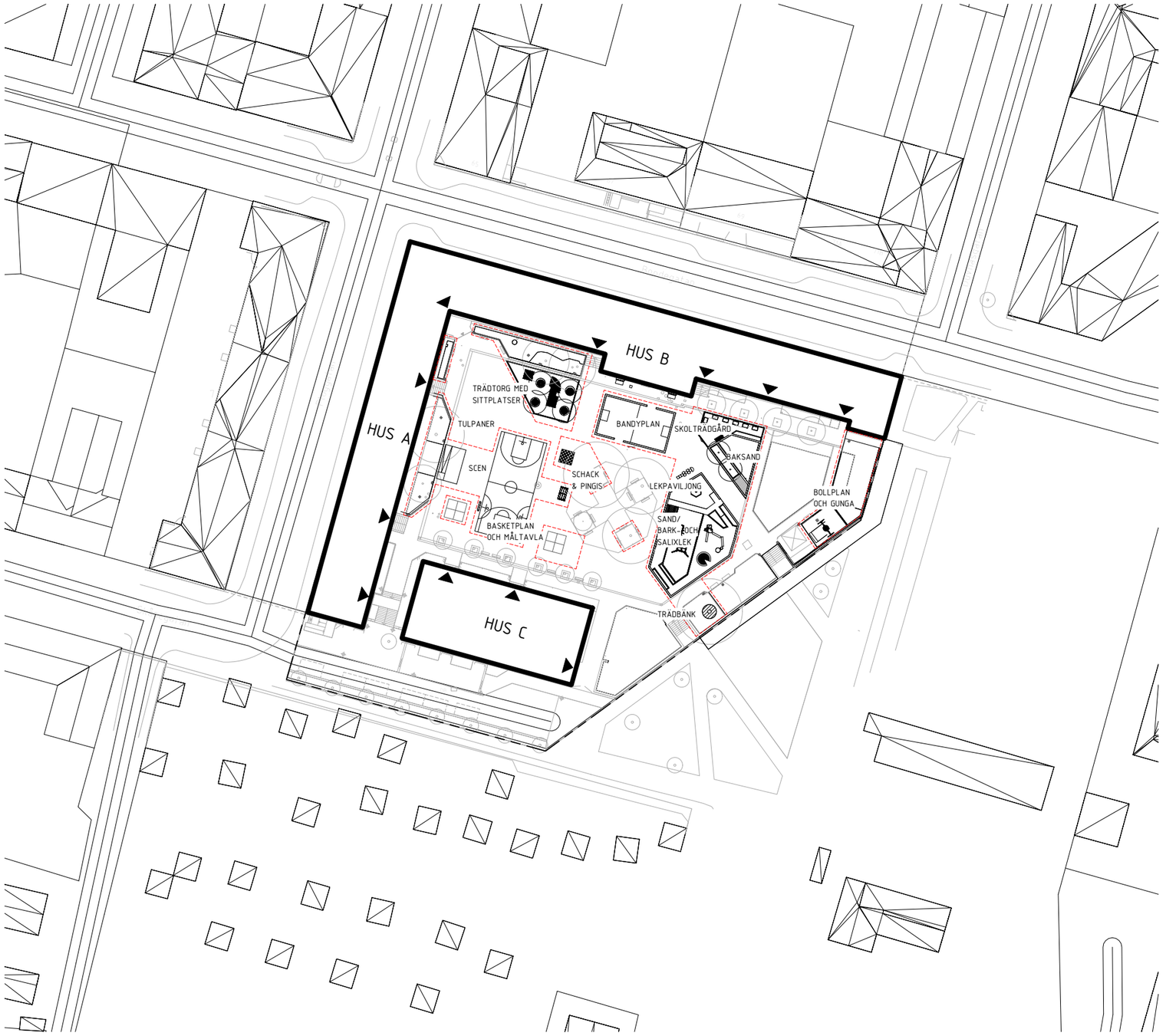
Thomas, R. (red.) (2006). Environmental design: an introduction for architects and engineers. 3rd ed. London ; New York: Taylor & Francis.

Thorsson, S. (2012). Stadsklimatet- åtgärder för att sänka temperaturen i bebyggda områden. (FOI-R--3415--SE). Göteborg: Totalförsvarets forskningsinstitut. https://www.foi.se/rest-api/report/FOI-R--3415--SE [2023-01-30]

Wright, I.J., Reich, P.B., Westoby, M., Ackerly, D.D., Baruch, Z., Bongers, F., Cavender-Bares, J., Chapin, T., Cornelissen, J.H.C., Diemer, M., Flexas, J., Garnier, E., Groom, P.K., Gulias, J., Hikosaka, K., Lamont, B.B., Lee, T., Lee, W., Lusk, C., Midgley, J.J., Navas, M.-L., Niinemets, Ü., Oleksyn, J., Osada, N., Poorter, H., Poot, P., Prior, L., Pyankov, V.I., Roumet, C., Thomas, S.C., Tjoelker, M.G., Veneklaas, E.J. & Villar, R. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. Nature, 428 (6985), 821–827. https://doi.org/10.1038/nature02403

WWF (2022). Klimatförändringar- Vad är det? Världsnaturfonden WWF. Världsnaturfonden WWF. https://www.wwf.se/klimat/klimatforandringar/ [2023-01-20]

Bilaga 1



FÖRKLARINGAR

- Fastighetsgräns
- Åtgärdsområde
- Byggnad, fasadliv i mark
- Entré
- Lövträd Nytt/Befintligt

FÖRESKRIFTER

Alla mått i meter om ej annat anges.
Koordinatsystem SWEREF 99 18 00.
Höjdsystem RH 2000.

Ritningen baseras på underlag av varierande kvalitet (markskötselhandlingar samt till viss del inmätningar). För alla åtgärder måste därför befintlig situation bedömas på plats innan arbete utförs.

Befintliga träd ska bevaras och skyddas. Vid markåtgärder nära befintlig vegetation ska stor försiktighet iakttas så att rötter ej skadas.

HÄNVISNINGAR

1180-L-D-01- Rambeskrivning
1180-L-10-1-0001- Befintlighets- och rivningsplan
1180-L-16-1-0001- Markplaneringsplan
1180-L-18-1-0001- Planterings- och utrustningsplan

N

METER
0 5 10 20 50

SKOLFASTIGHETER I STOCKHOLM AB

RELATIONSRITNING	
BYGGHANDLING	
FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG	◆
FÖRSLAGSHANDLING	
BYGGLOVSRITNING	
FÖRHANDSKOPIA	

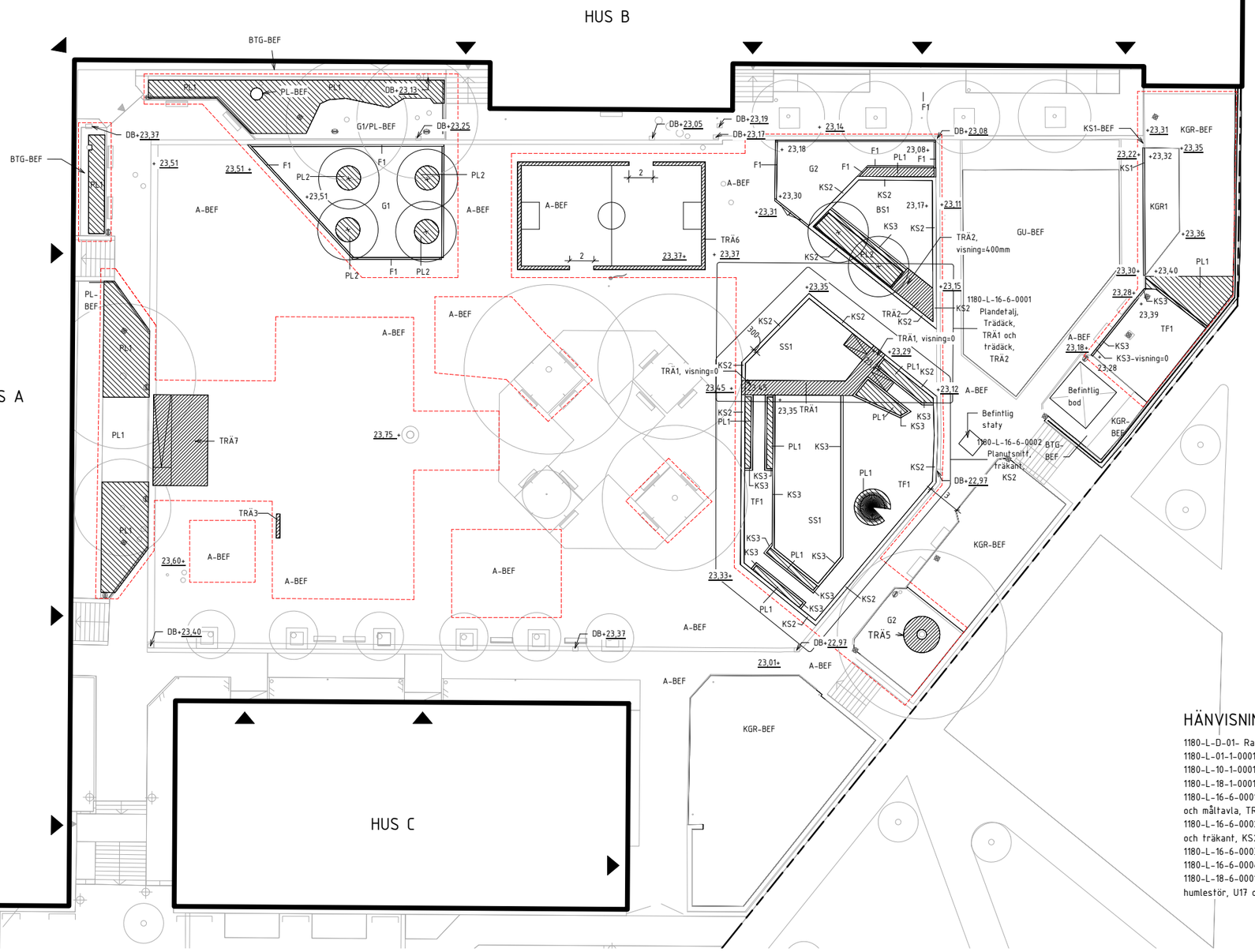
URSPRUNGLIG ARKITEKT:

BET	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM
L			

SOFIA SKOLA
Malmen 1
Situationsplan

RITAD/KONSTR. AV | HANDLÄGGARE
DATUM 2023-01-20 | ANSVARIG
SKALA (A1) 1:500
ARBETSNUMMER | RITNINGSNUMMER 1180-L-01-1-0001 | BET

Bilaga 2



FÖRKLARINGAR

- Fastighetsgräns
- Åtgärdsområde
- Byggnad, fasadliv i mark
- Entré
- +00.00 Plushöjd ny
- +00.00 Plushöjd befintlig
- A-BEF Asfalt, befintlig
- BTG-BEF Betongplattor, befintlig
- KGR-BEF Konstgräs, befintlig
- GU-BEF Gummiasfalt, befintlig
- G/PL-BEF Grus/plantering, befintlig
- BS1 Baksand
- G1 Grus
- G2 Grus, ny topp
- KGR1 Konstgräs
- SS1 Strid sand, fraktion 1-4
- TF1 Träflis, med fallskydd
- PL1 Planteringsyta
- PL2 Trädgrop
- TRÄ1 Trädäck, enligt detaljritning 1180-L-16-6-0001
- TRÄ2 Trädäck, enligt detaljritning 1180-L-16-6-0001
- TRÄ3 Måltavla, enligt detaljritning 1180-L-16-6-0001
- TRÄ5 Rund trädbänk, enligt detaljritning 1180-L-16-6-0002
- TRÄ6 Träsarg, enligt detaljritning 1180-L-16-6-0002
- TRÄ7 Scen, enligt detaljritning 1180-L-16-6-0003
- KS1 Kantstöd av granit, visning 100 mm
- KS2 Kant av trä, visning 200 mm, enl detaljritning 1180-L-16-6-0003
- KS3 Kant av ekslipers, 160x260, visning 100 mm, bredd 160 mm
- F1 Fris av smågatsten, dubbla rader
- DB-BEF Dagvattenbrunn, befintlig
- + Lövträd, nytt
- ○ Lövträd, inmätt, bevaras

HÄNVISNINGAR

1180-L-D-01- Rambeskrivning
1180-L-01-1-0001- Situationsplan
1180-L-10-1-0001- Befintlighets- och rivningsplan
1180-L-18-1-0001- Planterings- och utrustningsplan
1180-L-16-6-0001- Trädäck, TRÄ1, TRÄ2 och måltavla, TRÄ3
1180-L-16-6-0002- Rund trädbänk, TRÄ5, träsarg, TRÄ6 och träkant, KS2
1180-L-16-6-0003- Scen, TRÄ7
1180-L-16-6-0004- Lekpaviljong, U21
1180-L-18-6-0001- Principdetalj salixkoja, U13, salixgång, humlestör, U17 och schackbräde

FÖRESKRIFTER

Alla mått i meter om ej annat anges.
Koordinatssystem SWEREF 99 18 00.
Höjdsystem RH 2000.

Ritningen baseras på underlag av varierande kvalitet (markskötselhandlingar samt till viss del inmätningar). För alla åtgärder måste därför befintlig situation bedömas på plats innan arbete utförs.

Befintliga träd ska bevaras och skyddas. Vid markåtgärder nära befintlig vegetation ska stor försiktighet iakttas så att rötter ej skadas.

N

METER
0 1 2 5 10 15 20

SKOLFASTIGHETER I STOCKHOLM AB

URSPRUNGLIG ARKITEKT:

BET	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

- RELATIONSRITNING
- BYGGHANDLING
- FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG
- FÖRSLAGSHANDLING
- BYGGLOVSRITNING
- FÖRHANDSKOPIA

SOFIA SKOLA
Malmen 1

Markplaneringsplan

RITAD/KONSTR. AV	HANDLÄGGARE
DATUM 2023-01-20	ANSVARIG

SKALA (A1) 1:200

ARBETSNUMMER	RITNINGSNUMMER	BET
	1180-L-16-1-0001	

Buskar

Bet	Antal	Latinskt namn	Svenskt Namn	CC (cm)	Kvalitet	Anmärkningar
B1	42	Buddleja davidii Nanho Blue ('Nanho Petite Indigo')	Fjärilsbuske	60	Sol C/K 125–150	
B2	114	Buddleja davidii 'Pink Delight'	Fjärilsbuske	60	Sol C/K 125–150	
B3	8	Rubus Hösthallon-Gruppen 'Autumn Bliss'	Hösthallon	50	Busk C 2,0l	
B4	19	Salix purpurea	Rödvide	100	Busk C 3,5l	
B6	57	Salix purpurea 'Nana'	Litet rödvide	50	Busk C 3,5l	
B5	188	Salix vimialis	Korgvide	10	Th 200–250	Tidig vårplantering 2024, när tjälen går ur marken

Klätterväxter

Bet	Antal	Latinskt namn	Svenskt namn	Kvalitet	Anmärkningar
K1	4	Fallopia baldschuanica	Bokharabinda	A-kv Co	Varje symbol motsvarar 3 plantor.
K2	3	Humulus lupulus	Humle	A-kv Co	Varje symbol motsvarar 2 plantor.

Perenner

Bet	Antal	Latinskt namn	Svenskt namn	CC (cm)	Kvalitet	Anmärkningar
P1	79	Anaphalis margaritacea	Pärleternell	40	A-kv Co	
P2	166	Artemisia ludoviciana 'Silver Queen'	Vitmalört	30	A-kv Co	
P3	34	Asperula taurina	Skärmåra	30	A-kv Co	
P4	307	Dendranthema zawadskii 'Clara Curtis'	Höstkrage	25	A-kv Co	
P5	66	Eurybia herveyi 'Twilight'	Storbladig aster	35	A-kv Co	
P6	56	Fragaria vesca 'Rödluvan'	Smultron	20	A-kv Co	
P7	11	Leucanthemum vulgare 'Maikönigin'	Prästkrage	55	A-kv Co	
P8	47	Linaria purpurea 'Canon Went'	Purpursporre	20	A-kv Co	
P9	35	Lysimachia clethroides	Vitlysing	35	A-kv Co	
P10	65	Mentha 'Strawberry'	Citronmynta	25	A-kv Co	
P11	142	Scutellaria scordiifolia	Sibirisk frossört	30	A-kv Co	
P12	25	Spartina pectinata	Gullbandsgräs	45	A-kv Co	

Lökväxter

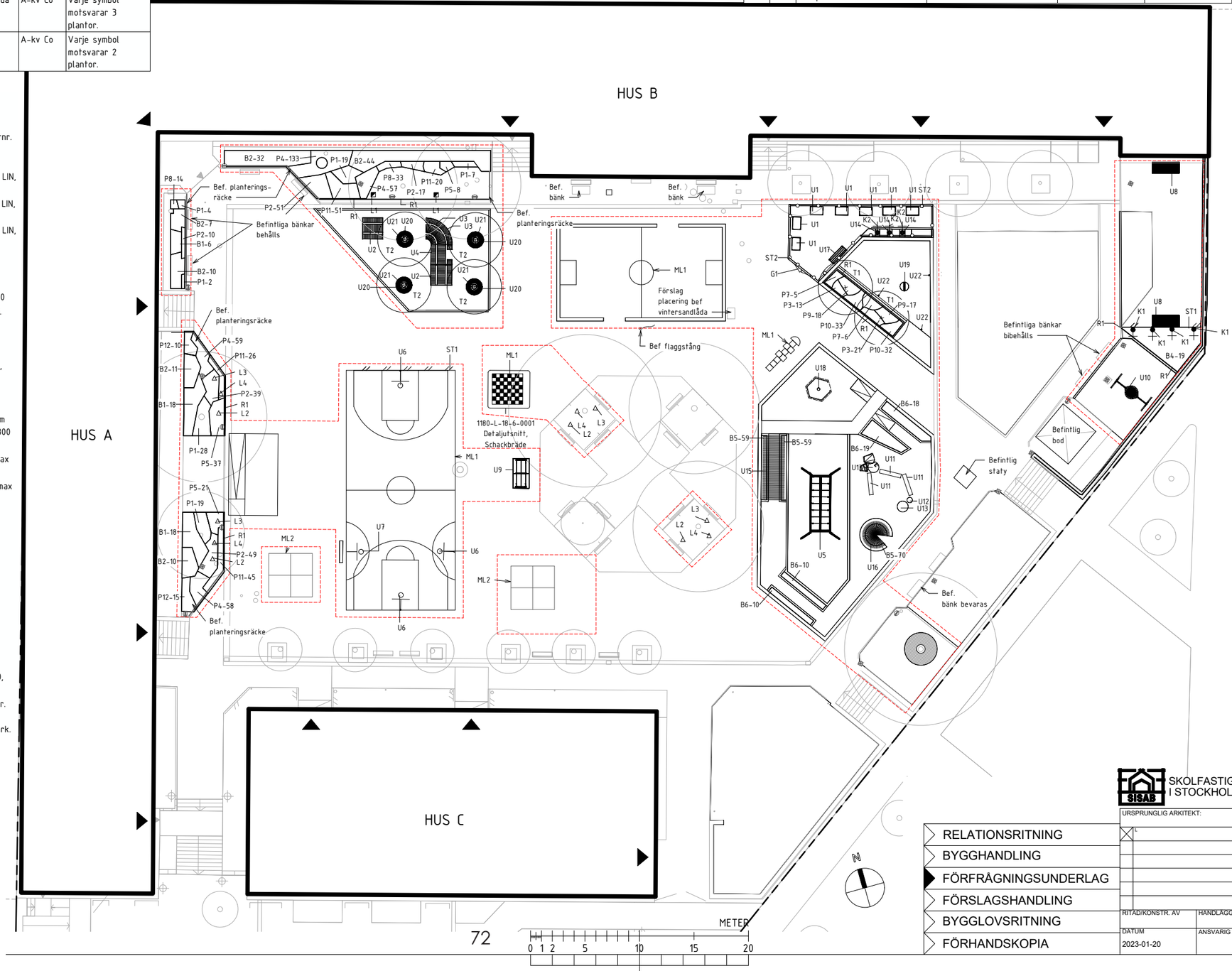
Bet	Antal	Latinskt namn	Svenskt namn	Kvalitet	Anmärkningar
L1	2	Iris Reticulata-Gruppen 'D.J. Dijt'	Våriris		Höstplant. Varje symbol motsvarar 40 lökar, planteras i grupper om 5.
L2	4	Tulip gesneriana Darwinhybrid-Gruppen 'Pink Impression'	Darwintulpan		Likt ovan
L3	4	Tulipa Darwinhybrid-gruppen 'Apricot Impression'	Darwintulpan		Likt ovan
L4	4	Tulipa Darwinhybrid-Gruppen 'Daydream'	Darwintulpan		Likt ovan

Träd

Bet	Antal	Latinskt namn	Svenskt namn	Kvalitet	Anmärkningar
T1	2	Eleagnus angustifolia	Smalbladig silverbuske	Hst 3x 12–14 K	
T2	4	Robinia pseudoacaia 'Semperflorens'	Robinia	Hst 4x 20–25 K	

Utrustningslista

Bet	Antal	Utrustning
U1	7	Pallkrage 800x1200, typ Hornbach artnr. Art.nr 463876, staplas två och två, fylls med jord
U2	2	Långbord, typ Nola artnr. U17–83–HH LIN, stål pulverlackeras i RAL6011
U3	2	Långbord , typ Nola artnr. U17–84–R LIN, stål pulverlackeras i RAL6011
U4	1	Långbord, typ Nola artnr. U17–83–UH LIN, stål pulverlackeras i RAL6011
U5	1	Repgunga, typ Hags artnr. 8062081. Stålställning pulverlackeras i NCSS 2500N
U6	3	Basketstativ, typ Tress artnr. 652800
U7	1	Basketkorg, typ Tress artnr. 652846. Basketnät, typ Tress artnr 652835
U8	2	Bollmål, typ Tress artnr. 653014
U9	1	Bordtennisbord, typ TRESS Bordtennisbord outdoor UV resistent, artnr. 711704
U10	1	Kompisgunga, typ Elverdal artnr. ORG1005CY
U11	3	Liggande stock, 2000 mm lång, 350 mm bred, grävs ner till synlig höjd max 300 mm
U12	1	Sten, 500 mm diameter, synlig höjd max 500 mm
U13	2	Sten, 1000 mm diameter, synlig höjd max 500 mm
U14	3	Humlestör, naturträstolpe, 3000 mm lång, 100 mm bred, se detaljritning 1180-L-18-6-0002
U15	1	Salixgång, se detaljritning 1180-L-18-6-0002
U16	1	Salixkoja, se detaljritning 1180-L-18-6-0002
U17	1	Bänk, typ Hags artnr. 8077094.
U18	1	Lekpaviljong, se detaljritning 1180-L-16-6-0004
U19	1	Sandbord, typ Tress artnr. 713301
U20	4	Stamskydd, typ JOM artnr. 510303
U21	4	Markgaller, Klassiskt 2.0, Ø 1500/700, art.nr CLK15070, typ JOM
U22	3	Stolpe till solsegel, typ Lekolar artnr. 62 162. Avstånd mellan stolpar 5m. Förankras med betongfundament i mark.



FÖRKLARINGAR

- Fastighetsgräns
- Åtgärdsområde
- Byggnad, fasadliv i mark
- Entré
- T00 — Träd, art enligt växtlista
- B00-00 — Buskar, art-antal, enl växtlista
- K00-00 — Klätterväxt, art-antal, enl växtlista
- L00-00 — Lökväxter, art-antal, enl växtlista
- P00-00 — Perenner, art-antal enl växtlista
- U00 — Utrustning enl utrustningslista
- ST1 — Staket, typ Gunnebo, höjd 2,5 meter, grön kulör.
- ST2 — Kastanjestaket runt skolträdgård
- R1 — Planteringsskydd enligt detaljritning 1180-L-18-6-0001
- G1 — Grind av kastanjestörar, bredd 1,5 m
- ML1 — Målad linje, asfaltsmålning
- ML2 — Målad linje, bef. förbättringsmålas
- Befintlig belysningsstolpe/ belysningspollare
- Befintlig sopkorg
- Lövträd, nytt
- Lövträd, inmätt, bevaras

FÖRESKRIFTER

Alla mått i meter om ej annat anges.
Koordinatssystem SWEREF 99 18 00.
Höjdsystem RH 2000.

Ritningen baseras på underlag av varierande kvalitet (markskötselhandlingar samt till viss del inmätningar). För alla åtgärder måste därför befintlig situation bedömas på plats innan arbete utförs.

Befintliga träd ska bevaras och skyddas. Vid markåtgärder nära befintlig vegetation ska stor försiktighet iakttas så att rötter ej skadas.

HÄNVISNINGAR

1180-L-D-01- Rambeskrivning
1180-L-01-1-0001- Situationsplan
1180-L-10-1-0001- Befintlighets- och rivningsplan
1180-L-16-1-0001- Markplaneringsplan
1180-L-16-6-0001- Trädäck, TRÄ1, TRÄ2 och måltavla, TRÄ3
1180-L-16-6-0002- Rund trädbänk, TRÄ5, träsarg, TRÄ6 och träkant, KS2
1180-L-16-6-0003- Scen, TRÄ7
1180-L-16-6-0004- Lekpaviljong, U21
1180-L-18-6-0001- Principdetalj salixkoja, U13, salixgång, humlestör, U17 och schackbräde

SKOLFASTIGHETER I STOCKHOLM AB

URSPRUNGLIG ARKITEKT:

BET	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

- RELATIONSRITNING
- BYGGHANDLING
- FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG
- FÖRSLAGSHANDLING
- BYGGLOVSRITNING
- FÖRHANDSKOPIA

SOFIA SKOLA

Malmen 1

Planterings- och utrustningsplan

RITAD/KONSTR. AV	HANDLÄGGARE
DATUM 2023-01-20	ANSVARIG

SKALA (A1) 1:200

ARBETSNUMMER	RITNINGSNUMMER	BET
	1180-L-18-1-0001	

Bilaga 3

Bilaga 4

ANMÄRKNINGAR

- AM1 BEFINTLIGT TRÄD/ROTSYSTEM TILL TRÄD SOM SKA BEVARAS.
- AM2 SKYDDSZON FÖR TRÄD SOM STÄNGSLAS IN. ARBETEN INOM SKYDDZON UTFÖRS SIST.
- AM3 BERG I DAGEN SOM BEVARAS.
- AM4 BAKSAND I SANDBAKBORD ENLIGT PLANTERINGS- OCH UTRUSTNINGSPLAN M-32-1-001
- AM5 NEDGRÄVD KASSUN TILL AVFALLSBEHÅLLARE ENLIGT PLANTERINGS- OCH UTRUSTNINGSPLAN M-32-1-001

HÄNVISNINGAR

SÄDD, PLANTERING OCH UTRUSTNING SE RITNING M-32-1-001

FÖRKLARINGAR

- GRÄNS FÖR ARBETSOMRÅDE. RITAD 1 M UTANFÖR GÄLLANDE GRÄNS
- FASTIGHETSGRÄNS
- BELÄGGNINGSKANT
- GRÄNS KVARTERSGATA
- KS1 SARG TRÄ,VISNING 5 CM MOT SANDYTA, VISNING 10 CM MOT ÖVRIGA YTOR
- KS2 KANT 1 RAD NATURSTEN 300–400 MM. SÄTTS TILL 2/3 NED I UNDERLAGET.
- KS3 BETONGKANTSTEN SKARPKANT, 300 SATT I BETONG
- KS4 GRANITKANTSTEN TYP RV2, 300 SATT I BETONG
- KS5 GRANITKANTSTEN TYP RV2, 400 SATT I BETONG
- F1 1 RAD BETONGPLATTA 350x350 I NIVÅ MED MARK
- F2 1 RAD BETONGPLATTA 175x350 I NIVÅ MED MARK
- F3 1 RAD BETONGPLATTA 350x350 LÄNGS FASAD
- RD RÄNNDALSPLATTA SATT I BETONG
- R RÄCKE PÅ MUR ENLIGT DETALJ PÅ M-30-6-004
- LS LEDSTÅNG ENLIGT DETALJ PÅ M-30-6-004
- M1 M1 MH=00.00 L-STÖD BETONG. MURKRÖN HÖJD. VISNING 7 CM MOT PLANTERINGSYTA
- TB TRAPPA BLOCKSTEN BETONG
- + 0.00 NY HÖJD
- + 0.00 BEF HÖJD SOM BEVARAS
- +(0.00) BEF HÖJD SOM UTGÅR
- ILLUSTRATIONSLINJE – BELÄGGNINGSGRÄNS
- AVRINNINGSVECK/DIKESANVISNING
- BELYSNINGSSTOLPE/LADDSTOLPE ELBIL ENLIGT EL-HANDLINGAR
- MÅLNING EXTRUDERAD MARKERINGSMASSA VIT SKYLT
- UTBREDNING PARKERING RÖRELSEHINDRADE
- UTBREDNING BALKONGER VÅN 2
- NYTT TRÄD
- NY SOLITÄRBUSKE
- BEFINTLIGT TRÄD SKYDDAT ENLIGT DETALJPLAN
- BRUNNAR ENLIGT VA-HANDLINGAR
- +xx KANTSTENSVISNING I CM

BELÄGGNINGAR

FÖR ÖVERBYGGNADSTYPER SE NORMALSEKTIONSRITNINGAR

- A1 KÖRBANA ASFALTYTA, TOPPBELÄGGNING
- A2 GC-VÄG ASFALTYTA
- A3 KÖRBANA ASFALTYTA
- B1 GC-VÄG BETONGPLATTOR
- B2 UTEPLATS BETONGPLATTOR
- B3 GC-VÄG BETONGPLATTOR. MÖNSTER ENLIGT DETALJRITNING M-30-6-004
- PL1 VÄXTBÄDD PLANTERINGSYTA JORD A. T:500 MM
- PL2 VÄXTBÄDD I ODLINGSLÅDA/PLANTERINGSKÄRL
- PL3 REGNBÄDD
- PL4 SVACKDIKE
- PL5 VÄXTBÄDD MED SUBSTRAT
- PL6 VÄXTBÄDD SURJORDSPLANTERING. T:500 MM
- G1a/b VÄXTBÄDD FÖR GRÄS OCH ÄNG. T:200 MM
- TG1 TRÄDGROP JORD A. T:1000 MM
- TG2 TRÄDGROP JORD A. T:800 MM
- TG3 TRÄDGROP I ÄNG. T:1000 MM
- BS BAKBAR SAND T:400 MM
- ÅTERSTÄLLNING
- BOTTENUTBREDNING MAGASIN
- BOTTENUTBREDNING BIOKOL

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

BYGGHANDLING

Stockholmshem

edge

KOORDINATSYSTEM: SWEREF 99 18 00
HÖJDSYSTEM: RH 2000

BJURBÄCKEN

UTFORMNINGS- OCH NIVÅSÄTTNINGSPLAN

SKALA	NUMMER	BET
A1 1:200 A3 1:400	M-31-1-0 01	

Bilaga 5

FÖRKLARINGAR

- BEFINTLIGT TRÄD SOM SPARAS
- NYTT TRÄD HÖGSTAM
- NYTT TRÄD STAMBUSK/UNGTRÄD
- NY SOLITÄRBUSKE
- NY KLÄTTERVÄXT, A-KVALITET
- NY SOLITÄRPERENN, NY BÄRBUSKE, NY HÄCKPLANTA, A-KVALITET
- FINMAKADAM T:150 MM OVANPÅ VÄXTBÄDD.
- BIHOTELL, STENMJÖL 0-4, OVANPÅ VÄXTBÄDD.
- BIHOTELL, STENMJÖL 0-8, OVANPÅ VÄXTBÄDD.
- GRÄSSÅDD
- ÄNGSSÅDD
- PLANTERINGSYTA, ART - ANTAL
- ÅTERSTÄLLNING

UTRUSTNING

- U1 Cykelpollare c/c 1,0 m. Plats för 2 cykel-p/pollare.
- U2 Soffa med ryggstöd och armstöd
- U3 Bänk
- U4 Solsoffa
- U5 Normalbord
- U6 Papperskorg, 80 L
- U7 Odlingslåda
- U8 Grill
- U9 Fågelholk
- U10 Trampsten
- U11 Natursten
- U12 Papperskorg, 140 L
- U13 Insektshotell
- U14 Spaljé enligt ritning M-30-6-003
- U15 Sandlåda för halkbekämpning
- U16 Sandbakbord
- U17 Skärm vid uteplats
- U18 Spaljér av armeringsnät på fasad
- U19 Bottentömmande avfallsbehållare för istallation i nedgrävd kassun, restavfall
- U20 Bottentömmande avfallsbehållare markstående, matavfall
- U21 Planteringskärl

ANMÄRKNINGAR

- AM1 BEFINTLIGT TRÄD/ROTSYSTEM TILL TRÄD SOM SKA BEVARAS.
- AM2 SKYDDSZON FÖR TRÄD SOM STÄNGSLAS IN. ARBETEN INOM SKYDDZON UTFÖRS SIST.
- AM3 NATURMARK SOM ÅTERSTÄLLS.
- AM4 BERG I DAGEN SOM BEVARAS.
- AM5 PLATS FÖR FAUNADEPÅ T.EX. TRÄDSTOCK. INGÅR EJ I ENTREPRENAD.
- AM6 GRÄSYTA SOM ÅTERSTÄLLS.

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

BYGGHANDLING

Stockholmshem

edge

KOORDINATSYSTEM: SWEREF 99 18 00
HÖJDSYSTEM: RH 2000

BJURBÄCKEN

PLANTERINGS- OCH UTRUSTNINGSPLAN

SKALA	NUMMER	BET
A1 1:200 A3 1:400	M-32-1-0 01	

Bilaga 6

Samtliga växtlistor för det befintliga förslaget av Bjurbäcken

Träd				
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Kvalitet**
T1	2	Alnus incana 'Laciniata'	Flikbladig gråal	högstam 4x kl 18-20
T2	3	Betula pendula fk Julita E	Vårtbjörk	högstam 4x kl 18-20
T3	1	Celtis occidentalis	Bäralm	högstam 4x kl 18-20
T4	6	Malus floribunda	Rosenapel	högstam 4x kl 18-20
T5	1	Prunus avium 'Heidi'	Sötkörsbär	stamhöjd 120-140, RCB/3xkl 16-18
T6	1	Prunus avium 'Lapins' E	Sötkörsbär	stamhöjd 120-140, RCB/3xkl 16-18
T7	1	Prunus avium 'Merton Glory' E	Sötkörsbär	stamhöjd 120-140, RCB/3xkl 16-18
T8	1	Prunus avium 'Stella'	Sötkörsbär	stamhöjd 120-140, RCB/3xkl 16-18
T9	4	Prunus cerasus 'Skuggmorell'	Surkörsbär	co 30 liter, omplanterad 3-4 års
T10	1	Prunus domestica 'Victoria'	Plommon	stamhöjd 120-140, RCB/3xkl 16-18
T11	1	Prunus domestica 'Reine Claude d´Oullins' E	Plommon	stamhöjd 120-140, RCB/3xkl 16-18
T12	1	Prunus ´Opal´ E	Plommon	stamhöjd 120-140, RCB/3xkl 16-18
T13	3	Prunus padus FK Ultuna E	Hägg	högstam 3x kl 18-20
T14	1	Pyrus communis 'Jut'	Gråpäron	högstam, RCB/3xkl 16-18
T15	2	Quercus palustris	Kärrek	högstam 4x kl 20-25
T16	1	Quercus rubra E	Rödek	högstam 4x kl 20-25
T17	4	Quercus robur fk ULTUNA E	Skogsek	högstam 4x kl 18-20
T18	4	Salix caprea	Sälg	stambusk co 20-25 Air-Pot
T19	5	Sorbus aucuparia 'Fastigiata'	Pelarrön	ungträd co/kl 150-175

Bärbuskar				
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Kvalitet**
F1	2	Ribes (Krusvinbär-gruppen) 'Josta'	Krusvinbär	busk co 3,5 l
F2	1	Ribes rubrum (Röda Vinbär-gruppen) 'Jonkheer van Tets'	Röda vinbär	busk co 3,5 l
F3	2	Ribes rubrum (Svarta Vinbär-gruppen) 'Narve Viking'	Svarta vinbär	busk co 3,5 l
F4	1	Ribes rubrum (Rosa Vinbär) 'Pink champagne'	Rosa vinbär	busk co 3,5 l
F5	2	Ribes rubrum (Vita Vinbär-gruppen) 'Vit Jätte'	Vita vinbär	busk co 3,5 l
F6	1	Rubus (björnbär-gruppen) 'Chester'	Björnbär	busk co 3,5 l
F7	2	Rubus (björnbär-gruppen) 'Loch Tay'	Björnbär	busk co 3,5 l
F8	1	Ribes uva-crispa 'Black Velvet'	Krusbär	busk co 3,5 l
F9	1	Ribes uva-crispa 'Spine-free'	Krusbär	busk co 3,5 l
F10	1	Vaccinium angustifolium 'Emil'	Lågväxande hybridblåbär	busk co 2 l
F11	1	Vaccinium corymbosum 'Bluecrop'	Amerikanska blåbär	busk co 3,5 l
F12	1	Vaccinium corymbosum 'Patriot'	Amerikanska blåbär	busk co 3,5 l
F13	1	Ficus carica ´King´	Fikon	co 3,5 l 40-50

Buskar				
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Kvalitet**
B1	3	Amelanchier alnifolia FK Alvdal E 'Martin'	Bärhäggmispel	solitär 3x kl 150-175
B2	1	Amelanchier laevis fk BÄCKLÖSA E	Kopparhäggmispel	solitär 3x kl 150-175
B3	10	Amelanchier laevis fk BÄCKLÖSA E	Kopparhäggmispel	solitär 3x kl 150-175
B4	15	Aronia melanocarpa 'Glorie' E	Svartaronia	busk co 3,5 l, c/c 60 cm
B5	1	Aronia x prunifolia 'Viking'	Slånaronia	busk co 3,5 l
B6	9	Buddleja davidii NANHO BLUE	Syrenbuddleja	solitär co/kl 125-150
B7	4	Buddleja davidii NANHO WHITE	Syrenbuddleja	solitär co/kl 125-150
B8	108	Chamaecytises purpurea	Rosenginst	co 3,5 l, c/c 60 cm
B9	1	Cornus kousa var. Chinensis ´China Girl´	Kinesisk blomsterkornell	Solitär 3x kl, 125-150
B10	2	Corylus (Hasselnöt-gruppen) 'Jättenöt från Halle'	Hasselnöt	busk co 10 l
B11	3	Cotinus coggygria ´Young Lady´	Perukbuske	solitär co/kl 100-125
B12	3	Hamamelis x intermedia 'Arnold Promise'	Hybridtrollhassel	solitär 3x kl 100-125
B13	1	Hamamelis x intermedia 'Diane'	Hybridtrollhassel	solitär 3x kl 100-125
B14	467	Lonicera caerulea var. kamtschatica ANJA® E	Blåbärstry	busk co 3,5 l, c/c 60 cm
B15	54	Lonicera caerulea var. kamtschatica ANJA® E	Blåbärstry	busk co 3,5 l, c/c 60 cm
B16	72	Lonicera nitida 'Maigrun'	Myrtentry	busk co 3,5 l, c/c 60 cm
B17	251	Ribes alpinum ´Pumilium´	Dvärgmåbär	busk co 3,5 l, c/c 80
B18	1	Sambucus nigra Black lace	Blodfläder	solitär co/kl 125-150
B19	3	Sorbus frutescens fk Ås E	Pärlrönn	solitär 3x kl, 125-150
B20	2	Viburnum furcatum	Japanskt gaffelolvon	solitär co/kl 50-60

Lökväxter				
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Kvalitet**
L1	88	Allium ´Mount Everest´	Skägglök	A-kval co, c/c 35 cm
L2	80	Chionodoxa luciliae	Vårstjärna	A-kval co, c/c 35 cm
L3	370	Crocus tommasinianus	Snökrokus	A-kval co, c/c 15 cm
L4	370	Crocus tommasinianus 'Albus'	Vit snökrokus	A-kval co, c/c 15 cm
L5	370	Crocus vernus 'Pickwick'	Vårkrokus	A-kval co, c/c 15 cm
L6	15	Eremus robustus	Jättestäpplilja	A-kval co, c/c 35 cm
L7	450	Fritillaria meleagris	Kungsängslilja	A-kval co, c/c 20 cm
L8	450	Galanthus nivali	Snödroppe	A-kval co, c/c 20 cm
L9	450	Leucojum vernum	Snöklocka	A-kval co, c/c 20 cm
L10	450	Puschkinia scilloides 'Alba'	Porslinshyacint	A-kval co, c/c 15 cm
L11	450	Scilla siberica	Rysk blåstjärna	A-kval co, c/c 15 cm

Perenner				
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Kvalitet**
P1	98	Achillea 'Terracotta'	Röllika	A-kval co, c/c 35 cm
P2	34	Achillea 'Terracotta'	Röllika	A-kval co, c/c 35 cm
P3	75	Actaea racemosa	Silverax	A-kval co
P4	92	Agastache 'Black Adder'	Anisört	A-kval co, c/c 35 cm
P5	54	Anemone x hybrida ´Prinz Heinrich´	Höstanemon	A-kval co, c/c 35 cm
P6	52	Aquilegia vulgaris	Akleja	A-kval co, c/c 35 cm
P7	97	. Bistorta officinalis 'Superba'	Stor ormrot	A-kval co, c/c 35 cm
P8	92	Calamintha nepeta subsp. nepeta	Stenkyndel	A-kval co, c/c 35 cm
P9	54	Carex muskingumensis	Palmstarr	A-kval co, c/c 35 cm
P10	34	Carex pilosa 'Copenhagen Select'	Starr	A-kval co, c/c 35 cm
P11	139	Dryopteris filix-mas	Träjon	A-kval co, c/c 35 cm
P12	69	Euphorbia characias subsp. wulfenii	Törel	A-kval co, c/c 35 cm
P13	67	Eurybia divaricata	Vit skogsaster	A-kval co, c/c 35 cm
P14	157	Fragaria vesca 'Rödluvan'	Smultron	A-kval co, c/c 30 cm
P15	100	Fragaria x vescana 'Rebecka'	Smulgubbe	A-kval co, c/c 30 cm
P16	63	Geranium x cantabrigiense 'St. Ola'	Biokovonäva	A-kval co, c/c 35 cm
P17	34	Geranium phaeum 'Album'	Brunnäva	A-kval co, c/c 35 cm
P18	54	Helleborus niger	Julros	A-kval co, c/c 35 cm
P19	54	Helleborus orientalis	Orientalisk julros	A-kval co, c/c 35 cm
P20	14	Iris ´Harbor Blue´	Trädgårdsiris	A-kval co, c/c 35 cm
P21	14	Iris ´Joanna´	Trädgårdsiris	A-kval co, c/c 35 cm
P22	34	Lythrum salicaria	Fackelblomster	A-kval co, c/c 35 cm
P23	10	Miscanthus sinensis ´Yaku-jima´	Miskantus	A-kval co 2l, c/c 80 cm
P24	199	Miscanthus sinensis 'Gracillimus'	Miskantus	A-kval co 2l, c/c 50 cm
P25	34	Molinia caerulea 'Edith Dudszus'	Blåtåtel	A-kval co, c/c 35 cm
P26	182	Molinia caerulea arundinacea 'Transparent'	Jättetåtel	A-kval co, c/c 35 cm
P27	7	Peaonea lactiflora ´Festiva Maxima´	Luktpion	A-kval co 1 l, c/c 50 cm
P28	7	Peaonea lactiflora ´Sarah Bernhardt´	Luktpion	A-kval co 1 l, c/c 50 cm
P29	16	Polypodium vulgare	Stensöta	A-kval co, c/c 30 cm
P30	8	Rubus x stellarcticus 'Beata'	Allåkerbär	A-kval co 0,8 l, c/c 30 cm
P31	8	Rubus x stellarcticus 'Anna'	Allåkerbär	A-kval co 0,8 l, c/c 30 cm
P32	140	Rudbeckia fulgida 'Goldsturm'	Strålrudbeckia	A-kval co, c/c 35 cm
P33	34	Rudbeckia fulgida 'Goldsturm'	Strålrudbeckia	A-kval co, c/c 35 cm
P34	86	Sesleria nitida	Glansälväxing	A-kval co, c/c 35 cm
P35	48	Vaccinium vitis-idaea 'Red Pearl'	Lingon	A-kval co 1 l, c/c 30 cm
P36	52	Verbena bonariensis	Jätteverbena	A-kval co, c/c 35 cm
P37	52	Veronicastrum virginicum	Kransveronika	A-kval co, c/c 35 cm
P38	319	Vinca minor	Vintergröna	A-kval co, c/c 35 cm

Häck- och landskapsväxter				
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Kvalitet**
H1	12	Aronia x prunifolia	Slånaronia	häck 50-80, c/c 100
H2	20	Cornus sericea ´Flaviramea´	Gullkornell	häck 50-80, c/c 100
H3	78	Lonicera caerulea fk FALUN E	Blåtry	häck 50-80, c/c 100
H4	95	Rosa glauca ´Nova´ E	Daggros	häck 50-80, c/c 100
H5	12	Salix rosmarinifolia	Rosmarinvide	häck 50-80, c/c 100

Klätterväxter				
Bet	**Antal**	**Latinskt namn**	**Svenskt namn**	**Kvalitet**
K1	30	Hydrangea anomala ssp. Petiolaris	Klätterhortensia	co/kl 25-30
K2	30	Lonicera henryi	Vintertry	A-kval cc
K3	2	Clematis vitalba	Skogsklematis	A-kval cc
K4	10	Clematis montana var. grandiflora	Klematis	A-kval cc
K5	8	Clematis montana var. rubens 'Mayleen'	Klematis	A-kval cc
K6	8	Clematis 'Hagley Hybrid'	Klematis	A-kval cc
K7	58	Hydrangea anomala ssp. Petiolaris	Klätterhortensia	co/kl 25-30
K8	1	Vitis 'Reliance'	Vin	A-kval co 1,5 l, c/c 60 cm
K9	1	Vitis 'Somerset Seedless'	Vin	A-kval co 1,5 l