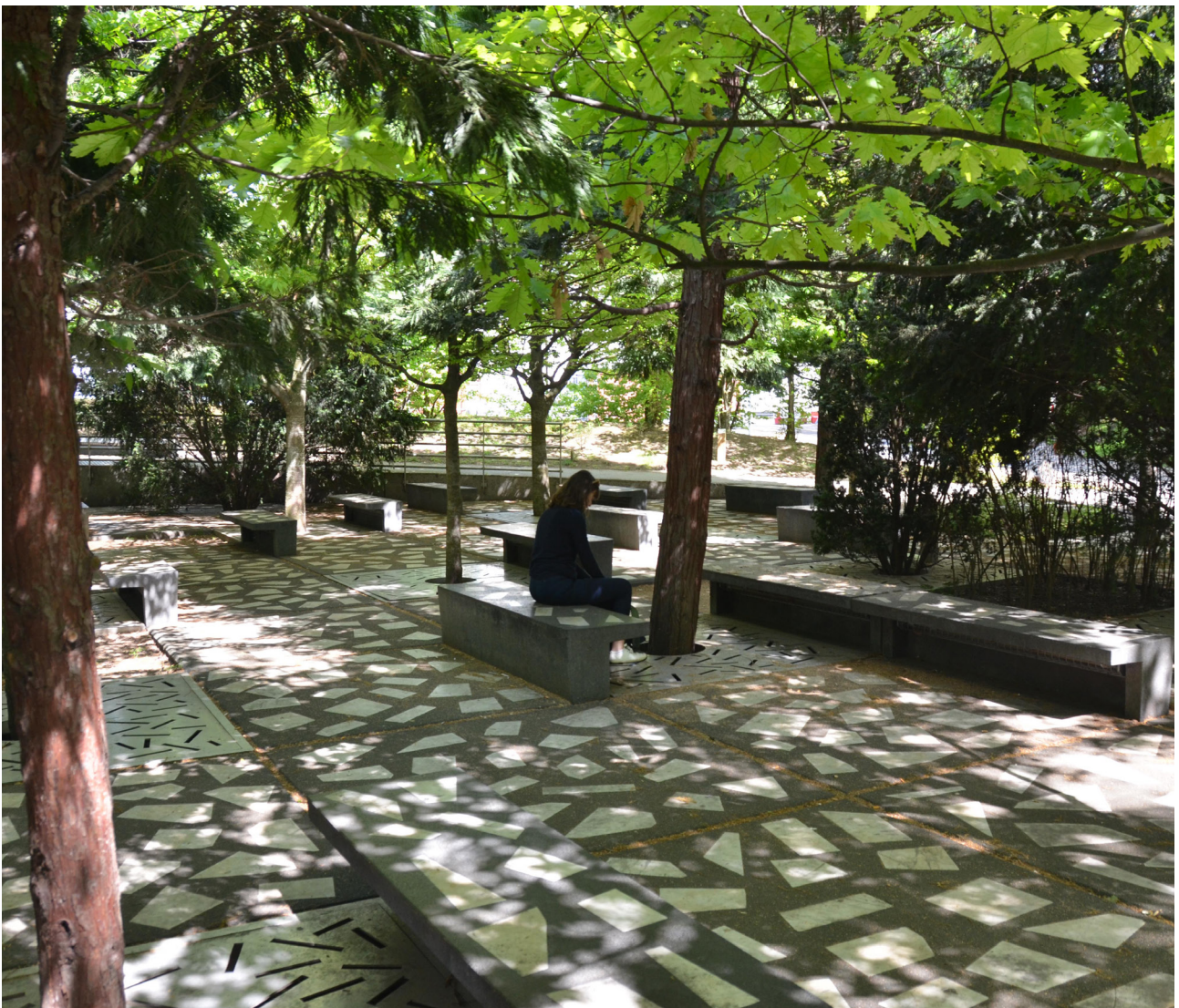


## Projektering för värme och vind i urbana miljöer

Klimatförändringarnas påverkan på framtidens vardag, inte minst vid extrema väderförhållanden som värmeböljor, gör klimatanpassade projekteringslösningar alltmer aktuella. Detta faktablad behandlar de grundläggande principer som påverkar värmestrålning och vind samt komplexiteten relaterat till material och rumslighet, faktorer som gör varje projekteringslösning platspecifik.

*Författare: Johanna Deak Sjöman & Erik Johansson*



# Strålning och vind i urbana landskap

Stadslandskapets komplexa nätverk av byggnader, gator, grönområden och vattensamlingar bidrar till en variation av rumsliga strukturer och materialkombinationer som i sin tur skapar olika mikroklimat. Hur människor fysiologiskt upplever mikroklimatet hänger delvis samman med detta nätverk och delvis med rådande väder.

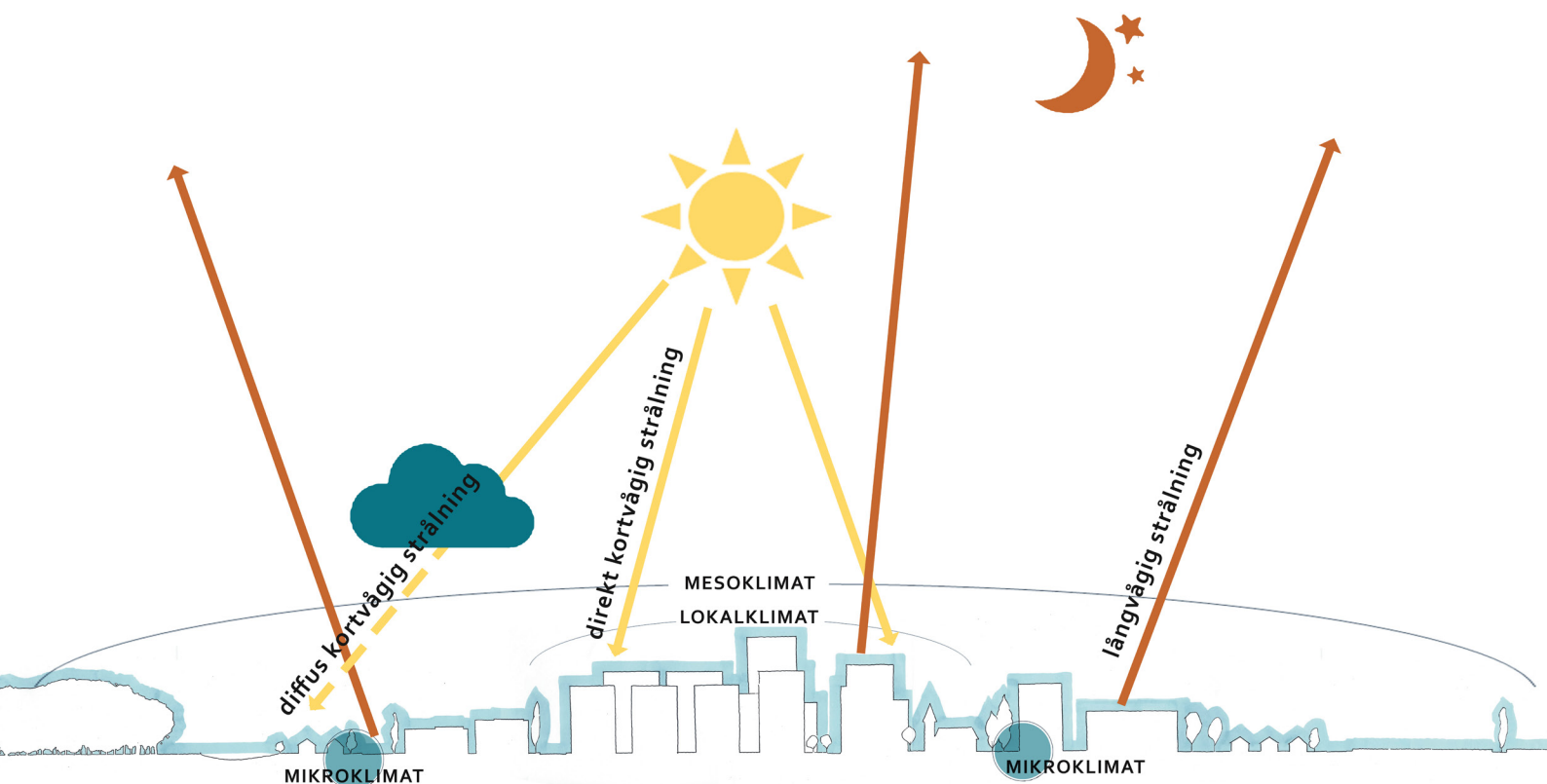
I takt med klimatförändringar och de värmeböljor som förväntas öka under sommarhalvåret kan den upplevda temperaturen komma att stiga till hälsovådliga nivåer. Genom klimatanpassad projektering finns möjligheter att reglera sol- och vindförhållanden och skapa bättre mikroklimat. Förutom en ökad termisk komfort under sommaren, kan även byggnaders energihushållning och tillgång på solljus under vintern förbättras. På så sätt handlar klimatan-

passad projektering om skräddarsydda lösningar där lokala anpassningar skapas året runt. I detta faktablad lyfts grundläggande principer för en klimatanpassad projektering med hänsyn till rumslighet, material och med koppling till solstrålning och vind för både sommar- och vinterhalvåret.

## Stadslandskapets klimat

Klimatet i svenska städer och tätorter varierar över året, vilket skapar olika förhållanden beroende på det geografiska läget. Antalet soltimmar, solintensitet, nederbörd och hur denna är fördelad över året är grundläggande faktorer som tillsammans med luftfuktighet, temperatur och vindhastighet påverkar klimatförhållanden. Andra faktorer som spelar roll är altitud, topografiska variationer, marktäckan och vattenmassor. Just marktäckan och vattenmassor är inslag som direkt går att påverka genom planering, projektering och fortlöpande förvaltning. Hur vi ändrar och utvecklar stadslandskapets marktäckan (här avses material och rumsliga strukturer) kan alltså styra lokala klimatförhållanden och skapa varierande upple-

**Figur 1.** Inom begreppet klimat finns en rad olika underbenämningar. **Makroklimat** är ett vidsträckt område på 100 km eller större, medan **mesoklimat** har en utsträckning på 10–200 km. **Lokalklimat** sträcker sig från 100 meter till 50 km. **Mikroklimat** infinner sig från någon millimeter upp till 1000 meter. (Alla mått är ungefärligt angivna). Det urbana klimatet är således en form av lokalklimat som i sin tur består av en mängd olika mikroklimat. Under dagtid nås stadens ytor av både kort- och långvägig strålning. Den kortvägiga strålningen från solen är både direkt (passerar genom atmosfären utan hinder) och diffus (filtreras av partiklar och molntäckan). Framför allt den kortvägiga strålningen påverkar stadens upphettning och skapar möjligheter för vegetationens fotosyntes. Under natten sker en avkylning genom att den värme som lagrats under dagen återstrålar mot atmosfären genom långvägig strålning. På landsbygden, framför allt om den består av öppna landskap, sker detta utan större hinder genom full utstrålning mot himlavalvet medan byggnader och andra strukturer begränsar utstrålningen inne i staden. Faktorer som påverkar fenomen som den urbana värmeöns samt hur olika mikroklimat skapas är olika marktäckans förmåga att lagra och återreflektera den inkommande solstrålningen samt möjligheter för återstrålning under natten.



velser vad gäller tillgång på solljus, vindförhållanden och termisk komfort. Klimatanpassad planering kan därför se helt olika ut beroende på var i landet vi befinner oss. Solhöjden kommer att variera beroende på geografiskt läge, men också över årstider. Det som fungerar bra i södra Sverige kan exempelvis skapa negativa påföljder i norra delen av landet. Städer i kustnära lägen har andra klimatförhållanden jämfört med städer i inlandet, så även regionalt kan klimatanpassad projektering skilja sig åt.

Under dagtid är skillnaden i temperatur mellan stad och landsbygd normalt liten, ibland är till och med staden något svalare. Avvikelsen uppträder under natten, vilket kallas den urbana värmeö-effekten. Rent konkret betyder det att såväl ytor som luft i staden är varmare än den omgivande landsbygden. Normalt är skillnaden i lufttemperatur 1–3 °C, men under vissa omständigheter betydligt större. Orsakerna till den urbana värmeö-effekten är flera men beror främst på den byggda miljöns geometri, vilken påverkar såväl lagring av solenergi under dagen som avkylning under natten. Effekten beror även på olika byggnadsmaterials termiska egenskaper, vilka påverkar reflektion, absorption och lagring av inkommande solstrålning dagtid. Dessa faktorer är också grundläggande för hur lokala klimatförhållanden, här benämnt mikroklimat, uppstår och om vi fysiologiskt kommer att uppleva den termiska miljön som komfortabel, för varm eller för kall (**Figur 1**).

Oavsett var vi befinner oss så är solen den främsta källan till värme och strålning. Hur vi reglerar solen, antingen genom att minska eller nyttja den, varierar men regleringen utgår från att dels förstå hur värmestrålning från olika material fungerar, dels hur rumslig geometri påverkar beskuggning och ventilation. Under sommarhalvåret kan projekteringslösningar innebära att skapa skugga genom olika byggda strukturer och trädplanteringar samt att använda material på strategiska platser som inte lagrar så mycket värme. Dessa lösningar bör utgå från omgivningens rumsliga förhållanden, det vill säga den rumsliga geometrin av byggnader och gatunät, vilket påverkar ett av naturens egna och mest effektiva verktyg för värmeroglering och svalka – vinden.

### Rumslig geometri

Landskapets rumsliga geometri spelar stor roll för hur både makro- och mikroklimat skapas. I en stad påverkas vindens hastighet och rörelsemönster av gatornas orientering och bredd samt byggnadernas höjd och form. Långa, raka och breda gator ger höga vindhastigheter, framför allt om de är orienterade i en dominerande vindriktning. Slingrande, smala

gator, vilka är vanliga i medeltida stadsstrukturer, gör i stället att vinden bromsas upp. Ett historiskt exempel där stadsstrukturens rumsliga geometri fungerar som en utmärkt klimatanpassad planering är rutnätsplanen framtagen av den grekiska arkitekten och stadsplaneraren Hippodamos (cirka 400 f.Kr.). Rutnätsplanens syfte var bland annat att gynna en tillströmning av sydliga vindar från Medelhavet för att ge en svalkande bris genom stadslandskapet. I varmare klimat fungerar därför rutnätsplanen som ett betydelsefullt planeringsverktyg, men på nordliga breddgrader kan den vara mindre lämplig, särskilt i kustnära områden.

Rutnätsplanen kan där förstärka genomströmningen av vind, vilket under vintern minskar den fysiologiskt upplevda temperaturen med flera grader jämfört med den verkliga uppmätta lufttemperaturen. När lufttemperaturen är 0 °C kan en vindhastighet på 5 meter per sekund exempelvis medföra en fysiologiskt upplevd temperatur på -5 °C. I Norden har därför bosättningar längs kusten historiskt oftast haft slingrande och omlott-liknande bebyggelsemönster, som har brutit upp och dämpat starka vindar.

### Rätvinklar och strömlinjeform

Vinden spelar en avgörande roll för stadens klimat. Den är viktig för ventilation och skingring av luftföroreningar samt bidrar till svalka under heta somardagar. En rumslig struktur som består av många skarpa hörn, höga och breda huskroppar, utstickande tak och balkonger skapar större friktion samt stimulerar vindens cirkulation och turbulens.

Höga och breda solitära byggnader, såsom de i miljonprogramsområden, kan framkalla lokalt starka vindsug och turbulenta vindmönster. En rumslig struktur som följer en mer strömlinjeformad karaktär – där huskroppar består av slätstrukna fasader, rundade hörn, sluttande tak och jämnhöga byggnader – skapar däremot jämnare luftflöden och mindre turbulenta vindförhållanden (**Figur 2** och **5**). Dessa grundregler om rätvinklighet kontra strömlinjeform kan fungera som en god fingervisning för klimatanpassad planering och projektering, beroende på vad som eftertraktas. Principer att utgå från är områdets och platsens geografiska läge, landskapets topografi samt hur mikroklimatförhållandena ser ut både vinter- och sommartid.

Rumsliga strukturer kan nyttjas för att antingen låta vinden skapa svalkande effekter eller dämpas för att få klimatet att upplevas varmare.

## Vindskydd

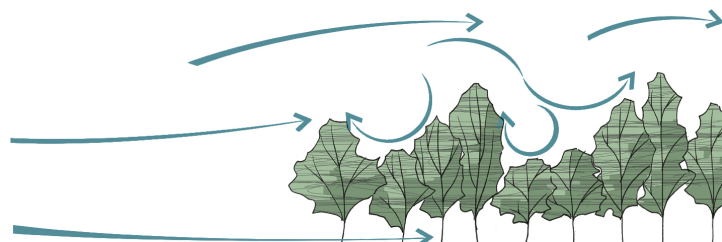
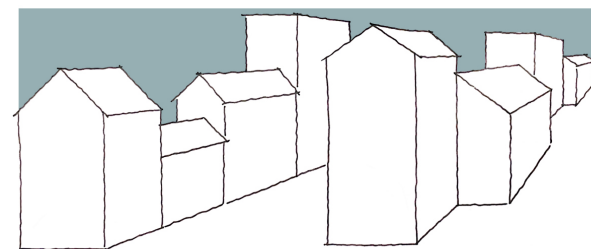
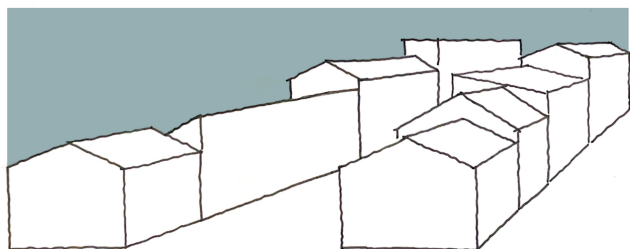
Platsspecifika projekteringslösningar för att dämpa vinden under vintern handlar till stor del om att skapa vindskydd som inte är alltför kompakta. Ett alldeles för ogenomträngligt vindskydd som ett tätt plank eller en tät thujahäck bromsar in vinden och skapar lä alldeles bakom skyddet, men strax därefter bildas turbulens i gensvar på inbromsningen. Ett vindskydd med en genomsiktighet på cirka 40–50 procent är oftast bättre eftersom det bidrar till ett laminärt luftflöde som ger både behagligare läförhållanden och mindre turbulens. På sommaren däremot kan vindrörelser stimuleras för att ge svalkande effekter genom att avsiktligt styra vinden till specifika platser eller ytor. Vinden har en kylande effekt på såväl fysiska ytor som på människokroppen genom att värme borttransporteras genom konvektion. Hur variatio-

ner i rumslig geometri, vegetation samt mark- och fasadmateriell pareras går därför hand i hand med klimatanpassad projektering (**Figur 2**).

## Himmelsfaktor

Förutom att påverka vindens rörelse och hastighet, bidrar stadslandskapets rumsliga geometri också till olika förutsättningar för inkommande och utgående strålning. Genom att mäta andelen synlig himmel sett från en fast position på marken – den så kallade himmelsfaktorn (*sky view factor*) – skapas en uppskattning på hur utformningen av byggnader, träd och andra element påverkar reflektion av inkommande strålning, som domineras av solstrålning under dagtid, och termisk utstrålning från olika material nattetid (långvågig strålning). Oftast görs mätningar av himmelsfaktorn med ett så kall-

**Figur 2.** Den rumsliga geometrin spelar stor roll för stadslandskapets mikroklimat. Byggnader och gatunät skapar olika förutsättningar för vindhastighet och luftcirkulation. Som tumregel bidrar en strömlinjeformad geometri till mjukare vindflöden (illustrationer till vänster), medan en geometri med skarpa hörn skapar större tryckskillnader och därmed lokalt högre luftcirkulation. De övre planillustrationerna visar förenklade exempel på dels ett oregelbundet gatusystem med byggnader i omlott vilket ofta kännetecknar medeltida stadskärnor, dels rutnätsmodellen med ett rätvinkligt gatunät och byggnader i rektangulära kvarter. Rutnätsstaden framkallar god ventilation med lokal vindturbulens medan den mer organiska geometrin (till vänster) bryter upp och silar vinden i långsammare rörelsemönster. Samma principer gäller även där höjd och bredd på byggnader (mitten) samt vegetation (längst ner) påverkar vindens hastighet och rörelsemönster. Ju fler kanter, skarpa hörn och höjdskillnader (höger) desto större blir cirkulation och turbulens i luften på grund av den friktion och tryckskillnad som uppstår. Vegetation med viss genomsläpplighet skapar ett jämnare luftflöde med mindre turbulens vilket bidrar till behagligare läförhållanden (vänster längst ner).



lat *fish-eye-obektiv* riktat rakt upp mot himlen. En öppen plats med hög himmelsfaktor underlättar större utstrålning (vilket ger lägre temperatur under natten), medan en sluten plats med låg himmelsfaktor begränsar utstrålningen (vilket ger högre temperaturer under natten). Jämfört med landsbygden har stadslandskapet lägre himmelsfaktorer.

Under natten begränsar byggnader och andra strukturer den långvägiga utstrålningen och stänger inne värmen i staden. Även under dagtid spelar himmelsfaktorn en roll för hur stor andel av inkommande solstrålning som reflekteras tillbaka mot atmosfären. Dessutom kompliceras situationen ytterligare av olika tak- och fasadlösningar som kan skapa utstickande delar. Är materialen blanka och ljusa, kan strålningen studsas runt som en pingpongball genom multipla reflektioner tills den antingen når tillbaka till atmosfären eller absorberas av ett mörkare material (**Figur 3**). Hur ljusa och mörka material kan reflektera inkommande solstrålning mäts genom materialets *albedo*. Detta och andra termiska processer beskrivs mer ingående nedan.

### Solstrålning

Solens strålar når jorden både som direkt och diffus solstrålning (**Figur 1**). Den direkta solstrålningen når ytor utan att hindras av moln eller partiklar i luften och skapar tydliga skuggbildningar på mark och fasader. Den diffusa solstrålningen å andra sidan finfördelas av ett filter av antingen moln, vattenånga eller föroreningsdis och den kommer inte från någon speciell riktning. Den direkta delen av solstrålningen kan variera mellan 0 procent vid molnig väderlek till 90 procent vid klart och torrt väder. Solstrålning som når en yta i rätt vinkel när solen står högt på himlen ger hög strålningsintensitet och kan skapa mycket varma ytor. Den solstrålning som absorberas i markytan leder till att mark- och lufttemperaturen stiger. Luften värms inte upp av solstrålning, utan det är när luftens molekyler kommer i kontakt med varma material (via konvektion) som luften blir varm.

Trots vårt relativt svala och nordliga klimat kan vi i Sverige under sommaren få perioder med mycket hög solinstrålning och värme. Detta kan upplevas påfrestande för kroppen och innebära ökade hälsorisker för framför allt äldre, småbarn och personer med nedsatt hälsa. Särskilt på torg, uteserveringar, lekplatser och andra utsatta platser kan tillgång till skugga under varma högsommar dagar vara särskilt betydelsefullt. Den sammanlagda effekten av lufttemperatur, strålningstemperatur, vindhastighet och luftfuktighet är avgörande för hur kroppen upplever värmestress. Kombinationen av dessa väderparam-



**Figur 3.** Ljusa material har högre albedo än mörka material, vilket innebär att ljusa material har en bättre förmåga att reflektera solens strålning tillbaka ut mot atmosfären dagtid. Samtidigt kan strålningen tillbaka mot rymden hindras beroende på omgivningens rumsliga geometri och gestaltning. Utstickande strukturer och komplexa vinklar kan bidra till multipla reflektioner. Det gör att den strålning som skulle kunna reflekteras tillbaka mot rymden vid en hög himmelsfaktor (sky view factor) i stället kan reflekteras till ett mörkare material där den till största delen absorberas och lagras som värme.

trar kan uttryckas som den fysiologiskt ekvivalenta temperaturen (*Physiological Equivalent Temperature*). Enbart lufttemperatur ger alltså ingen rättvis indikation på vår termiska komfort. Trots att lufttemperaturen är densamma över ett vidsträckt område kan den fysiologiskt ekvivalenta temperaturen (som beskriver vår termiska komfort) skilja sig med 20 °C mellan olika platser i samma stadsdel (**Figur 4**).

Under soliga förhållanden har strålningstemperaturen stor påverkan på den termiska komforten. På en specifik plats utgör strålningstemperaturen ett mått på den sammanlagda effekten av solstrålning (direkt, diffus och reflekterad) och långvägig värmestrålning från omgivande material.

Till skillnad från lufttemperatur, som inte varierar så mycket mellan olika platser, så kan strålningstemperaturen variera kraftigt inom korta avstånd, främst beroende på om platsen ligger i skugga eller i sol (**Figur 4**). Andra faktorer som påverkar strålningstemperaturen är hur stor del av solens energi som absorberas och lagras i marken och i husfasader, vilket i sin tur beror på olika materials termiska egenskaper.

## Albedo och värmelagring

Under dagtid exponeras stadens olika ytor för kortvågig solstrålning som sedan kan reflekteras från yta till yta. Den del av solstrålningen som inte reflekteras vid ytan absorberas i stället av materialet.

Mörka material, såsom asfalt, absorberar det mesta av den kortvågiga solstrålningen, vilket gör att de värms upp. Det leder i sin tur till att de avger mer långvågig strålning. Eftersom staden övervägande består av mörkare material reflekteras endast en liten del av den inkommande solstrålningen tillbaka mot atmosfären. Hur mycket som reflekteras respektive absorberas beror på ytans *albedo* – ju högre *albedo* ett material har, desto högre är dess reflektiva förmåga. Albedovärden varierar i praktiken från 0,1 (svart yta) till 0,9 (nysnö).

Beroende på vilket mikroklimat som eftersträvas kan olika materials albedo och värmelagring användas för att skapa bättre termisk komfort. Ett materials förmåga att lagra värme beror på dess värmekapacitet. Tung material som betong, asfaltsbeläggningar, sten och tegel har hög värmekapacitet. Till exempel har tegel använts för att bibehålla värmen längre i trädgårdshistoriska sammanhang, såsom till varmbäddar för att förlänga odling av vissa exotiska grönsaker och frukter.

Att sitta intill en tegelmur som blivit solbelyst tidigt på våren är också varmare jämfört med att sitta intill ett träplank. Genom att utgå från olika materials albedo och värmelagringskapaciteter kan plats-specifika lösningar för ett behagligt mikroklimat projekteras för olika årstider.

Markytors genomsläpplighet påverkar både värmestrålning och avdunstning. Permeabla markytor som jord, sand och gräs har högre avdunstning och lägre värmestrålning än hårda, impermeabla ytor.

## Vegetation och trädens transmissivitet

Vegetation kan påverka värmebalansen i landskapet och olika vegetationstyper kan reglera strålningen olika mycket (**Figur 1**). Träd har i detta sammanhang en väsentlig betydelse eftersom de kan reglera värmebalansen på olika sätt.

Det mest effektiva under en het sommardag är beskuggning från större trädkronor. En fördel med vegetationen som solskydd, jämfört med många fysiska solskydd, är att löv och barr inte värms upp av solens strålar. Även trädens evapotranspiration har en svalkande inverkan men denna går inte att förlita sig på under torra sommarveckor.

Precis som människor behöver träd hushålla med vattentillgången och under längre perioder med värme och torka så stängs bladens klyvöppningar (stomata) och därmed även transpirationen. Olika träddarter har olika strategier för att hantera vattenstress – exempelvis att stänga klyvöppningar eller tappa samtliga blad i förtid.

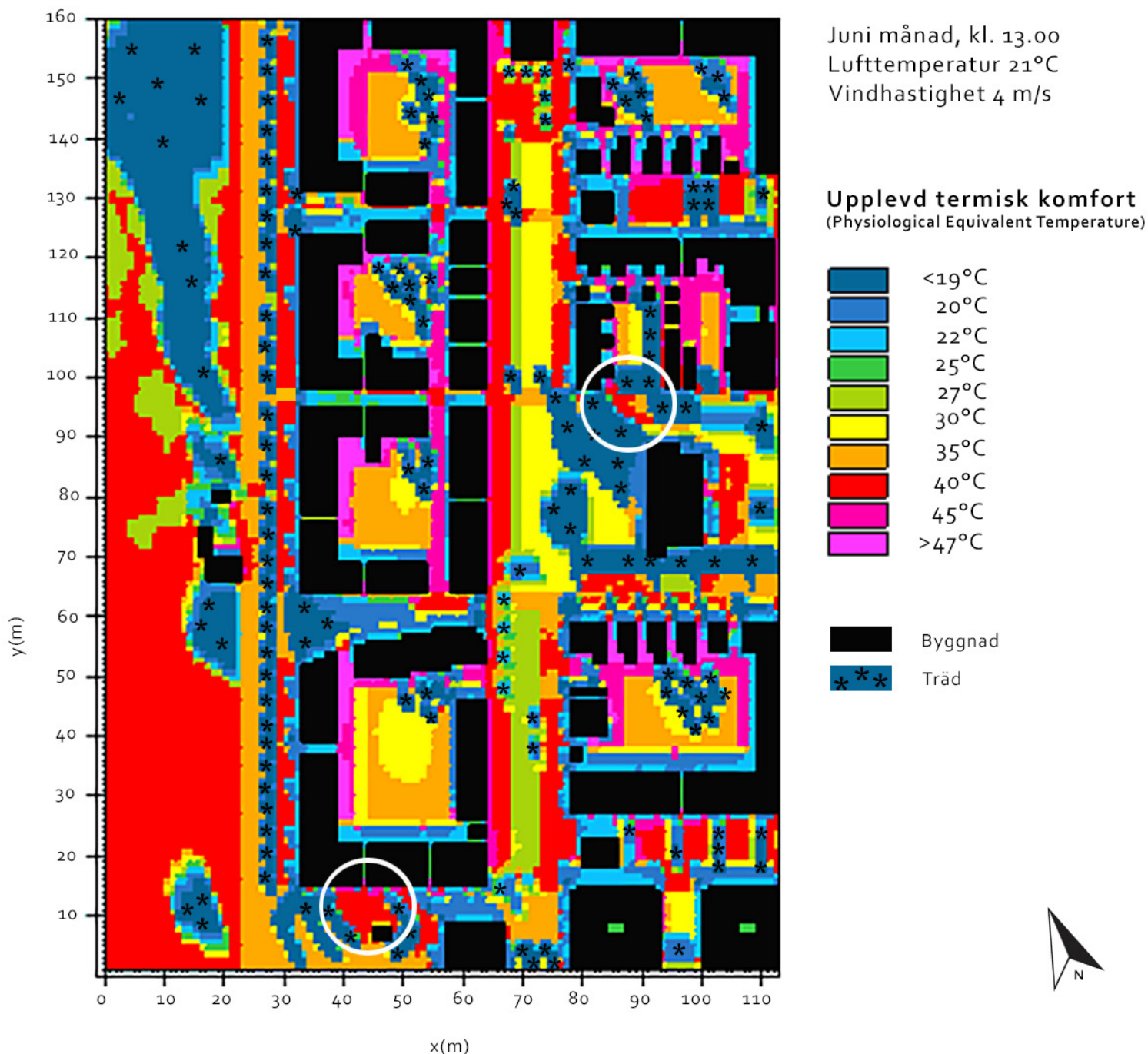
Vissa träddarter kan dock hantera vattenstress bättre och har utvecklat knep som gör att de kan fortsätta fungera även under mycket heta och torra perioder. I takt med klimatförändringar och stigande temperaturer kommer vissa träddarter därför att vara bättre lämpade i hårdgjorda stadsmiljöer där strålningstemperaturer under normala förhållanden redan är mycket höga under sommaren.

En svalkande bris och god luftcirkulation är välbehövligt under varma sommardagar. I trånga utrymmen kan för täta trädkronor bromsa in vinden så pass att den upplevda temperaturen stiger (se vit cirkel i **Figur 4**). På vissa platser kanske träd inte lämpar sig alls. Det kan vara så pass trångt att den knappa solstrålning som når fram inte ska förhindras (vilket är särskilt viktigt under vinterhalvåret), partiklar av luftföroreningar bromsas upp och ansamlas av träden eller att ståndortsförhållandet kan vara så pass utmanande att trädet aldrig kommer att kunna utvecklas.

Under vintern är det särskilt viktigt att tänka på var träd är placerade i förhållande till huskroppar eftersom trädkronans transmissivitet, det vill säga genomsläpplighet av solens strålning, kan variera beroende på art.

Träd med för låg transmissivitet som placerats i söderläge kan exempelvis blockera den solstrålning som behövs för att släppa in dagsljus i en byggnad och skapa passiv energihushållning under de kalla årstiderna. Eftersom olika träddarter har varierande täthet i blad- och grenverk går det att skraddarsy och reglera mikroklimatet utifrån platsspecifika förhållanden under olika årstider (**tabell 1**). När på vår och höst olika träddarter har bladutspring och lövfällning kan exempelvis pareras med platsers olika funktioner, såsom vid uteserveringar och på lekplatser. Vissa träd har ett relativt glest grenverk och fungerar bättre på vintern i just söderlägen eller mot öst och väst om en huskropp. Andra har tätare grenmassa längs hela stammen och kan fungera som utmärkta vindskydd, som till exempel pelarformade arter som planteras vid ett gatuhörn. Städsegröna arter, som flera barrträd och buskar, kan skapa bufferts mot kalla vindar i norr.

**Figur 4.** Kartan visar en simulering av den fysiologiskt ekvivalenta temperaturen (*physiological equivalent temperature*) i programvaran Envi-met och utgår från en kustnära stadsdel i Skåne under en dag i juni när lufttemperaturen är 21 °C och vindhastigheten 4 m/s i sydvästlig riktning. De mörkblå fälten, som har den lägsta fysiologiskt ekvivalenta temperaturen, är trädplanteringar eller beskuggning från byggnader. Gröna och gula fält är huvudsakligen gräsmattor och perenna planteringar; orangea fält är företrädesvis betong men även asfalt. Röda fält är asfaltsytor och sandstrand (det större stråket till vänster i plan). Rosa fält visar högst fysiologiskt ekvivalent temperatur, vilket beror på lågt *albedo* på markbeläggningen, låg vindhastighet samt att marken har värmts upp under förmiddagen. De vita cirkelarna visar exempel där en hög gren- och bladmassa i trädens kronor ökar den ekvivalenta temperaturen i läge. Det som projekteras på en plats kan också ändra förutsättningarna längre bort. En klimatanpassad projektering kräver därför ett systemtänk där rumslig geometri, vindflöden och termiska egenskaper hos olika material och marktäckan pareras.



## Betydelsen av vatten

Vatten har länge använts i trädgårdshistoriska sammanhang för att skapa bättre mikroklimat. Berömda exempel är från Alhambra i Spanien, Villa d'Este i Italien och Bagh-i Eram i Iran där vatten används för att skapa svalka både utomhus och inomhus. Trots att vattenytor har ett mycket lågt albedovärde, har dess massa hög värmelagringskapacitet, vilket gör att det tar lång tid för vattnet att värmas upp och kylas ned. Större vattensamlingar kan därför ha en utjämnande effekt på temperaturen. Den svalkande effekten från vatten kommer bland annat från avdunstning vilken gör att lufttemperaturen sänks. Ökad avdunstning kan åstadkommas genom kanaler, dammar, fontäner samt exempelvis anordningar där en torgyta täcks med vatten. Avdunstningens effekt på temperaturen beror på typ av vattenanläggning och är större ju torrare luften är och ju kortare avståndet till vattenkällan är. Avdunstningseffekten blir större om vattendropparna är finfördelade vilket kan åstadkommas genom fontäner eller genom att vattnet sprayas. Större vattenmassor som hav och sjöar kan även vid soliga förhållanden ge upphov till sjöbris, vilket innebär att den svalare luften över vattnet blåser mot landmassan.

## Grundläggande principer

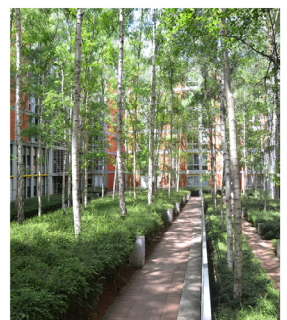
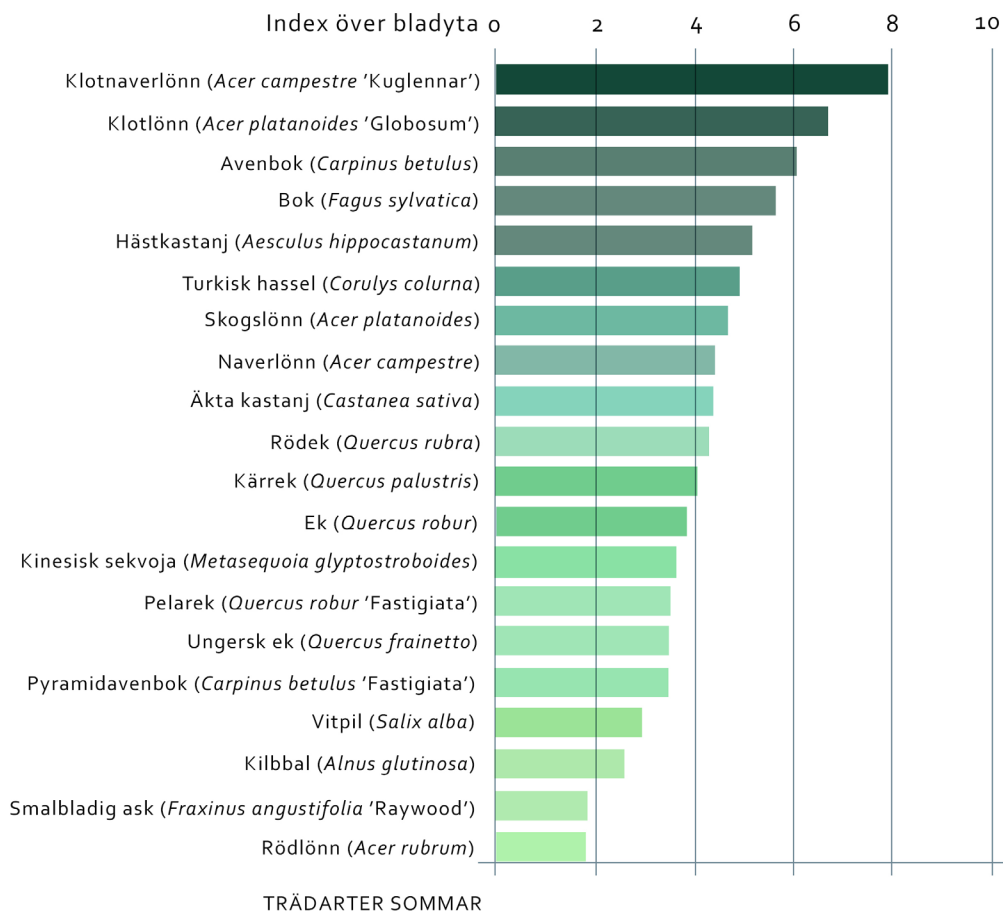
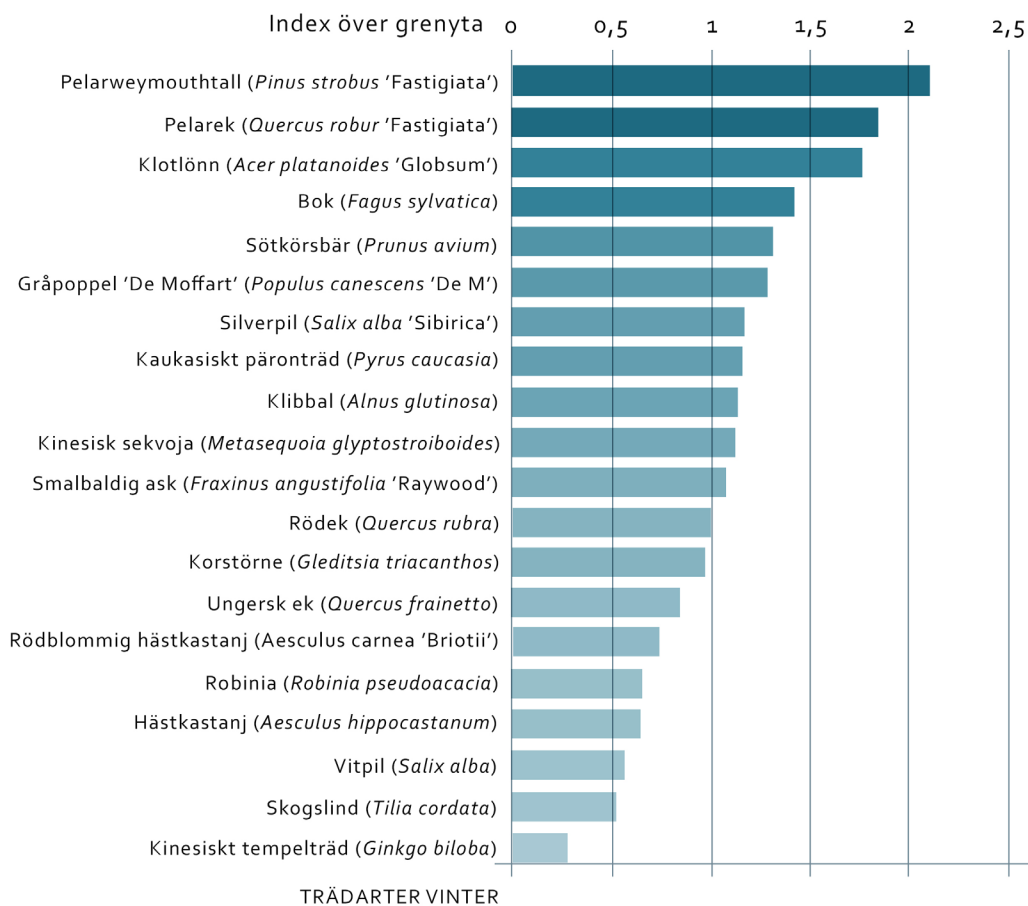
**1. Orientering.** Utgångspunkten för klimatanpassad projektering är att få en uppfattning av platsens läge i förhållande till väderstreck, de mest förekommande vindriktningarna och solhöjd under olika årstider. Omkringliggande bebyggelsestruktur, det vill säga höjd på huskroppar och bredd på gatustråk, är ytterligare parametrar att ta hänsyn till. Träd som exempelvis är planterade på norrsidan om ett kvarter eller norr om höga byggnader får mindre tillgång till solstrålning jämfört med träd som är planterade på de östra, västra eller södra sidorna. På en gata i öst-västlig riktning når solens strålar under sommarhalvåret först träd som är planterade mer mot öst och solinstrålning-

en intensifieras cirka två timmar tidigare på den östra sidan jämfört med den västra.

**2. Platsens funktioner och brukare.** Vilka är de huvudsakliga användningsområdena för platsen eller området? Vilka är brukarna? Hur ser fördelningen ut mellan platser för uppehåll, avkoppling och passiv rekreation respektive aktiv rekreation såsom lek och sport? Finns passager och stråk för genomfart inom platsen? Behöver hänsyn tas till olika mikroklimat inom platsen eller gäller en och samma målsättning? Gäller samma aktiviteter året runt eller ser behoven olika ut under vinter- och sommartid? På platser för uppehåll och avkoppling är det viktigt att erbjuda olika mikroklimat i olika delar av platsen, till exempel vindskydd och god soltillgång under de kalla årstiderna och god ventilation och solskydd under varma sommardagar.

**3. Årstider.** Ofta behöver platsens funktioner (eller förväntade användningsområden) pareras med en avvägning av påtagliga vädersituationer och de mikroklimatförhållanden som eftersträvas. Vilket bör prioriteras: att dämpa vinden på vintern eller dämpa en hög solstrålning på sommaren? Både och kanske, men på olika platser inom området. Hur ser det ut på hösten respektive våren? Träd är det "material" som skapar flexibilitet på platsen eftersom de kan anta olika kvaliteter och egenskaper beroende på årstid. Träd kan användas som "punktinsatser" beroende på art och placering. Ett pelformat träd med mindre kronvolym kan användas vid hörn av byggnader för att bromsa vinden vintertid. Ett träd med bred krona kan fungera som en utmärkt parasoll under sommaren och beroende på trädart kan transmissiviteten anpassas utifrån artens blad- och grenverk. Hårdgjorda materials albedo i samspel med vegetation kan tillsammans utöka möjligheterna att skapa anpassade mikroklimat under årets olika månader.

**Tabell 1.** Olika trädarter har olika transmissivitet, det vill säga genomsläpplighet av strålning genom kron- och grenverk. I tabellen ges exempel på trädarter med mycket tät grenstruktur, exempelvis pelarek, som passar väl till vindskydd i en tät stadsbyggnad genom att bromsa starka vindbyar vid vindutsatta hörn. Träd med glesare grenverk, exempelvis skogslind och ginkgo, lämpar sig på södra sidan av husfasader eftersom soltillgång är välbehövlig under vintern – både för byggnaders passiva energihushållning och för tillgång till dagsljus (fotografier i tabell för grenyta). På sommaren har i stället de olika trädarterna angivits utifrån ett bladyteindex och som här visar en gradient av trädarter, från de med lägre transmissivitet, till exempel klotformad naverlönn, till trädarter med högre transmissivitet, exempelvis rödlönn. Det övre fotografiet visar en innergård som planterats med björk för att skapa ett svalkande mikroklimat under sommaren samtidigt som grenverken under vintern inte hindrar soltillgång. Det undre fotografiet visar en rad med popplar på västra sidan av bostadshus; en strategisk placering i ett skandinaviskt klimat för att skapa bra energiförhållanden för byggnader under vintern och svalka inomhus under sommaren. Även när på våren olika trädarter har sin lövsprickning samt lövfällning på hösten kan vara av betydelse för att skapa behagliga värme- och ljusförhållanden beroende på platsens användning.



**4. Höjd och placering av objekt.** Olika höjder på byggnader, träd och andra strukturer skapar olika långa skuggor beroende på var i landet vi befinner oss eftersom solhöjden är olika. Hur förändras skuggor över året på platsen? Hur påverkar skuggorna utomhusmiljön och platser för exempelvis lek, rekreation och avkoppling? Går det att undvika att fasader i söderläge blir beskuggade vintertid? Högre objekt placeras till exempel bäst inom platsens norrsida, samtidigt som hänsyn måste tas till angränsande områden.

**5. Solhöjd och albedo.** Solstrålning som når en yta kommer att värma upp materialet. Intensiteten är störst vid rät infallsvinkel och avtar med minskande vinkel. För passiv uppvärmning och energihushållning kan detta utnyttjas vintertid när solhöjden är låg, genom att orientera fönster mot söder. Samma princip kan användas för material i utomhusprojektering där solstrålningen antingen ska avskärmas eller tas till vara. Det kan vara en god idé att använda analysen för platsens funktioner och brukare och därefter göra en uppskattning av olika materials albedo. Var kan dessa material placeras

**Figur 5.** Mellan 1959 och 1965 ritade och byggde arkitekten Ralph Erskine stadsdelen Ort drivaren i Kiruna. Där låg de berömda byggnaderna Mullbänken, Snusdosan och Spottkoppen (övre raden). Arkitekturen speglar en lokal förståelse för klimatanpassad design skräddarsydd för ett stadslandskap i den nordligaste delen av landet. Huskropparna följer en strömlinjeform med fasade hörn som jämnar ut vindflöden. Taken har en sluttande vinkel mot söder så att största andel takyta exponeras mot aktuell solhöjd under vår och höst – detta för att uppnå en passiv energihushållning. Liknande designprinciper kan observeras i Södra Hamnen i Luleå, (undre raden).



för att reflektera solstrålningen mer eller mindre inom området? Överväg också hur reflektionen kan studsas mellan olika material inom platsen, och hur detta fenomen kan utnyttjas (**Figur 6**). Finns det specifika platser som ska upplevas svalare under sommaren och platser som gärna får behålla värme under höst, vinter och vår?

**6. Beskuggning.** På sommaren, när solhöjden är hög, blir beskuggning ovanifrån viktig. Om fasta strukturer skapar för kraftig skugga på samma plats under vintern kan en temporär lösning, som exempelvis en presenning, vara ett gott alternativ. Pergolor med glest mellanrum av ovanliggande regler skapar god soltillgång vintertid och kan under sommaren ge behaglig beskuggning av klät-terväxter. I nordliga klimat som i Sverige, placeras träd med fördel på husets norra, västra och östra sidor för att ge såväl ett bra mikroklimat som god energihushållning. Trädarters olika transmissivitet pareras för en platspecifik beskuggning och för reglering av vind beroende på plats och vindstyrka. Barrträd, med låg transmissivitet året runt placeras med fördel på platsens norrsida.

**7. Vind och luftcirkulation.** Vinden är vår främsta källa till avkylning under sommaren och kan modifieras och ledas mot platser och objekt. Vind som styrs mot en vattenspegel kan skapa effektiv avkylning och ledas vidare mot vistelsezoner. På vintern kan olika vindskydd skapa lä. Både vegetation och byggda plank bör utgå med cirka 50 procent genomsläpplighet för att undvika turbulenta vindbyar. En tumregel är att 50 procent genomsläpplighet motsvarar möjligheten att se färgen på ett föremål (exempelvis en pläd eller en filt) bakom vindskyddet. Vindens möjligheter att ge svalka under sommaren och god luftcirkulation i trafikerade miljöer, hänger samman med den rumsliga geometrin av byggnader och gatunät samt höjd och bredd på huskroppar. Klimatanpassad projektering utgår därför från den dominerande vindriktningen för hela året eller för respektive årstid (vilket kan avläsas i en så kallad vindros) och hur omgivningens rumsliga struktur påverkar vindflödet till aktuell plats.

## Möjligheter och utmaningar

Klimatförändringarnas påverkan på framtidens vardag, inte minst under extrema väderförhållanden såsom värmeböljor (fem dagars dygnstemperatur över 25 °C), gör klimatanpassad projektering alltmer aktuell. Det är ett verktyg som kopplar global klimatanpassning till den lokala kvartersnivån. Till skillnad från storskaliga värmekarteringar, som många städer

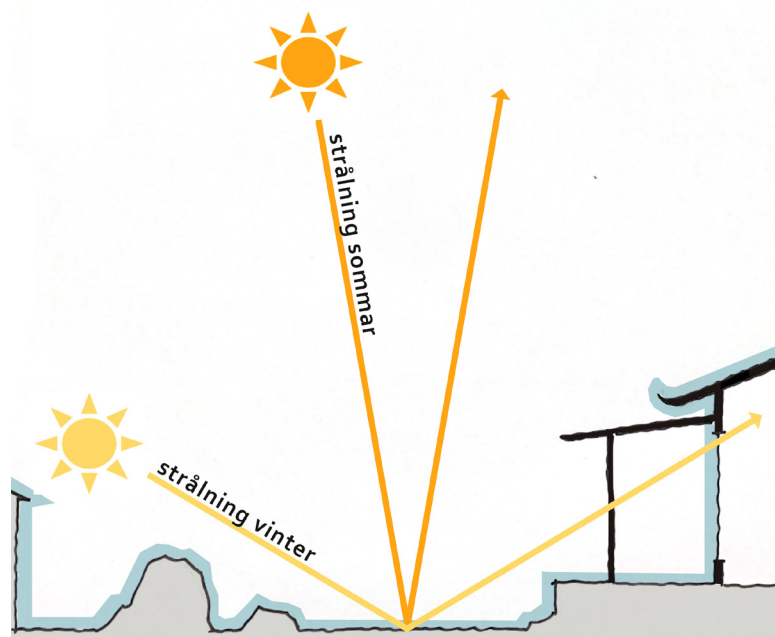
och kommuner genomför i dag och som ofta utgår från marktemperaturer, ger mikroklimatsanalyser en mer rättvis bild av vilka faktorer som påverkar den upplevda värmen inom en stadsdel, på en innergård eller i den privata trädgården. Även om klimatanpassad projektering kan uppfattas som komplex bör den ses som ett gediget hantverkskunnande baserat på relativt självklara principer. Den visar hur en klimatanpassning bygger på platsspecifika förutsättningar – temperatur, vind, rumslighet och material – samt platsens funktion och de människor som ska vistas där och använda utemiljön. Därför går det inte att kopiera samma lösning till olika platser.

Investeringen i en platsspecifik klimatanalys och klimatanpassad projektering lönar sig eftersom den har verklig inverkan på människors hälsa och deras möjlighet att bruka den miljö de vistas i.

I dag finns en rad olika verktyg att använda för modellering och simuleringar av mikroklimat och hur material, marktäckan, byggnader och vegetation inverkar på olika slags klimatvariabler. Några exempel på programvaror är Envi-met, UBIKLIM, Solweig och Autodesk FORMA. I en del av dessa programvaror saknas vindparametrar och detta är en brist eftersom just vinden är avgörande för en rättvisande beräkning. Olika trädarters transmissivitet för vinter- och sommarhalvår kan också vara svårfångad i vissa program. Vilken programvara som används beror därför på vad som eftersträvas.

Ett stort problem för dagens klimatanpassning är den rumsliga förtätning som pågår i många städer. Även olika markägareförhållanden och exploatörer med intresse för enbart den enskilda tomten skapar utmaningar eftersom klimatet inte påverkas av administrativa gränser. I värsta fall blir tomten och stadsdelen så starkt exploaterad, hårdgjord och framför allt förtätad både på bredd och höjd, att en klimatanpassad projektering kan bli omöjlig. Tidig dialog i planprocessen med tydliga argument kan vara ett steg i rätt riktning. Med erfarenhet av Covid-pandemi och extremväder och vad det betyder för samhällets välfärd och människors hälsa har vi i dag goda argument för både klimatanpassad planering och projektering. Även möjligheter för en passiv energihushållning bör belysas, något som är väl så viktigt ekonomiskt som miljömässigt.

En annan flaskhals är att både vind och värme är osynliga i praktiken, till skillnad från exempelvis dagvatten som är relativt lätt att mäta i kvantitativa mått vad gäller volym, infrastruktur och ekonomisk



**Figur 6.** I japanska tempelträdgårdar har det vita grusets höga albedo använts för att reflektera tillbaka solens instrålning på sommaren när solen står högt på himlen (mörkgul sol). Samma albedo användes på vintern för att rikta reflektionen in i byggnaden som indirekt solljus när solvinkeln är lägre (ljusgul sol). Det finns flera historiska och innovativa exempel från olika delar av världen med klimatanpassade projekteringslösningar. I takt med modernismen och samtidens teknologiska utveckling inom ingenjörskonst och arkitektur har dock många av dessa ursprungliga principer glömts bort.

investering. Det försvåras också av att facklitteratur om strålning och vind kan uppfattas som tekniskt svår. Inspiration kan däremot hämtas från historisk ingenjörskonst, äldre arkitektur och trädgårdshistoria – särskilt med hänsyn till hur ursprungliga bosättningar runt om i världen har utvecklat diverse projekteringslösningar för olika mikroklimat. En grundläggande förståelse skapas även genom egna analyser. Besök gärna olika platser återkommande, under olika årstider och observera vindriktningar, solhöjd, rumslig geometri, befintliga material och marktäckan. Våra egna sinnen och fysiska upplevelser är goda kompasser till en robust klimatplanering och projektering. På så sätt bidrar en klimatanpassad projektering till mycket intressanta platsbesök, analyser och förutsättningar för en ny, kreativ och platsspecifik gestaltning.



Under varma somrardagar blir ett behagligt mikroklimat viktigt både inomhus som utomhus. Att klimatanpassa utemiljöer och byggnader i samspel genom planering, projektering och förvaltning blir ett viktigt förhållningssätt i framtiden.

Illustrationerna i figur 2 är anpassade utifrån:

- 1) Kjellström, L. 2008. Stadsklimat/Gatuklimat. Institutionen för stad och and, SLU.
- 2) Gustavsson, R., Ingelög, T. 1994. Det nya landskapet. Skogsstyrelsen.

Illustrationen i figur 5 är anpassad från: Brown, R. D. 2015. Design With Microclimate. The Secret to Outdoor Comfortable Space. Island Press.

Samtliga foton: Johanna Deak Sjöman.

### Om författarna

**Johanna Deak Sjöman** forskar och undervisar om urbana ekosystem och långsiktig förvaltning på Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning, SLU.

**Erik Johansson** forskar och undervisar om klimatanpassad urban design, termisk komfort och energieffektiva byggnader på Institutionen för arkitektur och byggd miljö, LTH.

### Ansvar

Skribenterna ansvarar för innehållet i detta faktablad.

I faktabladserien Movium Fakta hittar du de senaste forskningsrönen och fördjupningarna i relevanta ämnen kring stadens ekologi och utemiljö.