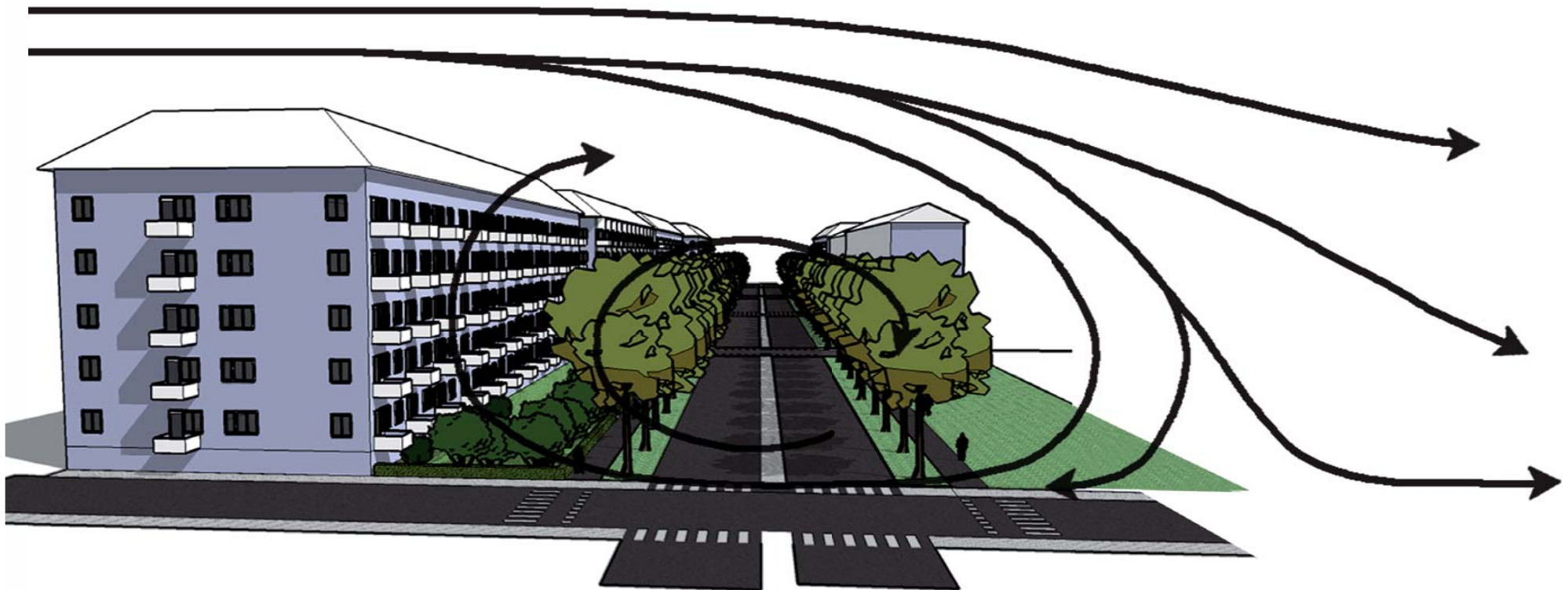


STADSKLIMAT/ GATUKLIMAT



*Linda Kjellström, februari 2008
English title: City Climate/ Street Climate
Examensarbete, D-nivå
Institutionen för Stad och Land, Ultuna, SLU
Avdelningen för landskapsarkitektur*

*Handledare: Klas Eckerberg, universitetslektor,
Sveriges lantbruksuniversitet
Examinator: Clas Florgård, professor,
Sveriges lantbruksuniversitet
Extern examinator: Mauritz Glaumann, professor
Högskolan i Gävle*

Abstract

The purpose of this paper is to understand the climate of the street and how it can be modified to better meet the needs of the street and the user groups. At the same time the conditions of the street and its surroundings also has to be taken into account. To accomplish this it is necessary to have a broad knowledge of the climate conditions in the city. Therefore an overview of the climate elements and how these are modified in the built-up areas are given. The part of the paper which deals with the city climate has a global approach to be able to give an as complete picture as possible. The main issues in this chapter are the modification of the wind, the heat balance and the water balance that a city generates and an understanding of how these are altered.

After shedding some light on the special environment in the city, the next chapter focuses on the street climate and how the conditions in street canyons are affected by different factors such as; street canyon geometry, building composition, orientation and localisation of objects and vegetation in the street canyon. Since the wind is the climate element that is most important to control in the colder regions, which Sweden belongs to, according to several authors there is an emphasis on this element in the chapter. Furthermore there is a need to bring forth this climate element since the center of attention usually lies on the solar access and very often is the wind ignored and seen as an element which can not be modified.

The following part of the paper is an attempt to apply the knowledge gained and to give some advice of how one can plan a city, develop and create a street canyon and place objects and vegetation in order to accomplish a better street climate depending on the conditions and use

of the street and the needs from the user groups. Finally this thesis is summed up by a reflection over the work and some personal thoughts. In the very end of the paper there is an enclosure that deals with some general climatology.

KAPITEL 1 INLEDNING			
Bakgrund	7		
Syfte	7		
Problemformulering	7		
Metod	8		
Avgränsning och målgrupp	8		
Källkritik	8		
Klimat i planeringen	9		
<i>Varma klimat</i>	10		
Varma och torra klimat			
Varma och fuktiga klimat			
<i>Kalla klimat</i>	11		
Klimatplanering i Sverige			
KAPITEL 2 STADSKLIMAT			
Placering	13		
Luftskiktning	13		
<i>Inversion</i>	14		
Markinversion			
		Luftcirkulationer	15
		<i>Lokala luftcirkulationer</i>	15
		<i>Vindhantering</i>	16
		Grunden i vindmodifiering	
		Vattenbalansen	21
		<i>Vattenytor i staden</i>	22
		<i>Nederbörd</i>	22
		Snö	
		Regn	
		Antropogena utsläpp	25
		<i>Effekter av luftföroreningar</i>	25
		Smog	
		<i>Vegetation som luftrenare</i>	26
		Stoftansamling	
		Artens specifika egenskaper	
		Stadens strålningsbalans	28
		<i>Densitet</i>	28
		<i>Hårdgjorda ytor</i>	29
		"Cool surfaces och cool roofs"	
		<i>Vegetation och värmebalans</i>	30
		Grönområdets "kylande" effekt	
		Placering och mängd	
		Vegetation och bebyggelse	
		Värmeön- ett mått på urbanisering?	33
		<i>Faktorer som påverkar</i>	
		Negativ påverkan	
		Positiv påverkan	

Sverige i fokus 36
KAPITEL 3 GATUKLIMAT
Vind 37
Vinden och människan 37

Omgivningens inverkan 37

Vindriktningar 38

Vinkelrät anblåsning
Parallell vindriktning
Snedvinklat luftflöde
Isolerade & multipla kanjoner 44

Objekt i gatukanjonen 46

Föroreningar 46
Tillståndet i Sverige 46

Vinkelrät anblåsning 47

Regim III
Trafikorsakad turbulens
Effekter av träd i gatukanjoner
Vinkelrät eller parallell vind? 52

Solinstrålning 52
Lufttemperatur och ytemperatur 52

Väderstreck 53

Vegetationen 53

Antropogen värme och materialegenskaper 54

KAPITEL 4 TYPEXEMPEL
Stadsplanering 55
Solstrålning 56
Gaturummet 60
Fallstudie 72
Utrustning 78
KAPITEL 5 REF.
Reflektion 81
Referenser 82
Bilaga 1 Grundläggande klimatologi

Definitioner

Advektion värmeöverföring från eller till marken genom vind.

Albedo reflektionsförmåga gällande solstrålning

Avlösningspunkt där en luftström släpper från ytan

Bowens förhållande förhållandet mellan sensibel och latent (Q_H / Q_E) värmeflöde från eller till marken

Gränsskikt där underlaget påverkar urban canopy layer UCL, urban boundary layer UBL.

Himmelsexponering, Sky View Factor, SVF, mått på himmelsavskärmning sett ifrån en viss punkt

Hinderhöjd används som längdmått vid läangivelse där skala inte har någon betydelse.

Konvektion värmeöverföring via luft

Laminär strömning då en vätska eller gas rör sig i parallella banor utan turbulens.

Latent värme (Q_E) den energi som ligger lagrad i en vätska eller gas och som avges när vätskan eller gasen går från ett mer energirikt läge till ett mer energifattigt.

Råhetsfaktor används för att beskriva hur vindhastigheten påverkas beroende på underlagets skrovlighet.

Sensibel värme (Q_H) förnimbar värme.

Stagnationspunkt kallas en punkt kring ett hinder där lufthastigheten i genomsnitt är mycket låg.

Temperaturledningsförmåga värmeledning/ värmekapacitet

Turbulens där luften rör sig oordnat till hastighet och riktning

Vak läområde bakom ett hinder där strömningen inte nödvändigtvis sker i vindriktningen

Värmeledning värmeöverföring utan omblandning

Bakgrund

Gatorna utgör stadens blodomlopp och är en väsentlig del i dess funktionalitet och attraktivitet. I många fall ses gatan som en tvådimensionell företeelse fast den i verkligheten i högsta grad är ett rum med både golv, tak och väggar. Den multifunktionalitet som den inhyser resulterar i en komplex miljö av behov och önskemål som alla trängs ihop på en vanligtvis mycket begränsad golvyta. Utöver de krav som ställs på framkomlighet, säkerhet, funktionalitet finns en mängd sociala mönster att ta hänsyn till. Alla de lager som bör tas i beaktande och inkorporeras i en projektering och utveckling av gaturummet placeras på varandra och oundvikligen syns och dominerar de lager som anses ha störst vikt. Ett lager som ofta hamnar relativt långt ned i stapeln är klimat-aspekten i gaturummet.

Då trycket och belastningen ökar på gatorna från fordons- trafik och samtidigt som gaturummen blir en vardagsmiljö för allt fler, då de antingen bor eller tillbringar en stor del av sitt liv i staden, blir även gatans klimat och kvalitet allt viktigare att arbeta med. Därför bör en självklar del redan i planeringsstadiet vara att ge en gata de bästa förutsättningarna för att kunna tillfredställa de klimat-behov som den kommer att ha. Man bör sträva efter att uppnå en sådan kunskapsnivå så att man förstår vad olika val i fråga om utformning och placering kommer att medföra för klimatet på gatan. Detta samtidigt som det krävs en förståelse för vad den specifika gatan i sig har för behov utifrån dess användning och förutsättningar. Kanske blir just studier av gator ännu viktigare i dagens stadsplanering vars trend, enligt Wänstrand (2007), verkar gå mot mer stadsmässiga och väldefinierade gaturum.

Syfte

Detta arbete kommer inte att ge en klar riktlinje över hur gaturum skall utformas och behandlas. Beroende på gatans placering, funktion, förutsättningar, användning och andra specifika egenskaper kommer dess behov att variera. Syftet med examensarbete är att själv öka sin förståelse och kunskap om stadens och gatans komplexa klimat och på detta sätt förstå hur klimatet på en gata fungerar och vad som kan förändra detta. Det vill säga vilka faktorer man kan modifiera eller påverka. På detta sätt sträva efter att få en bredare förståelse för gaturummet och vad som krävs och bör prioriteras i olika situationer. Arbetet kan ses som ett försök att sammanfatta forskningen om stadsklimat och gatuklimat samtidigt som en ansats gjorts att försöka konkretiseras och appliceras denna forskning i verkligheten. Viktigt att poängtera är att detta examensarbete har en fokus på klimatlagret och kommer därför inte att ge de andra lagren samma hänsyn och vikt som de i verkligheten kanske bör ha.

Problemformulering

Jag vill studera hur ett gatuklimat påverkas av olika geometri; gatans riktning; gatans vegetation och andra hinder. Vilka olika behov behöver man tillfredställa beroende på gatans användning och förutsättningar? Det vill säga vilka behov har de olika användargrupperna på gatan kontra gatans egna förutsättningar? Målet är att komma fram till olika punkter som man bör tänka på vid planering av staden och utformning av en gata.

Metod

För att kunna få förståelse för gaturummet inleds arbetet med en snabb överblick över hur staden påverkar klimatet, det vill säga en kort inblick i de extrema klimatförhållandena som skapas i en stad. Även grundläggande klimatologi har i viss mån studerats för att skapa en grund, men denna del har placerats som en bilaga i slutet. Dessa två delar kommer till stor del att utgå från litteraturstudier och läsning av olika rapporter, modelleringar och studier redan utförda runt om i världen.

Delen där gaturummets klimat tas upp har sin grund i litteraturstudier och studiebesök. För att få en förankring i verkligheten om hur man tillämpar eller arbetar med gatuklimatet kommer besök och kontakt att tas med olika kommuner. Arbetet avslutas med skisser visande typexempel på vad man ur klimataspekt bör tänka på i olika gaturum. De luftcirkulationer som illustreras i avsnittet med typexempel är antagna av mig och baserade på de studier jag har gjort under mitt examensarbete.

Avgränsning och målgrupp

Beskrivningen av stadsklimat tar upp ett mer globalt perspektiv medan kapitlet om gatuklimat har mer fokus på det svenska klimatet. Tiden kommer även att vara en avgränsande faktor då detta endast är ett projekt på 30 högskolepoäng. Tonvikten vid kapitlet om gatan och typskisserna kommer att ligga på klimatelementet; vind. Som målgrupp ligger landskapsarkitekter, planerare och arkitekter med intresse av att få en djupare inblick i stadsklimatet och gatuklimatet.

Källkritik

Vid litteraturstudierna är det viktigt att vara kritisk och ifrågasättande till det som skrivs. Då jag från början hade en begränsad kunskap och förståelse för området i fråga var även min förmåga att ifrågasätta på ett sätt begränsad men på ett annat sätt mycket fritt. Jag hade inga självklara kunskaper eller fördomar som hindrade mig. Å andra sidan kände jag att det var svårt att ifrågasätta då jag inte hade en grund att stå på och detta resulterade möjligtvis i att en del som kanske borde ha ifrågasatts i början inte blev det. Allt eftersom jag började skapa mig en bild kunde mer ifrågasättas och jämföras, exempelvis; mätningar, uppbyggnad av modeller, avsaknad av vissa faktorer i beräkningar med mera. Mätningar är överlag svårt att göra i en stad beroende på de komplexa förhållandena som råder. En stor variation av resultat förekommer beroende på hur, var och när man utför experiment och om de utfördes i fält, i modell eller numeriskt. Även intervallet över vilket värdena samlats in är viktigt för att få ett representativt slutresultat.

Exempelvis påpekar Eliasson (1996) att det i dagsläget finns en brist på att tydligt skilja mellan ytemperatur och lufttemperatur när man refererar till och jämför olika rapporter, vilket är beklagansvärt då skillnaderna mellan dessa två är betydande. Ytemperaturen är mycket starkare knuten till plats karakteristiska egenskaper, särskilt himmelsexponeringen, än vad lufttemperaturen är (Arnfield 2003; Eliasson 1996). Detta leder bland annat till att en värmeö där mätningarna utgår från ytemperaturen i regel kommer att bli mycket större än om man utgår från lufttemperaturen.

Beroende på vem man frågar finns det även två till tre olika värmeöar som man kan basera mätningarna på; UBL, UCL eller yttemperaturen (Oke 1987; Arnfield 2003) Även problemet med satelliter och andra luftburna mätmetoder belyses av Arnfield (2003) då dessa mäter temperaturen på den ytan som är synlig från ovan. Hustak och trädkronor som då mäts kan ha andra fysiska och termiska egenskaper än markytan. Viktigt att tänka på är att värmeöar vanligtvis mäts under kvällen/natten när vindförhållandena är lugna och himlen klar. Detta eftersom dessa förhållanden resulterar i minsta möjliga störning och bättre resultat, men det är även vid den här tiden den största värmeöar bildas (Arnfield 2003; Eliasson 1996).

Även referensstationen ute på landsbygden är viktig eftersom dess placering kan påverka utgången och resultaten märkbart. Detta då skillnaden på utstrålning och värmekapacitet på en jord med hög respektive låg vattenhalt är påfallande. Arnfield (2003) anser att platsen som utses bör ha en hög fuktighet eftersom detta resulterar i termiska egenskaper som inte är allt för olika de som återfinns i de urbana miljöerna.

Vidare saknas ibland experiment som är utförda i data-modeller eller numeriskamodeller en viss verklighetsförankring. Till exempel är huvuddelen av rapporterna och resultaten som behandlar vindcirkulation i gaturum från vindtunnelförsök eller numeriskamodeller där vanligtvis någon av följande faktorer ha bortsetts från; kantvirvlarnas effekt, de omkringliggande byggnaders effekt på gaturummet eller temperaturskillnaderna som leder till stratifiering i gaturummet. Detta är i regel av nödvändighet då verkligheten kan vara allt för komplex för att kunna inhysas i en modell men i vissa fall anses inte alla aspekter vara av sådan vikt att de påverkar utgången för vad man studerar. Inte desto mindre är det

viktigt att vara medveten om detta när man läser och tar del av rapporterna. Vidare måste man även vara säker på att de faktiskt har mätt och studerat samma fenomen på ett åtminstone relativt likt sätt för att kunna jämföra rapporter och resultat, annars är det ju inte direkt förvånande att resultaten motsäger varandra eller visar på stora skillnader.

Till sist kan man konstatera att en del av referenserna som används i detta arbete är från 80-talet vilket i många fall kan ses som inte tillräckligt aktuella. Men det visar sig att grunden inom klimatforskning lades vid denna tid och personer som Oke och Geiger var då som nu viktiga källor inom området. De nyare referenserna bygger till större delen på dessa och är en utveckling och i regel specialiserade inom en viss del av ämnet.

Klimat i planeringen

För att så långt som möjligt skapa en stad som inte genererar onödigt extrema förhållanden bör man i så tidigt stadium som möjligt medvetet arbeta med planering, utformning, material och vegetation. Många utvecklingsländer växer nu i en rasande takt och det är viktigt att försöka få med de aspekter som kommer att tas upp nedan när städerna expanderar för att nå en mer hållbar samhällsbyggnad. Medvetnare stadsplanering och utformning kan även resultera i att energiefterfrågan för luftkonditionering, som spås explodera, kan hållas nere något.

Akbari et al. (2001) räknar med att i USA ökar energi behovet med 2-4 % för varje grad medeltemperaturen stiger på grund av ökat behov av luftkonditionering. Vidare menar de att 5-10 % av energiförbrukningen i en större stad i USA går till det kylningsbehovet som temperaturhöjningarna sedan 40-talet medfört. En större

medvetenhet och bättre planering kan i mångt och mycket förbättra förhållandena i en stad.

Emellertid varierar klimatförhållandena beroende på var man arbetar och med dessa även vilket fokus man bör ha vid planering och projektering. I varma klimat är andra faktorer viktiga att ta hänsyn till än i exempelvis kallare regioner. De huvudelement man bör rikta in sig på att försöka modifiera i respektive klimatförhållande kommer nu mycket snabbt och översiktligt att åskådliggöras för att belysa den enorma skillnad av behov som finns i olika städer över jorden.

Varma klimat

I varma regioner är det först och främst solstrålning som utgör den faktor som man bör försöka modifiera (Brown & Gillespie 1995). I gatumiljö kan detta leda till att överhängande fasader, gallerier och smala gaturum förespråkas för att hålla klimatet på fotgängarnivå på en draglig nivå (Ali Toudert & Mayer 2007). Breda gator, det vill säga med hög himmelsexponering, i öst-väst riktning är de som genererar det mest obehagliga gatuklimatet, enligt Ali Toudert och Mayer (2007). Hur stor del av dagen som en gata upplevs som obekväm kan påverkas genom dess utformning, innehåll och orientering.

I dessa klimat är det viktigt att tänka på vilka material man använder och deras egenskaper. Exempelvis kan "cool pavement" och "cool roofing" med fördel användas för att minska mängden lagrad värme i staden eftersom de istället reflekterar en större del av strålningen och på detta sätt bidra till behagligare förhållanden (Akbari & Konopacki 2004; Akbari et al. 2001). Något som bör strävas efter i många fall är att i största möjliga

mån öka andelen vegetation och minska andelen hårdgjorda ytor för att på detta sätt minska Bowens kvot, det vill säga mängden sensibel värme i relation till latent värme. Dock bör man enligt Givoni (1991) uppmärksamma att tillvägagångssättet varierar beroende på om det är ett varmt och torrt klimat eller ett varmt och fuktigt klimat.



Bild ovan; exempel på plantering av vegetation som ger skugga, hindrar sand och damm vindar och tillåter ett luftflöde mellan trädkronan och den lägre planteringen.

Varma och torra klimat

Enligt Givoni (1991) leder den låga luftfuktigheten till att den ökning av fuktighet som vegetation bidrar med inte i detta fall resulterar i några negativa effekter för klimatet. Inte heller vegetationens eventuella minskning av luftcirkulationen anser författaren vara farlig då skugga är det som i första hand behövs. I torra klimat kan även skydd mot damm vara viktigt vilket leder till att allt för stora parker bör undvikas då dessa i regel inte har möjlighet att underhållas eller bevattnas tillräckligt, vilket kan resultera i att de blir källor för damm. Mindre parker är att föredra anser författaren då dessa kan underhållas och samtidigt fungera som oaser där klimatet är betydligt behagligare.

Låga häckar förespråkas även av författaren då de kan tjänstgöra som vind- och dammskydd. Vindskydd, menar Givoni (1991), kan även vara mycket viktigt att tillhandahålla i dessa områden då förutom de obehagliga dammvindarna även de kalla vintrarna kan vara besvärande. Slutligen anser författaren att befintlig vegetation i största mån bör bevaras på grund av de etableringssvårigheter som kan förekomma.

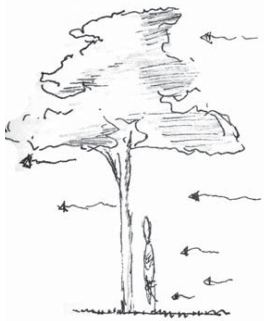


Bild ovan; glesare träd på högre stam som skänker skugga och samtidigt möjliggör en god luftcirkulation under kronan.

Varma och fuktiga klimat

I kontrast till förgående klimat råder lite annorlunda förutsättningar för fuktiga och varma regioner och därmed bör andra aspekter betänkas. Den höga luftfuktigheten gör att en viss luftcirkulation är viktig att behålla i parkerna, enligt Givoni (1991). Vad som bör eftersträvas är minimal vindblockering och maximal skugga anser författaren, samtidigt som man bör försöka att inte öka luftfuktigheten ytterligare i området. Därmed bör höga buskar undvikas då de hindrar luftcirkulationen, ökar fuktigheten och samtidigt endast bidrar med en minimal skugga. Att förespråka, menar Givoni (1991) är träd med hög stam som placeras glest. Dessa bidrar med skugga samtidigt som de inte hindrar luftcirkulationen allt för mycket. Större parkområden är i dessa regioner möjliga att underhålla då inte samma krav på bevattning finns, ventilation blir dock ett ledord i planeringen och inte minst i gaturum. Givoni (1991) poängterar även att planering och projektering för att minimera eventuella översvämningar är viktiga i dessa regioner.

Kalla klimat

Både Brown och Gillespie (1995) och Givoni (1991) menar att i kallare klimat är det vinden som är det klimat-element som man främst bör fokusera på. Även solinstrålningen är viktig då solen står lågt och soltimmarna är få under vintern, men trots detta bör fokus ligga på vinden enligt Brown och Gillespie (1995). Vidare menar de att vindskydd är viktigt dels för att skapa ett behagligt klimat men även för att minska byggnaders energiförbrukning vintertid. I kalla klimat kan buskage och träd med fördel används för att skapa mindre vindutsatta områden. Sittplatser och väntområden bör placeras och

utformas så att de erbjuder ett behagligt klimat året runt, det vill säga skugga på sommaren och lä och sol under den kallare delen av året. Man kan med fördel placera täta och höga rader av vintergröna växter på norra och västra sidan av bebyggelse då dessa skyddar mot vinden året runt samtidigt som de inte hindrar solinstrålningen, menar Givoni (1991). Vidare bör man välja att placera lövvegetation på västra och södra sidan av en byggnad för att på detta vis få skugga under sommarhalvåret samtidigt som lövträden inte hindrar solinstrålningen vintertid, eftersom löven då är fällna (Akbari & Konopacki 2004).

Klimatplanering i Sverige

Sverige tillhör den sistnämnda regionen och fokus bör därför ligga på vinden, självklart är solinstrålningen också viktig då vi har en mycket lågt stående eller helt frånvarande vintersol. I detta examensarbete kommer målet att vara gatuklimatet med en viss fokus på vindcirkulationen och för att få verklighetsanknytning har försök gjorts att ta kontakt med personer som arbetar med dessa frågor. Ett självklart mål har varit olika kommuner och bland annat har jag varit i kontakt med Sundsvalls kommun, Södermalms stadsdel och Uppsala kommun. Dessa kommuner valdes ut då de är förhållandevis stora samtidigt som de har speciella förutsättningar på grund av deras placering. Uppsala är placerat på en slätt, Södermalms i Stockholm har närheten till kusten och Sundsvall ligger i sänkan mellan två berg vilket även resulterar i vissa problem med inversion. Även Exploateringskontoret och Trafikkontoret, Stadsmiljö, på Stockholms stad har kontaktats.

Under försöken att komma i kontakt med rätt person har vissa likheter mellan kommunerna kunnat urskiljas. För det första har alla avdelningarna på de kommuner jag varit i kontakt med framhållit att de är under hög belastning men att de ändå i den mån de kan skall försöka hjälpa mig. Den andra saken som var påfallande var att ingen direkt visste till vem jag skulle vända mig eller vilken avdelning som kunde tänkas ha hand om mitt område. I regel började jag med att e-posta antingen trafikkontoret eller stadsbyggnadskontoret på respektive kommun och härifrån skickades jag vanligtvis till en annan avdelning som kunde tänkas möjligtvis ha hand om frågan. Efter att ha slussats mellan stadsbyggnadskontoret, stadsdelsförvaltningen, trafikkontoret, miljökontoret och några andra avdelningar hänvisades jag vanligtvis tillbaka till trafikkontoret eller någon annan avdelning som jag redan varit i kontakt med. I vissa fall då jag fick tag på en avdelning som jag hänvisats till blev svaret att de tyvärr inte hade tid att hjälpa mig eller att de skulle höra av sig senare.

Efter mina försök och kontakter med olika personer i dessa kommuner drar jag slutsatsen att kunskapen om stadsklimat och gatuklimat är spridd över kommunen och att ingen direkt vet var eller till vem man bör vända sig. Detta är synd då dels klimataspekten är viktig och dels för att det finns ett stort intresse. Flera påpekade att de tyvärr inte arbetade med dessa typer av klimatfrågor, man gärna skulle vilja lära sig mer.

Utöver kommuner har ansatser även gjorts att ta kontakt med olika organisationer och företag som arbetar med olika delar av stadsklimat och gatuklimat. Bland annat IVL Svenska Miljöinstitutet AB i Göteborg, SLB (Stockholms Luft- och Bulleranalys), Umeå universitet och Boverket har kontaktats. Alla försök utom det med

Boverket har varit fruktlösa. Boverkets svar var dock att de inte hade några rekommendationer för gatuklimat men de bifogade några artiklar.

Då mina försök att få verklighetsförankring till större delen föll platt kommer mina slutsatser till stor del bygga på de litteraturstudier som gjorts. Det som jag ändå har kunnat få ut av intervjuer och kontakter som gjorts kommer att väva in i arbetet allt eftersom. Men för att få en bredare förståelse för gaturummets komplexitet har jag valt att först försöka sammanfatta den forskning som gjorts på stadens inverkan på klimatet och det speciella stadsklimat som blir resultatet. Denna del kommer att ha ett globalt perspektiv och kommer förhoppningsvis på detta sätt att ge en klarare och mer komplett bild av klimatförhållandena som staden genererar och hur olika faktorer kan påverka stadsklimatet.

STADSKLIMAT

Det speciella klimat som råder i städer är mycket komplext beroende på de förändringar som skett av de ursprungliga förhållandena. Geiger (1980) ger en förenklad förklaring till stadsklimatets särdrag och menar att de grundläggande skälen är de modifieringar som skett i värme- och vattenbalansen. Detta i sin tur beror på den högre densiteten av byggnader, byggnadsmaterialet, den avvikande geometrin och den i regel förhöjda halten av föroreningar i luften (Bogren et al. 1999; Geiger 1980). Byggnader leder till rubbningar i den omgivande miljöns strålningsbalans, fuktighet, termiska och aerodynamiska egenskaper (Oke 1987). Vidare, när man placerar fler byggnader ihop, är inte summan av effekten byggnadernas sammanlagda individuella påverkan utan man måste även se till den interaktion som nu sker mellan byggnaderna (Erell & Williamson 2006). Genom att förstå dessa förändringar och varför de sker kan man medvetet påverka de faktorer som styr stadsklimatet för att skapa bättre förutsättningar i staden. Nedanstående del handlar bland annat om hur stadens lokalisering, utformning och innehåll påverkar dess klimat. Staden som helhet och hur olika faktorer påverkar denna är viktigt att förstå för att sedan kunna ta sig an gatuklimatet.

Placering

Beroende på var staden är placerad globalt, regionalt och lokalt kan klimatet och stadens förutsättningar variera markant. Variationen beror dels på den globala fördelningen av soltimmar och solintensitet över Jorden, dels på placeringen i förhållande till vattenmiljöer och nederbördens mängd och fördelning över året. Detta leder till att vissa problem som är allvarliga för städer på exempelvis de lägre breddgraderna inte alltid ses som ett stort problem på de högre breddgraderna, och vice versa.



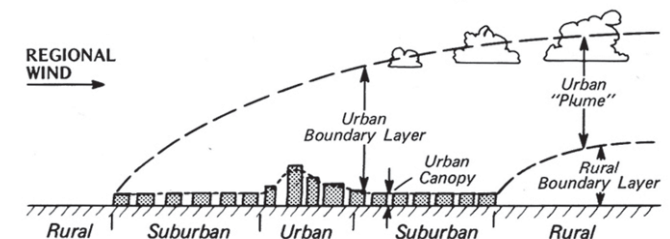
Bild ovan; bebyggelsen är placerad i lä av en höjd, på södersidan, i skydd av den befintliga vegetationen.

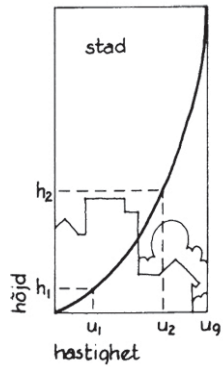
Likväl som globala variationer kan det vara stora regionala skillnader beroende på bland annat regionens topografi och närhet till vattenmassor. En stad vid Sveriges kust har andra förutsättningar än en stad lokaliserad i inlandet. Variationerna i medeltemperatur, vindhastighet, fuktighet under vintern och nederbörd kan vara ansevärda. Även den lokala placeringen kan ha en avgörande roll i hur stadens klimat blir. Ligger staden mitt ute på slätten, vilket ger mycket blåsiga förhållanden, eller i kanten av den i skydd av ett vegetationsområde, på solsidan i en dal eller på nordsidan där kallluftstråket går? Allt detta inverkar på klimatet i staden.

Luftskiktning

Luftskiktningen över en stad ser annorlunda ut än den över landsbygden. Det finns en viktig avgränsning när man studerar stadsklimatet mellan UCL, urban canopy layer, vilken stäcker sig från markytan till byggnadernas tak och UBL, urban boundary layer, som ligger ovan UCL. Skillnaden ligger i att inom UCL bestäms luft- och energiflödena av de egenskaperna och processerna som sker på platsen, medan UBL påverkas både av närvaron av stadens yta och de regionala processerna (Oke 1987). Stark konvektion under sommaren kan resultera i ett mycket mäktigt UBL. En sommardag i Oklahoma City uppmättes ett skikt med en mäktighet på 3000 meter, Simpson et al. (2007) refererade till detta skikt som CBL, convective boundary layer. Trots författarnas val av term,

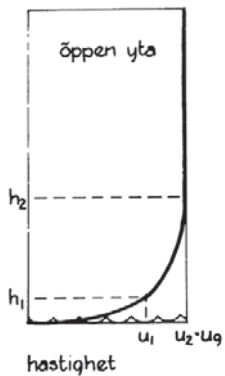
Bild t. höger: illustration av atmosfären ovan en stad. Här kan de två lagren UBL och UCL ses, även effekten av vind på UBL (Oke 1987, p 274)





Bilder ovan: Grafen visar på den friktion en stad utgör för vinden. Jämför denna gärna med bilden nedan (Glaumann & Nord 1993, p 39).

Bild nedan: illustration av det motstånd en vattenyta utgör för vinden (Glaumann & Nord 1993, p 39).



CBL, kommer det härnäst att refereras till som UBL, då enligt Oke (1987) UBL är hela den delen av atmosfären som påverkas av den underliggande strukturen, i detta fall en stad.

Friktionsskiktet, som utgör den nedre gränsen för UBL, över en stad kan på grund av stadens variation av höga byggnader separerade av öppna ytor och gaturum få en mäktighet som är flera gånger den medelhöjd som stadens byggnader har. Vertikala vindar, vakar, stor turbulens och lokal advektion är att förvänta sig i det här lagret på grund av det heterogena underlaget. Beroende på markunderlagets friktion och råhet varierar råhetsparametern, denna stiger med ökad friktion från underlaget (Glaumann & Westerberg 1988). Utifrån dess råhetsparameter delas markunderlagen in i olika råhetsklasser som ger en bild av hur stor vindpåverkan underlaget ifråga har (Glaumann & Westerberg 1988). Exempelvis ligger vattenytor i råhetsklassen 0 medan centrumkärnan av en större stad ligger i överdelen av klassen 3 och jämt skogslandskap ligger i nedre delen av klass 3. Friktionen som staden utgör för luftströmmarna överskrider därmed i stort sett alla naturliga element och påverkar i hög grad hur vindhastighet och turbulens utvecklas ovan stadssiluetten (Arnfield 2003, Glaumann & Westerberg 1988), och då även hur föroreningarna fördelas ovan staden.

Inversion

Speciellt på högre breddgrader kan inversion vara ett besvärligt fenomen att hantera. Inversion sker såväl sommar som vinter, men främst under förhållanden med klara och stilla nätter (Bernes & Holmgren 2006; Bogren et al. 1999; Glaumann & Nord 1993). Skillnaderna

mellan inversionen sommartid och vintertid, sett ur antalet timmar över året, är enligt Bogren et al. (1999) inte stort. Under sommaren löses inversionen upp under nästa dag när solen börjar värma marken eller när vindar blandar om i luftlagren (Bernes & Holmgren 2006). Däremot varar inversionen under vintern längre och även halten av luftföroreningarna är i regel förhöjd under denna period eftersom behovet av uppvärmning är större. Om högttryck närvarar under hösten och vintern kan inversionen ligga kvar i flera dagar, speciellt på högre breddgrader där solstrålningen inte är tillräckligt för att värma upp lagret under dagen (Bernes & Holmgren 2006; Bogren et al. 1999). En ytterst ohälsosam situation kan skapas när inversionen hindrar föroreningar från att ventileras ut ur staden då de istället ansamlas i gatunivå. Vintertid är det i regel först när regionala vindar lyckas bryta upp skiktningen som inversionen försvinner.

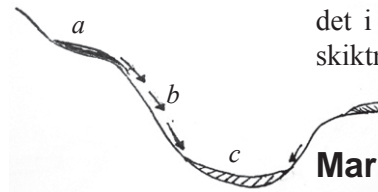


Bild ovan; kallluftproduktionsområdet (a) genererar ett luftflöde (b) ned i sänkan där en ansamling av kallluft sker, en s.k. kallluftsjö (c).

Markinversion

Kall luft vid marknivå betar sig ungefär som en vätska och glider nedför sluttningar och ansamlas i lägre områden där kallluftsjöar bildas (Glaumann & Nord 1993; Bogren et al. 1999). Exempel på ytor som kan vara potentiella kallluftproduktionsområden är sådana som i regel har dålig värmeledningsförmåga, exempelvis; humusrik jord eller låg vegetation (Svensson & Eliasson 1999). I vissa fall kan problemet återgärdas om kallluftproduktionsområde är av sådan natur att man genom att ändra förhållandena kan hindra produktionen av kallluft. Detta är möjligt om området i fråga exempelvis är ett kalhygge eller annan större öppen yta som genom att vegeteras kan förhindra en fortsatt kallluftproduktion (Bogren et al. 1999). Dock är det inte bara när en stad har placerats i en kallluftsjö som den påverkas, utan även om den ligger i kallluftflödet. Bebyggelse och vegetation kan i detta fall även dämna

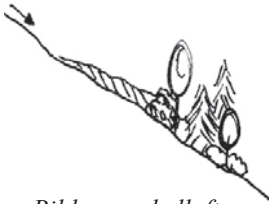


Bild ovan; kallluftflöden kan medvetet eller omedvetet dämpas upp av bebyggelse eller vegetation.

upp kallluftstråket och på detta sätt kan det bildas ansamlingar av kallluft. I vissa fall kan man leda bort kallluftflödet genom att skapa en alternativ väg för den, men ibland gör topografin och placeringen av staden det mycket svårt att ”bygga bort” kallluftproduktionsområdet eller avleda kallluftflödena.

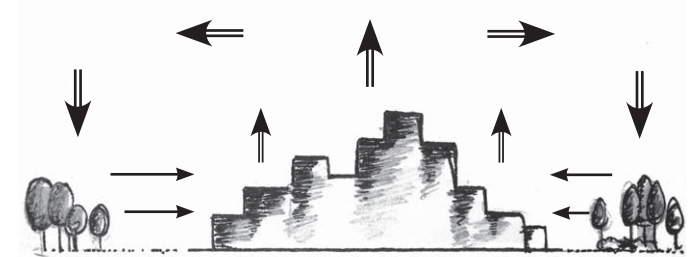
Luftcirkulationer

Stadens komplexa inverkan på klimatet kan inte minst åskådliggöras genom att betrakta de påtagliga skillnaderna i vindförhållanden mellan staden och landsbygden. Vindhastigheten är i regel nedsatt i staden då de regionala vindarna vanligen bromsas upp av den friktion som staden utgör (Ezber et al. 2007; Oke 1987; Glaumann & Nord 1999). Denna friktion som staden och dess konstruktion skapar kan leda till att vindarna inne i bebyggelsen endast är $\frac{1}{4}$ eller $\frac{1}{5}$ av den hastighet som uppmäts utanför staden (Glaumann & Nord 1999). De lokala vindarna i staden, däremot, kan vara kraftigare och turbulensen är överlag betydligt förhöjd (Oke 1987; Glaumann & Nord 1999). En rad faktorer som temperatur, fuktighet och spridning av föroreningar påverkas i sin tur av detta.

Lokala luftcirkulationer

De i regel varmare temperaturer som råder i staden, jämfört med omkringliggande landsbygd, kan skapa luftström som leder svalare luft från rurala områden in i staden (Holmer & Eliasson 1999; Chandler 1976; Bogren et al. 1999). Dessa mindre lokala luftcirkulationer kan i sin tur medföra att fuktigare luft från omkringliggande områden leds in i staden och därmed påverka stadens luftfuktighet (Holmer & Eliasson 1999).

Bild t. höger; skiss över det luftflöde som kan utvecklas mellan stad och landsbygd.



Även parker kan skapa små svaga luftströmmar då en temperaturskillnad mellan dem och omkringliggande område kan uppstå (Eliasson 2000; Upmanis 2000). Dessa är dock mer av det intraurbana slaget, men kan ha en betydande roll i stadens luftcirkulation då de dels bidrar till en liten bris men också skapar ett luftreningssystem.

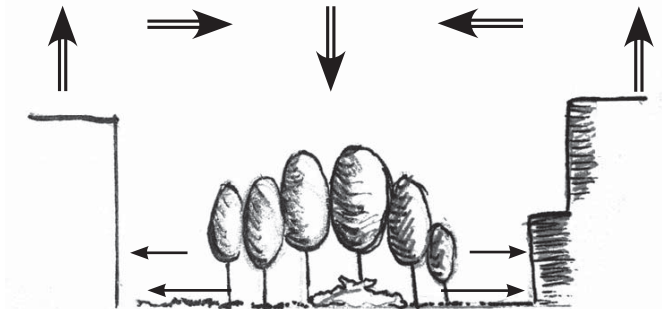


Bild t. höger; illustration över luftcirkulationen en park kan generera i staden.

Hur stor luftströmningen blir beror på tryckdifferensen, alltså temperaturskillnaden, mellan stad och land. Den vertikala temperaturdifferensen är minst lika viktig som den horisontella eftersom en instabil skiktning underlättar den tredimensionella cirkulationen (Oke 1987). Chandler (1976) insåg redan för 30 år sedan fördelarna med en omlands- eller sjöbris och behovet av att redan i planeringsskedet möjliggöra sådana luftströmmar och samtidigt arbeta för en god grönsstruktur i staden, då denna kan främja cirkulationen.

Det är viktigt att vara medveten om en eventuell lokal luftcirkulation och hur den uppkommer och rör sig, annars kan det vara lätt att omedvetet hindra flödet. Försiktighet vid exploatering, menar Chow och Roth (2006), är viktig då ett kvarter av högre byggnader vid oförsiktig placering kan blockera ett lokalt luftflöde eller nattlig cirkulation. Exempel på detta har författarna observerat i Singapore där ett kvarter med högre bebyggelse hindrade det sydliga luftflödet in till en av mätstationerna i staden.

Oke (1987) varnar för att sätta allt för stor tilltro till de sjö- och omlandsbrisar som kan bildas. Man bör, enligt honom, inte ha allt för stora förhoppningar till dess förmåga att ventilerar staden och skingra eventuella föroreningar. De lokala cirkulationerna är i regel stängda system och de har en daglig omvänd riktning i luftflödet. Detta leder till att en ganska begränsad volym av luft, som redan är förorenad, flödar fram och tillbaka, enligt författaren. I Sverige, till exempel, sträcker sig sjöbriserna i regel endast några hundra meter upp och ett par mil ut (Glaumann & Westerberg 1988). Förutom dess begränsade volym är de lokala brisarna vanligen inte alltför kraftiga (Oke 1987; Bogren et al. 1999). Vidare menar författarna att lokala luftcirkulationer, på grund av deras vanligtvis svaga utveckling, oftast påverkas och domineras av starkare regionala vindsystem.

Dock är stadens egna termiska luftflöde, som tros ske vid omfattande stagnation, speciellt farligt enligt Oke (1987). Detta eftersom luften från kanjonvirvlarna förenas ovan staden och rör sig ut mot ytterkanterna, där den sjunker och förenas med luftinflödet vilket leder till att en ytterst begränsad luftvolym står för cirkulationen. Samma förorenade luft pumpas runt, runt trots att man tros sig ha en inströmning av frisk luft.

Vindhantering

Eftersom vind är en av de faktorer som i hög grad påverkar hur vi upplever vädret, speciellt då den kan få en solig vårdag att kännas som en isbitande höstdag, är den speciellt åtråvärd att kunna reglera. Ibland kan det vara önskvärt att dämpa luftflödet genom en stad eller leda om det. Städer placerade på slätter, vid större vattenytor eller i dalgångar kan erfaras ett klimat där starka vindar är vanligt förekommande, här kan det finnas skäl att studera om olika varianter av lä kan förbättra situationen. Men även det motsatta förhållandet finns där områden med risk för inversion och stagnation eller med höga luftföroreningshalter leder till en önskan att modifiera och öka luftcirkulationen. Vid det senare scenariot är det förstås alltid önskvärt att i den mån det går försöka ta hand om föroreningarna på plats istället för att nöja sig med att få bort dem från sin egen bakgård.

Kanske är det många som tycker att deras stads behov ligger i just att minska vinden. Detta kan tyckas vid en första anblick vara en liten modifikation, men man bör noga ta i betänkande vad som händer när man försöker rikta om eller minska luftströmningen genom hela eller delar av en stad. Detta då vinden har en framträdande roll i många avseenden, till exempel vattenbalansen, värmebudgeten och skingringen av föroreningar.

När ett beslut har fattats kan det dock visa vara mycket svårt att modifiera luftströmmar runt en redan befintlig stad. Lättast är att redan på planeringsstadiet, av en stad och dess utveckling, ha dessa faktorer i åtanke. Genom att placera staden i lä av en höjd eller spara befintlig vegetation i och runt staden kan mycket av blåsten dämpas (Glaumann & Westerberg 1988). Men eftersom helt nya städer sällan planeras numera och de flesta

redan har ett hum om vad olika placeringar av en stad i topografin leder till kommer jag att fokusera mer på förbättringar som kan göras för redan existerande städer. Förbättringar av vindklimatet i en stad kan göras bland annat genom medveten placering av vegetationsbälten utanför staden och ett aktivt arbete med att skapa en grönstruktur som i staden kan fungera som luftcirkulationsleder och/eller vindskydd. Nedan kommer grunderna i vindhantering med hjälp av vindskydd att tas upp.

Grunden i vindmodifiering

Vindmodifiering har använts och utvecklats under en längre tid, speciellt inom jordbruket för att förbättra förhållandena för grödor, och kan idag ge goda riktlinjer för användare (Glaumann & Nord 1993). Staden själv kan planeras och byggas på sådant sätt att dess byggnader skapar skydd och lä genom dess placering i förhållande till varandra och vindriktning (Glaumann & Westerberg 1988; Glaumann & Nord 1993). Redan vid planeringsstadierna bör även olika vindskydd i form av plank, vallar eller vegetationsbälten diskuteras för respektive område eller exploatering. Vindskyddets effekt och verkan bestäms i huvudsak av dess geometri, porositet och placering (Glaumann & Nord 1993; Brown & Gillespie 1995).

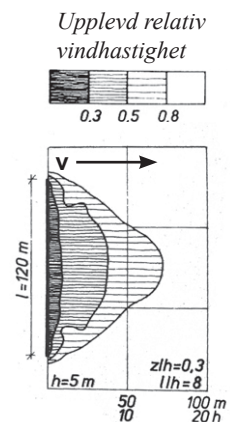


Bild ovan: läområde för ett vindskydd med längden 120m och höjden 5 m. Jfr med bild t. höger (Glaumann & Westerberg 1988, p. 129).

Längd

Djupet på läområdet är proportionellt med vindskyddets längd fram tills att skyddet uppnått en längd på cirka 10 hinderhöjder, vidare expanderar skyddet på längden har inte någon inverkan på läområdets djup (Glaumann & Nord 1993). En viss åsiktsskillnad finns här

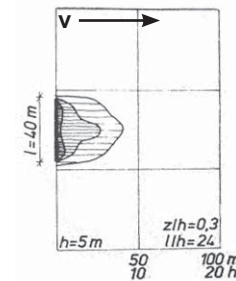


Bild ovan; läområdet för ett vindskydd med längden 40m och höjden 5m (Glaumann & Westerberg 1988, p. 129).

då Oke (1987) anser att längden bör vara minst 12 hinderhöjder eftersom kantvirvlarna "äter" sig in i skyddsområdet på sidorna. Den maximala läeffekten av ett vindskydd får man alltså ut först när vindskyddet innehar en längd runt 10-12 x skyddets höjd, dess verkliga längd kommer därmed att variera beroende på vilken höjd skyddet anses behöva ha. Alla författarna påpekar att vindskyddet inte bör ha någon öppning eller avbrott i sig, då detta kan skapa jetströmmar. Om man vinklar ändarna av vindskyddet och skapar ett mindre abrupt slut leds vinden smidigare runt hörnet och kantvirvlarnas effekt kan därmed reduceras. Detta anser Glaumann och Nord (1993) är en bra metod speciellt vid täta vindskydd.

Höjden

Höjden har som sagt en viktig inverkan på hur djupt läområdet blir. Bakom, men även framför, skyddet bildas ett område med lugnare vindförhållanden. Geiger (1980) hävdar att en generell riktlinje är att en tioprocentig reduktion av vindhastigheten råder 3 x hinderhöjden framför skyddet och 20 x hinderhöjden på läsidan av, bakom, skyddet. Inom jordbruket finns rekommendationer om upprepade läplanteringar på avstånd av 25-30 x hinderhöjden menar Glaumann och Nord (1993). Men författarna anser att man bör minska detta avstånd vid bebyggelse då man vill uppnå lä på högre höjder. De ser exempelvis att en läplantering med en höjd på 5-10 meter bör placeras 100-150 meter från bebyggelsen för att uppnå en önskad effekt. Om bebyggelsen i fråga är högre än vindskyddet, menar Glaumann och Nord (1993), kan skyddet endast kan ge en viss förbättring.

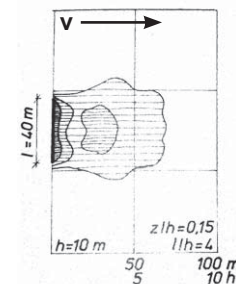
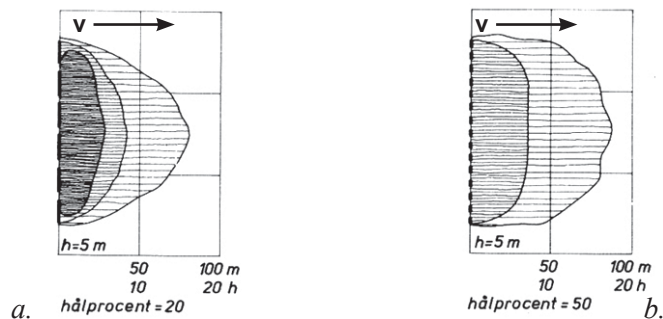


Bild ovan; vindskydd med längden 40 m och höjden 10m. Jfr med bild ovan (Glaumann & Westerberg 1988, p. 129).

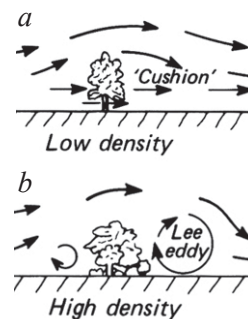
Porositet

Med ett vindskydd som släpper igenom en viss mängd vind minskar den reducerande effekt som skyddet har på vindhastigheten, däremot sträcker sig vindskyddets förmåga att påverka vindhastigheten djupare bakom skyddet (Brown & Gillespie 1995; Glaumann & Nord 1993; Geiger 1980). Detta beroende på den "cushion" effekt vindströmningen genom skyddet ger då den bildar ett motstånd vilket resulterar i att vinden som kommer över skyddet inte "sugs" ned mot marken lika fort, enligt Oke (1987).

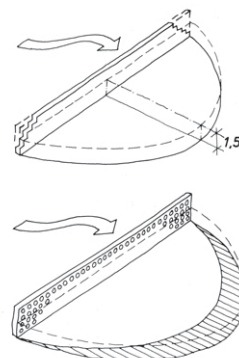


Bilder t. högre; läområde för vindskydd (längd 120m och höjd 5m) med porositeten 20 % (a) resp. 50 % (b) (Glaumann & Westerberg 1988, p. 127).

Vindtunnelförsök har visat på att en porositet på 30-40 % ger den effektivaste vindreduktionen (Glaumann & Nord 1993; Geiger 1980). Men Geiger (1980) menar att finns andra försök som har visat att en porositet på 40-50 % är den optimala. Oke (1987) anser att det bästa helhets-skyddet fås vid en medelporositet, vilken ger en vindreduceringen samtidigt som "cushion" effekten leder till att ett större område berörs av skyddet. Det råder visserligen en viss variation i vad som anses vara den optimala porositeten, men författarna är överens om att det till stor del beroende av vad man vill uppnå med vindskyddet. I och med det kan den optimala porositeten variera för olika situationer.



Bilder ovan:
a. illustration av den "cushion" effekten som ett vindskydd med lägre porositet ger.
b. Tätare vindskydd med de virvlar som då bildas (Oke 1987, p 244).



Bilder ovan: exempel på ökad porositet i överkant och hörn, här leder det tom till ett ökat läområde (Glaumann & Westerberg 1988, p. 131).

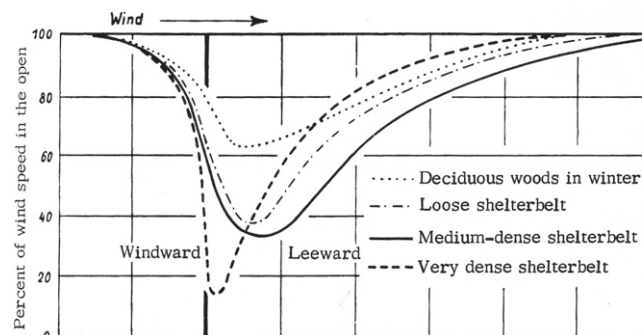
Ett absolut tätt läskydd leder till en strömning där det bildas starka kantvirvlar som kan vara flera gånger starkare än den ursprungliga vinden, även ovan vindskyddet skapas turbulenta förhållanden (Glaumann & Nord 1993). Då tryckskillnaderna mellan skyddets fram- och baksida för ett genomsläppligt skydd är mindre, än vid ett tätare vindskydd, blir även turbulensen runt kanterna och toppen av skyddet reducerat (Glaumann & Nord 1993). Vidare kan kantvirvlarna vid täta vindskydd till stor del avhjälpas om man låter sidorna på skyddet ha en högre porositet (Glaumann & Westerberg 1988). Likaså turbulensen ovan skyddet kan till viss mån minskas om den övre delen av vindskyddet har en högre genomsläpplighet. Även Geiger (1980) anser att om porositeten varierar över ytan är en ökning från marken och uppåt att föredra, och inte det motsatta.

Storleken på hålen i vindskyddet är beroende på skyddets tjocklek, ett tjockare vindskydd kräver större hål för att uppnå samma porositet som ett tunnare vindskydd (Glaumann & Nord 1999). Även när man använder sig av vegetation talat man om dess porositet och jämför då deras läeffekt med vilken hållighet ett fast skydd skulle behöva för att uppnå samma vindreduktion. På detta sätt kan man skatta olika tätheter i lävegetationsplanteringar och dess effekter på läområdets utbredning. Några tumregler som kan iakttas vid bestämning av vegetationens porositet är; en helt tät vegetationsyta som man ej kan se igenom har en genomsläpplighet som kan jämföras med ett skydd med en porositet på 20 %. Vidare kan en rad av lövträd vintertid och samma rad sommertid (1/3 fri sikt igenom) ha en likartad porositet som ett vindskydd med 70 % respektive 50 % porositet (Glaumann & Westerberg 1988).

Bredden och sammansättning

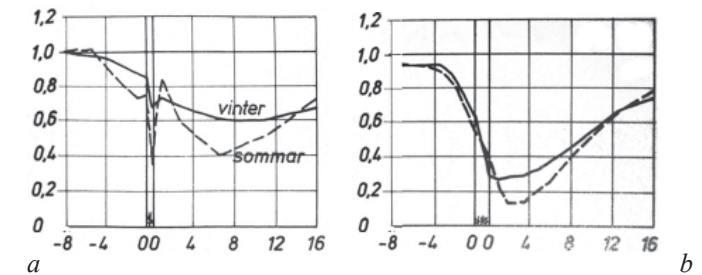
Vid vegetationsplanteringar som vindskydd har bredden, planteringstätheten, vegetationstyp och sortval en viktig inverkan på hur skyddets genomsläpplighet kommer att bli. Vid tunna vegetationsvindskydd, runt 10 meter breda, är det extra viktigt, enligt Glaumann och Westerberg (1988) och Glaumann och Nord (1993) att skapa ett vegetationsbälte som håller en jämn täthet från kronan och ned till marken. Vid bredare vegetationsbälten kan tätheten vara varierande inom bältet, men författarna poängterar ändå behovet av ett bryn som är relativt tätt, speciellt mot öppna ytor där man kan förvänta sig en högre vindhastighet.

Bild t. höger;
diagram över vegetationsbälten med olika densitet/porositet och den läeffekt och lädjup (mätt i hinderhöjder) de har (Geiger 1980, p. 499).



Beroende på hur man väljer att sätta samman ett vindskydd kan man till viss del bestämma vilken effekt man vill uppnå och när man vill uppnå den. Man bör vara medveten om de effekter sortvalen har på vindskyddet, det vill säga artens grenstruktur, lövtyp, vindtålighet och när eventuella blad slår ut respektive fälls (Glaumann & Westerberg 1988). Ett vegetationsbälte bestående av bara lövvegetation leder till ett mycket glest vindskydd vintertid (Glaumann & Nord 1993; Brown & Gillespie 1995). Om man endast eftersträvar vindskydd sommartid kan löv vara ett optimalt val, om motsatta förhållandet råder bör en kombination med barrvegetation betänkas.

Bilder t. höger;
diagram (a) över läområdet vid smalt vegetationsstråk (10m).
diagram (b) över läområdet vid brett vegetationsbälte (ca 20m) (Glaumann & Nord 1993, pp.50-51).



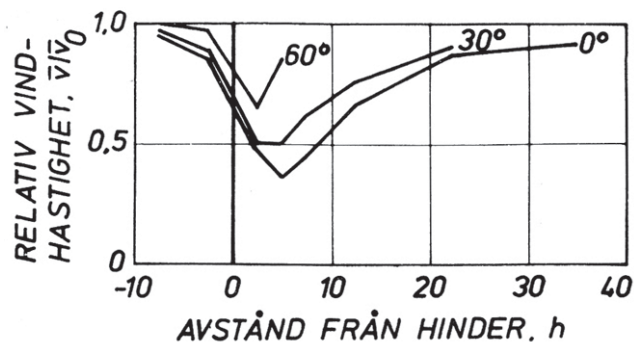
Detta är inte att säga att lövvegetation vintertid inte ger något vindskydd alls, Geiger (1980) menar att ett bälte av lövvegetation ändå ger 60 % av den vindskyddskapacitet som erhålls sommartid. Glaumann och Nord (1993) påpekar att vindhastigheten kan öka med upp till det dubbla i en lövskog vintertid, beroende på täthet och artval. Om Glaumann och Nord (1993) räknar med en femtio-procentig minskning av vindskyddskapaciteten i en lövskog vintertid borde en betydligt högre reduktion råda i ett vegetationsband, då dessa vanligtvis inte ens har en bredd på några hundra meter. Detta då vinden först efter att ha trängt in några hundratals meter in i skogen håller en konstant hastighet (Glaumann & Nord 1993).

Placering

Vindarna kommer sällan endast från ett håll vilket gör att man bör betänka vad man vill uppnå med ett vindskydd och om det finns en speciell tid vid året när en vindreduktion är speciellt behövd. Kanske anpassar man vindskyddet efter de vindriktningar som är vanligast förekommande eller efter vindriktningen vid en viss tidpunkt, som kanske annars över året är sällsynt, då platsen används som mest. Ett vindskydd uppfyller sin funktion bäst när vinden kommer vinkelrätt mot den, men även vid sidovindar har den en inverkan. Vid vindar som kommer 20-30° snett mot får vindskyddet bara en marginell

minskning i läområdets djup, medan vid 60° sned anblåsning är dess effekt starkt reducerad (Glaumann & Nord 1993). Även vid parallell vind har vindskyddet ett läområde som reducerar vindhastigheten runt 30 % på båda sidorna av vindskyddet och inom fem hinderhöjder från skyddet, enligt Glaumann och Nord (1993). Det bör dock nämnas att ovanstående värden är baserade utifrån ett vindskydd som har den optimala längden, enligt Glaumann och Nord (1993) av cirka tio hinderhöjder.

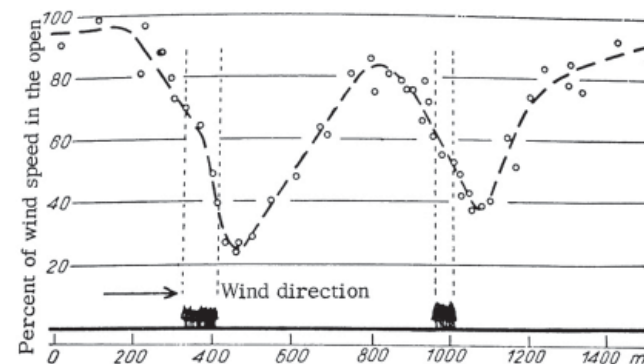
Bilden t. höger: diagram som visar på hur snedvindriktning påverkar läområdet. Vindskyddet utgörs av en skärm med porositet 50 % (Glaumann & Nord 1993, p. 49).



När man placerar flera vindskydd efter varandra, men inom varandras verkningsområde, blir deras sammanlagda påverkan på vinden större än effekten av vart och ett av dem (Glaumann & Westerberg 1988; Geiger 1980). Den effektivaste placeringen för att uppnå en vindreduktion över ett större område anser Glaumann och Westerberg (1988) att man uppnår om man lokaliserar relativt täta vindskydd med en porositet runt 20 % 10-15 hinderhöjder från varandra. Vidare kan dessa typer av fjärrskydd reducera vindhastigheten med $\frac{1}{3}$. Även glesare placering på 40 hinderhöjder leder till en reducering av vindhastigheten över ett större område, men då måste porositeten hos vindskyddet vara större, runt 35-50 %, enligt författarna. Som redan innan nämnt bör avståndet mellan vindskydden vara kortare om de syftar till att

effektivt reducera vinden vid bebyggelse. Författarna är överlag överens om att en uppföljning av vegetation inne i bebyggelsen kan hjälpa till att hålla vindhastigheterna nere, detta dock till stor del beroende på hur vegetationen är placerad.

Bild t. höger; diagrammet visar på den effekt en upprepning av vindskydd ger. X-axeln visar avståndet i meter och y-axeln % av vindhastigheten i öppet landskap (Geiger 1980, p.503).



Tidsfaktorer

När väl ett beslut om en vindmodifikation med hjälp av vegetationsbälten är fattat och man enats om dess placering, innehåll och geometri handlar det bara om att vänta. Ja, om man inte redan i ett tidigt stadium planerat för ett vindskydd så att det hunnit växa upp till den aktuella tiden då man vill ha det, eller sparat befintlig vegetation som kan fylla syftet. Glaumann och Westerberg (1988) belyser det här problemet och pekar mot lösningen där ett vegetationsskydd kan uppnås snabbare genom att man använder både snabbväxande vegetation, amträäd, och sedan låter man den slutliga vegetationen växa upp i skydd av denna. På så sätt kan popplar, salixar och andra sorter som har en snabb utveckling skapa det skydd man vill åt samtidigt som de mer långsamtväxande träden få ta sin tid och allt eftersom ersätta amträden.

Påverkan på andra faktorer

Då man modifierar vinden påverkas även andra faktorer som vatten- och värmebalansen. Detta eftersom vinden transporterar både värme och fukt samtidigt som den strävar efter att utjämna de variationer som kan finnas mellan områden. Förutom vindskyddets påverkan på värme- och fuktutjämningen påverkas även in- och utstrålningen genom den minskar himmelsexponeringen (Glaumann & Nord 1993; Oke 1987). Oke (1987) menar att vattenbalansen går mot ett positivt värde vid vindskydd då evaporationen minskar dagtid, medan daggmängden nattetid ökar. Detta leder till att andra fuktighets- och värmeförhållanden i regel råder vid ett vindskydd vilket leder till att det kan upplevas kallare och fuktigare eller varmare (Glaumann & Nord 1993).

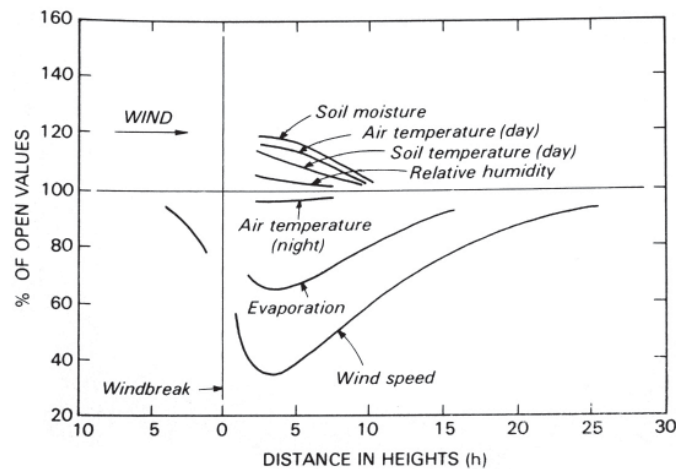
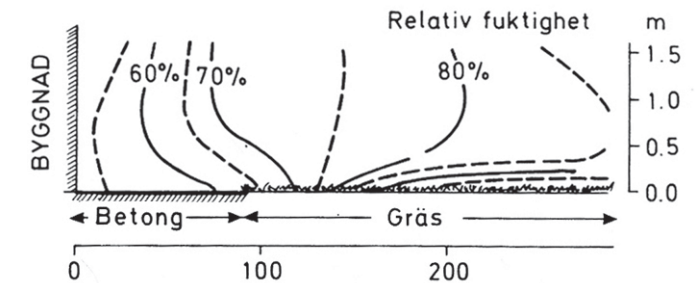


Bild t. höger; diagrammet visar på de förändringar i bl.a lufttemp., jordtemp., och relativluftfuktighet som ett vindskydd ger (Oke 1987, p. 248).

Vattenbalansen

Fuktigheten är i regel lägre i staden än på landsbygden, detta till stor del beroende på den minskade andel vegetation och den ökade andelen hårdgjorda ytor varifrån vattnet leds bort. Den relativt högre temperaturen i staden leder även till att den relativa luftfuktigheten är lägre i staden än på landsbygden (Bogren et al. 1999). Dock inte under vintern då staden kan ha en högre luftfuktighet än omkringliggande landsbygd eftersom landsbygdens fuktproducenter, vegetationen, då ligger i vila.

Bild t. höger; förändringar i luftfuktighet beroende på underlag och närhet till byggnaden (Glaumann & Nord 1993, p.52).



Vattnet har även en viktig roll i värmebalansen vilket Johansson (2004) påvisar i sina studier i Garbone, Botswana. Värmeö är mer utbredd under vinterhalvåret då vattentillgängligheten i markerna är nedsatt vilket medför en reducerad värmekapacitet och ett ökat albedo för marken. Utöver detta är vegetationen avlövd vilket leder till en förhöjd himmelsexponering. De rurala områdena får därmed en större fluktuering i dygns-temperaturen med mycket varma dagar och kalla nätter. Den snabbare nedkylningen av de rurala områdena på natten leder till att en större värmeö kan uppmätas. Liknande resultat kunde författaren konstatera inom staden mellan de fattigare områdena, som inte har råd med bevattning, och de rikare områdena med frodiga trädgårdar. Johansson (2004) uppmätte även en kylande

effekt vintertid på 2°C från de bevattnade trädgårdarna, jämfört med landsbygden. Även Chow och Roth (2006) har gjort liknande observationer av vattentillgångens effekt på värmeö.

Vattenytor i staden

En allmän inställning är att vattensamlingar i staden ökar luftfuktigheten märkbart. Vanligtvis kan man förvänta sig en lägre luftfuktighet över vattenytan över dagen eftersom vattnet i regel har en lägre temperatur än omkringliggande ytor och därmed avger mindre vattenånga (Geiger 1980). Dock är det i allmänhet så att luftfuktigheten vid en damm eller mindre vattenyta är större, men på grund av transpirationen från den vegetation som omger denna, enligt Geiger (1980). Denna vegetation som har god tillgång till vatten transpirerar mer än vattenytan själv, eller vegetation som inte samma vattentillgång. Det är endast när vattnet är mycket varmare än omgivningen eller där vattnet sprids eller sprejas ut som luften rikligt förses med vattenånga, menar författaren.

Nederbörd

Nederbörden över staden kan vara högre än på landsbygden eftersom varm luft hävs över staden samtidigt som det normalt råder en förhöjd halt av kondensationskärnor i luften ovan staden (Bogren et al. 1999; Marsh 1998). Även stadens relativt högre temperatur leder till en ökad vertikal rörelse i luften vilket gynnar molnbildning, enligt Glaumann och Nord (1999). Författarna nämner även att nederbörden kan vara upp till 5-10 % högre i staden, förhållandevis till omkringliggande landsbygd. Studier som Ezber et al. (2007) gjorde i Istanbul visar på att

fenomenet, med ökad konvektion och instabila gränsskikt, verkar råda över staden. Detta spelar dock en ringa roll för vattenbalansen i staden om trenden att leda bort och dränera alla ytor i staden håller i sig.

Snö

Ett snötäcke leder till att marken får ett extremt förhöjt albedo, nysnö reflekterar runt 90 % av all strålning, detta albedo sjunker dock allt eftersom snön förorenas och blir gammal (Glaumann & Nord 1993; Geiger 1980). På de högre breddgraderna kan snö och hanteringen av denna vara en viktig aspekt att försöka styra redan i planeringsstadiet. Snötäcket kan fungera som ett skyddande lager för vegetation och hindra värmeförluster från marken, liknande isoleringseffekt kan gynna byggnader, men även behovet och kostnaden av snöröjning bör tas med vid planering (Glaumann & Nord 1993).

Viktigt att veta innan konstruktionen av snöskydd är vad för sorts snö som generellt kommer och de vindriktningar som då vanligtvis råder. Dessa faktorer varierar beroende på var en stad är placerad regionalt och lokalt, men tekniken för snöhantering kan i stort sätt appliceras överallt. Mycket är vunnet redan genom att förstå hur vinden agerar och dess förmåga att bära snö. Vindens beteende och hur denna kan modifieras har precis avklarats i ovanstående text, men nu måste även snön tas med i beräkningarna.

Vindens bärande förmåga

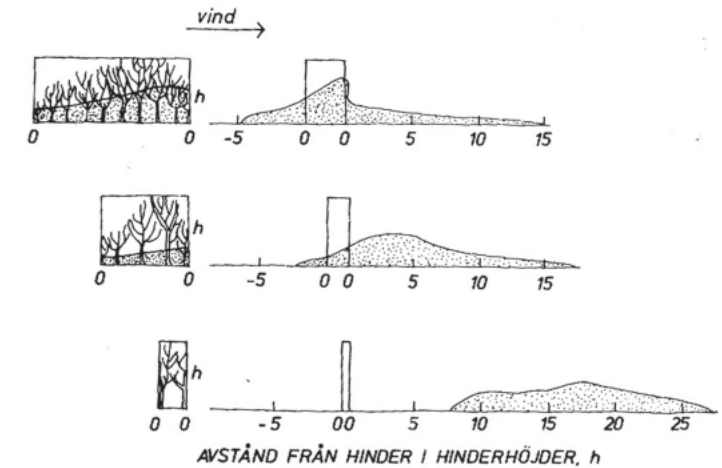
En vind med hög hastighet kan transportera mer snö än en svagare vind, samtidigt som den släpper snö när den tvingas att sakta ned och tar upp snö när den accelererar (Brown & Gillespie 1995; Oke 1987). Tack vare en

förståelse av faktorerna som styr kan man avlasta staden genom att placera vindskydd på rätt plats som fångar upp vinden och dämpar dess fart innan den når staden. Om snön är tung, blöt, är det främst de vindarna som bär den som man bör rikta in sig på att försöka modifiera, menar Brown och Gillespie (1995). Men om den är torr och lätt kan det mycket väl vara de vindar som förflyttar den efter den har släpps som bör försöka kontrolleras (Brown & Gillespie 1995; Glaumann & Nord 1993). Snödrift börjar redan vid relativt låga vindhastigheter, 3-5 m/s, och vindens förmåga att svepa med snön ökar mycket snabbt med dess hastighet eftersom rörelseenergin i vinden är proportionell mot vindhastigheten² (Glaumann & Nord 1993). Vid snödrift kan förhållandevis små hinder hjälpa, exempelvis låga vegetations eller buskplanteringar och grunda diken (Glaumann & Nord; Oke 1987).

Lä genom byggnads- och vegetationsplacering

Man kan även i viss mån bestämma var snöansamlingen sker genom placeringen av byggnaderna (Glaumann & Westerberg 1988; Glaumann & Nord 1993), detta är dock som synes något som måste tas med redan i planerings-skedet. När man förstår hur lufrörelsen runt byggnader ser ut kan man peka ut de områden där snöansamlingar kan förväntas, nämligen där vindhastigheten är som lägst eller har reducerats. Samtidigt kan man vänta sig mer eller mindre snöfria ytor där vinden är hög eller accelererar. Tankesättet kan appliceras på beräkningar av var ansamlingarna kommer att ske vid ett vindskydd. Om man önskar att en speciell yta skall vara snöfri bör man ta reda på den vindriktning som vanligtvis råder då snö kan förväntas, sedan placera ett vindskydd uppvind.

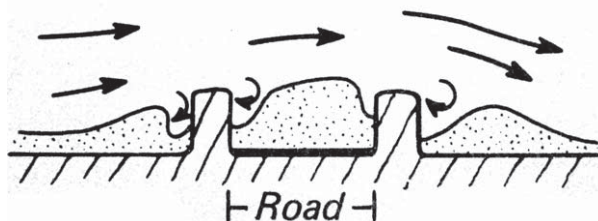
Bild t. höger; olika slutresultat av ansamlingen av snön beroende på vindskyddets bredd (Glaumann & Nord 1993, p. 56).



Ett tätt vindskydd bör placeras 10-15 hinderhöjder upp-vinds medan ett glesare skydd kan placeras 15-20 hinderhöjder upp (Glaumann & Nord 1993). Vid tämligen täta skydd blir snödrivan relativt kompakt och placerad nästan alldeles bakom skyddet medan vid ett glesare skydd sker ansamlingen av snö över ett större sträcka nedströms skyddet och mer utspritt (Glaumann & Westerberg 1988; Glaumann & Nord 1993; Oke 1987). Ett glest men mycket brett vegetationsbälte har en ringa förmåga att ansamla snö på läsidan, dess främsta syfte enligt Oke (1987) är att fånga in och stoppa snödriften.

Författaren varnar även för att två täta vindskydd placerade för nära varandra på var sida om exempelvis en väg kan leda till en överlappande snöackumulering precis där vägen går. Inom bebyggelse, där både en minskad snöansamling och en vindreduktion är önskad, vid exempelvis entréer, menar Glaumann och Nord (1993) att ett skydd kan placeras runt 10 hinderhöjder bort för att tillfredställa båda behoven. Vidare bör man

Bild t. höger; accumulationen av snö som kan ske på körbanan om denna omges av två täta skydd (Oke 1987, p. 249).



vid vistelsemiljöer försöka undvika att få snöansamlingen i skuggiga lägen då detta leder till ett kallt och fuktigt klimat vid våren (Glaumann & Westerberg 1988).

Grönstruktur och tidsfaktorer

I en stad kan det vara svårt att bygga in dessa vindskydd, en rätt planerad grönstruktur kan dock hjälpa till i snöhanteringen eftersom gröna korridorer och grönområden kan bromsa och fånga upp snön. Detta kan vara något att sträva efter då en ansamling av snö i parker och grönområden skulle kunna bli en perfekt miljö för barn att leka i. I en befintlig stad bör man ha med dessa tankar vid planeringen av stadens utveckling för att sträva mot och skapa en mer komplett och funktionell grönstruktur.

Snabbare och kanske enklare metoder är att genom träd- och buskplanteringar utanför staden skapa vindskydd som delvis kan fungera som snöansamlare och därmed till viss del avlasta staden och komplettera den befintliga vegetationen i staden. Vid särskilt utsatta områden kan en upprepande kombination av plank, vegetation och vallar vara nödvändigt (Glaumann & Nord 1993). Om valet faller på ett snöskydd i form av vegetation bör man vara medveten om den tid det tar att etablera detta. Önskvärt, ur tidsaspekt, vore att kunna använda sig av redan befintlig vegetation och uppnå önskad effekt genom att möjligtvis komplettera denna.

Regn

Nederbörden kan komma i olika former och förgående avsnitt om snön visade på de möjligheter som finns att i viss utsträckning modifiera vinden och på detta sätt styra och rikta vart snön hamnar. Vid regn finns det dock inte samma möjligheter att styra vart nederbörden hamnar, som i fallet med snö.

Modifieringar och skydd

Även i detta sammanhang är vinden nyckeln till att förstå hur nederbörden kommer att riktas, men möjligheterna till modifieringar är mindre. Ett vegetationsbälte en bit utanför staden kommer visserligen mycket lokalt ansamla mer regn, men sett över ett större område kommer det inte att ha någon direkt inverkan. Om man önskar en minimal regnpåverkan gäller det att redan i planeringsstadiet av bebyggelsen lokalisera den på en plats där mindre nederbörd faller. Exempelvis, enligt Bogren et al. (1999), på läsidan av en topografisk höjddökning där luften tvingas stiga i höjd och därmed avge nederbörden då luften på högre höjd inte kan hålla samma mängd vattenånga. När luften väl passerat höjden och börjar sjunka igen kommer den att ha ett underskott på vattenånga och torra varma vindar kommer att stryka längsmed sluttningen där staden är placerad. Gränsen mellan Halland och det Småländska höglandet är ett exempel på var detta fenomen sker, även mindre topografiska hinder kan leda till att läsidan får en reducering av nederbörd i förhållande till vad som annars kunde ha förväntats enligt författarna.

Man kan i viss mån genom att styra vinden modifiera hur regnet fördelas, exempelvis kan man lindra problemet med slagregn (Glaumann & Nord 1993). Men enligt Brown och Gillespie (1995) är de förbättringar man kan göra relativt rakt på sak, regnskydd över en specifik

plats. De flesta förbättringar handlar till större delen om att placera ut regnskydd där man vet att det behövs och i förhållande till den vindriktning som vanligtvis råder vid nederbörd i form av regn. Viktigt att tänka på är att regn kan komma flera olika håll och regnskydd bör därför ha minst tre skyddande väggar (Glaumann & Nord 1993). Man bör absolut inte glömma träds förmåga att ansamla vatten och fördröja regnet. Ett lövträd kan uppta de första 1-3 millimetrarna nederbörd innan droppar börjar falla och hindra upp till 50 % av regnet från att nå marken, enligt Glaumann och Nord (1993). Jämförelsevis, menar författarna, kan barrträden hindra mellan 10-40 % av vattendropparna. Stor variation finns mellan olika arter, både för löv och barrträd, dock är lövträdens förmåga även säsongsberoende och minskar markant när löven tappas.

Antropogena utsläpp

Staden har, som innan nämnts, en förhöjd halt av antropogen värme och föroreningar i form av partiklar och gaser. Utsläppen av antropogen värme kommer främst från trafiken, industrier och läckage från byggnader och medför en temperaturhöjning. Oftast är det stora variationer mellan platser inom staden då dessa utsläpp kan vara mycket lokala. Utsläppen som sker i staden leder i regel även till att luften har flera gånger högre halt av föroreningar än vad som kan hittas på landsbygden (Bernes 1993). Bogren et al. (1999) menar att det inte är ovanligt med en ordentligt förhöjd partikelhalt i en stadsluft i förhållande till en luft som betraktas som ren. Stadsluften kan innehålla upp till 100 000 partiklar/cm³, medan den rena luften endast en hundradel av detta. Då det är luftflödena som till stor del kontrollerar hur föroreningarna rör sig är temperaturstratifieringen viktig då denna bestämmer stabiliteten i

luftskiktet, enligt Oke (1987). Stabiliteten i sin tur styr turbulensen och UBL:s mäktighet. De två senare reglerar, enligt författaren, transporten uppåt av föroreningar och mängden ren luft som kan komma in från ovan. Den fria konvektionen för föroreningarna uppåt och skingrar dem i UBL, därför gynnas denna borttransportering av en instabil skiktning och ett djupt UBL lager, det senare då detta medför en större luftvolym att blanda ut föroreningen i (Oke 1987). Följaktligen är förutsättningarna för skingring av föroreningar som mest optimal vid varma sommardagar då skiktningen vanligtvis är som mest instabil och UBL:s mäktighet som störst.

Effekter av luftföroreningar

De ökade föroreningarna i luften bidrar inte bara till en förhöjd molnbildning utan leder även till att atmosfären blir mer benägen att absorbera och återstråla strålning, speciellt den långvågiga (Oke 1987). Flera författare visar även på att en förhöjd föroreningshalt i luften kan leda till minskad solinstrålning och utstrålning (Geiger 1980; Arnfield 2003). Vilket styrker Okes (1987) argument att föroreningar i luften har en förmåga att stänga de atmosfäriska fönstren. Beroende på om partiklarna har en övervägande tendens att absorbera eller splittra och reflektera strålning kan olika effekter skönjas (Bernes 2003) vilket redogörs mer ingående i bilagan som behandlar grundläggande klimat.

Den del av solstrålningen som tränger igenom påverkas även genom att en större del splittras och når marken som diffust ljus (Oke 1987). Enligt Oke (1987) leder detta till att ljusförhållandena i byggnader förbättras, då diffust ljus kommer ifrån alla riktningar, men man förlorar i synlighet och färgförmåga. Partiklarna som skapar



Bild ovan: skiss som illustrerar aerosolernas förmåga att splittra solstrålning och generera diffus strålning.

det diffusa ljuset i den ”rena” luften är ytterst små och splittrar därför endast det blå och violetta ljuset, vilket resulterar i att himlen upplevs som blå. Men i stadsmiljön är dels halten av partiklar förhöjd, dels är partikelstorleken större vilket leder till att hela det synliga spektrumet påverkas och därmed kan bland annat himlen uppfattas som mindre blå och mer vit i städer (Geiger 1980; Oke 1987).

Smog

Det finns två olika sorters smog, svavelsmogen, även kallad Londonsmog, och den fotosyntetiska smogen som även kallas L-A smog. Den mest kända genom tiden är svavelsmog som bildas vid en blandning av sot och SO₂ och förekommer i regel när en nedsatt spridning av föroreningarna sammanfaller med dimma, eller åtminstone hög fuktighet (Oke 1987). På senare tid har även en fotokemisk smog uppmärksammats, denna bildas när kolväten och kväveoxider i samband med starkt solljus bildar sekundära föroreningar så som oxidanter och partiklar (Oke 1987).

Risken för smog beror dels på utsläppens mängd och karaktär, dels på stadens placering men även temperaturen inverkar då en hög temperatur i de övre skikten leder till en minskad vertikal omblandning i luften (Oke 1987). Den stigande temperaturen i staden kan alltså leda till en ökande risk för smog. Enligt Rosenfeld et al. (1995) ökar chansen med 6 % för varje 1° C höjning av den maximala dagstemperaturen. Detta gäller dock först när dagstemperaturen har överstigit tröskeln 22° C. Men den högre temperaturen leder även till en intensivare värmeö vilket ökar konvektion och turbulens och därmed UBL som i sin tur resulterar i en reduktion av sannolikheten

för smog (Rosenfeld et al. 1995). Dock, om stabila förhållanden, högtrycksystem, ligger över området och stadens placering medför att endast slutna lokala luftsystem råder samtidigt som stora utsläpp av föroreningar förekommer är omständigheterna optimala för fotokemisk smogutveckling (Oke 1987).

Vegetation som luftrenare

Det är allmänt vedertaget att vegetation har en förmåga att rena luften både genom att ta upp olika ämnen och genom att ansamla och binda partiklar. Precis som Chandler (1976) och Lamanna (1970) var för över 30 år sedan, är författarna nu överens om att vegetationen fungerar som luftrenare och därmed är ett viktigt element i stadsmiljön. Även Lamanna (1970) fick rätt då han trodde att lövens skulle visa sig vara möjliga fallor för föroreningar. Men då vegetations förmåga att uppta, binda och på olika sätt fungera som luftrenare inte är ett område som skall studeras i detalj i detta examensarbete kommer endast en snabb inblick i ämnet att ske. En del intressanta forskningsrapporter har funnits under arbetet, dessa kommer i korthet att sammanfattas då det kan vara intressant för det fortsatta arbetet med stads- och gatuklimat.

Stoftansamling

Vegetation kan vara ett utmärkt element att använda som damm- och partikelfilter. Det har visat sig att vid optimala förhållanden kan 90 % av partiklarna ansamlas i ett vegetationsbälte (Bucht & Persson 1994). Vegetations förmåga att filtrera luft beror på hur stor lövmassans täckandeförmåga är i förhållande till markytan, detta leder till att träd är effektivare filterare än buskar och gräs



Bilder ovan; exempel på olika uppbyggnader av vegetation som i sin tur kommer att påverka dess förmåga att ansamla stoft.

(Givoni 1991). Eftersom barrträd har en större totalyta än exempelvis lövträd är även dess förmåga att filtrera större, denna förmåga består även under hela året i motsats till lövvegetationen där bladen faller (Svensson & Eliasson 1997).

Däremot anser Glaumann och Westerberg (1988) att lövträd är bättre på att ansamla stoft än barrträd, något skäl till detta ger de dock inte. Som luftrenare är barrträd inte alltid optimala då de i regel är mer känsliga för föroreningar (Glaumann & Westerberg 1988), i detta fall kan städsegröna arter vara ett alternativ då de dels behåller löven under hela året och samtidigt inte är lika känsliga för föroreningar (Svensson & Eliasson 1997). Vanligen har lövträd ett effektivare gasutbyte än barrträd (Svensson & Eliasson 1997). Den mer säsongberoende kapacitet, både i stoftfiltrering och i luftrening, medför att en plantering av lövvegetations sorter som till viss mån under vintern behåller de vissna bladen är att föredra (Glaumann & Westerberg 1988).

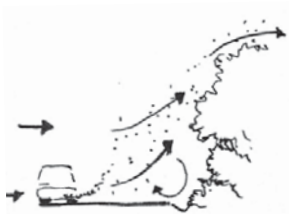


Bild ovan; en tät plantering som resulterar i att vinden med föroreningar och partiklar leds ovan vegetationen.

Vegetationens placering

Vid filtrering vill man att luften skall silas genom vegetationen och på detta sätt fångas partiklar och föroreningar upp i vegetationen. Detta leder till att den alltför tät plantering inte fyller sitt syfte då den leder luften ovan, istället för genom, planteringen (Givoni 1991). Eftersom den största delen av filtreringen sker i vegetationen som direkt möter vinden är en längre och glesare utplacering att föredra framför en vegetation som är kompakt och inte täcker hela distansen, enligt Givoni (1991).

En avvägning mellan gles och kompaktare måste göras, påpekar Svensson och Eliasson (1997), då en gles

placering gynnar filtreringen av partiklar medan en tätare placering är att föredra vid adsorption av partiklar och gaser. Enligt Givoni (1991) är partikel- och föroreningshalten i luften endast väsentligt minskad i, eller direkt bakom, vegetationen. Då reduceringen av föroreningar och partiklar endast sker i direkt anslutning till vegetation, menar författaren att en utlokalisering av mindre grönområden spritt över hela den urbana miljön skulle leda till en effektivare luftrening än om all vegetation är koncentrerad till några få platser.

Beroende på typ av föroreningskälla bör vegetationen placeras på olika avstånd. Vid vägar och andra källor där utsläppen sker nära mark är det lämpligt att vegetationen placeras relativt nära angränsande och helst i vinkel mot rådande vindriktning (Svensson & Eliasson 1997). Men vid fabriker och industriområden ifrågasätter Givoni (1991) den närliggande vegetation luftreningseffekt då kombinationen av utsläpp av mycket små partiklar via höga skorstenar leder till att föroreningarna hamnar i luftskikt ovan grönbältet. Vid lokalisering av eventuell vegetation är det även viktigt att vara medveten om den vindpåverkan som detta leder till då vinden är ett ytterst viktigt element för borttransporterandet och skingrandet av föroreningar (Givoni 1991; Svensson & Eliasson 1997).

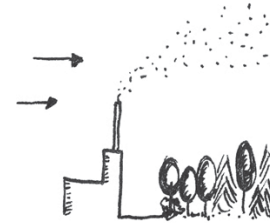


Bild ovan: industri där föroreningskällan ligger ovan omgivande vegetation och bärs bort av högre vindar.

Artens specifika egenskaper

Vegetationens uppbyggnad är även en viktig faktor som reglerar dess förmåga att rena luften från föroreningar och partiklar bestäms. Arter med håriga eller klubbiga blad och grenar ansamlar och behåller stoft bättre än träd med blanka och mjuka blad (Svensson & Eliasson 1997). Vid stoftansamlingstest har det visat sig att ekar fångar

upp runt 35 % av partiklarna men förlorar 91 % av dessa redan inom en timma. Detta kan jämföras med tallar som fångade upp 24 % varav endast 10 % av detta förlorades inom en timma (Svensson & Eliasson 1997). Skälet till detta ansågs vara att tallarnas kåda höll kvar partiklarna medan ekarna endast utmed de ludna bladnerverna lyckades behålla stoftet (Svensson & Eliasson 1997).

Vidare beror växtens förmåga att uppta gaser på antalet klyvöppningar, dess storlek och tidslängden då de är öppna. Upptaget sker effektivare om växtens yta är fuktig och föroreningen är vattenlöslig eftersom hela växtens yta då kan vara aktiv och inte endast klyvöppningarna (Svensson & Eliasson 1997). Upptag av gaser är i stort beroende av fotosyntesen, vilken i sin tur är reglerad av både temperatur och solstrålning. Gasutbytet sker dock både ovan och under jord (Svensson och Eliasson 1997). Fujii et al. (2005) har utfört experiment som visar på växters reaktioner på och upptag av NO_x , CO_2 och SO_x . Även Murikawa et al. (2003) har gjort studier där 217 olika arters förmåga att uppta NO_2 undersöktes. Dessa kan visa sig ha stor betydelse i framtiden då val av växter i större utsträckning kan komma att ske beroende på dess förmåga att uppta och binda dessa föreningar.

Stadens strålningsbalans

Densitet

Erell och Williamson (2006) menar att USA och Australien är exempel där det inte är helt ovanligt att höga och tätt placerade kontorsbyggnader dominerar stadskärnan, medan europeiska städer i regel har förhållandevis bredare gator och lägre byggnader. De djupa och trånga gatukanjonerna fångar in mer solstrålning eftersom

multipla reflektioner av strålningen resulterar i att en mindre del av denna lyckas reflekteras ut ur gaturummet, enligt författarna.

Detta kan medföra ett kallare klimat nere på gatuplan eftersom en mindre del av solstrålningen når ned. Solstrålningen ackumuleras istället i de övre delarna av gatukanjonen där den multipla reflektionen och absorptionen från byggnaderna leder till en ökad temperatur (Erell & Williamson 2006; Ca et al. 1998). Både Johansson (2004) i sina studier av Gaborone, Botswana, och Chow och Roth (2006) i deras rapporter från Singapore hade värden som visade på en lägre medeltemperatur vid gatuplan i djupa och trånga gatukanjoner. Detta fenomen, när den lägre delen av gatorna är svalare än medeltemperaturen, benämns urban cool island. Även i gaturum som är bredare och kantade av lägre byggnader kan fenomenet inträffa om solen står så lågt att gaturummet trots att det inte är alltför smalt ligger i skugga, detta är dock mer troligt att inträffa på högre breddgrader än vid ekvatorn.

Erell och Williams (2006) ser en tät kärna med höga byggnader som en utväg för de städer som lider av varmt klimat. Men Ca et al. (1998) menar att detta oftast inte leder till en svalare gatumiljö då materialens emittering av långvågig strålning och de antropogena utsläpp vid marknivå oftast överstiger den kylande effekten. Även Erell och Williams (2006) betonar att utsläppen av antropogen energi måste vara små i förhållande till nettostrålningen för att den kylande ön skall uppstå. Då de antropogena utsläppen är små i många av USA:s städer, enligt författarna, skulle denna strategi kunna vara en utväg för att minska medeltemperaturen under dagen. Strategin passar dock inte städer som har kalla vintrar

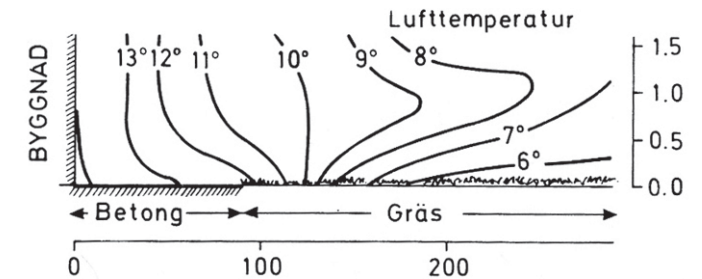
och byggnader med sviktande isolering eftersom denna kombination resulterar i stora läckage av antropogen värme (Erell & Williams 2006).

En variant av denna strategi kom Giridharan et al. (2007) fram till i deras studier i Hong Kong. Deras slutsats var att man genom skapa områden med extrema förhållanden, det vill säga täta respektive öppna gaturum med låg respektive hög albedo, skulle kunna åstadkomma en luftcirkulation. Författarna menar dock att utformningen av dessa områden, som bör ligga relativt nära varandra, är av största vikt så att barriärer inte skapas mellan dem och hindrar den åtråvärda ventilationen som områdena skulle komma att generera dygnet runt.

Hårdgjorda ytor

Stadens stora andel hårdgjorda ytor har en avsevärd inverkan på stadsklimatet och värmebalansen. Under dagen har staden, i jämförelse med landsbygden, en betydligt högre lagring av energi på grund av dess förhållandevis låga albedo och markant reducerade evapotranspiration (Christen & Vogt 2004). Den drastiska minskningen av latent energi i staden den mest allvarliga modifikationen enligt Christen och Vogt (2004), skälet till detta anses vara den minskade andelen vegetation och bortledningen av vatten från markytor. Andelen hårdgjorda ytor i en stad kan vara ett sätt att mäta hur stor påverkan staden har på värmebalansen. Hårdgjorda ytor antingen reflekterar eller absorberar den inkommande strålningen och vid absorption endera lagras värmen i marken eller emitteras den som långvågig strålning (Brown & Gillespie 1995). Detta resulterar i varma ytor som vanligtvis emitterar energi långt efter solen har gått ned.

Bild t. höger; variation i lufttemperaturen beroende på underlag och närhet till byggnaden (Glauermann & Nord 1993, p. 52).



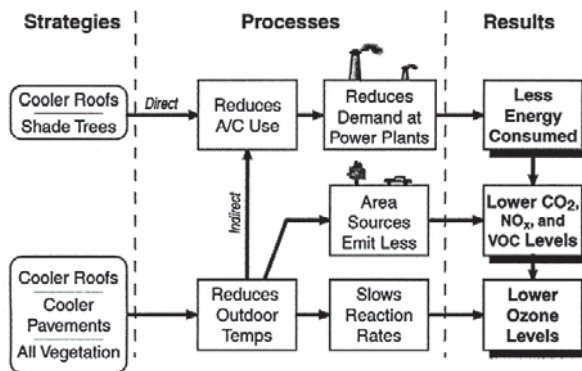
Exempelvis är asfalt ett material som lagrar stor del av värmen då den inte kan emittera lika effektivt som till exempel betong, som i stort sett inte lagrar någon värme utan emitterar allt med en gång (Brown & Gillespie 1995). Studier inom området av Huang et al. (2008) har visat att betong har högre temperatur och emittering dagtid än vatten, gräs och trädvegetation. Men cementytan kyls däremot snabbt ned efter solnedgången och verkade nattetid i stort sett som en kylande faktor i jämförelse med omkringliggande miljö, enligt författarna. Asfalt däremot, med sin höga värmekapacitet och lägre emissionsförmåga, utstrålar värme långt efter solen gått ned över staden (Brown & Gillespie 1995). Detta leder till att man till viss mån kan kontrollera energiflödet från hårdgjorda ytor genom att bestämma hur snabbt de emitterar energin. Dock har de inte vegetationens förmåga att avge delar av energin i form av latent värme, om man inte kontinuerligt fuktar deras yta och därmed tvingar fram en kondensation som då leder till att delar av energin förs vidare i latent form.

”Cool surfaces och cool roofs”

Det finns stora möjligheter att reglera ytors absorption av värme genom att modifiera dess albedo. Till följd av en övergång till material med högre albedo kan man sänka mängden energi som lagras i staden eftersom en

större del av strålningen reflekteras av ytorna. Detta förespråkas i dagsläget för både markbeläggningar och takbeläggningar, termerna som används är "cool pavement" respektive "cool roof" och är speciellt på fram-marsch i USA. Ur energisynpunkt kan man enligt Akbari och Konopacki (2004) spara mellan 30-40 % genom att sänka takets albedo med 0.2 % vilket skulle motsvara att byta från en mellanmörk till en medelljus takfärg. Dessa beräkningar gäller dock väderförhållandena som råder i Toronto, Canada, som ligger cirka 43° nordlig. Även en mörkare yta kan dock ha ett högt albedo, påpekar Akbari et al. (2001), eftersom reflektionen av den infraröda strålningen kan vara hög trots att reflektionen av den synliga strålningen inte är lika hög.

Bild t. höger: En skiss över hur "cool roofs", "cool pavement" och skuggning från vegetation kan påverka lufttemperaturen och luftkvaliteten (Akbari et al. 2001, p. 297).



Fördelarna med exempelvis "cool roof" är att temperatur-skillnaderna över dygnet minskar vid ett ökat albedo vilket resulterar i mindre termisk ansträngning på tak-materialet, samtidigt som byggnaderna hålls svalare och därmed emitterar mindre långvågig strålning (Akbari et al. 2001). Nackdelen anses vara att beläggningen idag är en aning dyrare och att taket kan behöva tvättas i emellanåt för att behålla sitt höga albedo, enligt Akbari et al. (2001). Vidare, beroende på taklutning, har

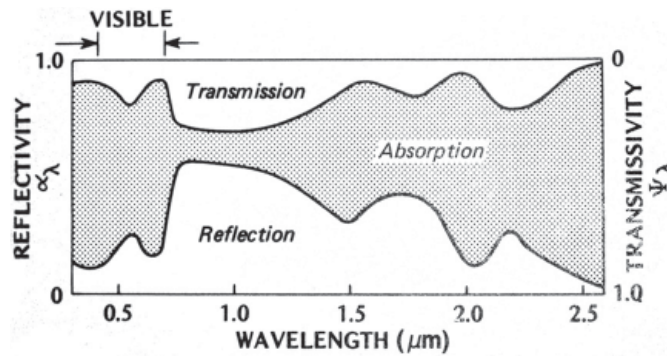
vissa problem med takens höga reflektionsförmåga konstaterats då detta kan förorsaka irritation eller rent av blända fotgängare och trafikanter, enligt författarna. "Cool pavement" bygger på samma princip eftersom man även här väljer att ge det översta lagret en högre albedo (Akbari & Konopacki 2004).

Vegetation och värmebalans

Många är överens om att vegetation är en viktig faktor som kan reglera klimatet i en stad (Ca et al. 1998; Robitu et al. 2006; Chow & Roth 2006). Den har en temperaturutjämnande effekt som minskar temperatur-fluktueringen under dygnet (Huang et al. 2008; Geiger 1980). Vegetation kan omvandla en stor del av den inkommande strålningen, främst det synliga ljuset och den långvågiga strålning, till latent energi vilket minskar andelen strålning som bidrar till värmelagringen i och emitteringen från hårdgjorda ytor (Ca et al. 1998; Givoni 1991; Chow & Roth 2006). Den fungerar nästan som en svart kropp gällande långvågig strålning, det vill säga, nästan allt ytor emitterar och himlen återstrålar absorberas om den når vegetationen (Geiger 1980).

I Shashua-Bar och Hoffmans (2000) studier i Tel Aviv visade det sig att runt 80 % av trädets kylande effekt kommer ifrån deras skuggning, det vill säga trädets förmåga att absorbera och reflektera strålning. Trädets kapacitet att göra detta beror på dess struktur och uppbyggnad men även dess lövs; fördelningen, densiteten och tjocklek (Givoni 1991; Shashua-Bar & Hoffmans 2000). Dessa varierar, enligt författarna, beroende på art, ålder och kondition vilket leder till att träd har olika förmåga att verka kylande på omgivningen.

Bild t. höger; diagram över blads förmåga att reflektera, absorbera och transmitera (släppa igenom) olika våglängder (Oke 1987, p. 117).



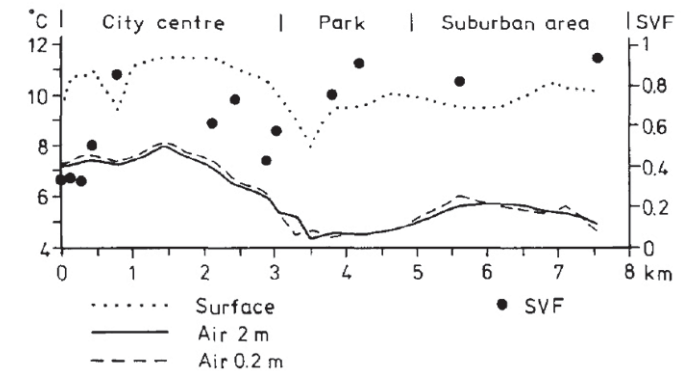
Grönområdets "kylande" effekt

Flera studier och experiment har gjorts på grönområdenas betydelse i staden och flertalet av dessa har visat på vegetations förmåga att markant påverka stadsklimatet. Ca et al. (1998) fann i sina fältstudier i Tokyo att ett parkområde, som låg direkt i en tät stadsdel, var runt 2°C svalare än en närliggande parkeringsplats, ytemperaturen skiljde upp till 15°C. Även faktumet att parken relativt snart efter solnedgången hade en kylande effekt på omkringliggande område, i jämförelse med de asfalterade ytorna som ännu emitterade värme, kunde tydligt observeras. Mätningar visade även att parken, som var 0.6 km², vid lunch kylde omgivningen en kilometer medvind med hela 1,5°C. Utan vindpåverkan utsträckte sig den kylande effekten cirka 100 meter utifrån parken i alla riktningar. Detta i sin tur ledde till ett minskat behov av luftkonditionering inom det berörda området.

Nämnas bör att den period under vilken försöken utfördes var två månader, men endast två dagar under hela denna period ansågs ha de förutsättningar som ansågs krävas för att värdena skulle kunna användas. Detta är enligt mig en relativt kort period vilket ökar sannolikheten för felkällor och icke observerade faktorer som påverkat resultatet.

Studier har även skett i Sverige på detta område, Upmanis (2000) ger exempel från Göteborg där parker har uppmätts ha en upp till 6° C svalare miljö nattetid än referenspunkten i stadsbebyggelsen, mindre parker uppvisade dock en något lägre skillnad på 2° C. Emellertid menar författaren att temperaturskillnaderna under dagen, mellan park och stadsbebyggelse är betydligt mindre, runt 1° C.

Bild t. höger; grafen visar ett snitt genom Göteborgs centrum ut till förorten. X-axeln visar avståndet från centrum och y-axeln visar temperatur och himmelsexponeringen (Eliasson 1996, p. 390).



Placering och mängd

Vegetationens placering och mängd har betydelse för dess påverkan på klimatet. Offerle et al. (2006) menar att vegetation som står glest eller fläckvis, som stadsvegetation, transpirerar på en högre nivå än ytor som är heltäckta av vegetation. Detta leder till att en större del av energin som rör sig från marken mot atmosfären gör det i form av latent värme istället för sensibel värme, dess Bowers förhållande är lägre. Liknade resultat där Bowers förhållande minskade med ökad vegetation fann även Christen och Vogt (2004) i sina undersökningar.

Fler författare än Ca et al. (1998) har observerat den kylande effekt som vegetation har, exempelvis Chow och

Roth (2006) rapporterar om liknade fenomen i Singapore och Shashua-Bar och Hoffman (2000) i Tel Aviv. De sistnämnda kom fram till att en liten park, 0.1ha, hade en svalkande effekt som kunde uppmättas på 100 meters avstånd utanför grönområdet. Detta leder till att Shashua-Bar och Hoffman (2000) rekommenderar att små parker eller trädgårdar planeras in med ungefär 200 meters mellanrum för att skapa en miljö som effektivast svalkar omgivningen. Likaså Givoni (1991) menar att vegetationens inverkan på klimatet blir effektivare om man istället för några få stora parker har flera mindre grönområden utspridda över staden.

En sammanhängande grönstruktur där landsbygdens vegetation tillåts att i största möjliga mån penetrera in i staden anser Marsh (1998) är en strategi som bör tillämpas. Han tillägger även att de restytor som vanligen kan hittas i utkanterna av en stad bör planeras för att höja andelen vegetation och på detta sätt höja mängden latent värme, det vill säga sänka Bowens förhållandet i staden. Däremot Givoni (1992) bedömer att grönområden utanför staden endast kan ha en lite effekt på klimatet i staden. Angående det sista påståendet verkar det inte som om Givoni (1991) tagit med den positiva inverkan ett grönområde runt och utanför staden kan ha på lokala luftcirkulationer. Det framgår dock inte klart i hans artikel om denna effekt endast är liten om det inte finns en länk mellan de yttre grönområdena och stadens gröna ytor eller om han anser att det gäller oavsett.

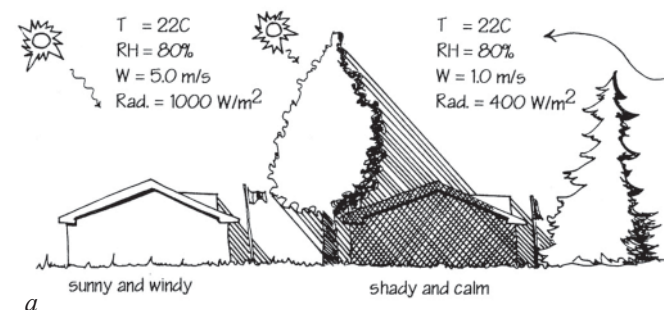
Vegetation och bebyggelse

Författarna är överlag överens om att stora besparingar i energiåtgång kan göras om man utnyttjar vegetationen som vindskydd. Flera beräkningar och modeller har även tagits fram för att styrka detta bland menar

Akbari och Konopacki (2004) att besparingar upp till 30-40 % kan göras på energiåtgången i en byggnad om man använder vegetation för att minska vindens påverkan på byggnaden. Även skuggning från vegetation kan i varma klimat resultera i nedsatt energiförbrukning då byggnaden i fråga inte utsätts för samma värmepåfrestning. En besparing på upp till 30 % av energiförbrukningen kan erhållas om man skuggar byggnaderna enligt Akbari och Konopacki (2004). Deras datormodell för beräkning av detta är dock inte helt verklighetstrogen och därför kan man nog räkna med en något mindre besparing. Likaså Givoni (1991) uppmärksammar vegetationens förmåga att genom läskydd eller skuggning sänka energibehovet, men han ger inga konkreta siffror.

Bild t. höger:

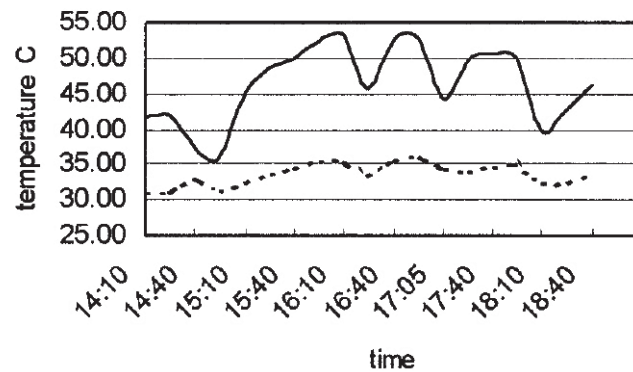
*a. fullt exponerad för sol och vind medför extremare temperaturförhållanden.
b. skydd mot vinden från norr året runt och skuggad sommartid av lövvegetation, som vintertid släpper igenom solen, resulterar i jämnare klimat för byggnaden. (Brown & Gillespie 1995 p.85).*



Vidare kan även vegetationspaneler och klättrande vegetation användas för att minska en byggnads behov av energi och reglera inomhustemperaturen. En byggnad klädd med vegetation erhåller en temperaturfluktuation som är betydligt mindre än den skulle ha varit utan. Detta noterades bland annat av Di och Wang (1999) vid studier av en byggnad vars väggar var täckta av murgröna. De observerade att inomhustemperaturen var betydligt lägre under den varma årstiden och även hölls mer konstant över dygnet.

Författarna pekade även på att den temperaturutjämning och isolering som murgrönan resulterade i även skulle ge positiva resultat vintertid eftersom isoleringseffekten då skulle bidra till att mindre värme förloras. Utöver detta upptar klättrande vegetation och vegetationspaneler en mindre horisontell plats men ger en stor vegetationsyta vertikalt vilket kan vara åtråvärt där utrymmet vid marken är begränsad.

Bild t. höger: grafen visar variationen i temperatur över dygnet. Helledragen; bar vägg. Prickad linje; vegetationsbegrädd vägg (Di & Wang 1999, p. 242).

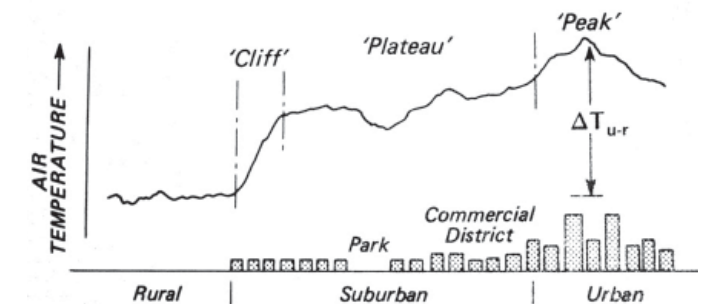


Enrique Browne är en arkitekt som har arbetat med klättrväxter och spaljéer för att skapa gröna väggar åt sina byggnader, exempelvis har han i Santiago, Chile, reducerat solinstrålningen med 60 % på västsidan genom den gröna vägg som placerats ca 1.5 meter ut från byggnaden (Slessor 1999). Vidare poängterar Brown och Gillespie (1995) att besparingarna som ges vid vindskydd till stor del beror på vilken kondition byggnaden är, vid mycket väl isolerade byggnader kommer besparingarna troligtvis att vara marginella och då är solinstrålningen mer avgörande för energiförbrukningen. Jämför gärna med föregående sida.

Värmeö- ett mått på urbanisering?

Värmeöfenomenet har genom tiden fått vara, och är på många sätt ännu, fokuset för den klimatologiska forskningen inom bebyggda områden (Oke 1987; Arnfield 2003). Värmeö, eller Urban Heat Island som är den engelska termen, är ett mått på temperaturskillnaden mellan staden och en referenspunkt ute på landsbygden. Detta fenomen ses idag som ett stort problem runt om i världen, speciellt i städer på lägre breddgrader där solinstrålningen är större. En reduktion i värmeöns intensitet skulle direkt kunna dämpa den globala uppvärmningen och dessutom bidra till en indirekt minskning genom att skära ned på behovet av energi för att hålla en sval miljö såväl inomhus som i fordon (Luxmoore et al. 2005). För många författare har värmeö blivit ett av de tydligaste fenomenen som illustrera människans påverkan vid urbanisering.

Bild t. höger; typillustration över temperaturvariationen från landsbygd in till stadskärnan, ΔT visar på storleken av värmeö (Oke 1987, p. 288).



Faktorer som påverkar

Alla element som tagits upp ovan i kapitlet påverkar förstås bildningen och intensiteten av en värmeö. Staden påverkar värmeö genom att den; ökar absorptionen av kortvågig strålning, har större värmekapacitet, genererar

antropogen värme, reducerar utstrålningen av långvågig strålning, har lägre evapotranspirationskvot och lägre förlust av sensibel värme, det sistnämnda beroende till stor del på den minskade vindhastigheten i staden (Oke 1987; Bogren et al. 1999).

Negativ påverkan

Arnfield (2003) och Bogren et al (1999) menar att vinden och eventuellt molntäcke är de viktigaste faktorerna som påverkar en värmeö negativt. Även Erell och Williamson (2006) slår fast att vinden är en mycket viktig faktor för utvecklingen av värmeöns intensitet. Detta eftersom författarna fann att en värmeö ytterst sällan översteg 5-6° C om vindhastigheten nådde 2 m/s, oberoende av andra meteorologiska faktorer. Chow och Roth (2006) lyfter även fram de lokala luftcirkulationerna, exempelvis omlandsbrisen, negativa inverkan på värmeön.

Utöver de ovan nämnda faktorerna lyfter Luxmoore et al. (2005) och Ca et al. (1998) fram vegetationens betydelse och förmåga att påverka klimatelementen. Ytor av vegetation skiljer sig från hårdgjorda ytor eftersom de avger en större del av den absorberade strålningen i form av latent värme. Detta i sin tur ”minskar inte värmeön genom att kyla luften, utan genom att värma luften mindre” enligt Luxmoore et al. (2005, p. 1215). Ytor som skuggas av vegetation utsätts inte för samma mängd strålning, detta leder till en minskad uppvärmning av ytan som resulterar i att denna emitterar mindre strålning och därmed reduceras uppvärmningen av närliggande luft (Shashua-Bar & Hoffmans 2000).

I övrigt har även stadens albedo omtalats och hur man genom att arbeta med material och användandet av olika överdrag och ytfinisher kan öka ytors förmåga att

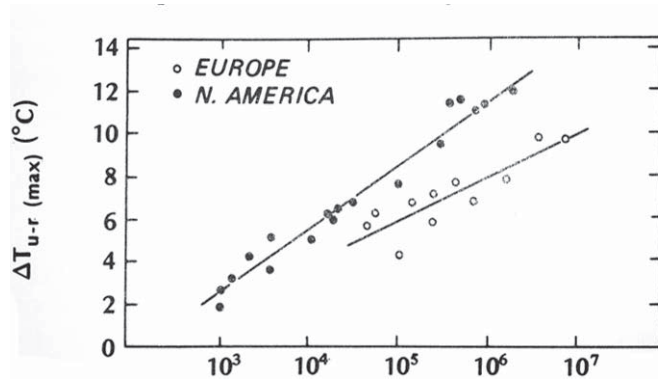
reflektera inkommande strålning och på detta sätt sänka andelen lagrad värme i staden (Akbari et al. 2001; Akbari & Konopacki 2004). Allt detta samtidigt som en generell minskning av energianvändningen och antropogena utsläpp i form av värme och föroreningar är önskvärd för att reducera värmeön och dess effekter.

Positiv påverkan

I motsats till de negativa faktorerna, för en värmeö, är de viktigaste intensifierande faktorerna en ökad; urbanisering, population och storlek av staden (Arnfield 2003). Vidare, anser Arnfield (2003), att en förhöjd instrålning och en närvaro av högtrycksområden har en positivt inverkan på utvecklingen av en värmeö. Utöver dessa element anser författaren att stadens geometri och termiska egenskaper har ungefär lika stor betydelse. Dessutom, beroende på byggnaders grad av isolering, kan antropogena läckage från dessa ha en viktig betydelse (Arnfield 2003). Även Bogren et al. (1999) nämner de faktorer som Arnfield (2003) tagit upp, men de klassificerar inte vissa omständigheter som mer betydande än andra.

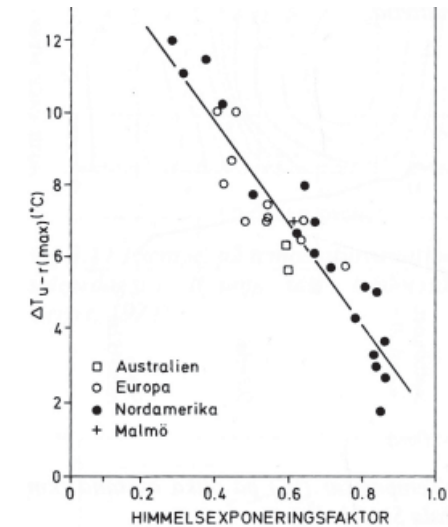
Studier gjorda på värmeöns intensitet och utbredning i olika städer jorden runt har visat på att värmeön har ett positivt förhållande till befolkningsökningen i en stad. Exempelvis Bogren et al. (1999) pekar på studier som visat att värmeön för en stad på 10 000 invånare ligger runt 3°C medan värmeön i regel ökar med runt 7°C när invånarantalet nått en miljon. Detta är förstås endast siffror och stora skillnader finns mellan olika städer beroende på dess placering globalt, regional och lokalt men även beroende på dess stadsstruktur och densitet.

Bild t. höger; grafen visar på ett positivt samband mellan värmeöns max. intensitet och en stads population (Oke 1987, p. 291).



Just uppbyggnaden och densiteten, menar Bogren et al. (1999), är viktig då en amerikansk miljonstad kan ha en maximal värmeö på 11-12°C medan en europeisk stad av samma storlek i regel har en värmeö som ligger 4°C lägre. Det verkar som att en mer välutvecklad värmeö är troligare att hitta i städer där höga byggnader och relativt smala gator dominerar i centrum. Trots att flera anser och genom olika studier funnit indikationer på att en stads geometri har stor betydelse för utvecklingen av en värmeö, menar Chow och Roth (2006) att de inte hittade några klara samband mellan värmeön och stadens geometri i Singapore. Vidare pekar de på andra faktorer som till exempel mängden vegetation och antropogena utsläpp som viktigare faktorer vid bildningen och utvecklingen av en värmeö.

Bild t. höger; grafen visar sambandet mellan värmeöns intensitet och himmelsexponeringsfaktorn (Glaumann & Nord 1993, p. 38).



Utöver allt detta har mängden föroreningar i luften stor betydelse då detta i sin tur påverkar strålningsbalansen genom att återreflektera en större del av strålningen som emitteras från stadens ytor (Oke 1987). Den kan i extrema fall radikalt minska solinstrålningen då strålningen inte i lika hög grad kan tränga igenom luftskiktet ovanför staden (Geiger 1980).

Vid studier av Göteborgs stadsklimat fann man även att värmeön var mer utbredd vid högtryck, det vill säga vid anticykloniska förhållanden (Holmer & Eliasson 1999). Detta beroende på de stabila skikt som bildas i området vilket leder till förhållandevis lugna, molnfria och vindstilla väderförhållanden. Detta i sin tur resulterar i en mycket välutvecklad värmeö eftersom landsbygden kyls av betydligt fortare än staden.

Sverige i fokus

Fokuseringen på värmeön och dess effekter runt om i världen kan tyckas som inte alltför intressant sett från svenska förhållanden. Dels för att vi inte har samma stadsstruktur som exempelvis många amerikanska städer med hög exploatering och täta och djupa gatukanjoner. Men eftersom europeiska städer i strukturen är relativt lik de svenska städer, men ändå är mer berörda av värmeön och dess effekter kan detta inte vara hela svaret. Orsak till varför Sveriges inte har samma problem med värmeöar ligger även i vår placering globalt, vilken inte medför en hög och intensiv solinstrålning under någon längre period. De små värmeöar vi har snarare uppskattas och välkomnas då de bidrar till ett stadsklimat som är några grader varmare.

Även om vi inte har samma behov, som många städer på lägre breddgrader, att sträva efter skyddade gaturum med låg solinstrålning för att skapa ett svalare gatuklimat är det ändå viktigt att tänka på att vissa gator behöver modifieras för att bli behagligare även ur värme-synpunkt. Det finns tillfällen när det ultimata kanske inte är en het gata. Inte heller får kategorin barn och äldre glömmas bort då dessa oftast är mycket känsligare för extrema väder och därmed även sol och värme. Även prognoserna om ökade medeltemperaturer i framtiden bör tas med i beräkningarna när man planerar en stad då detta dels kommer att leda till fler varma dagar men även att antalet dagar med snö kommer att minska och ersättas av regn under vintern vilket ger ett helt annat uteklimat och därmed förändrade behov.

Sommaren är, som vi alla vet, inte alltid så lång som man önskar och en stor del av vårt år består av kallare, blåsigare och våtare dagar. I svenska städer blir vinden



Bild ovan; snöblandat regn och bitande vind, även detta en del av de svenska förhållandena.

en angelägen faktor att kunna modifiera då denna har stor inverkan på hur vi upplever vädret. Både Brown och Gillespie (1995) och Givoni (1991) är som förut nämnts överens om att det främst är vinden som utgör den faktor som man bör rikta in sig på att försöka hantera för att skapa ett trevligare klimat på de högre breddgraderna. Därför kommer nästa kapitel att till stor del fokusera på hur vinden utvecklas i gatukanjonen för att sedan med denna förståelse försöka illustrera typexempel på hur gator kan utformas för att uppfylla sitt syfte och erbjuda ett bra klimat. Vidare kommer en snabb inblick i solstrålning att ges då den låga solhöjden vintertid även kan vara betydande i hur gatan upplevs.

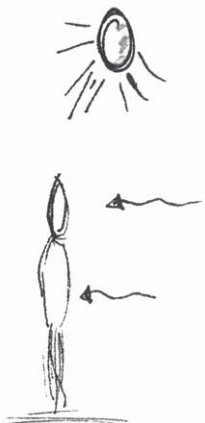


Bild ovan: Ljumma vindar och en strålande sol.

GATUKLIMAT

Vind

Vinden har idag blivit ett fenomen som många planerare och landskapsarkitekter verkar föra en oändlig kamp mot. En vindutsatt gata har i vårt samhälle fått en mycket negativ klang. Vinden gör att temperaturen upplevs lägre än vad den egentligen är och detta verkar vara något av det allra sista vi vill uppnå. Men trots vår fortgående kamp mot vinden leder dagens stigande exploateringsstryck i flera städer till att man bygger på höjden vilket i många fall inte bara ger mer byggnadsvolym/enhet markyta utan även en ikon och marknadsföringsverktyg åt staden. Förutom detta kan den högre bebyggelsen även medföra, vilket kommer att tas upp mer ingående senare, ett mer vindpinat klimat vid marknivå.

Vind kan konstrueras in i en stad, men väl där kan den vara mycket svår att ”bygga bort” (Oke 1987), men även ur vissa aspekter mycket lätt. Exempelvis, som redan nämnts, kan man genom en oförsiktig placering av ett kvarter med högre bebyggelse blockera en luftcirkulation (Chow & Roth 2006). Exploatering med högre bebyggelse behöver dock inte nödvändigtvis vara utslutande negativt.

Det gäller att kunna ta ett steg tillbaka och se vilka nödvändiga funktioner vinden fyller. På vissa gator kan den vara vital för borttransporteringen av de föroreningar som industrin och trafiken genererar, eller som en länk till en hårt trafikerad gata vars luftkvalité är beroende ventilationen. En god förståelse för hur vindar rör sig, accelererar och retarderar i en stad är viktigt för att kunna skapa goda förhållanden på gatuplan och arbeta för en fungerande stad. Självklart är det lättare att

kontrollera vinden ute på landsbygden där vindskydd effektivare och i högre grad kan användas, men det går även till viss del att påverka den inne i bebyggt område.

Vinden och människan

Som innan kort nämnts kan vinden få en person att uppleva en förhållandevis varm dag som kylig. Glaumann et al. (1992) menar att på bar hud ger en vind på 10 m/s vid 10° C ger samma känsla som om det vore -10° C och en vind på 1 m/s. Att en person brukar uppleva en vindhastighet på över 5 m/s som besvärande är både Glaumann och Nord (1993) och Oke (1987) överens om. Vidare börjar vinden plocka upp skräp vid 10 m/s (Oke 1987) och vid 15 m/s börjar det bli svårt att gå upprätt (Glaumann & Nord 1993). Även vindens kylande förmåga har en inverkan då redan låga vindhastigheter kan få en plats att kännas obekvämt och kall. I tidigare kapitel har stadens påverkan på vinden berörts, men vindförhållandena mellan två närliggande gator kan vara mer avvikande i förhållande till varandra än det mellan stad och landsbygd. Beroende på gatukanjonens geometri, innehåll, orientering och placering i förhållande till resten av staden och dess omgivning kommer vindsituationen förändras. Många studier, exempelvis Ali-Toudert (2005), Westerberg och Glaumann (1990/91) och Eliasson et al. (2007), har visat på vindens del i hur platsen används och upplevelsen av vistelseytan.

Omgivningens inverkan

När det gäller vindförhållanden är det nödvändigt att se helheten och dess påverka på gatan ifråga. Förutom de regionala vindar som råder i området är det viktigt att

ta reda på eventuella lokala cirkulationer. Dessa kan i många fall vara svåra att hitta som utomstående hitta, att rekommendera är att ta hjälp av personer med lokal-kännedom.

Ali-Toudert (2005) upptäckte i sina studier i Freiburg, Tyskland, att luften vid gatuplan var onormalt mycket kallare än den luft ovan gatukanjonens tak, upp till 3° C skiljde. Detta är avvikande då lufttemperaturskillnaderna mellan gatukanjonens golv och tak oftast inte varierar mer än 0.5° - 1° C (Nakamura & Oke 1988). Vid efterforskning fann Ali-Toudert (2005) att tidigare studier indikerade att staden låg i en kallluftcirkulation som hade sin början i Black Forest och sedan rann nedför dalen rakt igenom Freiburg. Detta är ett exempel på hur omkringliggande topografi kan påverka en gatas klimat.

Trots att dessa flöden mellan exempelvis landsbygd och stad oftast märks tydligare på natten, eftersom den högsta temperaturskillnaden mellan stad och land vanligtvis erhålls nattetid, finns dessa cirkulationer för det mesta även dagtid. Anledningen till att de inte är lika framträdande dagtid beror på den lägre temperaturskillnaden mellan stad och land vilket leder till att en svagare vind utvecklas. Briserna kan dock bli starkare i staden, jämfört med landsbygden enligt Oke (1987), om den lyckas övervinna friktionen från gatukanjonen. Även intraurbana luftcirkulationer, som till exempel svaga luftströmmar från parker, kan uppkomma i en stad. Trots att Sverige överlag inte lider av någon lång värmeperiod kan just dessa lokala luftcirkulationer ha stor betydelse för hur komfortabelt klimatet på en gata upplevs. Som tidigare nämnt är det ibland möjligt att genom olika modifieringar ändra på dessa cirkulationer, men man bör först fråga sig om det behövs och vad för

påverkan överlag det skulle resultera i. Vanligtvis räcker det att vara medveten om eventuella kallluftflöden och lokala luftcirkulationer och om nödvändigt anpassa användningen och funktionen av gatan till dessa.

Vindriktningar

Beroende på vilken vindriktning som råder i förhållande till gaturummets orientering kommer olika situationer att skapas. Man bör dock vara medveten om att vinden i ett gaturum är ett sekundärt flöde som kommer ifrån vindflödet ovan gatukanjonens tak (Oke 1987). Nedan kommer tre olika situationer tas upp; vinkelrät, parallell och sned anblåsning.

Vinkelrät anblåsning

Hur luftflödet utvecklas beror enligt Oke (1987) och Nakamura och Oke (1988) till stor del på gaturummets geometri och speciellt relationen mellan byggnadernas höjd och gatans bredd, h/w . Även gatans längd och kvoten av höjden mellan motstående byggnader påverkar vindklimatet. Vidare menar Chan et al. (2001) att även byggnadernas bredd har en viss inverkan på luftströmningen då de bidrar till rähetslängden, men detta kommer inte att tas upp mer ingående.

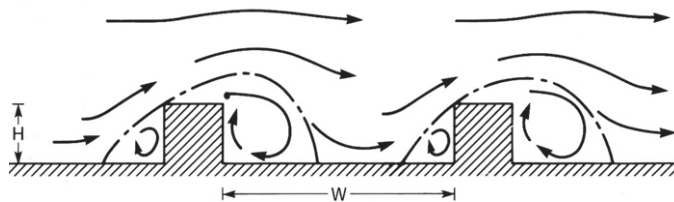
h/w

När vinden kommer vinkelrätt emot gatukanjonen är påverkan av gatans h/w som störst. Oke (1987) menar att det finns tre olika typsituationer som kan inträffa beroende på gatans h/w och dessa kommer nu att tas upp.

Regim I och regim II

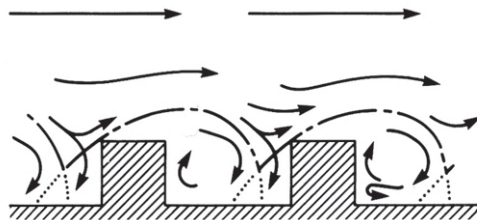
Vid mycket vida gaturum med ett h/w under 0.3 kommer inte de motstående byggnaderna påverka varandras vindflöden, enligt Oke (1987). Detta innebär att lovartsidans flöde vid ena byggnaden inte påverkas av läsidans flöde på motstående byggnad (Ali-Toudert 2005). Resultatet blir att vindflödena som utvecklas nästan är identiska med dem som skulle ha uppkommit om byggnaderna vore isolerade från varandra (Oke 1987; Ali-Toudert 2005).

Bild t. höger; illustrationen visar luftströmningen som sker i regim I, även kallad *isolated roughness flow* (Oke 1987, p.267).



Om bebyggelsen placeras närmare varandra kommer luftvakarna vid lä- och lovartsidan på respektive byggnad börja påverka varandra (Oke 1987; Ali-Toudert 2005), vilket leder till mer oregelbundna luftflöden. Detta beskrivs som den andra regimen och råder till h/w passerat 0.65 menar Oke (1987), Chan et al. (2003) emellertid anser att regim II sträcker sig till h/w nått 0.8. Precis innan övergången mellan regim II och III är turbulensen som störst på grund av de starka störningarna som vakarna medför, enligt Chan et al. (2003) inträffar detta runt h/w 0.7.

Bild t. höger; illustration av luftcirkulationen vid regim II, även kallad *wake interference flow* (Oke 1987, p. 267).



Regim III

Den tredje regimen som Oke (1987) nämner är den som infaller efter h/w 0.65 och Chan et al. (2003) räknar med infinner sig efter h/w 0.8. De vakar som verkat enskilda i förgående regim smälter nu ihop och bildar en virvel som sträcker sig över hela gatans bredd (Chan et al. 2001). Gatukanjonen är nu av sådan dimension att en stabil virvel kan bildas i gaturummet då vinden ovan gatukanjonen förs ned längsmed den borterta kanjonsidan (Ali-Toudert 2005; Chan et al. 2003). Denna sista typsituation med en stabil virvel är beroende av en relativt stark vindcirkulation ovan gatukanjonen, vid en svag vind kommer cirkulation i gaturummet vara mer splittrad.

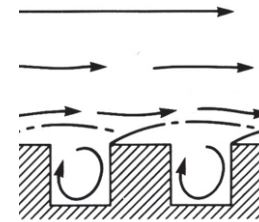


Bild ovan; luftflödena vid regim III, även kallad *skimming flow* (Oke 1987, p. 267).

Enligt DePaul och Sheih (1986) måste bakgrundsvinden ha en hastighet på 1.5-2 m/s för att virveln i kanjonen skall bildas och vara stabil. Fältstudier gjorda i Göteborg styrker detta då det rapporterats att virveln i kanjonen började brytas ned om vindflödet ovan kanjontaket underskred 2 m/s (Eliasson et al. 2006). Vidare kommer de termiska förhållandena i gaturummet även att påverka vindcirkulationen vid en svag vind (Nakamura & Oke 1988; DePaul & Sheih 1986). Förutom vindhastigheten och stratifiering påverkas bildningen av en virvel även av den advektion som kantvirvlarna skapar (Santamouris et al. 1999; Ali-Toudert 2005), dessa kommer att tas upp senare.

Dubbla virvlar

Vid djupa gatukanjoner, h/w runt 2, kan dubbla virvlar utvecklas i samband med temperaturstratifiering i gatukanjonen, enligt Santamouris et al. (1999). Detta beror på att den vertikala rörelsen från marken hindras av virveln som luftflödet ovan kanjonen inducerar vilket



Bild ovan; illustration av de dubbla virvlar som kan uppstå i ett gatuum med $h/w > 2$ (SLB-analys 2000, p. 4).

resulterar i två virvlar ovan varandra. Författarna observerade även att den nedre virveln roterade i motsatt riktning till den övre. Samma fenomen konstaterades av Chan et al (2001) i vindsimulationer. Den nedre virveln kommer att mottaga mer energi från den övre vid ökad bakgrundsvind, detta resulterar i att den nedre virveln får en ökad hastighet (Santamouris et al. 1999). Vid ökat h/w kommer dock kopplingen mellan den övre virveln i kanjonen och bakgrundsvinden ovan kanjontaket att bli mer ineffektiv, enligt Chan et al. (2001).

Vid studier i Göteborg gjorda i en gränd med $h/w \approx 2$ förväntade sig Eliasson et al. (2006) att finna dubbla virvlar då gatukanjonen ansågs uppfylla kraven för detta fenomen. Men vid granskningen av data visade det sig att först vid analys av mycket korta intervall, runt 1 sekund, kunde en svag andra virvel noteras. Den nedre virveln varade som längst några sekunder innan den löstes upp. Författarna ansåg även att utvecklingen av den övre virveln var lite i underkant då den endast nådde $\frac{1}{4}$ ned i gatukanjonen och inte $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$ som de hade förväntat. Skälet till att den övre virveln inte hade den förväntade utvecklingen ansåg Eliasson et al. (2006) kunde beror på en felaktig kalkylering av h/w , detta eftersom grändens hade en variation av byggnadshöjder men även mycket komplicerade takkonstruktioner. Frånvaron av en stabil andra virvel anser författarna kan bero på en för svag övre virvel som då inte kan driva den nedre virvel. Själv tror jag att ett av skälen kan vara en otillräckligt temperaturstratifiering i gatukanjonen. Detta eftersom en stor stratifiering av gatuummet i regel existerade då man i de tidigare fallen har observerat dubbla virvlar. Även Santamouris et al. (1999) studier visar att stratifieringen i gatukanjonen har en viktig roll i utvecklingen av den nedre virveln.

Byggnadernas höjd

De byggnader som utgör gatukanjonens väggar ha stor inverkan på hur vindflödena kommer att utvecklas. Inte bara deras höjd i förhållande till gatans bredd, utan även deras höjd i förhållande till varandra har visat sig vara viktig. Speciellt påverkar detta vindsituationen i gatukanjonen vid vinkelrät vindriktning.

h_2/h_1

För att uppnå god cirkulation i en gata där bakgrundsvinden kommer vinkelrätt mot gatukanjonen och möter först byggnad I vars höjd betecknas som h_1 och sedan byggnad II som har en höjd av h_2 bör deras höjdförhållanden noga betäckas. Om kvoten mellan h_2/h_1 är mindre än 1 resulterar detta i att luft sugas in via en nedåtgående luftström längsmed byggnad II vilket skapa en ventilation i gatukanjonen (Chan et al. 2001). Den effektivaste skingringen sker enligt Chan et al. (2003) vid h_2/h_1 0.5.

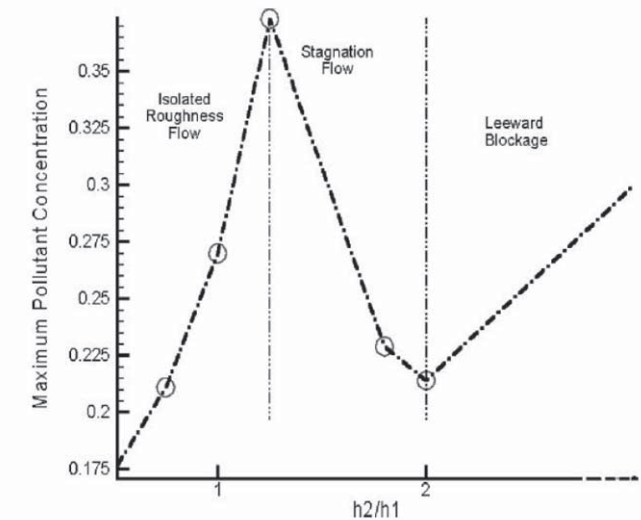


Bild t. höger; graf som visar sambandet mellan h_2/h_1 och koncentrationen av föroreningar. Stagnation vid h_2/h_1 1.2 och blockering av luftflödet vid h_2/h_1 2 (Chan et al. 2001, p. 5684).

Däremot vid en kvot som ligger vid 1.25, när byggnad II är lite högre än byggnad I, uppstår det en stagnation trots att byggnad II står i luftströmmen ovan kanjontaket (Chan et al. 2001). Detta beror på att skjuvningseffekten mellan kanjontaket och ovanströmmande luftflödet, alltså mellan UCL och UBL. Tillstånd försvinner när h_2/h_1 ökar och vinden från högre luftlager leds ned av byggnad II. Dock, vid en kvoten på en bit över 2 kommer slutligen en stagnation att inträda igen eftersom byggnad II nu blockerar utflödet från gatukanjonen, enligt Chan et al. (2001). Emellertid kan problem även uppstå vid en för hög första byggnad eftersom vinden då aldrig når ned i gatukanjonen, vilket kan resultera i en kraftigt nedsatt cirkulation i gatukanjonen (Oke 1987).

Bild t. höger; modell där h_2/h_1 är 0.5 vilket ger den effektivaste skingringen av föroreningar (Chan et al. 2001, p. 5685).

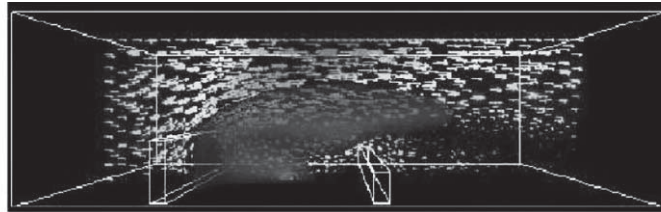


Bild t. höger; modell där h_2/h_1 är 1.2 vilket resulterar i stagnation i gatukanjonen (Chan et al. 2001, p. 5685).

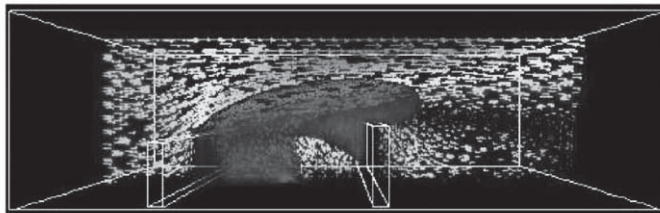
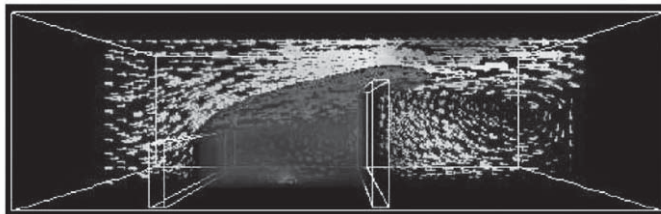


Bild t. höger; modell där h_2/h_1 är 2 vilket leder till att byggnaden II blockerar utflödet av luft från gatan (Chan et al. 2001, p. 5685).



Hög bebyggelse

Ett vedertaget faktum är att byggnader som är avsevärt högre än omgivande bebyggelse kan leda ned vindar från högre höjder, som i regel har en högre hastighet, till gatunivån. Detta var Oke (1987) tidig att anmärka och pekade samtidigt på studier som visar att människor i regel börjar klaga på otrevliga vindförhållanden runt en byggnad då den var högre än 25 meter, det vill säga runt 6 våningar, eller om byggnaden var över dubbelt så hög som de omkringliggande. Samma studier visade att vindhastigheten översteg 5 m/s i över 20 % av tiden runt höga byggnader medan i lägre bebyggelse skedde detta endast mindre än 5 % av tiden (Oke 1987).

Författaren pekar även på tre olika sätt att förbättra vindklimatet runt höga hus: Till att börja med får de första våningarna bilda en fot till den resterande byggnaden, detta leder till att de vindar som leds ned av byggnaden kommer att böjas av vid foten och därmed blir marknivån skonad från de värsta vindarna. En utveckling av förgående förslag är att byggnaden står på pelare på foten och därmed erbjuda vinden ett genomflöde som följaktligen avleder de höga vindhastigheterna från att nå ned till fotgängarna på gatan. Förutom detta menar Oke (1987) att man även kan sig av utstickande tak och träd i gatan för att ytterligare öka vindsyddet. Matus (1988) tillägger att en trappning av hela byggnaderna leder till att vinden som leds ned försvagas på flera punkter. Även en minskning av turbulensen runt kanterna av byggnaden kan förväntas vid användning av mer rundade former och på detta sätt kommer man även närmare den eftertraktade laminära luftströmningen (Matus 1988).

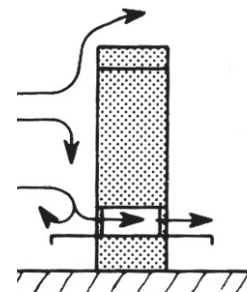


Bild ovan; modifieringar av hög bebyggelse med ett tak, som ersätter foten, och pelaröppning (Oke 1987, p.272).

Vidare har bland annat Glaumann et al. (1992) och Glaumann och Westerberg (1988) uppmärksammar de ändrade vindförhållandena som kan uppstå runt hög bebyggelse. En metod att beräkna vindförhållandena och eventuell förändring vid nyprojektering av bebyggelse framläggs i överblickliga steg av Glaumann och Westerberg (1988). Denna metod kan dock tyvärr inte användas i gaturum då den bygger på råkretsförändringar och bör därför inte användas på en plats som ligger inom ett vakområde då vaken skapar mycket komplexa förhållanden. Men man kan kanske använda den för att beräkna vindförändringar som sker ovan gatukanjonen, om omkringliggande byggnader är av relativt likartad höjd så att de kan ses om en konstruerad markyta.

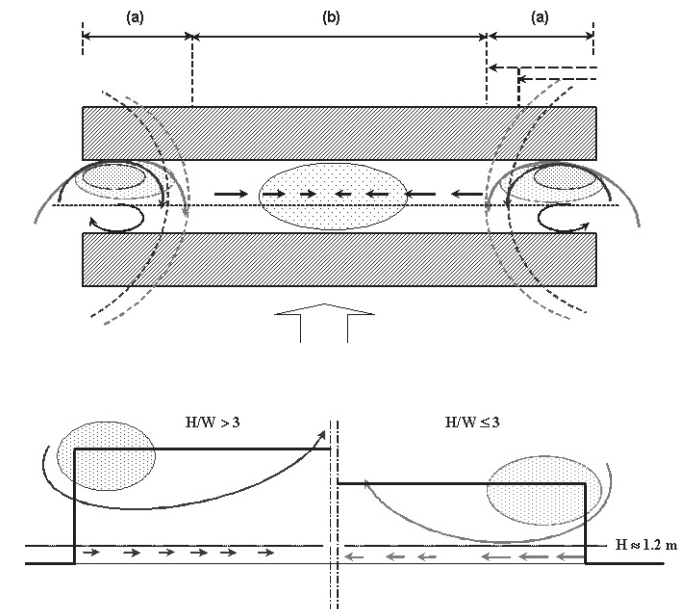
Kanteffekter

Kantvirvlarna bildas av byggnadernas geometri (Santamouris et al. 1999). Vid vinkelrät anblåsning bildas tydliga virvlar runt hörnen på byggnader och bidrar till den advektion som sträcker sig in mot mitten av gaturummet, menar Santamouris et al. (1999). Hur mäktiga kantvirvlarna blir beror på bakgrundsvinden, till viss del h/w och gatans längd. Detta kan belysas med Ali-Toudert (2005) numeriska försök där kantvirvlarna endast var svagt utvecklade, påverkade 10 % av gatans längd, vid h/w 0.5. Författaren menar att detta till stor del beror på att byggnadshöjden i modellen var för låg. Med ökad h/w noterade Ali-Toudert (2005) att starkare kantvirvlar bildades som hade betydligt högre hastighet än virveln i mitten.

Horisontell luftrörelse

Den advektion som kantvirvlarna medför resulterar i att det skapas en zon i mitten av gaturummet med en nettostömning av luft där lägre vindhastigheter råder (Santamouris et al. 1999). En horisontell luftström bildas längsmed gatan, dess koppling till kantvirvlarna styrktes av Santamouris et al. (1999) i fältstudier i en gränd i Aten. Styrkan av denna horisontella masstransport vid gatuplan ökar med h/w tills h/w nått 4 då advektionens inverkan på gatuplan minskar igen och endast sker i de högre delarna av gatukanjonen, enligt Ali-Toudert (2005). Medan Ali-Toudert (2005) verkar mena att kantvirvlarna skapar ett uppåtriktat flöde in mot gatans mitt hävdar Santamouris et al. (1999) att de skapar ett nedåtriktat flöde in mot mitten på gatan. Då inga av de andra författarna har gjort specifika uttalanden i saken är det svårt att bedöma vilken teori som är rätt.

Bilder t. höger; plan rep. snitt över gatukanjonen som visar på den variation i kant virvlarnas utbredning som beror på utformningen av gatukanjonen. Även det horisontella flödet in mot gatans mitt visas och den stagnationszon som kan uppstå (Ali-Toudert 2005 p. 128.)



Vidare menar både Santamouris et al. (1999) och Hunter et al. (1992) att kanteffekten kan ha betydelse för utvecklingen av virveln i mitten av gatan. De senare författarna menar att virveln försvagas dels när gaturummet blir för brett, men även vid försvagade kantvirvlar. Detta då en försämrad kancirkulation minskar den horisontella masstransporten, vilket i sin tur menar Hunter et al. (1992) påverkar virveln negativt. Då jag inte kunnat hitta liknande idéer från andra författare och fältstudier angående kantvirvlarnas inverkan på virvelns utveckling känns den teorin mer som en parentes i sammanhanget och kommer inte att vidare utredas.

Gatans längd

Även längden av gaturummet har stor betydelse för hur långt in kantvirvlarnas effekt kommer att sträcka sig i gaturummet. Som ovan nämnts bildas kantvirvlarna vid byggnaders hörn och kanter. Cirkulationens utbredning är en av de faktorerna som styr övergången mellan regim II och regim III (Chan et al. 2001; och Hunter et al. 1992). Kancirkulationens omfattning ökar med gatans längd tills kvoten $l/h = 5$ nås, därefter ökar inte kantvirvlarnas verkningsområde enligt Chan et al. (2001) och Hunter et al. (1992). Däremot, menar författarna, minskar intensiteten av turbulensen om gatans längd ökar ytterligare.

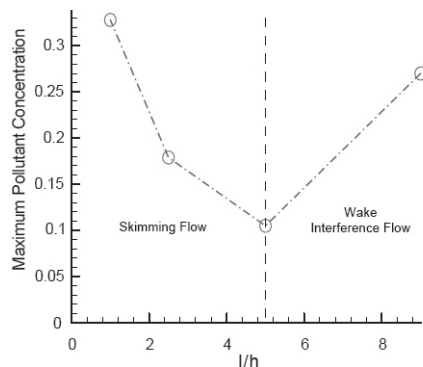


Bild t. höger; diagram över l/h och föroreningshalt i gatkanjonen. Effektivast skingring sker vid $l/h = 5$, dvs. mellan regim II och regim III (Chan et al. 2001, p. 5688).

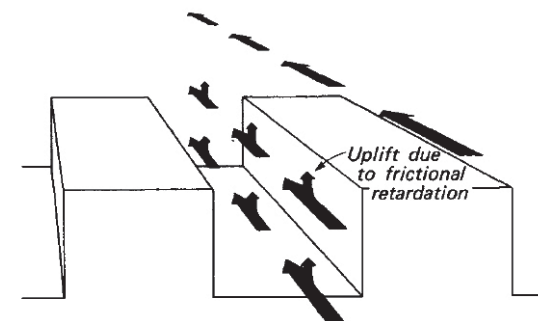
Effekter för fotgängare

Kantvirvlarna kan skapa speciellt påfrestande situationer för människor som vistas på gatan. Då kraften av en vind ökar med vindhastigheten² leder detta till att den kraft som människor kan mötas av då de närmar sig ett hörn kan vara överväldigande (Oke 1987). Speciellt i städer där stadsstrukturen består av mycket höga byggnader kan det resultera i en vindökning med 4 m/s (1 m/s \rightarrow 5 m/s) vid byggnadernas hörn, vilket i sin tur utsätter personen som skall runda hörnet för en kraft som är 25 gånger högre. Dessa extrema förhållanden finns ännu inte direkt i Sverige, men man bör vara medveten om effekt som kantvirvlarna ger. Även skräp och damm har en tendens att ansamlas och cirkulera i kantvirvlarna vilket skapar otrevliga miljöer (Oke 1987).

Parallell vindriktning

När gatan får en parallell vindriktning blir skyddet som gatkanjonen gav vid vinkelrät anblåsning nästintill helt omintetgjord. Vidare kan detta leda till att vinden som nu leds genom gaturummet intensifieras och effekten blir en markant ökning av vindhastigheten (Oke 1987; Sánchez & Alvarez 2004). Santamouris et al. (1999) noterade i Aten att den parallella vinden generellt hade en högre hastighet än den vinkelräta. Vindhastigheten ökar med h/w eftersom en trängre gata mer effektivt leder och accelererar luftflödet (Ali-Toudert 2005).

Bild t. höger; illustration av den parallella vindens rörelse och hur friktionen från gatkanjonnens väggar leder till en uppåtriktad luft rörelse (Nunez & Oke 1977 p. 15).



Vid fältstudier i Vancouver noterade Nunez och Oke (1977) att vinden på grund av friktionen från kanjonens sidor retarderade vilket resulterade i en uppåtriktad rörelse. Samma fenomen konstaterade Ali-Toudert (2005) i sina numeriska modeller men fann även att vid en punkt, beroende på h/w, vände detta och vindflödet ovan kanjon-taket bidrog till en nedåtriktad och accelererande vind i gaturummet. Santamouris et al. (1999) menar att ett vindflöde som är uppåtriktat i gatukanjonen sällan sker och i sådana fall med låg hastighet. Däremot är en nedåtriktad vind desto vanligare enligt författarna som menar att en förklaring till detta kan vara den nedåtriktade advektion som kantvirvlarna skapar in mot gatans mittdel. Dock, vilket tidigare togs upp, finns det skilda meningar angående advektionens riktning. Santamouris et al. (1999) visade även att vinden i regel har en infallsvinkel som ligger mellan 0-30° i förhållande till gatuplanet.

Snedvinklat luftflöde

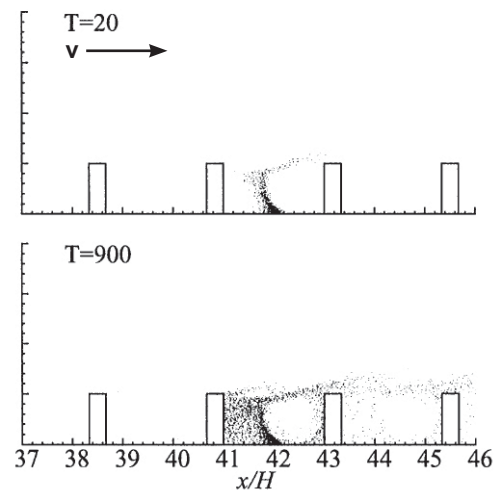
En vind som kommer ifrån en sned vinkel är troligtvis den vanligaste förekommande situationen menar Santamouris et al. (1999), dock är det även den situation som är minst studerad. Författarna fann indikationer i sina studier i Aten på att en spiralformad bildades längsmed gatan när en snedviklad luftströmning var närvarande. Detta är i linje med vad Nakamura & Oke (1988) iakttog i sina observationer i Kyoto, Japan, och med tidigare studier av Nunez och Oke (1977) gjorda i Vancouver, Kanada, där de även hade visuella spår och kompletterande mätningar som visade på en spiralformad virvel. Nakamura & Oke (1988) kom i sina studier av gaturummet fram till att spiralvirveln hade en sinusartad form vilket snedkastade idén om att

vindens reflektionsvinkel mot väggen skulle vara samma som dess infallsvinkel. Deras förklaring till att infallsvinkeln visade sig vara större än reflektionsvinkeln var att vinden skapade en "cushion" effekt vid väggen. Enligt Oke (1987) kan detta skapa vindförhållanden som är tre gånger blåsigare än i det öppna landskapet. Tyvärr är inte denna situation, då vinden kommer ifrån en sned vinkel, berörd i experiment eller fältstudier som jag kommit i kontakt med. Kanske är situationen för komplex eller så har jag bara inte lyckats hitta de undersökningar och experiment som gjorts på området.

Isolerade & multipla kanjoner

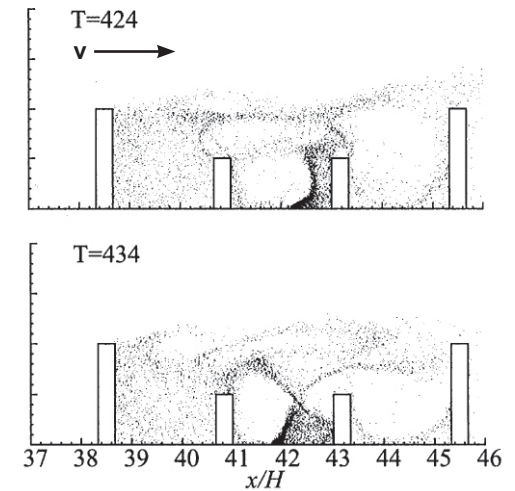
Då de flesta studierna är gjorda i två dimensionella gatukanjoner eller har bortsett från olika faktorer som till exempel bakgrundsföroreningar, konvektion inom gatukanjonen, eller den urbana friktions effekt är det viktigt att vara medveten om de brister i verklighetsförankringen som finns. Chan et al. (2003) har dock gjort simulationer som innefattar flera byggnader parallellt med varandra vilket skapar ett mer urbant förhållande. Författarna menar ändå att resultaten i stort är jämförbara med de resultat som erhöles då Chan et al. (2001) gjorde liknande experiment med en isolerad gatukanjon. Men Chan et al. (2003) påpekar att flera gaturum placerade efter varandra har inverkan på friktionen som vindflödet ovan kanjontaket möter, detta leder till att vid upprepade dimensioner och mått av gatukanjonerna kan en försämrad cirkulation i de inre gaturummen förväntas.

Bilder t. höger; förorenings spridning i en gatukanjon vid h/w 0.5 och tiden 20 resp. 900 s. Här med gatukanjoner av samma dimension placerade efter varandra (Xia & Leung 2001, p. 2041).



Skälet till att Chan et al. (2003) inte fann större skillnader i sina försök kan vara att när de varierade geometrin var detta variationer som utfördes på byggnaderna som skapade den gatukanjon som mätningarna skedde i. Liknande experiment men med varierande höjd av de närliggande gatukanjoner har Xia och Leung (2001) gjort och därigenom belyste den effekt som omkringliggande bebyggelse kan ha på klimatet på en gata. Resultaten visade att vid högre bebyggelse omkring "huvudkanjonen" kan skingringen av föroreningar förbättras jämfört med om all bebyggelse vore av samma höjd. Likaså visade författarna på att luftflödet i en gata helt kan förändras beroende på höjd och placering av omkringliggande bebyggelse, detta eftersom de påverkar ovanliggande luftflöde och kan skapa "luftbubblor" som resulterar i motsatta luftförelser ned i gatukanjonen.

Bilder t. höger; samma gaturum som bild t. vänster men här beläget mellan högre bebyggelse. Dessa påverkar luftströmningen i gaturummet och leder till att ansamlingen av föroreningar nu sker på lovartsidan. (Xia & Leung 2001, p. 2041).



Alla författarna är överens om att en bättre luftcirkulation kan frambringas genom en variation i gatans geometri, men Xia och Leung poängterar att konstellationen av omkringliggande gatukanjoner har en viktig betydelse och att mer forskning behövs på området.

Även fältstudier visar att omkringliggande byggnadsstruktur har inverkan på luftströmmarna ovan kanjon-taket och därmed även på cirkulationen i gatukanjonen. Exempelvis uppmätte Eliasson et al. (2006) en skillnad i vindstyrka i det nedåtriktad luftflöde i kanjonen beroende på om ovanströmmande luftflöde kommer ifrån öst eller ifrån väst. Detta menade författarna berodde att luftströmmen ovan kanjontaket var mer nedåtriktad när den kommer ifrån väst medan motsatta förhållande råder om östlig vindriktning dominerade. Förklaringen till skillnaderna menade Eliasson et al. (2006) var den förmodade krökning av den ovanliggande luftströmningen. De nämner dock inte om denna krökning beror

på närliggande byggnader, men det anses vara rimligt att anta i det här fallet då den stora variationen i byggnadshöjder och utformning nämndes i början av rapporten.

Objekt i gatukanjonen

Gatan är sällan helt fri från objekt, allt från träd, konst, kiosker eller busshållplatser kan ockupera delar av gaturummet och har förstås en inverkan på luftförelserna. Då merparten av undersökningarna har utförts i modeller utan några objekt i är underlaget något knapert, men Gayev och Savory (1999) experiment med olika cylindrar i gatukanjoner visar på en turbulensökning på mellan 50-200 % jämfört med en tom gatukanjon. Deras slutsats var att den ökade turbulensen som objekten ger kan användas med avsikt att öka ventilationen i en gatukanjon.

Försöken där träd används är förhållandevis få, vanligtvis finns det endast en kommentar i slutet av experimentet där man nämner att gatuträd och andra hinder med största sannolikhet har stor inverkan på luftflödena i gatukanjonen och att detta bör utredas. Några få författare har gett exempel på den verkan de anser vissa träd och trädkonstellationer har. En av dessa är Givoni (1991) som kort nämner att ett solitärt träd, speciellt med hög stam, leder till att en luftström koncentreras under kronan och ger en lokalt ökad ventilation vid marknivå.

De som gjort mer omfattande studier av gatuträds inverkan på luftflödet är Gromke och Ruck (2007) som försökt att efterlikna ”naturliga” träd i vindtunnelförsök. Deras studier kommer mer ingående att tas upp under rubriken föroreningar då målet med deras försök var att utreda hur skingringen av föroreningar påverkades av gatuträd. Men sammanfattningsvis kan man säga att

luftströmningen genom gatan avsevärt försämras om träden upptar en allt för stor del av gaturummet. Om man vill främja en god luftcirkulation är det speciellt vid vinkelrät anblåsning viktigt att träden inte sträcka sig för långt ut mot kanjonens väggar eftersom detta hindrar virvelns bildning, men även att träden inte sträcker sig över gatukanjonens tak (Gromke & Ruck 2007). Även Givoni (1991) uppmärksammar att för stora träd kan stänga av den vertikala luftcirkulationen i ett gaturum.

Däremot vid parallell vindriktning uppkommer en högre vindhastighet under trädkronorna på en allé eller ensidig trädplantering, vilket inte främjar vindskydd (Glaumann & Nord 1999), men å andra sidan ökar borttransportering av föroreningar.

Föroreningar

För att uppnå en god cirkulation på gatan och samtidigt inte skapa en miljö som är obehagliga att vistas i krävs det en del avvägningar. Turbulensen och luftströmmarna i gaturummet behövs för att skingra och transportera bort eventuella föroreningar, menar Chan et al. (2001). Men innan föroreningarnas spridning i ett gaturum och vindens roll i att skapa en miljö som är hälsosam för vistelse tas upp kommer en snabb inblick i den svenska situationen.

Tillståndet i Sverige

Trots att föroreningshalterna i luften tydligt har minskat sedan 70-talet samtidigt som de svenska städerna har en förhållandevis låg nivå av föroreningar jämfört med städer i andra länder (Bernes 1993), är det ändå en viktig aspekt att ta med i planeringen och utformning av gator.

Detta dels för att den neråtgående trenden som skedde vid exempelvis införandet av katalysator i dagsläget är på väg uppåt igen på grund av den ökade trafiken (Bernes 1993). Speciellt vid gator med hög trafikbelastning kan föroreningshalter överstiga de rekommenderade nivåerna.

Även då utsläppen i Sverige minskat kan förhållandena i en stad likväl vara illa beroende på vindriktningar och dittransporter av långvägaföroreningar. Bernes (1993) hävdar bland annat att den största delen av föroreningshalten under en inversion utgörs av föroreningar som transporterats långväga. Alltså, även om en reduktion av de lokala föroreningarnas sker kommer ändå inte hela problemet vara löst, därför är det viktigt att skapa gator och städer med god ventilation där behovet finns.

Vintertid är föroreningarna, exempelvis NO_x , från trafiken i regel förhöjd då fordon tvingas kallstarta, enligt SLB analys (2000). Ventilationen i ett gaturum är väldigt viktig där föroreningshalterna är höga. Exempelvis räknar SLB analys (2000) med att en väg från att ha varit öppen till att få bebyggelse på ena sidan förväntas ha en förändring i dygnsvärdena på +50-70 % och slutligen från enkelsidig till bebyggelse på båda sidor sker ytterligare en ökning med 20-50 %. Vidare om man ökar eller minskar hastigheten kan en minskning respektive ökning med 10-20 % vara att förvänta sig (SLB analys 2000). Däremot vid lägre hastighet minskar halten små partiklar (PM_{10}) som trafiken producerar (Uppsala kommun 2006).

Vinkelrät anblåsning

Nedan kommer vinkelrätt vindflöde mot gatukanjonen att studeras utifrån dess inverkan på förorenings-situationen på gatan. Större delen av studierna är gjorda

på förhållanden när denna vindriktning råder och möjligtvis är den parallella luftströmningen kommenterad i slutet. Detta har medfört att den vinkelräta situationen kommer att ha få en större del i kapitlet och parallell vindriktning kommer att kommenteras då information hittats.

Vidare är studier av skingring och ansamling av föroreningar i gaturum komplicerade att studera i verkligheten eftersom det är svårt att skapa stabila förhållanden och samtidigt kunna styra och variera vissa faktorer. Därför är de flesta studier inom området utförda genom numeriska modeller eller vindtunnelförsök. Detta resulterar i att det finns glapp mellan experimenten och verkligheten. Många modeller och studier är utförda som om gaturummet vore 2-dimensionellt, det vill säga utan kanteffekten inräknad. Andra, precis som DePaul och Sheih (1986) påpekar, tar inte med den turbulens som trafiken orsakar i beräkningarna. Detta kan leda till märkbara avvikelser, enligt DePaul och Sheih (1986), då trafikens turbulens kan påverka luftflödena upp till sju meters höjd i gatukanjonen.

Regim III

I en gata med vinkelrät anblåsning utvecklas som sagt en virvel i mitten av gatan och kantvirvlar vid hörnen av gatan om villkoren för regim III är uppfyllda, vilket vi nu kommer att anta. En vedertagen idé om föroreningstransporten i en gata, vars utsläppskälla ligger i mitten av gatuplanet, är; ovanifrån kanjontaket kommer ett luftflöde som redan när det passerat centrumlinjen för virveln, och börja ledas ned längsmed ena kanjonväggen, blandas med föroreningarna som släppts ut i gatans nedre del. Väl vid markplan ansamlar flödet ännu större halter när det strömmar över föroreningskällan till läsidan av gatukanjonen. Högre halter av föroreningar

kan därför hittas på läsidan, speciellt vid marknivå då luften ännu inte hunnit upp och blandats med renare luft i gatukanjonens övre del. Även kantvirvlarna är viktiga då de bidrar med en extra ventilation som gör i att koncentrationen av föroreningar är lägre mot gatans slut.

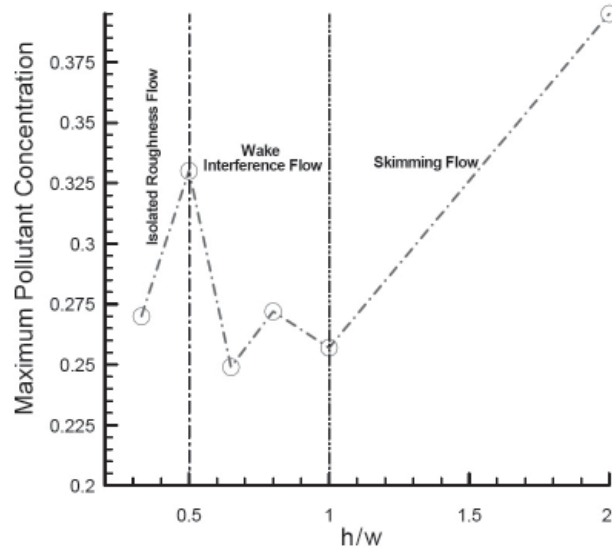


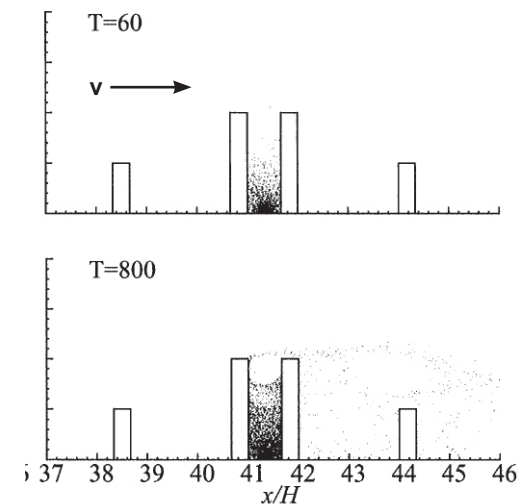
Bild t. höger; diagram visar sambandet mellan h/w och föroreningshalt. Vid vinkelrät vind är skingringen effektivast runt h/w 0.8, dvs. mellan regim II och regim III (Chan et al. 2001, p. 5687).

Mätningar gjorda på olika gator i Uppsala stöder detta. Kontinuerliga mätningar på Kungsgatan visar att sydvästra sidan har omkring 50 % högre föroreningshalter än motstående sida (SLB analys 2007; SLB analys u.å.). Även västra delen av Övre Slottsgatan uppvisar liknande företeelse med förhöjda halter av föroreningar på sydvästra gatuväggen (SLB analys 2007). Variationen i föroreningshalter mellan sidorna på gatorna beror troligtvis på att den dominerande vindriktningen över året är sydvästlig vilket skapar en vinkelrät anblåsning till gaturummen och en högre ansamling av föroreningar på läsidan (den sydvästra sidan). Även Christer Solander (2007) menar att skyddade rum och läsidan i vanliga fall har en högre koncentration av föroreningar.

Djupa gatukanjoner

Då det kan bildas två eller flera virvlar ovan varandra i ett djupt gaturum ger detta en lite annorlunda situation för borttransporteringen av föroreningar. Vid två virvlar blir den högsta koncentrationen av föroreningar avsatt lovart av gaturummet eftersom den nedre virveln roterar i motsatt riktning i förhållande till den övre (Oke 1988; Xia & Leung 2001). Då kopplingen mellan nedre och övre virveln är relativt ineffektiv vid överföringar uppåt i kanjonen resulterar detta i att utförseln av föroreningar avsevärt försvåras (Oke 1988 och Xia & Leung 2001). Svag vind ovan gatukanjonen kan leda till att den nedre virveln inte utvecklas eller ibland inte ens den övre (Oke 1988). Om även en låg stratifiering i gatukanjonen erhålls kan detta leda till stagnation i gaturummet och därmed en allvarlig försämring av luftkvaliteten (Oke 1988).

Bilder t. höger; försök som visar på hur föroreningar ansamlas i mycket djupa gatukanjoner då den vinkelräta luftcirkulationen är ordentligt nedsatt. (Xia & Leung 2001, p. 2042).



När studier av ventilationen i ett gaturum görs är det viktigt att försöka få en uppfattning om hur stor del av cirkulationen som utgörs av ”ren” inkommande luft och hur stor del som är en återanvändning av redan befintlig luft i gatukanjonen (Eliasson et al. 2006). Vid studien i Göteborg gjord av Eliasson et al. (2006) av en djup kanjon visade det sig att borttransporten av ämnen från kanjonen inte var lika illa som fall med djupa kanjoner kan vara. Detta då experiment med ballonger visade att på mindre än en minut hade över 50 % av ballongerna transporterats ut ur gatukanjonen. En del av dessa svävade ut vid sidorna av gatan och inte i mitten via virveln. Detta kan visa på kantvirvlarnas effekt och roll i luftcirkulationen och borttransporteringen av föroreningar, men författarna nämnde inte kantvirvlarnas medverkan specifikt.

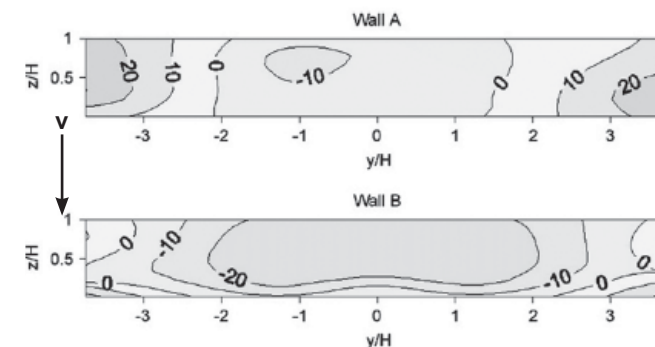
Trafikorsakad turbulens

Som tidigare omtalats är just turbulensen som trafiken orsakar något som många bortser ifrån vid modelleringar och experiment. Men Gromke och Ruck (2007) undersökte i ett vindtunnelexperiment en gatukanjon både när trafiken var i rörelse och då den var stillastående. Försöken skedde i en modellkanjon med h/w 1, l/w 7 och en vinkelrät ovan luftflöde, vilket medförde att en stabil virvel utvecklades i mitten av kanjonen och kantvirvlar vid hörnen. Slutligen för att bättre förstå bilderna bör även nämnas att vägg A är sidan som ligger i lä, medan det är längsmed vägg B vinden förs ned i gaturummet.

De noterade att i ett gaturum med dubbelriktad trafik, som hade en hastighet av 40 km/h, resulterade detta i att föroreningarna blev mer homogent utspridda. Författarna uppmätte även en minskad halt, i jämförelse med simuleringen av stillastående trafik, vid mittendelen av gatan både på

läsidan och på lovartsidan. Ökningen vid kanterna ansåg Gromke och Ruck (2007) kunde förklaras med trafik-turbulensens förmåga att transportera förorenad luft från mitten ut mot den renare luften i kanterna och vice versa.

Bild t. höger; förändring i föroreningshalt på vägg A resp. B vid dubbelriktad trafik jämförelse med stillastående trafik (Gromke & Ruck 2007, p. 3294).



Inga observationer gjordes angående förändringar i luftflödet ovan kanjontaket och författarna drog slutsatsen att turbulensen som trafiken orsakade inte var kraftig nog för att påverka ovanströmmande luftflöde. Då Gromke och Rucks (2007) gatukanjon var högre än sju meter går detta i linje med DePaul och Sheih (1986) uppfattning.

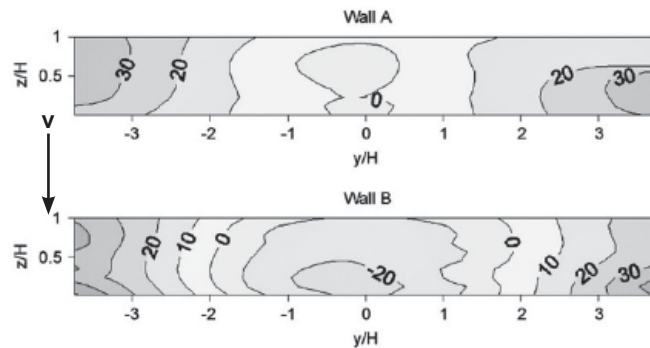
Effekter av träd i gatukanjoner

Studier av Gromke och Ruck (2007) i vindmodell visar att träd i gatumiljö påverkar spridningen och koncentrationen av föroreningar, eftersom luftströmmarna i gaturummet förändras. Deras försök utfördes både vid stillastående ”trafik” och med rörlig dubbelriktad trafik med en variation av kron diameter, stamhöjd, permeabilitet och trädstånd. Försöken skedde, som innan nämnt, i en modellkanjon med en h/w av 1, en l/w av 7 och med en vinkelrät ovan luftföring vilket medförde att en stabil virvel utvecklades i mitten av kanjonen och kantvirvlar vid hörnen. Träden, med sfäriska kronor, var placerade på centrumaxeln i gatan på rad.

Variation i krondiameter

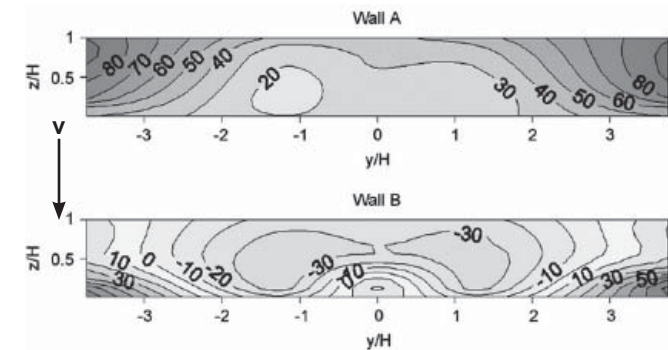
Användning av träd med en liten krondiameter, 9 meter, innebar att det fanns gott om utrymme både mellan träd-kronorna och mellan träd-kronorna och kanjonens väggar. Detta medförde att mindre men flera virvlar kunde utvecklas i gatukanjonen vilket resulterade i att endast en smärre förändring i koncentrationen och spridningen uppmättes av Gromke och Ruck (2007).

Bild t. höger; förändring i föroreningshalt på vägg vid införande av träd (Ø 9m) och stillastående trafik (Gromke & Ruck 2007, p. 3295).



En ökning i koncentrationen av föroreningar vid hörnen av kanjonen kunde dock noteras, detta förklarades med att träden i ytterkanterna i viss mån hindrade utvecklingen av kantvirvlarna och därmed förhöjdes koncentrationen här. I övrigt minskade halterna lite på lovartsidan i mitten av kanjonen eftersom träden bidrog till en viss ökning av luftinflödet från ovan.

Bild till höger; förändring i koncentrationen på väggarna A & B vid införande av träd (Ø 15) och stillastående trafik jämfört med gata utan träd (Gromke & Ruck 2007, p.3297).



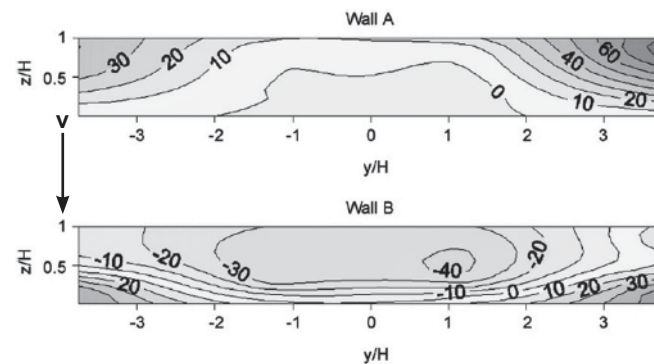
När träd med större krondiameter, 15 meter, användes medförde detta att trädens kronor nu vidrörde varandra och sammanlagt upptog ca 40 % av gaturummet. Vidare gjorde den ökade krondiameteren att endast 1.5 meter fanns tillgodo mellan träd-kronorna och väggarna på vardera sidan av träden och att träden höjde sig 1.5 meter ovan kanjonens tak. Deras sträckning ovanför kanjon-taket orsakade modifikation i luftflödet ovan kanjon-taket vilket slutligen minskade inflödet av luft i kanjonen. Detta resulterade i starkt ökade koncentrationer vid läsidan eftersom styrkan av virvlarna reducerades. Även koncentrationen i kanterna ökade betydligt, enligt Gromke och Ruck (2007), eftersom träden nu ännu effektivare hindrade kantvirvlarna från att komma in i gaturummet.

Stillastående eller rörligtrafik

Experimenten som utfördes med ”stillastående” trafik resulterade i tydligare ansamlingar av föroreningarna. Som innan nämnts konstaterade författarna att en mer homogen spridning av föroreningarna genom kanjonen skedde vid rörlig trafik. Man noterades att vid fallet av större träd medförde trafik-turbulensen en effektivare

blandning av föroreningarna under trädkronorna vilket till viss del kompenserade den blockerande effekt de större träden hade och som då ökade ansamlingen på läsidan. Viss tendens till detta kunde även ses i fallet med de mindre träden, menar Gromke och Ruck (2007), men de större träden avdelade nästan den övre delen av kanjonen från den nedre och skapade på detta vis en kanaliseringseffekt. Vidare ökade föroreningshalten lite mot slutet av gatan men inte symmetriskt, ökningen skedde vid hörnet för respektive trafikleds riktning (Gromke & Ruck 2007).

Bild till höger; förändring i koncentrationen på väggarna A & B vid införande av träd (Ø 15) och dubbelriktad trafik jämfört med gata utan träd. Jfr med bild på sid 55 (Gromke & Ruck 2007, p.3298).



Variation i trädavstånd och stamhöjd

När trädavståndet ökades från 15 meter till 20 meter noterades en tydlig minskning av föroreningskoncentration över hela gatan vid både stillastående och rörlig trafik. Dock vill jag anmärka att detta experiment utfördes endast med träden som hade en korndiameter på 15 meter vilka vid mindre trädavstånd, 15 meter, blockerade en stor del av inströmningen. Det förhöjda inflödet som ökningen av trädavstånden resulterade i berodde troligtvis på att det nu fanns utrymme mellan träden för bildning av mindre virvlar och därav en förbättrad luftcirkulation. Om samma experiment hade gjorts med de mindre träden tror jag inte att utslaget hade blivit lika kraftigt. Trädavståndet

och förbättringen av eventuell ökning av detta bör relateras till trädstorlek och gatukanjonens dimensioner. Slutsatsen kan ändå dras att en ökning av trädavståndet förbättrar ventilationen på en gata, men storleken av förbättringen varierar självklart beroende på utgångsläget.

Vidare noterades endast märkbara variationer i koncentrationen och ansamlingen vid en ökad stamhöjd eftersom detta resulterade i att trädets krona sträckte sig ovan kanjonens och de variationer som då uppstod berodde på trädets påverkan på luftinströmningen. En ökad stamhöjd, från 4.5 meter till 9 meter, utan att för den delen låta träden sträcka sig ovan kanjonens tak trodde Gromke och Ruck (2007) inte skulle påverka den generella luftströmningen i gatukanjonen. Däremot kunde variationen möjligtvis påverka mönstret av föroreningsansamlingen på kanjonens väggar.

Permeabilitet

Eftersom alla experiment innehållande träd utfördes med solida trädkronor beslöt Gromke och Ruck (2007) att undersöka vilka skillnader som uppstod då ett mer "naturoget" träd användes. För detta syfte anskaffades ett material med en porositet av 97 % för att efterlikna trädens uppbyggnad. Dock kunde inga förändringar ses som inte var av den storleken att de lika väl kunde ha berott på mätfel.

Jag tror att skälet till uteblivna förändringar är att de har använt sig av ett material som visserligen har en mycket hög porvolym, men som utgörs av en massa små hål som i sin tur skapar en friktion som måste övervinnas för att luften skall strömma igenom. Detta leder till att dessa "genomträngbara" trädkronor nästan får samma effekt

som om de vore solida. Ett material med samma porositet men av större fast färre porer skulle troligtvis komma närmare de förhållanden som naturliga träd skapar. Även materialet som trädskronorna består av är av vikt då, som innan nämnt, naturliga träd med exempelvis ludna och klibbiga löv eller skott bättre ansamlar och håller kvar stoft och föroreningar (Svensson & Eliasson 1997). I experimentet som nu utfördes använde man sig dock av en gas, men även den borde bättre stanna kvar om ytan inte är helt slät. Luftflödena mellan solida klot och mer ”trädkronliknande” kronor borde åtminstone ha en viss avvikelse vid jämförelse. Vidare bör man även betänka trädens förmåga att rena luften. Även om de i viss mån hämnar luftcirkulationen kan dess renande förmåga kanske uppväga detta. Christer Solander (2007) menar att träd kan minska föroreningarna i luften något under sommarperioden.

Vinkelrät eller parallell vind?

Vid vinkelrät anblåsning anses övergången mellan regim II och regim III vara en av de viktigare i stadsmiljö då regim III i regel är den som råder vid trånga gaturum, beroende på vindriktning. Vidare hävdar Hunter et al. (1992) att regim III bidrar med relativt dålig ventilation av gatan och att virveln i mitten har en ineffektiv förmåga att borttransportera föroreningar, värme och fuktighet. Författaren får medhåll från DePaul och Sheih (1986) som menar att en vinkelrät luftström mot gatan inte bidrar till en lika effektiv ventilation som en sned eller parallell luftström. Trots att en virvel ger en ordentlig blandning av luften i gatukanjonen är det vertikala utbytet med luften som strömmar ovan gatukanjonen relativt litet (DePaul & Sheih 1986). Detta resulterar i att föroreningarna inte borttransporteras lika

effektivt som med en parallell eller snedvind anblåsning. Överlag verkar författarna vara överens om att en sned eller parallell vindriktning bidrar till en effektivare borttransportering av föroreningar.

Solinstrålning

Innan typexemplen kommer en snabb och mycket ytlig överblick av solstrålningen och dess inverkan på gaturummet. Fast våra somrar inte är allt för långa och intensiva, södra Sverige har som mest runt 60 dagar då temperaturen överstiger 20°C (Glaumann & Nord 1993), är solinstrålningen viktig. Detta kanske speciellt då solen står mycket lågt under vinterhalvåret, i de norra delarna av landet går den inte ens upp. Solstrålningen påverkar flera viktiga faktorer i ett gaturum exempelvis temperaturstratifieringen och vattenbalansen.

Lufttemperatur & yttemperatur

Lufttemperaturen i ett gaturum är i stort sett homogent och varierar i regel mindre än 0.5°C enligt Eliasson (1996). Vidare kan yttemperaturen i ett gaturum variera betydligt mer beroende på antropogena utsläpp, material och solstrålning, men yttemperaturen påverkar endast lufttemperaturen marginellt. Runt en halv meter ut från kanjonens väggar och golv räknar man med att yttemperaturen inte påverkar lufttemperaturen via strålning (Nakamura och Oke 1988).

Vinden har en viktig inverkan på temperaturen i gaturummet, beroende på vilken vindriktning som råder ovan gatukanjonen kan temperaturen variera relativt mycket. En vind vinkelrätt mot kanjonen skapar

en virvel som visserligen blandar om luften i gatuummet lokalt men sett över hela gatan producerar den större temperaturskillnader än en parallell vind (Nakamura och Oke 1988).

Väderstreck

Stor variation i solinstrålning påträffas beroende på hur gatan är riktad. En öst-västlig gata resulterar i att norra väggen får mer strålning och därmed står för den största absorptionen av strålning vilket kan leda till mer extrema förhållanden på gatan (Nakamura & Oke 1988). Även Ali-Toudert (2005) menar att denna orientering har två kontrasterande stresszoner, medan en nord-sydlig gata har i stort sett samma förhållande över hela gatan. Vidare erbjuder en gata som är riktad nordöst-sydväst eller nordväst-sydöst mer vinterstrålning och inte lika extrema förhållanden under sommaren som de innan nämnda riktningarna av en gata (Ali-Toudert & Mayer 2006).

Vid solstrålning under vintern menar Oke (1988) att en h/w på 0.46 är lagom för städer på en latitud av 50° då detta vid 12 på dagen ger en solbelysning av runt 2/3 av den öst-västliga kanjonens väggar. I beräkningarna finns då att molnigheten i regel är relativt hög vintertid och att detta leder till en högre diffus strålning ned i den gatukanjonen. Vidare menar författaren att vid latitud 50° bör h/w absolut inte underskrida 0.4 eftersom all form av vindskydd från gatukanjonen då försvinner samtidigt som en större del av värmeeffekten från värmeöns förloras.

Bild t. höger; tabell över hur stor del av väggen riktad mot ekvatorn som är solbelyst vid kl. 12 den 23 dec. i en Ö-V orienterad gata med h/w 1 beroende på latitud (Oke 1988, p. 110).

Latitude	H/W						
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	2.0
40°	100	100	100	83	62	50	25
45°	100	98	79	66	49	39	20
50°	99	74	59	49	37	30	15

Om gatukanjonens utformning och orientering resulterar i att mycket lite ljus når ned till markplan kan man enligt Matus (1988) med fördel arbeta med reflekterande ytor på fasaderna för att på detta vis reflektera ned solljus till gatuplan. På detta sätt kan mer solljus nå ned till mycket djupa gatukanjoner men även tänkbart att ”byta” den sida av gatan som solstrålningen nås av solljus. Möjligheterna till att styra solstrålningen eftersom man även kan arbeta med böjda reflekterande material. Genom att använda böjda ytor som fokuserar solljuset kan man enligt Matus (1988) skapa ett varmare mikroklimat på en utvald plats under vintern. Risken är dock att platsen under sommaren blir allt för varm om inte reflektionen på något sätt kan styras.

Vegetationen

Även vid placering av träd bör man betänka orienteringen av gatan och gatans bredd för att se när man bör plantera, och ej plantera, med hänsyn till värmebalansen. Vid breda gator anser Ali-Toudert (2005) att en plantering av träd är fördelaktig för båda orienteringarna av en gata. Men däremot behöver man inte plantera träd på en nord-sydlig gata då tiden när denna är för varm en sommardag är kort och trädplanteringar har en viss kostnad. Däremot anser Ali-Toudert att man med fördel kan plantera träd på en öst-västlig gata för att förbättra gatuklimatet en varm sommar och då speciellt på nordsidan.

Studier i fält har även visat på den viktiga roll vegetation innehar då de upptar en stor del av strålningen i gaturummet. Exempelvis har Shashua-Bar och Hoffman (2000) uppmätt en direkt mätbar temperaturskillnad på gator med trädvegetation som ligger 0.75 till -0.5°C. Ventilationen i gatan är viktig, men även på trängre gator med vegetation var temperaturen lägre än likartade gator utan vegetation. Om då även de antropogena utsläppen medräknas, då dessa i regel är högre på hårt trafikerade gator, resulterar detta i en betydligt högre temperatursänkning som träden står för. Detta då författarna räknar med att antropogena utsläppen på gator bidrar med en 2°C temperaturökning i förhållande till gator utan denna trafikbelastning. Gatan med vegetation som vid en första anblick verkade höja temperaturen i gaturummet bidrar egentligen med en temperatursänkning på 1.25°C.

Antropogen värme och materialegenskaper

Santamouris et al. (1999) fann att värmeöns utifrån gatukanjonen de studerade låg mellan 10-14°C medan vid en jämförelse med en parallell gata med liknande geometri blev resultatet en 2°C minskning av värmeöns. Detta anser författarna beror på att den förstnämnda gatan erhåller en större mängd antropogen värme och har ett högre inslag av värmelagrade material, i detta fall asfalt. Materialens olika förmågor att lagra och emittera strålning ger en möjlighet att använda deras specifika egenskaper en medvetnare utformning. Exempelvis välja material med högre värmekapacitet till ett sittområde där man vill att materialen skall emittera en bit efter solnedgång för att på detta sätt skapa ett lite varmare mikroklimat kvällstid.

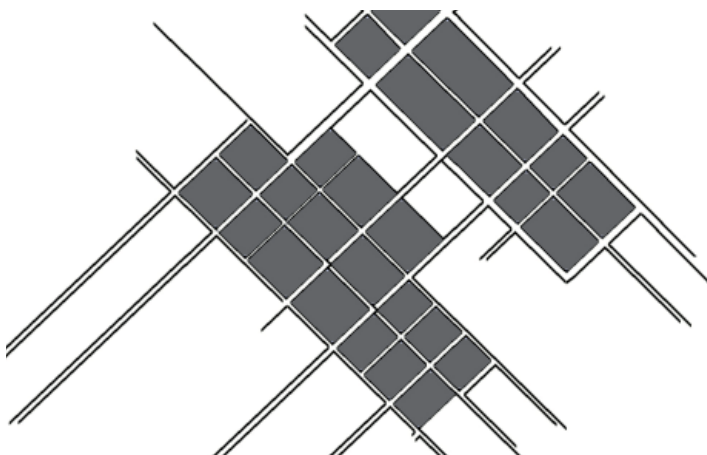


Bild ovan: exempel på stadsplan med god ventilation och genomgående gator, del av Uppsala centrum.

Stad med god ventilation

1. Genomgående gator för att leda igenom den parallella vinden
2. Gator orienterade i riktning med den dominerande vinden
3. Hög bebyggelse som kan leda ned starka vindar i området och större tomma ytor där vinden kan accelerera
4. Noggrann planering av ny bebyggelse, speciellt högre, så att denna inte blockerar eller har en negativt påverkan på cirkulationen genom staden
5. Modifiering av vegetationen och andra hinder runt staden för att främja vindens rörelse och leda in luftströmmarna i staden
6. Varsam placering av vegetation och grönområden i staden så att luftcirkulationen inte blockeras eller nedsätts
7. Kartering av eventuella lokala luftcirkulationer för att säkerställa dessa vid exploatering

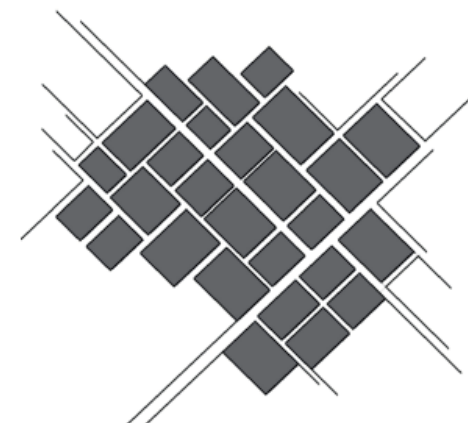


Bild ovan: exempel på stadsplan med avbrutna gator, men med genomgående gator där hög trafikbelastning förväntas.

Stad med lugnare vindförhållanden

1. Avbrutna gator i staden, utom möjligtvis de stora trafiklederna som är i behov av god ventilation
2. Lägre och jämnare bebyggelse som följer terrängen
3. Fjärrskydd i form av vegetationsbälten och markformationer som dämpar de dominerande vindarna eller den vind som anses vara mest besvärlig
4. För städer i områden med snörika vintrar är det förståndigt att placera vegetationsbälten så att dessa uppfångar en del av snön
5. En grönstruktur som fungerar som uppföljande vindskydd och lyfter vinden ovan bebyggelseområden utan allt för stora öppna och bara ytor
6. Uppföljande vegetation i staden i för att skapa färre helt fria ytor där vinden kan komma ned och accelerera

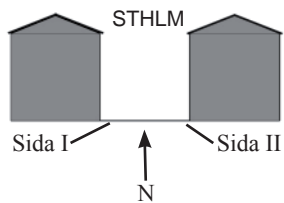
Bild nedan: typsnitt av fjärrskydd med uppföljande vegetation i staden. Framför gator parallella med vinden placeras ett mindre vegetationsskydd för att åter lyfta vinden.



Vegetationsbälte

Vegetationsbälte

Stad



Nord-Syd riktning, h/w 1

Orienteringen ger två sidor som får i stort sett samma antal soltimmar. Sida II kommer att upplevas varmare då solen står högre upp när den sidan är belyst, även luften är vid den här tiden en aning varmare och mindre fuktig.

6:e
FEB
NOV



6 nov. kl 10; solen håller på att vandra ned i gaturummet



6 feb. kl 15; solen håller på att lämna gaturummet

Under februari och november är gaturummet solbelyst ungefär 2 timmar, med lika fördelning mellan sida I och sida II

6:e
MAJ
AUG



6 maj kl 10; sida I har morgonsol



6 aug. kl 15; sida II har eftermiddagssol

Gaturummet har solnärvaro mellan 10-16 under dagen. Sida II har morgon och kvällsol, medan sidan I till större delen är solbelyst från 10-13. Mitt under dagen är nästan hela gatan solbelyst.

21:e
JUN



21 jun. kl 10; lite mer av gaturummet är belyst



21 jun. kl 15; skuggan är kortare än i maj och aug.

Gaturummet har relativt lika många soltimmar som i maj och augusti, men skillnaden ligger i att skuggorna från byggnaderna nu är mindre eftersom solen står högre.

21:e
DEC

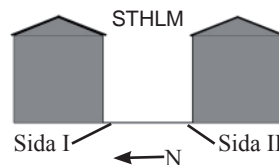


21 dec. kl 12; solen är på väg ned i gaturummet



21 dec. kl 15; gatan ligger i mörker

Vid lite efter 12 och en timma framåt når solen ned till gatan, i övrigt är gatan mörklagd från direkt solljus.



Öst-Väst riktning, h/w 1

Orienteringen av gatan kommer att resultera i att sida I får södersol vilket ger betydligt soligare förhållanden. Sida II kommer däremot att upplevas kallare och fuktigare då denna mottar betydligt mindre solstrålning.



6 nov. kl 10; ljusstrimman på sydsidan börjar synas i öst på sida I

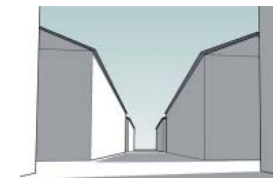


6 feb. kl 15; ljusstrimman syns nu på västra delen av sida I

Hörnen är solbelyst på sida I under morgon och eftermiddag. Vid kl 10 och 15 är de östra respektive västra hörnen av sida I belyst som mest och en solstrimma sträcker sig runt 12 meter in.



6 maj kl 10; sida I har morgonsol



6 aug. kl 12; sida I har nästan som minst sol nu

Gatan har solnärvaro 7-19. Den övervägande delen återfinns på sida I, utom de första respektive sista två timmar då sida II är belyst. De närmaste 90 cm av gatan mot sida I är belysta under större delen av dagen.



21 jun. kl 12; mer av gaturummet är belyst nu än i maj och aug.



21 jun. kl 15; sida I är mer solbelyst nu än vid 12

Gaturummet har endast cirka en timma mer solnärvaro än i maj och augusti. Men den stora skillnaden ligger i att det området på sida I som nästan konstant är belysta är nu runt 4 meter brett.

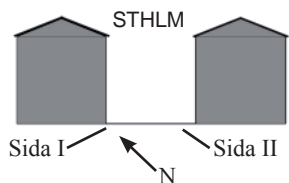


21 dec. kl 12; mitt på dagen når inte solen ned till gatan



21 dec. kl 15; ljusstrimman vandrar över västra delen av sida I

Precis som i februari och november är det hörnen på sida I som är belysta, men nu är bredden på solspalten som mest 9 meter.



Nordväst-Sydväst riktning, h/w 1

Vid en 45° vridning av gatanätet skapas ett mer jämt förhållande mellan gatorna. Detta gaturum kommer att vara belyst under morgonen fram till middagstid. Sida II är en aning mer belyst än sida I.

6:e
FEB
NOV



6 nov. kl 10; solen är på väg att börja vandra över gaturummet



6 feb. kl 15; solstrimman vandra över södra delen av sida II

Gaturummet är belyst på förmiddagen runt 40 minuter på vardera sidan. Efter 11 när ingen dirket solstrålning ned till gatan. På tidig eftermiddag belyses det södra hörnet på sida II en aning.

6:e
MAJ
AUG



6 maj kl 12; solen har just lämnat sida I.



6 aug. kl 15; sida II har just hamnat i skugga

Under maj och augusti har det södra hörnet av sida I morgonsol och vid 8.30 till 11 är hela sidan belyst. Sida II är belyst mellan 10-14.30.

21:e
JUN



21 jun. kl 12; som synes är skuggan kortare än i maj och aug.



21 jun. kl 15; sida II är ännu solbelyst

Skillnaden mellan juni och maj/augusti ligger främst i att gaturummet belyses längre in på kvällen, hela sida II är belyst ända till 16. Även skuggorna är förstås kortare.

21:e
DEC

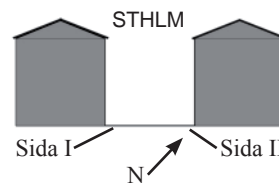


21 dec. kl 10; gaturummet ligger ännu i skugga



21 dec. kl 12; ljusstrimman har börjat vandra över sida II

Mellan 12-15 vandrar en ljusstrimma längsmed södra delen av sida II. Som mest är 12-13 meter bred.



Nordöst-Sydväst riktning, h/w 1

I motsats till förgående gata kommer den här orienteringen leda till att gatan mot tar mer sol under tidig lunch till sen eftermiddag. Sida I kommer att ha fler soltimmar än sida II.



6 nov. kl 10; solen är på väg ned i gaturummet



6 feb. kl 12; solen har börjat klättra ned i gatan

Under februari och november vandrar solen från sida I över till sida II på eftermiddagen mellan 17-16. I övrigt ligger gatan i skugga.



6 aug kl 12; sida I är solbelyst mitt under dagen



6 maj kl 15; hela gatan är solbelyst vid 15.

I maj och augusti är sida I solbelyst mellan 11-15 och sida II är solbelyst mellan 15-17 på dagen.



21 jun. kl 10; solen når ned till sida I vid 10



21 jun. kl 12; större del av sida I är belyst än i maj och aug.

I förhållande till maj och augusti är juni relativt lik, men blir belyst lite tidigare och längre, från 10-17.30.

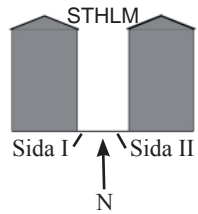


21 dec. kl 10; ljusstrimman kan knappt urskiljas på sida I



21 dec. kl 12; ljusstrimman på sida I är nu nästan som störst

I december vandrar en ljusstrimma över södra delen av sida I mellan kl 10-13. Som störst är strimman 12-13 meter bred.



Nord-Syd riktning, h/w 2

Gatunätet som nu är uppbyggt av byggnader med dubbla höjden, i jämförelse med förra solstudierna, får nu mindre solnärvaro pga de trängre gaturummen. Solen når ned i gatan vid lunchtid, plus minus någon timma beroende på årstid.

6:e
FEB
NOV



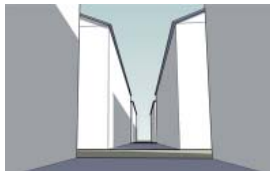
6 feb. kl 10; en solstrimma vandrar över sidan I



6 nov. kl 15; solstrimman försvinner från sida I

I februari och november går solen från sida I till sida II mellan kl 12-13 under dagen. Under övriga delen av dagen får gatan inget direkt solljus.

6:e
MAJ
AUG



6 maj kl 10; sida I börjar bli solbelyst



6 aug. kl 12; hela gatan är snart solbelyst

I maj/augusti är solen närvarande mellan kl 11-13 på sida I och kl 12.30-14 på sida II. Östra och västra hörnet på sydsidan har morgonsol respektive kvällsol. Vid lunch är nästan hela gatan solbelyst.

21:e
JUN



21 jun. kl 12; lite mer av gaturummet är belyst än i maj och aug.



21 jun. kl 15; solen är på väg att lämna sida II

Gaturummet har i stort sett samma soltimmar som i maj och augusti, men skuggan är något kortare.

21:e
DEC

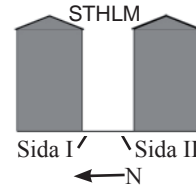


21 dec. kl 10; gatan ligger i skugga förutom en liten strimma ljus på sida I



21 dec. kl 12; gatan ligger ännu i skugga

I december når solen bara ned till gatan en kort stund vid lunchtid, mellan kl 12.30-13.

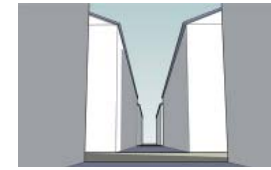


Öst-Väst riktning, h/w 2

Precis som i studien med gatan med h/w 1 blir det sida I som kommer att få större delen av solstrålningen även här. Dock inte lika länge, gaturummet får morgon- och kvällsol. Under den mörkare tiden är det endast en solstrimma som når ned.

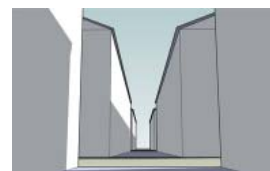


6 feb. kl 12; ljusstrimman på sida I börjar synas i öst



6 nov. kl 15; ljusstrimman syns nu på västra delen av sida I

Hörnen är belysta på sida I under förmiddagen och eftermiddag av en vandrande solstrimma. På förmiddagen nås östra delen av sida I medan västra delen av sida I belyses på eftermiddagen.



6 aug. kl 12; morgonsolen har just försvunnit från sida I

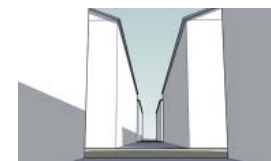


6 maj kl 15; solen är på väg ned för att belysa sida I igen

I maj och augusti är solen närvarande mellan 7-9 och sedan åter igen vid 17-19 då solen vandrar tillbaka över gatan. Mitt på dagen har gatan ingen direkt solbelysning.

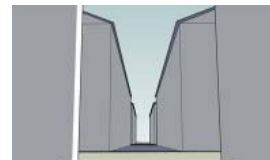


21 jun. kl 10; solen har precis lämnat sida I

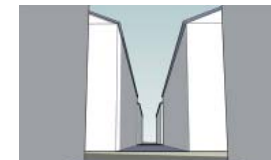


21 jun. kl 15; sida I är på väg att bli solbelyst igen

Gaturummet har cirka två timmar mer sol än i maj och augusti. Solen stannar kvar tills 10 och återkommer vid 16 innan den slutligen försvinner vid 19.

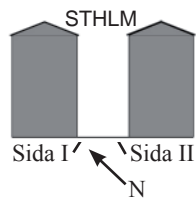


21 dec. kl 12; gatan ligger i skugga mitt på dagen



21 dec. kl 15; ljusstrimman kan knappt urskiljas på västra delen av sida I

Precis som i februari och november är det hörnen på sida I som är belysta, men solstrimman når nu inte lika långt in i gaturummet.



Nordväst-Sydöst riktning, h/w 2

Morgonsolen når senare ned i gaturummet, än vid gatan med h/w 1, då detta är trängre. Under maj till aug belyses gatan från 9-12 medan solen endast snabbt vandrar över gatan under den mörkare årstiden. Sida II blir lite mer belyst än sida I.

6:e
FEB
NOV



6 nov. kl 12; solen är på väg att vandrar över gaturummet



6 feb. kl 15; solstrimman vandrar över södra delen av sida II

Under februari/november går solen skyndsamt över gatan på morgonen vid 10. En ljusstrimma vandrar över södra delen av sida II vid lunchtid. I övrigt nås gatan inte av något direkt solljus.

6:e
MAJ
AUG



6 maj kl 10; solen har just lämnat sida I.



6 aug. kl 12; sida II är på väg att hamnat i skugga

Under maj och augusti har sida I morgonsol från 9-10.30 innan solen vandrar över till sida II som sedan är belyst till 12.30. En ljusstrimma vandrar sedan på sida II under eftermiddagen.

21:e
JUN



21 jun. kl 10; som synes är skuggan kortare än i maj och aug.



21 jun. kl 12; sida II är ännu solbelyst

Juni är förhållandevis likt maj och augusti, men gaturummet belyses lite tidigare och lite längre.

21:e
DEC

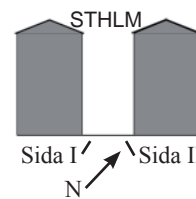


21 dec. kl 10; gaturummet ligger ännu i skugga



21 dec. kl 12; ljusstrimman har börjat vandra över sida II

I december vandrar en ljusstrimma över södra delen av sida II under middagstid, vid 13.



Nordöst-Sydväst riktning, h/w 2

Det djupare gaturummet leder att först när solen står högre på himlen belyses gatan, jämfört med h/w 1. Gatan belyses under den ljusare delen av året vid lunch till eftermiddag, medan solen i november endast snabbt rör sig över gatan på en timma. Sida I erhåller lite fler soltimmar än sida II.

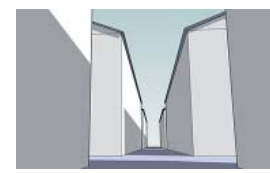


6 feb. kl 10; solen är på väg ned i gaturummet



6 nov. kl 12; solen har börjat klättra ned till gatan

februari/november går solen på knappa halvtimmen över gatan på eftermiddagen vid 16. I övrigt ligger gatan i mörker förutom den lilla ljusstrimma som vandrar över södra delen av sida I vid lunchtid.



6 aug kl 12; sida I är solbelyst mitt under dagen

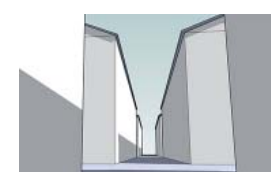


6 maj kl 15; hela gatan är solbelyst vid 15

I maj/augusti har sida I eftermiddagssol från 13-15, sedan vandrar solen över till sida II som belyses fram till 16. En ljusstrimma vandrar över södra delen av gatan, sida I på morgonen och på sidan II på eftermiddagen.



21 jun. kl 10; solen har ännu inte nått gatan



21 jun. kl 12; skuggan är kortare än i maj och aug.

Skillnaden mellan juni och maj/augusti ligger främst i att gaturummet blir belyst lite tidigare och lite längre.



21 dec. kl 12; ljusstrimman kan knappt urskiljas på sida II



21 dec. kl 15; gatan ligger i skugga

I december vandrar en ljusstrimma över sida I vid lunchtid och den är som störst runt 11 meter bred.

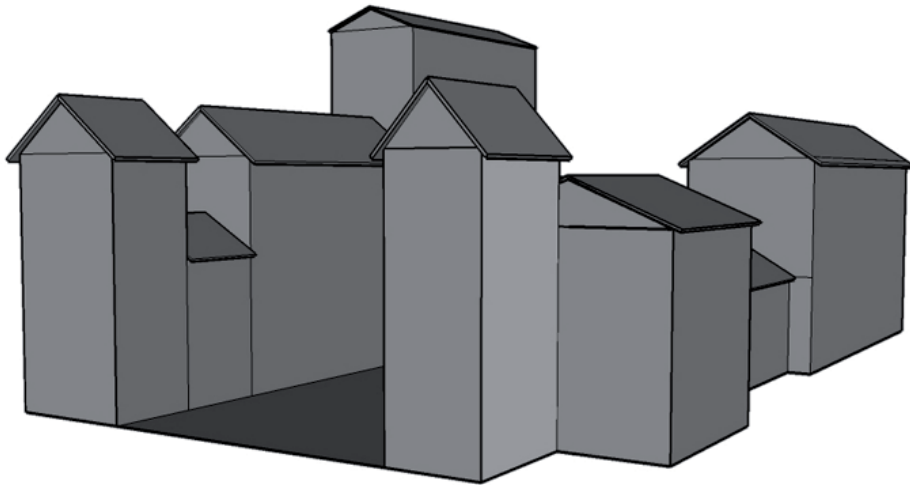


Bild ovan: exempel på en modell av en gata med god luftcirkulation

Gata med god luftcirkulation

1. Stor variation i byggnadshöjder
2. En variation i bredd för att skapa en vidd av friktionslängder och därmed mer turbulens
3. Höga byggnader i hörnen för att skapa starkare kantvirvlar
4. En gatulängd som ligger runt 5x byggnadshöjden för att uppnå den optimala effekten av kantvirvlarna över gatan
5. Ett h/w som är högt om parallell vind dominerar, för att fånga in och accelerera vinden längsmed gatan
6. Ett h/w som är runt 0.7 när den dominerande vinden är vinkelrät för att främja situationen mellan regim II och regim III.
7. En h_2/h_1 kvot som i den dominerande vindriktningen ligger antingen under 1 (optimalt vid 0.5) eller 2

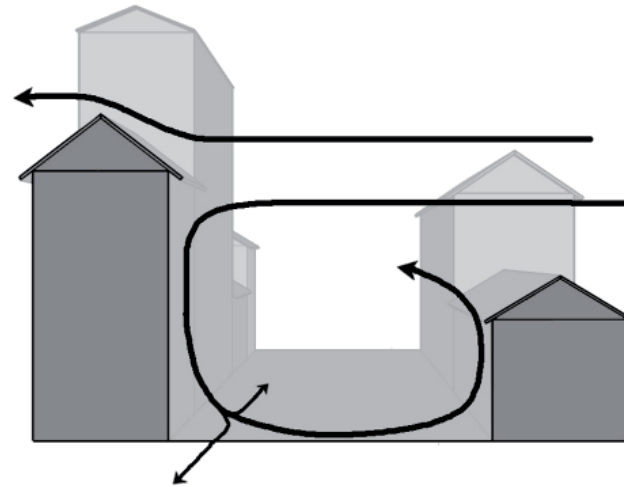
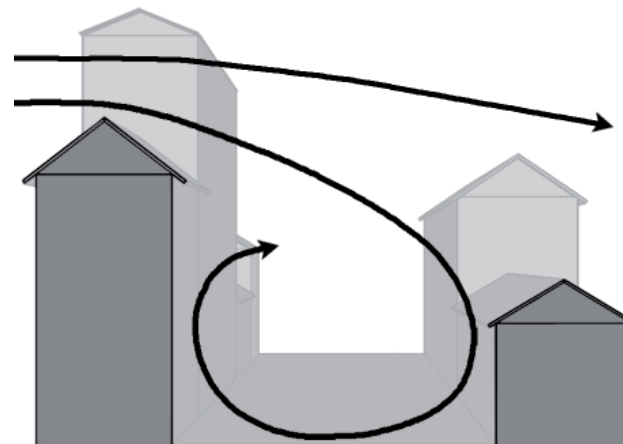


Bild ovan: luftflöde vid $h_2/h_1 = 2$

En vinkelrät vind från högra leder till att vinden leds ned längsmed den högre byggnaden men väl i gatukanjonen blockerar den högre byggnaden utflödet vilket resulterar i att luften trycks ut längsmed gatan tills den når gatans eller byggnadens hörn.

Observera att de luftflöden som pilarna symboliserar i detta kapitel är antagna av mig och grundande på de studier som presenterats i fögående kapitlen.

Bild nedan: luftflöde vid $h_2/h_1 = 0.5$



När luftflödet kommer från motsatt håll resulterar kvoten h_2/h_1 i att vinden på det mest effektiva sättet leds ned i gatukanjonen samtidigt som den lägre byggnaden inte blockerar utflödet av luften.

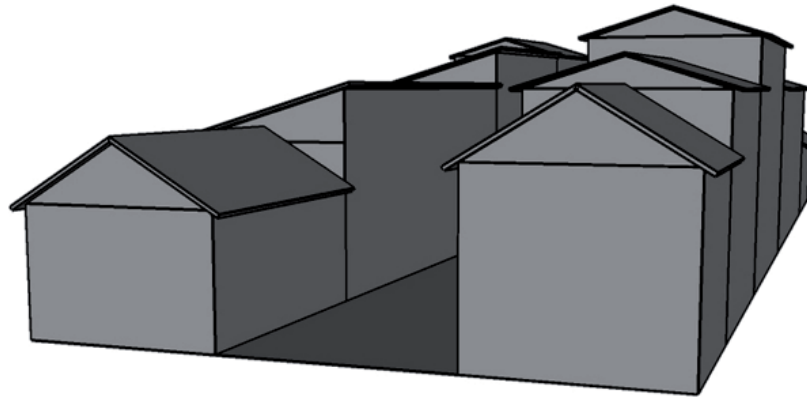


Bild ovan: exempel på modell av ett lugnt gaturum

Gata med lugnare förhållanden

1. Byggnader av relativt likartade höjder
2. Nedtrappning av byggnadshöjd mot slutan av gatan för att skapa en struktur som resulterar i mindre motstånd för både den parallella och den vinkelräta vinden
3. Lägre hörnbyggnader för att minimera kantvirvlarnas effekt
4. En gatulängd som antingen överskrider eller underskrider 5 x byggnadshöjden
5. Ett h/w som är lågt om parallell vind är dominerande och hög om vinkelrät vind dominerar
6. Ett h_2/h_1 som i den dominerande vindriktningen ligger runt 1.2 för att uppnå stagnation i gaturummet
7. Rundade hörn för att minimera kantvirvlarnas utbredning

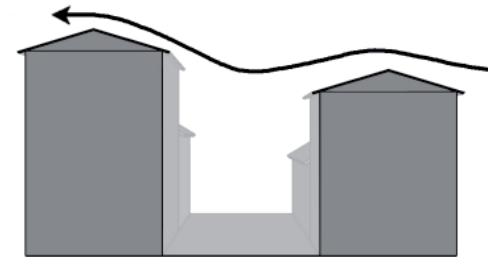


Bild ovan: luftflöde vid $h_2/h_1 = 1.2$

Bilden illustrerar en luftströmning där en lägre byggnad nedströms ger ett h_2/h_1 förhållande som ligger runt 1.2. Detta resulterar i en skjuvnings effekt mellan UBL och UCL, vilket ger en stagnation i gaturummet.

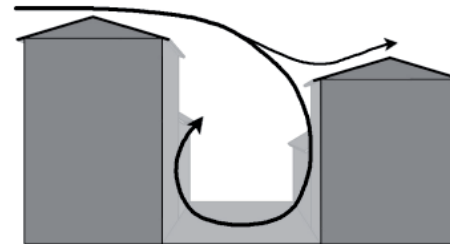
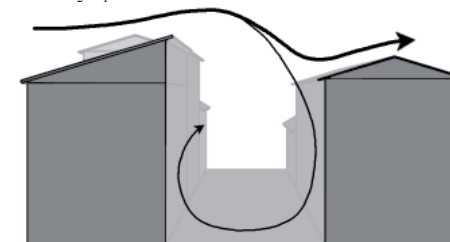


Bild ovan: luftflöde vid $h_2/h_1 = 0.8$

Vid en vindriktning från andra hållet kommer delar av vinden ledas ned då h_2/h_1 nu är 0.8. Hur långt ned i gaturummet virveln sträcker sig beror på kvoten h/w .

Bild nedan: luftflöde vid modifiering av tak, $h_2/h_1 \approx 1$



Om man vill försöka minimera luftinflödet kan man göra detta genom att modifiera taket. Vinden kommer nu inte att vika av nedåt lika tidigt som om man använt ett "traditionellt" tak.

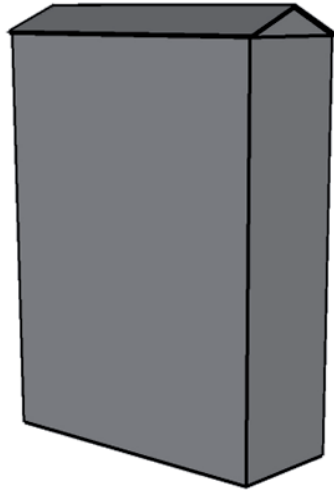


Bild t. höger: exempel på modell av en hög byggnad

Hög bebyggelse

1. Bebyggelse över 6 våningar eller som är mer än dubbla höjden av motstående bebyggelse kan leda till blåsigare vindförhållanden vid markplan
2. Vindar från högre höjder leds ned längsmed fasaden
3. Då den högre bebyggelsen blockerar utflödet pressas luften längsmed gatan och strömmar ut vid gathörnen eller där den högre bebyggelsen slutar
4. Då vinden blockeras kan detta även leda till att den bildar en "bubbla" som fälls ned i gaturummet uppströms. Detta påverkar förstås gaturummet uppströms och kan även inverka på dess eventuella halt av föroreningar beroende på vad "bubblan" innerhåller
- 5 Vid motsatt dominerande vindriktning når dock vinden ej ned i gaturummet.
6. Vid parallell vind i gaturum som består av hög bebyggelse dras vindar från högre höjden ned och vinden accelererar längs med gatan

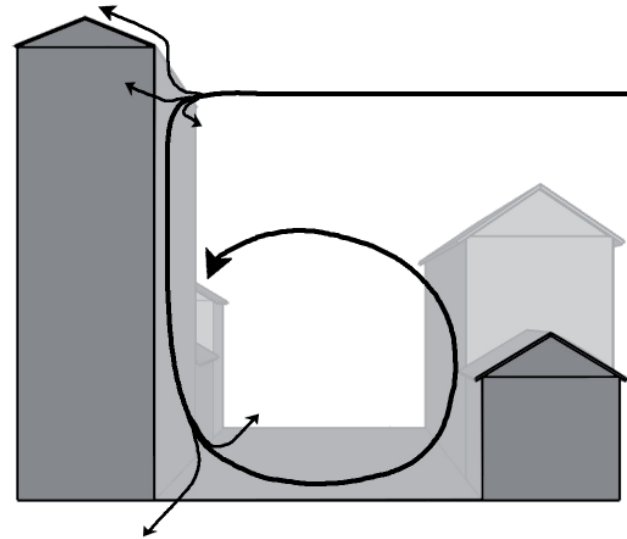
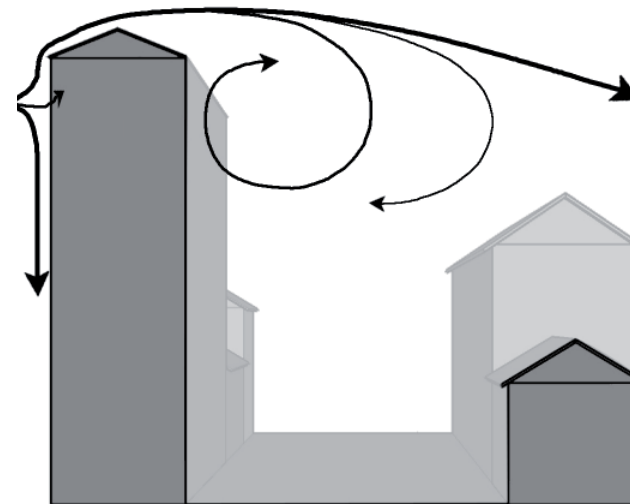


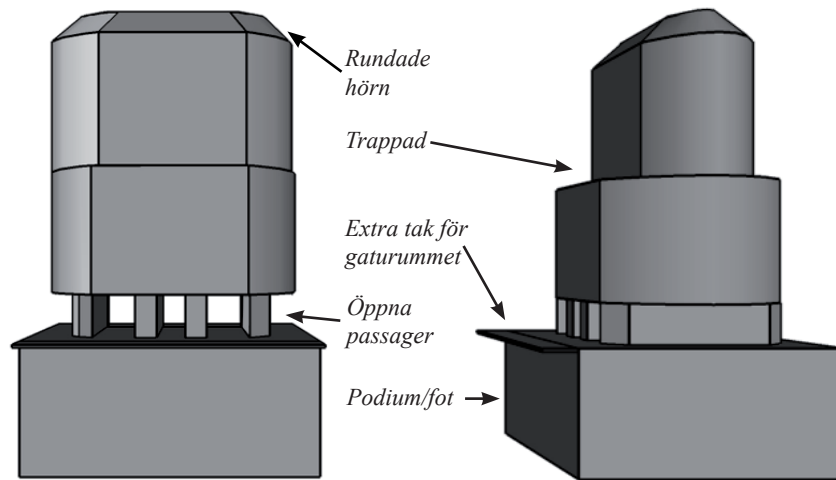
Bild ovan: hög byggnad som leder ned vindar i gaturummet

En stagnationspunkt uppstår ca 3/4 upp på byggnaden varifrån stora delar av luftströmmarna kommer att ledas ned i gatukanjonen. Vål i gatukanjonen hindrar den högre byggnaden utflödet och luften tvingas ut längs med sidorna av den högre byggnaden och längs med gatan.

Bild nedan: hög byggnad som skapar ett vindskydd för gaturummet och hindrar luftcirkulationen att nå ned.



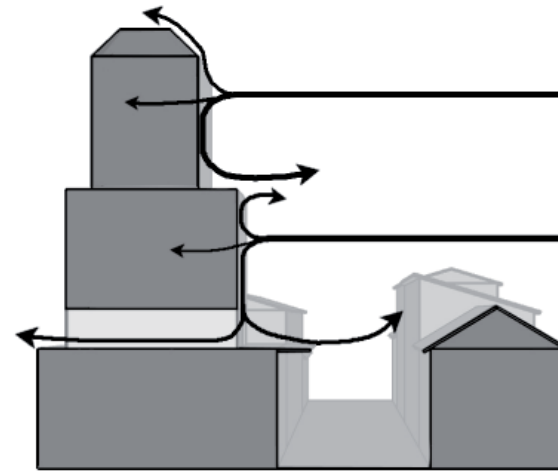
Den högre byggnaden leder till att vinden inte kommer ned i gatukanjonen då skillnaden i byggnadshöjd är allt för stor. I gatukanjonen nedströms kan man däremot förvänta sig en luftcirkulation. Detta visar på att en hög byggnad i ett gaturum inte alltid leder till en förhöjd luftcirkulation, utan kan till och med ge en motsatt effekt.



Bilder ovan: exempel på modell av en vindanpassad hög byggnad

Modifierad hög bebyggelse

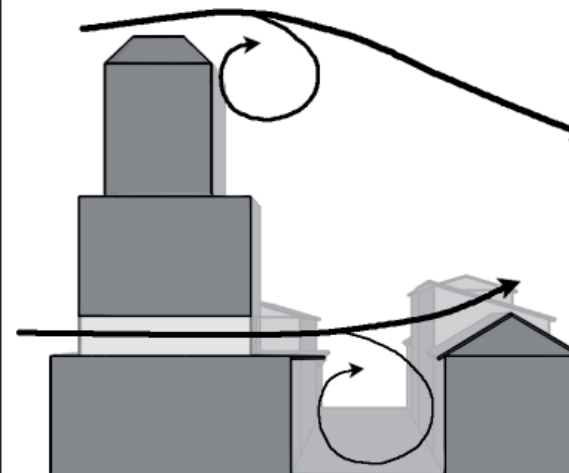
1. Låt de 2-3 första våningarna utgöra ett podium till resten av byggnaden
2. Trappa byggnaden så att vind från höga höjder inte leds hela vägen ned
3. Arbeta med mer aerodynamisk design, exempelvis rundade former
4. Öppna passager genom byggnaden så att vinden kommer igenom och inte måste ned mot gatan
5. Komplettera eventuellt med ett utstickande tak för att leda vindarna ytterligare bort från nedre delen av gatukanjonen
6. På gatunivå kan vindskyddet ytterligare förbättras genom att exempelvis arbeta med trädplanteringar



Bilder ovan: luftcirkulationen runt en nedströms vind-modifierad byggnad

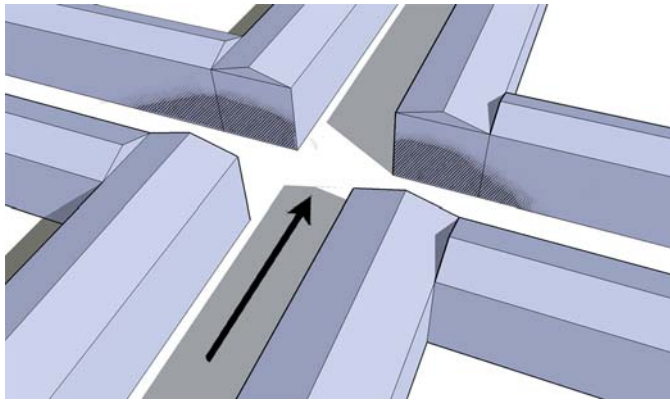
Trappningen leder till att inte all vind leds hela vägen ned. Podiet som de första våningarna utgör ger ett skydd åt gaturummet, vilket förstärks av det extra taket. Öppningarna i byggnaden leder till att delar av vinden kan passera genom byggnaden. De rundade och mer aerodynamiska utformningen leder till att en större del av vinden leds runt byggnadens kanter med mindre turbulens. En komplettering med träd i gaturummet skulle leda till en relativt skyddad miljö för fotgängare.

Bilder ovan: luftcirkulationen runt en uppströms vind-modifierad byggnad



Vid motsatt vindriktning kan öppningen i byggnaden resultera i att en viss del av vinden leds ned i gaturummet. Detta beror på hur man utformar extra taket, den motstående byggnadens höjd och gatans h/w. I exemplet till vänster kommer troligen, om något, endast en lite del av vinden komma ned i gaturummet. Överlag ger byggnaden mindre vindpåverkan i alla riktningar.

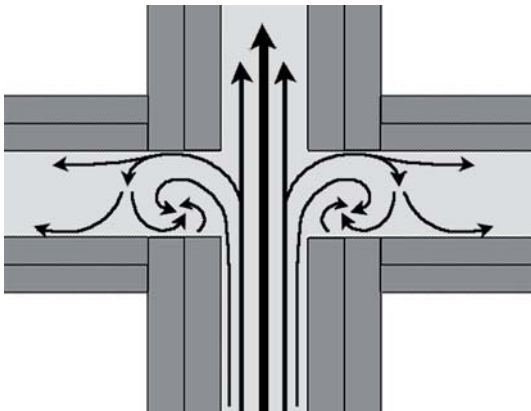
Bild t. höger: modell över korsning där den parallell gatan har hög trafikbelastning vilket medför att föroreningar även kommer att ansamlas på korsande gata där skrafferingen är.



Kanteffekter

1. I gaturum med vinkelrät vind och högtrafikbelastning får kantvirvlarna en viktig roll i ventilationen av gatan.
2. De kan skapa otrevliga förhållanden för fotgängare då dess hastighet kan vara betydligt högre än omgivande vindars
3. En viss osäkerhet råder i dess påverkan på virveln i mitten av gaturum vid vinkelrät vind.
4. Ju högre byggnadshöjd vid gathörnen desto starkare kantvirklar

Bild nedan: skiss över kantvirvlarnas utvecklingsmönster



Plan visar på hur kantvirvlarna utvecklas vid gathörnen. Samma fenomen kan ses vid öppningar i vindskydd eller öppningar i bebyggelse, men utredningen av kantvirvlarna varierar beroende vilket utrymme då får och vilken kraft de har. I fallet av en gata är de beroende av gatans h/w, byggnadernas höjd, och gatans längd i förhållande till resten av dess geometri.

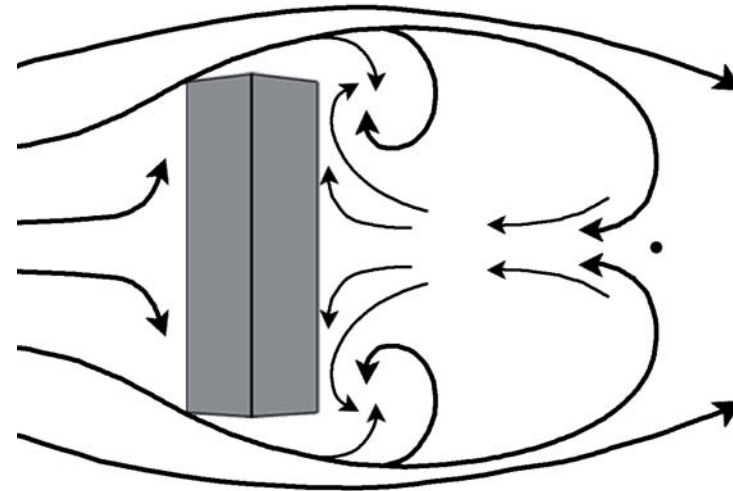


Bild t. vänster: vakområdet och kantvirvlarnas utbredning vid en "traditionell" byggnad

Beroende på hur objekten är utformade kommer de att påverka luftströmningen mer eller mindre. För att få en liten störning, små kantvirklar, minimal turbulens runt objektets kanter och litet vakområde bör man sträva mot en laminär strömning runt objektet.

Nedan kan man se att en mer rundad form ger mindre turbulens och kantvirklar men även ett mindre vakområde än på bilden ovan som visar på en rektangulär byggnad. Vakområdets djup beror även på kvoten h/l, ju högre kvot desto djupare vakområde.

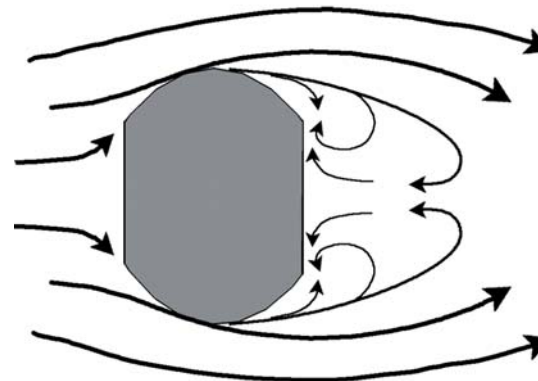


Bild t. vänster: då byggnaden har mer rundade former kommer vinden i större utsträckning, än i exemplet ovan, att följa byggnaden och inte tvingas släppa kanten lika fort. Detta resulterar i en mindre vak och mindre kantvirklar.

Träd i gaturum

Om förutsättningar som träd behöver uppfylls kan de bidra med att förbättra miljön i gatan väsentligt. Beroende på art och placering kan man skapa olika förhållande i gatan. Valet mellan lövträd och städsegröna träd, så som barrträd, beror på vad man vill uppnå och vilka behov och krav som finns. Till exempel om gatan är relativt liten och vintersol skattas högt är lövträd att föredra framför vintergröna arter.



Bild t. höger; exempel på mindre prydnadsträd

Bild längst t. höger; högstammigt gatuträd

Artval

Lövträd:

1. Ger bra skugga sommartid och god möjlighet till vintersol
2. Den vindsyddande förmågan är nedsatt efter det att löven fällt
3. Ej lika känsliga för föroreningar som barrträd
4. Uppbyggnad och bladstruktur är ytterst viktig vid luftrening. För att uppnå en effektiv stoftansamling bör arten ha håriga, skrovliga eller klubbiga blad och skott.
5. Även vid skuggning är uppbyggnad och bladstruktur viktig.
6. Många arter med varierande struktur och storlek att välja på

Barrträd:

1. Barrträd är i regel mer känsliga för föroreningar
2. Bättre på att ansamla stoft än lövträd
3. Ger bra vindsydd under hela året
4. Hindrar vintersolen i högre grad än lövträd
5. Få arter att välja på för gatumiljöer
6. Få vintergröna träd (som ej är barrträd) som klarar sig i växtzon III och över

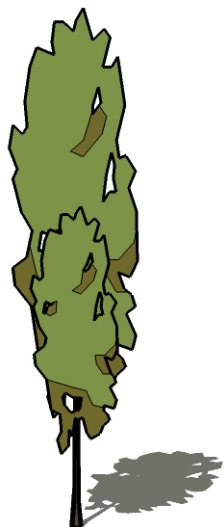
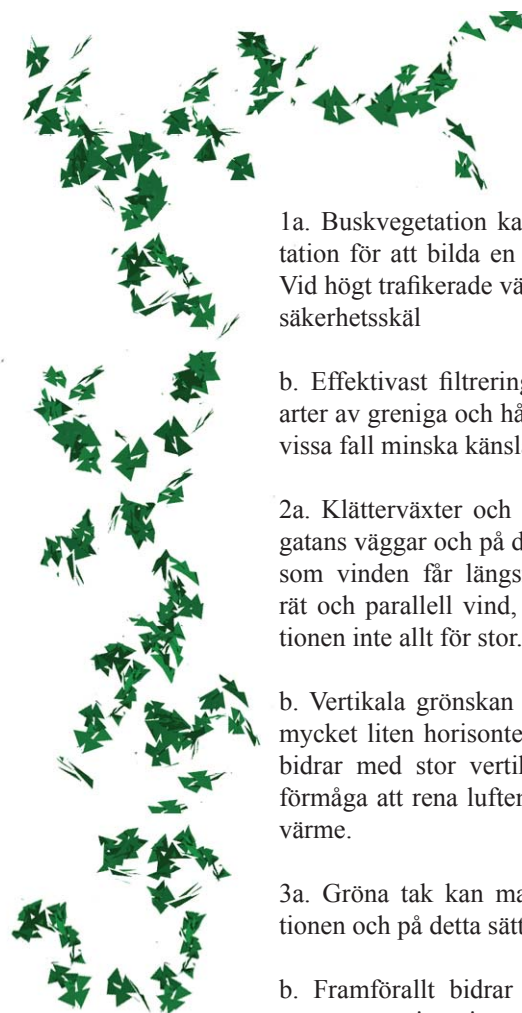


Bild ovan; smalkronigt träd

Busk-, klätter- och takvegetation

Det finns mycket mer än trädvegetation att arbeta med i gaturum både som komplettering och kompensering.



1a. Buskvegetation kan med fördel placeras under trädvegetation för att bilda en filtrering mellan trafik och fotgängare. Vid högt trafikerade vägar kan ett stängsel placeras i mitten av säkerhetsskäl

b. Effektivast filtrering sker vid högre buskagebestånd med arter av greniga och håriga eller städsegröna. Detta kan dock i vissa fall minska känslan av säkerhet och trygghet i området.

2a. Klättrväxter och gröna paneler kan med fördel bekläda gatans väggar och på detta sätt ge en viss ökning av friktionen som vinden får längsmed väggarna. Påverkar både vinkelrät och parallell vind, men i regel är effekten på luftcirkulationen inte allt för stor.

b. Vertikala grönskan har en stor fördel i det att den upptar mycket liten horisontellt utrymme i gatan samtidigt som den bidrar med stor vertikal grönyta. Den har även förstås en förmåga att rena luften och sommardag bidra med ökad latent värme.

3a. Gröna tak kan marginellt öka friktionen för luftcirkulationen och på detta sätt något minska vindhastigheten.

b. Framförallt bidrar takvegetationen med en "luftrening", temperaturutjämnning och omhändertagande och rening av nederbörd.

Bild ovan; exempel på klättrväxt

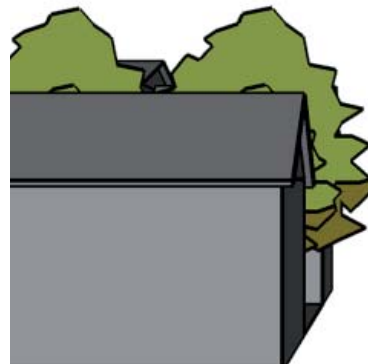


Bilder ovan: trädplantering och placering som ger reducerad vindcirkulation

Vegetation för lugn gata

Det finns ett antal aspekter som man bör ha i åtanke innan man bestämmer vilken slags utformning och vindcirkulation man vill skapa.

1. Gatans funktion; det som kanske främst bestämmer om det är lämpligt att försöka skapa en lugnare gata. Om gatan har liten trafikbelastning och i huvudsak används av fotgängare och/eller cyklister kan det vara passande att försöka skapa en lugnare miljö.
2. Gatans placering i förhållande till den dominerande vindriktningen; det är fullt möjligt att i stort sätt blockera det vinkelräta inflödet av luft i ett gaturum men betydligt svårare om en parallell vindriktning dominerar.
3. Övrig vindriktning; kanske är det inte den dominerande vindriktningen över året som anses värst utan den som är över året ovanlig fast besvärande under vintern
4. Gatan i det större sammanhanget; ovanstående punkter kan vara tillfredsställda, men gatan i sig är ett viktigt stråk för ventilationen till en närliggande hårt belastad gata och bör kanske därför inte projekteras så att luftcirkulationen nedsätts
5. Gatans orientering; vilka områden på gatan har lite solbelysning respektive mycket. Var vill man vistas och vilka ljusförhållanden vill växtvalet ha? Får växter plats och vilka kan klara omständigheterna?



Bilder ovan: utstickande träd vid gatans slut

Bild nedan: träd som sträcker sig ovan gatukanjonens tak

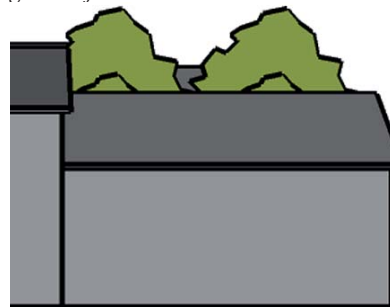


Bild nedan t. vänster: träd som nästan når ut till kanjonväggarna.

Bild nedan t. höger: kortare trädstånd med kronor som når varandra



1. Vegetationen kan med fördel "sticka ut" lite utanför gaturummet för att på detta sätt hindra utvecklingen av kantvirklar

2. Träden får gärna sticka upp ovan kanjon-taket för att på detta sätt minska inflödet av luft i gaturummet

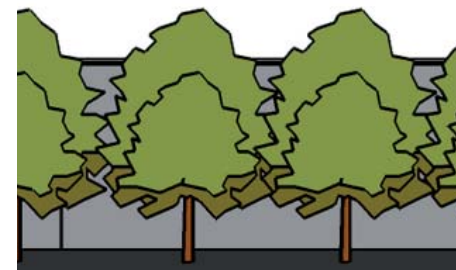
3. En tätare placering av gatuträd motverkar bildningen av virklar i gatan vid vinkelrät vind mot gaturummet.

4. Trädkronor som lämnar lite fritt utrymme mot kanjonväggarna och upptar en stor del av gaturummets volym motverkar också bildningen av virklar i gaturummet

5. Parallell vind är mycket svår att påverka eller hindra i gaturummet, en tät trädplacering kan leda till högre vindar under trädkronorna.

6. Klätterväxter och paneler kan med fördel komplettera vegetationen i gaturummet och då även skapa en större friktion för vinden längs med kanjonväggarna, speciellt runt gathörn för att minska kantvirvlarnas utbredning.

7. Gröna tak kan även de användas för att skapa en marginellt högre friktion över taken



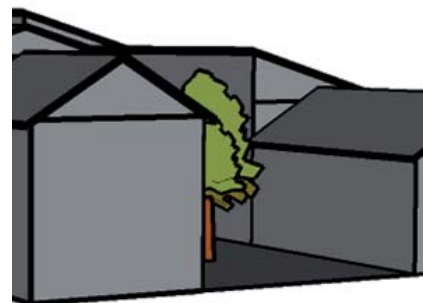


Bilder ovan: trädplantering och placering som ger god vindcirkulation

Vegetation i gata med god ventilation

Det finns ett antal aspekter som man bör ha i åtanke innan man bestämmer vilket slags klimat man vill skapa på gatan.

1. Högt trafikerade gator eller gator som av andra anledningar har höga föroreningshalter är i stort behov av en god ventilation för att hindra en ansamling av föroreningar i gaturummet.
2. Gatans placering i förhållande till den dominerande vindriktningen; om den är parallell utgör små träd i regel inget problem, men om vindriktningen är vertikal kan även små träd i gatan (beroende på gatans dimension) ha en märkbar påverkan på cirkulationen.
3. Övrig vindriktning; föroreningarna i gatan kanske endast är betydande under en viss period av året och då är det främst den vindriktningen som råder vid den tiden som man bör inrikta sig på att inte hindra allt för mycket.
4. Gatans vind vid hög föroreningsrisk; beroende på vindriktning kan föroreningarna ansamlas i olika delar av gatan. Lokalisera dessa områden och antingen avleda fotgängare från denna del och/eller placera eventuell växtlighet här som då kan ansamla/rena stoft och föroreningar
5. Träd måste inte stå i rad, ibland får det inte plats och då kan placeras i grupp eller där en byggnad exempelvis är indragen eller helt enkelt inte plantera några. I detta fall kan klätterväxter och annan vertikal grönska få en ännu viktigare roll.



Bilder ovan: indraget träd vid gatans slut

Bild nedan: gott med utrymme mellan träd och kanjonvägg

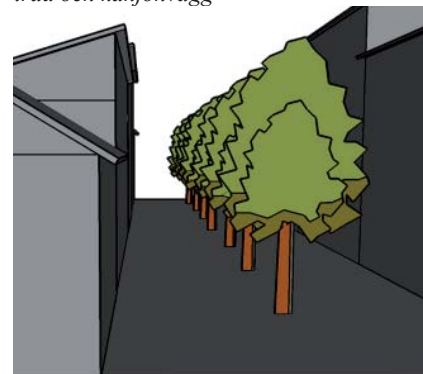
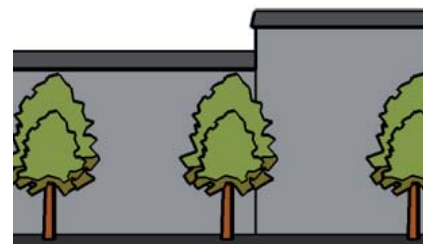


Bild nedan: större träдавstånd som främjar virvlarnas utveckling



1. Vegetationen bör placeras en bit in i gaturummet för att på detta sätt låta kantvirvlarna utvecklas
2. Träden bör inte sticka upp ovan kanjonens tak, men ett mindre träd i gaturummet kan öka inströmningen av luft
3. Trädavståndet bör vara sådant att virvlarna har möjlighet att utvecklas mellan träden
4. Trädkronor bör inte uppta en allt för stor del av gaturummet och man bör även se till att det finns gott om plats mellan trädkronorna och kanjonväggarna för att underlätta för luftcirkulationen
5. Träden bromsar i viss mån upp den parallella vinden, men kan även resultera i en vindacceleration under trädkronorna. Vid mindre träd kan skingring av föroreningar vertikalt vara högre än vid användandet av större träd då mindre träd inte avdelar gaturummet i samma grad.
6. Objekt i gatukanjonen, vilket gatuträd är, resulterar överlag i en ökad turbulens
7. Gröna väggar och klätterväxter kan med fördel placeras där större föroreningsansamlingar kan förväntas
8. Gröna tak fungerar som luftrenare och hindrar knappt luftflödet in och ut från gatan

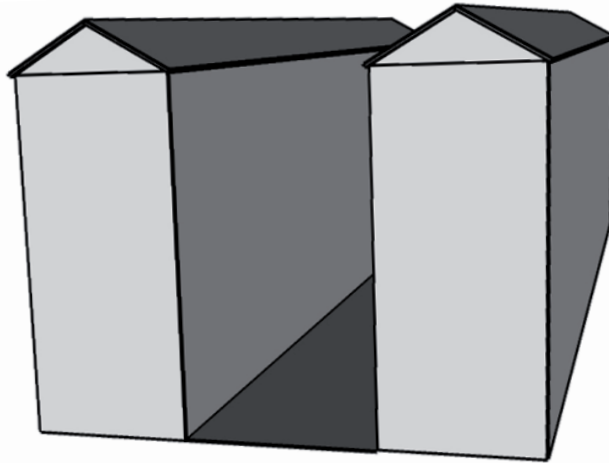


Bild till höger: typex-tempel på smal gata med $h/w \approx 2$

Djup och smal gata

Det finns två typer av gator som urskiljer sig en del från de redan nämnda och det smala och djupa gaturummet, med ett h/w på runt 2, är ett av dem. Gatukanjonen har en ordentligt nedsatt ventilation om vinden kommer vinkelrätt mot, däremot den parallella vind accelererar genom gaturummet.

Gatan har generellt svårt att transportera bort föroreningar från gaturummet vilket leder till att extra mån bör läggas på att inte hindra luftcirkulationen om gatan har hög trafik. Vid vinkelrät vind ansamlas föroreningar i nedre delen av gaturummet medan de sprids mer jämt vid parallell vind.

Om det är svårt att få plats med större vegetation i gatan är det viktigt att inte sluta när man konstaterat att träd inte får plats. Det gäller då att arbeta ännu mer med vertikal grönska, paneler, gröna tak och lägre buskvegetation som tar mindre utrymme samtidigt som det rena luften, ansamlar stoft och ökar kvoten latent värme i gatan. För luftcirkulationen i gaturummet har vertikal grönska och gröna tak minimal påverkan. Kanske bör man inte placera den vertikala grönskan direkt vid hörnet av gatan om grönskan har en större volym.

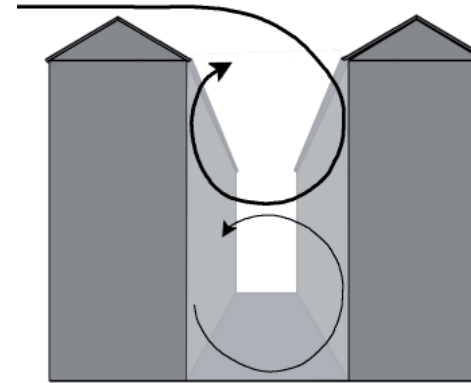


Bild ovan: luftcirkulationen i ett gaturum med $h/w = 2$

Luftströmmen ovan kanjontaket kommer inte att nå ned mer än $1/3-1/2$ i gaturummet. Beroende på vindens hastighet ovan och stratifieringen i gaturummet kan en andra virvel utvecklas under den övre. Den sekundära virveln snurrar i motsatt riktning och kopplingen mellan nedre och övre virveln är dålig.

1. På grund av dess höga h/w har gatan i regel relativt skralt med direkt solstrålning, detta kan till viss del kompenseras med den ökade diffusa strålningen som ytterligare kan spå på med hjälp av reflekterande fasader.

2. En stad till större delen uppbyggd av gator med smala och höga gaturum har i regel ett varmare stadsklimat, det vill säga en större värmeö.

3. Överlag har smala gator dåligt ventilation. Vid dubbel virvel kommer ansamlingen att ske på vindsidan.

4. Kan vara svårt att få plats med större vegetation så som träd även om man använder arter med smala trädkronor eller pelarformade träd. En övergång från allé till strödda träd eller helt slopa träd i gaturummet kan vara en lösning.

5. Vertikal grönska, gröna tak och gröna paneler eller hängande grönska från ovanliggande terrasser eller balkonger får en viktigare roll då träd inte får plats för att på detta sätt i den mån det går ansamlas stoft och rena luften samtidigt de under sommaren bidra med ett mer behagligt klimat.

6. Om gatan i fråga är en gågata och utsatt för otroligt blåsig förhållanden, speciellt parallella vindar, kan en radikal återgård vara att "glasa in" gatan. Detta har skett på flera ställen i England.



Bild ovan: exempel på smal gata med sidoförskjutning där smalkroniga trädsorter har placerats på de överblivna ytorna mellan parkeringsplatser. 6:e maj kl 13, N-S gata, h/w 2.

Smal högratifierad gata

Speciellt smala gaturum där belastningen på luften är stor, beroende på exempelvis högt trafiktryck, är vindcirkulationen viktig. Om parallell vind är dominerande kan man med lugn placera smala träd i gaturummet, om plats finns. Men vid vinkelrät vind bör man betänka att dessa träd kan påverka den redan nedsatta cirkulationen och utbytet mellan de två vortexvirlarna. Möjligtvis gör den sämre överföringen mellan virvlarna att trädens närvaro, som till viss del hindrar cirkulationen, kompenseras av trädens "luftrenande" förmåga.

Det yttersta trädet bör placeras en bit in för att inte påverka kantvirlarna, i vissa fall bör kanske till och med det yttersta trädet slopas. Träd med mindre krona eller pyramidformade kan med fördel användas i smala rum eftersom de ger luftcirkulationen mer utrymme än träd med bredare krona.

Då träden är utsatta sporadiskt där plats och utrymme finns kan man med fördel kombinera detta med en låg undervegetation då detta inte bildar ett fortlöpande hinder genom gatan för luftcirkulationen.



Bild ovan: liknande gata som bild till vänster illustrerar, men utan sidoförskjutning. Även här är cykelvägen avskild från fordonstrafiken. 6:e maj kl 13, N-S gata, h/w 2.

Den vertikala grönskan får i dessa gaturum en framträdande roll då den inte kräver samma horisontella plats och ändå bidrar med stor yta vegetation. Beroende på hur hög halten av föroreningar är i gaturummet kan man arbeta med vegetation mer eller mindre nära gatuhörnen.



Bild till vänster: samma gaturum som bild ovan visar, men med kompletterande vegetation i form av undervegetation till träden och vertikal grönska. 6:e maj kl 14, NÖ-SV gata, h/w 2



Bild ovan: gaturum med vegetationsfyllda luckor. 6:e maj kl 14, N-S gatan, h/w 2

Smal lågtrafikerad gata med luckor

Här har byggnadernas placerats så att luckor bildats, då vissa byggnader är indragen i förhållande till de andra. Dessa luckor kan användas för att införa större vegetation i gaturummet.

Bild nedan: samma gaturum som bilden ovan visar, men med kompletterande vertikal grönska och undervegetation till träden. 6:e maj kl 14, N-S gata, h/w 2



På illustrationerna visas en gata där större träd placerats i luckorna medan ett träd med smalare krona valts till själva gaturummet. Träden i gaturummet står placerat utstrött där glapp mellan parkeringsplatserna bidragit till utrymme.

Gaturummet kan kompletteras med vertikal grönska och undervegetation till träden för att ytterligare bidra med mera vegetation för att filtrera luften och skapa ett behagligare klimat. Med fördel väljs städsegröna arter till den vertikala vegetationen och den låga vegetationen.

Gaturum med mer trafik kan utformas på liknande sätt men då väljs trädarter med mindre krona eller pelarform för att inte hindra det eventuella vinkelräta vindflödet. I de fall då mycket god ventilation krävs bör kanske träd endast förekomma i luckorna. Även den större vegetationen i luckorna modifieras då så att den inte påverkar luftflödet.

Luckorna kan användas till att bilda gröna skyddade sittplatser, dessa bör lokaliseras där de bästa solförhållandena återfinns.

Sittområdet är placerat i den soligaste delen av luckan och omringat av vegetation för att ge ett behagligt klimat och renare luft. Hörnen är beklädda med vertikal grönska för att motverka kantvirlarna och de valda träden ger en skir skugga. Beläggningen är av mörkt material för att öka värmekapaciteten på platsen och på detta sätt försöka åstadkomma ett lite varmare mikroklimat. Häckplanteringen är relativt låg för att inte skugga platsen, men ger samtidigt lite skydd från omgivningen.

Bild nedan: Sittområde som skapats i en av luckorna. Platsen har eftermiddagssol och illustreras vid tidpunkten 6:e maj kl 13.00, N-S gata, h/w 2



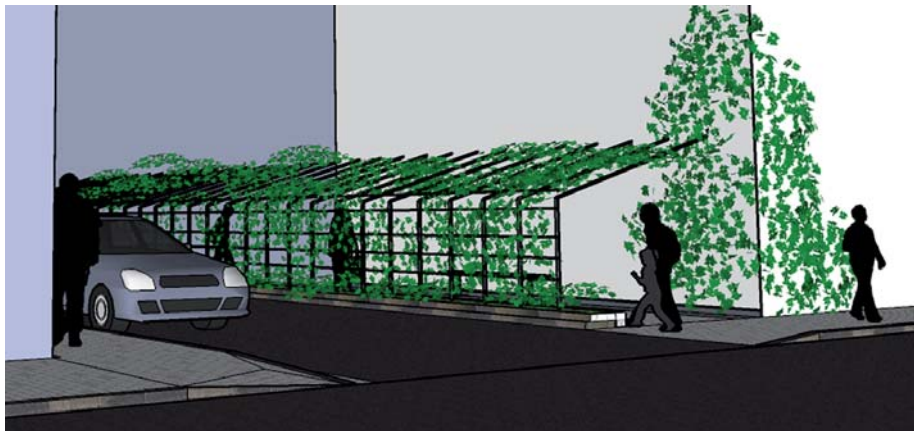


Bild ovan: trafikerad gata med spaljë och vertikal grönska vid hörnen.

Gata med god ventilation, h/w 1

I gaturum med begränsad plats och behov av ventilation:

1. Spaljéer med klättrväxter erbjuder en viss filtration av föroreningar och avskiljande från trafiken samtidigt som ventilationen inte påverkas alltför mycket. Spaljéns dimension och stil kan variera och anpassas till gatan och området i fråga. En upphöjd bädd med eventuell kompletterande skelettjord under gångbanan för växterna är dock att rekommendera.

2. Spaljén i fråga behöver inte bilda ett tak över trottoaren. Vid trånga utrymmen där man inte vill ge känslan av att man stänger till gatan kan en låg spaljë, kanske 50-70 cm hög, bilda en liten avskärmning från biltrafiken och samtidigt filtrera och ansamla en del av utsläppen.

Bild t. höger: område i slutet av gatan som är för nära korsningen för att kunna bli parkeringsplats, nu sittområde med morgonsol.



Bild ovan: spaljén skapar en viss känsla av avskildhet från trafiken, filtrerar luften och skänker en lätt skugga. slutet av september kl 15, NÖ-SV gata.

Bild nedan: hörnen med god soltillgång kan omformas till en mer skyddad sittplats, gata med morgonsol.



3. Klättrväxter kan även få klänga på en struktur så att de skapar en "klippt häck" formation, vilket tar bort momentet att formklippa för att åstadkomma karaktären och funktionen.

4. Utrymme i slutet av gatan där solen kommer in kan omvandlas till en skyddad uppehållsplats. Beroende på gatans användning och placering kan detta vara mer eller mindre behövt.

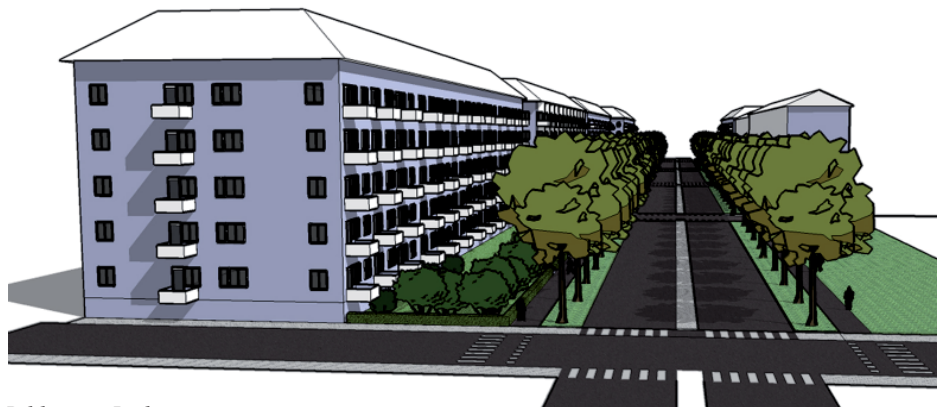


Bild ovan: Luthagsesplanaden/ Sibyllegatan med omgivning som det ser ut i dagsläget. 6:e maj kl. 12.

Bred högtrafikerad gata

Det andra typen som urskiljer sig lite från innan upptagna exempel är den bredare gatan med hög trafikbelastning. Detta fall illustreras med hjälp av en fallstudie av Luthagsesplanaden i Uppsala.

I och med den nya trafikplanen för Uppsala kan man i framtiden räkna med en ökad trafikbelastning på Luthagsesplanaden på grund av den omstrukturering av trafiken som skall ske. Detta medför att en ökad belastning på den närliggande miljön kan förväntas.

Gatan i fråga är orienterad nordöst-sydväst och detta är även den vindriktning som dominerar över året vilket är gynnsamt då parallell vind bättre skingrar föroreningar i gaturummet.

Vid vinkelrät vindriktning kommer det breda gaturummet (mellan 40-50 meter) resultera i en regim II, det vill säga flera virvlar utvecklas där gaturummet inte är allt för blockerat.

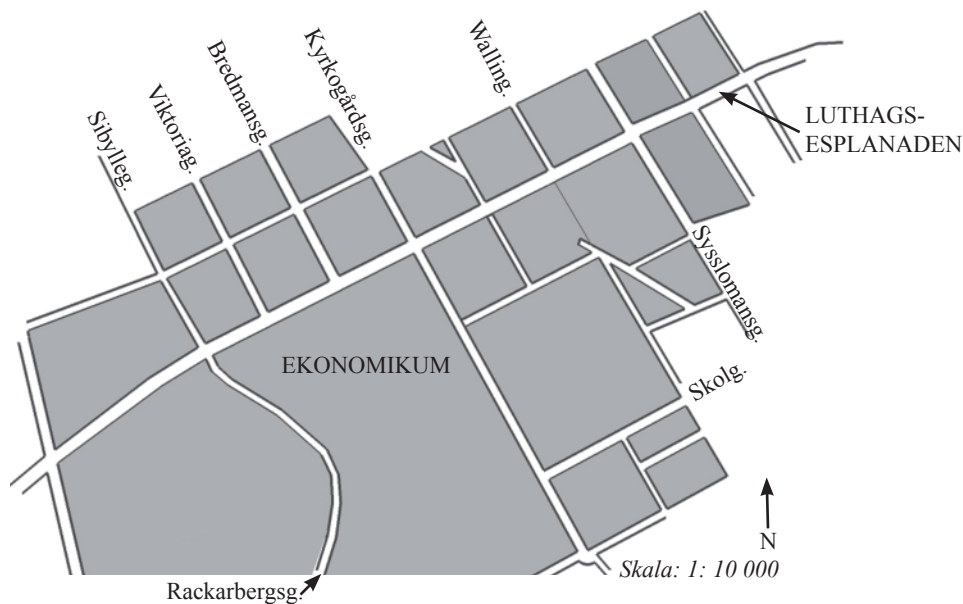


Bild ovan: karta över delar av Luthagen, Uppsala

Trafikrummet, som man upplever som fordonstrafikant, varierar efter hand som man åker norrut. Den förändras från att vara ett bredare och öppnare gaturum, vid Sibyllegatan, till att bli lite smalare och mer slutet vid Wallingatan.

En hastighetssänkning från 50 km/h till 30 km/h på Luthagsesplanaden, mellan Rackarbergsgatan och Kyrkogatan, är på förslag för att på detta sätt sänka halten av partiklar i luften (Uppsala kommun 2006). Halten av föroreningar kommer å andra sidan troligen att öka.



Bild t. höger: Luthagsesplanadens trafikrum vid korsningen till Wallingatan sett söder ut. Här har lindallén en undervegetation av måbär. 6:e maj kl. 12.

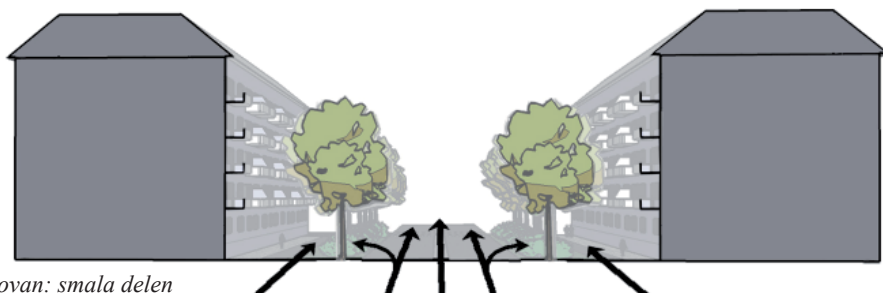


Bild ovan: smala delen av Luthagsplanaden med parallell vind

Parallell vind

Den parallella vinden som dominerar på gatan ger en effektiv skingring av föroreningarna, men ledar även till att dessa fördelas mer jämnt över hela gatan. Ett ”utbyte” sidleds förekommer vilket medför att föroreningarna når fotgängare och cyklister utmed långsgående GC-väg, men även de boende i husen som kanta gatan. Speciellt de som bor på de lägre planen i husen utsätts för en högre föroreningshalt medan de som bor högre upp nås av en lite mer utspädd luft.

Vid Ekonomikum där det ännu är enkelsidig bebyggelse kommer gaturummet att ventileras mer effektivt. Detta då det finns ett utbyte mellan vinden i gaturummet och vinden genom Ekonomikumparken.

Bild nedan: luftcirkulationen vid enkelsidig bebyggelse med parallell vind, korsningen Luthagsplanaden/Sibyllegatan

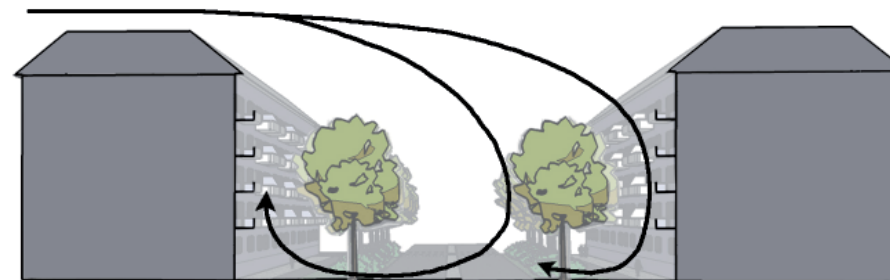
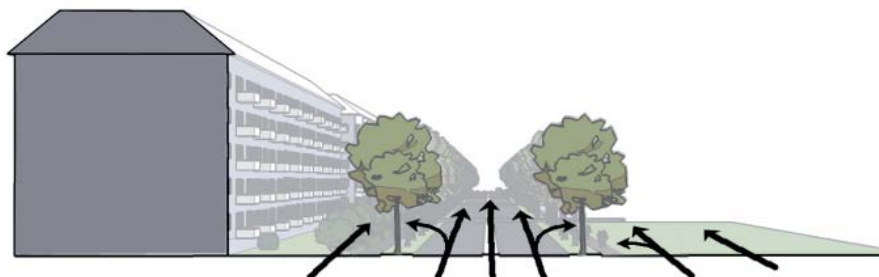


Bild ovan: smala delen av Luthagsplanaden med vinkelrät vind

Vinkelrät vind

Den vinkelräta vinden resulterar i en mer mixad luftcirkulation än i innan nämnda gaturum då gatans bredd resulterar i en regim II. Denna regim leder till att föroreningarna ansamlas på byggnaden som ligger i lä (i ovanstående exempel blir detta den vänstra byggnaden). Ovan illustreras den smalare delen av Luthagsplanaden (40 meter bred), i de bredare delarna (runt 50 meter) kommer de två virvlar att ännu tydligare urskilja sig.

I dagsläget är gaturummet vid korsningen Sibyllegatan endast bebyggt på ena sidan vilket leder till att en fri utveckling av vakområdet kan ske. En betydligt effektivare skingring av föroreningar sker vid den här situationen.

Bild nedan: luftcirkulationen vid enkelsidig bebyggelse med vinkelrät vind, korsningen Luthagsplanaden/Sibyllegatan

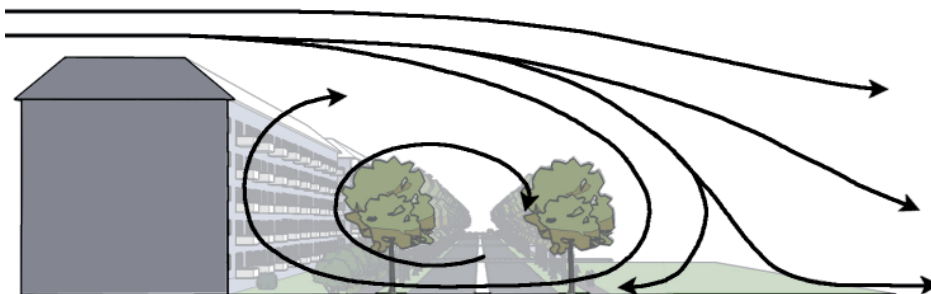




Bild ovan: området mellan bebyggelsen och Luthagesplanaden vid korsningen med Sibyllegatan, 6:e maj kl. 12

Luthagesplanaden/ Sibyllegatan

Gång- och cykelvägen är i stort sett helt exponerad för det stoft föroreningar och som trafiken orsakar.

Lindallén leder dock till att gång- och cykelvägen inte är lika exponerad för solen

Bostäderna har här en relativt bred förgård vilket ger en viss distans till trafikleden.

Planteringen i kanten av förgården består av en klippt häck med högre vegetation av syren innanför. Denna filtrerar och lyfter den smutsiga luften från Luthagesplanaden.

Vid parallell vind är dock förgården relativt exponerad vilket leder till att vinden lättare kan komma ned.



Bild ovan: området mellan bebyggelsen och Luthagesplanaden vid korsningen med Viktoriagatan, 6:e maj kl. 12

Luthagesplanaden/ Viktoriagatan

Gång- och cykelvägen har i detta kvarter ungefär samma förhållande som i förgående exempel.

Dock upplevs området lite mer exponerat och öppet då den högre vegetationen saknas.

Förgården till bostäderna är av samma dimension som i förra exemplet.

Skyddet ut mot vägen består nu dock bara av en klippt häck vilken endast kan ha en marginell påverkan och filtrering då den dels endast är runt 70cm hög och dels står en bra bit från föroreningskällan.

I förgårdarna finns en uppföljande vegetation i form av mindre träd och entrén kantras av ett lägre bestånd av rosenbuskar



Bild ovan: området mellan bebyggelsen och Luthagsplanaden vid korsningen med Bredmansgatan, 6:e maj kl. 12

Luthagsplanaden/Bredmansgatan

Nu har även den låga häcken försvunnit och ersatts med ett lågt vitt staket

Förgårdarna har dock ännu kvar några mindre träd och rosenplanteringarna längsmed entrégången.

Både gång- och cykelvägen och bostäderna har i det här skedet inte mycket till skydd de föroreningar och stoft som Luthagsplanaden genererar.

Å andra sidan känns gaturummet nu mycket överskådligt och vindcirkulationen genom hela gatan är troligen maximal (om man bortser från kvarteren vid Sibyllegatan som endast har enkelsidig bebyggelse)



Bild ovan: området mellan bebyggelsen och Luthagsplanaden vid korsningen med Wallingatan, 6:e maj kl. 12

Luthagsplanaden/ Wallingatan

Längre norr ut på Luthagsplanaden blir gaturummet mindre då bostadshuset kryper närmare

Förgården är här helt slopad och gång- och cykelvägen, som nu även har blivit bredare, upptar området närmast bebyggelsen.

Mellan Luthagsplanaden och bostadshuset och gång- och cykelvägen finns nu ett smalt grönområde vars enda funktion är som barriär till trafikleden

Lindallén har nu fått en kompletterande undervegetation av måbär som filtrerar den förorenade luften.

Gång- och cykelvägen som vistelseyta känns nu mer skyddad och lugn, men man går inte gärna under balkongerna.

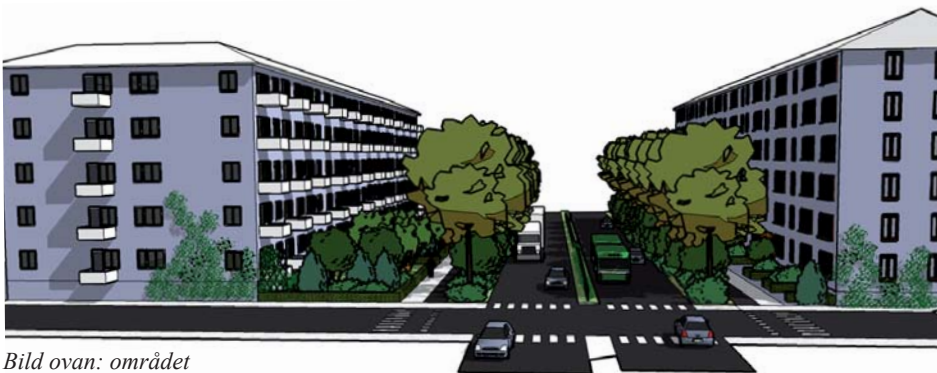


Bild ovan: området
Luthagsplanaden/
Sibyllegatan vid
alternativ utformning,
6:e maj kl 12.

Förslag: Luthagsesp./ Sibyllegatan

1. Buskvegetation som sträcker sig upp till trädkronan
2. Vertikal vegetation vid byggnadernas hörn då den förorenade luften kommer att ansamlas här vid parallell vind
3. Extra vind/vegetationsskydd för de nedersta våningarna för att filtrera den förorenade luften
4. Vegetationen i förgårdarna ansamlas vid hörnen för att filtrera och lyfta den parallella vinden
5. En uppföljning av vegetationsskyddet sker runt 10 hinderhöjder ned. I övrigt gles plantering endast några mindre träd för att inte skapa tomma ytor. På detta sätt i största mån även erbjuda goda ljusförhållanden för boende.
6. ”Staket” med klätterväxt i mellan körbanorna för att skapa ett gles vegetationshinder som filtrerar och ansamlar stoft i gatan.



Bild ovan: vägrum-
met vid den alternativa
utformningen av
Luthagsplanaden/
Sibyllegatan, 6:e maj
kl 12

Vägrummet kommer att förändras en del, både i funktion och i upplevelse.

1. Vägen är nu kantad av tätare vegetation, en variant av måbärbuskaget som idag kan ses vid Wallingatan men kompletterat med en vegetation som även fyller utrymmet mellan måbären upp till lindkronorna.
2. I mittrefugen kommer ett ”staket” placeras med tillhörande klätterväxt. Detta kommer att ge en första filtrering av luften mellan körbanorna.
3. Det innan relativt breda gaturummet kommer nu att närma sig kvoten av h/w 0.8 vilket borde ge en förhållandevis bra cirkulation vid vinkelrät vind. Vid parallell vind kommer vägrummet nu vara mer definierat och leda luftströmningen.
4. Om detta inte ger tillräcklig cirkulation vid vinkelrät vind kan undervegetationen mot Ekonomikum tas bort. Andra sidan som, större delen av året kommer att vara läsidan vid vinkelrät vind, får behålla sin utökade vegetation. Deras större förgård medför även till att vegetationen inte skuggar bostäderna i samma grad.
5. Vägen, sett från fordonstrafikanterna, kommer antagligen att upplevas som mer definierad nu då den tydligt avdelas både mellan vägbanorna och till resterande bebyggelse.



Bild ovan: närbild av förändringarna vid bebyggelsen och GC-vägen, 6:e maj, kl 13-14.

Bilden ovan visar på en alternativ utformning av förgårdarna och GC-vägen vid Luthagsesplanaden/ Sibyllegatan.

1. Vertikal grönska placeras vid hörnet av byggnaden då en större föroreningshalt kommer att ansamlas här vid parallell vind. Även nedersta balkongen får ett extra skydd då den är mer utsatt än de övre.
2. Vegetation placeras i förgårdens kant för att filtrera och fånga upp luften vid parallell vind. En fortlöpande vegetation på förgården förespråkas för att inte leda ned vinden utan lyfta den över.
3. Då den högre vegetationen nu flyttats närmare Luthagsesplanaden kommer förgården och bostäderna att erhålla mer solljus, detta trots uppföljningen av vegetation på förgårdarna.
4. Även gång- och cykelvägen har breddats något då den innan var relativt smal.



Bild ovan: exempel på hur förgården upplevs från gång- och cykelvägen. Här kan man se det uppföljande vegetationsbältet som är placerat i mitten av kvarteret, 6:e maj kl 12.

5. Det mer täckande vegetationsstråket mot Luthagsesplanaden resulterar i en bättre filtrering och ansamling av föroreningar och stoft.
6. Att föredra vore om åtminstone en del av vegetationen var städsegrön, men då denna typ av vegetation i många fall är känsligare för föroreningar kan det vara svårt att ordna, speciellt i vegetationsbältet direkt mot Luthagsesplanaden.
7. Den uppföljande vegetationen på bostadsgårdarna kan bestå av mindre träd med relativt bred men skir krona för att få en stor volym, men som samtidigt släppa igenom solstrålningen.
8. Eftersom vegetationsbältet mot Luthagsesplanaden nu blivit tätare behöver man även arbeta mer med belysning och vara noga med att inte placera tät vegetation vid kanten av bostadsgårdarna då detta skulle kunna leda till att man som fotgängare eller cyklist känner sig mindre säker och mer avskärmad från omgivningen.

Bild t. höger: Modifierad
1+2 bänk med vind-
skydd.

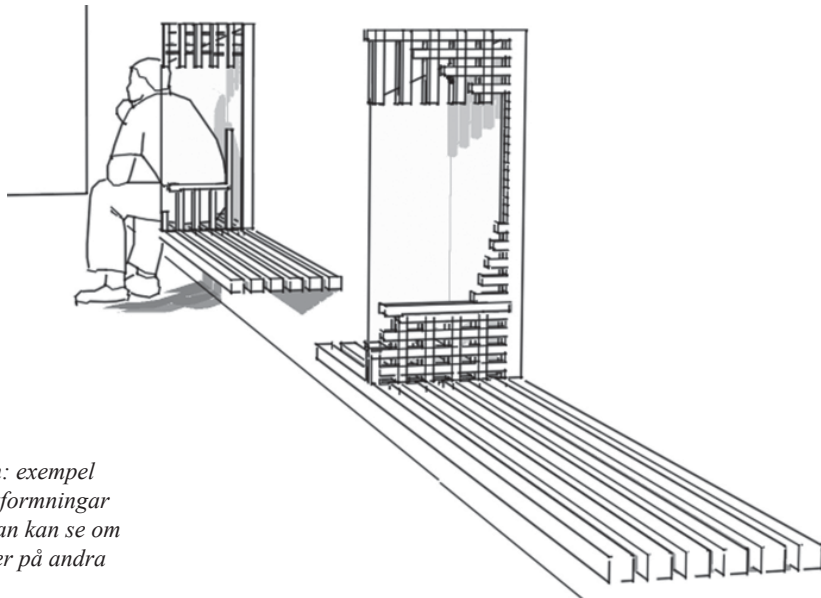
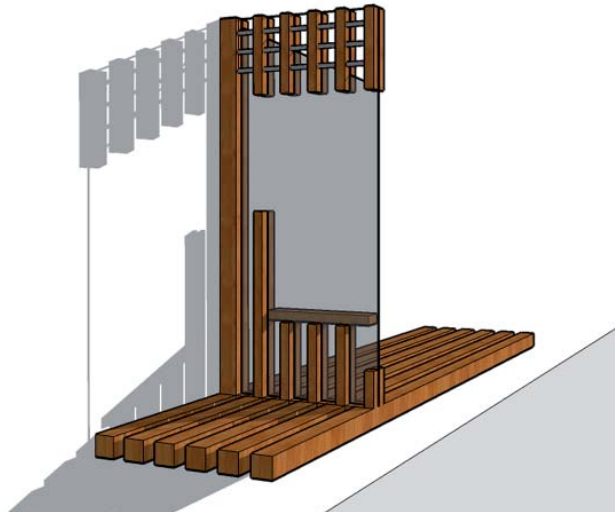


Bild nedan: exempel
på olika utformningar
och hur man kan se om
någon sitter på andra
sidan

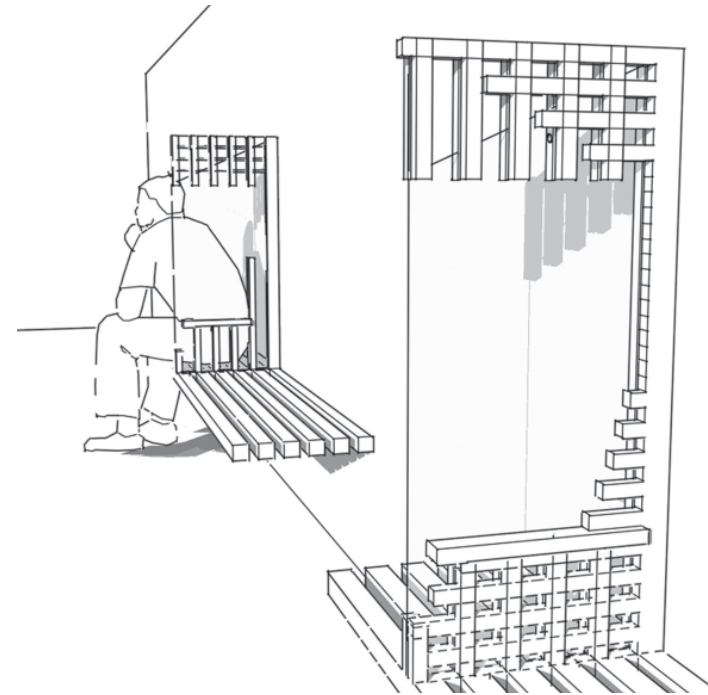


Bild ovan: närbild på
hur vindskyddet är
utformat med plexiglas
och mönster i trä. Ob-
servera att plexiglas
inte går ända upp.

Modifierad bänk

1. Bänken erbjuder sammanlagt 3-4 sittplatser (1+2-3) med en avskiljare som erbjuder visst vindskydd. Olika utformningar och dimensioner kan med fördel utvecklas.
2. Bänken monteras på fasaden eller står på fot. Används med fördel på gator där parallell vind dominerar då denna bänk alltid ger minst en sittplats i lä.
2. Avskiljaren består av "panel" och plexiglas eller glas. Detta för att bänken skall vara genomskiktig och inte upplevas som ett potentiellt "gömställe"
3. Övre delen av "vindskyddets del" har inte något plexiglas utan består av "panel" för att på detta sätt skapa en högre porositet i överkanten och minska kantvirveln. Vid bredare vindskydd kan även en viss perforering i sidan av plexiglasets ske.

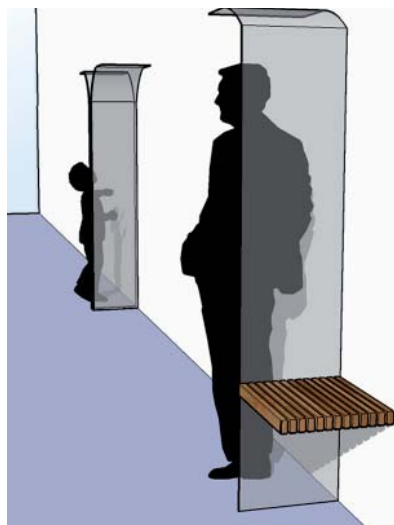


Bild ovan: exempel på olika utformningar av vindskyddet.

Smalt vindskydd

1. Passar utmärkt på gator med parallell vind och där utrymmet är begränsat

2. Kan konstrueras i olika kombinationer;
a. ett vindskydd för ståendes + en sittplats

b. två skydd för ståendes, där en av sidorna alltid erbjuder ett mer skyddat läge för den parallella vinden

3. Om mer utrymme finns kan skydden med fördel få ett större djup och i sådana fall kan de även kompletteras med en perforering, eller dylikt, som ökar porositeten i kanten för att på detta sätt reducera kanteffekten

4. Illustrationerna visar på ett genomskinligt material används, detta för att man skall kunna se om någon står där. Men materialen kan även kombineras så att ena sidan bildar en spaljé för klätterväxter.

5. Vindskyddet kan med fördel belysas nattetid för att dels öka trygghetskänslan men även då deras form kan bli en utsmyckning till gaturummet.

6. Vid mer använt väntområde eller om platsen är i behov av regn och/eller solskydd kan vindskydden även kombineras med ett större tak.

Bild t. vänster: exempel på belysning av vindskyddet.

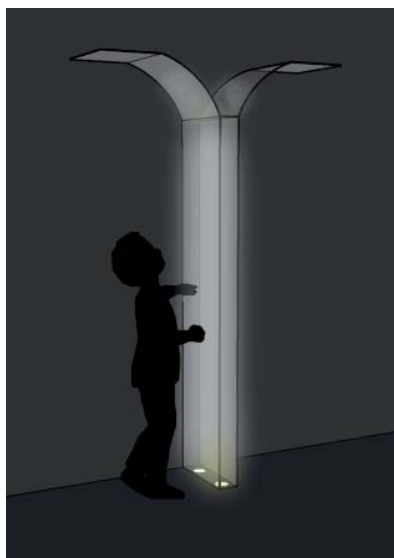


Bild ovan: exempel på utformning av multi-säsong bänken

Multisäsong bänk

1. Bänken består av sektioner av mörk sten eller betong avskiljt med ett avsnitt med trä.

2. På detta sätt erhålls en bänk som erbjuder fördelarna med både ett mörkt material som lagrar mycket värme och avger den även efter solnedgång, med ett material som är förhållandevis svalt även mitt under en var sommarkdag.

3. Dessa sektioner kan kombineras fritt så att rätt längd av bänken nås eller om behovet av ena materialet anses vara större för en viss plats kan fler sektioner (eller längre) användas av detta.

Bild nedan: exempel på vindskydd kombinerat med överhängande tak

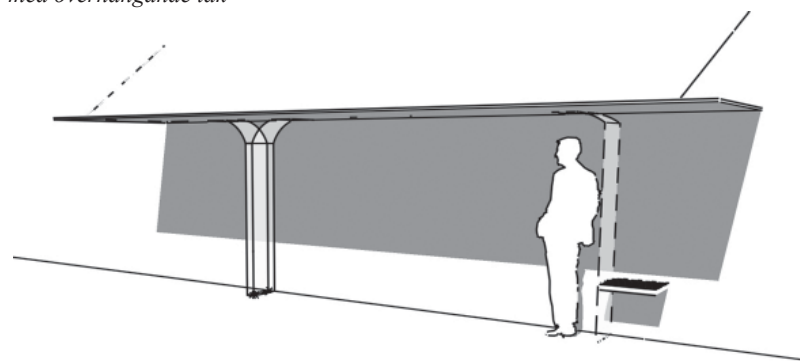




Bild t. höger: Större vindskydd

Större vindskydd för väntområden

Detta vindskydd påminner lite om en karusell dörr då den består av väggar som konstruerats som ett kors med ett enkelt lite sluttande tak. Detta resulterar i;

1. Det finns alltid åtminstone ett "fack" som erbjuder en mer skyddad miljö från eventuell vind eller regn. Beroende på vindriktning kan upp till tre "fack" erbjuda en skyddad väntplats.
2. Denna konstruktion passar på platser där utrymme finns och där vindriktningarna är mycket varierande.
3. Då vindskyddets dimensioner i viss mån kan anpassas till utrymmet kan man vid uppförande av ett större vindskydd komplettera med perforeringar i kanterna för att minska eventuellt obehag som kantvirvlarna och turbulensen kan ge.
4. Taket kan utformas i ett material som erbjuder mer skydd från solen om detta behov finns. I övrigt är skyddet gjort i exempelvis glas eller plexiglas för att vara möjlig att se igenom både för de som väntar och de som passerar.

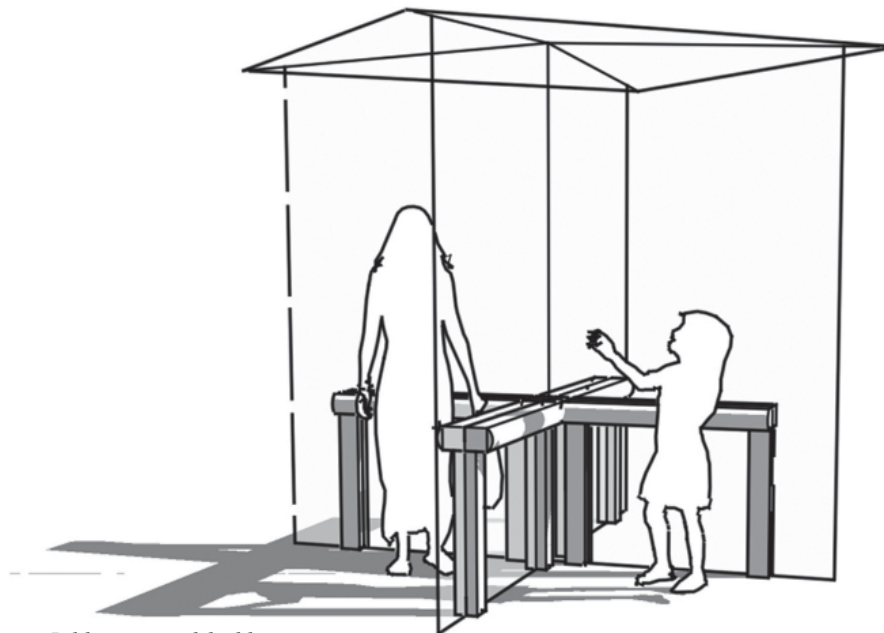
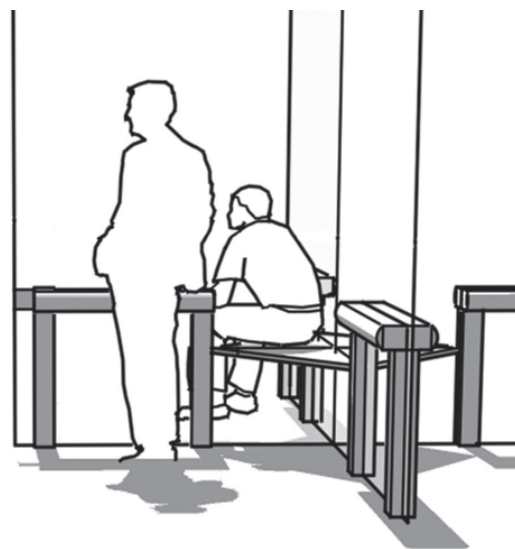


Bild ovan: vindskyddet i mindre format med endast ståendes "sittplats"



5. Vid mindre skydd utrustas skyddet exempelvis bara med en träkonstruktion som man ståendes kan "sitta på" eller luta sig emot.

6. Vid större vindskydd kan den inre delen av vare "fack" omvandlas till en mindre sittplats, detta ger även bättre stabilitet till vindskyddet

Bild t. vänster: vindskyddet i större format med ståendes "sittplats" och sittmöjlighet längst in

REFLEKTION

Mitt arbete om stadsklimat och gatuklimat har varit otroligt givande och intressant. Under en längre tid har jag vetat att jag ville använda examensarbetet som en chans att kunna sätta mig ordentligt in i ett ämnesområde. Att det blev just stadsklimat och gatuklimat var något som långsamt utvecklade sig allt eftersom jag letade och läste olika rapporter om allt från växters förmåga att binda kväve till stadens påverkan på luftskiktningen i atmosfären. Trots att det naturligtvis har funnits jobbiga perioder har det faktum att ämnet varit så stimulerande, intressant och för mig viktigt som landskapsarkitekt att förstå gjort att jag aldrig ångrat mitt val av examensarbete.

Självklart finns det en del moment som jag nu på efterhand skulle ha gjort annorlunda. Det mest är dock rörande all formalia runt examensarbetet. Men då jag även haft en del problem med att få tag på de personer som skulle ha kunnat ge mig mer verklighetsanknytning funderade jag på om jag skulle ha kunnat börja tidigare med att kontakta kommuner och organisationer. Men jag tror faktiskt inte det. Delvis beroende på att jag inte hade någon djupare förkunskap om mitt ämnesområde innan jag började och för att kunna få ut något av mina intervjuer och kontakter var det viktigt för mig att först skapa en plattform att stå på som jag sedan kunde utgå från, ifrågasätta och knyta an till verkligheten. Vidare kan en viktig faktor till problemen att hitta en person som arbetar med dessa frågor även vara att ingen avdelning i de olika kommunerna specifikt har hand om gatuklimat, utan det ligger spritt över flera avdelningar.

Även då mina försök att få kontakt med personer som arbetade med detta område inte var allt för gynnsamma gav de mig en viktig insikt. Mitt område, som jag efter

arbetat med ett antal veckor tyckte var otroligt viktigt, ligger i dagsläget egentligen rätt långt ned i hierarki av lager i gatusammanhang. Även faktumet att så få av de jag kom i kontakt med kände att de arbetade eller visste någonting alls om ämnet leder till att jag tycker att det är ännu viktigare att lyfta fram det. Mitt examensarbete är långt ifrån en fullständig översikt och det behövs mer arbete med att visa på hur man kan applicera all den forskning som har gjorts och fortfarande görs inom stadsklimat. Slutligen visar mitt examensarbete en begränsad del av gatuklimatet då tid ej fanns att gå in i alla elementen.

REFERENSER

Böcker

Allen, P. (2002), *Earth Surface Processes*, kapitel 10, Blackwell Science, Great Britain, Marston Lindsay Ross International Ltd, Oxford, Great Britain.

Andbert, P-G., (2001), *Väderpraktikan*, Natur och Kultur / LTs förlag, Printografen AB, Halmstad.

Barry, R., Chorley, R.,(1998), *Atmosphere, Weather & Climate*, 7th Edition, Routhledge, London.

Bernes, C., (1993), *The Nordic Environment- present state, trends and threats*, Nord, nr 2, The Nordic Council of Minister's Nordic Environment Report Group, Schmidts Boktryckeri AB, Helsingborg

Bernes, C. (2003), "A Warmer World- The Greenhouse Effect and Climate Changes", *Monitor 18*, Swedish Environmental Protection Agency, SMHI, Sweden

Bernes, C., Holmgren, P., (2006), *Meteorologernas väderbok*, Medströms bokförlag, Fälth & Hässler, Värnamo, Sverige.

Bogren, J., Gustavsson, T., Loman, G., (1999), *Klimatologi Meteorologi*, Studentlitteratur, Lund, Sverige.

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

Bucht, E., Persson, B., (1994), *Grönstruktur i städer och tätorter- Utdrag ur PBL- utredningen 1994*, Stad och Land, nr 127, Ljungsbjergs Tryckeri, Klippan

Glaumann, M., Westerberg, U., (1988), *Klimatplanering Vind*, Statens institut för Byggnadsforskning, Tryck & Reklamservice AB, Åkersberga

Glaumann, M., Kristensson, E., Lindholm, G., Nilsson, K., Nord, M., Wirén, B., (1992), *Plan(t)era för lä!*, *Gröna Fakta*, nr. 8.

Glaumann, M., Nord, N., (1993) *UteKlimat, Stad & Land*, Movium/ Inst för landskapsplanering, SLU, nr 113.

Geiger, R., (1980), *The Climate of the Ground*, Sixth edition, Harvard University Press, United States of America.

Marsh, W., (1998), *Landscape Planning- Environmental Applications*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc, United States of America.

Matus, V. (1988), *Design for Northern Climates – cold-climate planning and environmental design*, Van Nostrand Reinhold company, New York

Oke, T.R., (1987), *Boundary Layer Climates*, Second Edition, Methuen & Co Ltd, Great Britain

Svensson, M., Eliasson, I., (1997), *Grönstrukturens betydelse för stadens ventilation – Vegetationens renande förmåga- en litteratursammanställning*, Rapport 4779, Naturvårdsverket, Naturvårdsverkets reprocentral

Svensson, M. Eliasson, I. (1999), Lokalklimatet i planeringen. När? Var? Hur?, Rapport 5021, Naturvårdsverket, Naturvårdsverkets reprocentral

Upmanis, H., (2000), Parkens klimat och luftkvalitet, *Gröna Fakta*, nr. 5

Artiklar och rapporter

Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H., (2001), Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas, *Solar Energy* [online], vol. 70, nr. 3, pp. 295-310, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-09-18]

Akbari, H., Konopacki, S., (2004), Energy effects of heat-island reduction strategies in Toronto, Canada, *Energy* [online], nr. 29, pp. 191-210, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-09-18]

Ali-Toudert, F., (2005), Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate, *Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg* [online], nr. 15, Tillgänglig: <http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/2078> [2007-11-01]

Ali-Toudert, F., Mayer, H., (2006), Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climates, *Building and Environment* [online], nr. 41, pp. 94-108, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-09-26]

Ali-Toudert, F., Mayer, H., (2007), Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons, *Solar Energy* [online], Nr. 81, pp. 742-754, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-09-26]

Arnfield, J., (2003), REVIEW, Two Decades of Urban Climate Research: a Review of Turbulence, Exchanges of Energy and Water, and the Urban Heat Island, *International Journal of Climatology* [online], nr. 23, pp. 1-26, Tillgänglig: www.interscience.wiley.com [2007-05-22].

Ashenden, T.W., Hunt, R., Bell, S.A., Williams, T.G., Mann, A., Booth, R.E., Poorter, L., (1996), Responses to So2 Pollution in 41 British Herbaceous Species, *Functional Ecology* [online], vol. 10, nr. 4, pp. 483-490, Tillgänglig med access från the University of Melbourne: www.scopus.com [2007-05-22]

Ca, V., Aseada, T., Abu, E., (1998), Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park, *Energy and Building* [online], nr 29, pp. 83-92, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-05-22]

Chan, A., So, E., Samad, S., (2001), Strategic guidelines for street canyon geometry to achieve sustainable street air quality, *Atmospheric Environment* [online], nr. 35, pp. 5681-5691, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-11-05]

Chan, A., Au, W., So, E., (2003), Strategic guidelines for street canyon geometry to achieve sustainable street air quality- part II: multiple canopies and canyons, *Atmospheric Environment* [online], nr., 37, pp. 2761-2772, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-11-05]

Chandler, T.J., (1976), Urban Climates and the Natural Environment, *Int. J. Biometeor* [online], vol 20, nr. 2, pp. 128-138, Tillgänglig: www.springerlink.com[2007-05-28]

Chow, W., Roth, M., (2006), Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore, *International Journal of Climatology* [online], nr. 26, pp. 2243-2260, Tillgänglig: www.interscience.wiley.com [2007-05-22]

Christen, A., Vogt, R., (2004), Energy and Radiation Balance of a Central European City, *International Journal of Climatology* [online], nr. 24, pp. 1395-1421, Tillgänglig: www.interscience.wiley.com [2007-05-22].

DePaul, F.T., Sheih, C.M., (1986), Measurements of wind velocities in a street canyon, *Atmospheric Environment* [online], vol. 20, nr. 3, pp. 455-459, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-11-05]

Di, H.F., Wang, D.N., (1999), Cooling effect of ivy on a wall, *Experimental Heat Transfer* [online], Nr. 12, pp. 235-245, Tillgänglig: www.informaworld.com [22-05-2007]

Eliasson, I. (1996), Urban Nocturnal Temperatures, Street Geometry and Land Use, *Atmospheric Environment* [online], vol. 30, no. 3 pp. 379-392, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-09-20]

Eliasson, I., (2000), The use of climate knowledge in urban planning, *Landscape and Urban Planning* [online], nr. 48, pp. 31-44, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-10-23]

Eliasson, I., Offerle, B., Grimmond, C.S.B., Lindqvist, S., (2006), Wind field and turbulence statistics in an urban street canyon, *Atmospheric Environment* [online], nr. 40, pp. 1-16, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-11-07]

Eliasson, I., Knez, I., Westerberg, U., Thorsson, S., Lindberg, F., (2007) Climate and behaviour in a Nordic city, *Landscape and Urban Planning* [online], nr. 82, pp. 72-84, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-09-18]

Erell, E., Williamson, T., (2006), Intra-urban differences in canopy layer air temperature at a mid-latitude city, *International Journal of Climatology* [online], Tillgänglig: www.interscience.wiley.com [2007-05-22]

Ezber, Y., Sen, O.L., Kindp, T., Karaca, M., (2007), Climatic effects of urbanization in Isanbul: a statistical and modeling analysis, *International Journal of Climatology* [online], nr. 27, pp. 667-679, Tillgänglig: www.interscience.wiley.com [2007-05-22].

Fujii, S., Cha, H., Kagi, N., Miyamura, H., Kim, Y-S., (2005), Effects on air pollutant removal by plant absorption and adsorption, *Building and Environment* [online], nr. 40, pp. 105-112, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-05-22]

Gayev, Y., Savory, E., (1999), Influences of street obstructions on flow processes within urban canyons, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* [online], nr. 82, pp. 89-103, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-09-26]

Giridharan, R., Lau, S.S.Y., Ganesan, S., Givoni, B., (2007), Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments of Hong Kong, *Building and Environment* [online], nr. 42, pp. 3669-3684, Tillgänglig: www.sciencedirect.com, [2007-10-22]

Givoni, B., (1991), Impact on planted areas on urban environmental quality: a review, *Atmospheric Environment* [online], vol. 25B, nr. 3, pp. 289-299, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-10-22]

Gromke, C., Ruck, B., (2007), Influences of tree on the dispersion of pollutants in an urban street canyon – Experimental investigation of the flow and concentration field, *Atmospheric Environment* [online], nr. 41, pp. 3287-3302, Tillgänglig: www.sciencedirect.com, [2007-09-26]

Hunter, L.J., Johnson, G.T., Watson, I.D., (1992), An investigational characteristic of flow regimes within the urban canyon, *Atmospheric Environment* [online], vol. 26B, no. 4, pp. 425-432, Tillgänglig: www.sciencedirect.com, [2007-11-06]

Holmer, B., Eliasson, I., (1999), Urban-Rural Vapour Pressure Differences and Their Role in the Development of Urban Heat Islands, *International Journal of Climatology* [online], nr. 19, pp. 989-1009, Tillgänglig: www.interscience.wiley.com [2007-05-22]

Huang, L., Li, J., Zhao, D., Zhu, J., (2008), A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China, *Building and Environment* [online], nr.

43, pp. 7-17, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-09-28]

Johansson, P., (2004), Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana, *International Journal of Climatology* [online], nr. 24, pp. 1307-1322, Tillgänglig: www.interscience.wiley.com [2007-05-22].

Lamanna, C., (1970), Influence of Vegetation in the Urban Environment on Air Pollution, *BioScience* [online], vol. 20, nr. 4, pp. 201-202, February 15., Tillgänglig med access från the University of Melbourne: www.jstor.org [2007-05-22]

Luxmoore, D.A., Jayasinghe, M.T.R., Mahendran, M., (2005), Mitigating temperature increasing in high lot density sub-tropical residential developments, *Energy and Building* [online], nr. 37, pp 1212-1224, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-05-22]

Morikawa, H., Takahashi, M., Hakata, M., Sakamoto, A., (2003), Screening and genetic manipulation of plants for decontamination of pollutants from the environments, *Biotechnology Advances* [online], vol. 22, nr. 1-2, pp. 9-15, Tillgänglig med access från the University of Melbourne: www.scopus.com [2007-05-22]

Nakamura, Y., Oke, T.R., (1988), Wind, temperature and stability conditions in an east-west orientated urban canyon, *Atmospheric Environment* [online], vol. 22, nr. 12, pp. 2691-2700, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-11-02]

Nunez, M., Oke, T.R., (1977), The Energy of an Urban Canyon, *Journal of Applied Meteorology* [online], American Meteorological Society, vol 16, nr. 1, pp 11-19, Tillgänglig: <http://ams.allenpress.com/perlserv/?request=get-archive> [2007-11-05]

Offerle, B., Grimmond, C. S. B., Fortuniak, K., Pawlak, W., (2006), Intraurban Differences of Surface Energy Fluxes in a Central European City, *Journal of Applied Meteorology and Climatology* [online], American Meteorological Society, vol 45, January, pp 125-136, Tillgänglig: <http://ams.allenpress.com/perlserv/?request=get-archive> [2007-05-22]

Oke, T.R., (1988), Street Design and Urban Canopy Layer Climate, *Energy and Building* [online], nr. 11, pp. 103-113, Tillgänglig; www.sciencedirect.com [2007-09-26]

Robitu, M., Musy, M., Inard, C., Groleau, D., (2006), Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate, *Solar Energy* [online], nr. 80, pp 435-447, Tillgänglig; www.sciencedirect.com [2007-05-22]

Rosenfeld, A., Akbari, H., Bertz, S., Fishman, B., Kurn, D., Sailor, D., Haider, T., (1995), Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates, *Energy and Buildings* [online], nr. 22, pp. 255-265, Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2007-09-26]

Sánchez, F., Alvarez, S., (2004), Modeling microclimate in urban environment and assessing its influences on the performance of surrounding buildings, *Energy and Building* [online], nr. 36, pp. 403-413, Tillgänglig; www.sciencedirect.com [2007-09-26]

Santamouris, M., Papanikolaou, N., Koronakis, I., Livada, I., Asimakopoulos, D., (1999), Thermal and air flow characteristics in a deep pedestrian canyon under hot weather conditions, *Atmospheric Environment* [online], nr. 33, pp. 4503-4521, Tillgänglig; www.sciencedirect.com [2007-11-02]

Shashua-Bar, L., Hoffman, M.E., (2000), Vegetation as a climatic component in the design of an urban street An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees, *Energy and Building* [online], nr. 31, pp. 221-235, Tillgänglig; www.sciencedirect.com [2007-10-23]

Simpson, M., Raman, S., Lundquist, J., Leach, M., (2007), A study of the variation of urban mixed layer heights, *Atmospheric Environment* [online], nr. 41, pp. 6923-6930, Tillgänglig; www.sciencedirect.com [2007-11-05]

SLB analys (Stockholms Luft- och Bulleranalys), (2000), *Känslighetsanalys avseende prognos av kvävedioxidhalter 2006*, på uppdrag av Miljöförvaltningen i Stockholm, 2000:05

SLB analys (Stockholms Luft- och Bulleranalys), (2007), *Nya och uppdaterade beräkningar av PM10-halter i Uppsala centrum*, 2007-09-04

SLB analys (Stockholms Luft- och Bulleranalys), (u.å.), *Översiktliga beräkningar av effekt av trafikminskningar på Kungsgatan, Uppsala*

Slessor, C., (1999), "Hanging gardens.(Enrique Browne and Borja Huidobro's design of the Consorcio-Vida

office building in Santiago, Chile)." *The Architectural Review* [online], 205.1224, February, pp. 36, Tillgänglig; *Expanded Academic ASAP*. Thomson Gale. University of Melbourne Library [2007-05-22].

Uppsala kommun (2006), *Förslag till Återgärdsprogram för att klara miljö kvalitetsnormerna för kvävedioxid och partiklar i Uppsala*, version 2006-06-07

Westerberg, U., Glaumann, M., (1990/91), Design Criteria for Solar Access and Wind Shelter in the Outdoor Environment, *Energy and Building* [online], nr. 15-16, pp. 425-431, Tillgänglig; www.sciencedirect.com [2007-10-22]

Xia, J., Leung, D., (2001), Pollutant dispersion in urban street canopies, *Atmospheric Environment* [online], nr. 35, pp. 2033-2043, Tillgänglig; www.sciencedirect.com [2007-11-07]

Personer

Solander, Christer, (2007), Miljöskyddsingenjör, Miljökontoret, Uppsala kommun, intervju, 6:e december kl. 14-15.

Wänstrand, Lars-Göran, (2007), Stadsbyggnadskontoret, Uppsala kommun, intervju, 22:e november kl. 09.30-10.30.

Övriga kontaktade

Fritids- och naturkontoret, Uppsala kommun, tel. 018-727 40 00

Gatu- och Trafikkontoret, Uppsala, 018-727 43 00

Planeringsavdelningen, Sundsvall kommun, tel. 060-191 000

Stadsbyggnadskontoret, Södermalms stadsdels, tel. 08-508 26 138

Stadsdelsförvaltningen, Södermalms stadsdel, tel. 08- 508 12 000

Miljökontoret, Södermalms stadsdelskommun, tel. 08- 508 12 000

Exploateringskontoret, Stockholms stad, tel. 08- 508 276 00

Trafikkontoret Stadsmiljö, Stockholm stad, tel. 08-508 272 00

Boverket, Karlskrona, tel. 0455 - 35 30 00

Institutionen för ekologi, miljö och geovetenskap, Umeå universitet, tel. 090- 786 50 00

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Göteborg, tel. 031-725 62 00

SLB-analys (Stockholms Luft- och Bulleranalys), Stockholm, tel. 08- 508 28 800

GRUNDLÄGGANDE KLIMATOLOGI

Denna del som behandlar grunderna i klimatologi kommer främst att stödjas på Geiger (1980), Oke (1987), Glaumann och Westerberg (1988), Glaumann och Nord (1993), Barry och Chorley (1998), Bogren et al. (1999), Bernes (2003) och Bernes och Holmgren (2006). Vid allmänna kunskaper som författarna är ense om kommer inga specifika referenser att ges, men då någon eller några verkar ha utmärkande eller mycket detaljerad fakta kommer referenser att ges.

Då målet med examensarbetet är att förstå de faktorer som styr stadsklimatet och hur dessa kan påverkas är det först viktigt att ha en kännedom om grundläggande klimatologi. Därför kommer denna del ta upp grunderna i klimatologi och de faktorer som skapar klimatet. Eftersom alla dessa är tätt sammankopplade och ytterst komplexa har ett försök till strukturering skett genom en indelning av texten i tre större delar: strålning, luftströmmar och vattenbalans. Men först en introduktion till den delen av atmosfären som vi främst kommer att röra oss i, gränsskiktet.

Gränsskikt

Beroende på hur markförhållandena är, dess albedo, värmekapacitet, värmeledning, men även den friktion underlaget ger upphov till, varierar det lokala klimatet (Oke 1987; Geiger 1980; Bogren et al. 1999). Med friktion menas ytans topografi och skrovlighet vilken har stor inverkan på bland annat vinden. Underlagets påverkan på ovanliggande luftlager kan ses på hundra upp till flera tusen meters höjd (Oke 1987; Glaumann & Westerberg 1988). Dock menar vissa att underlagets

effekt kan främst ses upp till 100 meters höjd, lagrets mäktighet kan vara större men då är påverkan från markytan ytterst liten (Bogren et al. 1999; Geiger 1980).

Bogren et al. (1999) gör en skillnad mellan ytskiktet och friktionsskiktet. I ytskiktet förekommer stor variation av temperatur, vind och fuktighet som beror på hur förhållandena i underlaget ser ut och markens påverkan kan ses upp till 100 meters höjd. Eftersom markens topografi och skrovlighet leder till en nästan vindstilla miljö närmast markytan med ökande vind allt efter höjden tilltar bildas ett friktionsskikt, detta ligger ovan ytskiktet. I detta skikt bildas en turbulent rörelse på grund av hastighetskillnaderna i höjd, skiktets storlek varierar beroende på temperatur och stabilitet i atmosfären. De två ovan nämnda lagren utgör tillsammans gränsskiktet vars mäktighet varierar beroende på hur markytan under ser ut. Vanligen är detta lagret mäktigare under dagen än under natten eftersom energiflödena under dagen är större (Oke 1987; Bogren et al. 1999; Geiger 1980).

Geiger (1980) har en indelning för luften närmast marken, då skiktet här har andra förutsättningar och förhållanden. Det luftlager som utgör de närmaste millimetrarna mot en yta benämndes boundary layer av Geiger (1980), emellertid hänvisar Glaumann och Westerberg (1988) till detta lager som det laminära underskiktet. Här transporteras all värme via ledning (Geiger 1980; Glaumann & Westerberg 1988) och vattenånga via spridning, vilket gör detta lagret till en barriär i många avseenden (Geiger 1980).

Det är alltså inom gränsskiktet, som utgör en relativt liten del av hela atmosfären, som den största delen av studierna i det här examensarbetet kommer att ske eftersom det är här interaktionen mellan atmosfären och markyta sker.

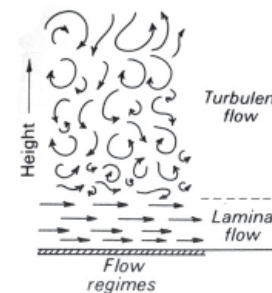


Bild ovan; illustration av olika luftflöden och dess placering i förhållande till en yta (Oke 1987, p. 39).

Jordens strålningsbalans

Långvågig resp. kortvågig strålning

Begreppet strålning omsluter en stor variation av olika våglängder och därmed ett brett spektrum av kvalitéer och beteende. En stor skillnad finns mellan den kortvågiga strålningen från solen och den strålning som jorden avger, som refereras till som långvågig strålning eller värme-strålning. Inom klimatologi skiljer man mellan direkt solstrålning samt den diffusa strålningen som ligger inom vågbandet 0,3-22 μ och strålningen från jorden som ligger mellan 6,8-100 μ (Geiger 1980). Detta beroende på den större energimängd som den kortvågiga strålningen innehar, men även på de olika sätt de uppträder och påverkas i olika situationer.

Enligt Barry och Chorley (1998) är solstrålning till största del kortvågig, det vill säga har en våglängd som är mindre än 4 μ . Cirka 99 % av all solstrålning ligger mellan regionen 0.15-4.0 μ vilket kommer att visa sig ha betydelse vid utstrålningen (Bogren et al. 1999). Däremot jordens emittering har sin intensitetstopp vid 10 μ (Bogren et al. 1999). Överlappningen mellan de två strålningarna är som synes liten, cirka 5 %, vilket även visar på den relativt tydliga avgränsning som finns mellan dem (Geiger 1980).

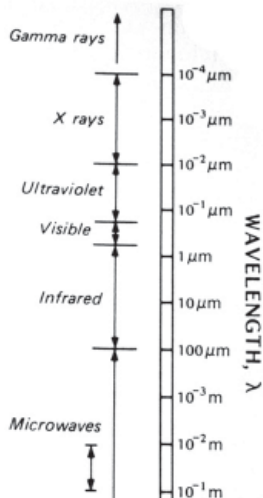
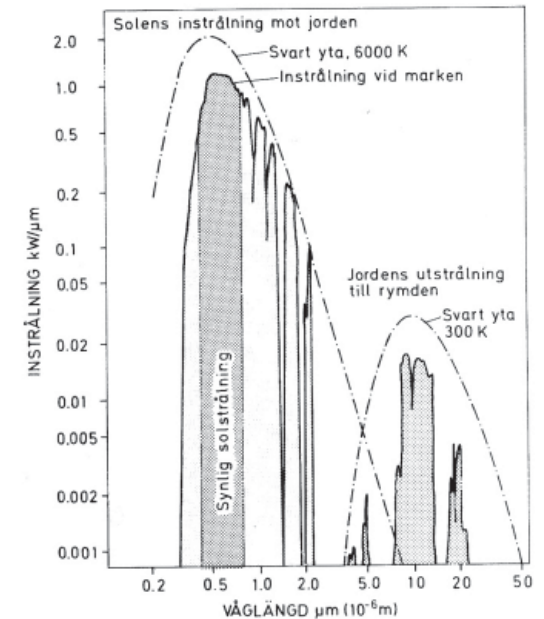


Bild ovan; del av våglängds spektret (Oke 1987, p.9).

Bild t. höger; prickade linjerna visar vad solen resp. jorden emitterar. Området mellan grafen och det skrafferade området är den del som absorberas i atmosfären (Glaumann & Nord 1993, p. 16).



Den långvågiga strålningen uppkommer när material utstrålar energi, denna strålning är mindre koncentrerad än solstrålningen och mer energifattig i förhållande till den innan nämnda. Men i motsats till den kortvågiga strålning, sker den långvågiga strålningen även under natten, dock är den vanligtvis större under dagen eftersom den är temperaturberoende. Vidare finns det fler skillnader mellan långvågig- och kortvågig strålning då jorden i stort sett kan jämföras med en svart kropp gällande dess förmåga att nästan totalt absorbera långvågig strålning, men samma förhållande råder inte vid kortvågig strålning.

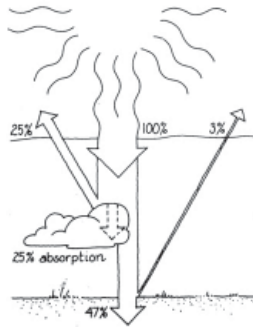


Bild ovan; illustration av fördelningen av solstrålningen, reflektion och absorption i atmosfären resp. markytan (Glaumann & Nord 1993, p. 13).

Instrålning

Strålningen från solen är essentiell för det liv vår planet i dagsläget hyser, dock långt ifrån all solstrålning tar sig ned till jordens markyta. Lite grovt kan man säga att runt en fjärdedel reflekteras av atmosfären direkt ur i rymden, lika stor del absorberas av atmosfären och resten når ned till markytan. Den fraktionen av solstrålningen som absorberas i atmosfären ligger till större delen på den kortvågiga sidan av det infraröda bandet och betecknas nästan som långvågig (Allan 2002). Vidare absorberas även det mesta av den farliga ultravioletta strålningen från solen av atmosfären, strålningen som i första hand når ned till markytan ligger inom det synliga spektret.

Astronomiska faktorer

En avgörande roll för hur mycket solstrålning som når ned är jordens vinkel och position i förhållande till solen. Om solvinkeln är låg resulterar detta i att solstrålningen måste passera en längre väg genom atmosfären, vilket i sin tur påverkar intensiteten av strålningen vid marken. Detta eftersom strålning absorberas och sprids när det kommer i kontakt med olika ämnen och partiklar i atmosfären. En kortare väg genom atmosfären ger en mer intensiv strålning, vilket medför att solstrålningen är som intensivast när solen står i zenit.

Jordens läge i sin jordbana har en viss inverkan då banan inte är cirkulär vilket skapar en variation i mottagandet av strålning. Barry och Chorley (1998) tillägger att den 3 januari, då avståndet till solen är som kortast, i jämförelse med 4 juli, då det motsatta tillståndet råder, skiljer det 7 % i strålning. I teorin borde detta leda till en varmare vinter för norra hemisfären i förhållande till den södra, men cirkulationen i atmosfären jämnar ut detta.

Likaså bör solkonstanten som visar på flödet av energi från solen ej glömmas bort. En variation i solkonstanten med toppar var elfte år, då fler solfläckar uppträder, medför ofrånkomligt en förhöjd solstrålning och därmed ett varmare klimat på vår planet (Bernes 2003). Slutligen spelar lokaliseringen av platsen man studerar roll då solstrålningen varierar beroende på latitud och säsong. I Sverige är variationen av soltimmar under året stort, speciellt i de norra delarna. Även då ovan nämnda faktorer inte i sig kan påverkas bör man vara medveten om dem.

Faktorer som styr i atmosfären

Atmosfären har en viktig roll i hur mycket och vilken del av strålningen som når ned till jordens yta. Det mesta av den kortvågiga ultravioletta strålningen absorberas av de gaser som finns i atmosfären. Vidare förvandlas en del av solstrålningen till diffus strålning, genom att den sprids när de kommer i kontakt med olika partiklar och molekyler i luften. Atmosfärens förmåga att sprida och fördela strålning är viktig, enligt Bogren et al. (1999), då detta leder till en mer diffus strålning som resulterar i att himlen upplevs som ljus. Utan denna diffusa strålning hade även "dagen" varit mörk. I och med spridningen försvagas även strålningen, dock passerar den allra största delen av solstrålningen direkt igenom atmosfären utan att nämnvärt minska i intensitet.

Förutom detta är även förekomsten av moln viktig att ta med i beräkningarna. Detta eftersom de både reflekterar, absorberar och sprider strålning. Höjden på molntäcket har även betydelse precis som dess tjocklek (Bogren et al. 1999; Barry & Chorley 1998). Vid granskning av molnens reflektionsförmåga skiljer sig författarnas mening, men en variation av albedon mellan 40-70 % verkar råda.

Absorption eller reflektion vid marken

Placering och lutning

En avgörande faktor i hur stor del av instrålningen som reflekteras är ytans vinkel och orientering i förhållande till strålningen. Detta som exempel nämner Glaumann och Nord (1993) att instrålningen mot en lutande yta, i Sverige, i sydlig orientering är runt 30 % högre än en referensyta på nordsidan. Även på vilken höjd området ligger påverkar strålningen, ju högre upp desto kortare sträcka för strålningen att passera genom atmosfären både vid instrålning och vid utstrålning (Barry & Chorley 1998).

Albedo

En ytas reflektionsförmåga, så kallade albedo, är en viktig faktor vid markytan som styr hur stor del som reflekteras och hur stor del som absorberas. Detta varierar beroende på materialet, men vanligtvis ökar absorptionsförmågan för material med ökat vatteninnehåll eller fuktighet. Förklaringen till detta är att när delar av en yta är täckt av vatten kan instrålningen ske från valfri vinkel, men strålen kan endast tränga ut när den träffar vattenytan med en vinkel som är mindre än den kritiska vinkeln för totalreflektion (Geiger 1980).

Man kan även på materialets färg i viss mån avläsa dess albedo då mörkare färg oftast tyder på ett lägre albedo, det vill säga lägre reflektionsförmåga, eftersom runt 50 % av solstrålningen ligger inom det synliga spektret (Borgen et al. 1999; Geiger 1980). Exempelvis får en fuktig yta vanligtvis en mörkare färg och samtidigt med ökad fuktighet minskar dess albedo. Eftersom vatten-

tillgången normalt varierar så väl över dagen som över året resulterar detta i en liknande variation i ytors albedo. För land ligger albedot vanligen mellan 8-40 %, men nysnö kan ha ett albedo på så högt som 90 %, medan vattnets albedo ligger runt 2-3 % beroende på störningar i ytskiktet (Barry & Chorley 1998).

Utstrålning

Atmosfären absorberar runt 94 % av den långvågiga strålning som kommer ifrån jordens yta och reflekterar tillbaka en stor del. Detta är ett viktigt fenomen för vårt klimat då jorden utan denna absorption och återreflektion i atmosfären skulle vara runt 35-40° C kallare (Bogren et al. 1999; Barry och Chorley 1998). Det finns naturligtvis ett antal faktorer som är viktiga vid utstrålning och dessa kommer nu översiktligt att tas upp.

Emissivitet

En kropps förmåga att emittera, utstråla värme, benämns som dess emissivitet och är beroende på dess temperatur i förhållande till omgivningens temperatur. Vidare gäller att varma kroppar har sin största utstrålning vid korta våglängder, medan motsatt förhållande råder för kallare kroppar. Jorden räknas till kategorin ”kallare kroppar” och detta är skälet till att den emitterar inom det långvågiga spektret medan solens, som är betydligt varmare, utstrålar kortvågig strålning. Alla kroppar och ytor som har en temperatur som ligger ovan absoluta fryspunkten emitterar mer eller mindre (Bogren et al. 1999). Stor betydelse för objekts och ytors utstrålning är himmels-exponeringen.

Himmelsexponeringen

Himmelsexponeringen, eller Sky View Factor (SVF) som är den engelska benämningen, är viktigt både vid utstrålning och vid instrålning. Detta är ett mått på hur stor del av himlen som är exponerad sett från en viss punkt på marken. Man räknar med att en klar himmel uppträder som en yta som är runt 20°C kallare än markytan (Glaumann & Nord 1993), vilket leder till att en strålning från mark till himmel sker. Himmelsexponeringen minskar när objekt skymmer delar av himlen och därmed är även utstrålningen beroende av hur stor himmelsexponeringen är. Även instrålningen är till viss del beroende på denna faktor eftersom andelen direkt solstrålning minskar vid minskande himmelsexponering, däremot kan mängden reflekterad och diffus strålning som når marken öka.

Bild t. höger; exempel på hur himmelsexponeringen i viss grad kan styra temperaturförhållandena. III har en positiv temperatur pga. låg SVF och värmeinstrålning från väggarna (Geiger 1980, p. 397).

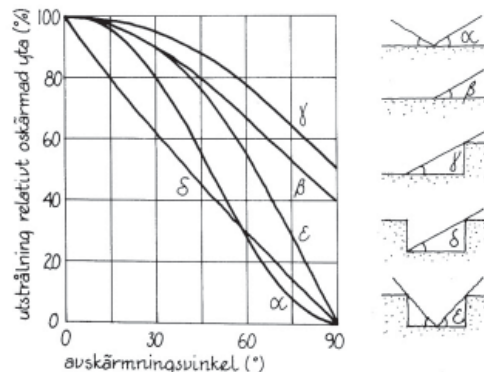


Bild t. höger; graf över utstrålningen från en yta beroende på himmelsexponeringen och eventuell minskning av denna dvs. ökning av avskärmningen (Glaumann & Nord 1993, p. 17).

“Fönster” i atmosfären

Glaumann och Nord (1993) poängterar att speciellt vid utstrålningen skiljer det markant mellan de två olika strålningarna. Författarna menar att den långvågiga strålningen inte släpps igen atmosfären i lika stor grad som den kortvågiga strålningen. Ett så kallat “atmosfäriskt fönster” i atmosfären verkar selektera vilka våglängder som obehindrat tar sig ut och fönstret möjliggör en högre grad av utstrålning för den kortvågiga strålningen. Enligt Geiger (1980) finns det två “atmosfäriska fönster” och dessa två har stor betydelse för utstrålningen av olika våglängder. Tre ämnen är med och skapar dessa “fönster”: koldioxid, ozon och vattenånga. Dessa ämnen har en förmåga att återstråla och absorbera strålning men vid vissa våglängder kan detta inte ske utan en utstrålning från atmosfären till rymden är möjlig, ett så kallat fönster finns här.

De tre ämnena

Koldioxid har endast några band där absorptionen av strålning sker: 2.8, 4.3 och 14.9μ. Koldioxid är, enligt Geiger (1980), närvarande med en nästan konstant koncentration i luften och står för cirka en sjättedel av återstrålningen. Ozon har en ännu mindre roll i detta och står endast för runt 2 % av återstrålningen, vilket tydliggör att det är vattenångan i luften som står för den stora delen av absorptionen (Geiger 1980). Detta visar även på att det är vattenångans koncentration och temperatur, enligt Geiger (1980), som till stor del avgör hur stor återstrålningen vid en viss tidpunkt och plats är. Vid sammanslagning av dessa tre ämnens förmågor att hindra utstrålning blir det klart att det finns två “fönster” där utstrålning genom atmosfären kan ske. Dessa öppningar finns vid våglängden 4μ och ett mycket

bredare fönster vid 9-11 μ , vid den senare absorberas runt 10 % av strålningen medan vid den första i stort sett ingen (Geiger 1980). Både Bogren et al. 1999 och Glaumann och Nord (1993) räknar dock med att det andra fönstret ligger mellan 8-13 μ vilket leder till en betydligt större öppning igenom vilken utstrålning från jorden kan förekomma.

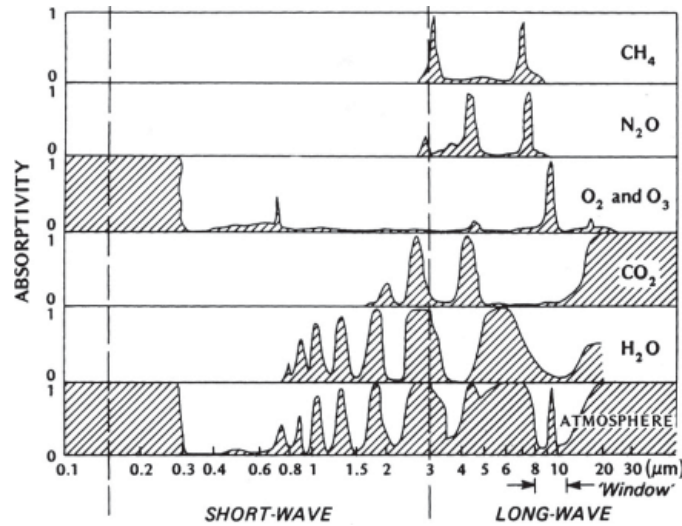


Bild t. höger; diagram över vilka våglängder respektive ämne absorberar och atmosfären som helhet (Oke 1987, p.14).

Vid 9-11 μ (eller 8-13 μ beroende på hur man räknar) har koldioxiden, ozonet och vattenånan i stort sett (om man bortser från de 10 %) ingen chans att hindra utstrålningen, oberoende hur stora deras koncentrationer i atmosfären är. Våglängder vid 2.7 och 6.3 μ kommer till stor del att återstrålas, vid våglängder över 12 μ blir atmosfären mer ogenomtränglig och slutligen absorberas näst intill all strålning. Om man nu jämför dessa "fönster" med vilket strålning som till största delen ligger inom dessa intervaller blir det tydligt att det är den kortvågiga strålningen som kan ta sig ut via dessa öppningar, medan den långvågiga strålningen till stor del absorberas och återstrålas. Vid nattlig utstrålning är det främst det andra "fönstret" som är viktig roll för strålningsbalansen, då det är denna som påverkar den långvågiga strålningen.

Fenomenets förekomst

Denna absorption och återstrålning sker i alla luftlagren i atmosfären, men Geiger (1980) framhäver att de olika lagren bidrar olika mycket till detta fenomen. Främst, anser författaren, är det luftlagret närmast marken (och cirka 90 meter upp) som står för den största delen av återstrålningen, hela 72 %, vilket beror på den långvågiga strålningens oförmåga att tränga igenom. Likväl som instrålningen är som intensivast vid klart väder och kortast optimala väg genom atmosfären (zenit) är även utstrålningen som störst vid dessa förutsättningar. Ett moln lager med sina vatten och ispartiklar leder till en ökad absorption och återstrålning. I led med ovannämnda faktorer följer även att det är de lägsta molnskikten som absorberar mest strålning. Glaumann och Nord (1993) poängterar att trots atmosfärens förmåga att absorbera och återreflektera långvågig strålning, vilket leder till att det tar längre tid för denna att strålas ut, avges ändå i slutet lika mycket strålning som jorden erhåller under ett år. Det vill säga sett ur ett helhetsperspektiv. Regional och lokalt kan budgeten ligga både över och under.

Aerosoler

Aerosoler är en benämning på partiklar och vätskedroppar som finns naturligt i luften och som bland annat bidrar till spridning av solstrålningen som resulterar i diffust ljus. De har dessutom en förmåga att reflektera och absorbera solstrålning innan den når ner till marken (Bernes 2003), detta varierar beroende på sort av aerosol. Som resultat sker i regel en sänkning av dagstemperaturen vid ökade halter av aerosoler (Bernes 2003; Bogren et al. 1999). Under natten kan en motsatt effekt ske då de hindrar utstrålning och därmed även nedkylningen vilket leder till en uppvärmning (Bogren et al. 1999).

Människan har bidragit till att aerosolernas halt i atmosfären har ökat, bland annat genom utsläpp från industrier, trafiken och läckage från uppvärmning. Bernes (2003) menar att om en större del av aerosolerna utgörs av sotpartiklar kan detta bidra till en ökning av lufttemperaturen eftersom mer solstrålning då absorberas än vad som reflekteras eller sprids. Vidare har sotens absorptionsförmåga en större effekt över markytan som är täckt av snö eller is eftersom dessa annars skulle ha reflekterat större delen av strålningen. Det omvända förhållandet råder för aerosoler som sprider och reflekterar solstrålning, de har störst effekt över vattenytan som annars skulle ha absorberat större delen av solstrålningen.

Aerosolerna har även en indirekt påverkan på klimatet då de inverkar på molnbildningen (Bogren et al. 1999; Bernes 2003). Enligt Bernes (2003) verkar det som en ökning av dessa partiklar, som kan fungera som kondensationskärnor, leder till två saker; till att börja med bildas det fler droppar som kan reflektera mer solljus och därmed sänka temperaturen. Men det ökade antalet leder troligen även till en minskad storlek på dropparna och därmed en minskad förmåga att omvandlas till regndroppar. Bogren et al. (1999) ser den ökade halten av partiklar i den lägre atmosfären som kortvarig och lokal företeelse. Men om de skulle nå upp till den högre delen av atmosfären (10-18 km enligt författarna) kommer de att ha en inverkan på det globala klimatet då de kan förorsaka en ökad molnbildning överlag och därmed även en allmänt förhöjd temperatur.

Vind

Temperaturskillnader, som leder till tryckskillnader, är den faktor som skapar vind. En konstant strävan efter att utjämna dessa skillnader leder till förflyttningar och luft rörelser, vind. För att förstå vad som skapar och påverkar vind behöver man förstå hur temperaturskillnaderna uppstår. En viss insikt gavs genom förgående del som tog upp strålningsbalansen och hur denna fördelades. Men förutom strålning finns det andra sätt att flytta energi som har en viktig del i hur energi rör sig i systemet. Nedan kommer en snabb översiktlig sammanfattning av några av de viktigaste processerna för att sedan visa hur detta leder till att luftcirkulationer uppkommer.

Värmeledning och värmekapacitet

Marken

Energi behöver inte bara transporteras genom strålning, transporten sker även genom ledning, konvektion och advektion. Ett materials ledningsförmåga har en viktig roll i hur effektiv värmetransporten kommer att vara. Ledning kan bara ske mellan ämnen eller inom ämnen som har fysisk kontakt med varandra (Bogren et al. 1999). Markens förmåga att lagra och leda värme gör att den kan fungera som en temperaturutjämnare eftersom den kan förskjuta temperatur i luften både under året och under dygnet (Glaumann & Nord 1993). Ytan till en mark som har god konduktivitet har oftast inte de kraftiga temperatursvängningar som karakteriseras av ytor som inte har denna egenskap (Geiger 1980).

Vatten

Vatten har en viktig funktion då den har en mycket hög värmekapacitet och detta är även skälet till varför den är en sådan betydelsefull temperaturutjämnare. Områden i närheten av större vattenmassor har i regel en betydligt mindre temperaturvariation, så väl under dygnet som över året. Vattnets stora förmåga att lagra värme och transportera det via strömmarna innebär att den är en viktig del i energiflödet, inte minst mellan ekvator och nordligare och sydligare delar av klotet (Bogren et al. 1999).

Luft

I regel är fasta ämnen bättre på att leda värme än gaser, exempelvis har metaller vanligen en överlägsen värmeledningsförmåga medan luft snarare fungerar som en isolerande medium. Luftens dåliga värmeledningsförmåga är även skälet till varför endast det allra närmaste lagret av luft, bara några centimeter djupt lager, värms upp via värmeledning från marken (Bernes & Holmgren 2006). Däremot kan luft vara en god transportör av energi, både latent och sensibel. Latent energi är den energi som ligger lagrad i en vätskas eller gas, denna avges när vätskan eller gasen går från ett mer energirikt läge till ett mer energifattigt, exempelvis när vattenånga kondenserar till vatten avges latentvärme. Sensibel energi är den del som upplevs som värme och som avses när man hänvisar till lufttemperaturen.

Konvektion och advektion

För vindens uppkomst har just advektion och konvektion en mycket viktig roll. Marken emitterar energi, som infra-

rödstrålning, och det är på detta vis luften främst kan värmas upp då den inte är lika genomskinlig för den långvågiga strålningen som för den kortvågiga strålningen (Bernes & Holmgren 2006). Det är alltså inte solstrålningen som i första hand direkt värmer upp luften, utan indirekt genom att värma upp ytor och material som i sin tur genom ledning eller emittering av infraröd strålning värmer upp luften. Den närmaste luften kan sedan genom advektion eller konvektion förflytta sig och ersättas med kallare luft som genomgår samma process som förgående luftmassa.

Konvektion berör både sensibel- och latentvärme och kan ske genom att varmare luft stiger och ersätts med kallare, så kallad fri eller termisk konvektion. Denna vertikala omblandning leder till en instabil skiktning med varmare luft som fortgående stiger och kallare luft som sjunker nedåt för att ta dess plats. Det finns även en mekanisk konvektion, även kallad tvingad konvektion, som uppkommer när det råder turbulens och fenomenet är i regel kopplad till det luftlager som påverkas av markens friktion (Bogren et al. 1999; Oke 1987). En inversion inträffar vanligtvis nattetid när markytan kyls av och kallare luft lägger sig i ett lager över markytan. Detta scenario avhjälpas genom att solen värmer upp luften, termisk konvektion inträder, eller att den blandas om av turbulens (Bernes & Holmgren 2006). Inversion kan ha allvarliga effekter, speciellt på högre breddgrader.

Advektion innebär däremot att luft med annan temperatur transporteras in över ytorna med hjälp av vinden och är en horisontell värmtransport (Glaumann & Nord 1993; Bogren et al. 1999). I verkligheten pågår energitransporteringar mer eller mindre samtidigt och kan vara svåra att skilja från varandra.

Tryckskillnader

Enligt Bernes och Holmgren (2006), Andbert (2001) och Bogren et al. (1999) uppstår en vind på följande sätt: Marken värmer ovanliggande luftlager vilket leder till den varma luften expanderar och stiger, en fri konvektion sker. Hela luftstapeln höjs och på de högre höjderna erhåller den relativt varmare luften ett högre tryck än motsvarande luft över ett kallare område. Detta leder till att en luftström skapas från det området med det högre trycket till området med ett lägre lufttryck. En vind har uppstått på hög höjd. Men detta borttransporterande av luft från det varma området leder till att lufttrycket nere vid marken sjunkit och därför erhålls en vind in, i motsatt riktning i förhållande till den högre vinden, då kallare luft transporterats in från områden med högre lufttryck. Desto större skillnad i temperatur, och därmed i lufttryck, desto kraftigare vind blir resultatet.

Det finns allt från stora globala luftcirkulationssystem till regionala och lokala luftcirkulationer, och alla har de sin påverkan på de områden de rör sig över och angränsar. Inom de större luftcirkulationerna finns det mindre cirkulationer. I detta fall är det inte bara temperaturskillnaderna mellan de två mer "regionala" områdena som bestämmer hur kraftig vinden eller brisen blir eftersom vindar högre upp i atmosfären kan ha stor inverkan (Bernes & Holmgren 2006). Denna högre vind kan antingen stärka den mindre cirkulationen eller, om den går i motsatt riktning, hindra den regionala vinden från att uppstå.

Skillnaden i lufttryck skulle snabbt kunna korrigeras om det inte vore för att fyra olika faktorer till viss del motverkar och stör luftmassornas rörelse. Dessa är enligt Bogren et al. (1999): Tryckgradientkraften, Centripetal-

kraften, Friktionskraften och Corioliskraften. Den första kraften är den som strävar efter att jämna ut tryckskillnader medan den sistnämnda är en kraft som beror på jordrotationen och som får luftströmmarna att böja av. Dock är det friktionskraften och tryckgradientkraften som är mest intressant för den här studien eftersom det är dessa som har störst påverkan nära marken i en stad.

Vattenbalansen

Som kanske framgått av ovan text är vattenånga en av de viktigaste variablerna i luft. Hur mycket fukt en luft kan hålla beror på dess temperatur och tryck, ju högre temperatur eller tryck desto större mängd vattenånga kan hållas. När en luftmassa inte kan hålla all vattenånga, på grund av avkylning, är den mättat och en utfällning av vatten sker. Den temperaturen vid vilket detta sker kallas dagpunktstemperaturen, man utgår från att halten vattenånga och trycket inte har förändras, utan att förändringen helt ligger i temperaturen (Bogren et al. 1999).

Då det är just vattenångan som till störst del innehåller latent energi i luften har den en mycket viktig uppgift. När varmare luft, och vanligtvis fuktigare luft, från ekvatorn möter den kallare luften över de mellersta breddgraderna kyls den varmare luften ned vilket medför att inte lika mycket vattenånga kan hållas i luften. Ångan kondenseras och övergår till flytande form, vatten, samtidigt som latent energi frigörs. Detta är en mycket betydelsefull energitransport som utjämnar energidifferenserna mellan de varmare breddgraderna, där den energikrävande avdunstningen sker, och de sydligare respektive nordligare breddgraderna som erhåller överlag mindre solstrålning (Bogren et al. 1999).