



Januari 2025
Göteborg Stad, Stadsbyggnadsförvaltningen

Lokalklimatutredning för Backaplan DP2

Lokalklimatutredning för Backaplan DP2

Projektnr.

A256184

Dokumentnr.

A256184-4-02-02-KLIM-RAP-002

Version

1

Utgivningsdatum

2025-01-21

Beskrivning

Utredning av vindkomfort och
värmebelastningen Inom
planområdet för Backaplan DP2

Utarbetad

Benjamin Holmberg
Gabriella Villamor

Granskad

Marie Haeger-
Eugensson

Godkänd

Ann Jansson

Innehåll

Sammanfattning	4
1 Inledning	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Syfte med utredningen	7
1.3 Klimatkomfort och hälsoaspekter utomhus	7
1.4 Effekter av klimatförändringen	7
2 Bedömningsgrunder	9
2.1 Termisk komfort utomhus	9
2.2 Vind och den mänskliga upplevelsen av vind	11
3 Metod	13
3.1 Underlag	13
3.2 Finskalig modellering av termisk komfort utomhus	15
3.3 Vindkomfortmodellering	18
4 Resultat	19
4.1 Strålningstemperatur, T_{mrt}	19
4.2 Vindkomfort	21
5 Diskussion och slutsatser	24
5.1 Planering avseende värmestress	24
5.2 Planering med avseende på vindkomfort	25
5.3 Möjliga effekter av förändrat underlag	26
6 Referenser	27

Bilagor

Bilaga A – UMEP-modellen och SOLWEIG-modulen

Bilaga B – Miskam-modellen

Sammanfattning

Som en del av utredningarna inför detaljplanen Backaplan DP2 önskades en utredning gällande effekten av lokalklimatet avseende värmestress och vindkomfort. Syftet med denna utredning är därför att undersöka effekten av förändringarna som uppkommer i området till följd av detaljplanens utformning, genom att studera både den planerade bebyggelsen och den planerade vegetationen med avseende på värmestress och vindkomfort.

Människors upplevelse av utomhusförhållanden med avseende på väder styrs av en rad faktorer där temperatur, solinstrålning, vind och luftfuktighet påverkar kroppens värmebalans och därmed människans upplevelse.

För att ta fram värsta fall avseende vindförhållandena för området har meteorologi använts från ett särskilt blåsigt år. Vinddata har hämtats från SMHIs station i Göteborg, lokaliserad vid skansen Lejonet. För beräkningarna har en s.k. CFD-modell använts (Miskam) som kan beräkna ett detaljerat vindmönster ovan och mellan byggnader samt ner till gatuplan på timbas för det planerade området. Den termiska belastningen beräknas med hjälp av modelleringsverktyget UMEP (Urban Multiscale Environmental Predictor) där bland annat genomsnittlig strålningstemperatur (T_{mrt}) beräknats. För att visa effekten på T_{mrt} vid värmeböljor har data en mycket varm sommardag (2018-07-27) använt för värmeberäkningarna. Dessa typer av värmeböljor förväntas öka i framtiden varför resultatet även indikerar hur det kommer bli till följd av den framtida klimatförändringen.

Eftersom denna utredning genomfördes i ett mycket tidigt skede har förutsättningarna ändrats på flera platser. Denna utredning har utgått från ett antal antaganden baserat på underlag från maj 2023. I dagsläget har dock nya planbestämmelser tagits fram vilket innebär att gårdarna delvis kommer vara grästäckta i stället för generellt hårdgjorda. Det finns även planbestämmelser på ett träd per 300 m², vilket innebär att alla innergårdar kommer ha träd och inte bara de tre större gårdarna mellan Swedenborgsgatan och Skolgatan. Detta är naturligtvis bättre än inga träd men är fortfarande relativt glest för att ge en effekt påtaglig effekt på T_{mrt} . Resultaten för *innergårdarna* med hårdgjorda ytor bör därmed ses som ett värsta-fall-scenario. Effekten av den ovan definierade ökningen av träd enligt planbestämmelsen förväntas ge viss men begränsad effekt, varför befintligt resultat antas vara relevant. Förslag om placering av träd i kluster förbättrar dock beskuggningen och därmed T_{mrt} .

Gällande resultatet för *allmänna platser* och flera gaturum har ett nytt förslag tagits fram som innebär färre träd än de som denna utredning utgått från. Eftersom tiden för beskuggning är den parameter som påverkar nivån av T_{mrt} mest, kommer detta innebära att de T_{mrt} som beräknats för dessa platser är mer eller mindre underskattad. Mest effekt kommer ses för platser med lång tid av solexponering, exempelvis intill sydligt till västligt riktade fasader.

Resultatet för T_{mrt} visar på mycket hög värmestress på öppna hårdgjorda ytor så som innergårdar under extremt varma sommardagar likt den 27 juli 2018. Den planerade utformningen och planeringen av träd som visas i denna rapport visar på en effektiv sänkning av den termiska belastningen inom Kvilleparken samt längs Backavägen. Kluster av träd och träd med större krondiameter och höjd är effektiva för att sänka den termiska belastningen under en hel dag. Mindre enstaka träd bidrar endast med skugga under enstaka timmar och får därmed inte samma genomslag på T_{mrt} . För att även erbjuda skugga intill byggnader eller i områden där träd ej får plats, rekommenderas pergolor, markis eller segelduk.

Baserat på de nya planbestämmelserna med möjlighet till gräsytor på innergårdarna och med en välplanerad placering av träden, kan sannolikt den termiska belastningen minska något på innergårdarna. Däremot kan övriga förändringar på allmän plats och i gaturum få relativt stora negativa konsekvenser beroende hur mycket träd som kommer att finnas kvar. För att kompensera för detta rekommenderas att träd eller annan typ av beskuggande åtgärd adderas längs sydligt till

västligt riktade gaturum för att främst ge lägre T_{mrt} där människor vistas så som trottoarer eller utgångar.

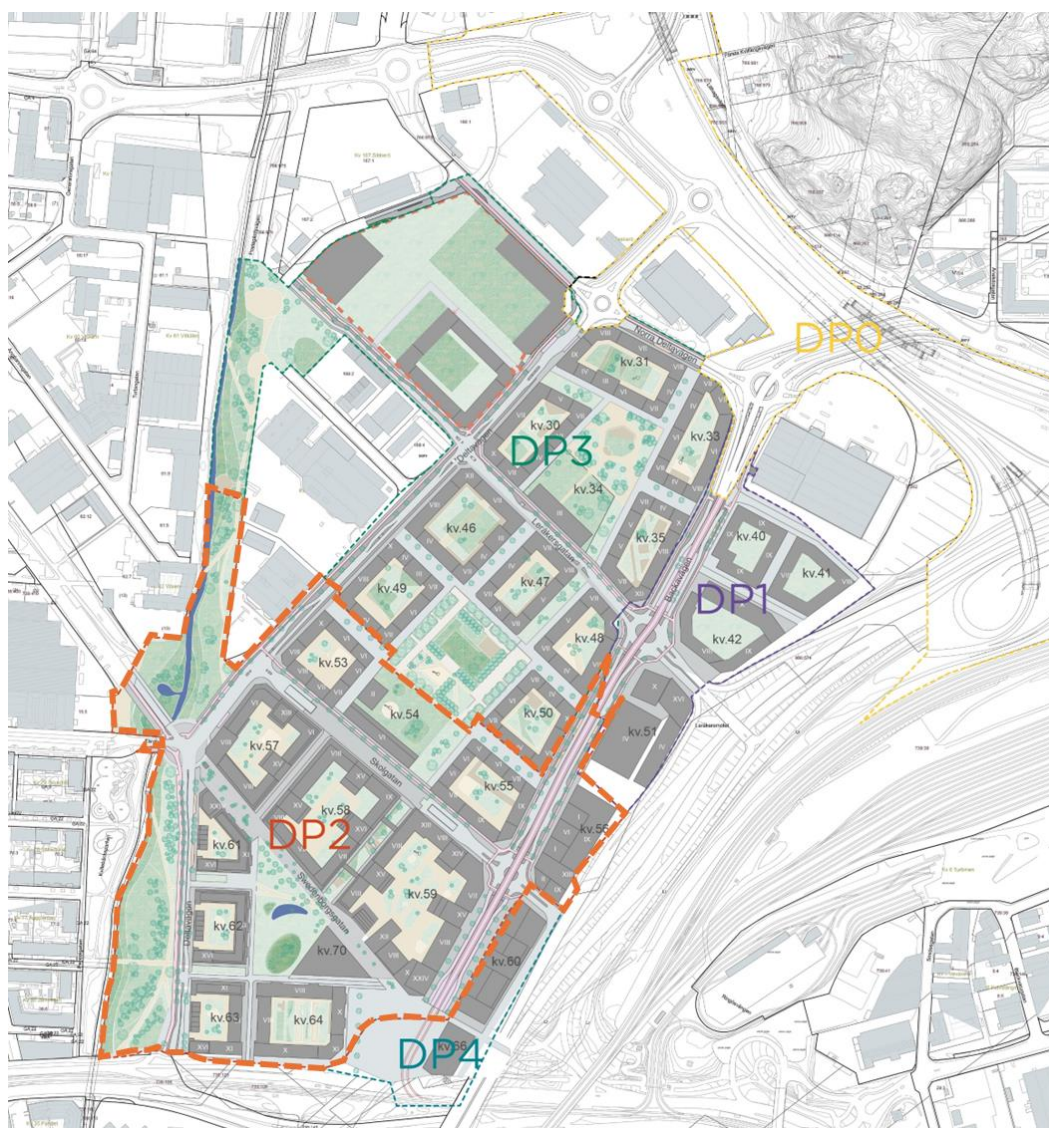
Resultatet för vindkomfort visar att vindhastigheten kan bidra till att områden så som norra delar av Kvilleparken inte är acceptabla för långvarigt stillasittande, men acceptabla för kortvarigt sittande, gående, cykling eller andra aktiviteter. Som en åtgärd föreslås att ny vegetation, eller öka den vegetation som i dagsläget föreslås, intill parkbänkar och andra tilltänkta ytor planerade för långvarigt stillasittande prioriteras. Vidare visar resultaten att vindhastigheterna ökar under vintern jämfört med sommaren, vilket sannolikt beror på både förekomst av högre vindhastigheter under vintern samt att vegetationen inte bidrar med bromsande effekt. På torget längs Swedenborgsgatan samt inom förskoleområdet norr om Skolgatan är förhållandena goda för långvarigt sittande. Sammantaget görs därmed bedömningen att förutsättningarna för god vindkomfort generellt är bra inom planområdet.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Stadsbyggnadsförvaltningen i Göteborg håller på att ta fram en detaljplan för delar av Backaplansområdet, DP2. Detta arbete ingår i genomförandet av planprogrammet för Backaplan, som antogs våren 2019. Programarbetet syftar till att omvandla Backaplan från ett befintligt handels- och verksamhetsområde, med stora hårdgjorda ytor, till en attraktiv tätbebyggd blandstad. Inom programområdet finns flera detaljplaner, varav denna utredning fokuserar på DP2. I Figur 1 visas en översikt över programområdet med DP2 markerat med orange färg.

Inom DP2 planeras för ca 2 200 bostäder, handel, kontor och hotell, ett kulturhus i två våningar vid Hjalmar Brantingsplatsen samt en förskola vid kv54.



Figur 1. Översikt över programområdet för Backaplan. Detaljplan 2, DP2, är markerad med orange färg (orange markering i den norra delen tillhör DP3). Bild från Stadsbyggnadsförvaltningen 2024-09-19.

1.2 Syfte med utredningen

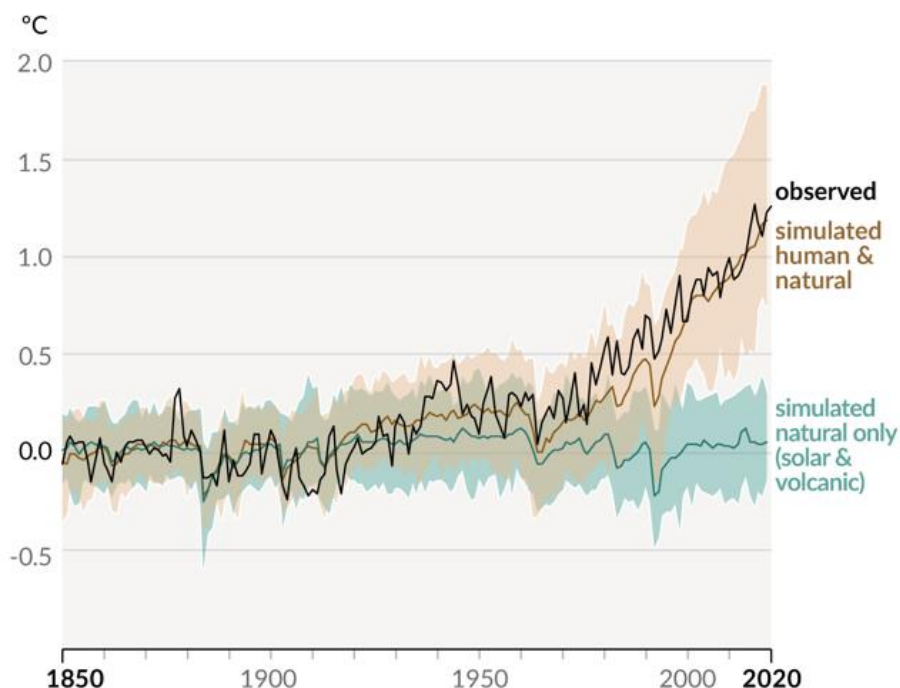
Som en del av utredningarna inför detaljplanen Backaplan DP2 önskades en utredning av effekten gällande lokalklimatet avseende värmestress och vindkomfort. Syftet med denna utredning är därför att undersöka effekten av förändringarna i området till följd av detaljplanens utformning, genom att studera både den planerade bebyggelsen och den planerade vegetationen med avseende på värmestress och vindkomfort.

1.3 Klimatkomfort och hälsoaspekter utomhus

Människors upplevelse av utomhusförhållanden med avseende på väder styrs av en rad faktorer där temperatur, solinstrålning, vind och luftfuktighet påverkar kroppens värmebalans och människans upplevelse. Vid höga vindhastigheter upplever människor generellt att det är okomfortabelt av enbart vinden (se detaljer nedan i avsnitt 2.2). Vinden förstärker även upplevelsen av låg temperatur (lägre än 10 °C) då det upplevs kallare än vad termometern visar. Under riktigt varma sommardagar kan en fläktande vind både ge tillräcklig svalka för att det ska bli komfortabelt, men kan även upplevas som värmande vid höga lufttemperaturer. När det är varmt och luftfuktigheten samtidigt är hög upplevs temperaturen ofta som varmare än vad termometern visar, eftersom den höga luftfuktigheten gör att svettning inte är lika effektivt för avkylning som vid låg luftfuktighet. Andra faktorer som påverkar upplevelsen är vilken typ av aktivitet som utförs. I kapitel 2 ges en introduktion till komfort avseende vind och temperatur, känsliga områden, vilka gränsnivåer gällande hälsa som finns samt hur det kan beräknas.

1.4 Effekter av klimatförändringen

Enligt den senaste rapporten från FN:s klimatpanel (IPCC 2022) kommer klimatförändringarna leda till kraftigt ökad värmebelastning i Norden, både gällande intensitet och frekvens. Jämförelser med framtida temperaturökningar görs i förhållande till ett medelvärde av temperaturen under referensperioden 1850 - 1900, där temperaturen ännu inte hunnit påverkas av mänsklig aktivitet (Figur 2). Under referensperioden var risken för värmeböljor 1 gång/10 år.



Figur 2. Utvecklingen av temperaturökningen jämfört med referensperioden, 1850 - 1900, fram till nutid (IPCC 2022).

I dagsläget har den globala medeltemperaturen redan ökat till 1 grad högre än referensperioden. Detta har medfört att risken för fler och mer intensiva värmeböljor är 2,8 gånger vanligare i norra delarna av Europa, det vill säga bland annat Sverige. Om 1,5 graders-målet nås förväntas det vara 4,1 gånger vanligare med värmeböljor, vilket innebär heta somrar likt år 2018 med längre perioder där den dagliga maxtemperaturen når över 30 °C. Samtidigt ökar urbaniseringen vilket leder till en förändrad markanvändning i form av mer hårdgjorda ytor och mer tät urban bebyggelse, vilket i sig försämrar möjligheten att dämpa effekten av värmebelastningen. Den globala uppvärmningen är svår att påverka lokalt i någon större grad (förutom minskade växthusgasemissioner) men det går dock, med genomtänkt urban planering, att i relativt stor grad påverka den lokala temperaturen.

2 Bedömningsgrunder

2.1 Termisk komfort utomhus

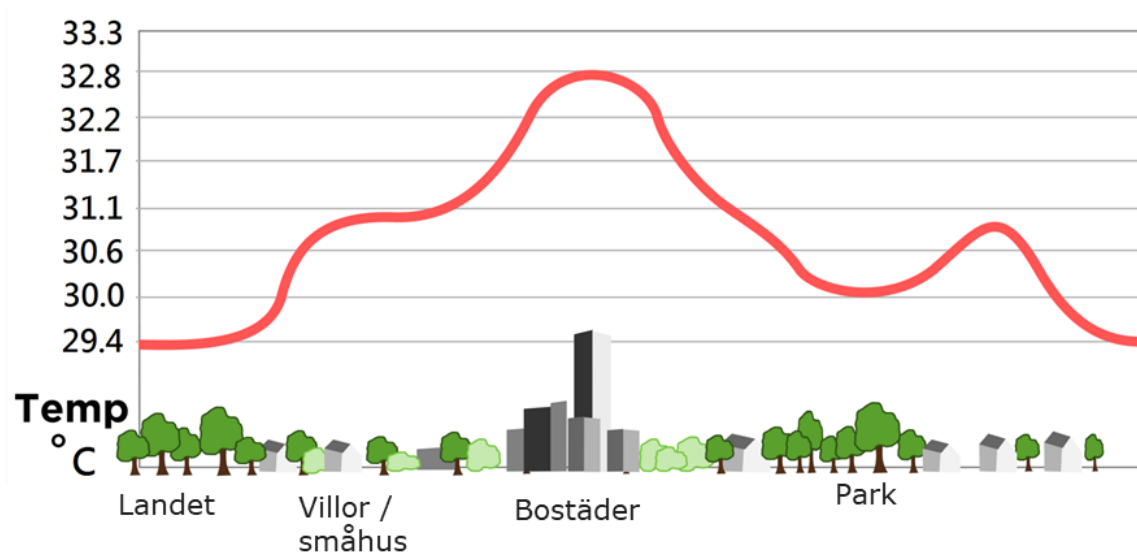
I flera länder, däribland Sverige, utfärdas varningar till allmänheten då det väntas bli höga lufttemperaturer under dagtid som innebär en förhöjd hälsorisk. I Sveriges utgår en varning om höga temperaturer ifall dagens högsta temperatur överstiger 26 °C under tre dagar i följd, se Tabell 1 (SMHI 2022).

Tabell 1. Befintliga gränser för varningar vid värmeböljor avseende lufttemperatur och de klassningar som används i denna utredning (SMHI 2022).

Typ av varning	Gränstemperatur och tidslängd
Meddelande om höga temperaturer	Om maxtemperaturen förväntas bli mellan 26 och 30 °C under 3 dygn i följd.
Gul varning	Om maxtemperaturen förväntas bli minst 30 °C under 3 - 4 dygn i följd
Orange varning	Om temperaturen förväntas bli minst 30 °C grader under mer än 5 dygn eller minst 33 °C under 3 dygn

Det vanligaste måttet för värme är lufttemperatur men under senare år har forskning visat att det vid varma och soliga dagar är den så kallade strålningstemperaturen (T_{mrt}) som är mest kritisk för människors hälsa (Folkhälsomyndigheten 2019; Thorsson m.fl. 2014). De högsta strålningstemperaturerna uppkommer i urban miljö i anslutning till solbelysta väggar och öppna hårdgjorda ytor. Dessa ytor kan bli mycket varma dagtid till följd av dessas förmåga att lagra solens strålning och vilka i sin tur värmer den angränsande luften. Det är i synnerhet byggnadskroppar i betong eller sten och hårdgjorda markytor så som asfalt som kan lagra stora mängder värme under dagen. Denna värmeenergi frigörs senare till omgivningen under sen eftermiddag och natten. Dessa två faktorer bidrar till att lufttemperaturen i en stad blir varmare än omgivande landsbygd, speciellt nattetid och har då även en variabilitet inom en stad till följd av olika bebyggelse och marktäckning. Fenomenet av temperaturskillnad stad/omland kallas för den urbana värmeön och skillnader inom en stad kallas intraurbana värmeöar.

Effekten av den urbana värmeön kan ses i Figur 3 som visar ett exempel på en profil för lufttemperaturen tvärs genom en stad. De centrala delarna är i detta fall drygt 3 °C varmare än omgivande områden dagtid. Här ses också att parken har en avkylande effekt. Det framgår även att centrala med tätbebyggda och hårdgjorda ytor ger varmare temperaturer.



Figur 3. Exempel på en lufttemperaturprofil tvärs genom en stad.

Resultatet av värmeöar blir en ökad exponering för människor i urbana områden och kan leda till så kallad värmestress. Till följd av den kontinuerligt ökande urbaniseringen kommer därför sannolikt tätare bebyggelse orsaka att fler människor utsätts för ökad risk för värmestress. Det går inte att påverka den storskaliga utvecklingen med fler värmeböljor men däremot kan lokala åtgärder i stadsplaneringen göras för att begränsa de negativa effekterna av själva urbaniseringen. Det är därför en stor fördel att genomföra detaljerade studier i områden med nyproduktion för att tidigt identifiera eventuella problem och på så sätt i tid kunna planera genomförandet av relevanta åtgärder. Nivån av strålningstemperaturen har en stor påverkan på risken för värmestress. Denna har även en stor spatial variabilitet beroende på bebyggelse, marktäckning och andel hög vegetation (träd) (se vidare nedan), varför detaljerade beräkningar för aktuella områden krävs. Baserat på denna information kan relevanta bedömningar göras av risk kopplat till värme och effekten av eventuella åtgärder kan testas.

I forskning av Thorsson m.fl. (2014) har gränsvärden för T_{mrt} tagits fram gällande risken för ökad mortalitet för olika åldersgrupper; 80+, 45 – 79 år samt alla åldrar (Tabell 2). Vid T_{mrt} över 59,4 °C identifierades en 10 % högre mortalitetsrisk för personer över 80 år och en 5 % högre mortalitetsrisk vid T_{mrt} över 55,5 °C. Denna åldersgrupp påverkas således mest av hög T_{mrt} dagtid. För de övriga grupperna 45 - 79 år respektive den för alla åldrar, identifierades en 5 % högre mortalitetsrisk vid T_{mrt} över 58,8 respektive 57,1 °C. Dessa gränsvärden kommer ligga till grund för analysen av beräkningarna för värmestress i denna utredning.

Tabell 2. Den genomsnittliga strålningstemperaturens (T_{mrt}) koppling till ökad mortalitetsrisk för tre olika åldersgrupper; alla åldrar, 45–79 år samt 80+ år. Åldersgrupp 80+ har en 10 % högre mortalitetsrisk vid T_{mrt} över 59,4 °C och en 5 % högre mortalitetsrisk över 55,5 °C. Vid 58,8 °C har åldersgruppen 45 – 79 år en 5 % högre mortalitetsrisk och alla åldrar vid 57,1 °C (Thorsson med flera 2014).

Ökning i mortalitetsrisk (%)	T_{mrt} (°C)		
	Alla åldrar	Ålder 45–79 år	Ålder 80+ år
5	57,1	58,8	55,5
10	-	-	59,4

2.2 Vind och den mänskliga upplevelsen av vind

2.2.1 Vinden i tätbebyggda områden

Jämfört med öppna ytor modifierar bebyggelse ofta vinden. Detta innebär att medelvindhastigheten i marknivå ofta blir lägre än om platsen hade varit utan bebyggelse. Å andra sidan ökar bebyggelsen markytans råhet, vilket gör att turbulensen och bygheten ökar. En ytterligare modifiering på vinden från bebyggelsen är att så kallade tratteffekter kan uppstå. Detta kan ske där vinden från vissa riktningar kanaliseras in i smala passager och där ge betydligt högre vindhastigheter än strax utanför passagen. Dessa effekter kan vara viktiga att identifiera om dessa platser exempelvis inkluderar utgångar, gång- eller cykelbanor eller där människor vistas. Höga byggnader och/eller icke homogen bebyggelsestruktur genererar även en ökad turbulens (virvlar som snabbt växlar i riktning och styrka) i markplan jämfört med icke bebyggda områden.

Vid utvärdering av vindeffekter i områden undersöks därför dels komforten med hjälp angivna komfortkriterierna (se nedan), dels vilken maximal vind som kan förekomma inom området dels turbulensen. Dessa olika mått underlättar bedömningen av, förutom användningsområdet olika plaster, vad som orsakar höga vindar då detta antingen primärt kan bero på nedtransport, tratteffekt eller stark turbulens. Beroende på vilka faktorer som dominerar så kan åtgärderna se olika ut.

2.2.2 Kriterier för vindkomfort

Det finns flera kriterier för vindkomfort på internationell basis, varav dessa är baserade på exempelvis medelvindhastighet, maximal vindhastighet, byvind etcetera. Vidare baseras kriterierna även på vindkomfort baserade på olika aktiviteter. Generellt gäller att godtagbara vindförhållanden för stillasittande/stillastående aktiviteter innebär både lägre gränsvärde för årsmedelvindhastigheten och mindre andel av tiden som detta gränsvärde får överskridas, än vid rörliga aktiviteter så som promenad eller cykling. Även vistelsetiden spelar roll. Detta innebär att på platser som främst är avsedda för långvariga vistelser, såsom torg eller lekplatser, bör vindhastigheten vara lägre än där man förväntas vara i rörelse, som till exempel gång- och cykelvägar. Här kan högre vindhastigheter under en större andel av tiden accepteras.

Ett kriterium som används internationellt är Lawsons vindkomfortskriterier (Lawson och Ad 1977). Dessa har i sin tur anpassats på olika sätt i efterhand, varav en modifierad version som ofta används är Lawsons kriterier baserade på London Docklands Development Corporation (LDDC) (Jenkins 2019). Vidare har även vissa städer anpassat skalan ytterligare för att bättre möta de mål och behov en stad kan ha, såsom London som vill öka andel ytor för caféer och förbättra miljön för promenader (City of London 2019).

I denna utredning har Lawson LDDC använts, se kriterierna i Tabell 3. Det kan antas att kriterierna är mer konservativa än andra vanliga kriterier, exempelvis Davenportkriteriet (Isyumov och Davenport 1975) eller Nederländernas standard (NEN 8700), då denna även tar i beaktning effekter vid lägre vindhastigheter. För att en plats ska ha godtagbara vindförhållanden krävs att den upplevda vindhastigheten för respektive aktivitet inte ska överskridas under mer än 5 % andel av tiden under ett genomsnittligt år.

Tabell 3. Vindkomfortkriterier enligt Lawson LDDC för respektive kategori för vistelsemiljö och aktivitet samt motsvarande acceptabel medelvindhastighet.

Kategori	Medelvinds- hastighet (m/s) (Bör ej överskridas mer än 5 % av alla timmar under ett år)	Beskrivning
Långvarigt stillasittande	<2,5 m/s	Acceptabel för frekvent användning av utomhusplatser, till exempel restaurang, café och lekplatser
Kortvarigt stillasittande	<4 m/s	Acceptabel för tillfällig utomhussittning, till exempel allmänna utomhusområden, balkonger och terrasser avsedda för tillfällig användning, osv.
Tillfälligt stillasittande/stående	<6 m/s	Acceptabel för entréer, busshållplatser, täckta gångvägar eller passager under byggnader.
Gående	<8 m/s	Acceptabel för trottoarer och gångvägar.
Obekväma förhållanden	>8 m/s	Obekvämt för regelbunden gångtrafik och cykling.
Osäkra förhållanden	>15 m/s	Osäkert för cykling och känsliga individer. Ökad risk för olyckor.

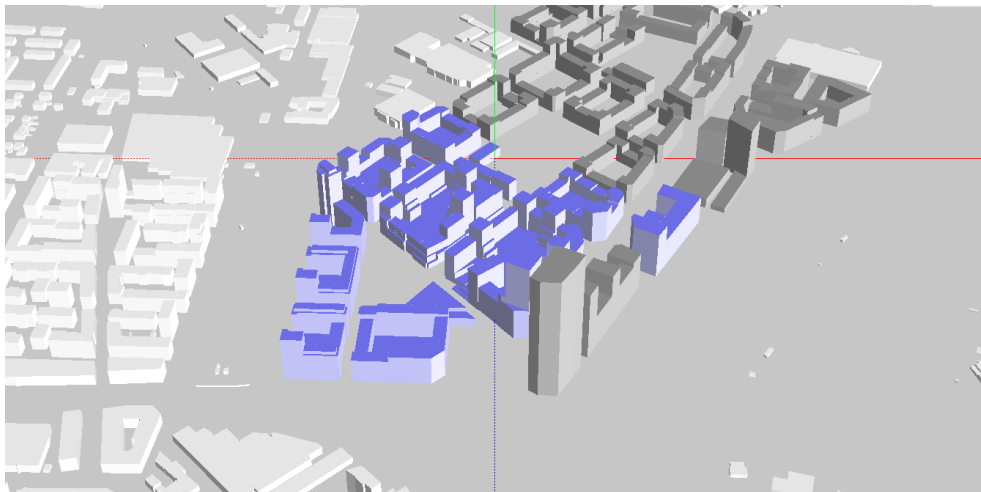
3 Metod

Nedan redovisas underlag och metodik som använts för både vindmodelleringen och den termiska modelleringen.

3.1 Underlag

3.1.1 Byggnadshöjder och topografi

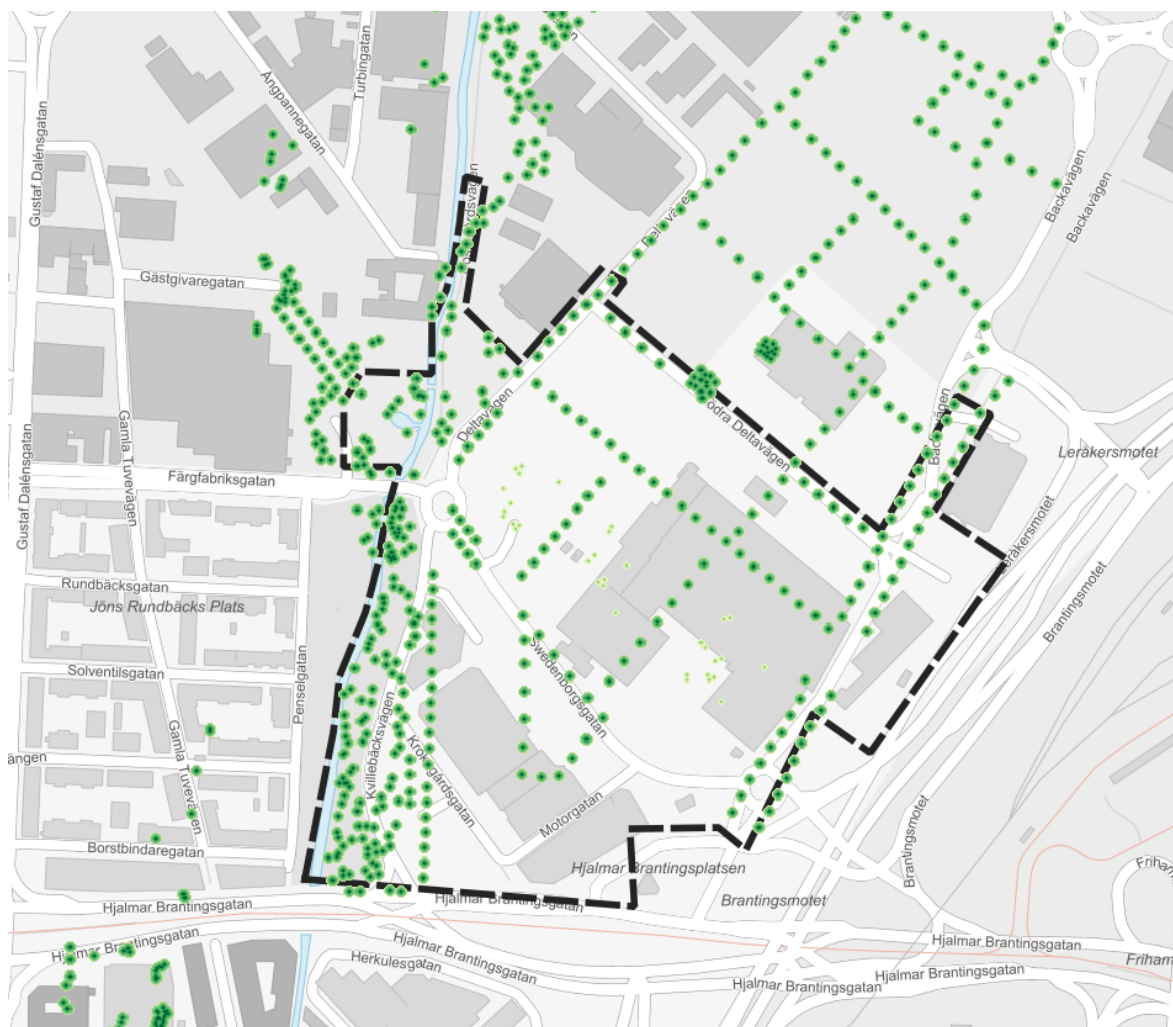
Byggnadsvolymer för DP2 har erhållits av Stadsbyggnadskontoret Göteborg stad 2024-09-13. Byggnader från angränsade detaljplaner har inkluderats i beräkningarna. I Figur 4 nedan visas en översikt av 3D-modellen för full utbyggnad över området. Samma byggnadsvolymer har använts i både värme- och vindmodellen.



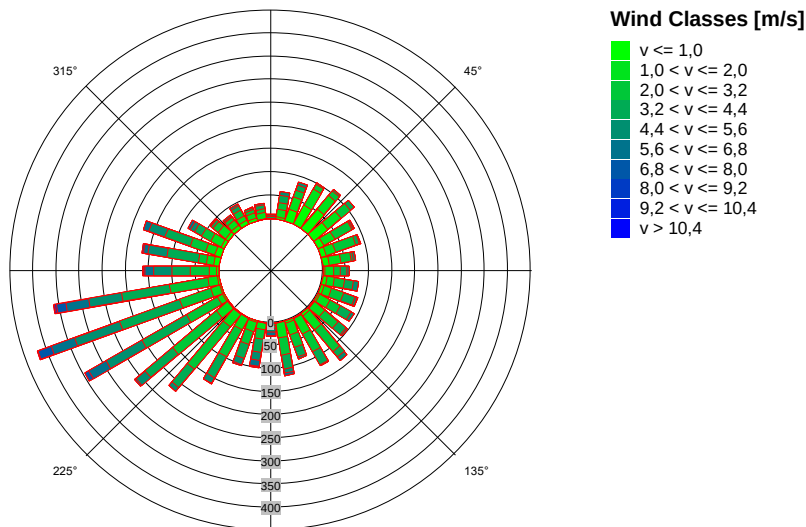
Figur 4. Översikt över 3D-modellen vid full utbyggnad, vy från söder. Ny bebyggelse för DP2 visas i lila.

3.1.2 Trädäckning

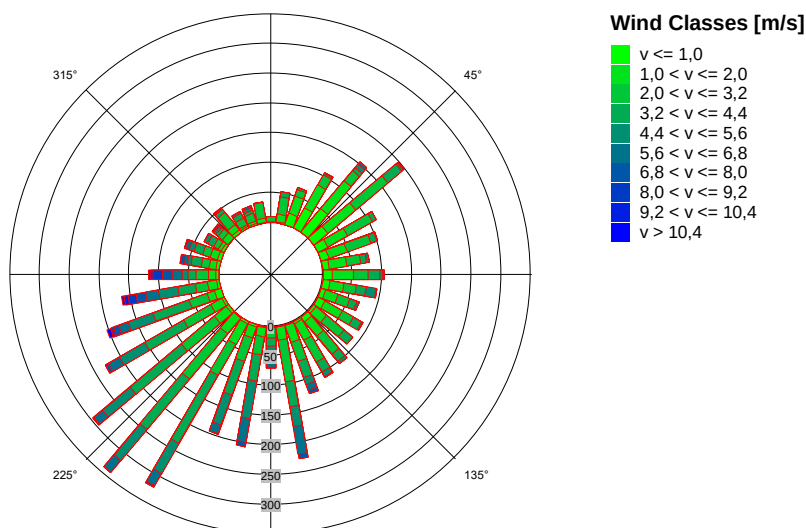
Indata för trädäckningen i området kan ses i Figur 5 och har tagits fram utefter antaganden från Stadsbyggnadsförvaltningen i maj 2023 om trädplacering på allmän plats. Viss modifiering har gjorts i samråd med Stadsbyggnadsförvaltningen, exempelvis de kluster av träd som placerats i planområdets nordöstra gräns. Samma trädäckning har använts i både värme- och vindmodellen.



Sommar



Vinter



Figur 6. Vindros för uppmätt vind vid Lejonet. Vindrosen visar fördelning av vindhastighet och vindriktning 10 meter över marken för sommar (april-oktober) respektive vinter (oktober–mars).

3.2 Finskalig modellering av termisk komfort utomhus

För beräkningarna av termisk komfort utomhus har modelleringssverktöget UMEP (Urban Multiscale Environmental Predictor) (Lindberg m.fl. 2018) (se Bilaga A) använts. I modellen kan beräkningar göras av termisk komfort utomhus, urban energiförbrukning och även fördelningen av sol och skugga utomhus etcetera UMEP används av arkitekter, stadsplanerare och klimatologer både inom forskning och för olika praktiska tillämpningar. Grunden för UMEP är ett modelleringssystem med olika moduler som tar hänsyn till de faktorer som styr det urbana temperaturklimatet (så som bebyggelsestruktur, geometri och markanvändning) och de relevanta processerna (till exempel den urbana energi- och strålningsbalansen).

För beräkning av genomsnittlig strålningstemperatur (T_{mrt}) används modulen SOLWEIG (Solar och Longwave Environmental Irradiance Geometry-model) i UMEP. Denna beräknas 1,1 m över marken, vilket motsvarar ett ungefärligt masscentrum för en stående människa, och påverkas

bland annat av lufttemperatur, luftfuktighet och global strålning. Skugga är många gånger fundamentalt för den termiska komforten. Minskad solinstrålning på grund av molnighet resulterar i en minskning av den uppmätta globalstrålningen. Hur högt och i vilket väderstreck solen står på himlen i kombination med byggnadernas höjd och placering styr hur skuggmönstret fördelar sig över området. Effekten av hur stor andel av tiden som marken är beskuggad påverkar därmed även hur mycket värmeinstrålning som marken exponeras för. De termiska förhållandena påverkas även av byggnadsmaterial och typ av marktäckning (till exempel hårdgjorda ytor så som asfalt samt gräs, grus/jord), då det styr utbytet av strålning (reflektion och emission).

En viktig parameter i SOLWEIG-modulen och för termisk modellering är Sky View Factor (SVF). SVF beskriver hur öppen en yta är vilket mäts genom hur stor andel av himlen som ses från respektive gridruta i modellen. Detta påverkar i hög grad hur mycket strålning som denna yta kan nås av respektive kan stråla ut från. En yta i ett trångt gaturum med höga byggnader ger en låg SVF och ett öppet fält ger en mycket stor SVF. Se beräknad SVF för Backaplan DP2 med omgivningar i Figur 7.



Figur 7. Ungefärligt beräkningsområde för den termiska modellen. Figuren visar beräknad SkyViewFactor (SVF) över beräkningsområdet för SOLWEIG. Ljusa områden indikerar mer öppna platser som tillåter mer instrålning, medan mörkare områden som gaturum är mer stängda och instrålningen mer begränsad. Trädens placering är baserat på antaganden utifrån underlag i maj 2023

3.2.1 Antaganden

I en studie av SMHI (2019) fastslogs det att dygnsmedeltemperaturerna i Sverige under sommaren 2018 var likställda de för en medelsommar prognosticerade med IPCCs RCP scenario 4.5 eller 8.5, beroende på vart i Sverige, i slutet av seklet (SMHI 2019), vilka även förväntas öka i frekvens (se avsnitt 1.4). Sommaren 2018 har därför valts för att visa ett värsta fall representativt både för dagens situation och även till viss del inkludera de meteorologiska förutsättningarna i ett framtida klimat (SMHI 2019). 27 juli 2018 valdes som lämpligt datum, dels för att det då var hög lufttemperatur (över 30 °C), dels för att solinstrålningen visade på en jämn solinstrålning under dagen.

Utredningen utgår från underlag från Stadsbyggnadsförvaltningen maj 2023. Då förelåg begränsad kunskap om exakt antal träd och trädplacering på allmän plats och i gaturum, varför ett antagande gjorts av dess placering i denna rapport. Antagandet baserades främst på att ett tillräckligt avstånd mellan träden skulle finnas för att ge plats åt parkering, garageinfarter med mera.

Stadsbyggnadsförvaltningen har i november 2024 inkommit med en uppdatering av antal träd och trädplaceringar utifrån liggande trafikförslag (oktober 2024). Det framgår av detta underlag att antalet träd på allmän plats, kommer bli betydligt färre än vad som är antaget i utredningen. Resonemang kring hur resultatet på T_{mit} kommer att påverkas lyfts i diskussionen (se kapitel 5.3).

Gällande markanvändningen har alla innergårdar antagits bestå av hårdgjorda ytor. Däremot finns det numera krav på möjlighet till 1 m jorddjup i planbestämmelserna, vilket sannolikt innebär att en del vegetationsytor kommer ersätta hårdgjorda ytor. I planbestämmelserna finns det även krav på trädäckning om 1 träd per 300 m² / reglerad sammanhängande underbyggd gårdsyta (Göteborgs stad 2023) men i denna utredning har träd endast placerats på de tre större gårdarna mellan Skolgatan och Swedenborgsgatan. Baserat på de antaganden som tagits gällande markanvändning och trädäckning, kan resultaten på innergårdarna därmed ses om ett värsta-fall-scenario.

Torget längs med Swedenborgsgatan har i denna utrednings beräkningar antagits vara grästäckt men kommer troligen bestå av hårdgjord yta. Sannolik effekt av denna förändring diskuteras i kapitel 5.3.

3.3 Vindkomfortmodellering

Vindberäkningen utförs med en CFD-modell (Computational Fluid Dynamics), Miskam-modellen (Microscale Climate and Dispersion Model, se vidare information i Bilaga B) som tar hänsyn till tredimensionella strömningsförhållandena mellan huskropparna. Beräkningarna med Miskam-modellen görs i två steg, där första modelleringssteget är att beräkna ett relevant och lokalspecifikt s.k. vindfält över området, baserat på lokala meteorologiska data. Modellen simulerar både turbulens (virvelbildning) och strömningsförhållanden runt byggnader i mikroskala, exempelvis runt enskilda byggnader, i gaturum eller kvarter, och lämpar sig därmed väl för detaljerade vindstudier i tätbebyggda områden (Haeger-Eugensson, Andersson, och Kindell 2019).

För att kunna beräkna realistiska vindförhållanden över ett område behöver CFD-modellen meteorologiska indata (se underlag i avsnitt 3.1.3) som representerar de lokala förhållanden med avseende vindhastighet och vindriktning. Modellen beräknar 36 olika vindriktningar varav vindhastigheten tas hänsyn till i enlighet den angivna vindstatistiken.

3.3.1 Antaganden

I vindmodelleringen har beräkningarna gjorts för vindsimuleringar för sommar- respektive vinterperioden separat. Detta för att ta hänsyn till vegetationen under sommaren samt ta hänsyn till säsongssvis aktivitet.

I Miskam modelleras träd genom att definiera lövareadensitet och lövtäckning. Trädens stam modelleras därmed utan dessa parametrar medan lövdensitet och -täckning fördelas över kronan, där kronans mitt har högst densitet och täckning. I modellen har befintliga träd enligt Boverket antagits vara 3–25 meter höga i enlighet med underlaget, med antagande om stam och kronhöjd. Planerade träd har modellerats med höjder enligt beskrivet i avsnitt 3.1.2.

4 Resultat

4.1 Strålningstemperatur, T_{mrt}

T_{mrt} har beräknats för den 27e juli 2018, en dag som valts ut för att representera ett värsta-fall-scenario samt ge en indikation om hur förhållandena kan komma att se ut i ett framtida klimat (se avsnitt 3.2.1). Resultaten av T_{mrt} redovisas för kl. 16:00 lokal tid (UTC+2) (Figur 8) samt andel av tiden som T_{mrt} överskrider 55 °C (Figur 9), vilket är gränsvärdet för en 5 % ökad mortalitetsrisk för personer över 80 år (Tabell 2), mellan 7 – 20 lokal tid. Att studera antalet timmar som gränsvärden överskrids möjliggör för en analys av T_{mrt} över tid och därmed se till belastningen under en hel dag.

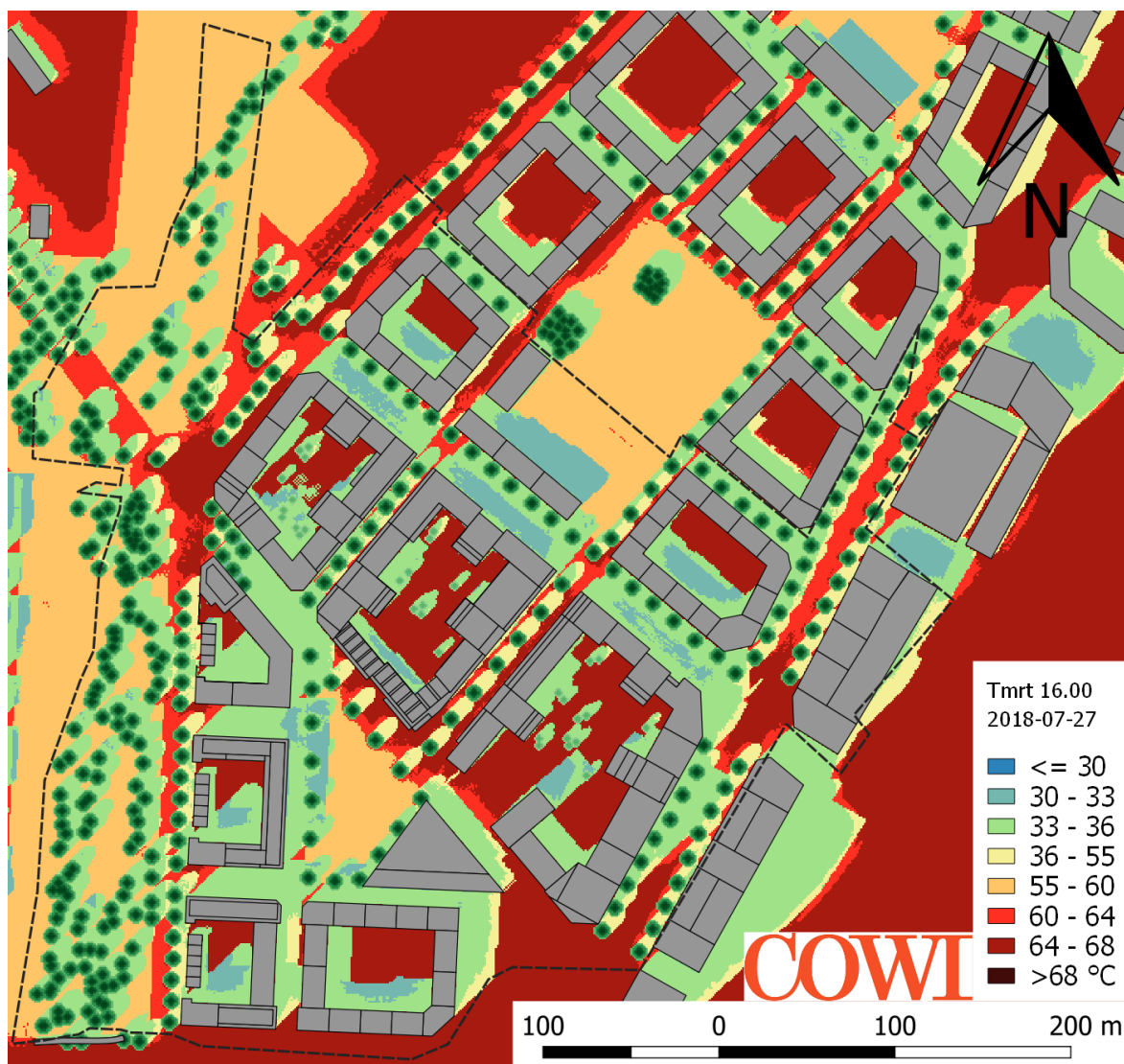
Som nämnts i avsnitt 3.2.1 har vissa av de primärt antagna förutsättningarna förändrats, vilket får mer eller mindre påverkan på T_{mrt} beroende på typ och grad av förändring. Allt nedan presenterat resultat baseras dock på de primära förutsättningarna. I kapitel 5.3 diskuteras däremot effekten av vissa av de större förändringarna men för att veta exakta nivån på T_{mrt} skulle nya beräkningar behövas.

4.1.1 Strålningstemperatur 16.00

I Figur 8 visas resultaten för beräknad T_{mrt} vid 16.00 lokal tid (UTC+2). Solinstrålningen vid den här tidpunkten kommer från sydväst, vilket förklarar en lägre T_{mrt} nordöst om byggnader och vegetation. På öppna, hårdgjorda ytor så som innergårdarna överskrider T_{mrt} 64 °C, vilket innebär en 5% ökad mortalitetsrisk för alla åldrar (gränsvärdet för detta är 57 °C, se Tabell 2) samt en 10% ökad mortalitetsrisk för personer över 80 år (gränsvärdet för detta är 60 °C, se Tabell 2). I beskuggade områden av träd eller byggnader sjunker T_{mrt} med 30 °C och innebär därmed ingen ökad mortalitetsrisk.

Resultaten visar även att planerad vegetation i området hjälper till att sänka T_{mrt} i gaturum. I trängre, öst-väst riktade gaturum skänker byggnaderna skugga (exempelvis söder om kv.62 och 70) men i öppnare gaturum (Skolgatan) samt nord-syd riktade gaturum (Backavägen, bidrar vegetationen med god avlastning från hög T_{mrt} .

Vissa öppna ytor har en lägre T_{mrt} än andra, vilket är en effekt av att dessa är grästäckta, snarare än hårdgjorda. Exempel på detta kan ses på torget längs med Swedenborgsgatan samt omkring förskolegården norr om Skolgatan. Effekten är inte lika tydlig som den från skugga men resulterar i att T_{mrt} varierar mellan 55 – 60 °C i stället för över 60 °C, vilket innebär en lägre mortalitetsrisk (5%) för äldre personer än på de öppna hårdgjorda ytorna.



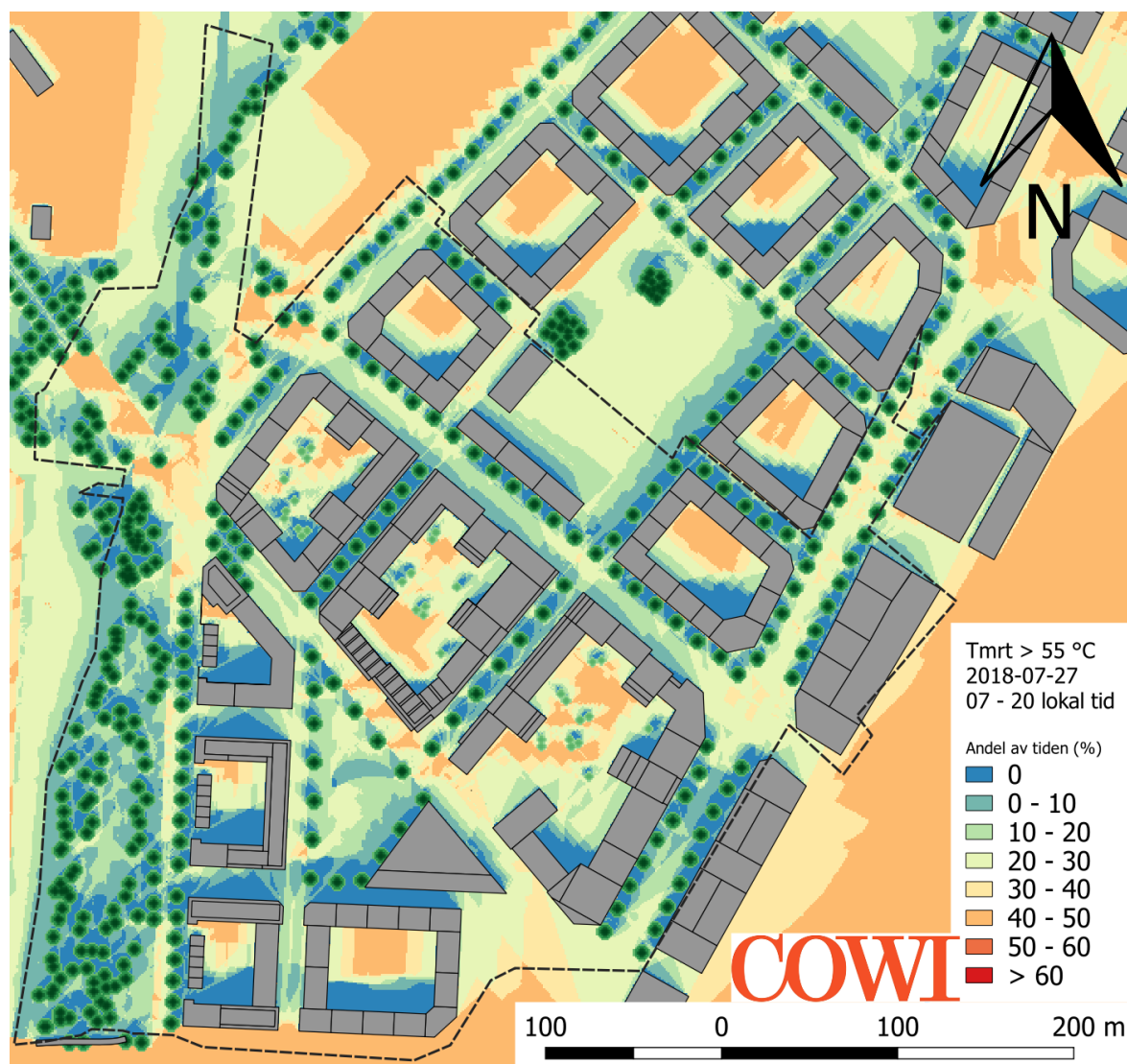
Figur 8. Beräknade strålningstemperaturer (T_{mrt}) den 27e juli 2018 kl. 16:00 lokal tid (UTC+2). Streckad linje indikerar planområdesgränsen för Backaplan DP2, medan gröna cirklar visar placeringen av planerade träd. Trädens placering är baserat på antaganden utifrån underlag i maj 2023

4.1.2 Strålningstemperatur över 55 °

I Figur 9 presenteras resultaten med andelen timmar där T_{mrt} överskrider kriteriet för en 5% ökad mortalitetsrisk för personer över 80 år (Tabell 2), dagtid (7 – 20 lokal tid (UTC+2)) 2018-07-27. Resultaten visar att området på innergårdar intill sydligt riktade fasader riskerar hög T_{mrt} under 40 – 50% av tiden under dagen. Samma slutsats kan dras om öppna, hårdgjorda ytor utan beskuggning. Likt resultaten vid kl. 16.00 (Figur 8) bidrar grästäckta ytor även över tid med lägre T_{mrt} , då dessa ytor överskrider 55 °C mellan 20 – 30 % av tiden (exempelvis torget längs med Swedenborgsgatan eller förskolegården norr om Skolgatan), snarare än 40 – 50 %.

Även dessa resultat visar att den planerade vegetationen bidrar med en påtaglig och positiv minskning av T_{mrt} , där flera av de större innergårdarna har träd planerade som innebär att hög T_{mrt} endast inträffar mellan 10 – 20% av tiden. Det framgår även att träd i kluster, som återfinns i det största innergården, ger det mest effektiva sänkningen av T_{mrt} . Denna strategi kan därmed vara den bästa om endast ett begränsat antal träd kommer kunna planteras. Då erhålls åtminstone en påtagligt svalare plats på innergården för att bereda möjlighet till utomhusaktiviteter även vid värmeböljor.

Även på sydväst-nordöst riktade Backavägen bidrar vegetationen med en minskad andel av tiden då T_{mrt} överskrider 55 °C.

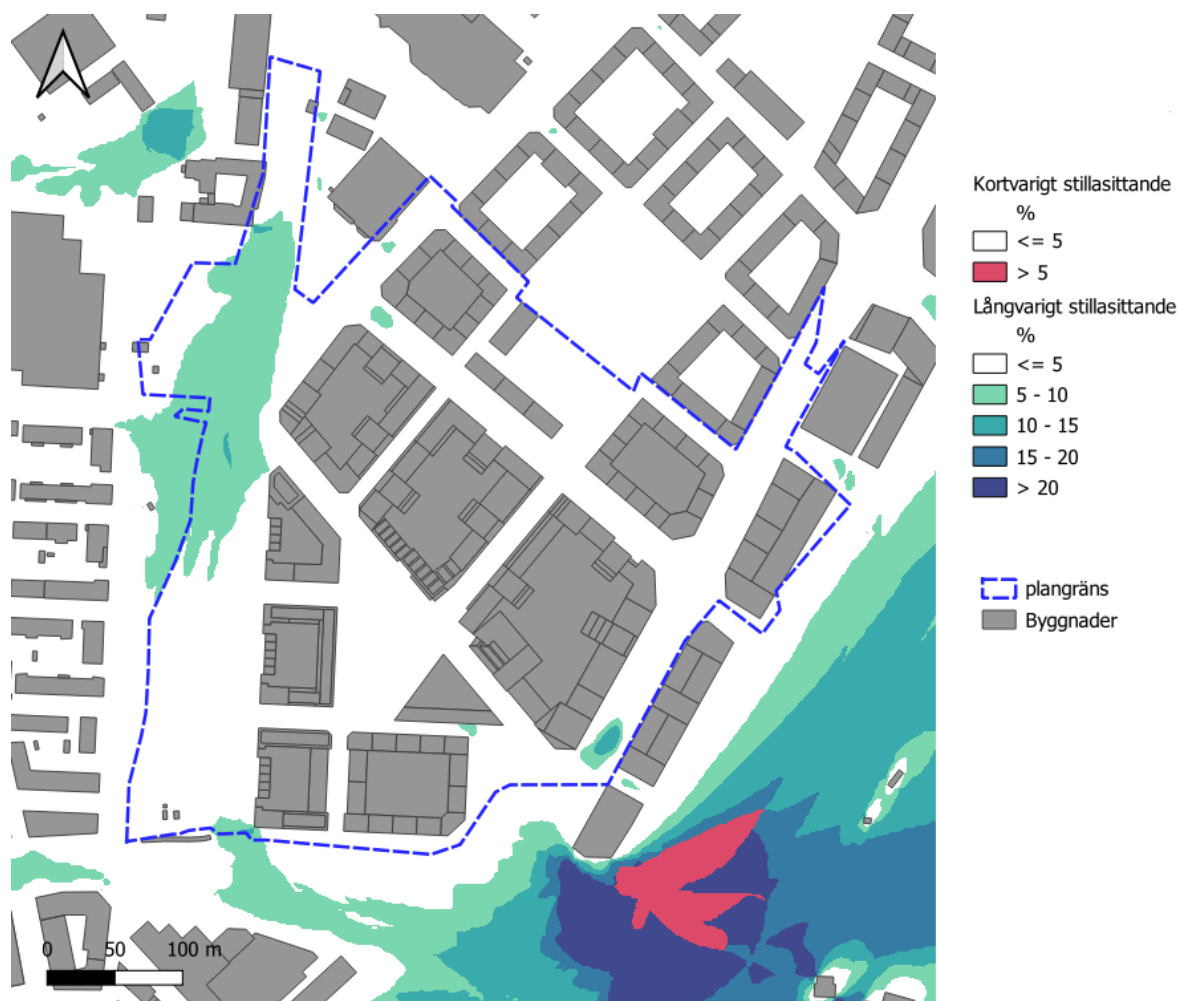


Figur 9. Beräknad andel av tiden (%) mellan 07 – 20 lokal tid (UTC+2) den 27e juli 2018 som strålningstemperaturen (T_{mrt}) överskrider 55 °C, vilket är gränsvärdet för en 5 % ökad mortalitetsrisk för personer över 80 år. Streckad linje indikerar planområdesgränsen för Backaplan DP2, medan gröna cirklar visar placeringen av planerade träd. Trädens placering är baserat på antaganden utifrån underlag i maj 2023.

4.2 Vindkomfort

För bedömning av vindkomforten appliceras de vindkomfortkriterier som beskrivs i Tabell 3. För att bedöma vindförhållandena enligt dessa kriterier har beräkningar gjorts dels för medelvindhastigheten, dels hur ofta olika vindhastigheter uppträder. Resultaten nedan visar de områden där förekomsten av höga vindhastigheter för respektive aktivitet förekommer mer än 5 % av alla timmar under ett år, se resultat för medelvindhastigheten i Figur 10.

Med avseende på medelvindhastighet visar resultatet att stora delar av utredningsområdet har goda förutsättningar för långvarigt stillasittande, medan hela området har goda förutsättningar för kortvarigt stillasittande. Det område med sämre förutsättningar för långvarigt stillasittande är norra delarna av Kvilleparken (Figur 10), men har bättre förutsättningar för kortvarigt stillasittande enligt kriterierna.



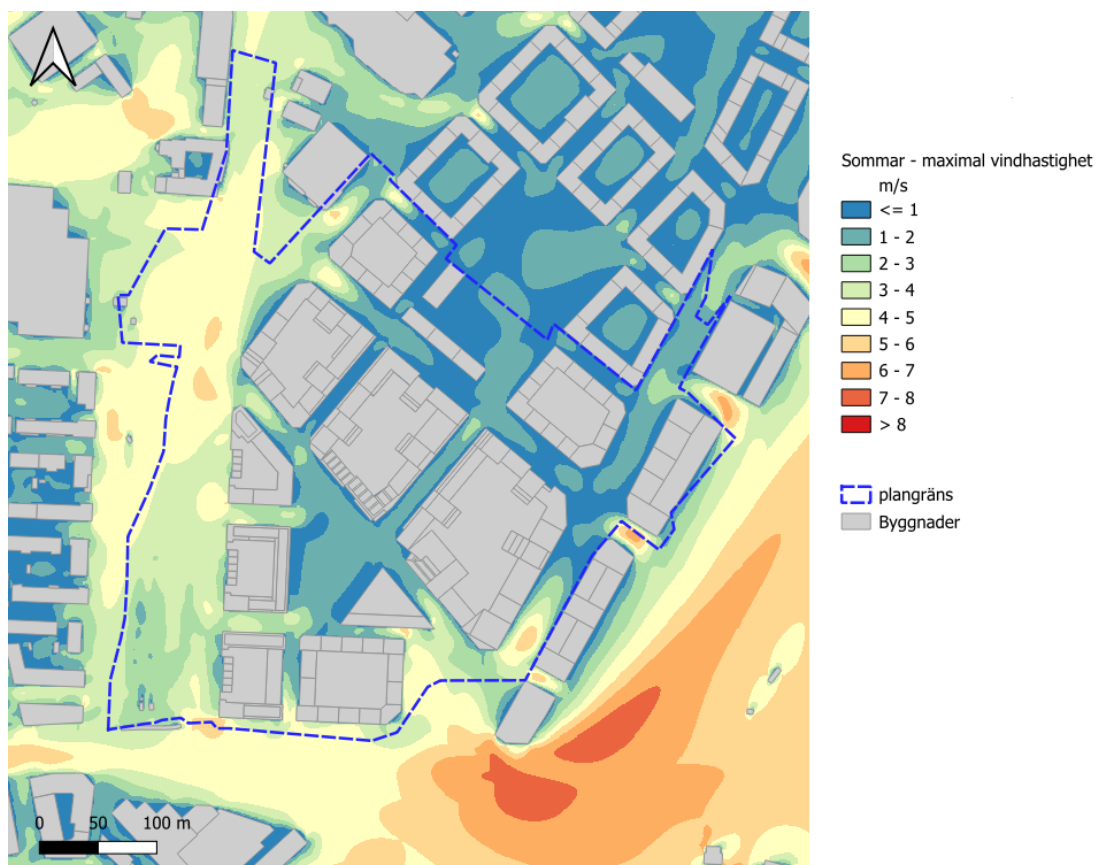
Figur 10. Områden som överskrider gränsen för kort- (rött) och långvarigt (blått) stillasittande med avseende på medelvindhastigheten. Övriga aktiviteter klarar kriterier enligt Lawson LDDC.

Behovet och utförande av olika aktiviteter skiljer sig åt säsongvis, vilket även vinden gör. Därför presenteras även resultat säsongvis för sommar- och vinterperioden, se Figur 11 och Figur 12. För att kunna visa vilka områden där högst vindar förekommer, som värsta fall, redovisas därför maximala vindhastigheten.

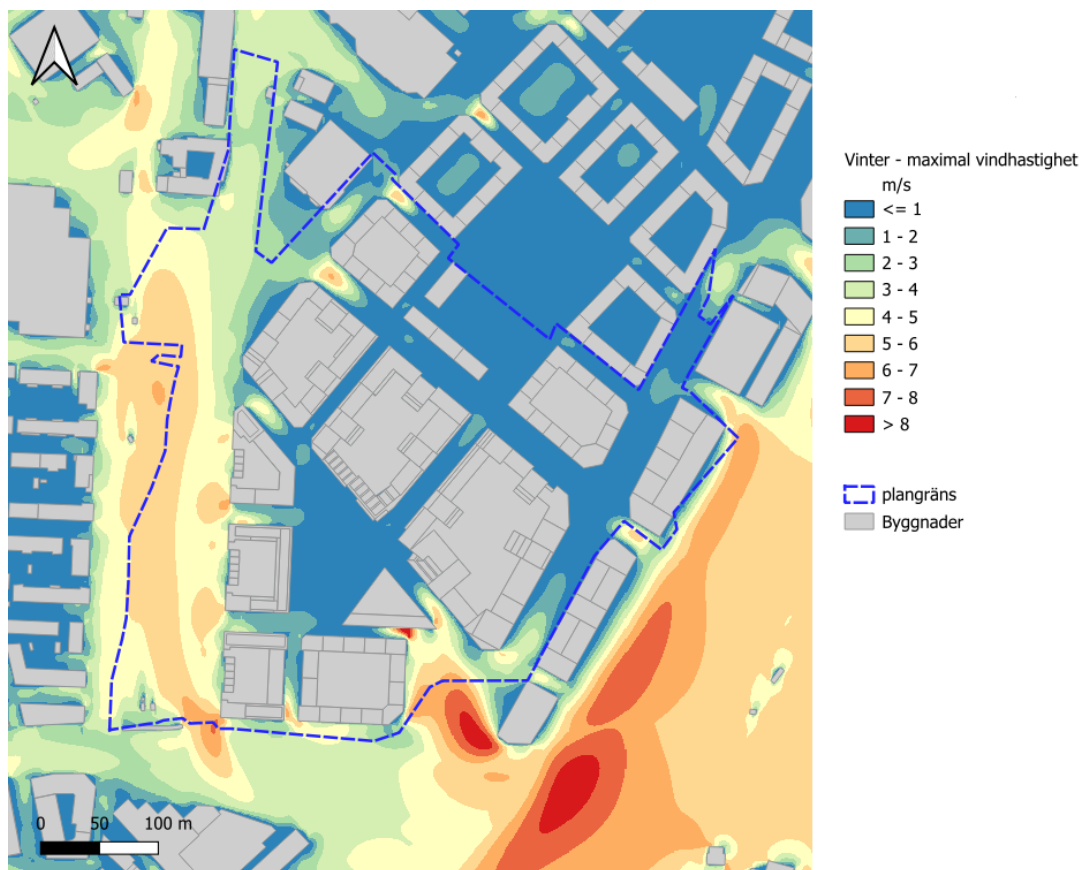
Vindhastigheter över 8 m/s kan uppfattas vara obekväma för aktiviteter så som regelbunden gångtrafik och/eller cykling, vilket underskrids på planområdet under sommarperioden (Figur 11), dock är hastigheterna höga längs Lundbyleden och in mot hållplatsen vid Hjalmar Brantingsgatan.

Under vinterperioden överskrider vindhastigheterna 8 m/s söder om kv. 70, norr om hållplatsområdet (Figur 12). Jämfört med sommarperioden är även vindhastigheterna i Kvilleparken något högre under vinterperioden, medan vindhastigheterna mellan kvarteren är något lägre.

Vindhastigheter som anses osäkert och kan innebära risk med avseende på olyckor (15 m/s) underskrids i hela området under båda perioder.



Figur 11. Maximal vindhastighet (m/s) under sommarperioden.



Figur 12. Maximal vindhastighet (m/s) under vinterperioden.

5 Diskussion och slutsatser

5.1 Planering avseende värmestress

Resultaten av beräknad T_{mrt} den 27e juli 2018 visar att öppna hårdgjorda ytor så som de flesta innergårdarna i Backaplan DP2, resulterar i en hög värmestress (T_{mrt} över 64 °C) vid 16.00 lokal tid (UTC+2), se Figur 8. Detta innebär en 10% ökad mortalitetsrisk för personer över 80 år (Tabell 2). Grästäckta ytor bidrar till en aning lägre värmestress, med T_{mrt} mellan 55 – 60 °C. Resultaten visar att beskuggade områden av träd eller byggnader resulterar i en ca 30 °C sänkning av T_{mrt} . Träd är därmed en mycket verksam åtgärd för att sänka den termiska belastningen i utsatta områden men dess placering är viktig för att nå en optimal sänkning. Genom att placera träd i norra delarna av innergårdarna utnyttjas både skuggeffekten från byggnadens södra del samt effekten från träden. Ett exempel på väl planerade träd kan ses längs Backavägen, ett sydväst-nordöst riktat gaturum med hög instrålning under en dag. I centrala delen av gatan är T_{mrt} fortfarande hög (över 60 °C) men på dess trottoar når inte T_{mrt} över 55 °C, vilket innebär att människor generellt inte exponeras för alltför höga T_{mrt} och att risken för ökad mortalitet är liten. Utan träd hade T_{mrt} sannolikt överskridit 60 °C i stora delar av gaturummet. Om träd placeras längs med den sydliga delen av en byggnad eller ett gaturum, kommer inte beskuggningen bli lika effektiv.

Mellan kl. 7 – 20 lokal tid (UTC+2) visar resultaten av beräknad T_{mrt} att innergårdarna löper störst risk för hög värmestress över tid (över 40%), varför trädplacering rekommenderas i dessa områden för att mildra belastningen och skapa svala områden (Figur 9). Likt resultaten av T_{mrt} vid klockan 16.00 lokal tid (UTC+2), är skugga från träd den effekt som minskar den termiska belastningen som mest men även grästäckta ytor gör nytta och bidrar till något svalare ytor. Vid kluster av träd blir effekten av temperatursänkningen ännu större än för enstaka träd, vilket därför rekommenderas vid planering på öppnare ytor som innergårdar, torget längs Swedenborgsgatan eller förskoleområdet norr om Skolgatan. Om enskilda träd planeras är en stor krondiameter och kronhöjd att föredra för att öka den beskuggade ytan omkring trädet och därigenom sänka minska den termiska belastningen under fler timmar under dagen. Mindre träd kan dock fortfarande erbjuda mindre ytor av skugga under enstaka timmar.

För denna utredning har alla nyplanterade träd antagits vara lövträd, då dessa ger skugga på sommaren men släpper in ljus i byggnader under vintern, vilket även rekommenderats i tidigare utredningar med fokus på bland annat värme i Göteborg (Andersson-Sköld m.fl. 2015). Beräkningarna har även gjorts vid trädens fullvuxna storlek, vilket innebär att den termiska belastningen kommer vara större fram tills att aktuell krondiameter och höjd uppnåtts. COWI har, i samarbete med Stadsbyggnadsförvaltningen, nyligen tagit fram en åtgärds katalog för områden med hög risk för värmestress baserat på en sammanställning av den senaste forskningen inom fältet (COWI 2024). Förslag har tagits fram på några effektiva alternativa åtgärder till träd, om en snabbare beskuggning behövdes (träd tar flera år innan de ger effektiv beskuggning) eller om träd inte är tillämpligt. Här nämns exempelvis pergolor, markiser eller segeldukstak. Särskilt intill eller ut från byggnader är detta effektiva lösningar för att erbjuda skugga under varma dagar. För mer detaljerad information och fler åtgärder, se vidare i *Planera för en varmare stad – åtgärds katalog* (COWI 2024).

Beräkningarna i denna utredning har utförts under en väldigt varm sommardag med hög solinstrålning under en ihållande period av höga lufttemperaturer som SMHI likställt med de för en medelsommar prognosticerade med IPCCs RCP scenarier 4.5 och 8.5 i slutet av seklet (SMHI 2019). Därför kan resultaten från denna utredning ses som ett värsta fall.

5.2 Planering med avseende på vindkomfort

För sociala ytor där det antas att människor vill kunna vistas en längre stund (exempelvis i parker och caféer) ska det vara övervägande vindstill, med en mycket hög andel timmar med mycket svaga vindar. Resultatet från vindkomfortberäkningen baseras på helårsstatistik för ett blåsigt år, vilket ger ett värsta fall med avseende på vind. I Sverige är utomhussäsongen relativt kort och begränsad till den varmare perioden av året, från ca april till oktober och det är under den perioden när människor är mest utomhus och vill kunna sitta på uteserveringar, i parker eller lekplatser.

Resultaten visar på höga vindhastigheter i området sydost om planområdet, vilket skapar möjlighet för vindar med hög hastighet att ledas in till planområdet och öppnare delar får därmed mindre goda förutsättningar för långvarigt stillasittande. Detta gäller också området i gaturum som gränsar mellan Backavägen och Hjalmar Brantingsplatsen.

I Kvilleparken visar resultaten gällande medelvindhastigheten att hela parken har goda förutsättningar för kortvarigt stillasittande. Södra delen av Kvilleparken har dessutom goda förutsättningar för långvarigt stillasittande (Figur 10). För att skapa fler ytor med goda förutsättningar långvarigt stillasittande i norra delarna av Kvilleparken, föreslås att vegetation intill parkbänkar och andra tilltänkta ytor för sittande prioriteras för att bromsa upp höga vindhastigheter.

Under sommarperioden är den maximala vindhastigheten (Figur 11) lägre i Kvilleparken än under vinterperioden (Figur 12), vilket förklaras av lövtäckning som resulterar i en högre effektivitet av träden gällande uppbromsningen av höga vindhastigheter. Dock bör det tas i beaktning att vindstatistiken visar att det förekommer högre vindhastigheter under vintern än sommaren så effekten från vegetationen är svår att kvantifiera.

På torget längs Swedenborgsgatan samt inom förskoleområdet norr om Skolgatan är förhållandena goda för långvarigt stillasittande. Vindhastigheterna uppgår även till som högst 1 m/s (vinter) och 3 m/s (sommar). Sammantaget görs därmed bedömningen att förutsättningarna för god vindkomfort är goda inom planområdet.

5.3 Möjliga effekter av förändrat underlag

5.3.1 Trädtäckning på allmän plats

I det uppdaterade underlaget som kom in i oktober 2024 framgår att antalet träd kommer vara färre än de som antagits i denna utredning på allmän plats och gaturum, vilket sannolikt kommer bidra till en ökad värmestress i vissa delar. Eftersom tiden för beskuggning är den parameter som påverkar nivån av T_{mrt} mest, kommer detta innebära att de T_{mrt} som beräknats för vissa platser är mer eller mindre underskattad. Mest effekt kommer ses för platser med lång tid av solexponering, så som gaturum med sydligt till västligt riktade fasader. I områden likt dessa rekommenderas att träd prioriteras där människor vistas, så som trottoarer eller utgångar. Sammantaget ovan bör resultaten från denna utredning på allmänna platser och i gaturum, användas som en indikation för trädens betydelse för den termiska belastningen.

5.3.2 Innergårdars utformning

I denna utredning har alla innergårdar antagits bestå av hårdgjorda ytor. I de nya planbestämmelserna finns det däremot krav på möjlighet till minst 1 m jorddjup, vilket skapar förutsättningar för att innergårdarna inte täcks helt av hårdgjorda ytor utan kan kompletteras med gräs. Även om grästäckta ytor inte har lika stor effekt som skuggan av träd på den termiska belastningen, sänker den T_{mrt} med några grader och kan leda till att mortalitetsrisken minskar. Exempel på detta kan ses på torget längs med Swedenborgsgatan som antagits vara grästäckt, där T_{mrt} är några grader lägre än öppna hårdgjorda ytor och som därmed resulterar i att mortalitetsrisken för person över 80 år minskar (Figur 8).

Det har även i denna utredning endast placerats träd på de tre större gårdarna mellan Swedenborgsgatan och Skolgatan men i planbestämmelserna finns krav på ett träd per varje 300 m² (Göteborgs stad 2023). Effekten av den ovan definierade ökningen av träd enligt planbestämmelsen förväntas ge viss men begränsad effekt, varför befintligt resultat antas vara relevant. Placering av träd i kluster förbättrar dock beskuggningen och därmed T_{mrt} och kan därför med fördel prioriteras i norra delarna av innergårdarna, som är de mest utsatta för hög värmestress.

Samtantaget ovan nämnda förändringar av underlaget till beräkningarna, bör resultaten i denna utredning ses som ett värsta-fall-scenario gällande den termiska belastningen på innergårdarna. Med justering för grästäckning och plantering av träd, finns goda förutsättningar för att skapa innergårdar med låg värmestress. Däremot är det svårt att utan nya beräkningar kvantitativt bedöma effekten av de större förändringarna på allmän plats och i de aktuella gaturummen.

6 Referenser

- Andersson-Sköld, Yvonne, Sofia Thorsson, David Rayner, Fredrik Lindberg, Sara Janhäll, Anna Jonsson, Ulf Moback, Ramona Bergman, och Mikael Granberg. 2015. "An integrated method for assessing climate-related risks and adaptation alternatives in urban areas". *Climate Risk Management* 7:31–50. doi: 10.1016/j.crm.2015.01.003.
- City of London. 2019. *Wind Microclimate Guidelines - For developments in the city of London*.
- COWI. 2024. *Åtgärds katalog - planera för en varmare stad*. A257641-4-02-01-RAP-003-Åtgärds katalog.
- Folkhälsomyndigheten. 2019. "Värme och människa i bebyggd miljö – kunskapsstöd för åtgärder som minskar hälsoskadlig värme — Folkhälsomyndigheten". Hämtad 01 februari 2023 (<https://www.folkhalsomyndigheten.se/publikationer-och-material/publikationsarkiv/v/varme-och-manniska-i-bebyggd-miljo--kunskapsstod-for-atgarder-som-minskar-halsoskadlig-varme/>).
- Göteborgs stad. 2019. "Stadskarta WMS-tjänst". Hämtad 14 maj 2024 (<https://goteborg.se/wps/portal?uri=gbglnk%3a2015816171319546>).
- Göteborgs stad. 2024. "Luftkvalitet och meteorologiska data, månadsrapporter". Hämtad 01 juli 2024 (<https://goteborg.se/wps/portal?uri=gbglnk%3a20221026103811891>).
- Göteborgs stad, Stadsbyggnadskontoret. 2023. "Detaljplan för Centrumbebyggelse inom Backaplan inom stadsdelarna Backa, Tingstadsvassen och Kvillebäcken i Göteborg".
- Haeger-Eugensson, Marie, Stefan Andersson, och Sven Kindell. 2019. *Modellering av luftkvalitet i markplan i tätbebyggda områden - Jämförelse mellan en CFD- och OSM-modell samt två Gaussiska modeller. C124*. ISSN 1400-383X. University of Gothenburg.
- IPCC. 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]*. Cambridge University Press.
- Isyumov, N., och A. G. Davenport. 1975. "The ground level wind environment in built-up areas". n Proc. 4th Int. Conf. on Wind Effects on Buildings and Structures.
- Jenkins, Megan. 2019. "Wind Comfort Criteria: Lawson, Davenport, and NEN 8100". *SimScale*. Hämtad 27 juni 2024 (<https://www.simscale.com/blog/wind-comfort-criteria/>).
- Lawson, Tv, och Penwarden Ad. 1977. "The Effects of Wind on People in the Vicinity of Buildings." *DEP. AERONAUT. ENG., UNIV. BRISTOL, UK*.
- Lindberg, Fredrik, Christine Grimmond, Andrew Gabey, Bei Huang, Christoph Kent, Ting Sun, Natalie Theeuwes, Leena Järvi, Helen Ward, Isabella Capel-Timms, Yuanyong Chang, Per Jonsson, Niklas Krave, Dongwei Liu, D. Meyer, Frans Olofson, Jianguo Tan, Dag Wästberg, Lingbo Xue, och Zhe Zhang. 2018. "Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP): An integrated tool for city-based climate services". *Environmental Modelling & Software* 99:70–87. doi: 10.1016/j.envsoft.2017.09.020.
- SMHI. 2019. "Sommaren 2018 - en glimt av framtiden? | SMHI". Hämtad 01 februari 2023 (<https://www.smhi.se/publikationer/publikationer/sommaren-2018-en-glimt-av-framtiden-1.149088>).

SMHI. 2022. "Varning för höga temperaturer | SMHI". Hämtad 01 februari 2023 (<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/varningar-och-meddelanden/varningstyper/varning-for-hoga-temperaturer-1.169218>).

SMHI. 2023. "Ladda ner meteorologiska observationer | SMHI". Hämtad 29 mars 2023 (<https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer#param=airtemperatureInstant,stations=all>).

Thorsson, Sofia, Joacim Rocklöv, Janina Konarska, Fredrik Lindberg, Björn Holmer, Bénédicte Dousset, och David Rayner. 2014. "Mean Radiant Temperature – A Predictor of Heat Related Mortality". *Urban Climate* 10:332–45. doi: 10.1016/j.uclim.2014.01.004.

Bilaga A UMEP-modellen och SOLWEIG-modulen

För att beräkna den upplevda temperaturen – strålningstemperaturen – används modelleringsverktyget UMEP (Urban Multi-scale Environmental Predictor). I detta verktyg ingår bland annat modellen SOLWEIG (Solar and Longwave Environmental Irradiance Geometry), utvecklad av Lindberg et al. (2008) vid Göteborgs universitet. SOLWEIG är en GIS-baserad modell som använder högupplösta kartlager. I SOLWEIG beräknas strålningstemperaturen med hjälp av en höjdmodell, DSM (Digital Surface Model) över området, lufttemperaturen samt solinstrålningen. Först beräknas hur mycket av himlen som syns (SVF, Sky View Factor) samt hur skuggorna ligger för den valda tidpunkten på året. Detta görs för varje pixel i DSM:en. Därefter beräknas de olika strålningsbidragen – både inkommande och utgående långvågig och kortvågig strålning. Den inkommande långvågig strålning med hjälp av SVF, lufttemperatur och relativ luftfuktighet. Skuggmönstret och lufttemperaturen används för att ta fram byggnadernas och markens yttemperaturer, från vilka den långvågiga, utgående strålningen kan beräknas. Den inkommande såväl som utgående kortvågiga strålningen beräknas från solstrålning, SVF, solhöjd, skuggmönster samt alla ingående ytors albedo. Slutligen beräknas strålningstemperaturen från de fyra komponenterna av kort- och långvågig strålning. Det är möjligt att lägga in och använda kartlager även för marktäckte och vegetation och på så sätt få en förbättrad beskrivning av ytors optiska egenskaper respektive skuggmönster.

Litteratur:

Lindberg, F., Holmer, B. och Thorsson, S., "SOLWEIG 1.0 – Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings", *Int. J. Biometeorol.* **52** (2008).

Bilaga B Miskam-modellen

Miskam betyder Microscale Climate and Dispersion Model. Miskam-modellen är en av de idag mest sofistikerade modellerna för beräkning av spridning avseende luftföroreningar i mikroskala. Det är en tredimensionell dispersionsmodell som kan beräkna vind- och haltfördelningen med hög upplösning i allt från gaturum och vägvägsnitt till kvarter eller i delar av städer eller för mindre städer. Det tredimensionella strömningsmönstret runt bland annat byggnader beräknas genom tredimensionella rörelseekvationer. Modellen tar även hänsyn till horisontell transport (advektion), sedimentation och deposition samt effekten av vegetation och s.k. under-flow dvs. effekten av vindmönster under till exempel broar/viadukter. Föroreningskällorna kan beskrivas som punkt-, linje- eller ytkällor.

Modellen simulerar ett tredimensionellt vindfält över beräkningsområdet varför till exempel turbulens runt hus samt s.k. trafikinducerad turbulens och därmed marknära strömningsförhållanden återges på ett realistiskt sätt. Denna typ av modell lämpar sig därmed väl även för beräkningar inom tätbebyggda områden där beräkning av haltnivåer ner i markplan skall utföras.

Miskam är speciellt anpassad för planering i planeringsprocesser av nya vägdragningar eller nybyggnation i urbana områden. Modellen är utvecklad av Institute for Atmospheric Physics vid Johannes Gutenberg-universitetet i Mainz.

Miskam-modellen ingår i ett modellsystem, SoundPLAN där även externbuller kan beräknas. Programmet kan räkna i enlighet med alla större internationella standarder, inklusive nordiska beräkningsmetoder för buller från industri, vägtrafik och tågtrafik. Resultatet kan bestämmas i enskilda punkter eller skrivas ut som färgkartor för större ytor.