



Nr C 304
Maj 2018

Hållbar stadsutveckling - god luftkvalitet i framtidens täta och gröna städer?

På uppdrag av Naturvårdsverket

Jenny Lindén, Mats-Ola Larsson, Johan Holmqvist, Lin Tang



Författare: Jenny Lindén, Mats-Ola Larsson, Johan Holmqvist, Lin Tang

På uppdrag av: Naturvårdsverket

Fotograf: Klicka och ange text

Rapportnummer C 304

ISBN 978-91-88787-44-6

Edition: Only available as PDF for individual printing

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2018

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
1 Bakgrund och syfte	5
2 Trender och prognoser i stadsutveckling och luftkvalitet.....	6
2.1 Utveckling av Sveriges tätorter	6
2.2 Förändringar i urban luftkvalitet	7
2.3 Koppling mellan förtätning och luftkvalitet.....	9
3 Verktyg för beräkning av luftkvalitet.....	11
4 Möjligheter att förbättra luftkvaliteten vid förtätning.....	14
4.1 Anpassning av bebyggelse och vegetation för förbättrad luftkvalitet	14
4.2 Trafik- och infrastrukturåtgärder som bidrar till bättre luftkvalitet.....	15
4.3 Styrmedel med bäring på luftkvalitet och trafikplanering	17
4.4 Behov av utveckling för att underlätta för framtida god luftkvalitet	18
5 Vad görs idag? – fallstudier från Stockholm, Göteborg och Malmö	21
5.1 Fallstudie 1: Johanneshov och Slakthusområdet i Stockholm.....	21
5.2 Fallstudie 2: Lindholmen, Götverksgatan i Göteborg	22
5.3 Fallstudie 3: Västra Hamnen, Malmö	23
6 Slutsatser och rekommendationer	24
7 Referenser.....	27

Sammanfattning

I denna rapport presenterar IVL Svenska Miljöinstitutet, på uppdrag av Naturvårdsverket, en översikt om samband mellan förtätning och luftkvalitet, samt möjligheter och rekommendationer för hur luftkvalitetsaspekten kan integreras i stadsutvecklingen för förbättrad luftkvalitet i framtidens täta, gröna städer.

Den starka förtätningstrenden i svenska städer motiveras av möjligheter till ökad energieffektivisering, minskade utsläpp av växthusgaser, mer samtransport och ökad kollektiv resursfördelning. Förtätning kan också medföra kraftigt försämrad luftkvalitet, till exempel om den ökade aktivitet som förtätningen innebär tillåts öka utsläpp av luftföroreningar, och om bebyggelse och vegetation placeras så att det hindrar ventilation och utspädning av luftföroreningarna. Genom noggrann stadsplanering kan dock dessa negativa effekter begränsas eller till och med undvikas helt. Det är därmed av största vikt att skapa både medvetenhet om vikten av och möjligheter till att inkludera luftkvalitetsaspekten i planering av framtidens hållbara och täta städer.

Trots en kraftig förtätning under senare år har luftkvaliteten generellt förbättrats från det att mätningar påbörjades för drygt 50 år sedan och fram till idag, vilket i huvudsak kopplas till minskade utsläpp av föroreningar till följd av kontinuerligt skärpta emissionskrav. I många av Sveriges städer överskrids dock fortfarande de tillåtna halterna av föroreningar, och prognoser indikerar att miljökvalitetsmålets preciseringar, och i vissa fall även miljökvalitetsnormerna, fortfarande kommer att överskridas i gatumiljö i större städer år 2030. I detta framtidsscenario beaktas inte eventuell förtätning. Nyligen sänkta bullerkrav skapar dessutom idag ökade möjligheter att bygga på redan förorenade platser, vilket, i kombination med en fortsatt kraftig förtätning, ger starka argument för att luftkvalitet bör hanteras som en viktig del i framtidens hållbara stadsutveckling.

För att förhindra dålig luftkvalitet i förtätade städer kan man i planeringsstadiet använda datormodeller för att utvärdera effekten av de planerade förändringarna på luftkvaliteten. Genom simulering av olika scenarier kan effekten av olika trafikåtgärder på utsläpp, och därmed luftkvalitet, undersökas. Med modellberäkningar kan också effekten av olika utformning av bebyggelse och vegetation på vindflödet genom det aktuella området utvärderas för att gynna utspädning och borttransport av förorenad luft. Här kan till exempel varierad höjd på byggnader, vinkel på huskropp mot huvudsaklig vindriktning, strategisk placering av huskropp eller vegetation som barriär mellan utsläppskälla och platser där människor vistas, vara gynnsamt. För att ge bästa möjliga luftkvalitet efter färdigställande krävs dock att luftutredningen genomförs med relevanta metoder, att den inkluderas tidigt i planeringsprocessen, att anpassning av planer utifrån resultaten tillåts, samt att kontinuerlig återkoppling sker.

Arbetet med luftkvalitet skulle gynnas av bland annat tydligare riktlinjer för när och hur luftkvalitetsaspekten bör inkluderas i planeringsarbete, hur effekterna av den planerade bebyggelsen ska utvärderas, samt hur man kan säkerställa att planerade åtgärder genomförs så att den förväntade effekten på luftkvaliteten i området uppfylls. Vidare skulle till exempel en framtida skärpning av miljözon 2 och 3, utökade möjligheter för gröna transportplaner och vägledning om flexibla parkeringstal underlätta för sänkta emissioner i framtidens täta städer.

Sammantaget finns goda grunder för att inkludera luftkvalitet i planeringsprocessen för att nå en hållbar stadsutveckling, speciellt i områden som ska förtätas. Genom optimerad utformning av bebyggelse och vegetation, tillsammans med effektiva trafikåtgärder för att minska utsläpp, kan risken för dålig luft i framtidens täta och gröna städer minimeras.

1 Bakgrund och syfte

Svenska städer växer snabbt, vilket innebär stora möjligheter för utformning av en hållbar samhällsutveckling, men också risker. För att lösa städernas miljö- och trängselproblem och skapa hållbara städer behövs lösningar av grundläggande strukturell karaktär, där boende-, arbetsplats-, miljö-, trafik- och transportfrågor integreras i den långsiktiga stadsplaneringen. En förtätning av staden kan vara bra för miljön på grund av en ökad energieffektivisering, mer samtransport och ökad kollektiv resursfördelning, med kan även innebära bland annat ökade halter av luftföroreningar. Då fler människor ska få plats på mindre yta riskeras ökade utsläpp av luftföroreningar om det medför att trafik och andra förorenande aktiviteter ökar. Det finns även en risk att tätare bebyggelse kan ge sämre ventilerings av stadens gaturum, vilket leder till ökade halter av skadliga luftföroreningar och sämre luftkvalitet. Tätare städer kan också orsaka högre bullernivåer och färre grönytor vilket riskerar att ge sämre livskvalitet för invånarna.

Ett vanligt förekommande mål i stadsutveckling är också att öka den urbana grönska, vilket kan ge många fördelar, så som ökad komfort och välbefinnande, ökad biodiversitet, minskad översvämningsrisk och minskat nettoutsläpp av växthusgaser. Växtlighet kan även bidra till förbättrad luftkvalitet genom bland annat deposition, vilket sker då föroreningar fastnar på växternas blad. Stadsvegetation kan dock, liksom förtätad bebyggelse, begränsa ventilation och utspädning av föroreningar, och i och med det ge försämrad luftkvalitet. Kombinationen täta och gröna städer kan därmed ge en kraftigt försämrad luftkvalitet, men genom noggrann stadsplanering kan de negativa effekterna begränsas eller till och med undvikas helt. I många av Sveriges städer överskrider redan idag de tillåtna halterna av luftföroreningar, och det är därmed av största vikt att skapa både medvetenhet om och möjligheter för att inkludera luftkvalitetsaspekten i planering av framtidens hållbara, gröna och täta städer.

För att stadsutvecklingen inte ska innebära hälsorisker för stadens invånare har normer avseende både buller och luftkvalitet definierats, vilka måste uppfyllas för att t.ex. bostäder ska få byggas. Tidigare har kraven på bullernivåer varit höga, vilket har medfört att det varit svårt att få tillstånd för exploatering i t.ex. trafikutsatta områden. 2015 ändrades dock regelverket så att områden som tidigare inte varit tillgängliga är tillåtna att bygga på ur bullerhänsyn. Det öppnar upp möjligheter till förtätning av stadsbebyggelsen, men då dessa områden ofta är trafikutsatta, ökar kraven på att luftkvalitet beaktas och integreras i planeringen av de nya områdena. För att se till att så sker behöver kunskap, metoder och verktyg för detta syfte finnas tillgängliga.

För att Naturvårdsverket ska kunna ge stöd till kommunerna avseende arbetet med luftkvalitet i stadsutveckling presenteras i denna rapport ett underlag där trender och prognoser för urban förtätning och luftkvalitet beskrivs tillsammans med en diskussion om vilka effekter förtätningen kan komma att få på luftkvaliteten i framtiden. Detta följs av en sammanställning av möjligheter att arbeta för att förbättra luftkvaliteten i förtätningprojekt genom befintliga verktyg, åtgärder eller styrmedel, samt beskrivning av hur arbetet med luftkvalitet sett ut i ett antal fallstudier. Slutligen presenteras övergripande rekommendationer för hur kommunerna idag kan stimulera en hållbar samhällsutveckling, och därmed optimera luftkvaliteten i framtidens täta, gröna och hållbara städer.

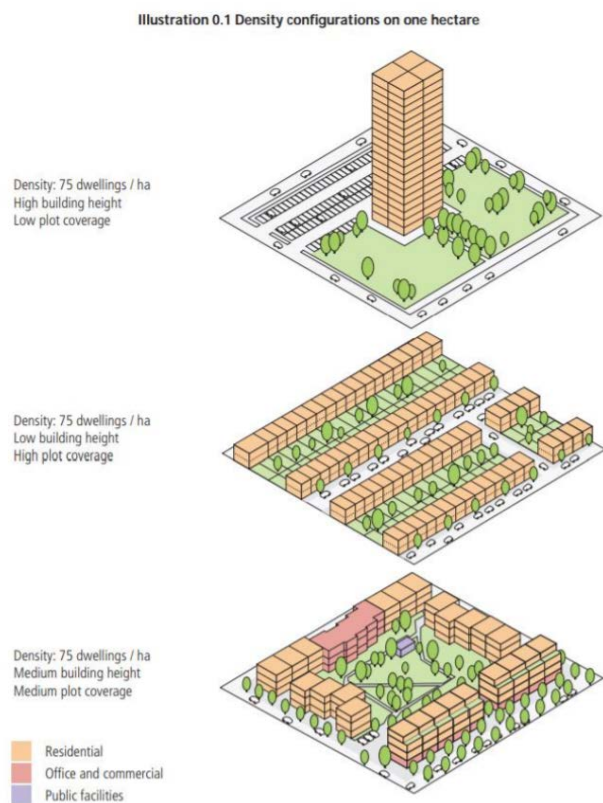
2 Trender och prognoser i stadsutveckling och luftkvalitet

För att definiera problematiken kring förtätning och luftkvalitet presenteras i detta stycke en övergripande bild av trender och prognoser avseende både stadsutveckling och luftkvalitet, följt av en diskussion om påverkan av förtätning på luftkvalitet i framtidens städer.

2.1 Utveckling av Sveriges tätorter

Enligt SCB så har Sverige de senaste 100 åren gått från ett utpräglat bondesamhälle med 90 % av befolkningen på landsbygden till ett närmast motsatt förhållande med 85 % av befolkningen i tätorter år 2010 (SCB 2015c). Befolkningsökningen i städerna fortsätter idag, men inflyttningen har avstannat och tätorterna växer främst genom invandring och fler födda (SCB 2015b). Från idag fram till 2030 förväntas Sveriges befolkning öka med drygt en miljon (SCB 2017b). Majoriteten av denna ökning förväntas hamna i våra storstäder och deras förorter (SCB 2015a), vilket ställer stora krav på genomtänkt och hållbar stadsutveckling där boende-, arbetsplats-, miljö-, trafik- och transportfrågor integreras i den långsiktiga stadsplaneringen. För att möta den ökade befolkningen i städer är förtätning en stark trend (Boverket 2016; SKL 2015).

Tätorterna tog i senaste markanvändningsinventeringen 2010 endast upp ca 1.3% av Sveriges yta, vilket ger en genomsnittlig befolkningstäthet på drygt 1 500 invånare/km² i våra tätorter. Om den förväntade befolkningsökningen i städerna sker genom förtätning av befintlig tätortsyta stiger tätheten till ca 1 800 invånare/km². I storstäderna är tätheten generellt högre, med Sundbyberg och Stockholm i topp med dryga 5000 invånare/km² i kommunen som helhet (SCB 2017a). På stadsdelsnivå ligger tätheten i flera områden i våra största städer på runt 20 000 invånare/km². Detta är dock fortfarande relativt glest jämfört med andra städer i Europa, där flera större stadsdelar i till exempel Barcelona och Paris har en befolkningstäthet på runt 50 000 invånare/km² (Eurostat 2016) och i mindre områden till och med upp mot 100 000 invånare/km². Bebyggelsestruktur i områden med samma täthet kan se mycket olika ut, där slumområden med mycket tätt bebyggda små bostäder huserar lika många människor som ett fåtal skyskrapor (Figur 1).



Figur 1. Exempel på tre olika typer av bebyggelse med en bostadstäthet på 75 enheter per hektar. Exempel från Mozas and Fernandez Per (2004).

År 2015 presenterade FN en ny strategi för hållbar stadsutveckling, där en befolkningstäthet på minst 15 000 invånare/km², alltså tio gånger högre än genomsnittet i Sverige, rekommenderades (UN Habitat 2014). Denna täthet motiveras dels av att miljö och klimatåverkan minskar vid högre täthet, men även av att det underlättar för att skapa en väl fungerande service och sociala funktioner. Övriga rekommendationer som ingår i strategin är att skapa en tillräcklig och effektiv infrastruktur, skapa en varierad markanvändning med minst 40 % av marken avsatt till olika typer av servicefunktioner och kommersiella verksamheter, samt se till att skapa en social blandning med boende i olika prisklasser. Luftkvalitet nämns kort i samband med diskussion om fördelar med gångstråk, men anges inte som en viktig faktor för hållbar stadsutveckling. En hög urban täthet förespråkas även i den senaste av FN:s klimatpanels, IPCC:s rapport, med motivationen att högre urban täthet ger minskade utsläpp av växthusgaser (IPCC 2014).

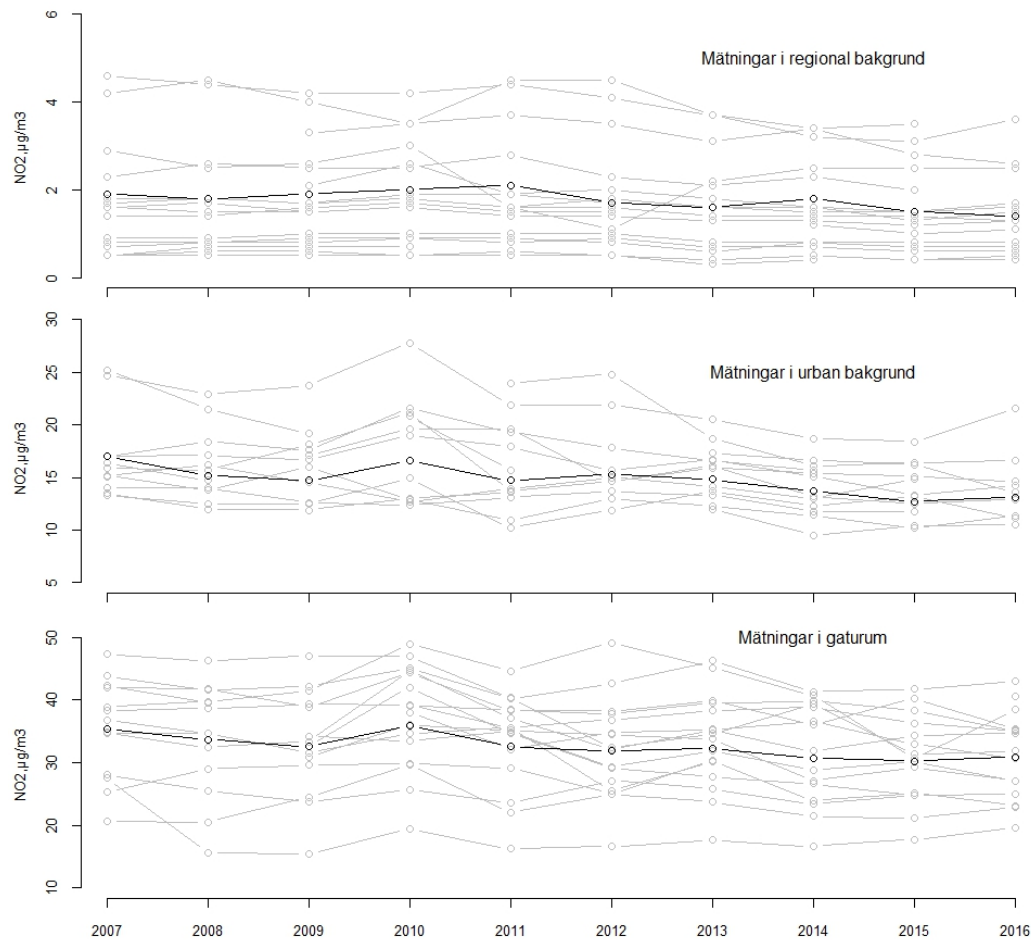
Nytta med, och rekommendationer för, hållbar förtätning av städer har även publicerats av till exempel Sveriges Kommuner och Landsting, SKL, samt Boverket (Boverket 2016; SKL 2015). Rekommendationerna från SKL och Boverket följer i stort FN:s rekommendationer, men lägger större vikt vid till exempel nyttan med att få ner trafikarbetet och gynna alternativa transportmetoder. Vikten av vegetation och tillgång till grönytor ges också större tyngd. Även i dessa skrifter nämns kort förbättrad luftkvalitet som en nytta av både goda trafiklösningar och ökad grönyta, men luftkvalitet nämns inte som en viktig faktor i sig i planering av den hållbara staden. De många fördelarna med förtätning beskrivs alltså från många håll och det råder i det närmaste konsensus att Sveriges städer i framtiden ska vara hållbara, täta och gröna.

2.2 Förändringar i urban luftkvalitet

Att en dålig luftkvalitet ger negativa hälsoeffekter, som till exempel hjärt- och kärlsjukdomar samt luftrörs- och astmabesvär, har länge varit känt. Intensiv forskning på samband mellan luftkvalitet och hälsa har lett till starka initiativ för att hitta strategier och lämpliga åtgärder för att förbättra luftkvaliteten. Stora utmaningar återstår dock, och Världshälsoorganisationen, WHO, uppskattar att över 7 miljoner människor dör varje år på grund av luftföroreningar inomhus och utomhus (WHO 2015, 2016). Den absolut största påverkan sker i städer eftersom dessa är tätbefolkade, och stora föroreningskällor, såsom trafik och industrier, tenderar att koncentreras i och runt städer. Sverige har i global jämförelse mycket god luftkvalitet, men trots detta uppskattas det att ca 5500 extra dödsfall sker årligen till följd av luftföroreningar i Sverige (Gustafsson et al. 2014).

30 år av luftkvalitetsmätningar inom Urbanmätnätet, ett nätverk bestående av ett 30-tal av Sveriges kommuner, visar att föroreningshalter har sjunkit drastiskt för de allra flesta övervakade föroreningar (Fredricsson et al. 2016). Den nedåtgående trenden kopplas framför allt till minskade utsläpp av föroreningar till följd av kontinuerligt skärpta emissionskrav. De senaste decenniet har dock trenden mattats för vissa föroreningar, vilket för till exempelvis kvävedioxid, NO₂, kopplas till ett ökat trafikarbete samt en ökande användning av dieselfordon som motverkar minskade emissioner. Som exempel visas i figur 1 årsmedelhalter av NO₂ uppmätta under de senaste tio åren vid ett flertal mätstationer i Sverige (data från smhi.se). Det indikerar en svag trend mot lägre halter av NO₂ oavsett om stationen är placerad i regional bakgrund, urban bakgrund eller gaturumsmiljö. En detaljstudie av trender i föroreningshalter Stockholm, Göteborg och Malmö över en längre tidsperiod visar att den avtagande trenden är snabbare under vardagar än under helger, vilket författarna kopplar till utsläppsminskningar från trafik (Olstrup et al. 2018). Figur 1 visar dock att flera av mätstationerna i gaturumsmiljö fortfarande ligger över eller nära miljökvalitetsnormen (MKN) för halter av NO₂ i utomhusluft, 40 µg/m³ som årsmedel,

och att miljökvalitetsmålet på $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som årsmedel, överskrids vid alla utom en av gaturumsstationerna. Detta indikerar att luftkvalitet idag kvarstår som problem i svenska städer.



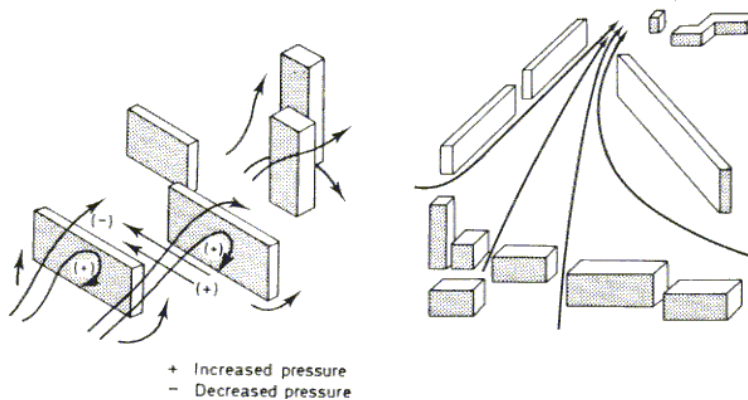
Figur 2. Trender i uppmätta årsmedelhalter av NO_2 mellan 2007 och 2016 för ett flertal stationer med datatäckning för minst åtta av de tio åren, uppdelat i mätningar i regional bakgrund (ovan), urban bakgrund (mitten) och gaturum (nedan). För varje stationstyp visas varje enskild station i grått och medel av alla stationer i svart. Data från smhi.se.

I en studie presenterad av SMHI (Holmin-Fridell et al. 2013) beräknas luftkvalitetsscenarioer i 46 gaturum i svenska städer år 2030. Studien inkluderar inte effekt av nya styrmedel som till exempel miljözoner. Resultaten indikerar att föroreningshalterna fortsätter att sjunka, men att problem att klara MKN kvarstår i flera gaturum. Risken för att MKN ska överskridas återfinns främst avseende percentilhalter för både PM och NO_2 . För NO_2 indikeras även risk för överskridande avseende årsmedel. Studien indikerar också stor sannolikhet för att Miljökvalitetsmålet *Frisk luft* överskrids eller tangeras i de allra flesta gaturum. Bebyggelsen antas vara oförändrad och prognoserna bortser helt från effekter från eventuell förtätning. De scenarier som beräknats i denna studie avser därmed endast förändringar i trafiksituation och utsläpp fram till 2030, där trafikemissioner av NO_2 förväntas sjunka kraftigt på grund av till exempelvis teknikutveckling (HBEFA 2012). Dock gäller detta inte resuspension, alltså den uppvirvling av damm och slitagepartiklar från vägbanan som sker då fordon passerar. Resuspensionen påverkas av faktorer som användande av dubbdäck, antal gatustädningar och sandning eller saltning, och partikelhalterna förväntas öka till år 2030 (Holmin-Fridell et al. 2013). En studie av Omstedt et al. (2011) visade att den enskilt effektivaste

åtgärden för att minska partikelhalterna i ett gaturum är att minska användandet av dubbdäck, vilket skulle kunna sänka resuspensionsinducerade halter, men prognoser för detta saknas.

2.3 Koppling mellan förtätning och luftkvalitet

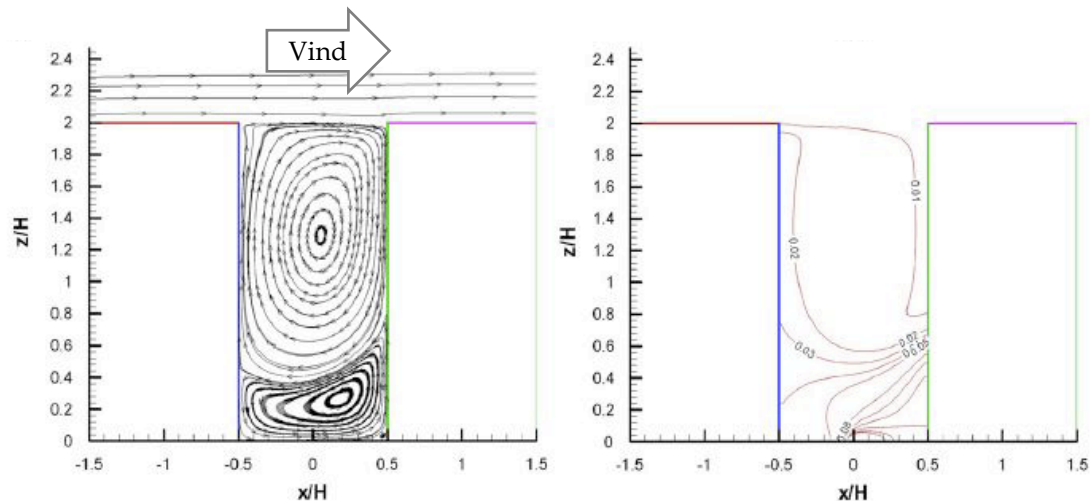
Utformning av bebyggelse, vegetation och andra objekt i närområdet kan ha stor inverkan på ventilationen av luft i ett område genom att luftflödet styrs om runt objekt som står i vägen. I bebyggda områden medför detta generellt minskade vindhastighet och ökad turbulens, men det kan också skapa områden med ökad vindhastighet, som beskrivet i Figur 3. Även objekt som till exempel träd och annan vegetation påverkar luftflödet. Eftersom lövverk inte är solida, utan har en varierande täthet blir påverkan på luftflödet annorlunda, men även detta orsakar generellt lägre lufthastighet och minskad omblandning av den marknära luften.



Figur 3. Vindflödet styrs om runt byggnader vilket generellt sänker vindhastigheten inne i bebyggelsen som i vänstra bilden, men kan även skapa högre vindhastigheter som i högra bilden. Exempel från <http://thebritishgeographer.weebly.com/urban-climates.html>

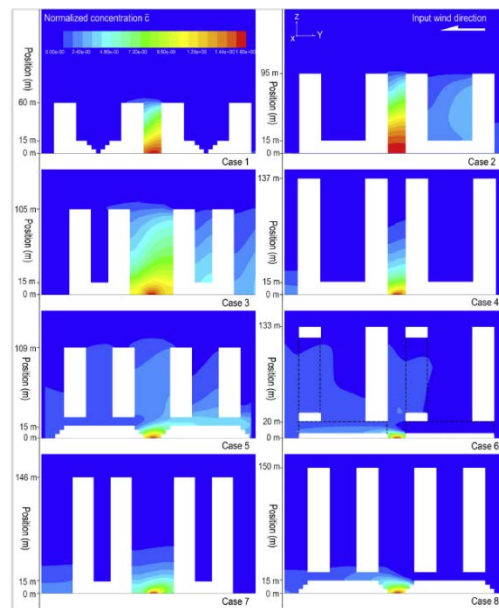
En lägre vindhastighet innebär en minskad genomströmning av luft i till exempel trånga gaturum. Därmed minskar omblandning och utspädning av utsläpp som sker från till lokala utsläpp, exempel trafik i gaturummet, vilket ger förhöjda föroreningshalter som följd. I den önskvärda täta blandstad som beskrivs i föregående stycke är risken därmed stor att ökningen i utsläpp kopplade till den högre andelen människor och andra aktiviteter, tillsammans med den minskade ventilationen i täta och gröna stadsrum, ger kraftigt försämad luftkvalitet som resultat.

Direkt påverkan på luftkvalitet av förtätningstrenden i sig är tyvärr dåligt dokumenterat i form av mätdata. Vid placering av mätstationer undviks platser där förändring sker eller planeras ske, eftersom målet generellt sett är att skapa långa, stabila mätserier. Områden där förtätning planeras finns därför sällan med i det nationella mätstationsnätverket. I författarnas kännedom finns heller inga utförliga fallstudier där det genom mätningar undersökt den faktiska påverkan av en genomförd förtätning på luftkvaliteten. Att kvantifiera effekten av täthet, höjd och utformning av bebyggelse på ventilation av stadsluft har dock varit fokus i flera studier där vindtunnelexperiment eller spridningsmodeller använts (e.g. Amorim et al. 2013; Britter and Hanna 2003; Goricsán et al. 2004; Xie et al. 2007).

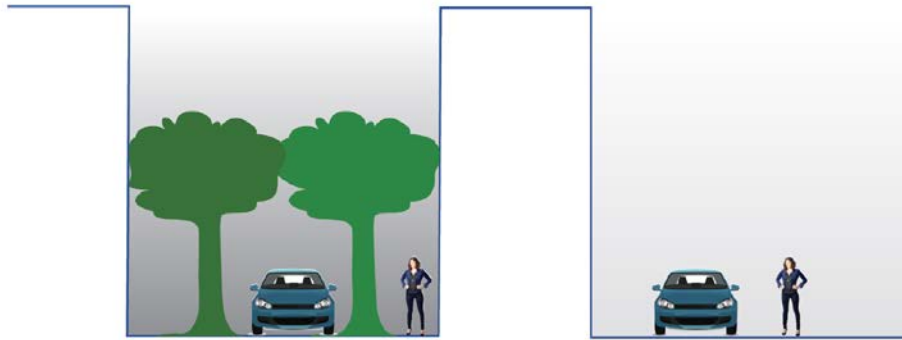


Figur 4. Schematisk bild över turbulenta strömmingsmönster som bildas i en smal gatucanyon (vänster) med resulterande höga halter av luftföroreningar där vindflödet orsakar en ansamling av föroreningar i marknivå, med avtagande halter i vertikal led (höger bild). Exempel från (Xie et al. 2007)

Dessa studier visar tydligt att risken är stor att en tätare bebyggelsestruktur minskar omblandningen av luften i marknivå och därmed begränsar ventilering och utspädning av lokalt genererade utsläpp från till exempel trafik, med förhöjda föroreningshalter som resultat, se exempel i Figur 4. Dock har studier visat att stora möjligheter finns att minimera negativa effekter av förtätad bebyggelse genom optimering av utformning, struktur och placering med avseende på rådande vindriktning (Chan et al. 2001; Kastner-Klein et al. 2004; Moonen et al. 2011; Yuan et al. 2014), se exempel i Figur 5. Studier har också visat att även stadsvegetation kan påverka strömmingsmönster med risk för minskad omblandning och utspädning av föroreningar som följd (Amorim et al. 2013; Gromke 2011; Gromke et al. 2008; Janhäll 2015a; Wania et al. 2012), se exempel i Figur 6. På samma sätt som bebyggelse kan vegetation också anpassas för att minimera den negativa effekten på luftströmningen (e.g. Klingberg et al. 2017). En ytterligare positiv effekt av stadsvegetation är att luftföroreningar kan fastna på vegetationens lövverk, vilket kan ge en direkt renande effekt på luften (Janhäll 2015a; Litschke and Kuttler 2008; Pugh et al. 2012). Dock är denna process mycket komplex, och det är svårt att bedöma hur stor den renande effekten är i praktiken. Både bebyggelse och vegetation kan också användas för att förhindra spridning från föroreningskälla till platser där människor vistas, förutsatt att dessa faktorer inkluderas i planeringsarbetet.



Figur 5. Effekt av olika bebyggelsestruktur på resulterande föroreningshalter i en smal gatucanyon. Utsläpp är samma i alla scenarier, och röd färg innebär höga föroreningshalter till följd av dålig omblandning mellan byggnaderna. Exempel från Yuan et al. (2014)



Figur 6. Träd i trånga gaturum minskar omblandningen mellan trafikutsläppen och luften ovanför, vilket medför att halterna under trädkronorna ökar, jämfört med halter i en situation utan träd. Exempel från Janhäll (2015b).

I framtidens förtätade blandstäder är målet ofta även att ha en relativt hög andel arbetstillfällen inom området samt att skapa så attraktiva stadsdelar att människor utifrån lockas dit. Detta kan medföra att ett betydligt större antal människor exponeras för föroreningshalterna, vilket ytterligare styrker vikten av god luftkvalitet i dessa områden.

Under 2015 trädde en ny förordning om trafikbuller vid bostäder i kraft, vilket innebar sänkta krav ur bullerhänsyn (SFS 2015:216). Detta gjordes bland annat för att utöka möjligheter att förtäta städer, och möjliggjorde att många områden som tidigare haft för höga bullernivåer för att kunna bebyggas blev byggbara ur bullersynpunkt. Ofta är detta trafikutsatta områden där luftkvaliteten redan innan nybyggnation och förtätning är problematisk. Förändringen i bullerförordningen medförde därmed ökade krav på inkludering av luftkvalitetsaspekten i stadsutveckling. Eftersom exponering för både buller och dålig luftkvalitet kan kopplas till betydande negativa hälsoeffekter (e.g. EEA 2016; Tétreault et al. 2013) bör invånarnas hälsa därför tilläggas stor vikt vid planeringen av förtätning i dessa områden.

Sammantaget finns starka argument för att luftkvalitet bör hanteras som en viktig del av en hållbar stadsutveckling, speciellt i områden som ska förtätas. Genom optimerad utformning av bebyggelse och vegetation kan den negativa effekten på ventilation begränsas, och risken för dålig luft i framtidens täta och gröna städer förhoppningsvis minska.

3 Verktyg för beräkning av luftkvalitet

För att förhindra dålig luftkvalitet i städer kan man i planeringsstadiet använda datormodeller för att simulera effekten av olika typer av byggnadsstruktur, vegetation, och trafikåtgärder på luftkvaliteten. Det finns ett stort antal olika datormodeller som tagits fram för detta syfte. De olika modellerna har optimerats för olika appliceringar, och varierar i appliceringsområde och detaljeringsgrad. Vissa modeller är anpassade för att ge en generell överblick över luftkvaliteten i urban bakgrundsmiljö eller i ett större område, medan andra används för beräkning av detaljerat vindflöde och spridning av utsläpp runt byggnader, och ibland även effekt från vegetation, i specifika gaturum.

Om indikationer att risk finns för dålig luftkvalitet, oavsett om det indikeras genom mätningar eller beräkningar, kan olika scenarier utvärderas där effekten från åtgärder beräknas i dessa modeller. Till exempel kan påverkan av olika täthet, höjd och placering av bebyggelse och vegetation på ventilation beräknas, samt vilka effekter som kan förväntas från olika trafikåtgärder eller styrmedel med bäring på luftkvalitet.

Vilket verktyg som är bäst lämpat för beräkning av luftkvalitet i olika miljöer är ofta svårt att avgöra. Om mätdata saknas kan ett första steg vara att göra en enkel utvärdering enligt Nomogrammetoden (Foltescu et al. 2001; Naturvårdsverket 2014), där man utifrån information om gaturummets utformning, trafik och bakgrund får en grov uppskattning av förväntade föroreningshalter. Om denna metod eller mätdata indikerar risk för förhöjda halter bör vidare beräkningar genomföras med hjälp av mer avancerade modeller.

I relativt enkla miljöer kan ett så kallat Air Quality Management System (AQM-system), vara tillräckligt. Dessa är framtagna för enkel och användarvänlig utvärdering av luftkvalitet för till exempel beslutsunderlag i stadsutveckling. AQM - system är ofta webbaserade och relativt billiga, men har begränsad funktion i komplexa urbana miljöer, med varierad bebyggelse och fler än en trafikerad gata eller andra utsläppskällor. Det finns olika AQM-system med varierande komplexitet.

För komplexa urbana miljöer krävs ofta avancerade beräkningar för att göra en bedömning av luftkvaliteten. Detta kan göras i CFD-modeller (Computational Fluid Dynamics), där ett tredimensionellt luftströmningsmönster beräknas baserat på till exempel vindhastighet och riktning, inklusive turbulens skapad runt till exempelvis byggnader, vegetation och topografi, trafikinducerad turbulens, samt marknära strömningsförhållanden. Dessa modeller är relativt tidskrävande att använda, dels eftersom en tredimensionell modell av området måste byggas upp innan simulering, och dels i beräkningstid då tunga beräkningar krävs. Simuleringar med CFD-modeller ger dock detaljerad information om spridningsmönster i skala från del av ett gaturum till kvarter eller stadsdel. CFD-modeller är därför bäst lämpade för utvärdering av detaljerad påverkan av olika täthet, höjd och placering av bebyggelse och vegetation på strömningsmönster och ventilation, vilket ofta är av intresse i förtätningsprocess. Även om simulering med hjälp av CFD-modeller initialt är tidskrävande i uppbyggnadssteget är det relativt enkelt att göra mindre ändringar för simulering av olika scenarier, där till exempel påverkan av bebyggelse och vegetation eller av trafikåtgärder testas.

Preliminära resultat från en jämförande studie indikerar att om beräkningen gäller symmetriska gaturum och okomplicerade utsläppssituationer utan risk för inläckage från närliggande väg, så kan ett enklare AQM-system som SIMAIR vara tillräckligt, medan en CFD-modell är att föredra vid beräkning i asymmetriska gaturum och komplicerade trafiksituationer (Haeger-Eugensson and Kindell 2018).

I Tabell 1 beskrivs ett urval av olika verktyg som kan användas för utvärdering av luftkvalitet och inverkan från åtgärder, tillsammans med kort information om när de är lämpliga att använda samt vad som kan beräknas med de olika modellerna. Mer omfattande listor på fler verktygför beräkning av luftkvalitet finns till exempel på smhi.se och epa.gov.

Tabell 1. Beskrivning av ett urval av olika typer av verktyg med ökande komplexitet som kan användas för utvärdering av luftkvalitet i stadsutvecklingsprojekt.

Verktyg	Beskrivning
Nomogrammetoden (Naturvårdsverket 2014)	Nomogrammetoden är en mycket enkel empirisk modell som kan användas vid bedömning av haltnivåerna av partiklar och kvävedioxid i en tätort. Den baseras på lokala haltbidrag, bakgrundsbidrag och extremvärden (percentiler). Metoden är avsedd att användas för en första uppskattning av föroreningshalterna på platser där mätningar saknas. Om de uppskattade halterna ligger under de nedre utvärderingströsklarna, räcker nomogrammens resultat som underlag. Om de uppskattade halterna är högre, behövs en noggrannare utvärdering med hjälp av modeller och/eller mätning. Metoden kräver grundläggande data i form av trafikintensitet och emissionsfaktorer.
SIMAIR - www.smhi.se	SIMAIR är ett webbaserat AQM-system med syfte att hjälpa kommuner, luftvårdsförbund och andra aktörer att enkelt utvärdera tätortsluften och göra jämförelser mot till exempel MKN, utvärderingströsklar och miljökvalitetsmålet <i>Frisk luft</i> . Indata så som bakgrundshalter, meteorologi och emissionsdata är redan inbyggda i systemet vilket gör det lättanvänt. Applikationer finns för beräkning av halter i enkla gaturum, i mer komplicerade gatumiljöer som korsningar, eller för beräkning av emissioner från vedeldning. Beräkning av spridning av luftföroreningar och resulterande halter sker med hjälp av olika modeller beroende på skala och syfte. I gaturum beräknas spridning med modellen OSPM där utsläppsplymer beräknas med gaussisk spridning, tillsammans med en boxmodell för cirkulationen i gaturummet. Modellen beräknar inte strömningsmönster runt bebyggelse, effekt av vegetation eller kemiska reaktioner i luften.
MISKAM SoundPLAN (Eichhorn and Kniffka 2010)	MISKAM är en CFD-modell för beräkning av spridning av luftföroreningar i mikroskala (från vägvagnsnitt till kvarter eller stadsdel), med en upplösning på 1-2 m. I denna modell simuleras ett tredimensionellt luftströmningsmönster baserat på vindhastighet och riktning, turbulens skapad runt byggnader, vegetation, broar och topografi, trafikinducerad turbulens och marknära strömningsförhållanden. Modellen tar även hänsyn till atmosfärisk stabilitet, horisontell transport (advektion), sedimentation och deposition, och räknar i enlighet med alla större internationella standarder. Den är väl lämpad för beräkningar av luft i en komplex urban miljö och kan också användas för att beräkna vindutsatthet. Även vegetationens påverkan på luftflödet kan beräknas, dock ej deposition av föroreningar på blad. Modellen beräknar heller inte kemiska reaktioner i luften. Av samma tillverkare finns även möjlighet att beräkna buller.
ENVI_MET - www.envi-met.com	ENVI_MET är en avancerad CFD-modell med liknande beräkningsgrund som i MISKAM, men som även inkluderar till exempel en förenklad beräkning av sedimentation och deposition på vegetation, samt kemiska reaktioner i luften. Modellen kan också användas för beräkning av stadsklimat och komfort, samt av vegetationens inverkan på avkylning i städer. I ENVI_MET byggs den aktuella miljön upp med hjälp av virtuella "klossar" som ges egenskaper efter vad de representerar (t.ex. byggnader, träd etc.). Storleken på dessa klossar kan varieras och den tredimensionella modellmiljön kan representera verkligheten i relativt hög detaljgrad. Detta gör dock modellen tidskrävande i både uppbyggnad och datorberäkningar.

För beräkning av långväga transporter av föroreningar, analys av effekt från storskalig reglering av utsläpp och effekt av förändringar i storskaliga vädersystem i större skala, såsom hela Sverige eller Europa, kan till exempel modellerna MATCH (www.smhi.se) samt EMEP (www.emep.int) användas. För liknande beräkning och utvärdering av luftkvalitet på urban skala finns modeller som till exempel TAPM (www.csiro.au), SHERPA (<http://aqm.jrc.ec.europa.eu/sherpa.aspx>) och AIRVIRO (www.smhi.se). Även en nedskalad version av EMEP är under utveckling.

4 Möjligheter att förbättra luftkvaliteten vid förtätning

Om exploatering ska ske i områden med dålig luftkvalitet, eller om beräkningar indikerar att det finns risk för dålig luftkvalitet efter ombyggnation finns goda möjligheter att förbättra luftkvaliteten i området. Nedan beskrivs hur luftkvaliteten kan påverkas genom placering och typ av bebyggelse och vegetation (3.1), möjliga åtgärder som kan genomföras för att minska utsläpp av föroreningar (3.2), samt vilka styrmedel med bäring på åtgärder att förbättra luftkvalitet som kommunerna förfogar över (3.3).

4.1 Anpassning av bebyggelse och vegetation för förbättrad luftkvalitet

Bebyggelse och vegetation bör planeras för att gynna ventilation av platser där utsläpp av luftföroreningar sker, till exempel gaturum med trafik, medan platser där människor förväntas uppehålla sig skyddas från inflöde av förorenad luft. En studie där spridning av luftföroreningar i marknivå undersöktes för ett område i Stockholm visade till exempel att betydande förtätning kunde ske utan att luftkvaliteten försämrades, förutsatt att bebyggelsen varierades i höjd vilket ökade omblandningen i marknivå (Lindén 2018). I ett område planerat för förtätning nära den hårt trafikerade E6:an i Göteborg, visade en luftutredning att bebyggelse effektivt kan användas för att förhindra att förorenad luft transporteras från trafikleden till bostadsområdet (Achberger et al. 2017). Samma studie visade även att bebyggelse kunde användas även som säkerhetsbarriär mot till exempel olyckor vid transport av farligt gods på E6.

Abhijith et al. (2017) visade att täta trädkronor över en trafikerad väg orsakade förhöjda föroreningshalter i gaturummet, medan användandet av vegetation som marknära barriär sänkte föroreningshalterna på läsidan av barriären. Även Gromke et al (2016) visade att en optimerad placering av häckar i gaturum kan ge en signifikant förbättring av luftkvaliteten på exempelvis trottoarer. Genom deposition på växternas blad renas luften från föroreningar. Studier har visat att optimering av typ och placering av vegetation för att maximera deposition av luftföroreningar på lövverket kan ge en förbättrad luftkvalitet (Janhäll 2015a).

Många av de åtgärder som anges ovan har inverkan även på andra parametrar som är viktiga för att skapa en hållbar stad. Till exempel är trafik ofta också huvudsakliga källa till buller, vilket innebär att merparten av åtgärder för förbättrad luftkvalitet även bidrar till förbättrad ljudmiljö. Bebyggelse kan också användas som barriär mellan väg och bostäder i säkerhetssyfte i samband med transport av farligt gods. Bebyggelse och vegetation inverkar även på termisk komfort för de som vistas i området. I ett varmare framtida klimat är det troligt att utformning av stadens

bebyggelse och vegetation för minskad värmestress är ytterligare en viktig aspekt. Vegetation kan då användas för ökad komfort, och ökat välbefinnande hos de som vistas i ett område. Växtlighet ger också positiva effekter så som ökad biodiversitet, minskad översvänningsrisk och minskat nettoutsläpp av växthusgaser. Vissa av spridningsmodellerna som beskrivs ovan kan beräkna mer än en av dessa faktorer, och genom samordning kan arbetet effektiviseras och åtgärder optimeras.

4.2 Trafik- och infrastrukturåtgärder som bidrar till bättre luftkvalitet

För att få en bra avvägning mellan tät bebyggelse och god luftkvalitet behöver kommuner planera för att stimulera en hög andel hållbart resande och effektiv varudistribution. Vid utformningen av stadsdelar och gatumiljöer finns flera användbara verktyg för att styra mot en låg andel vägtrafik och en hög andel kollektivresor, gång och cykel. Även arbetsgivare och varuägare kan ha en viktig roll. Här ges några exempel på viktiga åtgärder.

- **Attraktiva gång- och cykelstråk**
Städer kan anlägga separata cykel- och gångbanor, tydlig skyltning, trygga övergångar vid gator med motorfordonstrafik, god belysning för att öka tryggheten och en bra halkbekämpning vintertid. Det är också viktigt att utforma bebyggelsen så att cykling och gång upplevs attraktivt (Boverket et al. 2015).
- **Måttlig medelhastighet**
Genom att utforma gaturum så att bilister och nyttotrafik håller en låg hastighet, exempelvis runt 30 km/h, kommer den upplevda tidsvinsten med att köra bil i bostads- och handelskvarter att minska. Färdmedelsval handlar i hög grad om komfort, men även om tidsskillnader och här spelar gatornas utformning stor roll. Om stadsmiljöer utformas på ett sätt som ger låg medelhastighet så ökar kollektivtrafikens relativa attraktivitet, samtidigt som den upplevda olycksfallsrisken minskar hos gång- och cykeltrafikanter. På så vis gör låga hastigheter hos vägfordonen även att det kan bli mer attraktivt att cykla och gå. Genomfartstrafik leds andra vägar och resor till målpunkter i området sker i lägre utsträckning med bil. Här ingår även att leda trafik med enkelriktning och liknande så att trafikströmmar leds på ett bra sätt (Boverket et al. 2015).
- **Gångfartsområden**
Gångfartsområde innebär att motorfordon är tillåtna, men ska köras på gåendes villkor. Gångfartsområden brukar kombineras med en utformning av gator som gör det tydligt att fotgängare kan röra sig på gatan och har företräde. Parkering är inte tillåten, men fordon kan stanna för att exempelvis leverera gods. Regleringen ger en hög tillgänglighet för nyttotransporter och liknande, men en mycket låg andel motorfordonstrafik. (Boverket et al. 2015; Sweco 2006).
- **Cykelfartsgator**
Trafikförordningen har inga regler om cykelfartsgator, utan detta är ett upplägg som bl.a. används i Göteborg. I gatumiljöer där det inte finns utrymme nog att anlägga cykelbanor byggs istället gatan om till en miljö där cyklister har företräde och blandas med biltrafik istället för att blandas med fotgängare. Det ökar framkomligheten för både cyklister och fotgängare, samtidigt som biltrafikens hastighet påverkas måttligt eller inte alls, eftersom åtgärden görs i stadsmiljöer där det ändå inte är lämpligt att tillåta höga hastigheter för motorfordon (Göteborgs stad 2016a).

- **Fordonspooler**

Det är viktigt att reservera attraktiva utrymmen för bilpool, cykelpool, cykelparkeringar och lastcyklar på kvarteretsmark eller i garage. Parkeringsytorna ska vara lika attraktiva och lättillgängliga för cykel och bilpool som för privatägda och företagsägda bilar. Fastighetsägare kan också erbjuda upplägg med fordonspooler och information om kollektivtrafik, gärna med inflyttningserbjudanden som bidrar till att etablera resvanor hos nyinflyttade anställda och boende som inte enbart bygger på att använda egen bil (Trivsecor 2017).



Figur 7. Reserverade utrymmen för bilpool. Foto Mats-Ola Larsson

- **Prissättning av parkering**

En viktig förutsättning för att uppnå en rationell blandning av bilanvändning och andra transportsätt är att parkeringsytorna prissätts på kommersiella grunder. Parkering ska i så låg grad som möjligt subventioneras. Här kan kommunala parkeringsbolag och offentliga och privata fastighetsägare sträva efter att låta hyresgäster betala fulla parkeringskostnaden istället för att, som ofta idag, sprida ut kostnaden på samtliga hyresgäster. Arbetsgivare kan avstå från att subventionera anställdas parkering och sträva efter betalsystem som inte låser in anställda i bilberoende genom att exempelvis erbjuda årskort (Hamilton and Braun Thörn 2013).

- **Flexibla parkeringstal och mobilitetsavtal**

Städer kan tillämpa flexibla parkeringstal, där talen sätts med hänsyn till kollektivtillgänglighet, möjligheter att gå och cykla samt områdets belägenhet i förhållande till centrumområden och bostäder. Fastighetsägare kan erbjudas möjlighet att bygga färre parkeringsplatser i utbyte mot mobilitetsavtal som ger boende och verksamheter tillgång till mobilitetstjänster, samlade varuleveranser, tillköp av kollektivtrafik med mera (Stockholms Stad 2015).

- **Ladda elbil**

Fastighetsägare kan erbjuda möjligheter för anställda och boende att ladda elbil genom att samverka med företag som erbjuder laddtjänster. Det kan exempelvis ske genom att fastighetsägaren tar en extra hyra för parkeringsplatsen som motsvarar den långsiktiga kostnaden för att tillhandahålla elinfrastruktur, medan laddtjänstföretaget tillhandahåller laddmöjligheten och betalning av förbrukad el. Laddning kan på så sätt erbjudas på kommersiella villkor, samtidigt som fastighetsägaren underlättar för fordonsägaren att

välja elbil. Kommuner kan påskynda och stödja sådana åtgärder genom att förmedla kunskap om aktörer och lösningar till kommunala och privatägda bostads- och fastighetsbolag (Emobility.se).

- **Resor i tjänsten**

Arbetsgivare kan erbjuda anställda resetjänster som gör det enkelt att betala kollektivresor i tjänsten utan att behöva göra personliga utlägg, och bilpooler som gör det enkelt att köra bil i tjänsten utan att behöva ta med sin privata bil till arbetet. Arbetsgivare kan också ha krav på miljö- och trafiksäkerhetsprestanda på de fordon som organisationen äger eller hyr (Göteborgs stad).

4.3 Styrmedel med bäring på luftkvalitet och trafikplanering

I detta avsnitt beskrivs några viktiga styrmedel, policyer, förordningar och upphandlingskrav som kan användas på kommunnivå för att minska utsläpp och uppnå en god luftkvalitet i stadsmiljöer.

- **Trafikstrategi**

En kommunal trafikstrategi kan upprättas med syftet att samordna trafikplaneringen och styra mot miljömålen. Förbättrad luftkvalitet kan då vara ett viktigt inslag i en samlad trafikstrategi. I en sådan process samlar man ihop många av de verktyg som nämns på andra håll till en helhetlig strategi som förankras politiskt (Göteborgs Stad 2013).

- **Parkeringspolicy**

En kommunal parkeringspolicy är ett annat viktigt verktyg för att minska utsläpp från bilar i täta delar av staden. I en sådan policy hanteras frågor om kostnader, utbud av parkeringsplatser och tidsreglering så att policyn sammantaget bidrar till att styra resandet mot gång, cykel och kollektivresande, särskilt i de delar av staden som har god tillgång till kollektivtrafik. Det kan samtidigt ge bättre tillgänglighet för besöksparkering och varuleveranser (Sveriges Kommuner och Landsting 2013).

- **Trafikregleringar**

Det finns stora möjligheter att styra trafikflöden lokalt genom att reglera enkelriktning, hastighet, vilka fordon som tillåts, vilka tider det är tillåtet att parkera och vilka gator som hyser parkeringsytor med mera. Detta regleras med lokala trafikföreskrifter enligt trafikförordningen (Trafikförordning 1998:1276).



Figur 8. Reglering av hastighet för bättre luftkvalitet. Foto Mats-Ola Larsson

- **Miljözoner**

I trafikförordningen finns möjlighet att inrätta miljözoner. Dagens regler är inriktade enbart på tung trafik och finns i åtta städer. Från 2020 får kommuner även möjlighet att reglera lätta fordon. Miljözoner är

ett effektivt sätt att utestänga äldre fordon, som ofta står för de största utsläppen från särskilt föroreningskänsliga miljöer. (Trafikförordning 1998:1276).

- **Dubbdäcksförbud**

I trafikförordningen finns möjlighet att förbjuda användningen av dubbdäck på enskilda gator. Det är ett jämförelsevis effektivt sätt att minska halterna av partiklar i stadsmiljön, men också en stor inskränkning i fordonsägarens möjlighet att välja däck. (Trafikförordning 1998:1276).

- **Stadsmiljöavtal**

Stadsmiljöavtal är ett statligt avtal som tecknas mellan kommuner och Trafikverket. Städer erbjuder statlig medfinansiering till åtgärder för bättre kollektivtrafik och cykel. Som motprestation behöver städerna uppvisa lokala åtgärder som bidrar till minskade utsläpp och lägre energianvändning från trafiken (Trafikverket 2018).

- **Entreprenadupphandlingar**

När kommuner och Trafikverket upphandlar entreprenader för ny bebyggelse eller infrastruktur ställs ofta krav på låga utsläpp från fordon och arbetsmaskiner. Det finns gemensamma entreprenadkrav som tagits fram gemensamt av Trafikverket, Stockholm, Göteborg och Malmö. De kan även tillämpas av mindre kommuner (Trafikverket et al. 2018).

- **Färdtjänst**

Kommuner är upphandlare av färdtjänst. Utförare är i allmänhet taxiföretag. Genom att ställa krav på fordon och drivmedel kan kommunen medverka till att stadens taxiflotta är miljöanpassad och har låga utsläpp av luftföroreningar. Eftersom färdtjänst är en viktig del av många taxiföretags verksamhet så kan upphandlingskraven få effekt på stora delar av en lokal taxiflotta.

- **Kollektivtrafikupphandling**

Kollektivtrafikhuvudmän har stor möjlighet att påverka utsläppen från kollektivtrafiken. Här finns möjlighet att satsa på spårburen trafik och elektrifierade bussar, men även att ställa avgaskrav på buss- och biltrafik. Underlag för att ställa miljökrav samordnas av branschorganisationen Svensk Kollektivtrafik (www.svenskkollektivtrafik.se).

4.4 Behov av utveckling för att underlätta för framtida god luftkvalitet

För att underlätta arbetet för en god luftkvalitet i framtidens hållbara, gröna och täta städer har några exempel på områden med utvecklingspotential sammanställts i detta stycke.

- **Riktlinjer för när i planeringsarbetet luftkvalitetsaspekten ska inkluderas, samt vilka verktyg som är lämpliga.** För att möjliggöra optimering av bebyggelse och vegetation för ett väl ventilerat område krävs att luftkvalitetsaspekten integreras tidigt i planeringsprocessen. Det krävs också tydliga instruktioner avseende vilken typ av verktyg för bedömning av luftkvaliteten som är relevant för det specifika projektet, alltså i vilka situationer en enklare beräkning är tillräckligt, och när en mer avancerad bedömning bör ske. En användarvänlig sammanställning av vilka modeller som är lämpliga i vilket sammanhang, med fallstudier som exempel, vilka för- och nackdelar de olika modellerna

har samt vilket dataunderlag som krävs, skulle underlätta detta arbete. Riktlinjer för vilka krav som bör ställas på ingångsdata, så som meteorologi, emissionsfaktorer och kartunderlag etc. skulle öka säkerheten i bedömningen (personlig kommunikation, Annika Svensson, Länsstyrelsen Västra Götaland).

- **Riktlinjer för utvärdering av effekten från planerad bebyggelse och trafik på luftkvalitet.** I och med de negativa effekterna på luftkvalitet som riskeras vid förtätning är det viktigt att luftutredningar gällande framtidsscenarioer genomförs med passande metod så att relevant bedömning av påverkan från den planerade förtätningen på luftkvaliteten kan göras. Här kan även inkluderas riktlinjer för när det kan vara relevant att redovisa ett s.k. "worst-case"-scenario i luftutredningen, för att till exempel utreda resultatet av en oväntad utveckling av antal fordon, om emissioner inte följer prognoser eller om klimat och vindmönster ändras (personlig kommunikation, Annika Svensson, Länsstyrelsen Västra Götaland).
- **Riktlinjer för återkoppling om effekt av planerade åtgärder på luftkvalitet.** Då indikationer finns för förhöjda luftföroreningshalter, diskuteras ofta olika åtgärder avseende till exempel trafik och vegetation, som ska ge förbättrad luftkvalitet. För att säkerställa att de åtgärder som planeras ger den förväntade effekten, bör utvärdering av effekt av planerade åtgärder inkluderas i bedömningen. För att möjliggöra detta behöver enkla metoder för bedömning av effektivitet och kostnadsnytta för olika åtgärder utvecklas. Idag saknas samlad information om effekter av olika åtgärder på luftkvalitet. Information om, till exempel, hur fysisk bebyggelse och vegetation bör integreras med trafikåtgärder, vilka synergieffekter och målkonflikter kan uppstå, tydlig koppling mellan effektivitet och kostnadsnytta, samt goda exempel på lyckade åtgärder skulle underlätta detta arbete. Utredning med hjälp av spridningsberäkningar för tänkbara scenarier kan vara relevant i detta arbete. För att säkerställa att åtgärder genomförs och har den önskade effekten skulle även riktlinjer eller krav på återkoppling efter färdigställande kunna inkluderas, samt även krav på ytterligare åtgärder om problem med luftkvalitet kvarstår.
- **Ökad kunskap om vegetationens inverkan.** Idag råder stor osäkerhet om vegetationens sammanlagda inverkan på luftkvaliteten. Hur stor är effekten på vindgenomströmningen och därmed ventilationen i ett gaturum jämfört med effekten av deposition på bladens ytor? Vad händer med de deponerade partiklarna och vilka partiklar avges av vegetationen? Hur varierar detta med utformning, placering, typ av vegetation, säsong? Hur kan vegetationens sammanlagda effekt beräknas, och hur jämförs den med andra positiva effekter som vegetation i stadsmiljö medför, så som ökat välbefinnande, biodiversitet, komfort etc.?
- **Riktlinjer för bedömning i luftkvalitetsärenden.** Eftersom alla modeller är förenklade versioner av verkligheten, och att resultaten endast är kvalificerade uppskattningar av vad som sannolikt kommer att hända med de givna ingångsparametrarna, finns alltid en osäkerhet i resultaten. Hur ska denna osäkerhet hanteras i fall då beräkningar visar att MKN klaras med små marginaler? Tydligare definition behövs av hur regelverket appliceras vid bostadsbyggen i trafikutsatta miljöer, som till exempel nära större korsningar eller tunnelmynningar, vilka är platser som nämns som undantagna krav på uppfyllnad av MKN i Naturvårdsverkets Luftguiden (Naturvårdsverket 2014, personlig kommunikation, Annika Svensson, Länsstyrelsen Västra Götaland).
- **Framtida skärpning av miljözon 2**
Från år 2020 ges kommuner möjlighet att införa miljözon 2. Där utestängs bensin- och dieslbilar i avgasklass euro 4 och äldre och från 2022 utestängs även dieslbilar i euro 5.

Mätningar av fordon i verklig trafik visar dock att utsläppen av kväveoxider även från dagens dieslbilar i euro 6 i många fall är mycket högre än vid certifiering. EU:s avgaskrav skärps gradvis till 2021 till en nivå som kallas euro 6D. Utsläppen i verklig trafik ska då komma ner till ungefär samma låga nivå som vid certifiering. En skärpning av miljözonsreglerna ett lämpligt antal år efter det att nya bilar klarar euro 6D skulle medföra att miljözonsreglerna drar nytta av den tekniska utvecklingen (Sjodin et al. 2017).

- **Framtida skärpning av miljözon 3**

Enligt de regler som införs 2020 om miljözon 3 ska endast utsläppsfria fordon och gasdrivna fordon tillåtas. Gasmotorer släpper dock ut ungefär samma mängder hälsofarliga luftföroreningar som övriga förbränningsmotordrivna fordon. Det betyder att dessa miljözonsregler riskerar att bli ineffektiva för kommuner som vill införa områden där fordon med förbränningsmotorer utestängs. En skärpning av miljözonskraven i framtiden så att endast utsläppsfria fordon tillåts i miljözon 3 skulle vara positivt ur luftvårdssynpunkt (HBEFA 2012).

- **Gröna transportplaner**

När det tas fram detaljplaner för större områden med bostäder, handel eller industriverksamhet kan en kommun initiera gröna transportplaner som en del av planprocessen. Det kan exempelvis innebära att fastighetsägare, större arbetsgivare, kollektivtrafikutövare och kommunen ingår avtal om åtgärder för att få en effektiv och samordnad logistik och resande till det berörda området. Det kan handla om resepolicyer hos arbetsgivare, parkeringskostnader, samordnade godsleveranser och attraktiva upplägg av fordonspooler och cykelaktiviteter. Idag finns ingen möjlighet för kommuner att kräva sådan samverkan. Om kommuner ges formell möjlighet att kräva upprättande av gröna transportplaner, förutsatt att vissa krav uppfylls på exempelvis projektens storlek och innehåll, skulle gröna transportplaner gynnas. Kanske kan sådana krav införas i Plan- och bygglagen. I december 2017 fick regeringens utredare för ett ökat och hållbart bostadsbyggande i uppdrag att utreda för- och nackdelar med en lagstadgad rätt för kommuner att införa krav på transportplaner i detaljplanering för nyetablering av bostäder enligt plan- och bygglagen (Larsson et al. 2017).

- **Vägledning om flexibla parkeringstal**

Vid byggande av nya bostäder och arbetsplatser ställer kommunen krav på att byggherren ska säkerställa tillgång till parkering. Denna reglering kallas parkeringstal. Boverket har nu fått i uppdrag att ta fram underlagsmaterial och rekommendationer riktade till kommuner avseende hur flexibla parkeringstal kan tillämpas. Enligt regeringens regleringsbrev till Boverket för 2018 ska myndigheten sammanställa, redovisa och tillgängliggöra information och goda exempel kring aktivt användande av parkeringstal som verktyg. Ett sådant underlag kan exempelvis visa hur sänkta parkeringstal kan användas vid införandet av olika mobilitetstjänster, hur olika mobilitetstjänster kan påverka efterfrågan av parkering, samt hur kommuner kan reglera utbudet av mobilitetstjänster genom att skriva långsiktiga avtal med byggherrar och fastighetsägare (Larsson et al. 2017).

5 Vad görs idag? – fallstudier från Stockholm, Göteborg och Malmö

Sveriges tre största städer, Stockholm, Göteborg och Malmö, har under den senaste tioårsperioden sett en kraftig befolkningsökning på mellan 14 och 20 %. Prognoser för framtiden visar en fortsatt, men något svagare, trend för samtliga städer, och en trolig befolkningsökning på runt 13 % för de kommande tio åren. Alla tre städerna har ett uttalat mål att möta denna ökning främst genom förtätning av redan bebyggda ytor. I detta stycke presenteras en genomgång av några fallstudier från Stockholm, Göteborg och Malmö med fokus på planerad förtätning samt hur luftkvalitet inkluderats i planeringsarbetet.

5.1 Fallstudie 1: Johanneshov och Slakthusområdet i Stockholm

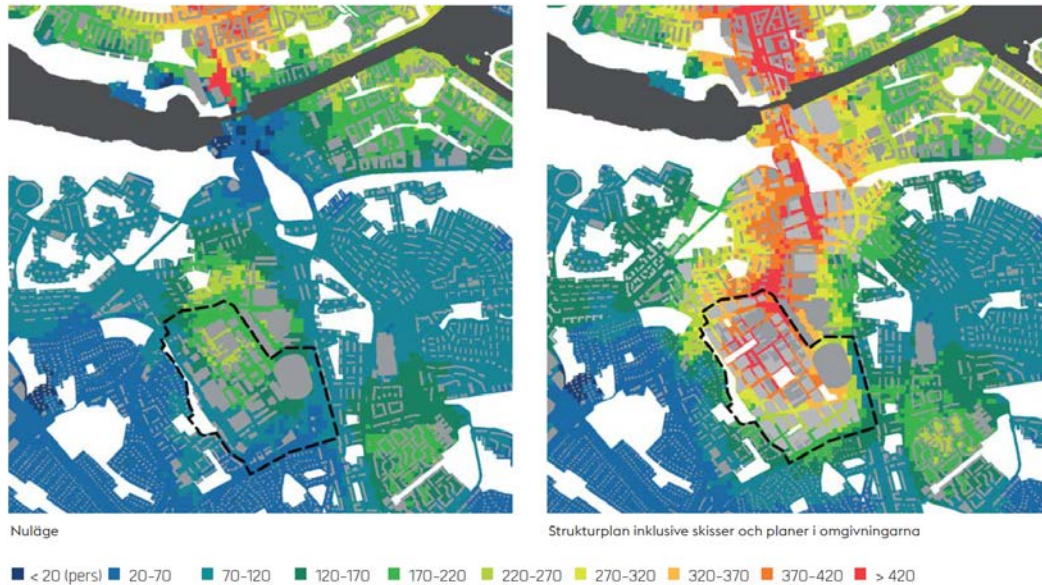
Johanneshov och Slakthusområdet är ett område på ca 46 ha där planer finns för utveckling från ett industriområde till en urban stadsdel, med ca 4000 bostäder, med varierande utseende och för olika typer av hushåll, och cirka 10 000 arbetsplatser. Målet för utvecklingen av området beskrivs i Planprogrammet som "En tät stadsdel full av liv" (Stockholms stad 2017). I en befolkningstäthetsanalys av hur området kommer att förändras fram till 2030 visas att en generell förtätning planeras för både det aktuella området och dess omgivningar (Figur 9). Området är relativt trafikutsatt, med bland annat den tungt trafikerade Nynäsvägen som passerar genom området.

Trafik identifieras i planprogrammet (Stockholms stad 2017) som den främsta orsaken till förhöjda föroreningshalter i området. Enligt den luftkvalitetsanalys som genomförts för området är det innan förtätningen höga halter i programområdets sydöstra del utefter Nynäsvägen och en bit in i Slakthusområdet. MKN för PM₁₀ överskrider inte, medan överskridande avseende NO₂ sker på delar av Nynäsvägen och i den sydöstra delen av området. Man konstaterar att den planerade bebyggelsen enligt programmet innebär att ventilationen och utspädningen av luftföroreningar i området förändras, vilket försvårar luftens omblandning och utspädning i de planerade enkelsidiga och dubbelsidiga gaturummen. Särskilt de trånga gatorna med bebyggelse på båda sidor får sämre utvädring och det krävs därmed mindre trafikarbete om en god luftmiljö ska uppnås.

Enligt Luftutredning för Slakthusområdet (SLB-analys, 2015) innebär förslaget att MKN och miljökvalitetsmålet för PM₁₀ inte uppfylls i hela området efter förtätning. Det prognostiserade trafikflödet på södra delen av Slakthusgatan, i kombination med ett smalt gaturum med höga byggnader på båda sidor, innebär att dygnsmedelhalten av PM₁₀ det 36:e värsta dygnet beräknas ligga strax över miljökvalitetsnormens gränsvärde på 50 µg/m³. Även på andra lokalgator med enkelsidig eller dubbelsidig bebyggelse bedöms MKN överskridas för PM₁₀ år 2030. Beräkningar med framtida trafiksammanställning indikerar att både MKN och miljökvalitetsmålet *Frisk luft* klaras för NO₂, medan problem kvarstår för PM₁₀.

Vidare konstateras att detta medför en ökad exponering av luftföroreningar människor som vistas i planområdet. Vid flera byggnader kommer luftföroreningshalterna vara direkt höga. Ändå

bedöms huvuddelen av planområdet lämpligt för bostäder under förutsättning att åtgärder vidtas för att sänka halterna av luftföroreningar.



Figur 9. Befolkningstäthet. Boende och arbetande per hektar landyta inom 500 meter gångavstånd.

Som exempel på sådana åtgärder nämns att minska andelen tung trafik, variera bebyggelsens höjd och undvika långa korridorliktande gaturum samt en tydligare styrning av trafikflöden så som omfördelning av trafik mellan olika gator och lokalisering av parkeringsgarage. Man konstaterar också att det är viktigt att inte lokalisera funktioner som medför att människor stadigvarande kommer att vistas i områden där miljökvalitetsnormerna riskerar att överskridas.

I planprogrammet finns beskrivet ett antal trafikåtgärder där gångtrafikanter, cyklister och bussar prioriteras före persontrafik för att göra det naturligt att välja andra färdmedel än bil. Dock presenteras ingen återkoppling till effekt på luftkvalitet från dessa åtgärder genom till exempel spridningsberäkningar av nya scenarier där effekten från de tänkta åtgärderna undersöks. Vegetationens roll i planområdet kopplas endast till de platser som skapas i parkmiljö. Ingen koppling till luftkvalitet görs, men avsaknaden av vegetation i området idag nämns som en riskfaktor för värmestress efter ombyggnation. Dock presenteras inga åtgärder för att minska värmestress i planprogrammet.

5.2 Fallstudie 2: Lindholmen, Götverksgatan i Göteborg

Enligt Stadsbyggnadskontoret består Lindholmen i dagsläget av cirka 0,9 km² landareal. År 2015 fanns i området 10 000 - 15 000 arbetsplatser, lika många studenter och ungefär 1 500 boende. Stadsbyggnadskontoret föreslår en exploatering av området med 3000 arbetsplatser och lika många bostäder, vilket innebär runt 6000 boende (Göteborgs Stad 15, 2015). Även antal studenter som vistas på området beräknas öka, och totalt förväntas ca 40 000 personer frekvent vistas i området.

Även i detta projekt är målet en tät och attraktiv blandstad (Göteborgs stad 2016c). En omfattande luftutredning har gjorts där vägtrafiken bedöms vara huvudsakliga källan till föroreningar inom området, främst genom den närliggande tungt trafikerade Lundbyleden (Axenhamn 2015).

Spridningsberäkningar visar att MKN klaras inom hela planområdet, både i nuläget (exempel i Figur 10) och i scenarier för 2020 och 2035. Miljökvalitetsmålet för överskrids dock i nuläges- och 2020-scenariot, men klaras för 2035-scenariot. Anledningen till det förbättrade luftkvaliteten i framtiden är en kombination av att bakgrundhalterna förväntas minska, att teknikutvecklingen kommer leda till renare bilar med minskade direktutsläpp av kväveoxider samt att trafikleder kan komma att förläggas under mark.



Figur 10. Nuvarande situation 2013/2015, beräknade halter av kvävedioxid som årsmedelvärden. Planområdet markeras med röd linje och föreslagna byggnader med blå. Effekten av byggnader inkluderas dock inte i beräkningarna. Figur från Axenhamm (2015)

Metoden som använts vid beräkningarna tar dock inte hänsyn till strömningsmönster runt bebyggelsen. I rapporten antas förtätningen inte innebära någon negativ effekt för luftkvaliteten, utan anges istället som en möjlig luftförbättrande aspekt då bebyggelse eller skärmar kan hindra spridning av luftföroreningar från väg till platser där människor vistas. Detta motiveras delvis med att bebyggelsen är av varierande höjd, vilket kan öka omblandningen av luften genom området. Om plantering av träd sker i närhet och i anslutning av byggnaderna antas ytterligare minskning av luftföroreningarna ske genom deposition av luftföroreningar på växternas blad samt genom att de ökar turbulensen i luftflödet genom området. Den allé av träd som omger den huvudsakliga kvartersgatan, trafikerad av en relativt tät kollektivtrafik, ger också positiva effekter på luftkvaliteten genom ökad turbulens och omblandning. Luftutredningen sammanfattas i planbeskrivningen med antagandet att miljökvalitetsnormerna med största sannolikhet kommer att klaras och inte utgöra några problem för planområdet. Någon utvärdering av effekten från planerad bebyggelse och vegetation presenteras dock inte i planbeskrivningen, och det framgår inte om detta gjorts eller planeras att genomföras. Inte heller diskuteras eventuella effekter av båttrafik eller industri i området.

5.3 Fallstudie 3: Västra Hamnen, Malmö

Västra Hamnen i Malmö är ett område under kraftig förändring från ett industriområde till en attraktiv, tät och hållbar stadsdel Figur 11. Under perioden 2007-2017 har antalet boende i Västra Hamnen ökat från 2700 till drygt 10 000 människor. När Västra Hamnen är fullt utbyggd 2035 beräknas det finnas 11 000 bostäder, med cirka 20 000 – 25 000 personer. Detta innebär en täthet på upp mot 13 000 personer per km². Utöver detta förvärvsarbetade år 2015 drygt 14 000 i Västra hamnen vilket motsvarar knappt 10 % av Malmös totala arbetskraft. När Västra Hamnen är

färdigutbyggd beräknas det arbeta uppemot 20 000 personer (Malmö Stadsbyggnadskontor, 2017). Totalt planeras cirka 40 000 människor att röra sig frekvent i området 2035.

I Västra Hamnen har luftföroreningsmätningar genomförts i två mätkampanjer med syfte att kartlägga luftkvaliteten i området (Malmö stad, 2006). Mätningarna genomfördes i den första studien med fokus på föroreningar från sjöfarten, i syfte att utreda hur halterna varierar med höjden ovan mark och jämföra halterna med miljökvalitetsnormer. Studien visade att samtliga uppmätta föroreningshalter låg långt under MKN. Slutsatsen var därför att trots att utsläppen är stora, så är utspädningen på grund av den öppna miljön på platsen stor, vilket medför låga luftföroreningshalter.



Figur 11. Flygfoto av västra hamnen på 1980-talet (vänster) och modell av området efter planerat färdigställande år 2031 (höger). Foton från Malmö.se.

I den senare studien genomfördes mätningar på en punkt i området med syftet att kartlägga luftkvaliteten samt utreda förekomsten av Xylen med anledning av klagomål på lukt. Även denna studie visade att luftkvaliteten i Västra Hamnen är god, med halter långt under MKN. Även risken för luktstörning bedömdes vara låg. De låga halterna kopplades delvis till mätplatsens öppenhet, med ett fåtal byggnationer runt omkring, samt att vindhastigheterna generellt sett är höga, vilket medför att luftföroreningarna snabbare blandas upp. Det konstateras dock att om förtätning av området sker, samtidigt som trafiken ökar och den höga andelen tunga fordon bibehålls, riskeras luftföroreningshalter närmare MKNs gränsvärde.

I båda studierna kopplas alltså de låga luftföroreningshalterna till områdets öppenhet och den genomströmning av vind som leder till stor omblandning av lokalt utsläppta föroreningar. En uppföljningsstudie om luftkvaliteten i området idag, efter det att stora delar av den planerade förtätningen färdigställts, är under framtagande och kommer att presenteras under sommaren 2018 (personlig kommunikation, Susanna Gustafsson, Malmö stad).

6 Slutsatser och rekommendationer

Sammantaget finns starka argument för att luftkvalitet bör hanteras som en viktig del av en hållbar stadsutveckling, speciellt i områden som ska förtätas. Trots en kraftig förtätning under senare år har luftkvaliteten generellt förbättrats från det att mätningar påbörjades fram till idag, vilket kopplas till minskade utsläpp av föroreningar till följd av kontinuerligt skärpta emissionskrav. Dock finns risk att den trenden bryts, på grund av till exempel att sänkta bullerkrav ger ökade möjlighet att bygga på redan förorenade platser. Luftkvaliteten i många av Sveriges storstäder ligger idag nära eller överskrider gränsvärden som satts i MKN. Även om halter förväntas sjunka i

framtiden indikerar studier att miljö kvalitetsmålet *Frisk luft* troligtvis inte kommer att klaras år 2030 i huvuddelen av de gaturum som studerats. I vissa gaturum indikeras även problem att klara MKN år 2030. Den minskade ventilation av luften som tät stadsbebyggelse ofta medför, tillsammans med den utsläppsökning som riskeras vid kraftig förtätning, innebär stor risk för dålig luftkvalitet i förtätade områden. Genom att anpassa utformningen av bebyggelse och vegetation kan effekten optimeras för god ventilation av gaturummen, och genom olika trafikåtgärder kan utsläpp begränsas, vilket sammantaget ger stora möjligheter för att åstadkomma god luftkvalitet i framtidens täta, gröna och hållbara städer. Detta kräver dock att luftkvalitetsaspekten inkluderas tidigt i planprocessen, att luftkvalitet ses som en viktig faktor och tillåts påverka planerna, att kontinuerlig återkoppling sker under hela processen, samt att luftkvaliteten i området följs upp efter färdigställande och genomförande av planerade åtgärder.

Vid indikationer att risk finns för dålig luftkvalitet i ett planområde, förslagsvis då halter överstiger nedre utvärderingströskel, finns goda möjligheter att genom olika åtgärder minimera risken för dålig luftkvalitet efter genomförande av planerna. För att undersöka effekten av olika åtgärder med avseende på bebyggelse, vegetation och/eller trafik kan spridningsberäkningar genomföras med hjälp av modeller utformade för detta syfte. Genom dessa beräkningar kan, till exempelvis, effekten från olika bebyggelsestruktur, hastighetsbegränsningar eller trafikintensitet utvärderas. Med hjälp av beräkningar kan därmed den planerade utvecklingen av ett område optimeras för god luftkvalitet, så att risken för förhöjda luftföroreningshalter i området efter genomförda planer minimeras.

Nedan följer några övergripande råd om olika former av åtgärder som kan användas för förbättring av luftkvaliteten:

- **God ventilation** av luften i gaturummen för att undvika förhöjda föroreningshalter i gaturum där utsläpp av luftföroreningar sker. Förväntad ventilation kan beräknas i CFD-modeller och påverkas genom placering, höjd och utformning på bebyggelse och vegetation. Ventilationen påverkas till exempel av följande åtgärder:
 - Placera byggnader i riktning så att vinden i huvudsakliga vindriktningen på platsen styrs in till förorenade platser och där ökar omblandningen (e.g. Yuan et al. 2014).
 - Variera höjd på husen för att gynna vertikal omblandning vilket kan användas för att effektivt späda ut förorenad marknära luft så att föroreningshalter sänks (e.g. Lindén 2018).
 - Undvik placering av träd med täckande krona över trafikerade platser, lastzoner eller andra platser där utsläpp sker, för att undvika att vertikal omblandning och utspädning hindras med förhöjda föroreningshalter som resultat (e.g. Abhijith et al. 2017).
- **Förhindrad spridning** av föroreningar från källa till områden där människor vistas. Om spridning av utsläpp från trafik och andra källor effektivt hindras från att spridas till platser där människor vistas, minskar föroreningshalterna på dessa platser. Detta kan ske genom placering av olika typer av barriärer med syfte att ändra luftflödet, dels för att styra om transporten av den förorenade luften till platser där ingen exponeras, och dels för att öka vertikal omblandning, vilket medför en utspädning av den förorenade luften med lägre halter som följd. Exempel på hur detta kan genomföras är:

- Placera byggnader mellan viktiga källor, till exempel tungt trafikerade vägar, så att vinden i huvudsakliga vindriktningen på platsen hindras från att spridas in till platser där människor vistas, t.ex. offentliga platser, innergårdar, lekplatser och uteplatser (e.g. Yuan et al. 2014). Vid planområden nära stora leder kan samma placering av bebyggelse mellan källa och platser där människor vistas även användas som säkerhetsbarriär mot till exempel olyckor vid transport av farligt gods.
- Placera tät marknära vegetation mellan trafik och platser där människor vistas. Allt ifrån låga häckar till täta höga buskage har visat en signifikant minskning av vilket har visat sig medföra en ökad vertikal omblandning och en signifikant minskning av föroreningshalterna kopplat till omstyrning av luftflöde och ökad vertikal omblandning (e.g. Abhijith et al. 2017, Gromke et al. 2016).
- **Optimera vegetation för renande effekt på luften.** Genom deposition av luftföroreningar på växtlighetens bladtytor filtreras luften från föroreningar. För att optimera den renande effekten bör till exempel vegetationen placeras nära utsläppskällan. Även vägg- och takvegetation kan öka depositionsytorna och bidra till lägre föroreningshalter i täta urbana miljöer (e.g. Janhäll 2015).
- **Begränsning av utsläpp.** För att få en bra avvägning mellan tät bebyggelse och god luftkvalitet behöver kommuner planera för att begränsa utsläpp genom att stimulera en hög andel hållbart resande och effektiv varudistribution. Vid utformningen av stadsdelar och gatumiljöer finns flera användbara verktyg för att styra mot en låg andel vägtrafik och en hög andel kollektivresor, gång och cykel.. Här ges några exempel på viktiga åtgärder:
 - Skapa attraktiva gång- och cykelstråk, cykelfartsgator, samt effektiv kollektivtrafik tillsammans med till exempel sänkta hastigheter för att minska den upplevda tidsvinsten med att köra bil i bostads- och handelskvarter.
 - Skapa attraktiva utrymmen för bilpool, cykelpool, cykelparkeringar och lastcyklar på kvartersmark eller i garage. Säkerställ att dessa alternativ blir lättillgängliga, och bidra till att etablera dessa resvanor hos nyinflyttade, anställda och boende genom till exempel inflyttningserbjudanden.
 - Prissätt parkeringsytor på kommersiella grunder och undvik subventionering. Även tillämpning av flexibla parkeringstal för att bygga färre parkeringsplatser i utbyte mot mobilitetsavtal kan gynna tillgång till mobilitetstjänster, samlade varuleveranser, tillköp av kollektivtrafik med mera.
 - Erbjud möjligheter för anställda och boende att ladda elbil för att underlätta för fordonsägaren att välja elbil.

På en mer övergripande nivå är det också önskvärt att kommuner får utökade möjligheter att reglera trafik fordon på enskilda gator och att miljözoner skärps.

Många av de exempel som ges ovan inverkar även på andra parametrar som är viktiga för att skapa en hållbar stad, som till exempel buller, komfort, och välbefinnande. Tydlig inkludering och samplanering av flera av dessa aspekter i planeringsarbetet bör därför kunna effektivisera arbetet mot framtidens täta, gröna och hållbara städer.

7 Referenser

- Abhijith, K., and Coauthors, 2017: Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments—A review. *Atmospheric Environment*, **162**, 71-86.
- Achberger, C., A. Bjurbäck, M. Ramos-Garcia, 2017: Spridningsberäkningar av kväveoxider för kallebäck 3.3, A093208.
- Amorim, J., V. Rodrigues, R. Tavares, J. Valente, and C. Borrego, 2013: CFD modelling of the aerodynamic effect of trees on urban air pollution dispersion. *Science of the Total Environment*, **461**, 541-551.
- Axenhamn, L., Thordstein, Carl,, 2015: Spridningsberäkningar, Karlavagnsplatsen. *SWECO*
- Boverket, 2016: Rätt tätt—en idéskrift om förtätning av städer och orter. Karlskrona: Boverket.
- Boverket, Banverket, and Sveriges Kommuner och Landsting, 2015: Trafik för en attraktiv stad
- Britter, R. E., and S. R. Hanna, 2003: Flow and dispersion in urban areas. *Annual Review of Fluid Mechanics*, **35**, 469-496.
- Chan, A. T., E. S. So, and S. C. Samad, 2001: Strategic guidelines for street canyon geometry to achieve sustainable street air quality. *Atmospheric Environment*, **35**, 4089-4098.
- EEA, 2016: Links between noise and air pollution and socioeconomic status. *In-depth Report 13 produced for the European Commission, DG Environment by the Science Communication Unit, UWE, Bristol.*
- Eichhorn, J., and A. Kniffka, 2010: The numerical flow model MISKAM: State of development and evaluation of the basic version. *Meteorologische Zeitschrift*, **19**, 81-90.
- Emobility.se: Laddstationsguiden. [Available online at <http://emobility.se/startside/laddstationsguiden>.]
- Eurostat: Urban Europe — statistics on cities, towns and suburbs — life in cities. [Available online at http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Urban_Europe_statistics_on_cities_towns_and_suburbs_life_in_cities.]
- Foltescu, V., L. Gidhagen, and G. Omstedt, 2001: *Nomogram för uppskattning av halter av PM10 och NO2: Reviderad version (december 2004)*. SMHI.
- Fredricsson, M., K. Persson, and L. Tang, 2016: Urbanmättnätet -30 års mätningar av luftkvalitet.
- Goricsán, I., M. Balczó, T. Rékert, and J. Suda, 2004: Comparison of wind tunnel measurement and numerical simulation of dispersion of pollutants in urban environment. *International Conference on Urban Wind Engineering and Building Aerodynamics, von Karman Institute, Rhode-Saint-Genése, Belgium.*
- Gromke, C., 2011: A vegetation modeling concept for building and environmental aerodynamics wind tunnel tests and its application in pollutant dispersion studies. *Environmental pollution*, **159**, 2094-2099.
- Gromke, C., N. Jamarkattel, and B. Ruck, 2016: Influence of roadside hedgerows on air quality in urban street canyons. *Atmospheric Environment*, **139**, 75-86.
- Gromke, C., R. Buccolieri, S. Di Sabatino, and B. Ruck, 2008: Dispersion study in a street canyon with tree planting by means of wind tunnel and numerical investigations—evaluation of CFD data with experimental data. *Atmospheric Environment*, **42**, 8640-8650.

- Gustafsson, M., B. Forsberg, H. Orru, S. Åström, T. Haben, and K. Sjöberg, 2014: Quantification of population exposure to NO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ and estimated health impacts in Sweden 2010.
- Göteborgs Stad, 2013: Göteborg 2035-Trafikstrategi för en nära storstad [Remiss].
—: Cykelvägar. [<http://goteborg.se/wps/portal/start/gator-vagar-och-torg/cykling-och-cykelvagar>.]
—: Råd om resor. [<http://goteborg.se/wps/portal?uri=gbglnk%3agbg.page.1498e38e-c1b8-4473-82a6-9b60a9d778e7>.]
—, 2016c: Detaljplan för Bostäder och verksamheter vid Karlavagnsplatsen inom stadsdelen Lindholmen i Göteborg.
- Haeger-Eugensson, M., and S. Kindell, 2018: Modellering av luftkvalitet i marknivå i tätbebyggda områden - jämförelse mellan en CFD-modell och SIMAIR. *Svenska Luftvårdsföreningens vårseminarium 2018*.
- Hamilton, C. J., H. Braun Thörn, 2013: Parkering som styrmedel för en fossilfri fordonstrafik; Cen. for Transp. Studies.
- HBEFA: The Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA) [<http://www.hbefa.net/e/index.html>.]
- Holmin-Fridell, S., J. Jones, C. Bennet, et al, 2013: *Luftkvaliteten i Sverige år 2030*. SMHI.
- IPCC, 2014: Fifth Assessment Report: Climate Change 2014.
- Janhäll, S., 2015a: Review on urban vegetation and particle air pollution—Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, **105**, 130-137.
—, 2015b: Vegetationens inverkan på luftmiljö, VTI rapport 876.
- Kastner-Klein, P., R. Berkowicz, and R. Britter, 2004: The influence of street architecture on flow and dispersion in street canyons. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **87**, 121-131.
- Klingberg, J., M. Broberg, B. Strandberg, P. Thorsson, and H. Pleijel, 2017: Influence of urban vegetation on air pollution and noise exposure—a case study in Gothenburg, Sweden. *Science of the Total Environment*, **599**, 1728-1739.
- Larsson, M.-O., A. Roth, L. Styhre, and M. Koucky, 2017: Småreformer för miljöanpassat resande - Förslag till nationella åtgärder som kan genomföras inom nuvarande lagstiftning, IVL rapport C249.
- Lindén, J., Gustafsson, M., Haeger-Eugensson, M., Tang L., Jerksjö, M., 2018: Urban compaction – effects of building configuration and abatement strategies on air quality at Lindhagensgatan in Stockholm. IVL report B 2257.
- Litschke, T., and W. Kuttler, 2008: On the reduction of urban particle concentration by vegetation—a review. *Meteorologische Zeitschrift*, **17**, 229-240.
- Malmö stad: Kartläggning av luftkvaliteten i Västra Hamnen vintern 2007/2008, Rapportnr 05/2008.
—, 2006: Luftföroreningsmätningar i Hamnparken 2006, Rapportnr 6/2007.
- Moonen, P., V. Dorer, and J. Carmeliet, 2011: Evaluation of the ventilation potential of courtyards and urban street canyons using RANS and LES. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **99**, 414-423.
- Mozas, J., and A. Fernandez Per, 2004: *DENSITY: new collective housing*. Edition a+ t.
- Naturvårdsverket, 2014: Luftguiden, Handbok om miljökvalitetsnormer för utomhusluft.
- Olstrup, H., B. Forsberg, H. Orru, M. Spanne, H. Nguyen, P. Molnár, and C. Johansson, 2018: Trends in air pollutants and health impacts in three Swedish cities over the past three decades. *Atmos. Chem. Phys.*
- Omstedt, G., S. Andersson, L. Gidhagen, and L. Robertson, 2011: Evaluation of new model tools for meeting the targets of the EU Air Quality Directive: a case study on the studded tyre use in Sweden. *International Journal of Environment and Pollution*, **47**, 79-96.

Pugh, T. A., A. R. MacKenzie, J. D. Whyatt, and C. N. Hewitt, 2012: Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. *Environmental science & technology*, **46**, 7692-7699.

SCB, 2015a: Sveriges befolkning ökar – men inte i hela landet, <https://www.scb.se/sv/Hitta-statistik/Artiklar/Sveriges-befolkning-okar--men-inte-i-hela-landet/>.

—, 2015b: Dagens urbanisering – inte på landsbygdens bekostnad; <https://www.scb.se/hitta-statistik/artiklar/2015/Dagens-urbanisering--inte-pa-landsbygdens-bekostnad/>.

—, 2015c: Urbanisering – från land till stad; <https://www.scb.se/hitta-statistik/artiklar/2015/Urbanisering--fran-land-till-stad/>.

—, 2017a: Antal invånare per kvadratkilometer, 31 december 2017; <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/befolkning/befolkningens-sammansattning/befolkningsstatistik/pong/tabell-och-diagram/topplistor-kommuner/antal-invanare-per-kvadratkilometer/>.

—, 2017b: Nu väntas befolkningen öka snabbt; <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/framtidens-befolkning/>.

Sjödin, Å., and Coauthors, 2017: On-Road Emission Performance of Late Model Diesel and Gasoline Vehicles as Measured by Remote Sensing, IVL rapport B2281.

SKL, 2015: Förtätning av städer, trender och utmaningar. Stockholm: Sveriges kommuner och landsting.

Stockholms Stad, 2015: Riktlinjer för projektspecifika och gröna parkeringstal i Stockholms stad.

—, 2017: Program för Slakthusområdet 2010-20437.

Sweco, K., 2006: Gatutyper -en exempelsamling: fördjupningsprojekt inom TRAST. .

Sveriges Kommuner och Landsting, 2013: Parkering för hållbar stadsutveckling.

Tétreault, L.-F., S. Perron, and A. Smargiassi, 2013: Cardiovascular health, traffic-related air pollution and noise: are associations mutually confounded? A systematic review. *International journal of public health*, **58**, 649-666.

Trafikverket, 2018: Statligt stöd för hållbara stadsmiljöer – stadsmiljöavtal; <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Finansieringsmetoder/statligt-stod-for-hallbara-stadsmiljoer---stadsmiljoavtal/>.

Trafikverket, Malmö stad, Göteborgs stad, and Stockholms stad, 2018: Gemensamma miljökrav för entreprenader

Trivector, 2017: Istället för parkering – mobilitetstjänster för en transportsnål stad;

<https://www.trivector.se/nyhet/istallet-for-parkering-mobilitetstjanster-for-en-transportsnal-stad/>.

UN Habitat, 2014: A new strategy of sustainable neighbourhood planning: Five principles. *Nairobi, Kenya: United Nations Human Settlements Programme*.

Wania, A., M. Bruse, N. Blond, and C. Weber, 2012: Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations. *Journal of environmental management*, **94**, 91-101.

WHO, 2015: Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth. *World Health Organization, Regional office for Europe, Copenhagen*.

—, 2016: Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.

Xie, X., C.-H. Liu, and D. Y. Leung, 2007: Impact of building facades and ground heating on wind flow and pollutant transport in street canyons. *Atmospheric Environment*, **41**, 9030-9049.

Yuan, C., E. Ng, and L. K. Norford, 2014: Improving air quality in high-density cities by understanding the relationship between air pollutant dispersion and urban morphologies. *Building and Environment*, **71**, 245-258.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se