

JUNI 2021
FÖR GÖTEBORGS STAD

SPRIDNINGSBERÄKNINGAR AV KVÄVEDIOXID OCH PARTIKLAR VID PER DUBBSGATAN

ADRESS COWI AB
Skärgårdsgatan 1
Box 12076
402 41 Göteborg

TEL 010 850 10 00
FAX 010 850 10 10
WWW cowi.se

SPRIDNINGSBERÄKNINGAR AV KVÄVEDIOXID OCH PARTIKLAR VID PER DUBBSGATAN

PROJEKTNR.

A111196

DOKUMENTNR.

A111196-4-02-RAP-001-Spridningsberäkningar av NO₂ och PM₁₀ vid Per Dubbsgatan

VERSION

1.1

UTGIVNINGSDATUM

2021-06-02

BESKRIVNING

Rapport

UTARBETAD

Helen Nygren
Frida Lindstein
Marian Ramos García
Anna Bjurbäck
Marie Haeger-Eugensson

GRANSKAD

Erik Bäck

GODKÄND

Marie Haeger-Eugensson

INNEHÅLL

1	Sammanfattning	7
2	Inledning	8
2.1	Bakgrund	8
2.2	Syfte	9
2.3	Luftkvalitet i Göteborg	9
2.4	Miljökvalitetsnormer	10
2.5	Miljökvalitetsmål	11
3	Underlag och metodbeskrivning	11
3.1	Framtida utformning av området	11
3.2	Scenarier	13
3.3	Utsläpp från trafiken	13
3.4	Spridningsmodellering	15
3.5	Urbana bakgrundshalter	16
4	Resultat	16
4.1	Kvävedioxid, NO ₂	17
4.2	Partiklar, PM ₁₀	20
5	Diskussion och bedömning	21
6	Referenser	24

BILAGOR

Bilaga A Beskrivning Miskam-modellen

Bilaga B Beskrivning TAPM-modellen

1 Sammanfattning

Inledning och syfte

Göteborgs stad arbetar med att ta fram en detaljplan för Per Dubbsgatan, som ska möjliggöra ny bebyggelse för vård och forskning. Området innefattar en del av Per Dubbsgatan, delar av Medicinareberget och Sahlgrenska Universitetssjukhuset i anslutning till Sahlgrenskas huvudentré och hållplats. Göteborgs stad har gett COWI i uppdrag att genomföra en fördjupad luftutredning för planen, där luftkvaliteten med avseende på kvävedioxid (NO₂) och partiklar (PM₁₀) ska utredas. Luftutredningen syftar till att svara på om det är sannolikt att det går att bygga enligt planförslaget utan att fastställda gränsvärden för luft överskrids.

Metod

Luftkvaliteten har beräknats för dels år 2025, då hus 1-3 väntas vara byggda, dels år 2028 då även hus 4 väntas vara byggt. Trafiksiffror som omfattar dagens trafik plus den alstring som denna plan och omkringliggande planer väntas medföra har använts för båda scenarioåren. Emissionerna har beräknats med modellerna HBEFA version 3.3 och Nortrip. Emissionsfaktorer för år 2020 respektive år 2023 har använts. Spridningsberäkningarna har gjorts med CFD-modellen Miskam, och lokal meteorologi har beräknats med modellen TAPM.

Resultat

För NO₂ klaras miljökvalitetsnormen (MKN) för årsmedelvärdet och 98-percentilen av timmedelvärdet. För 98-percentilen av dygnsmedelvärdet sker överskridanden av MKN på några ställen på Per Dubbsgatan i beräkningarna för år 2025, medan MKN tangeras på Per Dubbsgatan i beräkningarna för år 2028. Nivåerna för miljökvalitetsmålet överskrids längs Per Dubbsgatan för både årsmedelvärdet och 98-percentilen av timmedelvärdet.

För PM₁₀ klaras MKN för både årsmedelvärdet och 90-percentilen av dygnsmedelvärdet, medan nivåerna för miljökvalitetsmålet överskrids i hela området för årsmedelvärdet. För 90-percentilen av dygnsmedelvärdet klaras miljökvalitetsmålet.

Diskussion

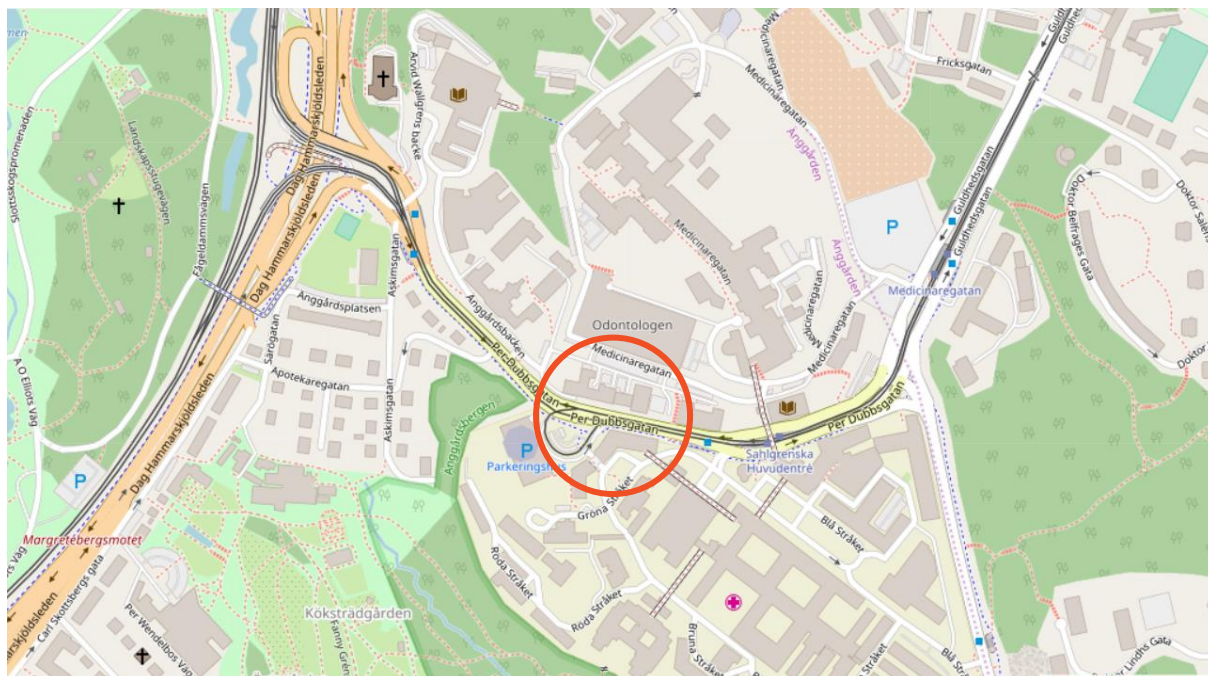
Det finns små möjligheter att med ändrad utformning på bebyggelsen påverka haltbilden i området, eftersom planförslaget som utretts redan innehåller hög bebyggelse som ger ökad nedblandning av renare luft, samt breddat gaturum. En minskning av trafikmängderna på Per Dubbsgatan skulle vara den effektivaste åtgärden för att få lägre halter i området, men även en övergång till eldrivna bussar skulle ge en positiv effekt på NO₂-halterna i området. Gång- och cykelbanor bör läggas på södra sidan av Per Dubbsgatan där haltnivåerna är lägre.

2 Inledning

2.1 Bakgrund

Göteborgs stad arbetar med att ta fram en detaljplan för Per Dubbsgatan, som ska möjliggöra ny bebyggelse för vård och forskning. Sahlgrenska Universitetssjukhuset och Göteborgs Universitet tillsammans med näringslivsaktörer samverkar för att öka Västra Götalandsregionens attraktions- och innovationskraft inom Life science, skapa ett internationellt center och i förlängningen öka folkhälsan. Den nya bebyggelsen som föreslås i detaljplanen omfattar ca 150 000 m² BTA. Detaljplanen föreslår också en länkbyggnad över Per Dubbsgatan, samt att kollektiv-, gång- och cykeltrafik prioriteras i detaljplanen. Göteborgs stad har gett COWI i uppdrag att genomföra en fördjupad luftutredning för planen, där luftkvaliteten med avseende på kvävedioxid (NO₂) och partiklar (PM₁₀) ska utredas.

Planområdet är lokaliserat ca 2,5 km söder om Göteborgs centrum. Området omfattar en del av Per Dubbsgatan, delar av Medicinareberget och Sahlgrenska Universitetssjukhuset i anslutning till Sahlgrenskas huvudentré och hållplats, se Figur 1. Idag är området delvis bebyggt, men enligt förslagen detaljplan kommer de flesta byggnader att rivas och ersättas med nya. Gaturummet vid Per Dubbsgatan är relativt trångt och området har relativt stora höjdskillnader åt alla håll. Det är ett komplicerat område med distinkt topografi och höga byggnader, vilket ställer höga krav på utförandet av luftkvalitetsutredningen. Då det planeras en överbyggnad över Per Dubbsgatan som lämnar ihop husen på båda sidor om gatan, krävs modellering av s.k. underflow, luftströmning och spridning av föroreningar under byggnaden.



Figur 1 Ungefärlig geografisk placering av detaljplaneområdet i Göteborgs Stad (© OpenStreetMaps bidragsgivare, 2018-04-19).

COWI har nyligen gjort en luftutredning med spridningsberäkningar för exploatering vid Guldhedsgatan (Bäck m.fl. 2017), i direkt närområde till det aktuella planområdet. Den utredningen visade att det är risk för överskridanden av miljökvalitetsnormen på Per Dubbsgatan. Utredningen för det nu aktuella planområdet behöver göras med fokus på bebyggelsen och topografin längs Per Dubbsgatan för att få ett tillförlitligt resultat. I den tidigare utredningen för exploatering vid Guldhedsgatan gjordes beräkningar av luftkvaliteten både med och utan en tunnel genom Medicinareberget.

Luftkvaliteten i närheten av planområdet påverkas av flera närliggande väl trafikerade gator så som t.ex. Guldhedsgatan, Ehrenströmsgatan och Dag Hammarsköldsleden. I höjd med Sahlgrenska övergår Guldhedsgatan i Per Dubbsgatan förbi sjukhusområdet. Sträckan mellan Wavrinskys Plats och Linnéområdet är vältrafikerad. Mellan Wavrinskys Plats och Sahlgrenska har årsdygnstrafiken (ÅDT) varierat kraftigt de senaste åren med en ÅDT på mellan 16 000 och 20 000 bilar år 2006 och 6 500-9 000 bilar år 2014. Biltrafiken utgörs i stor utsträckning av genomfartstrafik och trafik till sjukhuset, Medicinareberget och mot Mölndal. Guldhedsgatan och Per Dubbsgatan trafikeras också av en stombusslinje samt tre spårvagnslinjer.

Enligt planen ska byggnation i området ske i två etapper. I den första etappen, som beräknas vara färdig år 2025, ska hus 1-3 byggas (se kommande avsnitt för mer detaljerad beskrivning) och i den andra etappen, som beräknas vara färdig år 2028, ska hus 4 byggas. Spridningsberäkningar kommer därför att genomföras med avseende på dessa två år.

2.2 Syfte

Luftutredningen syftar till att svara på om det är sannolikt att det går att bygga enligt planförslag utan att fastställda gränsvärden för luft överskrids. Utredningen avser därför detaljerade spridningsberäkningar av partiklar (PM_{10}) och kvävedioxid (NO_2) i området, för två framtida scenarion; år 2025 då hus 1-3 ska vara inflyttningsbara och år 2028 då även hus 4 ska stå färdigt.

2.3 Luftkvalitet i Göteborg

Luftkvaliteten i Göteborg, med avseende på svaveldioxid (SO_2), partiklar (PM_{10}) och kväveoxider (NO_2) har förbättrats betydligt under de sista årtiondena och halterna av SO_2 är inte längre ett problem. Fortfarande sker dock överskridanden av miljökvalitetsnormerna (MKN) för utomhusluft för NO_2 , både i gaturum och i urban bakgrund, på flera platser i Göteborgsområdet. Enligt Miljöförvaltningens och Luftvårdsprogrammets i Göteborgsregionen mätningar överskrids däremot inte MKN för partiklar, vare sig PM_{10} eller den mindre fraktionen $PM_{2,5}$, någonstans i Göteborg.

Det framgår av Naturvårdsverkets emissionsdatabaser för Sverige (SMED) att kväveoxidemissionen har halverats från 1990 fram till nu och motsvarande utveckling ses i Göteborg. Av de totala emissionerna av kväveoxider står, i dagsläget, fordonstrafik (bussar, lastbilar personbilar) för knappt 25 % av de totala utsläppen jämfört med 1990 då fordonstrafik utgjorde nästan 50 %. Den stora minskningen av fordonsemissioner beror på en mycket positiv teknikutveckling, men effekten av denna har reducerats eftersom att mängden fordon har ökat. Trots att fordonen inte står för majoriteten av emissionerna så är haltandelen från dem ofta stor i urbana områden. Detta beror på att emissionerna sker i markplan där spridningen är sämre än i fallet med emissioner från upphöjda källor (skorstenar). Dessutom ska mätningar, enligt gällande normer för kontroll av luftkvalitet (NFS 2013:11), ske på mellan 1,5 och 4 (men max 8) meters höjd över mark. Haltandelen som kommer från trafiken beror på lokalisering i staden. Enligt en tidigare genomförd utredning (Hae-

ger-Eugensson m.fl. 2010) är andelen från fordon vid Kungsbackaleden ca 60 % för höghaltstillfällerna (som kan jämföras med 98-percentil timme – d.v.s. MKN för NO₂) och drygt 50 % av årsmedelvärdet. Vid större trafikleder kan alltså halterna bli mycket höga nära vägen men de avklingar ofta relativt snabbt. Hur snabbt beror dock på emissionens storlek och de lokala spridningsförutsättningarna vilka i sin tur beror på bebyggelsen, markanvändningen (t.ex. vegetation), topografin och lokal meteorologi. Exempel på hur luftkvaliteten påverkas av bebyggelse kan ses i Haeger-Eugensson m.fl. (2014a), och hur den påverkas av olika åtgärder ses i Haeger-Eugensson m.fl. (2014b). Även vegetation har visats kunna minska halten av både NO₂ och partiklar betydligt (Yang m.fl. 2008).

De högsta halterna av NO₂ i Göteborg återfinns längs E6/E20 från Tingstadstunnelns mynning, förbi Gårda och söderut mot Mölndal samt i gaturum i centrala Göteborg där det går mycket trafik, i synnerhet under rusningstiden (t.ex. Sprängkullsgatan).

2.4 Miljökvalitetsnormer

I samband med att Miljöbalken trädde i kraft den 1 januari 1999 infördes miljökvalitetsnormer (MKN) som ett nytt styrmedel i svensk miljö rätt. Systemet med MKN regleras framförallt i Miljöbalkens femte kapitel. Till skillnad mot gränsvärden och riktvärden skall MKN enbart ta fasta på vad människan och naturen tål utan hänsyn till ekonomiska intressen eller tekniska förhållanden. En norm kan meddelas om det behövs i förebyggande syfte eller för att varaktigt skydda människors hälsa eller miljön. De kan även användas för att återställa redan uppkomna skador på miljön.

MKN gäller i utomhusluft med undantag av väg- och spårtunnlar och arbetsplatser till vilka allmänheten inte har tillträde (Sveriges riksdag, 2010). MKN ska inte tillämpas på vägbanor, på platser där människor normalt inte vistas (t ex inom vägområdet längs större vägar) och i så kallade belastade mikromiljöer, exempelvis i direkt anslutning till en korsning eller vid en ventilationsanläggning för en tunnel (Naturvårdsverket, 2014).

Gällande miljökvalitetsnormer för NO₂ och PM₁₀ i utomhusluft redovisas i Tabell 1.

Tabell 1 Miljökvalitetsnormer för utomhusluft enligt Luftkvalitetsförordningen.

Förorening	Medelvärdesperiod	MKN-värde (µg/m ³)	Antal tillåtna överskridanden per år
PM ₁₀	Dygn	50	35 dygn
	År	40	-
NO ₂	Timme	90	175 timmar ¹⁾
	Dygn	60	7 dygn
	År	40	-

1) Förutsatt att föroreningsnivån aldrig överstiger 200 µg/m³ under en timme mer än 18 gånger per kalenderår.

Kommuner och myndigheter bär huvudansvaret för att MKN följs, men verksamhetsutövare har också ett visst ansvar. Ansvaret ökar med verksamhetens storlek och miljöpåverkan. MKN ska följas när kommuner och myndigheter planlägger, bedriver tillsyn och ger tillstånd till att driva anläggningar (Naturvårdsverket, 2014).

2.5 Miljökvalitetsmål

Det svenska systemet med miljökvalitetsmål innehåller ett generationsmål, sexton miljökvalitetsmål och tjugofyra etappmål. Generationsmålet anger inriktningen för den samhällsomställning som behöver ske inom en generation för att miljökvalitetsmålen ska nås. Miljökvalitetsmålen beskriver det tillstånd i den svenska miljön som miljöarbetet ska leda till. Det finns även preciseringar av miljökvalitetsmålen. Preciseringarna förtydligar målen och används i det löpande uppföljningsarbetet av målen.

Ett av målen, Frisk luft, berör direkt halter i luft av olika föroreningar. Miljökvalitetsmålet Frisk luft definieras enligt följande: *Luften ska vara så ren att människors hälsa samt djur, växter och kulturvärden inte skadas*. För miljökvalitetsmålet Frisk luft finns preciseringar i form av halter av luftföroreningar som inte ska överskridas. Se Tabell 2 för preciseringar för NO₂ och PM₁₀. Miljökvalitetsmålen ska nås senast år 2020.

Tabell 2 *Preciseringar avseende kvävedioxid och partiklar för miljökvalitetsmålet Frisk luft.*

Förorening	Medelvärdesperiod	Miljökvalitetsmål (µg/m ³)	Antal tillåtna överskridanden per år
PM ₁₀	Dygn	30	37 dygn
	År	15	-
NO ₂	Timme	60	175 timmar
	År	20	-

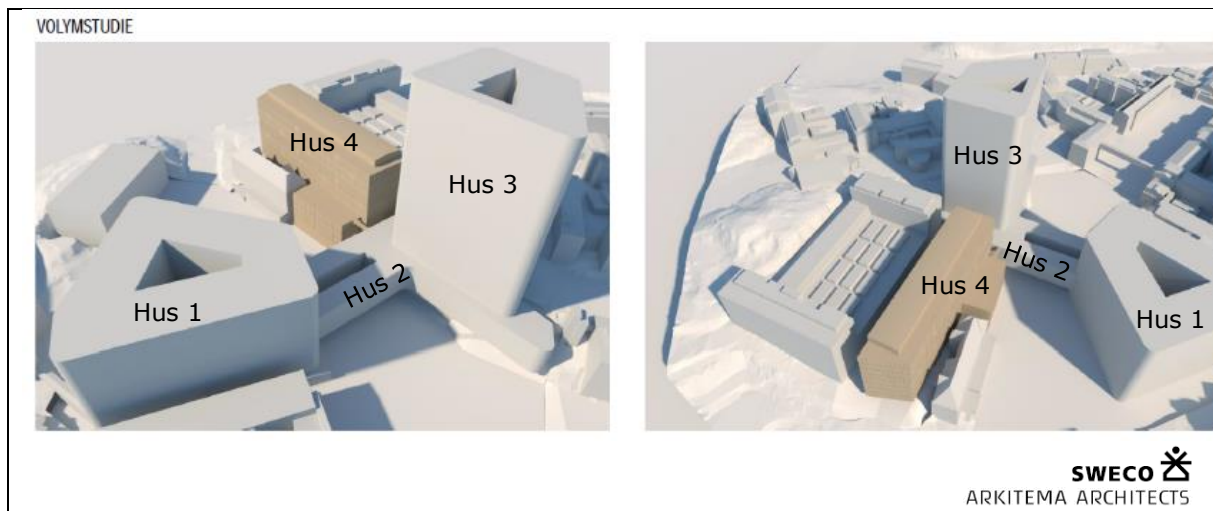
Miljökvalitetsmålen utgör en riktning och vägledning åt kommuner och Länsstyrelser vart det framtida miljöarbetet ska sikta mot. Även om miljökvalitetsmålen inte är legalt bindande så som MKN, kan överskridanden av miljökvalitetsmålen innebära en begränsning i framtiden, beroende på hur dessa tolkas av myndigheterna och därmed vilken praktisk betydelse dessa får.

3 Underlag och metodbeskrivning

3.1 Framtida utformning av området

Detaljplanen innebär att stora delar av de befintliga byggnaderna ska rivas, och ersättas med fyra nya hus. Hus 1 kommer ligga söder om Per Dubbsgatan och innehålla en ny akutmottagning. Hus 2 är en överbyggnad över Per Dubbsgatan, som binder ihop hus 1 och hus 3. Hus 3 i sin tur är ett höghus på ca 110 meter. Hus 4 ska byggas i ett något senare skede än resterande hus, och kommer vara beläget bakom det befintliga hus som kallas Vanförestalten. Skisser och illustration visas i Figur 2 och Figur 3.

Utevistelse kommer vara möjlig ovanpå hus 2, därför kommer haltkartor även att visas för denna nivå. I utrymmet mellan hus 1 och det befintliga parkeringshuset, söder om Per Dubbsgatan, planeras en park.



Figur 2. Volymstudie över planerad bebyggelse. Bilder från Sweco och Arkitema Architects (2018).



Figur 3. Illustration av planerad bebyggelse. Bild från Sweco och Arkitema Architects (2018). I förgrunden framför hus 4 syns det befintliga hus som kallas Vanförestalten.

3.2 Scenarier

Luftkvaliteten har beräknats för två scenarier:

- > År 2025, med emissionsfaktorer för 2022, och hus 1-3 byggda.
- > År 2028 med emissionsfaktorer för 2025. Här antas även hus 4 vara byggt.

3.3 Utsläpp från trafiken

Trafikuppgifter har erhållits från Göteborgs stad (Göteborgs stad Trafikkontoret, 2018). De trafikuppgifter som använts redovisas i Tabell 3. Samma trafikmängder har använts för både scenarioår 2025 och 2028. Dessa trafikuppgifter bygger på dagens trafik plus den alstring som denna plan och omkringliggande planer väntas medföra. Trafikmängderna inkluderar busstrafik.

Tabell 3. Trafikmängder som avser dagens trafik plus alstring, dvs efter all exploatering och med ombyggd gata.

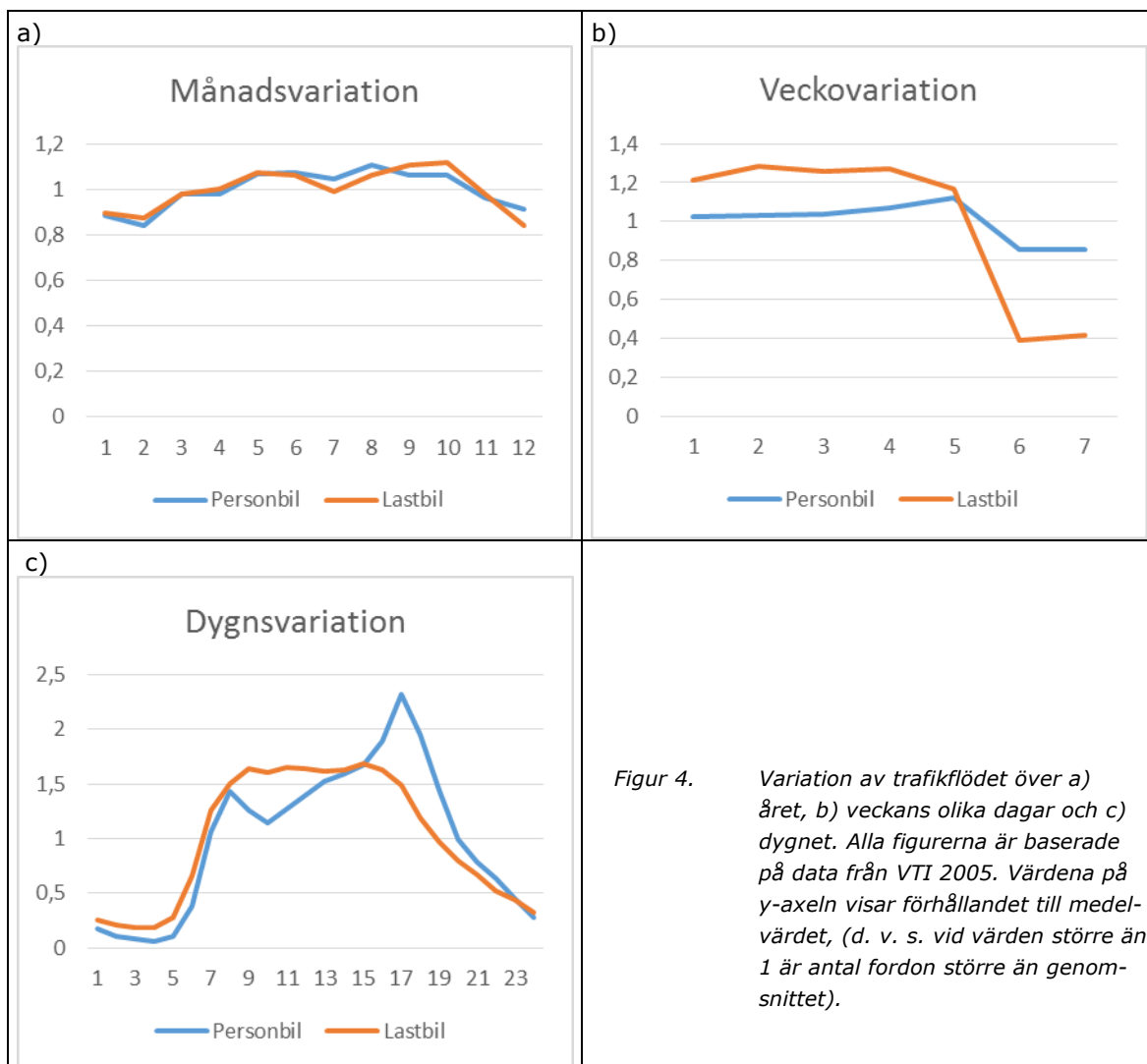
Väg, vägavsnitt	Hastighet (km/h)	ÅMVD	Andel tung trafik
Per Dubbsgatan (Annedalsmotet - Ehrenströmsgatan)	30/50	17 400	5 %
Ehrenströmsgatan (Guldhedsgatan - Doktor Allards Gata)	50	7 400	7 %
Guldhedsgatan (Ehrenströmsgatan - Medicinaregatan)	50	10 700	4 %
Guldhedsgatan (Medicinaregatan - Doktor Saléns Gata)	50	7 300	4 %
Dag Hammarsköldsleden norr om Annedalsmotet	50	23 300	4 %
Dag Hammarsköldsleden söder om Annedalsmotet	50/70	23 900	6 %

Emissionerna har beräknats med emissionsmodellerna HBEFA version 3.3 och Nortrip. Avgasemissioner har beräknats med emissionsfaktorer från HBEFA, som tar hänsyn till hur fordonsflottans sammansättning förväntas förändras i framtiden. I HBEFA antas att det kommer att fortsätta ske förbättringar avseende avgasutsläppen, samt att en större andel av fordonsflottan i framtiden kommer att bestå av fordon med god avgasrening och effektivitet. Detta innebär att avgasemissionerna (utsläpp per km) för ett normalfordon förväntas bli lägre i framtiden. De emissionsfaktorer som använts för beräkning av utsläpp från vägarna motsvarar år 2022 och 2025, tre år tillbaka i tiden jämfört med scenarioåren. Detta har bestämts i samråd med Göteborgs stad. Detta är för att minimera risken att överskatta effekten av den teknikutveckling som förväntas ske för fordonsflottan.

Emissionsfaktorer för resuspension, dvs. uppvirvling av på vägbanan tidigare ackumulerade slitagepartiklar, har beräknats med Nortrip. Nortrip är en emissionsmodell som utvecklats för nordiska förhållanden där mängden resuspension beror bland annat på meteorologiska indata, trafikmängd, andel tung trafik, dubbdäcksandel och fordonshastighet. Den tekniska utvecklingen och förnyelsen av fordonsflottan som förväntas leda till lägre avgasemissioner kommer inte att påverka emissionen av uppvirvlat material, så en liknande minskning av denna typ av emissioner förväntas inte ske. Den genomsnittliga dubbdäcksandel under vintermånaderna som använts i beräkningarna har hämtats från Göteborgs Stads senaste dubbdäcksräkning. Den ligger på 53 % (Göteborgs Stad, 2017a).

Trafikflödet varierar mycket över dygnet, över veckan och över månaderna, vilket gör att det vid vissa tillfällen kan vara mycket mer/mindre trafik än genomsnittet. Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI, har tagit fram hastighets/flödessamband på ÅDT-basis för olika typer av vägar för både personbilar och lastbilar vilket resulterade i indexvärden som kan användas för att relatera flödet vid en viss tidpunkt till ÅDT (VTI 2005). För att bättre kunna identifiera situationer med höga halter av emissioner och påföljande höghaltstillfällen har dessa samband använts för att skapa en variation av trafiken över året. I denna utredning har index för genomfartstrafik och närtrafik använts.

VTI:s månadsindex visar att trafikflödet är lite lägre under vintermånaderna (Figur 4a). Vad gäller veckovariationen så är det stor skillnad mellan personbilar och lastbilar, lastbilar kör framför allt på vardagarna, medan skillnaden mellan vardags- och heltrafik är lite mindre för personbilarna (Figur 4b). Fördelningen av trafik över dygnet är ganska lika för personbilar och lastbilar, med majoriteten av trafiken är under dagtid (Figur 4c). Personbilstrafiken har tydliga toppar på morgonen och eftermiddag/kväll.

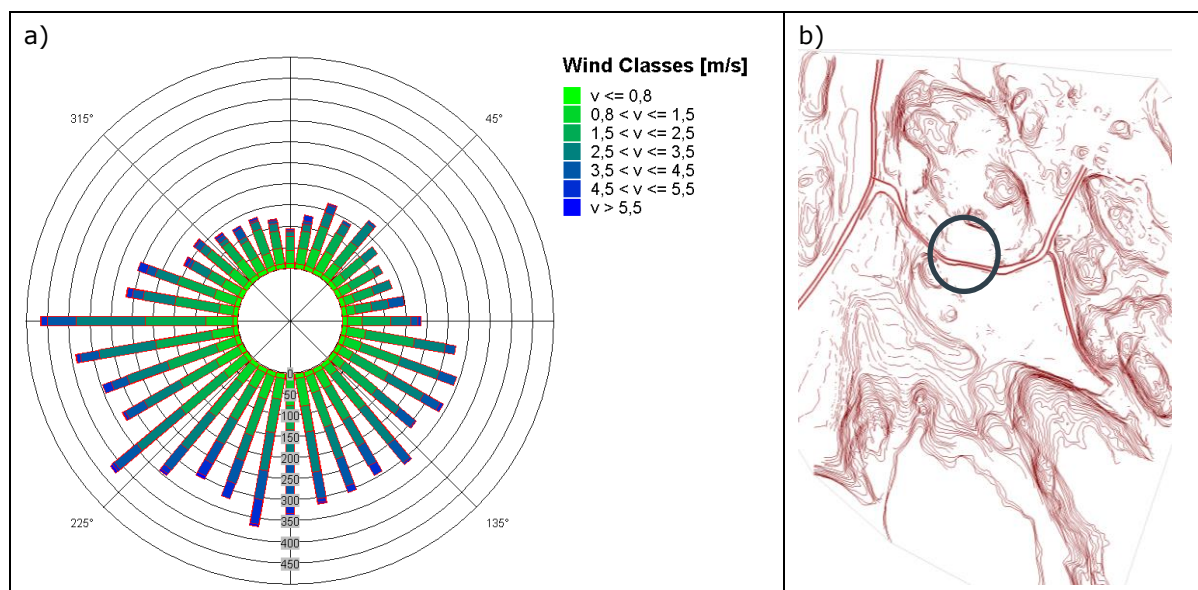


Figur 4. Variation av trafikflödet över a) året, b) veckans olika dagar och c) dygnet. Alla figurerna är baserade på data från VTI 2005. Värdena på y-axeln visar förhållandet till medelvärdet, (d. v. s. vid värden större än 1 är antal fordon större än genomsnittet).

3.4 Spridningsmodellering

För att beräkna haltnivåer ner till markplan (där människor vistas) inne i tätbebyggt område behövs en tredimensionell modell som kan beräkna spridningen av föroreningshalter med hög detaljeringsgrad. I denna utredning har därför en CFD-modell använts (i detta fall Miskam, se vidare Bilaga A). För översiktliga beräkningar i urbana miljöer kan till exempel så kallade gaussiska modeller användas men eftersom dessa inte kan ta hänsyn till effekten av byggnader blir inte resultatet rättvisande för gaturumsberäkningar, vilket ska utföras här. Resultat från gaussiska modeller är däremot relevanta för modellering av haltnivån i takhöjd.

Spridningen av luftföroreningar styrs av många processer och faktorer som verkar i olika geografiska skalor. Meteorologin som används som indata till CFD-modeller bör vara representativ för de lokala väderförhållandena. I detta fall fanns inga lokala meteorologiska mätningar i närområdet, vilket gjorde det nödvändigt att modellera områdets lokala meteorologi med TAPM-modellen (se vidare information i Bilaga B). TAPM-modellen är en dynamisk prognosmodell som beräknar de meteorologiska förutsättningarna i regional till lokal skala och tar hänsyn till exempelvis sjö- och landbris sommartid, topografisk påverkan på vinden samt inversioner. I dessa beräkningar inkluderas därmed de lokala förutsättningarna (topografi, vegetation, havstemperatur m.m.) som styr det lokala vädret och därmed spridningen. Se Figur 5 för den vindros som legat till grund för CFD-modelleringen, samt områdets topografiska förutsättningar.



Figur 5. a) Vindros över lokal meteorologi, beräknad med TAPM, b) illustration över lokal topografi som påverkar vindens riktning och hastighet i området. Planområdets ungefärliga läge är markerat med svart och vägar med rött.

I nästa steg, för beräkningen av de tredimensionella strömningsförhållandena mellan huskropparna, har en CFD-modellen Miskam använts. Den lokala meteorologin från TAPM-modelleringen blir indata till vindfälts- och haltberäkningarna i Miskam. För att återskapa ett realistiskt vindfält som representerar strömningsförhållandena i tre dimensioner för de aktuella kvarteren har ett mycket större område inkluderats i CFD-beräkningarna än enbart planområdet. Förutom meteorologin behöver Miskam även tredimensionell information om både de planerade byggnaderna och den omgivande bebyggelsen.

3.5 Urbana bakgrundshalter

För beräkning av totala halter för området har en s.k. urban bakgrundshalt adderats till de lokala beräknade haltbidragen, för både NO₂ och PM₁₀.

Halterna av NO₂ i Göteborg beräknas årligen av miljöförvaltningen (Göteborgs Stad, 2017b). Dessa beräkningar ger en generell bild av halterna på olika platser i staden. För att bestämma den urbana bakgrundshalten i det här aktuella beräkningsområdet har först den av miljöförvaltningen storskaligt beräknade halten för 2015 vid Änggårdskolonin jämförts med miljöförvaltningens mätstation på Femmanhuset samt korrigerats till haltnivåerna 2017 (Göteborgs Stad, 2017c). Detta görs genom antagandet att de beräknade halterna i området vid Per Dubbsgatan förhåller sig till de uppmätta på samma sätt som vid Femman och utifrån det har en halt skattats för området omkring Per Dubbsgatan.

Den urbana bakgrundshalten av PM₁₀ har tagits fram på ett liknande sätt. Den baseras på en spridningsberäkning av partikelhalterna år 2010 som gjorts av Luftvårdsprogrammet i Göteborgsregionen (Luftvårdsprogrammet i Göteborgsregionen, 2010) och förhållandet mellan ett treårsmedelvärde av uppmätta halter på Femman (Göteborgs Stad, 2017c) för åren 2009-2011 och 2013-2016. Medelhalten av PM₁₀ har varit något lägre under de senare tre åren och motsvarande sänkning har antagits gälla även för de halter som beräknats.

För att inte dubbelräkna bidraget från de gatorna som är inkluderade i beräkningarna för den aktuella planen så har det beräknade lokala bidraget subtraherats från de storskaliga beräkningarna. Från de beräkningar som gjorts i detta uppdrag har det lokala urbana bakgrundsbidraget tagits fram. Genom att dra bort det lokala bidraget från den uppskattade totalhalten, har en lokal urban bakgrundshalt erhållits för Per Dubbsgatan med omnejd (se Tabell 4). Denna urbana bakgrundshalt har lagts till de beräknade lokalbidragen båda framtidsscenarierna.

Tabell 4 Urban bakgrundshalt som adderats till spridningsberäkningarnas haltkartor.

Förorening	Årsmedelvärde	98-percentil dygn	90-percentil dygn	98-percentil timme
NO ₂	13	26		29
PM ₁₀	15		19	

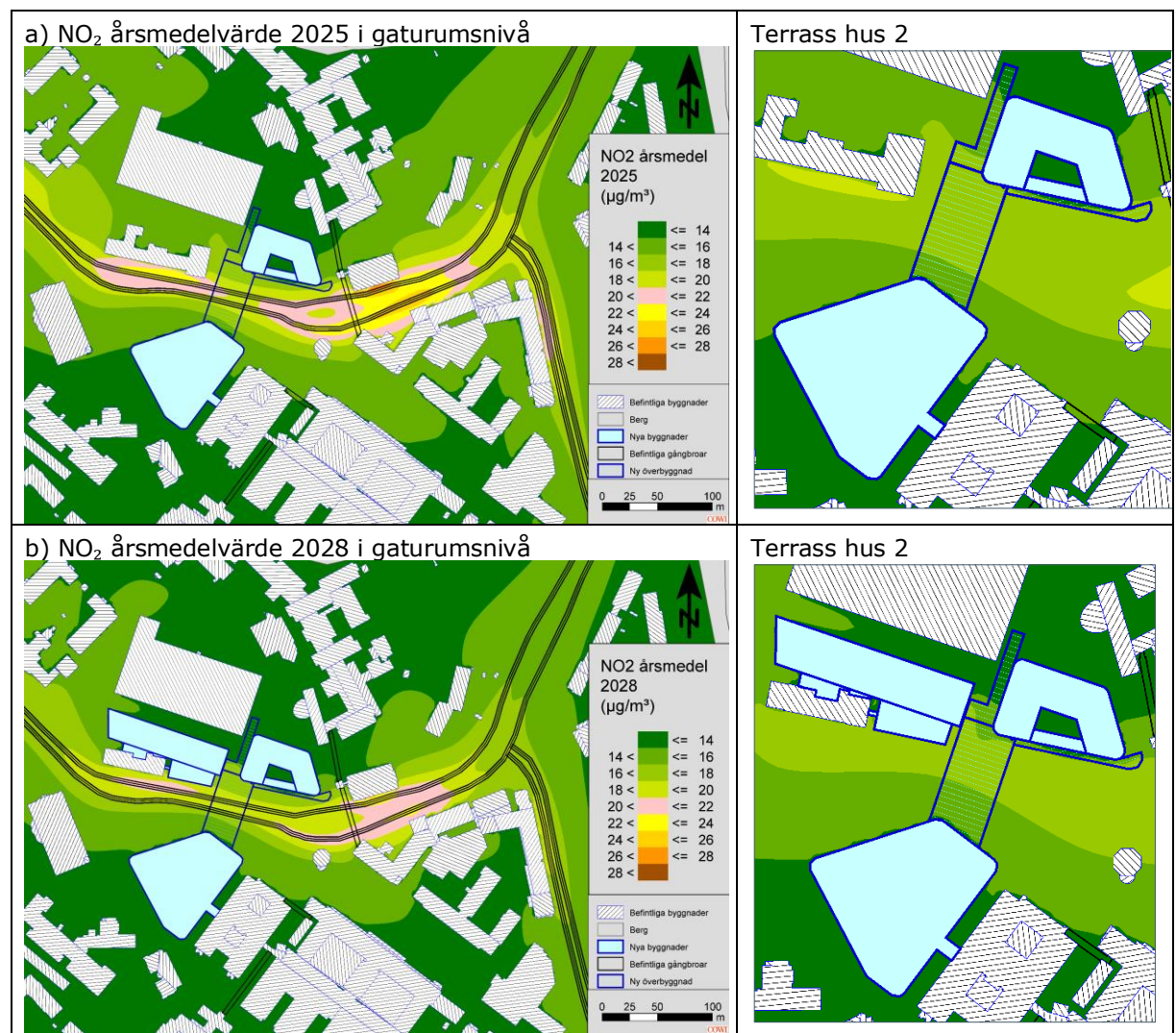
4 Resultat

Resultaten presenteras som kartor av totala halter av NO₂ respektive PM₁₀ i dels gaturumsnivå och dels i nivå med terrassen på hus 2. Resultatet presenteras som kartor där den beräknade halten av NO₂ eller PM₁₀ i en viss punkt framgår av områdets färg på kartan. För alla haltkartor gäller att klarröda områden innebär överskridande av miljökvalitetsnormen (MKN) medan ljusrosa områden innebär överskridande av miljökvalitetsmålet "Frisk luft". För 98-percentilen av dygnsmedelvärdet av NO₂ finns ingen precisering av miljökvalitetsmålet, därför saknas rosa haltgräns för dessa kartor.

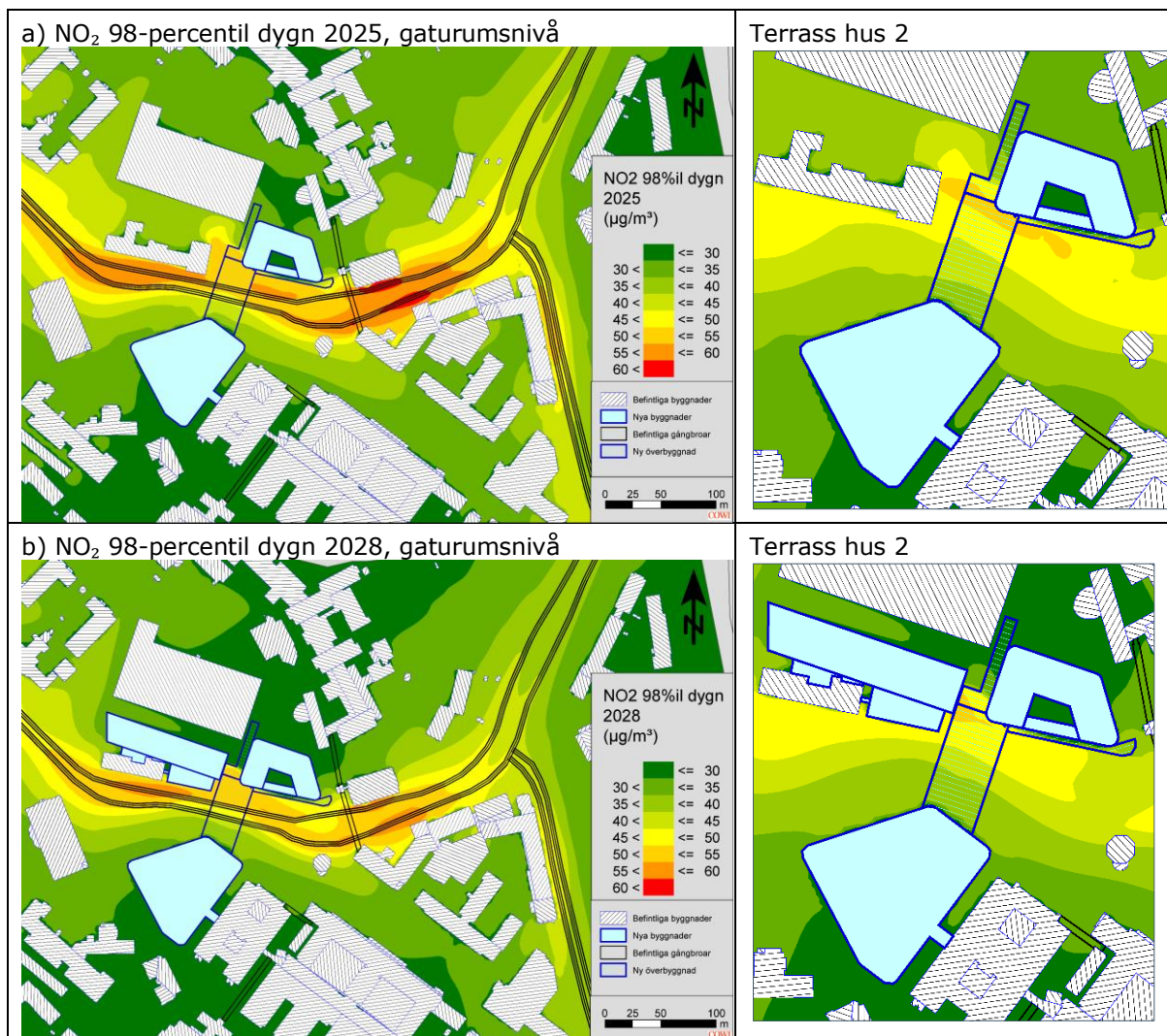
4.1 Kvävedioxid, NO₂

För NO₂ visas beräkningarna för årsmedelvärdet i Figur 6, 98-percentilen av dygnsmedelvärdet i Figur 7 och 98-percentilen av timmedelvärdet i Figur 8.

För årsmedelvärdet (Figur 6) ses att MKN (40 µg/m³) klaras med god marginal i hela området både år 2025 och år 2028. Miljökvalitetsmålet för årsmedelvärdet av NO₂ (20 µg/m³) överskrids längs med Per Dubbsgatan både år 2025 och 2028, men området med överskridanden är litet år 2028 och ligger mestadels utanför planområdet. På terrassen ovanpå hus 2 klaras både MKN och miljö-kvalitetsnormen för årsmedelvärdet i båda scenariona.



Figur 6. Årsmedelvärde av NO₂ (µg/m³) för a) år 2025 och b) 2028. Bilderna till vänster visar halterna i gaturumsnivå och bilderna till höger halterna på terrassen på hus 2.



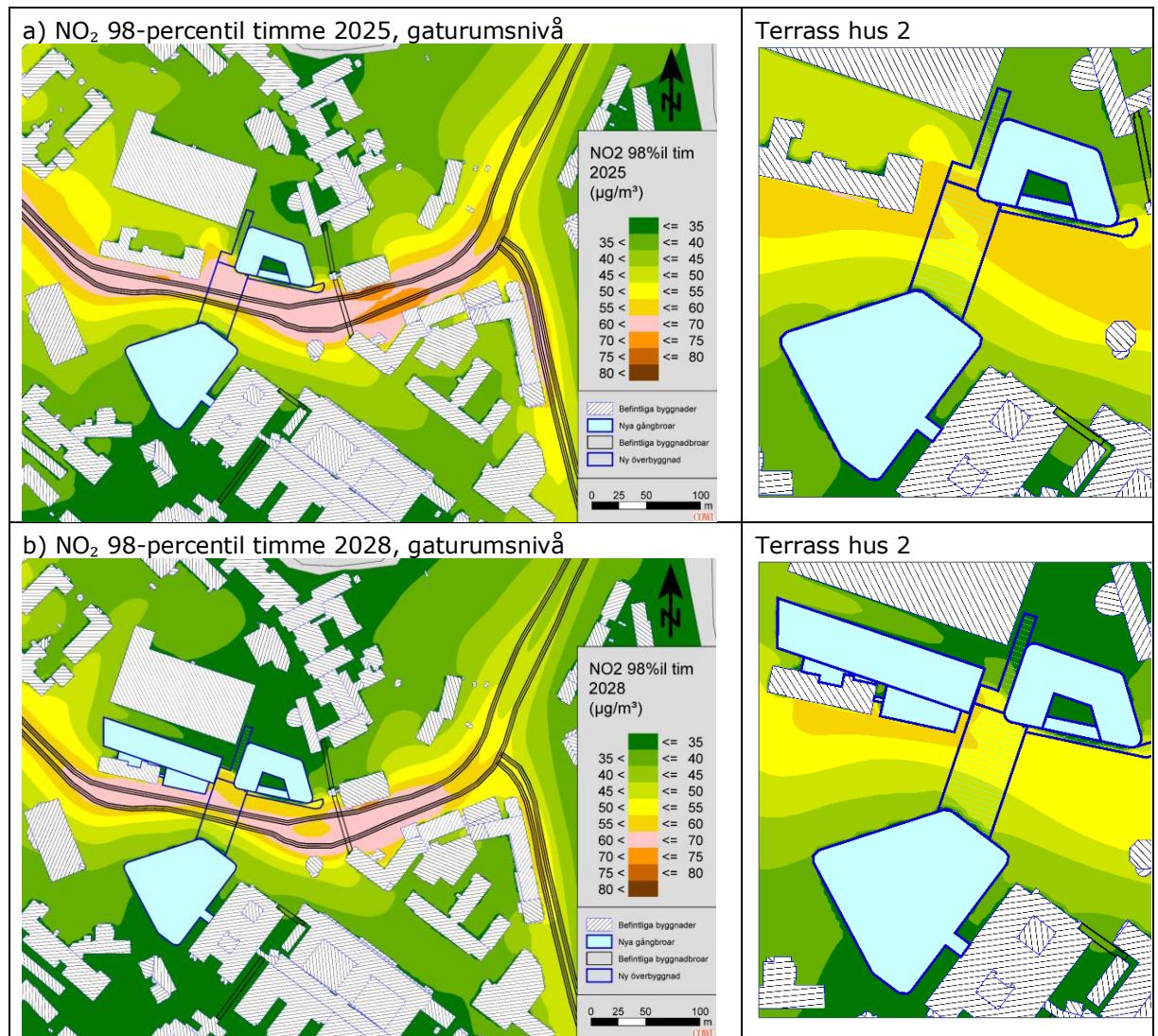
Figur 7. 98-percentil av dygnsmedelvärde av NO₂ (µg/m³) för a) år 2025 och b) 2028. Bilderna till vänster visar halterna i gatunivå och bilderna till höger halterna på terrassen på hus 2.

Gällande 98-percentilen av dygnsmedelvärde sker dock överskridanden av MKN (60 µg/m³) i beräkningarna för år 2025 på några ställen på Per Dubbsgatan, vilket framgår av den röda färgen i Figur 7a. I stora delar av området tangeras även MKN, orange färg i Figur 7a. År 2028 överskrids inte MKN för 98-percentilen av dygnsmedelvärde (Figur 7b), men MKN tangeras på några ställen på Per Dubbsgatan.

Delar av Per Dubbsgatan har 30 km/h som hastighetsgräns, ungefär från Biomedicinska biblioteket fram till den västra kanten av hus 2, och utsläppen per kilometer är högre per bil när de kör i 30 km/h än när de kör i 50 km/h. Detta beror på att motorerna generellt är optimerade för att fungera så bra som möjligt vid en högre hastighet, ca 70-80 km/h, vilket innebär att förbränningen är mest effektiv vid dessa hastigheter, vilket ger högre NO_x-emissioner vid lägre hastigheter. Detta kan förklara området med höga halterna öster om planområdet, där gaturummet även är trängre vilket också ger högre halter. Att halterna inte blir högre i östra delen av planområdet hänger troligtvis samman med att hus 3 norr om Per Dubbsgatan är så högt (ca 110 m), vilket ger en nedblandning av renare luft och högre vindhastigheter i markplan, vilket ger lägre halter. Området med höga

halter inom planområdet söder om Vanförestalten och hus 4 förklaras däremot snarare med gatummets utformning. Eftersom vägen och därmed utsläppen ligger så nära det befintliga huset som effektivt hindrar spridning norrut blir halt nivåerna i detta område höga.

En tydlig förbättring av halt nivåerna kan ses i beräkningarna mellan år 2025 och 2028, trots att samma trafikunderlag använts. Detta beror på att emissionerna från fordonen väntas minska över tid och att olika prognosår för emissionsfaktorerna har använts.



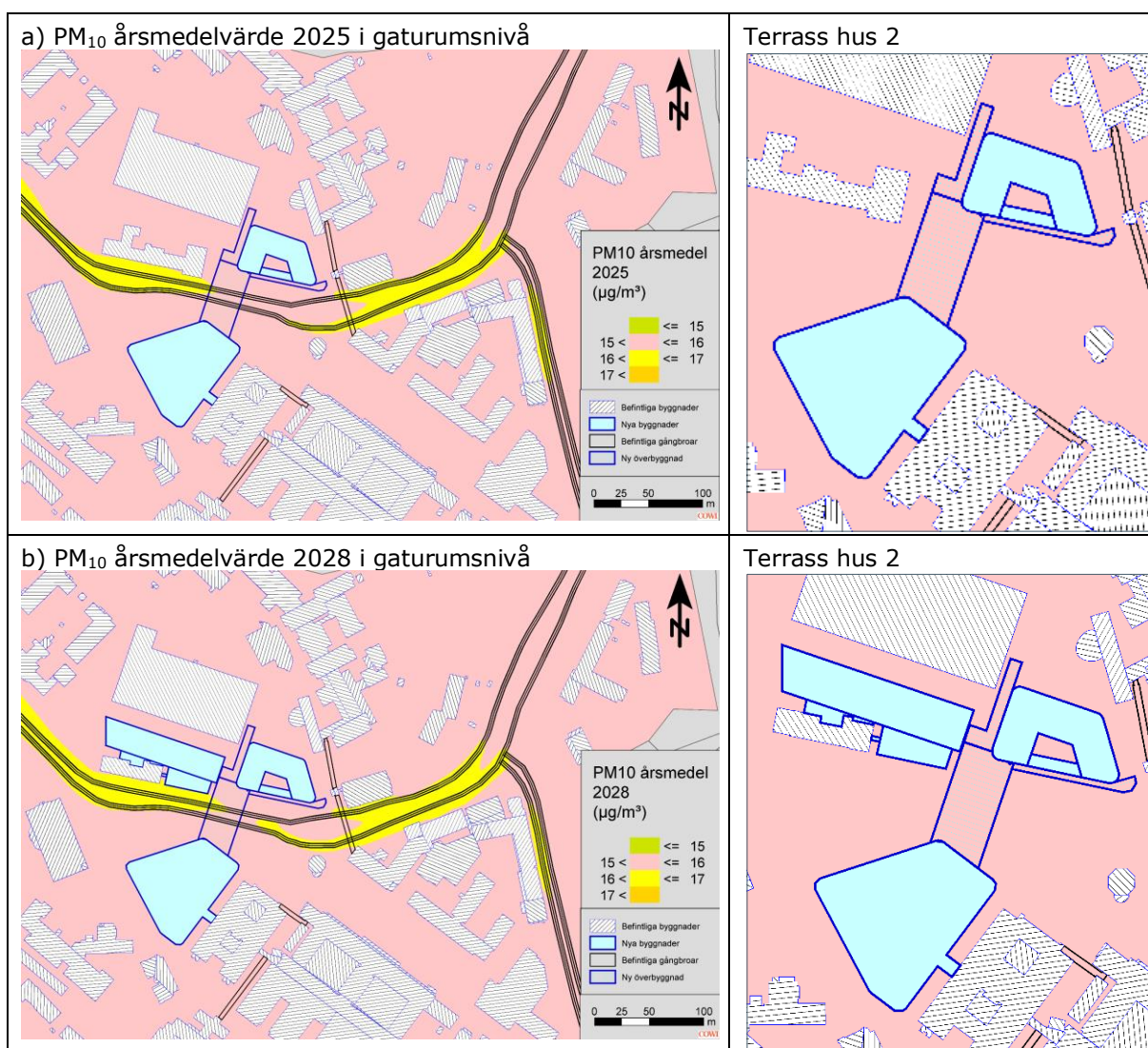
Figur 8. 98-percentil av timmedelvärde av NO₂ (µg/m³) för a) år 2025 och b) 2028. Bilderna till vänster visar halterna i gatunivå och bilderna till höger halterna på terrassen på hus 2.

Det är samma områden som får de högsta halterna även för 98-percentilen av timmedelvärde för NO₂. I Figur 8 ses att MKN (90 µg/m³) klaras i hela beräkningsområdet. Däremot överskrider miljökvalitetsmålet i beräkningarna för både 2025 och 2028 längs med Per Dubbsgatan. På terrassen ovanpå hus 2 klaras både MKN och miljökvalitetsmålet för 98-percentilen av timmedelvärde.

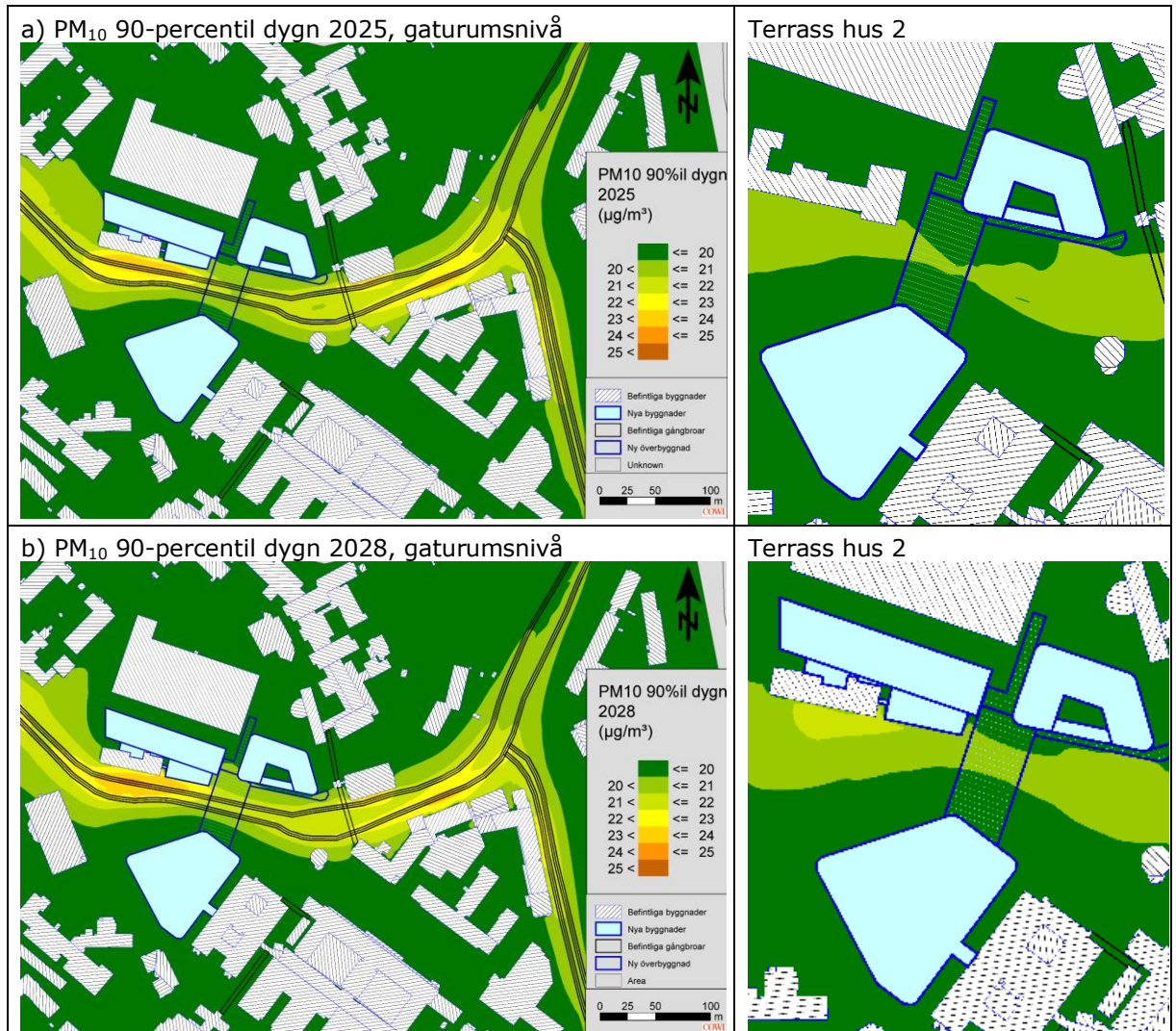
4.2 Partiklar, PM₁₀

För PM₁₀ visas resultaten för årsmedelvärde i Figur 9 och 90-percentilen av dygnsmedelvärde i Figur 10.

Beräkningarna visar att årsmedelvärdet för PM₁₀ genomgående ligger under MKN ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) men att miljökvalitetsmålet ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) överskrids i hela beräkningsområdet både i gatunivå och i nivå vid terrassen på hus 2 för båda scenarierna (Figur 9a och b). Att miljökvalitetsmålet överskrids beror på att bakgrundshalterna är så pass höga, vilket beror på att de till stor del består av långdistanstransporterade partiklar. Haltbidraget från trafiken på Per Dubbsgatan är förhållandevis litet, eftersom uppvirvlingen är starkt kopplat till vilken hastighet som fordonen kör i. Ju fortare de kör, desto mer virvlar upp. Vidare påverkar det totala antalet fordon samt mängden tung trafik resuspensionen, och båda dessa är relativt låga på Per Dubbsgatan vilket förklarar det låga lokala bidraget av partiklar.



Figur 9. Årsmedelvärde av PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) för a) år 2025 och b) 2028. Bilderna till vänster visar halterna i gatunivå och bilderna till höger halterna på terrassen på hus 2.



Figur 10. 90-percentil av dygnsmedelvärde av PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) för a) år 2025 och b) 2028. Bilderna till vänster visar halterna i gaturumsnivå och bilderna till höger halterna på terrassen på hus 2.

För 90-percentilen av dygnsmedelvärde av PM₁₀ ses den lokala påverkan på haltbilden lite tydligare. Tillfällena med de högsta korttidshalterna av PM₁₀ uppkommer då det dels är mycket uppvirring från gatorna lokalt, dvs. vid torrt väder på våren när det är mycket grus och damm på gatorna, och då det samtidigt är mycket intransport av partiklar från omkringliggande länder. Beräkningarna visar att MKN ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) och miljö kvalitetsmålet ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) för 90-percentilen av dygnsmedelvärde av PM₁₀ klaras i hela beräkningsområdet både 2025 och 2028 (Figur 10).

5 Diskussion och bedömning

De högsta halterna i beräkningsområdet ses i ett område öster om planområdet på Per Dubbsgatan. Även inom planområdet söder om Vanförestalten och hus 4 ses ett område med höga halter, både när hus 4 är med och när det inte är med. Hur haltbilden i omgivningen påverkas av planförslaget går inte att bedöma utan att beräkna ett nuläggsscenario eller nollscenario, men hus 4 verkar inte ha så stor påverkan på haltnivåerna i gaturummet nedanför Vanförestalten eftersom höghaltsområdet finns i båda beräkningarna, för år 2025 och för år 2028. Vidare innehåller planförslaget en byggnad på ca 110 meter, hus 3 norr om Per Dubbsgatan. Höga hus har generellt

en positiv effekt för halterna av luftföroreningar, eftersom de ökar nedblandningen av renare luft och högre vindhastigheter från högre luftlager ner till markplan, vilket ökar omblandningen och utspädningen av utsläppen i gaturummet. Även överbyggnaden över Per Dubbsgatan, hus 2, kan ha en positiv effekt på luftomblandningen i området genom att den kan skapa högre vindhastigheter i markplan, vilket ger lägre halter av luftföroreningar. Det höga huset (hus 3) i kombination med överbyggnaden över gatan samt att gaturummet är ganska trångt ger en förstärkning av vinden. En breddning av gaturummet jämfört med dagsläget längs Per Dubbsgatan, vilket planförslaget innebär, är också positivt ur luftkvalitetssynpunkt, eftersom det då finns en större luftvolym för utsläppen att blandas ut i, vilket ger lägre koncentrationer än vad samma emissioner skulle ge i ett trängre gaturum.

Vid planeringen av utformningen av gaturummet är det viktigt att tänka på var träd och vindskydd placeras, så att utspädningseffekten inte påverkas i de områden där det är risk för höga halter. De högsta halterna i gaturummet uppstår när vindhastigheterna är låga, eftersom utsläppen inte ventileras bort utan stannar kvar i markplan varpå koncentrationerna kan bli höga. Det är dessa tillfällena som ofta speglas i percentilerna. Om vegetation planeras att tillföras så rekommenderas diskussioner med COWI och eventuellt nya spridningsberäkningar för att inte riskera att högre halter uppstår.

Människor kommer framför allt att vistas på gång- och cykelbanor längs Per Dubbsgatan, på hållplatsen under hus 2 samt i den park som planeras söder om Per Dubbsgatan, väster om hus 1. På dessa platser är det därför extra viktigt att halterna av luftföroreningar är godtagbara. Samtidigt är MKN ett lagkrav som gäller överallt utom exempelvis mitt på vägbanor och i tunnlar. MKN tangeras vid hållplatsen och intill vägen för beräkningarna för år 2025. I beräkningarna för år 2028 är dock halterna inom dessa områden lite lägre och MKN klaras, men tangeras dock fortfarande norr om Per Dubbsgatan vid Vanförestalten och hus 4. Eftersom MKN tangeras på norra sidan av Per Dubbsgatan inom planområdet, vore det ur luftföroreningssynpunkt fördelaktigt att lägga cykel- och gångbanor på södra sidan av gatan. I området där en park planeras klaras både MKN och miljö kvalitetsmålen, utom för årsmedelvärdet av PM₁₀ där miljö kvalitetsmålet överskrids i hela beräkningsområdet.

Utsläppen av NO_x, som består av NO₂ och NO, förväntas minska i framtiden, eftersom teknikutvecklingen går framåt och nya motorer släpper ut mindre NO_x än gamla samtidigt som elektrifieringen av bilarna förväntas öka. Ju längre fram i tiden man tittar, desto större andel av fordonsflottan antas bestå av nyare fordonsmodeller, vilket leder till lägre NO_x-utsläpp för ett medelfordon. Detta gäller både för lätt och tung trafik, men eftersom tunga fordon, så som lastbilar och bussar, släpper ut många gånger mer än lätta fordon, så har det större effekt på totalemissionerna om utsläppen från de tunga fordonen minskar. I den emissionsmodell som använts, HBEFA 3.3, ingår en prognos över fordonsflottans förväntade sammansättning av fordon med olika ålder och motortyp för olika framtidsår. HBEFA är en europeisk modell för beräkning av utsläpp från vägtrafiken, som bland annat Trafikverket är med och utvecklar för Sveriges del. För att ta höjd för att den tekniska utvecklingen och fordonsomsättningen kanske inte går så snabbt som är prognosticerat, har beräkningarna gjorts med emissionsfaktorer där man "backat" tre år istället för att använda EF för de faktiska scenarioåren, dvs. för år 2025 har emissionsfaktorer för år 2022 använts och för år 2028 har emissionsfaktorer för år 2025 använts. De beräknade halterna kan därmed ses som ett värsta fall med avseende på teknikutvecklingen och dess påverkan på luftkvaliteten. Detaljplanen är beräknad att färdigställas till år 2025. Om detta skulle fördröjas till år 2026 skulle det ha positiv inverkan på luftkvalitetshalterna, eftersom teknikutvecklingen hinner gå ytterligare lite framåt.

Den tunga trafiken utgör bara 5 % av totaltrafiken, men orsakar ca 25-35 % av utsläppen på Per Dubbsgatan. Den största delen av den tunga trafiken på Per Dubbsgatan utgörs av bussar i kollektivtrafik, ca 85 % i dagsläget och 89 % i trafikmängderna som inkluderar alstringen och som använts som underlag för emissions- och spridningsberäkningarna (Tabell 3, sidan 13). Om 90 % av bussarna på sträckan förbi Per Dubbsgatan skulle vara eldrivna skulle NO_x-utsläppen på Per Dubbsgatan minska med 19-25 % jämfört med beräkningarna för år 2025 och 2028. Dock skulle detta inte innebära att de totala halterna i området minskar med 19-25 %, utan det är bara det lokala haltbidraget som minskar.

En möjlig åtgärd för att försöka komma tillrätta med de höga halterna av NO₂ i och i nära anslutning till planområdet längs Per Dubbsgatan är alltså att öka andelen eldrivna bussar på sträckan (fr.o.m. juni 2018 trafikerar två eldrivna bussar sträckan). Västtrafik avser att påbörja en övergång mot elektrifierad stads- och tätortstrafik, och senast 2035 ska utföras den vara helt elektrifierad. Trafiknämnden i Göteborgs stad har ställt sig bakom ett samarbetsavtal med Västtrafik inför upphandlingen av nya stadsbussar för införande år 2020-2023.

Totalhalten består dock, förutom det lokala bidraget, även av en regional och lokal urban bakgrundshalt, som inte påverkas av detta. Därmed är det svårt att säga exakt hur mycket en övergång till 90 % eldrivna bussar skulle göra för haltnivåerna i området utan att göra spridningsberäkningar för detta. Men i och med att Per Dubbsgatan är den dominerande utsläppskällan inom planområdet, så är sannolikheten stor att en sådan utsläppsminskning skulle ha en märkbar effekt på halterna i området. I beräkningarna för år 2028 tangeras endast MKN, och år 2025 är området där MKN överskrids mycket litet, så en lokal emissionsminskning på 19-25 % skulle kunna ge nivåer med tillräcklig marginal till MKN.

Resultaten från spridningsberäkningarna visar att MKN klaras för alla parametrar förutom 98-percentilen av dygnsmedelvärdet av NO₂. Här tangeras MKN längs vissa delar av Per Dubbsgatan (mörkorange i haltkartorna i Figur 7 på sidan 18) men överskrids endast inom några mindre områden i beräkningarna för år 2025. Beräkningarna för år 2028 visar generellt lägre halter där MKN endast tangeras på Per Dubbsgatan. Detta beror på den förväntade trafikutvecklingen och förnyelsen av fordonsflottan, vilket ger lägre emissioner längre fram i tiden.

Miljökvalitetsmålet överskrids i hela beräkningsområdet för årsmedelvärdet av PM₁₀, beroende på att det är höga bakgrundshalter av PM₁₀. Bakgrundshalterna av PM₁₀ består till stor del av långdistanstransporterade partiklar, vilket därmed inte går att komma tillrätta med lokalt i denna detaljplan. För NO₂ sker överskridanden av miljökvalitetsmålet på Per Dubbsgatan både för årsmedelvärdet och för 98-percentilen av timmedelvärdet. För 90-percentilen av dygnsmedelvärdet av PM₁₀ klaras däremot även miljökvalitetsmålet.

Sammanfattningsvis bedöms att det finns små möjligheter att med ändrad utformning på bebyggelsen påverka haltbilden i området, eftersom planförslaget som utretts redan innehåller hög bebyggelse som ger ökad nedblandning av renare luft samt breddat gaturum. En minskning av trafikmängderna på Per Dubbsgatan skulle vara den effektivaste åtgärden för att få lägre halter i området, men även en övergång till eldrivna bussar skulle ge en positiv effekt på NO₂-halterna i området.

6 Referenser

Bäck m.fl. (2017). Spridningsberäkning av NO₂ och PM10 för nuläget och framtiden vid Guldhedsgatan. COWI-rapport A099726

Göteborgs stad (2017a). Frisk luft Indikatorer. Hämtad 2018-03-12 från <http://goteborg.se/wps/portal/start/miljo/goteborgs-tolv-miljomal/frisk-luft/indikatorer>.

Göteborgs Stad (2017b). Modellberäkningar av kvävedioxidhalter 2015 Göteborgs stad, <https://catalog.goteborg.se/portal/#view=public&resource=https://catalog.goteborg.se/store/6/resource/230>.

Göteborgs Stad (2017c). *Luftkvaliteten i Göteborgsområdet. Årsrapport 2016*. Miljöförvaltningen, R 2017:06.

Göteborgs stad Trafikkontoret (2018). *Underlag för vägtrafik till luft- och bullerutredning i samband med detaljplan för vård och forskning vid Per Dubbsgatan*. Dokument daterat 2018-04-12.

Haeger-Eugensson m.fl. (2014a). *Nya spridningsberäkningar avseende partiklar runt samverkanscentralen – Park1*. COWI-rapport A055042.

Haeger-Eugensson m.fl. (2014b). *Effekten av olika åtgärder avseende partiklar till luft, samverkanscentralen – Park1*. COWI-rapport A055042B.

Haeger-Eugensson m.fl. (2010). *Vägtrafikens bidrag till kvävedioxid- och partikelhalter vid Gårda*. För Trafikverket Region Väst. IVL-rapport U2764.

Naturvårdsverket (2014). Luftguiden. *Handbok om miljökvalitetsnormer för utomhusluft*. Handbok 2014:1.

NFS 2013:11: Naturvårdsverkets författningssamling. ISSN 1403-8234.

Sveriges riksdag (2010). *Luftkvalitetsförordning*. SFS 2010:477.

Sweco och Arkitema Architects (2018). *Sahlgrenska Life Förstudie hus 4*. Daterad 2018-04-12.

VTI (2005): Trafikvariation över året Trafikindex och rangkurvor beräknade från mätdata. VTI notat 31-2005.

Yang m.fl. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment* 42 (2008) 7266–7273.

Bilaga A Beskrivning Miskam-modellen

MISKAM (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 vägavsnitt till kvarter eller i delar av städer eller för mindre städer. Det tredimensionella strömningsmönstret runt bl.a. byggnader beräknas genom tredimensionella rörelse-ekvationer. Modellen tar även hänsyn till horisontell transport (advektion), sedimentation och deposition samt effekten av vegetation och s.k. under-flow d.v.s. effekten av vindmönster under t.ex. broar/viadukter. Föroreningskällorna kan beskrivas som punkt-, linje- eller ytkällor.

Modellen simulerar ett tredimensionellt vindfält över beräkningsområdet varför t.ex. 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 Institut für Physik der Atmosphäre of the University of Mainz.

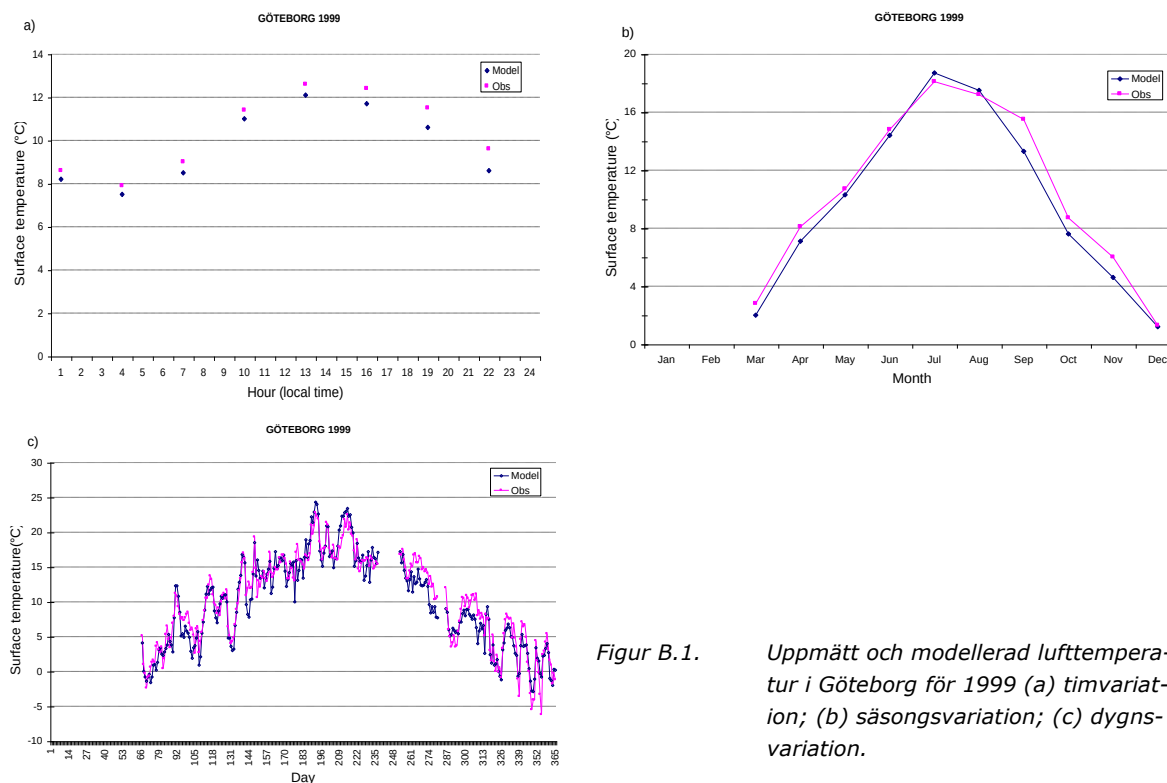
MISKAM-modellen ingår i ett modellsystem, s.k. SoundPLAN där även externbuller kan beräknas. Programmet kan räkna i enlighet med alla större internationella standarder, inklusive nordiska beräkningsmetoder för buller från industri, vägtrafik och tågtrafik. Resultatet kan bestämmas i enskilda punkter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

Bilaga B Beskrivning TAPM-modellen

För spridningsberäkningarna har TAPM (The Air Pollution Model) används, vilket är en prognostisk modell utvecklad av CSIRO i Australien. För beräkningarna i TAPM behövs indata i form av meteorologi från storskaliga synoptiska väderdata, topografi, markbeskaffenhet indelat i 31 olika klasser (t.ex. is/snö, hav olika tätortsklasser m.m.), jordart, havstemperatur, markfuktighet mm. Topografi, jordart och markanvändning finns automatiskt inlagd i modellens databas med en upplösning av ca 1x1 km men kan förbättras ytterligare genom utbyte till lokala data. Utifrån den storskaliga synoptiska meteorologin simulerar TAPM den marknära lokalspecifika meteorologin ner till en skala av ca 1x1 km utan att behöva använda platsspecifika meteorologiska observationer. Modellen kan utifrån detta beräkna ett tredimensionellt vindflöde från marken upp till ca 8000 m höjd, lokala vindflöden (så som sjö- och landbris), terränginducerade flöden (t.ex. runt berg), omlandsbris samt kalluftsflöden mot bakgrund av den storskaliga meteorologin. Även luftens skiktning, temperatur, luftfuktighet, nederbörd m.m. beräknas horisontellt och vertikalt.

Med utgångspunkt från den beräknade meteorologin beräknas halter för olika föroreningsparametrar timme för timme och inkluderar, förutom dispersion, även kemisk omvandling av SO₂ och partikelbildning, fotokemiska reaktioner (bl.a. NO_x, O₃ och kolväte) i gasfas samt våt- och torrdeposition. Man kan även själv definiera den kemiska nedbrytnings- samt depositions-hastigheter på ett eller flera ämnen i modellen.

Långdistanstransporterade luftföroreningar kan definieras genom att koppla timupplösta halter till modellkörningarna. Biogeniska ytemissioner (VOC) kan också inkluderas. Detta har visat sig vara viktigt för både ozon- och partikelbildningen (Pun, et al. (2002).



Figur B.1.

Uppmätt och modellerad lufttemperatur i Göteborg för 1999 (a) timvariation; (b) säsongsvariation; (c) dygnsvariation.

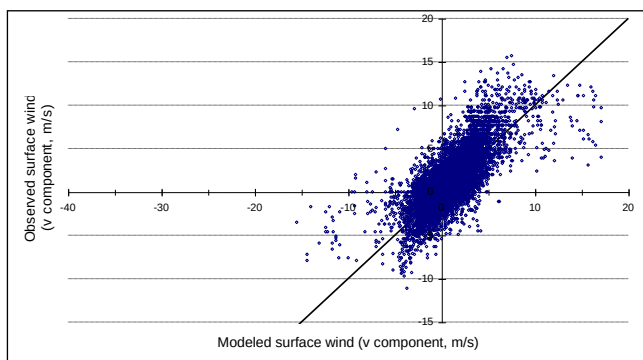
I spridningsberäkningarna kan både punkt-, linje- och areakällor behandlas. Resultatet av spridning av föroreningar såväl som meteorologin presenteras dels i form av kartor, dels i form av diagram och tabeller både som årsmedelvärden och olika percentiler (dygn respektive timmedelvärden).

Modellen har validerats i både Australien och USA, och IVL har också genomfört valideringar för svenska förhållanden i södra Sverige (Chen m.fl. 2002). Resultaten visar på mycket god överensstämmelse mellan modellerade och uppmätta värden.

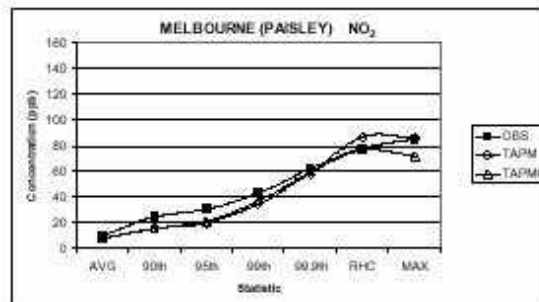
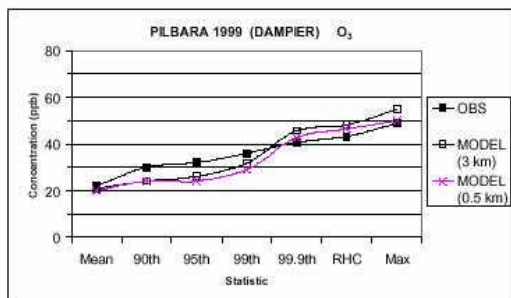
I Chen m.fl., (2002) gjordes även en jämförelse mellan uppmätta (med TAPM) och beräknade parametrar. I Figur B.1 presenteras jämförelsen av temperatur i olika tidsupplösning.

I Figur B.2 presenteras en jämförelse mellan uppmätt och beräknad vindhastighet vid Säve.

Jämförelse mellan uppmätta och modellerade ozon- och NO₂-halter har genomförts i Australien (se Figur B.3)



Figur B.2. Jämförelse mellan beräknad och uppmätt vindhastighet vid Säve 1999.



Figur B.3. Jämförelse mellan uppmätta O₃- och NO₂-halter i Australien, gridupplösning 3 x 3 km.

Referenser

Chen m.fl. 2002, IVL-rapport L02/51 "Application of TAPM in Swedish West Coast: validation during 1999-2000"

Pun, B K. Wu S-Y and Seigneur C. 2002: "Contribution of Biogenic Emissions to the Formation of Ozone and Particulate Matter in the Eastern United States" Environ. Sci. Technol., 36 (16), 3586 - 3596, 2002.