

*Avståndets betydelse för
luftföroreningshalter vid
vägar och tunnel-
mynningar*

JÄMFÖRELSER MELLAN UPPMÄTTA OCH
BERÄKNADE HALTER AV KVÄVEOXIDER
(NO_x)

Magnus Brydolf & Christer Johansson

Förord

Denna utredning är genomförd av SLB-analys vid Miljöförvaltningen i Stockholm. SLB-analys är operatör för Stockholms och Uppsala läns luftvårdsförbunds system för övervakning och utvärdering av luftkvalitet i regionen. Uppdragsgivare för utredningen är Stockholms och Uppsala läns Luftvårdsförbund.

Rapporten har granskats av:
Christer Johansson

Uppdragsnummer:	201052
Daterad:	2011-02-11
Projektansvarig:	Magnus Brydolf, 08-508 28 925
Status:	Granskad



Miljöförvaltningen i Stockholm
Box 8136
104 20 Stockholm
www.slb.nu

Innehåll

1	Sammanfattning	4
2	Bakgrund	5
3	Syfte och avgränsning	5
4	Tidigare studier och olika aspekter på modellering	5
	4.1 Haltvariationer omkring tunnelmynningsutsläpp	5
	4.2 Haltgradients längs öppna vägar	6
	4.3 Haltvariationer längs gator kantade av byggnader	6
5	Platsbeskrivningar	7
	5.1 Öppen väg, Vallstanäs	7
	5.2 Årstamynningen, Södra Länken	8
	5.3 Enkelsidigt gaturum, Turingegatan i Södertälje	10
6	Tidsperiod och meteorologi	11
	6.1 Vindhastighet och temperatur	11
	6.2 Vindriktning	12
7	Mätningar	13
	7.1 Mätmetod	13
8	Modellberäkningar	15
	8.1 SMHI-Airviro vindmodell	15
	8.2 SMHI-Airviro gaussmodell	15
9	Emissioner	16
	9.1 Öppen väg, Vallstanäs	16
	9.2 Tunnelmynning, Södra Länken i Årsta	17
10	Resultat	19
	10.1 Öppen väg, Vallstanäs	19
	10.2 Tunnelmynning, Södra Länken i Årsta	21
	10.3 Enkelsidigt gaturum, Turingegatan i Södertälje	26
11	Slutsatser	27
	11.1 Öppen väg	27
	11.2 Tunnelmynning	27
	11.3 Enkelsidigt gaturum	28
12	Referenser	29

1 Sammanfattning

Syfte

Syftet med denna studie är att förbättra kunskapen om den geografiska variationen i luftföroreningshalterna intill hårt trafikerade vägar, i anslutning till tunnelmyningar samt i situationer med byggnader på ena sidan av vägen. Bakgrunden är att många planärenden avser exploatering av områden nära trafikleder och vid tunnelmyningar där luftföroreningshalterna är höga och beräkningarna ofta visar att halterna kan komma att överskrida miljökvalitetsnormerna. Avsaknaden av mätdata för att verifiera beräkningar i dessa situationer har medfört att resultaten från beräkningarna har betraktats som ganska osäkra.

Metoder

Mätningar av NO_x halterna på olika avstånd från en öppen väg (motorväg utan byggnader i närheten), en tunnelmyning och en väg med byggnader på ena sidan (enkelsidig bebyggelse) genomfördes under 4 veckor. För mätningar av NO_x användes en passiv mätmetod, s k Ogawa provtagare, som visat god överensstämmelse med referensmetoden. För beräkningar av halter i anslutning till öppen väg och tunnelmyning användes en gaussisk spridningsmodell, som finns i Airviro (SMHI).

Öppen väg

Mätningarna visar att NO_x halterna avtar snabbt med avståndet; en halvering på mellan 25 och 50 meters avstånd från vägen. Jämförelserna mellan uppmätta och beräknade halter i visar att modellen mycket väl beskriver NO_x-halternas avtagande med avståndet till vägen. Dock tenderar beräkningarna att resultera i något långsammare avtagande av halterna med avståndet från vägen, vilket skulle kunna bero på att modellen inte tar hänsyn till fordonsgenererad turbulens. Skillnaderna mellan beräkningarna och mätningarna är mindre än 20 %.

Tunnelmyning

De uppmätta halterna i anslutning till tunnelmyningen visar att halterna avtar snabbt med avståndet från mynningen. Halterna minskade med en faktor 4-5 redan vid vägkanten 20 m från mynningen. I vägmitt på 70 meters avstånd från mynningen i trafikriktningen var halterna halverade. Ovanpå marken, precis ovanför mynningen, var halterna mindre än en tiondel av halterna i mynningen. Modellen visar relativt god överensstämmelse med mätta halter i de flesta referenspunkter. I denna utredning har tunnelemissionerna beskrivits med veckade linjekällor för att simulera fordonen inverkan på spridningen av mynningsluften. Försök med olika längd på veckningen och veckningens amplitud har visat att utformningen har stor betydelse för hur väl modellen beräknar haltnivåer jämfört med mätta halter. Beräkningsrutorna bör vara små för att erhålla motsvarande upplösning av haltfältet och tillräckligt skarpa gradienter. Stora beräkningsrutor fördelar ut emissionerna och halterna för mycket vilket ger upphov till för små haltgradients. I denna studie användes 5x5 m. Stora avvikelser mellan beräknade och uppmätta halter noteras för punkter ovanpå tunneln på grund av nivåskillnaden som modellen inte tar hänsyn till.

Enkelsidigt gaturum

De utförda mätningarna tyder på att haltfördelningen i ett enkelsidigt gaturum är relativt jämt fördelad med likartade nivåer på båda sidor gatan, 2-3 meter från vägkanterna. Mätningarna visar också att halterna halveras på ca 25 meter avstånd från vägkanten. Dessa resultat och slutsatser kan vara användbara i kommande utredningar. Någon jämförelse med modellberäkningar kunde dock inte genomföras i detta fall.

2 Bakgrund

En förutsättning i framtidsvisionen för Stockholm, med en snabbt växande befolkning, är att en stor del av den nya bebyggelsen ska komma till genom en förtätning av staden [1]. Detta yttrar sig i att allt fler planärenden avser exploatering av områden med hög utsläppsbelastning t.ex. nära trafikleder och vid tunnelmynningar.

Luftföroreningshalterna i dessa områden är generellt höga och beräkningarna visar ofta att halterna kan komma att överskrida miljökvalitetsnormerna. Planerad ny bebyggelse leder ofta till komplexa spridningsförhållanden som beräkningsmodellerna måste kunna beskriva med tillräcklig noggrannhet. Modellerna gör förenklingar av verkligheten vilka bygger på antaganden, vars betydelse för resultaten kan vara svåra att kvantifiera fullt ut. En tidigare avsaknad av mätdata för att verifiera beräkningar i svårmodellerade områden har medfört att resultaten från beräkningarna har betraktats som ganska osäkra.

3 Syfte och avgränsning

Projektets syfte är att öka kunskapen om hur luftföroreningshalter avtar med avståndet till starkt utsläppsbelastade områden. Detta görs genom att jämföra mätta halter med resultat från beräkningsmodeller vilka används i planärenden av Stockholms och Uppsala läns Luftvårdsförbund. I studien analyseras beräknade halter omkring öppna vägar och tunnelmynningar. Vid platsen för enkelsidig bebyggelse i denna utredning analyseras endast mätresultaten då SIMAIR-modellen inte beräknar NO_x -halter. Det saknas därmed beräkningsunderlag för jämförelse med mätta halter. Resultatet av mätningarna ger trots detta viktig kunskap om hur den verkliga haltfördelningen ser ut i ett enkelsidigt gaturum. Studien avser att ge förutsättningar för ökad kvalitet på beslutsunderlagen som ligger till grund för utformning av bebyggelse och vistelseområden i starkt utsläppsbelastade områden, med hänsyn till människors exponering och hälsa. Förutom osäkerheten i beräknade halter på grund av spridningsförhållandena finns osäkerheter i uppskattningarna av utsläppen vilket påverkar de absoluta haltnivåerna. I denna rapport diskuteras enbart hur halter varierar med avståndet från vägar och mynningar och inte absolutnivåer.

4 Tidigare studier och olika aspekter på modellering

4.1 Haltvariationer omkring tunnelmynningsutsläpp

Beräkningar av effekterna på den totala befolkningens exponering av luftföroreningar efter utbyggnaden av Södra Länken tunneln, indikerar ökade halter och exponering omkring mynningen vid Årsta. Detta beror till största delen på mynningsutsläppet från huvudtunnelns västgående trafik samt mynningsutsläppet från rampavfarten mot Åbyvägen [2] och till mindre del på yttrafiken i anslutning till tunneln. Även i anslutning till mynningarna vid Nynäsvägen och vid Hammarby (huvudtunneln för trafik mot Nacka/Värmdö) beräknades att halterna ökar. Trots att flera människor inom ett större område inklusive innerstaden, beräknas ha fått minskad exponering tack vare Södra Länken tunneln beräknades den genomsnittliga exponeringshalten för hela befolkningen öka med ca 2 % för NO_x och 3 % för PM_{10} [2]. Detta beror främst på tunnelmynningarnas utsläpp som leder till ökad exponering i närområdena

eftersom utsläppen sker i marknivå nära bostadsområden. Osäkerheten i beräkningarna bedömdes som stor beroende på antaganden om hur mynningsutsläppen påverkar halterna i omgivningen runt mynningarna. Beräkningar av påverkan på halterna av Södra länken tunneln mot Nynäsvägen kompliceras av att mynningen ligger under en trafikrondell, som i sin tur är komplicerad att modellera [3]. Osäkerheten i modellberäkningarna förmodas alltså vara stor eftersom platserna ofta är svårmodellerade med komplicerade spridningsförhållanden, stora utsläpp och brist på mätdata för validering.

Någon vedertagen modell för beräkning av halterna kring tunnelmynningar finns inte. I Norge har många beräkningar av mynningsutsläppens påverkan genomförts med en förenklad nomogrammetod som bygger på en modell som tar hänsyn till att luftflödet ut ur mynningen har visst moment ("jetfas") och spridningen på grund av påverkan av omgivande vindar ("plymfas") [4,5,6]. Den norska beräkningsmetoden har kontrollerats mot mätningar som genomförts bl a intill tunnelmynningar i Bergen [5].

I vetenskaplig litteratur finns några olika studier med mer eller mindre avancerade modeller beskrivna, exempelvis i en japansk [7], en österrikisk [8] och i en fransk studie [9]. Genomgående är att alla modeller är delvis empiriska och bör valideras vid varje specifik applikation. I Sverige finns ingen generellt vedertagen modell och endast några enstaka jämförelser mellan beräkningar och mätningar i anslutning till tunnelmynningar har genomförts [3].

4.2 Haltgradients längs öppna vägar

För beräkningar av halterna i omgivningen till öppna trafikerade vägar finns ett antal modeller men ganska få jämförelser mellan modellberäkningar och mätningar på olika avstånd från vägar har genomförts [10]. Trafikverket har tagit fram en handbok för beräkningar av luftföroreningshalter och en sammanställning av olika modeller finns tillgänglig via internet

http://www.itm.su.se/reflab/dokument/Vagverket_appendix%203.pdf.

De flesta modeller som använts för beräkning av halter i omgivningen till vägar är i grunden av samma typ, Gaussiska steady-state modeller som också används i denna studie. Modellerna skiljer sig vad gäller t ex behandling av hur fordonen påverkar turbulensen och därmed utspädningen nära vägen. Det har också visat sig att den numeriska metoden som används i modellberäkningarna skiljer, vilket kan ha betydelse för resultatet [11]. SMHI har utvecklat olika modeller för att ta hänsyn till spridningen omkring vägar beroende på om det är en enda enkel väg eller flera vägar som påverkar halterna (SIMAIR väg: se <http://www.luftkvalitet.se/>; Gidhagen et al., 2009). Dock finns väldigt få studier i Sverige där man jämfört beräknade haltgradients omkring öppna vägar med mätningar, vilket till stor del beror på avsaknad av mätdata.

4.3 Haltvariationer längs gator kantade av byggnader

För modellberäkningar av halter i enkel- eller dubbelsidigt gaturum används i Sverige oftast en dansk modell, OSPM modellen, som ingår i SMHI's SIMAIR-modell. Beräkningar med denna modell har jämförts mot mätningar i gaturum på en rad platser i Sverige [12]. Noggrannheten i dessa beräkningar bedöms vara tillräcklig i enlighet med kraven i föreskrifterna för miljö kvalitetsnormerna. De flesta mätningar i gatumiljö sker i

dubbelsidiga gaturum med byggnader på båda sidor. För gaturum med enkelsidig bebyggelse saknas underlag för jämförelser mellan beräknade och mätta halter. I denna utredning analyseras endast mätta halter i enkelsidigt gaturum då SIMAIR-modellen inte beräknar NO_x-halter.

5 Platsbeskrivningar

Utvärdering av haltgradients inom ramen för detta projekt har gjorts på tre platser. Valet av platser har gjorts utifrån ambitionen att studera typplatser där resultat och slutsatser skall vara generella och användbara vid framtida utredningar på motsvarande platser.

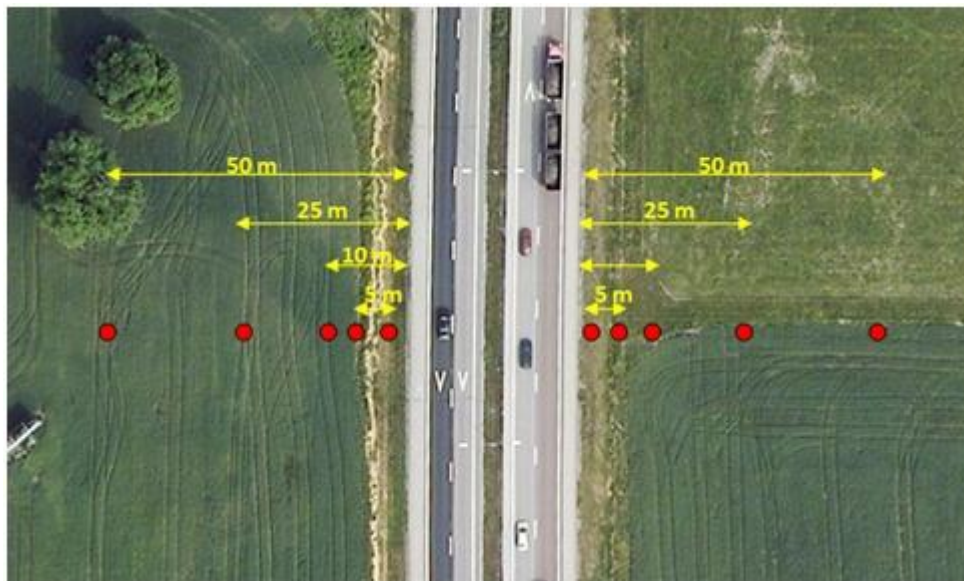
5.1 Öppen väg, Vallstanäs

Utredningsområdet är beläget vid E4:an i Vallstanäs, mellan Upplands Väsby och Arlanda. E4:an är här en fyrfilig motorväg med en ca två meter bred vägren och ca 2 meter bred mittsträng. Trafikmängden är 58 457 fordon per dygn (ÅMD, årsmedeldygn) med 7 % andel tung trafik och skyltad hastighet 110 km/h, se figur 1. Medelhastigheten är 90-95 km/h. I södergående körriktning passera ca 54 % av trafiken i höger körfält medan ca 61 % av trafiken i norrgående körriktning passerar i höger körfält.



Figur 1: E4:an vid Vallstanäs

Mätplatsen vid Vallstanäs är öppen, plan jordbruksmark på båda sidor om E4:an utan bebyggelse eller högre vegetation. Mätningarna gjordes veckovis, måndag till söndag i 10 punkter enligt figur 6. Provtagarna placerades 1,5-2 meter över marken.



Figur 6: Mätpunkter vid Vallstanäs

5.2 Årstamynningen, Södra Länken

Utredningsområdet omfattar Södra Länkens västra tunnelmynning i Årsta. Tunneln består av två separata tunnelrör med två huvudkörfält i vardera riktningen samt två mynningar för av- och påfartstrafik. Trafikmängden var 42 460 fordon per ÅMD i västgående tunnelröret och 43 860 i det östgående med 10 % tung trafik. Ramperna för av- och påfartstrafiken var 18 600 fordon per ÅMD i båda riktningarna, figur 2 och 3. Skyltade hastigheten för Södra länken är 70 km/h.

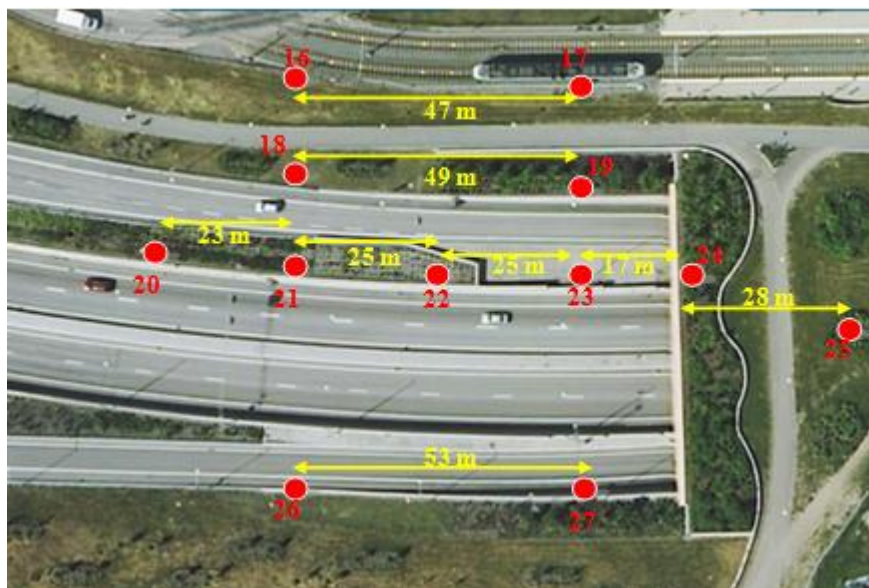


Figur 2: Årstamynningen

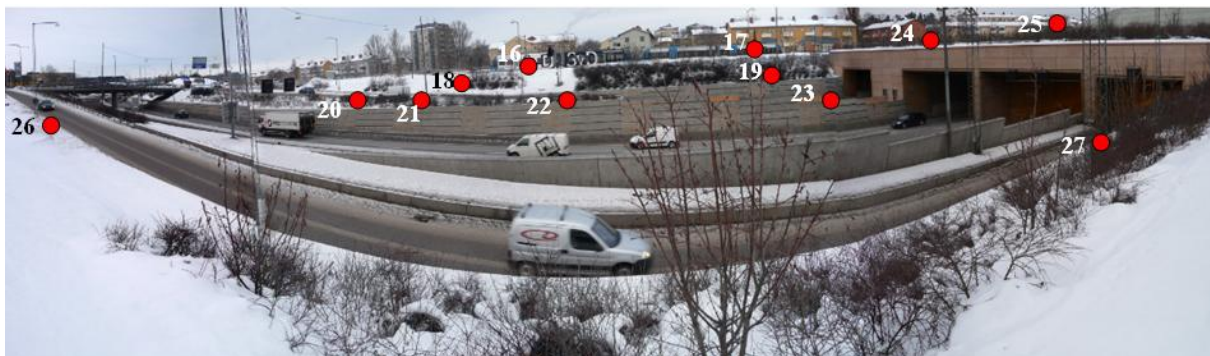


Figur 3: Årstamynningen sedd inifrån tunneln med västgående tunnelrör (huvudmynningen med anslutning mot E20 och Essingeleden) och samt avfarten mot Årsta.

Mätningarna utfördes veckovis under måndag till torsdag i 12 punkter, figur 7 och 8. Den kortare exponeringstiden vid tunnelmynningen förklaras av extrema haltnivåer som vid längre exponeringstid skulle riskerat att mäta provtagarna. Provtagarna placerades ca två meter ovan marknivå.



Figur 7: Mätpunkter vid Årstamynningen



Figur 8: Mätpunkter vid Årstamynningen ,vertikal profil.

5.3 Enkelsidigt gaturum, Turingegatan i Södertälje

Trafikmängden på Turingegatan i Södertälje var 30 850 fordon per ÅMD och 7 % tung trafik. Vägbredden är 23 meter fördelat på 6 filer med en mittsträng som är 1 meter bred. Byggnaden på norra sidan Turingegatan har en ca 125 meter lång fasad och byggnadshöjden är ca 15 meter hög. Den södra sidan är öppen utan bebyggelse, se figur 4.



Figur 4: Turingegatan i Södertälje

Mätningarna utfördes veckovis under måndag till söndag i 5 punkter, figur 8. Avståndet mellan fasaden och mätpunkterna visas i tabell 1. Provtagarna placerades 2-3 meter ovan marknivå.



Figur 8: Mätpunkter vid Turingegatan

Mätpunkt	Avstånd till fasaden på norra sidan (m)
1	0.5
2	3
3	22
4	31
5	55

6 Tidsperiod och meteorologi

Tidsperioden för mätningar och haltberäkningar i denna utredning förlades under fyra veckor från 19:e april till 17:e maj 2010. Mätningarna vid Årstamynningen utfördes under måndag till torsdag medan de vid Vallstanäs och Turingegatan utfördes under måndag till söndag, se avsnittet mätningar. De meteorologiska förhållandena påverkar spridningen av luftföroreningar. Nedan beskrivs vind och temperaturförhållandena under mätperioden i jämförelse med genomsnittsförhållanden under flera år. Inga meteorologiska mätningar har genomförts på de aktuella platserna. För denna jämförelse används data från masten på Torkel Knutssonsgatan på Södermalm i Stockholm. Vid spridningsberäkningarna tas hänsyn till att de meteorologiska förhållandena varierar på de olika platser på grund av topografi mm.

6.1 Vindhastighet och temperatur

Tabell 1 avser vindhastighet och temperatur måndag till söndag under perioden medan tabell 2 avser måndag till torsdag. Vindhastigheten i båda fallen är i nivå med flerårsmedelvärdet medan temperaturen är lägre under perioden 2010 jämfört med flerårsmedelvärdet.

Högdalen 20 meter

Vindhastighet och temp (mån-sön)

	Vindhastighet	Temp 20m
v16	3,4	4,9
v17	3,8	9,6
v18	3,8	6,2
v19	3	10,8
periodmv	3,5	7,9
periodmv 2002-2009	3,4	9,6

Tabell 1: Vindhastighet och temperatur, måndag-söndag

Högdalen 20 meter

Vindhastighet och temp (mån-tors)

	Vindhastighet	Temp 20m
v16	3,4	3,2
v17	4	8,6
v18	2,7	6,3
v19	3,4	8,4
periodmv	3,4	6,6
periodmv 2002-2009	3,4	9,4

Tabell 2: Vindhastighet och temperatur, måndag-torsdag

6.2 Vindriktning

Tabell 3 och diagram 1 avser vindriktningsfördelning måndag till söndag under perioden medan diagram 5 och 6 avser måndag till torsdag. Andelen nordliga vindar under perioden är mindre än det fleråriga medelvärdet (mån-sön) medan andelen sydliga-sydvästliga vindar är något större. Motsvarande vindriktningsfördelning (mån-tors) visar mindre andel nordliga och sydostliga vindar och större andel sydliga och nordvästliga.

Högdalen 20 meter

Vindriktning, (mån-sön)

	N	NO	O	SO	S	SV	V	NV
periodmv	5	14	15	9	14	18	12	13
periodmv 1999-2010	10	11	14	14	13	16	12	10

Tabell 3: Vindriktningsfördelning, måndag-söndag

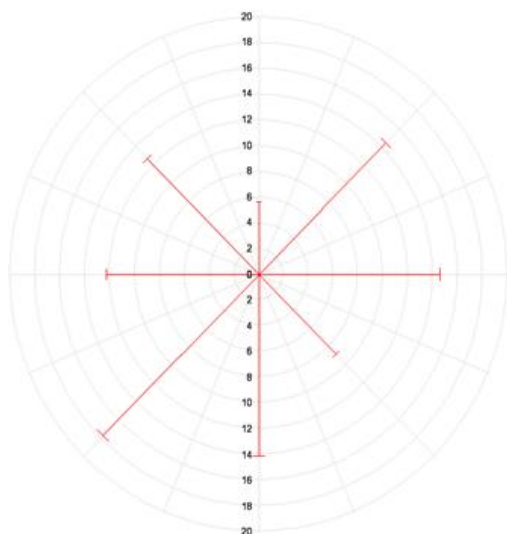


Diagram 1: Vindriktningsfördelning, måndag-söndag, perioden 2010

Högdalen 20 meter
Vindriktning, (mån-tors)

	N	NO	O	SO	S	SV	V	NV
periodmv	6	11	16	11	19	15	9	13
periodmv 1999-2010	10	10	15	15	14	16	11	9

Tabell 4: Vindriktningsfördelning, måndag-söndag

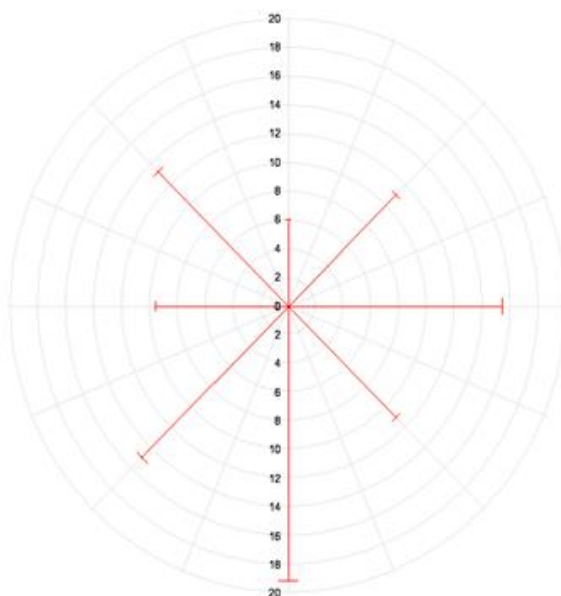


Diagram 2: Vindriktningsfördelning, måndag-söndag, perioden 2010

7 Mätningar

Mätningar av NO_x-halter i detta projekt har gjorts i totalt 27 punkter fördelade på tre mätplatser; öppen väg, tunnelmynning och enkelsidigt gaturum. NO_x är summan av NO₂ och NO. Anledningen till att NO_x valdes är att det är en bra indikator på trafikavgaser. Halterna av NO₂ och NO beror i hög grad på ozonhalterna och är därför betydligt sämre för syftet att jämföra med modellberäkningar och studera hur snabbt halterna avtar på grund av utspädningen. En annan viktig aspekt är att halterna av NO_x intill vägar inte märkbart påverkas av bakgrundshalterna av NO_x eftersom de är så låga eller av utsläpp från andra källor än den lokala vägtrafiken på den aktuella vägen/mynningen.

7.1 Mätmetod

Mätmetoden har varit diffusionsprovtagning med s.k. Ogawa-provtagare, figur 5. Analys och haltbestämning utfördes på enheten Yrkes- och Miljömedicin vid Umeå universitet.

Mätningar med Ogawa-provtagare har jämförts med mätningar med chemiluminescens som är referensmetod för NO_x. Parallella veckomätningar gjordes i Umeå och Malmö. Antalet jämförande veckomätningar var 45 för NO_x. Korrelationen mellan

Ogawaprovtagare och referensmetoden var hög; $>0,94$ för NO_x [13], se diagram 7. Baserat på jämförelser mellan NO_x halter enligt Ogawaprovtagare och kemiluminescensinstrument på 6 platser i 2 städer i Sverige uppskattades precisionen i NO_x mätningarna vara 6,4 % (genomsnittliga variationskoefficienten). För NO_2 var motsvarande värde 3,7 %.



Figur 5: Ogawa-provtagare

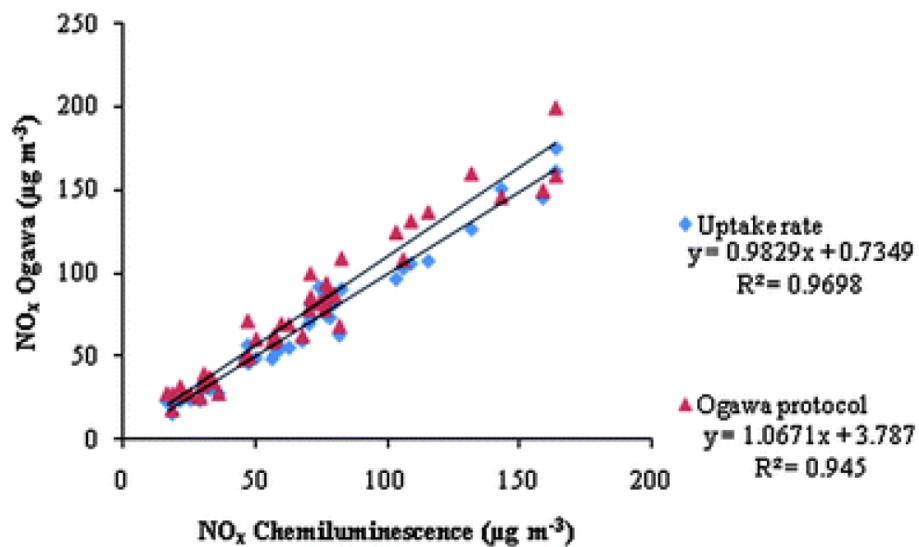


Diagram 4: Korrelation, NO_x Ogawa-Chemiluminescens [13]. Blå punkter anger NO_x halter baserade på upptagshastigheter från fältmätningar i Sverige och röda punkter baseras på upptagshastigheter enligt Ogawa protokollet.

8 Modellberäkningar

Haltberäkningar av NO_x vid tunnelmynningen och öppen väg har utförts med SMHI-Airvio vindmodell för att generera ett vindfält för beräkningsområdet och SMHI-Airvio gaussmodell [14].

8.1 SMHI-Airvio vindmodell

Som påpekats ovan saknas meteorologiska mätningar på de aktuella mätplatserna. Meteorologiska data för den aktuella perioden har hämtats från mätningar i en 50 meter hög mast i Högdalen i Stockholm. Mätningarna inkluderar horisontell och vertikal vindhastighet, vindriktning, temperatur, temperaturdifferensen mellan tre olika nivåer samt solinstrålning. Vindmodellen ”extrapolerar” dessa mätningar till de aktuella mätplatserna.

8.2 SMHI-Airvio gaussmodell

SMHI-Airvio gaussiska spridningsmodell [14] har använts för att beräkna den geografiska fördelningen av luftföroreningshalter två meter ovan öppen mark. Gridstorleken d.v.s. storleken på beräkningsrutorna vid haltberäkningarna i Vallstanäs och Årstamynningen är 5x5 meter där varje beräkningspunkt/mät punkt ligger i skilda beräkningsrutor. Denna gridupplösning krävs i utredningar med stora haltvariationer och höga krav på noggrannhet som vid tunnelmynningar och invid vägar. Den Gaussiska modellen i Airvio behandlar spridningen av utsläpp från vägtrafiken på olika sätt beroende på om det är en öppen väg utan byggnader eller en väg i ett tätbebyggt område. I tätbebyggda områden motsvarar de beräknade halterna taknivå genom att hänsyn tas till den initiala spridningen. I öppna områden motsvarar halterna 2 m över marknivå eller annan angiven höjd. Några viktiga aspekter vad gäller beräkningarnas geografiska upplösning:

- Vindfältets upplösning bestäms av information om topografi och fysiografi. För E4:an används en upplösning på 500 meter och för Årstamynningen 100 meter. Eftersom beräkningsrutorna är betydligt mindre interpoleras vindfältet utan hänsyn till topografi och fysiografi. Lokal påverkan på vindarna av att t ex vägbanan är några meter högre eller lägre än omgivande markyta beskrivs inte i vindmodellen.
- Emissionerna från linjekällorna (vägtrafikens utsläpp) har i den Gaussiska beräkningen en upplösning som är dubbelt så hög som de valda beräkningsrutornas storlek.
- Vid extraktion av beräknade halter görs matematisk interpolering mellan beräkningsrutorna.

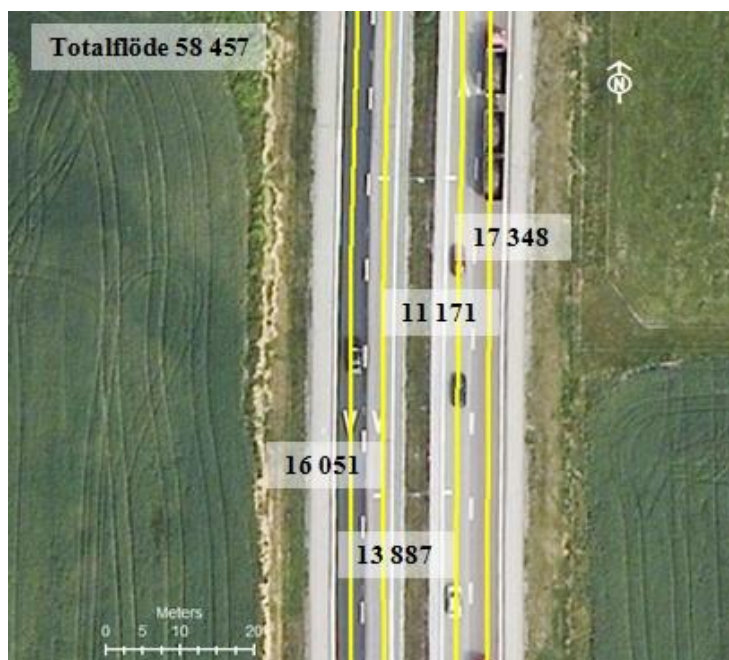
För mer detaljerad beskrivning hänvisas till dokumentation på SMHI's hemsida. Alla dessa faktorer bidrar till osäkerheter i beräkningsresultaten. För att få en uppfattning om de samlade osäkerheterna måste beräkningarna jämföras med mätningar på olika platser med varierande utsläppsbelastning.

9 Emissioner

I denna studie beskrivs vägtrafikens utsläpp av kväveoxider i enlighet med Vägverkets EVA-modell 2.3 **Fel! Hittar inte referenskälla.** för olika fordons- och vägtyper. Tidsvariationerna i trafikflödet och därmed emissionerna är beskrivna för olika dagtyper i enlighet med typiska variationer som mätts upp på respektive vägtyp. För en specifik period kan den tidsmässiga variationen se något annorlunda ut men eftersom vi i denna studie jämför medelvärden för flera veckor antas de typiska variationerna vara tillräckliga, d.v.s. de aktuella trafikflödenas variation för perioden har inte använts. För att verifiera hur väl beräkningarna med Gaussmodellen förmår beskriva haltnivågradients vid öppen väg och tunnelmynning, har de beräknade halterna normaliserats mot halten i mätpunkten med den högsta halten på respektive plats.

9.1 Öppen väg, Vallstanäs

Uppmätt trafikmängd på E4:a vid Vallstanäs år 2010 är 58 457 fordon per ÅMD med 7 % tung trafik. Trafikflödet fördelas mellan filerna enligt figur 9. Normaliseringen mot den högsta halten gjordes i mätpunkt 5 och reglerades med trafikflödet på E4:an, se figur 10. Fordonsfördelningen mellan filerna har gjorts enligt de faktiska förhållandena på platsen. Beräknad totalhalt inkluderar även bakgrundshalten uppmätt vid Norr Malma.



Figur 9: Trafikflöde, Vallstanäs



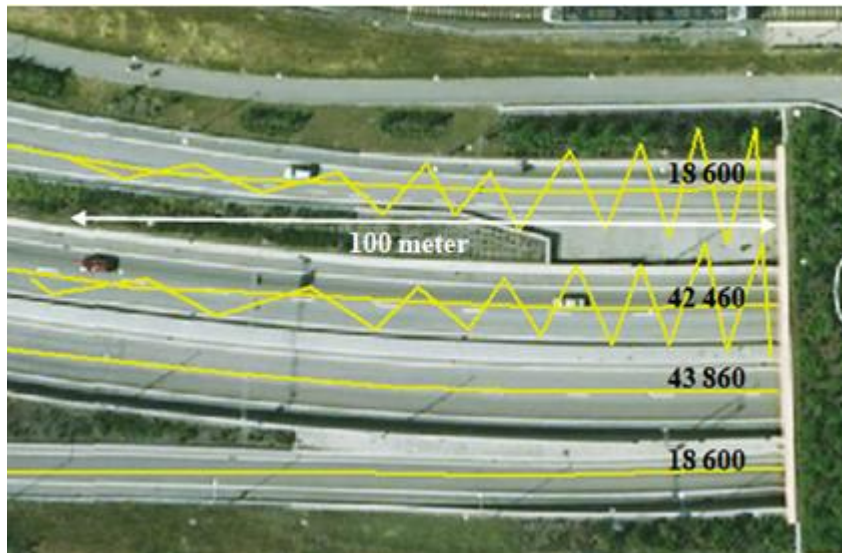
Figur 10: Normaliseringspunkt och trafikmängd

9.2 Tunnelmynning, Södra Länken i Årsta

Utsläppen i Södra Länkens västgående tunnelrör ventileras till största delen via huvudmynningen och avfartsmynningen i Årsta. Under rusningstid ventileras en del via ventilationstornet. Eftersom beräkningarna normerats mot uppmätt halt utanför mynningen används inte den exakta utsläppsmängden. Utsläppen från mynningen har fördelats med 70 % vid huvudmynningen och 30 % vid avfartsmynningen utifrån fordonsmängden i respektive mynning.

Vid tunnelmynningar råder komplicerade spridningsförhållandena där luftflödet ur mynningarna beror av tunnelventilationen och den turbulenta omblandning som fordonen ger upphov till. Luftströmmen som kommer ut via mynningarna har därmed visst momentum beroende på ventilationen och fordonens hastighet. Detta kan ge upphov till en utgående horisontell ”jetström” som bidrar till omblandningen av föroreningarna i omgivningsluften. Det är osäkert vilken betydelse denna jetström har för spridningen. I enlighet med vissa vindtunnelstudier har jetströmmen mycket litet inflytande på spridningen i omgivningen av mynningen, som i huvudsak bestäms av den atmosfäriska omblandningen (vindhastigheten och vindriktningen) [Guordol et al., 2004]. Guordol et al. (2004) påpekar att mynningsutsläppen enklast modelleras med en linjekälla i vägens riktning och en Gaussisk spridningsmodell.

I denna studie är därför tunnelemissionerna inlagda som ”veckade” linjekällor, vilka sträcker sig ca 100 meter västerut från mynningen. Trafikflöden och veckningarna åskådliggörs i figur 11. Veckningen syftar till att ta hänsyn till den geografiska utbredningen av de flerfiliga mynningsöppningarna, samt den horisontella utbredningen av mynningsplymen. Längden och utbredningen av tunnelutsläppet beror på en rad faktorer såsom lufthastigheten i mynningsutsläppet, fordonsmängden, fordonskastigheterna, andelen tung trafik, topografin runt mynningen och de meteorologiska förhållandena. Den fordonsgenererade turbulensen kan vara mycket betydelsefull, speciellt vid svaga vindar. Med en rak linjekälla erhålls endast ett smalt utsläppsområde med jämn utsläppsfördelning i horisontell led. I denna studie har olika utbredning testats för att bedöma känsligheten i beräkningsresultaten.



Figur 11: Veckning av tunnelemissioner och trafik

Normaliseringen mot den högsta halten gjordes i mätpunkt 23 och reglerades med storleken på tunnelemissionerna, se figur 12.

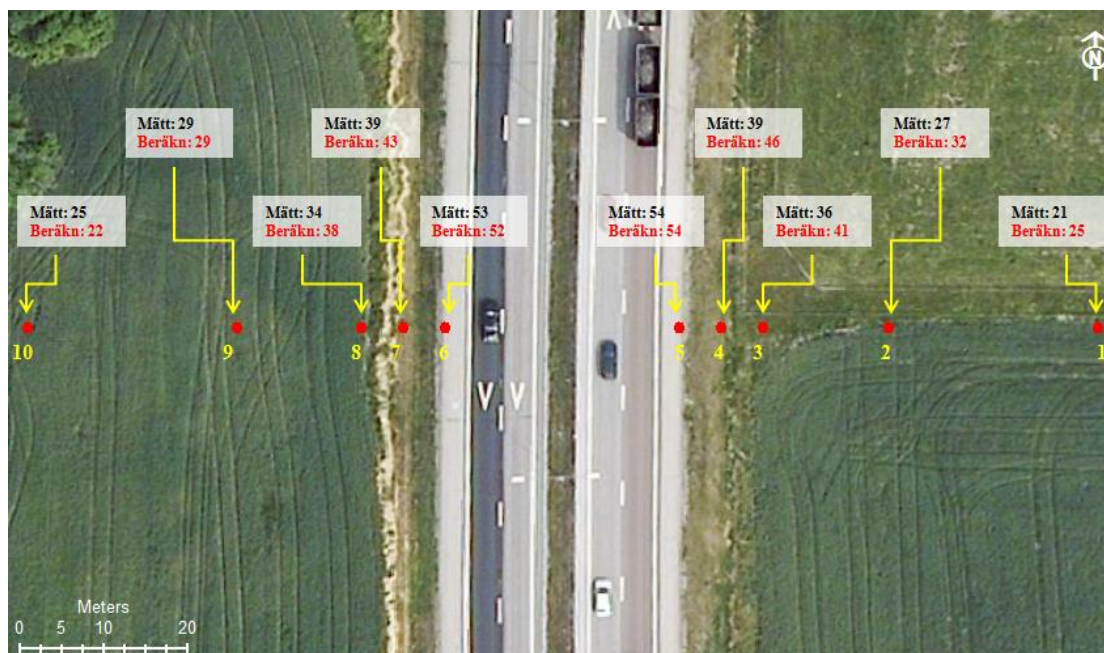


Figur 12: Normaliseringspunkt och fördelning av tunnelemissioner

10 Resultat

10.1 Öppen väg, Vallstanäs

Jämförelsen mellan mätta och beräknade haltgradienter i Vallstanäs avser periodmedelvärden av NO_x under perioden 19:e april till 17:e maj 2010. I figur 13 framgår mätta och beräknade halter i respektive punkt samt diagram 5 som åskådliggör halternas avtagande med avståndet till E4:an.



Figur 13: Vallstanäs. Mätta och beräknade haltgradienter av NO_x

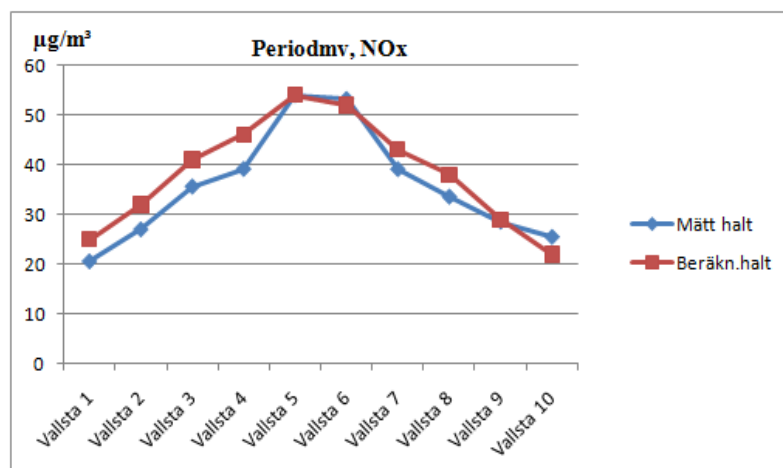


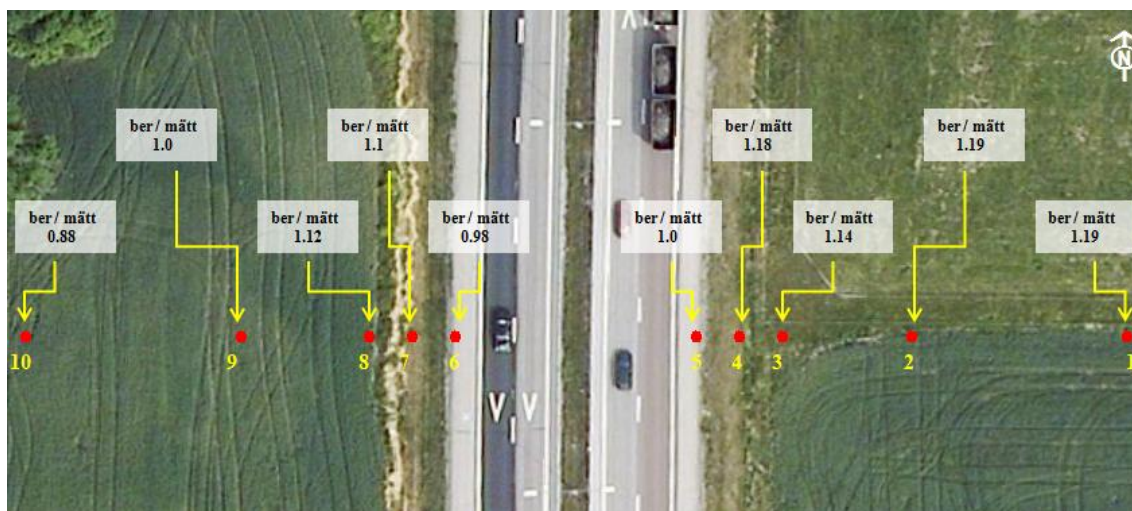
Diagram 5: Haltprofil vid Vallstanäs. Figuren visar hur väl de beräknade halterna varierar med avståndet. Beräknade halter är normerade mot uppmätt halt i mät punkt nr. 5 ("Vallsta 5").

Jämförelsen mellan mätta och beräknade haltgradienter visar att beräkningsmodellen väl beskriver hur halterna avtar med avståndet från E4:an. Avvikelsen mellan beräknade och mätta halter i de 10 punkterna är som mest 19 %, se figur 14 och tabell 5.

Modellen tenderar att överskatta halterna något, speciellt på östra sidan av vägen. Detta tyder på att utspädningen underskattas med modellen d.v.s. halterna avtar något snabbare med avståndet än modellen anger. Detta kan bero på felaktigheter i spridningsmodellen och/eller på felaktiga meteorologiska ingångsdata.

1. Spridningsmodellen kan ge för liten utspädning på grund av att den inte tar hänsyn till turbulens (omblandning) som uppkommer på grund av fordonen och att vägbanans nivå är något lägre än den omgivande markytan på västra sidan och något högre på östra. Flera studier, t ex [19, 10], har visat att effekten av fordonsturbulens kan vara betydande, speciellt inom 50 meter från vägkanten.
2. Vindhastigheterna och/eller vindriktningarna som beräknats fram med vindmodellen för den aktuella platsen kan avvika från de verkliga förhållandena under mätperioden. Vindmodellen extrapolerar uppmätta värden från mätningar på en plats i södra Stockholm, med hänsyn till topografi och fysiografi, men värdena har inte jämförts med mätningar på den aktuella platsen.

Felen kan också delvis ta ut varandra. Avsaknaden av fordonsturbulens i modellen kan kompenseras av för höga vindhastigheter från vindmodellen. Mer detaljerade studier krävs för att avgöra betydelsen av dessa processer för spridningen omkring vägarna. Men avvikelserna mellan beräknade halter och uppmätta är mindre än 20 %, vilket får betraktas som tillfredsställande.



Figur 14: Avvikelse mellan beräknade och mätta gradienter av NO_x

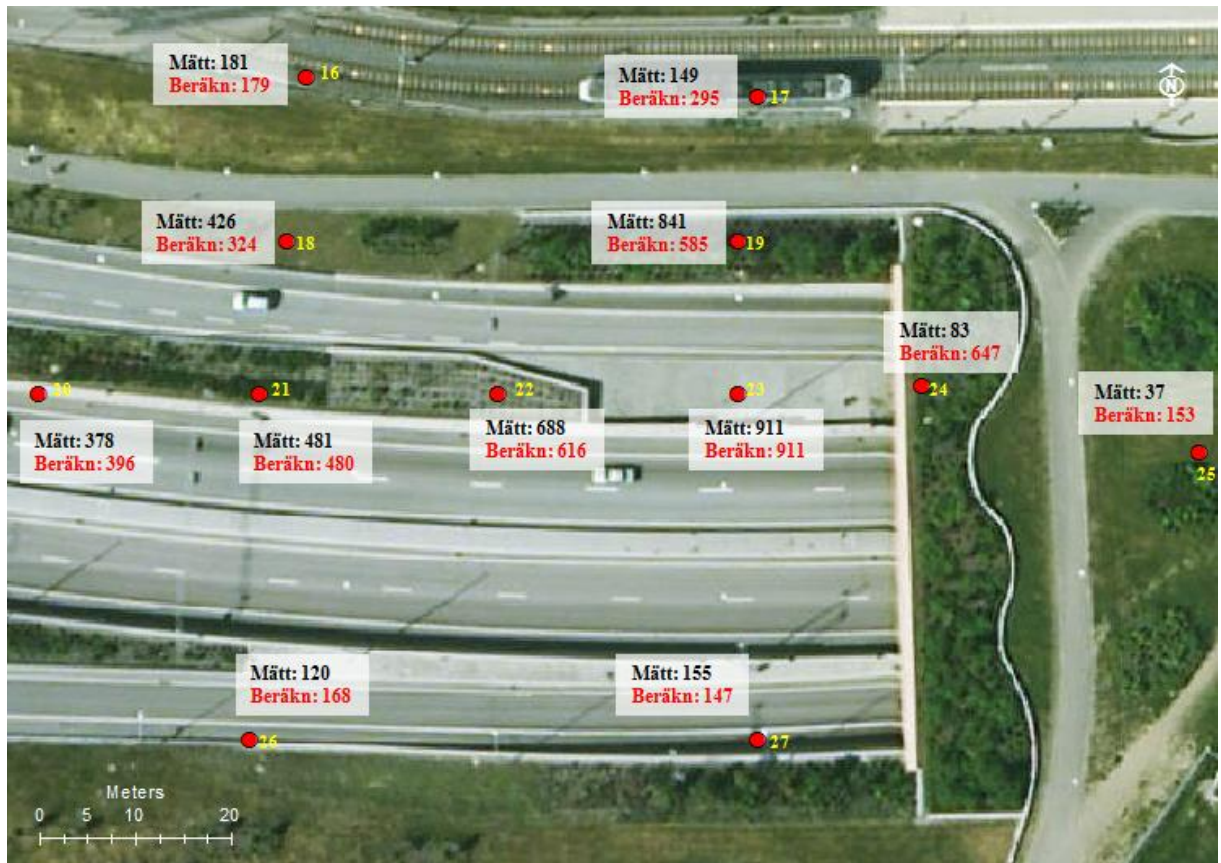
Mätpunkt och avstånd från vägkant	Uppmätt halt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Beräknad halt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Avvikelse (% av uppmätt halt)
Mätpkt 1, 50 meter	21	25	19
Mätpkt 2, 25 meter	27	32	19
Mätpkt 3, 10 meter	36	41	14
Mätpkt 4, 5 meter	39	46	18
Mätpkt 5, vägkant (öst)	54	54	<i>Normerat värde</i>
Mätpkt 6, vägkant (väst)	53	52	2
Mätpkt 7, 5 meter	39	43	10
Mätpkt 8, 10 meter	34	38	12
Mätpkt 9, 25 meter	29	29	0
Mätpkt 10, 50 meter	25	22	12

Tabell 5: Avvikelse mellan beräknade och mätta gradienter av NO_x

10.2 Tunnelmyning, Södra Länken i Årsta

Jämförelsen mellan mätta och beräknade haltgradients vid tunnelmyningen i Årsta görs för periodmedelvärden av NO_x under perioden 19:e april till 17:e maj 2010. I figur 15 framgår mätta och beräknade halter i respektive punkt samt ett diagram som åskådliggör hur halterna varierar runt mynningen.

Trots komplicerade utsläpps- och spridningsförhållanden runt mynningen visar jämförelsen mellan mätta och beräknade gradienter att modellen relativt väl beskriver haltgradienterna från mynningen i de flesta punkter. Till stor del beror detta sannolikt på att jämförelsen avser medelförhållandena under en månad där kortvariga variationerna, som kan var mycket stora, jämnas ut.



Figur 15: Årstamynningen. Mätta och beräknade haltgradienter av NO_x

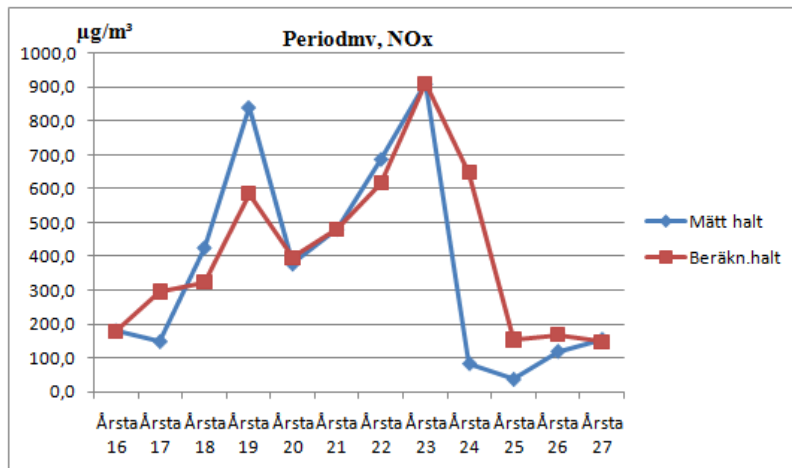


Diagram 5: Haltprofil vid Årstamynningen. De beräknade halterna har normerats mot mätvärdet vid punkt nr 23.

Stora systematiska avvikelser noteras i punkt 24 och 25. I dessa punkter överskattas halterna med upp till en faktor 7,8. Detta kan förklaras av att modellen beräknar halter två meter ovan marknivå utan hänsyn till att punkterna 24 och 25 är belägna på tunneln, ca 10 meter ovan Södra Länkens körbanor.

Om man bortser från de punkter där modellen inte lyckas beskriva gradienten p.g.a. tunnelutformning och komplicerade spridningsförhållanden (pkt 17, 24 och 25), är avvikelserna mellan mätta och beräknade halter mindre än 40 %, se figur 16 och tabell 6. Detta får anses tillfredsställande mot bakgrund av de komplicerade förhållandena och den mycket förenklade beräkningsmetodiken.

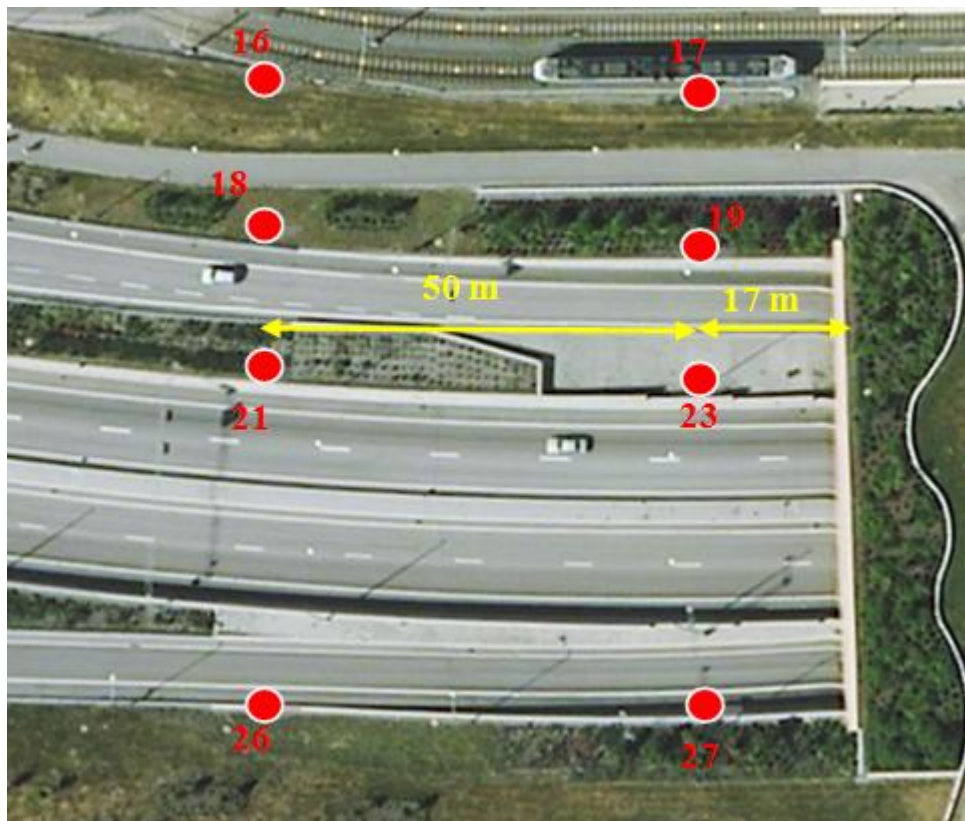


Figur 16: Avvikelse mellan beräknade och mätta gradienter av NO_x

Mät punkt	Uppmätt halt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Beräknad halt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Avvikelse (% av uppmätt halt)
Mätpkt 16	181	179	1
Mätpkt 17	149	295	198
Mätpkt 18	426	324	24
Mätpkt 19	841	585	30
Mätpkt 20	378	396	5
Mätpkt 21	481	480	0
Mätpkt 22	688	616	10
Mätpkt 23	911	911	Normerat värde
Mätpkt 24	83	647	780
Mätpkt 25	37	153	414
Mätpkt 26	120	168	40
Mätpkt 27	155	147	5

Tabell 6: Avvikelse mellan beräknade och mätta gradienter av NO_x

Mätpunkterna förlades så att jämförelser mellan mätta och beräknade NO_x -halter kan göras för två tvärsnitt väster om mynningen. Tvärsnitt 1 beläget ca 17 meter väster om mynningen avser receptorpunkterna 17, 19, 23 och 27. Tvärsnitt 2 beläget ca 67 meter väster om mynningen avser punkterna 16, 18, 21 och 26, figur 17.



Figur 17: Receptorpunkter i tvärsnitt 1 och 2

Diagram 6 och 7 visar jämförelsen mellan mätta och beräknade NO_x -halter i tvärsnitt 1 och 2. I tvärsnitt 1 närmast mynningen är spridningsförhållandena komplicerade med närhet till jetströmmen från tunneln med höga haltnivåer och stora nivåkillnader mellan punkterna. Störst avvikelse mellan mätt och beräknad halt är i punkt 17 och 19 medan jämförelsen i punkt 27 visar god överensstämmelse. I tvärsnitt 2 är spridningsförhållandena mindre komplicerade och modellen förmår beskriva haltnivåerna betydligt bättre än i tvärsnitt 1.

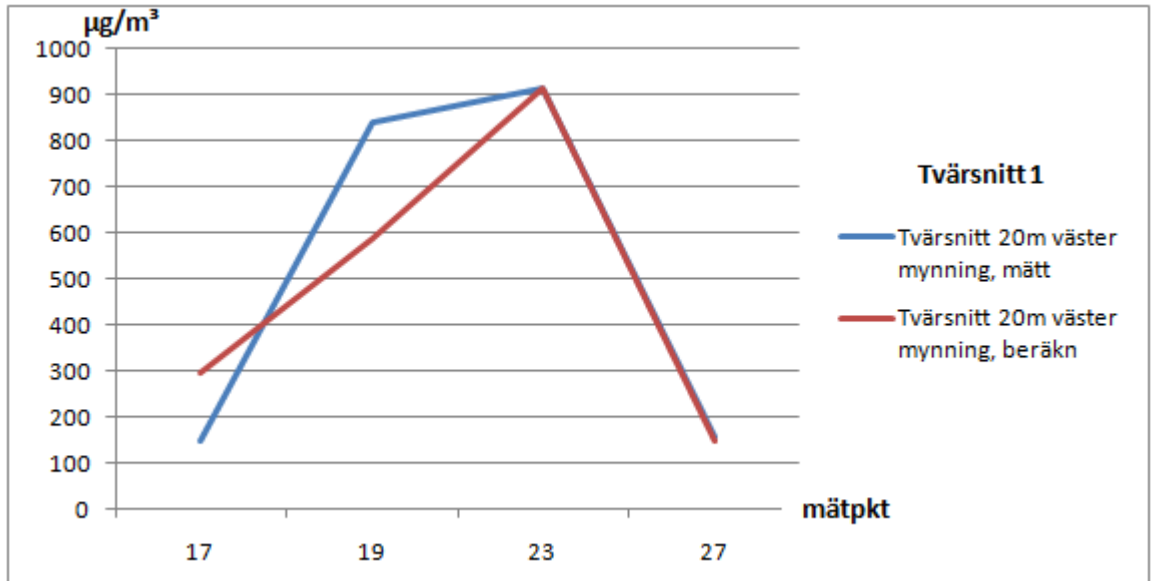


Diagram 6: Haltprofil i tvärsnitt 1 ca 20 m från mynningen (se figur 17).
Beräknade värden har normerats mot mätpunkt 23.

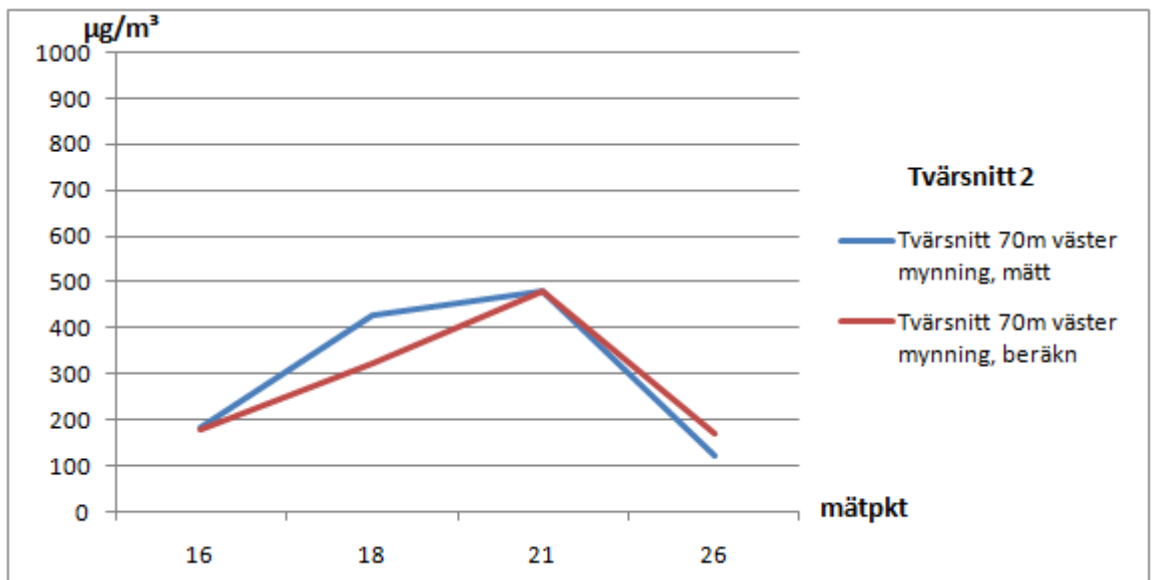


Diagram 7: Haltprofil i tvärsnitt 2 ca 50 m från tvärsnitt 1 (se Figur 17).

10.3 Enkelsidigt gaturum, Turingegatan i Södertälje

Mätningar av NO_x i Turingegatans gaturum gjordes under perioden 19:e april till 17:e maj 2010. Periodmedelvärdena framgår i figur 17 och diagram 8. Högsta halten uppmättes i punkt 3 placerad ca 2.5 meter ovan mittrefugen, vilken också är den punkt som ligger närmast trafiken. Haltnivåerna i punkt 1 (0,5 meter från fasaden) och punkt 2 (3 meter från fasaden) är på ungefär samma nivå som i punkt 4 på den södra sidan Turingegatan. Resultatet indikerar att luftföroreningshalterna är relativt jämnt fördelade i det enkelsidiga gaturummet. Att halterna är ungefär lika på båda sidorna av gatan är något oväntat eftersom försämrad omblandning på grund av närvaron av huset skulle förväntas leda till något förhöjda halter invid husfasaden. Detta kan delvis bero på närheten till korsningen. Halterna är halverade på ca 25 meters avstånd från gatan (pkt 5).

Tyvärr har det inte varit möjligt att jämföra mätta periodmedelvärden för NO_x med beräknade halter från SIMAIR-gaturumsmodell (saknas meteorologiska data för aktuell period).



Figur 17: Turingegatan. Mätta haltgradienter av NO_x

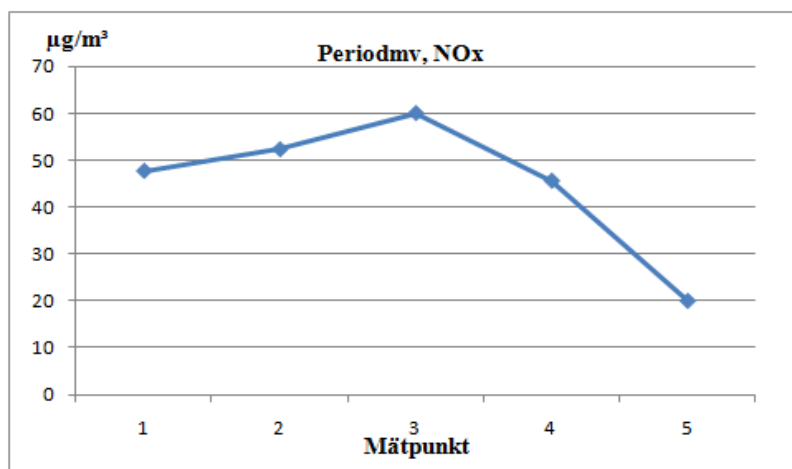


Diagram 8: Haltprofil vid Turingegatan, periodmedelvärden

Diagram 9 visar haltprofilen för veckomedelvärden vid Turingegatan. Haltvariationen är likartad i punkt 1, 2 och 3 trots att avståndet till fasaden skiljer. Orsaken till veckovariationen är troligen att de meteorologiska förutsättningarna varierar.

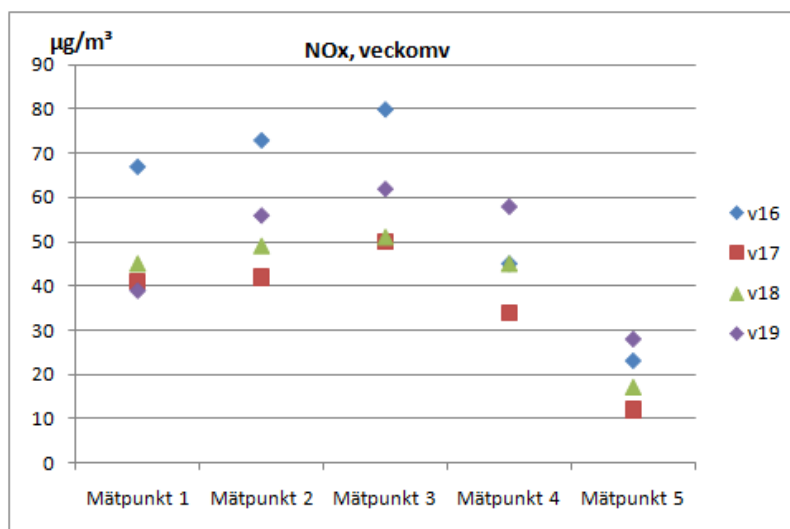


Diagram 9: Haltprofil vid Turingegatan, veckomedelvärden

11 Slutsatser

11.1 Öppen väg

Mätningarna visar att NO_x halterna halveras på mellan 25 och 50 meters avstånd från vägen. Jämförelserna mellan mätta och beräknade halter i Vallstanäs visar att SMHI-Gaussmodell mycket väl beskriver NO_x-halternas avtagande med avståndet till vägen. Beräkningarna tenderar att resultera i något långsammare avtagande av halterna med avståndet från vägen, vilket skulle kunna bero på att modellen inte tar hänsyn till fordonsgenererad turbulens. Skillnaderna mellan beräkningarna och mätningarna är mindre än 20 %. Resultaten och slutsatserna gäller för en dominerande utsläppskälla i form av en öppen väg utan näraliggande bebyggelse eller någon ytterligare starkt trafikerad väg eller annan större utsläppskälla. Marken var relativt plan upp till 50 meter på båda sidor av vägen, utan hög och tät vegetation inom denna zon.

11.2 Tunnelmynning

De uppmätta halterna i anslutning till tunnelmynningen visar att halterna avtar snabbt med avståndet från mynningen. Halterna har sjunkit med en faktor 4-5 redan vid väggkanten 20 m från mynningen. I vägmitt på ca 70 meters avstånd från mynningen i trafikriktningen var halterna halverade. Ovanpå marken precis ovanför mynningen var halterna mindre än en tiondel av halterna i mynningen. SMHI-Gaussmodell visar relativt god överensstämmelse med mätta halter i de flesta referenspunkter. Avgörande för hur beräkningsmodellen beskriver haltfördelningen vid tunnelmynningar är dels hur tunnelutsläppen åskådliggörs i modellen samt utsläppsmängden. I denna utredning har tunnelemissionerna beskrivits med veckade linjekällor för att simulera fordonen inverkan på spridningen av mynningsluften. Försök med olika längd på veckningen och veckningens amplitud har visat att utformningen har stor betydelse för hur väl modellen

beräknar haltnivåer jämfört med mätta halter. Bäst överensstämmelse har erhållits när bredden på veckningarna närmast mynningarna är ca 15 meter och jämt fördelad på båda sidor av mynningen. Veckningens utbredning sträcker sig ca 100 meter från mynningarna där veckningsamplitud och täthet minskar likformigt med avståndet från mynningen till ca 2 meters amplitud i slutet på veckningen. Beräkningsrutorna bör vara små för att erhålla motsvarande upplösning av haltfältet och tillräckligt skarpa gradienter. Stora gridrutor fördelar ut emissionerna för mycket vilket ger upphov till för små haltgradients. I denna studie användes 5x5 m. Stora avvikelser mellan beräknade och uppmätta halter noteras för punkter ovanpå tunneln på grund av nivåskillnaden som modellen inte tar hänsyn till. Mätningarna visar att haltnivån ovanpå mynningen är 5-10 % av maxhalten uppmätt 2,5 meter över marknivån närmast mynningen. Denna relation kan användas som ett ungefärligt mått i kommande utredningar. Utförda mätningar och beräkningar vid Årstamynningen visar haltgradients relativt nära mynningsområdet. För att beskriva hur halterna avtar på större avstånd från mynningen kan relationerna från Vallstanäs (öppen väg) användas. Det innebär att halterna bör halveras på 25-30 meters avstånd från ytterpunkterna vid mynningen.

11.3 Enkelsidigt gaturum

De utförda mätningarna tyder på att haltfördelningen i ett enkelsidigt gaturum är relativt jämt fördelad med likartade nivåer på båda sidor gatan, 2-3 meter från vägkanterna. Mätningarna visar också att halterna halveras på ca 25 meter avstånd från vägkanten. Dessa resultat och slutsatser kan vara användbara i kommande utredningar med gaturumsmodellen SIMAIR. Tyvärr kunde ingen jämförelse göras med SIMAIR eftersom det saknades bakgrundskörningar för den aktuella perioden.

12 Referenser

1. Regionplanekontoret, 2010.
2. Johansson, C., Burman, L., Westerlund, K.-G., Norman, M. Södra länken - effekter på utsläpp, luftkvalitet och exponering. 2007 Stockholm Environment & Health Protection Administration (Miljöförvaltningen) & SU report No:SLB 5:2006
3. Johansson, C., Sjövall, B., & Lövenheim, B. 2005. Påverkan på omgivningens NO₂ och NO_x - halter av utsläppen från Södra länkens mynning vid Nynäsvägen. SLB analys, Rapport till Vägverket.
4. Statens Vegvesen, 2006. Vegtunneler. Handbok 021.Vegdirektoratet, Norge. ISBN 978-82-7207-611-4.
5. Peterson, H.G. and Tønnesen, D. (1990) A tracer investigation of traffic from the Vålerenga tunnel at Etterstad. Lillestrøm (NILU OR 39/90).
6. Haugsbakk, I., 2010. Granfosslinjen Vurdering av luftforurensning fra tunnelmunninger, NILU OR26/2010. [http://www.plan-og-bygningsetaten.oslo.kommune.no/getfile.php/plan-%20og%20bygningsetaten%20\(PBE\)/Internett%20\(PBE\)/Dokumenter/Filer%20utlagte%20saker/2010/NILU-rapport_26.pdf](http://www.plan-og-bygningsetaten.oslo.kommune.no/getfile.php/plan-%20og%20bygningsetaten%20(PBE)/Internett%20(PBE)/Dokumenter/Filer%20utlagte%20saker/2010/NILU-rapport_26.pdf)
7. Okamoto, S., Sakai, K., Matsumoto, K., Horiuchi, K., Kobayashi, K., 1998. Development and application of a three-dimensional Taylor–Galerkin numerical model for air quality simulation near roadway tunnel portals. Journal of Applied Meteorology 37, 1010–1025.
8. Oetl, D., Sturm, P., Almbauer, R., 2005. Evaluation of GRAL for the pollutant dispersion from a city street tunnel portal at depressed level. Environmental Modelling & Software 20, 499–504.
9. Guordol, F., Perkins, R.J., Carlotti, P., Soulhac, L. & Méjean, P. 2004. Modelling pollutant dispersal at the portals of road tunnels. 9th Int. Conf. on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Garmisch-Partenkirchen, Tyskland, 1-4 juni 2004.
10. Berger, J., Walker, S.E., Denby, B., Berkowicz, R., Løfstrøm, P., Ketzel, M., Härkönen, J., Nikmo, J., Karppinen, A., 2010. Evaluation and inter-comparison of open road line source models currently in use in the Nordic countries. Boreal Environment Research 15.
11. Holmes, N.S., Morawska, L., 2006. A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available. Atmospheric Environment 40 (2006) 5902–5928.
12. Gidhagen, L., Johansson, H., Omstedt, G., 2009, SIMAIR—Evaluation tool for meeting the EU directive on air pollution limits, Atmospheric Environment, 43, 1029-1036.
13. Hälsorelaterad miljöövervakning. Naturvårdsverket – Årsrapport 2009.
14. SMHI Airviro Dispersion: <http://www.smhi.se/airviro/modules/dispersion/dispersion-1.6846> och http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.12792!Volume2_Dispersion_3.20.pdf
15. SIMAIR: Modell för beräkning av luftkvalitet i vägars närområde. SMHI rapport 2005-37.
16. Johansson, H., EVA SYSDOK, version 2.3, Modellspecifikation, fordonseffektmodell. Rev 2001-03-09, Internt PM Vägverket 2001.
17. Eneroth, K., Johansson, C., Bellander, T. EXPOSURE - Comparison between measurements and calculations based on exposure modelling. 2006.

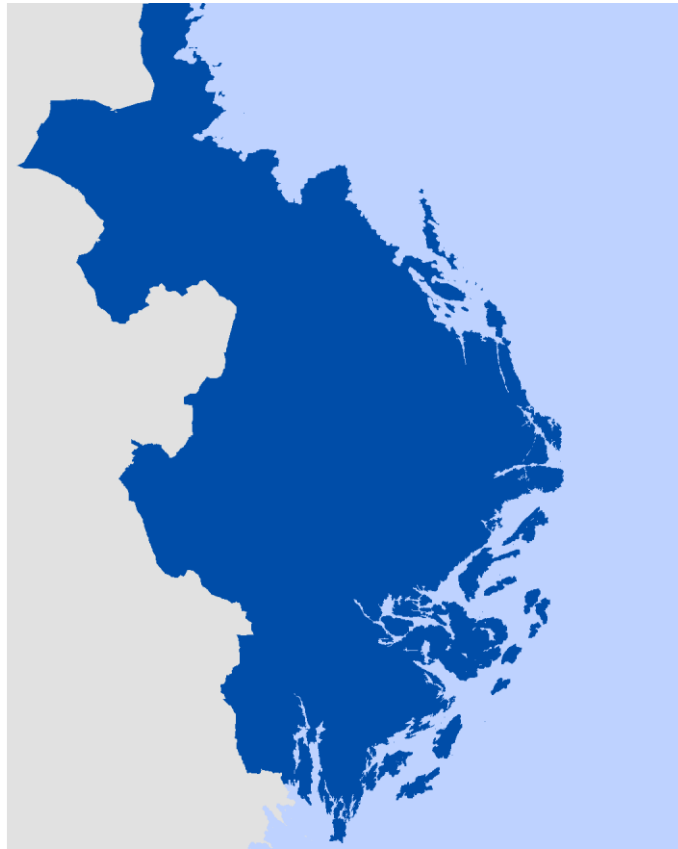
Luftvårdsförbundet i Stockholms och Uppsala län. 20, LVF 2006: 12.

http://www.slb.nu/slb/rapporter/pdf/lvf2006_12.pdf.

18. ARTEMIS

19. Kalthoff, N, D. Bäumer, U. Corsmeier, M. Kohler, B. Vogel, 2005. Vehicle-induced turbulence near a motorway. Atmospheric Environment 39, 5737–5749.

SLB- och LVF-rapporter finns att hämta på www.slb.nu/lvf/



Stockholms- och Uppsala Läns Luftvårdsförbund är en ideell förening. Medlemmar är 35 kommuner, länens två landsting samt institutioner, företag och statliga verk. Samarbete sker med länsstyrelserna i länen. Även Gävle och Sandvikens kommuner är medlemmar. Målet med verksamheten är att samordna arbetet vad gäller luftmiljö i länen med hjälp av ett system för luftmiljöövervakning, bestående av bl.a. mätningar, emissionsdatabaser och spridningsmodeller. SLB-analys driver systemet på uppdrag av Luftvårdsförbundet.



POSTADRESS:

Box 38145, 100 64 Stockholm

BESÖKSADRESS:

Västgötagatan 2

TEL. 08 – 615 94 00

FAX 08 – 615 94 94

INTERNET www.slb.nu/lvf