

# *Mynningsutsläppens inverkan på halterna inne i vägtunnlar*



Christer Johansson, Michael Norman, Sanna Silvergren  
SLB-analys  
Miljöförvaltningen  
Stockholm

*genomfört på uppdrag av*



## Innehåll

Sammanfattning .....	1
Bakgrund och syfte med studien .....	3
Genomförande .....	4
Mätmetodik .....	4
Resultat .....	5
Södra länken .....	5
Betydelse av avskiljande vägg för halterna i en tunnel .....	6
Potentiell påverkan på halterna i Förbifartens tunnel .....	10
Slutsatser och rekommendationer vad gäller Förbifartens tunnlar .....	13
Referenser .....	14

## Förord

Detta projekt har genomförts av SLB analys på uppdrag av Trafikverket. Projektet är ett av flera projekt som är relaterade till luftkvaliteten i tunnlarna som ingår i projekt Förbifart Stockholm och i andra vägtunnlar. Kontaktperson på Trafikverket har varit Marie Westin och Michelle Benyamine, som också granskat rapporten.

Stockholm december2013,

Christer Johansson

SLB analys, Miljöförvaltningen, Stockholm

## Sammanfattning

Syftet med detta projekt har varit analysera hur överläckage av mynningsutsläpp påverkar halterna inne i tunnlar, dvs i hur stor utsträckning som utsläppet från mynningen påverkar halterna inne i tunneln med trafik i motsatt riktning. Syftet har alltså inte varit att studera tunnelluftens bidrag till halterna i omgivningsluften.

Trots att ventilationstorn används för att minimera utsläppen av föroreningar vid tunnelmynningarna, så sker oundvikliga utsläpp via mynningarna beroende på fordonsflöden, hastigheter och ventilationssystemets utformning. Mynningsutsläppets påverkan på tunnelhalterna på grund av överläckage från ena tunnelröret till det andra beror bl a av geometrin vid mynningen, riktningen i förhållande till omgivande vind samt av vindhastigheten. Analys av data från Södra länken (Årsta) indikerar att mynningsbidraget är ca 20 % i den mest ogynnsamma vindriktningen och vid höga vindhastigheter.

En sökning i vetenskaplig litteratur och via sökmotorer på internet resulterade endast i en enda studie där man kvantifierat effekten av avskiljande väggar mellan tunnelrör. I den rapporten beskrivs en vindtunnelstudie, där man byggt en fysisk modell av en vägtunnel för att studera hur markvindförhållandena påverkar överläckningen från mynningsutsläppet. Studien innefattade två olika mynningar och indikerar att överläckningen kan öka tunnelhalterna med 39 % respektive 53 % av halten i luften som släpps ut ur den motriktade mynningen. Dvs mer än dubbelt så mycket som för Södra länken. Vindtunnelstudien visar också att mynningsbidraget reduceras med ungefär en tredjedel med en 40 m lång vägg, medan en 20 m lång vägg ger en knapp halvering av mynningsbidraget till tunnelhalterna.

I rapporten redovisas också beräkningar av vad detta kan betyda för Förbifartens tunnelmynningar vid Hjulsta och Lindvreten. Tunnelhalterna vid Hjulsta kan påverkas av överläckningen vid Lindvreten och tunnelhalterna vid Lindvreten kan påverkas av överläckningen vid Hjulsta. Eftersom halterna inne i tunneln vid Lindvreten är betydligt högre än vid Hjulsta så får överläckning vid Lindvreten betydligt större betydelse för halterna i tunneln vid Hjulsta än vad överläckningen vid Hjulsta får för halterna i tunneln vid Lindvreten.

Baserat på vindtunnelstudien erhöles följande resultat: För Hjulsta minskar överläckningens betydelse för tunnelhalterna från 67 % - 92 % utan vägg till 24 % - 35 % av halten i mynningen utan överläckning med en 40 meter lång vägg som sträcker sig upp i markplanet. För Lindvreten blir minskningen från 23 % - 31 % utan vägg till 8 % - 12 % av halten utan överläckning med en 40 meter lång vägg. Dvs i båda fallen reduceras bidraget till halten inne i tunneln med ungefär en tredjedel med en 40 meter lång vägg. En 20 meter lång vägg ger en knapp halvering av mynningsbidraget till halterna i tunneln.

Överläckningen av luften från ena röret till det andra inträffar bara vid de vindriktningar och vindhastigheter som krävs för att luftströmmen från tunnelutsläppet ska påverka luften som sugas in i det parallella motriktade tunnelröret. Detta inträffar

förstås inte alltid utan endast under en del av årets timmar. Exakt hur ofta och när på dygnet beror på tunnelrörens riktning i förhållande till rådande meteorologiska förhållanden.

Slutsatsen är att en avskiljande vägg utanför tunnelmynningarna för in- och utgående trafik skulle kunna minska halterna inne i tunnlar. Exakt hur stor betydelse detta har beror på tunnelutsläppens storlek, riktningen på tunnelröret och de rådande meteorologiska förhållandena. Behovet av väggen är avhängigt av gällande riktvärden och rådande tunnelhalter. Varje mynning har sina unika förutsättningar vilket gör det osäkert att utfärda generellt tillämpbara riktlinjer. Rekommendationen är istället att ett beslut om behovet och effektiviteten av åtgärder mot mynningsläckage bör baseras på mätningar i och utanför aktuell tunnelmynning efter att tunneln varit i drift under en period.

## Bakgrund och syfte med studien

Bakgrunden till detta projekt är att kunskap om halterna av luftföroreningar i tunnlar behövs för hälsokonsekvensanalyser samt för dimensionering och styrning av ventilationen så att halterna inte överskrider rekommenderade riktvärden till skydd för människors hälsa. Halterna inne i tunnlar beror inte bara av utsläppen i tunneln och ventilationen, utan beror även på hur höga halterna är i luften som sugas in i tunnlar. Utsläppen i mynningarna kan bidra till kraftigt förhöjda halter i närområdet som också kan påverka exponeringen för de som bor eller vistas nära mynningarna (SLB, 2006).

Generella faktorer som kan påverka betydelsen av mynningsutsläppens inverkan på omgivningshalterna runt mynningarna är vindriktning, vindhastighet, fordonskastigheter, fordonsflöden, andel tung trafik, tunnelventilationshastigheter/luftvolym samt den geometriska utformningen av mynningen och den omgivande topografin (NIWA, 2008; Bettelini et al., 2001). Tidigare genomförda mätningar i anslutning till Södra länkens mynning vid Årsta visar att halterna avtar snabbt med avståndet från mynningen (Brydolf och Johansson, 2010), vilket också stämmer väl med andra studier. Närmast mynningen är det främst hastigheten på luften i tunneln och halterna i tunnelmynningen, som är avgörande för halterna utanför mynningen och detta brukar beskrivas som ”jetfasen” (Iversen, 1982). Efterhand blir den omgivande vindhastigheten och turbulensen avgörande för utspädningen och spridningen av föroreningarna och detta brukar benämnas ”plymfasen”.

Någon vedertagen beräkningsmodell för att uppskatta halterna kring tunnelmynningar finns inte. I Norge har många beräkningar av mynningsutsläppens påverkan genomförts med en förenklad nomogrammetod (Statens Vegvesen, 2010; Haugsbakk, 2010). Den norska beräkningsmetoden har kontrollerats mot mätningar som genomförts bl a intill tunnelmynningar i Bergen (Peterson och Tønnesen, 1990) och Oslo (Larssen et al., 1990). I litteraturen finns några olika studier med mer avancerade modeller beskrivna, exempelvis i en japansk (Okamoto et al., 1998), en österrikisk (Oetl et al., 2005), en fransk (Guordol et al., 2004) och en schweizisk modell (Bettelini et al., 2001). I de mer avancerade applikationerna används 3-dimensionella strömningsmodeller som i detalj tar hänsyn till de geometriska förhållandena som påverkar turbulensen av luften omkring tunnelmynningar. Genomgående är att alla modeller är förenklingar av verkligheten och delvis empiriska och bör därför appliceras med försiktighet och helst valideras mot mätningar. I Sverige finns ingen generellt vedertagen modell och endast några enstaka jämförelser mellan beräkningar och mätningar i anslutning till tunnelmynningar har genomförts (Johansson et al., 2005).

Syftet med denna utredning har varit att analysera hur mynningsutsläppen påverkar halterna inne i tunnlar, dvs i hur stor utsträckning som halten i tunnelluften påverkas av utsläppet från mynningen med trafik i motsatt riktning. I rapporten presenteras också beräkningar av i vilken utsträckning som avskiljande väggar mellan in- utgående tunnelrör kan minska halterna i tunnlar och vad detta kan betyda för halterna i Förbifart Stockholms tunnlar.

## Genomförande

Utredningen baseras i huvudsak på resultat från fasta mätningar i anslutning till och inne i Södra Länken. Vidare har vi genomfört sökningar på internet efter liknande studier, främst bland internationella, vetenskapliga tidskrifter. En viktig studie som har direkt användning till vår frågeställning är en experimentell studie av betydelsen för halterna i tunnlar av avskiljande väggar mellan in- och utgående tunnelrör.

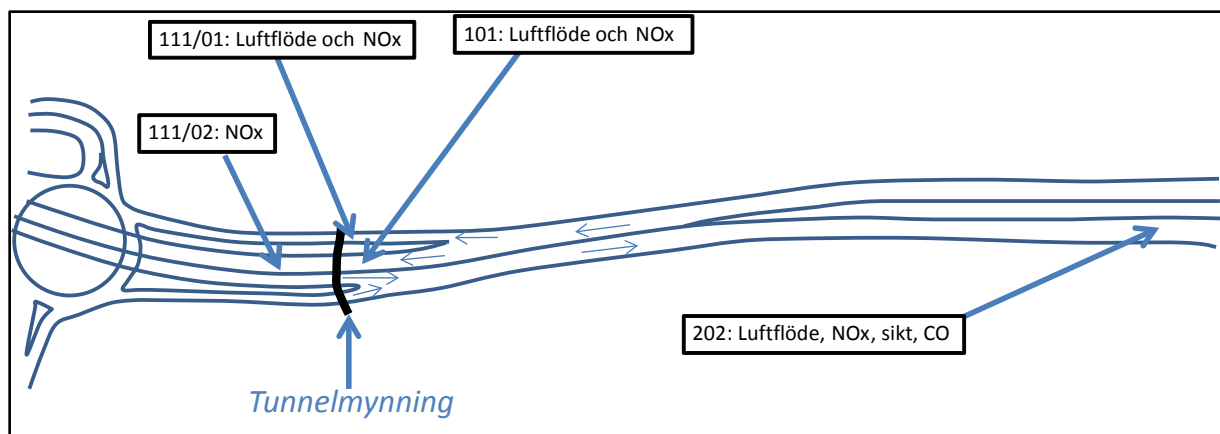
### Mätmetodik

#### Södra länken

Trafikverket genomför kontinuerliga mätningar av NO<sub>x</sub>, CO, luftflöden, sikt mm på flera platser i Södra länken tunneln. I detta projekt har vi utnyttjat mätningarna vid Årstamynningen (Figur 1 och Figur 2). År 2010 var trafikmängden 42 460 fordon per årsmedeldygn i västgående tunnelröret och 43 860 i det östgående med 10 % tung trafik. Ramperna för av- och påfartstrafiken var 18 600 fordon per årsmedeldygn i båda riktningarna. Skyltade hastigheten för Södra länken är 70 km/h.

Vid Årsta mäts bl a halterna av NO<sub>x</sub> både i luften som släpps ut i mynningarna samt ca 570 meter in i tunneln och utanför mynningen (111/02). Genom att analysera förhållandet mellan halten inne i tunneln (202) till halten i luften som släpps ut i mynningen (101) vid olika vindriktningar, erhålls ett mått på inverkan av mynningsutsläppet på halterna inne i tunneln.

Tyvärr finns inte lika användbara mätningar i anslutning till mynningen vid Hammarby. Strömningen omkring mynningen vid Hammarby är dessutom kraftigt påverkad av omgivande topografi och byggnader (Lövenheim & Eneroth, 2013), vilket gör den mindre generellt representativ.



Figur 1. Mätningar i anslutning till Södra Länkens tunnelmynning vid Årsta. Siffrorna anger beteckningen på positionen för mätningarna enligt översiktsritning för givare (580-systemet): 111/01 Rampmynningen mot Årstarondellen, 101: Huvudtunnelmynningen, 111/02: Utanför tunneln, 202: Ca 570 meter in i tunneln från mynningen vid Årsta (trafik österut).



Figur 2. Södra länkens mynningar vid Årsta. Vägbanan ligger ca 9 meter under omgivande markplanet.

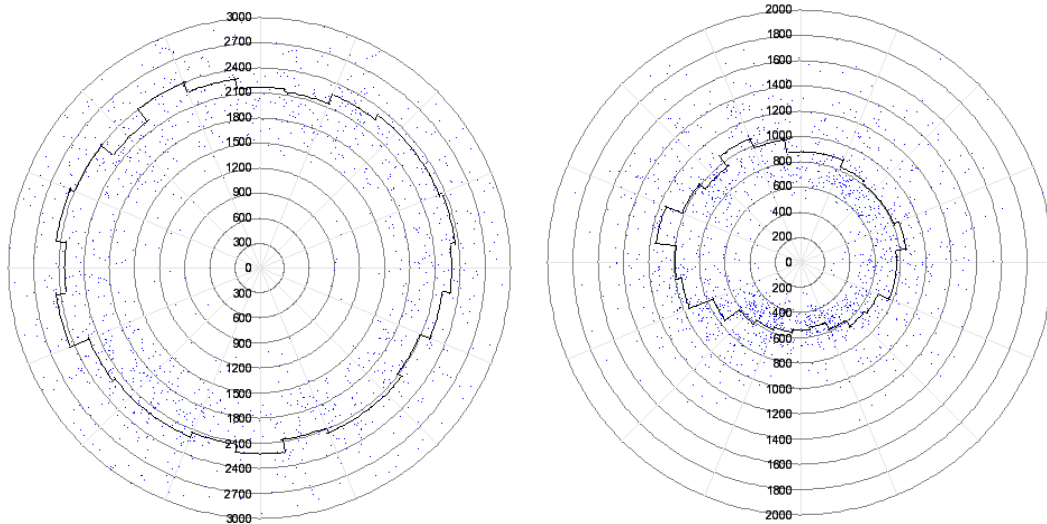
## Resultat

### Södra länken

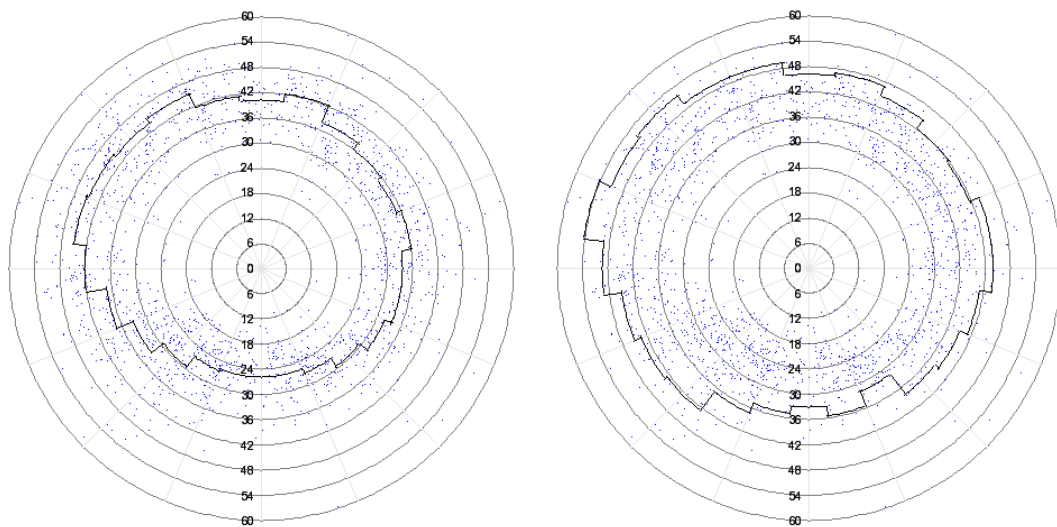
För att kvantifiera påverkan på halterna inne i Södra länken tunneln analyseras hur halterna inne i tunneln vid Årsta beror av vindriktningen. Av Figur 3 framgår att halterna 570 m in i Södra länken tunneln är kraftigt beroende av vindriktningen. De högsta halterna inträffar vid västliga – nordliga vindar. Vid dessa tillfällen är halterna dubbelt så höga som vid sydliga vindar. Eftersom Årstatunneln mynnar västerut kan detta antas bero på inverkan av höga NO<sub>x</sub> halter i utsläppet från huvudtunnelmynningen (västgående trafikriktning). Halterna i huvudtunnelmynningen uppvisar inte alls något samband med vindriktningen (se Figur 3). Utsläppen från tunnelrampen och yttrafiken kan också ha viss påverkan på halterna inne i tunneln vid västliga – nordliga vindar; exakt hur stor går inte att avgöra, men sannolikt betydligt mindre än utsläppen från huvudtunnelmynningen.

Figur 4 visar halten inne i tunneln i relation till halten i mynningen (huvudtunnelmynningen). För västliga – nordliga vindar är halten i tunneln ca 45 % av halten i huvudtunnelmynningen medan den endast är ca 25 % vid sydliga vindar. Om man antar att inverkan från mynningsutsläppet är försumbart vid sydliga vindar, kan man konstatera att huvudtunnelmynningens utsläpp bidrar med ca 20 % av halten i mynningen (45 % - 25 %). En viss del av bidraget kan också bero på yttrafiken och utsläppet i rampen mot Årsta rondellen, så 20 % kan vara i överkant. För 90 percentilen är halten inne i tunneln ca 35 % av halten i mynningen vid sydliga vindar och knappt 54 % vid nordvästliga vindar, dvs ca 19 % ökning på grund av mynningsutsläppet.





Figur 3. NO<sub>x</sub> halter i Södra Länken för olika vindriktningar. Vänstra bilden visar halterna precis innan utfarten från Årstatunneln (västerut) och högra visar halterna ca 570 m in i tunneln österut. I båda bilderna visas 50 percentilerna (medianerna) som heldragna linjer för varje 15 graders sektor och de blå prickarna är enskilda timmedelvärden för måndagar – torsdagarmellan klockan 07 och 10 under perioden 1 januari 2009 – 31 december 2012. Vindriktningen mättes 20 m över marken i masten vid Högdalen i södra Stockholm och endast timmar med vindhastigheter >3 m/s är inkluderade.



Figur 4. NO<sub>x</sub> halter i tunnel i procent av halterna i huvudtunnelmynningen (kvoten mellan halterna multiplicerad med 100) för olika vindriktningar. Vänstra bilden är 50 percentilen (medianen) och högra är 90 percentilen. Exakt samma data som i Figur 3, dvs vardagar, kl 07-10 och vindhastigheter >3 m/s.

### Betydelse av avskiljande vägg för halterna i en tunnel

Vi har endast hittat en studie som kvantifierat betydelsen av avskiljande vägg eller förlängd tunnelmynning för att minska halterna i tunnlar. Koopmans (2005) presenterade en studie av betydelsen av avskiljande vägg och förlängd (förskjuten) tunnelmynning för halterna inne i tunneln. Studien genomfördes i en skivtunnel där

man kan och variera markvindförhållandena över en skalenlig modell (1:150) av en existerandevägtunnel. Vägtunneln har två separata tunnelrör med fyra filer i ena riktningen och två i den andra. En spårgas användes för att simulera utsläpp från trafik i tunneln.

De olika alternativa utformningarna av mynningen framgår av Figur 5. Alternativ A, C1 och C2 har avskiljande väggar, alternativ B ingen vägg och alternativen D1 och D2 har förlängda slutna mynningar (väggar med överbyggt tak). I samtliga alternativ utom B finns också ett nät som tak, vilket skall representera en ”canopy” (lite oklart vad som avses exakt med canopy, men konstruktionen är väldigt grovmaskig och har sannolikt väldigt liten inverkan på luftströmmarna kring mynningen).

Mätningarna genomfördes för olika omgivande vindriktningar och vindhastigheter ( $V_w$ ) samt olika tunnelventilationshastigheter ( $V_t$ ), se Tabell 1. Man studerade 36 olika kombinationer: 6 olika mynningsgeometrier för 2 mynningar och 3 olika vindförhållanden. För varje alternativ mättes halten inne i tunneln ( $C_t$ ), som utsätts för mynningsutsläppet, och halten i mynningsutsläppet ( $C_m$ ). Den procentuella påverkan på halten i tunneln beräknades som:

$$R = C_t / C_m * 100$$

Dvs på samma sätt som presenterades för Södra länken ovan. Noggrannheten i mätningarna av spårgashalterna var  $\pm 2\%$ .

Tabell 1. Vindhastigheter ( $V_w$ ) och tunnelventilationshastigheter ( $V_t$ ) vid försöken med olika mynningsutformningar i studien av Koopmans (2005).

Vindhastighet ( $V_w$ ) m/s	Tunnelventilation ( $V_t$ ) m/s	Kvot ( $V_w/V_t$ )
10	5	2
5	5	1
0,6	5	0,12

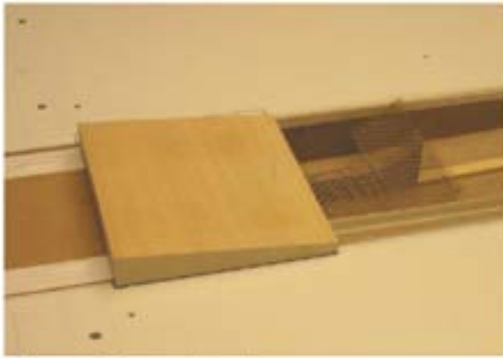


Figure 5 (variant A)

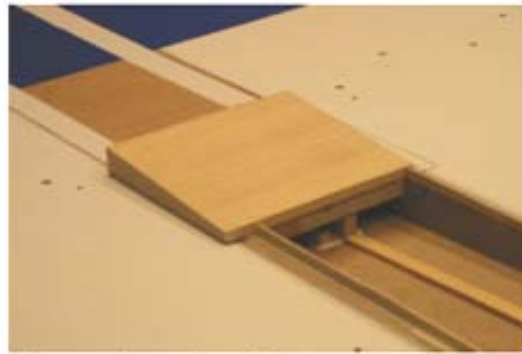


Figure 6 (variant B)

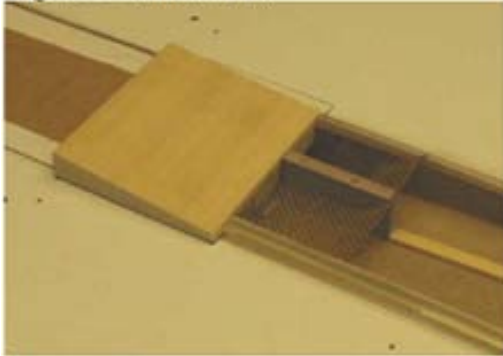


Figure 7 (variant C1)

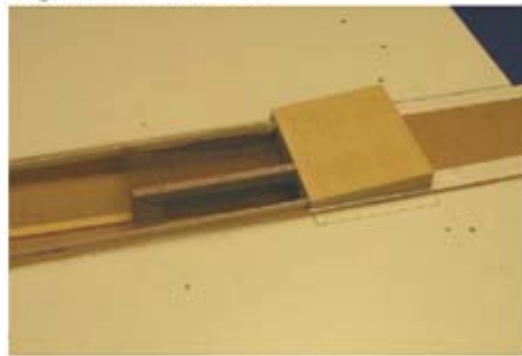


Figure 8 (variant C2)



Figure 9 (variant D1)

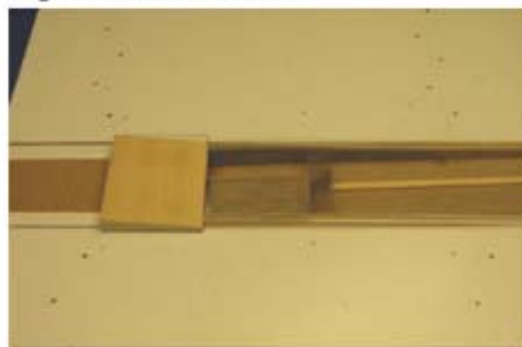
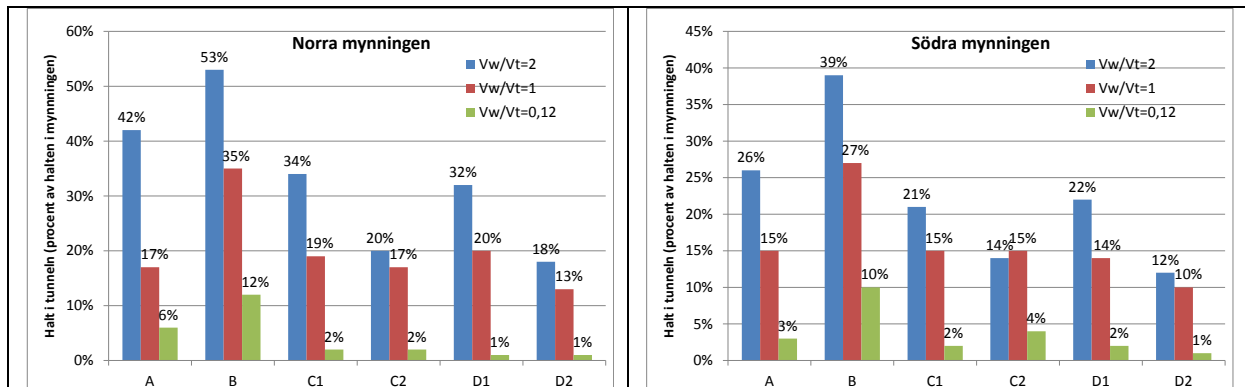


Figure 10 (variant D2)

Figur 5. Alternativa utformningar av mynningen (modell med skala 1:150) i vindtunnelstudien av Koopmans (2005). A: en avskiljande 20 m lång vägg som når upp till halva höjden av markplanet. Nätet representerar ett genomsläppligt "tak" ( kallat "canopy" i rapporten). B: Ingen vägg, ingen "canopy". C1: En 20 lång vägg som sträcker sig ända upp i markplanet samt en "canopy". C2: Samma som C1, men förlängd med 20 m, dvs totalt 40 m vägg och "canopy". D1: Som A, men med överbyggt tak, dvs förlängd mynning med 20 m. D2: Som D1, men nu 40 m istället för 20 m mynning.

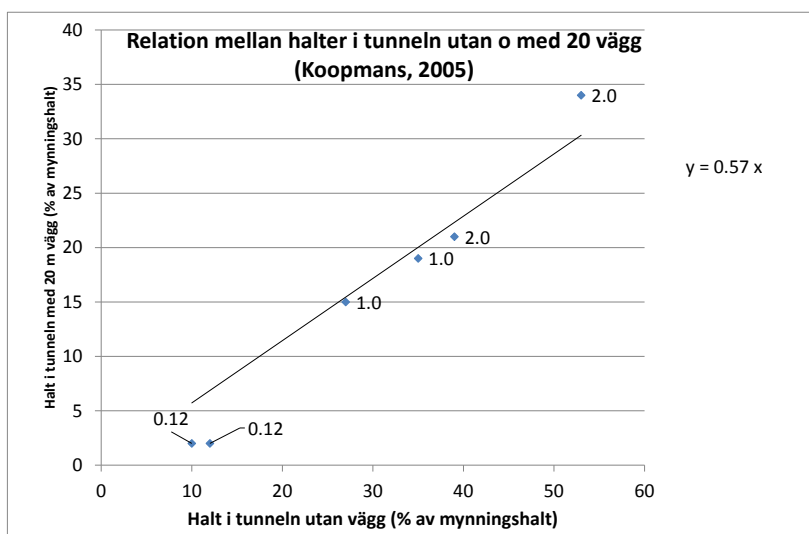
Figur 6 visar de högsta halterna som erhållits för de båda mynningarna i vindmodellstudien. De uppkommer vid den mest ogynnsamma vindriktningen i förhållande till riktningen på utsläppsplymen från tunnelmynningen. Högst påverkan erhålls då vindhastigheten är dubbelt så hög som tunnelventilationen; 10 m/s i förhållande till ett luftflöde på 5 m/s ut ur tunnelmynningen. Högre momentum i omgivande luft ger kraftigare påverkan på tunnelluftens strömningsriktning. Samtidigt ökar dock utspädningen av tunnelluftens föroreningar med ökande vindhastighet.

Som väntat fann man störst påverkan i fallet utan vägg (och canopy). Då var halten i tunneln som mest 53 % och 39 % av halten i mynningen för norra respektive södra mynningen. Med 20 m lång vägg sjönk halten till 34 % för norra mynningen respektive 21 % för södra mynningen, dvs. väggen reducerade halten med 19 respektive 18 procentenheter, jämfört med fallet utan vägg. Med 40 m vägg var halten till 20 % för norra mynningen respektive 14 % för södra mynningen, dvs. väggen reducerade halten med 33 respektive 25 procentenheter, jämfört med fallet utan vägg. För alternativen med förlängd mynning var resultaten ungefär desamma som med motsvarande lång vägg.



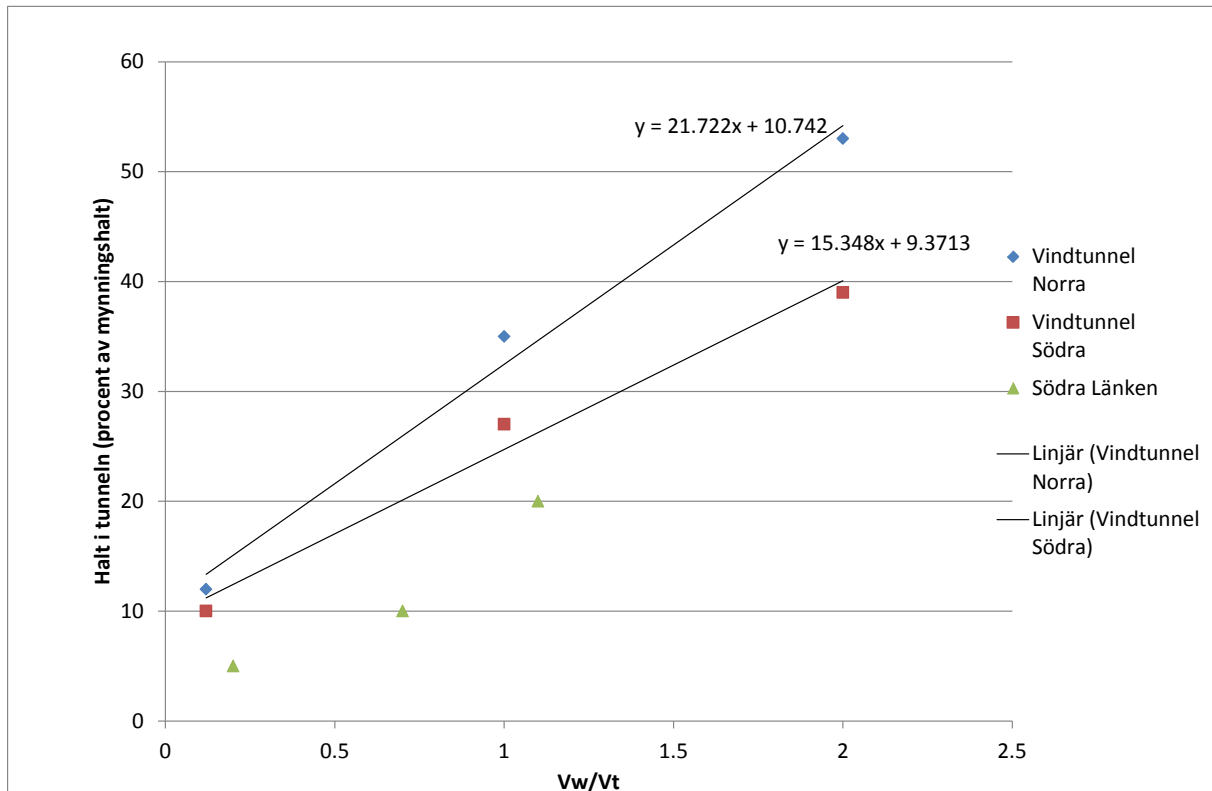
Figur 6. Halter i tunnel med olika varianter på mynningar i Koopmans (2005) studie. Värden är de maximala halterna i tunneln uttryckta som procent av halten i mynningsutsläppet i det motriktade tunnelröret. "V<sub>w</sub>/V<sub>t</sub>" är kvoten mellan omgivande vindhastighet (V<sub>w</sub>) och luftflödet i tunnelmynningen (V<sub>t</sub>); i samtliga fall är V<sub>t</sub>=5 m/s. Se Figur 5 för beskrivning av de olika mynningarna.

Figur 7 visar att halten i tunneln är ca 40 % lägre med en 20 m lång vägg jämfört med utan vägg i de fall då kvoten mellan vindhastigheten och hastighet på tunnelluften (V<sub>w</sub>/V<sub>t</sub>) är 1,0 respektive 2,0. För riktigt låga vindhastigheter i förhållande till tunnelluftens hastighet har väggen mindre betydelse.



Figur 7. Relationen mellan halten i tunneln utan vägg och med en 20 m lång vägg vid olika kvoter mellan vindhastigheten och hastighet på tunnelluften (V<sub>w</sub>/V<sub>t</sub>).

Figur 8 visar hur halten i tunneln beror av förhållandet mellan vindhastigheten i omgivningen och den utgående tunnelluftens hastighet, dels enligt vindtunnelstudien, dels enligt mätresultaten från Södra länken. Figuren visar att mätningarna från Södra länken ger betydligt mindre inflytande av mynningsutsläppet jämfört med vindtunnelstudien.



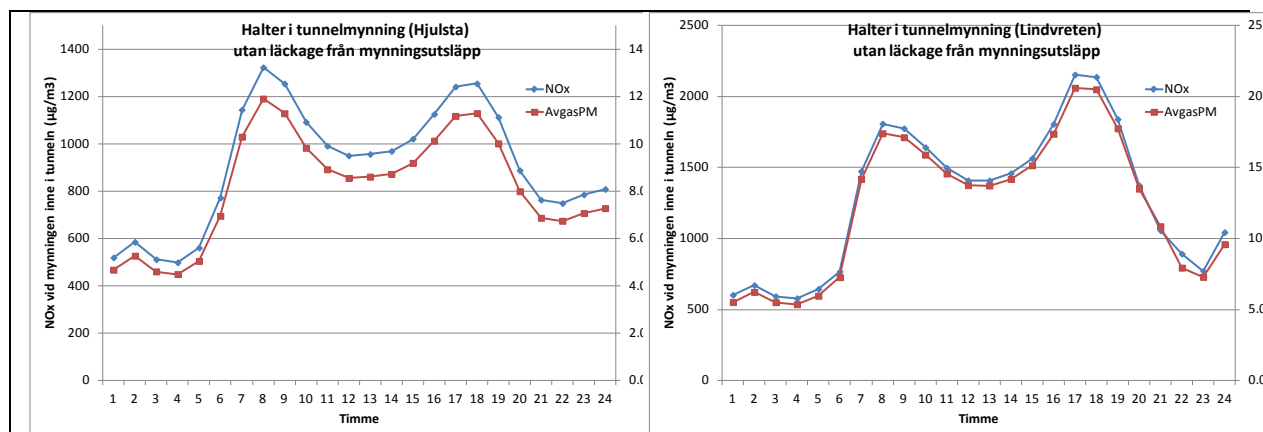
Figur 8. Jämförelse av hur halten i tunneln påverkas av förhållandet mellan vindhastigheten i omgivningen och tunnelluftens hastighet vid mynningsutsläppet.

## Potentiell påverkan på halterna i Förbifartens tunnel

I detta avsnitt uppskattas effekten av överläckning på halterna i Förbifartens huvudtunnel. Beräkningarna bygger på analysen för Södra länken och på Koopmans vindtunnelstudie. För uppskattning av halterna i Förbifartens tunnel, sträckan mellan Hjulsta och Lindvreten (vid Kungens Kurva), har vi antagit följande (samma scenario som använts i hälsokonsekvensberäkningar inom forskningsprojektet):

- Emissionsfaktorerna för NO<sub>x</sub> gäller för år 2020 enligt Artemismodellen. Beräkningarna tar hänsyn till lutningen i tunneln
- För omräkning till avgaspartiklar används HBEFA modellens relation mellan emissionsfaktorerna för NO<sub>x</sub> och avgaspartiklar år 2030 för fordonssammansättningen som antas råda i Förbifartens tunnel (0.009 g partiklar per g NO<sub>x</sub>)
- Ventilationen körs 18 timmar om dygnet.
- Halterna gäller för ett vardagsmedeldygn.
- Hastigheten antas vara 90 km/h

Av Figur 9 framgår dygnsvariationer av NO<sub>x</sub> och avgaspartikelhalter i slutet av tunneln (strax innan mynningen) vid Hjulsta respektive Lindvreten om halten antas vara noll vid infarten till tunneln. De högsta halterna inträffar under morgon och eftermiddag. För Hjulsta med norrgående trafik är halterna något högre på morgonen och för Lindvreten med södergående trafik är halterna högre på eftermiddagen. Halterna är betydligt högre vid Lindvreten, ca 2300 µgNO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup>, jämfört med Hjulsta, ca 1300 µgNO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup>.



Figur 9. Halter av NO<sub>x</sub> och avgaspartiklar inne i tunnelmynningen vid Hjulsta under ett vardagsdygn år 2030 (vent 24 1S3)? Gäller då halten antas vara noll i luften som kommer in i tunneln. För omräkning till avgaspartiklar antogs 9 mg PM/gNO<sub>x</sub>, enligt HBEFA 3.1 2030.

I Tabell 2 och Tabell 3 redovisas beräknade maximala halter för samma data som ovan, men med antagande om olika grader av påverkan från överläckning vid mynningarna. Både Koopmans vindtunnelstudie och analyserna av mätdata från Södra länken visar att högst överläckning sker vid höga vindstyrkor och främst vid vissa gynnsamma vindriktningar. Värdena i tabellerna avser de värsta fallen. I Koopmans studie hade man två mynningar med lite olika riktning/utformning, som gav olika resultat. I tabellerna anges effekterna på halterna i tunneln av båda mynningar. Tyvärr saknas förklaring till skillnaderna mellan resultaten för de två mynningarna i Koopmans studie, men det ger en indikation på att osäkerheterna kan vara stora – omkring 30 % till 40 %.

Halterna i tunneln vid mynningen i Hjulsta ökar på grund av överläckning vid Lindvreten och i tunnelmynningen vid Lindvreten ökar halterna på grund av överläckning vid Hjulsta.

Om man först antar att mätningarna i Södra länken (vid Årsta) är representativa för att skatta överläckningens betydelse så blir ökningen av tunnelhalten 35% vid Hjulsta (Tabell 2) och 12% vid Lindvreten (Tabell 3), jämfört med utan överläckning.

Om man istället antar att överläckningen är 39% - 53% av halten i mynningen vid Lindvreten, baserat Koopmans vindtunnelstudie utan vägg, så ökar högsta tunnelhalten i Hjulstamynningen med mellan 67% - 92% jämfört med halten utan överläckning vid Lindvreten (Tabell 2). Motsvarande värden för Lindvreten är en ökning med mellan 23%

- 31% av halten utan överläckning vid Hjulsta (Tabell 3). Den lägre procentuella förändringen vid Lindvreten beror på att halterna är mycket högre i den mynningen än vid Hjulsta. Baserat på Koopmans studie blir alltså påverkan från överläckningen minst dubbelt så stor som om Södra länkens mätningar används.

På motsvarande sätt kan man i tabellerna se hur halterna påverkas med 20 meter respektive 40 meter mynningsavskiljande väggar. För Hjulsta minskar överläckningens betydelse för tunnelhalterna från 67% - 92 % utan vägg till 24% - 35% av halten i mynningen utan överläckning med en 40 meter lång vägg som sträcker sig upp i markplanet (Tabell 2). För Lindvreten blir minskningen från 23% - 31% utan vägg till 8% - 12% av halten utan överläckning med en 40 m vägg (Tabell 3). Dvs i båda fallen reduceras bidraget till halten inne i tunneln med ungefär en tredjedel med en 40 m lång vägg. En 20 m lång vägg ger en knapp halvering av mynningsbidraget till halterna i tunneln.

Värdena som redovisats ovan är exempel på maximala bidrag som bara inträffar vid de vindriktningar och vindhastigheter som krävs för att luftströmmen från tunnelutsläppet ska påverka luften som sugts in i det parallella motriktade tunnelröret. Detta inträffar förstås inte alltid utan endast under en del av årets timmar. Exakt hur ofta och när på dygnet beror på tunnelrörens riktning i förhållande till rådande meteorologiska förhållanden. Att observera är att den största överläckningen från mynningarna vid Hjulsta respektive Lindvreten inte kommer inträffa vid samma vindriktning eftersom utsläppen sker öster respektive norr om det tunnelrör som påverkas. Det betyder att sannolikheten är liten att det blir "rundgång" av förorenad luft inne i tunnelsystemet. Om det exempelvis blåser från västerkan man förvänta sig relativt stor överläckning vid Kungens kurva, men väldigt liten vid Hjulsta. Tvärtom vid östlig vind. Viss rundgång av luften i tunneln kan det dock bli under perioder med låga vindhastigheter.

## Mynningsutsläppens inverkan på halterna inne i vägtunnlar

Tabell 2. Uppskattade maximala halter av NOx och avgaspartiklar år 2030 vid Hjulsta för tunnelhalter som beräknas uppkomma vid 18 timmars ventilation (5.30-23.30).

Antagande om mynningsbidrag		Bidrag från mynningsutsläpp vid Lindvreten	Maximalt timmedelvärde av NOx vid Hjulsta (µg/m <sup>3</sup> )	Maximalt timmedelvärde av avgaspartiklar vid Hjulsta (µg/m <sup>3</sup> )	Procentuell ökning av tunnelhalten på grund av överläckning
Inget mynningsbidrag			1323	12	
<i>Med Mynningsbidrag:</i>					
Baserat på analyser av mätningar i Södra länken/Årsta,	Utan vägg, maxbidrag, 20% överläckning, hög vindhastighet	2289	1781	16	35%
Baserat på Koopmans studie (maxvärden för södra o norra mynningen):	Utan vägg 39% - 53%	2289	2216–2536	20–23	67% - 92%
	20 m vägg 21% - 34%	2289	1804–2101	16–19	36% - 59%
	40 m vägg 14% - 20%	2289	1643–1781	15–16	24% - 35%

Tabell 3. Uppskattade maximala halter av NOx och avgaspartiklar år 2030 vid Lindvreten för tunnelhalter som beräknas uppkomma vid 18 timmars ventilation (5.30-23.30).

Antagande om mynningsbidrag		Bidrag från mynningsutsläpp vid Hjulsta	Maximalt timmedelvärde av NOx vid Lindvreten (µg/m <sup>3</sup> )	Maximalt timmedelvärde av avgaspartiklar vid Lindvreten (µg/m <sup>3</sup> )	Procentuell ökning av tunnelhalten på grund av överläckning
Inget mynningsbidrag			2289	21	
<i>Med Mynningsbidrag:</i>					
Baserat på analyser av mätningar i Södra länken/Årsta,	Utan vägg, maxbidrag, 20% överläckning, hög vindhastighet	1323	2554	23	12%
Baserat på Koopmans studie (maxvärden för södra o norra mynningen):	Utan vägg 39% - 53%	1323	2805–2990	25–27	23% - 31%
	20 m vägg 21% - 34%	1323	2567–2739	23–25	12% - 20%
	40 m vägg 14% - 20%	1323	2474–2554	22–23	8% - 12%

### Slutsatser och rekommendationer vad gäller Förbifartens tunnlar

För att analysera överläckningens betydelse för halterna i Förbifartstunneln har vi använt mätresultat från Södra länken och resultat från en vindtunnelstudie (modellstudie). Slutsatsen är att överläckningen kan vara av betydelse och att avskiljande tunnelväggar kan reducera halterna inne i tunneln. Men underlaget är alltför bristfälligt för att göra exakta kvantitativa beräkningar. Varje tunnelmynning har sina unika förutsättningar som förutom tunnelventilations- och trafikförutsättningar också beror på topografiska och meteorologiska förhållanden. Rekommendationen är därför att i efterhand bedöma behovet och nyttan med



avskiljande väggar mellan mynningarna för ut- och ingående trafik. Bedömningen bör baseras på mätningar inne i och utanför mynningen under några månader med normal driftsförhållanden.

## Referenser

- NIWA, 2008. Air Quality in and Around traffic tunnels – Systematic literature review. National Institute of Water and Atmospheric Research Ltd. 69 Khyber Pass Road, Newmarket, Auckland. PO Box 109695, Auckland, New Zealand.
- Koopmans, J.F.W., 2005. Air pollution short circuit effects of road traffic tunnel portals. Third International Symposium on, Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales, & 14th IUAPPA Regional Conference, Istanbul,, 2005.
- Brydolf, M. & Johansson, C., 2010. Avståndets betydelse för luftföroreningshalter vid vägar och tunnel-mynningar - jämförelser mellan uppmätta och beräknade halter av kväveoxider (NOx). Luftvårdsförbundet i Stockholms och Uppsala län, LVF 2010:22.
- SLB, 2006. Södra länken – Effekter på utsläpp, luftkvalitet och exponering. SLB-rapport 5:2006. SLB, Miljöförvaltningen, Stockholm.
- Johansson, C., Silvergren, S., Norman, M., Sjövall, B., 2013. Halter av partiklar och NOx i fordon i relation till omgivningsluftens halter. Underlag för skattning av trafikant exponering. SLB analys, rapport 1:2013. Miljöförvaltningen, Stockholm. [http://slb.nu/slb/rapporter/pdf8/slb2013\\_001.pdf](http://slb.nu/slb/rapporter/pdf8/slb2013_001.pdf)
- Iversen, T., 1982. Forenklet metode for spridningsberegningerved vegtunneler. NILU report OR 27/82. Norsk Institut for luftfororeningsforskning, Lilleström, Norge.
- Lövenheim, B. & Eneroth, K., 2013. Södra länkens påverkan på halterna vid skolor i Hammarby. SLB analys, Miljöförvaltningen, Stockholm.
- Bettelini, M., Brandt, R., Riess, I., 2001. Environmental aspects of tunnel ventilation. Presentation på World Tunnel Congress, AITES-ITA 2001, Milano, 10-13 juni, 2001.
- Statens Vegvesen, 2010. Vegtunneler. Handbok 021.Vegdirektoratet, Norge.<http://www.vegvesen.no/attachment/61913/binary/249783>.
- Peterson, H.G. and Tønnesen, D. (1990) A tracer investigation of traffic from the Vålerenga tunnel at Etterstad. Lillestrøm (NILU OR 39/90).
- Larssen, S., Iversen, T, Peterson, H.G., Tønnesen, D.A., 1990. Car exhaust emissions and dispersion from tunnel portals in Oslo, Norway – Verification of a prediction model. Seminarium om tunnelhantering, ekonomi, miljøoch säkerhet. Lugano, Schweiz, 26-29 nov., 1990.
- Haugsbakk, I., 2010. GranfosslinjenVurdering av luftforurensningfratunnelmunninger, NILU OR26/2010. <http://www.plan-og-bygningsetaten.oslo.kommune.no/getfile.php/plan->

[%20og%20bygningsetaten%20\(PBE\)/Internett%20\(PBE\)/Dokumenter/Files%20utlagte%20saker/2010/NILU-rapport\\_26.pdf](#)

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.

Oettl, 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.

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.

Johansson, C., Sjövall, B., & Lövenheim, B. 2005. Påverkan på omgivningens NO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> - halter av utsläppen från Södra länkens mynning vid Nynäsvägen. SLB analys, Rapport till Vägverket.



SLB analys is a department of the Environment and Health Administration. We inform about current and future air quality and make

- environmental & health assessments in urban planning
- air quality and noise measurements
- air quality dispersion calculations for evaluation of source contributions and population exposures

SLB analys is the operator of the Stockholm & Uppsala Air Quality Management Association ([www.slb.nu/elvf](http://www.slb.nu/elvf))

---

**ISSN 1400-0806**

*SLB-analys*

Environment and Health administration, Stockholm

Tekniska nämndhuset, Fleminggatan 4. Box 8136, 104 20 Stockholm

Tel +46 8-508 28 800, dir. SLB-analys +46 8-508 28 880

URL: <http://www.slb.nu>