

MÄTNINGAR AV LUFTFÖRORENINGAR, LUFTFLÖDEN OCH TRAFIK I SÖDERLEDSTUNNELN

**AUGUSTI – SEPTEMBER
1994**

Förord

Mätningar av luftföroreningar i Söderledstunneln genomfördes under vintern 1993 och följdes upp med motsvarande mätningar under sommaren 1994. Resultatet av sommarmätningarna redovisas i denna rapport.

Tillsammans med de tidigare presenterade vintermätningarna får undersökningsmaterialet anses vara komplett och heltäckande som underlag för att beskriva luftkvaliteten i dagens biltunnlar.

De uppmätta halterna har även jämförts med beräknade halter enligt Vägverkets emissionsmodell, EVA.

Undersökningen har beställts av Vägverket, Region Stockholm. Luftförorenings- och luftflödesmätningarna har utförts av Stockholms luft- och bulleranalys, Slb-analys, medan trafikmätningarna gjorts av Vägverket Produktion Öst.

Solna

Februari 1995

Innehållsförteckning

Sid

SAMMANFATTNING	4
MÄTOBJEKTET	5
MÄTNINGARNAS GENOMFÖRANDE	6
MÄTRESULTAT	8
TRAFIK.....	8
<i>Trafikmängd</i>	<i>8</i>
<i>Medelhastighet</i>	<i>10</i>
<i>Trafiksammansättning</i>	<i>11</i>
TUNNELVENTILATION	12
LUFTFÖRORENINGAR.....	13
Ozon.	13
Kväveoxider, NO _x	14
Kvävedioxid, NO ₂	16
Kolmonoxid, CO.....	18
Inandningsbart stoft, PM10.....	19
Representativitet hos NO _x -, NO ₂ - och CO- mätningarna.....	20
LUFTFÖRORENINGSMÄTNINGAR UNDER BILRESOR GENOM TUNNELN	21
TEMPERATURMÄTNINGAR UNDER BILRESOR GENOM TUNNELN	23
ANDELEN NO₂ AV NO_x.....	24
TILLÄMPNING AV EVA-MODELLENS EMISSIONSFAKTORER FÖR NO_x OCH CO PÅ SÖDERLEDS-TUNNELN	27
<i>Förutsättningar för bestämning av emissionsfaktorerna.....</i>	<i>27</i>
NO _x	28
CO	28
Omräkning av vinterperiodens, november-december 1993, NO _x -och CO-halter	29
Sammanfattande jämförelse mellan beräknade och uppmätta halter	31

Sammanfattning

I Söderledstunneln, röret för norrgående trafik, har under tiden 22 augusti- 29 september 1994 mätts kväveoxider, NO_x/NO₂, kolmonoxid, CO, ozon, O₃, och inandningsbara partiklar, PM10. Dessutom har mätts trafik- och luftflöden i tunneln.

Söderledestunneln är längsventilerad. Erforderlig luftgenomströmning skapas normalt genom fordonens kolveffekt. Vid behov kopplas impulsfläktar på för att öka luftflödet genom tunneln.

Under mätperioden passerade norrut genom tunneln i genomsnitt ca 38 000 fordon per vardagsdygn. Av dessa var ca 96% lätta fordon, ca 3% lastbilar och ca 1% bussar.

Följande halter, periodmedelvärden samt 98-, 99,5-percentiler och maxvärden baserade på timmedelvärden, har uppmätts 1 km in i tunneln under veckodagarna måndag-torsdag. (99,5-percentilen motsvarar ungefär 40:e timmen av årets vardagsdygn.)

NO _x µg/m ³				NO ₂ µg/m ³				CO mg/m ³				PM10 µg/m ³			
me-delv	98-perc	99,5-perc	maxv	me-delv	98-perc	99,5-perc	maxv	me-delv	98-perc	99,5-perc	maxv	me-delv	98-perc	99,5-perc	maxv
3099	6458	7048	7141	152	341	436	484	16,4	47	54	55	99,0	245	288	292

Avgaskoncentrationen ökar från infarten och halterna av NO_x, NO₂ och CO var 1km in i tunneln storleksmässigt 4, 3 respektive 5 gånger högre än i tunnelinfarten. Jämfört med hårt trafikerade innerstadsgator var 1 km in i tunneln NO_x-och CO-halterna av storleksordningen 5-10 gånger högre medan NO₂-och PM10-halterna var 2-3 gånger högre.

Andelen NO₂ av NO_x, baserad på emissionen från fordonen i tunneln, var 1 km in i tunneln 3,1 % som periodmedelvärde under måndag-torsdag och 12 % som högsta medelvärde per timme. Det senare värdet erhöles nattetid.

Jämfört med vintermätningarna har under sommarmätningarna halten varit något lägre i tunneln beträffande NO_x och NO₂ men något högre vad gäller CO. Åtminstone det senare förhållandet kan förklaras med den kraftigare köbildning i tunneln som observerats för sommarperioden. Beträffande PM10 har betydligt lägre halter uppmätts under sommar-än under vinterperioden vilket får anses bero på att dubbdäck ej används sommartid.

Avgasmätningar i bil har visat att avgasexponeringen vid resa genom tunneln kan reduceras kraftigt genom att minska ventilationslufttillförseln till bilen under tiden i tunneln.

Värme från fordonen åstadkommer en höjning av lufttemperaturen i tunneln. Under dagtid har en temperaturhöjning om storleksmässigt 2-4 grader uppmätts 1 km in i tunneln jämfört med tunnelinfarten.

Utgående från emissionsfaktorer enligt EVA- modellen samt uppmätta trafik-och luftflöden har halterna av NO_x och CO i tunneln beräknats och jämförts med uppmätta halter. Beräknade halter av NO_x är något lägre och av CO något högre än vad som uppmätts. Med tanke på att flera parametrar ingår i beräkningarna är överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta halter god och EVA-modellens emissionsfaktorer får anses vara verifierade i denna tillämpning.

Mätningarnas syfte

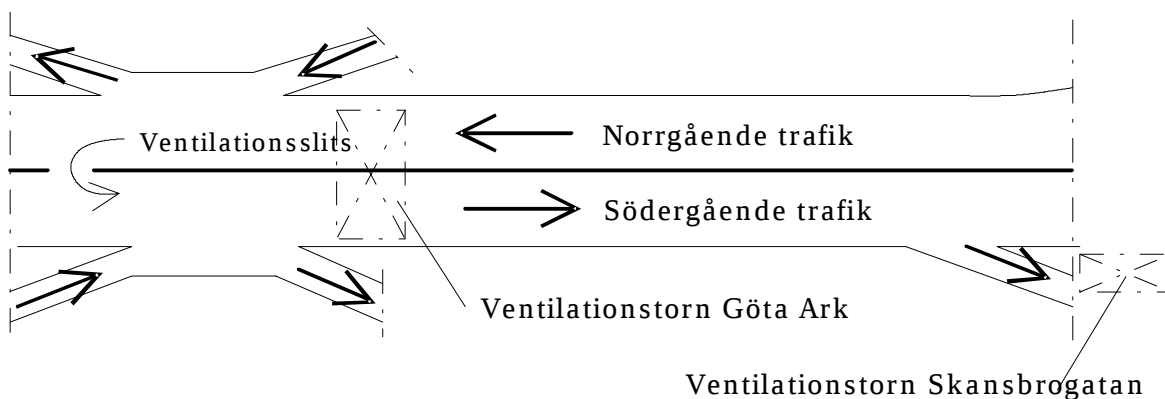
Avsikten med mätningarna, vilka är en uppföljning av de mätningar i Söderledstunneln som genomfördes under november-december 1993, vintermätningarna, var att:

- Karaktärisera trafiken i tunneln med avseende på fordonsmängder per timme och fördelning på olika fordonstyper samt medelhastighet.
- Beskriva förekommande halter av NO_x , NO_2 , CO och PM10 i tunnelluften samt temperaturdifferens tunnelluft-uteluft.
- Beskriva halten inuti bilar av NO_x , NO_2 och CO vid olika förhållanden i tunneln.
- Beskriva NO_2/NO_x -kvoten och dess beroende av olika faktorer som till exempel trafikbelastning, ventilationsluftflöde och ozonhalt i tilluften.
- Validera emissionsdata som används i EVA-modellen.

Mätobjektet

Söderledstunneln går i nordsydlig riktning under Södermalm i centrala Stockholm.

Tunneln som är cirka 1500 meter lång har två tunnelrör varav ett för trafik norrut, östra tunnelröret och ett för trafik söderut, västra röret. Båda tunnelrören har på- och avfartsramper. Tunnelns principiella utseende framgår av figur 1



Figur 1: Söderledstunneln, planskiss.

Tunneln ventileras genom att friskluft tillförs genom tillfartsmyrningar och ramper och blåses ut genom ventilationstorn, utfartsmyrningar och ramper. Ventilationen, som sker enligt principen för längsventilation, hålls normalt igång genom fordonens kolvverkan. Vid behov kopplas impulsfläktar i tunnelrören på.

När avgashalten är låg släpps ventilationsluften ut direkt genom utfartsmynningarna. Om avgashalten överstiger en fastställd nivå, alternativt efter visst tidsschema, styrs ventilationsfläktarna så att tunnelluften blåses ut genom ventilationstornen i kvarteret Göta Ark och vid Skansbrogatan.

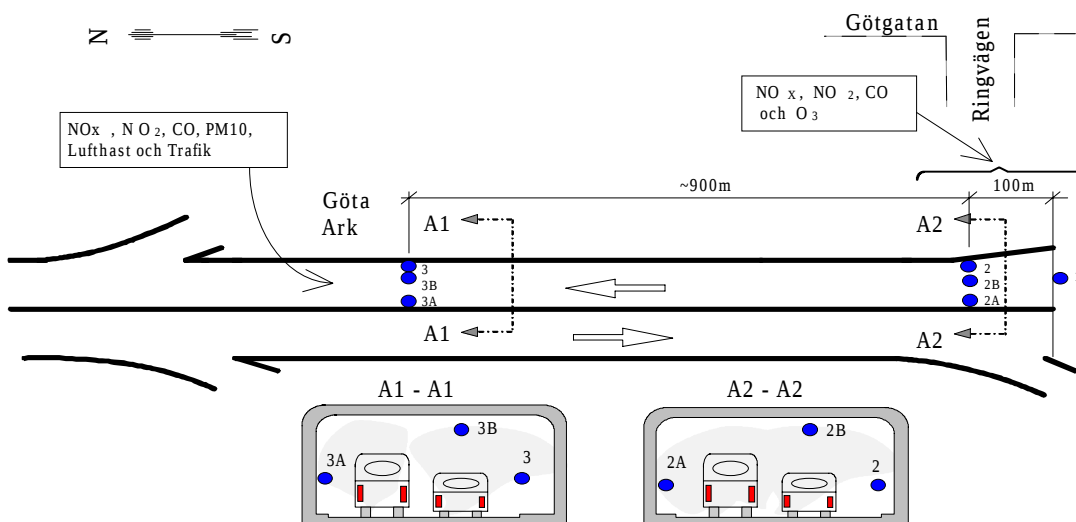
För att motverka luftutsläpp via norra utfartsmynningen finns cirka 100 meter före mynningen en slits i väggen mellan tunnelrören. Denna möjliggör överströmning av luft från östra till västra tunnelröret så att norrgående luftström här vänder söderut mot avsuget vid Göta Ark.

Mätningarnas genomförande

Luftförorenings- och lufthastighetsmätningarna genomfördes under tiden 22/8-27/9 1994 med två av Slb-analys' mobila mätstationer. Trafikmätningarna gjordes under större delen av perioden.

Mätningarna av luftföroreningar gjordes dels i tunnelmynningen dels 0,1 km in och dels 1 km in i tunneln. I samtliga tunneltvärsnitt mättes kväveoxider (NO_x/NO_2) och kolmonoxid (CO). Dessutom mättes i tunnelmynningen och 100 m in i tunneln ozon (O_3) och 1 km in i tunneln inandningsbara partiklar (PM_{10}). På den senare platsen mättes också lufthastighet och trafik.

I tunnelmynningen var mätsonden placerad hängande ca 1 m ned från tunneltaket, mätpunkt 1. I tvärsnitten 100 m och 1 km in i tunneln var en mätsond placerad intill höger körfält ca 1,5 m över körbanan, mätpunkt 2 respektive 3 och en mätsond placerad på motsatta sidan av tunnelröret intill vänstra körbanan på ca 1,7 m höjd, mätpunkt 2:A respektive 3:A. I dessa tvärsnitt var också en mätsond placerad ca 1 m ned från tunneltaket, mätpunkt 2:B respektive 3:B. Placeringen av punkterna 1, 2 och 3 var den samma som under vintermätningarna. Mätpunkter och mätkomponenter framgår av figur 2.



Figur 2: Mätpunkter och mätkomponenter.

Samtliga komponenter har mätts kontinuerligt med entimmesupplösning. I punkterna 1, 2 och 3 mättes luftföroreningar under hela mätperioden. I mätpunkterna 2:A och 3:A gjordes mätningar under periodens första hälft och i punkterna 2:B och 3:B under dess andra. Lufthastighet mättes under hela perioden.

Använd utrustning för luftförorenings-och lufthastighetsmätningarna framgår av tabell 1.

Tabell 1: Använd mätutrustning.

Mätkomponent	Instrument	Mätprincip
Kolmonoxid, CO	Thermo Electron 48 Monitor Labs 8310	IR-absorbtion IR-absorbtion
Kväveoxider, NO_x , NO_2	Environnement S.A, AC30M Environnement S.A, AC31M	Chemiluminiscens Chemiluminiscens
Ozon, O_3	CSI 2000	Chemiluminiscens
Partiklar, PM10	Rupprecht&Patashnick TEOM 1400	—
Lufthastighet	Windmaster	Skålkorsanemometer

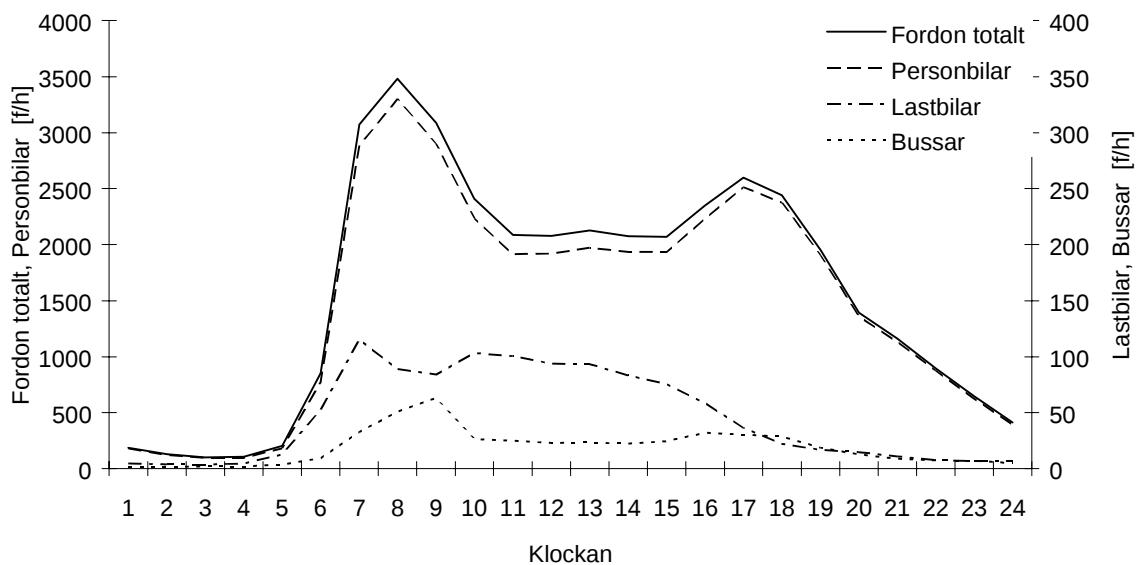
Mätresultat

Trafik

Trafikmängd

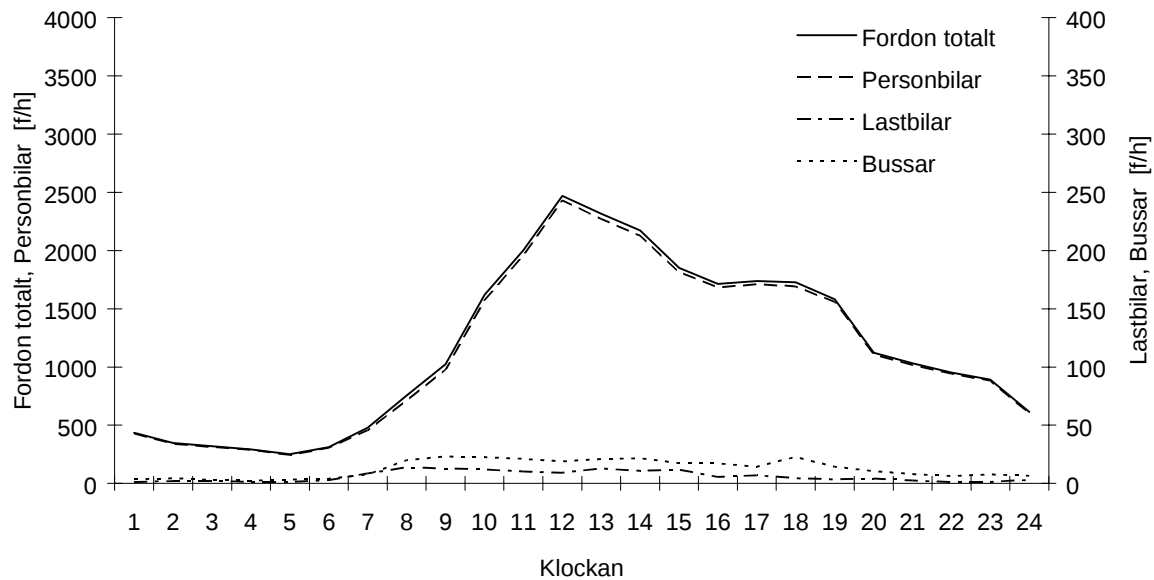
Trafikrytmen är oftast jämn i tunneln. På vardagar, vid 7-9-tiden, uppstår dock ofta köer vid infarten till och i tunneln. Långsamt rullande och tidvis stillastående trafik förekommer då också i hela tunnelröret.

Trafikens dygnsvariation i tunneln framgår av figurerna 3, 4 och 5.



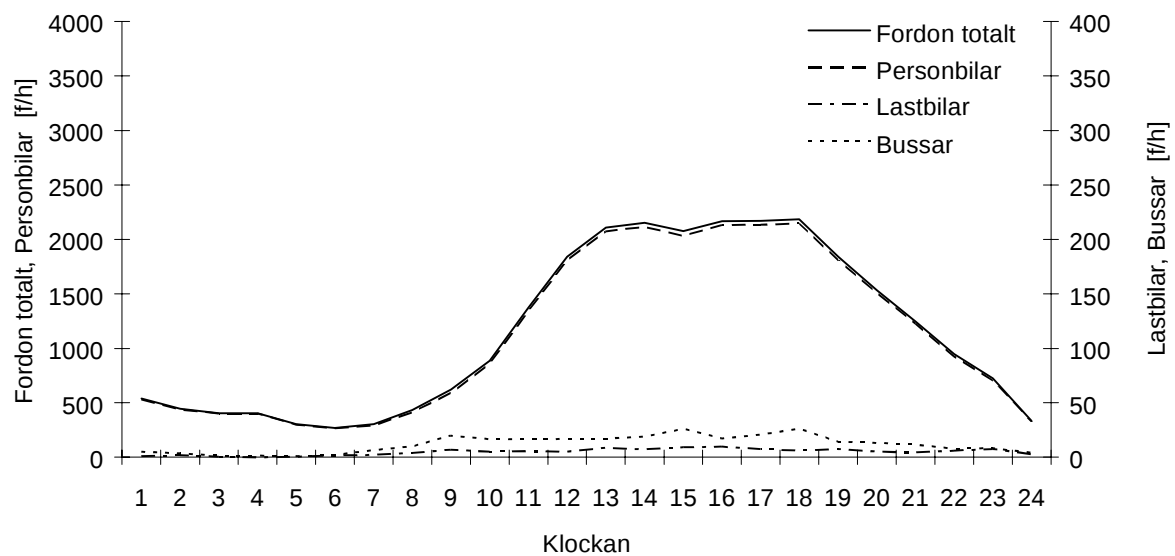
Figur 3: Genomsnittlig trafikrytm, måndag-torsdag.

Under måndag - torsdag uppvisar alla fordonskategorier en tydlig morgontopp. För lastbilar inträffar denna vid 6-7 -tiden, för personbilar vid 7-8 -tiden och för bussar vid 8-9 -tiden. Personbilar har också en eftermiddagstopp vid 16-17 -tiden. Måndagar- torsdagar trafikeras tunnelröret av totalt ca 38 000 fordon i genomsnitt. Mellan kl. 06 och 20 inträffar 83,5 % av vardagsdygnets samtliga fordonspassager.



Figur 4: Genomsnittlig trafikrytm, lördagar.

För lördagar ses beträffande personbilarna en markerad topp mitt på dagen och en mindre topp framåt kvällen. Lastbilar och bussar uppvisar mer jämn trafikmängd under dagen. Norrgående tunnelrör trafikeras under lördagar av i genomsnitt 28 000 fordon.

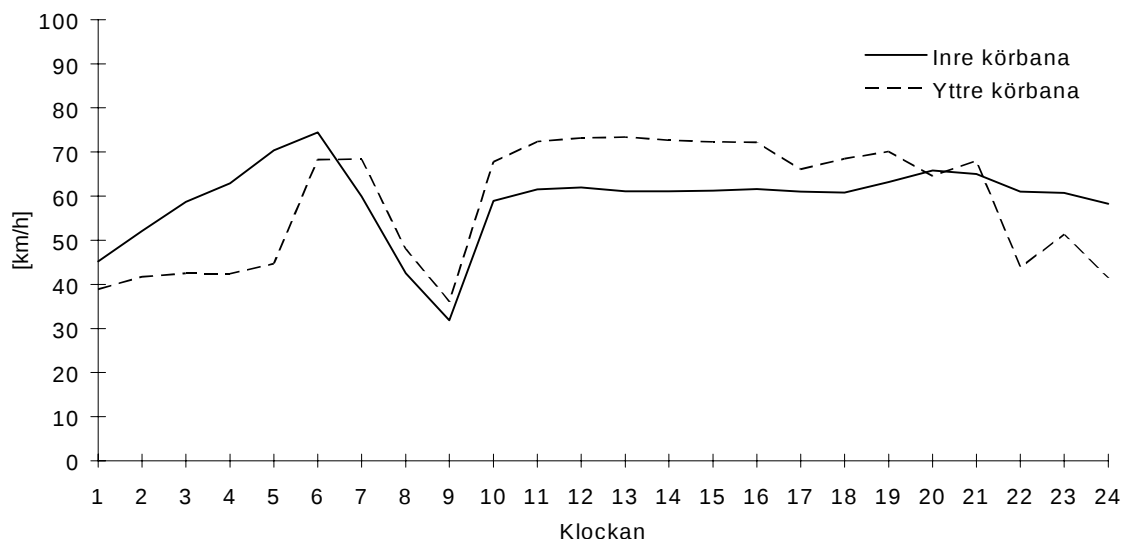


Figur 5: Genomsnittlig trafikrytm, söndagar.

Söndagstrafiken saknar markerade toppar vad gäller samtliga fordonskategorier. Totala antalet fordon per söndagsdygn är i genomsnitt 27 300.

Medelhastighet

Personbilstrafikens genomsnittliga medelhastighet på de två körbanorna under vardagsdygnet måndag-torsdag visas i figur 6.



Figur 6: Genomsnittlig dygnsrytm för personbilarnas medelhastighet, måndag-torsdag.

Medelhastigheten varierar under dagtid kl 06-20 mellan drygt 60 och drygt 70 km/h bortsett från rusningstid, då hastigheten sjunker till mellan 30 och 40 km/h. Detta i samband med köbildning i tunneln. Trafiken i den yttre körbanan har under dagtid en något högre medelhastighet än i den inre. Efter kl 21 sjunker hastigheten i båda körbanorna men börjar efter midnatt att öka fram till kl 06. Medelhastigheten är nattetid högst i den inre körbanan. Att hastigheten sjunker under lågtrafiktid och då är högst i den inre körbanan är svårt att förklara och är tvärt emot erfarenheterna från vintermätningarna. Då ökade hastigheten under natten och var under hela dygnet högst i den yttre körbanan.

Trafiksammansättning

Fördelning på fordonskategorier i procent av totalantalet fordon visas i tabell 2.

Tabell 2: Olika fordonskategoriers andel av totaltrafiken, %.

Fordonsslag	Måndag - torsdag		Lördag	Söndag
	kl. 01 - 24	kl. 06 - 20	kl. 01 - 24	kl. 01 - 24
Personbilar+lätta lastbilar och bussar	94,6	94,4	98,0	98,1
Personbilar med släp	1,0	1,0	0,4	0,4
Lastbilar (axelavst. >3,3 meter)	2,9	3,1	0,5	0,4
Lastbilar med släp	0,3	0,3	0,02	0,04
Bussar	1,2	1,2	1,1	1,1
Övriga	0,01	0,01	0,01	0,02

Andelen personbilar och lätta lastbilar och bussar är störst under lördagar och söndagar, tillsammans cirka 98 % och lägst under vardagar dagtid kl 06-20, ca 94 %. Lätta lastbilars och bussars andel utgör erfarenhetsmässigt ca 5 % av totaltrafiken dagtid under vardagar. Lastbilsandelen ligger runt 3 % under vardagar men är endast cirka 0,5 % under lördagar och söndagar. Andelen bussar är cirka 1 % under alla veckodagar.

Katalysatorrenade personbilars andel i tunneln under mätperioden har bestämts genom manuell notering av registreringsnummer och efterföljande kontroll hos bilregistret av avgasreningsutrustning. Andelen personbilar med katalysator uppgick till ca 50%.

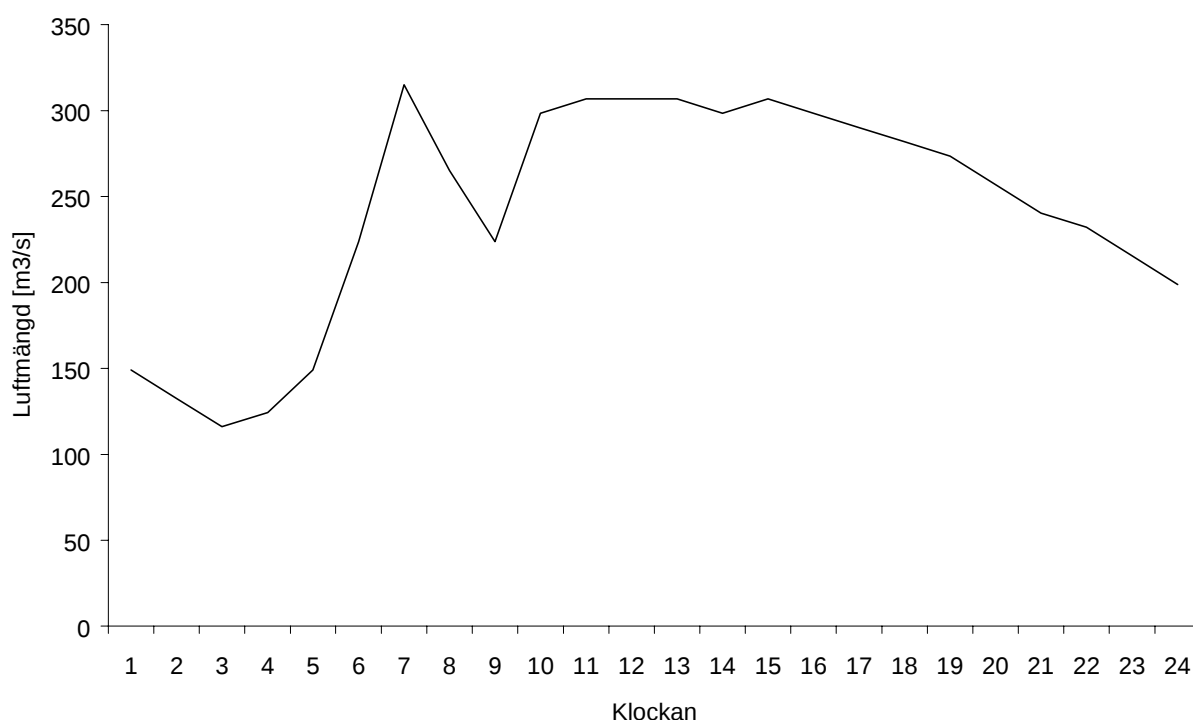
Jämfört med förhållandena under vintermätningarna var sommarens fordonsmängd per dygn i tunneln ca 3 % lägre under måndagar-torsdagar och söndagar och ca 6 % lägre under lördagar. Vidare var andelen tunga fordon något högre under sommarmätningarna. Under sommarmätningarna förekom på morgonen också mycket kraftigare köbildning i tunneln jämfört med vintermätningarna. Medelhastighetsförloppen måndag-torsdag var under sommarmätningarna i god överensstämmelse med vintermätningarnas under dagtid men dålig nattetid. Under vinterperioden var hastigheten högre nattetid än dagtid på båda körbanorna och hastigheten var genomgående högst i den yttre körbanan. Ett sådant förlopp förefaller mer troligt än vad som erhöles under sommaren.

Tunnelventilation

Luftomsättningen i tunneln är av stor betydelse för luftföroreningshalten. Luftflödet påverkas av trafikens mängd, sammansättning och hastighet. Fordonens kolveffekt är oftast tillräcklig för att ombesörja tillräcklig lufttransport i tunneln. Kortvarigt, företrädesvis under högtrafiktid, måste emellertid ventilatinssystemet kopplas på. Luftflödet är hela tiden, även nattetid, riktat norrut, det vill säga i trafikriktningen.

Lufthastigheten i tunnelröret har mätts vid mätpunkt 3. Med hjälp avspårgasmätning med svavelhexafluorid som spårgas har sambandet mellan lufthastighet och luftflöde fastställts.

Ventilationsluftflödet genom tunnelröret måndag-torsdag baserat på lufthastighetsmätningarna framgår av figur 7.



Figur 7: Genomsnittligt luftflöde, dygnsrytm måndag-torsdag.

Luftflödet påverkas av trafigmängd och trafikens hastighet. Samvariationen med trafikens hastighet är tydligt på morgonen. När trafikens medelhastighet börjar minska under morgonrusningen, så börjar även luftflödet att avta. Detta trots att trafikmängden fortfarande är stor. Därefter ökar luftflödet i takt med att trafikens hastighet åter ökar samtidigt som trafikmängden per timme minskar.

Jämfört med vintermätningarna så är sommarmätningarnas luftflöde genom tunnelröret oförändrat.

Luftföroreningar

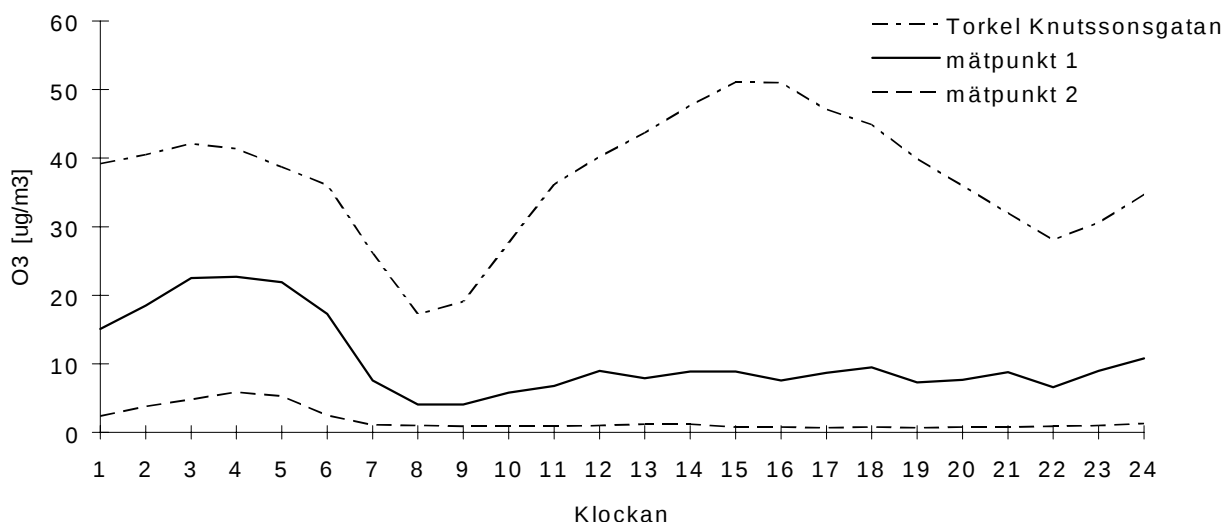
Ozon.

Ozon i uteluften oxiderar kvävemonoxid, NO, till kvävedioxid, NO₂. Därvid ökar NO₂-halten i luften medan ozonhalten minskar.

Kväveoxiderna i fordonens avgasrör föreligger till övervägande del som NO. Andelen NO₂ är oftast liten. Ozon i ventilationsluften till tunneln kan tänkas öka NO₂-andelen och därmed höja NO₂-halten i tunneln.

Ozonhalten i stadsluften är starkt beroende av halten i den luft som tillförs staden utifrån, "friskluften". Allteftersom stadens egna utsläpp av ozonförbrukande ämnen, främst kvävemonoxid, blandas in i "friskluften" sjunker ozonhalten. Ju mera kvävemonoxid som släpps ut desto större ozonförbrukning och vanligen lägre ozonhalt. Därför uppvisar ozonhalten i stadsluften normalt en dygnsrytm med ökande halt under natten och minskande halt under högtrafiktid på morgonen och eftermiddagen. Dessutom finns en årstidsvariation för ozon med högst halt under vår och sommar.

I figur 8 visas ozonhaltens genomsnittliga variation under dygnet måndag-torsdag i mätpunkt 1 och 2. För jämförelse med förhållandena i stadsluften i stort visas också ozonhalten från mätstationen vid Torkel Knutssonsgatan på Södermalm, ca 1,5 km från tunnelinfarten. Mätningarna görs här ca 20 m över mark.



Figur 8: Genomsnittlig dygnsrytm, måndag - torsdag.

Ozonhalten dagtid måndag-torsdag varierar genomsnittligt i mätpunkt 1 runt 8 µg/m³ och i mätpunkt 2 runt 1 µg/m³. Nattetid ökar halten i båda punkterna och är högst vid 4-5 tiden, ca 23 resp ca 6 µg/m³. Genomsnittshalten i tunnelinfarten blev 10,4 µg/m³ och 100 m in i tunneln 1,7 µg/m³. Motsvarande högsta timmedelvärden blev 58 och 25 µg/m³. Ozonhalten reduceras således kraftigt mellan tunnelinfarten och 100 m in i tunneln särskilt under dagtid vilket indikerar att kvävemonoxid snabbt omvandlas till kvävedioxid i tunneln.

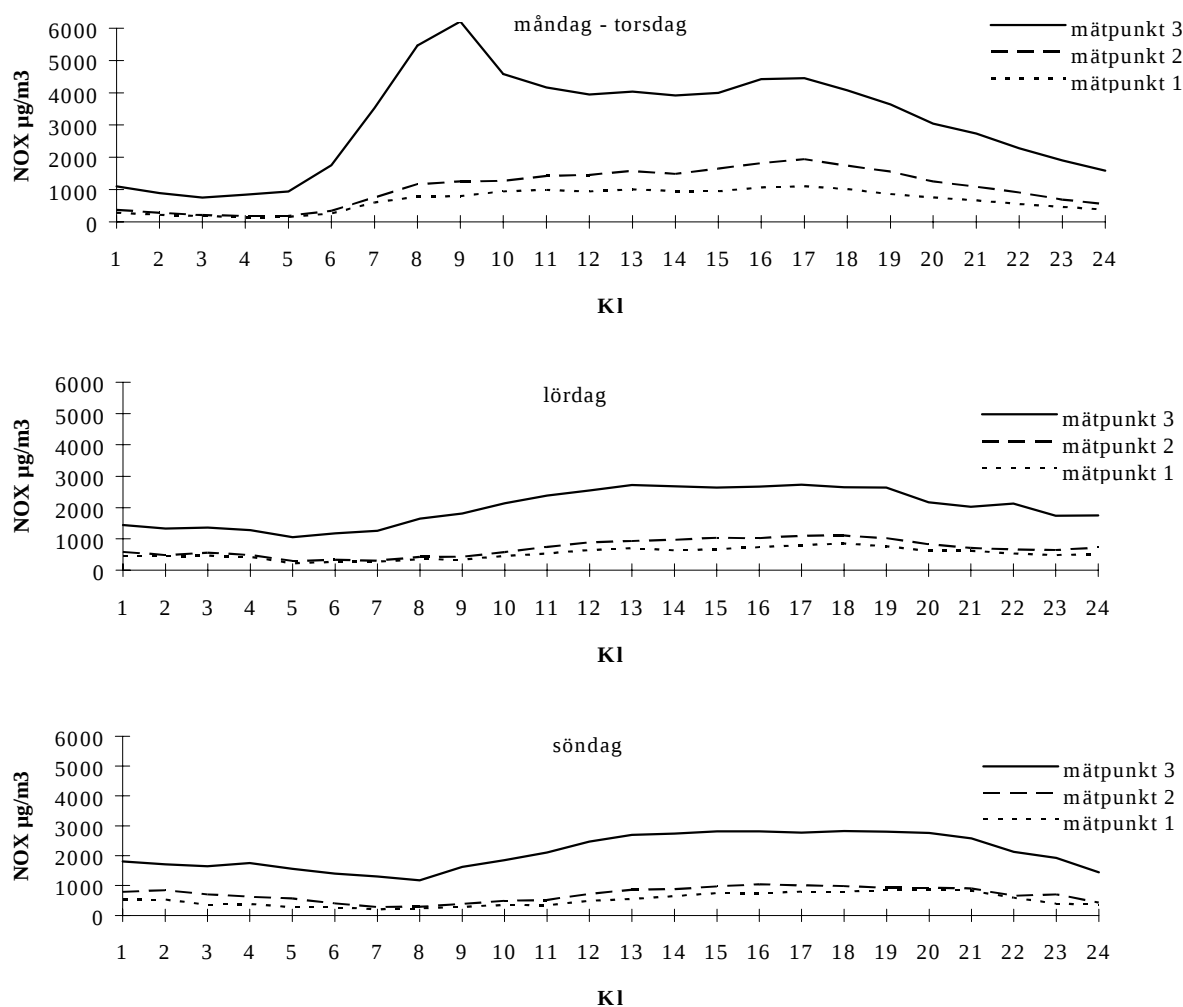
Ozonhalten i taknivå vid Torkel Knutssonsgatan är nattetid ca 2 gånger och dagtid upp till 5 gånger

högre än i tilluften till tunneln. Nattetid, då kväveoxidutsläppen är små ökar ozonhalten i taknivån på samma sätt som i trafikmiljön. När trafiken på morgonen ökar så minskar ozonhalten vid Torkel-Knutssongatan i likhet med i mätpunkt 1 och 2. Under dagtid, efter morgonens trafiktopp, ökar ozonhalten vid Torkel Knutssongatan kraftigt medan endast en svag ökning ses vid tunnelinfarten och knappast någon ökning alls 100 m in i tunneln. Ozonet förbrukas således så snabbt i trafikmiljön att halten i tilluften till tunneln förblir blir låg även när ozonhalten i stadsluften i övrigt ökar.

Jämfört med förhållandena under vintermätningarna så är ozonhalten i tilluften till tunneln under sommarmätningarna nattetid ca 2 gånger högre och dagtid ca 10 gånger högre. Potentialen för kvävedioxidbildning i tunnelluften har således varit större under sommar-än under vintermätningarna, särskilt dagtid.

Kväveoxider, NO_x

I figur 9 visas för kväveoxider haltvariationen under dygnet i mätpunkterna.



Figur 9: Genomsnittlig dygnsrytm, NO_x .

NO_x-halten har i mätpunkt 3 en dygnsvariation som i huvudsak följer totaltrafikens. Under måndag-torsdag ses markerade morgon-och eftermiddagstoppar. Morgontoppen inträffar emellertid inte samtidigt som trafikens topp utan en timme senare, kl 8-9. NO_x-halten når således sitt högsta värde samtidigt som lufthastigheten i tunneln når sitt lägsta värde under morgonrusningen. Detta inträffar när trafikens medelhastighet är lägst till följd av köbildning. Kombinationen stor trafikmängd och låg luftomsättning i tunneln ger då hög NO_x-halt. På eftermiddagen då luftgenomströmningen i tunneln är förhållandevis stor inträffar NO_x-och trafiktopparna samtidigt. I mätpunkterna 1 och 2 är under måndag-torsdag överensstämmelsen med trafiken i tunneln mindre. Halten av NO_x är i dessa mätpunkter således starkt påverkad av även andra källor än trafiken i tunneln, t.ex. av trafiken på Ringvägen och av utsläppen från södergående trafiks tunnelrör.

I tabell 3 sammanfattas resultatet av NO_x-mätningarna.

Tabell 3 : Resultat av NO_x-mätningarna, µg/m³.

Mätpunkt	Måndag-torsdag				Lördag		Söndag	
	medelv.	98- perc.	99,5-perc.	maxv.	medelv.	maxv.	medelv.	maxv.
1	672	1516	1627	1894	531	1187	520	1532
2	1056	2402	2770	2884	707	1665	708	1601
3	3099	6458	7048	7141	1998	3558	2124	3290

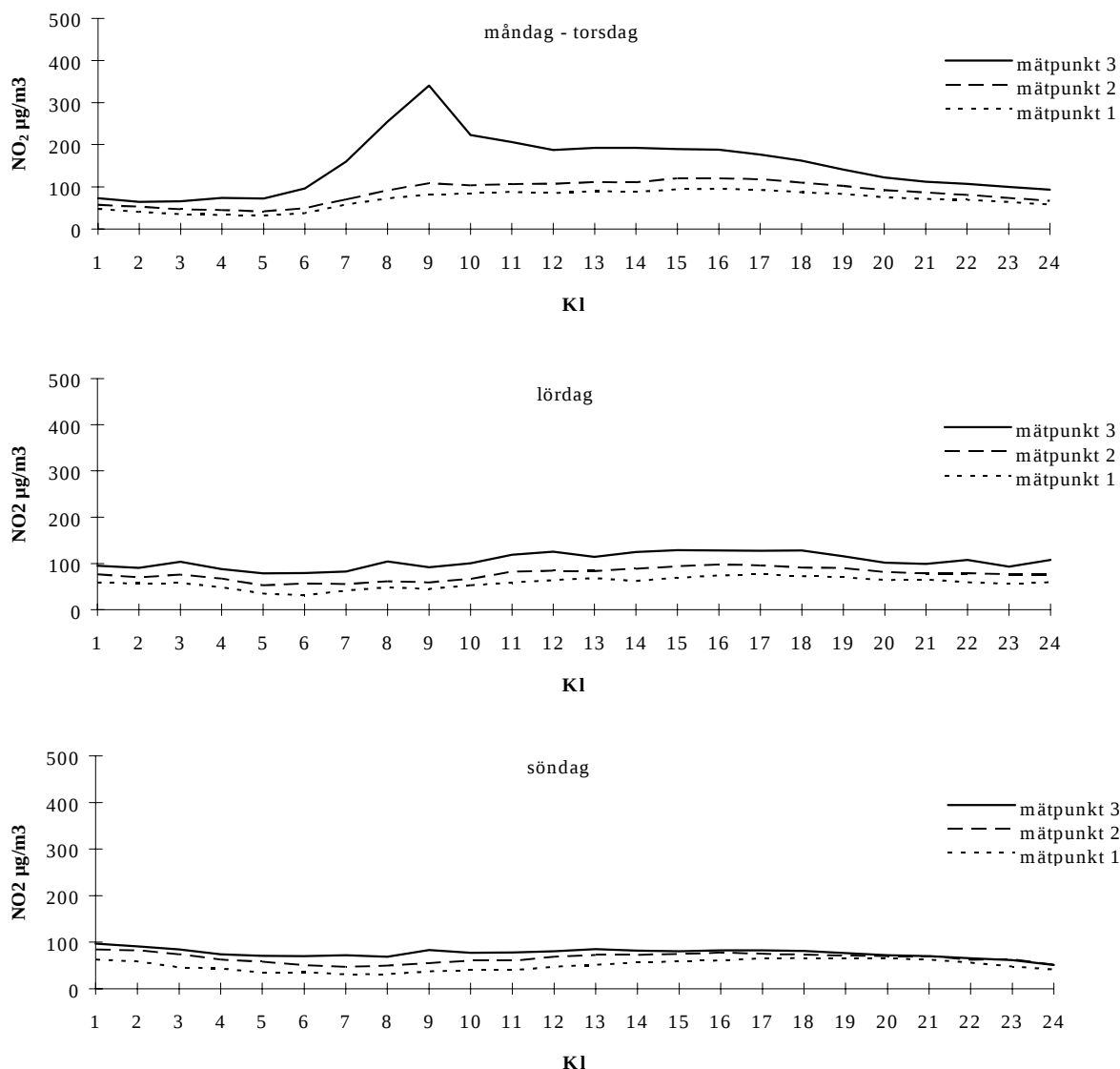
Av tabell 3 framgår att NO_x-halten 1 km in i tunneln, mätpunkt 3, är storleksmässigt 3-4 gånger högre än i tunnelinfarten, mätpunkt 1.

För att få perspektiv på uppmätta NO_x-halter kan nämnas att i trafikmiljö vid Sveavägen 59 uppmättes under år 1993, måndag-torsdag, 176 µg/m³ som medelvärde, 548 µg/m³ som 98-percentil och 1209 µg/m³ som maxvärde.

Jämfört med vintermätningarna kan konstateras att sommarmätningarnas NO_x-halt sett som medelvärde och 98-percentil under måndag-torsdag är 15 % respektive 9 % högre i tunnelinfarten och 10 % respektive 4 % lägre 1 km in i tunneln.

Kvävedioxid, NO₂

I figur 10 visas kvävedioxidhaltens variation vid mätpunkterna.



Figur 10: Genomsnittlig dygnsrytm, NO₂.

NO₂-halten uppvisar generellt sett ingen tydlig samvariation med trafiken i tunneln. Endast för mät punkt 3 måndag-torsdag ses ett samband i form av en tydlig morgontopp som inträffar kl 8-9 då trafikmängden är stor och luftflödet lågt genom tunneln. På eftermiddagen saknas dock den för trafiken markerade toppen. För de båda övriga mät punkterna ses under måndag-torsdag liten samvariation mellan NO₂-halt och trafik i tunneln. Andra källor, vilka påverkar NO₂-halten i tilluften till tunneln, dominerar i dessa mät punkter.

I tabell 4 sammanfattas NO₂-mätningarna i de tre mätpunkterna.

Tabell 4: Resultat av NO₂-mätningarna, µg/m³.

Mätpunkt	Måndag - torsdag				Lördag		Söndag	
	medelv.	98-perc.	99,5-perc.	maxv.	medelv.	maxv.	medelv.	maxv.
1	70	122	130	155	59	86	50	88
2	87	152	161	176	77	108	66	97
3	152	341	436	484	102	160	77	122

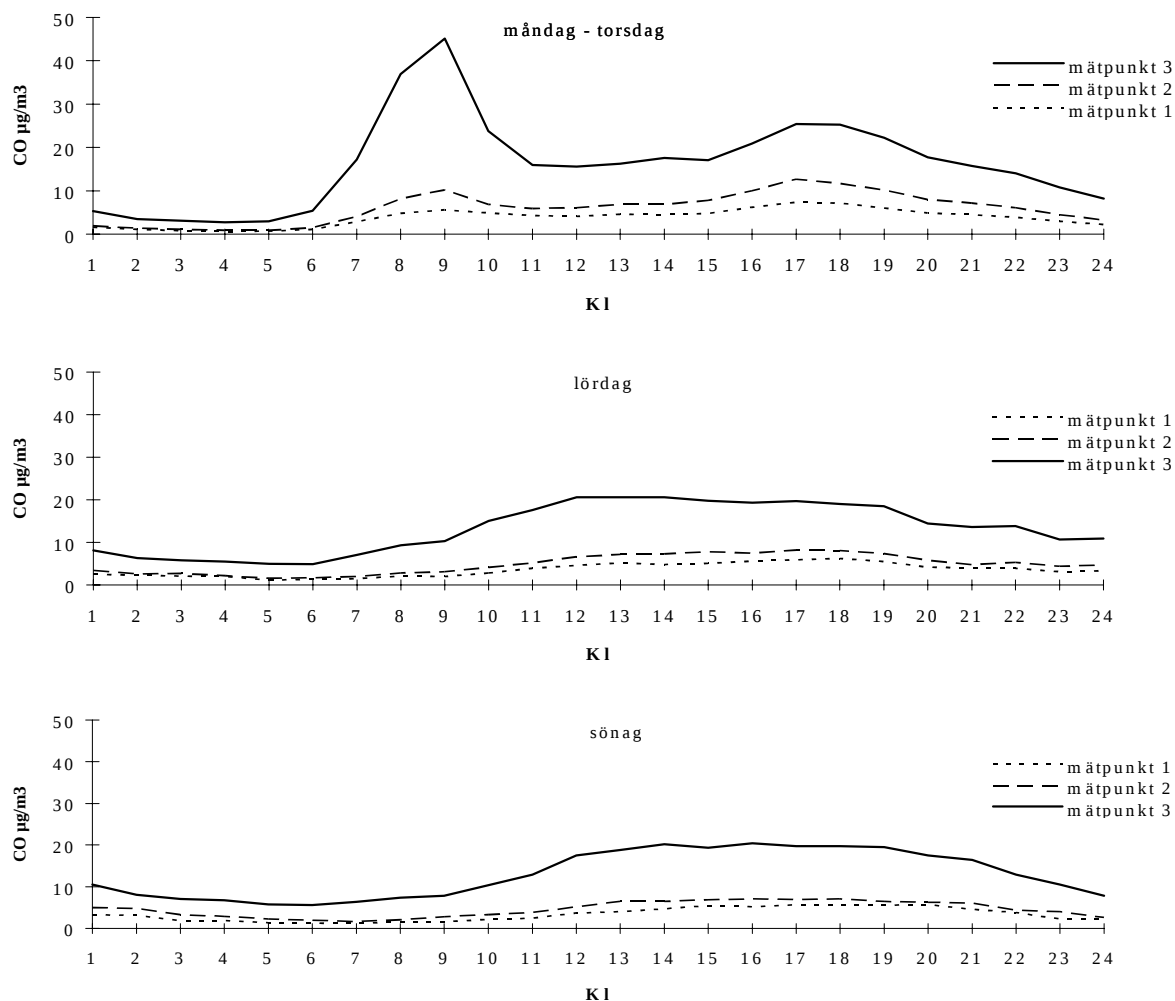
Av tabell 4 framgår att NO₂- halten 1 km in i tunneln, mätpunkt 3, är av storleksordningen 2-3 gånger högre än i tunnelinfarten.

I relation till andra trafikmiljöer är NO₂- halten i mätpunkt 3 hög. Jämförelser kan göras med mätningar i trafikmiljö vid Sveavägen 59. Här uppmättes under år 1993, måndag-torsdag som medelvärde, 98-percentil respektive maxvärde 49, 100 och 164 µg NO₂/m³.

Jämfört med vintermätningarna i tunneln så är sommarens NO₂-värden så gott som genomgående lägre. I både tunnelinfarten och 1 km in i tunneln är för måndag-torsdag medelvärdet ca 20 % och 98-percentilen ca 10 % lägre.

Kolmonoxid, CO

I figur 11 visas kolmonoxidhaltens variation i de tre mätpunkterna.



Figur 11: Genomsnittlig dygnsrytm, CO.

CO- halten uppvisar i samtliga mätpunkter ett förlopp som i huvudsak motsvarar personbilstrafikens i tunneln. Samvariationen ses särskilt tydligt för måndag-torsdag med en tydlig morgontopp kl 8-9 då trafiken är intensiv i tunneln och ventilationsluftflödet lågt samt en tydlig topp även på eftermiddagen.

I tabell 5 sammanfattas resultatet av CO- mätningarna i de tre mätpunkterna.

Tabell 5: Resultat från CO- mätningarna, mg/m³.

Mätpunkt	Måndag- torsdag				Lördag		Söndag	
	medelv.	98-perc.	99,5-perc.	maxv.	medelv.	maxv.	medelv.	maxv.
1	3,8	9,3	10	11	3,5	8,5	3,4	9,5
2	6,1	14	18	19	4,9	13	4,6	10
3	16,4	47	54	55	13,2	27	12,9	28

CO-halten är 1 km in i tunneln, mätpunkt 3, storleksmässigt 4-5 gånger högre än i tunnelinfarten,

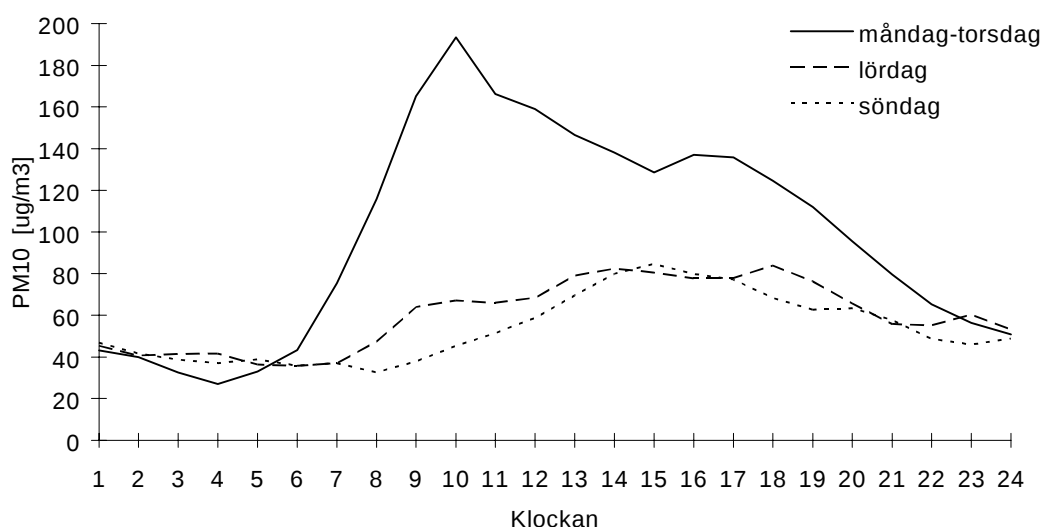
mät punkt 1.

Jämförelser kan göras med CO-halten i andra trafikmiljöer. Vid Sveavägen 59 var under år 1993, måndag-torsdag, medelvärdet, 98-percentilen och maxvärdet 2, 7 respektive 12 mg/m³.

I relation till vintermätningarna så är CO-halten under sommarens mätningar vad gäller period-medelvärde och 98-percentil måndag-torsdag oförändrad i tunnelinfarten och 5 % respektive 15 % högre 1 km in i tunneln.

Inandningsbart stoft, PM10

I figur 12 visas den genomsnittliga variationen av PM10 under veckans dagar.



Figur 12: Genomsnittlig dygnsrytm, PM10.

PM10-halten följer i princip trafikrytmen. Halten sjunker under natten och börjar öka på morgonen, när trafiken kommer igång.

Resultatet av PM10-mätningarna sammanfattas i tabell 6.

Tabell 6: Resultat av PM10-mätningarna, µg/m³.

Måndag - torsdag				Lördag		Söndag	
medelv.	98-perc.	99,5-perc.	maxv.	medelv.	maxv.	medelv.	maxv.
99	245	288	292	60	142	54	176

Som jämförelse kan nämnas att på Hornsgatan var under 1992, måndag-torsdag, för PM10 medelvärdet 34, 98-percentilvärdet 148 och maxvärdet 464 µg/m³.

Jämfört med vintermätningarna är sommarmätningarnas PM10-värden betydligt lägre. Grovt räknat är sommarperiodens medelvärde och 98-percentil för måndag-torsdag endast 20 % respektive 25 % av vinterperiodens. Sommarperiodens lägre PM10-halt får tillskrivas minskad partikelbildning i tunneln från slitage på vägbanan jämfört med förhållandena under vintern då dubbdäck används och slitaget är stort.

Representativitet hos NO_x-, NO₂- och CO- mätningarna

För de utvärderingar som görs i det följande och som bygger på öknings av NO_x-, NO₂- och CO-halten i tunneln, är det viktigt att uppmätta halter är representativa för luften som genomsrömmar respektive tunneltvärsnitt

I syfte att kontrollera representativiteten hos uppmätta halter har vid mätplatserna 100m och 1 km in i tunneln parallellt med mätningarna i punkterna 2 och 3 gjorts mätningar i ytterligare två punkter i tunneltvärsnittet. Dessa mätningar har genomförts dels i en punkt vid tunnelväggen på motsatta sidan av tunnelröret, mätpunkt 2:A respektive 3:A och dels i en punkt ca 1 m under tunneltak, mätpunkt 2:B respektive 3:B, se figur 2. I infarten till tunneln var mätningar i flera punkter ej möjliga av tekniska skäl.

Parallellmätningarna visar att i tunneltvärsnittet 100 m in i tunneln är NO_x- och CO- halterna genomgående ca 20% högre och NO₂-halten ca 8 % högre i både punkt 2:A och 2:B jämfört med i mätpunkt 2. Representativa halter för hela tunneltvärsnittet kan därför antas vara högre än vad som uppmätts i punkt 2. Halter som hyggligt representerar hela det aktuella tunneltvärsnittet erhålles därför genom att räkna upp värdena i mätpunkt 2 med 15 % för NO_x och CO samt med 5 % för NO₂.

På mätplatsen 1 km in i tunneln däremot är skillnaderna i halter mellan samtliga mätpunkter små, endast ett par procent för samtliga komponenter. Halterna i mätpunkt 3 är därför representativa för hela tunneltvärsnittet.

För att bekräfta kvaliteten på kväveoxidmätningarna har i mätpunkt 3 vid sidan av de ordinarie mätningarna med chemiluminiscensinstrument använts en DOAS-utrustning. Denna har tillhandahållits och installerats av tillverkaren OPSIS AB i Lund. Överensstämmelsen mellan instrumentens mätvärden har varit mycket god för både NO_x och NO₂. Båda instrumenten har således visat så gott som identiska periodmedelvärden och korrelationen mellan instrumentens mätvärden har varit hög, en korrelationskoefficient om 1,00 för NO_x och om 0,96 för NO₂

Luftföroreningsmätningar under bilresor genom tunneln

Halten av NO_x , NO_2 och CO har mätts omväxlande utanför och i bil vid upprepade resor norrut genom tunneln. Resorna har gjorts den 14 och 16 september dels under morgonens högtrafik dels under lågtrafiktid mitt på dagen. För ändamålet har använts en Volvo 245 av 1992-års modell.

En mätsond var placerad utanför bilen framtill i höjd med motorhuven ca 0,8 m över mark. En annan sond placerades inuti bilen ovanför instrumentbrädan, nära förarens andningszon. Bilens ventilationsluft kom därmed att blåsa i det närmaste direkt på den senare mätsonden.

Bilens ventilationsreglage kan ställas i flera lägen för att variera ventilationsluftmängden. Dessutom finns ett läge för recirkulation. I detta läge är tilluftsmängden reducerad och luften i kupén recirkuleras. Vid körningarna i tunneln har fläktreglaget stått i läge 2 alternativt i läget för recirkulation.

Erfarenheterna från mätningarna vid körning i tunneln är att luftföroreningsförhållandena såväl utanför som i bilen kan påverkas kraftigt av den tillfälliga trafiksituationen i tunneln under resan. Vid vissa tillfällen, när bilen t ex blivit omkörd av eller kommit att ligga omedelbart bakom en större lastbil har kväveoxidhalterna tillfälligt ökat markant. Om istället avståndet till framförvarande bilar hållits förhållandevis stort har halterna varit lägre.

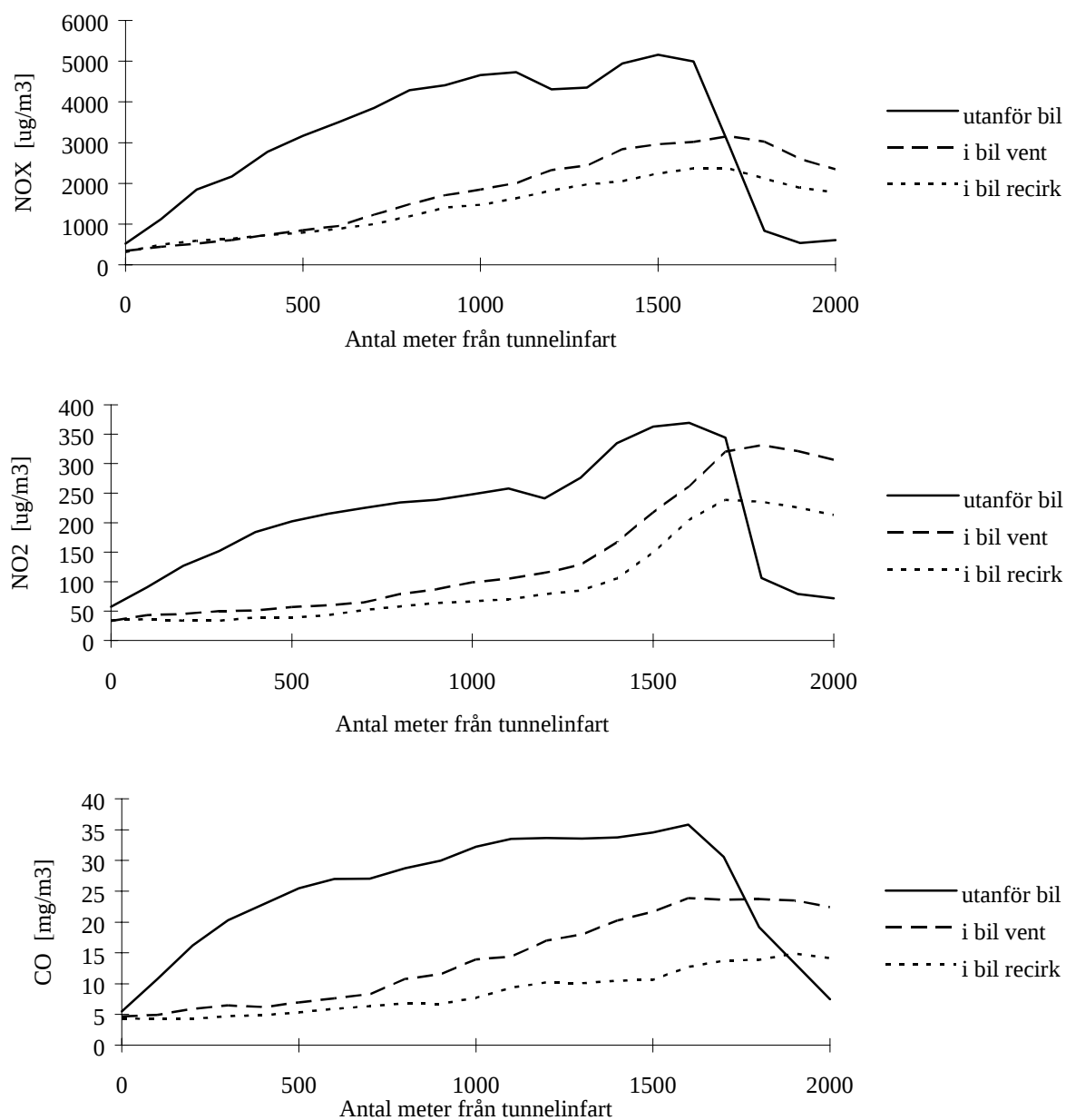
I figur 13 visas det genomsnittliga förloppet för NO_x -, NO_2 - och CO-halterna i och utanför bilen vid resorna genom tunneln. Vertikala axeln anger koncentrationen och horisontella axeln avståndet från tunnelinfarten vid Ringvägen, där 0 m motsvarar infarten och 1500 m utfarten vid Söder Mälarstrand.

Gemensamt för de tre genomsnittliga haltförloppen är att halterna ökar i stort sett kontinuerligt från infart till utfart såväl utanför som i bilen. Förloppen är i allmänhet snabbare utanför bilen än inuti.

Vid slutet av tunneln är halten av samtliga komponenter klart lägre i bilen jämfört med utanför.

Med ventilationsfläkten igång är vid tunnelns slut, 1500 m, halten av samtliga ämnen i genomsnitt 30-40 % lägre i bilen än utanför. Med fläktreglaget i recirkulationsläge är halten i bilen för de tre komponenterna lägre än hälften av halten utanför bilen. Detta ventilationssätt innebär dock att luftföroreningshalten i bilen klingar av långsammare än vid normal ventilation

Ett sätt att minska exponeringen för bilavgaser vid resa genom trafiktunneln är således att hålla bra avstånd till framförvarande fordon samt att minska tilluftsmängden till kupén under tiden i tunneln och att därefter öka tilluften.



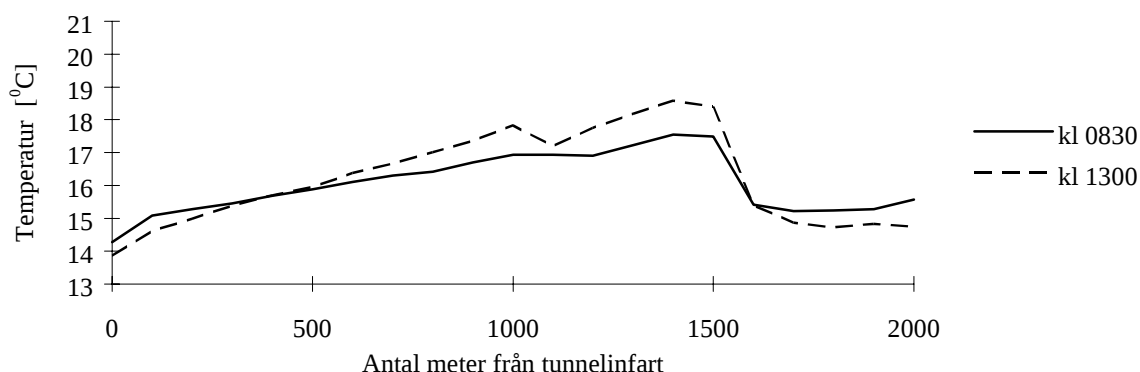
Figur 13: Genomsnittligt haltförlopp.

Temperaturmätningar under bilresor genom tunneln

Fordonen värmer upp luften vid passage genom en trafikunnel. För avgasspridningen från trafiktunnlars ventilationstorn är ventilationsluftens övertemperatur relativt uteluftens av stor betydelse.

Lufttemperaturen i tunneln har mätts under upprepade bilresor norrut den 14 och 16 september dels under morgonens rusningstrafik dels mitt på dagen. Termometern var placerad i höjd med bilens tak, ca 1,5 m över körbanan.

Resultatet från temperaturmätningarna visas i figur 18.



Figur 14: Genomsnittligt temperaturförlopp i tunneln.

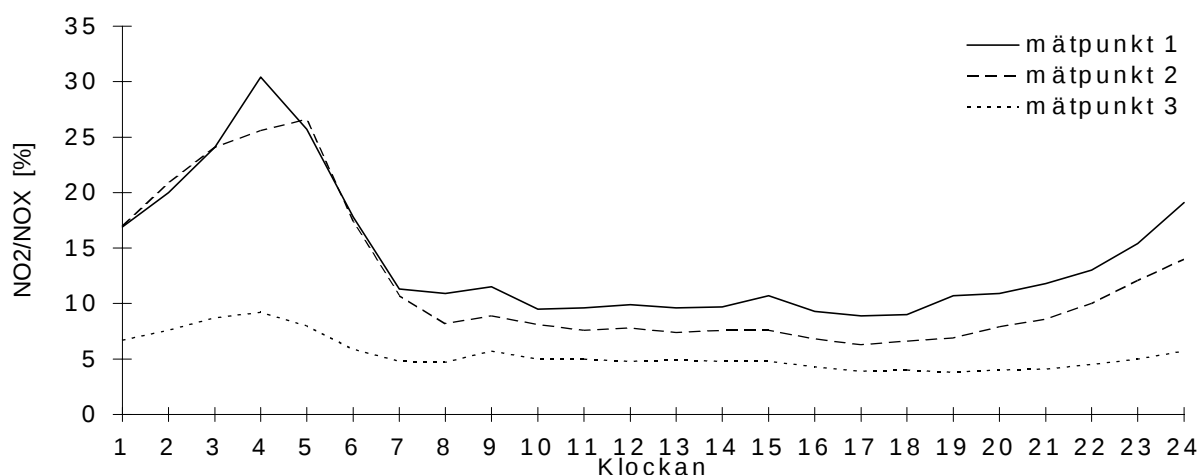
Temperaturen ökar kontinuerligt i tunneln från infarten fram till påfarten från Götgatan där uteluft tillförs tunnelröret via påfartsrampen. Därefter sjunker temperaturen något, vilket är särskilt markant mitt på dagen. Temperaturen börjar sedan åter att öka fram till utfarten från tunneln. Temperaturförhöjningen i tunneln fram till ventilationstornet i kvarteret Göta Ark, dvs 1 km in i tunneln, var i genomsnitt under morgonen 2,5 °C och mitt på dagen 3,9 °C.

Andelen NO₂ av NO_x

Vid beräkning av erforderlig kapacitet på ventilationssystem i framtida trafiktunnlar har krav på acceptabel NO₂-halt i tunnelluften visat sig vara dimensionerande. Beräkningarna bygger på NO_x-emissionen i en aktuell tunnel och en viss NO₂-andel ansätts.

Få studier av andelen NO₂ av NO_x i fordonsavgaser finns tillgängliga. I naturvårdsverkets rapport 3633, "Utsläpp av kvävedioxid från personbilar, lastbilar och bussar" från 1989 redovisas mätningar utförda av verkets bilavgaslaboratorium i Studsvik. Utifrån denna undersökning kan antas att NO₂-andelen i avgaserna från en trafikström kan variera från några procent till ett par tiotal procent beroende på körrytm och fordonssammansättning.

I figur 15 visas hur kvoten NO₂/NO_x genomsnittligt varierat i de tre mätpunkterna under måndag-torsdag.



Figur 15: Genomsnittlig dygnsrytm NO₂/NO_x måndag-torsdag.

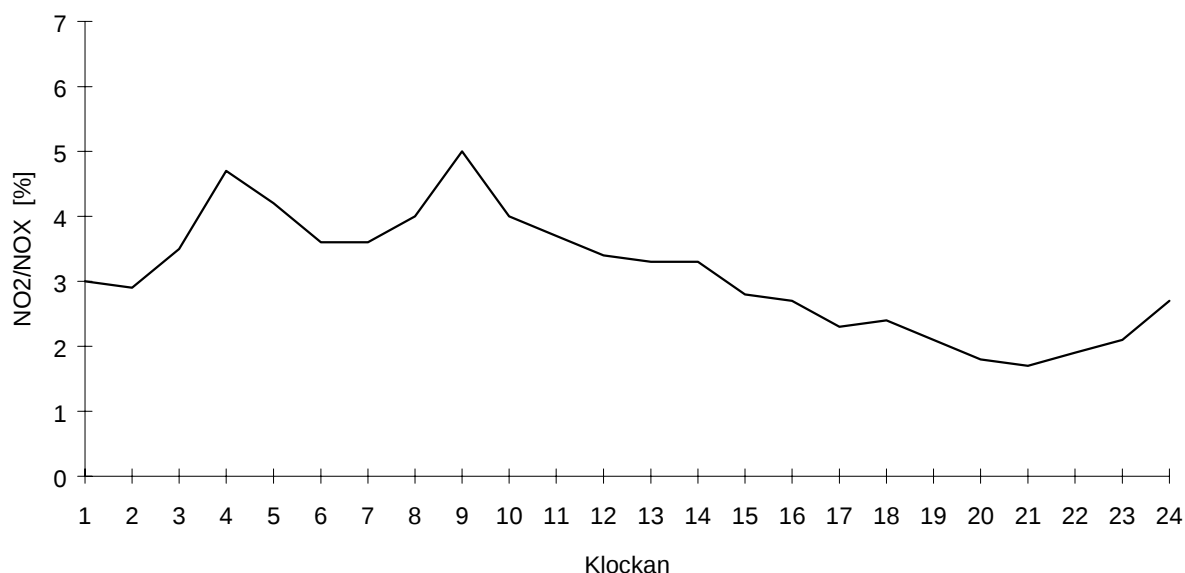
Andelen NO₂ av NO_x är generellt sett högst i mätpunkt 1 och lägst i mätpunkt 3. En kilometer in i tunneln är NO₂-andelen endast ca en tredjedel till hälften av andelen i tunnelmynningen. En tydlig samvariation ses för de tre mät-punkterna med högre NO₂-andel under natten och lägre på dagen.

Genomsnittligt under dygnet, måndag-torsdag, är i mätpunkt 3 andelen NO₂ av NO_x 5,4 %. Som högst uppgår andelen i mätpunkten till 16 %. Det senare värdet har uppmätts nattetid.

Andelen NO₂ av NO_x är i mätpunkt 3 påverkad både av NO₂-och NO_x-halterna i tilluften och av NO₂/NO_x-relationen i fordonens avgasutsläpp i tunneln. Eventuellt kan även ozonförekomsten i tilluften spela roll genom omvandling av NO till NO₂ i tunneln.

För att få en renodlad bild av hur NO₂/NO_x-kvoten påverkas av trafiken i tunneln måste hänsyn tas enbart till haltökningen av NO₂ och NO_x i tunneln. Kvoten NO₂/NO_x kommer då i princip att bygga enbart på emissionen i tunneln.

I figur 16 visas NO_2/NO_x -kvotens genomsnittliga dygnsvariation måndag-torsdag, i mätpunkt 3 baserad på haltökningen i tunneln mellan tunneltvärsnittet 100m, representerat av mätpunkt 2, och 1 km in i tunneln, representerat av mätpunkt 3. Därvid har NO_x - och NO_2 -värdena i mätpunkt 2 justerats i enlighet med resultatet från parallelmätningarna vilka redovisas i avsnittet "Representativitet hos NO_x -, NO_2 - och CO-mätningarna". Justeringen innebär att halterna i mätpunkt 2 räknats upp med 15 % för NO_x och med 5 % för NO_2 .



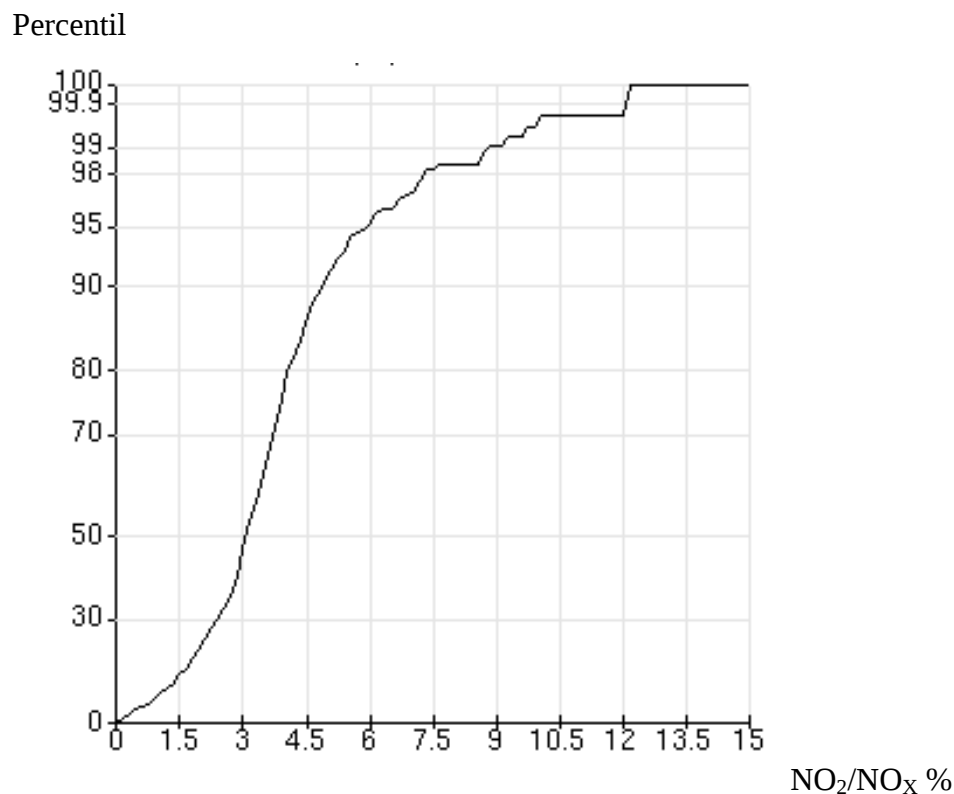
Figur 16: Genomsnittlig dygnsrytm NO_2/NO_x måndag-torsdag 1 km in i tunneln baserad på emissionen i tunneln.

NO_2/NO_x -kvoten 1 km in i tunneln baserad på enbart emissionen i tunneln är under vardagsdygnet i genomsnitt 3,1 %. Det högsta enskilda timmedelvärdet 12 % har uppmätts nattetid. Sett till dagtid kl 06-20 är kvotens medelvärde 3,2 % och det högsta enskilda timmedelvärdet 7,3 %.

Under dagtid når NO_2/NO_x -kvoten sitt högsta värde kl 8-9 dvs samtidigt som NO_2 och NO_x -halterna är som högst och köbildningen i tunneln kraftigast. Därefter avtar kvoten i stort sett kontinuerligt fram till kvällen varefter den börjar öka under natten.

Ökningen av kvotvärdena som sker under natten kan tolkas som en effekt av ozonet i tilluften. Det är först när ozonhalten i tilluften nått en relativt sett hög nivå och samtidigt emissionen i tunneln minskat till tillräckligt låg nivå som den atmosfärskemiska omvandlingen av NO till NO_2 får synbar effekt på kvotvärdena i mätpunkt 3. Ozon i tilluften synes således inte ha någon påtaglig betydelse för NO_2 -halten i tunnelluften under högttrafiktid, åtminstone inte vid nu uppmätta ozon- och kväveoxidhalter.

I figur 17 visas för mätpunkt 3 NO_2/NO_x -kvotens kumulativa frekvensfördelning måndag-torsdag baserad på utsläppen i tunneln.



Figur 17: NO_2/NO_x -kvotens kumulativa frekvensfördelning måndag-torsdag.

Det värde på NO_2 -andelen om 7,5 % som i ett tidigare planeringsskede använts bl.a. för ventilationsberäkningarna avseende Södra Länkens trafiktunnlar motsvarar här 98-percentilen under måndag-torsdag. Kvotvärden högre än 7,5 % har således uppmätts under 2 % av tiden dessa veckodagar.

I jämförelse med förhållandena under vintermätningarna så är sommarens NO_2/NO_x -kvot måndag-torsdag 25 % lägre sett som medelvärde för perioden. Dagtid kl 06-20 är kvoten genomsnittligt 18 % lägre.

Tillämpning av EVA-modellens emissionsfaktorer för NO_x och CO på Söderledstunneln

Utgående från trafikens *emissioner* i tunneln av NO_x och CO kan, efter division med *luftflödet* haltökningen i tunnelluften av ämnena i fråga beräknas timme för timme. *Beräknade* haltökningar kan sedan jämföras med *uppmätta* ökningarna i tunnelluften.

Emissionen beräknas som produkten av fordonsmängd och emissionsfaktor per fordonskategori. Emissionsfaktorens storlek som beror av fordonens körsätt, avgasreningsutrustning, åldrings-egenskaper och eventuell kallkörning har därvid en avgörande betydelse för beräkningsresultatet.

Förutsättningar för bestämning av emissionsfaktorerna

Trafikens *hastighet* i tunneln varierar under vardagsdygnet. Enligt trafikmätningarna var medelhastigheten under morgonens högtrafik 30-40 km/h och under dagen storleksmässigt 60-75 km/h. De lägre värdena gäller för inre och de högre för yttre körfält. För emissionsberäkningarna antas tunneln motsvara tätortsgata med jämnt flytande trafik utan stopp och medelhastigheten sätts till 70 km/h. För morgonrusningen kl 7-9 sätts medelhastigheten till 50 km/h med i medeltal ett stopp. Andelen *katalysatorbilar* är enligt trafikregistreringarna ca 50 % för personbilar. Vad gäller den försämring av avgasreningsfunktionen som sker med ökad ålder, så sätts den beträffande NO_x till 2,0 % per år för orenade bensinfordon och till 5,3 % per år för renade. Den orenade fordonsparkens genomsnittsålder antas vara 9,7 och den renades 4,7 år. Detta resulterar i en *åldersfaktor* om 1,2 för orenade och 1,3 för renade besinfordon. För CO sätts åldersförsämringen till 6,4 % per år för orenade och till 27 % per år för renade bensinfordon, vilket resulterar i en åldersfaktor om 1,6 respektive 2,3. Samtliga fordon antas vara varmkörda när de når tunneln varför *något kallstarttillägg ej görs*. Med dessa förutsättningar erhålls emissionsfaktorer för NO_x och CO enligt tabell 8.

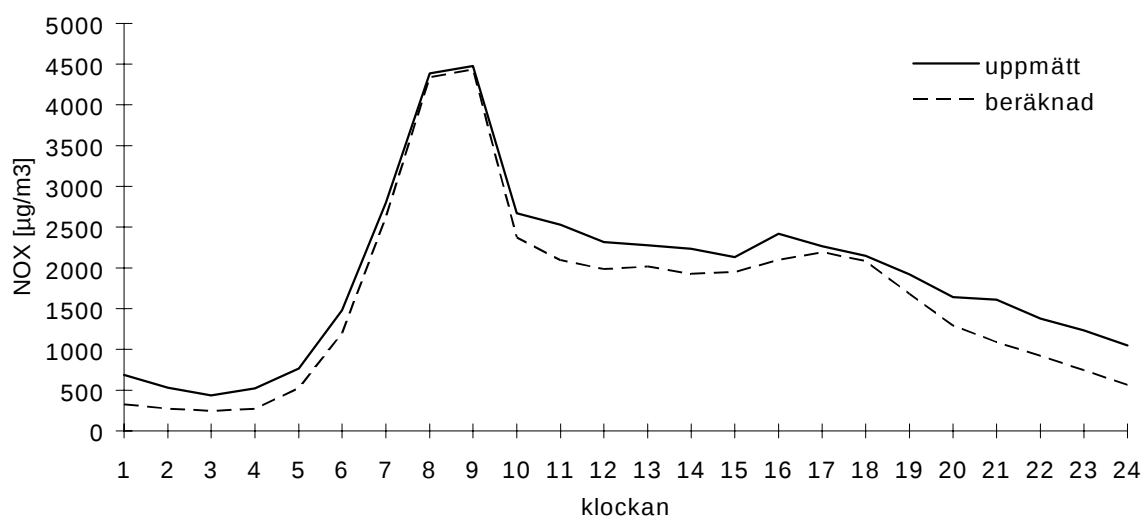
Tabell 9: Ansatta emissionsfaktorer måndag-torsdag kl 10-06 och 07-09.

Fordonskategori	Emissionsfaktor [g/km]			
	NO _x		CO	
	kl 10-06	kl 07-09	kl 10-06	kl 07-09
Personbilar+ lätta lastbilar och bussar	0,9	1,0	8,7	15
Personbilar med släp	1,0	1,1	10	20
Lastbilar (axelavstånd >3,3 m)	5,8	8,1	2,6	4,6
Lastbilar med släp	17	36	3,2	6,6
Bussar	5,8	8,1	2,6	4,6

I det följande jämförs beräknad haltökning av NO_x och CO på sträckan mellan 100 m och 1 km in i tunneln med motsvarande uppmätt haltökning. Uppmätt haltökning fås som haltskillnaden mellan mätpunkterna 3 och 2. Eftersom halterna i de två mätpunkterna skall representera förhållandena i hela respektive tunneltvärsnitt justeras NO_x-och CO-halterna i mätpunkt 2 i enlighet med vad som redovisas i avsnittet om representativitet, d v s räknas upp med 15 %.

NO_x

Uppmätta och beräknade NO_x-halter måndag-torsdag visas i figur 17.

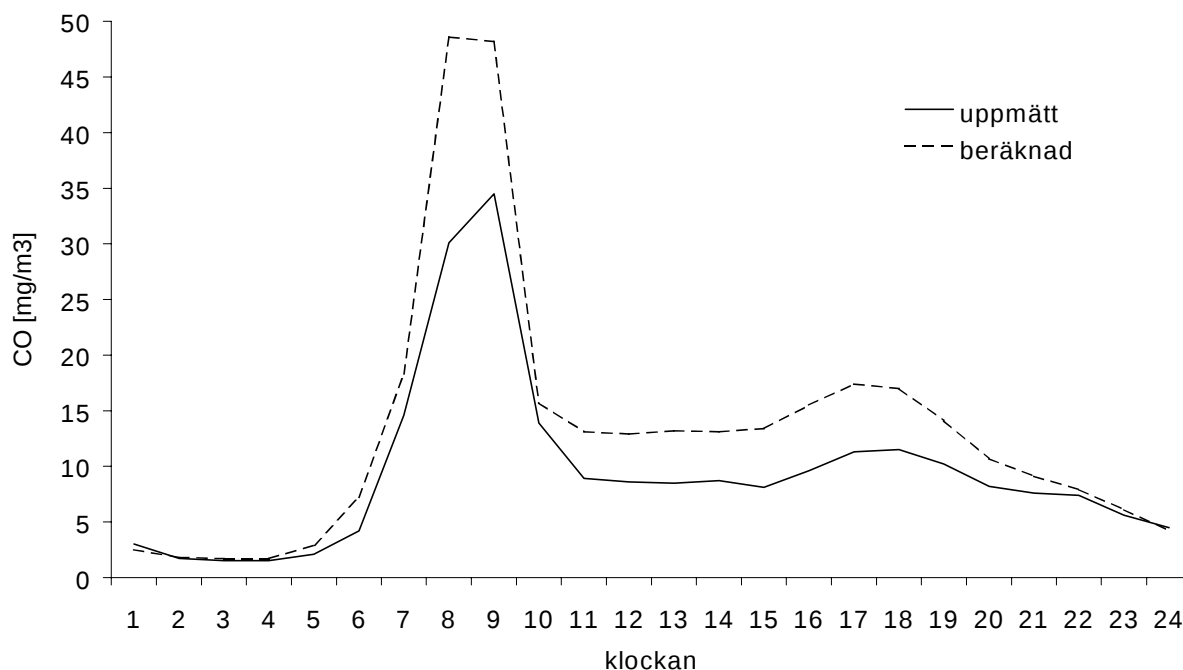


Figur 17: Genomsnittlig dygnsrytm måndag-torsdag för uppmätta och beräknade NO_x-halter.

Samvariationen mellan uppmätta och beräknade NO_x-halter är mycket god. Beräknad halt är under större delen av dygnet något lägre än uppmätt. Under morgonrusningen kl 07-09 är dock beräknade och uppmätta halter i det närmaste identiska. I genomsnitt under dygnet är beräknad halt ca 15 % lägre än uppmätt.

CO

Uppmätta och beräknade CO-halter visas i figur 18.



Figur 18: Genomsnittlig dygnsrytm måndag-torsdag för uppmätta och beräknade CO-halter.

Den beräknade CO-halten följer den uppmätta men är med undantag för nattetid betydligt högre. I genomsnitt är beräknad halt ca 35 % högre än uppmätt.

Jämfört med vintermätningarna så är för sommarmätningarna överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta halter betydligt bättre beträffande NO_x. När det gäller CO så visar sommarperiodens mätningar på ca 35 % högre beräknad än uppmätt halt medan vinterperiodens mätningar gav som resultat att beräknad halt var av storleksordningen 40 % lägre än uppmätt.

De huvudsakliga förklaringarna till skillnaderna i jämförelserna mellan beräknade och uppmätta halter för sommar- respektive vintermätningarna ligger generellt sett dels i olika antaganden om andelen katalysatorbilar dels specifikt för CO i att åldersförsämringsfaktorn förbises beträffande vintermätningarna. Denna spelar, som kunnat konstateras, en mycket stor roll beträffande CO-beräkningarna. En omräkning av vinterperiodens NO_x-och CO-halter är därför motiverad.

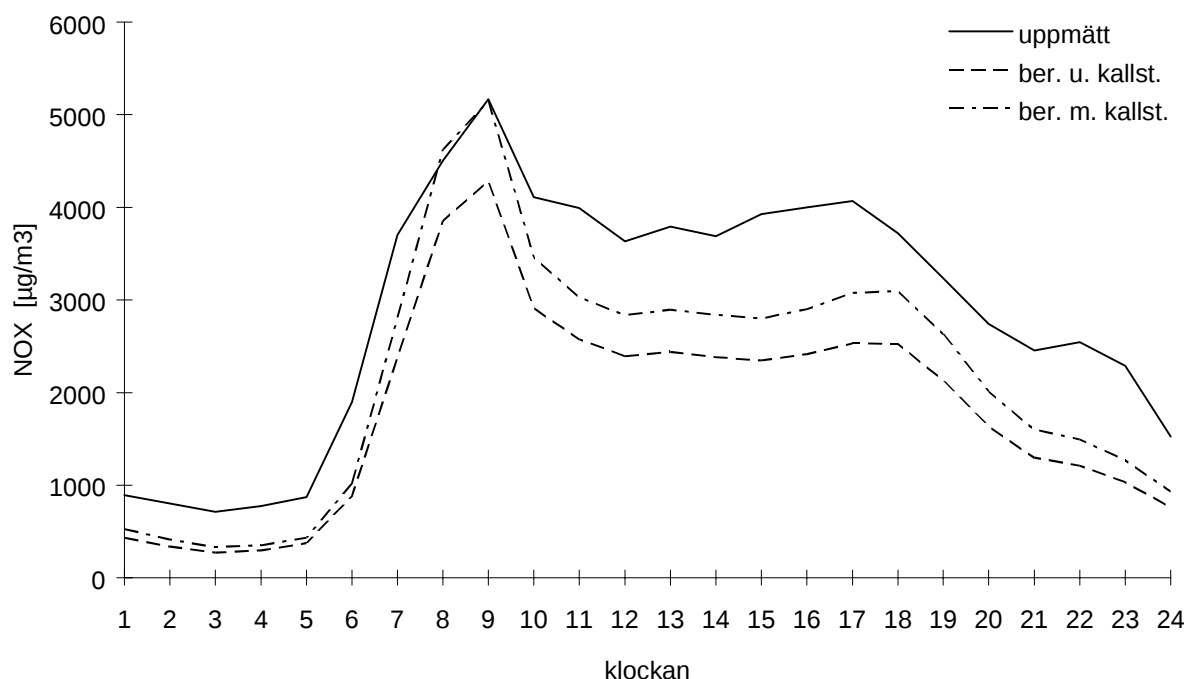
Omräkning av vinterperiodens, november-december 1993, NO_x-och CO-halter

I det följande görs jämförelser mellan vintermätningarnas uppmätta och beräknade NO_x-och CO-halter med något ändrade förutsättningar. Endast små förändringar av fordonsparken har skett mellan vinter-och sommarperioderna vad gäller andelen katalysatorfordon och åldersförsämrings hos fordonen. Därför används i det följande för enkelhetens skull samma grundemissionsfaktorer som under sommarmätningarna vilket erhålles genom att andelen katalysatorfordon ändras från tidigare 60 % till 50 %. Tillägg för kallstart inklusive åldersfaktor görs beträffande lätta fordon med 0,26 g/km för NO_x och med 15 g/km för CO. Detta motsvarar kallstarttillägget för en tätortsväg med hastighetsgränsen 70 km/h enligt EVA-modellen. Följande emissionsfaktorer erhålls då:

Tabell 10: Ansatta emissionsfaktorer måndag-torsdag.

Fordonskategori	Emissionsfaktor [g/km]			
	NO _x		CO	
	Utan kallstart	Med kallstart	Utan kallstart	Med kallstart
Personbilar+ lätta lastbilar och bussar	0,9	1,1	8,7	24
Personbilar med släp	1,0	1,3	10	25
Lastbilar (axelavstånd >3,3 m)	5,8	5,8	2,6	2,6
Lastbilar med släp	17	17	3,2	3,2
Bussar	5,8	5,8	2,6	2,6

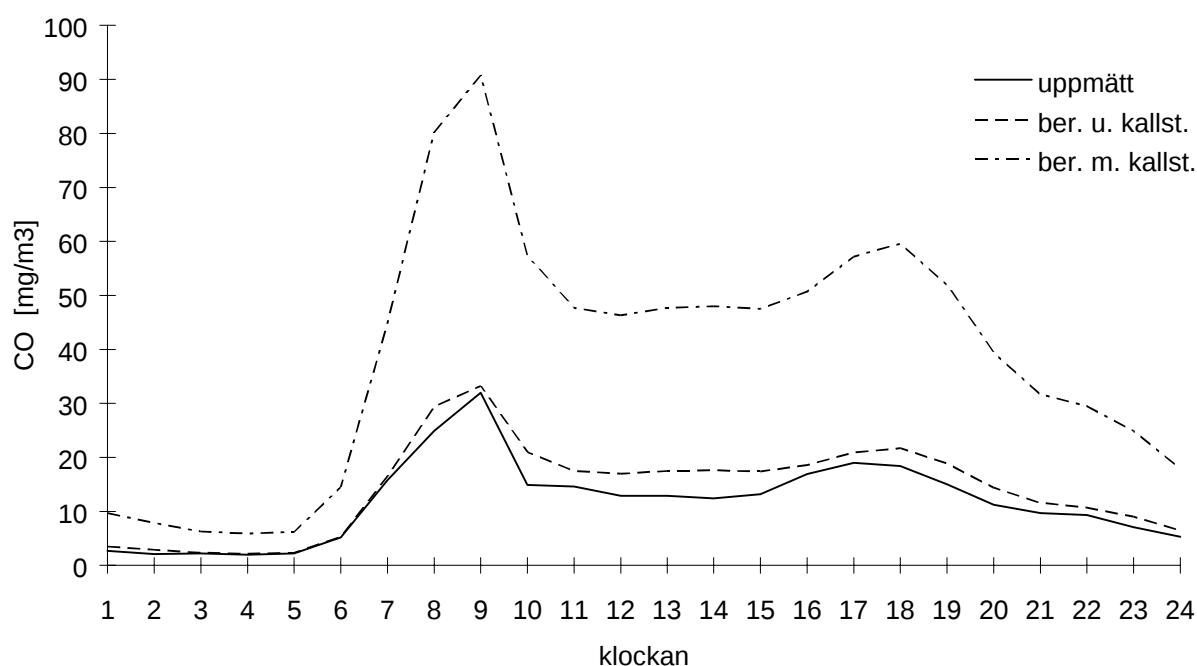
I figur 19 visas för vinterperioden uppmätta och beräknade NO_x-halter.



Figur 19: Genomsnittlig dygnsrytm måndag-torsdag för uppmätta och beräknade NO_x -halter.

Uppmätta och beräknade halter följer varandra väl under hela dygnet. Beräknade NO_x -halter är emellertid i genomsnitt 20 och 30 % lägre än uppmätta för fallen med-respektive utan kallstarttilllägg. Under morgonens rusningstrafik är överensstämmelsen bättre.

I figur 20 visas för vinterperioden beräknade och uppmätta CO-halter.



Figur 20: Genomsnittlig dygnsrytm måndag-torsdag för uppmätta och beräknade CO-halter.

Beräknad CO-halt utan kallstarttillägg är genomsnittligt under dygnet 20 % högre än uppmätthalt. Under rusningstrafiktid på morgonen är överensstämmelsen bättre. Med tillägg för kallstart är den beräknade CO-halten genomsnittligt under dygnet flera gånger högre än den uppmätta. Kallstarttillägget påverkar således beträffande CO mycket kraftigt beräkningsresultatet.

Sammanfattande jämförelse mellan beräknade och uppmätta halter

Uppmätta och beräknade halter för sommar-och vintermätningarna jämförs i tabell 11.

Tabell 11: Skillnad mellan uppmätta-och beräknade genomsnittshalter måndag-torsdag.

	NO _x		CO	
	Utan kallstarttillägg	Med kallstarttillägg	Utan kallstarttillägg	Med kallstarttillägg
Sommar	-15 %	-	+35 %	-
Vinter	-30 %	-20 %	+20 %	+330 %

Av tabellen framgår att den beräknade NO_x-halten under både sommar-och vintermätningarna är något lägre än den uppmätta. Överensstämmelsen är bäst under sommarmätningarna.

Vad gäller CO så är den beräknade halten under såväl sommar-som vintermätningarna något högre än den uppmätta. Överensstämmelsen är bäst vad gäller vintermätningarna utan tillägg för kallstart. Med kallstarttillägget vintertid överstiger den beräknade halten kraftigt den uppmätta.

Resultatet beträffande CO pekar mot att andelen kallstartade fordon under vintermätningarna var liten. Mätningarna gjordes i tunnelröret för trafik in mot centrum. Speciellt under morgonens rusningstrafik kan nästan alla fordon antas vara varmkörda när de når tunneln. Under övrig tid på dygnet är förmodligen en något större andel fordon kalla. Det är emellertid svårt att ange denna andel och därmed också att med god precision beräkna emissionerna i tunneln. Detta särskilt beträffande CO där kallstarttillägget är stort i EVA-modellen.

Med de förutsättningar som antagits beträffande emissionsfaktorerna har NO_x-utsläppen något underskattats och CO-utsläppen något överskattats. Totalt sett får konstateras att EVA-modellens emissionsfaktorer tillämpade på Söderledstunneln givit god överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta halter. Detta speciellt med tanke på att flera parametrar ligger till grund för haltberäkningarna.