

Vertikal variation av luftföroreningshalter i ett dubbelsidigt gaturum

UPPMÄTTA HALTER AV KVÄVEOXIDER VID
SVEAVÄGEN, STOCKHOLM



MILJÖFÖRVALTNINGEN I STOCKHOLM, OKTOBER 2013

Förord

I rapporten redovisas resultat från mätningar av NO_x-halter på 11 nivåer ovan gata vid Sveavägen 88 i Stockholm. Syftet var att klargöra hur avgasutsläppen från fordonen längs en gata påverkar föroreningshalterna på olika våningsplan längs en husfasad. Mätresultaten kompletteras med beräknade halter med SMHI:s Canyonmodell. Arbetet utformades som ett internt finansierat projekt inom SLB-analys. Rapporten har sammanställts av Magnus Brydolf och Christer Johansson medan Billy Sjövall har medverkat vid mätningarna.

Stockholm i oktober 2013

Uppdragsnummer:	2013063
Daterad:	2013-10-25
Projektansvarig:	Magnus Brydolf, 08-508 28 925
Status:	Granskad av Christer Johansson



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

Innehåll

1	Sammanfattning	4
2	Bakgrund.....	5
3	Syfte och avgränsning.....	5
4	Mätplatsbeskrivning.....	6
5	Mätningens utförande	8
6	Kontinuerliga mätningar vid Sveavägen 88.....	9
7	Turbulens och meteorologi	10
	7.1 Turbulens.....	10
	7.2 Vindhastighet och vindriktning	10
8	Resultat.....	12
	8.1 Jämförelse av NO ₂ -halter, diffusion och kemiluminescens	12
	8.2 Vertikal haltvariation för NO ₂ vid Sveavägen 88.....	14
	8.3 Jämförelse av NO _x -halter, diffusion och kemiluminescens	16
	8.4 Vertikal haltvariation för NO _x vid Sveavägen 88.....	17
	8.5 Jämförelse med modellberäkning	19
9	Referenser	20

1 Sammanfattning

Många gator kantas av höga byggnader som påverkar ventilationsförhållandena i gaturummet. Luftomsättningen försämras och haltnivåerna blir betydligt högre än längs en öppen väg med motsvarande trafikmängd. I vissa fastigheter tas tilluften in via spaltventiler eller ventilationskanaler i fasaden som vetter mot ett trafikerat gaturum. Utsläppen i gaturummet kan då påverka luftkvaliteten inomhus. Eftersom halterna avtar med höjden ovan gatan är påverkan av utsläppen på inomhushalterna beroende av vilket våningsplan som lägenheten ligger. Denna studie har gjorts för att få kunskap om hur luftföroreningshalter varierar vertikalt längs en fasad i ett dubbelsidigt gaturum d.v.s. en gata med byggnader på båda sidor.

Metodik

Mätningarna genomfördes vid Sveavägen 88 med Ogawaprovtagare för NO_x och NO₂ under fyra veckor v13-v16 år 2012. Provtagarna exponerades veckovis och placerades med två meters avstånd i vertikalled från 4 meter till 24 meter. Uppmätta halter jämförs med beräknade halter genererade av SMHI Airviro Canyonmodell.

Kvävedioxid, NO₂

Det vertikala haltavtagandet för NO₂ längs fasaden var linjärt och totalhalten minskade med i genomsnitt ca 0,65 µg/m³ per meter mellan fasadpunkterna från 4 meter till 24 meter ovan körbanan. Totalhalten minskade med ca 40 % från 35 µg/m³ på fyra meters höjd till 22 µg/m³ på 24 meter höjd. Trafikens haltbidrag minskade med ca 65 % från 20 µg/m³ till 7 µg/m³.

Kväveoxider, NO_x

Även för NO_x var det vertikala haltavtagandet linjärt och totalhalten minskade med i snitt ca 1,1 µg/m³ per meter mellan fasadpunkterna från 4 meter till 24 meter ovan körbanan. Totalhalten minskade med ca 40 % från 59 µg/m³ på fyra meters höjd till 37 µg/m³ på 24 meter höjd. Trafikens haltbidrag minskade från med ca 55 % från 40 µg/m³ till 18 µg/m³.

Jämförelse av mätta och beräknade NO_x-halter

Den uppmätta vertikala haltvariationen för NO_x har jämförts med en beräknad haltvariation med SMHI Airviro Canyonmodell. Överensstämmelsen är mycket god vilket betyder att modellen bör kunna användas för att beräkna halterna längs husfasader i andra liknande gaturum.

2 Bakgrund

Längs gator med bebyggelse på båda sidor kan luftföroreningshalterna bli höga även vid relativt låga trafikflöden. Orsaken är att byggnaderna påverkar ventilationsförhållandena genom att försämra utvädring och utspädning av förorenad luft i gaturummet. Halterna är inte jämt fördelade i gaturummet utan avtar med höjden från trafiken. Det innebär att de som bor högt upp i en fastighet har betydligt renare luft utanför fönstren än de som bor på första våningen. Kvaliteten på inomhusluften påverkas beroende på varifrån tilluften tas in till bostaden. Många byggnader tar in tilluften via ventilationsdon som sitter på hustaket. Där har trafikens utsläpp relativt liten påverkan på luftkvaliteten beroende på avståndet till trafik och halterna är i nivå med den urbana bakgrundshalten.

I självdrags- eller frånluftsventilerade hus där tilluften tas in via spaltventiler eller ventilationskanaler i en fasad som vetter mot en trafikerad gata, kan tilluften vara betydligt sämre jämfört med ovan taknivå. Det förekommer även ventilation genom vädring och via otätheter runt fönster och balkongdörrar. Här kan höjden över gatuplanet ha stor betydelse för hur stor påverkan utsläppen från trafiken får för halterna i en lägenhet.

Normalt används modellberäkningar för att skatta halterna på olika nivåer i ett gaturum. Modeller som används för detta bygger ofta på kortvariga mätkampanjer. Detta innebär att beräknade halter på olika höjd över gatan kan vara ganska osäkra. Den vertikala variationen beror på gaturummets storlek (höjd och avstånd mellan byggnaderna), förekomsten av träd eller annat som kan påverka luftomblandningen. Variationen med höjden kan också skilja beroende på vilken sida av gatan som studeras, bl.a. beroende på gatans riktning i förhållande till den rådande vindriktningen och solinstrålningen. I många fall antas att halterna sjunker exponentiellt med höjden över gatan (Vardoulakis et al., 2003). För NO₂ kan fotokemiska reaktioner påverka så att halten under vissa förhållanden till och med kan öka med höjden (Väkevä et al., 1999).

3 Syfte och avgränsning

I denna studie användes en s.k. passiv mätmetod där provtagare placeras på olika höjder ovan gatan. Avsikten var att få en detaljerad bild över hur de genomsnittliga halterna varierar längs en husfasad. Projektets syfte är att förbättra kunskapen om hur trafikens utsläpp av luftföroreningar fördelas vertikalt i ett dubbelsidigt gaturum. Kunskapen kan vara användbar för att verifiera beräkningsmodeller samt vid utformning och rekommendationer gällande tilluft till byggnader och hur människor exponeras på olika nivåer ovan gata. Mätningarna är genomförda vid Sveavägen 88 men är användbara i liknande gaturum med dubbelsidig bebyggelse.

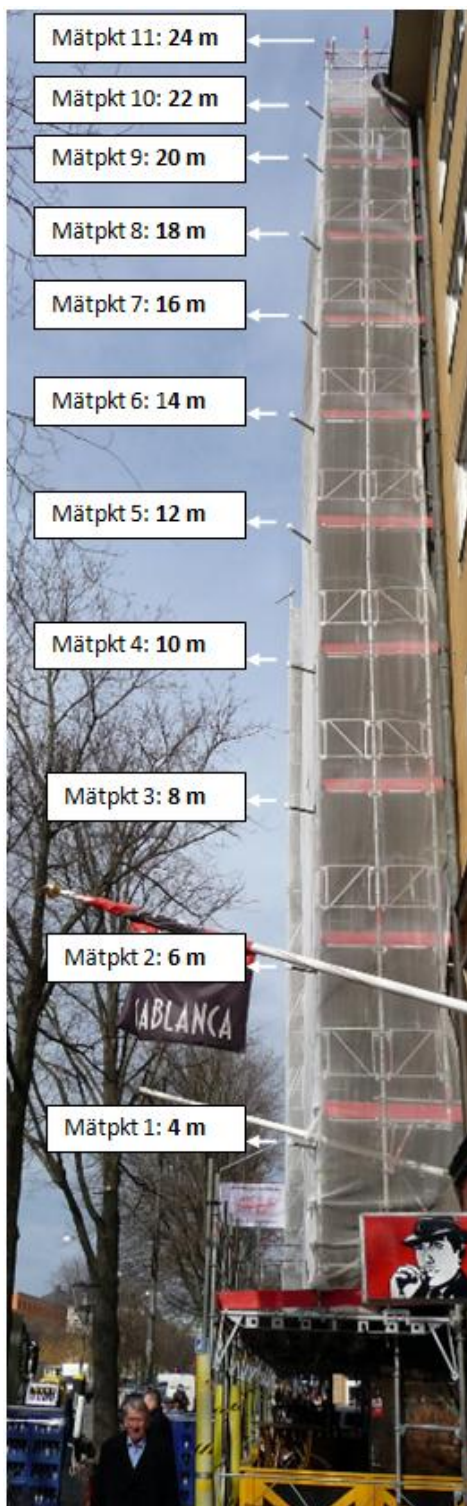
4 Mätplatsbeskrivning

Gaturummet vid mätplatsen är dubbelsidigt bebyggt med ett trafikflöde på ca 19 000 fordon per årsmedeldygn år 2012. Avståndet mellan byggnaderna är ca 33 meter, gatubredden ca 16 meter och byggnadshöjderna på båda sidor gatan ca 25 meter. I början av år 2012 uppfördes en byggnadsställning längs fasaden vid Sveavägen 88 vilket gjorde det möjligt att mäta NO_x -halter på 11 nivåer ovan gata med 2 meters höjdintervall, bild 1 och 2.

Bild 1: Fasadavsnitt för NO_x -mätningar med Ogawaprovtagare



Bild 2: Placeringen av Ogawa-provtagare



5 Mätningens utförande

Mätning av NO₂- och NO_x-halter gjordes i totalt 13 punkter. 11 punkter längs fasaden vid Sveavägen 88 och i två punkter parallellt med kontinuerliga mätningen med referensmetod (pkt 2 och pkt 3) sid 6. Mätmetoden var diffusionsprovtagning med Ogawa-provtagare, bild 7-8. Provtagarna exponerades veckovis under fyra veckor (v13-v16 år 2012) och analyserades vid enheten Yrkes- och Miljömedicin vid Umeå universitet.

Bild 7-8: *Ogawa-provtagare*



6 Kontinuerliga mätningar vid Sveavägen 88

Vid Sveavägen 88 pågår kontinuerliga mätningar av NO_x (NO och NO_2) sedan början av 1990-talet. Mätningar görs med kemiluminescensmetod i två punkter på båda sidor gatan ca 3 meter ovan trottoar och i en punkt ca 3 meter ovan taknivå ca 28 meter ovan gatunivå, bild 3 och 4.

Bild 3: Mätpunkter i gatunivå

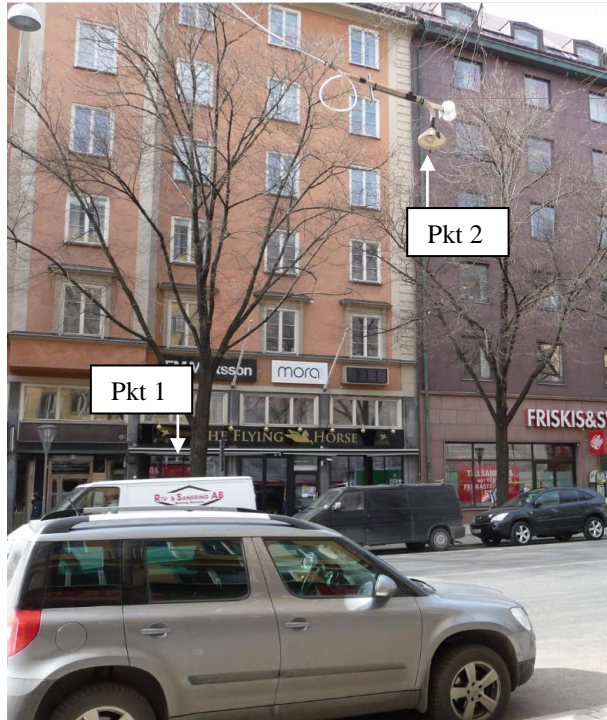
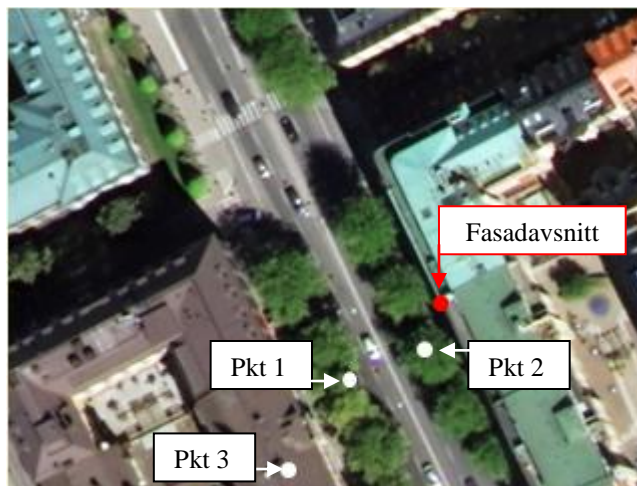


Bild 4: Kontinuerliga mätpunkter 1-3 och fasadavsnitt med Ogawaprovtagare

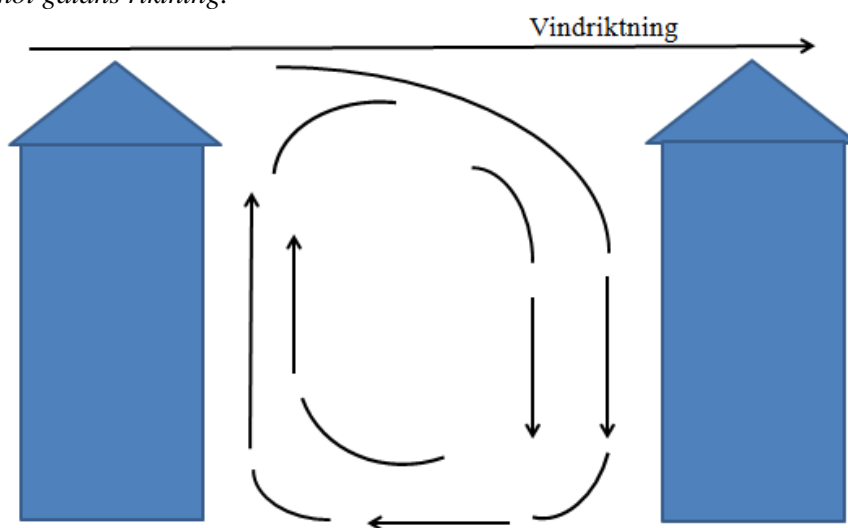


7 Turbulens och meteorologi

7.1 Turbulens

Vindriktningen påverkar turbulensen och hur trafikutsläppen fördelas i gaturummet. Blåser det längs med gatan fördelas utsläppen relativt jämt och halterna blir likartade på båda sidor om gatan. När det blåser tvärs över gatans längdriktning förs takluft ner i gaturummet och halterna blir låga på vindsidan. På motsatta sidan gatan blir halterna däremot förhöjda då trafikutsläppen fördelas till läsidan (bild 5). Gaturummets bredd och höjd påverkar turbulensen i gaturummet och hur höga halterna blir på olika höjd över gatan.

Bild 5: Schematisk illustration av hur luften rör sig i ett gaturum då det blåser vinkelrätt mot gatans riktning.



7.2 Vindhastighet och vindriktning

Vindriktning och vindhastighet är hämtade från meteorologiska masten som är lokaliserad på taket på Mariapolikliniken vid Torkel Knutssonsgatan. Meteorologiska data från masten är inhämtade ca 36 meter över gatuplanet och kan anses representativa för vindförhållandena på Norrmalm vid Sveavägen. Vindhastigheten under perioden visas i tabell 1 och var något högre än flerårsmedelvärdet.

Tabell 1: Vindhastighet (m/s) under mätperioden och i genomsnitt för motsvarande veckor under 2002-2012.

Torkel Knutssonsgatan 36 meter
Vindhastighet m/s

	Vindhastighet
medelv v13-v16 (2012)	3,9
medelv v13-v16 (2002-2012)	3,6

Vindriktningsfördelningen under perioden i tabell 2 och bild 6 visar att Ogawaprovtagarna som placerades vid den östra fasaden vid Sveavägen 88 exponerades för gatuluft (nordostliga och östliga vindar) vid något fler tillfällen jämfört med flerårsmedelvärdet. Samtidigt exponerades provtagarna för takluft (sydvästliga och västliga vindar) vid något färre tillfällen jämfört med flerårsmedelvärdet. Sammantaget indikerar detta att provtagarna exponerades för något högre halter under mätperioden i mars-april år 2012 jämfört med normalåret under förutsättning att trafikutsläppen varit ungefär lika.

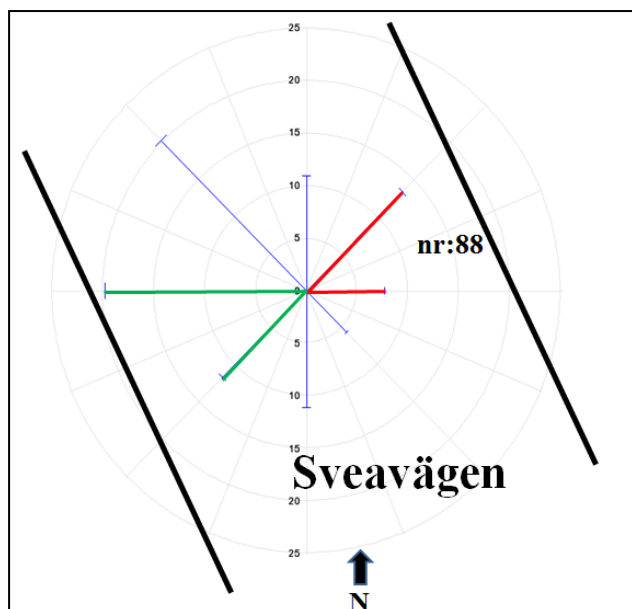
Tabell 2: Vindriktning (procent av totala mättiden med olika vindriktningar).

Torkel Knutssonsgatan 36 meter

Vindriktning, (mån-sön)

	N	NO	O	SO	S	SV	V	NV
medelv v13-v16 (2012)	11	13	8	6	11	12	19	20
medelv v13-v16 (2002-2012)	11	10	8	9	14	16	20	12

Bild 6: Sveavägens orientering i förhållande till olika vindriktningar



8 Resultat

8.1 Jämförelse av NO₂-halter, diffusion och kemiluminescens

I två mätpunkter, gatunivå och taknivå, gjordes parallella mätningar med kemiluminescens och diffusionsprovtagning. Syftet var att se avvikelser mellan de båda mätmetoderna och bedöma om halterna som uppmättes utefter fasaden vid Sveavägen 88 var korrekta absolutnivåer. Resultatet från parallellmätningen visas i tabell 3 och i diagram 1 och 2. Avvikelsen för periodmedelvärdet var ca 4 % i gatupunkten och ca 1 % i takpunkten. För enskilda veckor var avvikelserna större, som mest ca 40 %. Medelvärdena för diffusionsprovtagningen i gata och tak visade därmed god överensstämmelse med kemiluminescens. Det innebär att uppmätta halter med diffusionsprovtagare längs fasaden vid Sveavägen 88 kan anses jämförbara med kemiluminescensmetoden (dvs den mätmetod används i luftövervakningen i Stockholm och som är referensmetod för kontroll av miljö kvalitetsnormer).

Tabell 3: Jämförelser, NO₂, diffusionsprovtagning och kemiluminescens

	Diffusion (gatupkt 2)	Chemilum. (gatupkt 2)	Diffusion (takpkt 3)	Chemilum. (takpkt 3)
v13	30	34	17	16
v14	22	24	6	10
v15	51	40	22	18
v16	38	38	14	15
medelvärde v13-v16	35	34	15	15
avvikelse o/c v13-v16	1,04		1,0	

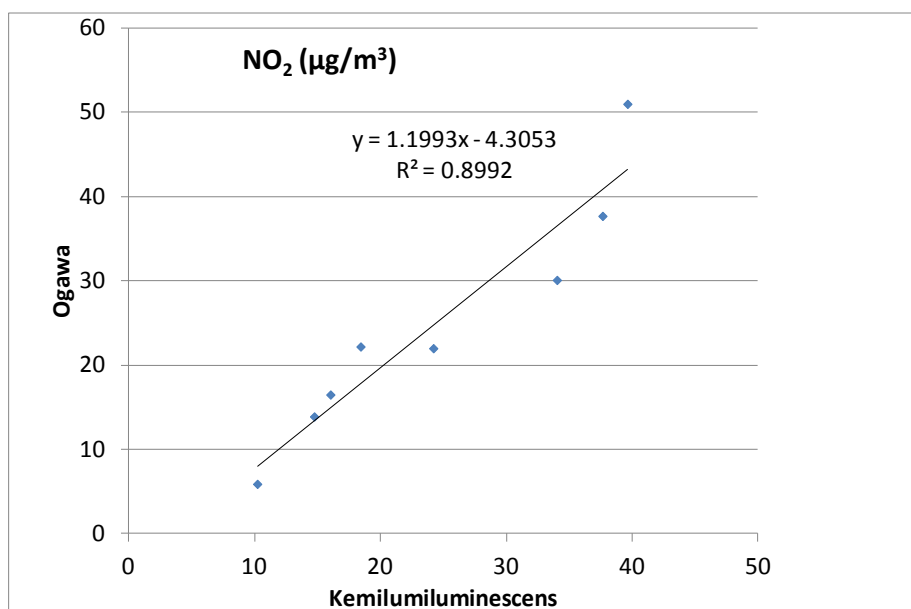
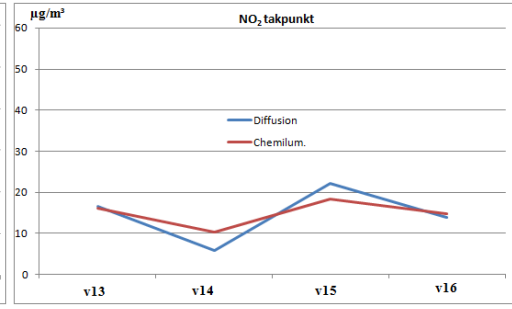
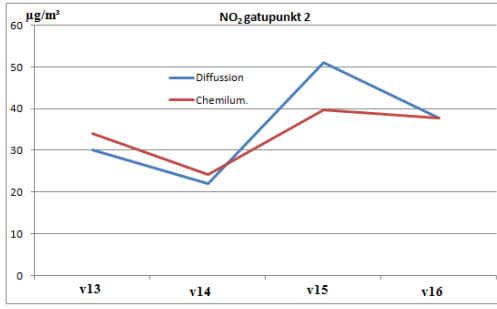


Diagram 1 och 2: Veckomedelvärden, NO₂, diffusion och kemiluminescens



8.2 Vertikal haltvariation för NO₂ vid Sveavägen 88

Mätresultaten vid 11 nivåer längs fasaden vid Sveavägen 88 samt i gatupunkt 2 visas i bild 9. Haltavtagandet varierade något mellan de olika höjderna men var i snitt ca 0,65 µg/m³ per meter mellan fasadpunkterna från 4 meter till 24 meter ovan körbanan.

Bild 9: Mätta totalhalter av NO₂ vid Sveavägen 88

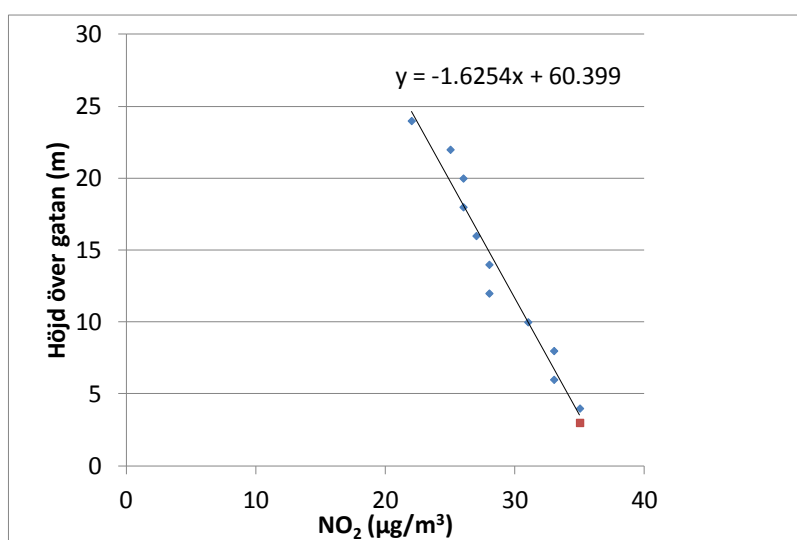


Tabell 4 och diagram 3 visar hur totalhalten och trafikens haltbidrag förändrades med höjden ovan körbanan. Totalhalten minskade från 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ till 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ca 40 % medan trafikens haltbidrag minskade med ca 65 % från 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ till 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabell 4: NO_2 -gradienter avseende Sveavägens gatubidrag och totalhalter

Nivå (m)	Totalhalt Sveavägen 88	Avklingning av totalhalt	Bakgrundshalt ovan taknivå	Haltbidrag Sveavägen 88	Avklingning av haltbidrag
3	35	1	15	20	1
4	35	1	15	20	1
6	33	0,94	15	18	0,90
8	33	0,94	15	18	0,90
10	31	0,89	15	16	0,80
12	28	0,80	15	13	0,65
14	28	0,80	15	13	0,65
16	27	0,77	15	12	0,60
18	26	0,74	15	11	0,55
20	26	0,74	15	11	0,55
22	25	0,71	15	10	0,50
24	22	0,63	15	7	0,35

Diagram 3: NO_2 -gradienter för Sveavägens totalhalter.



8.3 Jämförelse av NO_x-halter, diffusion och kemiluminescens

Resultat från parallellmätning mellan diffusion och kemiluminescens för NO_x visas i tabell 5 och i diagram 4 och 5. Avvikelsen för periodmedelvärdet var ca 4 % i gatupunkten och ca 10 % i takpunkten. För enskilda veckor var avvikelsen större, som mest ca 40 %. Medelvärdena för diffusionsprovtagningen i gata och tak visade därmed relativt god överensstämmelse med kemiluminescens.

Tabell 5: Jämförelse, NO_x diffusionsprovtagning och kemiluminescens

	Diffusion Chemilum. (gatupkt 2)	Diffusion Chemilum. (gatupkt 2)	Diffusion Chemilum. (takpkt 3)	Diffusion Chemilum. (takpkt 3)
v13	58,5	61	16,5	20
v14	39,6	43	14,1	13
v15	99,1	80	33,3	24
v16	77,9	80	22,4	20
medelvärde v13-v16	69	66	22	19
avvikelse d/c v13-v16	1,04		1,1	

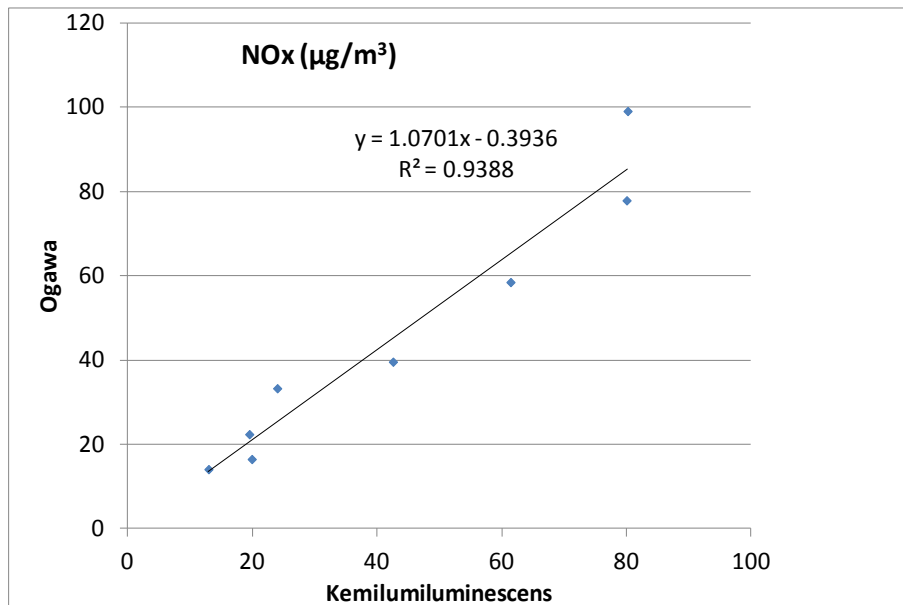
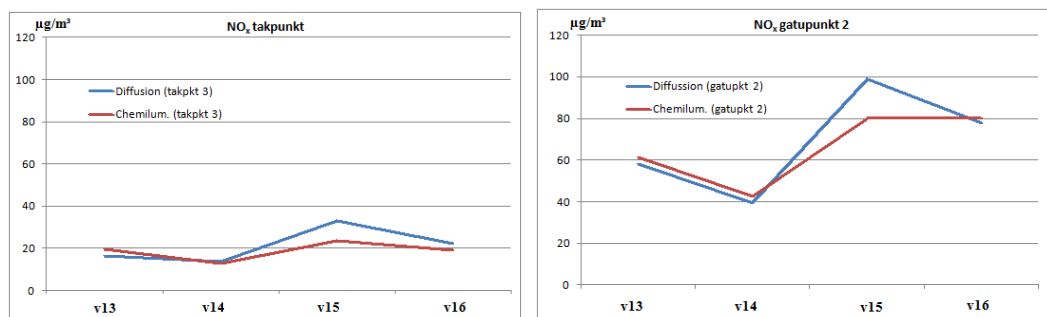


Diagram 4 och 5: Veckomedelvärden, NO_x diffusion och kemiluminescens



8.4 Vertikal haltvariation för NO_x vid Sveavägen 88

Mätresultaten för NO_x vid 11 nivåer längs fasaden vid Sveavägen 88 samt i gatupunkt 2 visas i bild 9. Som för NO₂ varierade haltavtagandet mellan de olika höjderna och var i snitt ca 1,1 µg/m³ per meter mellan fasadpunkterna från 4 meter till 24 meter ovan körbanan.

Bild 10: Mätta totalhalter av NO_x vid Sveavägen 88

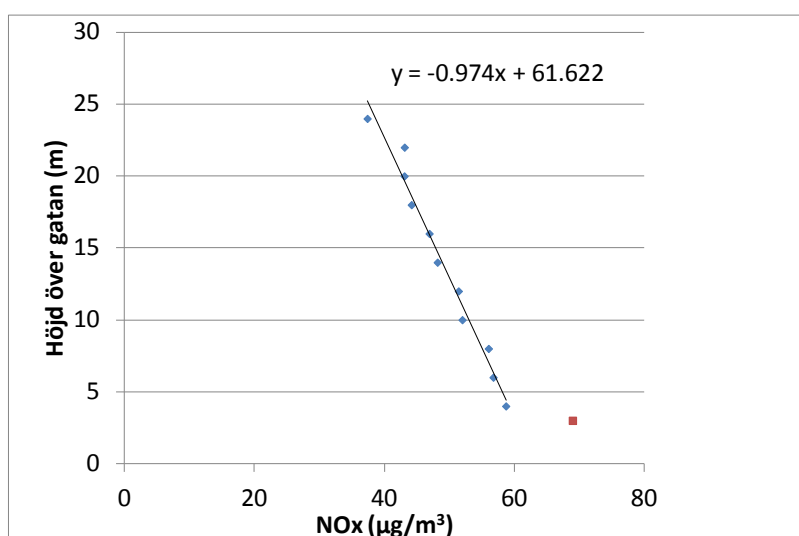


Tabell 6 och diagram 6 visar hur totalhalten och trafikens haltbidrag förändrades med höjden ovan körbanan. Totalhalten minskade med ca 40 % från 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ till 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medan haltbidraget från trafiken minskade med ca 55 % från 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ till 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabell 6: *NO_x-halter avseende Sveavägens gatubidrag och totalhalter*

Nivå (m)	Totalhalt Sveavägen 88	Avklingning av totalhalt	Bakgrundshalt ovan taknivå	Haltbidrag Sveavägen 88	Avklingning av haltbidrag
3	69	1	19	50	1
4	59	0,85	19	40	0,79
6	57	0,82	19	38	0,76
8	56	0,81	19	37	0,74
10	52	0,75	19	33	0,66
12	51	0,75	19	32	0,65
14	48	0,70	19	29	0,58
16	47	0,68	19	28	0,56
18	44	0,64	19	25	0,50
20	43	0,62	19	24	0,48
22	43	0,62	19	24	0,48
24	37	0,54	19	18	0,37

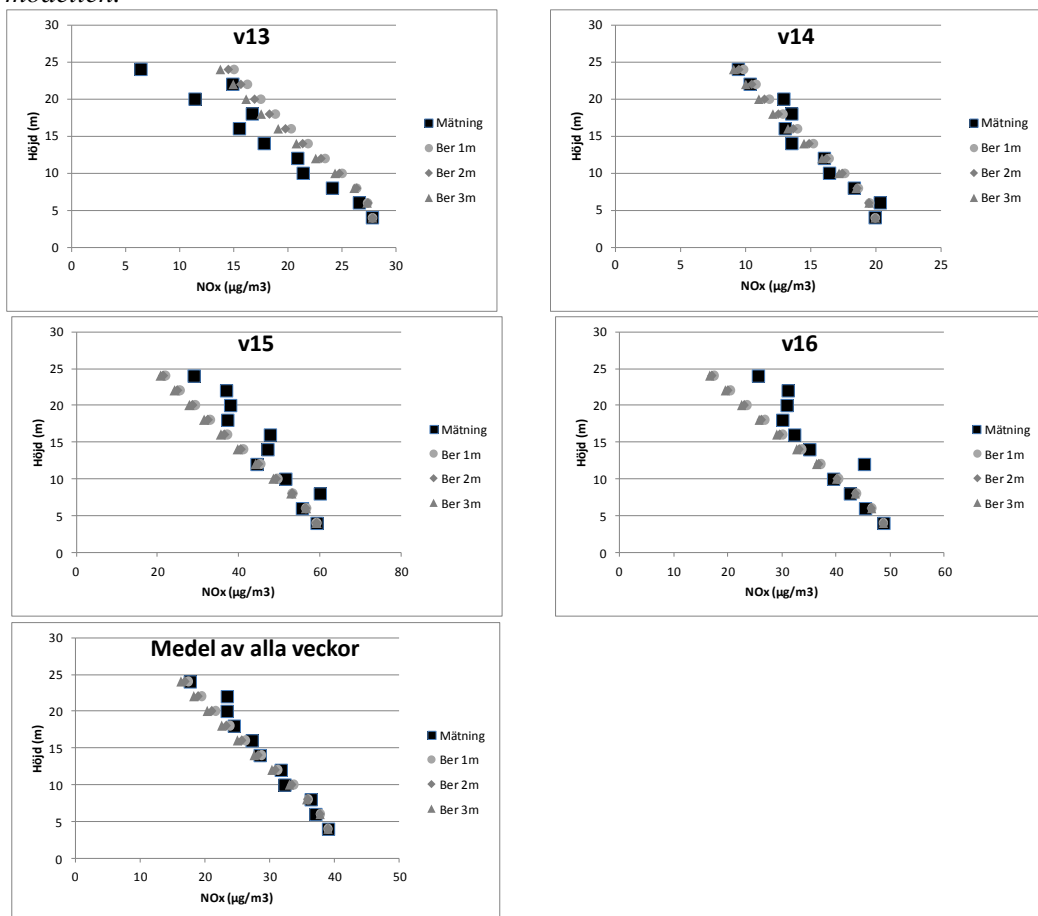
Diagram 6: *Totalhalter av NO_x. De blå punkterna är mätningarna längs husfasaden och den röda punkten är mätning vid trottoarkant närmare gatan.*



8.5 Jämförelse med modellberäkning

Den uppmätta vertikala haltvariationen för NO_x -halter har jämförts med en beräknad haltvariation. För detta användes SMHI Airviro Canyonmodell, som beräknar halternas horisontella och vertikala variation i ett tvärsnitt i ett gaturum. Beräkningarna gjordes för samma meteorologi som under mätperioden. De genomsnittliga beräknade halterna jämförs med de uppmätta i diagram 7 nedan. Beräkningarna avser 1, 2 och 3 meter från fasaden och är medelvärden för samma veckor som mätningarna genomfördes. Den beräknade halten vid 4 meter över marken har skalats om så att den ska överensstämma med mätningen på 4 meter. Av diagrammen framgår att överensstämmelsen mellan beräknade gradienter och uppmätta är mycket god.

Diagram 7: Jämförelse av beräknade och uppmätta NO_x -halter vid Sveavägen 88. De svarta fyllda kvadraterna är uppmätta värden och de grå är beräknade med Canyon modellen.



9 Referenser

Väkevä, M., Hameri, K., Kulmala, M., Lahdes, R., Ruuskanen, J., Laitinen, T., 1999. Street level versus rooftop concentrations of submicron aerosol particles and gaseous pollutants in an urban street canyon. *Atmospheric Environment* 33, 1385–1397.

Vardoulakis, S. Fisher, BEA., Pericleous, K., Gonzalez-Flesca, N., Modelling air quality in street canyons: a review. *Atmospheric Environment* 37 (2003) 155–182.



är en enhet vid Miljöförvaltningen i Stockholm som

- utreder
- mäter
- beräknar
- informerar

avseende kvalitet på utomhusluft. SLB-analys genomför även externa uppdrag vad gäller luftkvalitet.

ISSN 1400-0806

SLB-analys

Miljöförvaltningen i Stockholm

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

Tel 08-508 28 800, dir. SLB-analys 08-508 28 880

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