

Beräkning av emissionsfaktorer i verklig körning

Delredovisning inom projektet ”Aktiv trafikstyrning för förbättrad luftkvalitet och minskad klimatpåverkan utmed statligt vägnät”, delmoment 3.

Christer Johansson, Max Elmgren & Lars Burman



Projektet är finansierat av Trafikverket

SLB-analys, oktober 2020

SLB 42:2020



Uppdragsnummer	2019059
Daterad	2020-10-29
Handläggare	Christer Johansson, 076 12 28 931
Status	Granskad av Michael Norman

Förord

Detta PM är en redovisning av delmoment 3 inom projektet ”Aktiv trafikstyrning för förbättrad luftkvalitet och minskad klimatpåverkan utmed statligt vägnät” med finansiering från Trafikverkets FOI-portfölj Möjliggöra. Utredningen är genomförd av SLB-analys vid Miljöförvaltningen i Stockholm. Rapporten har sammanställts av Christer Johansson, Max Elmgren och Lars Burman. Projektledare vid SLB-analys har varit Kristina Eneroth och Michael Norman. Kontaktpersoner på Trafikverket har varit Michelle Benyamine-Remahl och Jeffery Archer.

Innehåll

Sammanfattning	6
Metoder	6
Resultat	6
Rekommendationer	6
Inledning	7
Metoder.....	8
Mätningarna längs E20	8
Beräkningar av emissionsfaktorer.....	9
Resultat.....	11
Uppmätta skillnader i koncentration mellan de båda sidorna av vägen	11
Emissionsfaktorer för NOx och sotpartiklar	13
Kväveoxider, NOx	13
Sotpartiklar	14
Diskussion.....	15
Rekommendationer	15
Osäkerheter i resultaten.....	15
Referenser	17
Bilaga 1. Känslighetsberäkningar	18

Sammanfattning

Syftena med detta delmoment är att beräkna emissionsfaktorer för kväveoxider (NO_x) och sotpartiklar baserat på mätningarna av koldioxid (CO₂) och jämföra med de som används i HBEFA 4.1.

Metoder

Emissionsfaktorerna (EF) i verklig trafik beräknas baserat på uppmätta skillnader i halterna mellan mätningarna på de båda sidorna av vägen. Antagandet är att haltskillnaden beror på trafikens utsläpp. Genom att även mäta skillnaden i koldioxidhalt kan sedan emissionsfaktorn för olika ämnen beräknas som skillnaden halter av ämnena dividerat med skillnaden i koldioxidhalten gånger emissionsfaktorn för koldioxid. Den uppmätta emissionsfaktorn för alla fordon delas upp i emissionsfaktorn för tunga och lätta fordon baserat på en regressionsanalys.

Resultat

Den totala emissionsfaktorn för NO_x beräknad med HBEFA är ca 20 % högre än den uppmätta, men skillnaden ligger inom osäkerheterna. För lätta fordon är HBEFAs emissionsfaktor 40 % högre och för tunga fordon drygt 40 % lägre. Ett 95-procentigt konfidensintervall för den uppmätta emissionsfaktorn för tunga fordon överlappar intervallet för emissionsfaktorn beräknad med HBEFA.

Den totala emissionsfaktorn för sotpartiklar enligt mätningarna är nästan 2,5 gånger högre än HBEFA. För lätta fordon är den uppmätta emissionsfaktorn nästan 3 gånger högre och för tunga fordon ca knappt 1,5 gånger högre jämfört med HBEFA. Det 95-procentiga konfidensintervallet för den uppmätta emissionsfaktorn för tunga fordon överlappar intervallet enligt HBEFA.

För sotpartiklar är det tydligt att HBEFAs emissionsfaktor är lägre än den uppmätta. Men det är viktigt att observera att den uppmätta emissionsfaktorn kan inkludera visst bidrag från sotpartiklar i slitagepartiklar som inte ingår i HBEFA eftersom den bara avser avgasgenererade sotpartiklar. Detta kan bidra till att den uppmätta emissionsfaktorn är betydligt högre än den från HBEFA.

Rekommendationer

Eftersom jämförelsen mellan uppmätt total emissionsfaktor för NO_x inte skiljer speciellt mycket från HBEFA är rekommendationen att använda emissionsfaktorerna enligt HBEFA 4.1 utan korrigering. I verkligheten kan avvikelserna vara större för t ex dieselpersonbilar, men mätningen kan inte separera emissionsfaktorer för enskilda fordonstyper, mer än tunga och lätta fordon.

Beräkningar av trafikens bidrag till sotpartikelhalterna, som bygger på emissionsfaktorer enligt HBEFA 4.1 bör valideras mot mätningar och korrigeras.

Inledning

SLB-analys mäter luftföroreningar vid väg E4/E20 Södertäljevägen i Hallunda (vid Botkyrkahallen). Mätningar ingår i projektet ”Aktiv trafikstyrning för förbättrad luftkvalitet och minskad klimatpåverkan utmed statligt vägnät” med finansiering från Trafikverkets FoI-portfölj Möjliggöra.

Under våren 2020 genomförde företaget Facility Labs tillsammans med trafikverket kameramätningar av registreringsskyltar. Data kopplades till vägtrafikregistret som ger detaljerad information om fordonen, bl.a. fordonstyp, drivmedel och miljöklass (euroklass). Baserat på dessa uppgifter skapades en ny databas med fordonskategorier som kopplades till emissionsfaktorer ur den nyaste versionen av emissionsdatabasen HBEFA 4.1. En sammanställning av resultaten finns i SLB rapport nr 37:2020 [1].

Syftena med detta delmoment är att beräkna emissionsfaktorer för NO_x och sotpartiklar baserat på mätningarna av CO₂ och jämföra med de som används i HBEFA 4.1 [2]. Anledningen är att den aktiva trafikstyrningen är beroende av säkra prognoser av utsläpp och halter, vilket i sin tur beror på noggrannheten i emissionsfaktorerna som används. Många studier tyder på att HBEFA underskattar de verkliga utsläppen.

Metoder

Mätningarna längs E20

SLB-analys har mätt luftföroreningshalter på båda sidorna av E20 i Hallunda (Figur 1). Tidsupplösningen har varit 15 minuter. Mätningarna startade 4 april 2019 och har omfattat halter av kväveoxider (NO_x, NO, NO₂), CO₂ samt partiklar i form av PM10, PM2.5 och sotpartiklar (BC, black carbon). Syfte är att data ska ligga till grund för analyser av fordonstrafikens utsläpp och inverkan på halterna intill E20. Mätmetoder (utom CO₂ och sotpartiklar) och mätplatser beskrivs i SLB rapport 19:2020 [3].

Sotpartiklar mäts med en aethalometer (Magee Scientific Aethalometer, Modell AE31). Detta är en optiskmetod där attenueringen av ljus mäts vid sju olika våglängder (370, 470, 520, 590, 660, 880, och 950 nm) efter passage genom ett filter med insamlade partiklar uppmäts. Mätningen vid 880 nm representerar koncentrationen av sotpartiklar (black carbon). Attenueringen omräknas till masskoncentration med en specifik absorptionskoefficient.

Koldioxidmätningen görs med ett Environement (S.A CO12M) instrument som baseras på absorbtionen av infrarött ljus.



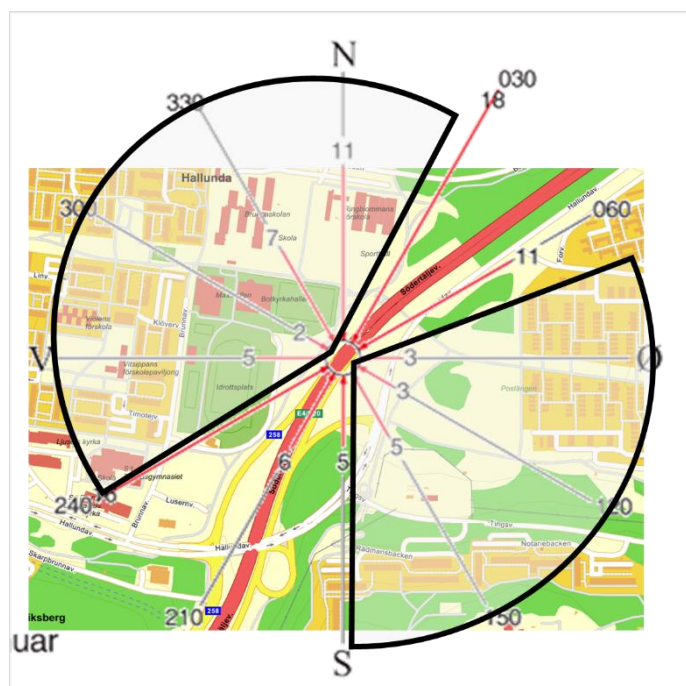
Figur 1. Facility labs ANPR-utrustning vid gång och cykel-bron E4/E20 Hallunda (röda prickar), samt SLB-analys mätstationer (blå prickar).

Beräkningar av emissionsfaktorer

Emissionsfaktorerna (EF) i verklig trafik beräknas baserat på uppmätta skillnader i halterna mellan mätningarna på de båda sidorna av vägen. Antagandet är att haltskillnaden beror på trafikens utsläpp. Genom att även mäta skillnaden i koldioxidhalt (ΔCO_2) kan sedan emissionsfaktorn för olika ämnen beräknas som skillnaden halter av ämnena (ΔC_i) dividerat med skillnaden i koldioxidhalten multiplicerat med emissionsfaktorn för koldioxid (EF_{CO_2}).

$$EF C_i = \frac{\Delta C_i}{\Delta CO_2} EF_{CO_2} \quad (1)$$

Emissionsfaktorn för koldioxid erhålls från HBEFA modellen för den fordonssammansättning som råder enligt kameraregistreringarna. De uppmätta emissionsfaktorerna för NO_x och sotpartiklar jämförs med HBEFA (version 4.1). För att säkerställa att de uppmätta skillnaderna i halter mellan mätningarna på de båda sidorna längs E20 var signifikanta och berodde på trafikens utsläpp användes ett urval av mätningarna. Kriteriet var att skillnaden i halterna av CO₂, NO_x och sotpartiklar mellan nordvästra och nordöstra sidan för en och samma timme skulle vara större än vissa kriterier (se Bilaga 1). Data för perioden 21 maj 2020 – 17 juni 2020 användes i analysen. Emissionsfaktorerna beräknas endast för vindriktningar som faller inom intervallen enligt Figur 2.



Figur 2. Intervall för vindriktningen som används som kriterier för att koncentrationsskillnaden ska beräknas och tas med i beräkningen av emissionsfaktorer för NO_x och sotpartiklar.

Detaljerad information om fordonssammansättningen erhållits från automatiska avläsningar av registrerings skyltar samt uppgifter från fordonsregistret (Facility labs). Denna metod och resultaten beskrivs i SLB rapport nr 37:2020.

Den uppmätta emissionsfaktorn (EF) för alla fordon (N) delas upp i emissionsfaktorn för tunga (HDV) och lätta (LDV) fordon, t ex för NO_x:

$$EF_{NO_x} \times N = EF_{NO_x HDV} \times N_{HDV} + EF_{NO_x LDV} \times N_{LDV} \quad (2)$$

där N_{HDV} och N_{LDV} är antalet tunga respektive lätta fordon. Eftersom totala antalet fordon måste vara lika med antalet tunga plus antalet lätta:

$$N = N_{HDV} + N_{LDV} \Rightarrow N_{HDV} = N - N_{LDV}$$

så kan den totala emissionsfaktorn uttryckas som funktion av andelen lätta fordon:

$$EF_{NO_x} = (EF_{LDV} - EF_{HDV}) \frac{N_{LDV}}{N} + EF_{HDV} \quad (3)$$

Genom att plotta den totala emissionsfaktorn mot andelen lätta fordon (N_{LDV}/N) kan emissionsfaktorn för tunga fordon erhållas från skärningspunkten av y-axeln och emissionsfaktorn för lätta fordon från lutningen.

Resultat

Uppmätta skillnader i koncentration mellan de båda sidorna av vägen

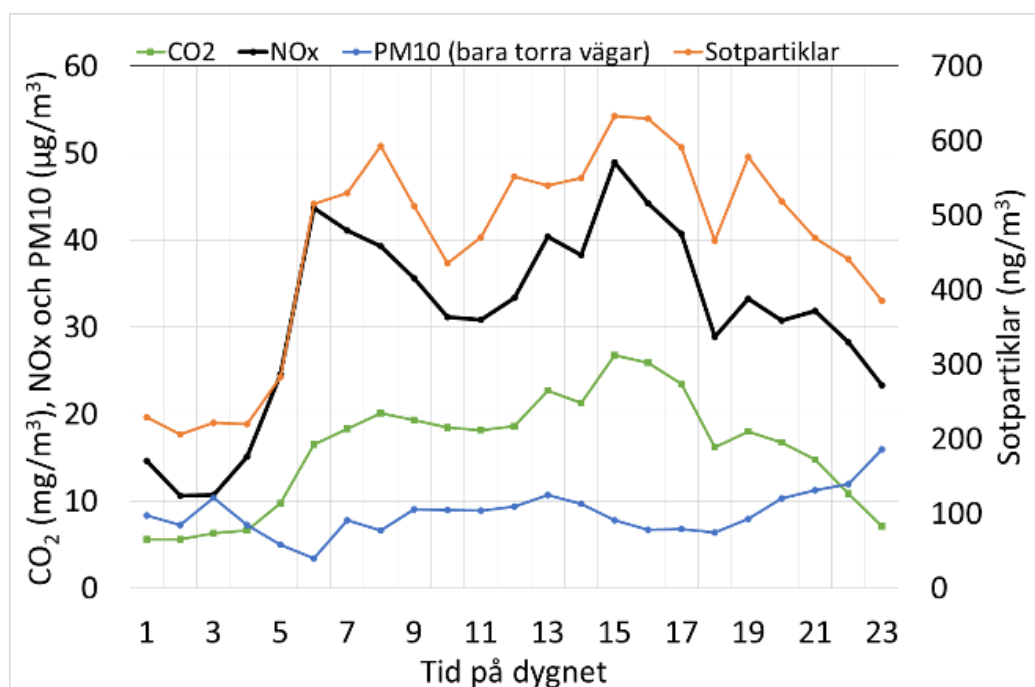
De genomsnittliga skillnaderna i koncentration mellan sidorna av motorvägen för alla data (21 maj – 17 juni 2020) redovisas i Tabell 1. Koncentrationsskillnaderna är medelvärdet av skillnaderna för uppmätta halter med 15 minuters upplösning. För PM10 redovisas värdena för torra och våta vägar för sig (se fotnot i tabellen för definition). Haltskillnaderna för PM10 är som väntat betydligt mindre vid våta jämfört med torra väglag.

Tabell 1. Genomsnittliga skillnader i halterna mellan de båda sidorna av vägen. De minimala haltskillnaderna motsvarar kriterier som användes för att säkerställa att skillnaderna var signifikanta. Konfidensintervallerna baseras på 15 minuters medelvärden.

	CO ₂ (mg/m ³)	NO _x (µg/m ³)	Sotpartiklar (ng/m ³)	PM10 vid torra ¹ väglag (µg/m ³)	PM10 vid våta ¹ väglag (µg/m ³)
Medelvärden ± 95% konfidensintervall	26 ± 9	31 ± 22	462 ± 399	9.8 ± 10.0	3.1 ± 2.8
Maximala haltskillnader	58	121	4532	91	14
Minimala haltskillnader	15	2	11	1	1
Antal 15 minutersmedelvärden	640	1410	1425	1279	30

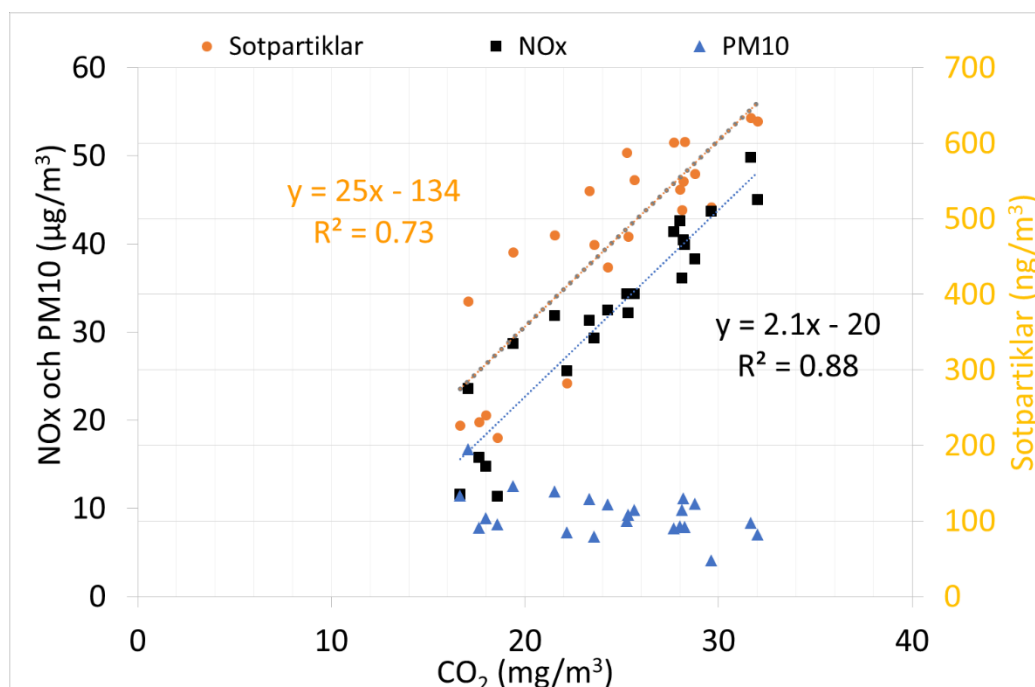
¹ Information om torra respektive våta vägar kommer från kontinuerliga mätningar vid Gröndal (Essingeleden) med en Vaisala Remote Road Surface State Sensor (DSC111). Sensorn är riktad mot vägbanan och registrerar reflekterat ljus från transmittern i specifika våglängder och kan särskilja och detektera närvaron av vatten, snö och is på vägbanan.

Figur 3 visar medeldygnsvariationen i koncentrationsskillnaderna mellan de båda sidorna av vägen. NO_x, sotpartiklar och CO₂ uppvisar ungefär samma mönster med höga värden dagtid speciellt under eftermiddagen, medan PM10 avviker med lika höga eller t o m högre skillnader under natten jämfört med dagen trots att trafikmängden är ca 10 gånger högre dagtid.



Figur 3. Genomsnittliga dygnsvariationer i skillnaderna i koncentration mellan de båda sidorna av motorvägen.

Av Figur 4 framgår, som väntat, att korrelationerna (r^2) är höga mellan haltskillnaderna för CO₂ och haltskillnaderna för NO_x och sotpartiklar, 0.88 respektive 0.73. Däremot finns ingen korrelation mellan CO₂ och PM10. Anledningen till att PM10 inte korrelerar kan vara att PM10 emissionerna mer påverkas av körbanans fuktighet och i mindre utsträckning av trafikflödet, men detta har dock inte kunnat påvisas på grund av att tillräckligt känsliga vägfuktighetsdata saknas.



Figur 4. Spridningsdiagram av haltskillnaderna för NO_x, sotpartiklar och PM10 mot CO₂.

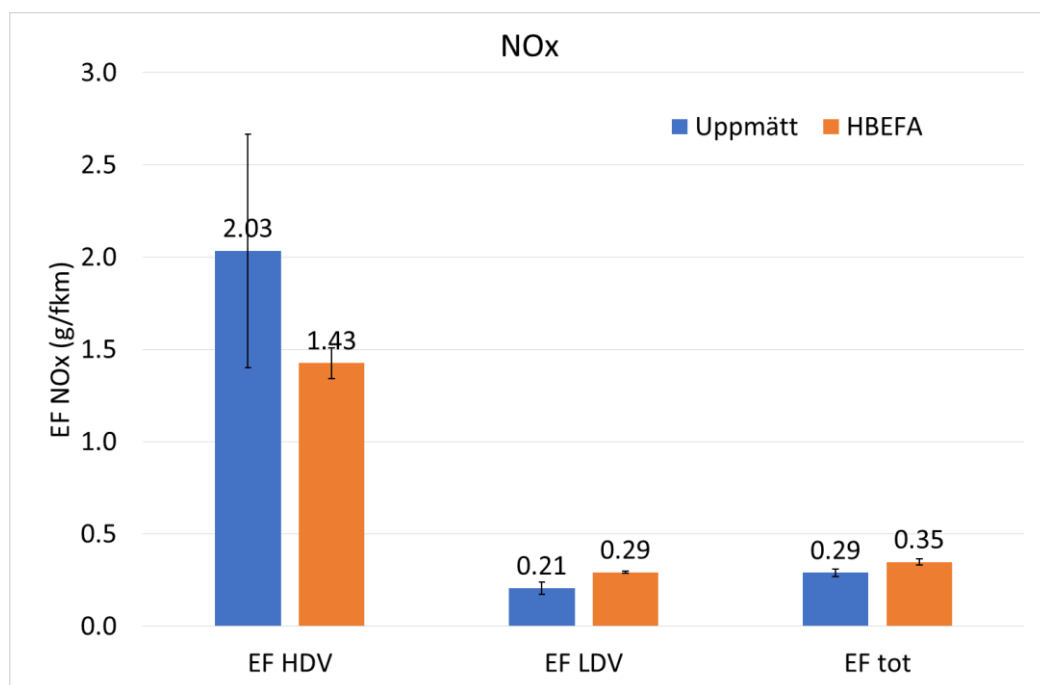
Emissionsfaktorer för NOx och sotpartiklar

Nedan presenteras emissionsfaktorer för tunga och lätta fordon baserat på ekvation (1) och (3). För att säkerställa att emissionsfaktorerna inte beror på koncentrationsskillnaderna gjordes känslighetsberäkningar som presenteras i Bilaga 1.

Kväveoxider, NOx

Figur 5 visar jämförelsen mellan emissionsfaktorerna för NOx baserat på mätningarna (med EF för CO₂ som referens) och emissionsfaktorerna baserat på HBEFA 4.1.

Den totala emissionsfaktorn beräknad med HBEFA är ca 20 % högre än den uppmätta, men skillnaden ligger inom osäkerheterna. För lätta fordon är HBEFAs emissionsfaktor 40 % högre och för tunga fordon drygt 40 % lägre. Ett 95 procentigt konfidensintervall för den uppmätta emissionsfaktorn för tunga fordon överlappar intervallet för emissionsfaktorn beräknad med HBEFA.

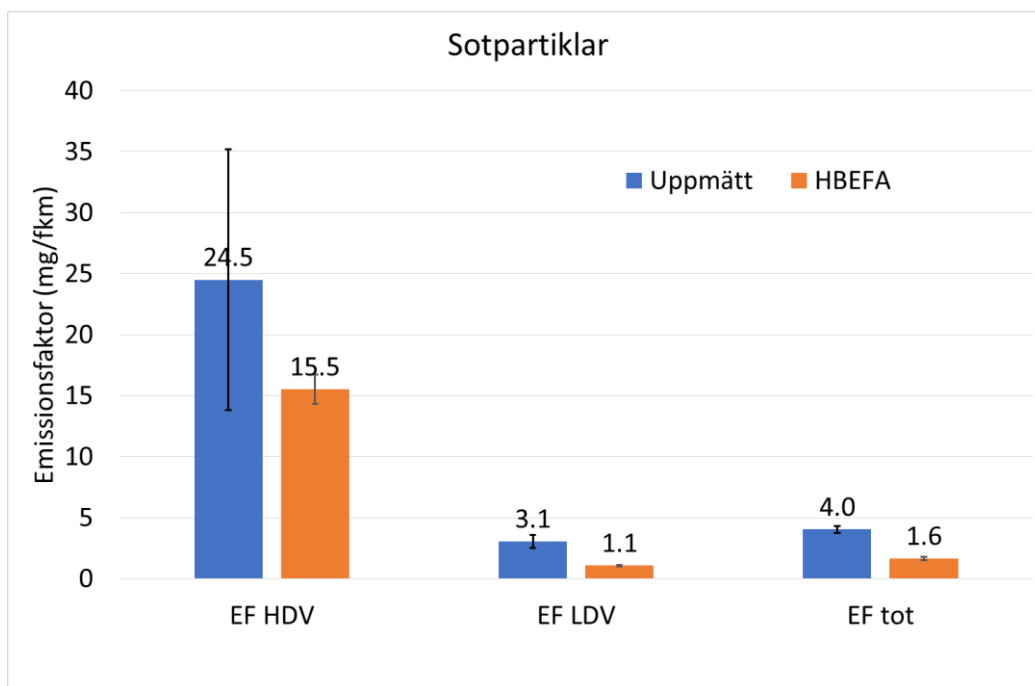


Figur 5. Jämförelse mellan uppmätta emissionsfaktorer för NOx och beräknade baserat på HBEFA 4.1. HDV = tunga fordon (lastbilar och bussar >3.5 ton), LDV = Lätta fordon (personbilar och lätta lastbilar).

Sotpartiklar

Figur 6 visar jämförelsen mellan emissionsfaktorerna för sotpartiklar baserat på mätningarna (med EF för CO₂ som referens) och emissionsfaktorerna baserat på HBEFA 4.1.

Den totala emissionsfaktorn enligt mätningarna är nästan 2,5 gånger högre än HBEFA. För lätta fordon är den uppmätta emissionsfaktorn nästan 3 gånger högre och för tunga fordon ca knappt 1,5 gånger högre jämfört med HBEFA. Det 95 procentiga konfidensintervallet för den uppmätta emissionsfaktorn för tunga fordon överlappar intervallet enligt HBEFA.



Figur 6. Jämförelse mellan uppmätta emissionsfaktorer för sotpartiklar och beräknade baserat på HBEFA 4.1. HDV = tunga fordon (lastbilar och bussar >3.5 ton), LDV = Lätta fordon (personbilar och lätta lastbilar).

Diskussion

Rekommendationer

Eftersom jämförelsen mellan uppmätt total emissionsfaktor för NO_x inte skiljer speciellt mycket från HBEFA är rekommendationen att använda HBEFAs emissionsfaktorer. I verkligheten kan avvikelserna vara större för t ex dieselpersonbilar, men mätningen kan inte separera emissionsfaktorer för enskilda fordonstyper, mer än tunga och lätta fordon.

För sotpartiklar är det tydligt att HBEFAs emissionsfaktor är lägre än den uppmätta. Men det är viktigt att observera att den uppmätta emissionsfaktorn kan inkludera visst bidrag från slitagepartiklar som inte ingår i HBEFA eftersom den bara avser avgasgenererade sotpartiklar. Detta kan bidra till att den uppmätta emissionsfaktorn är betydligt högre än den från HBEFA. Beräkningar av trafikens bidrag till sotpartikelhalterna, som bygger på HBEFAs emissionsfaktorer bör valideras mot mätningar och eventuellt korrigeras.

Osäkerheter i resultaten

Det finns flera faktorer som påverkar osäkerheten i de uppmätta emissionsfaktorerna:

- De uppmätta emissionsfaktorerna förutsätter att HBEFA's faktorer för CO₂ är representativa för fordonen och körförhållandena. Det är känt att bränsleförbrukningen och därmed CO₂ utsläppen påverkas av både körförhållanden (hastigheter, köer, rullmotstånd), fordonets vikt, däck, däckstryck och användningen av kringutrustning i fordonen (AC, stereo, takbox, släpvagn). I detta fall råder fritt flytande trafik och ungefär samma hastigheter hela tiden så detta bör inte vara en viktig osäkerhet. Även yttre faktorer kan påverka, såsom vindhastighet och temperatur.
- De uppmätta emissionsfaktorerna bygger på att den uppmätta skillnaden i koncentration mellan de båda sidorna av vägen uppkommer på grund av emissionerna från trafiken på vägen. Genom att endast använda tillfällena då vindriktningen uppfyller vissa kriterier (nära vinkelräta vindar) så minskar risken att koncentrationsskillnaden beror på andra faktorer.
- Eftersom mätningarna sker med olika instrument så är det viktigt att instrumenten är kalibrerade så att skillnaden inte beror på att instrumenten systematiskt avviker från varandra. Likaså är det viktigt att skillnaden är mätbar och inte beror på att precisionen i mätningarna är otillräcklig. Detta kontrolleras genom att analysera hur känslig den uppmätta emissionsfaktorn är för det absoluta värdet på koncentrationsskillnaden.
- Eftersom avståndet från emission till mätpunkt skiljer sig för södergående och norrgående trafik blir bidraget till halten på endera sidan av vägen beroende på vilken riktning som ger störst bidrag till utsläppen. Instrumenten på nordvästra sidan står närmare södergående trafik och instrumenten på sydöstra sidan står närmare norrgående trafik. Om det systematiskt är så att t ex norrgående trafik har högre utsläpp än södergående kommer koncentrationsskillnaderna vid nordvästliga vindar ge systematiskt högre skillnader jämfört med sydostliga vindar. De genomsnittliga emissionsfaktorerna kan då bli underskatta de verkliga utsläppen om perioden domineras av sydostliga vindar. Men detta fel minskar eller elimineras helt om haltskillnaden och referensemissionsfaktorn för CO₂ påverkas på samma sätt.

Även när det gäller emissionsfaktorerna i HBEFA finns osäkerheter beroende på exempelvis körcykler, fordonstyper/Euroklasser beroende på vilken luftförorening det gäller. Kör cyklerna antas representativa för verklig trafik och typiska trafiksituationer (som kategoriseras av område, vägtyp, hastighetsbegränsning och flödesklasser) baseras på uppmätta kör cykler. Eftersom det är allt för tidskrävande och kostsamt att göra mätningar för alla möjliga trafiksituationer så har HBEFA använt sig

av parameteriseringar av de viktigaste faktorerna som påverkar emissionerna. Dessa parametrar tas fram genom mätningar vid verklig körning och använts sedan för att man ska kunna beskriva alla de trafiksituationer som kan förekomma. Jämförelser med mätningar i laboratorier verkliga utsläpp används för att ta fram så noggranna emissionsfaktorer som möjligt. Det är betydelsefullt hur detaljerad uppdelning man har mellan olika Euroklasser. I vårt fall har vi mycket detaljerad information via kameraregistreringarna. Vi har delat upp tunga lastbilar efter totalvikt vilket ger bättre överenskommelse än tidigare. Men vi har inte kunnat dela upp de lätta lastbilarna i olika Euro 6-klasser.

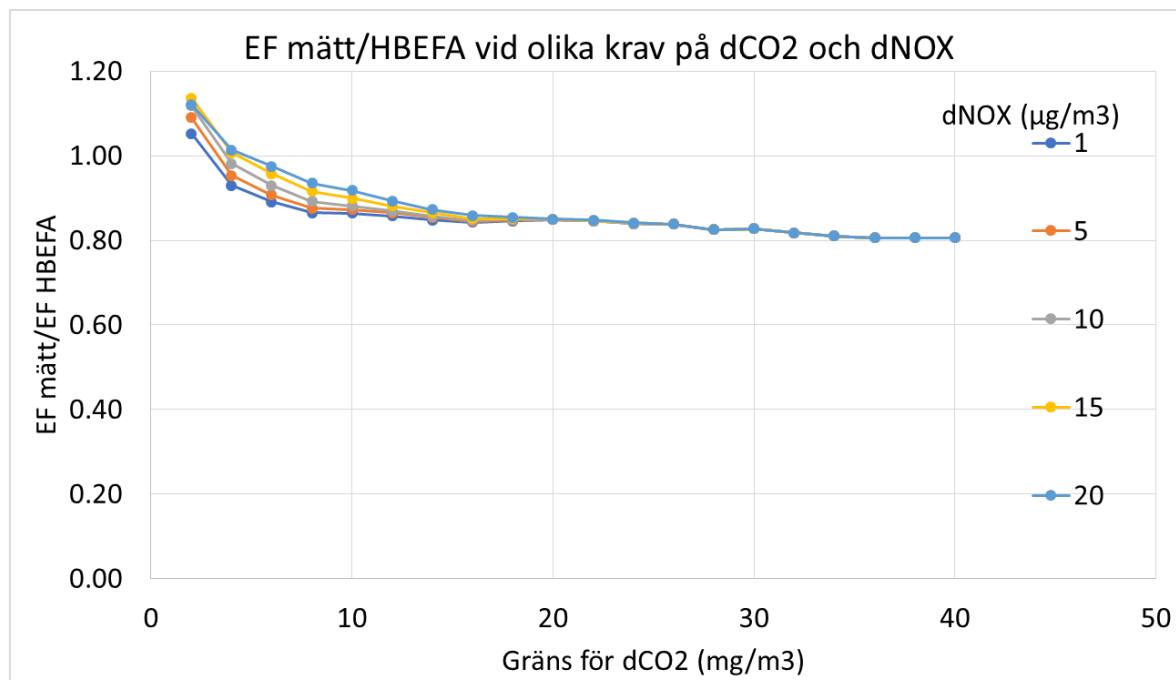
Olika delar i HBEFA uppdateras periodvis. I senaste uppdateringen från version 3.3 till 4.1 har man inkluderat mer data framförallt för Euro 6 fordon, temperaturberoende emissionsfaktorer för NO_x samt även inkluderat emissionsfaktorer för hybridfordon. För sotpartiklar fanns inte emissionsfaktorer i HBEFA 3.3, men de som implementerats i 4.1 är samma som vi tidigare använt i analyserna av emissionsfaktorer vid E18 [4].

Referenser

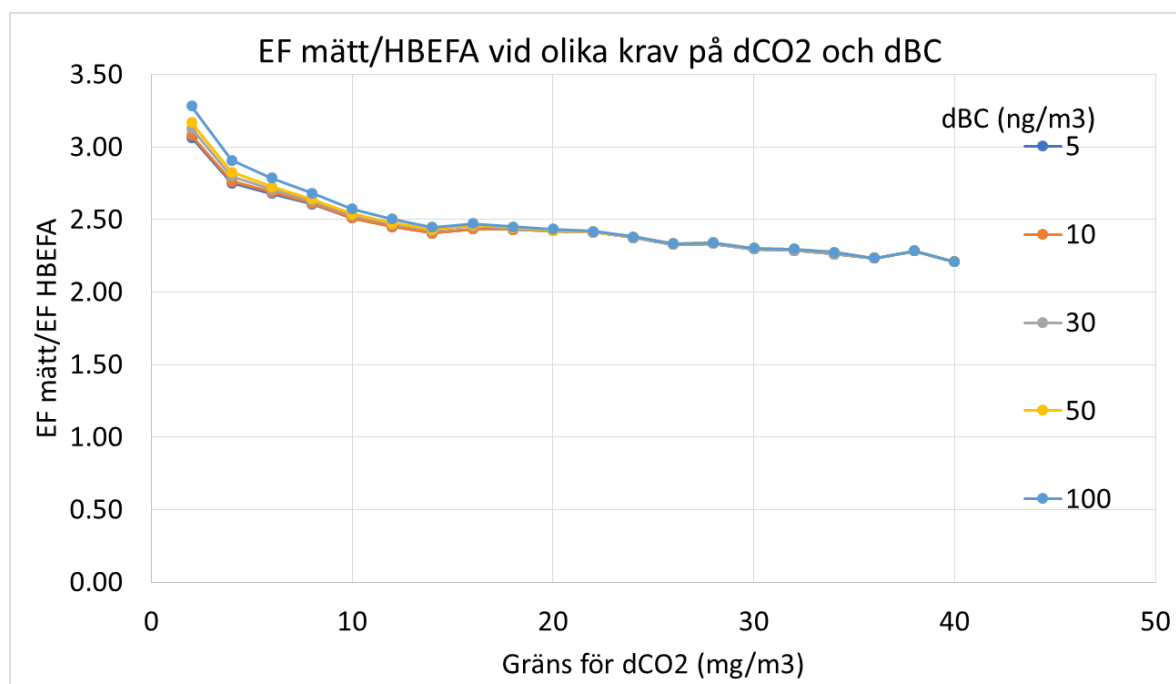
1. SLB rapport nr 37:2020. Fordonssammansättning kopplat till HBEFA 4.1 vid E4/E20 Hallunda, samt hastighet- och trafikflödesprofiler. Delredovisning inom projektet "Aktiv trafikstyrning för förbättrad luftkvalitet och minskad klimatpåverkan utmed statligt vägnät". Max Elmgren & Lars Burman.
2. SLB rapport nr 19:2020. Resultat av mätningar av luftföroreningar vid E4/E20 i Hallunda år 2019. Delredovisning inom projektet "Aktiv trafikstyrning för förbättrad luftkvalitet och minskad klimatpåverkan utmed statligt vägnät". Michael Norman.
3. Hausberger, S.; Rexeis, M.; Zallinger, M.; Luz, R. Emission Factors from the Model PHEM for the HBEFA Version 3; Report Nr. I-20/2009 Haus-Em 33/08/679 from 07.12.2009. Graz University of Technology, Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics, 2009. Available online: www.hbefa.net/e/index.html (accessed on 1 June 2017).
4. SLB rapport nr 7:2009. Miljöanpassad hastighet på E18 Norrtäljevägen - Utvärderingsrapport 2009. Christer Johansson, Michael Norman, Billy Sjövall, Lars Törnquist, Magnus Brydolf, Börje Norberg, Peter Strömberg, Lars Burman. http://slb.nu/slb/rapporter/pdf8/slb2009_007.pdf.

Bilaga 1. Känslighetsberäkningar

Figuren nedan visar hur kvoten mellan uppmätt och HBEFAs emissionsfaktor för NO_x beror av koncentrationsskillnaderna för NO_x och CO₂. Baserat på denna användes kriteriet att koncentrationsskillnaden för NO_x måste vara minst 2 µg/m³ och CO₂ minst 15 mg/m³.



Figuren nedan visar hur kvoten mellan uppmätt och HBEFAs emissionsfaktor för sotpartiklar beror av koncentrationsskillnaderna för sotpartiklar och CO₂. Baserat på denna användes kriteriet att koncentrationsskillnaden för sotpartiklar måste vara minst 10 µg/m³ och CO₂ minst 15 mg/m³.



SLB-analys, Miljöförvaltningen i Stockholm.
Tekniska nämndhuset, Fleminggatan 4.
Box 8136, 104 20 Stockholm.
www.slb.nu

