

Beräkning av emissionsfaktorer i verklig körning

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

Christer Johansson, Max Elmgren & Lars Burman



Projektet är finansierat av Trafikverket

SLB-analys, februari 2022

SLB 26:2022



Uppdragsnummer	2019059
Daterad	2022-03-28
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 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	8
Resultat	11
Uppmätta skillnader i koncentration mellan de båda sidorna av vägen	11
Emissionsfaktorer för NO _x och sotpartiklar	11
Kväveoxider, NO _x	11
Sotpartiklar	13
Diskussion och rekommendationer	15
Referenser	16

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. Motsvarande är gjort för mätdata under 2019 och redovisas i rapport SLB 42:2020 [3]. Denna rapport jämför även resultaten mellan de två åren.

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 10 % högre än den uppmätta, men skillnaden ligger inom osäkerheterna. För lätta fordon är HBEFAs emissionsfaktor drygt 50 % högre och för tunga fordon ca 25 % lägre. Ett 95 procentigt konfidensintervall för den uppmätta emissionsfaktorn för tunga fordon överlappar intervallet för emissionsfaktorn beräknad med HBEFA.

Mätningarna år 2020 visade mycket likartade resultat vad gäller jämförelsen mellan de uppmätta emissionsfaktorerna och HBEFA för NO_x. Både HBEFA och de uppmätta emissionsfaktorerna är något lägre 2021 jämfört med 2020.

Den totala emissionsfaktorn för sotpartiklar enligt mätningarna är drygt 3 gånger högre än HBEFA. För lätta fordon är den uppmätta emissionsfaktorn nästan 5 gånger högre och för tunga fordon ungefär densamma som HBEFA. Det 95 procentiga konfidensintervallet för den uppmätta emissionsfaktorn för tunga fordon är stort och överlappar intervallet enligt HBEFA. Ungefär samma resultat erhöles år 2020.

Jämförelser mellan mätningarna 2017, 2020 och 2021 visar systematiskt sjunkande emissioner från vägtrafiken, både för NO_x och sotpartiklar. Samtliga mätningar visar också att emissionerna av sotpartiklar underskattas kraftigt med HBEFA och att trenden enligt mätningarna indikerar att sotpartikelemissionerna ökar i förhållande till NO_x. Med emissionsfaktorer från HBEFA är trenden den motsatta, dvs mängden sotpartiklar minskar i förhållande till NO_x. En möjlig orsak kan vara att de uppmätta emissionerna av BC innefattar slitagegenererade BC emissioner, som inte ingår i HBEFA.

Rekommendationer

Vad gäller NO_x är rekommendationerna samma som i rapporten baserad på 2019 års data dvs att använda HBEFAs emissionsfaktorer utan korrektion. 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 högre än den från HBEFA. Beräkningar av trafikens bidrag till sotpartikelhalterna, som bygger på HBEFAs emissionsfaktorer bör valideras mot mätningar och eventuellt korrigeras.

Inledning

SLB-analys har ansvarat för mätningarna av 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. Beskrivning av mätningarna finns i SLB 19:2020 [2].

Under hösten 2021 genomförde 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] samt för 2021 i SLB rapport 22:2022 [6].

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. Anledningen är att bedömningen av effekter till följd av 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. Dessutom är så korrekta emissionsfaktorer som möjligt även viktiga för alla utredningar av luftföroreningar längs med Trafikverkets vägar.

Resultaten jämförs med tidigare mätningar av emissionsfaktorer på samma plats [3].

Metoder

Mätningarna längs E20

SLB-analys har mätt luftföroreningshalter på båda sidorna av E20 i Hallunda (Figur 1). Tidsupplösningen har varit 15 minuter. Mätningarna beskrivs i SLB 19:2020 [2].

Mätningarna har omfattat halter av kväveoxider (NO_x, NO, NO₂), CO₂ samt partiklar i form av PM₁₀, PM_{2.5} 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 [2].

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 Environment (S.A CO12M) instrument som baseras på absorptionen av infrarött ljus.



Figur 1. ANPR-utrustningen vid (blå prickar) samt SLB-analys mätstationer (svarta prickar).

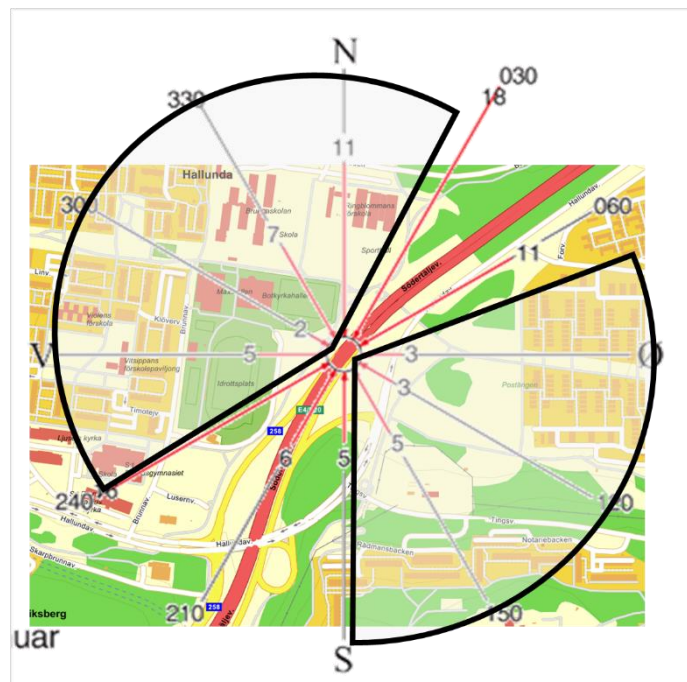
Beräkningar av emissionsfaktorer

Emissionsfaktorena (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 ANPR-data. 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 19 augusti 2021 – 31 oktober 2021 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 registreringsskyltar samt uppgifter från ANPR som sedan används för att erhålla fordondata från Transportstyrelsens fordonregister. 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:

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

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:

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

Med hjälp av linjär regression av den totala emissionsfaktorn mot andelen lätta fordon (N_{LDV}/N) erhålls emissionsfaktorn för tunga fordon från interceptet och emissionsfaktorn för lätta fordon från linjens lutning.

Resultat

Uppmätta skillnader i koncentration mellan de båda sidorna av vägen

De genomsnittliga skillnaderna i koncentration mellan sidorna av motorvägen för alla data (19 augusti – 31 oktober 2021) redovisas i Tabell 1. Koncentrationsskillnaderna är medelvärdet av skillnaderna för uppmätta halter med 15 minuters upplösning.

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 (se även 2019 års rapport).

	CO ₂ (mg/m ³)	NO _x (µg/m ³)	Sotpartiklar (ng/m ³)
Medelvärden ± 95% konfidensintervall	19 ± 0.4	37 ± 1	534 ± 23
Maximala haltskillnader	87	254	3617
Minimala haltskillnader	0	5	100
Antal 15 minutersmedelvärden	4165	3671	963

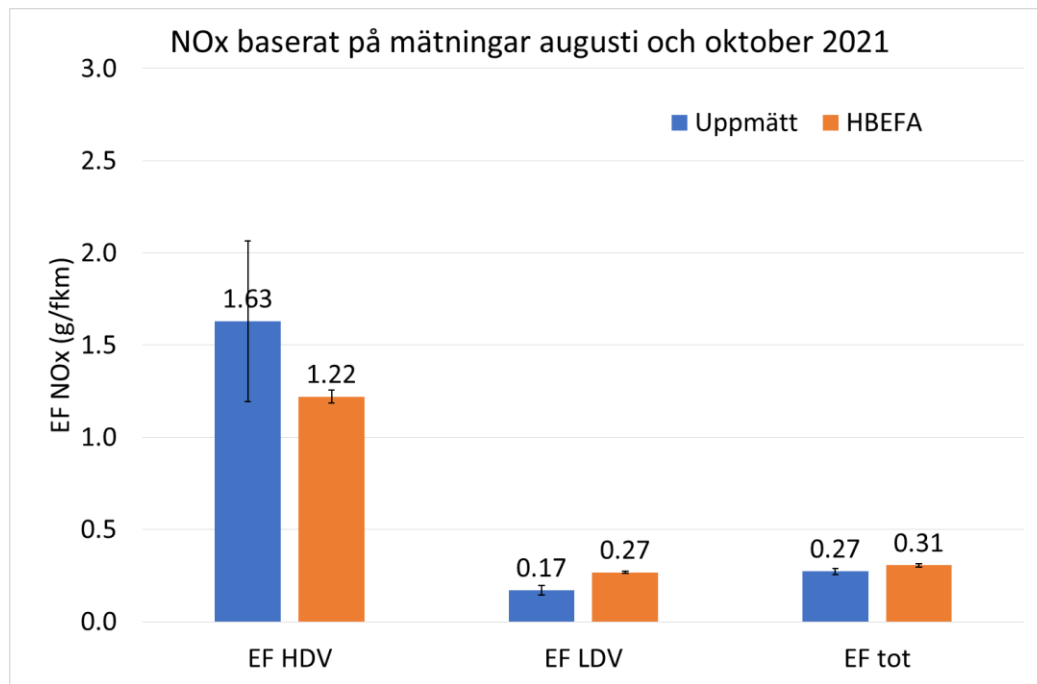
Emissionsfaktorer för NO_x och sotpartiklar

Nedan presenteras emissionsfaktorer för tunga och lätta fordon baserat på ekvation (1) och (3).

Kväveoxider, NO_x

Figur 3 visar jämförelsen mellan emissionsfaktorerna för NO_x baserat på mätningarna (med EF för CO₂ som referens) och emissionsfaktorerna baserat på HBEFA 4.1.

Den totala emissionsfaktorn beräknad med HBEFA är ca 10 % högre än den uppmätta, men skillnaden ligger inom osäkerhetsmarginalen. För lätta fordon är HBEFAs emissionsfaktor drygt 50 % högre och för tunga fordon ca 25 % lägre. Ett 95 procentigt konfidensintervall för den uppmätta emissionsfaktorn för tunga fordon överlappar intervallet för emissionsfaktorn beräknad med HBEFA.



Figur 3. 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).

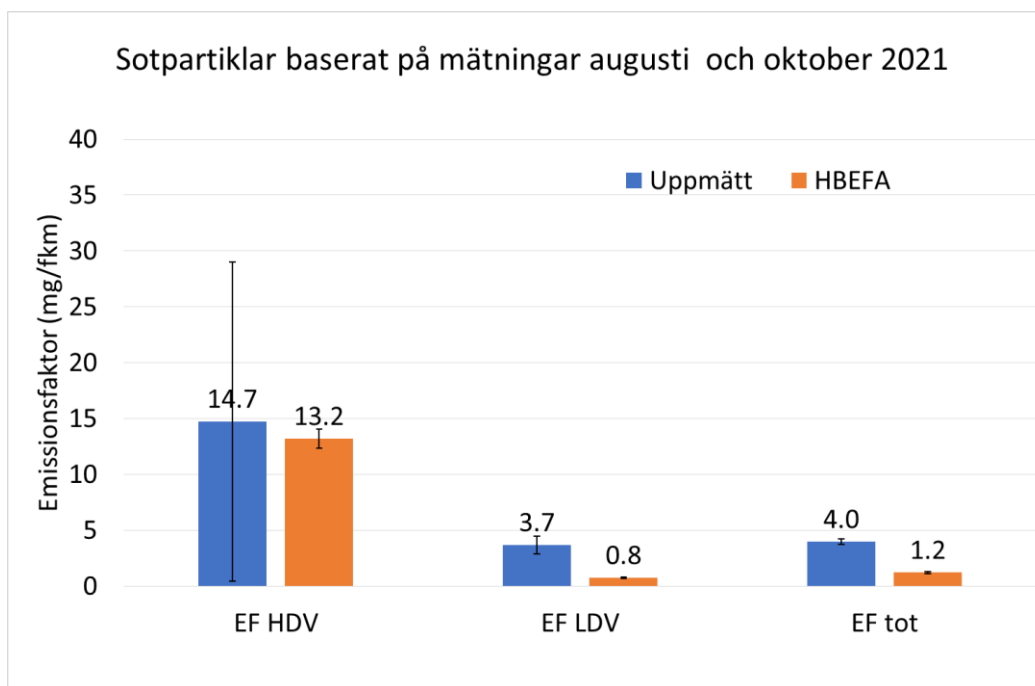
Mätningarna år 2020 (SLB 42:2020) visade mycket likartade resultat vad gäller jämförelsen mellan de uppmätta emissionsfaktorerna och HBEFA.

Både HBEFA och de uppmätta emissionsfaktorerna är något lägre 2021 jämfört med 2020.

Sotpartiklar

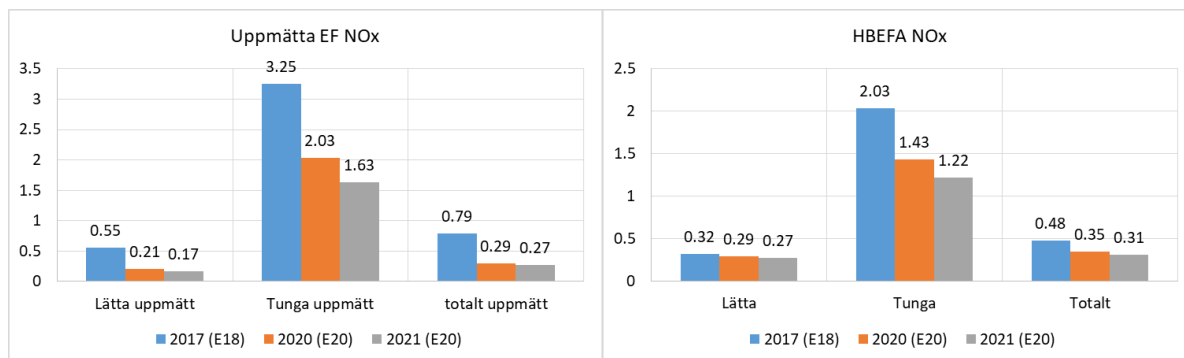
Figur 4 visar jämförelsen mellan emissionsfaktorerna för sotpartiklar baserat på mätningarna (med EF för CO₂ som referens) och emissionsfaktorerna baserat på HBEFA 4.1.

Den totala emissionsfaktorn enligt mätningarna är drygt 3 gånger högre än HBEFA. För lätta fordon är den uppmätta emissionsfaktorn nästan 5 gånger högre och för tunga fordon ungefär densamma som HBEFA. Det 95 procentiga konfidensintervallet för den uppmätta emissionsfaktorn för tunga fordon är stort och överlappar intervallet enligt HBEFA.



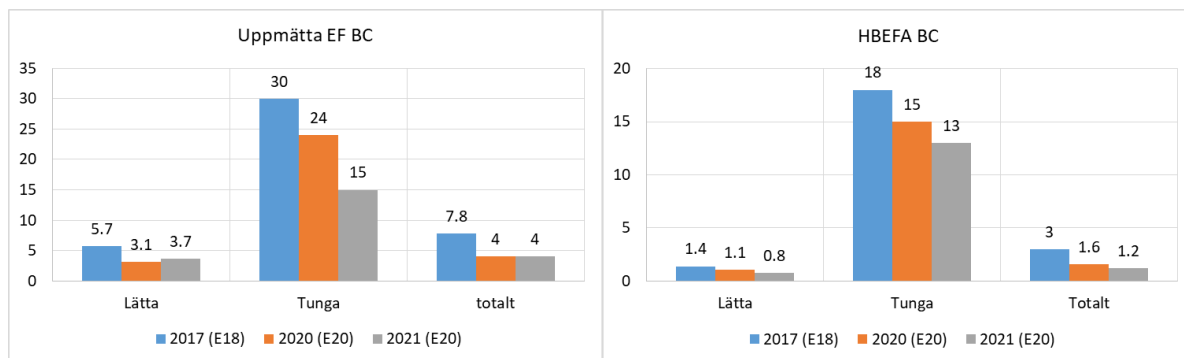
Figur 4. Jämförelse mellan uppmätta emissionsfaktorer för sotpartiklar och beräknade baserat på HBEFA 4.1. HDV = tunga fordon (lastbilar och bussar >3.5 ton), LDV = Lätta fordon (personbilar och lätta lastbilar).

Mätningarna år 2020 [3] visade mycket likartade resultat vad gäller jämförelsen mellan de uppmätta emissionsfaktorerna och HBEFA (Figur 5). Både HBEFA och de uppmätta emissionsfaktorerna är något lägre 2021 jämfört med 2020. Mätningarna indikerar något snabbare minskning jämfört med HBEFA om man inkluderar data från E18 2017.



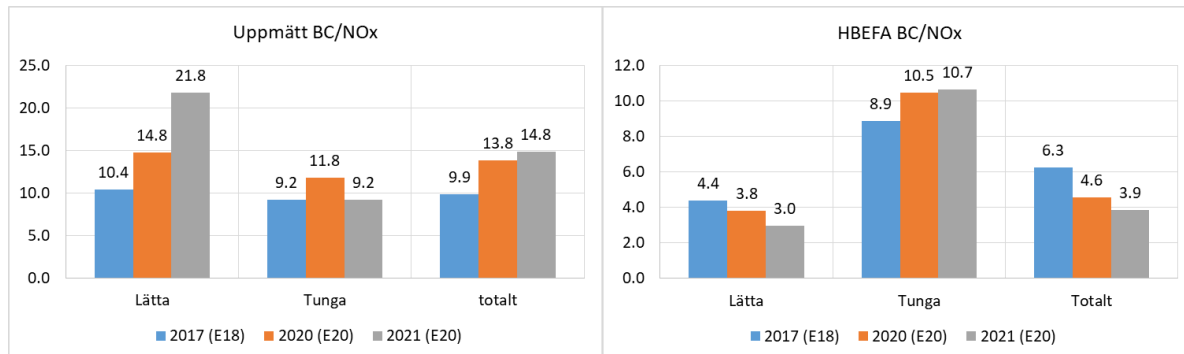
Figur 5. Jämförelser av uppmätta och HBEFAs emissionsfaktorer för NOx år 2017, 2020 och 2021.

När det gäller emissionsfaktorerna för sotpartiklar så har mätningarna systematiskt visat att HBEFA ger för låga emissioner. Tidigare studier har visat att detta gäller inte bara E20/E18 utan även Hornsgatan.



Figur 6. Jämförelser av uppmätta och HBEFAs emissionsfaktorer för BC år 2017, 2020 och 2021.

Det är också intressant att jämföra kvoterna mellan BC och NOx (Figur 7). Mätningarna indikerar att BC emissionerna från trafiken ökar relativt NOx, medan HBEFA indikerar att BC minskar relativt NOx emissionerna. Vad som orsakar detta är oklart och med tanke på kopplingar till negativa hälsoeffekter vad gäller BC är det något som bör utredas närmare. En möjlig orsak kan vara att de uppmätta emissionerna av BC innefattar slitagegenererade BC emissioner, som inte ingår i HBEFA. Vi saknar kunskapen om vad som påverkar slitageemissionerna av BC. Att notera är att mätkampanjerna de olika åren inte omfattar hela året utan bara en del av året med skillnader i meteorologi som eventuellt kan ha påverkat skillnader i slitageemissioner mellan åren.



Figur 7. Jämförelser av kvoterna BC/NOx enligt mätningar och HBEFA år 2017, 2020 och 2021.

Diskussion och rekommendationer

För utförlig diskussion om osäkerheterna hänvisas till förra årets rapport [3].

Vad gäller NO_x är rekommendationerna samma som förra året dvs att använda HBEFAs emissionsfaktorer utan korrektion. Om förhållandena avseende andel tunga och lätta fordon är av betydelse så kan man givetvis applicera korrektioner för att se hur detta påverkar resultaten. I verkligheten kan avvikelserna vara större för t ex dieselpersonbilar, men mätdataunderlaget medger inte separation av 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.

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. SLB rapport nr 42:2020. 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 och Lars Burman.
4. 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).
5. 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.
6. SLB-rapport 22:2022. Fordonssammansättning kopplat till HBEFA 4.1 vid E4/E20 Hallunda, samt hastighet- och trafikflödesprofiler 2021. Delredovisning inom projektet, Aktiv trafikstyrning för förbättrad luftkvalitet och minskad klimatpåverkan utmed statligt vägnät. Efter införande av variabel hastighetstyrning. Delmoment 7

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

