

Utsläpp, halter, hälsoeffekter och riktvärden för luft i svenska vägtunnlar

Mätningar och beräkningar för 2021, 2030 och 2045

Max Elmgren och Christer Johansson



Utfört på uppdrag av Trafikverket

SLB-analys, februari 2023



Uppdragsnummer	2022046
Daterad	2023-02-23
Handläggare	Max Elmgren
Status	Granskad av Hung Nguyen (Trafikverket)

Förord

Denna utredning är utförd av SLB-analys vid Miljöförvaltningen i Stockholms stad. Modellberäkningar utförs med hjälp vägtunnelmodellen som togs fram till rapporten SLB 37:2019.

Uppdragsgivare för utredningen är [Hung Nguyen](#) på Trafikverket.

Innehåll

Sammanfattning	3
Syften med projektet	5
Bakgrund om tunnelriktvärdet.....	6
Beräkningsunderlag	8
Resultat.....	11
Riktvärde baserat på nya mål för utomhusluft.....	14
Vilka hälsorisker innebär exponering vid MKN, MKM och WHO:s nivåer?	14
Ett hälsobaserat tunnelriktvärde bör inte grundas på PM _{2.5} eller PM ₁₀	15
Bäst grunda tunnelriktvärdet på NO _x ?	15
Vilka blir då riktvärdena för NO _x i tunnelluft?	16
Halter i Förbifart Stockholm.....	17
Avgassammansättningen förändras	18
Diskussion.....	19
Referenser	21

Sammanfattning

Sveriges vägtunnlar med en längd över 1000 m har studerats i denna rapport och halterna av kväveoxider (NO_x) och PM_{10} har beräknats utifrån vägtunnelnarnas geometriska dimensioner d.v.s. längd, höjd och bredd. Trafikflöde och hastighet kopplas mot emissionsfaktorer för olika trafiksituationer för respektive vägtyp för åren 2021, 2030 och 2045. Emissionsfaktorerna är hämtade ur HBEFA 4.2.2 Trafikverkets version, uppdaterad januari 2023. För $\text{PM}_{2.5}$ baseras utsläppen av avgaspartiklar på emissionsfaktorer ur HBEFA 4.2.2 samt andelen av den totala mängden slitagepartiklar som ges av NORTRIP-modellen. Denna andel baseras på simultana mätningar av $\text{PM}_{2.5}$ och PM_{10} vid trafiknära platser i Stockholmsregionen under 2019–2021. $\text{PM}_{2.5}$ utgör 20–30% av PM_{10} .

Resultaten av beräkningarna visar att alla Sveriges befintliga vägtunnlar över 1000 m klarar riktvärdet¹ för NO_x för såväl beräkningsår 2021 som 2030 och 2045. Riktvärdet för NO_x i vägtunnlar beror på passagetiden genom respektive vägtunnel. Ingen av vägtunnelnarna som studerats tar i genomsnitt mer än drygt 3 minuter att köra igenom, vilket tillåter en relativt hög halt av NO_x i vägtunneln utan att överskrida riktvärdet. Metodbeskrivningen för beräkningarna av halterna av NO_x i vägtunnelnarna går att läsa mer om i rapporten *Luftföroreningar i svenska vägtunnlar SLB 37:2019*.

Beräkningarna visar att slitagepartiklarna dominerar bidraget till $\text{PM}_{2.5}$ halterna. I enlighet med REVSEK projektets dos-respons samband för förtida dödlighet resulterar exponeringen för $\text{PM}_{2.5}$ i lägre hälsorisker än exponeringen för NO_x för alla vägtunnlar och modellår. Eftersom partiklarna till största delen fastnar i fordonens luftfilter blir exponeringshalterna i fordonskupéer låga även om halterna av partiklar är extremt hög i tunnelluften. För NO_x fastnar en mycket liten andel i luftfiltren och NO_x bör därför förbli den styrande luftföroreningen för ventilation i vägtunnlar. Partikelhalterna i tunnelluften kan påverka sikten som behöver kontrolleras.

Trafikens avgassammansättning förändras i takt med att nya fordon tas i bruk och ersätter gamla, vilket påverkar dos-respons sambanden, som är baserade på gamla epidemiologiska studier där NO_x är indikator för avgaser. För år 2021 var förhållandet mellan avgaspartiklar och NO_x enligt HBEFA ca 10 mg avgaspartiklar per g NO_x , jämfört med för fordonsparken 2045 då förhållandet enligt HBEFA förväntas vara ca 20 mg avgaspartiklar per g NO_x d.v.s. relativa förekomsten av avgaspartiklar från fordonsutsläppen ökar i jämförelse med NO_x vilket innebär att om dos-respons sambandet för NO_x är detsamma skulle man förvänta sig relativt sett större effekter på dödligheten. Osäkerheterna i utsläppen är dock stora och exponeringen av bilister i tunnlar beror dessutom på avskiljningen av partiklar i ventilationsfilter som kan komma att förändras i nya fordon. Men i absoluta termer minskar sannolikt effekterna av avgaspartikelutsläppen eftersom utsläppen totalt sett minskar tack vare renare fordonsflotta.

Ett alternativt riktvärde baserat på att total dosen för frekventa tunnelpendlare inte överstiger preciseringen av miljömålet Frisk luft för NO_2 på $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ skulle innebära att halterna under maxtimmen i de svenska vägtunnelnarna ligger långt under riktvärdet. Om man däremot baserar riktvärdet på WHO:s nya riktvärde för NO_2 ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) skulle halten i Södra länken vara något högre än riktvärdet och nära riktvärdet i Norra länken och Muskötunneln. Men beräkningarna av detta tunnelriktvärde är beroende på antaganden om dosen som tunnelpendlare utsätts för under all övrig tid då man inte exponeras för tunnelluften, vilket gör riktvärdet lite godtyckligt. I detta fall har vi använt beräknad befolkningsexponering för Stockholms län 2020.

¹ Riktvärdena för NO_x vägtunnlarna avser bara nya tunnlar. De anges i Transportstyrelsens författningssamling TSFS 2021:122 Luftkvalitet i tunnlar och plattformsrumsrum 12 §. Med preciseringar och beräkningsförslag i WSP-rapporten Luftkvalitet i vägtunnlar, tilläggsuppdrag nationellt riktvärde (reviderad 2019-10-15).

Syften med projektet

Syftet med projektet är att dels uppdatera rapporten från 2019 gällande luftkvaliteten i svenska vägtunnlar längre än 1000m med nya modellerade halter och utsläpp av NO_x och partiklar.

Årsemissioner och halter av PM_{10} och NO_x i tunnlarna beräknas för år 2021 med emissionsfaktorer ur den senaste versionen av HBEFA 4.2.2 Trafikverkets interna version uppdaterad januari 2023, där även framtidsscenarierna för modellår 2030 och 2045 används.

Andra frågeställningar som belyses är

- *Om NO_x är en bra styrande parameter för luftkvalitet i tunnlar nu och i framtiden.*
- *Hälsorisker baserat på beräknade $\text{PM}_{2.5}$ och NO_x -doser för de olika scenarierna (2021, 2030, 2045) och om luften i Sveriges nuvarande vägtunnlar innebär större eller lägre hälsorisker jämfört med riktvärde för nya tunnlar*
- *Vad det skulle betyda om svenska normer, mål eller WHO:s nya riktvärden låg till grund för nya riktvärden i tunnlluften*

Bakgrund om tunnelriktvärdet

I denna rapport ingår bland annat att bedöma om Sveriges längsta vägtunnlar klarar riktvärdet för NO_x enligt Transportstyrelsens författningssamling TSFS 2021:122 *Luftkvalitet i tunnlar och plattformsrör* 12 §. Se Tabell 1 som i sin tur hänvisar till WSPs rapport *Luftkvalitet i vägtunnlar, tilläggsuppdrag nationellt riktvärde* (reviderad 2019-10-15). Den baseras på dos-responssamband och beräkningar av Orru och Forsberg, 2016. I WSP-rapporten beskrivs hur man ska bedöma om man klarar riktvärdet eller inte. WSP antar att ventilationen in i fordonskupén tar bort 25 % av NO_x-halterna från tunneln, d.v.s. att 75 % av halterna i vägtunneln hamnar i fordonet. Mätningar på ett tiotal bilar visar att exponeringen av NO_x i fordonskupén är 77 % ± 8 % av exponeringen utanför fordonet (SLB 28:2019).

Riktvärdet för NO_x är satt så att även den mest frekventa pendlaren inte ska löpa större än 10 % ökad risk för en för tidig död jämfört med att inte färdas i vägtunnlar. Haltökningen av NO_x som accepteras är beräknad utifrån Nafstad et al., 2004's resultat som visade att boenden i områden med 10 µg/m³ högre NO_x-halt löpte 6–11 % större risk för en för tidig död (siffran som använts i både WSP:s rapport och i den här rapporten är 8 % ökad risk för en ökad årsexponering av 10 µg/m³).

En frekvent pendlare antas resa genom en tunnel 2 gånger om dagen under totalt 220 dagar per år, vilket är det förväntade antalet arbetsdagar på ett år när man räknat bort semesterhelg- och genomsnittligt antal sjukdagar per år. Pendlaren antas resa under den timme- och i det tunnelrör med högst koncentration av NO_x. Tiden det tar att resa genom tunneln baseras på medelhastigheten under timmen med högst koncentration av NO_x (98-percentilen).

Tabell 1. Riktvärde för vägtunnlar med olika passagetid (tunnellängd* 98-percentil av hastigheten). Riktvärdet avser högsta timmedelvärde för kväveoxider (NO_x) som ett medelvärde för hela tunnelns längd. Antagande om 25 % kupéventilation, d.v.s. att 75 % av tunnelkoncentrationen av NO_x hamnar i fordonskupén. Frekvent pendlare antas pendla 220 dagar per år och 2 passager per dag.

Passagetid (minuter)	Riskökning (%)	Acceptabel ökning av årsmedelhalt av NO _x (µg/m ³)	Riktvärde, medelhalt i vägtunneln (µg/m ³)
15	10	12,5	1 300
10*	10	12,5	1 900
5	10	12,5	3 800
3	10	12,5	6 400

*Räkneexempel:

$$12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 365 \text{ dagar} \cdot 24\text{h} \cdot 60\text{min} / (440 \text{ passager} \cdot 10\text{min} \cdot 0,75) = 1999 \mu\text{g}/\text{m}^3.$$

Metoden för att beräkna riktvärdet för NO_x användes på liknande sätt för att beräkna den tillåtna halten av PM_{2.5} i tunnlar utifrån samma kriterier som låg till grund för NO_x-riktvärdet. Partiklar fastnar till stor utsträckning i fordonens friskluftsfilter, beroende på biltillverkare och modell varierar andelen som tar sig in i fordonskupén. Maximalt mellan 5 % och 22 % av utomhushalterna tar sig förbi friskluftsfiltret och hamnar i kupén (SLB 1:2013). För enkelhetens skull används att 20 % av PM_{2.5} från tunneln tar sig in i fordonen.

Tabell 2. Potentiellt riktvärde för $PM_{2.5}$ beräknat utifrån 220 pendlingsdagar per år och 80 % kupéventilation, d.v.s. att 20 % av halten i tunneln tar sig in i fordonskupén.

Passagetid [minuter]	Riskökning [%]	Acceptabel ökning av årsmedelhalt av $PM_{2.5}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Riktvärde, medelhalt i vägtunneln [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
15	10	3,8	1 500
10	10	3,8	2 270
5	10	3,8	4 540
3	10	3,8	7 560

Beräkningsunderlag

För att beräkna halterna i vägtunnlar används emissionsfaktorer ur HBEFA 4.2.2 (Trafikverkets interna version) samt fordonsfördelningen ur densamma, dvs. andelar för fordonstyperna; personbilar, lätta lastbilar och tunga lastbilar och bussar, baseras på den uppdelning som ges av trafikverkets klimatscenario för 2030 och 2045. År 2021 visade Trafikverkets klimatrapportering att det var 79,7 % personbilar, 11,9 % lätta lastbilar, 1,1 procent buss, 6,2 % tunga lastbilar och 1 % motorcykel, dessa siffror förändras marginellt från 2021 till modellåren 2030 och 2045. Tabell 3 visar elfordonsutvecklingen för åren 2021, 2030 och 2045 (laddhybrider räknas inte som elbilar i statistiken nedan). Elutvecklingen förväntas gå fortast för personbilar och bussar, och långsammare för lätta- och tunga lastbilar.

Tabell 3. Förväntade andelar elfordon per fordonstyp (ej laddhybrider) samt andelen elfordon av totala trafikarbetet, enligt HBEFA 4.2.2 för Sverige.

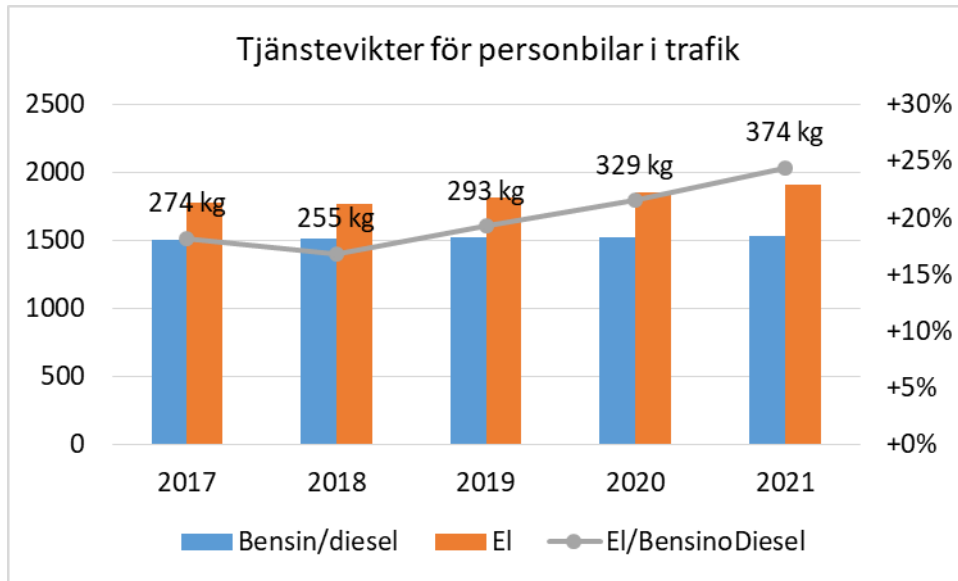
	Andel eldrivna fordon (BEV)			Andel av trafikarbetet per fordonstyp
	2021	2030	2045	
Personbil	2,3%	41,5%	93,6%	79,7%
Lätt lastbil <3,5 ton	1,3%	23%	89,1%	11,9%
Lastbil >3,5 ton	0%	14%	80,6%	6,2%
Buss	1,6%	26,9%	89,8%	1,1%
Andel eldrivna fordon av totala trafiken	2,0%	37,0%	91,2%	100%

Av dygnstrafiken (ÅDT) från 2021 för varje vägtunnel användes andelen av det totala trafikflödet som kör i det tunnelrör med högst NO_x-halt under maxtimmen (kl 16.00). Samma andel av ÅDT har använts för övriga modellår 2030 och 2045, men med uppräknade ÅDT med 1,5 % per år. Utvecklingen av fordonsparken inom fordonstyperna så som, elektrifiering, bränslesnålare motorer samt förbättrade reningsmetoder finns med i framtidsscenerierna i HBEFA 4.2 och används för att beräkna NO_x-utsläppen för modellåren 2030 och 2045.

För beräkning av PM_{2,5} behövs dels HBEFA för emissionsfaktorerna för PM_{2,5}-avgas som beräknas på samma sätt som NO_x. För att beräkna slitagepartiklar används *inte* HBEFA utan istället NORTRIP-modellen. NORTRIP beräknar den totala massan av slitagepartiklar från trafiken, i slitaget ingår; däckslitage, vägslitage och bromsslitage. NORTRIP ger även vilken andel av slitagepartiklarna som är PM₁₀ och vilken andel av PM₁₀ som är PM_{2,5}. Tidigare har man använt en konstant emissionsfaktor för PM₁₀-slitage 0,44g/FKM. (FKM-fordonskilometer), värdet baseras på andelen dubbdäck på den lätta trafiken, längden på dubbdäckssäsongen, samt fordonsfördelningen uppdelat på tunga och lätta fordon. Ungefär 10% av PM₁₀ har i regel använts för att bestämma emissionsfaktorn för PM_{2,5}, men denna siffra håller på att ses över i det nordiska samarbetsprojektet NORDUST II.

I den här rapporten antas andelen PM_{2,5} av det lokala bidraget av PM₁₀ vara mellan 20–30% och resultat kommer därför redovisas som ett spann mellan två värden som beror på spannet 20–30%. Varken HBEFA eller NORTRIP tar hänsyn till personbilarnas vikt, som vi ser ökar i och med elektrifieringen se Figur 1, vilket kommer leda till underskattningar av mängden slitagepartiklar från personbilar. Enligt uppgifter från Trafikanalys vägde elbilar 374 kg (24 %) mer än bensin/dieseldrivna personbilar i trafik år 2021 (Figur 1).

Värdena är viktade med hänsyn till antalet bensin respektive dieslbilar i trafik under dessa år.



Figur 1. Tjänstevikter för eldrivna respektive bensin/dieseldrivna personbilar i trafik 2017–2021. Siffrorna anger skillnad i kg och högra axeln hur många procent tyngre elbilarna är jämfört med bensin/diesel drivna bilarna. Värdena är viktade med hänsyn till antal fordon i trafik.

Det finns dock en möjlighet att elfordon i större utsträckning väljer friktionsdäck eller specialdäck för elfordon istället för dubbdäck, vilket i så fall skulle minska mängden slitagepartiklar jämfört med om de använder dubbade vinterdäck. Slitaget av bromsar är mindre från eldrivna fordon som använder motorbromsning och i mindre utsträckning friktionsbromsar.

Riktvärdet för NO_x för svenska vägtunnlar gäller *endast* för nya tunnlar. I denna rapport undersöks huruvida alla befintliga vägtunnlar >1000m klarar riktvärdet för NO_x år 2021, 2030 och 2045. Vägtunnlar som studerats i denna rapport har en hastighetsgräns på 70 km/h förutom Löttingetunneln och Törnskogstunneln som har 90 km/h som hastighetsgräns. För dessa två tunnlar har Urban Motorway City 90 km/h valts som vägtyp i HBEFA 4.2 för att få rätt emissionsfaktorer. För övriga vägtunnlar har Urban Motorway City 70 km/h valts. Lutningen på vägtunnlarna i HBEFA 4.2 har satts till 0°. I vägtunnlar är detta såklart inte helt rätt, flera vägtunnlar har kraftiga nedförsbackar in i tunneln som sedan möts upp av en uppförsbacke på andra sidan. Eftersom alla tunnlar har olika lutning valdes istället att inte använda någon lutning. Till exempel har Löttingetunneln och Törnskogstunneln nästan ingen lutning, medan Norra- och Södra länken samt Muskötunneln har kraftig lutning.

I HBEFA 4.2 finns flera trafikflödesklasser bland andra, Free Flow, Heavy, Saturated, och Stop'n'Go. Saturated menar att vägen är mättad med trafik och att hastigheten därmed sjunker något, trafikanter upplever lite mer gas-broms pådrag än i fritt flödande trafik. I och med en ökning av gas-broms ökar även utsläppen något. För att beräkna den genomsnittliga halten av NO_x under maxtimmen i en vägtunnel under ett år användes emissionsfaktorerna för trafikflödesklassen Saturated istället för emissionsfaktorerna för någon av de andra trafikflödesklasserna, fast med hastigheten enligt hastighetsbegränsningen för respektive vägtunnel.

Hastigheten i vägtunnlarna samt trafikflödet tillsammans med tunnelns tvärsnittsarea bestämmer vindhastigheten/luftflödet inne i tunneln, kolvverkans effekt eller pistoneffekten. Luftflödet i tunnarnas påverkas även av de impulsfläktar eller jetfläktar som finns, men de bidrar i mindre utsträckning till luftflödet. För att beräkna luftflödet behövs vägtunnelns snittarea, luftmotståndet för en genomsnittlig personbil, lätt lastbil och tung lastbil/buss multiplicerat med antalet fordon för respektive fordonstyp multiplicerat med hastigheten i kvadrat. Denna beräkning ger en kraft i newton (N) som knuffar och drar luften i trafikens färdriktning i tunneln. I några vägtunnlar finns data över vindhastighet i tunneln på samma plats som trafikflödesdata, detta underlag användes för att räkna fram en funktion mellan luftmotståndet och vindhastigheten. Vindhastigheten (m/s) multiplicerat med snittarean på tunneln (m^2) ger hur mycket luft som byts ut i tunneln varje sekund (m^3/s). Läs mer om metoden i *Luftföroreningar i svenska vägtunnlar* SLB 37:2019.

I rapporten SLB 12:2013 på uppdrag av Trafikverket studerades effekten av utgående tunnelluft från ett tunnelrörs påverkan på halterna på det ingående tunnelröret, så kallad överläckning. Överläckning har inte beaktats i denna rapport, men har troligen olika effekt på halterna beroende på vilken vägtunnel som studeras. Störst är effekten av överläckning vid högt trafikflöde i båda riktningarna.

Ventilation in i fordonskupéer varierar mellan fordonstyper och ålder på fordonet men även tid sedan man sist bytte friskluftsfilter. I en studie utförd av SLB analys åt trafikverket 2019 (*SLB 48:2019*) testades hur stor andel av tunnelluftens NO_x och sotpartiklar som tog sig från tunneln in i bilen via friskluftsfiltret. Studien utfördes på 10 nyare bilmodeller av olika märken. Resultaten visade att exponeringen av NO_x inuti fordonen var $0,77 \pm 0,08$ % av NO_x -halterna i vägtunnlarna.

I rapporten SLB 1:2013 även den på uppdrag av Trafikverket har mätningar av partiklar $PM_{2,5}$ utförts i och utanför olika fordonstyper vid resa genom vägtunnel. Resultaten i SLB 1:2013 visar att 5–22 % av $PM_{2,5}$ i tunnelluften tar sig in i fordonen. För enkelhetens skull har vi i den här rapporten valt att anta att 20 % av $PM_{2,5}$ i tunnelluft tar sig in i fordonen.

Resultat

Alla existerande svenska vägtunnlar längre än 1000m har utvärderats mot riktvärdena för NO_x i Tabell 4 och de teoretiska riktvärdena för PM_{2.5} för åren 2021, 2030 och 2045. Tabell 2 visar de beräknade halterna av NO_x och PM_{2.5} under maxtimmen som ett medelvärde för hela tunnelns längd. Ingen befintlig vägtunnel i Sverige idag tar längre tid att köra igenom än strax över 3 minuter även vid färd under maxtimmen.

Anledningen till att Muskötunneln har så höga halter av såväl NO_x som PM_{2.5} trots lågt trafikflöde beror på att tunneln har mötande trafik vilket skapar motsatt riktade luftflöden som genereras av fordonen, lufthastigheten i Muskötunneln är därför satt till 0 m/s.

Emissionerna av NO_x minskar hastigt, enligt HBEFA 4.2.2 januari 2023 trafikverkets interna version, och leder till att halterna år 2030 redan är ungefär en tredjedel av halterna 2021. 2045 är halterna endast en tiondel av vad halterna var 2021. Riskökningen p.g.a. NO_x för en frekvent pendlare för modellår 2021 var störst i Södra länken med 3,32 %, år 2030 förväntas riskökningen vara 1,05 % för Södra Länken. År 2045 är riskökningen endast 0,30 % för Södra Länken.

Riskökningen till följd av exponeringen av PM_{2.5} (avgas + slitage) för en frekvent pendlare i svenska vägtunnlar är liten för såväl modellår 2021 som 2030 och 2045 och visas i Tabell 5–6. Vissa antaganden har gjorts för framtidsscenerierna; dubbandelen antas vara oförändrad för samtliga modellår, fordonstyngden hos personbilar antas vara oförändrad, vilket ger en underskattning av partikelslitaget men hur vikten kommer att förändras med tiden samt hur stor ökning av partikelslitaget den ökade vikten leder till studeras för tillfället i det nordiska samarbetsprojektet NORDUST II. Fordonens friskluftsfiler antas fortsätta ta bort 80 % av halterna av PM_{2.5} från tunnelluften.

I Figur 1 visas ökad risk för en för tidig död till följd av frekvent pendling i Södra länken för PM_{2.5} och NO_x för åren 2021, 2030 och 2045. NO_x-halterna ses avta exponentiellt medan halterna för PM_{2.5} ökar linjärt (om än väldigt sakta) vilket följer trafikarbetets procentuella ökning. Även för modellår 2045 beräknas riskerna för NO_x vara högre eller lika med riskerna associerade med PM_{2.5}, vilket framgår av **Figur 2**. Detta föranleder att det *inte* finns någon anledning att byta den styrande luftföroreningen för tunnelluften från NO_x till PM_{2.5}. Däremot är det viktigt att kontrollera att partikelhalterna i tunnelluften inte blir så höga att sikten försämras.

Tabell 4. Beräknade halter av NO_x och PM_{2.5} för alla svenska vägtunnlar över 1000m för modellår 2021. Halter och risker är beräknade på 440 tunnelpassager per år, och antagandena att 75 % av NO_x tar sig in i fordonskupén från tunnelluften och 20 % av PM_{2.5}. Intervallet i riskökningen av PM_{2.5} beror på osäkerheten i andelen PM_{2.5} av PM₁₀ slitagepartiklar, 20–30 %.

Vägtunnel (modellår 2021)	Tunnellängd [m]	Hastighet maxtimme [km/h]	Tid i tunneln	Trafikflöde ÅDT (max rör)	Genomsnittlig tunnelhalt maxtimmen NO _x [µg/m ³]	Riskökning p.g.a. NO _x	Genomsnittlig tunnelhalt maxtimmen PM _{2.5} [µg/m ³]	Riskökning p.g.a. PM _{2.5}
Törnskogstunneln	2071	90	1m 23s	16 592	516	0,48 %	15	0,02–0,03 %
Södra Länken	3800	70	3m 16s	50 532	1524	3,32 %	39	0,11–0,16 %
Norra Länken	3600	70	3m 5s	25 813	1108	2,29 %	29	0,08–0,11 %
Löttingetunneln	1100	90	0m 44s	11 490	285	0,14 %	8	0,01–0,01 %
Götatunneln	1600	70	1m 22s	27 777	548	0,50 %	14	0,02–0,02 %
Lundbytunneln	2000	70	1m 43s	25 186	593	0,68 %	15	0,02–0,03 %
Söderledstunneln	1520	70	1m 18s	40 031	817	0,71 %	21	0,02–0,03 %
Muskötunneln	2900	70	2m 29s	1 754	1531	2,55 %	40	0,09–0,12 %

Tabell 5. Beräknade halter av NO_x och PM_{2.5} för alla svenska vägtunnlar över 1000m för modellår 2030. Halter och risker är beräknade på 440 tunnelpassager per år, och antagandena att 75 % av NO_x tar sig in i fordonskupén från tunnelluften och 20 % av PM_{2.5}. Intervallet i riskökningen av PM_{2.5} beror på osäkerheten i andelen PM_{2.5} av PM₁₀ slitagepartiklar, 20–30 %.

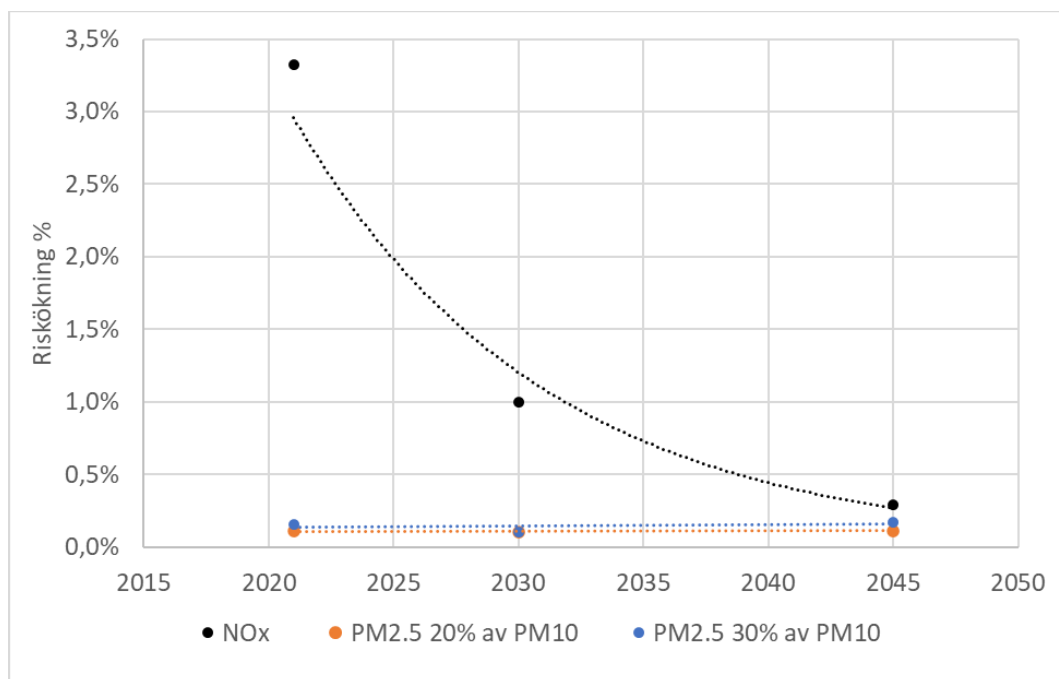
Vägtunnel (modellår 2030)	Tunnellängd [m]	Hastighet maxtimme [km/h]	Tid i tunneln	Trafikflöde ÅDT (max rör)	Genomsnittlig tunnelhalt maxtimmen NO _x [µg/m ³]	Riskökning p.g.a. NO _x	Genomsnittlig tunnelhalt maxtimmen PM _{2.5} [µg/m ³]	Riskökning p.g.a. PM _{2.5}
Törnskogstunneln	2071	90	1m 23s	20 437	157	0,15%	20	0,02–0,03 %
Södra Länken	3800	70	3m 16s	62 243	457	1,00%	52	0,11–0,16 %
Norra Länken	3600	70	3m 5s	31 795	333	0,69%	38	0,07–0,11 %
Löttingetunneln	1100	90	0m 44s	14 153	293	0,04%	11	0,01–0,01 %
Götatunneln	1600	70	1m 22s	34 214	164	0,15%	18	0,02–0,02 %
Lundbytunneln	2000	70	1m 43s	31 023	178	0,20%	20	0,02–0,03 %
Söderledstunneln	1520	70	1m 18s	49 308	277	0,24%	31	0,03–0,04 %
Muskötunneln	2900	70	2m 29s	2 160	97	0,16%	11	0,08–0,12 %

Tabell 6. Beräknade halter av NO_x och PM_{2.5} för alla svenska vägtunnlar över 1000m för modellår 2045. Halter och risker är beräknade på 440 tunnelpassager per år, och antagandena att 75 % av NO_x tar sig in i fordonskupén från tunnelluften och 20 % av PM_{2.5}. Intervallet i riskökningen av PM_{2.5} beror på osäkerheten i andelen PM_{2.5} av PM₁₀ slitagepartiklar, 20–30 %.

Vägtunnel (modellår 2045)	Tunnellängd [m]	Hastighet maxtimme [km/h]	Tid i tunneln	Trafikflöde ÅDT (max rör)	Genomsnittlig tunnelhalt maxtimmen NO _x [µg/m ³]	Riskökning p.g.a. NO _x	Genomsnittlig tunnelhalt maxtimmen PM _{2.5} [µg/m ³]	Riskökning p.g.a. PM _{2.5}
Törnskogstunneln	2071	90	1m 23s	23 718	18	0,02%	21	0,02–0,03 %
Södra Länken	3800	70	3m 16s	72 236	132	0,29%	54	0,11–0,17 %
Norra Länken	3600	70	3m 5s	36 900	96	0,20%	39	0,08–0,12 %
Löttingetunneln	1100	90	0m 44s	16 425	10	0,00%	11	0,01–0,01 %
Götatunneln	1600	70	1m 22s	39 707	47	0,04%	19	0,02–0,03 %
Lundbytunneln	2000	70	1m 43s	36 003	51	0,06%	21	0,02–0,03 %

SLB 53:2022 - Utsläpp, halter, hälsoeffekter och riktvärden för luft i svenska vägtunnelar

Vägtunnel (modellår 2045)	Tunnellängd [m]	Hastighet maxtimme [km/h]	Tid i tunneln	Trafikflöde ÅDT (max rör)	Genomsnittlig tunnelhalt maxtimmen NO _x [µg/m ³]	Riskökning p.g.a. NO _x	Genomsnittlig tunnelhalt maxtimmen PM _{2.5} [µg/m ³]	Riskökning p.g.a. PM _{2.5}
Söderledstunneln	1520	70	1m 18s	57 224	79	0,07%	32	0,03–0,04 %
Muskötunneln	2900	70	2m 29s	2 507	28	0,05%	11	0,10–0,15 %



Figur 2. Utvecklingen av halterna av NO_x och PM_{2.5} i Södra länken för år 2021, 2030 och 2045. En exponentiell funktion är anpassad för NO_x (svart linje) medan linjära anpassningar gjorts för PM_{2.5}. Orange punkter och linje visar riskökningen för PM_{2.5} om vi antar att 20 % av PM₁₀-slitaget är PM_{2.5}, medan den blå linjen visar riskökningen för PM_{2.5} om vi antar 30 % av PM₁₀-slitaget är PM_{2.5}.

Riktvärde baserat på nya mål för utomhusluft

Senare års vetenskapliga studier visar att exponeringen för luftföroreningar leder till större hälsoeffekter än vad man tidigare trott. Därför presenterade världshälsoorganisationen, WHO, i september 2021 nya skärpta riktvärden för att skydda människors hälsa. Dessutom pågår också arbete inom EU med att ta nya gränsvärden och de svenska normerna och miljömålen kan därför komma att justeras. Frågan är om detta föranleder någon skärpning av riktvärdet för tunneln.

Som beskrivits ovan är nuvarande riktvärde för tunnelluft baserat på att även den mest frekventa pendlaren inte ska löpa större än 10 % ökad risk för en för tidig död jämfört med att inte färdas i vägtunnlar. I vår tidigare utredning (SLB 28:2020) utreds konsekvenserna av ett riktvärde för vägtunnlar baserat på att halten i tunnlar inte får medföra att den totala riskökningen som en pendlare utsätts för under ett år överstiger den som motsvarar en exponering för halter i nivå med gällande miljö kvalitetsnorm eller miljömål för utomhusluft. Ett sådant riktvärde skulle innebära att hälsoriskerna grundas på samma värderingar och överväganden som beaktats vid fastställandet av miljö kvalitetsnormer (MKN), alternativt preciseringen av miljömålet Frisk luft (MKM¹) eller WHO:s riktvärden (WHO, 2021), för olika föroreningar.

Vilka hälsorisker innebär exponering vid MKN, MKM och WHO:s nivåer?

Det kan vara intressant att jämföra den accepterade risken enligt nuvarande tunnelriktvärde (10 %) med hälsorisken om allmänbefolkningen skulle exponeras för de nivåer som normer, svenska frisk luft mål eller WHO:s riktvärden anger för utomhusluften. Denna hälsorisk kan uppskattas baserat på senaste rönen om de relativa riskerna för olika föroreningar (se Oudin et al., 2022). Ökningen av hälsorisken för förtida dödlighet (HR) kan beräknas som (Martenies et al., 2015):

$$HR = (1 - e^{(-\beta \cdot \Delta C)}) \quad (1)$$

Där β är lika med logaritmen av relativa risken och ΔC är förändringen i exponeringshalten. Tillkommer förstås risker att drabbas av en rad sjukdomar, som dock inte ingår i risken till grund för tunnelriktvärdet.

Med relativa risker i enlighet med Oudin et al. (2022) så innebär lång tids exponering för nivåer motsvarande MKN hälsorisker på mellan 10 %, 18 % eller 15 % för NO₂, PM_{2.5} respektive PM₁₀ (Tabell 7). Vid exponering för nivåer motsvarande MKM är risken 5 %, 7 % och 6 % för NO₂, PM_{2.5} respektive PM₁₀. Vid exponering för nivåer enligt WHO:s nya riktvärden är risken ytterligare något lägre för NO₂ och PM_{2.5}, 3 % respektive 4 % medan MKM och WHO:s riktvärde är detsamma för PM₁₀.

Sammantaget är tunnelriktvärdets 10 % i nivå med hälsorisken förknippad med MKN för NO₂ i utomhusluften, men högre än MKM och WHO:s riktvärde för NO₂ i utomhusluft.

Enligt nationella beräkningar av SMHI utsätts ingen i urban bakgrundsluft i Sverige för halter över MKN, varken 2019 eller 2030 (Alpfjord Wylde et al., 2023). Detta baseras på modellberäkningar av årsmedelvärden av urbana bakgrundskoncentrationer, inte lokala hotspots. Enligt mer detaljerade modellberäkningar för Stockholms län år 2020 exponeras ett fåtal personer (30) över årsnormen för NO₂, medan ca 2 % av länets befolkning bor i

¹ <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/frisk-luft/preciseringar-av-frisk-luft/>

områden där miljömålen (MKM, årsmedelvärde) för NO₂ och PM₁₀ inte uppnås (Lövenheim et al., 2022). Ett flertal skolor och förskolor ligger i områden där målet för PM₁₀ inte nås. För det stora flertalet personer i Stockholms län och Sverige finns ”utrymme” för ytterligare exponering innan hälsoriskerna med exponeringen kommer upp i nivå med MKN och MKM.

Tabell 7. Miljö kvalitetsnormer (MKN), Sveriges miljömål (MKM) och riktvärden enligt WHO 2021 (WHO) samt motsvarande hälsorisker för förtida död baserat på relativa risker från epidemiologiska studier. Samtliga halter avser årsmedelvärden.

Ämne	Värde	Halt [µg/m ³]	Halt [ppb]	Relativa risker per 10 µg/m ³ utom för NO ₂ som är per 10 ppb	Risk för förtida dödlighet
NO ₂	MKN	40	21	1,05	10 %
	MKM	20	10	1,05	5 %
	WHO	10	5	1,05	3 %
PM _{2.5}	MKN	25		1,08	18 %
	MKM	10		1,08	7 %
	WHO	5		1,08	4 %
PM ₁₀	MKN	40		1,04	15 %
	MKM	15		1,04	6 %
	WHO	15		1,04	6 %

Ett hälsobaserat tunnelriktvärde bör inte grundas på PM_{2.5} eller PM₁₀

I senaste utredningen (SLB:28:2020) konstaterades att ett riktvärde baserat på MKN eller MKM för PM_{2.5} eller PM₁₀ skulle innebära att halterna i tunnelluften kan tillåtas vara väldigt höga på grund av att kupéfiltren effektivt avskiljer partiklarna så att exponeringen i fordonskupén blir låg även i långa tunnlar med mycket höga partikelhalter. Vilket framgår av Tabell 2–4. Så höga partikelhalter i tunnelluften skulle istället kunna bli problem för sikten i tunneln, speciellt under dubbdäckssäsongen. Dessutom skyddar inte riktvärdena för PM_{2.5} eller PM₁₀ mot exponering för avgaspartiklar. Det är därför en dålig idé att basera ett riktvärde på PM_{2.5} eller PM₁₀ om det handlar om att minska hälsorisken förknippad med exponering i fordonskupéerna. Detta gäller även i framtiden när avgaspartikelutsläppen minskat ytterligare.

Bäst grunda tunnelriktvärdet på NO_x

Då återstår att basera riktvärdet på NO₂. Men eftersom NO_x är betydligt bättre indikator på halten av avgaspartiklar i tunnelmiljön räknas NO₂ värdena om till NO_x baserat på samband mellan NO_x och NO₂ från mätningar under många år på många olika platser i Stockholmsregionen.

Som också påpekas i SLB 28:2020 bör inte MKN för NO₂ användas som grund för hälsorisken för tunnelluft till skydd mot långtidseffekter eftersom värdet avser skydda mot effekter av NO₂ i sig själv, inte som en markör för relaterade avgaspartiklar. Mot den bakgrunden blir det MKM för NO₂ på 20 µg/m³ alternativt det nya riktvärdet som WHO anger (10 µg/m³) som kan ligga till grund för ett riktvärde. Baserat på flera års mätningar på olika mätplatser kan NO₂-halten räknas om till motsvarande NO_x-halt för utomhusluften.

Med det senast framtagna sambandet² motsvarar 20 µg/m³ NO₂ 45 µg/m³ NO_x och 10 µg/m³ NO₂ motsvarar 16 µg/m³ NO_x.

Riktvärden för NO_x i tunnluft

Enligt tidigare resonemang (SLB 28:2020), kan grunden för riktvärdet i tunnlar vara att en regelbunden tur-och-returresa under maxtimmen inte ska ge ett dostillskott som gör att den totala dosen under ett år överstiger den vid exponeringen för MKM alternativt WHO:s riktvärde för utomhusluft.

Dostillskottet på grund av tunnluftsexponeringen är skillnaden mellan dosen på grund av tunnelluften och dosen under all övrig tid. Detta tillskott får då inte vara större än skillnaden mellan dosen vid MKM alternativt WHO:s riktvärde och den aktuella dosen i utomhusluften, vilken är samma som övrig tid:

$$T_{tunnel} \times (C_{kupé} - C_{övrig}) = 8760 \times (MKN - C_{övrig}) \quad (1)$$

där T_{tunnel} antal timmar man vistas i tunneln, 8760 är antalet timmar på ett år, $C_{kupé}$ är medelhalten som man exponeras för i bilkupén vid färd i tunneln och $C_{övrig}$ är medelhalten som man normalt utsätts för under övrig tid. Den maximalt tillåtna halten i fordonskupén kan därmed beräknas som:

$$C_{kupé} = C_{övrig} + \frac{8760}{T_{tunnel}} \times (MKN - C_{övrig}) \quad (2)$$

Halten i fordonskupén beror på halten i tunneln, andelen som tas bort i kupéventilationen och hur länge man färdas i tunneln i relation till omsättningstiden för luften i fordonet (se SLB:28 2020). I en kort tunnel hinner inte halten i fordonet påverkas. Likaså blir påverkan på halten i fordonet liten eller t o m försumbar om kupéventilationen är inställd på recirkulation. I ett värsta fall, med hög ventilation av luften till kupén och ingen inverkan av filtret, är halten i kupén densamma som i tunneln. Samtidiga mätningar av NO_x halterna i 10 olika bilmodellens fordonskupéer och tunnluft i Södra länken visar att relationen mellan kupéluften och tunnluft var 0,77±0,08, dvs. 23 % lägre NO_x halt i kupéluften jämfört med tunnluft (SLB 48:2019).

Därmed kan NO_x halten i tunnluft beräknas som:

$$C_{tunnel} = 0.77 \cdot \left[C_{övrig} + \frac{8760}{T_{tunnel}} \times (MKN - C_{övrig}) \right] \quad (3)$$

Halterna under all övrig tid borde baseras på genomsnittliga befolkningsviktade exponeringshalter för troliga tunnelpendlare. För NO₂ var den befolkningsviktade halten för Stockholm läns befolkning 7,9 µg/m³ år 2020 (Lövenheim et al., 2022). Detta motsvarar 11.3 µg/m³ NO_x.

I Tabell 8 visas de beräknade (baserat på ekvation 2) högsta tillåtna/rekommenderade NO_x-halterna för olika körtider i tunnlar beroende på om man baserar tunnelriktvärdet på MKM eller WHO:s riktvärde. NO_x-halterna enligt WSP (2019) är betydligt lägre än om man baserar riktvärdet på att den totala exponeringsdosen inte ska överstiga den som motsvarar MKM för NO₂. Men WSP:s värden är å andra sidan betydligt högre än ett riktvärde baserat på maximal exponering enligt WHO:s nya riktvärde för NO₂ i utomhusluften.

² Värdet för MKM skiljer sig mot det som använts i Johansson och Forsberg (2020) då ett nytt samband tagits fram.

Tabell 8. Riktvärden för medelhalter av NO_x i tunnlar med olika körtid samt riktvärdet enligt utredning av WSP (2019).

Körtid i tunneln minuter	Körtid i tunneln timmar per år	Riktvärde NO _x baserat på MKM NO ₂ [µg/m ³]	Riktvärde NO _x baserat på WHO:s riktvärde för NO ₂ [µg/m ³]	NO _x halt (10 % riskökning) enligt WSP (2019) [µg/m ³]
3	22	10 300	1 450	6 400
5	37	6 200	870	3 800
10	73	3 100	440	1 900
15	110	2 100	300	1 300

Av Tabell 9 framgår att halterna under maxtimmen i de svenska vägtunnelarna ligger långt under riktvärdena baserat på MKM för NO₂. Om man däremot baserar riktvärdet på WHO:s riktvärde är halten i Södra länken något högre än riktvärdet och nära riktvärdet i Norra länken och Muskötunneln.

Det ska observeras att de befolkningsviktade halterna som används för att skatta exponeringen under övrig tid gäller Stockholm läns befolkning. Åtminstone för Götatunneln och Lundbytunneln är de befolkningsviktade halterna inte desamma, men marginalerna till riktvärdet är ändå mycket stor, så även med ett befolkningsviktad medelvärde som motsvarar Göteborgsregionen klaras sannolikt riktvärdena för dessa tunnlar.

Tabell 9. Tunnelhalter, körtider och riktvärden för NO_x baserat på MKM NO₂ och WHO:s riktvärde. Tunnelhalterna och tid i tunnel från Tabell 4.

Vägtunnel	Tid i tunneln (minuter)	Tunnelhalt maxtimmen NO _x [µg/m ³]	Riktvärde NO _x baserat på MKM NO ₂ [µg/m ³]	Riktvärde NO _x baserat på WHO:s riktvärde för NO ₂ [µg/m ³]
Törnskogstunneln	1,4	510	22 416	3 134
Södra Länken	3,3	1 524	9 498	1 332
Norra Länken	3,1	1 107	10 062	1 411
Löttingetunneln	0,7	282	42 278	5 904
Götatunneln	1,4	548	22 690	3 172
Lundbytunneln	1,7	593	18 065	2 527
Söderledstunneln	1,3	816	23 853	3 334
Muskötunneln	2,5	1 530	12 491	1 750

Halter i Förbifart Stockholm

Nu byggs Förbifart Stockholm där körtiden blir ca 15 minuter för hela tunneln. Halterna beräknas varierar kraftigt mellan olika delar av tunneln beroende på ventilation, längd, lutning och trafikflöden. Vid öppningsåret har utsläppen av NO_x sjunkit tack vare renare fossildrivna fordon och större andel eldrivna fordon. Sannolikt skulle det bli svårt klara riktvärden i Förbifarten om de baseras på att den totala exponeringen inte får överstiga WHO:s riktvärden, men det är osäkert eftersom även den befolkningsviktade halten har sjunkit vilket gör att utrymmet för exponering upp till WHO:s riktvärde har ökat.

Avgassammansättningen förändras

I takt med att fordonsparken byts så minskar avgasernas bidrag till de totala partikelutsläppen och den relativa sammansättningen av olika ämnen förändras. Speciellt viktigt att notera är att relationen mellan NO_x och avgaspartiklar ändras.

Detta innebär att det blir alltmer osäkert om dos-responssambandet för NO_x kan användas för att uppskatta hälsoriskerna förknippat med tunnelluftexponeringen.

Exempelvis ändras relationerna mellan NO_x och totala mängden avgaspartiklar. Enligt tunnelmodellen som tagits fram i detta projekt (baserat på emissionsfaktorer i HBEFA 4.2), var fordonsparkens genomsnittliga utsläpp omkring 10 mg avgaspartiklar per g NO_x år 2021. För fordonsparken år 2045 förväntas förhållandet ha ökat ca 20 mg avgaspartiklar per g NO_x enligt HBEFA 4.2. Även om den exakta förändringen är osäker beroende på utsläpp och antal diesel- och bensinfordon i trafik så blir skattningar av hälsoriskerna med exponering i vägtunnlar mycket osäkra, bland annat på grund av att de baseras på gamla dos-responssamband.

Diskussion

NO_x-utsläppen minskar kraftigt med elektrifiering av fordonsflottan, bränslesnålare motorer och effektivare avgasrening, därmed minskar även hälsopåverkan kopplad till NO_x. För PM_{2.5}-halterna förväntas bidraget från avgaser minska, men dessa utgör endast en liten del av totala PM_{2.5} och större delen kommer från väg- däck- och bromsslitage som förväntas öka något för varje år i och med det ökade trafikarbete med 1,5 % per år. Dos-respons sambandet för NO_x ökar med åren i och med att NO_x-utsläppen minskar men mängden avgaspartiklar per gram NO_x ökar.

För modellår 2045 är riskökningen för en frekvent pendlare för PM_{2.5} ungefär samma som för NO_x och båda är dessutom väldigt låga. I beräkningarna för PM_{2.5} för de olika modellåren har vi antagit att dubbdäcksandelen är oförändrad samt att friskluftsfiltren till fordonen fortsätter att ta bort 80 % av PM_{2.5} utav utomhusluftens halter. Troligare är att friskluftsfiltren förbättras och att dubbdäcksandelen minskar, åtminstone i storstäderna där Sveriges vägtunnlar över 1000m finns i dagsläget. Antaganden som gäller för den samma snabba minskningen av NO_x är att utvecklingen på fordonssidan samt elektrifieringen fortsätter i den snabba takt som förväntas enligt HBEFA 4.2.2 (Trafikverkets interna version, uppdaterad jan-23) samt Trafikverket framtidsscenarioer och att nya krav på fordonsmotorer följer utsläppskraven. Denna utveckling kommer kanske inte gå lika fort i verkligheten som i scenarierna.

Fler elbilar innebär att broms-, däck- och väglitaget förändras. För tunnlar där bromsslitage är en mindre del så blir sannolikt nettoeffekten en ökad emission av slitagepartiklar, men detta är avhängigt av andelen dubbdäck bland elbilarna, vilken eventuellt är mindre än bland diesel- och bensinbilar.

Utifrån resultaten för hälsoriskökning tillskriven NO_x och PM_{2.5} (tabellerna 2 till 4) så kommer ingen av dessa två föroreningar vara i närheten av de riskerna som tillåts av riktvärdet som för tillfället finns för tunnelluft varken år 2030 eller år 2045 åtminstone när det gäller långtidseffekter av föroreningarna. Kortsiktiga hälsoeffekter kopplade till några få tillfällen med höga halter av NO_x eller PM_{2.5} går inte utesluta, men har inte analyserats i detta projekt. Samtidigt är det viktigt att notera att det blir alltmer osäkert om dos-respons sambandet för NO_x kan användas för att uppskatta hälsoriskerna förknippat med tunnelluftexponeringen eftersom avgasmixen förändras och exponeringsförhållandena för personerna i de epidemiologiska studierna som ligger till grund för detta är gamla.

Ett riktvärde baserat på att total dosen för frekventa tunnelpendlare inte överstiger det svenska miljömålet för NO₂ på 20 µg/m³ skulle innebära att halterna under maxtimmen i de svenska vägtunnlarna ligger långt under tunnelriktvärdet. Om man däremot baserar riktvärdet på WHO:s nya riktvärde för NO₂ (10 µg/m³) skulle halten i Södra länken vara något högre än riktvärdet och nära riktvärdet i Norra länken och Muskötunneln. Men beräkningarna av detta riktvärde för tunnel luften är beroende på antaganden om dosen som tunnelpendlare utsätts för under all övrig tid då man inte exponeras för tunnel luften, vilket gör riktvärdet lite godtyckligt. I detta fall har vi använt beräknad befolkningsexponering för Stockholms län 2020.

Referenser

Alpfjord Wylde et al., 2023. Quantification of population exposure to PM10, PM2.5 and NO2 and estimated health impacts for 2019 and 2030. SMHI report 119, 2023. ISSN: 0347-2116 © SMHI.

Martenies, S., Wilkins, D., Batterman, S. Health impact metrics for air pollution management strategies Author links open overlay panel. Environment international 2015.

Orru, H., B. och Forsberg, B. Assessment of long-term health impacts of air quality with different guideline values for NOx in the planned by-pass tunnel Förbifart Stockholm, Yrkes- och miljömedicin i Umeårapport, nr 3 2016, ISSN-nr 1654-7314

Oudin et al., 2022. Hälsovinster med att uppnå miljömålet frisk luft. Umeå universitet, Institutionen för folkhälsa och klinisk medicin, Avdelningen för hållbar hälsa. ISSN-nr 2003-3281 Folkhälsa och klinisk medicin i Umeå rapporter, nr 2, 2022.

SLB 1:2013. Halter av partiklar och NOx i fordon i relation till omgivningsluftens halter. https://www.slb.nu/slb/rapporter/pdf8/slb2013_001.pdf

SLB 12:2013. Mynningsutsläppens inverkan på halterna inne i vägtunnlar. https://www.slbanalys.se/slb/rapporter/pdf8/slb2013_012.pdf

SLB 48:2019. Halter i fordonskupéer vid färd i tunnel. https://www.slbanalys.se/slb/rapporter/pdf8/slb2019_048.pdf

SLB 28:2020. Riktvärde för vägtunnlar baserat på exponeringsdos upp till gränsvärde/miljömål för utomhusluft och dess konsekvenser för hälsoriskerna. https://www.slbanalys.se/slb/rapporter/pdf8/slb2020_028.pdf

SLB 37:2019. Luftföroreningar i svenska vägtunnlar.

SLB 25:2022. Beskrivning av problembilden för halter av kvävedioxid (NO2) och partiklar (PM10) i Stockholms län. https://www.slbanalys.se/slb/rapporter/pdf8/slb2022_025.pdf

WSP, 2019. Luftkvalitet i vägtunnlar, tilläggsuppdrag nationellt riktvärde (reviderad 2019-12-13).

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

